

## 添付書類 一覧

- 1-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(概要、耐震設計及び評価方針)
- 1-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(建物の地震応答解析の概要)
  - 1-2-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉建家の地震応答解析(基準地震動))
    - 1-2-1-1. 地震観測シミュレーションによる原子炉建家の地震応答解析モデルの妥当性確認
    - 1-2-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉建家の地震応答解析(弾性設計用地震動))
    - 1-2-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析)
    - 1-2-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(冷却塔の地震応答解析)
  - 1-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(建物・構築物の耐震性評価の概要)
    - 1-3-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(使用済燃料貯蔵プールの耐震性評価)
    - 1-3-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉建家天井クレーンの耐震性評価)
    - 1-3-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価)
    - 1-3-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(基礎版の耐震性評価)
- 1-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(機器・配管系の耐震性評価の概要)

- 1-4-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(機器・配管系の解析評価方法)
- 1-4-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉本体の耐震性評価)
- 1-4-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性評価)
- 1-4-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉冷却系統施設の耐震性評価)
- 1-4-5. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(計測制御系統施設の耐震性評価)
- 1-4-6. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性評価)
- 1-4-7. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(放射線管理施設の耐震性評価)
- 1-4-8. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉格納施設の耐震性評価)
- 1-4-9. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(その他試験研究用等原子炉の附属施設の耐震性評価)
- 1-5. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(波及的影響評価の概要)
  - 1-5-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(波及的影響評価の手法)
  - 1-5-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉建家屋根トラスの波及的影響評価)
  - 1-5-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉格納容器の波及的影響評価)
  - 1-5-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉建家天井クレーンの波及的影響評価)

- 1-5-5. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(排気筒の波及的影響評価)
- 1-5-6. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(燃料交換機の波及的影響評価)
- 1-5-7. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(制御棒交換機の波及的影響評価)
- 1-6. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(動的機器の機能維持確認の概要)
  - 1-6-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書(原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)の動的機能維持確認)
- 1-7. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」への適合性
  - 2-1. 保管廃棄施設に関する説明書(保管能力)
  - 2-2. 保管廃棄施設に関する説明書(遮蔽)
  - 2-3. 保管廃棄施設に係る「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」への適合性
- 3-1. 溢水対策機器(漏水検知器等)に関する説明書
- 3-2. 溢水対策機器(漏水検知器等)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」への適合性
- 4-1. 多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止対策機器に関する説明書(耐震性)
  - 4-1-1. 使用済燃料貯蔵建家の耐震性評価
  - 4-1-2. 機器・配管系の耐震性評価

- 4-2. 多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止対策機器（消防自動車・ホース、可搬型計器・可搬型発電機等）に係る「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」への適合性
  
- 5-1. 申請に係る「試験研究の用に供する原子炉等に係る試験研究用等原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則」への適合性

- 1-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(概要、耐震設計及び評価方針)

## 目 次

1. 概要 .....	添 1 - 1 - 1
1.1 添付書類の構成 .....	添 1 - 1 - 1
2. 耐震設計及び評価方針.....	添 1 - 1 - 2
2.1 耐震設計の基本方針 .....	添 1 - 1 - 2
2.2 地震力の算定法 .....	添 1 - 1 - 2
2.3 動的解析法 .....	添 1 - 1 - 4
2.4 荷重の組合せと許容限界 .....	添 1 - 1 - 4
3. 耐震性評価 .....	添 1 - 1 - 9
3.1 耐震性評価の考え方 .....	添 1 - 1 - 9
3.2 水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する評価手法 .....	添 1 - 1 - 9
3.3 建物・構築物及び機器・配管系の耐震性評価 .....	添 1 - 1 - 9
4. 静的地震力による耐震性評価について.....	添 1 - 1 - 11

## 1. 概要

本資料は、既設の建物・構築物及び機器・配管系のうち、「試験研究用等原子炉施設における設計及び工事の方法の認可申請の審査及び使用前検査の進め方について(平成 28 年 2 月 17 日原子力規制庁)」を基にして、設計及び工事の方法の認可(以下「設工認」という。)の対象として選定した建物・構築物及び機器・配管系の耐震性評価を行い、「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成 25 年 12 月 18 日施行)」に適合していることを説明するものである。

### 1.1 添付書類の構成

添付書類の構成は、以下のとおりである。

- ・ 添付書類 1-1. では、全体の概要、設計及び評価方針を説明する。
- ・ 添付書類 1-2. から添付書類 1-2-4. では、原子炉建家等の建物の地震応答解析の結果を説明する。この結果を基にして、耐震性評価に必要な床応答スペクトルを作成する。
- ・ 添付書類 1-3. から添付書類 1-3-4. では、建物・構築物の耐震性評価の結果を説明する。
- ・ 添付書類 1-4. から添付書類 1-4-9. では、機器・配管系の耐震性評価の結果を説明する。また、添付書類 1-4-1. の機器・配管系の解析評価方法の中で、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び冷却塔について、質点系モデルの各質点における床応答スペクトルを示す。
- ・ 添付書類 1-5. から添付書類 1-5-7. では、波及的影響評価の結果を説明する。
- ・ 添付書類 1-6. から添付書類 1-6-1. では、地震時に動作を要求する動的機器が基準地震動に対して動的機能が維持されることを説明する。

なお、評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系の個々の評価方法については、各添付書類にて改めて説明する。

## 2. 耐震設計及び評価方針

### 2.1 耐震設計の基本方針

原子炉施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、耐震重要度分類を以下のとおり、Sクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐える設計とする。

Sクラス：安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある設備・機器等を有する施設

Bクラス：安全施設のうち、その機能を喪失した場合の影響がSクラス施設と比べて小さい施設

Cクラス：Sクラス、Bクラス以外であって、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

Sクラスの施設は、基準地震動による地震力に対して安全機能が保持できるとともに、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、おおむね弾性範囲にとどまる構造とする。また、下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわない設計とする。さらに、次に示す影響を確認する。

- (1) 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- (2) 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部及び支持部における相互影響
- (3) 建家内における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下及び衝突等による耐震重要施設への影響
- (4) 建家外における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下及び衝突等による耐震重要施設への影響

地震時に動作を要求する動的機器の原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)は、基準地震動による応答に対して、当該設備に要求される機能を維持する設計とする。

Bクラス及びCクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性範囲にとどまる構造とする。また、Bクラス施設のうち、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。

### 2.2 地震力の算定法

原子炉施設は、以下の方法で算定される静的地震力及び動的地震力に対して耐えるように設計する。



## 2.2.1 静的地震力

### 2.2.1.1 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数  $C_i$  に、次に示す耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、更に当該層以上の重量を乗じて算定する。

S クラス 3.0

B クラス 1.5

C クラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数  $C_i$  は、標準せん断力係数  $C_0$  を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数  $C_i$  に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、耐震重要度分類の各クラスともに 1.0 とし、その際に用いる標準せん断力係数  $C_0$  は 1.0 とする。

S クラスの建物・構築物については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

### 2.2.1.2 機器・配管系

静的地震力は、上記 2.2.1.1 に示す地震層せん断力係数  $C_i$  に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記 2.2.1.1 の鉛直震度をそれぞれ 20%増しとした震度より求めるものとする。

なお、S クラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

## 2.2.2 動的地震力

動的地震力は、S クラスの施設及び B クラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用する。

S クラスの施設については、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力とする。弾性設計用地震動は、基準地震動の応答スペクトルとの比率を 0.5 倍として設定する。

B クラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動に 2 分の 1 を乗じた動的地震力を適用する。

基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

### 2.2.3 入力地震動

原子炉施設に対する入力地震動は、解放基盤表面(約 G. L. -171.9m(=約 E. L. -135.4m=約 T. P. -135.4m))で定義された基準地震動及び弾性設計用地震動から地震波の伝播特性や地盤の非線形応答に関する動的変形特性等を適切に考慮して 1次元波動論又は必要に応じて 2次元有限要素法解析により応答計算し算定する。

## 2.3 動的解析法

### 2.3.1 建物・構築物

建物・構築物の動的解析は、時刻歴応答解析を用いて応答を求めるものとする。動的解析に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮の上、適切な解析手法を選定するとともに、十分な調査に基づき解析条件を設定する。

なお、建物・構築物と地盤の相互作用(埋め込み効果を含む。)を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、地盤の動的剛性等を考慮して定める。

### 2.3.2 機器・配管系

#### 2.3.2.1 金属構造物

機器・配管系については、その形状を考慮して、分布質量系、1質点系、多質点系モデル等に置換し、スペクトル・モーダル解析法、時刻歴応答解析法等により応答を求める。

#### 2.3.2.2 黒鉛構造物

炉心を構成する黒鉛ブロックについては、地震時に相互に衝突を繰り返す非線形振動挙動を示すため、黒鉛ブロック群の振動解析法としてブロック間の衝突現象を考慮する方法を用いる。各黒鉛ブロックに作用する衝突力、ブロックの変位等は、時刻歴応答解析により求める。

## 2.4 荷重の組合せと許容限界

### 2.4.1 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を以下に示す。

#### 2.4.1.1 建物・構築物

##### (1) 運転時の状態

原子炉施設が運転状態にあり、通常 of 自然条件下におかれている状態。ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

##### (2) 設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態

#### 2.4.1.2 機器・配管系

##### (1) 通常運転時の状態

原子炉施設の起動、停止、出力運転、燃料交換等が計画的に行われた場合、運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

##### (2) 運転時の異常な過渡変化時の状態

通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

##### (3) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

#### 2.4.2 荷重の種類

##### 2.4.2.1 建物・構築物

- (1) 原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧及び通常的气象条件による荷重
- (2) 運転時の状態で施設に作用する荷重
- (3) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重
- (4) 地震力、風荷重、積雪荷重

運転時及び設計基準事故時の荷重には、機器・配管から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には、地震時土圧、機器・配管からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

##### 2.4.2.2 機器・配管系

- (1) 通常運転時の状態で施設に作用する荷重
- (2) 運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重
- (3) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重
- (4) 地震力

#### 2.4.3 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは以下による。

#### 2.4.3.1 建物・構築物

- (1) Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に対して、地震力と常時作用している荷重、運転時(通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時)に施設に作用する荷重とを組み合わせる。
- (2) Sクラスの施設に対して、常時作用している荷重及び設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

#### 2.4.3.2 機器・配管系

- (1) Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に対して、地震力と、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重とを組み合わせる。
- (2) Sクラスの施設に対して、地震力と運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち、地震によって起こされるおそれのある事象によって作用する荷重とを組み合わせる。
- (3) Sクラスの施設に対して、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち、地震によって起こされるおそれのない事象によって作用する荷重で、その作用が長時間続く場合には、その荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。なお、地震によって起こされるおそれがなく、かつ、その事象によって作用する荷重が短時間で終結する場合には、地震力と組み合わせない。

#### 2.4.3.3 荷重の組合せ上の留意事項

- (1) Sクラスの施設に作用する地震力のうち動的地震力については、水平2方向と鉛直方向の地震力を適切に組合せ算定するものとする。
- (2) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてよいものとする。
- (3) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時間に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。
- (4) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を検討する場合には、支持される施設の耐震クラスに応じた地震力と常時作用している荷重、運転時に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

#### 2.4.4 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は、以下のとお

りとする。

#### 2.4.4.1 建物・構築物

##### (1) Sクラスの建物・構築物

###### ① 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

###### ② 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力(ねばり)の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。

なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

##### (2) B、Cクラスの建物・構築物

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

##### (3) 耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物

上記の「(1)Sクラスの建物・構築物、②基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界」を適用するほか、耐震クラスの異なる施設が、それを支持する建物・構築物の変形等に対して、その機能が損なわれないものとする。

##### (4) 建物・構築物の保有水平耐力

当該建物・構築物の保有水平耐力が、必要保有水平耐力に対して、妥当な安全余裕をもたせることとする。

#### 2.4.4.2 機器・配管系

##### (1) Sクラスの機器・配管系

###### ① 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

金属構造物については、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)その他の安全上適切と認められる規格及び基準に基づき、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする。

金属構造物のうち高温に達するものについては、「高温ガス炉第1種機器の高温構造設計指針」による許容応力を許容限界とする。

炉心支持黒鉛構造物については、引張強さ及び圧縮強さを基準にし、「高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針」による許容応力を許容限界とする。

なお、対象はサポートポストの炉心支持機能とする。

## ② 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

金属構造物については、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)その他の安全上適切と認められる規格及び基準に基づき、構造物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じず、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する値を許容限界とする。

金属構造物のうち高温に達するものについては、「高温ガス炉第1種機器の高温構造設計指針」による許容応力を許容限界とする。

炉心支持黒鉛構造物については、引張強さ及び圧縮強さを基準にし、「高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針」による許容応力を許容限界とする。

なお、対象はサポートポストの炉心支持機能とする。

## (2) B、Cクラスの機器・配管系

JEAG その他の安全上適切と認められる規格及び基準に基づき、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

## (3) 炉心構成要素(燃料体、制御棒案内ブロック及び可動反射体ブロック)

炉心構成要素については、地震時に作用する荷重に対して、崩壊熱除去可能な形状が阻害されないこと、及び過大な変形や破損を生じることにより、制御棒の挿入が阻害されないことを確認するため、「高温ガス炉炉心黒鉛構造物の構造設計指針」による許容応力を許容限界とする。

## (4) 動的機器

地震時に動作を要求される動的機器については、解析により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とする。

### 3. 耐震性評価

#### 3.1 耐震性評価の考え方

Sクラスである建物・構築物及び機器・配管系については、基準地震動及び弾性設計用地震動に基づく入力地震動によって耐震性を確認する。また、原子炉建家はBクラスであるが、Sクラスの施設を内包する建物・構築物として、支持機能及び波及的影響の観点から基準地震動に基づく入力地震動によって耐震性を確認する。Sクラスの施設の安全機能へ影響を与える下位のクラスに属する施設は波及的影響の観点から基準地震動を用いて評価を行い、耐震重要施設の安全機能への影響がないことを確認する。

#### 3.2 水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する評価手法

施設の耐震設計では、施設の構造から地震力の方向に対して弱軸及び強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

水平2方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことを受けて、施設の評価では、施設の構造特性等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものに対して、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。評価に当たっては、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

影響評価は、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 に基づき荷重時ごとに応力解析により得られた結果を用いた組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)又は応答の同時性を各時刻歴で考慮できる3方向を同時に入力する方法により行う。

#### 3.3 建物・構築物及び機器・配管系の耐震性評価

具体的に確認する内容を以下に示す。

- (1) 基準地震動による入力地震動に基づき、スウェイ-ロッキングの地盤ばねを考慮した多質点系モデルを用いた原子炉建家の弾塑性地震応答解析を実施する。内包するSクラスの施設・設備への支持機能の観点から建家が終局耐力に対して安全余裕を有していることを確認する。
- (2) Sクラスである原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール及びSクラスの支持構造物である原子炉建家の基礎版については、基準地震動によって生じる地震力に対して非線形応力解析を行い、各部位に発生するひずみが終局点以下であることを確認する。
- (3) Sクラスである原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プールについては、弾性設計用地震動又は $3.0C_i$ に基づく静的地震力のいずれか大きい方の値を設計用地震力として、線形応力解析を行い、各部位に発生する応力度が安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度以下であることを確認する。
- (4) H T T R原子炉施設の基準地震動は、応答スペクトル法による地震動  $S_s-D$ (水平方

向1成分と鉛直方向1成分)と断層モデルにより策定された地震動 Ss-1 から Ss-5(水平方向2成分(NS、EW)と鉛直方向1成分)の2種類の手法によって策定された地震動がある。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に当たっては、応答スペクトル法による地震動に対しては水平2方向それぞれについて解析し、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)により検討し、断層モデルにより策定された地震動に対しては3方向同時入力又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)によって検討する。

- (5) 機器・配管系の動的解析に用いる地震力は、建物・構築物の地震応答解析結果より得られる機器・配管系の設置床における設計用床応答スペクトル及び加速度時刻歴波形に基づき算定する。

機器・配管系の動的解析は、応答倍率法による評価を実施し、応答倍率法による評価で許容値を満足しない機器・配管系については、その形状を考慮して、分布質量系、1質点系、多質点系モデル等に置換し、スペクトルモーダル解析法、時刻歴応答解析法等により応答を求める。



#### 4. 静的地震力による耐震性評価について

H T T Rは今回の新規制基準への適合性確認に伴う、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔、排気筒の改造及び補強はなく、これらの建物・構築物の重量の変更はない。このため、静的評価については、以下のように整理する。

- ・ As 又は A クラスから B クラスに変更した建物・構築物は、静的地震力が  $3.0C_i$  から  $1.5C_i$  となるため、既往の設工認において示しているとおりに、静的地震力に対して耐震余裕を有している。
- ・ As 又は A クラスから B クラスに変更した機器・配管系は、静的地震力が  $3.6C_i$  から  $1.8C_i$  となるため、既往の設工認において示しているとおりに耐震余裕を有している。
- ・ クラスの変更がない建物・構築物、機器・配管系は、既往の設工認において示しているとおりに耐震余裕を有している。

- 1-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(建物の地震応答解析の概要)

## 1. 建物の地震応答解析の概要

添付書類 1-2-1. から添付書類 1-2-4. では、建物・構築物及び機器・配管系の評価に用いる床応答スペクトルの算出に必要となる原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家及び冷却塔の地震応答解析結果について説明する。

なお、原子炉建家については、添付書類 1-2-1. で基準地震動  $S_s$  に対して耐震余裕を有していること、添付書類 1-2-2. で弾性設計用地震動  $S_d$  に対して耐震余裕を有していることも確認した。

1-2-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉建家の地震応答解析(基準地震動))

## 目 次

1. 概要 .....	添 1 - 2 - 1 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 2 - 1 - 11
2.1 位置 .....	添 1 - 2 - 1 - 11
2.2 構造概要 .....	添 1 - 2 - 1 - 12
2.3 評価方針 .....	添 1 - 2 - 1 - 15
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 2 - 1 - 16
2.5 使用材料 .....	添 1 - 2 - 1 - 16
3. 入力地震動 .....	添 1 - 2 - 1 - 17
3.1 水平方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 1 - 17
3.2 鉛直方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 1 - 31
4. 解析モデル .....	添 1 - 2 - 1 - 36
4.1 水平方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 1 - 36
4.2 鉛直方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 1 - 48
5. 解析結果 .....	添 1 - 2 - 1 - 53
5.1 固有値解析結果 .....	添 1 - 2 - 1 - 53
5.2 地震応答解析結果 .....	添 1 - 2 - 1 - 66
6. 基礎浮き上がりの検討 .....	添 1 - 2 - 1 - 93
7. 評価結果 .....	添 1 - 2 - 1 - 95

## 表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 2 - 1 - 16
第 2.2 表	鋼材の材料定数.....	添 1 - 2 - 1 - 16
第 3.1 表	地盤の物性値.....	添 1 - 2 - 1 - 19
第 4.1 表	解析モデルの諸元(NS 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 38
第 4.2 表	解析モデルの諸元(EW 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 39
第 4.3 表	せん断のスケルトンカーブ( $\tau$ - $\gamma$ 関係、NS 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 41
第 4.4 表	曲げのスケルトンカーブ(M- $\phi$ 関係、NS 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 41
第 4.5 表	せん断のスケルトンカーブ( $\tau$ - $\gamma$ 関係、EW 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 42
第 4.6 表	曲げのスケルトンカーブ(M- $\phi$ 関係、EW 方向).....	添 1 - 2 - 1 - 42
第 4.7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、 $S_s$ ) (a) $S_s$ -D、 $S_s$ -1、 $S_s$ -2 .....	添 1 - 2 - 1 - 43
第 4.7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、 $S_s$ ) (b) $S_s$ -3、 $S_s$ -4、 $S_s$ -5 .....	添 1 - 2 - 1 - 44
第 4.8 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、 $S_s$ ) (a) $S_s$ -D、 $S_s$ -1、 $S_s$ -2 .....	添 1 - 2 - 1 - 45
第 4.8 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、 $S_s$ ) (b) $S_s$ -3、 $S_s$ -4、 $S_s$ -5 .....	添 1 - 2 - 1 - 46
第 4.9 表	解析モデルの諸元(鉛直方向、R/B、I/C、C/V).....	添 1 - 2 - 1 - 50
第 4.10 表	解析モデルの諸元(鉛直方向、屋根トラス部分).....	添 1 - 2 - 1 - 51
第 4.11 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、 $S_s$ ).....	添 1 - 2 - 1 - 52
第 5.1 表	固有値解析結果( $S_s$ -D).....	添 1 - 2 - 1 - 54
第 5.2 表	固有値解析結果( $S_s$ -1).....	添 1 - 2 - 1 - 55
第 5.3 表	固有値解析結果( $S_s$ -2).....	添 1 - 2 - 1 - 56
第 5.4 表	固有値解析結果( $S_s$ -3).....	添 1 - 2 - 1 - 57
第 5.5 表	固有値解析結果( $S_s$ -4).....	添 1 - 2 - 1 - 58
第 5.6 表	固有値解析結果( $S_s$ -5).....	添 1 - 2 - 1 - 59
第 6.1 表	最小接地率( $S_s$ ).....	添 1 - 2 - 1 - 93
第 6.2 表	最大接地圧( $S_s$ ).....	添 1 - 2 - 1 - 94

## 目 次

第 1.1 図	基準地震動 $S_s$ の応答スペクトル(NS 成分)	添 1 - 2 - 1 - 2
第 1.2 図	基準地震動 $S_s$ の応答スペクトル(EW 成分)	添 1 - 2 - 1 - 3
第 1.3 図	基準地震動 $S_s$ の応答スペクトル(UD 成分)	添 1 - 2 - 1 - 4
第 1.4 図	基準地震動 $S_s$ -D の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 5
第 1.5 図	基準地震動 $S_s$ -1 の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 6
第 1.6 図	基準地震動 $S_s$ -2 の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 7
第 1.7 図	基準地震動 $S_s$ -3 の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 8
第 1.8 図	基準地震動 $S_s$ -4 の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 9
第 1.9 図	基準地震動 $S_s$ -5 の時刻歴波形	添 1 - 2 - 1 - 10
第 2.1 図	原子炉建家の位置	添 1 - 2 - 1 - 11
第 2.2 図	原子炉建家平面図(G. L. -21.5 m)	添 1 - 2 - 1 - 13
第 2.3 図	原子炉建家平面図(G. L. -6.8 m)	添 1 - 2 - 1 - 13
第 2.4 図	原子炉建家断面図(NS 断面)	添 1 - 2 - 1 - 14
第 2.5 図	原子炉建家の評価フロー	添 1 - 2 - 1 - 15
第 3.1 図	入力地震動算定の概要(水平方向)	添 1 - 2 - 1 - 18
第 3.2 図	地盤の非線形特性(1/2)	添 1 - 2 - 1 - 20
第 3.3 図	地盤の非線形特性(2/2)	添 1 - 2 - 1 - 21
第 3.4 図	地盤の地震応答解析結果(水平方向、 $S_s$ -D)	添 1 - 2 - 1 - 22
第 3.5 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、 $S_s$ -1)	添 1 - 2 - 1 - 22
第 3.6 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、 $S_s$ -2)	添 1 - 2 - 1 - 23
第 3.7 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、 $S_s$ -3)	添 1 - 2 - 1 - 23
第 3.8 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、 $S_s$ -4)	添 1 - 2 - 1 - 24
第 3.9 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、 $S_s$ -5)	添 1 - 2 - 1 - 24
第 3.10 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、 $S_s$ -1)	添 1 - 2 - 1 - 25
第 3.11 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、 $S_s$ -2)	添 1 - 2 - 1 - 25
第 3.12 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、 $S_s$ -3)	添 1 - 2 - 1 - 26
第 3.13 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、 $S_s$ -4)	添 1 - 2 - 1 - 26
第 3.14 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、 $S_s$ -5)	添 1 - 2 - 1 - 27
第 3.15 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向、 $S_s$ 、基礎底面位置)	添 1 - 2 - 1 - 28

第 3.16 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向、 $S_s$ 、基礎底面位置) .....	添 1 - 2 - 1 - 29
第 3.17 図	入力地震動の加速度応答スペクトル ( $S_s$ 、基礎底面位置) .....	添 1 - 2 - 1 - 30
第 3.18 図	入力地震動算定の概要 (鉛直方向) .....	添 1 - 2 - 1 - 32
第 3.19 図	地盤の地震応答解析結果 (鉛直方向、 $S_s$ ) .....	添 1 - 2 - 1 - 33
第 3.20 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向、 $S_s$ 、基礎底面位置) .....	添 1 - 2 - 1 - 34
第 3.21 図	入力地震動の加速度応答スペクトル (鉛直方向、 $S_s$ 、基礎底面位置) .....	添 1 - 2 - 1 - 35
第 4.1 図	解析モデル (水平方向) .....	添 1 - 2 - 1 - 37
第 4.2 図	せん断のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$ 関係) .....	添 1 - 2 - 1 - 40
第 4.3 図	曲げのスケルトンカーブ ( $M - \phi$ 関係) .....	添 1 - 2 - 1 - 40
第 4.4 図	地盤ばねの定式化の概要 .....	添 1 - 2 - 1 - 47
第 4.5 図	解析モデル (鉛直方向) .....	添 1 - 2 - 1 - 49
第 5.1 図	刺激関数 (NS 方向、 $S_s$ -D、1~4 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 60
第 5.2 図	刺激関数 (NS 方向、 $S_s$ -D、5~8 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 61
第 5.3 図	刺激関数 (EW 方向、 $S_s$ -D、1~4 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 62
第 5.4 図	刺激関数 (EW 方向、 $S_s$ -D、5~8 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 63
第 5.5 図	刺激関数 (UD 方向、 $S_s$ -D、1~4 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 64
第 5.6 図	刺激関数 (UD 方向、 $S_s$ -D、5~8 次) .....	添 1 - 2 - 1 - 65
第 5.7 図	最大応答加速度 (NS 方向、 $S_s$ -D) .....	添 1 - 2 - 1 - 67
第 5.8 図	最大応答せん断力 (NS 方向、 $S_s$ -D) .....	添 1 - 2 - 1 - 67
第 5.9 図	最大応答曲げモーメント (NS 方向、 $S_s$ -D) .....	添 1 - 2 - 1 - 68
第 5.10 図	最大応答加速度 (NS 方向、 $S_s$ -1) .....	添 1 - 2 - 1 - 68
第 5.11 図	最大応答せん断力 (NS 方向、 $S_s$ -1) .....	添 1 - 2 - 1 - 69
第 5.12 図	最大応答曲げモーメント (NS 方向、 $S_s$ -1) .....	添 1 - 2 - 1 - 69
第 5.13 図	最大応答加速度 (NS 方向、 $S_s$ -2) .....	添 1 - 2 - 1 - 70
第 5.14 図	最大応答せん断力 (NS 方向、 $S_s$ -2) .....	添 1 - 2 - 1 - 70
第 5.15 図	最大応答曲げモーメント (NS 方向、 $S_s$ -2) .....	添 1 - 2 - 1 - 71
第 5.16 図	最大応答加速度 (NS 方向、 $S_s$ -3) .....	添 1 - 2 - 1 - 71



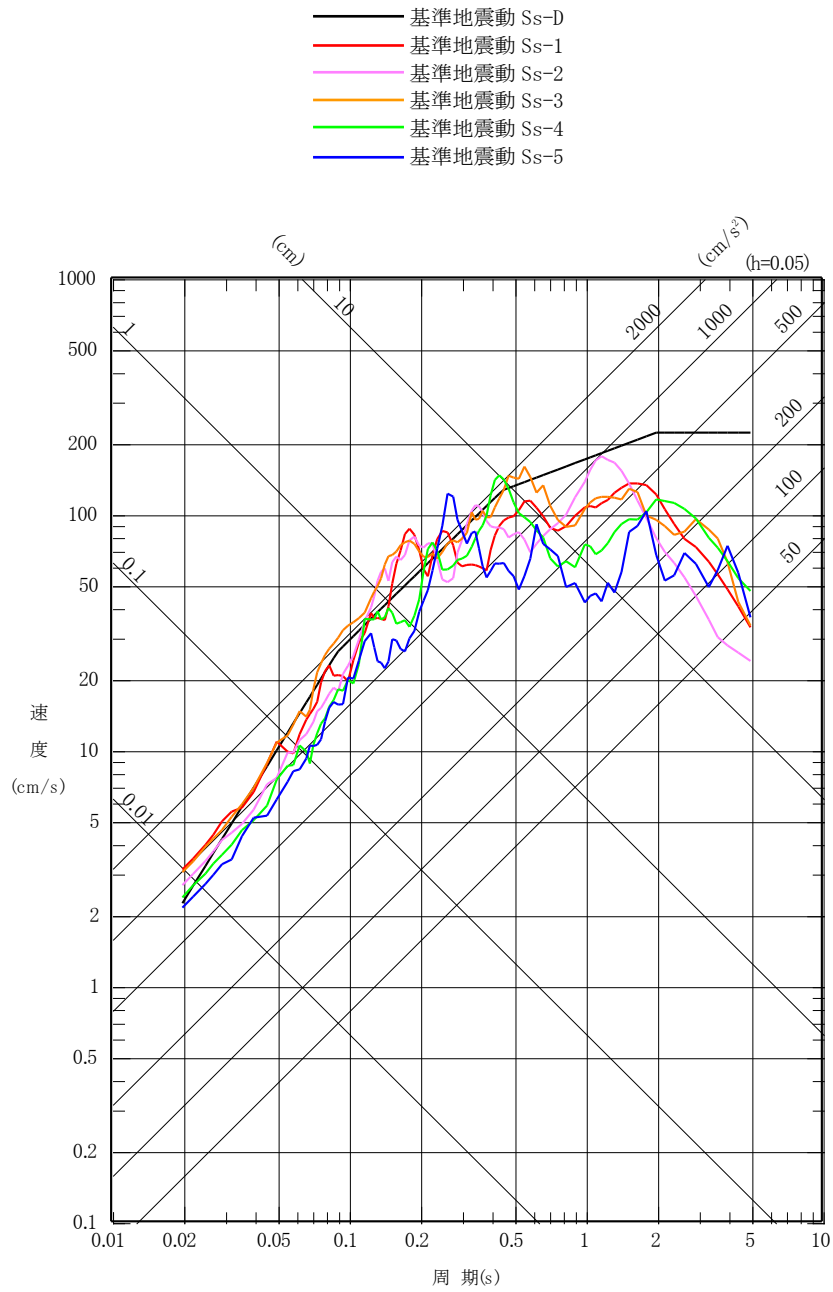
第 5.17 図	最大応答せん断力(NS 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 72
第 5.18 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 72
第 5.19 図	最大応答加速度(NS 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 73
第 5.20 図	最大応答せん断力(NS 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 73
第 5.21 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 74
第 5.22 図	最大応答加速度(NS 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 74
第 5.23 図	最大応答せん断力(NS 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 75
第 5.24 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 75
第 5.25 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-D) .....	添 1 - 2 - 1 - 76
第 5.26 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-D) .....	添 1 - 2 - 1 - 76
第 5.27 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-D) .....	添 1 - 2 - 1 - 77
第 5.28 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-1) .....	添 1 - 2 - 1 - 77
第 5.29 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-1) .....	添 1 - 2 - 1 - 78
第 5.30 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-1) .....	添 1 - 2 - 1 - 78
第 5.31 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-2) .....	添 1 - 2 - 1 - 79
第 5.32 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-2) .....	添 1 - 2 - 1 - 79
第 5.33 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-2) .....	添 1 - 2 - 1 - 80
第 5.34 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 80
第 5.35 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 81
第 5.36 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 81
第 5.37 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 82
第 5.38 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 82
第 5.39 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 83
第 5.40 図	最大応答加速度(EW 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 83
第 5.41 図	最大応答せん断力(EW 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 84
第 5.42 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 84
第 5.43 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-D) .....	添 1 - 2 - 1 - 85
第 5.44 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-D) .....	添 1 - 2 - 1 - 85
第 5.45 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-1) .....	添 1 - 2 - 1 - 86
第 5.46 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-1) .....	添 1 - 2 - 1 - 86
第 5.47 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-2) .....	添 1 - 2 - 1 - 87

第 5.48 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-2) .....	添 1 - 2 - 1 - 87
第 5.49 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 88
第 5.50 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-3) .....	添 1 - 2 - 1 - 88
第 5.51 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 89
第 5.52 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-4) .....	添 1 - 2 - 1 - 89
第 5.53 図	最大応答加速度(UD 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 90
第 5.54 図	最大応答軸力(UD 方向、Ss-5) .....	添 1 - 2 - 1 - 90
第 5.55 図	せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向、Ss) .....	添 1 - 2 - 1 - 91
第 5.56 図	せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向、Ss) .....	添 1 - 2 - 1 - 92

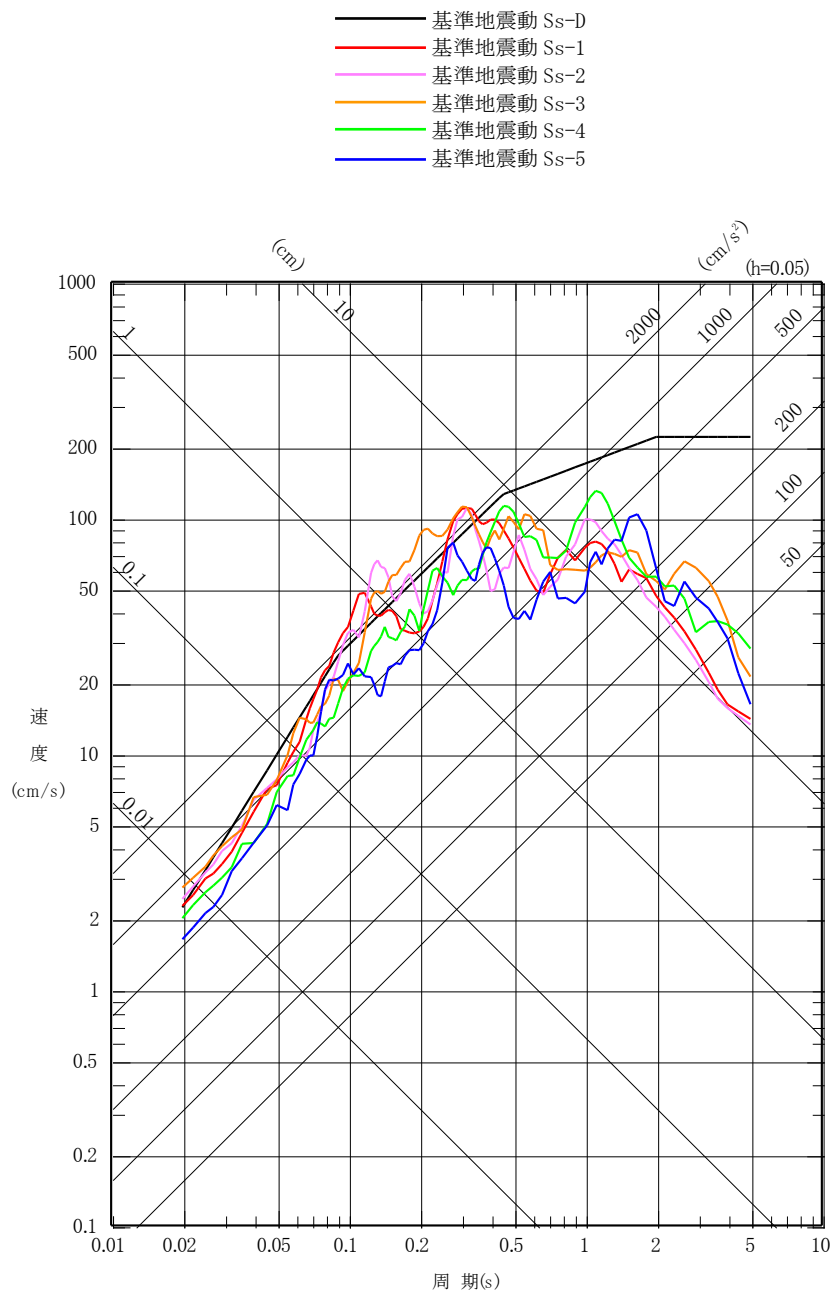
## 1. 概要

本資料は、基準地震動  $S_s$  に対して、建家が耐震余裕を有することを説明するものである。

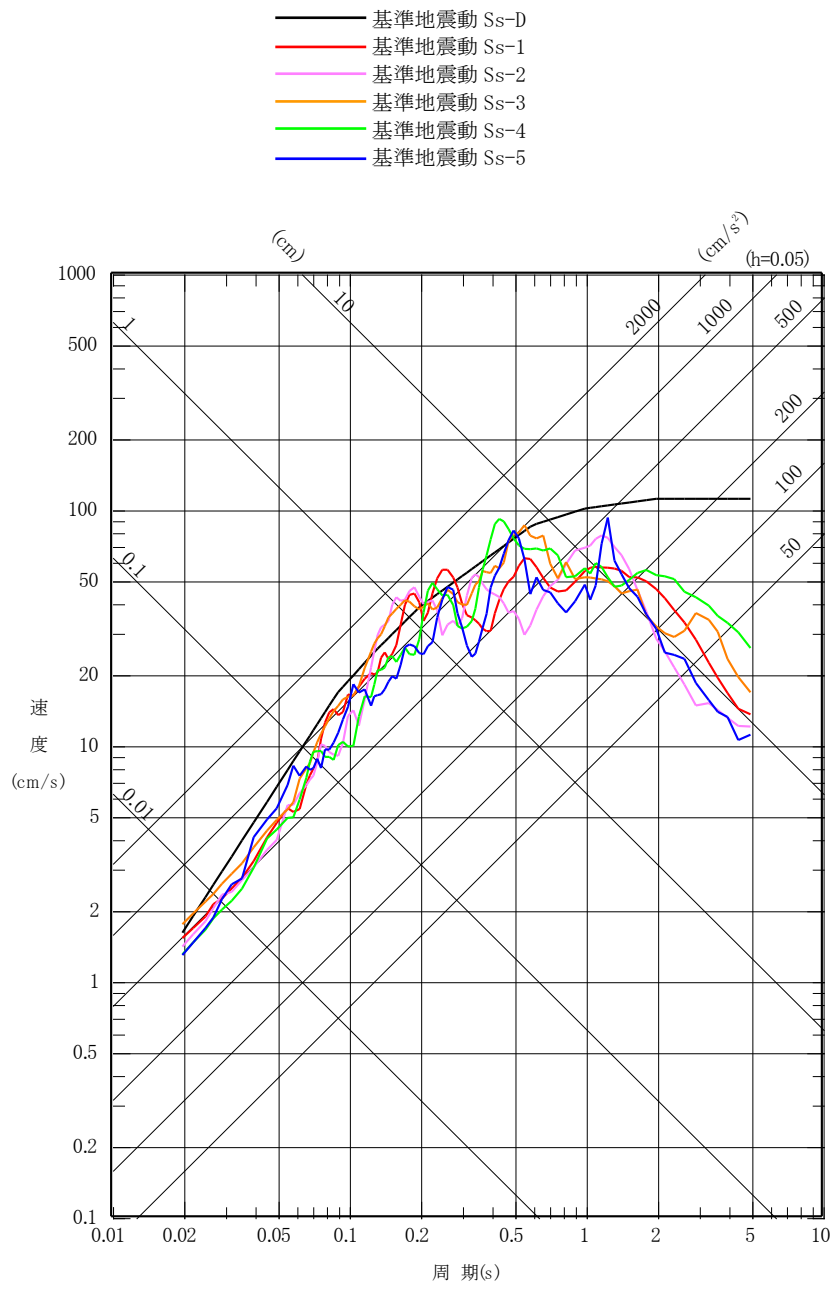
基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、敷地における解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動としてそれぞれ策定する。策定した基準地震動の応答スペクトルを第 1.1 図から第 1.3 図に、時刻歴波形を第 1.4 図から第 1.9 図に示す。解放基盤表面は、S 波速度が 0.7km/s 以上である G.L. - 171.9m とする。



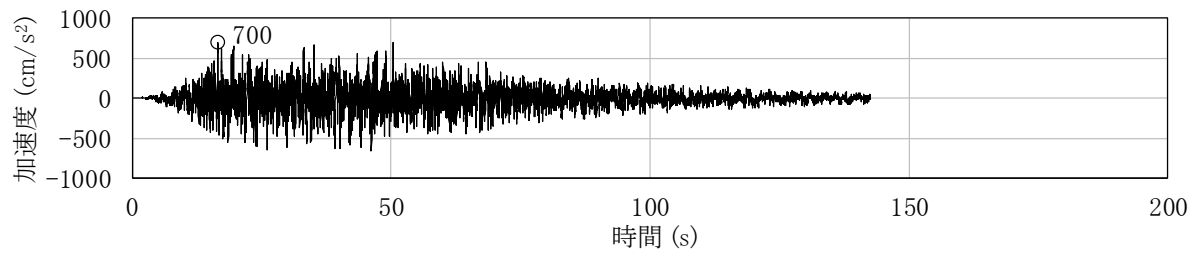
第 1.1 図 基準地震動 Ss の応答スペクトル  
(NS 成分)



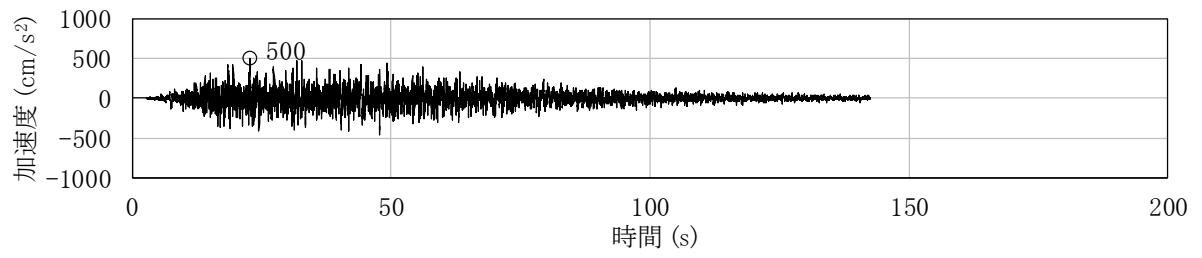
第 1.2 図 基準地震動 Ss の応答スペクトル  
(EW 成分)



第 1.3 図 基準地震動 Ss の応答スペクトル  
(UD 成分)



(水平成分)



(鉛直成分)

第 1.4 図 基準地震動 Ss-D の時刻歴波形



(NS 成分)



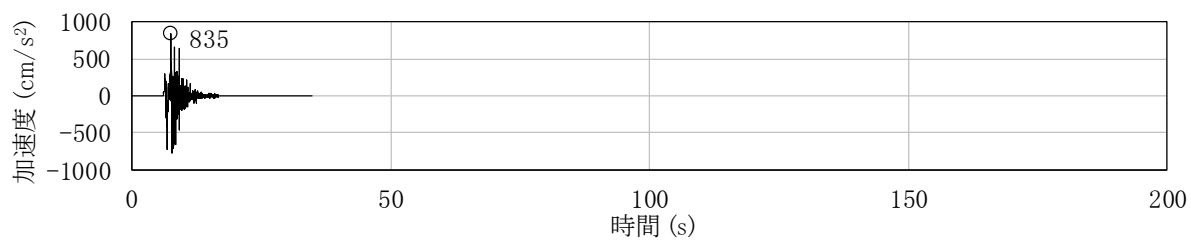
(EW 成分)



(UD 成分)

第 1.5 図 基準地震動 Ss-1 の時刻歴波形

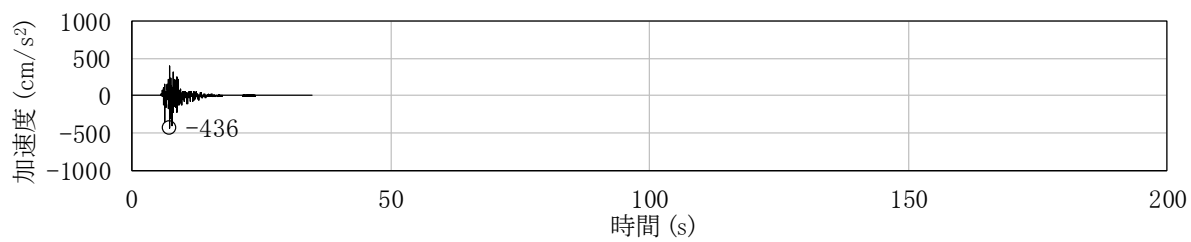




(NS 成分)

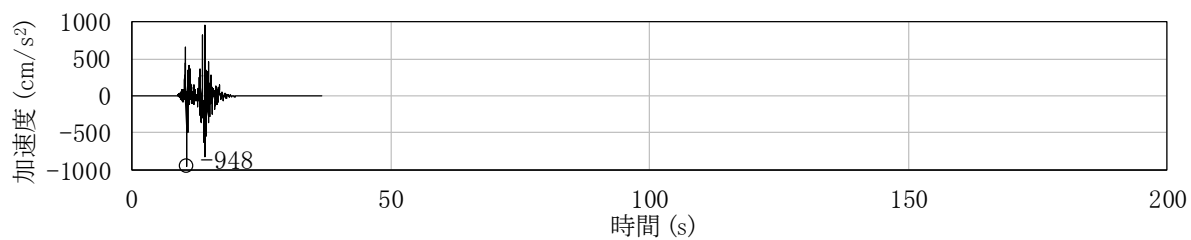


(EW 成分)



(UD 成分)

第 1.6 図 基準地震動 Ss-2 の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

第 1.7 図 基準地震動 Ss-3 の時刻歴波形



(NS 成分)

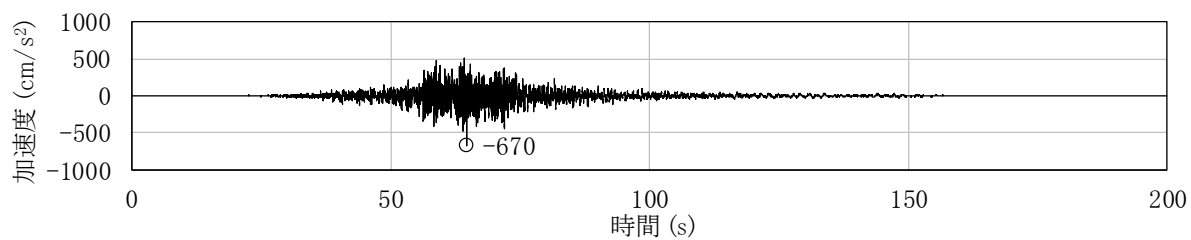


(EW 成分)

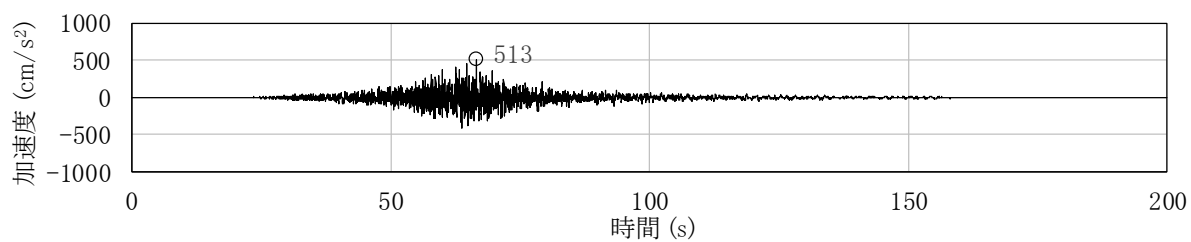


(UD 成分)

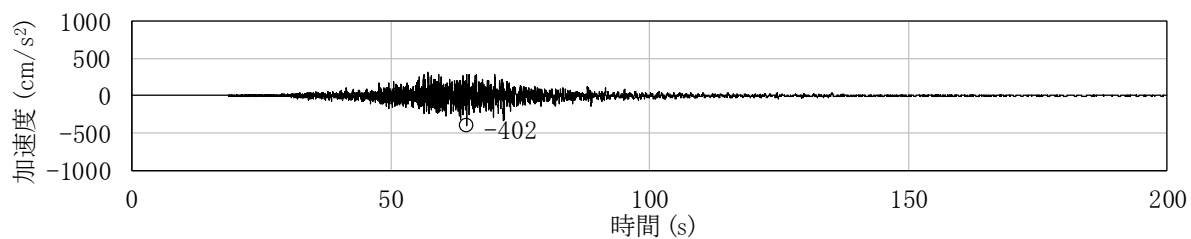
第 1.8 図 基準地震動 Ss-4 の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



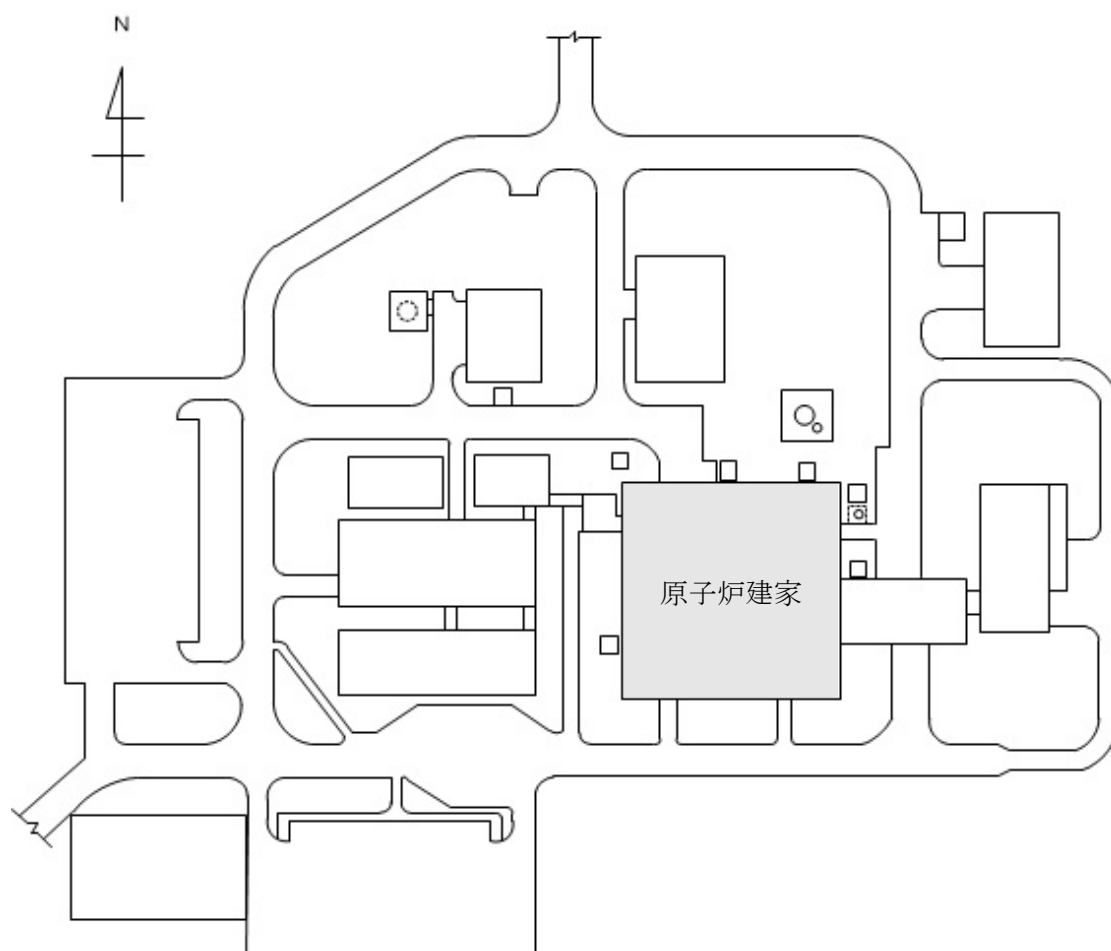
(UD 成分)

第 1.9 図 基準地震動 Ss-5 の時刻歴波形

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

原子炉建家の位置を第 2.1 図に示す。



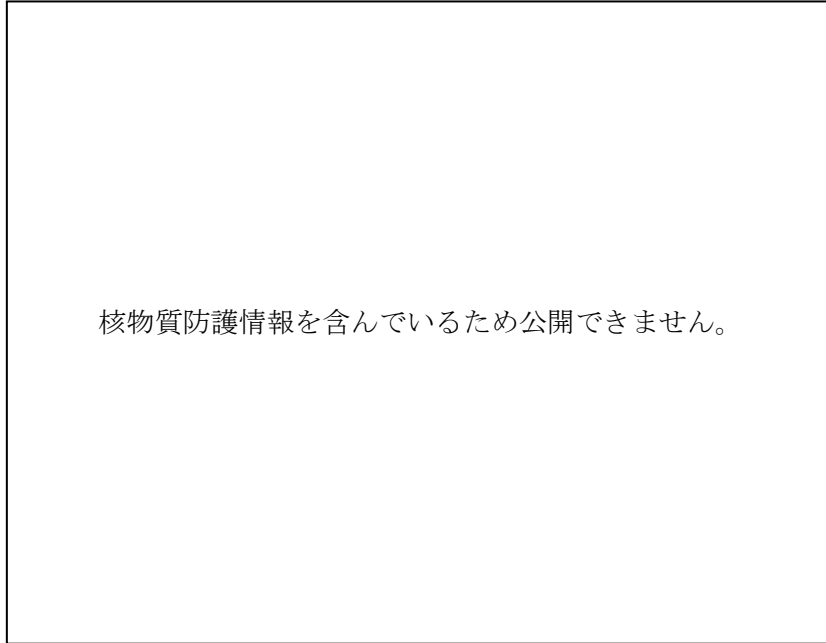
第 2.1 図 原子炉建家の位置

## 2.2 構造概要

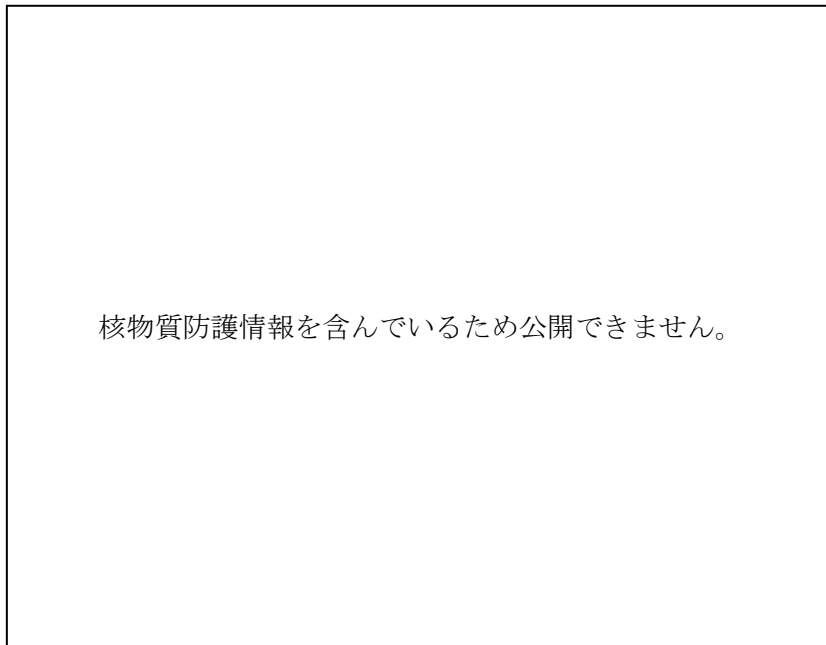
原子炉建家は、平面形状が 52.0m(NS)×50.0m(EW) のほぼ正方形を成しており、地上高さ 24.2m(地上 2 階)、地下深さ 30.5m(地下 3 階) で上部に鉄骨屋根を持つ鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)の建物である。基礎は、厚さ 5.0m から 9.0m のべた基礎とし、第四系更新統の東茨城層群(Is-S1)に設置されている。

建家の代表的な平面図及び断面図を第 2.2 図から第 2.4 図に示す。

なお、以降の設工認申請書中において、R/B は原子炉建家、C/V は原子炉格納容器、I/C は内部コンクリート構造物をいう。



第 2.2 図 原子炉建家平面図 (G. L. -21.5m)



第 2.3 図 原子炉建家平面図 (G. L. -6.8m)

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.4 図 原子炉建家断面図(NS 断面)



### 2.3 評価方針

原子炉建家の評価は、基準地震動  $S_s$  による地震応答解析の結果に基づき実施する。

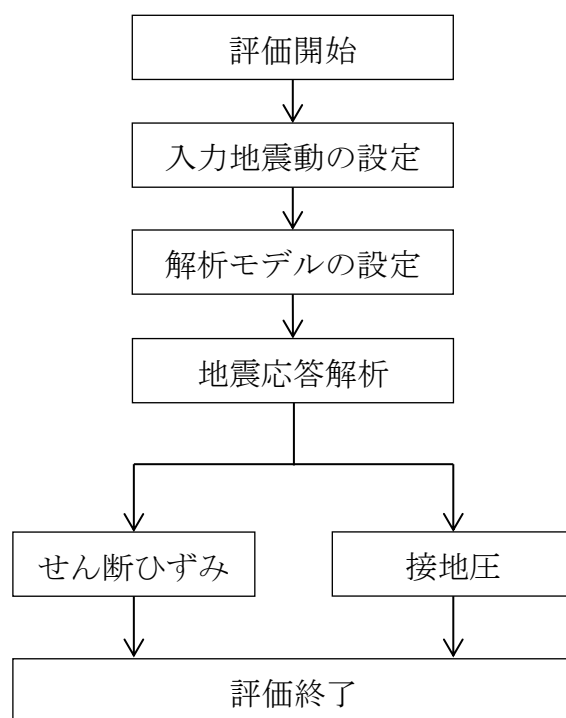
地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS、EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

原子炉建家の評価フローを第2.5図に示す。



第2.5図 原子炉建家の評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

原子炉建家の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計と保有水平耐力―(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

## 2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を第 2.1 表に、鋼材の材料定数を第 2.2 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
R/B、I/C	23.5	$2.25 \times 10^4$	0.20

第 2.2 表 鋼材の材料定数

対象	種類	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
C/V	SGV49 (SGV480 相当)	$1.89 \times 10^5$	0.30
屋根トラス	SS41 (SS400 相当)	$2.05 \times 10^5$	0.30
	SM41 (SM400 相当)		
	SM50 (SM490 相当)		

### 3. 入力地震動

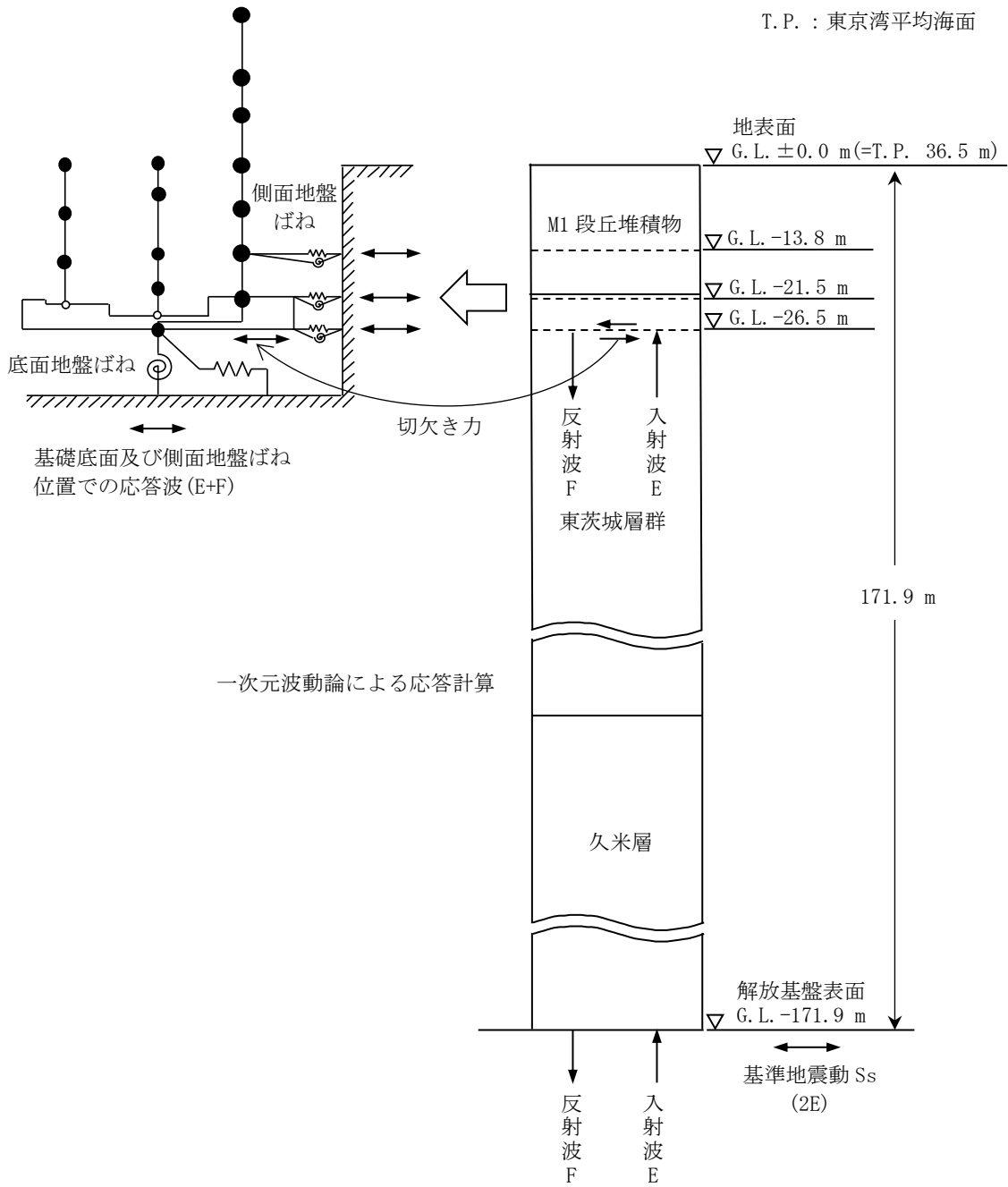
#### 3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を解放基盤表面に入力して次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を第 3.1 図に、地盤の物性値を第 3.1 表に、地盤の非線形特性を第 3.2 図及び第 3.3 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「D-PROP (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

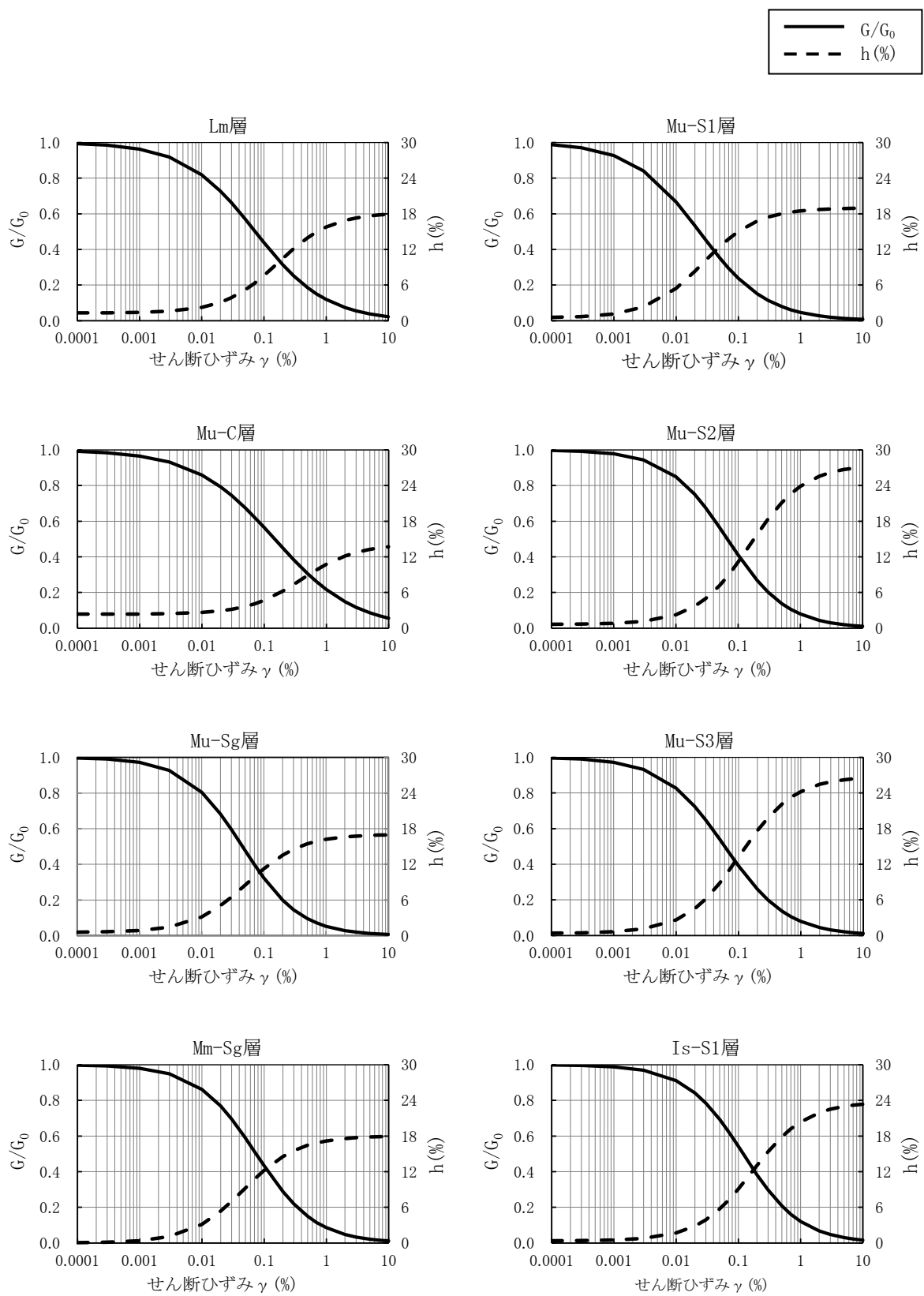
基準地震動  $S_s$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.4 図から第 3.14 図に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.15 図から第 3.17 図に示す。



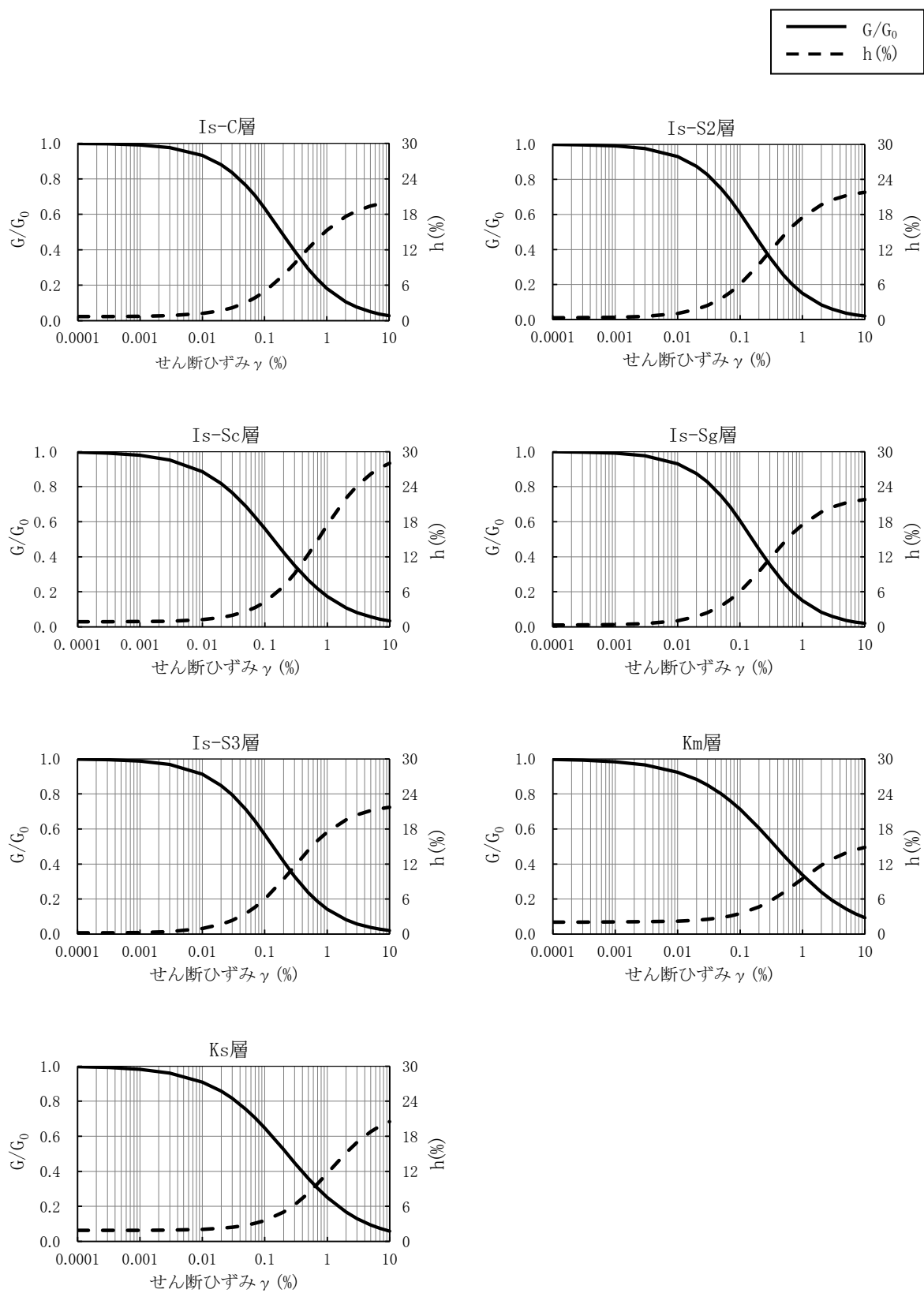
第 3.1 図 入力地震動算定の概要(水平方向)

第 3.1 表 地盤の物性値

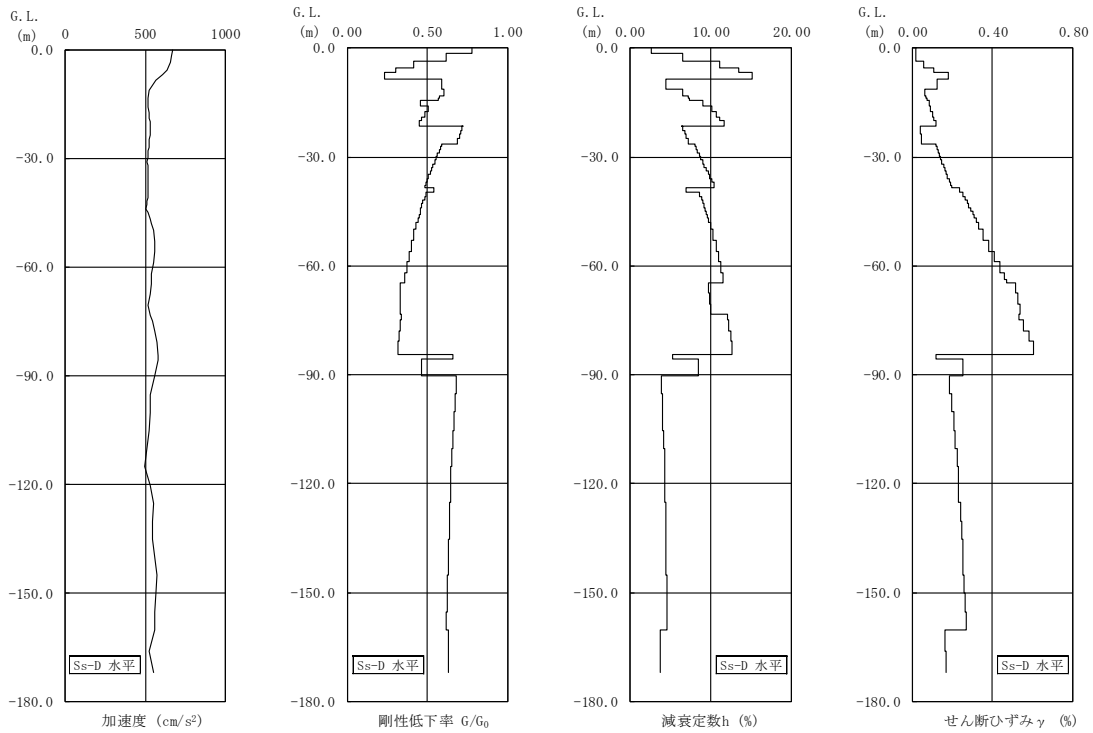
深さ G. L. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	動ポア ソン比 $\nu_d$	動せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	▽地表面				
-1.5	M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.47	42,300
-8.5		Mu-S1	1.90	0.44	222,000
-11.3		Mu-C	1.75	0.46	150,000
-14.3		Mu-S2	1.90	0.41	354,000
-15.9		Mu-Sg	2.02	0.44	409,000
-21.3		Mu-S3	1.81	0.38	386,000
-26.3		東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.38
-38.5	Is-S1		1.87	0.46	359,000
-39.6	Is-C		1.88	0.47	275,000
-64.6	Is-S2		1.86	0.47	288,000
-73.3	Is-Sc		1.82	0.47	285,000
-84.4	Is-S2		1.86	0.47	288,000
-85.8	Is-Sg		1.98	0.44	714,000
-90.2	Is-S3	1.97	0.45	485,000	
-160.3	久米層	Km	1.79	0.45	464,000
-171.9	▽解放基盤表面	Ks	1.88	0.43	763,000
	解放基盤		1.98	0.36	2,020,000



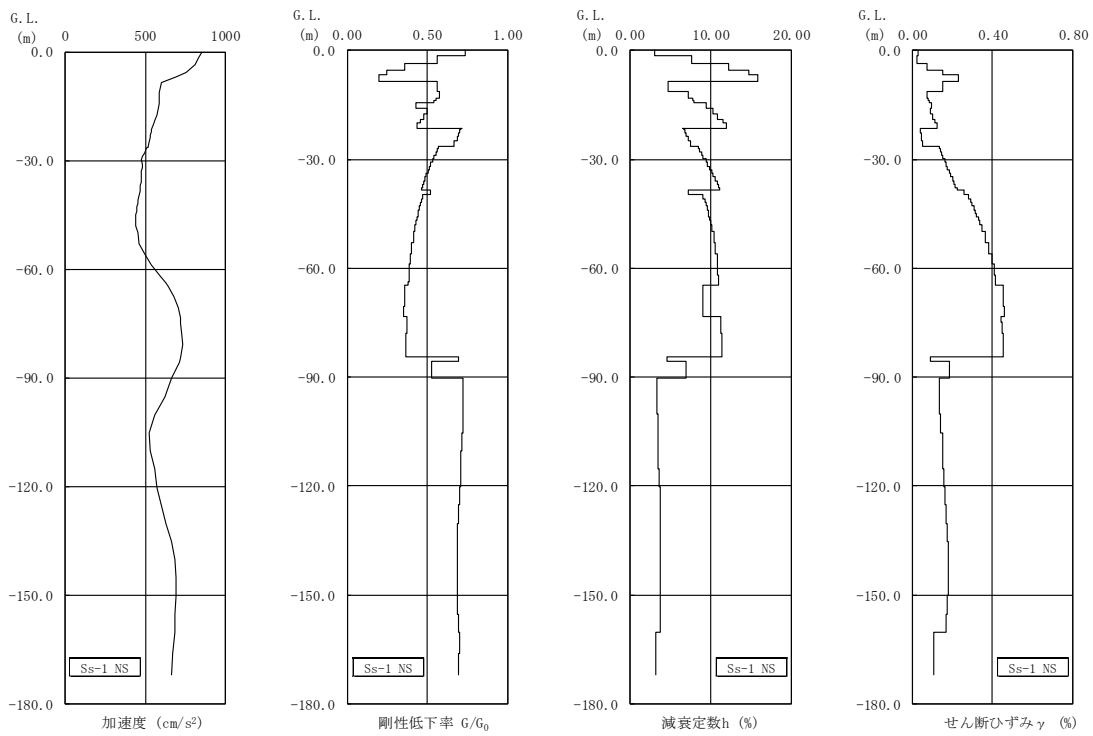
第 3.2 図 地盤の非線形特性(1/2)



第 3.3 図 地盤の非線形特性 (2/2)

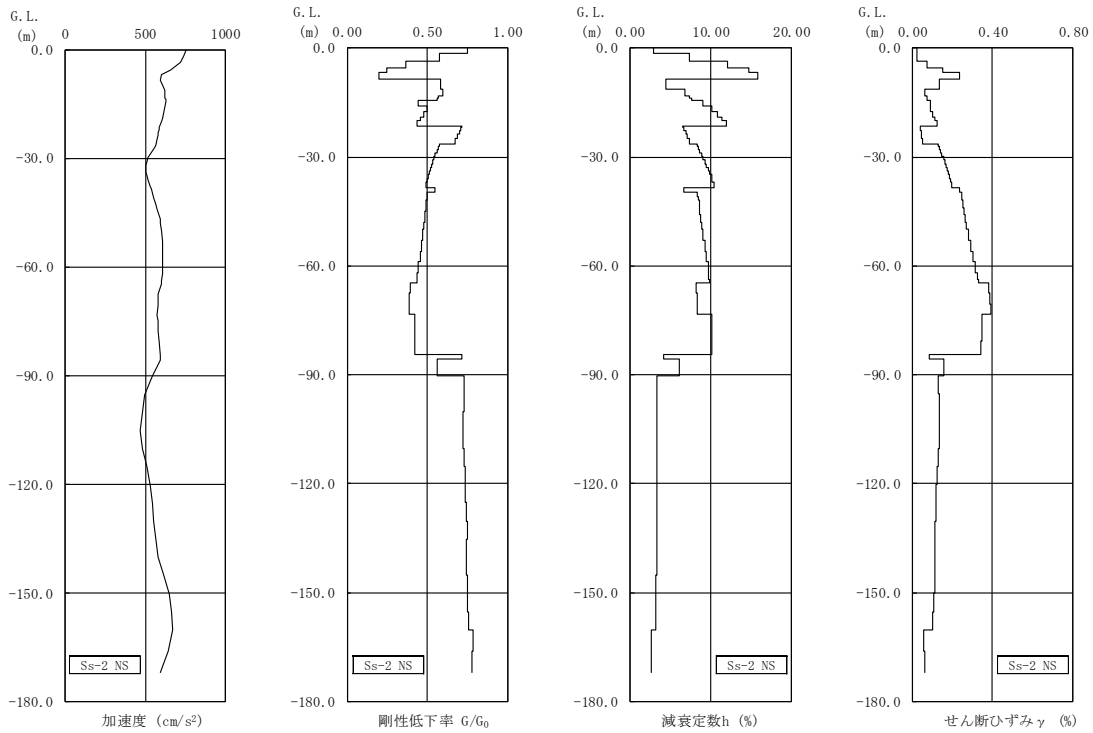


第 3.4 図 地盤の地震応答解析結果(水平方向、Ss-D)

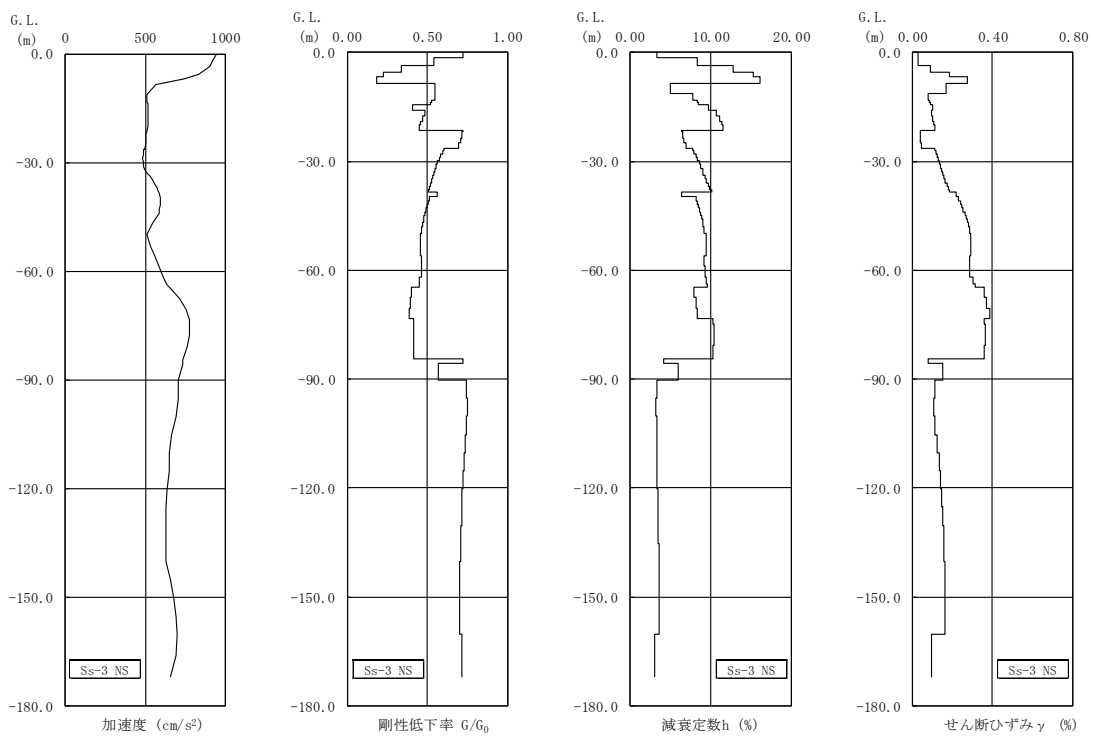


第 3.5 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Ss-1)

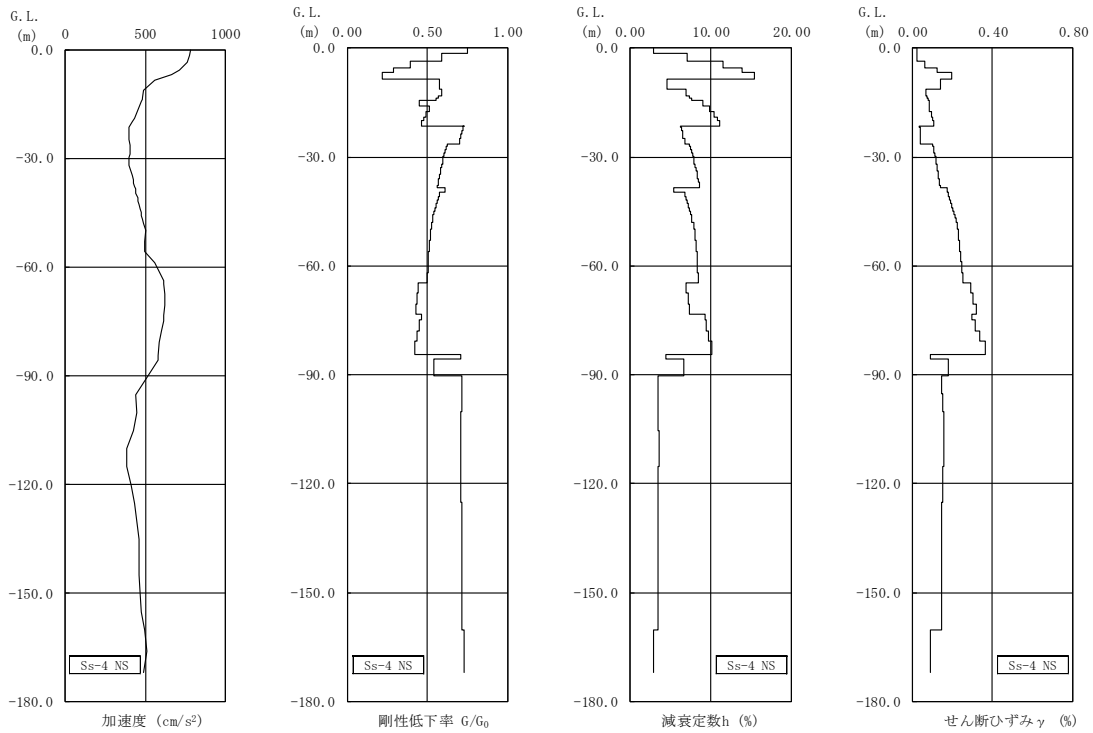




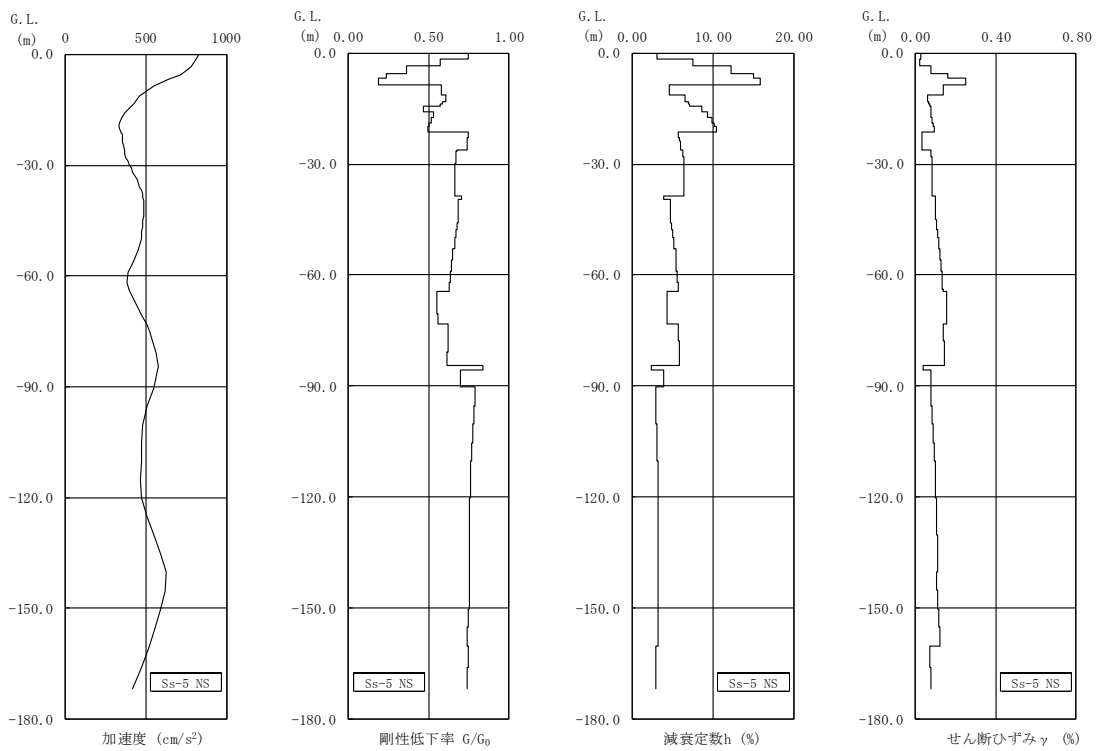
第 3.6 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Ss-2)



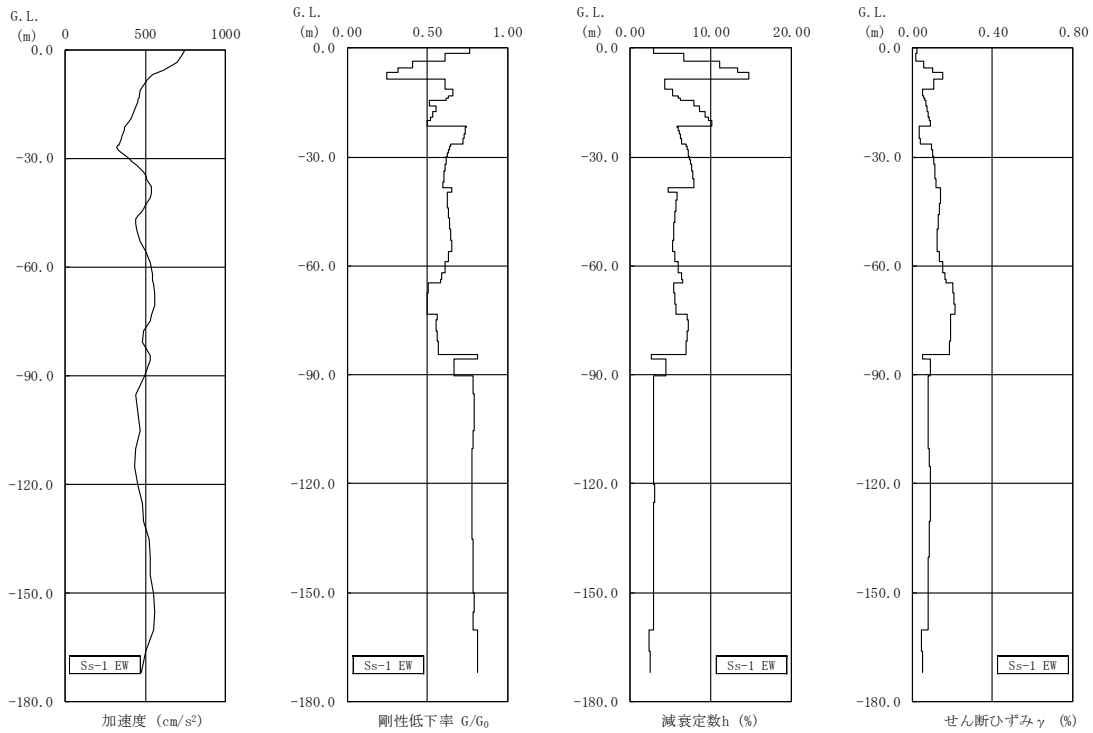
第 3.7 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Ss-3)



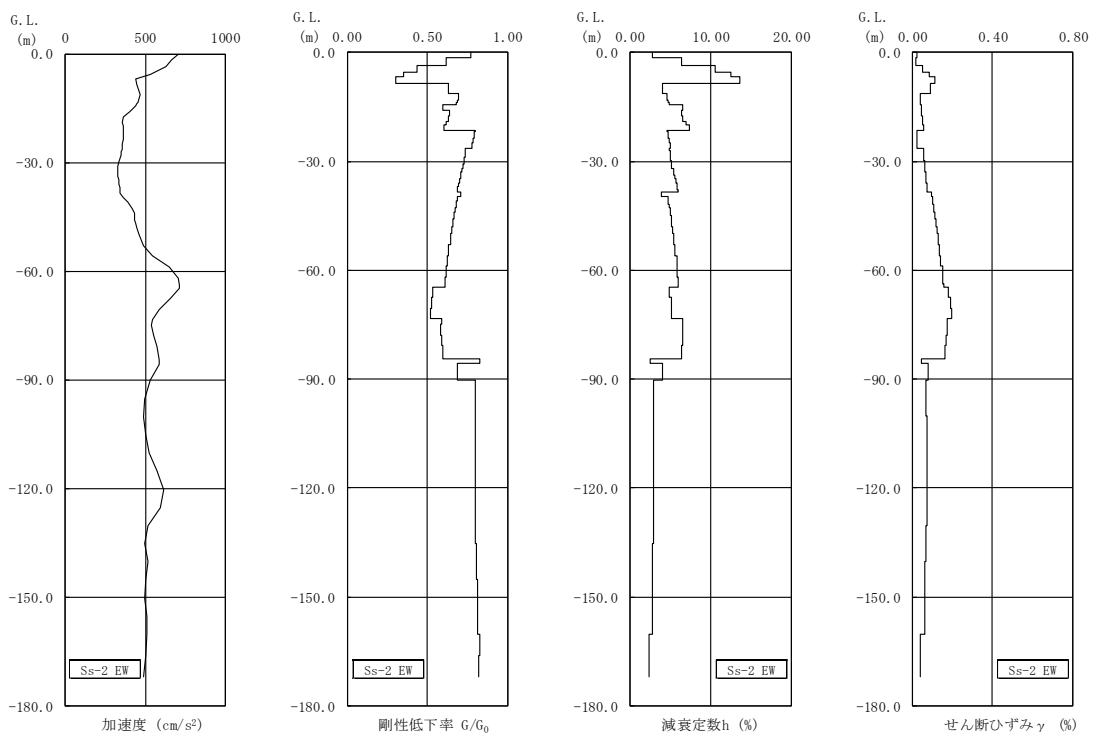
第 3.8 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Ss-4)



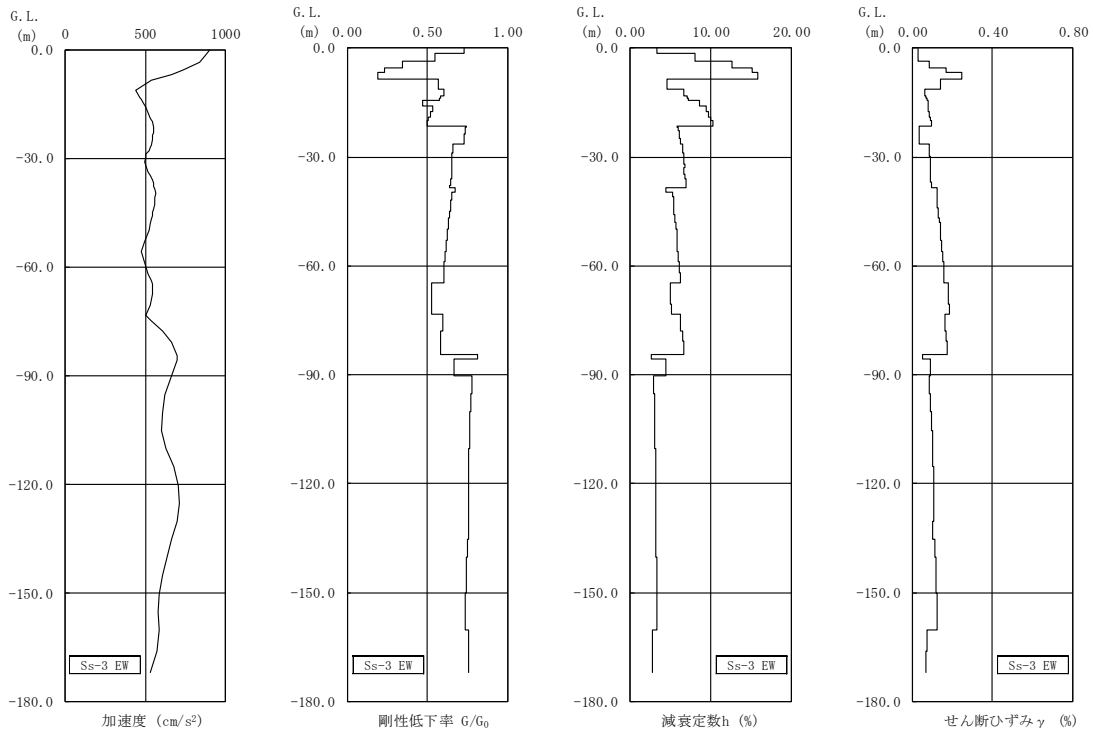
第 3.9 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Ss-5)



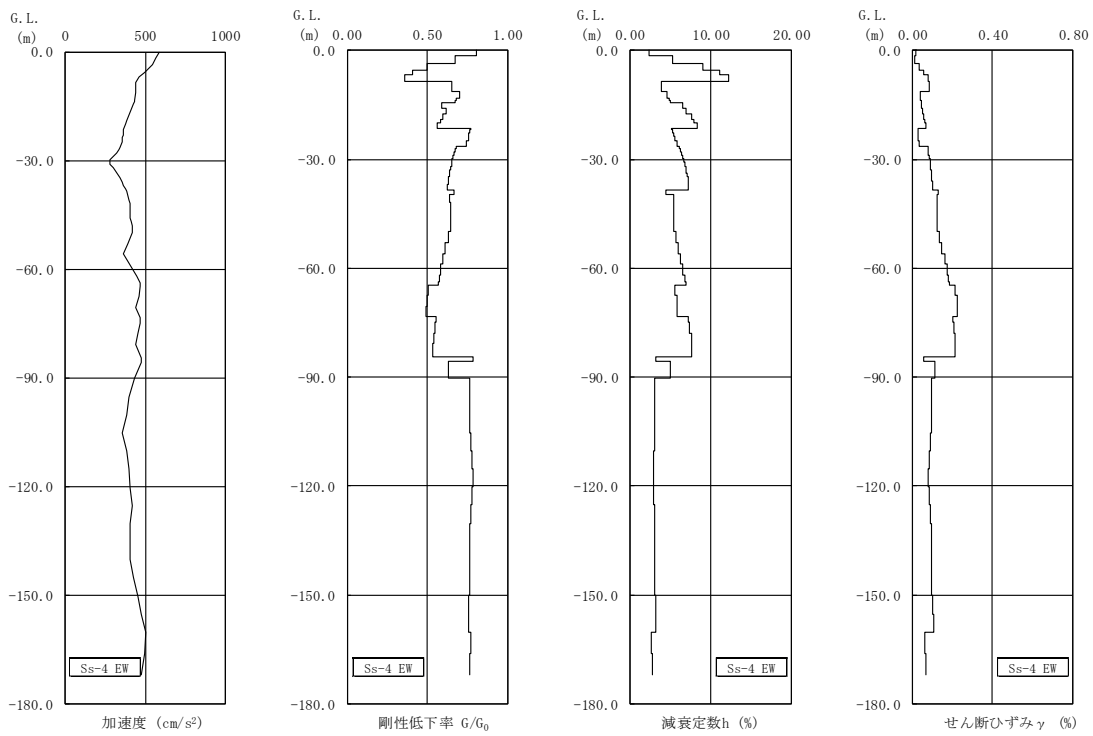
第 3.10 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Ss-1)



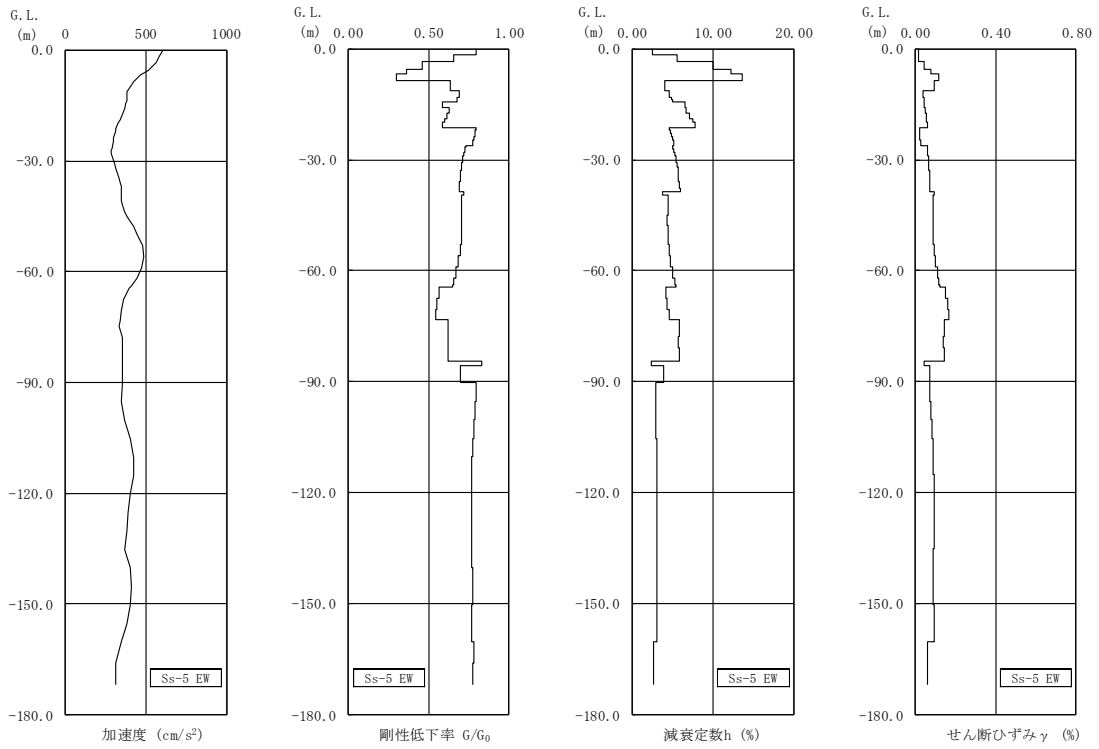
第 3.11 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Ss-2)



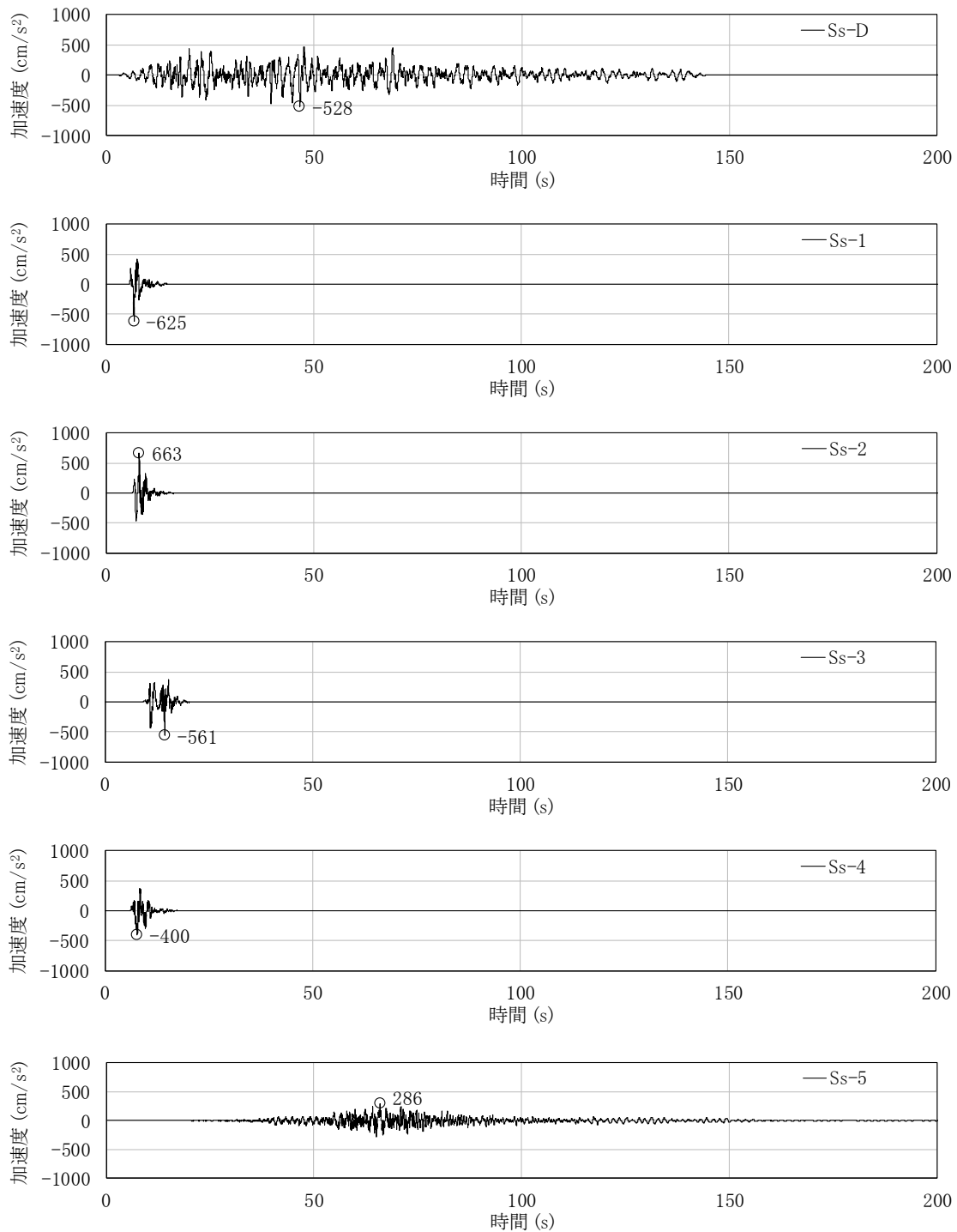
第 3.12 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Ss-3)



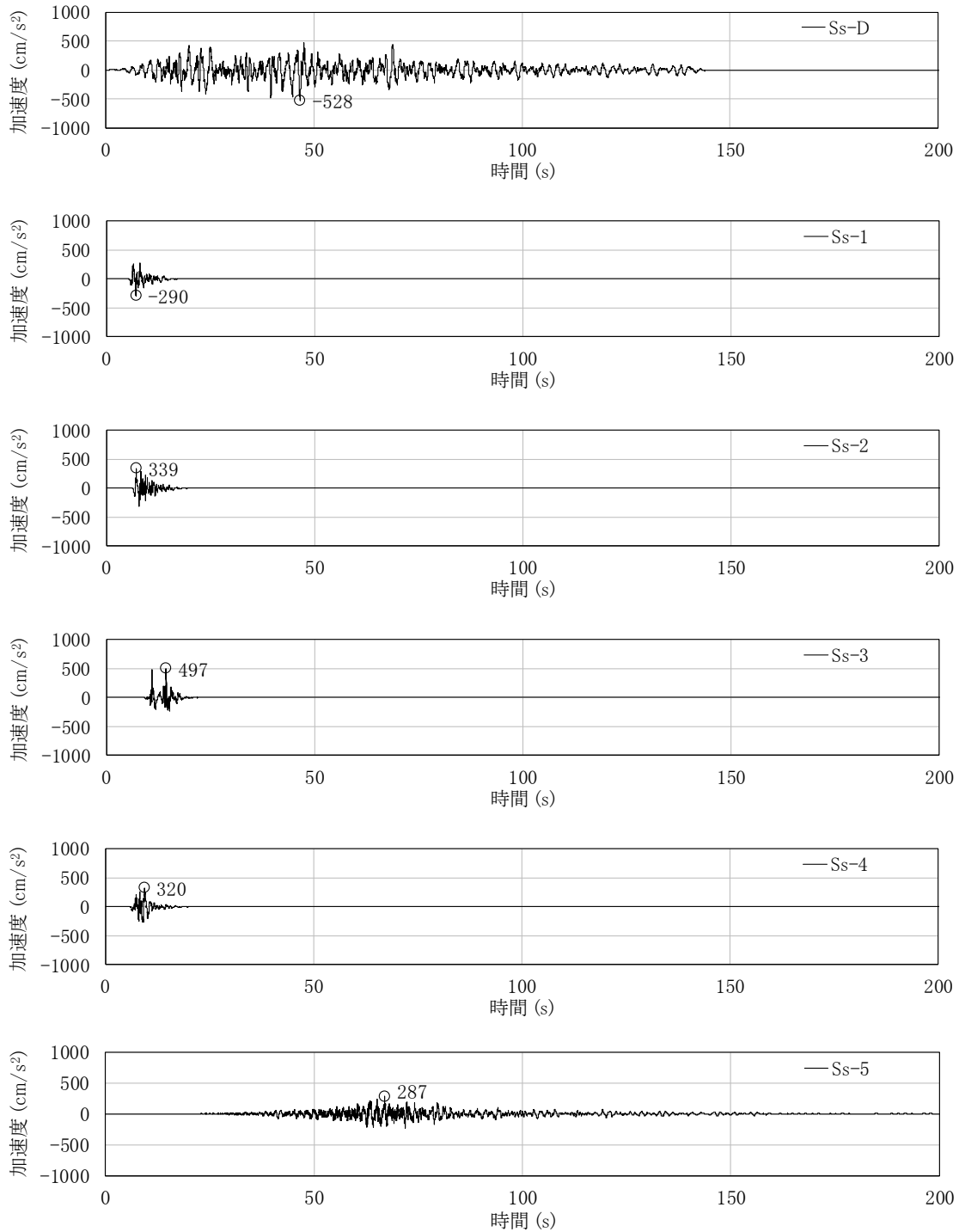
第 3.13 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Ss-4)



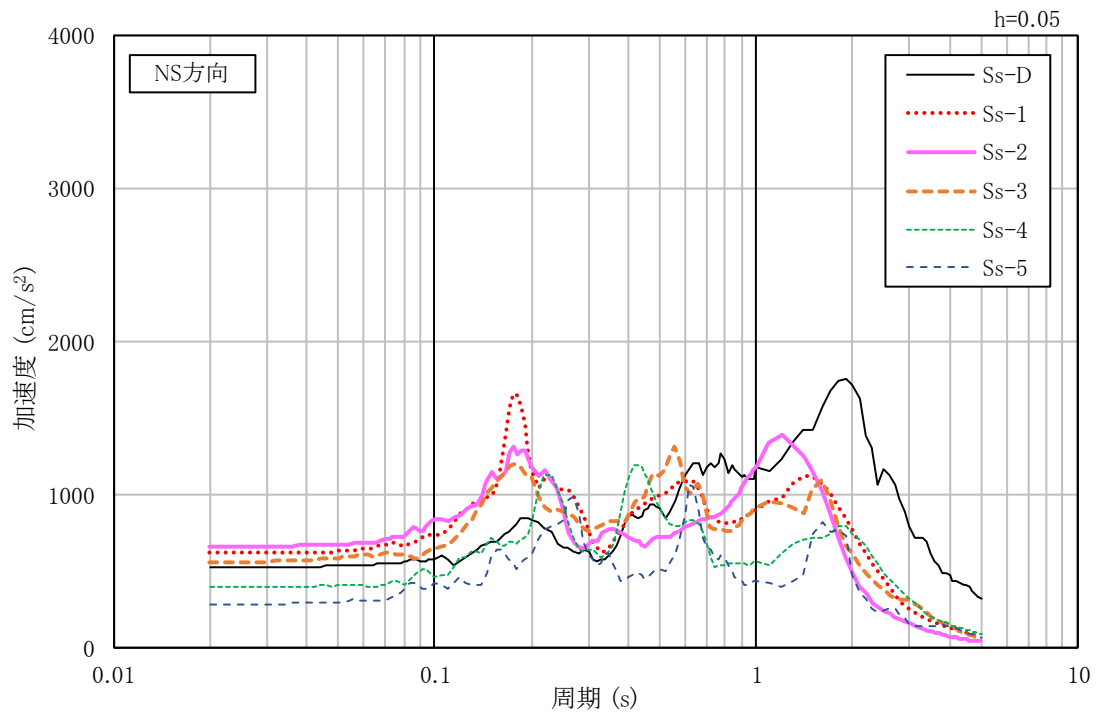
第 3.14 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Ss-5)



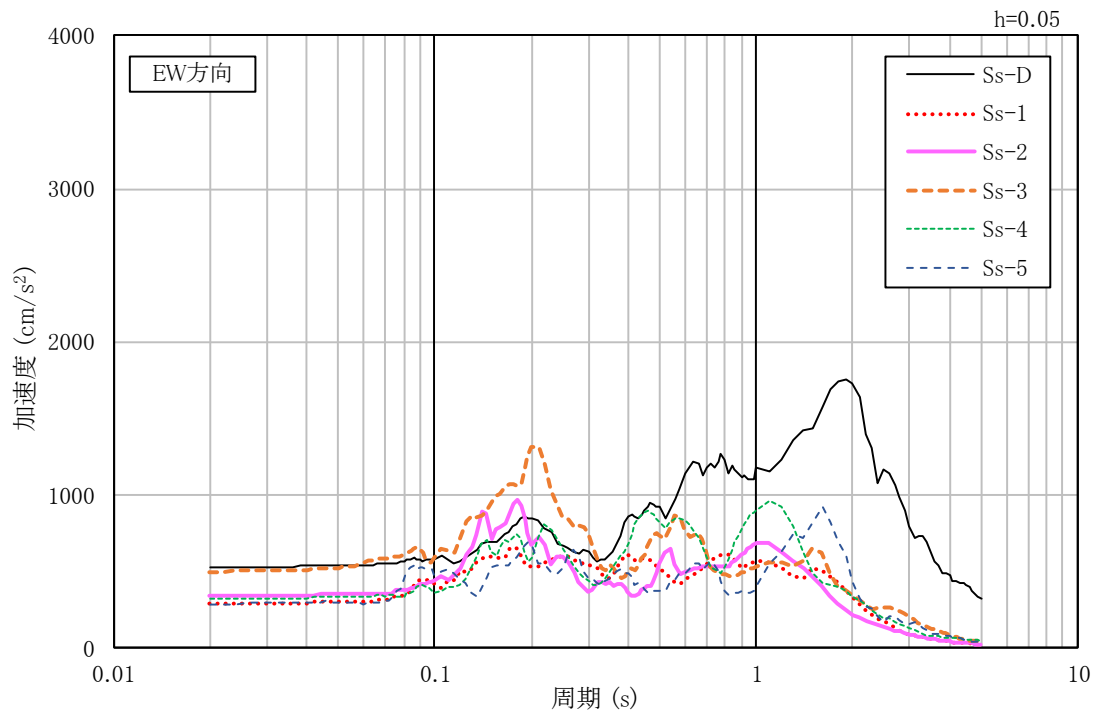
第 3.15 図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向、Ss、基礎底面位置)



第 3.16 図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向、Ss、基礎底面位置)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

第 3.17 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(Ss、基礎底面位置)



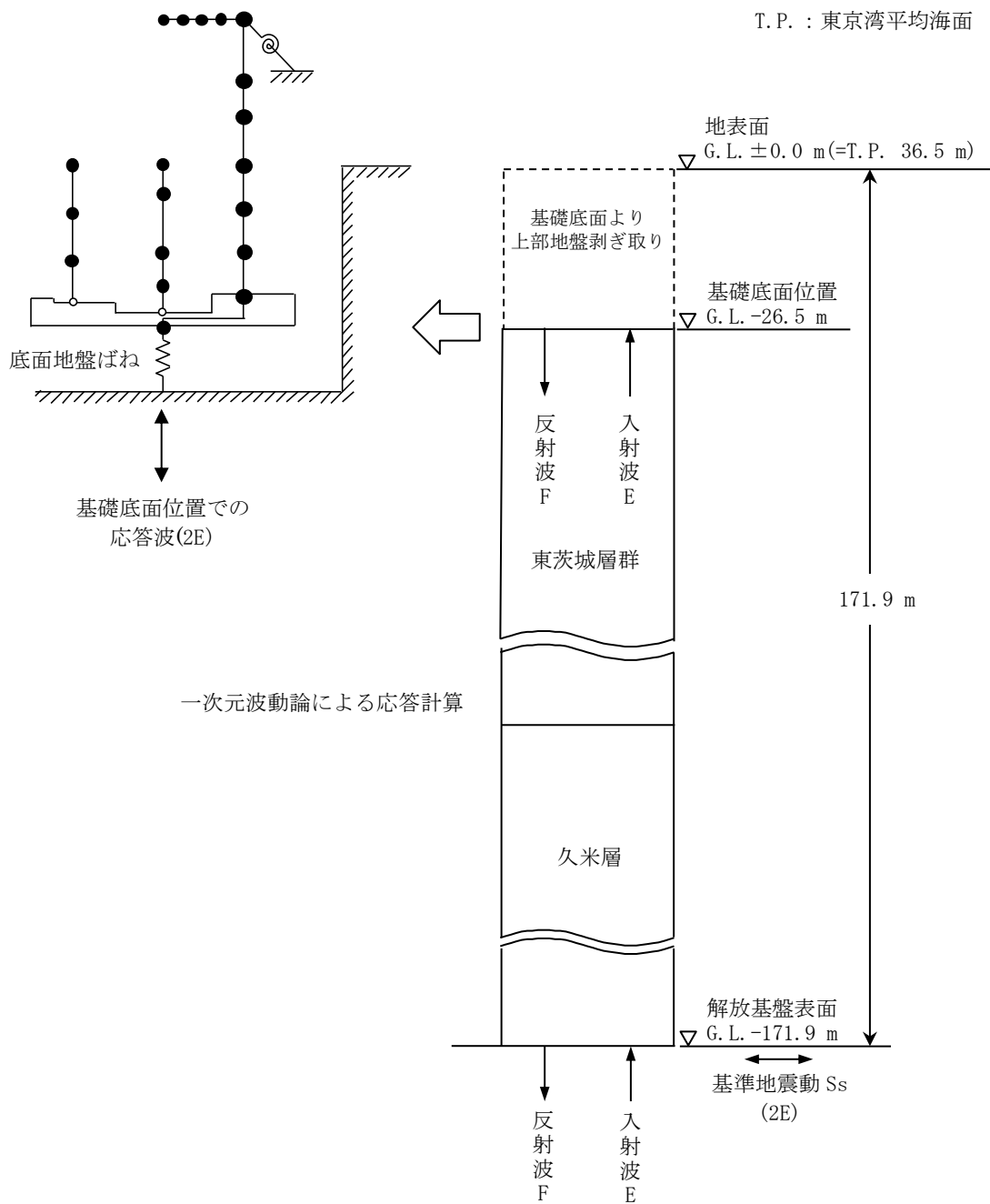
### 3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を解放基盤表面に入力して次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

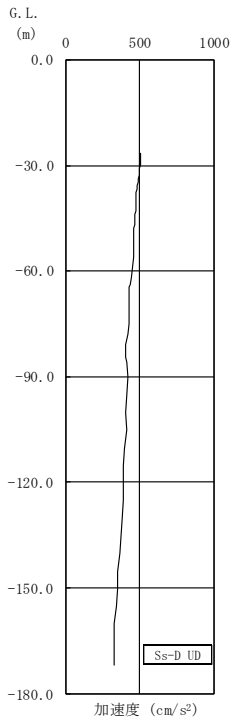
算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を第 3.18 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「D-PROP(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

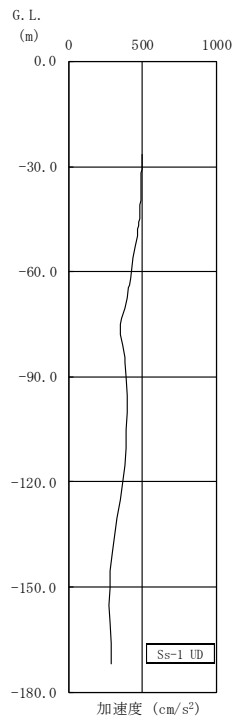
基準地震動  $S_s$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.19 図に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.20 図及び第 3.21 図に示す。



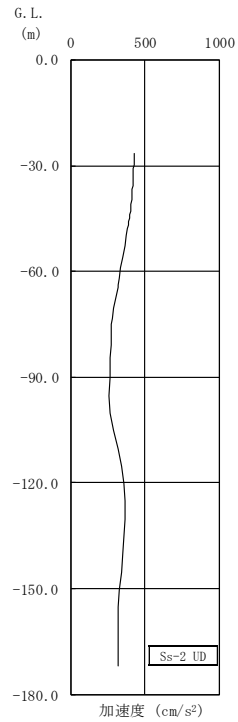
第 3.18 図 入力地震動算定の概要(鉛直方向)



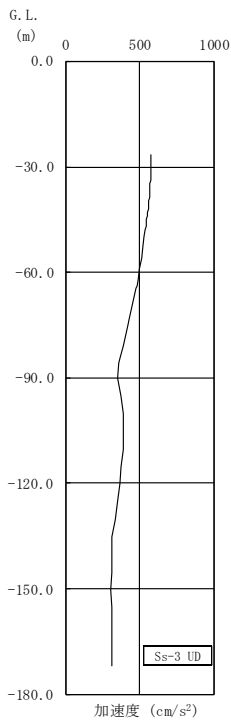
(a) Ss-D



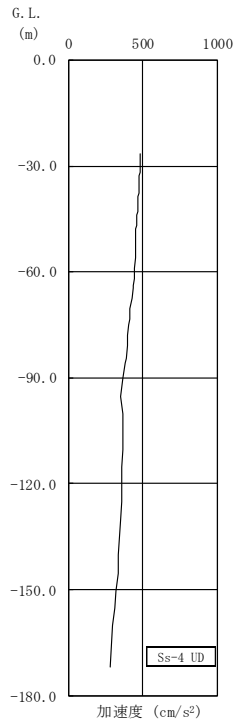
(b) Ss-1



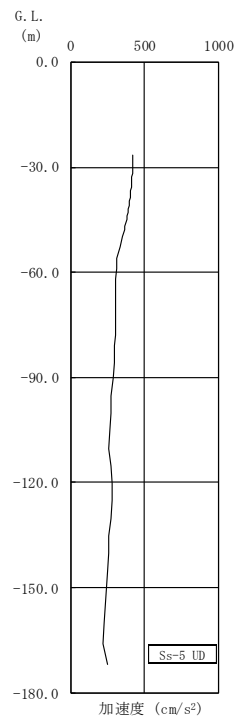
(c) Ss-2



(d) Ss-3

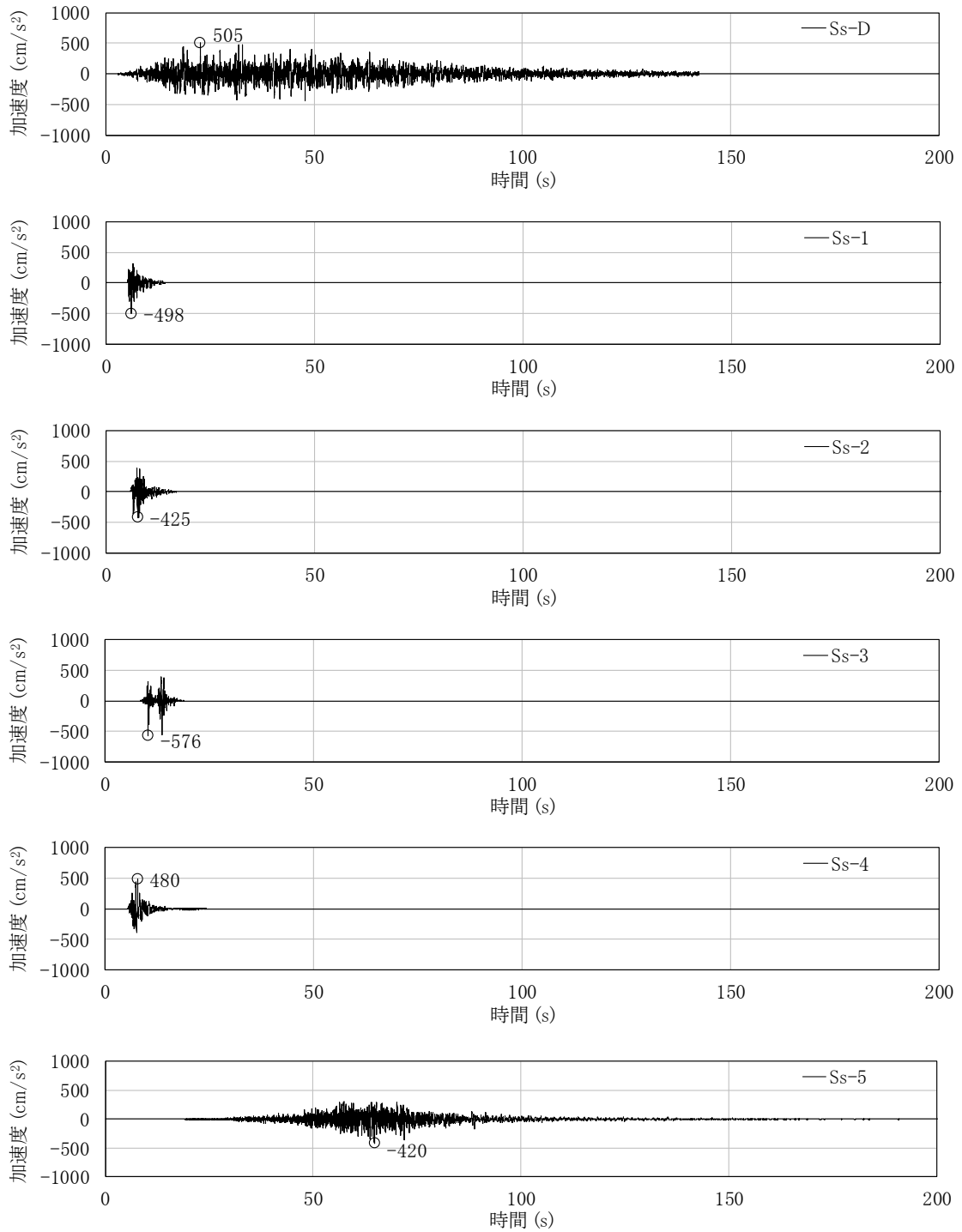


(e) Ss-4

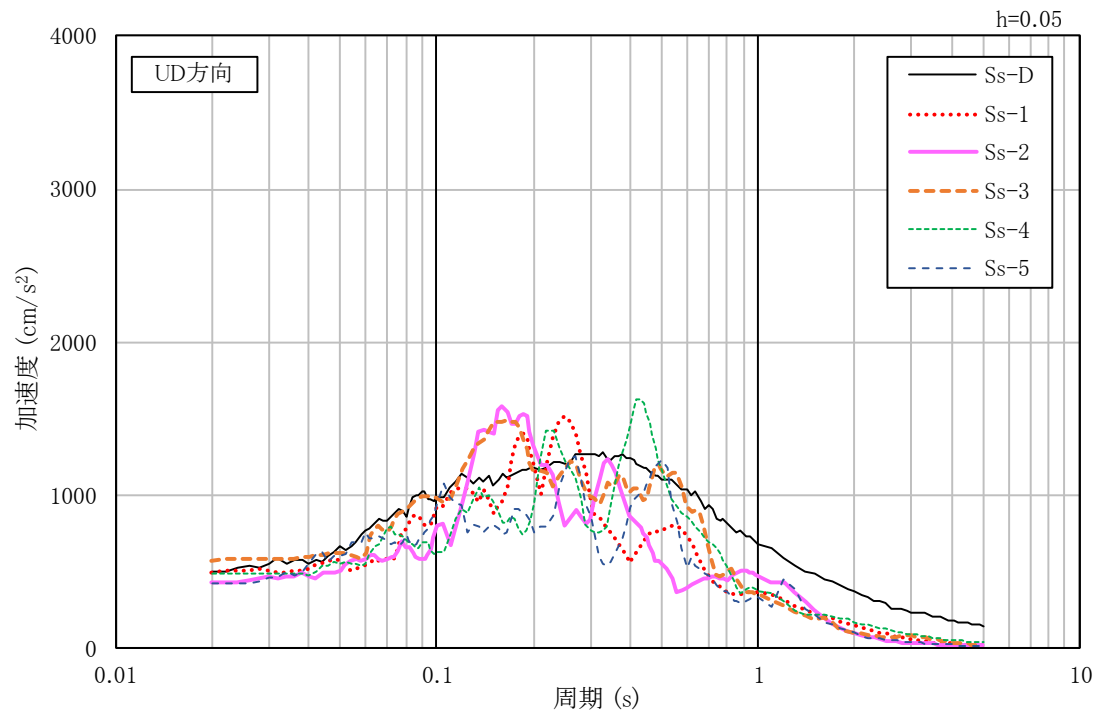


(f) Ss-5

第 3.19 図 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向、Ss)



第 3.20 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、Ss、基礎底面位置)



第 3.21 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、Ss、基礎底面位置)

## 4. 解析モデル

### 4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多軸多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを第 4.1 図に、解析モデルの諸元を第 4.1 表及び第 4.2 表に示す。

耐震壁のせん断の復元力特性は、第 4.2 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、第 4.3 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを第 4.3 表から第 4.6 表に示す。

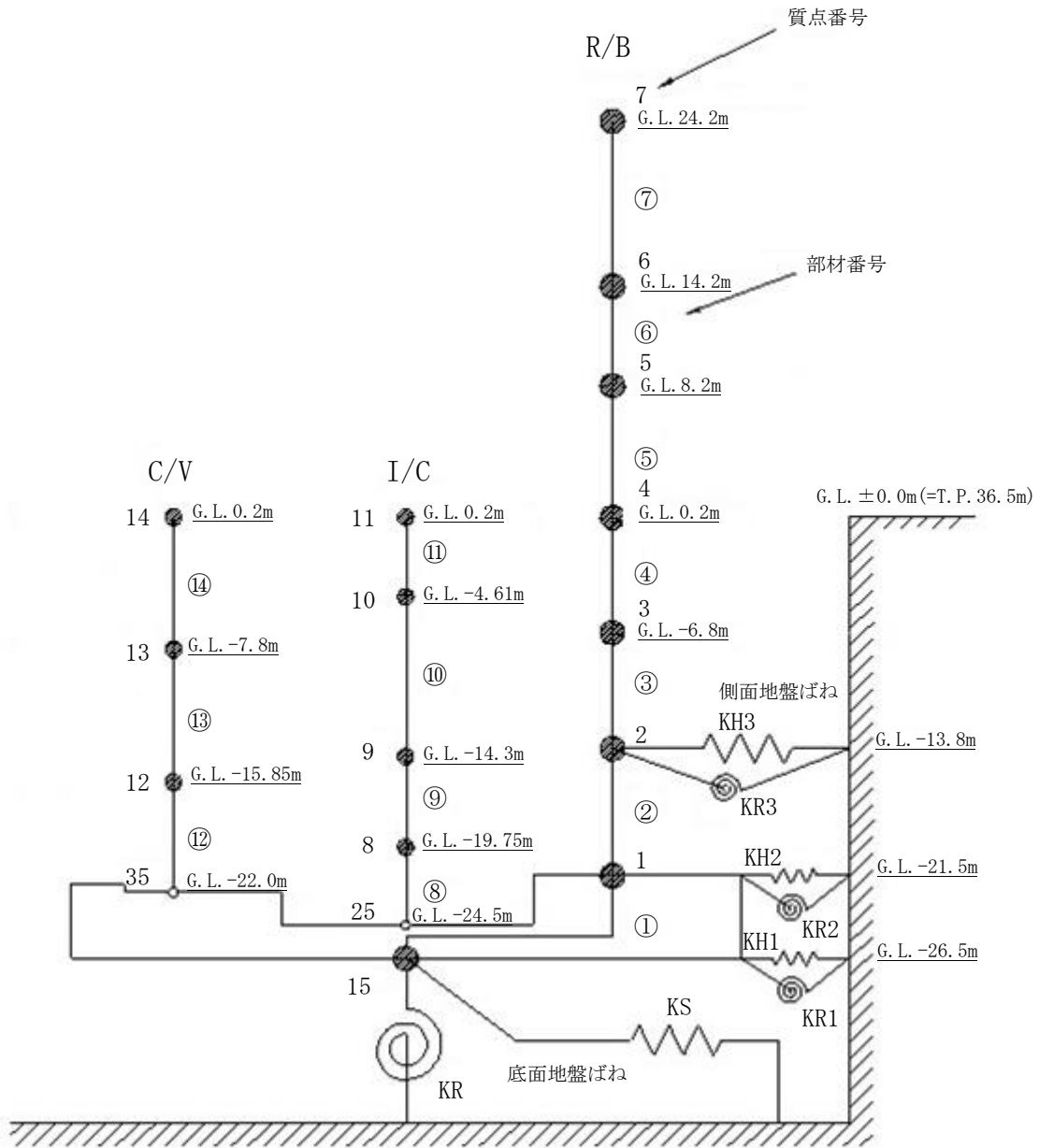
基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「admit(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「NOVAK(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.7 表及び第 4.8 表に、地盤ばねの定式化の概要を第 4.4 図に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%、C/V の鋼材部分の減衰定数は 1%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

なお、解析モデルの妥当性は地震観測シミュレーションにより確認している(添付書類 1-2-1-1. 地震観測シミュレーションによる原子炉建家の地震応答解析モデルの妥当性確認を参照のこと。)



第 4.1 図 解析モデル(水平方向)

第 4.1 表 解析モデルの諸元 (NS 方向)

R/B

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
7	24.2	18,460	773	—		
6	14.2	37,840	7,231	⑦	22.70	2.00
5	8.2	82,110	18,510	⑥	48.60	2.91
4	0.2	132,500	29,910	⑤	111.9	40.1
3	-6.8	137,900	31,130	④	173.7	60.2
2	-13.8	149,300	33,720	③	221.2	83.3
1	-21.5	214,800	48,620	②	252.4	98.6
15	-26.5	214,800	48,620	①	2,600	586
				—		

I/C

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
11	0.2	6,649	44	—		
10	-4.61	23,890	535	⑪	7.90	0.13
9	-14.3	30,030	693	⑩	51.90	2.65
8	-19.75	18,880	414	⑨	58.80	2.65
25	-24.5			⑧	93.40	2.85
				—		

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
14	0.2	1,834		—		
13	-7.8	1,638		⑭	0.873	0.075
12	-15.85	1,638		⑬	0.873	0.075
35	-22.0			⑫	0.873	0.075
				—		



第 4.2 表 解析モデルの諸元(EW 方向)

R/B

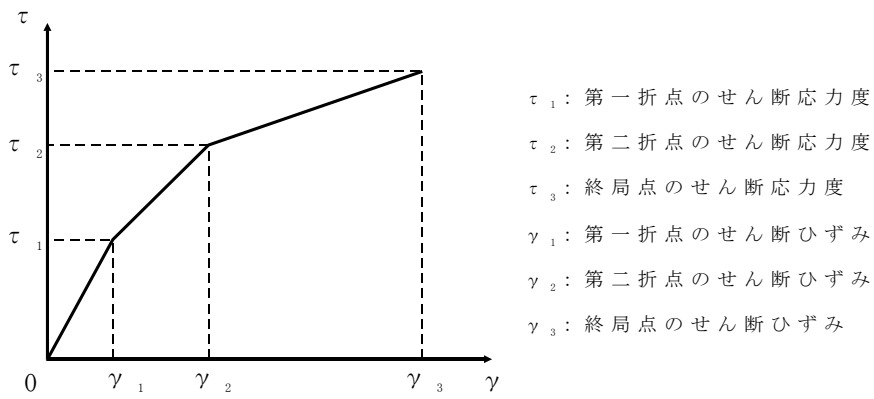
質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
7	24.2	18,460	2,524	—		
6	14.2	37,840	4,266	⑦	42.90	9.45
5	8.2	82,110	17,120	⑥	64.10	12.0
4	0.2	132,500	27,660	⑤	124.3	42.2
3	-6.8	137,900	28,790	④	158.0	58.4
2	-13.8	149,300	31,190	③	194.8	77.9
1	-21.5	214,800	44,970	②	227.8	93.2
15	-26.5	214,800	44,970	①	2,600	542
				—		

I/C

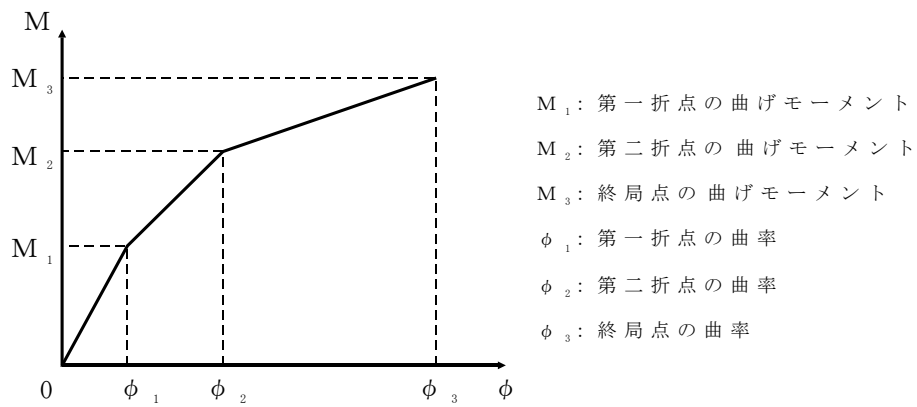
質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
11	0.2	6,649	43.74	—		
10	-4.61	23,890	534.6	⑪	8.10	0.13
9	-14.3	30,030	692.9	⑩	50.90	3.26
8	-19.75	18,880	413.8	⑨	59.50	3.25
25	-24.5			⑧	94.60	3.84
				—		

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
14	0.2	1,834		—		
13	-7.8	1,638		⑭	0.873	0.075
12	-15.85	1,638		⑬	0.873	0.075
35	-22.0			⑫	0.873	0.075
				—		



第 4.2 図 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)



第 4.3 図 曲げのスケルトンカーブ ( $M - \phi$  関係)

第 4.3 表 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau$ - $\gamma$  関係、NS 方向)

部材 番号*	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
⑦	1.66	0.178	2.25	0.533	4.26	4.00	R/B
⑥	1.77	0.188	2.39	0.565	5.32	4.00	
⑤	1.80	0.192	2.43	0.576	5.15	4.00	
④	1.89	0.202	2.55	0.605	5.42	4.00	
③	1.96	0.209	2.65	0.628	5.51	4.00	
②	2.03	0.216	2.73	0.648	5.46	4.00	
⑪	1.71	0.183	2.31	0.548	4.70	4.00	I/C
⑩	1.66	0.177	2.24	0.531	4.53	4.00	
⑨	1.80	0.192	2.43	0.576	4.56	4.00	
⑧	1.79	0.191	2.42	0.574	4.11	4.00	

※ 部材番号⑫~⑭(C/V)は線形とする。

第 4.4 表 曲げのスケルトンカーブ (M- $\phi$  関係、NS 方向)

部材 番号*	$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-3}$ 1/m)	備考
⑦	4.03	0.895	0.507	8.68	0.713	1.74	R/B
⑥	6.65	1.02	1.32	9.68	2.21	1.94	
⑤	38.3	0.424	7.72	4.24	12.0	0.567	
④	66.1	0.488	15.9	4.37	25.4	0.474	
③	98.2	0.524	22.8	4.37	35.5	0.523	
②	123	0.555	27.8	4.38	42.2	0.557	
⑪	0.746	2.55	0.160	26.8	0.244	5.36	I/C
⑩	6.48	1.09	1.37	12.0	2.06	2.40	
⑨	7.44	1.25	1.66	12.5	2.38	2.41	
⑧	7.91	1.23	1.84	12.8	2.52	2.29	

※ 部材番号⑫~⑭(C/V)は線形とする。

第 4.5 表 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau$ - $\gamma$  関係、EW 方向)

部材 番号*	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
⑦	1.66	0.178	2.25	0.533	4.68	4.00	R/B
⑥	1.77	0.188	2.39	0.565	4.99	4.00	
⑤	1.80	0.192	2.43	0.576	5.23	4.00	
④	1.89	0.202	2.55	0.605	5.39	4.00	
③	1.96	0.209	2.65	0.628	5.52	4.00	
②	2.03	0.216	2.73	0.648	5.44	4.00	
⑪	1.71	0.183	2.31	0.548	4.69	4.00	I/C
⑩	1.66	0.177	2.24	0.531	4.48	4.00	
⑨	1.80	0.192	2.43	0.576	4.52	4.00	
⑧	1.79	0.191	2.42	0.574	4.10	4.00	

※ 部材番号⑫~⑭(C/V)は線形とする。

第 4.6 表 曲げのスケルトンカーブ (M- $\phi$  関係、EW 方向)

部材 番号*	$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-3}$ 1/m)	備考
⑦	10.3	0.486	1.43	4.85	2.15	0.970	R/B
⑥	14.7	0.544	2.56	5.14	4.06	1.03	
⑤	43.3	0.456	8.87	4.30	14.1	0.689	
④	66.5	0.506	15.1	4.46	23.6	0.586	
③	95.4	0.544	21.3	4.47	32.6	0.627	
②	121	0.577	26.4	4.50	39.9	0.631	
⑪	0.746	2.55	0.161	26.8	0.244	5.36	I/C
⑩	7.99	1.09	1.66	12.2	2.53	2.45	
⑨	9.14	1.25	1.95	12.6	2.84	2.28	
⑧	10.6	1.23	2.23	13.1	3.15	2.10	

※ 部材番号⑫~⑭(C/V)は線形とする。

第 4.7 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向、Ss)

(a) Ss-D、Ss-1、Ss-2

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KH3	$5.391 \times 10^6$	$1.250 \times 10^6$
			KH2	$8.638 \times 10^6$	$1.477 \times 10^6$
			KH1	$5.223 \times 10^6$	$7.563 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.332 \times 10^9$	$2.691 \times 10^8$
			KR2	$5.413 \times 10^9$	$3.159 \times 10^8$
			KR1	$3.259 \times 10^9$	$1.500 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$3.258 \times 10^7$	$1.649 \times 10^6$
		回転	KR	$2.747 \times 10^{10}$	$4.774 \times 10^8$
Ss-1	側面	水平	KH3	$5.552 \times 10^6$	$1.270 \times 10^6$
			KH2	$8.838 \times 10^6$	$1.493 \times 10^6$
			KH1	$5.292 \times 10^6$	$7.597 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.432 \times 10^9$	$2.749 \times 10^8$
			KR2	$5.538 \times 10^9$	$3.229 \times 10^8$
			KR1	$3.302 \times 10^9$	$1.532 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$3.847 \times 10^7$	$1.798 \times 10^6$
		回転	KR	$3.285 \times 10^{10}$	$5.075 \times 10^8$
Ss-2	側面	水平	KH3	$5.976 \times 10^6$	$1.318 \times 10^6$
			KH2	$9.382 \times 10^6$	$1.538 \times 10^6$
			KH1	$5.533 \times 10^6$	$7.765 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.693 \times 10^9$	$2.848 \times 10^8$
			KR2	$5.879 \times 10^9$	$3.326 \times 10^8$
			KR1	$3.453 \times 10^9$	$1.570 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.142 \times 10^7$	$1.865 \times 10^6$
		回転	KR	$3.537 \times 10^{10}$	$5.237 \times 10^8$

第 4.7 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向、Ss)

(b) Ss-3、Ss-4、Ss-5

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-3	側面	水平	KH3	$5.258 \times 10^6$	$1.238 \times 10^6$
			KH2	$8.891 \times 10^6$	$1.497 \times 10^6$
			KH1	$5.393 \times 10^6$	$7.669 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.249 \times 10^9$	$2.692 \times 10^8$
			KR2	$5.572 \times 10^9$	$3.244 \times 10^8$
			KR1	$3.365 \times 10^9$	$1.547 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.057 \times 10^7$	$1.844 \times 10^6$
		回転	KR	$3.464 \times 10^{10}$	$5.145 \times 10^8$
Ss-4	側面	水平	KH3	$5.946 \times 10^6$	$1.314 \times 10^6$
			KH2	$9.299 \times 10^6$	$1.531 \times 10^6$
			KH1	$5.496 \times 10^6$	$7.738 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.675 \times 10^9$	$2.842 \times 10^8$
			KR2	$5.827 \times 10^9$	$3.315 \times 10^8$
			KR1	$3.430 \times 10^9$	$1.566 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.177 \times 10^7$	$1.872 \times 10^6$
		回転	KR	$3.567 \times 10^{10}$	$5.242 \times 10^8$
Ss-5	側面	水平	KH3	$6.039 \times 10^6$	$1.326 \times 10^6$
			KH2	$9.635 \times 10^6$	$1.558 \times 10^6$
			KH1	$5.707 \times 10^6$	$7.879 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.732 \times 10^9$	$2.880 \times 10^8$
			KR2	$6.038 \times 10^9$	$3.392 \times 10^8$
			KR1	$3.561 \times 10^9$	$1.605 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.790 \times 10^7$	$1.996 \times 10^6$
		回転	KR	$4.040 \times 10^{10}$	$5.387 \times 10^8$

第 4.8 表 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、Ss)

(a) Ss-D、Ss-1、Ss-2

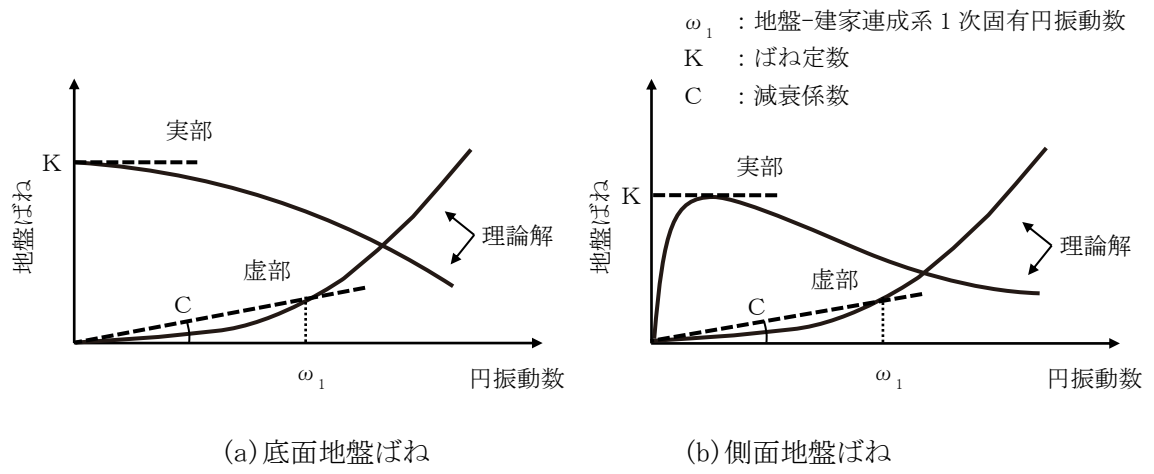
地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KH3	$5.391 \times 10^6$	$1.250 \times 10^6$
			KH2	$8.638 \times 10^6$	$1.477 \times 10^6$
			KH1	$5.223 \times 10^6$	$7.563 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.332 \times 10^9$	$2.691 \times 10^8$
			KR2	$5.413 \times 10^9$	$3.159 \times 10^8$
			KR1	$3.259 \times 10^9$	$1.500 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$3.330 \times 10^7$	$1.662 \times 10^6$
		回転	KR	$2.597 \times 10^{10}$	$4.360 \times 10^8$
Ss-1	側面	水平	KH3	$5.552 \times 10^6$	$1.270 \times 10^6$
			KH2	$8.838 \times 10^6$	$1.493 \times 10^6$
			KH1	$5.292 \times 10^6$	$7.598 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.432 \times 10^9$	$2.747 \times 10^8$
			KR2	$5.538 \times 10^9$	$3.226 \times 10^8$
			KR1	$3.302 \times 10^9$	$1.530 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$3.919 \times 10^7$	$1.813 \times 10^6$
		回転	KR	$3.106 \times 10^{10}$	$4.620 \times 10^8$
Ss-2	側面	水平	KH3	$5.976 \times 10^6$	$1.317 \times 10^6$
			KH2	$9.382 \times 10^6$	$1.538 \times 10^6$
			KH1	$5.533 \times 10^6$	$7.767 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.693 \times 10^9$	$2.845 \times 10^8$
			KR2	$5.879 \times 10^9$	$3.321 \times 10^8$
			KR1	$3.453 \times 10^9$	$1.567 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.193 \times 10^7$	$1.879 \times 10^6$
		回転	KR	$3.344 \times 10^{10}$	$4.755 \times 10^8$

第 4.8 表 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、Ss)

(b) Ss-3、Ss-4、Ss-5

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-3	側面	水平	KH3	$5.258 \times 10^6$	$1.238 \times 10^6$
			KH2	$8.891 \times 10^6$	$1.497 \times 10^6$
			KH1	$5.393 \times 10^6$	$7.670 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.249 \times 10^9$	$2.690 \times 10^8$
			KR2	$5.572 \times 10^9$	$3.241 \times 10^8$
			KR1	$3.365 \times 10^9$	$1.545 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.114 \times 10^7$	$1.859 \times 10^6$
		回転	KR	$3.275 \times 10^{10}$	$4.683 \times 10^8$
Ss-4	側面	水平	KH3	$5.946 \times 10^6$	$1.314 \times 10^6$
			KH2	$9.299 \times 10^6$	$1.531 \times 10^6$
			KH1	$5.496 \times 10^6$	$7.739 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.675 \times 10^9$	$2.840 \times 10^8$
			KR2	$5.827 \times 10^9$	$3.313 \times 10^8$
			KR1	$3.430 \times 10^9$	$1.565 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.226 \times 10^7$	$1.887 \times 10^6$
		回転	KR	$3.372 \times 10^{10}$	$4.771 \times 10^8$
Ss-5	側面	水平	KH3	$6.039 \times 10^6$	$1.326 \times 10^6$
			KH2	$9.635 \times 10^6$	$1.558 \times 10^6$
			KH1	$5.707 \times 10^6$	$7.881 \times 10^5$
		回転	KR3	$3.732 \times 10^9$	$2.876 \times 10^8$
			KR2	$6.038 \times 10^9$	$3.387 \times 10^8$
			KR1	$3.561 \times 10^9$	$1.602 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.807 \times 10^7$	$2.011 \times 10^6$
		回転	KR	$3.819 \times 10^{10}$	$4.888 \times 10^8$





第 4.4 図 地盤ばねの定式化の概要

## 4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多軸多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結し、屋根トラス部分は、屋根形状に合わせて質点を配置し、梁要素でモデル化、回転拘束ばねで連結する。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

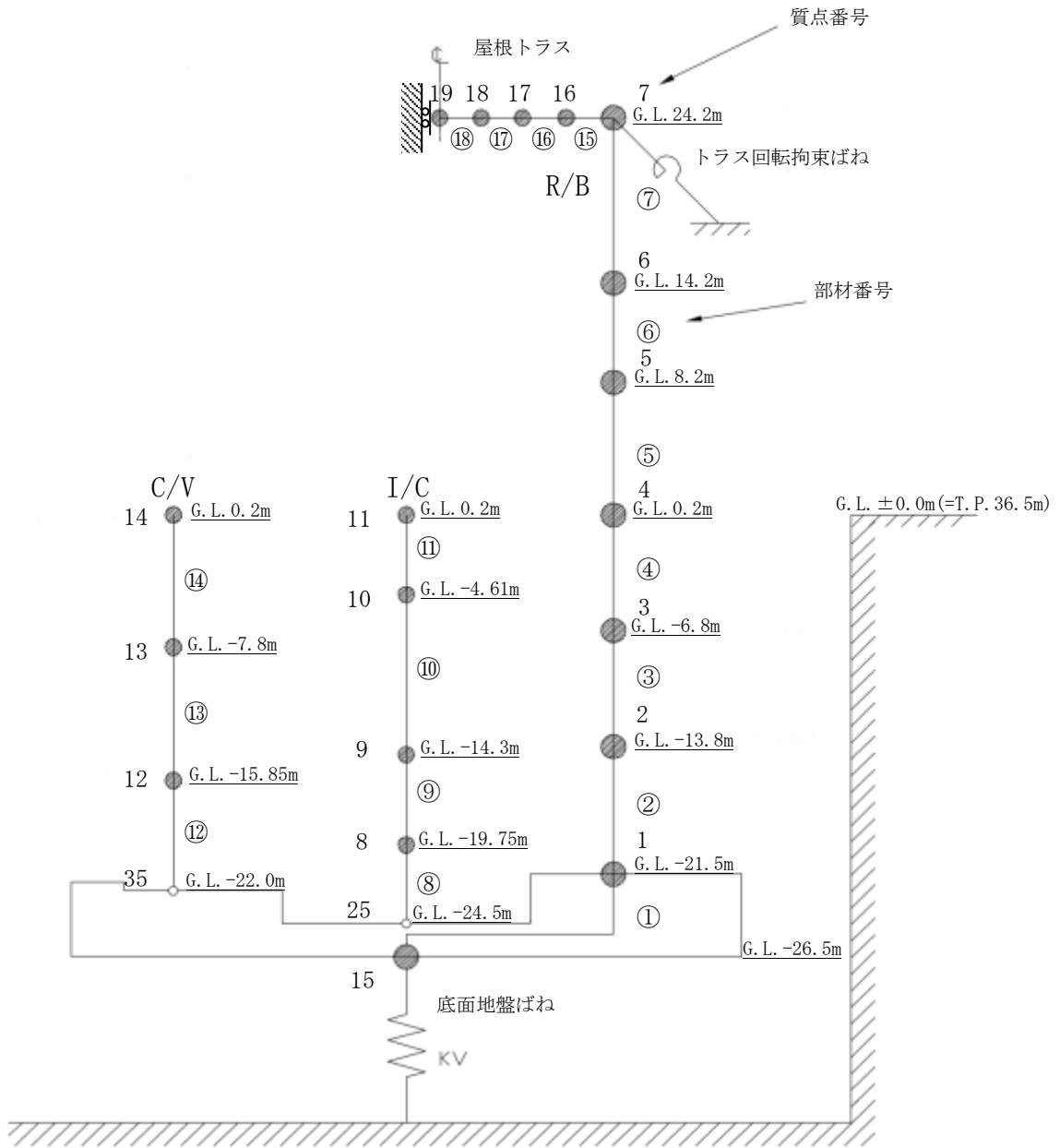
鉛直方向の解析モデルを第 4.5 図に、解析モデルの諸元を第 4.9 表及び第 4.10 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「admit(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.11 表に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%、C/V の鋼材部分の減衰定数は 1%、屋根の鉄骨部分の減衰定数は 2%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.5 図 解析モデル(鉛直方向)

第 4.9 表 解析モデルの諸元 (鉛直方向、R/B、I/C、C/V)

R/B

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
7	24.2	12,780	46.27	—	
6	14.2	37,840		⑦	60.80
5	8.2	82,110		⑥	105.1
4	0.2	132,500		⑤	225.7
3	-6.8	137,900		④	324.5
2	-13.8	149,300		③	404.0
1	-21.5	214,800		②	472.1
15	-26.5	214,800		①	2,600
				—	

I/C

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
11	0.2	6,649		—	
10	-4.61	23,890		⑪	16.20
9	-14.3	30,030		⑩	103.1
8	-19.75	18,880		⑨	98.90
				⑧	132.9
25	-24.5			—	

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
14	0.2	1,834		—	
13	-7.8	1,638		⑭	1.746
12	-15.85	1,638		⑬	1.746
				⑫	1.746
35	-22.0			—	

第 4.10 表 解析モデルの諸元(鉛直方向、屋根トラス部分)

質点 番号	高さ G. L. (m)	水平 位置 (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
19	24.2	10.50	783		—		
					⑱		
18	24.2	8.00	1,565	815.0	⑰	0.045	0.196
17	24.2	5.50	1,611	890.0	⑯	0.059	0.196
16	24.2	2.85	1,721	1,085	⑮	0.072	0.196
—							

注) トラス回転拘束ばね  $1.23 \times 10^7$  (kN・m/rad)

第 4.11 表 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
Ss-D	底面	鉛直	KV	$3.915 \times 10^7$	$3.295 \times 10^6$
Ss-1	底面	鉛直	KV	$4.848 \times 10^7$	$3.663 \times 10^6$
Ss-2	底面	鉛直	KV	$5.171 \times 10^7$	$3.781 \times 10^6$
Ss-3	底面	鉛直	KV	$5.079 \times 10^7$	$3.748 \times 10^6$
Ss-4	底面	鉛直	KV	$5.187 \times 10^7$	$3.786 \times 10^6$
Ss-5	底面	鉛直	KV	$5.878 \times 10^7$	$3.982 \times 10^6$

## 5. 解析結果

### 5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を第 5.1 表から第 5.6 表に示す。刺激関数を Ss-D の結果を代表として、第 5.1 図から第 5.6 図に示す。

第 5.1 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-D)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.353	2.83	1.713
	2	0.186	5.39	-0.819
	3	0.116	8.60	-0.193
	4	0.087	11.56	0.087
	5	0.079	12.62	0.191
	6	0.068	14.62	-0.160
	7	0.052	19.37	-0.026
	8	0.047	21.19	0.001
EW	1	0.354	2.83	1.673
	2	0.183	5.47	-0.736
	3	0.110	9.11	-0.131
	4	0.080	12.54	0.105
	5	0.070	14.32	-0.021
	6	0.066	15.18	-0.113
	7	0.044	22.51	-0.014
	8	0.042	23.69	0.056
UD	1	0.337	2.97	3.519
	2	0.275	3.64	-2.536
	3	0.090	11.14	-0.008
	4	0.063	15.82	0.058
	5	0.049	20.52	-0.052
	6	0.041	24.32	0.019
	7	0.035	28.36	-0.034
	8	0.035	28.75	-0.037



第 5.2 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-1)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.336	2.98	1.735
	2	0.176	5.69	-0.866
	3	0.116	8.62	-0.243
	4	0.086	11.63	0.116
	5	0.079	12.62	0.208
	6	0.068	14.70	-0.167
	7	0.052	19.38	0.030
	8	0.047	21.24	0.000
EW	1	0.337	2.97	1.688
	2	0.173	5.78	-0.764
	3	0.110	9.13	-0.170
	4	0.080	12.56	0.100
	5	0.069	14.44	-0.006
	6	0.066	15.22	-0.131
	7	0.044	22.51	-0.017
	8	0.042	23.70	0.066
UD	1	0.305	3.28	6.122
	2	0.273	3.66	-5.144
	3	0.090	11.14	-0.010
	4	0.063	15.82	0.072
	5	0.049	20.54	-0.064
	6	0.041	24.32	0.024
	7	0.035	28.37	-0.043
	8	0.035	28.75	-0.046

第 5.3 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-2)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.326	3.07	1.750
	2	0.171	5.85	-0.896
	3	0.116	8.63	-0.277
	4	0.086	11.67	0.132
	5	0.079	12.62	0.217
	6	0.068	14.75	-0.172
	7	0.052	19.39	0.032
	8	0.047	21.26	0.000
EW	1	0.328	3.05	1.697
	2	0.168	5.94	-0.781
	3	0.109	9.14	-0.196
	4	0.080	12.57	0.098
	5	0.069	14.52	0.002
	6	0.066	15.24	-0.143
	7	0.044	22.52	-0.018
	8	0.042	23.71	0.071
UD	1	0.297	3.37	7.583
	2	0.272	3.68	-6.607
	3	0.090	11.14	-0.010
	4	0.063	15.82	0.077
	5	0.049	20.55	-0.068
	6	0.041	24.32	0.025
	7	0.035	28.37	-0.046
	8	0.035	28.75	-0.050

第 5.4 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-3)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.332	3.01	1.741
	2	0.173	5.78	-0.882
	3	0.116	8.62	-0.260
	4	0.086	11.65	0.127
	5	0.079	12.62	0.214
	6	0.068	14.73	-0.169
	7	0.052	19.38	0.032
	8	0.047	21.25	-0.001
EW	1	0.333	3.00	1.692
	2	0.171	5.86	-0.773
	3	0.109	9.13	-0.183
	4	0.080	12.56	0.098
	5	0.069	14.48	0.000
	6	0.066	15.23	-0.137
	7	0.044	22.51	-0.019
	8	0.042	23.71	0.069
UD	1	0.299	3.34	7.144
	2	0.272	3.67	-6.167
	3	0.090	11.14	-0.010
	4	0.063	15.82	0.075
	5	0.049	20.55	-0.067
	6	0.041	24.32	0.025
	7	0.035	28.37	-0.045
	8	0.035	28.75	-0.049

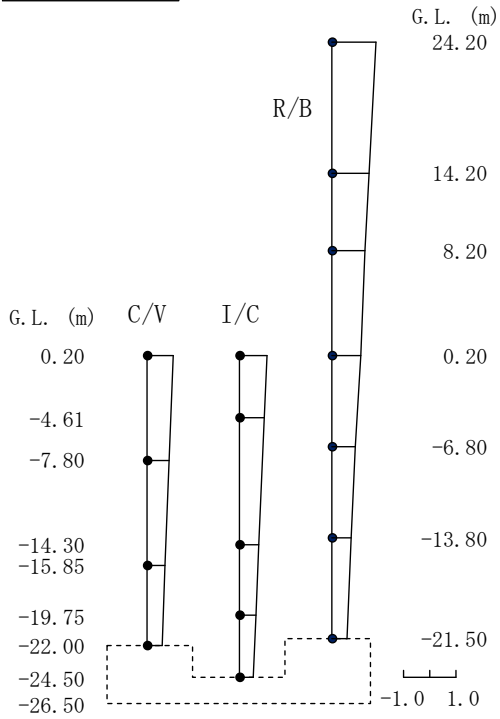
第 5.5 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-4)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.326	3.07	1.750
	2	0.171	5.86	-0.898
	3	0.116	8.63	-0.279
	4	0.086	11.68	0.134
	5	0.079	12.62	0.218
	6	0.068	14.76	-0.172
	7	0.052	19.39	0.033
	8	0.047	21.26	0.000
EW	1	0.327	3.06	1.698
	2	0.168	5.95	-0.782
	3	0.109	9.14	-0.198
	4	0.080	12.57	0.097
	5	0.069	14.52	0.003
	6	0.066	15.24	-0.143
	7	0.044	22.52	-0.018
	8	0.042	23.71	0.071
UD	1	0.297	3.37	7.660
	2	0.272	3.68	-6.684
	3	0.090	11.14	-0.010
	4	0.063	15.82	0.077
	5	0.049	20.55	-0.068
	6	0.041	24.32	0.025
	7	0.035	28.37	-0.046
	8	0.035	28.75	-0.050

第 5.6 表 固有値解析結果 (S<sub>S</sub>-5)

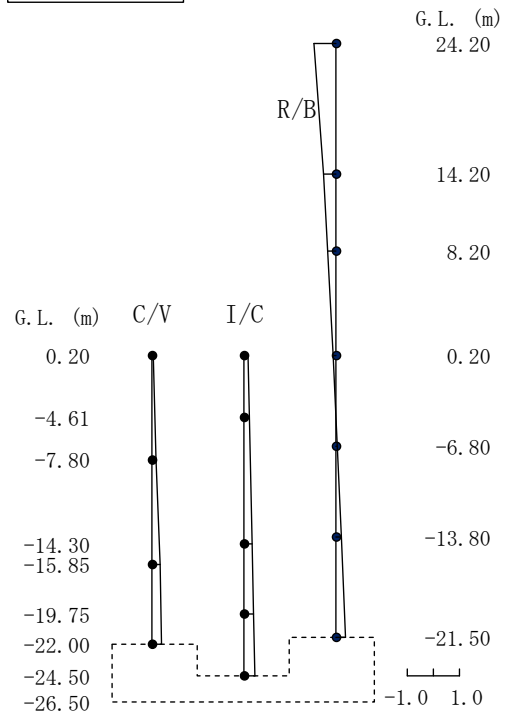
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数
NS	1	0.313	3.19	1.773
	2	0.164	6.11	-0.948
	3	0.116	8.65	-0.342
	4	0.085	11.74	0.167
	5	0.079	12.63	0.235
	6	0.067	14.83	-0.179
	7	0.052	19.40	0.037
	8	0.047	21.31	-0.001
EW	1	0.315	3.17	1.712
	2	0.161	6.21	-0.811
	3	0.109	9.16	-0.245
	4	0.079	12.58	0.092
	5	0.068	14.63	0.018
	6	0.065	15.28	-0.163
	7	0.044	22.52	-0.022
	8	0.042	23.72	0.081
UD	1	0.285	3.50	9.595
	2	0.266	3.76	-8.622
	3	0.090	11.14	-0.012
	4	0.063	15.82	0.087
	5	0.049	20.57	-0.077
	6	0.041	24.32	0.029
	7	0.035	28.37	-0.053
	8	0.035	28.76	-0.057

NS方向 Ss-D 1次



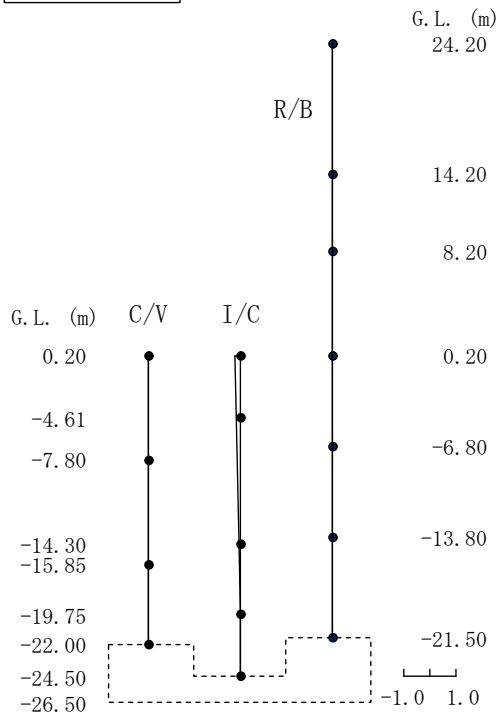
(1次)

NS方向 Ss-D 2次



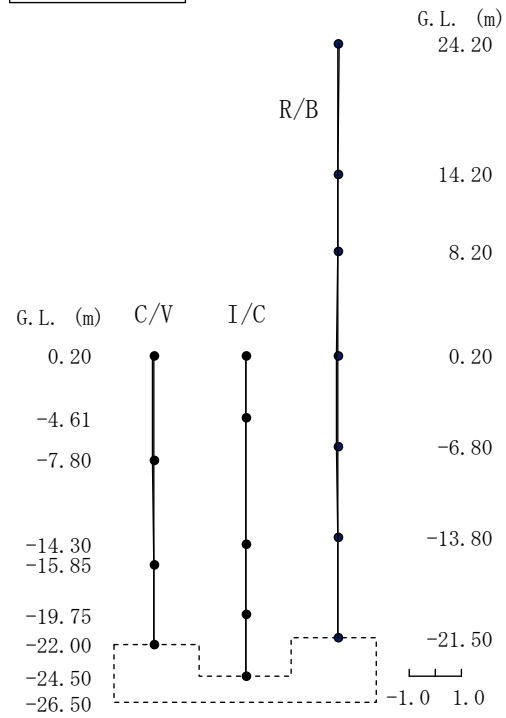
(2次)

NS方向 Ss-D 3次



(3次)

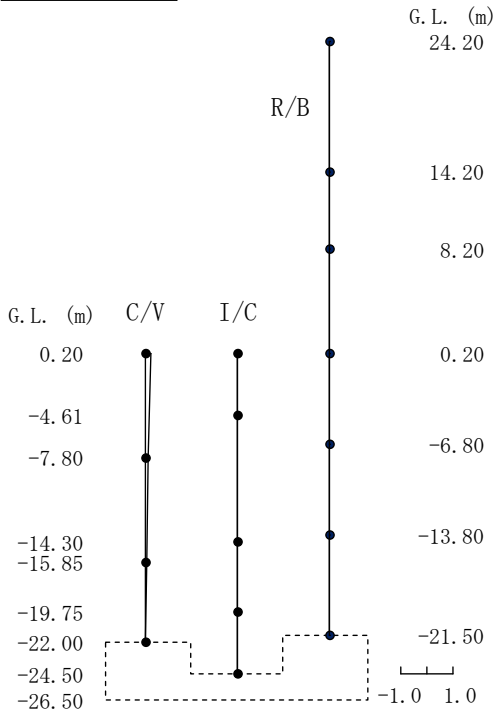
NS方向 Ss-D 4次



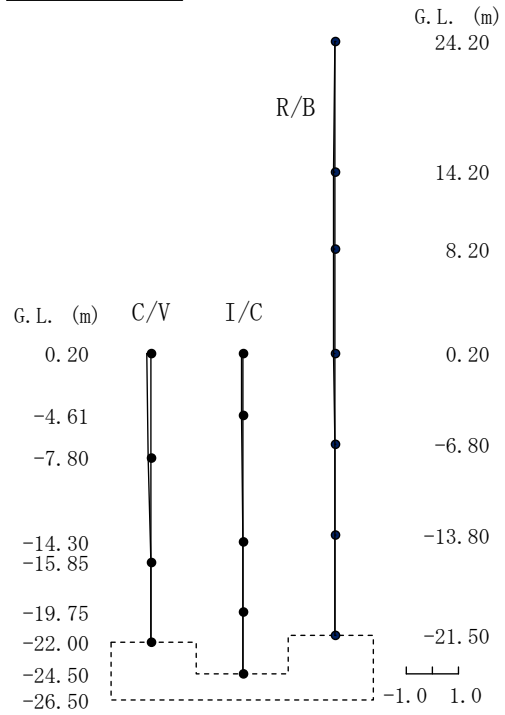
(4次)

第 5.1 図 刺激関数(NS 方向、Ss-D、1~4 次)

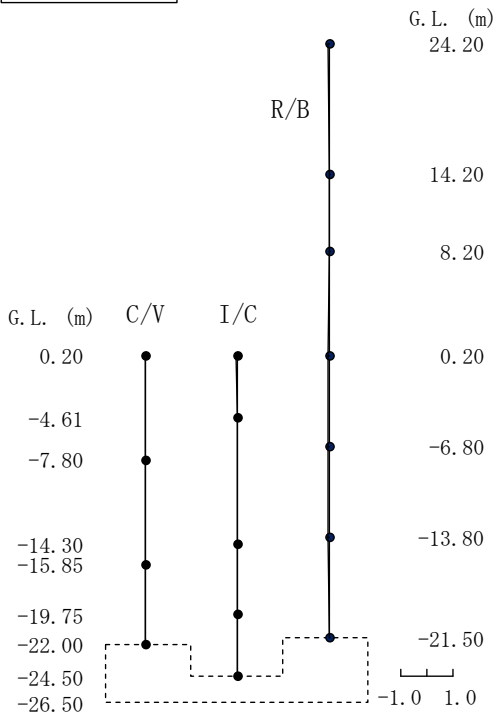
NS方向 Ss-D 5次



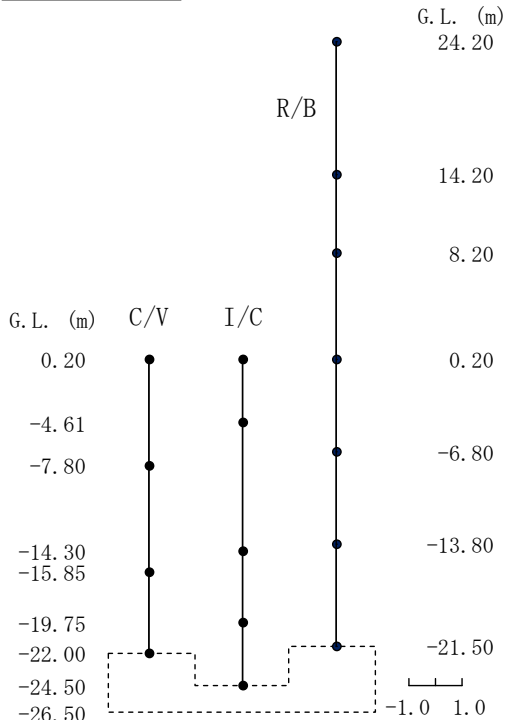
NS方向 Ss-D 6次



NS方向 Ss-D 7次

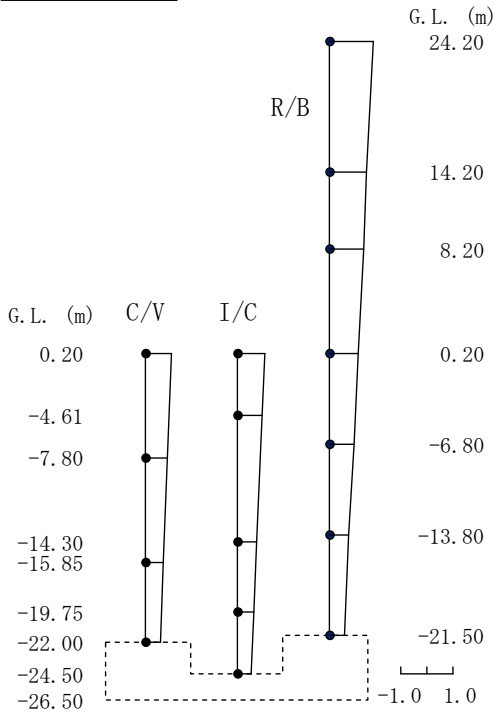


NS方向 Ss-D 8次



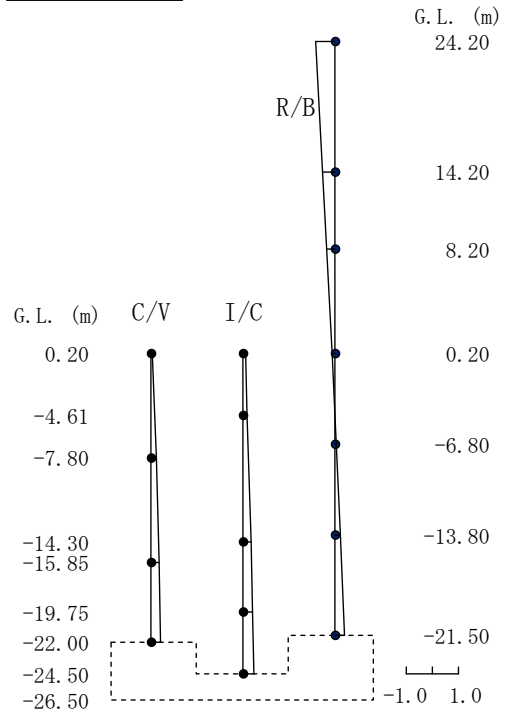
第 5.2 図 刺激関数(NS 方向、Ss-D、5~8 次)

EW方向 Ss-D 1次



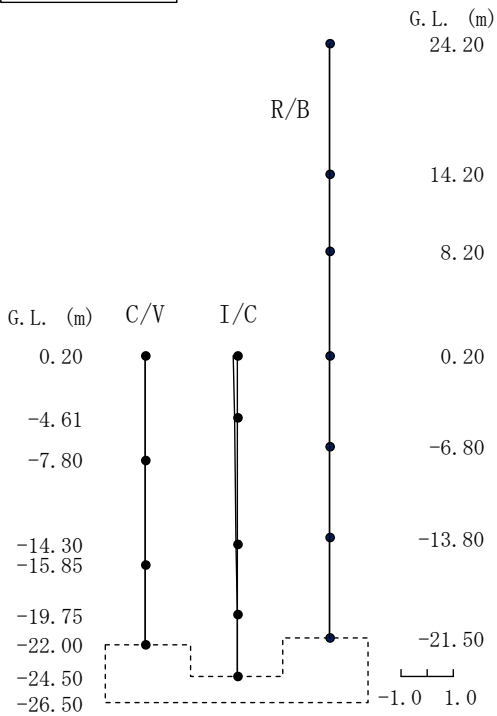
(1次)

EW方向 Ss-D 2次



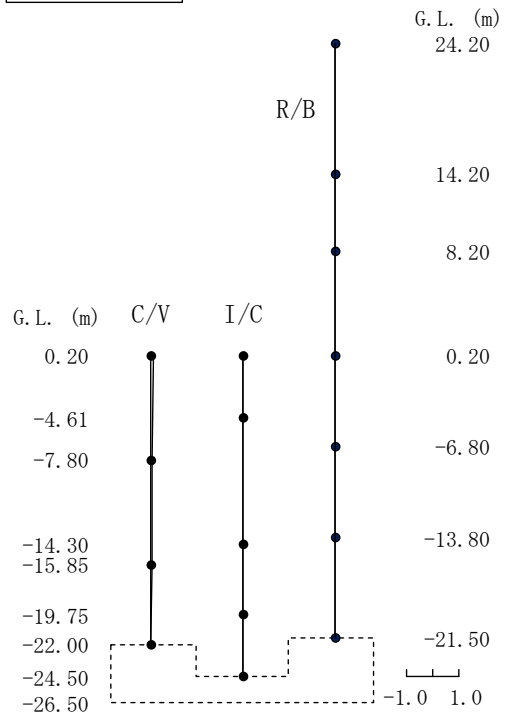
(2次)

EW方向 Ss-D 3次



(3次)

EW方向 Ss-D 4次

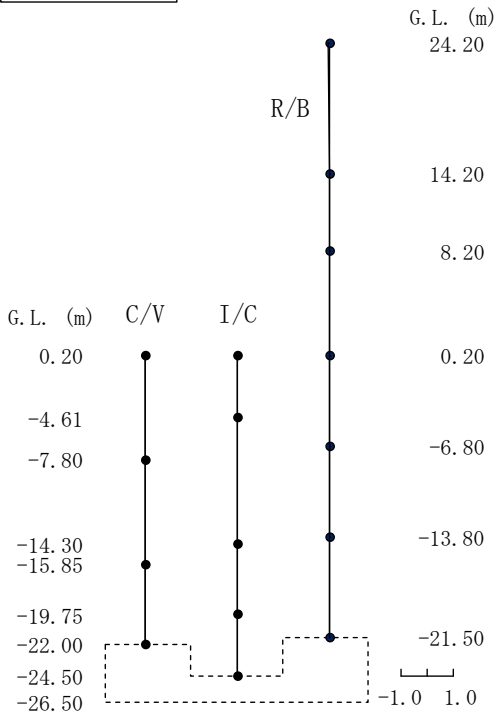


(4次)

第 5.3 図 刺激関数(EW 方向、Ss-D、1~4 次)

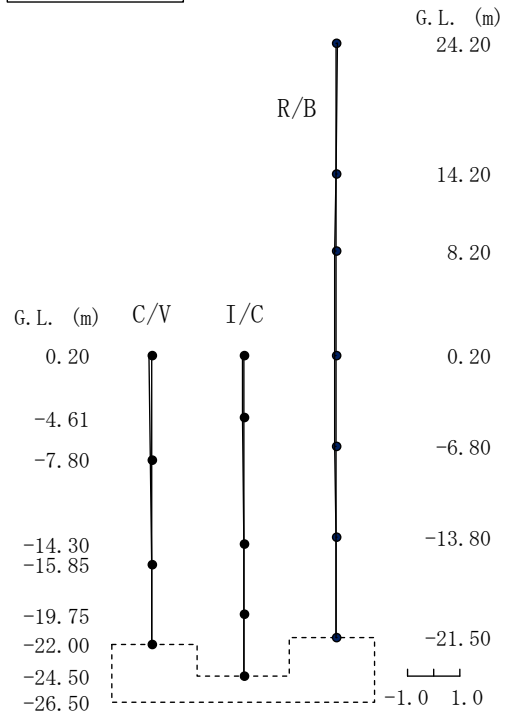


EW方向 Ss-D 5次



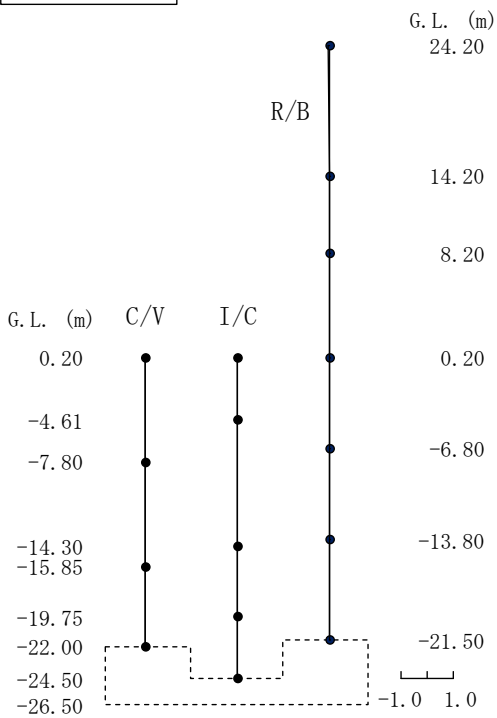
(5次)

EW方向 Ss-D 6次



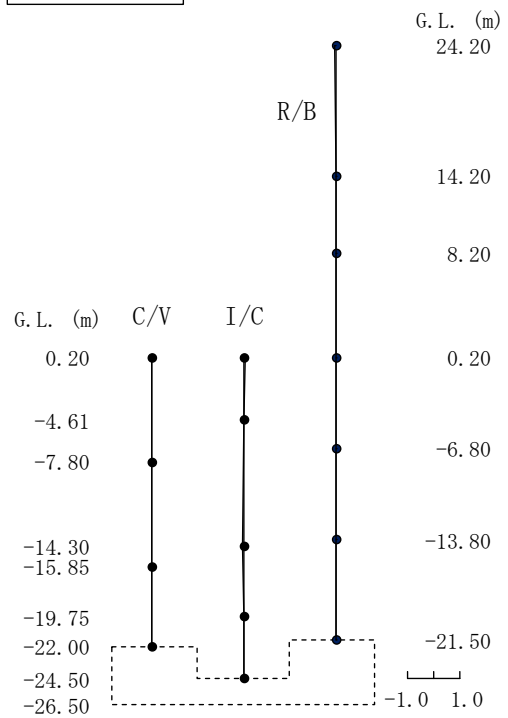
(6次)

EW方向 Ss-D 7次



(7次)

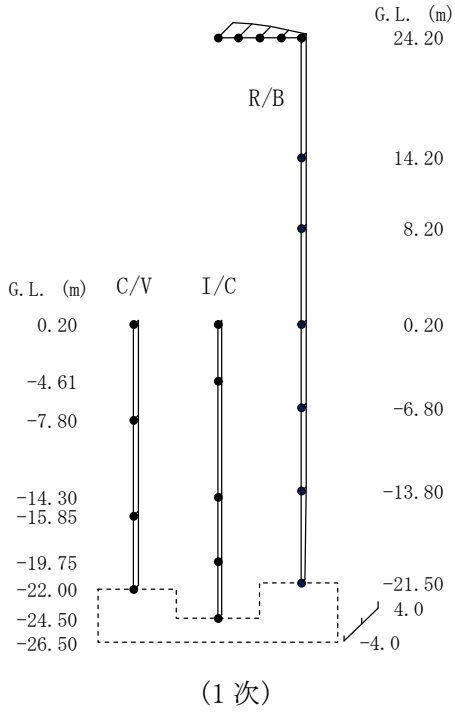
EW方向 Ss-D 8次



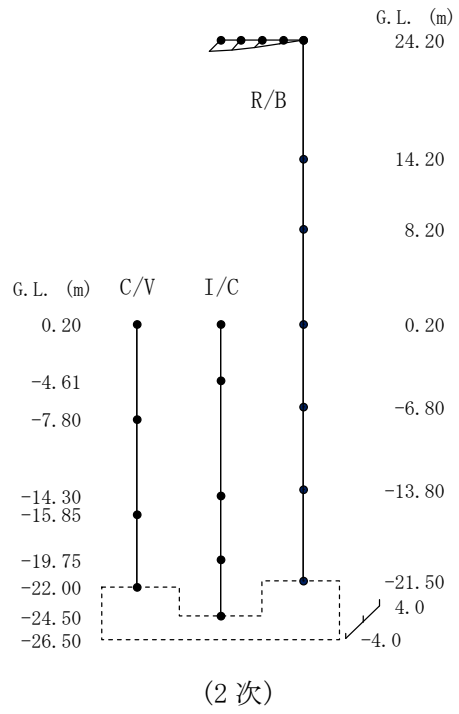
(8次)

第 5.4 図 刺激関数(EW 方向、Ss-D、5~8 次)

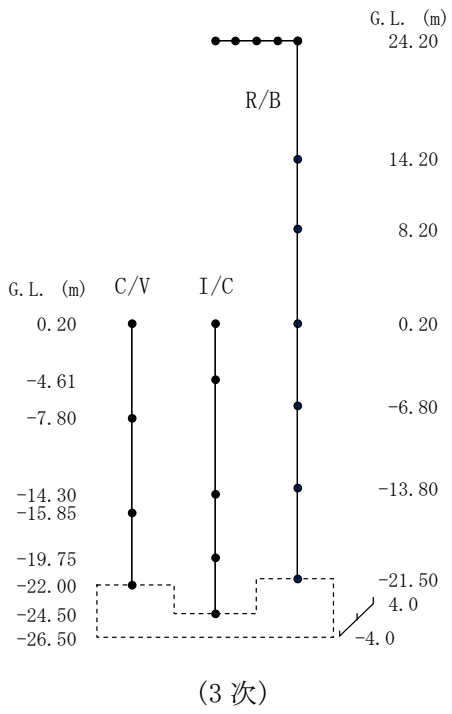
UD方向 Ss-D 1次



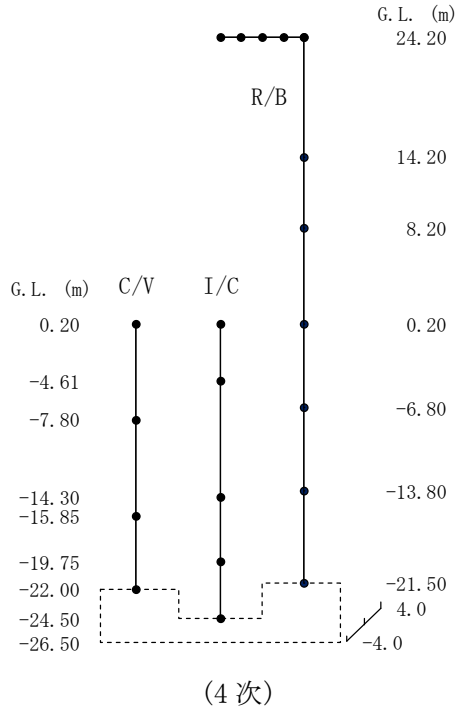
UD方向 Ss-D 2次



UD方向 Ss-D 3次

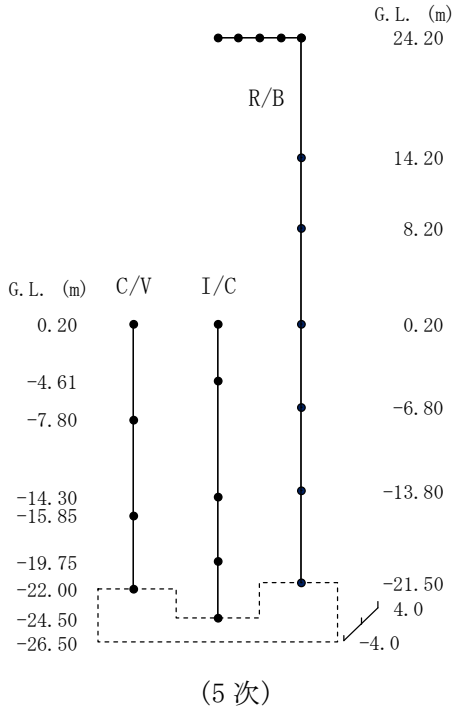


UD方向 Ss-D 4次

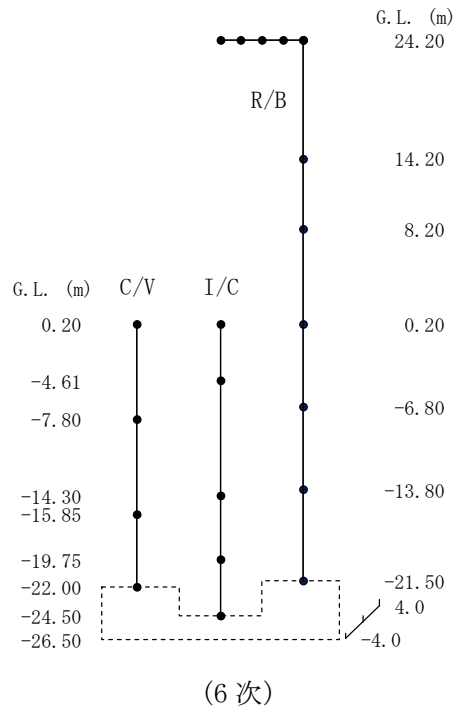


第 5.5 図 刺激関数(UD 方向、Ss-D、1~4 次)

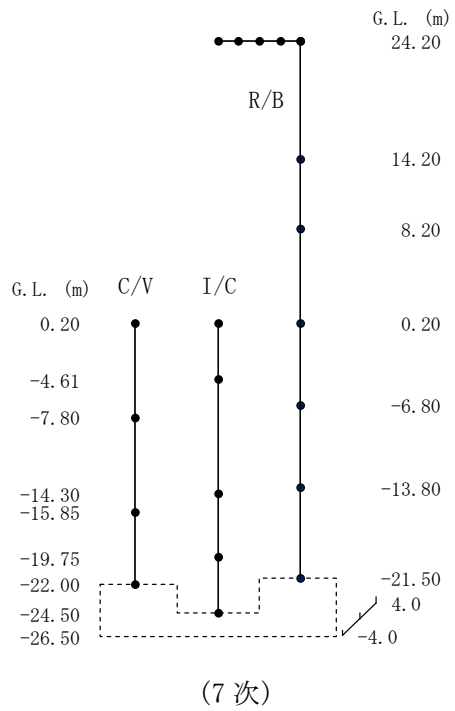
UD方向 Ss-D 5次



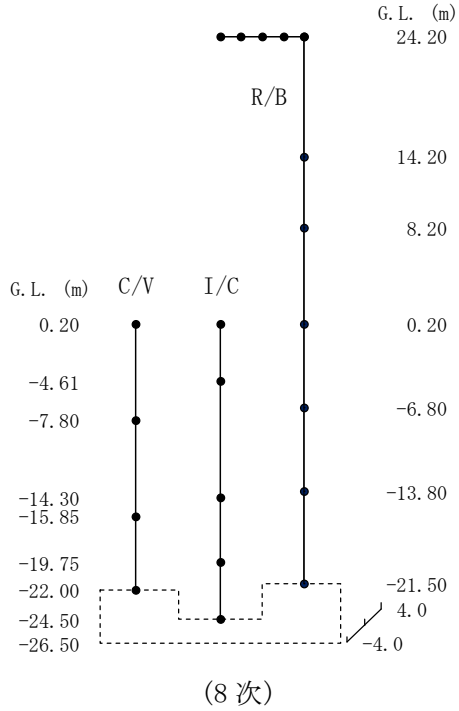
UD方向 Ss-D 6次



UD方向 Ss-D 7次



UD方向 Ss-D 8次

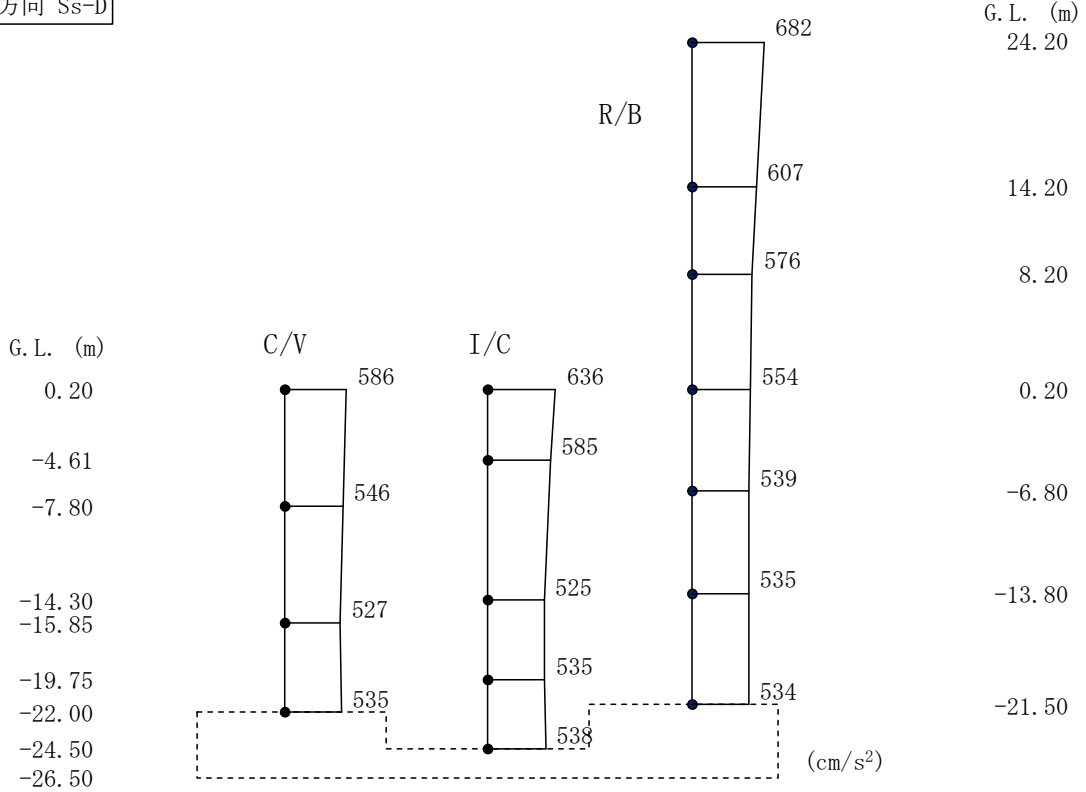


第 5.6 図 刺激関数(UD 方向、Ss-D、5~8 次)

## 5.2 地震応答解析結果

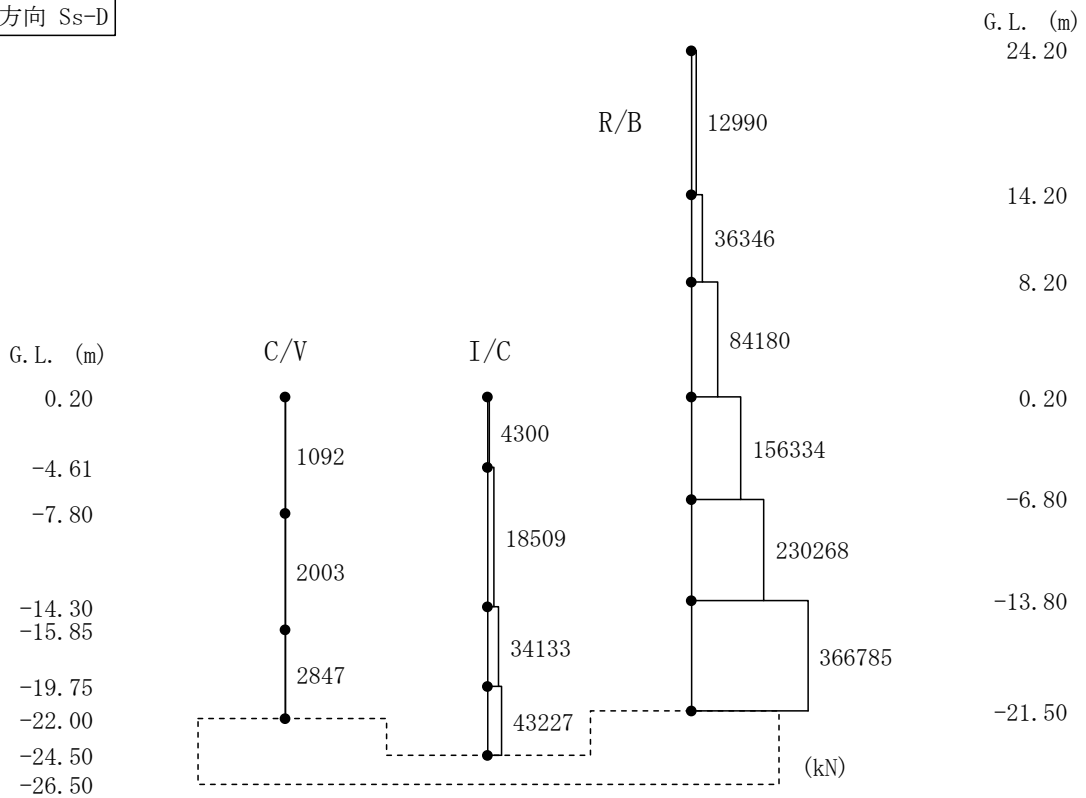
基準地震動  $S_s$  による水平方向の最大応答加速度、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを第 5.7 図から第 5.42 図に、鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を第 5.43 図から第 5.54 図に示す。また、耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を第 5.55 図及び第 5.56 図に示す。せん断ひずみは最大で  $0.20 \times 10^{-3}$  であり、評価基準値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

NS方向 Ss-D



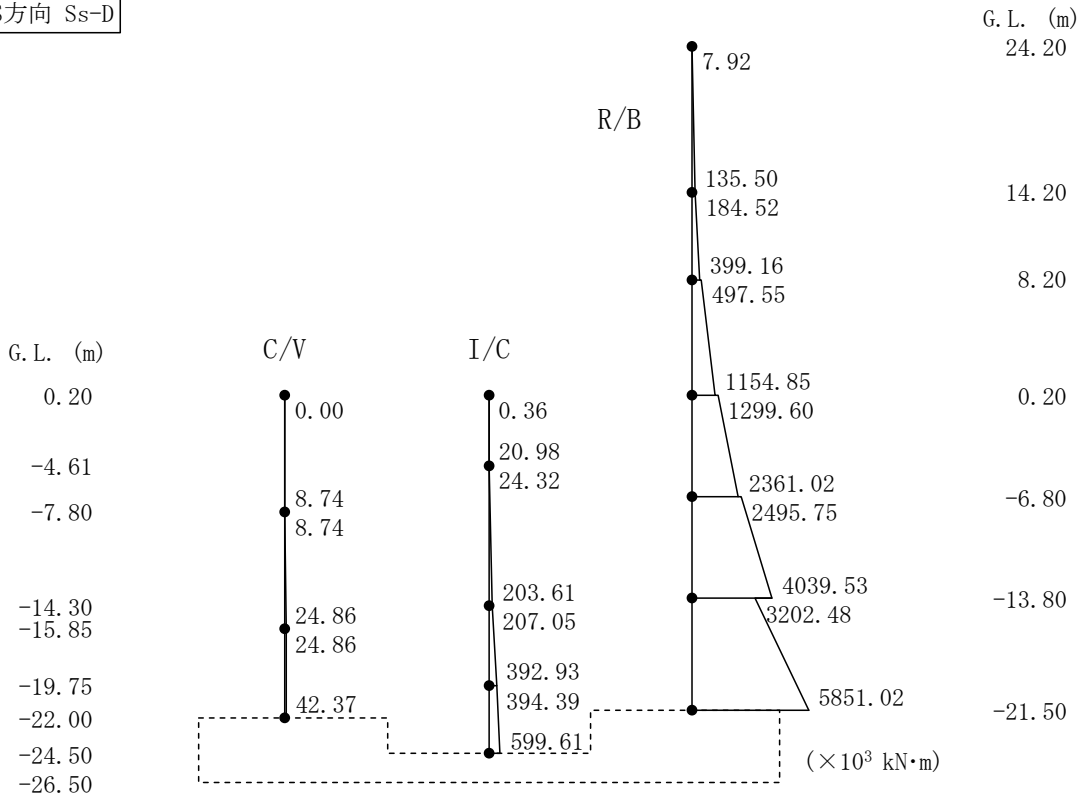
第 5.7 図 最大応答加速度(NS 方向、Ss-D)

NS方向 Ss-D



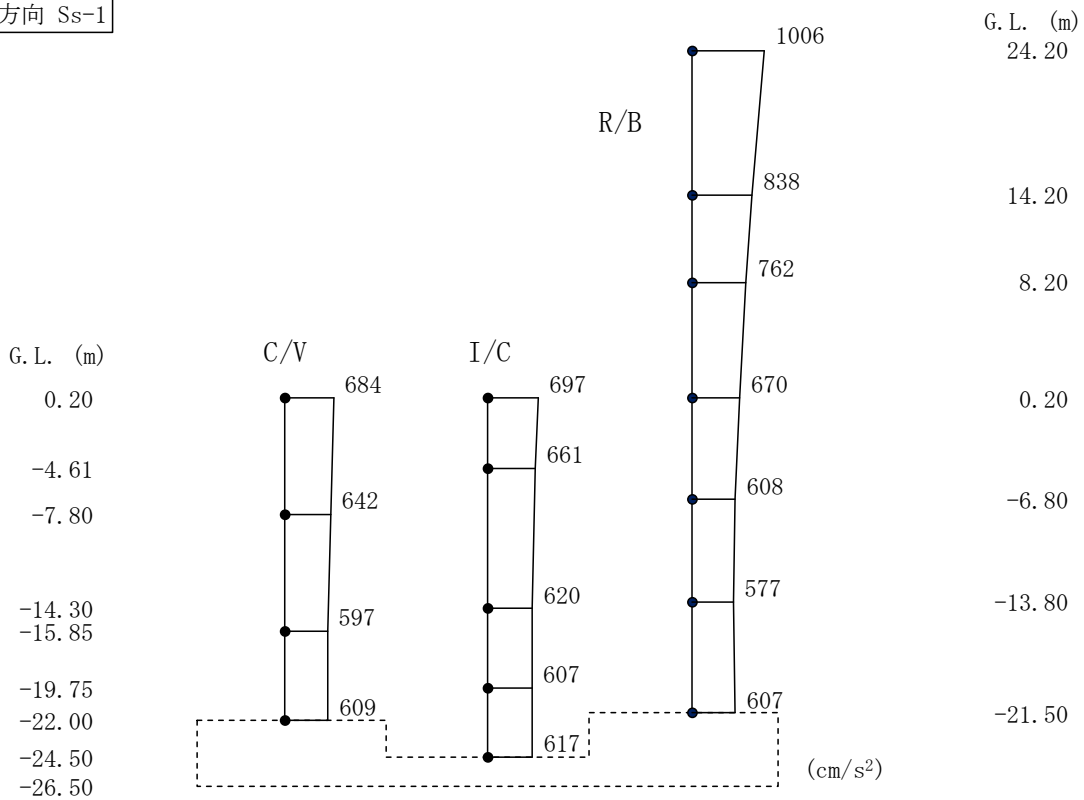
第 5.8 図 最大応答せん断力(NS 方向、Ss-D)

NS方向 Ss-D



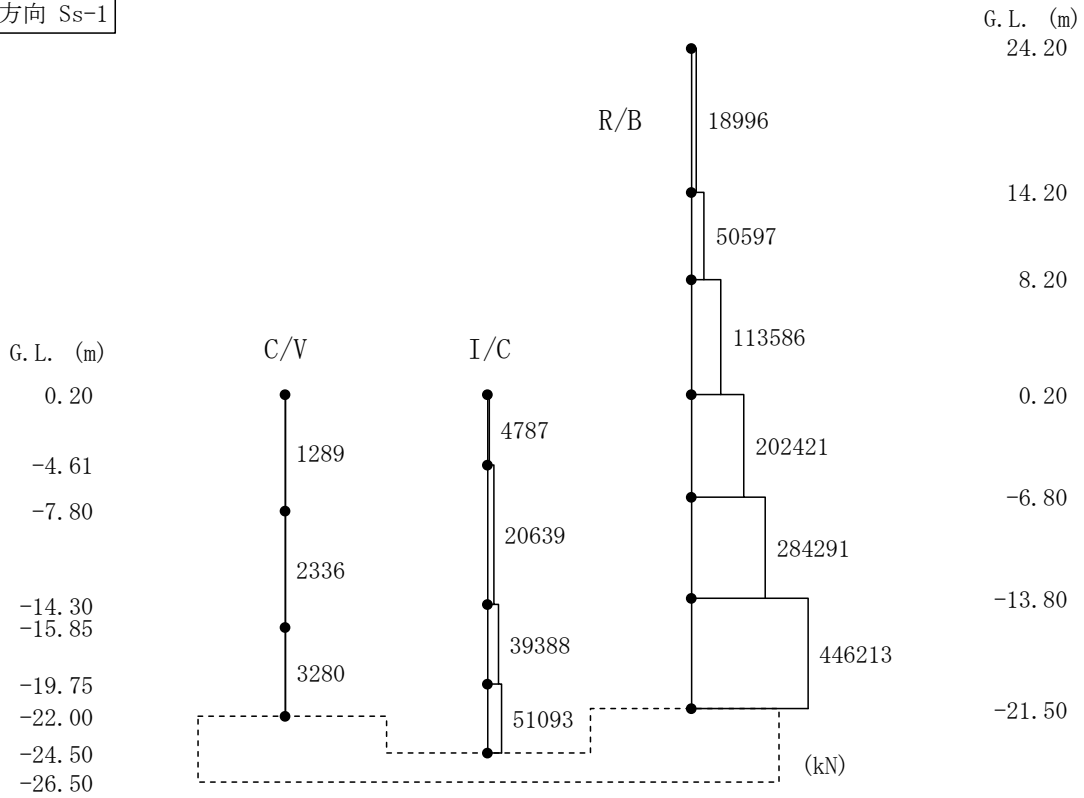
第 5.9 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向、Ss-D)

NS方向 Ss-1



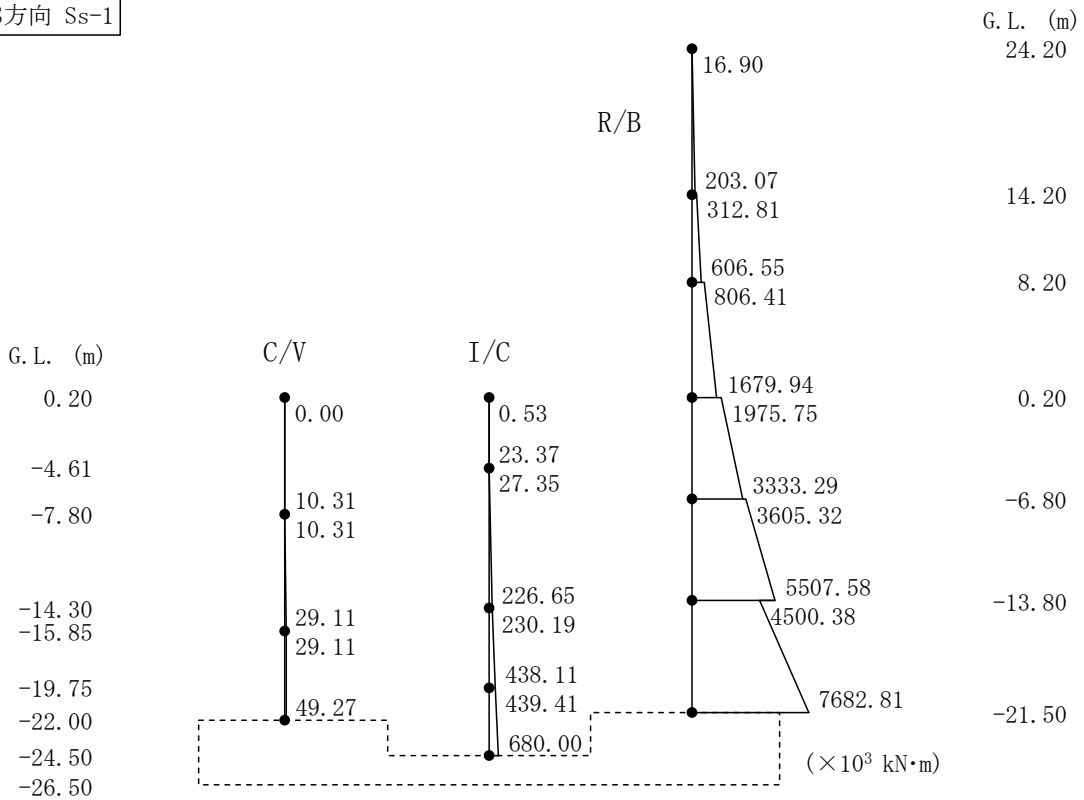
第 5.10 図 最大応答加速度 (NS 方向、Ss-1)

NS方向 Ss-1



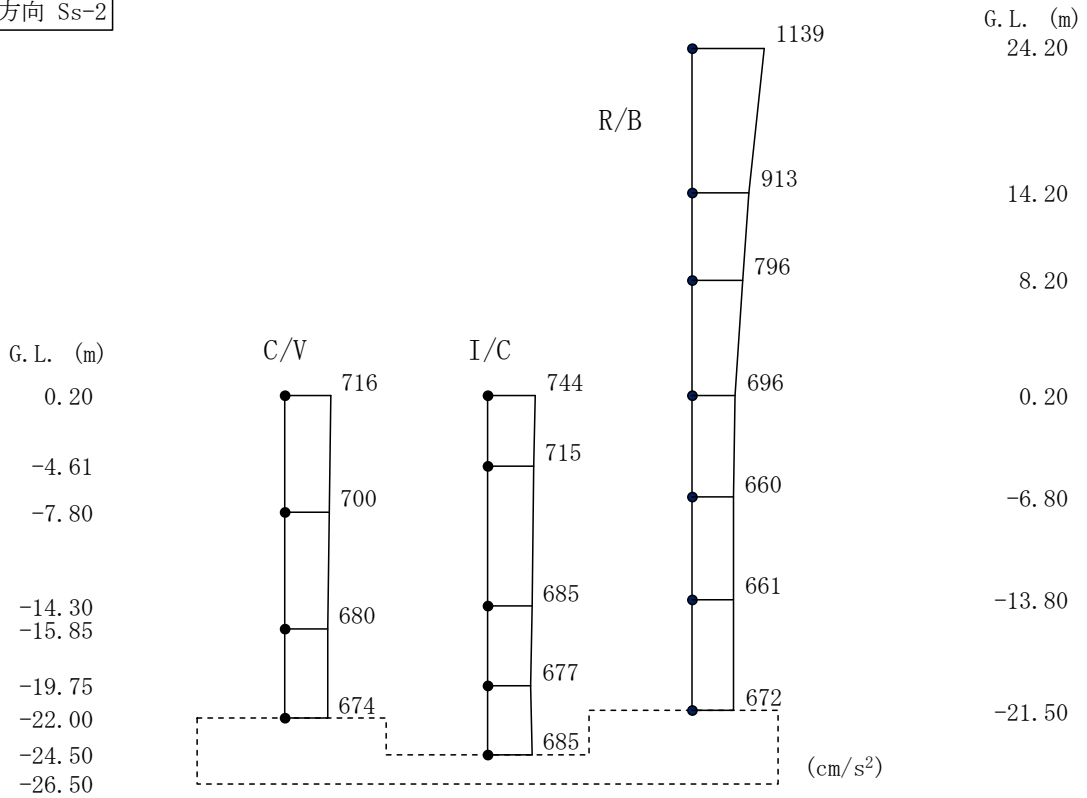
第 5.11 図 最大応答せん断力(NS 方向、Ss-1)

NS方向 Ss-1



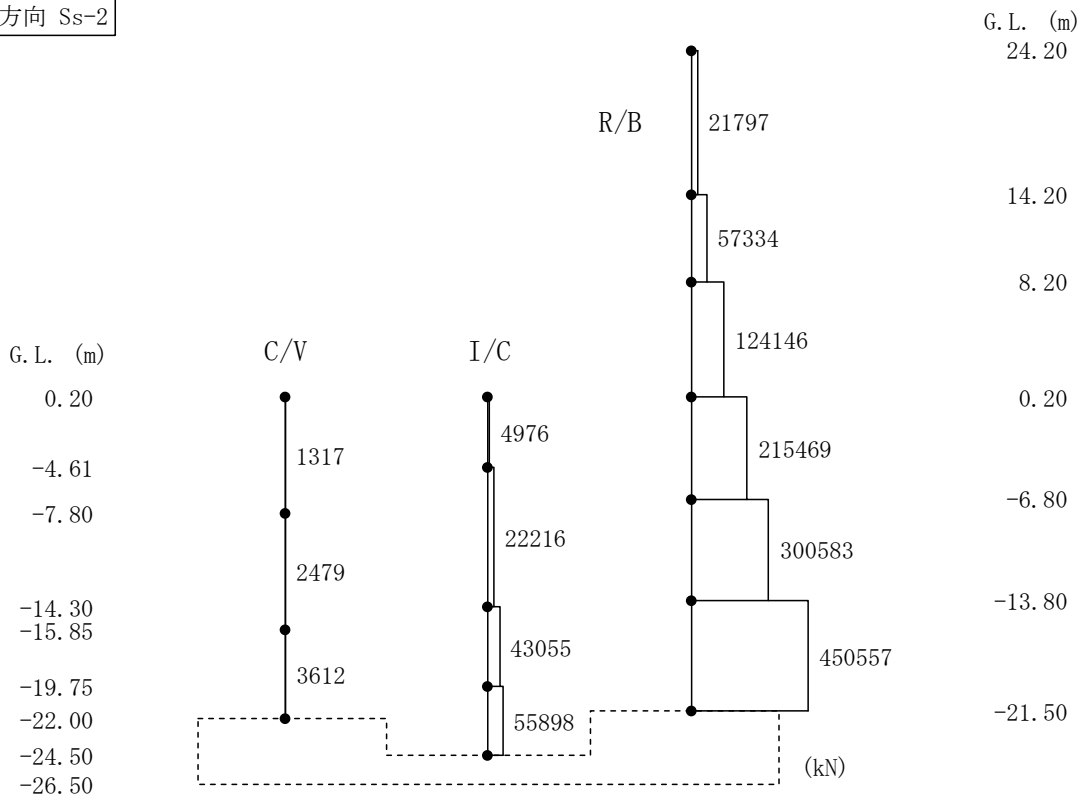
第 5.12 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-1)

NS方向 Ss-2



第 5.13 図 最大応答加速度 (NS 方向、Ss-2)

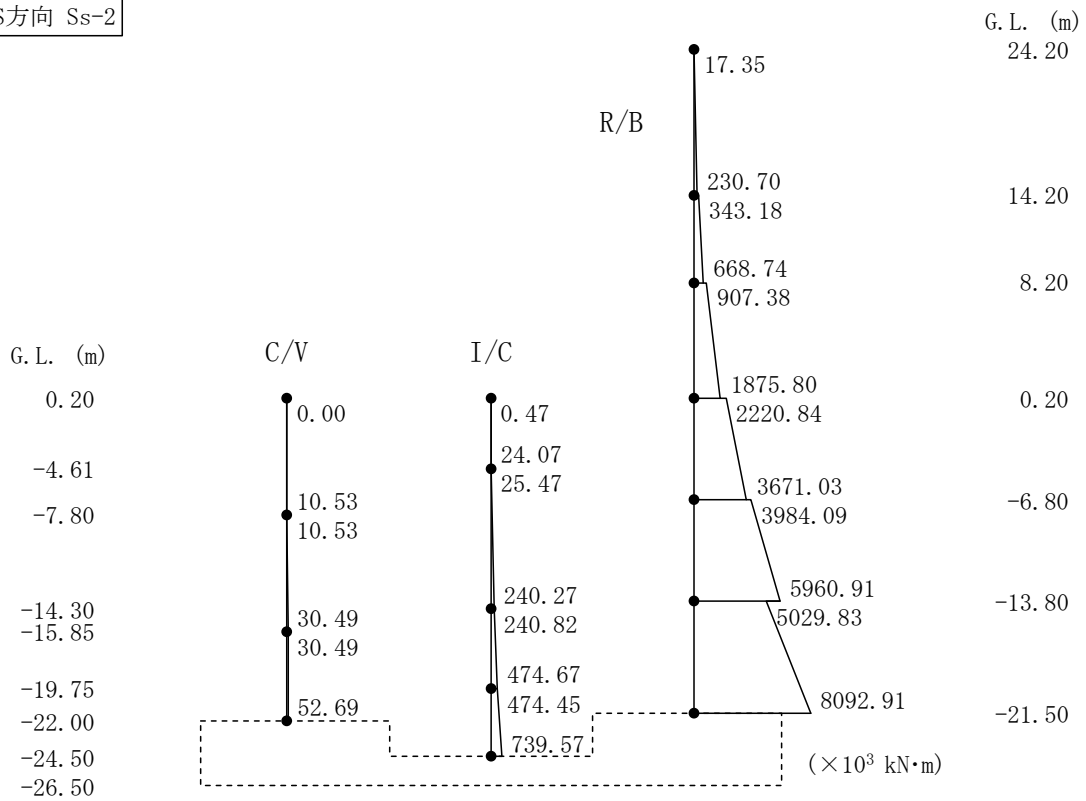
NS方向 Ss-2



第 5.14 図 最大応答せん断力 (NS 方向、Ss-2)

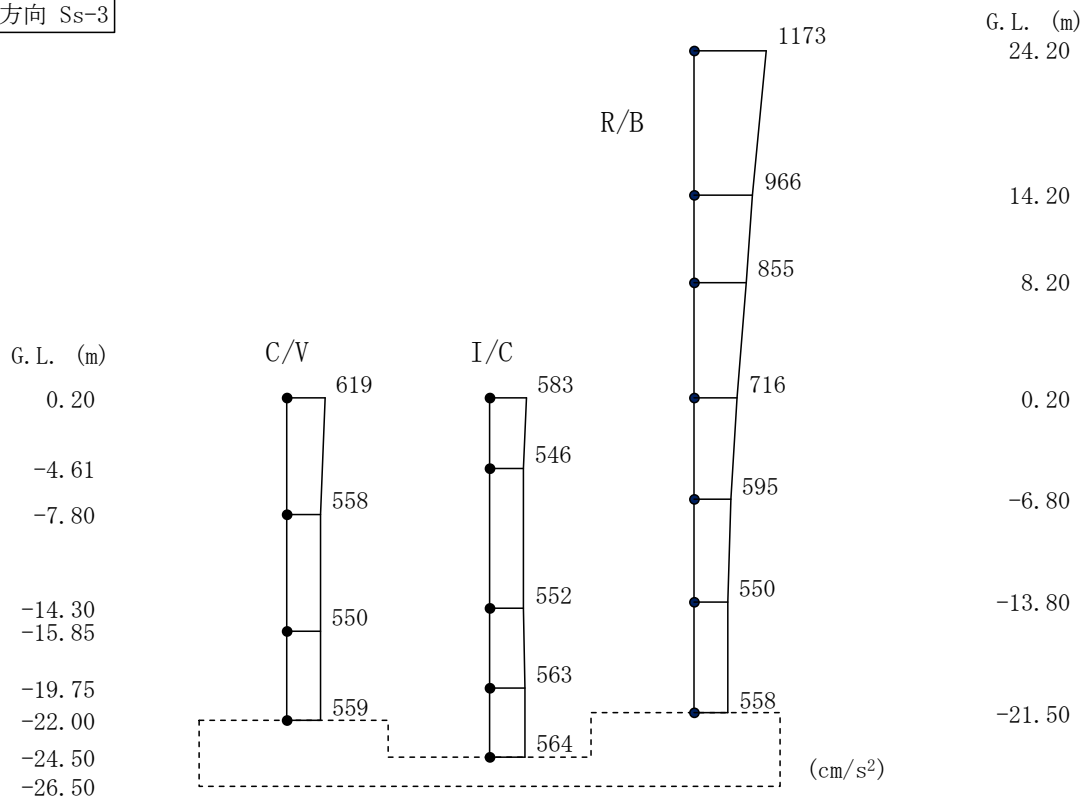


NS方向 Ss-2



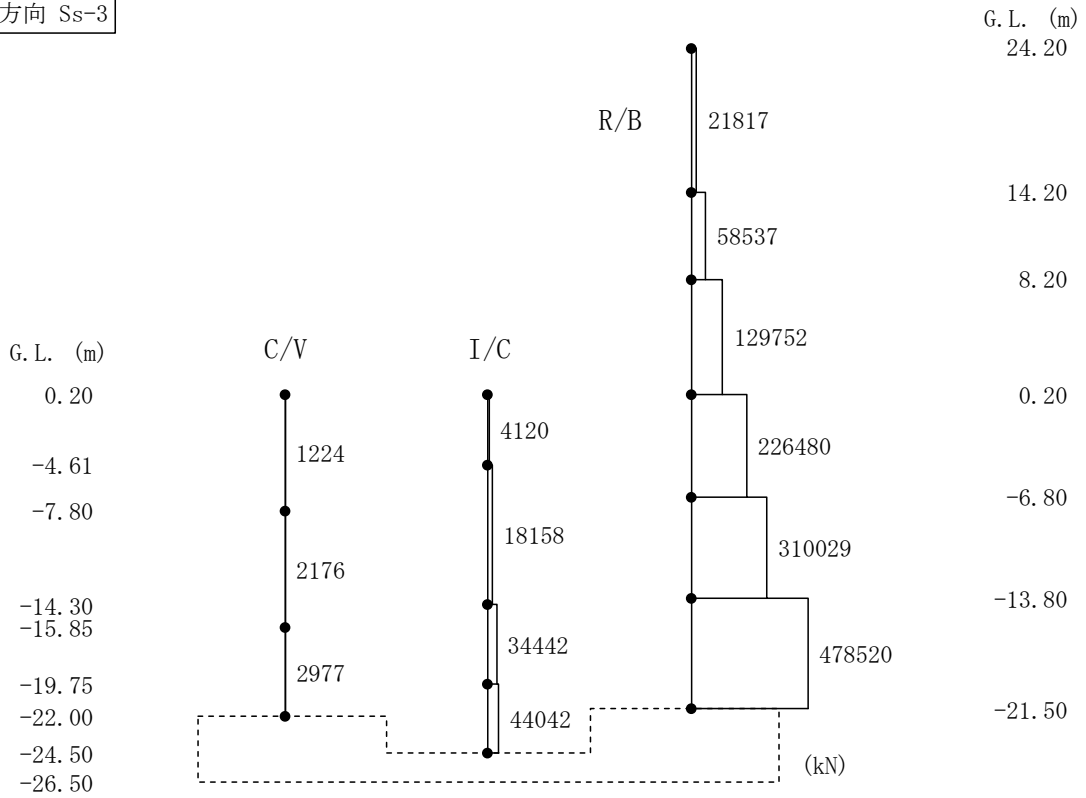
第 5.15 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-2)

NS方向 Ss-3



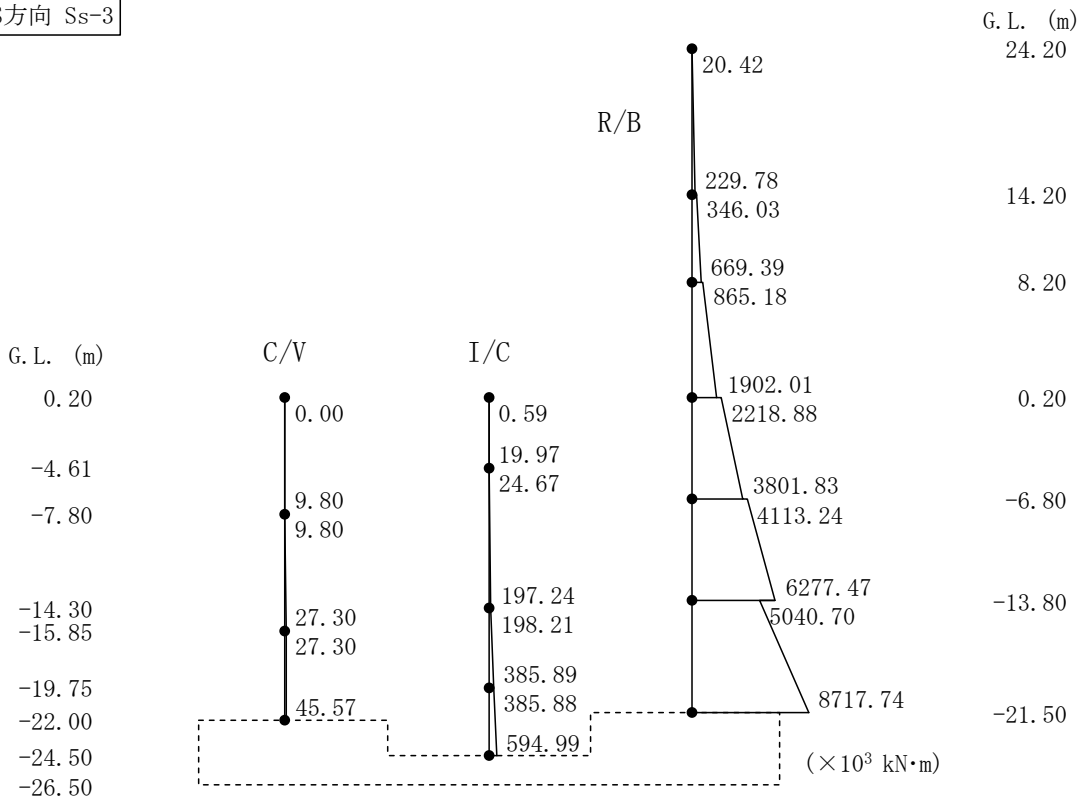
第 5.16 図 最大応答加速度(NS 方向、Ss-3)

NS方向 Ss-3



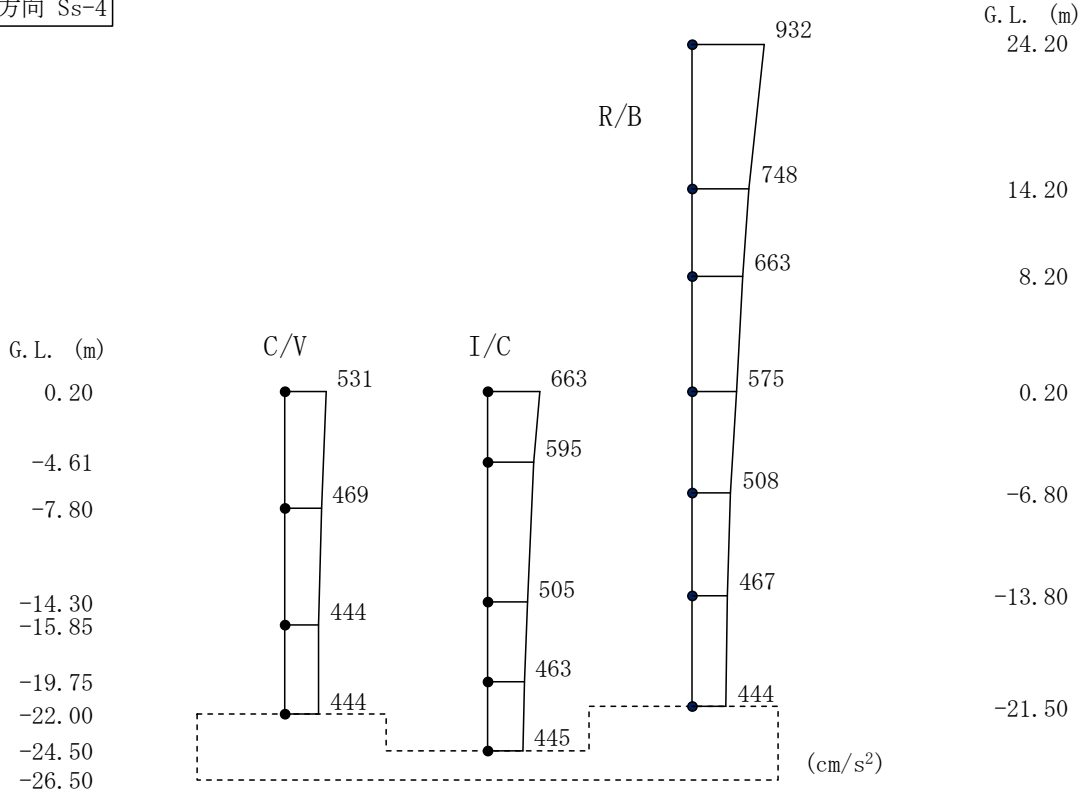
第 5.17 図 最大応答せん断力(NS 方向、Ss-3)

NS方向 Ss-3



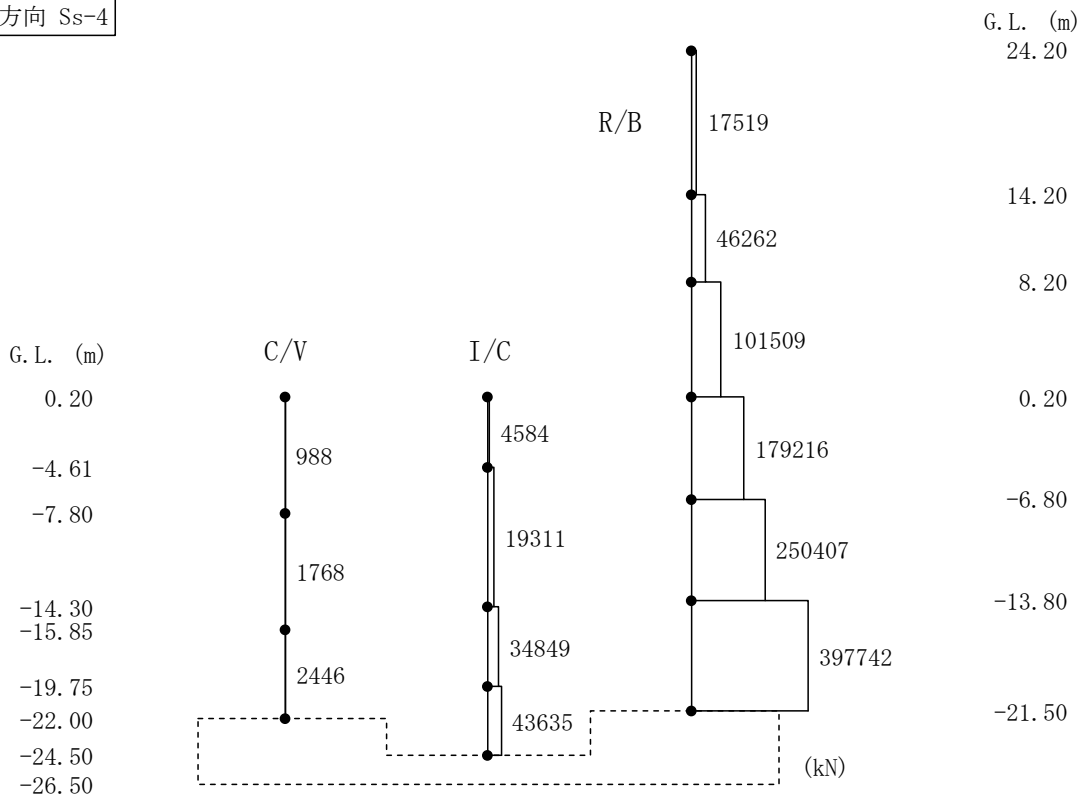
第 5.18 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-3)

NS方向 Ss-4



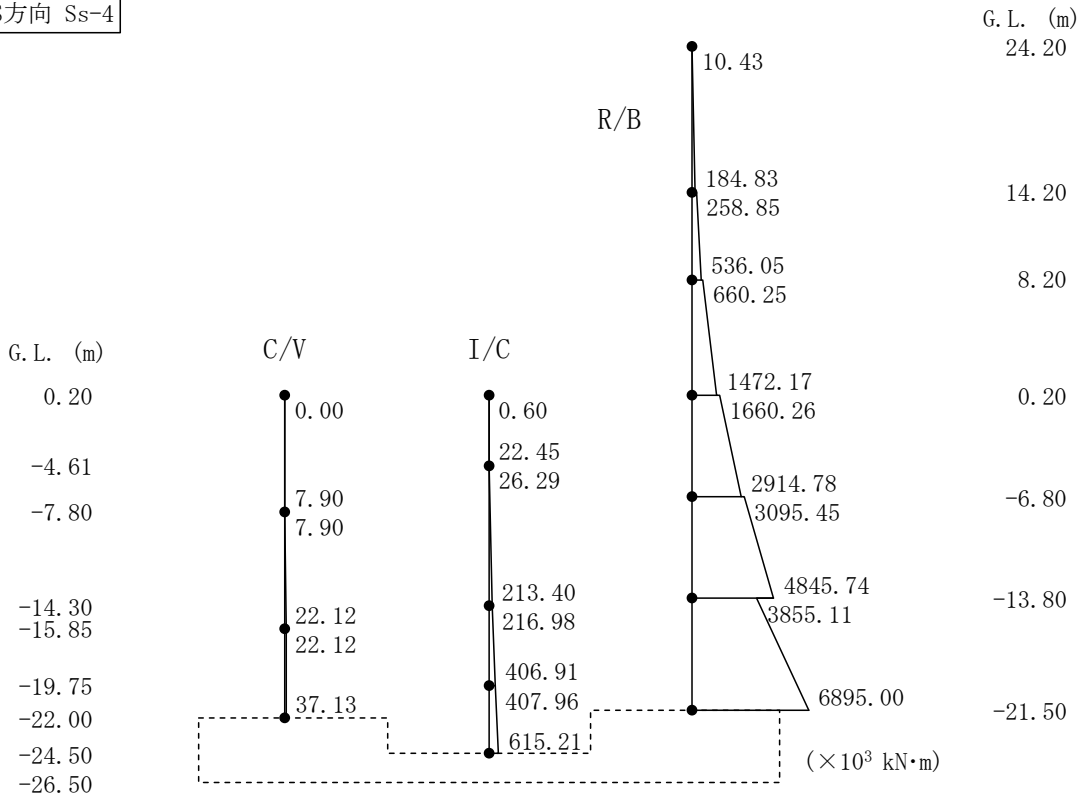
第 5.19 図 最大応答加速度 (NS 方向、Ss-4)

NS方向 Ss-4



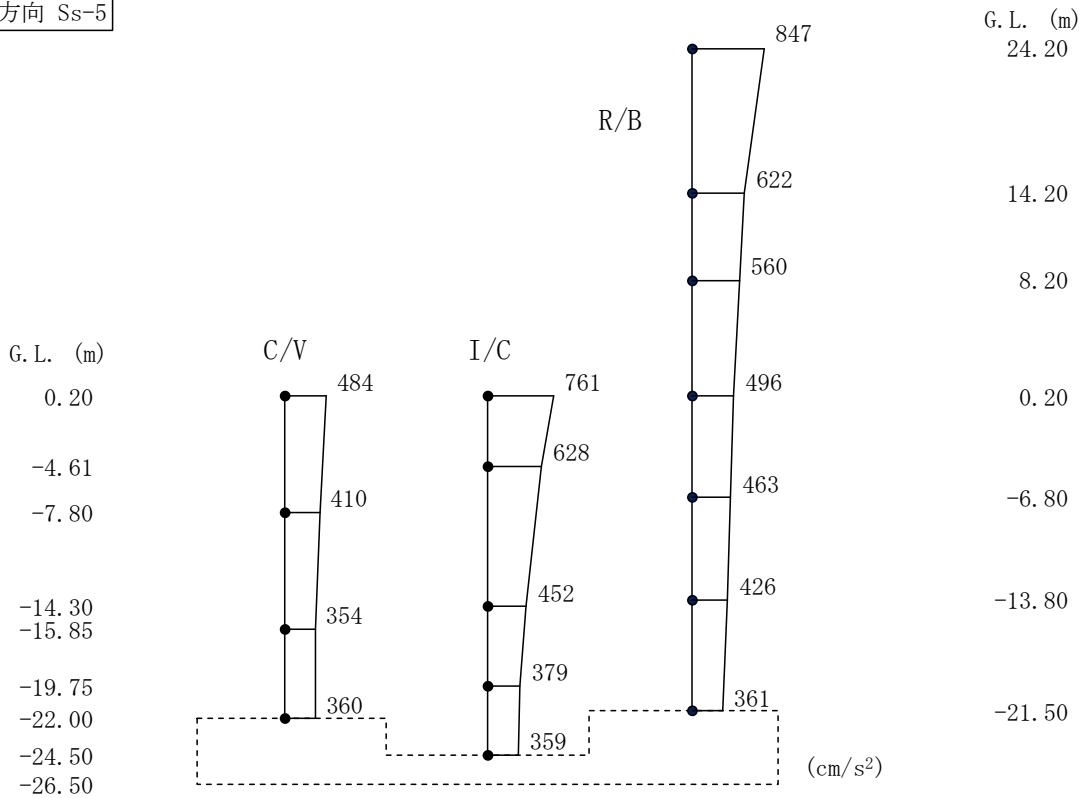
第 5.20 図 最大応答せん断力 (NS 方向、Ss-4)

NS方向 Ss-4



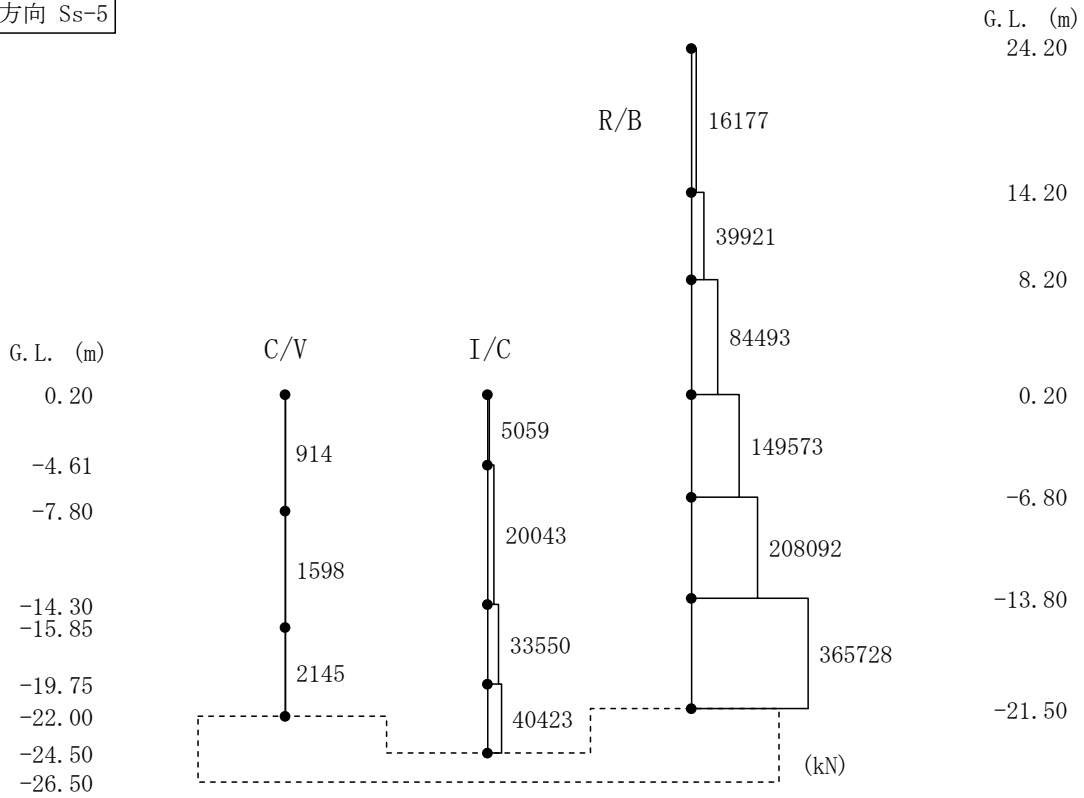
第 5.21 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-4)

NS方向 Ss-5



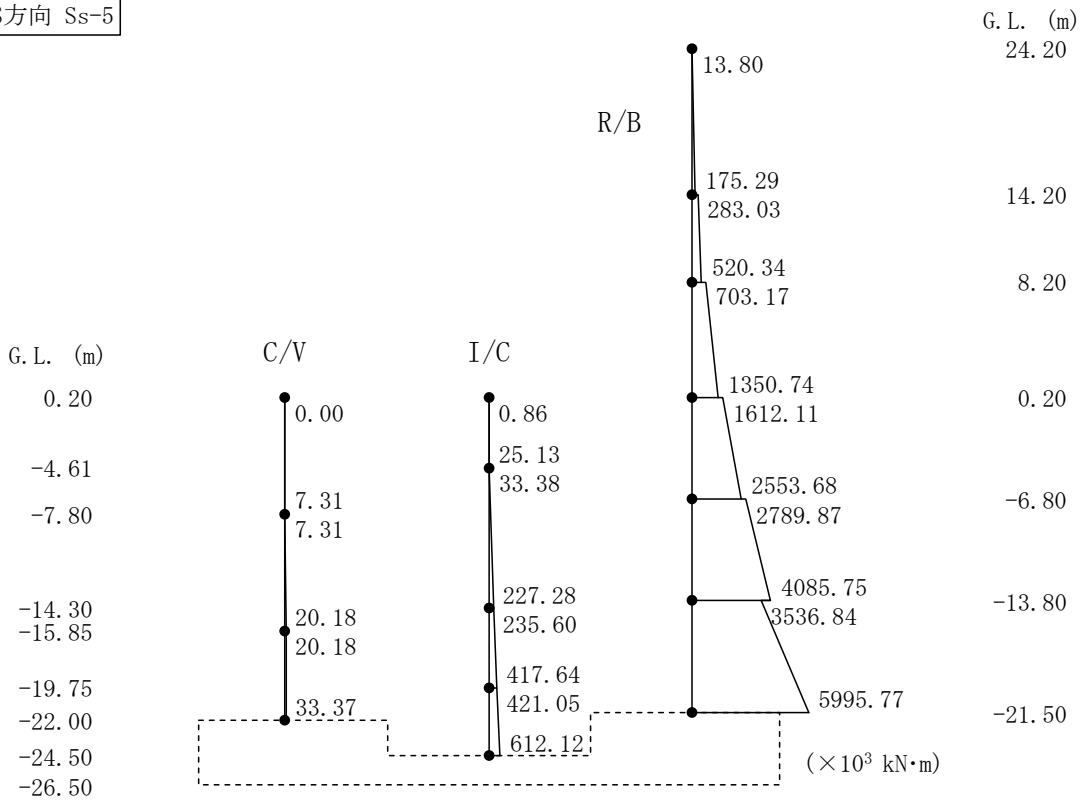
第 5.22 図 最大応答加速度(NS 方向、Ss-5)

NS方向 Ss-5



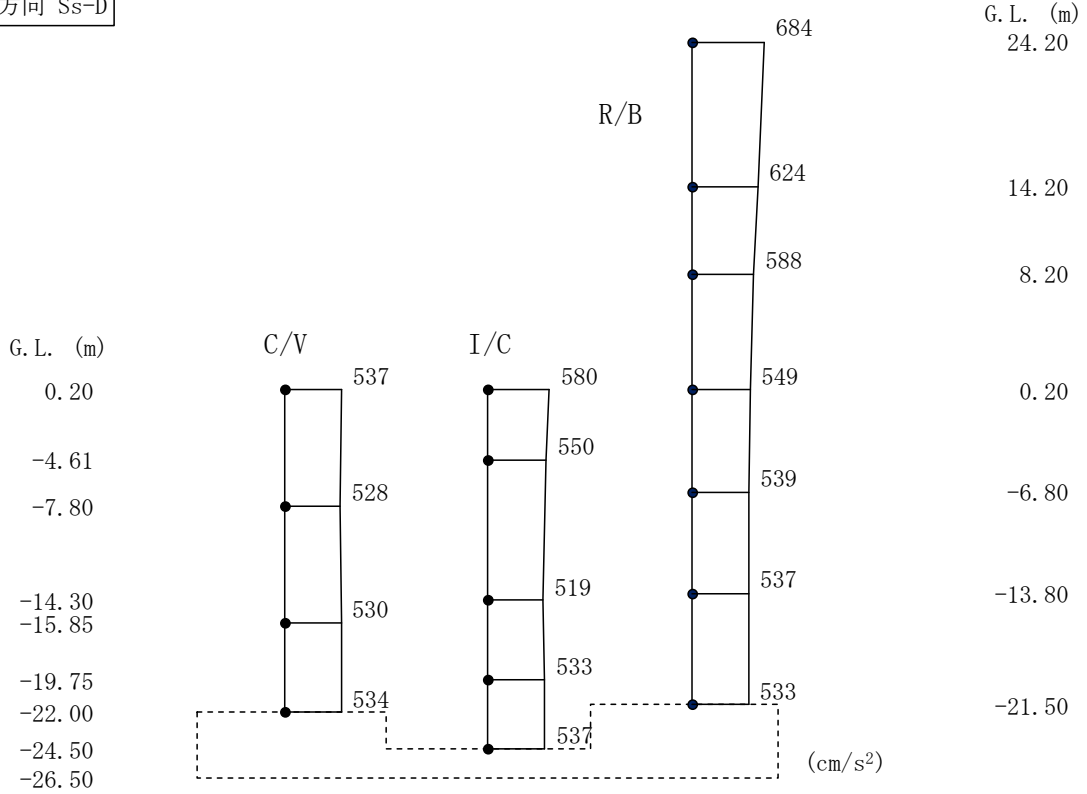
第 5.23 図 最大応答せん断力(NS 方向、Ss-5)

NS方向 Ss-5



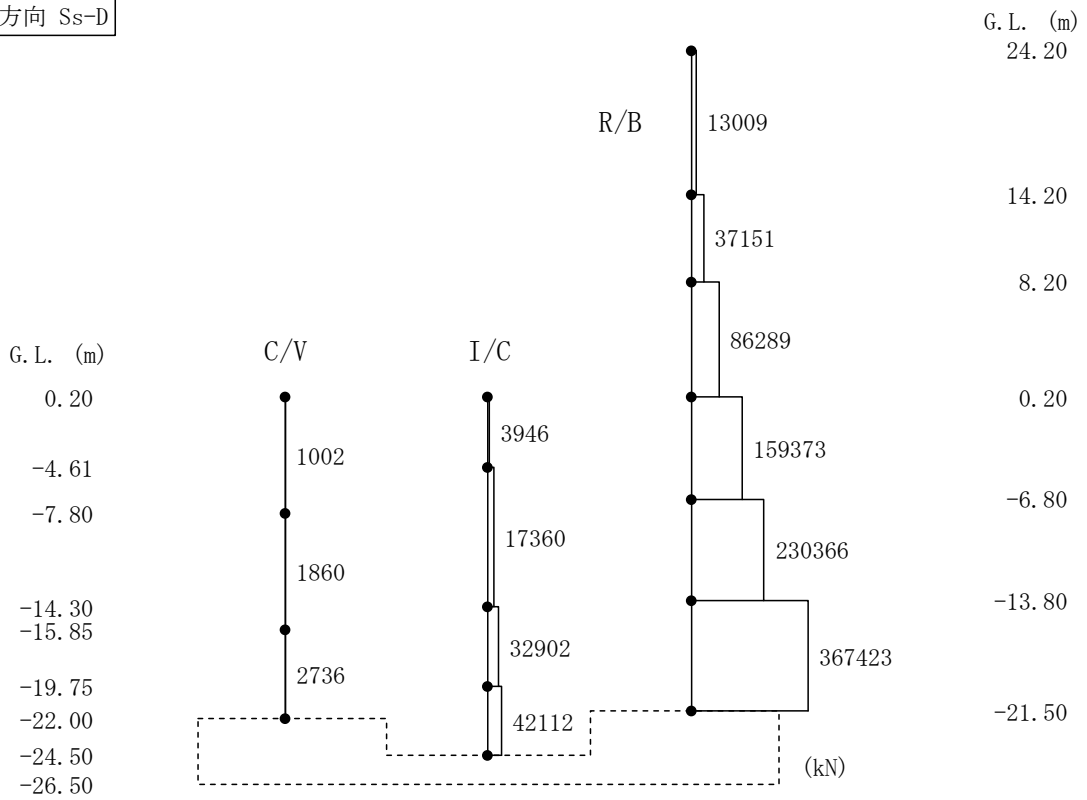
第 5.24 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Ss-5)

EW方向 Ss-D



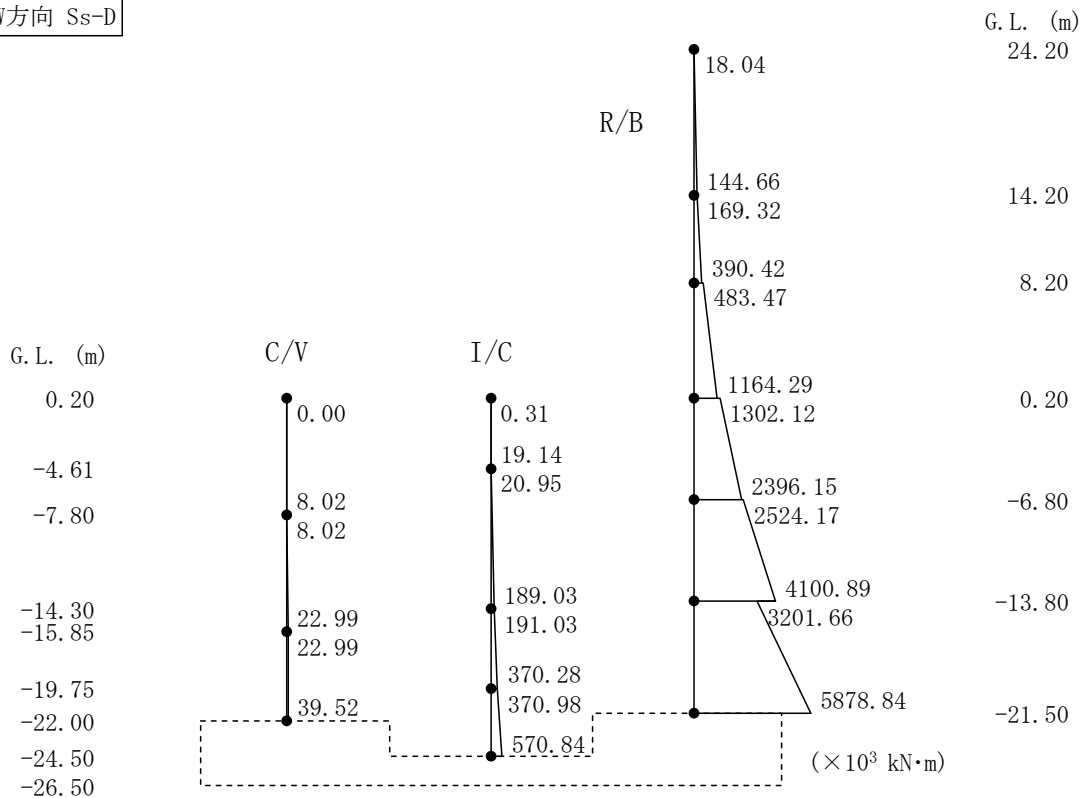
第 5.25 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-D)

EW方向 Ss-D



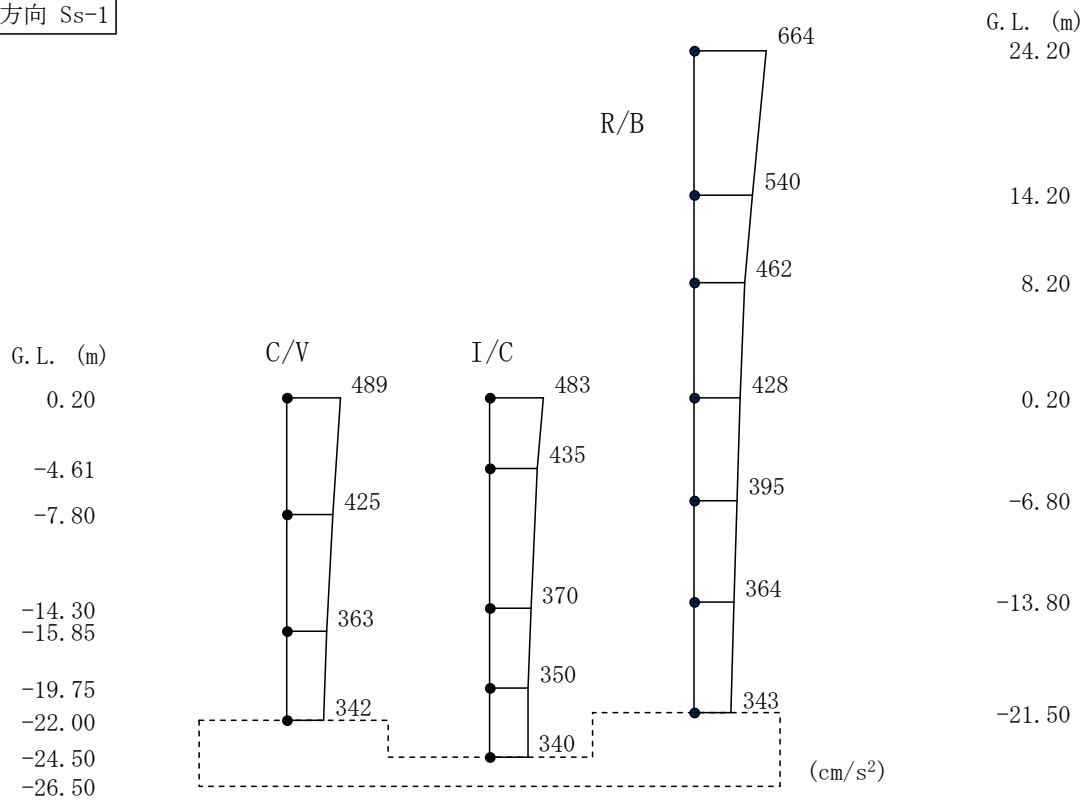
第 5.26 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Ss-D)

EW方向 Ss-D



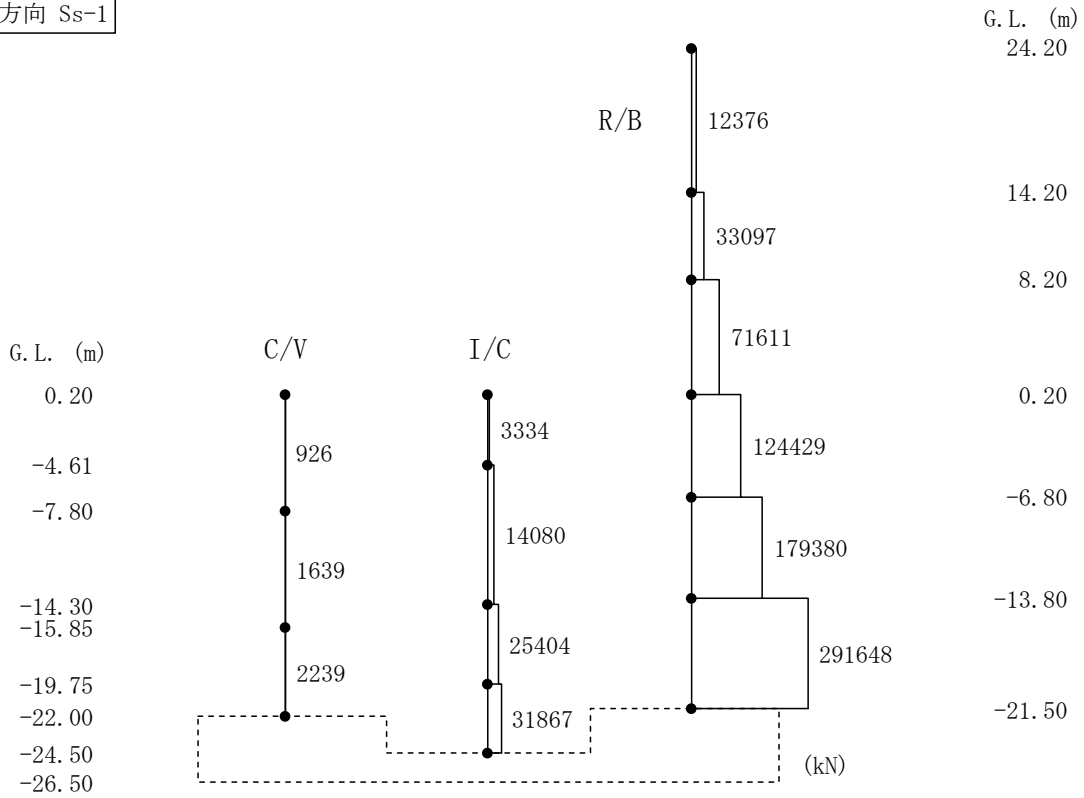
第 5.27 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Ss-D)

EW方向 Ss-1



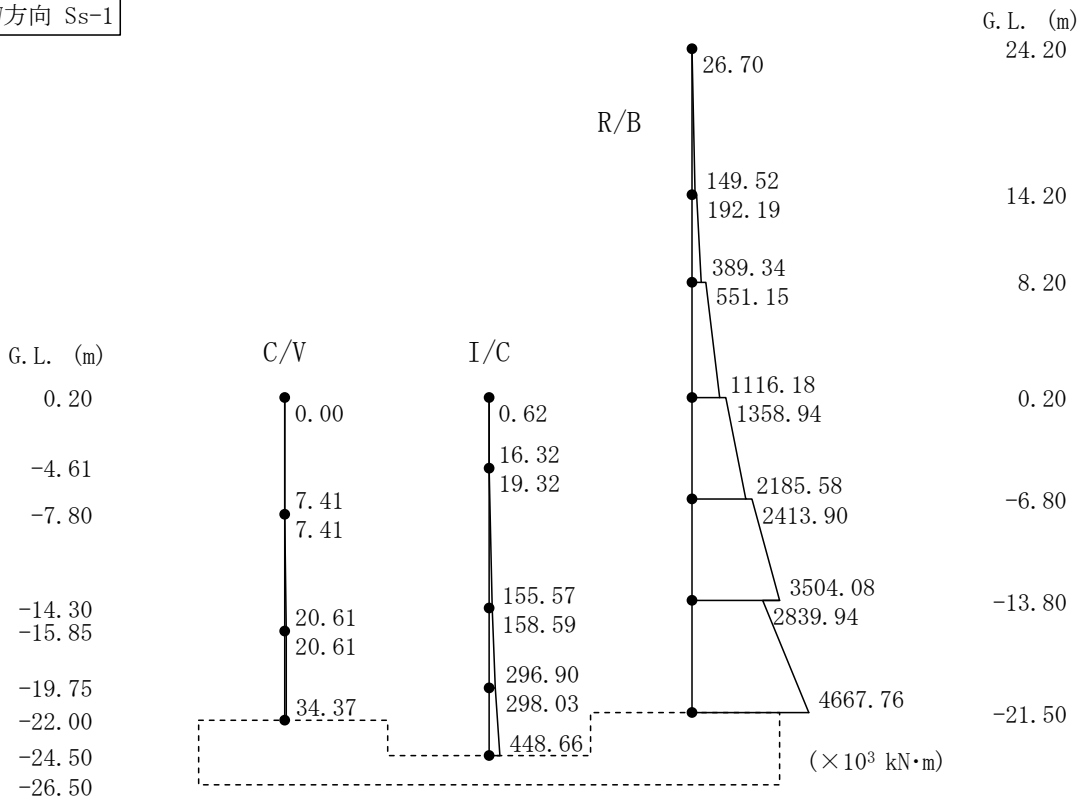
第 5.28 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-1)

EW方向 Ss-1



第 5.29 図 最大応答せん断力(EW 方向、Ss-1)

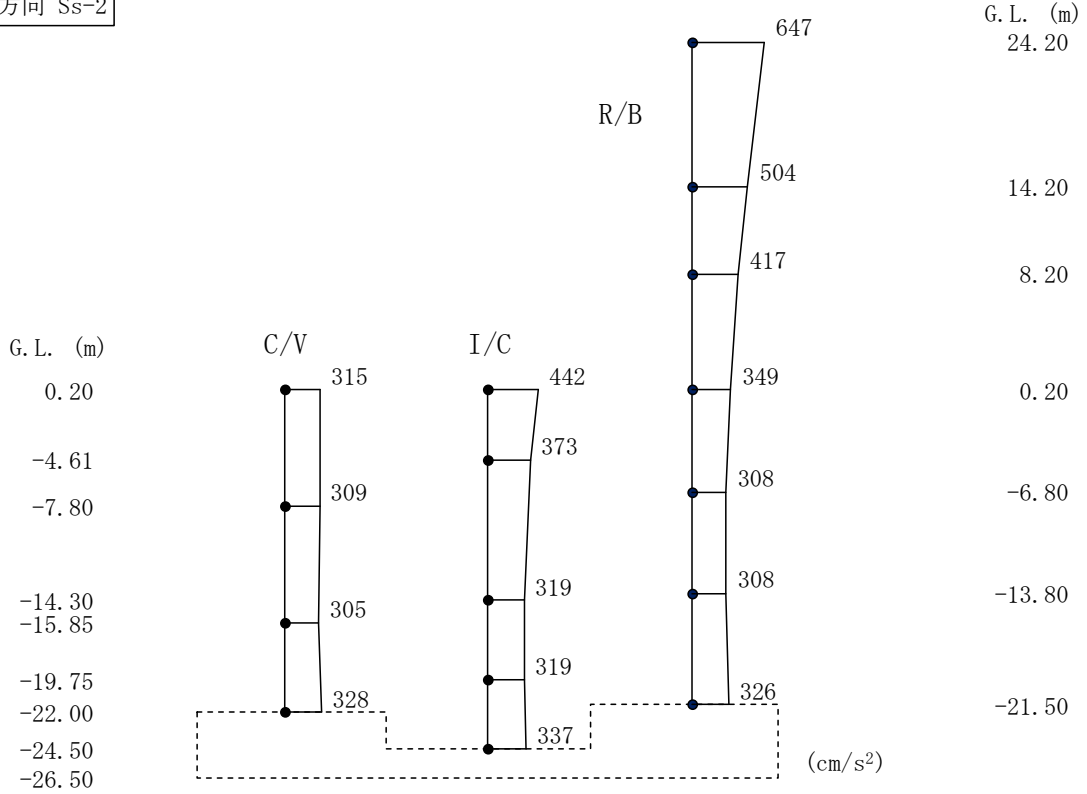
EW方向 Ss-1



第 5.30 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-1)

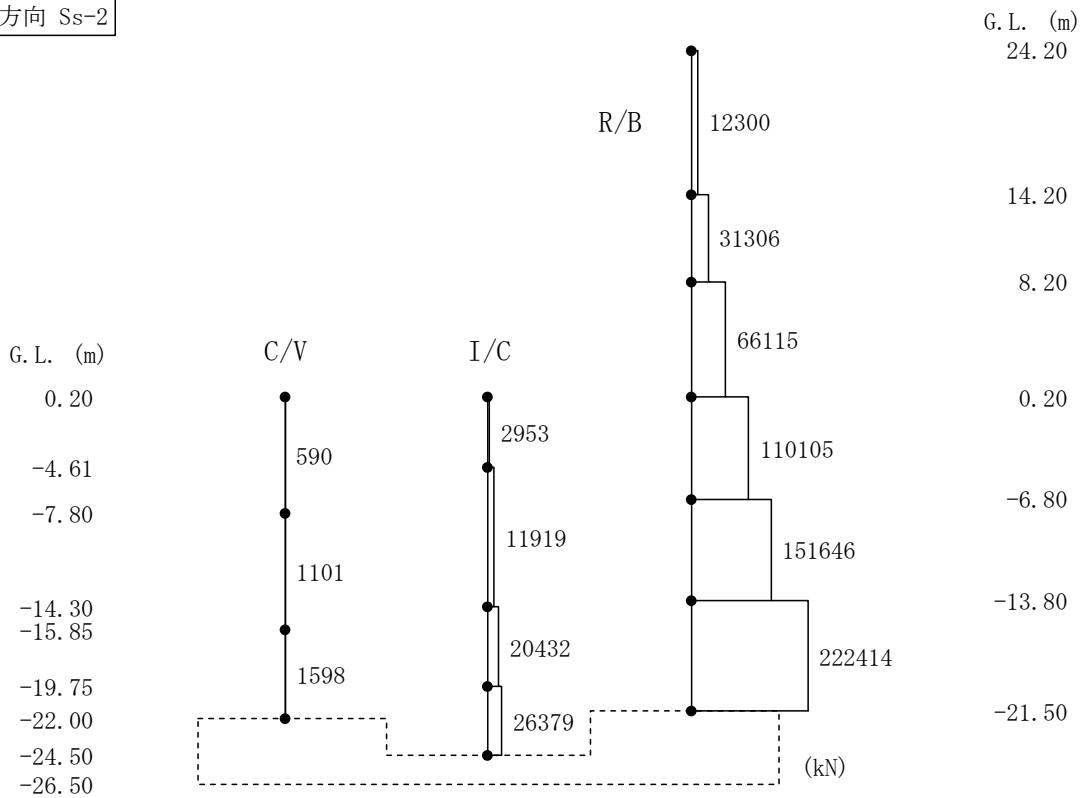


EW方向 Ss-2



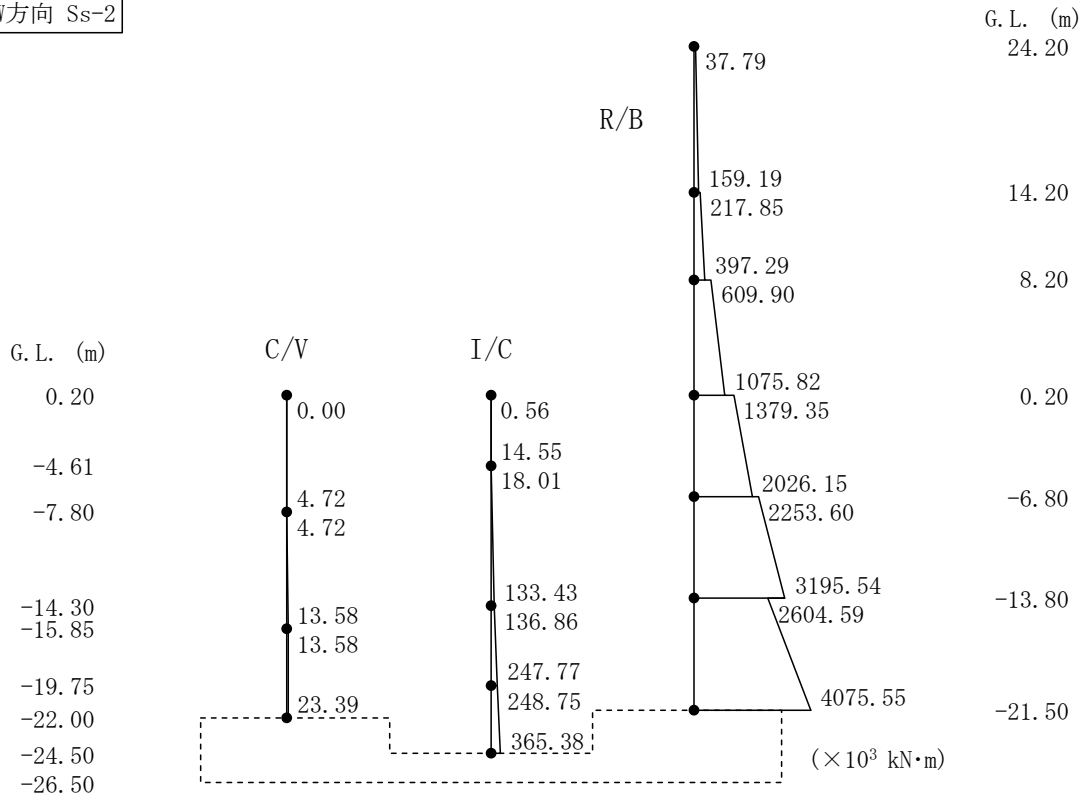
第 5.31 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-2)

EW方向 Ss-2



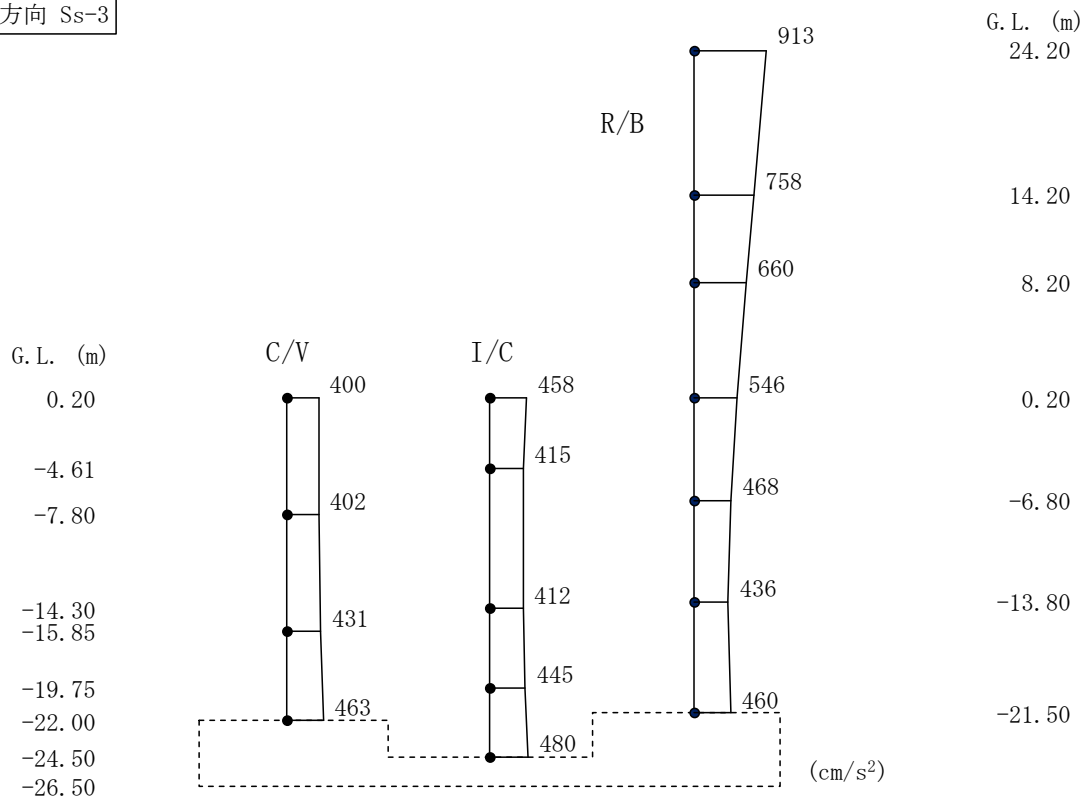
第 5.32 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Ss-2)

EW方向 Ss-2



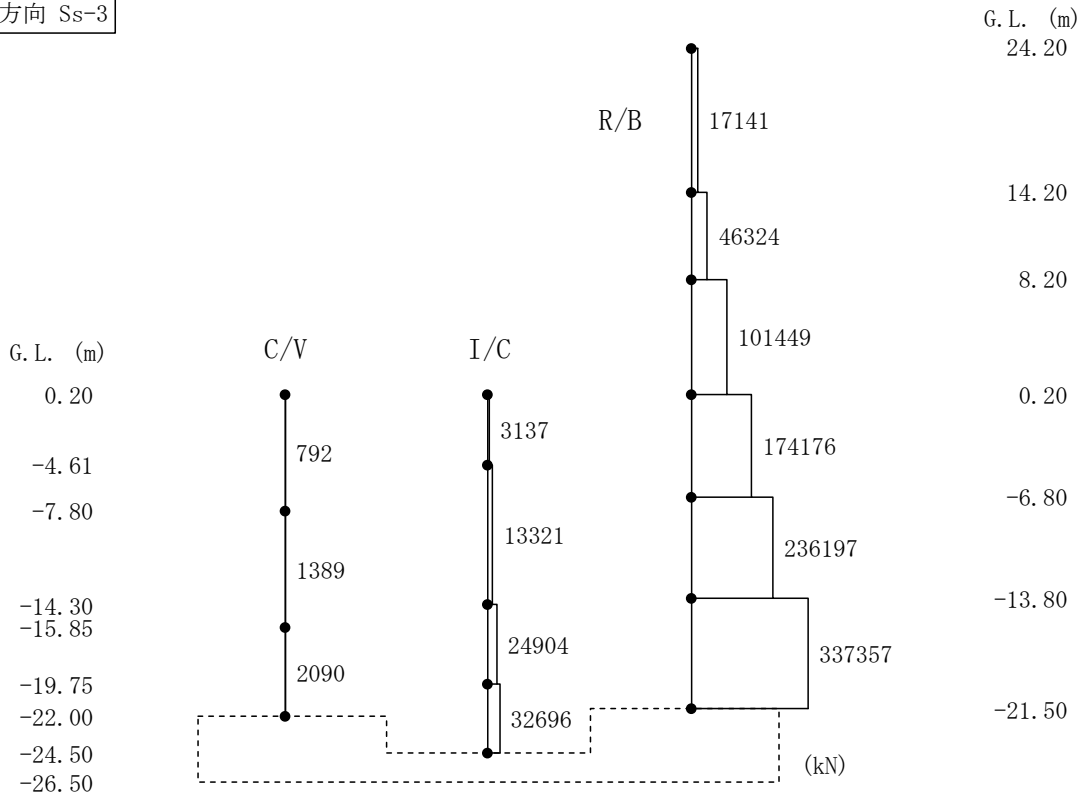
第 5.33 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Ss-2)

EW方向 Ss-3



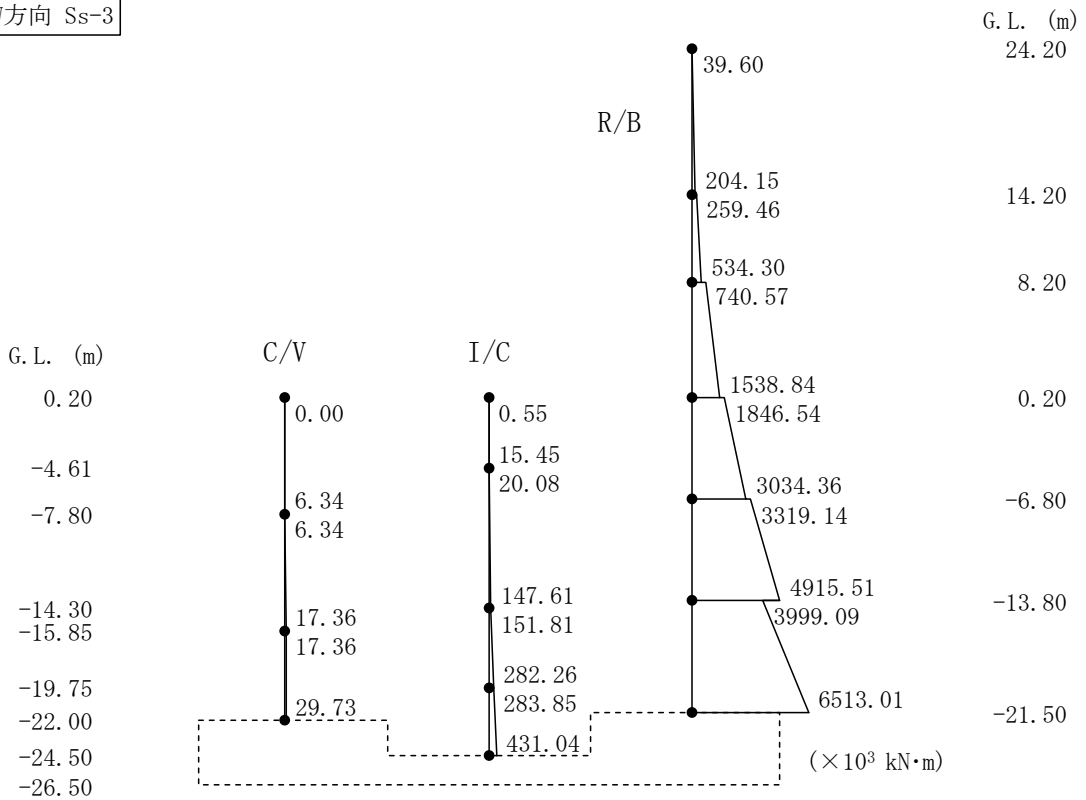
第 5.34 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-3)

EW方向 Ss-3



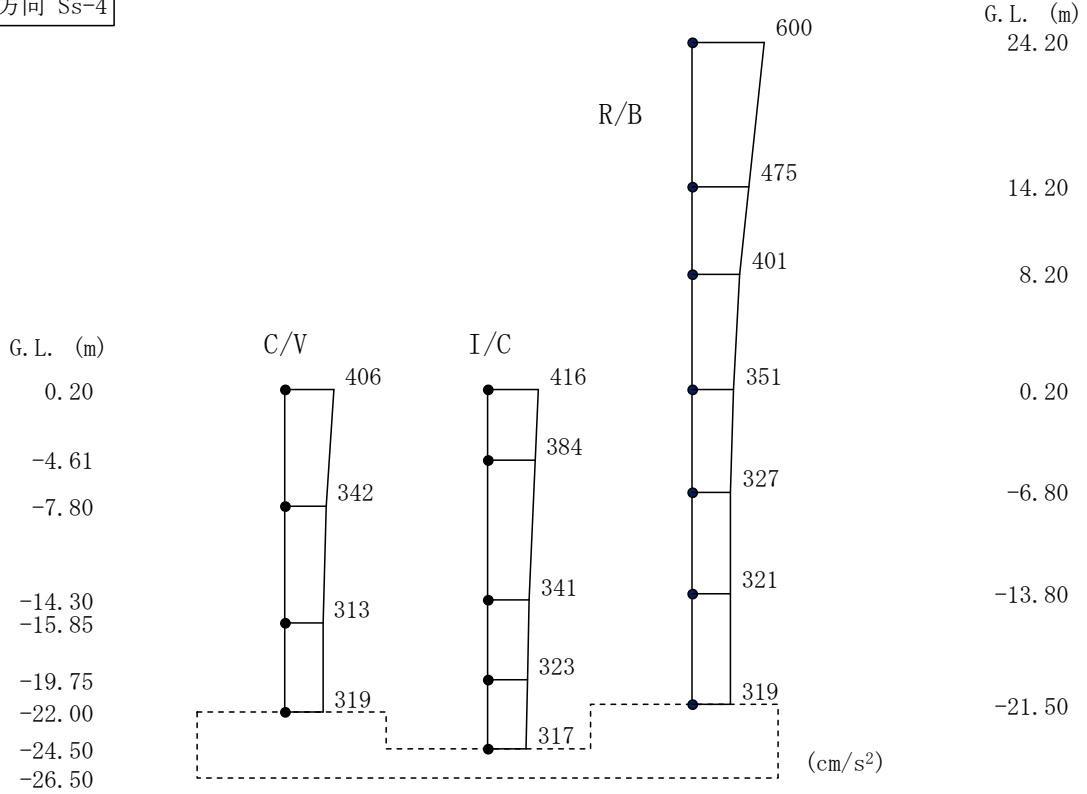
第 5.35 図 最大応答せん断力(EW 方向、Ss-3)

EW方向 Ss-3



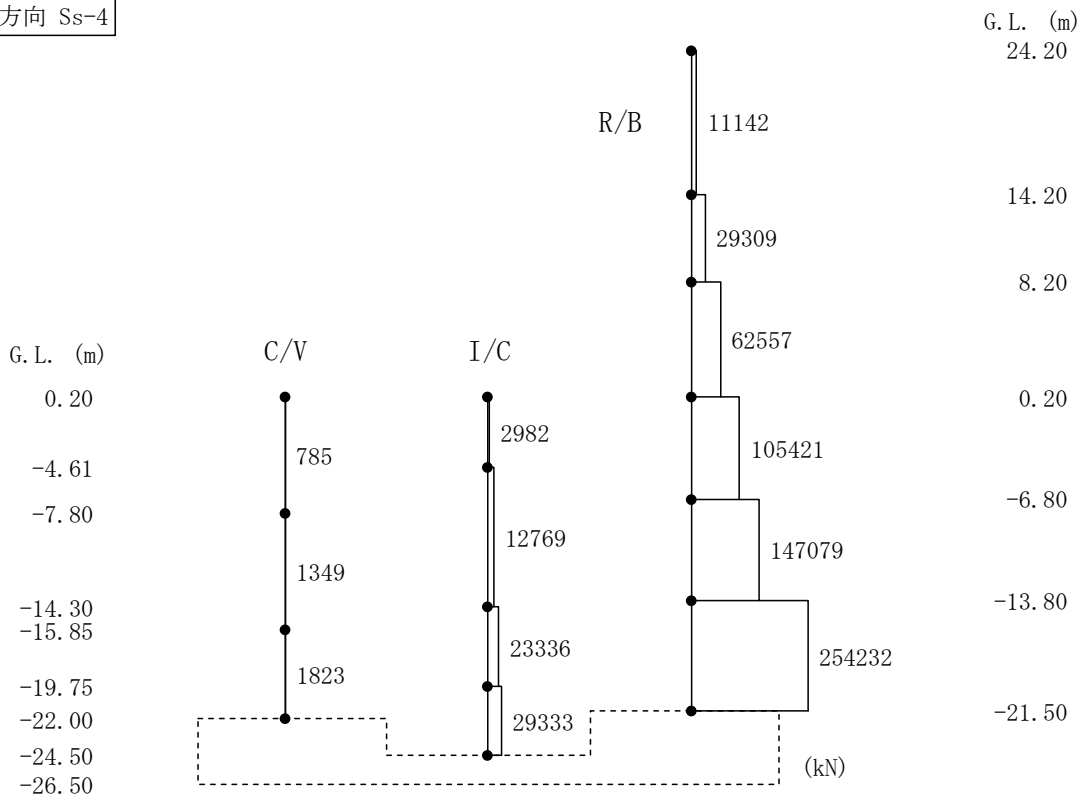
第 5.36 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-3)

EW方向 Ss-4



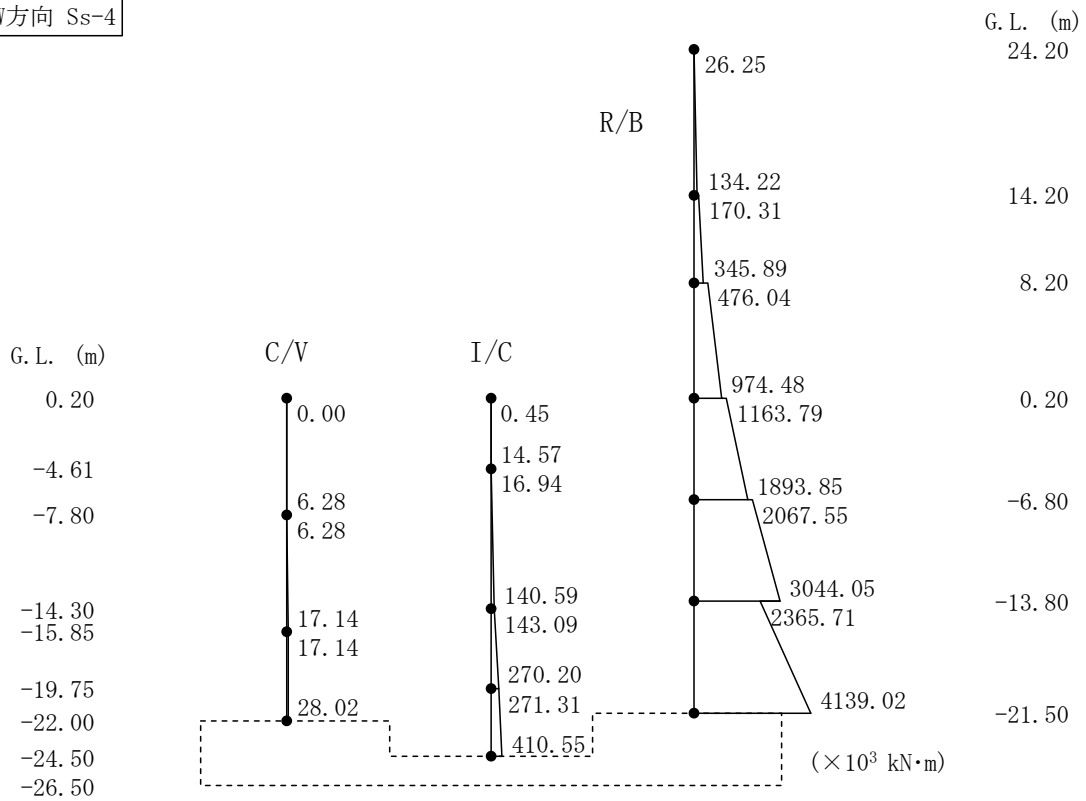
第 5.37 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-4)

EW方向 Ss-4



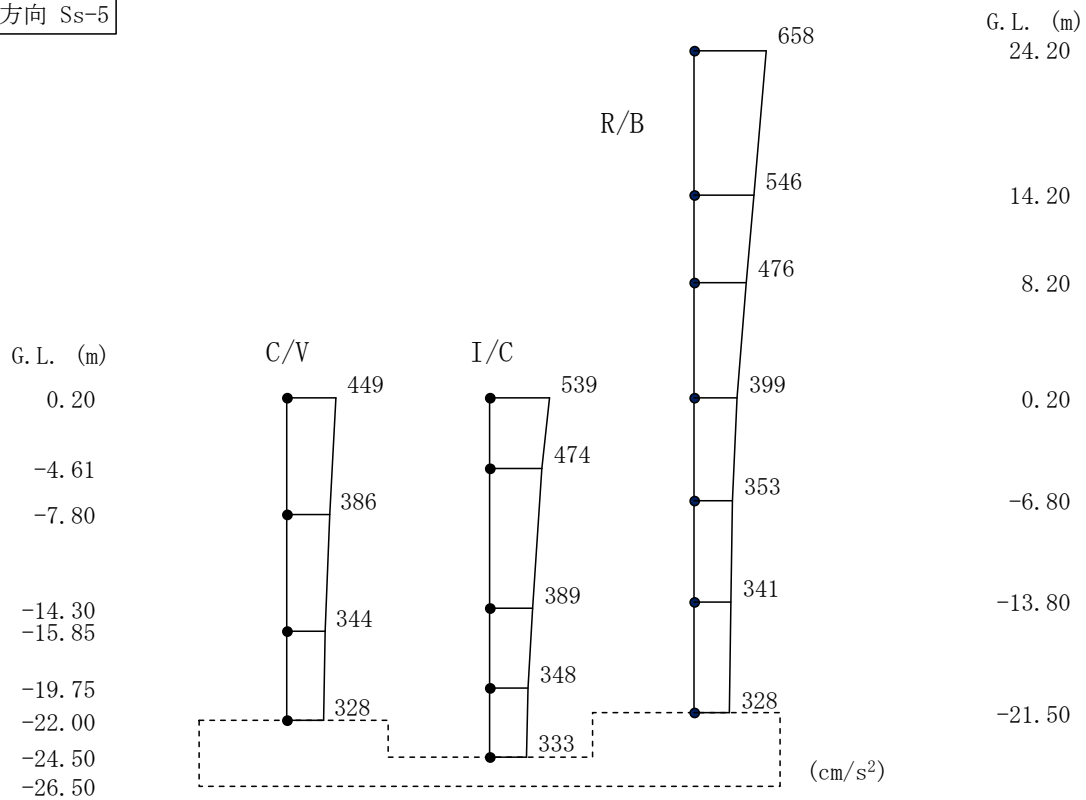
第 5.38 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Ss-4)

EW方向 Ss-4



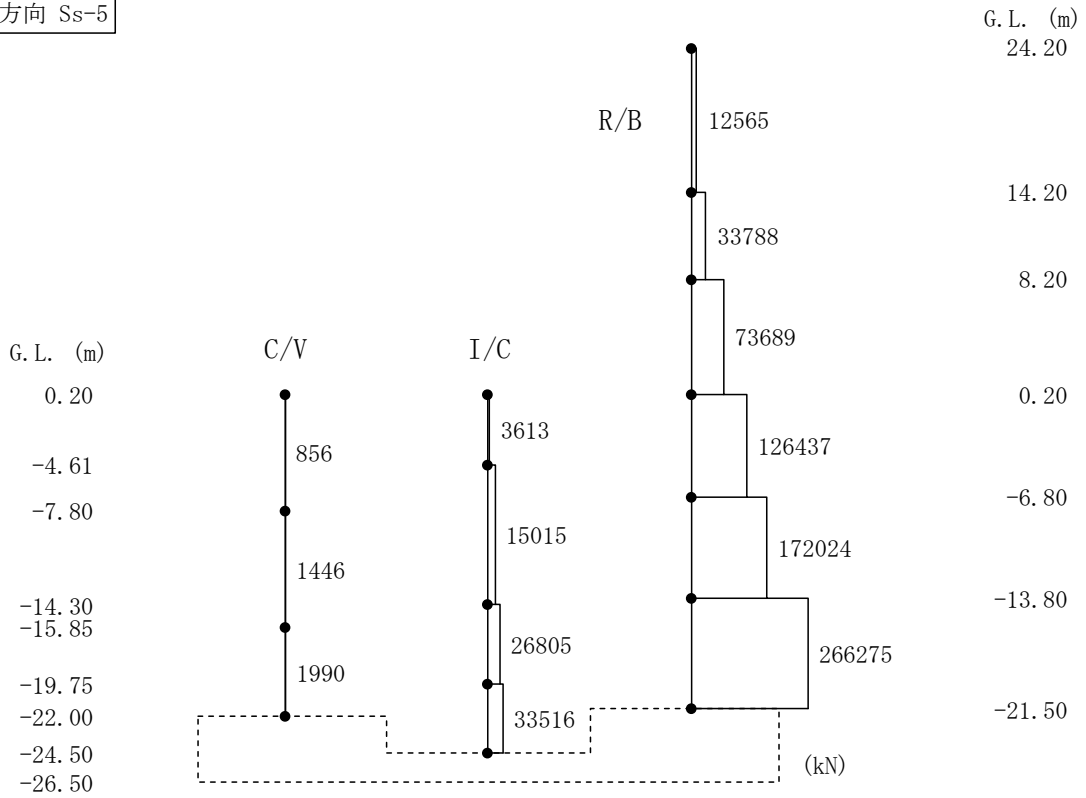
第 5.39 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Ss-4)

EW方向 Ss-5



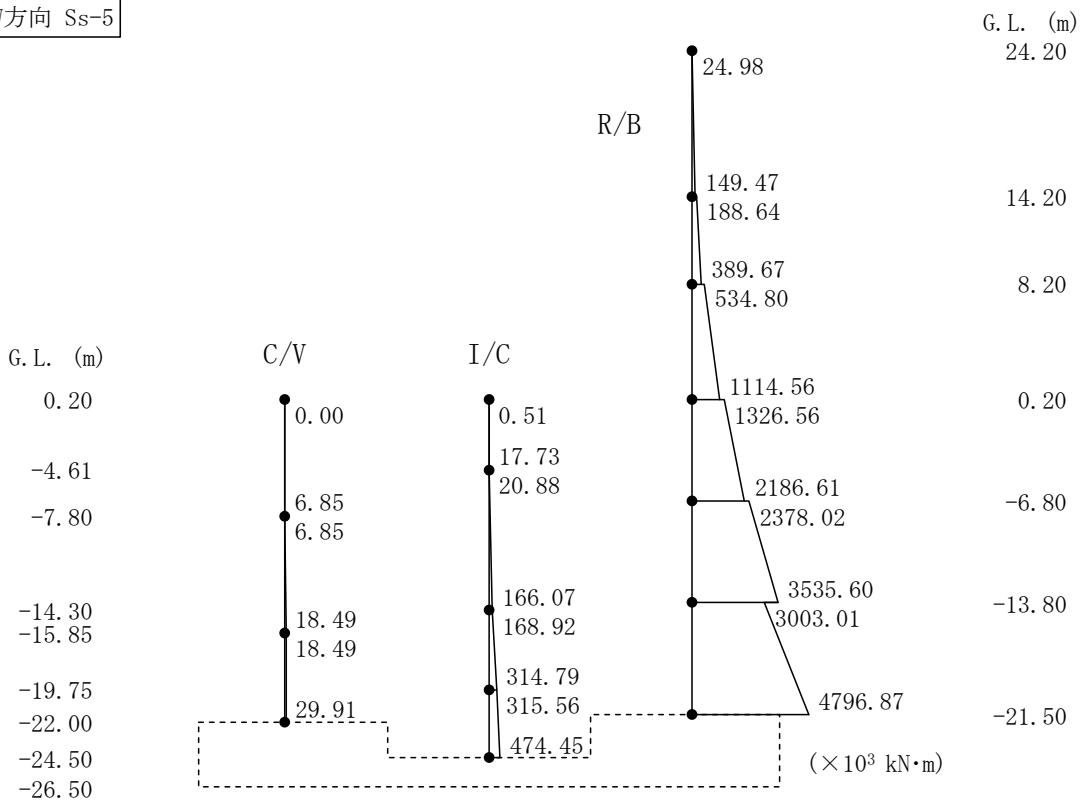
第 5.40 図 最大応答加速度 (EW 方向、Ss-5)

EW方向 Ss-5



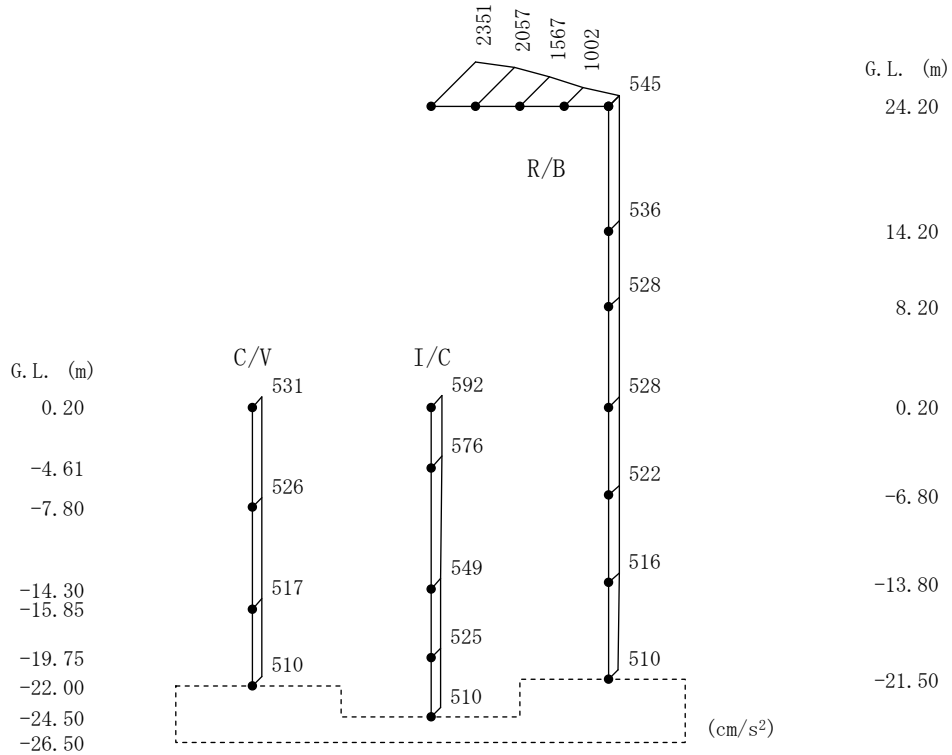
第 5.41 図 最大応答せん断力(EW 方向、Ss-5)

EW方向 Ss-5



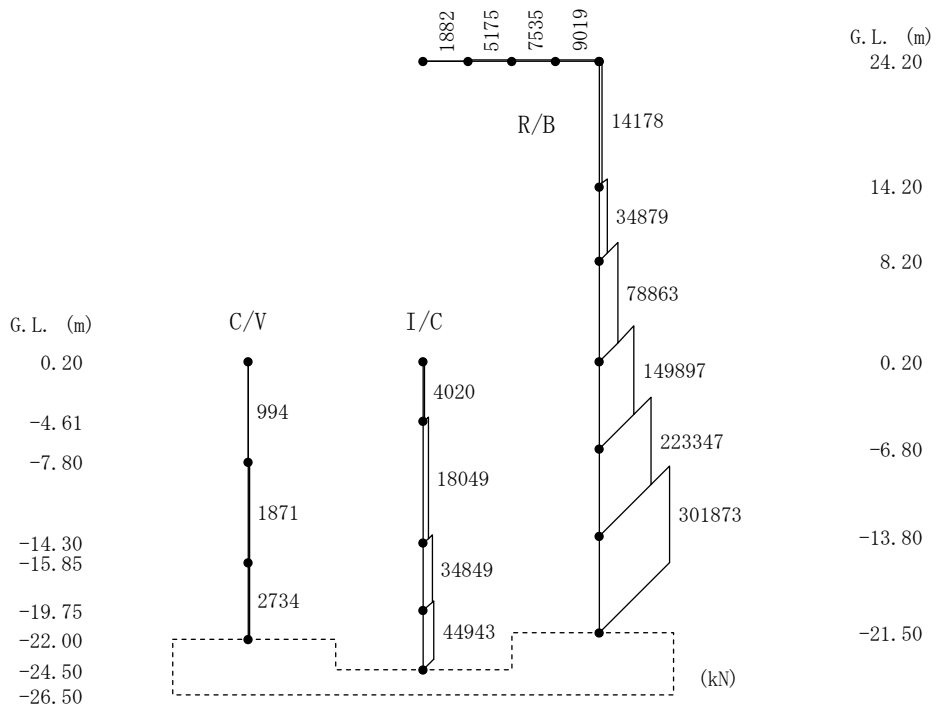
第 5.42 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Ss-5)

UD方向 S<sub>s</sub>-D



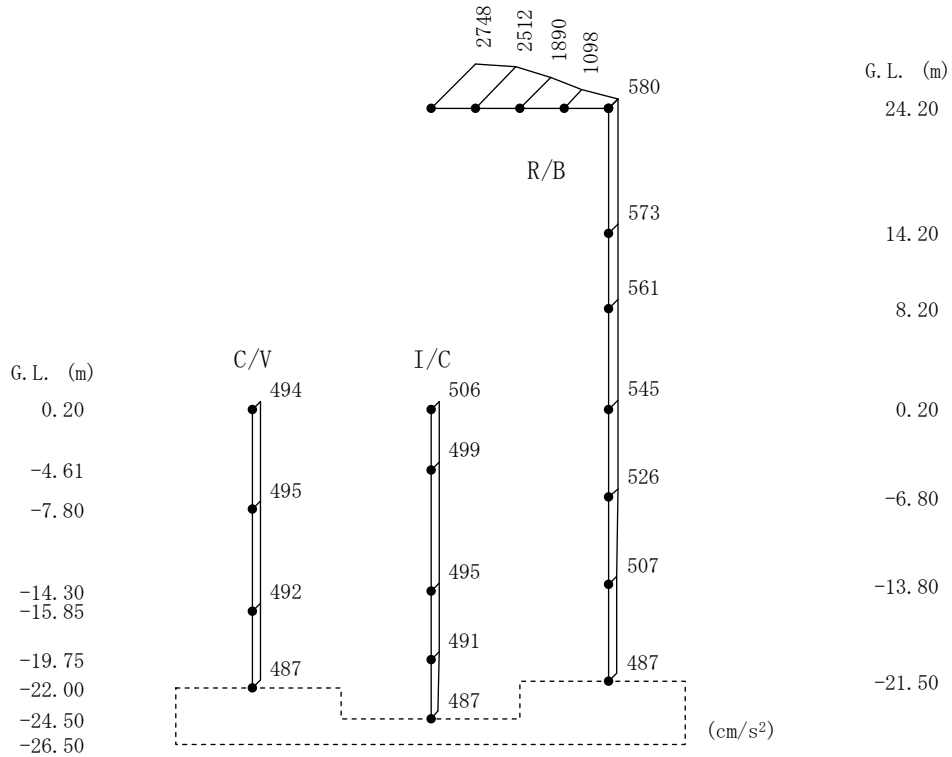
第 5.43 图 最大応答加速度 (UD 方向、S<sub>s</sub>-D)

UD方向 S<sub>s</sub>-D



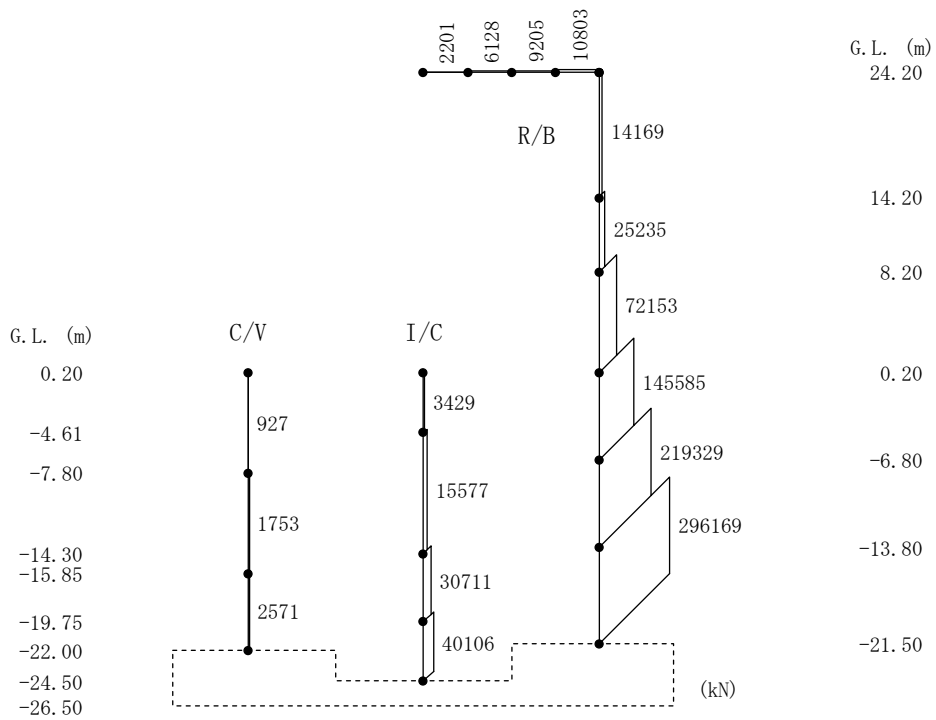
第 5.44 图 最大応答軸力 (UD 方向、S<sub>s</sub>-D)

UD方向 Ss-1



第 5.45 图 最大応答加速度(UD 方向、Ss-1)

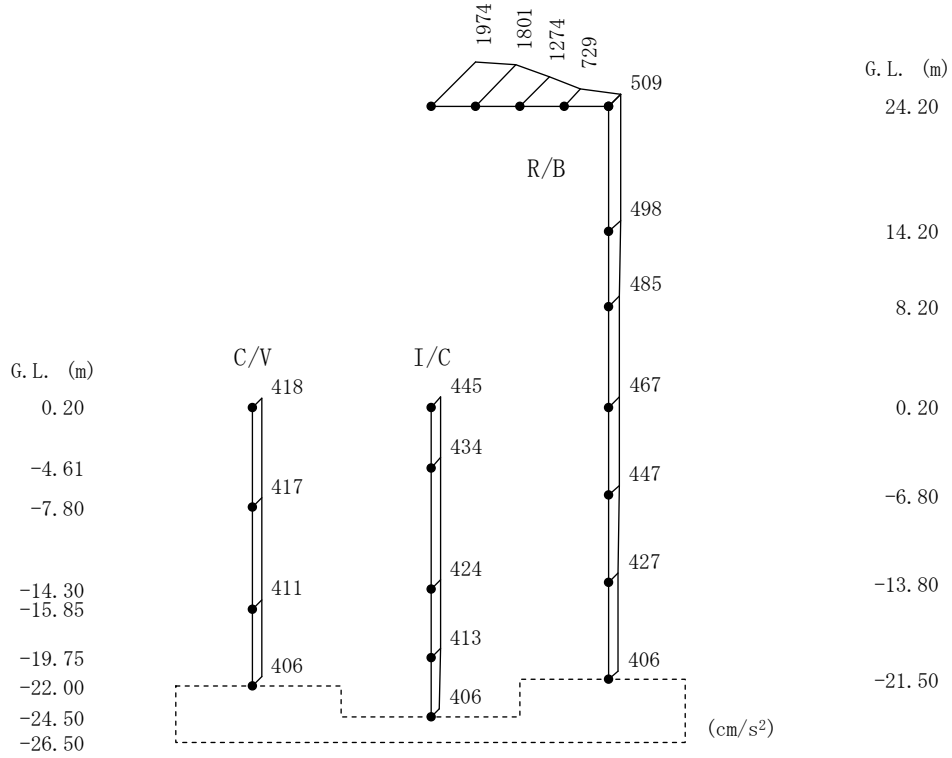
UD方向 Ss-1



第 5.46 图 最大応答軸力(UD 方向、Ss-1)

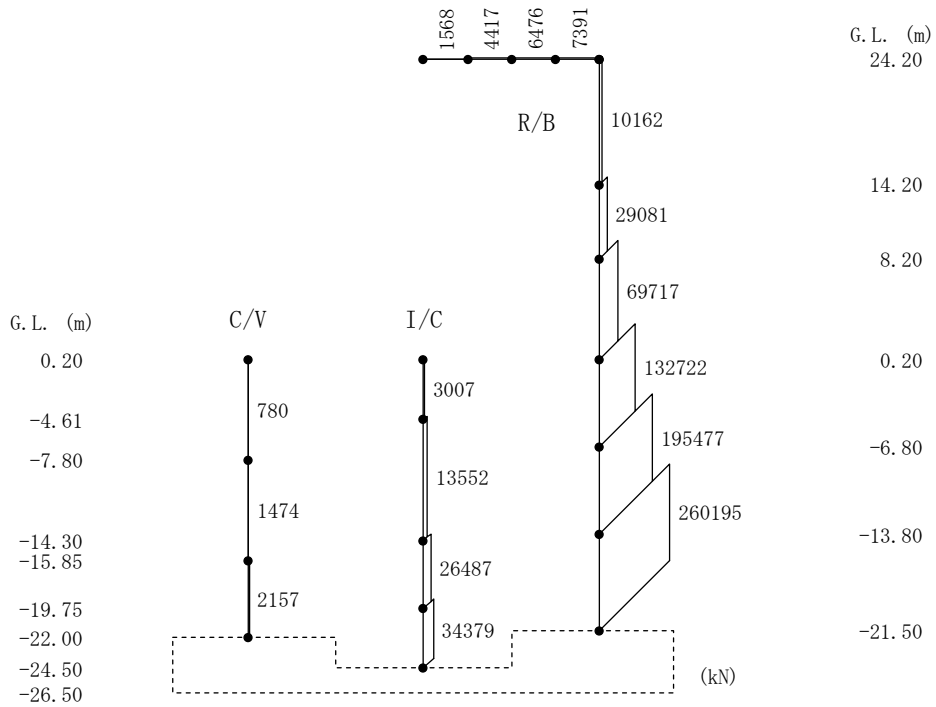


UD方向 S<sub>s</sub>-2



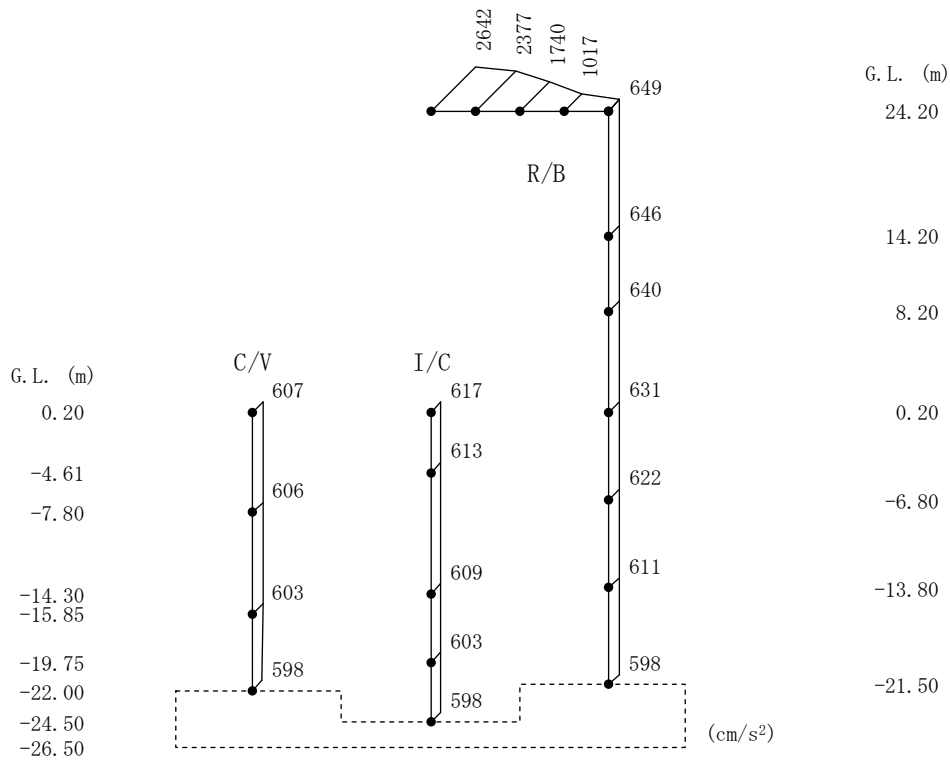
第 5.47 图 最大応答加速度 (UD 方向、S<sub>s</sub>-2)

UD方向 S<sub>s</sub>-2



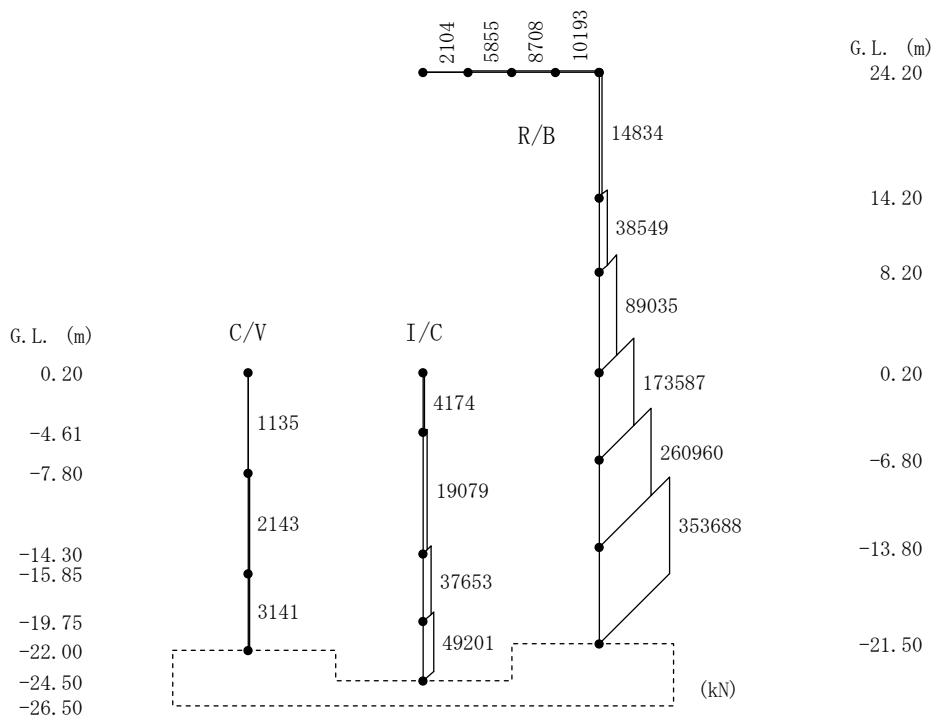
第 5.48 图 最大応答軸力 (UD 方向、S<sub>s</sub>-2)

UD方向 S<sub>s</sub>-3



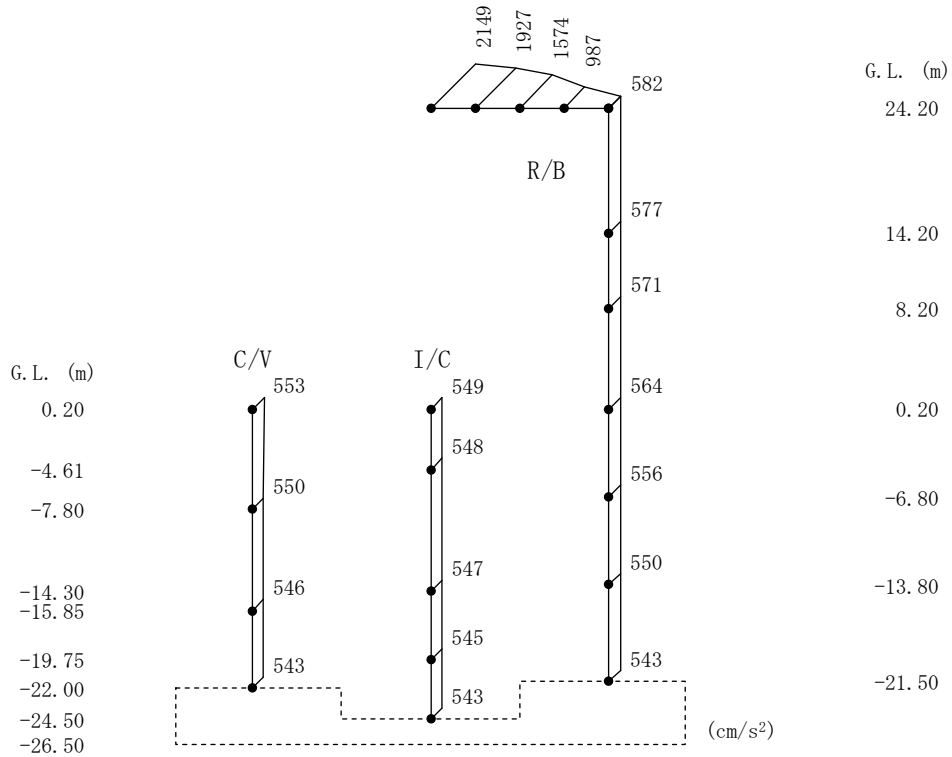
第 5.49 图 最大応答加速度(UD 方向、S<sub>s</sub>-3)

UD方向 S<sub>s</sub>-3



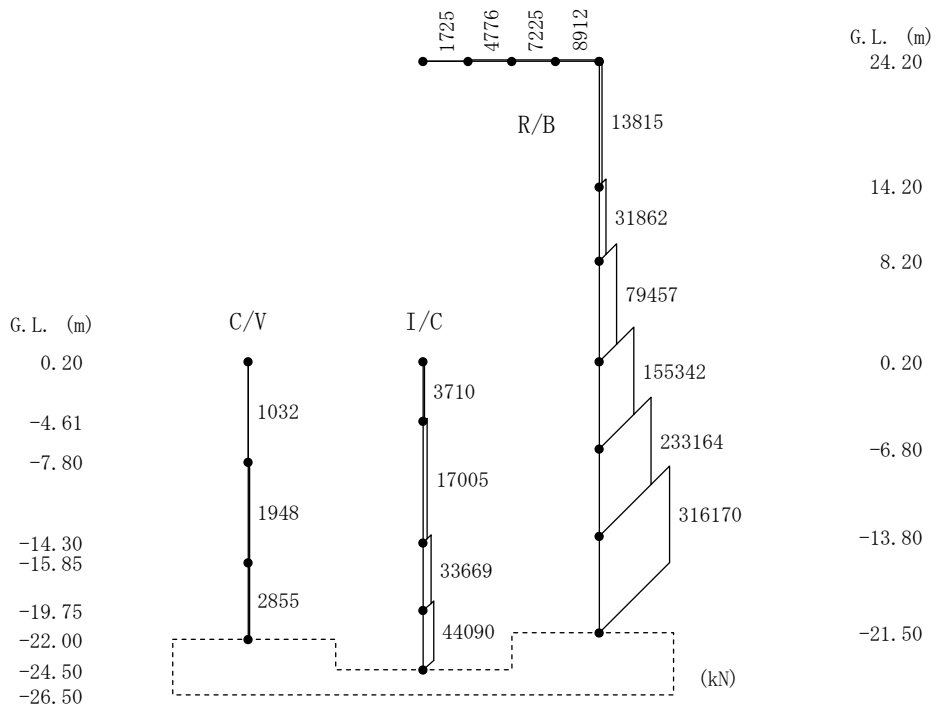
第 5.50 图 最大応答軸力(UD 方向、S<sub>s</sub>-3)

UD方向 Ss-4



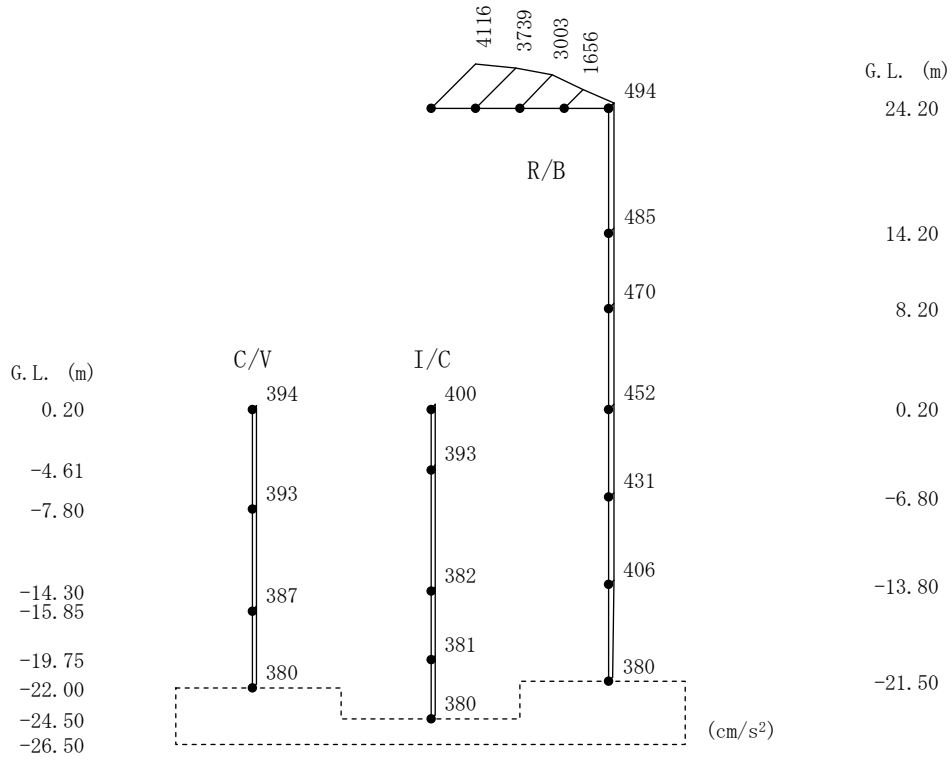
第 5.51 图 最大応答加速度(UD 方向、Ss-4)

UD方向 Ss-4



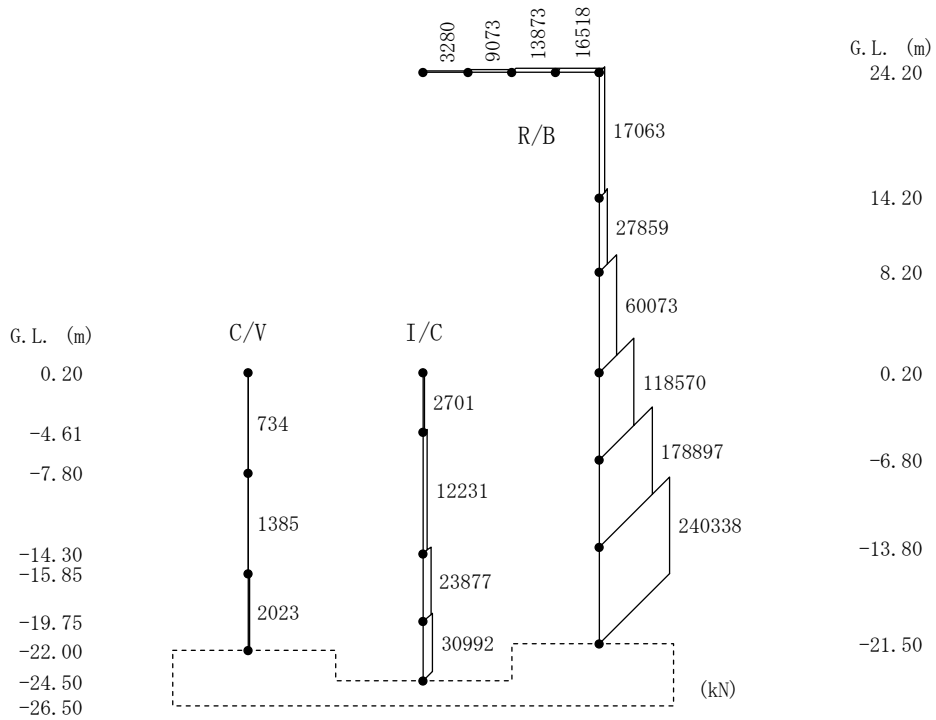
第 5.52 图 最大応答軸力(UD 方向、Ss-4)

UD方向 S<sub>s</sub>-5

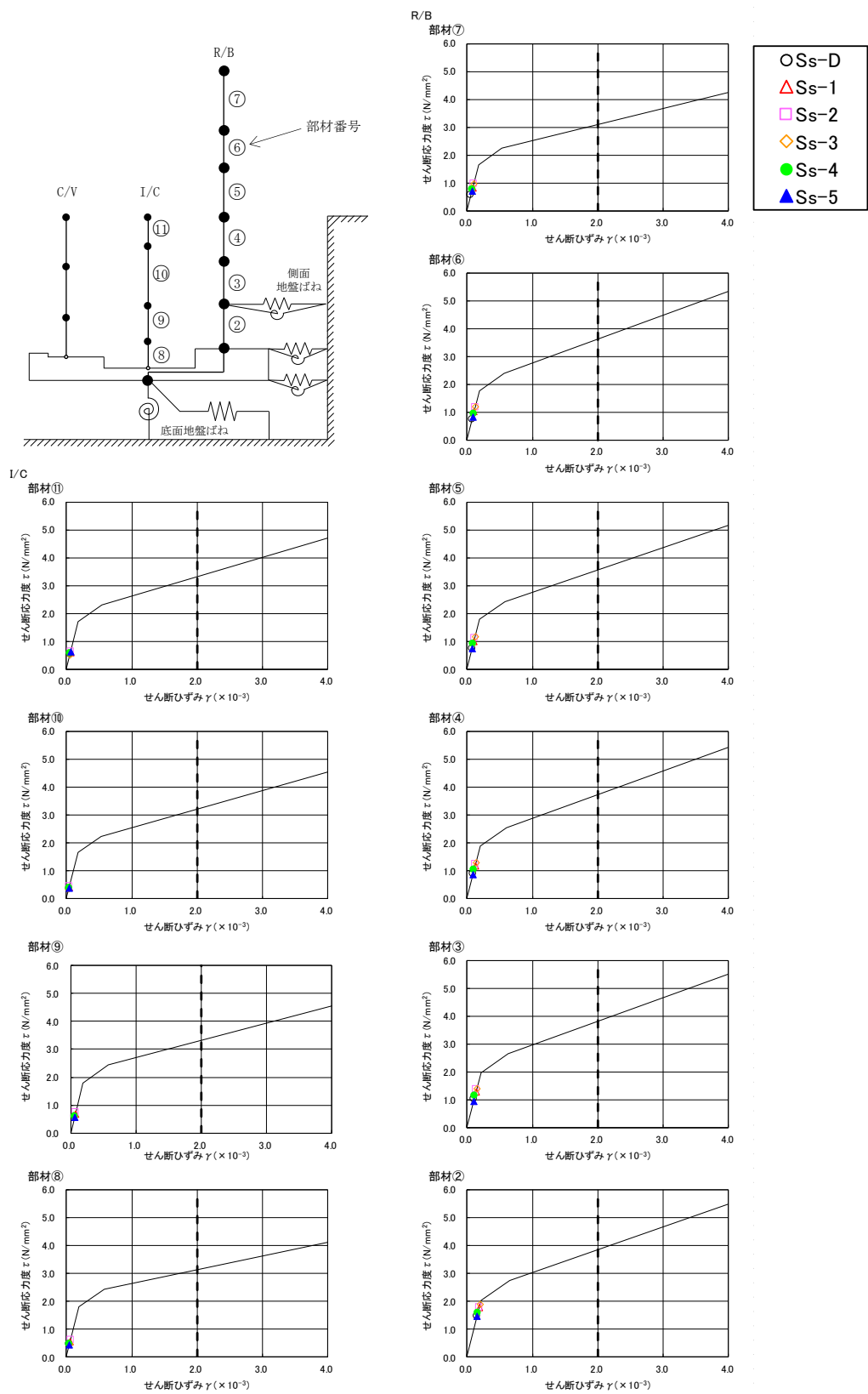


第 5.53 图 最大応答加速度 (UD 方向、S<sub>s</sub>-5)

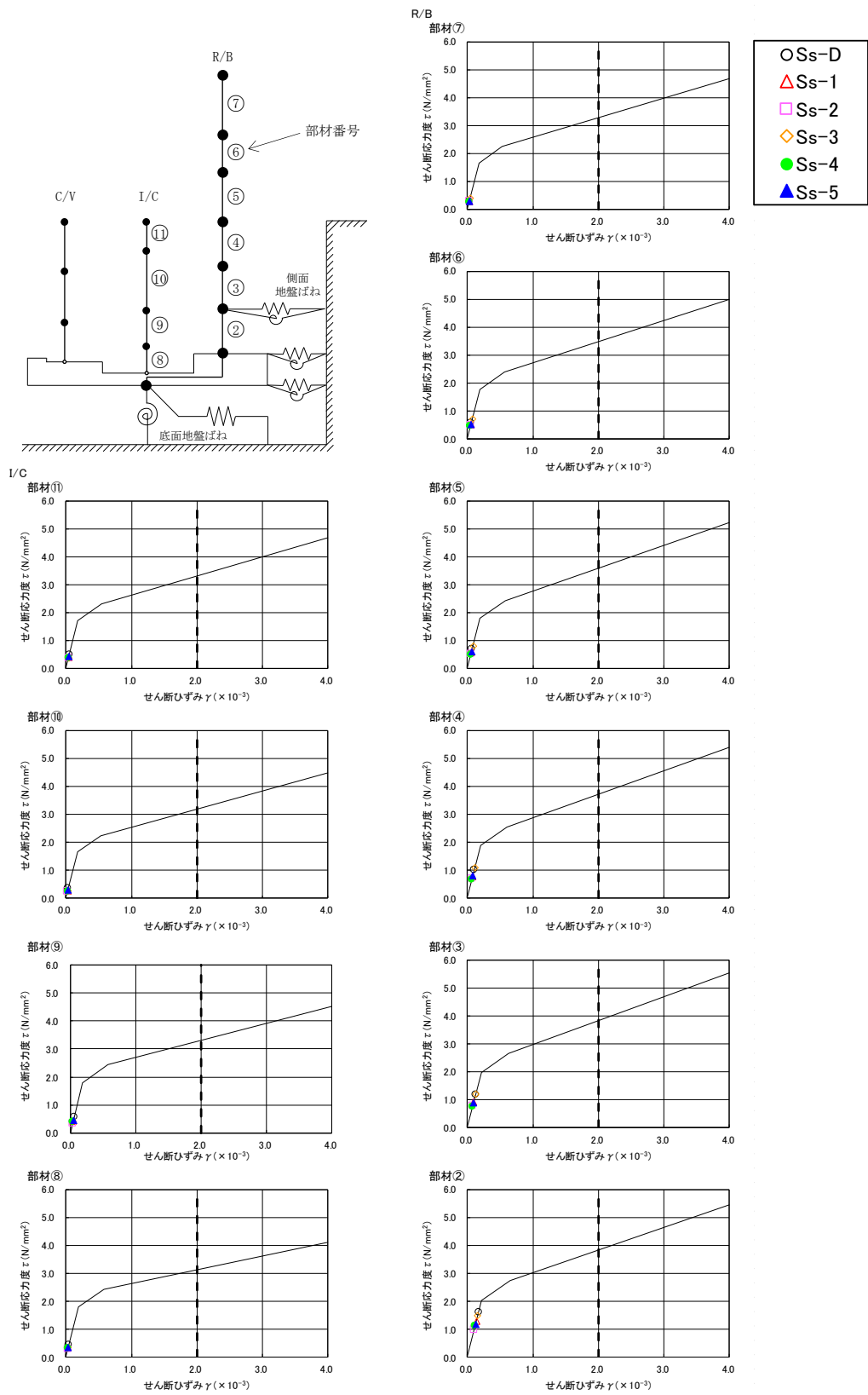
UD方向 S<sub>s</sub>-5



第 5.54 图 最大応答軸力 (UD 方向、S<sub>s</sub>-5)



第 5.55 図 セン断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向、Ss)



第 5.56 図 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向、Ss)

## 6. 基礎浮き上がりの検討

基準地震動  $S_s$  による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を第 6.1 表に示す。地震時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を第 6.2 表に示す。

接地率は、線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値(75%)以上であることを確認した。

接地圧は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度  $1,900\text{kN/m}^2$  を超えないことを確認した。

第 6.1 表 最小接地率( $S_s$ )

(a) NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$ )	最小接地率 (%)
$S_s$ -D	9.03	6.67	100.0
$S_s$ -1		8.51	100.0
$S_s$ -2		8.78	100.0
$S_s$ -3		9.47	97.6
$S_s$ -4		7.75	100.0
$S_s$ -5		6.95	100.0

(b) EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$ )	最小接地率 (%)
$S_s$ -D	8.69	6.53	100.0
$S_s$ -1		5.34	100.0
$S_s$ -2		4.36	100.0
$S_s$ -3		6.76	100.0
$S_s$ -4		4.55	100.0
$S_s$ -5		5.14	100.0

第 6.2 表 最大接地压 (Ss)

地震動	方向	最大接地压 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-D	NS	760
	EW	760
Ss-1	NS	830
	EW	700
Ss-2	NS	830
	EW	650
Ss-3	NS	880
	EW	770
Ss-4	NS	810
	EW	670
Ss-5	NS	760
	EW	690



## 7. 評価結果

原子炉建家の耐震性評価として基準地震動  $S_s$  による地震応答解析を行い、接地率が線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値以上であること、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により、原子炉建家は基準地震動  $S_s$  に対して耐震余裕を有していることを確認した。

1-2-1-1. 地震観測シミュレーションによる原子炉建家の  
の地震応答解析モデルの妥当性確認

## 目 次

1. 概要 ..... 添 1 - 2 - 1 - 1 - 1
2. 原子炉建家内の地震計設置位置及び観測記録..... 添 1 - 2 - 1 - 1 - 2
3. 入力地震動及び解析モデル..... 添 1 - 2 - 1 - 1 - 5
4. 地震観測シミュレーション解析結果..... 添 1 - 2 - 1 - 1 - 7

## 目 次

第1図	地震計の設置位置.....	添1 - 2 - 1 - 1 - 2
第2図	加速度応答スペクトル(3.11地震、NS方向、h=0.05).....	添1 - 2 - 1 - 1 - 3
第3図	加速度応答スペクトル(3.11地震、EW方向、h=0.05).....	添1 - 2 - 1 - 1 - 4
第4図	解析モデル .....	添1 - 2 - 1 - 1 - 6
第5図	原子炉建家建設時の地盤の掘削状況(NS方向) .....	添1 - 2 - 1 - 1 - 6
第6図	最大応答加速度の比較(3.11地震) .....	添1 - 2 - 1 - 1 - 8
第7図	加速度応答スペクトルの比較(3.11地震、NS方向、h=0.05)..... .....	添1 - 2 - 1 - 1 - 9
第8図	加速度応答スペクトルの比較(3.11地震、EW方向、h=0.05)..... .....	添1 - 2 - 1 - 1 - 10

## 1. 概要

本資料は、原子炉建家について平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の本震(以下「3.11 地震」という。)の観測記録を用いたシミュレーション解析結果を示し、建家と地盤の相互作用を考慮した質点系モデルの妥当性を説明するものである。

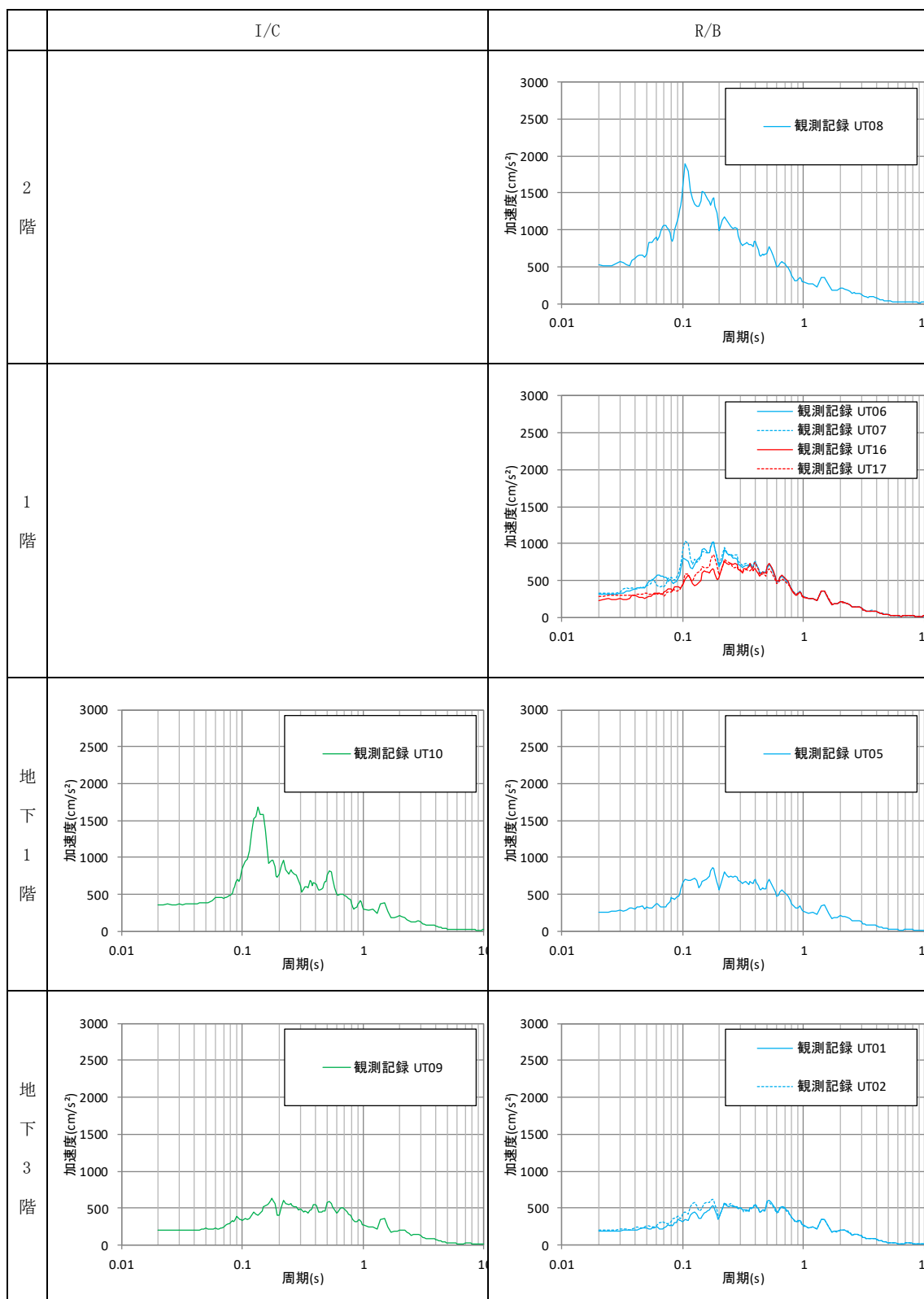
## 2. 原子炉建家内の地震計設置位置及び観測記録

原子炉建家には、地震時の振動性状を把握する目的で2階から地下3階に合計12台の地震計を設置している。地下3階では東西南北4箇所及び内部コンクリート上1箇所に、地下1階では南側1箇所及び内部コンクリート上1箇所に、1階では東西南北4箇所に、2階では南側1箇所に地震計を設置している。

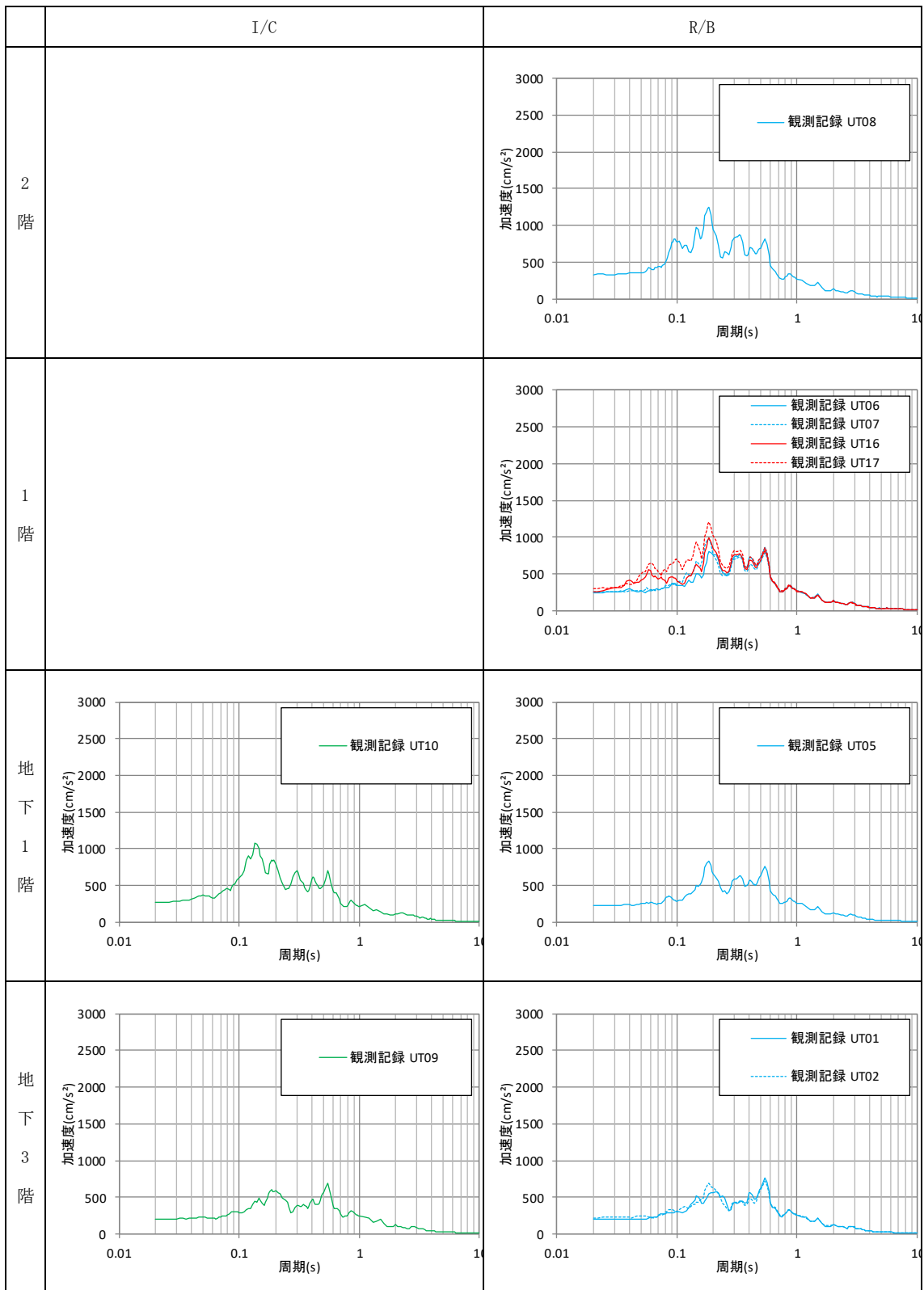
地震計の設置位置を第1図に、3.11地震の観測記録の加速度応答スペクトルを第2図及び第3図に示す。



第1図 地震計の設置位置



第2図 加速度応答スペクトル(3.11地震、NS方向、h=0.05)



第3図 加速度応答スペクトル(3.11地震、EW方向、h=0.05)



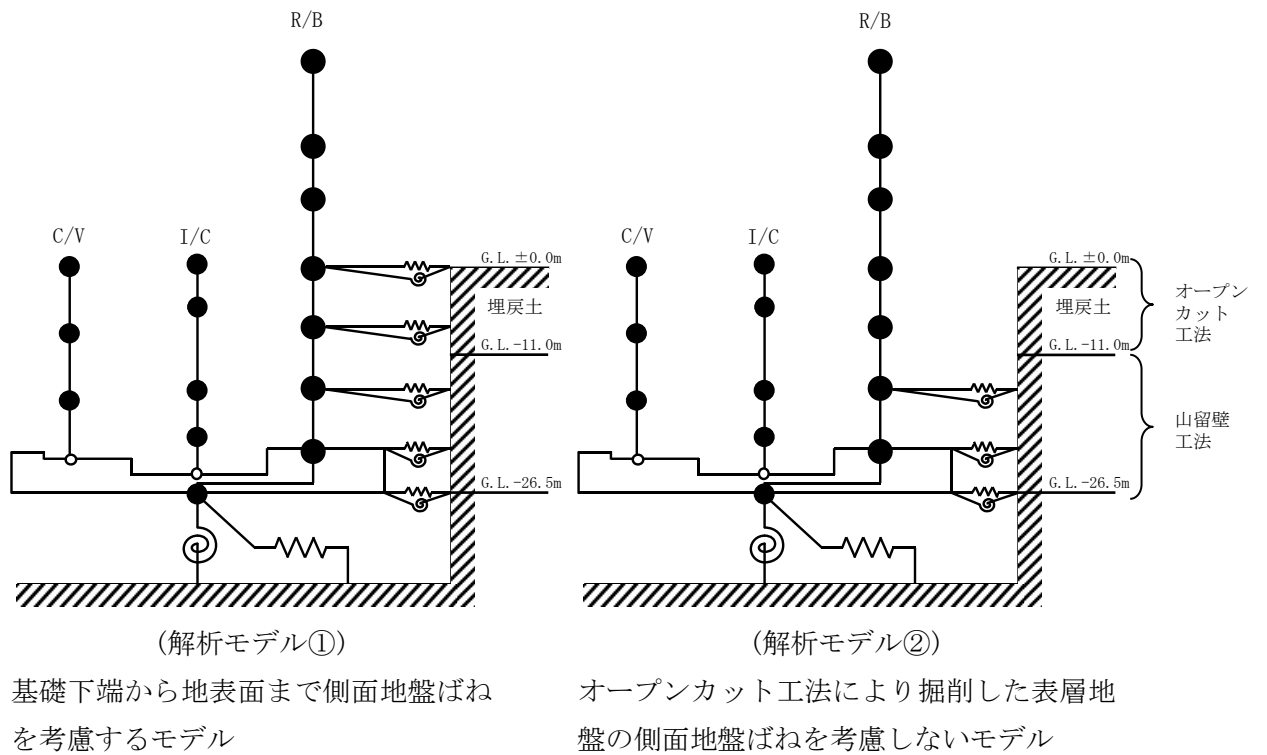
### 3. 入力地震動及び解析モデル

シミュレーション解析の入力地震動は、3.11 地震時の地盤の観測記録から算定し、建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置に入力する。

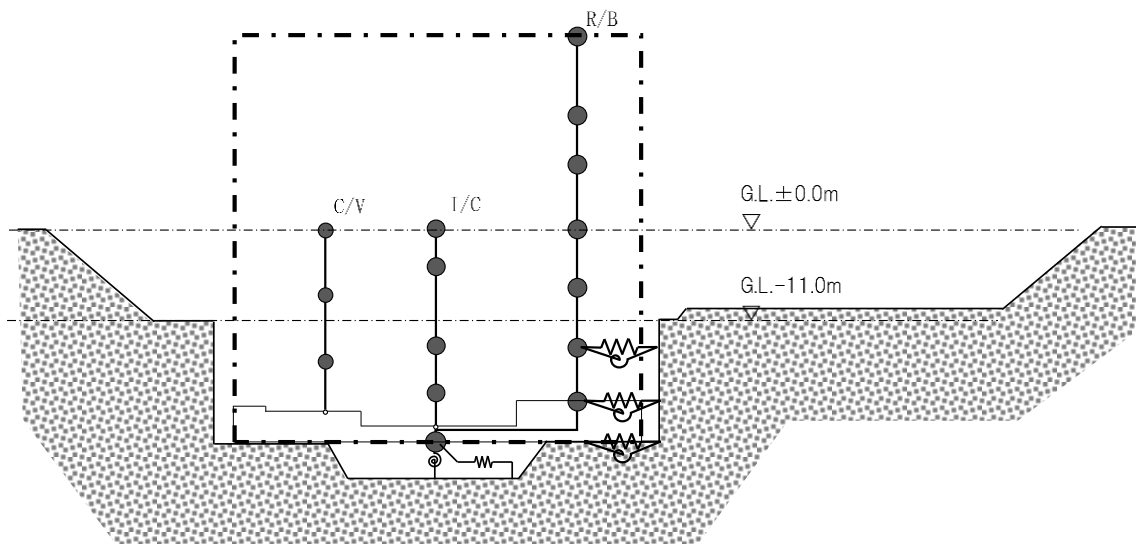
解析モデルは、地盤の側面ばねを地表面まで設置したもの(解析モデル①)と、地盤の側面ばねを地下 2 階以深に設置したもの(解析モデル②)を設定し比較する。解析モデルを第 4 図に示す。

解析モデル②については、原子炉建家の地震応答解析で用いたモデルであり、第 5 図に示すとおり建設時に広範囲の地盤を G. L. -11.0m 程度までオープンカット工法により掘削し、埋め戻しているため、表層地盤の側面抵抗を見込まないモデルとしている。

なお、それ以深の地盤は山留壁工法により掘削し、改良土等により埋め戻している。



第4図 解析モデル



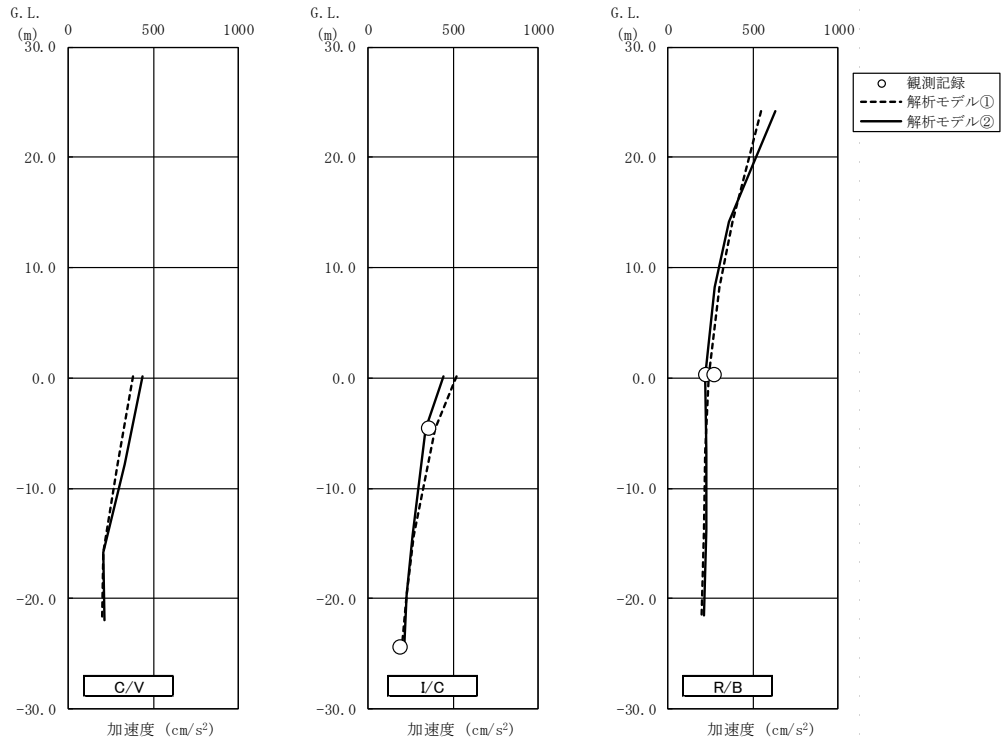
第5図 原子炉建家建設時の地盤の掘削状況(NS方向)

#### 4. 地震観測シミュレーション解析結果

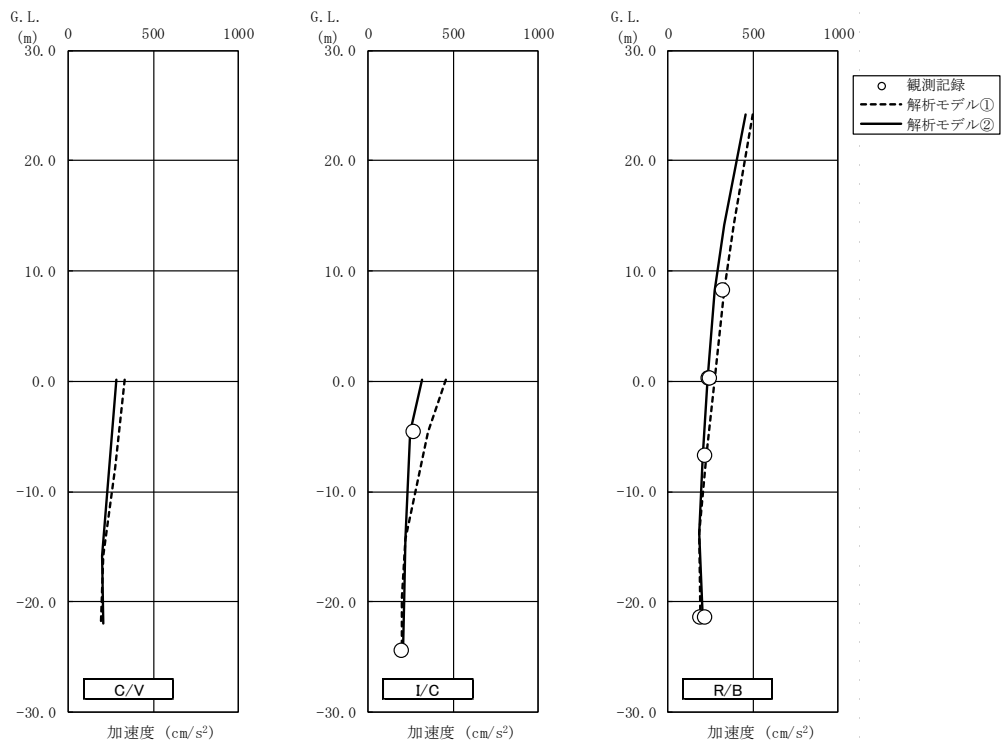
解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較を第 6 図に、加速度応答スペクトルの比較を第 7 図及び第 8 図に示す。

なお、解析結果との比較においては、解析モデルが耐震壁の面内方向の変形を考慮してモデル化しているため、観測記録は耐震壁の面内方向の記録を用いている。

解析結果と観測記録の比較から、解析モデル①より解析モデル②の方が観測記録との整合性がよいため、原子炉建家の地震応答解析で用いた解析モデル②が妥当であることを確認した。

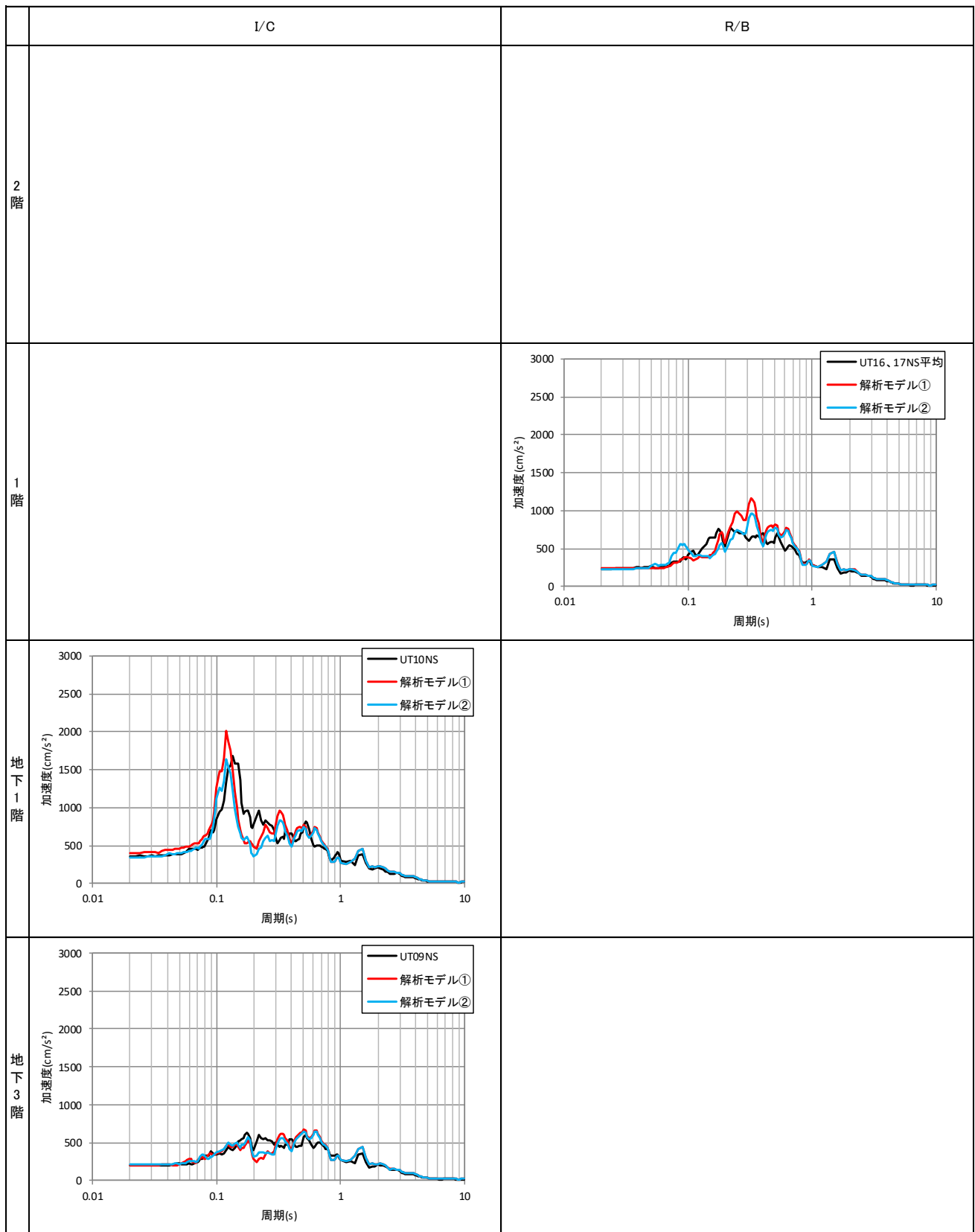


(NS 方向)

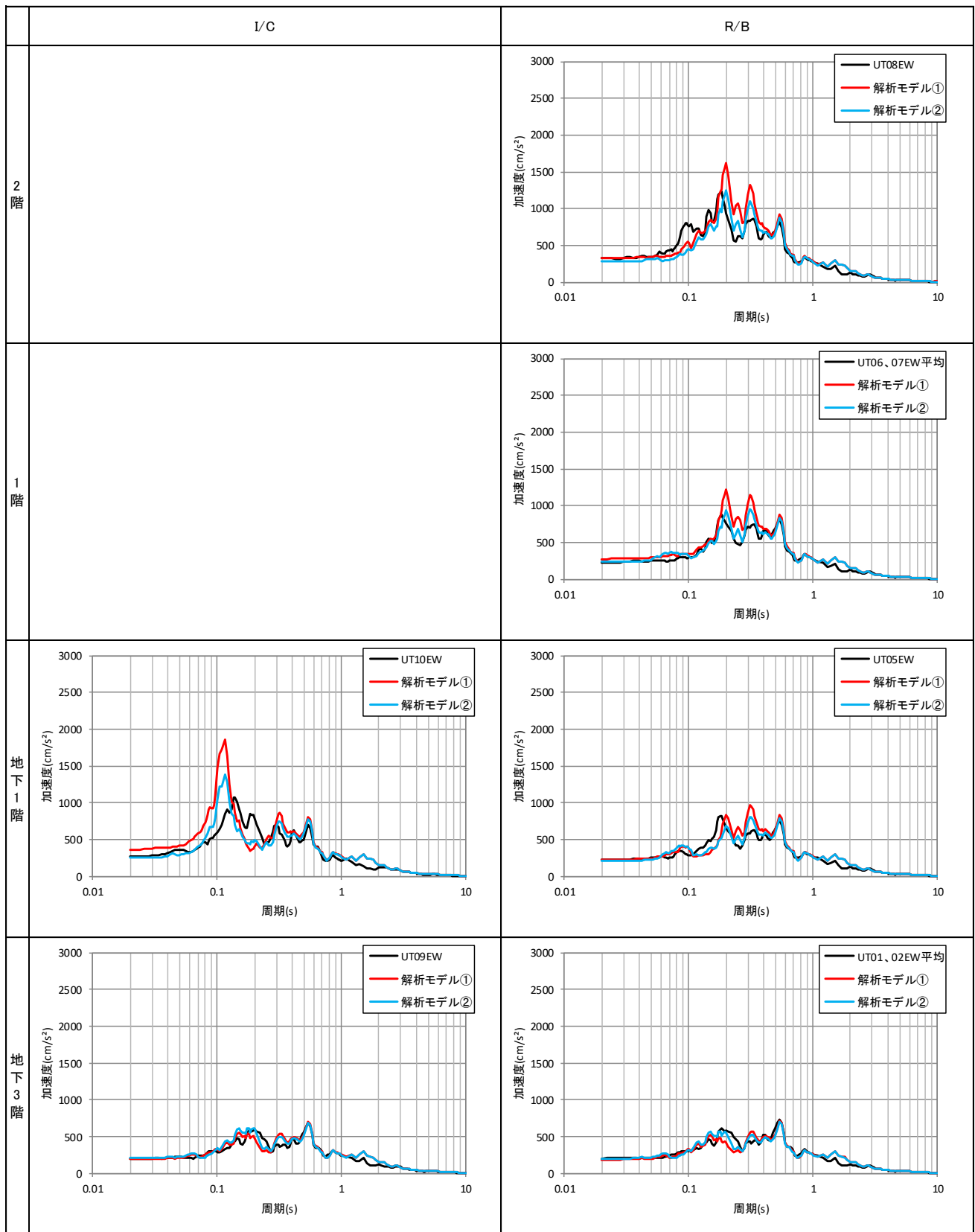


(EW 方向)

第 6 図 最大応答加速度の比較(3.11 地震)



第7図 加速度応答スペクトルの比較(3.11地震、NS方向、h=0.05)



第8図 加速度応答スペクトルの比較(3.11地震、EW方向、h=0.05)

1-2-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉建家の地震応答解析(弾性設計用地震動))

## 目 次

1. 概要 .....	添 1 - 2 - 2 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 2 - 2 - 2
2.1 位置 .....	添 1 - 2 - 2 - 2
2.2 構造概要 .....	添 1 - 2 - 1 - 3
2.3 評価方針 .....	添 1 - 2 - 2 - 6
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 2 - 2 - 7
2.5 使用材料 .....	添 1 - 2 - 2 - 7
3. 入力地震動 .....	添 1 - 2 - 2 - 8
3.1 水平方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 2 - 8
3.2 鉛直方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 2 - 22
4. 解析モデル .....	添 1 - 2 - 2 - 27
4.1 水平方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 2 - 27
4.2 鉛直方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 2 - 39
5. 解析結果 .....	添 1 - 2 - 2 - 44
5.1 固有値解析結果 .....	添 1 - 2 - 2 - 44
5.2 地震応答解析結果 .....	添 1 - 2 - 2 - 57
6. 基礎浮き上がりの検討 .....	添 1 - 2 - 2 - 84
7. 評価結果 .....	添 1 - 2 - 2 - 86



## 表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 2 - 2 - 7
第 2.2 表	鋼材の材料定数.....	添 1 - 2 - 2 - 7
第 3.1 表	地盤の物性値.....	添 1 - 2 - 2 - 10
第 4.1 表	解析モデルの諸元(NS 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 29
第 4.2 表	解析モデルの諸元(EW 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 30
第 4.3 表	せん断のスケルトンカーブ( $\tau$ - $\gamma$ 関係、NS 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 32
第 4.4 表	曲げのスケルトンカーブ( $M$ - $\phi$ 関係、NS 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 32
第 4.5 表	せん断のスケルトンカーブ( $\tau$ - $\gamma$ 関係、EW 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 33
第 4.6 表	曲げのスケルトンカーブ( $M$ - $\phi$ 関係、EW 方向).....	添 1 - 2 - 2 - 33
第 4.7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、Sd) (a)Sd-D、Sd-1、Sd-2 .....	添 1 - 2 - 2 - 34
第 4.7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、Sd) (b)Sd-3、Sd-4、Sd-5 .....	添 1 - 2 - 2 - 35
第 4.8 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、Sd) (a)Sd-D、Sd-1、Sd-2 .....	添 1 - 2 - 2 - 36
第 4.8 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、Sd) (b)Sd-3、Sd-4、Sd-5 .....	添 1 - 2 - 2 - 37
第 4.9 表	解析モデルの諸元(鉛直方向、R/B、I/C、C/V).....	添 1 - 2 - 2 - 41
第 4.10 表	解析モデルの諸元(鉛直方向、屋根トラス部分).....	添 1 - 2 - 2 - 42
第 4.11 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、Sd).....	添 1 - 2 - 2 - 43
第 5.1 表	固有値解析結果(Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 45
第 5.2 表	固有値解析結果(Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 46
第 5.3 表	固有値解析結果(Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 47
第 5.4 表	固有値解析結果(Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 48
第 5.5 表	固有値解析結果(Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 49
第 5.6 表	固有値解析結果(Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 50
第 6.1 表	最小接地率(Sd).....	添 1 - 2 - 2 - 84
第 6.2 表	最大接地圧(Sd).....	添 1 - 2 - 2 - 85

## 目 次

第 2.1 図	原子炉建家の位置.....	添 1 - 2 - 2 - 2
第 2.2 図	原子炉建家平面図(G. L. -21.5 m).....	添 1 - 2 - 2 - 4
第 2.3 図	原子炉建家平面図(G. L. -6.8 m).....	添 1 - 2 - 2 - 4
第 2.4 図	原子炉建家断面図(NS 断面).....	添 1 - 2 - 2 - 5
第 2.5 図	原子炉建家の評価フロー.....	添 1 - 2 - 2 - 6
第 3.1 図	入力地震動算定の概要(水平方向).....	添 1 - 2 - 2 - 9
第 3.2 図	地盤の非線形特性(1/2).....	添 1 - 2 - 2 - 11
第 3.3 図	地盤の非線形特性(2/2).....	添 1 - 2 - 2 - 12
第 3.4 図	地盤の地震応答解析結果(水平方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 13
第 3.5 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 13
第 3.6 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 14
第 3.7 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 14
第 3.8 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 15
第 3.9 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 15
第 3.10 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 16
第 3.11 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 16
第 3.12 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 17
第 3.13 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 17
第 3.14 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 18
第 3.15 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向、Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 2 - 19
第 3.16 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向、Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 2 - 20
第 3.17 図	入力地震動の加速度応答スペクトル (Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 2 - 21
第 3.18 図	入力地震動算定の概要(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 2 - 23
第 3.19 図	地盤の地震応答解析結果(鉛直方向、Sd).....	添 1 - 2 - 2 - 24
第 3.20 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向、Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 2 - 25
第 3.21 図	入力地震動の加速度応答スペクトル (鉛直方向、Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 2 - 26
第 4.1 図	解析モデル(水平方向).....	添 1 - 2 - 2 - 28
第 4.2 図	せん断のスケルトンカーブ( $\tau - \gamma$ 関係).....	添 1 - 2 - 2 - 31
第 4.3 図	曲げのスケルトンカーブ(M - $\phi$ 関係).....	添 1 - 2 - 2 - 31

第 4.4 図	地盤ばねの定式化の概要.....	添 1 - 2 - 2 - 38
第 4.5 図	解析モデル(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 2 - 40
第 5.1 図	刺激関数(NS 方向、Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 2 - 51
第 5.2 図	刺激関数(NS 方向、Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 2 - 52
第 5.3 図	刺激関数(EW 方向、Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 2 - 53
第 5.4 図	刺激関数(EW 方向、Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 2 - 54
第 5.5 図	刺激関数(UD 方向、Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 2 - 55
第 5.6 図	刺激関数(UD 方向、Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 2 - 56
第 5.7 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 58
第 5.8 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 58
第 5.9 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 59
第 5.10 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 59
第 5.11 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 60
第 5.12 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 60
第 5.13 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 61
第 5.14 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 61
第 5.15 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 62
第 5.16 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 62
第 5.17 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 63
第 5.18 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 63
第 5.19 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 64
第 5.20 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 64
第 5.21 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-4).....	添 1 - 2 - 2 - 65
第 5.22 図	最大応答加速度(NS 方向、Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 65
第 5.23 図	最大応答せん断力(NS 方向、Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 66
第 5.24 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-5).....	添 1 - 2 - 2 - 66
第 5.25 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 67
第 5.26 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 67
第 5.27 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-D).....	添 1 - 2 - 2 - 68
第 5.28 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 68
第 5.29 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 69
第 5.30 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-1).....	添 1 - 2 - 2 - 69
第 5.31 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 70
第 5.32 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 70
第 5.33 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-2).....	添 1 - 2 - 2 - 71
第 5.34 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-3).....	添 1 - 2 - 2 - 71

第 5.35 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-3) .....	添 1 - 2 - 2 - 72
第 5.36 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-3) .....	添 1 - 2 - 2 - 72
第 5.37 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-4) .....	添 1 - 2 - 2 - 73
第 5.38 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-4) .....	添 1 - 2 - 2 - 73
第 5.39 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-4) .....	添 1 - 2 - 2 - 74
第 5.40 図	最大応答加速度(EW 方向、Sd-5) .....	添 1 - 2 - 2 - 74
第 5.41 図	最大応答せん断力(EW 方向、Sd-5) .....	添 1 - 2 - 2 - 75
第 5.42 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-5) .....	添 1 - 2 - 2 - 75
第 5.43 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-D) .....	添 1 - 2 - 2 - 76
第 5.44 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-D) .....	添 1 - 2 - 2 - 76
第 5.45 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-1) .....	添 1 - 2 - 2 - 77
第 5.46 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-1) .....	添 1 - 2 - 2 - 77
第 5.47 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-2) .....	添 1 - 2 - 2 - 78
第 5.48 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-2) .....	添 1 - 2 - 2 - 78
第 5.49 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-3) .....	添 1 - 2 - 2 - 79
第 5.50 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-3) .....	添 1 - 2 - 2 - 79
第 5.51 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-4) .....	添 1 - 2 - 2 - 80
第 5.52 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-4) .....	添 1 - 2 - 2 - 80
第 5.53 図	最大応答加速度(UD 方向、Sd-5) .....	添 1 - 2 - 2 - 81
第 5.54 図	最大応答軸力(UD 方向、Sd-5) .....	添 1 - 2 - 2 - 81
第 5.55 図	せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向、Sd) .....	添 1 - 2 - 2 - 82
第 5.56 図	せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向、Sd) .....	添 1 - 2 - 2 - 83

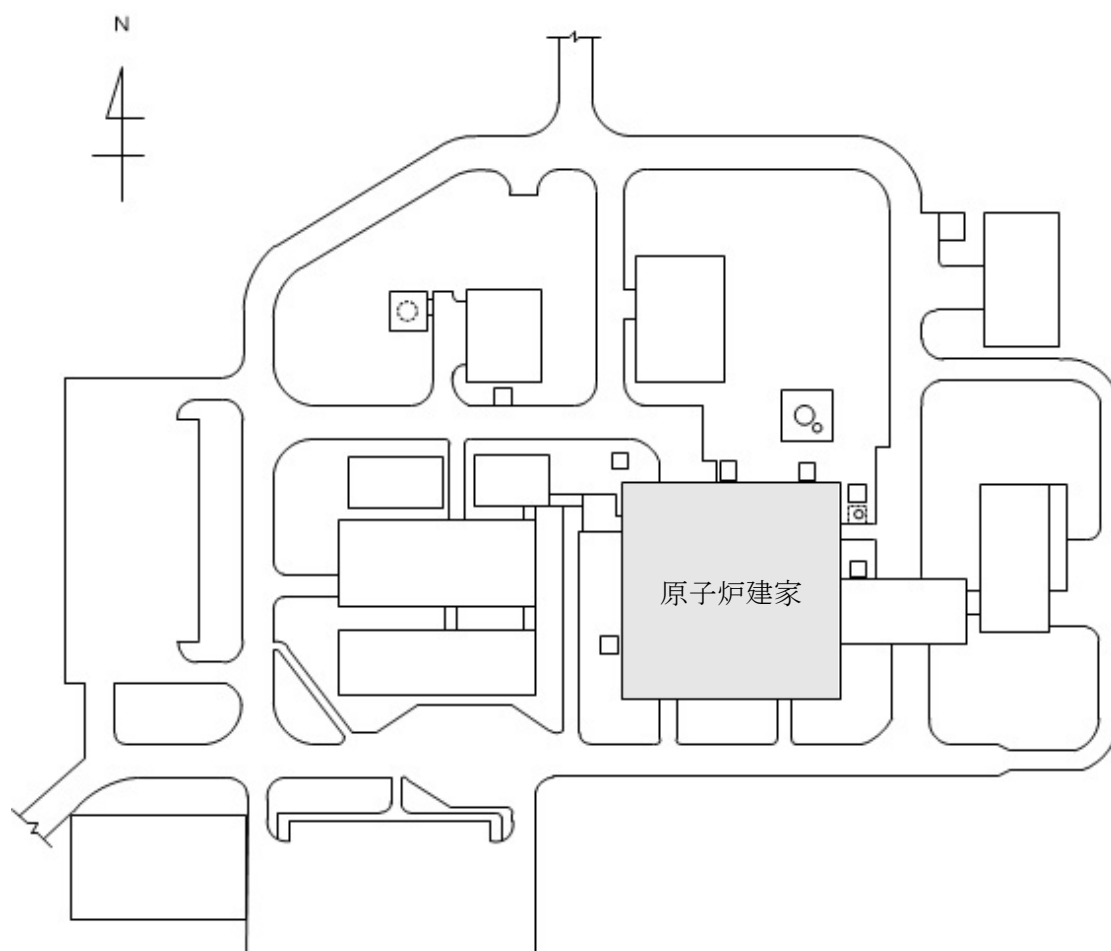
## 1. 概要

本資料は、基準地震動  $S_s$  に係数 0.5 を乗じて設定した弾性設計用地震動  $S_d$  に対して、建家が耐震余裕を有することを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

原子炉建家の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 原子炉建家の位置

## 2.2 構造概要

原子炉建家は、平面形状が 52.0m(NS)×50.0m(EW) のほぼ正方形を成しており、地上高さ 24.2m(地上 2 階)、地下深さ 30.5m(地下 3 階) で上部に鉄骨屋根を持つ鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造)の建物である。基礎は、厚さ 5.0m から 9.0m のべた基礎とし、第四系更新統の東茨城層群(Is-S1)に設置されている。

建家の代表的な平面図及び断面図を第 2.2 図から第 2.4 図に示す。

なお、以降の設工認申請書中において、R/B は原子炉建家、C/V は原子炉格納容器、I/C は内部コンクリート構造物をいう。

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.2 図 原子炉建家平面図(G. L. -21.5 m)

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.3 図 原子炉建家平面図(G. L. -6.8 m)



核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.4 図 原子炉建家断面図(NS 断面)

### 2.3 評価方針

原子炉建家の評価は、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析の結果に基づき実施する。

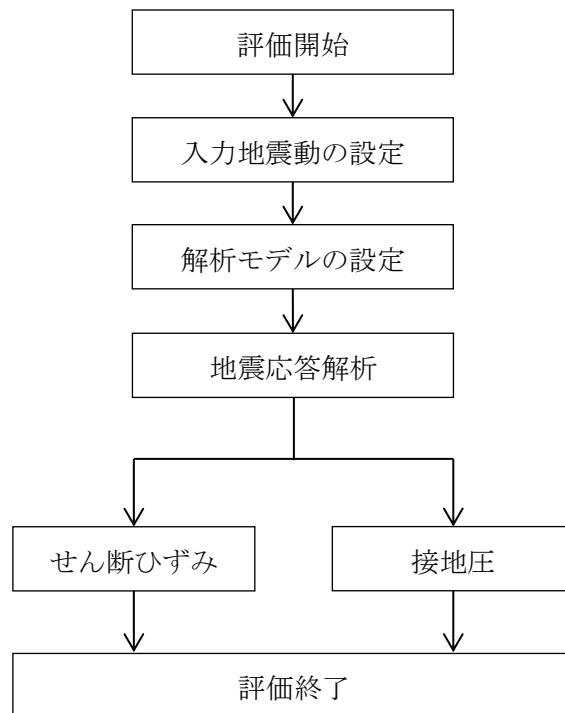
地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS、EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

原子炉建家の評価フローを第2.5図に示す。



第2.5図 原子炉建家の評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

原子炉建家の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計と保有水平耐力―(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

## 2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を第 2.1 表に、鋼材の材料定数を第 2.2 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
R/B、I/C	23.5	$2.25 \times 10^4$	0.20

第 2.2 表 鋼材の材料定数

対象	種類	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
C/V	SGV49 (SGV480 相当)	$1.89 \times 10^5$	0.30
屋根トラス	SS41 (SS400 相当)	$2.05 \times 10^5$	0.30
	SM41 (SM400 相当)		
	SM50 (SM490 相当)		

### 3. 入力地震動

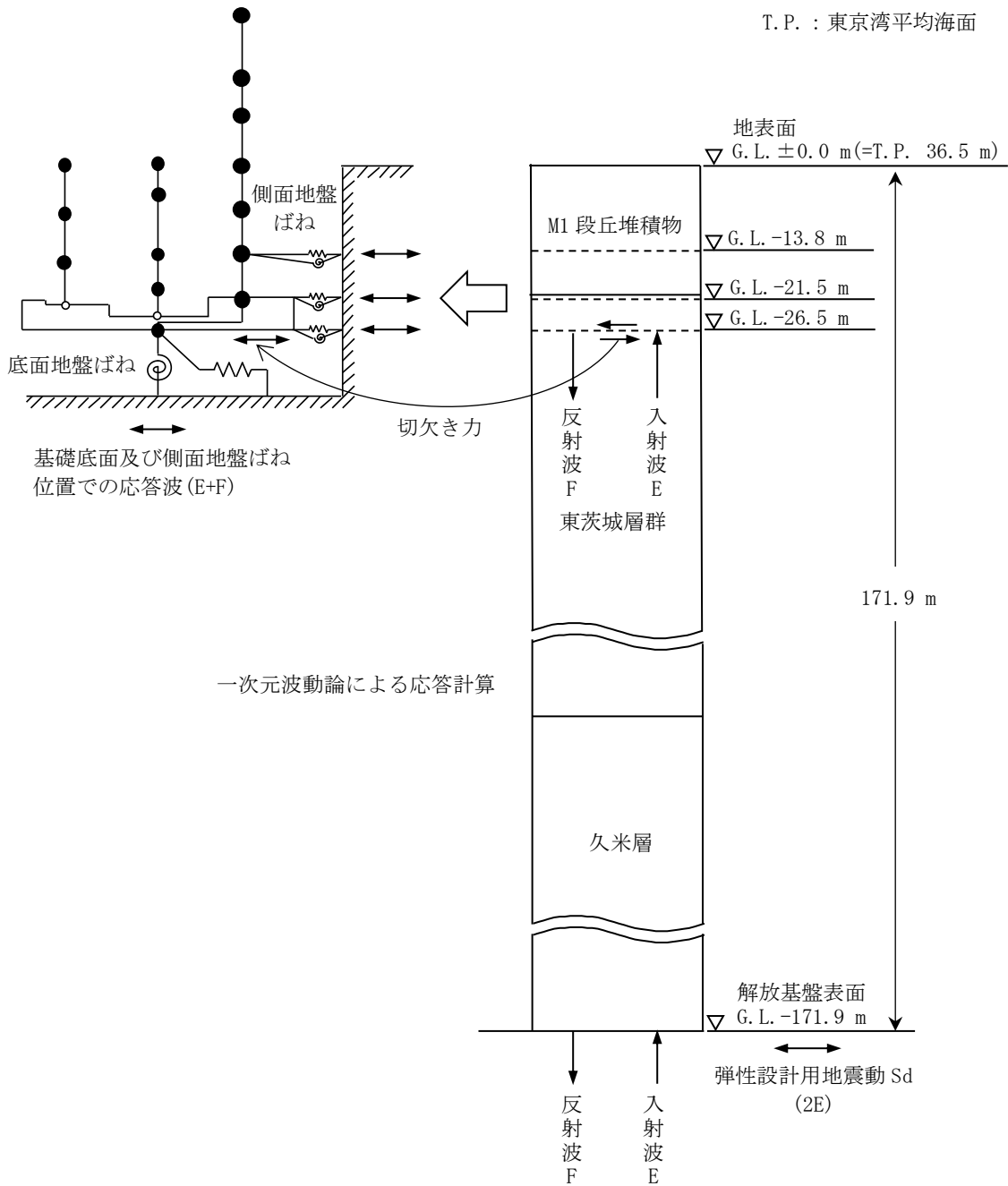
#### 3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、弾性設計用地震動  $S_d$  を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を第 3.1 図に、地盤の物性値を第 3.1 表に、地盤の非線形特性を第 3.2 図及び第 3.3 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「D-PROP (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

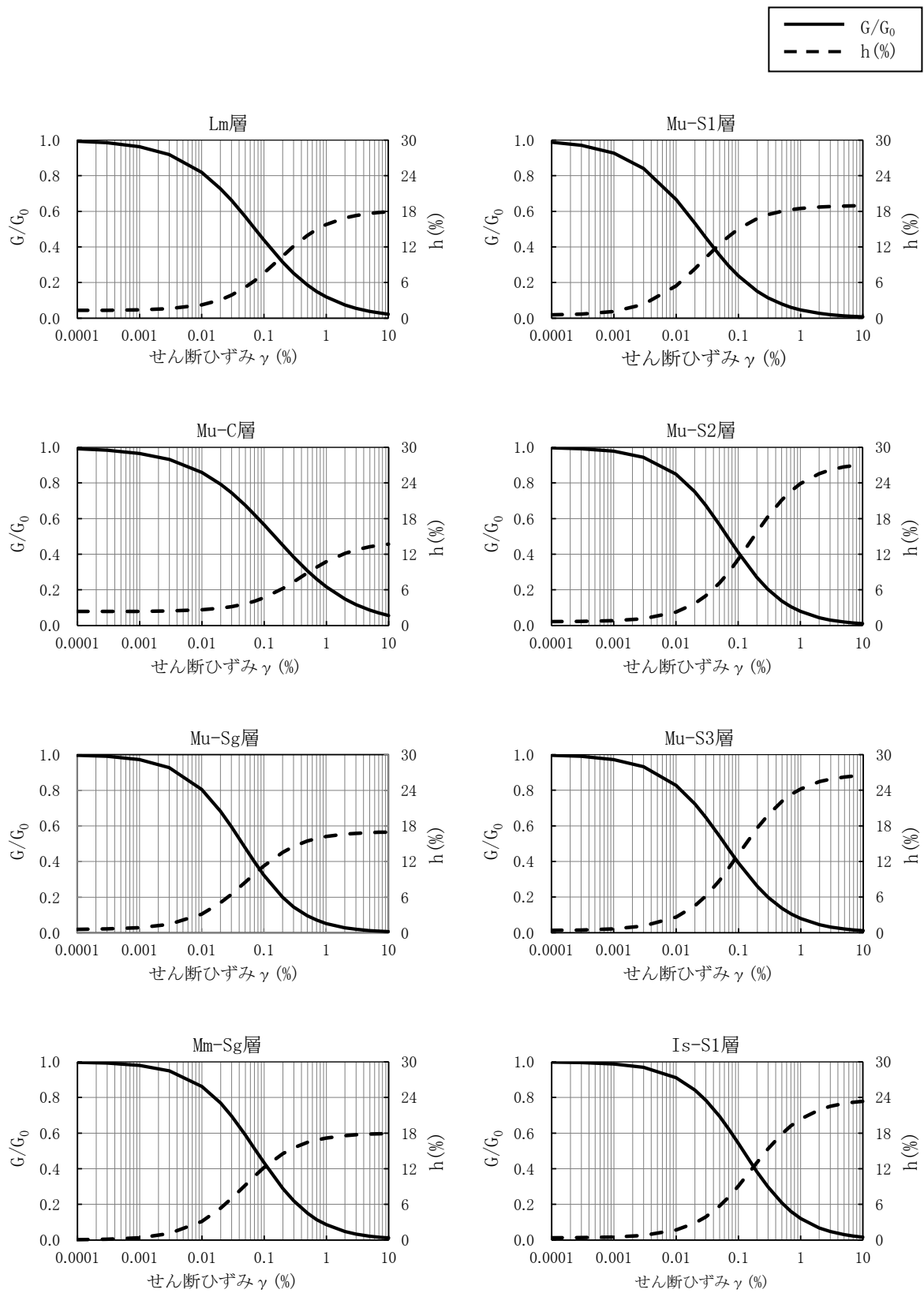
弾性設計用地震動  $S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.4 図から第 3.14 図に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.15 図から第 3.17 図に示す。



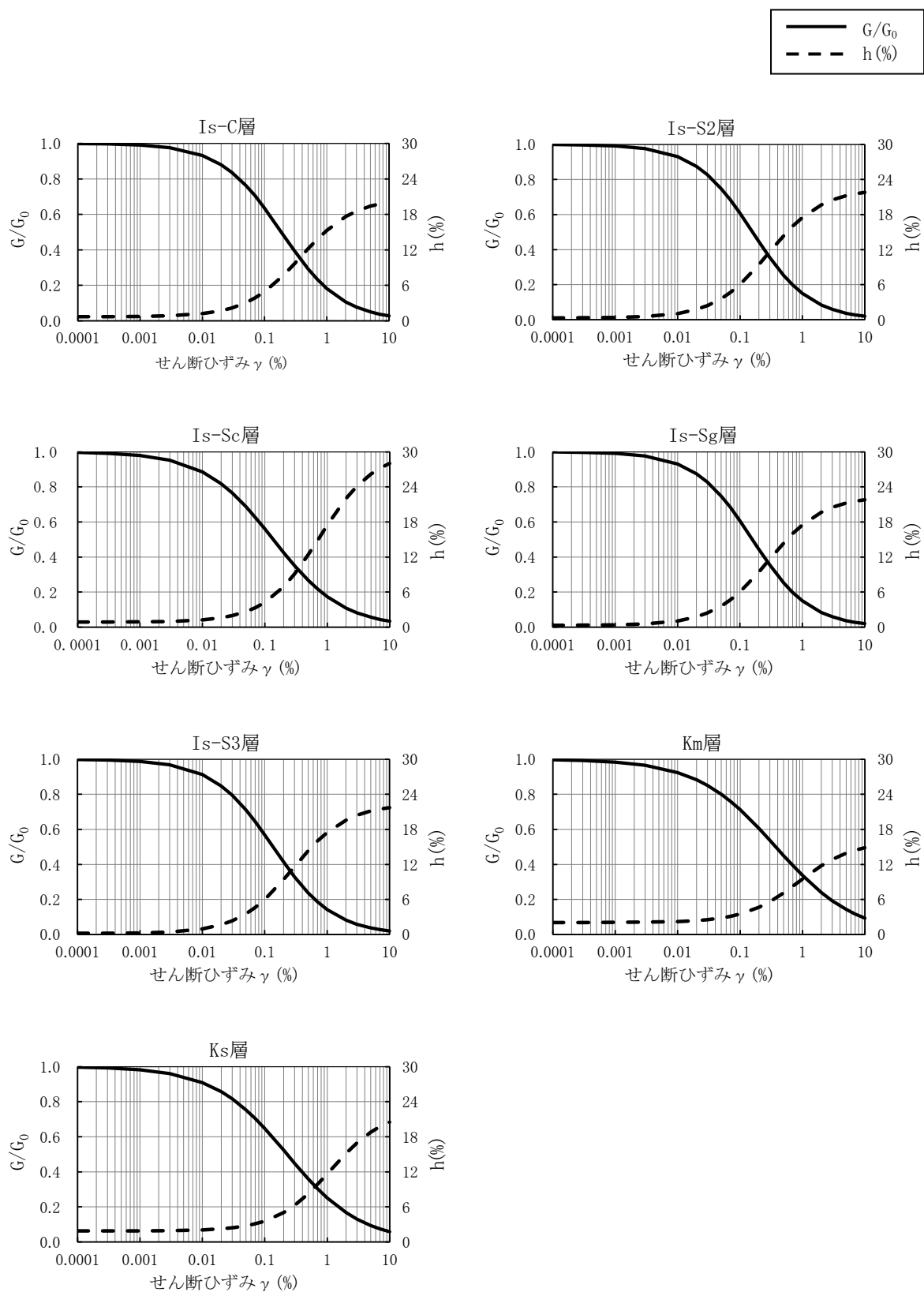
第 3.1 図 入力地震動算定の概要(水平方向)

第 3.1 表 地盤の物性値

深さ G. L. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	動ポア ソン比 $\nu_d$	動せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	▽地表面				
-1.5	M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.47	42,300
-8.5		Mu-S1	1.90	0.44	222,000
-11.3		Mu-C	1.75	0.46	150,000
-14.3		Mu-S2	1.90	0.41	354,000
-15.9		Mu-Sg	2.02	0.44	409,000
-21.3		Mu-S3	1.81	0.38	386,000
-26.3	東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.38	752,000
-38.5		Is-S1	1.87	0.46	359,000
-39.6		Is-C	1.88	0.47	275,000
-64.6		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-73.3		Is-Sc	1.82	0.47	285,000
-84.4		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-85.8		Is-Sg	1.98	0.44	714,000
-90.2		Is-S3	1.97	0.45	485,000
-160.3	久米層	Km	1.79	0.45	464,000
-171.9	▽解放基盤表面	Ks	1.88	0.43	763,000
	解放基盤		1.98	0.36	2,020,000

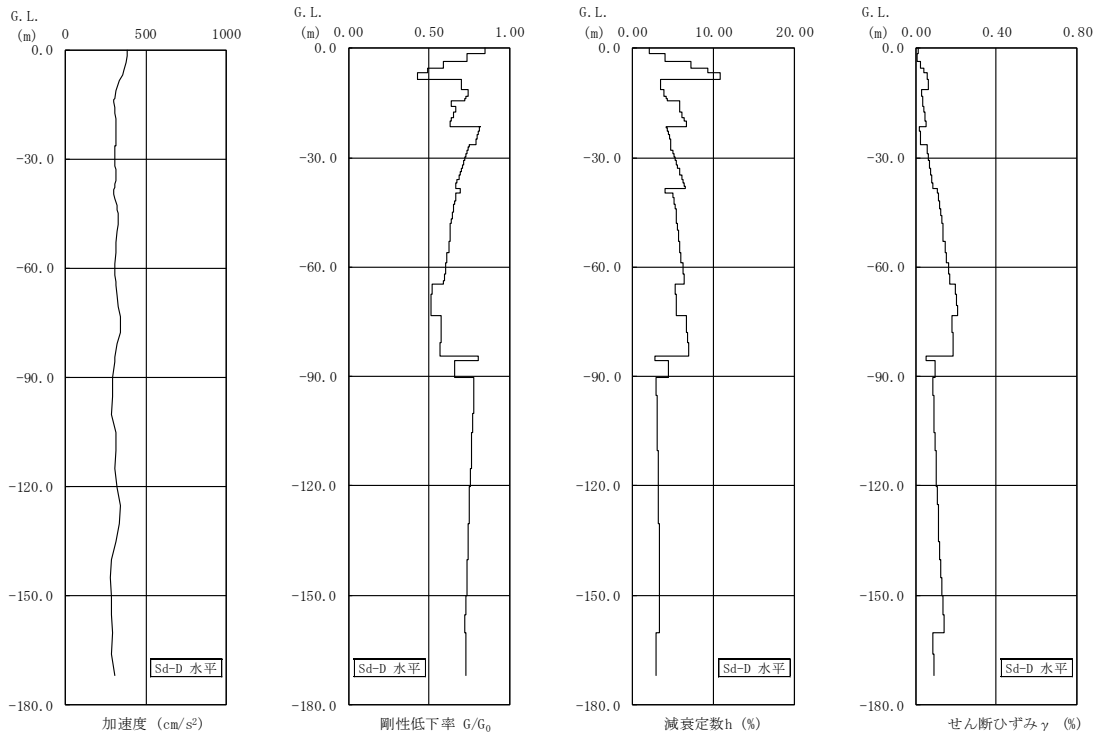


第 3.2 図 地盤の非線形特性(1/2)

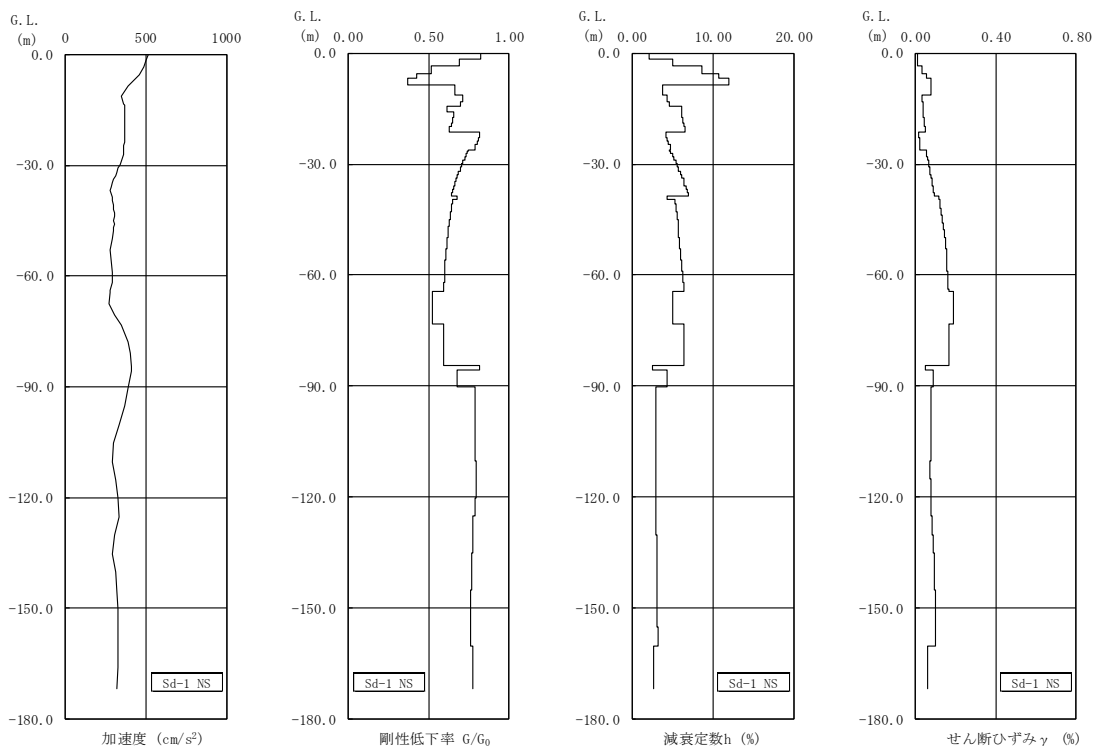


第 3.3 図 地盤の非線形特性 (2/2)

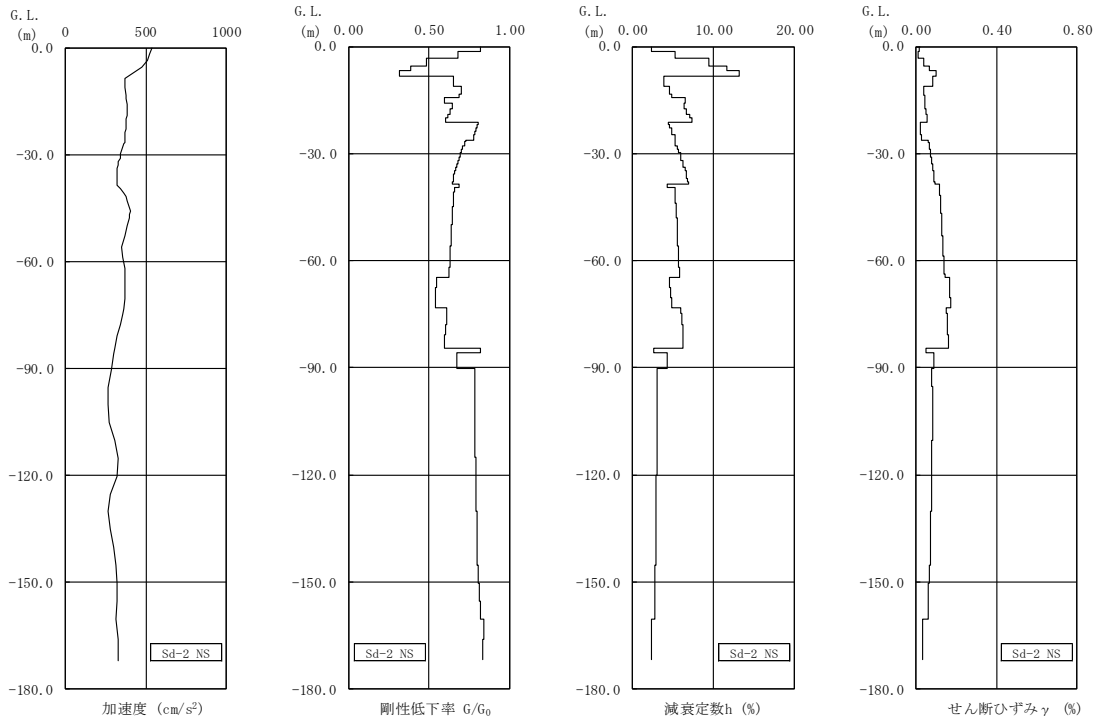




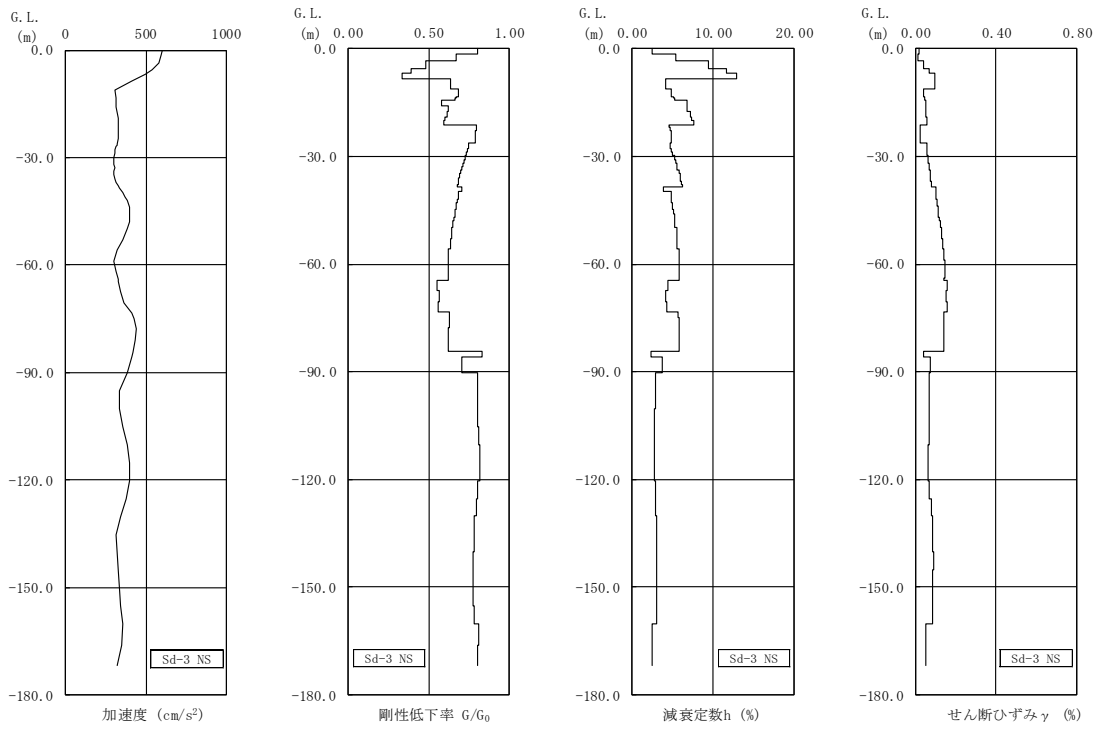
第 3.4 図 地盤の地震応答解析結果(水平方向、Sd-D)



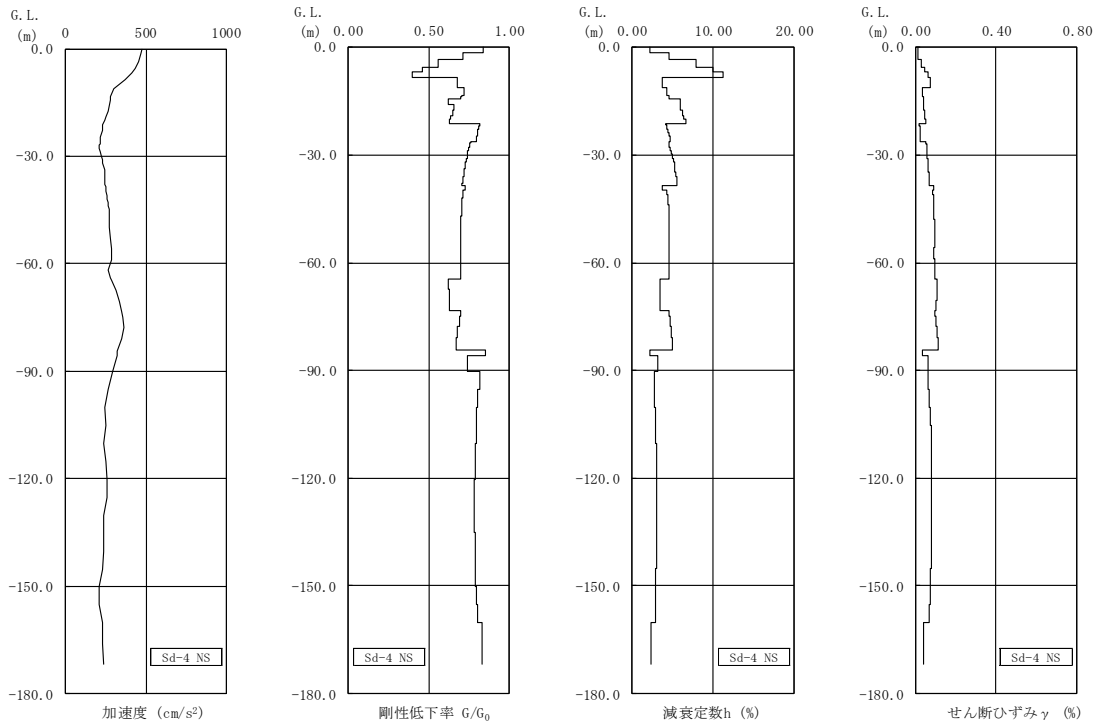
第 3.5 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-1)



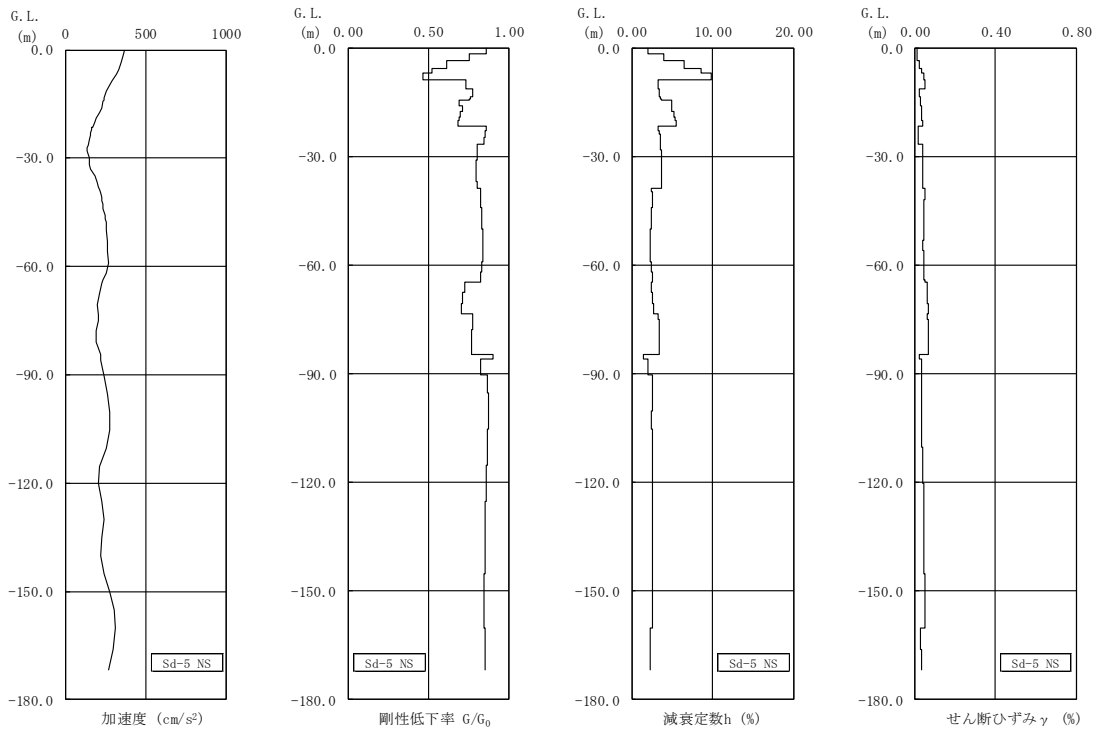
第 3.6 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-2)



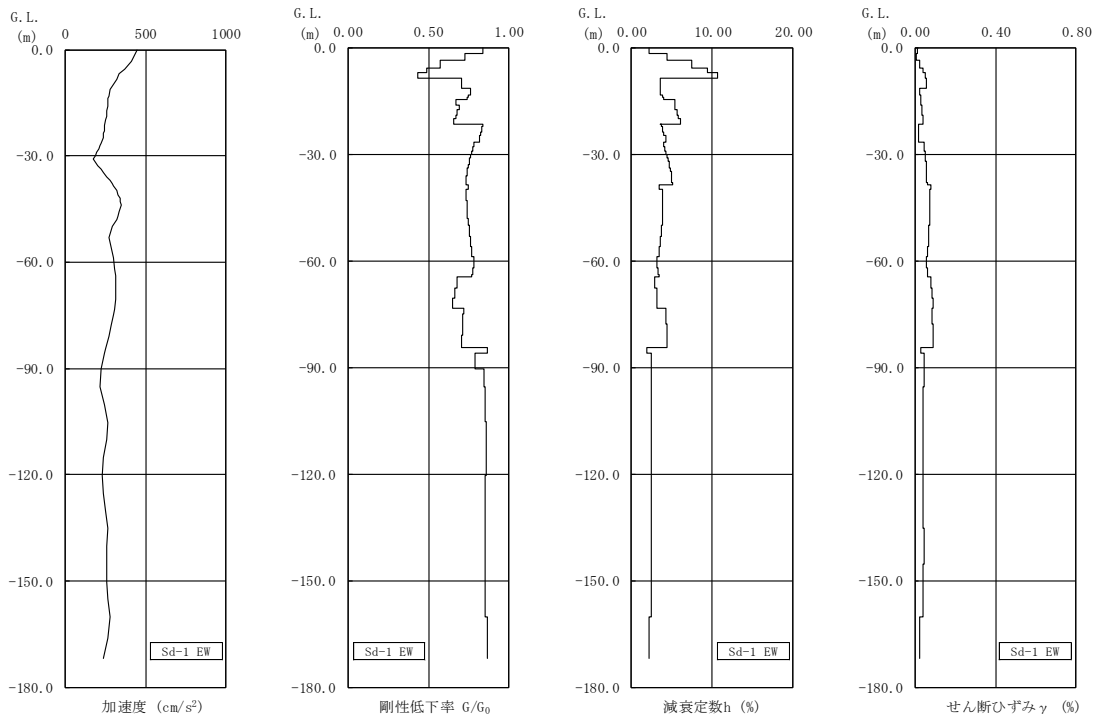
第 3.7 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-3)



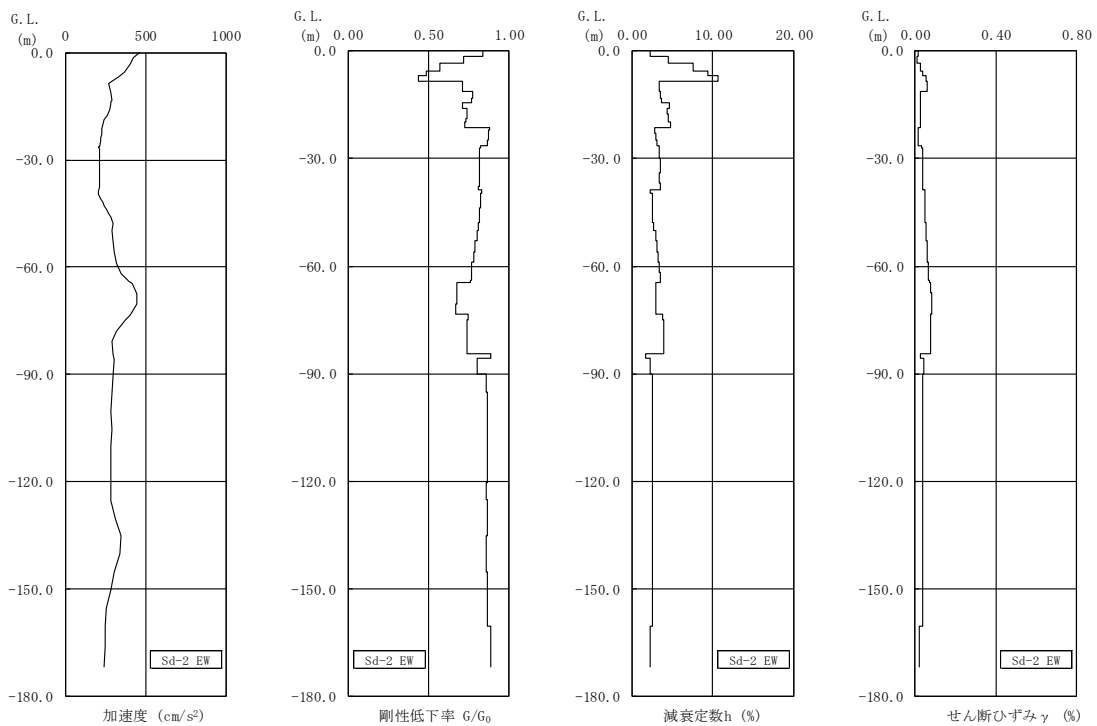
第 3.8 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-4)



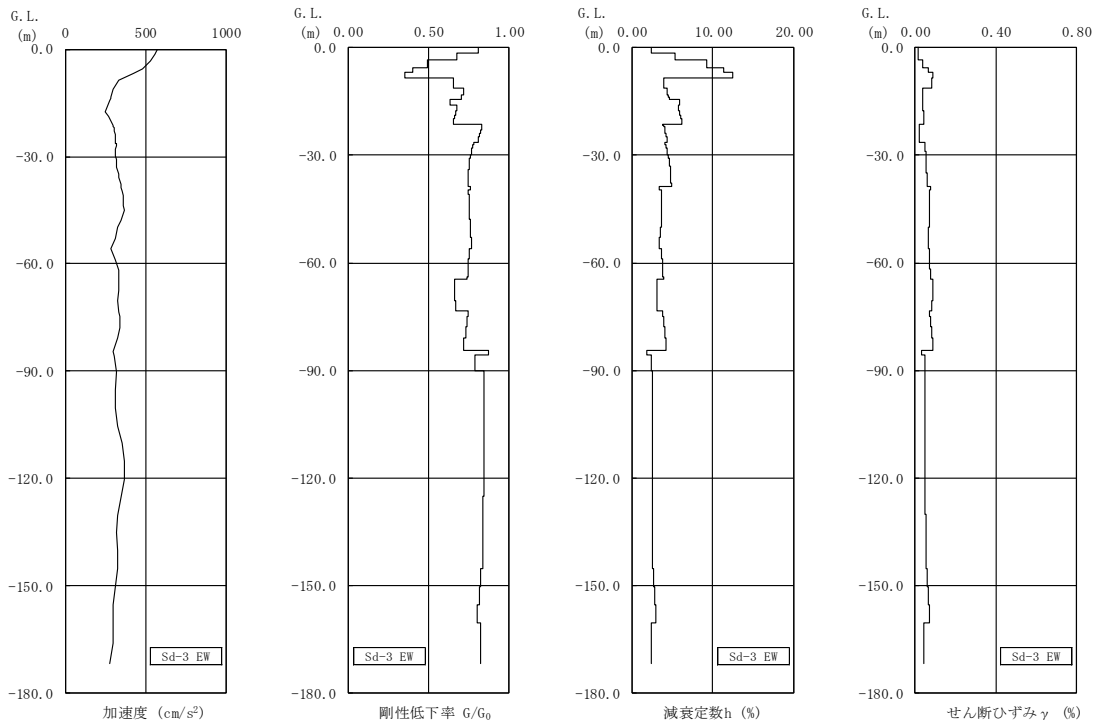
第 3.9 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、Sd-5)



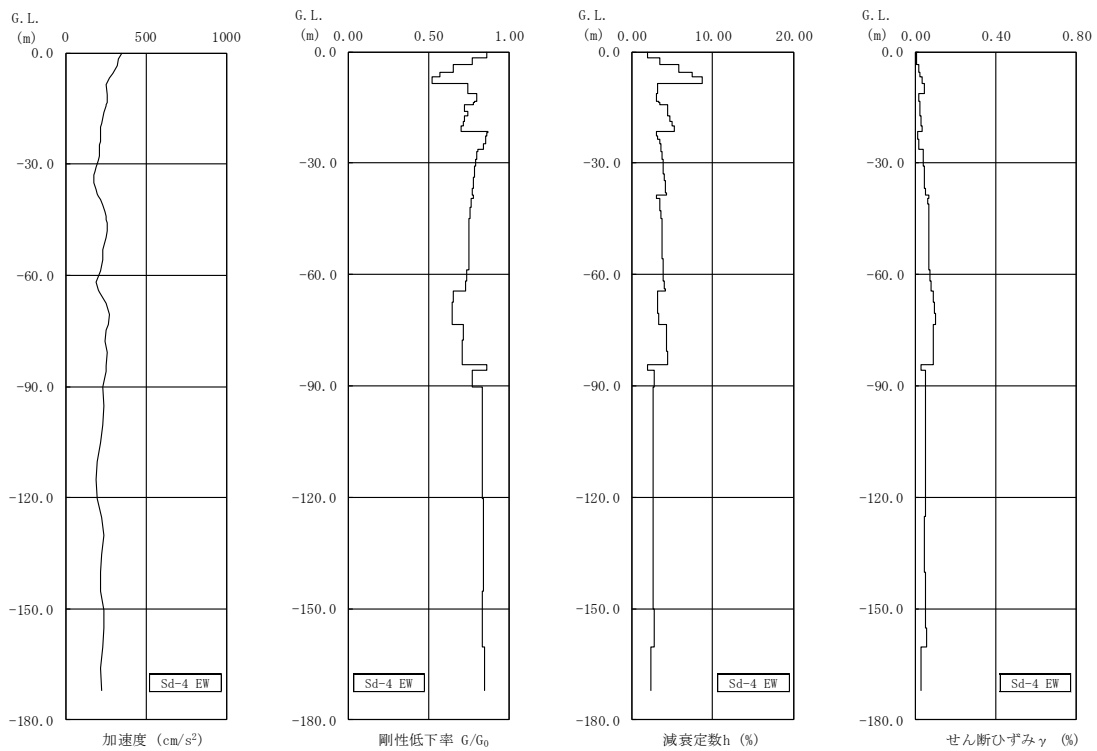
第 3.10 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-1)



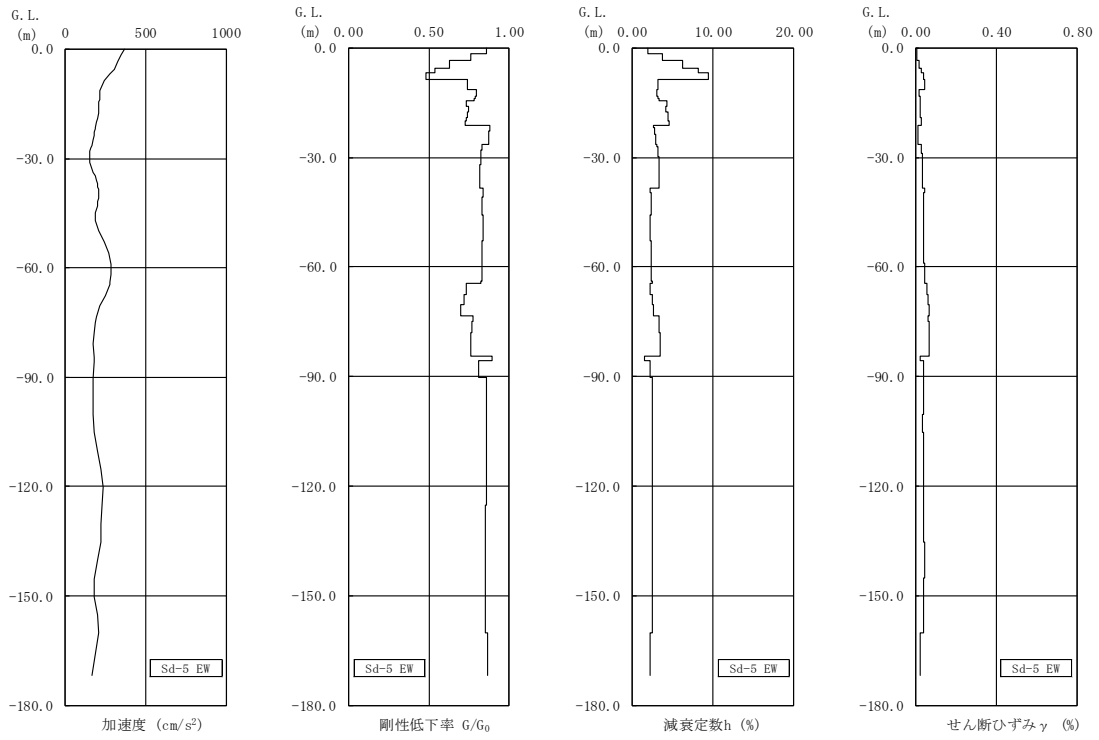
第 3.11 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-2)



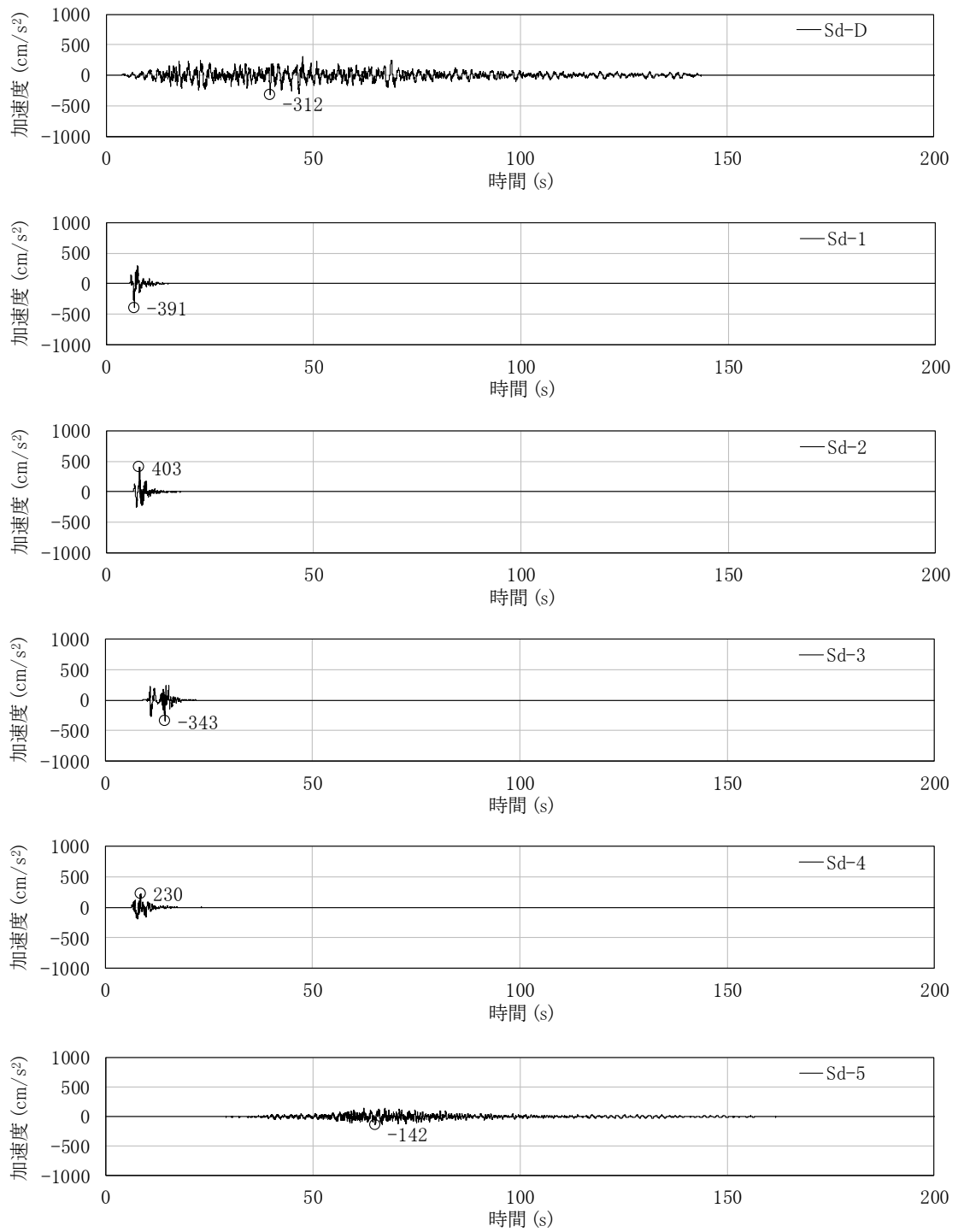
第 3.12 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-3)



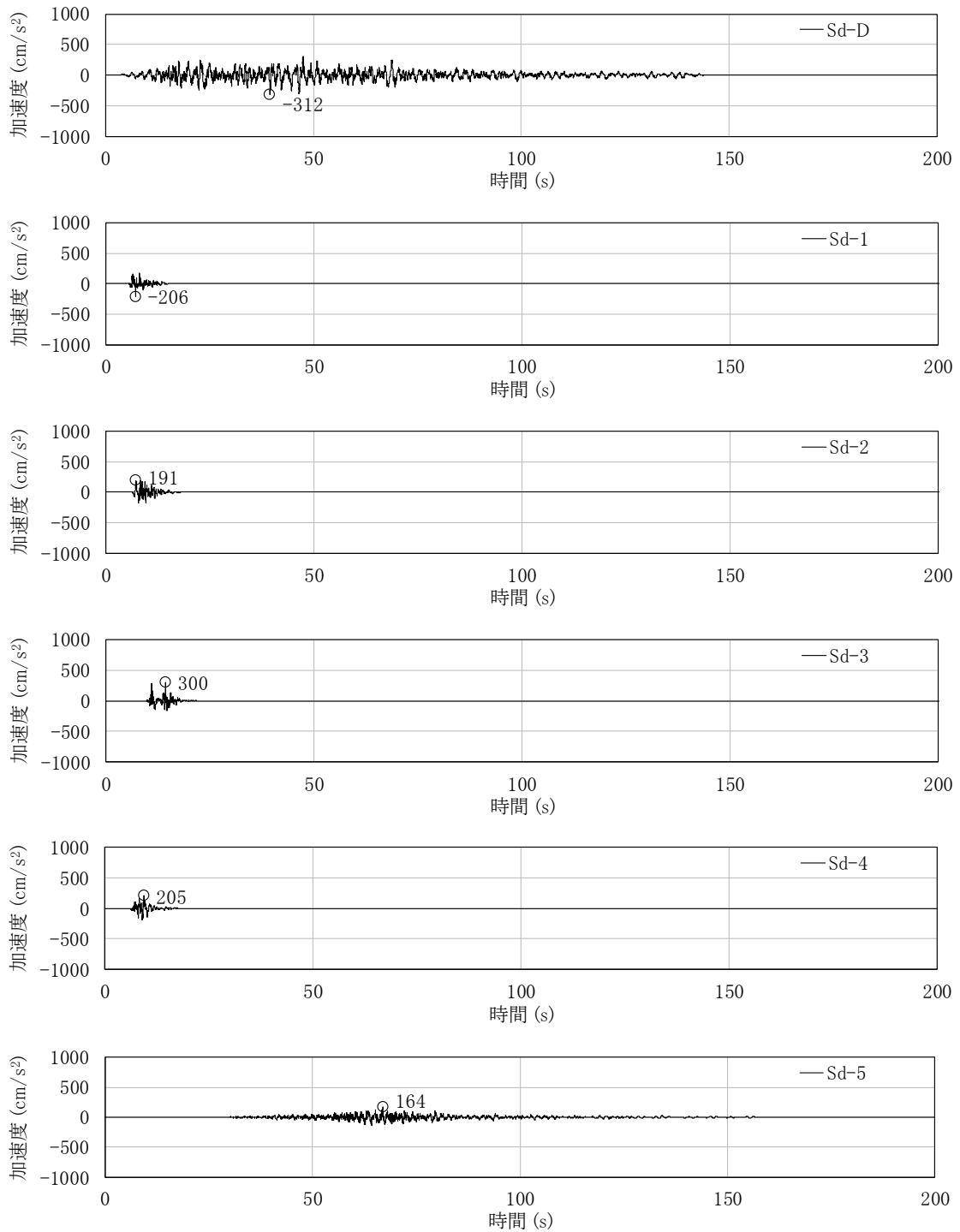
第 3.13 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-4)



第 3.14 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、Sd-5)

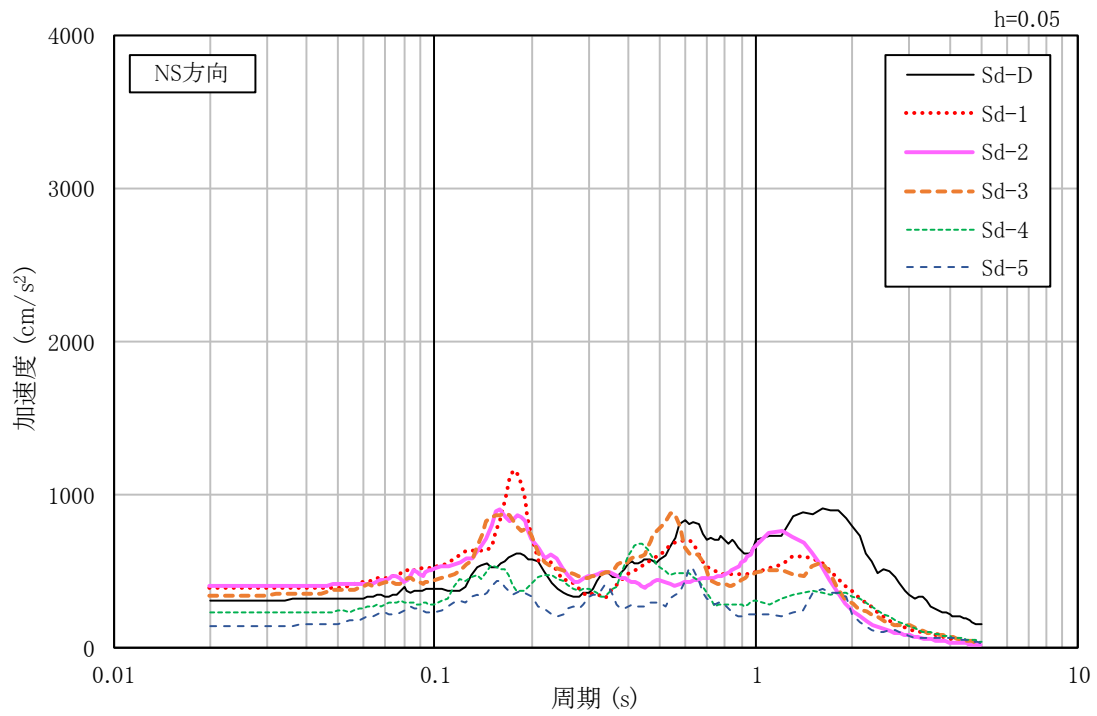


第 3.15 図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向、Sd、基礎底面位置)

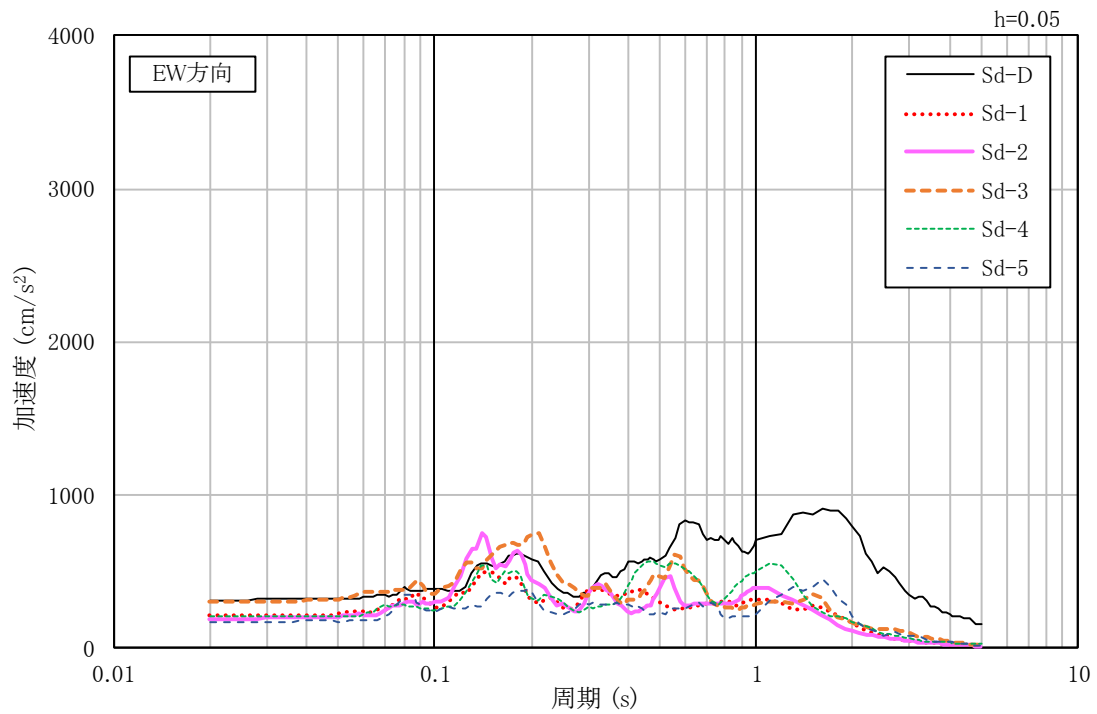


第 3.16 図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向、Sd、基礎底面位置)





(a)NS 方向



(b)EW 方向

第 3.17 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(Sd、基礎底面位置)

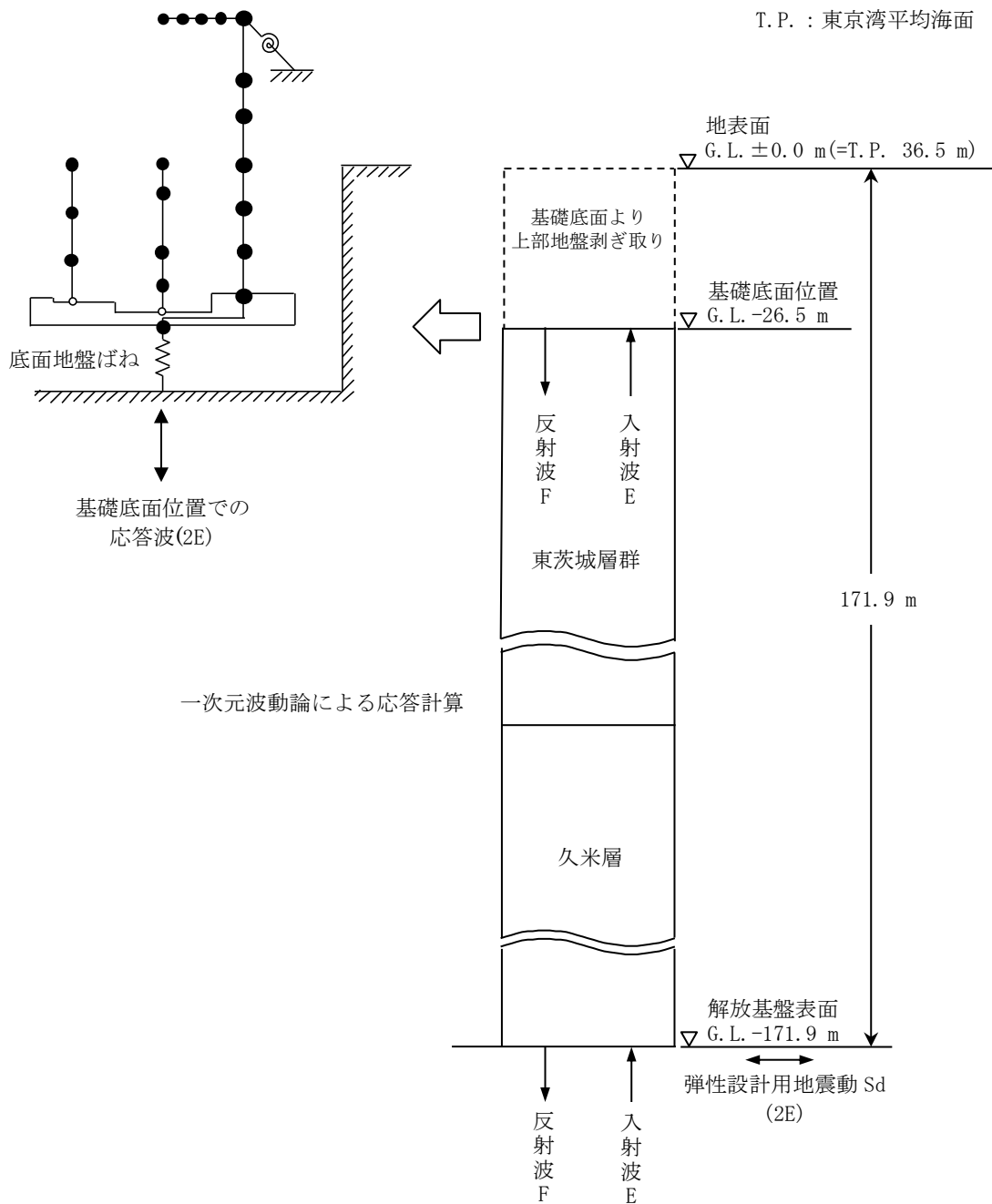
### 3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、弾性設計用地震動  $S_d$  を解放基盤表面に入力して次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

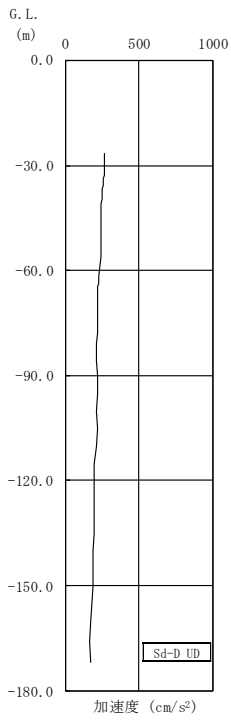
算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を第 3.18 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「D-PROP(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

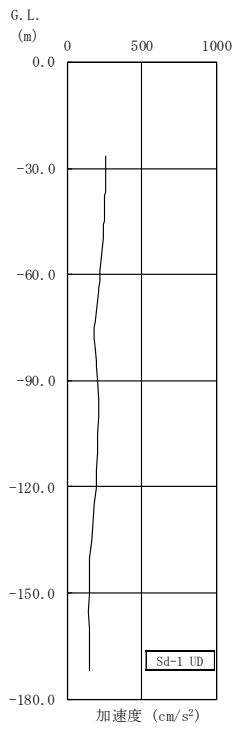
弾性設計用地震動  $S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.19 図に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.20 図及び第 3.21 図に示す。



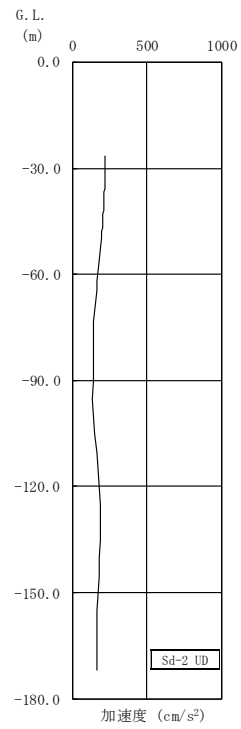
第 3.18 図 入力地震動算定の概要(鉛直方向)



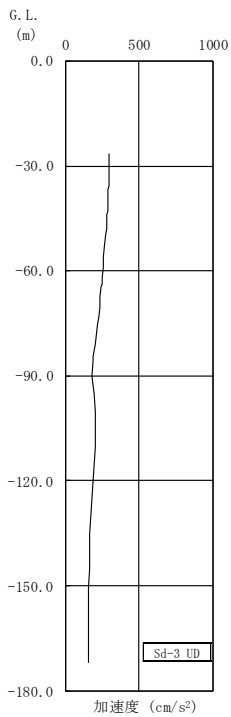
(a) Sd-D



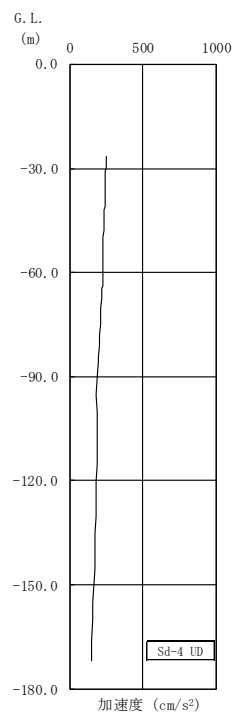
(b) Sd-1



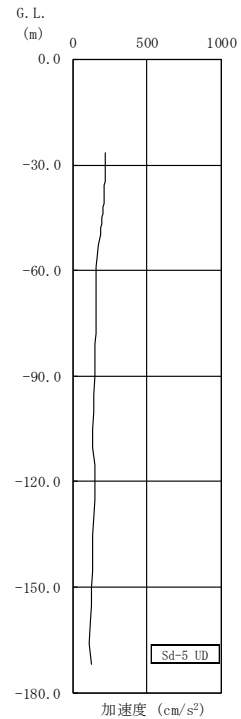
(c) Sd-2



(d) Sd-3

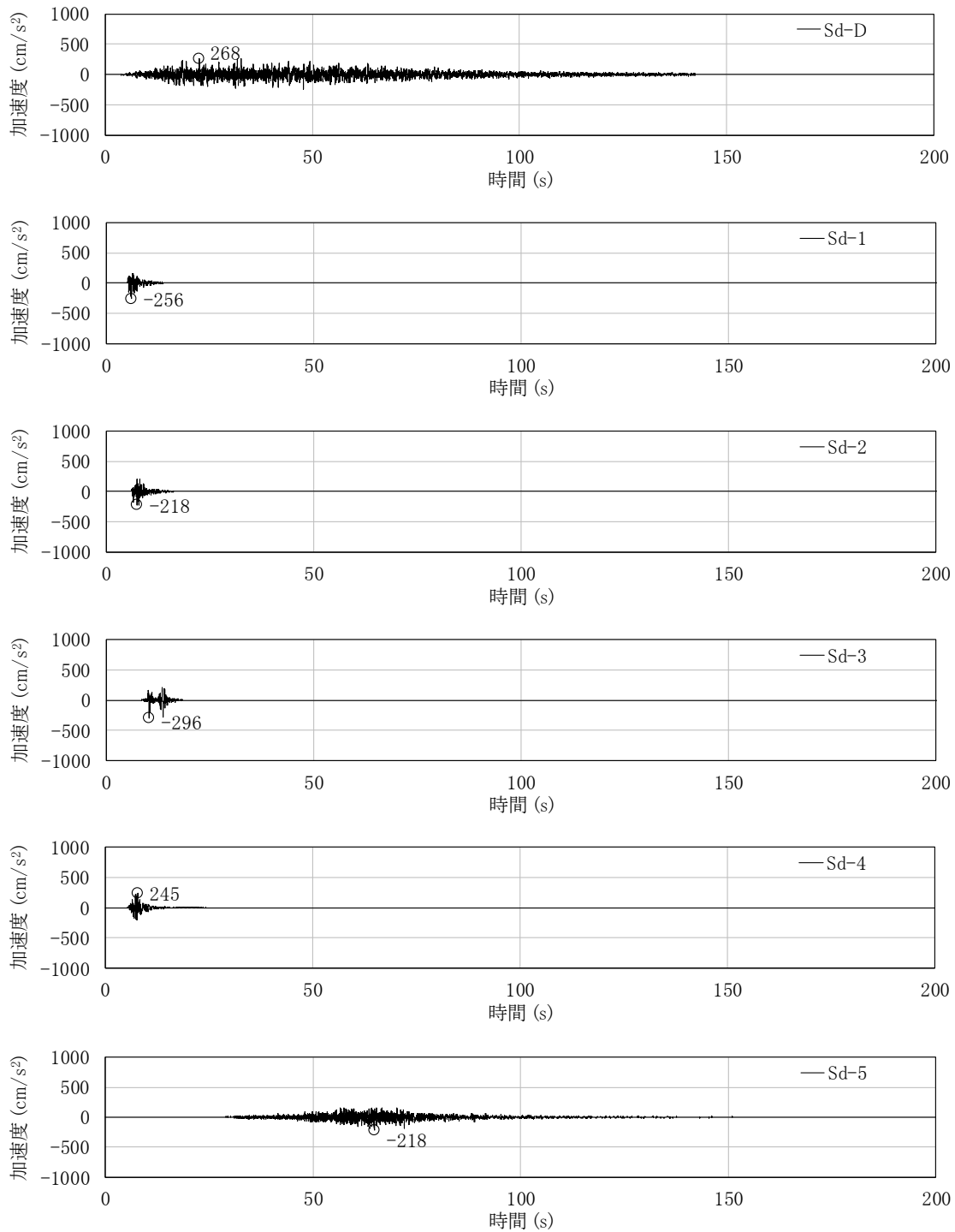


(e) Sd-4

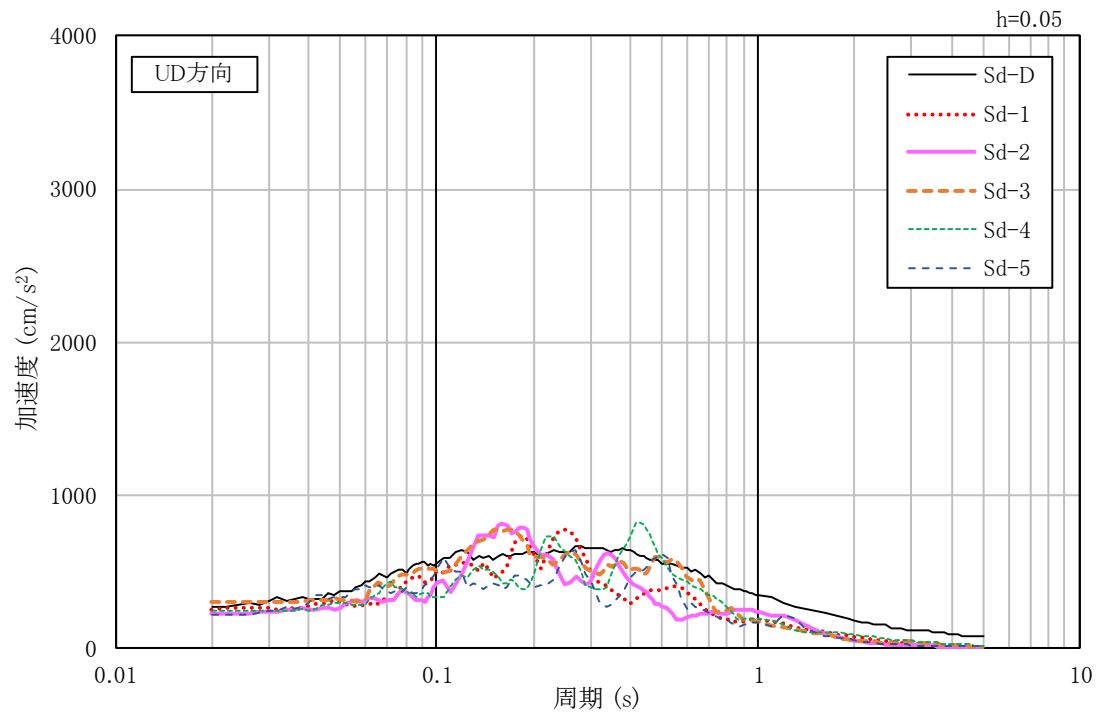


(f) Sd-5

第 3.19 図 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向、Sd)



第 3.20 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、Sd、基礎底面位置)



第 3.21 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、Sd、基礎底面位置)

## 4. 解析モデル

### 4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多軸多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを第 4.1 図に、解析モデルの諸元を第 4.1 表及び第 4.2 表に示す。

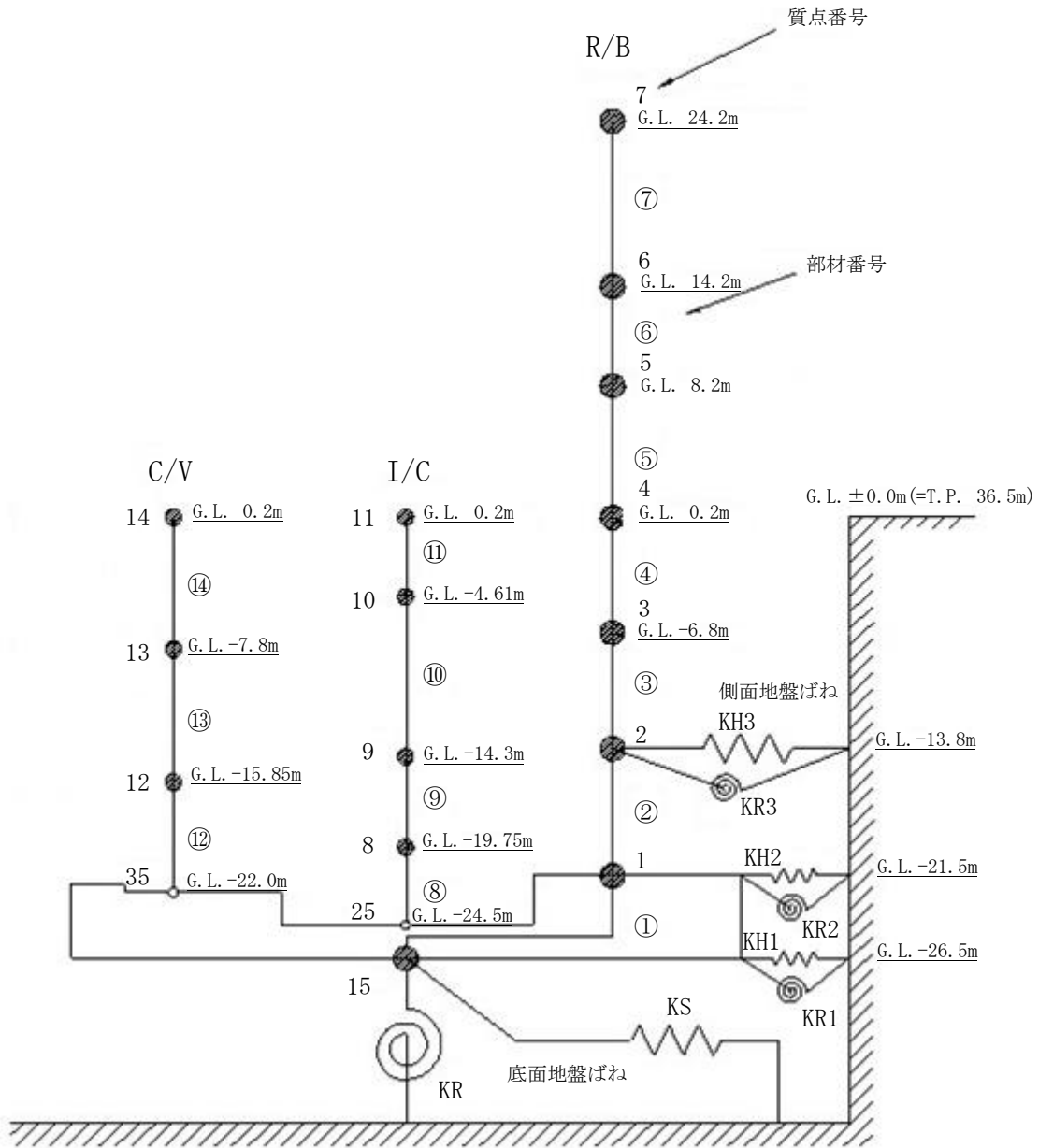
耐震壁のせん断の復元力特性は、第 4.2 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、第 4.3 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを第 4.3 表から第 4.6 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「admit(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「NOVAK(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.7 表及び第 4.8 表に、地盤ばねの定式化の概要を第 4.4 図に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%、C/V の鋼材部分の減衰定数は 1%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.1 図 解析モデル(水平方向)



第 4.1 表 解析モデルの諸元 (NS 方向)

R/B

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
7	24.2	18,460	773	—		
6	14.2	37,840	7,231	⑦	22.70	2.00
5	8.2	82,110	18,510	⑥	48.60	2.91
4	0.2	132,500	29,910	⑤	111.9	40.1
3	-6.8	137,900	31,130	④	173.7	60.2
2	-13.8	149,300	33,720	③	221.2	83.3
1	-21.5	214,800	48,620	②	252.4	98.6
15	-26.5	214,800	48,620	①	2,600	586
				—		

I/C

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
11	0.2	6,649	44	—		
10	-4.61	23,890	535	⑪	7.90	0.13
9	-14.3	30,030	693	⑩	51.90	2.65
8	-19.75	18,880	414	⑨	58.80	2.65
25	-24.5			⑧	93.40	2.85
				—		

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
14	0.2	1,834		—		
13	-7.8	1,638		⑭	0.873	0.075
12	-15.85	1,638		⑬	0.873	0.075
35	-22.0			⑫	0.873	0.075
				—		

第 4.2 表 解析モデルの諸元(EW 方向)

R/B

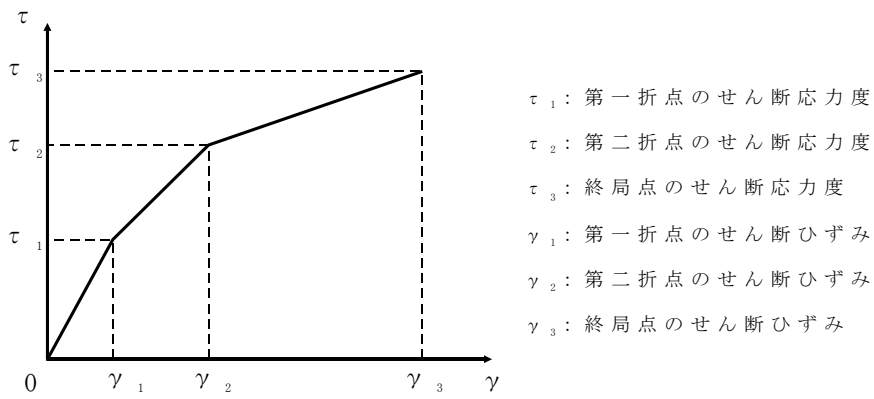
質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
7	24.2	18,460	2,524	—		
6	14.2	37,840	4,266	⑦	42.90	9.45
5	8.2	82,110	17,120	⑥	64.10	12.0
4	0.2	132,500	27,660	⑤	124.3	42.2
3	-6.8	137,900	28,790	④	158.0	58.4
2	-13.8	149,300	31,190	③	194.8	77.9
1	-21.5	214,800	44,970	②	227.8	93.2
15	-26.5	214,800	44,970	①	2,600	541.7
				—		

I/C

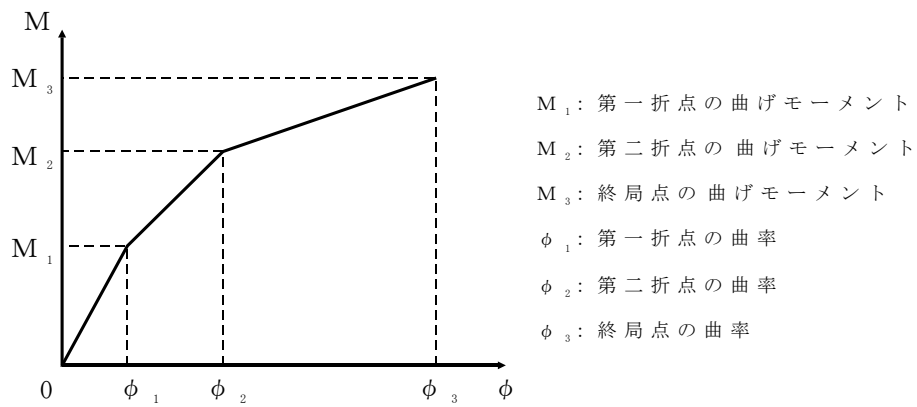
質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
11	0.2	6,649	44	—		
10	-4.61	23,890	535	⑪	8.10	0.130
9	-14.3	30,030	693	⑩	50.90	3.26
8	-19.75	18,880	414	⑨	59.50	3.25
25	-24.5			⑧	94.60	3.84
				—		

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	部材 番号	せん断 断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^3 \text{m}^4$ )
14	0.2	1,834		—		
13	-7.8	1,638		⑭	0.873	0.075
12	-15.85	1,638		⑬	0.873	0.075
35	-22.0			⑫	0.873	0.075
				—		



第 4.2 図 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)



第 4.3 図 曲げのスケルトンカーブ ( $M - \phi$  関係)

第 4.3 表 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau$ - $\gamma$  関係、NS 方向)

部材 番号*	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
⑦	1.66	0.178	2.25	0.533	4.26	4.00	R/B
⑥	1.77	0.188	2.39	0.565	5.32	4.00	
⑤	1.80	0.192	2.43	0.576	5.15	4.00	
④	1.89	0.202	2.55	0.605	5.42	4.00	
③	1.96	0.209	2.65	0.628	5.51	4.00	
②	2.03	0.216	2.73	0.648	5.46	4.00	
⑪	1.71	0.183	2.31	0.548	4.70	4.00	I/C
⑩	1.66	0.177	2.24	0.531	4.53	4.00	
⑨	1.80	0.192	2.43	0.576	4.56	4.00	
⑧	1.79	0.191	2.42	0.574	4.11	4.00	

※ 部材番号⑫～⑭(C/V)は線形とする。

第 4.4 表 曲げのスケルトンカーブ ( $M$ - $\phi$  関係、NS 方向)

部材 番号*	$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-3}$ 1/m)	備考
⑦	4.03	0.895	0.507	8.68	0.713	1.74	R/B
⑥	6.65	1.02	1.32	9.68	2.21	1.94	
⑤	38.3	0.424	7.72	4.24	12.0	0.567	
④	66.1	0.488	15.9	4.37	25.4	0.474	
③	98.2	0.524	22.8	4.37	35.5	0.523	
②	123	0.555	27.8	4.38	42.2	0.557	
⑪	0.746	2.55	0.160	26.8	0.244	5.36	I/C
⑩	6.48	1.09	1.37	12.0	2.06	2.40	
⑨	7.44	1.25	1.66	12.5	2.38	2.41	
⑧	7.91	1.23	1.84	12.8	2.52	2.29	

※ 部材番号⑫～⑭(C/V)は線形とする。

第 4.5 表 せん断のスケルトンカーブ ( $\tau$ - $\gamma$  関係、EW 方向)

部材 番号*	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
⑦	1.66	0.178	2.25	0.533	4.68	4.00	R/B
⑥	1.77	0.188	2.39	0.565	4.99	4.00	
⑤	1.80	0.192	2.43	0.576	5.23	4.00	
④	1.89	0.202	2.55	0.605	5.39	4.00	
③	1.96	0.209	2.65	0.628	5.52	4.00	
②	2.03	0.216	2.73	0.648	5.44	4.00	
⑪	1.71	0.183	2.31	0.548	4.69	4.00	I/C
⑩	1.66	0.177	2.24	0.531	4.48	4.00	
⑨	1.80	0.192	2.43	0.576	4.52	4.00	
⑧	1.79	0.191	2.42	0.574	4.10	4.00	

※ 部材番号⑫～⑭(C/V)は線形とする。

第 4.6 表 曲げのスケルトンカーブ (M- $\phi$  関係、EW 方向)

部材 番号*	$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ 1/m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-3}$ 1/m)	備考
⑦	10.3	0.486	1.43	4.85	2.15	0.970	R/B
⑥	14.7	0.544	2.56	5.14	4.06	1.03	
⑤	43.3	0.456	8.87	4.30	14.1	0.689	
④	66.5	0.506	15.1	4.46	23.6	0.586	
③	95.4	0.544	21.3	4.47	32.6	0.627	
②	121	0.577	26.4	4.50	39.9	0.631	
⑪	0.746	2.55	0.161	26.8	0.244	5.36	I/C
⑩	7.99	1.09	1.66	12.2	2.53	2.45	
⑨	9.14	1.25	1.95	12.6	2.84	2.28	
⑧	10.6	1.23	2.23	13.1	3.15	2.10	

※ 部材番号⑫～⑭(C/V)は線形とする。

第 4.7 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向、Sd)

(a) Sd-D、Sd-1、Sd-2

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-D	側面	水平	KH3	$7.056 \times 10^6$	$1.430 \times 10^6$
			KH2	$1.049 \times 10^7$	$1.626 \times 10^6$
			KH1	$5.995 \times 10^6$	$8.080 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.361 \times 10^9$	$3.075 \times 10^8$
			KR2	$6.574 \times 10^9$	$3.510 \times 10^8$
			KR1	$3.741 \times 10^9$	$1.638 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.613 \times 10^7$	$1.963 \times 10^6$
		回転	KR	$3.891 \times 10^{10}$	$5.406 \times 10^8$
Sd-1	側面	水平	KH3	$7.064 \times 10^6$	$1.431 \times 10^6$
			KH2	$1.067 \times 10^7$	$1.640 \times 10^6$
			KH1	$6.097 \times 10^6$	$8.146 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.366 \times 10^9$	$3.087 \times 10^8$
			KR2	$6.684 \times 10^9$	$3.549 \times 10^8$
			KR1	$3.805 \times 10^9$	$1.657 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.959 \times 10^7$	$2.032 \times 10^6$
		回転	KR	$4.183 \times 10^{10}$	$5.527 \times 10^8$
Sd-2	側面	水平	KH3	$7.157 \times 10^6$	$1.441 \times 10^6$
			KH2	$1.089 \times 10^7$	$1.657 \times 10^6$
			KH1	$6.206 \times 10^6$	$8.217 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.423 \times 10^9$	$3.110 \times 10^8$
			KR2	$6.825 \times 10^9$	$3.587 \times 10^8$
			KR1	$3.873 \times 10^9$	$1.673 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.152 \times 10^7$	$2.070 \times 10^6$
		回転	KR	$4.345 \times 10^{10}$	$5.602 \times 10^8$

第 4.7 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向、Sd)

(b) Sd-3、Sd-4、Sd-5

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-3	側面	水平	KH3	$6.713 \times 10^6$	$1.397 \times 10^6$
			KH2	$1.044 \times 10^7$	$1.622 \times 10^6$
			KH1	$6.029 \times 10^6$	$8.098 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.149 \times 10^9$	$3.023 \times 10^8$
			KR2	$6.543 \times 10^9$	$3.520 \times 10^8$
			KR1	$3.762 \times 10^9$	$1.650 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.056 \times 10^7$	$2.051 \times 10^6$
		回転	KR	$4.264 \times 10^{10}$	$5.538 \times 10^8$
Sd-4	側面	水平	KH3	$7.318 \times 10^6$	$1.457 \times 10^6$
			KH2	$1.091 \times 10^7$	$1.658 \times 10^6$
			KH1	$6.205 \times 10^6$	$8.214 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.523 \times 10^9$	$3.142 \times 10^8$
			KR2	$6.837 \times 10^9$	$3.595 \times 10^8$
			KR1	$3.872 \times 10^9$	$1.676 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.222 \times 10^7$	$2.084 \times 10^6$
		回転	KR	$4.404 \times 10^{10}$	$5.637 \times 10^8$
Sd-5	側面	水平	KH3	$7.655 \times 10^6$	$1.491 \times 10^6$
			KH2	$1.141 \times 10^7$	$1.695 \times 10^6$
			KH1	$6.467 \times 10^6$	$8.382 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.731 \times 10^9$	$3.219 \times 10^8$
			KR2	$7.148 \times 10^9$	$3.685 \times 10^8$
			KR1	$4.035 \times 10^9$	$1.717 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.801 \times 10^7$	$2.194 \times 10^6$
		回転	KR	$4.893 \times 10^{10}$	$5.844 \times 10^8$

第 4.8 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (EW 方向、Sd)

(a) Sd-D、Sd-1、Sd-2

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-D	側面	水平	KH3	$7.056 \times 10^6$	$1.430 \times 10^6$
			KH2	$1.049 \times 10^7$	$1.627 \times 10^6$
			KH1	$5.995 \times 10^6$	$8.082 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.361 \times 10^9$	$3.071 \times 10^8$
			KR2	$6.574 \times 10^9$	$3.505 \times 10^8$
			KR1	$3.741 \times 10^9$	$1.635 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.630 \times 10^7$	$1.978 \times 10^6$
		回転	KR	$3.679 \times 10^{10}$	$4.908 \times 10^8$
Sd-1	側面	水平	KH3	$7.064 \times 10^6$	$1.431 \times 10^6$
			KH2	$1.067 \times 10^7$	$1.640 \times 10^6$
			KH1	$6.097 \times 10^6$	$8.148 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.366 \times 10^9$	$3.083 \times 10^8$
			KR2	$6.684 \times 10^9$	$3.543 \times 10^8$
			KR1	$3.805 \times 10^9$	$1.654 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$4.977 \times 10^7$	$2.048 \times 10^6$
		回転	KR	$3.955 \times 10^{10}$	$5.017 \times 10^8$
Sd-2	側面	水平	KH3	$7.157 \times 10^6$	$1.441 \times 10^6$
			KH2	$1.089 \times 10^7$	$1.657 \times 10^6$
			KH1	$6.206 \times 10^6$	$8.219 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.423 \times 10^9$	$3.107 \times 10^8$
			KR2	$6.825 \times 10^9$	$3.582 \times 10^8$
			KR1	$3.873 \times 10^9$	$1.670 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.171 \times 10^7$	$2.086 \times 10^6$
		回転	KR	$4.108 \times 10^{10}$	$5.085 \times 10^8$

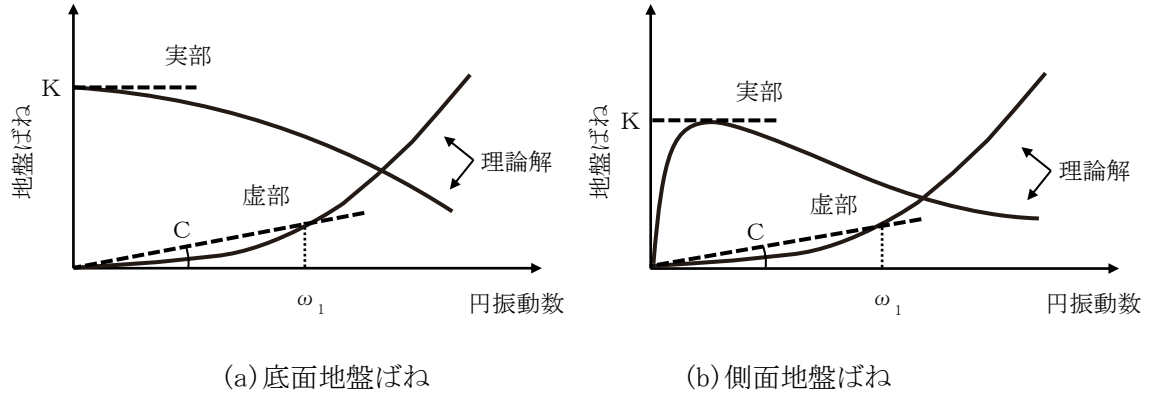


第 4.8 表 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、Sd)

(b)Sd-3、Sd-4、Sd-5

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-3	側面	水平	KH3	$6.713 \times 10^6$	$1.397 \times 10^6$
			KH2	$1.044 \times 10^7$	$1.622 \times 10^6$
			KH1	$6.029 \times 10^6$	$8.100 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.149 \times 10^9$	$3.020 \times 10^8$
			KR2	$6.543 \times 10^9$	$3.515 \times 10^8$
			KR1	$3.762 \times 10^9$	$1.647 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.074 \times 10^7$	$2.066 \times 10^6$
		回転	KR	$4.032 \times 10^{10}$	$5.026 \times 10^8$
Sd-4	側面	水平	KH3	$7.318 \times 10^6$	$1.457 \times 10^6$
			KH2	$1.091 \times 10^7$	$1.658 \times 10^6$
			KH1	$6.205 \times 10^6$	$8.216 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.523 \times 10^9$	$3.139 \times 10^8$
			KR2	$6.837 \times 10^9$	$3.590 \times 10^8$
			KR1	$3.872 \times 10^9$	$1.673 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.240 \times 10^7$	$2.100 \times 10^6$
		回転	KR	$4.164 \times 10^{10}$	$5.117 \times 10^8$
Sd-5	側面	水平	KH3	$7.655 \times 10^6$	$1.490 \times 10^6$
			KH2	$1.141 \times 10^7$	$1.695 \times 10^6$
			KH1	$6.467 \times 10^6$	$8.383 \times 10^5$
		回転	KR3	$4.731 \times 10^9$	$3.216 \times 10^8$
			KR2	$7.148 \times 10^9$	$3.680 \times 10^8$
			KR1	$4.035 \times 10^9$	$1.714 \times 10^8$
	底面	水平	KS	$5.822 \times 10^7$	$2.211 \times 10^6$
		回転	KR	$4.626 \times 10^{10}$	$5.304 \times 10^8$

$\omega_1$  : 地盤-建家連成系 1 次固有円振動数  
 K : ばね定数  
 C : 減衰係数



第 4.4 図 地盤ばねの定式化の概要

## 4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多軸多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結し、屋根トラス部分は、屋根形状に合わせて質点を配置し、はり要素でモデル化、回転拘束ばねで連結する。なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

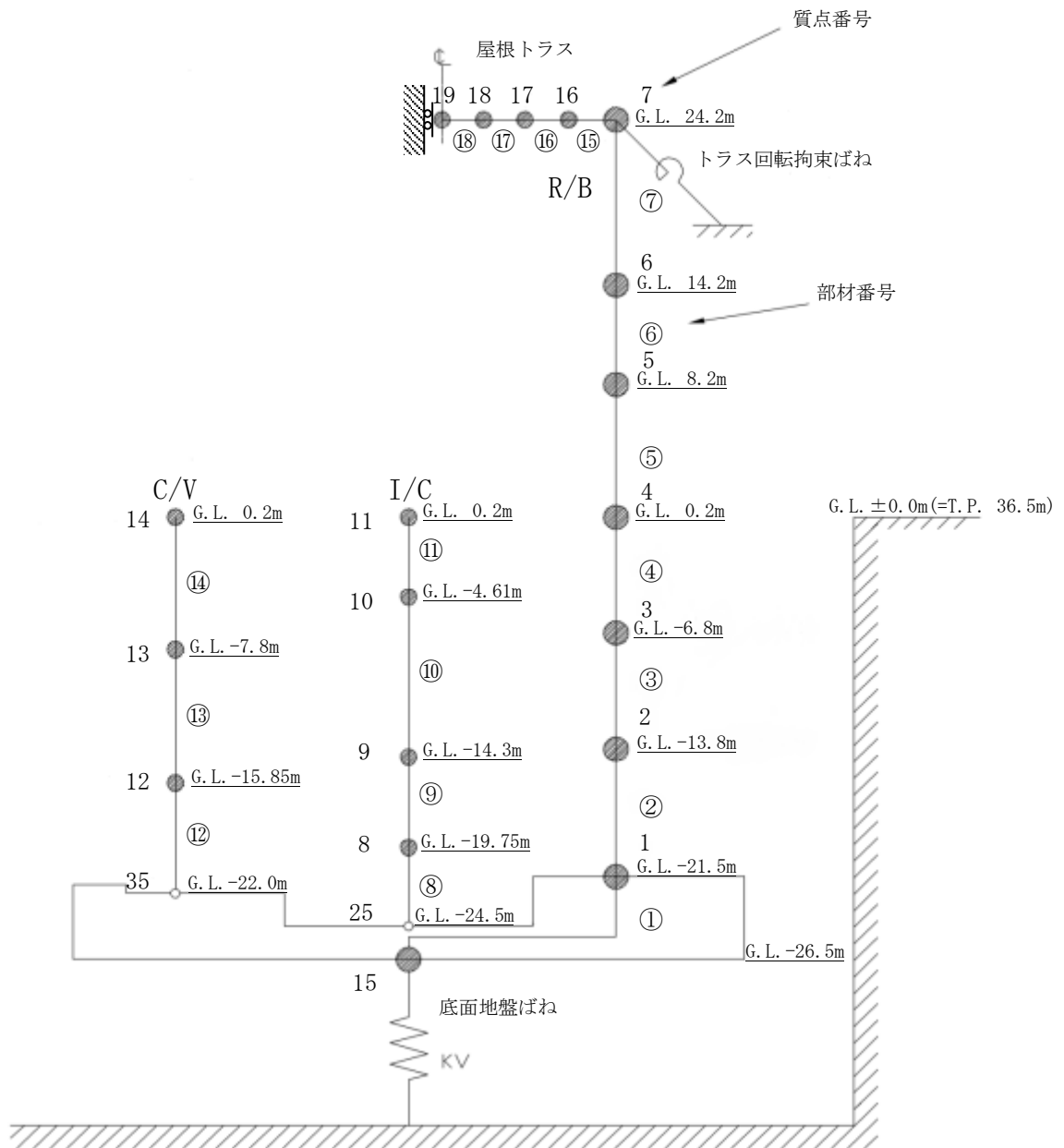
鉛直方向の解析モデルを第 4.5 図に、解析モデルの諸元を第 4.9 表及び第 4.10 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「admit(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.11 表に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%、C/V の鋼材部分の減衰定数は 1%、屋根の鉄骨部分の減衰定数は 2%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.5 図 解析モデル(鉛直方向)

第 4.9 表 解析モデルの諸元 (鉛直方向、R/B、I/C、C/V)

R/B

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
7	24.2	12,780	46.27	—	
6	14.2	37,840		⑦	60.80
5	8.2	82,110		⑥	105.1
4	0.2	132,500		⑤	225.7
3	-6.8	137,900		④	324.5
2	-13.8	149,300		③	404.0
1	-21.5	214,800		②	472.1
15	-26.5	214,800		①	2,600
				—	

I/C

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
11	0.2	6,649		—	
10	-4.61	23,890		⑪	16.20
9	-14.3	30,030		⑩	103.1
8	-19.75	18,880		⑨	98.90
				⑧	132.9
25	-24.5			—	

C/V

質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	軸断面積 ( $\text{m}^2$ )
14	0.2	1,834		—	
13	-7.8	1,638		⑭	1.746
12	-15.85	1,638		⑬	1.746
				⑫	1.746
35	-22.0			—	

第 4.10 表 解析モデルの諸元(鉛直方向、屋根トラス部分)

質点 番号	高さ G. L. (m)	水平 位置 (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
19	24.2	10.5	783		—		
					⑱		
18	24.2	8.0	1,565	815	⑰	0.045	0.196
17	24.2	5.5	1,611	890	⑯	0.059	0.196
16	24.2	2.85	1,721	1,085	⑮	0.072	0.196
—							

注) トラス回転拘束ばね  $1.23 \times 10^7$  (kN・m/rad)

第 4.11 表 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
Sd-D	底面	鉛直	KV	$5.582 \times 10^7$	$3.888 \times 10^6$
Sd-1	底面	鉛直	KV	$6.104 \times 10^7$	$4.053 \times 10^6$
Sd-2	底面	鉛直	KV	$6.312 \times 10^7$	$4.115 \times 10^6$
Sd-3	底面	鉛直	KV	$6.217 \times 10^7$	$4.087 \times 10^6$
Sd-4	底面	鉛直	KV	$6.396 \times 10^7$	$4.139 \times 10^6$
Sd-5	底面	鉛直	KV	$7.082 \times 10^7$	$4.332 \times 10^6$

## 5. 解析結果

### 5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を第 5.1 表から第 5.6 表に示す。刺激関数を Sd-D の結果を代表として、第 5.1 図から第 5.6 図に示す。



第 5.1 表 固有値解析結果 (Sd-D)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.311	3.22	1.777	全体 1 次
	2	0.164	6.11	-0.946	
	3	0.116	8.65	-0.342	
	4	0.085	11.74	0.161	
	5	0.079	12.63	0.232	
	6	0.067	14.83	-0.181	
	7	0.052	19.40	0.036	
	8	0.047	21.31	-0.001	
EW	1	0.313	3.20	1.715	全体 1 次
	2	0.161	6.20	-0.810	
	3	0.109	9.16	-0.245	
	4	0.080	12.58	0.095	
	5	0.068	14.63	0.014	
	6	0.065	15.28	-0.162	
	7	0.044	22.52	-0.020	
	8	0.042	23.72	0.079	
UD	1	0.289	3.46	9.320	全体 1 次
	2	0.269	3.71	-8.346	
	3	0.090	11.14	-0.011	
	4	0.063	15.82	0.083	
	5	0.049	20.56	-0.074	
	6	0.041	24.32	0.027	
	7	0.035	28.37	-0.050	
	8	0.035	28.75	-0.054	

第 5.2 表 固有値解析結果 (Sd-1)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.305	3.28	1.789	全体 1 次
	2	0.160	6.24	-0.974	
	3	0.115	8.66	-0.381	
	4	0.085	11.78	0.181	
	5	0.079	12.63	0.240	
	6	0.067	14.88	-0.183	
	7	0.052	19.41	0.039	
	8	0.047	21.33	-0.001	
EW	1	0.307	3.26	1.723	全体 1 次
	2	0.158	6.34	-0.827	
	3	0.109	9.18	-0.276	
	4	0.079	12.58	0.091	
	5	0.068	14.69	0.026	
	6	0.065	15.30	-0.174	
	7	0.044	22.52	-0.022	
	8	0.042	23.73	0.084	
UD	1	0.283	3.53	9.107	全体 1 次
	2	0.263	3.80	-8.135	
	3	0.090	11.14	-0.012	
	4	0.063	15.82	0.090	
	5	0.049	20.58	-0.080	
	6	0.041	24.32	0.030	
	7	0.035	28.38	-0.055	
	8	0.035	28.76	-0.060	

第 5.3 表 固有値解析結果 (Sd-2)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.301	3.32	1.796	全体 1 次
	2	0.158	6.32	-0.990	
	3	0.115	8.67	-0.407	
	4	0.085	11.80	0.193	
	5	0.079	12.63	0.245	
	6	0.067	14.90	-0.185	
	7	0.052	19.41	0.040	
	8	0.047	21.35	-0.001	
EW	1	0.303	3.30	1.728	全体 1 次
	2	0.156	6.43	-0.837	
	3	0.109	9.18	-0.296	
	4	0.079	12.59	0.088	
	5	0.068	14.73	0.034	
	6	0.065	15.32	-0.181	
	7	0.044	22.53	-0.023	
	8	0.042	23.73	0.088	
UD	1	0.282	3.55	8.382	全体 1 次
	2	0.260	3.85	-7.411	
	3	0.090	11.14	-0.013	
	4	0.063	15.82	0.094	
	5	0.049	20.58	-0.083	
	6	0.041	24.32	0.031	
	7	0.035	28.38	-0.057	
	8	0.035	28.76	-0.062	

第 5.4 表 固有値解析結果 (Sd-3)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.305	3.28	1.789	全体 1 次
	2	0.160	6.26	-0.977	
	3	0.115	8.66	-0.386	
	4	0.085	11.78	0.186	
	5	0.079	12.63	0.242	
	6	0.067	14.88	-0.183	
	7	0.052	19.41	0.039	
	8	0.047	21.34	-0.002	
EW	1	0.307	3.26	1.723	全体 1 次
	2	0.157	6.36	-0.829	
	3	0.109	9.18	-0.280	
	4	0.079	12.59	0.089	
	5	0.068	14.70	0.029	
	6	0.065	15.30	-0.175	
	7	0.044	22.52	-0.023	
	8	0.042	23.73	0.086	
UD	1	0.283	3.54	8.730	全体 1 次
	2	0.261	3.82	-7.758	
	3	0.090	11.14	-0.013	
	4	0.063	15.82	0.092	
	5	0.049	20.58	-0.082	
	6	0.041	24.32	0.030	
	7	0.035	28.38	-0.057	
	8	0.035	28.76	-0.061	

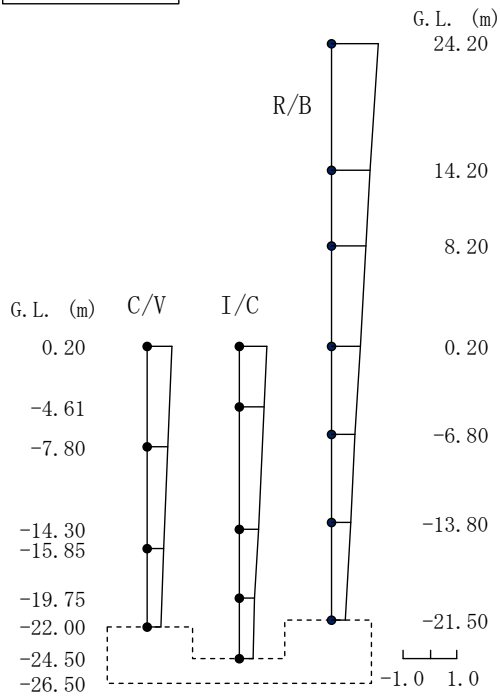
第 5.5 表 固有値解析結果 (Sd-4)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.300	3.34	1.799	全体 1 次
	2	0.157	6.35	-0.996	
	3	0.115	8.67	-0.417	
	4	0.085	11.81	0.197	
	5	0.079	12.63	0.246	
	6	0.067	14.91	-0.185	
	7	0.052	19.41	0.041	
	8	0.047	21.36	-0.002	
EW	1	0.301	3.32	1.730	全体 1 次
	2	0.155	6.46	-0.840	
	3	0.109	9.19	-0.304	
	4	0.079	12.59	0.087	
	5	0.068	14.74	0.036	
	6	0.065	15.32	-0.183	
	7	0.044	22.53	-0.023	
	8	0.042	23.73	0.089	
UD	1	0.282	3.55	8.068	全体 1 次
	2	0.259	3.86	-7.097	
	3	0.090	11.14	-0.013	
	4	0.063	15.82	0.095	
	5	0.049	20.59	-0.084	
	6	0.041	24.32	0.031	
	7	0.035	28.38	-0.058	
	8	0.035	28.76	-0.063	

第 5.6 表 固有値解析結果 (Sd-5)

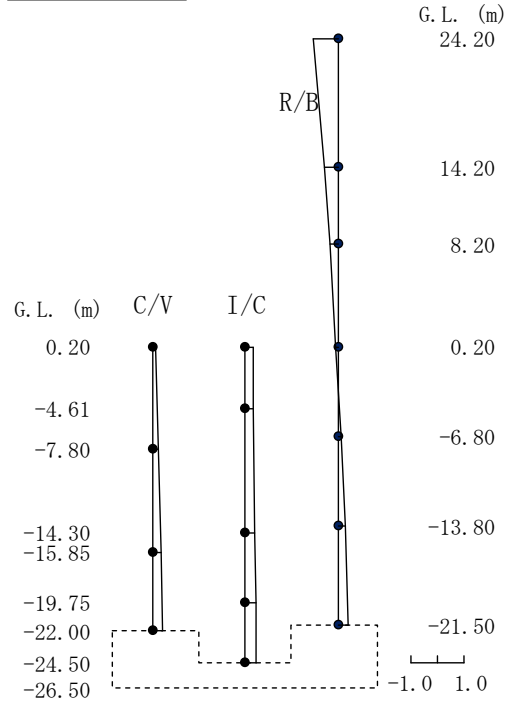
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.290	3.45	1.821	全体 1 次
	2	0.152	6.57	-1.042	
	3	0.115	8.70	-0.499	
	4	0.084	11.88	0.234	
	5	0.079	12.63	0.256	
	6	0.067	15.00	-0.188	
	7	0.051	19.43	0.045	
	8	0.047	21.40	-0.002	
EW	1	0.292	3.43	1.744	全体 1 次
	2	0.150	6.69	-0.868	
	3	0.109	9.21	-0.370	
	4	0.079	12.60	0.079	
	5	0.067	14.85	0.065	
	6	0.065	15.37	-0.202	
	7	0.044	22.53	-0.026	
	8	0.042	23.74	0.099	
UD	1	0.280	3.58	5.911	全体 1 次
	2	0.248	4.03	-4.943	
	3	0.090	11.14	-0.015	
	4	0.063	15.82	0.105	
	5	0.049	20.60	-0.093	
	6	0.041	24.32	0.035	
	7	0.035	28.38	-0.066	
	8	0.035	28.76	-0.071	

NS方向 Sd-D 1次



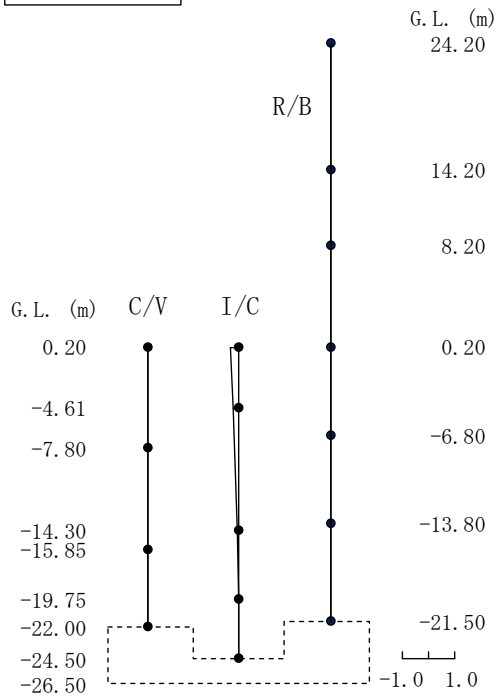
(1次)

NS方向 Sd-D 2次



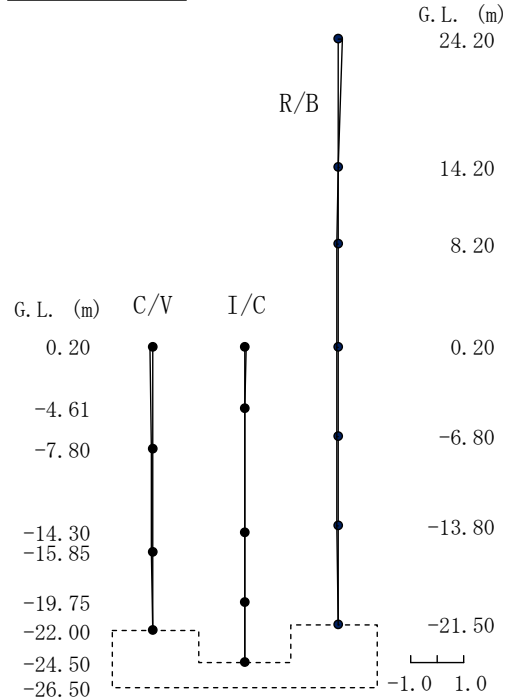
(2次)

NS方向 Sd-D 3次



(3次)

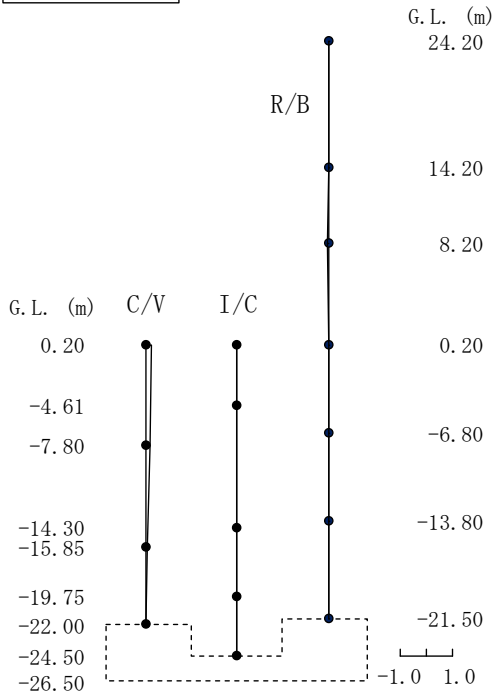
NS方向 Sd-D 4次



(4次)

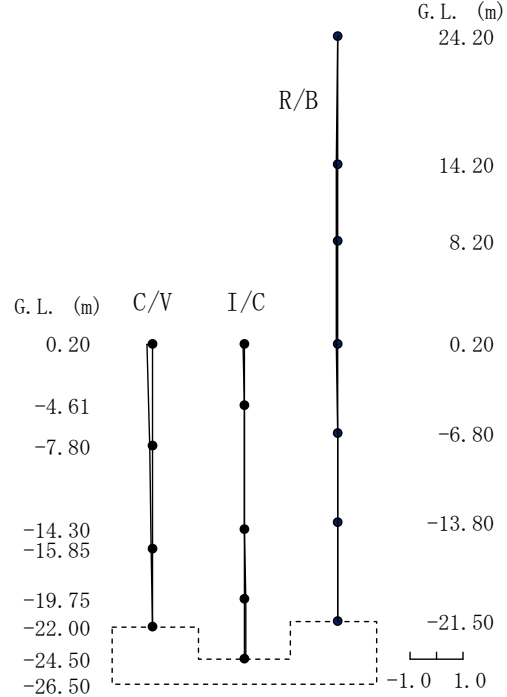
第 5.1 図 刺激関数(NS 方向、Sd-D、1~4 次)

NS方向 Sd-D 5次



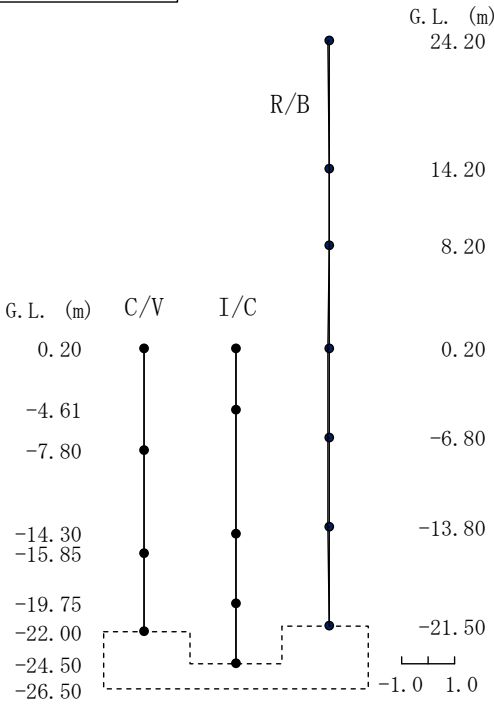
(5次)

NS方向 Sd-D 6次



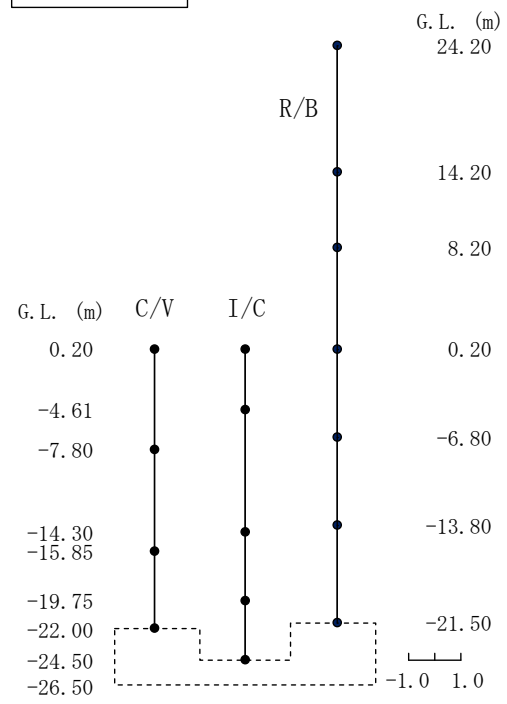
(6次)

NS方向 Sd-D 7次



(7次)

NS方向 Sd-D 8次

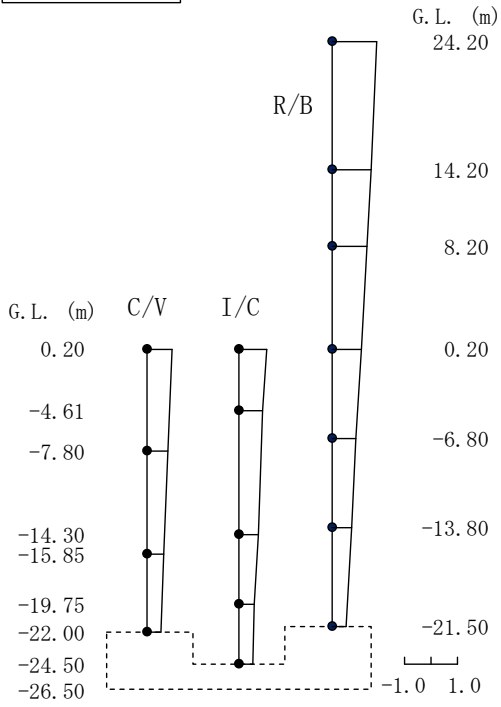


(8次)

第 5.2 図 刺激関数(NS 方向、Sd-D、5~8 次)

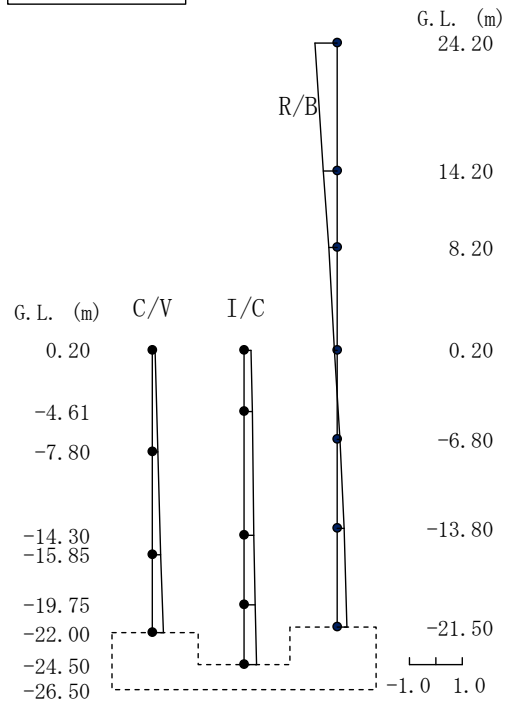


EW方向 Sd-D 1次



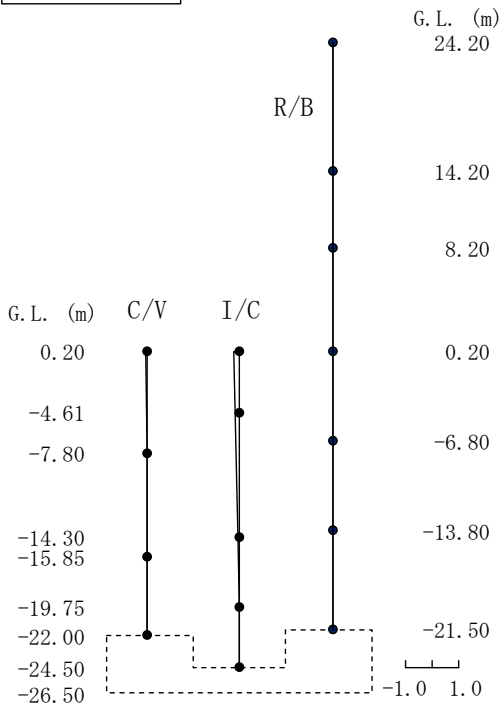
(1次)

EW方向 Sd-D 2次



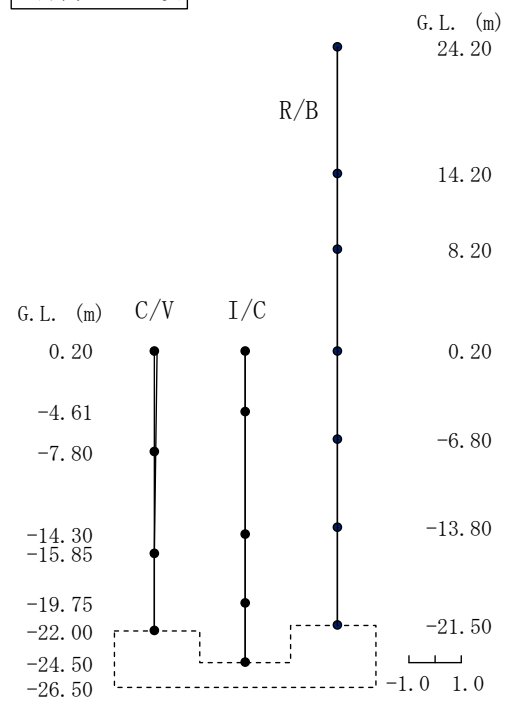
(2次)

EW方向 Sd-D 3次



(3次)

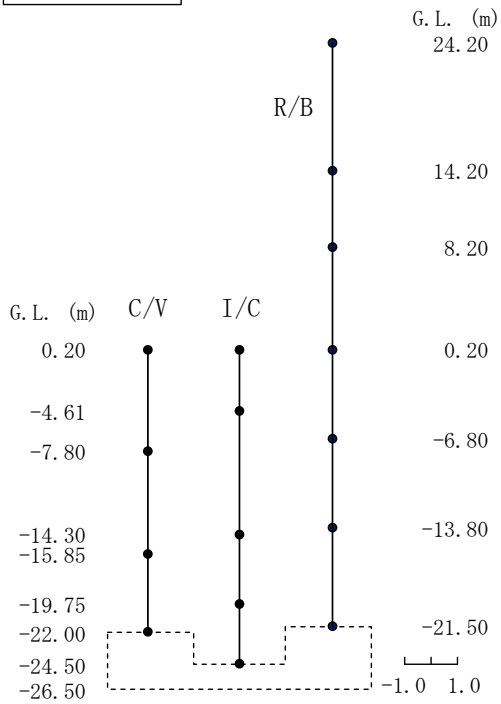
EW方向 Sd-D 4次



(4次)

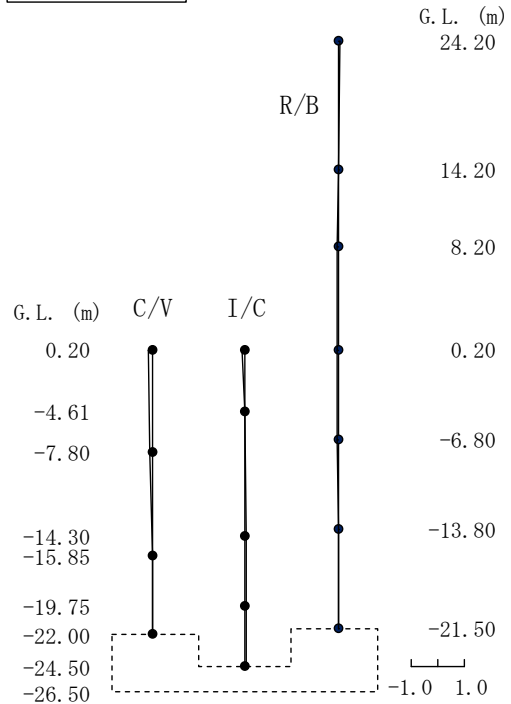
第 5.3 図 刺激関数(EW 方向、Sd-D、1~4 次)

EW方向 Sd-D 5次



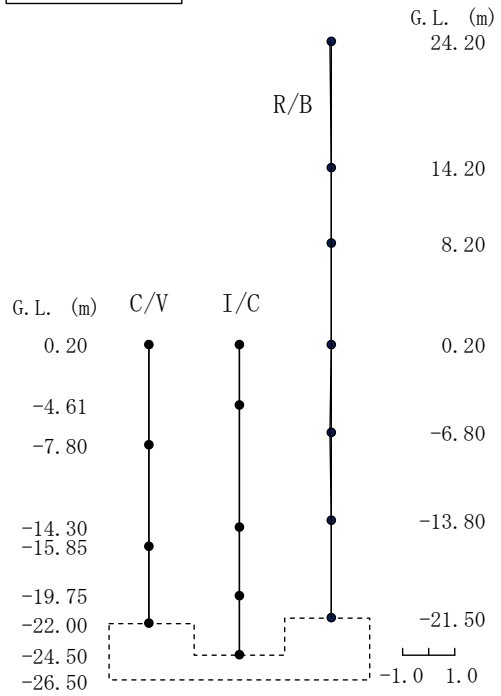
(5次)

EW方向 Sd-D 6次



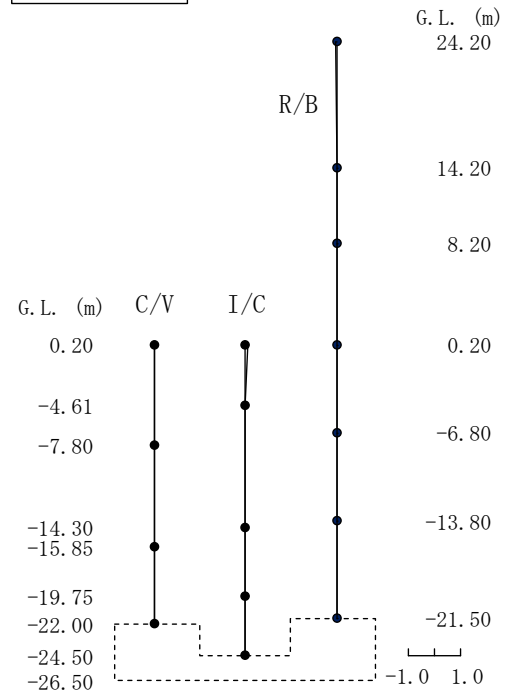
(6次)

EW方向 Sd-D 7次



(7次)

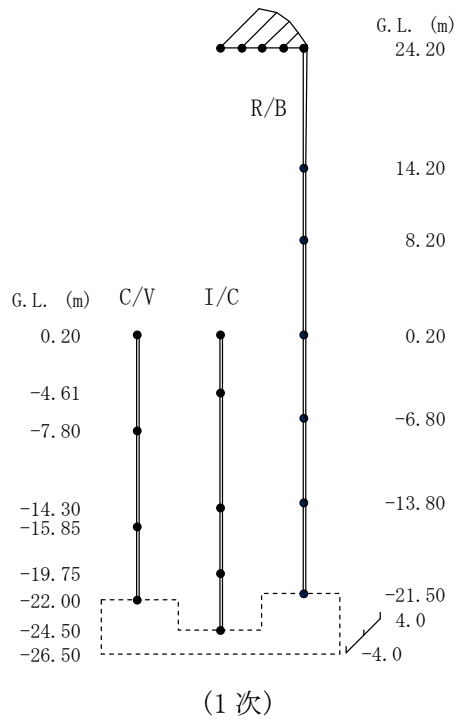
EW方向 Sd-D 8次



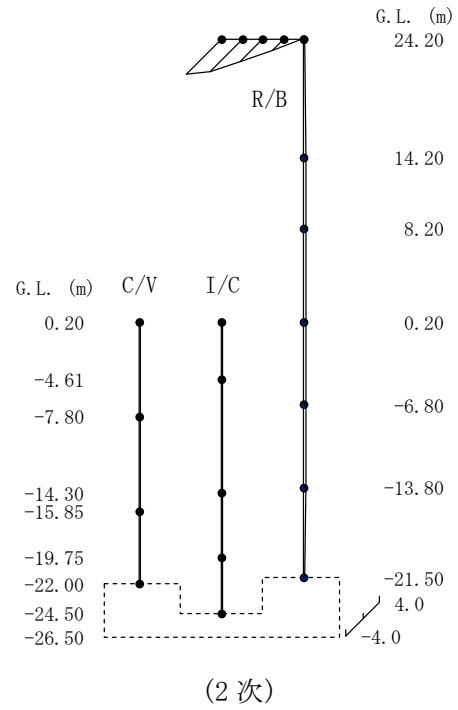
(8次)

第 5.4 図 刺激関数(EW 方向、Sd-D、5~8 次)

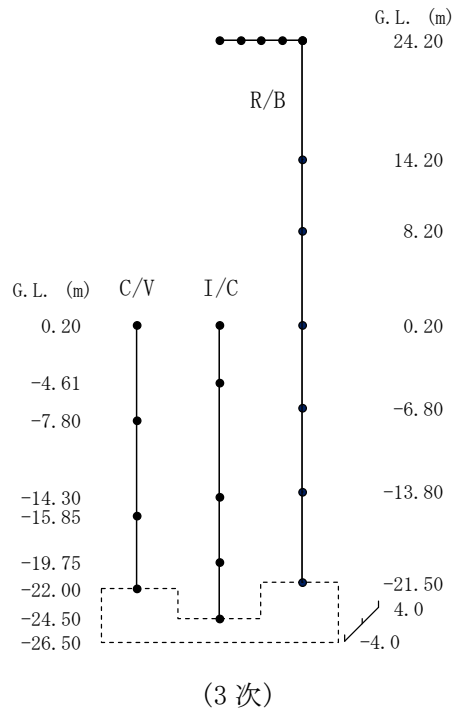
UD方向 Sd-D 1次



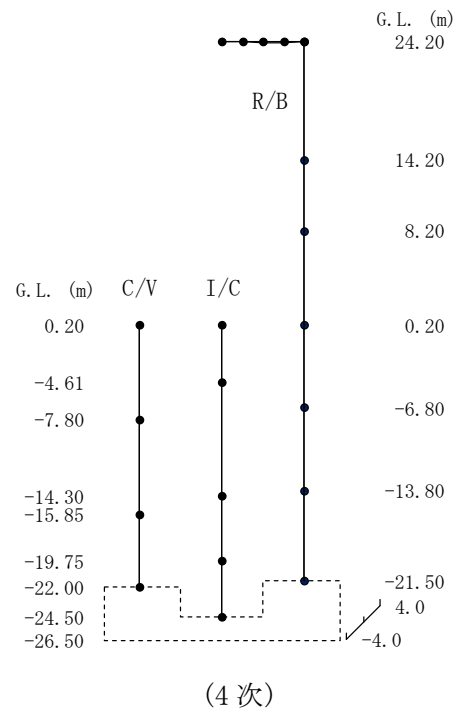
UD方向 Sd-D 2次



UD方向 Sd-D 3次

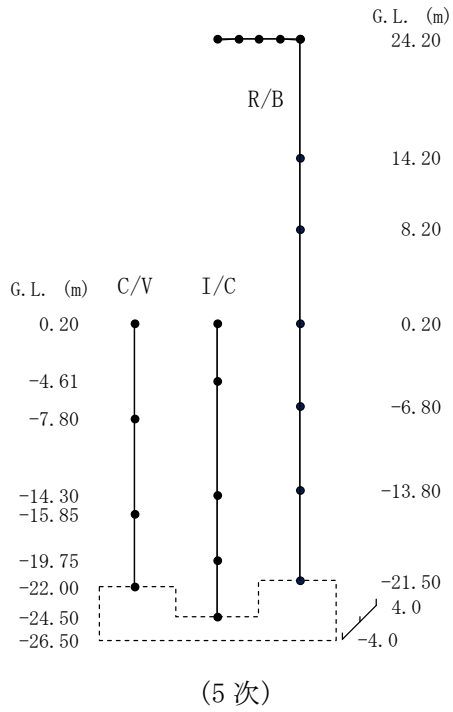


UD方向 Sd-D 4次

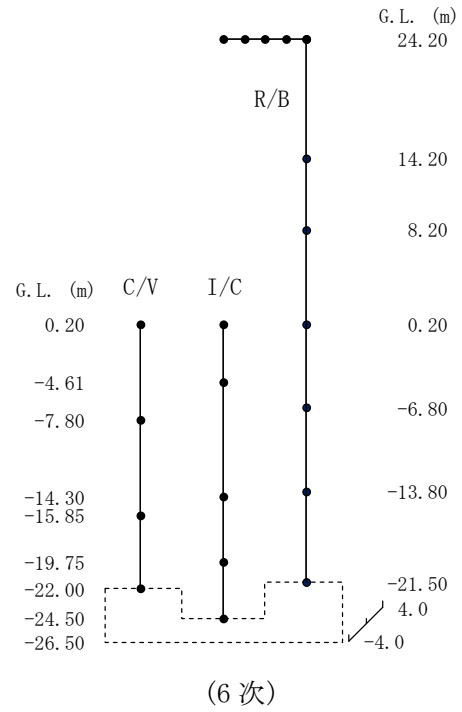


第 5.5 図 刺激関数(UD 方向、Sd-D、1~4 次)

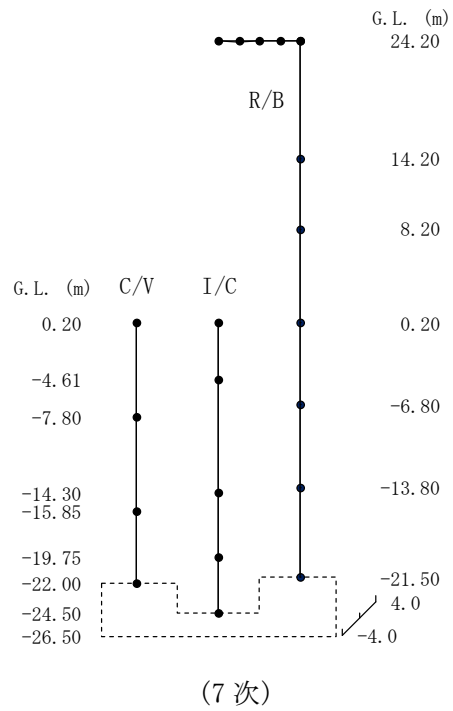
UD方向 Sd-D 5次



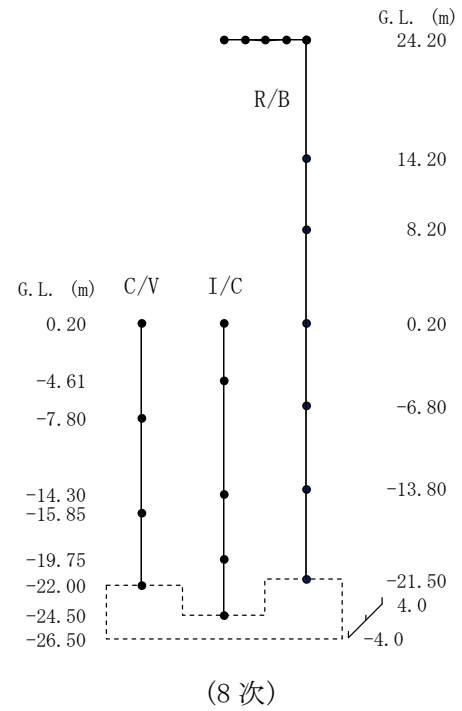
UD方向 Sd-D 6次



UD方向 Sd-D 7次



UD方向 Sd-D 8次

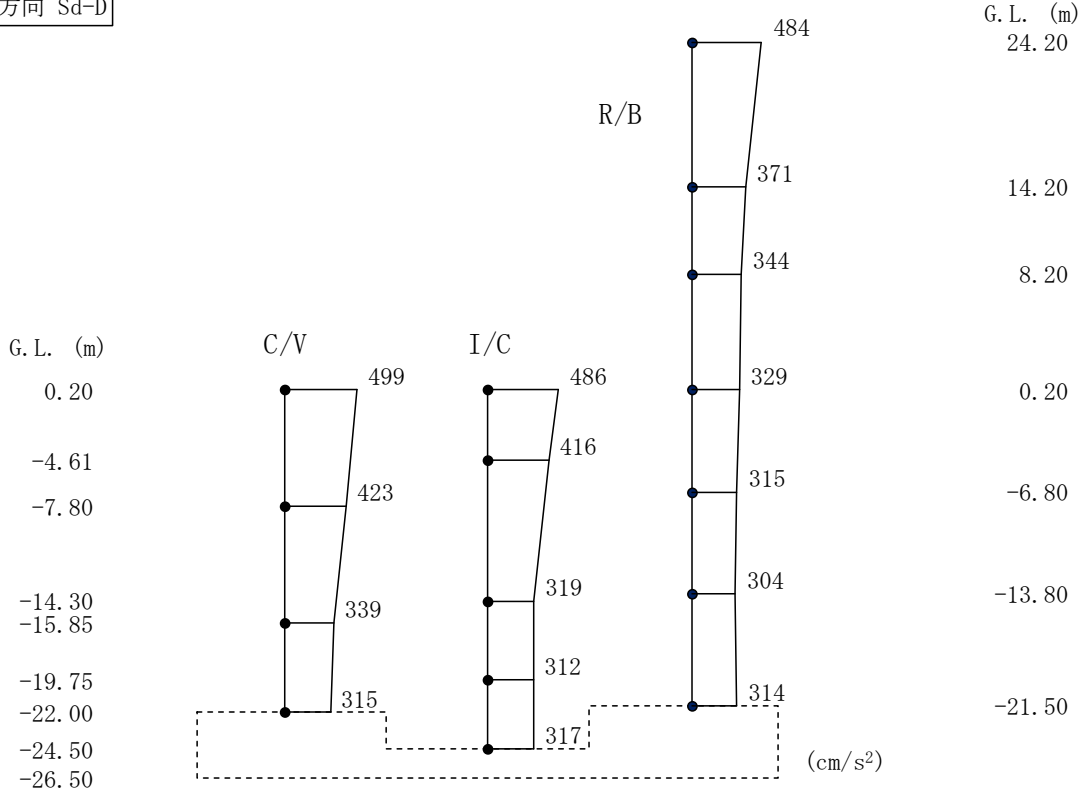


第 5.6 図 刺激関数(UD 方向、Sd-D、5~8 次)

## 5.2 地震応答解析結果

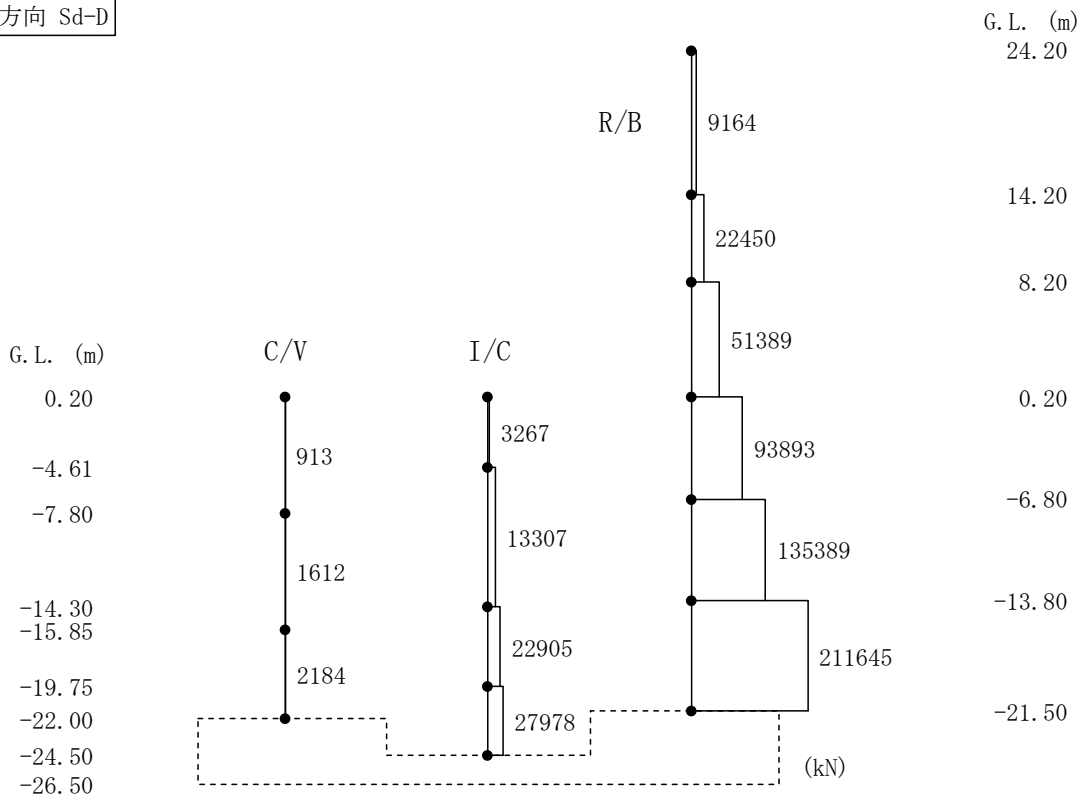
弾性設計用地震動 Sd による水平方向の最大応答加速度、せん断力及び曲げモーメントを第 5.7 図から第 5.42 図に、鉛直方向の最大応答加速度及び軸力を第 5.43 図から第 5.54 図に示す。また、耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を第 5.55 図及び第 5.56 図に示す。せん断ひずみは、おおむね弾性範囲内であることを確認した。

NS方向 Sd-D



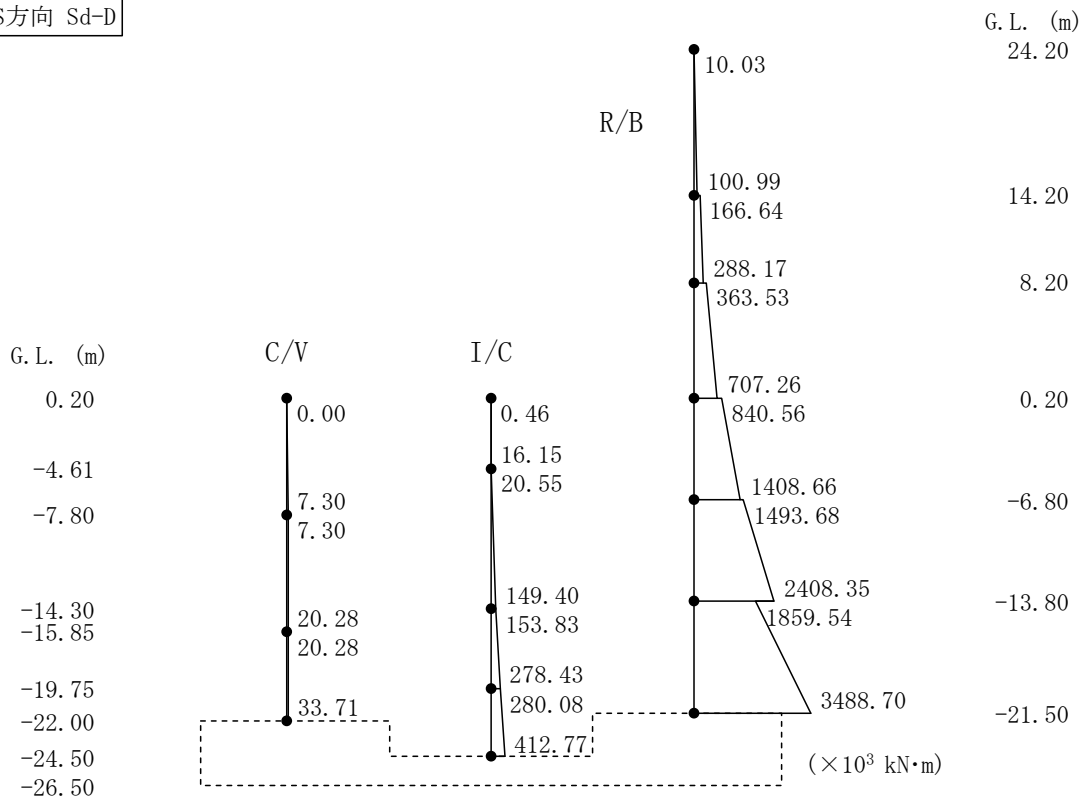
第 5.7 図 最大応答加速度(NS 方向、Sd-D)

NS方向 Sd-D



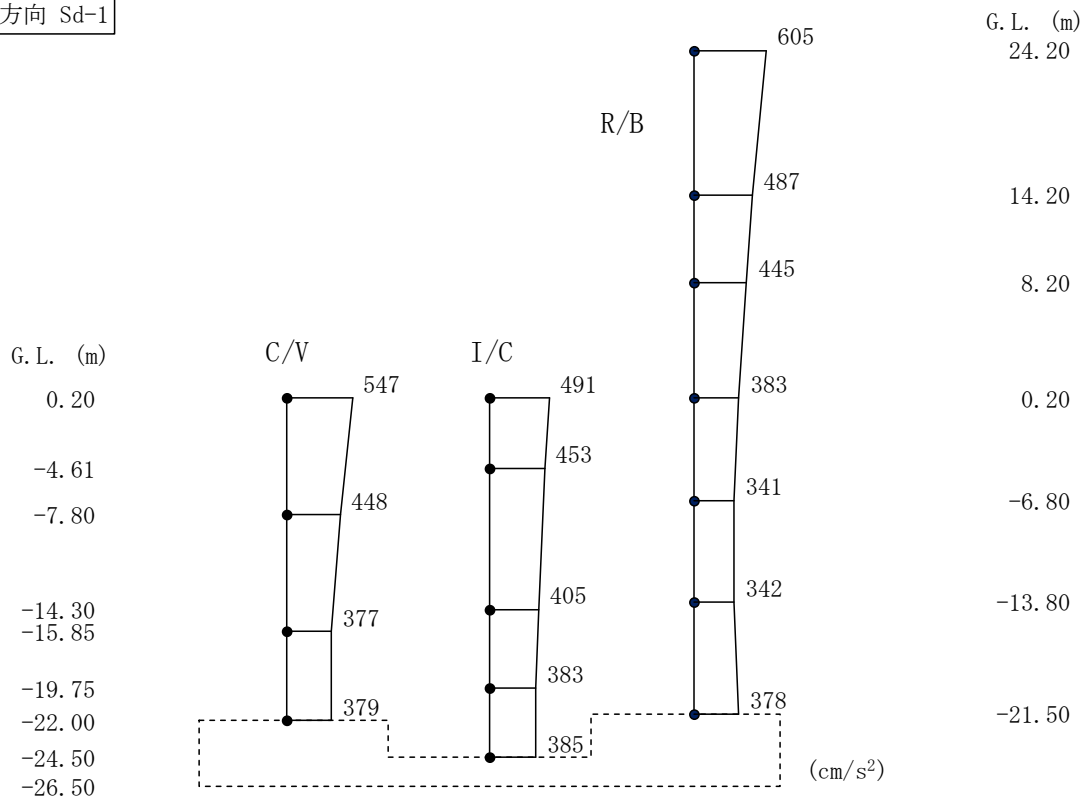
第 5.8 図 最大応答せん断力(NS 方向、Sd-D)

NS方向 Sd-D



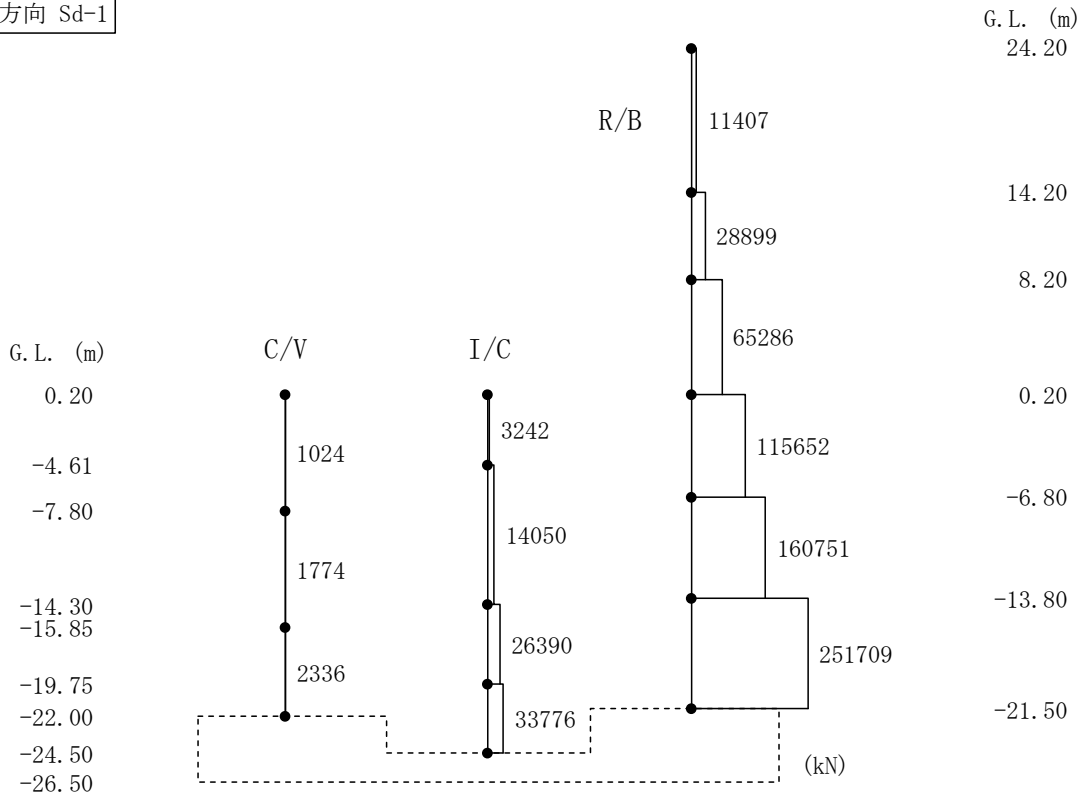
第 5.9 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向、Sd-D)

NS方向 Sd-1



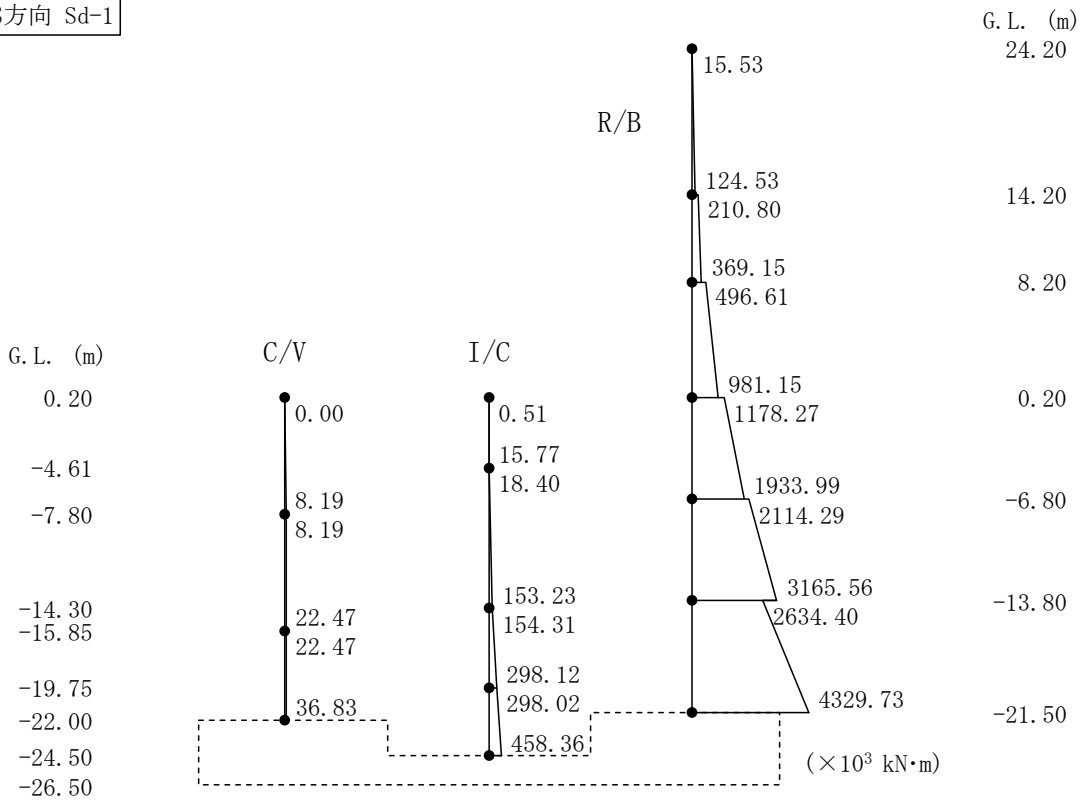
第 5.10 図 最大応答加速度 (NS 方向、Sd-1)

NS方向 Sd-1



第 5.11 図 最大応答せん断力(NS 方向、Sd-1)

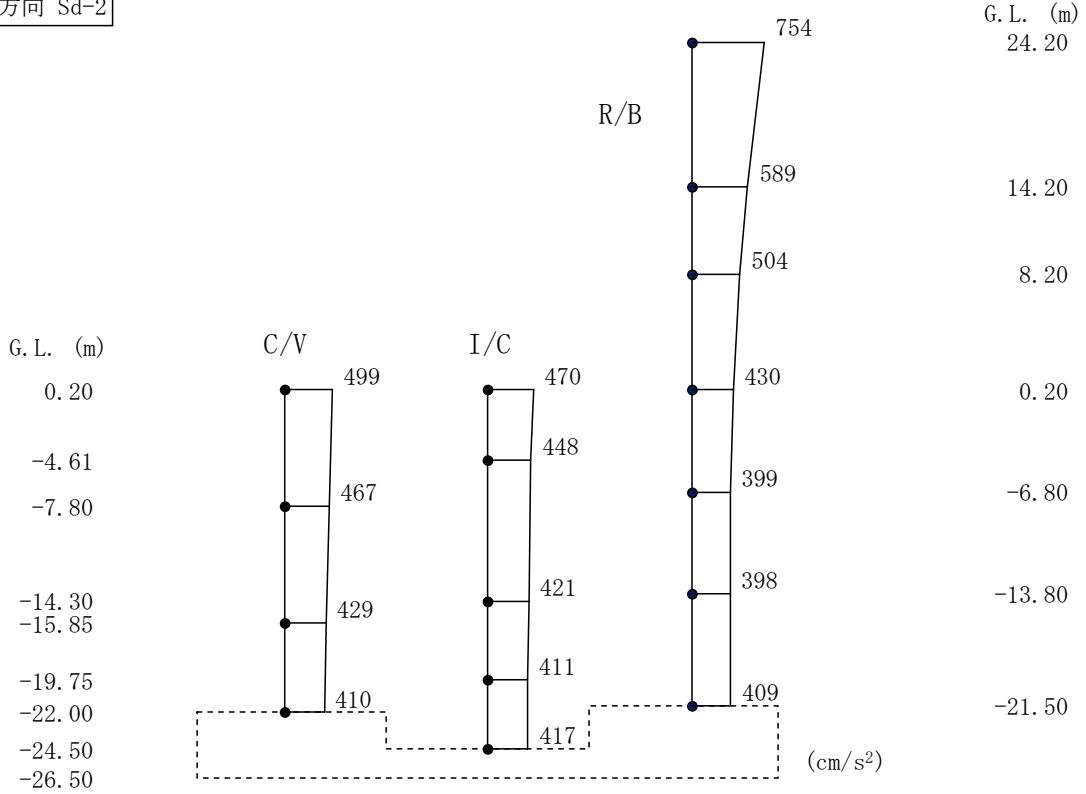
NS方向 Sd-1



第 5.12 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-1)

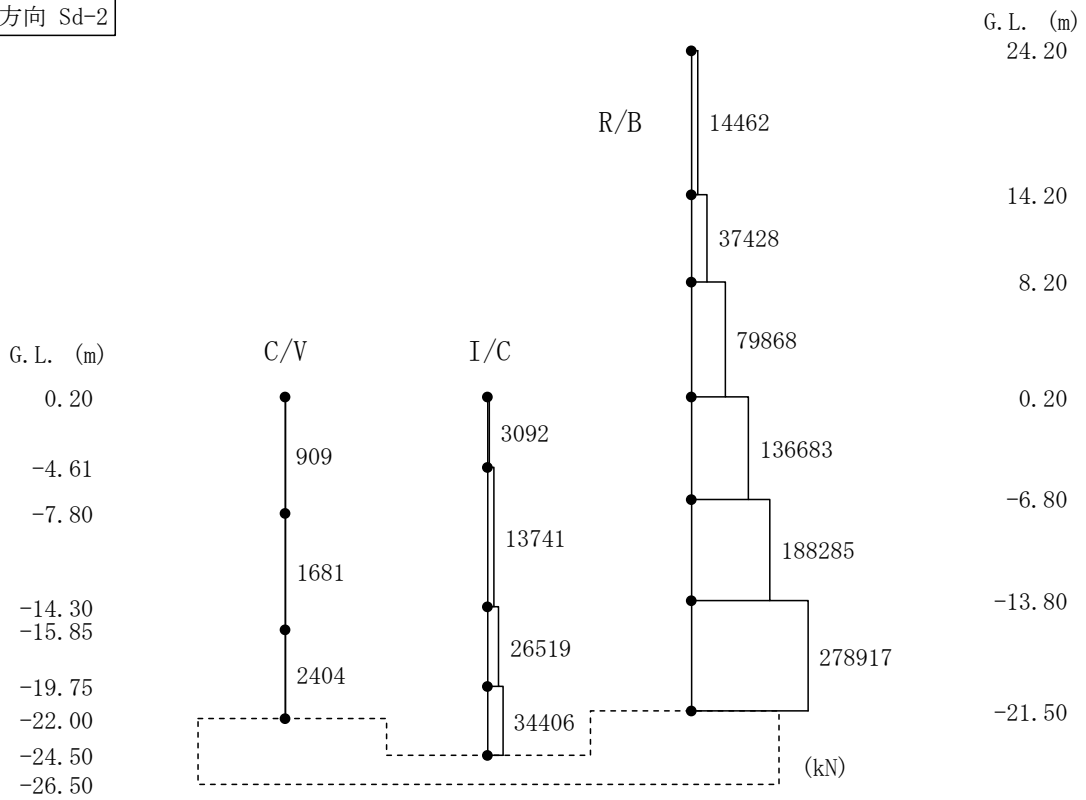


NS方向 Sd-2



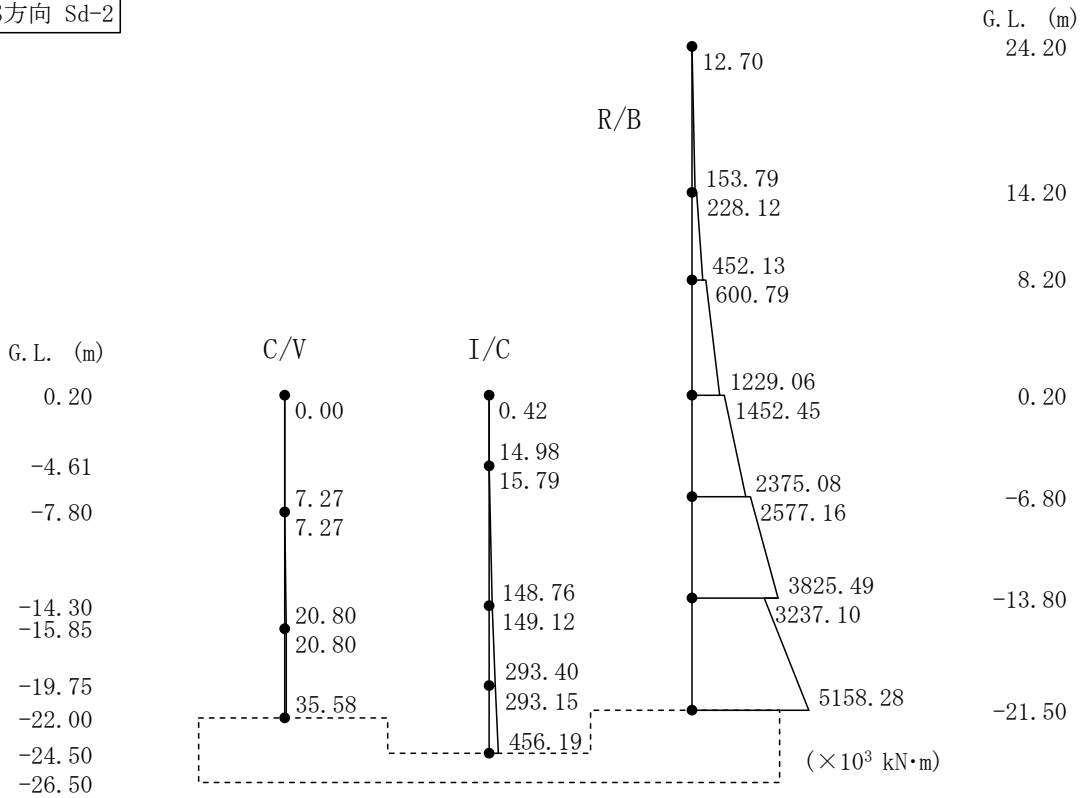
第 5.13 図 最大応答加速度 (NS 方向、Sd-2)

NS方向 Sd-2



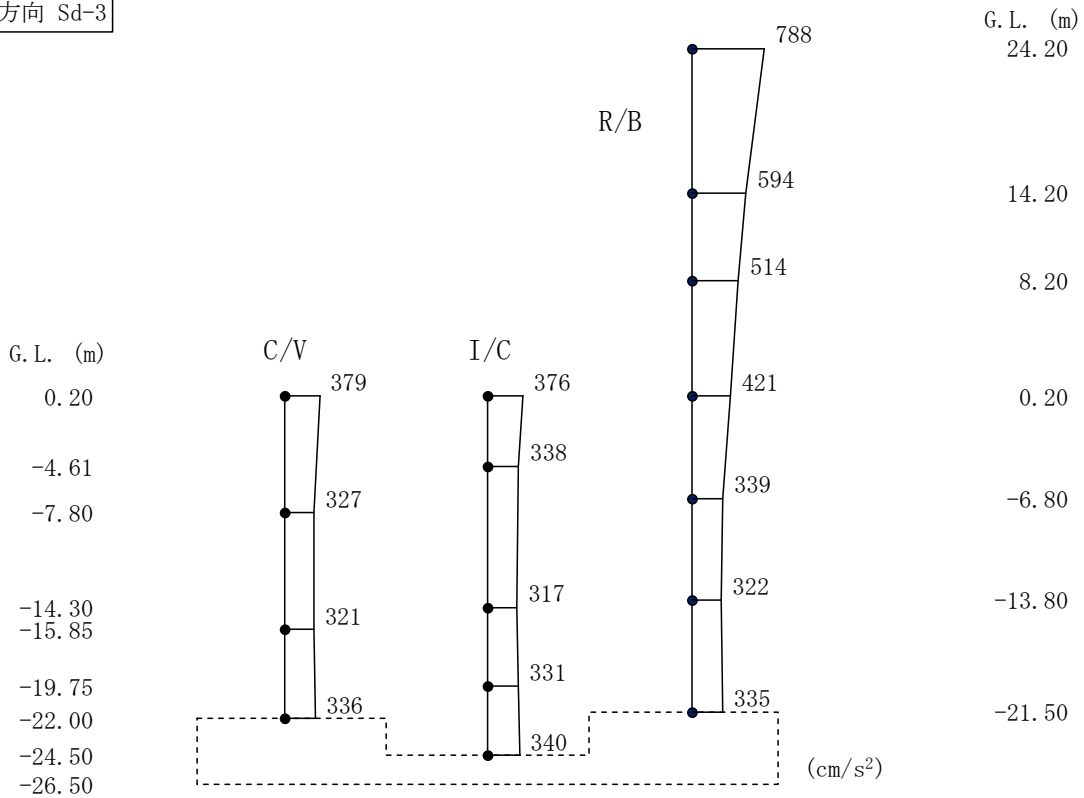
第 5.14 図 最大応答せん断力 (NS 方向、Sd-2)

NS方向 Sd-2



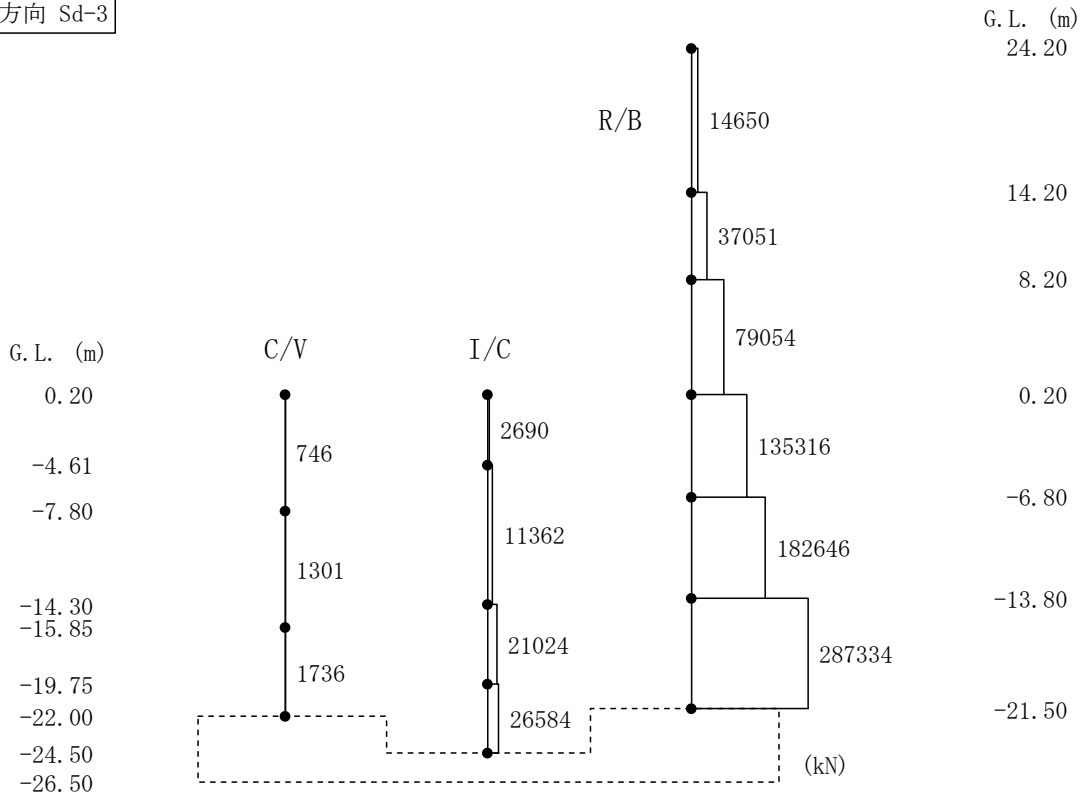
第 5.15 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-2)

NS方向 Sd-3



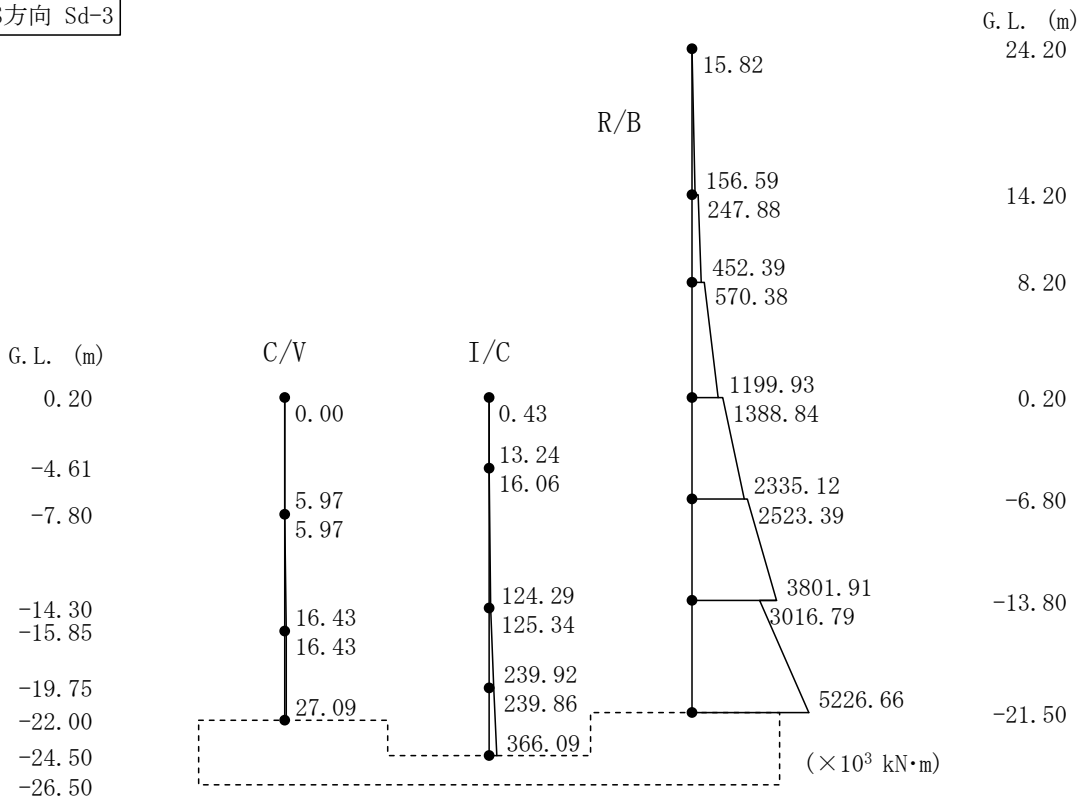
第 5.16 図 最大応答加速度(NS 方向、Sd-3)

NS方向 Sd-3



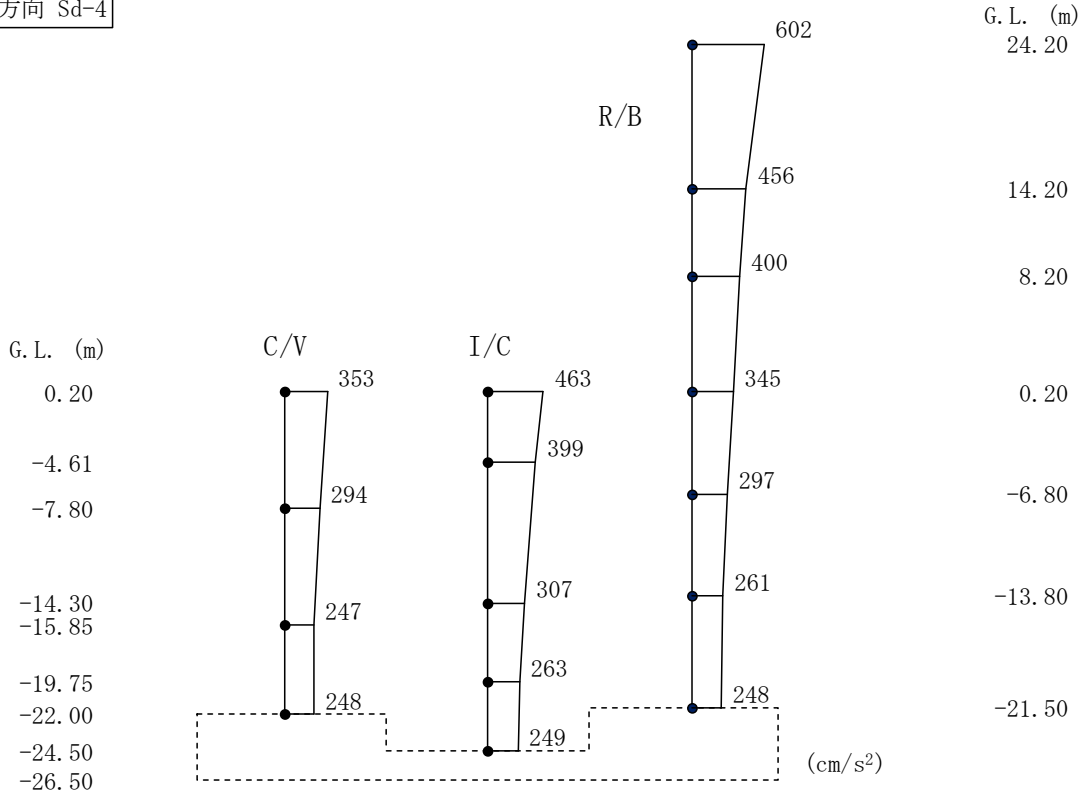
第 5.17 図 最大応答せん断力(NS 方向、Sd-3)

NS方向 Sd-3



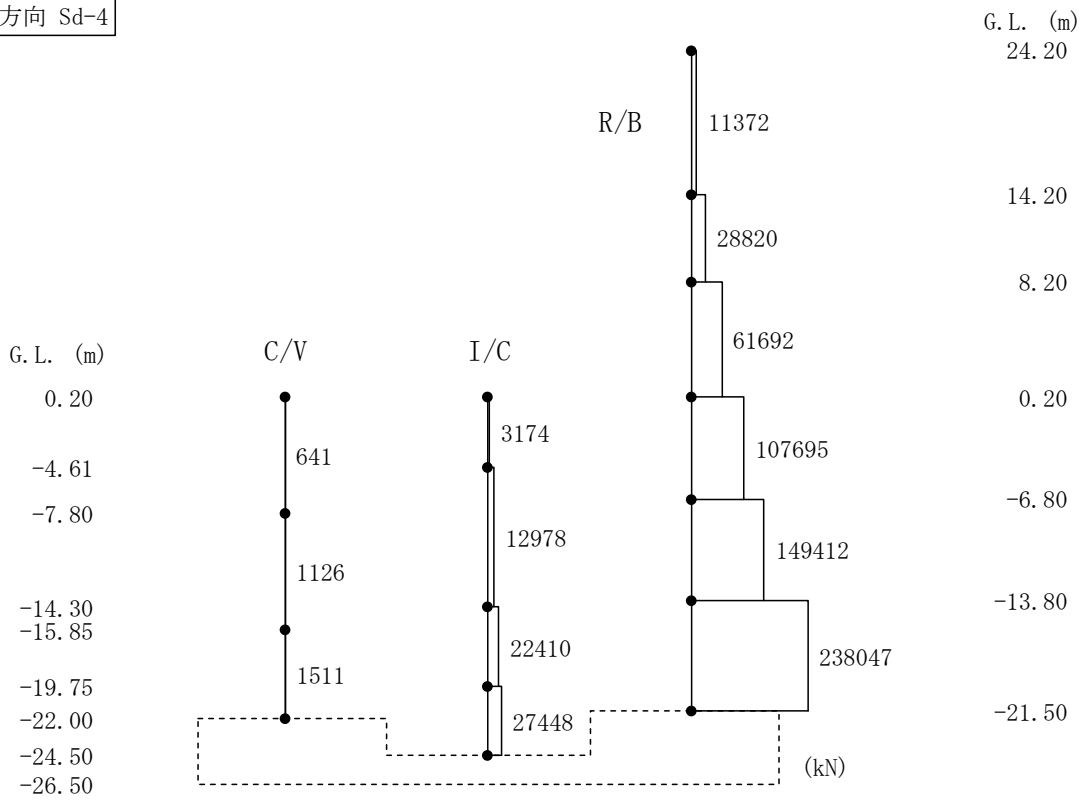
第 5.18 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-3)

NS方向 Sd-4



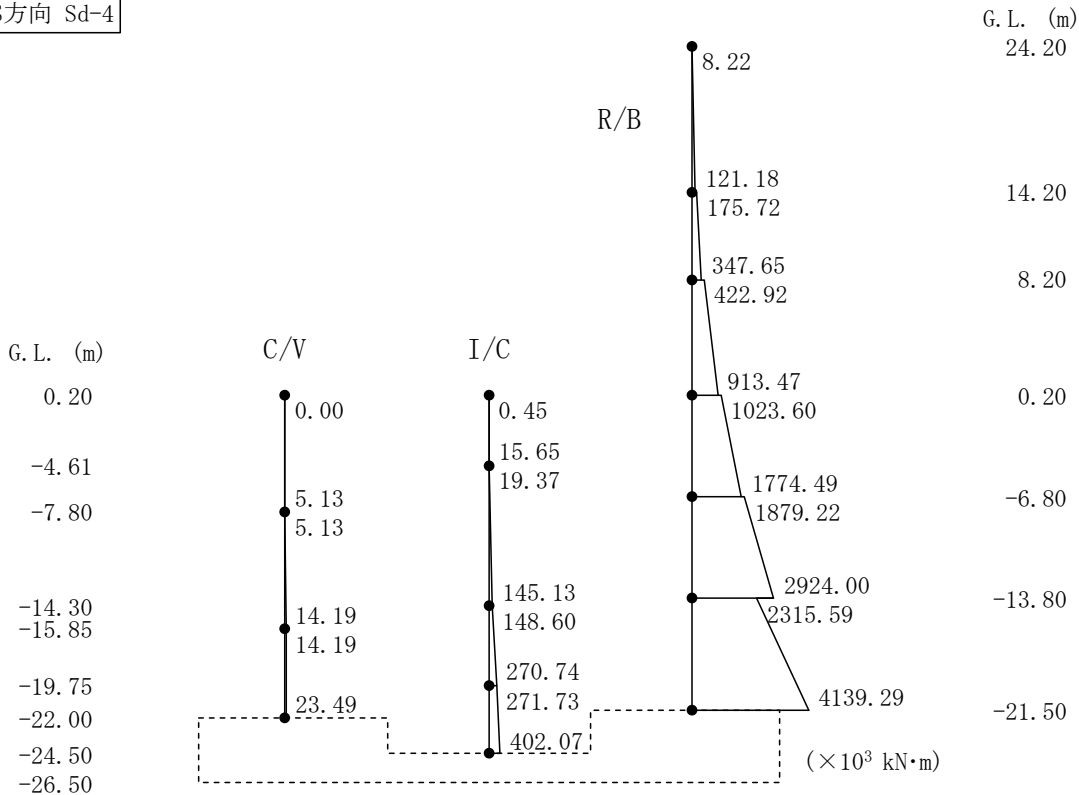
第 5.19 図 最大応答加速度 (NS 方向、Sd-4)

NS方向 Sd-4



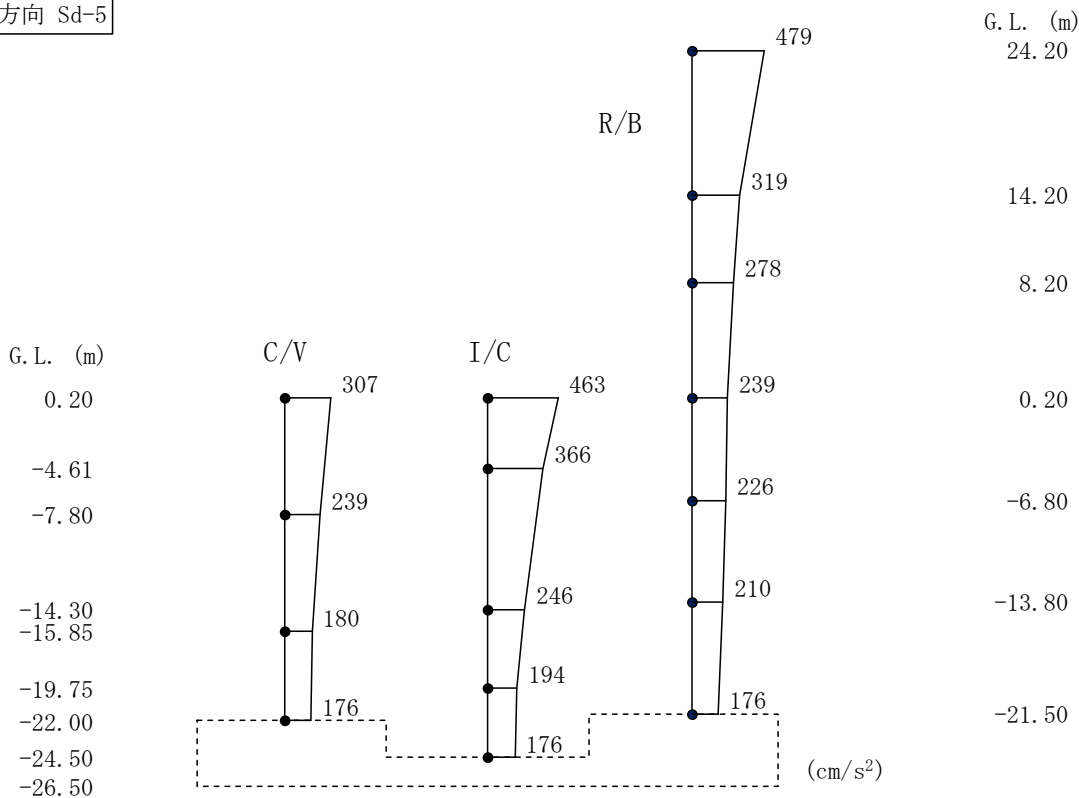
第 5.20 図 最大応答せん断力 (NS 方向、Sd-4)

NS方向 Sd-4



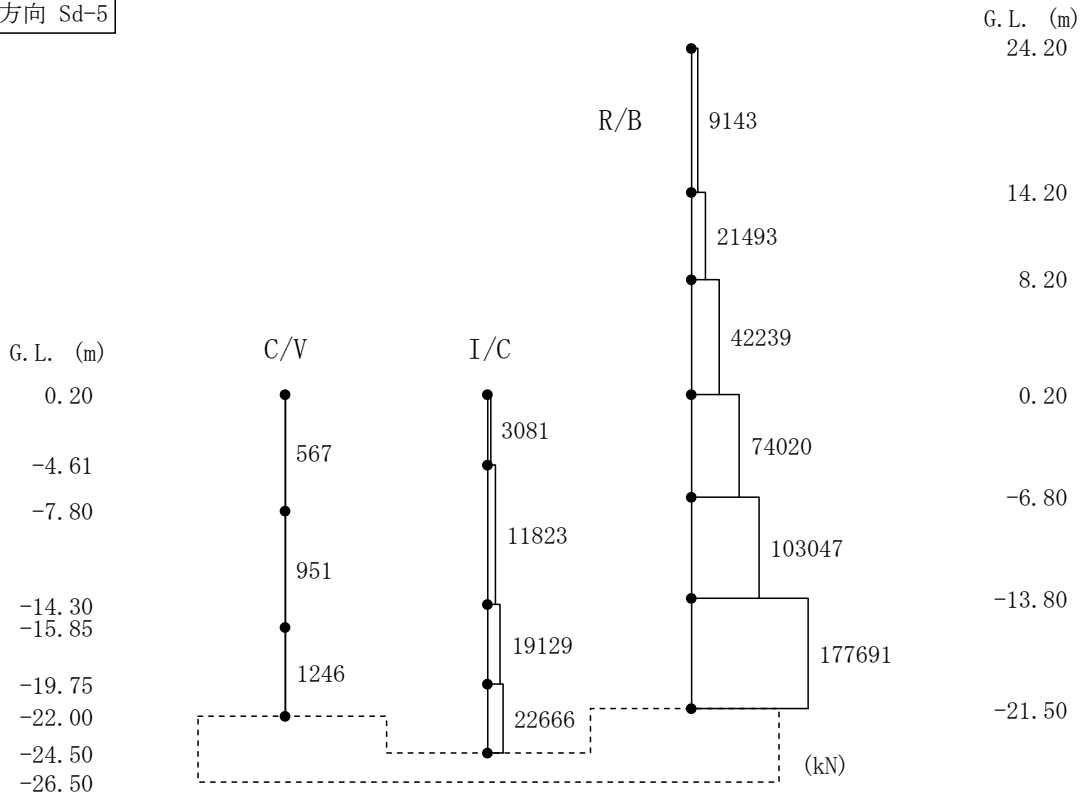
第 5.21 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-4)

NS方向 Sd-5



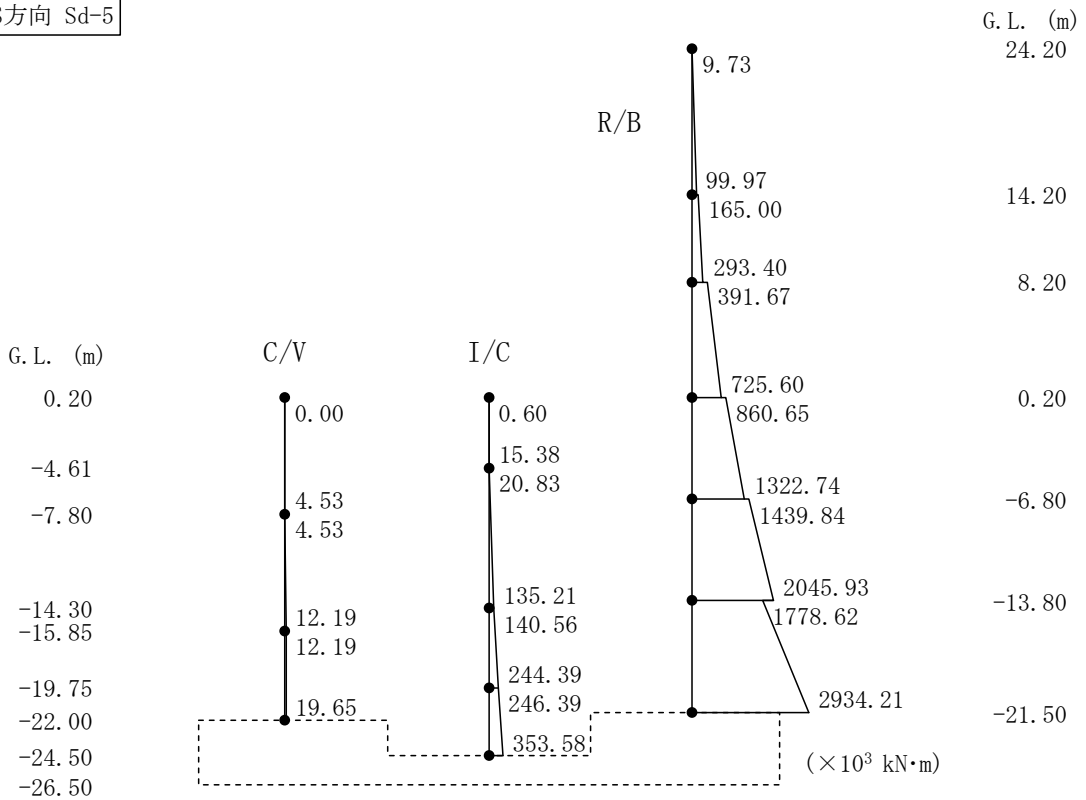
第 5.22 図 最大応答加速度(NS 方向、Sd-5)

NS方向 Sd-5



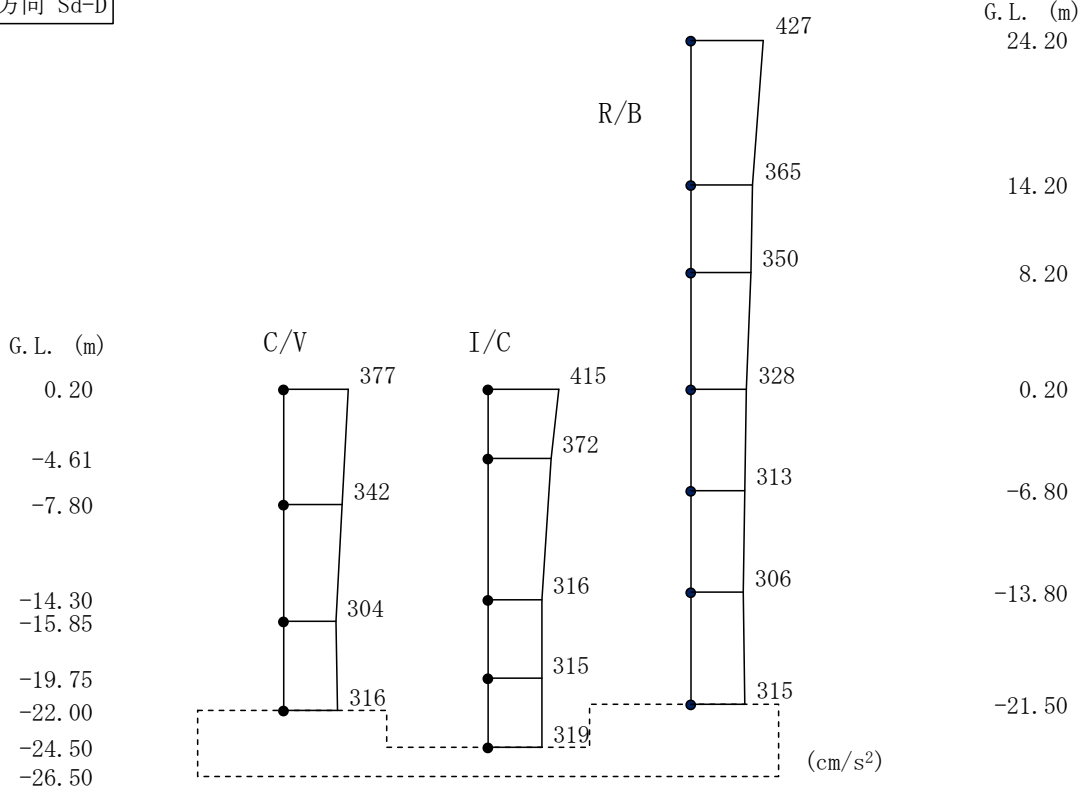
第 5.23 図 最大応答せん断力(NS 方向、Sd-5)

NS方向 Sd-5



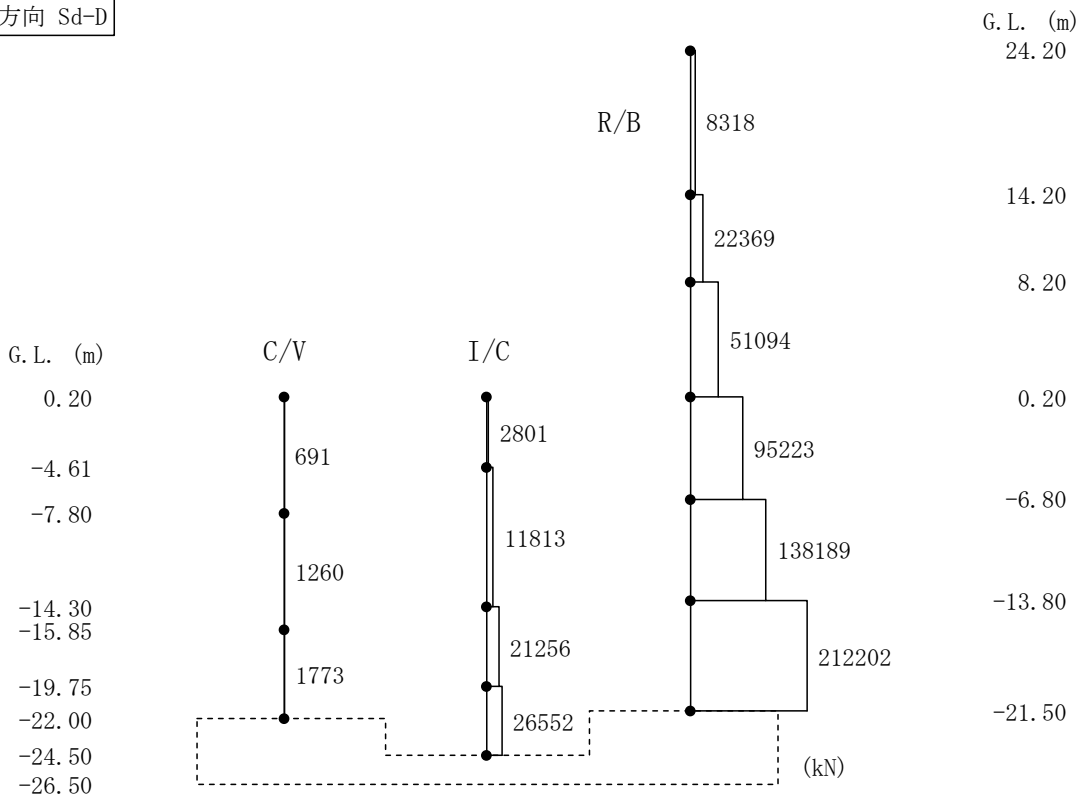
第 5.24 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、Sd-5)

EW方向 Sd-D



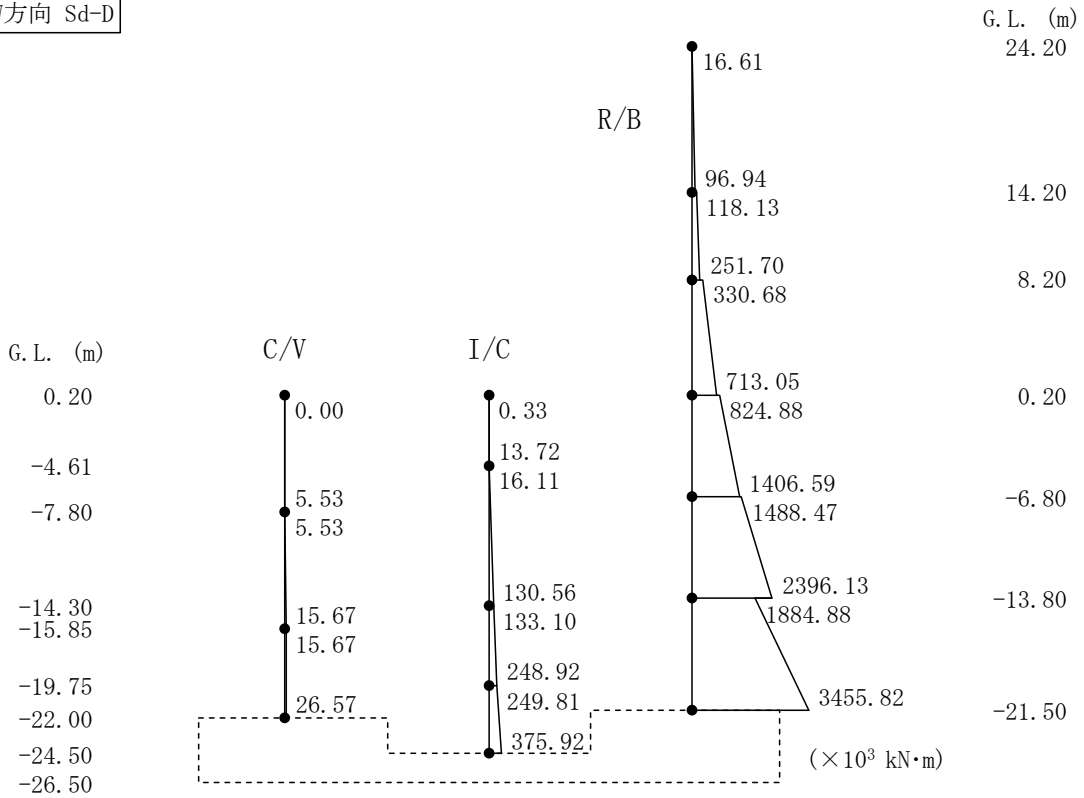
第 5.25 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-D)

EW方向 Sd-D



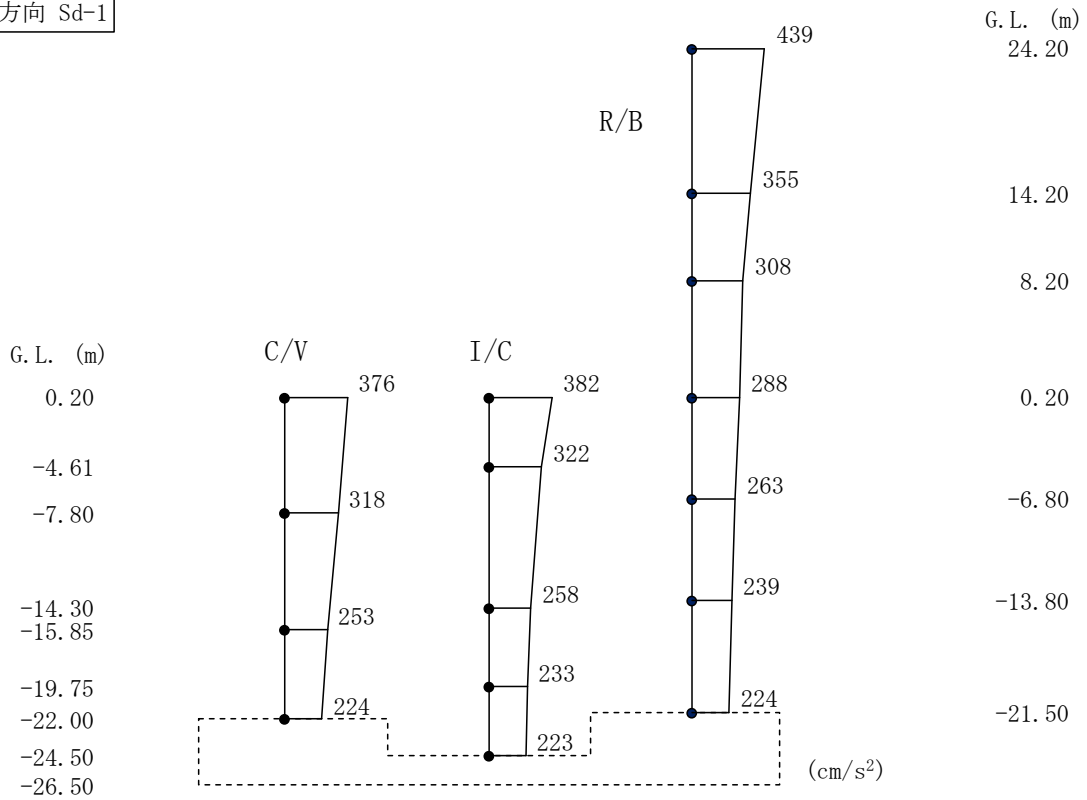
第 5.26 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Sd-D)

EW方向 Sd-D



第 5.27 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Sd-D)

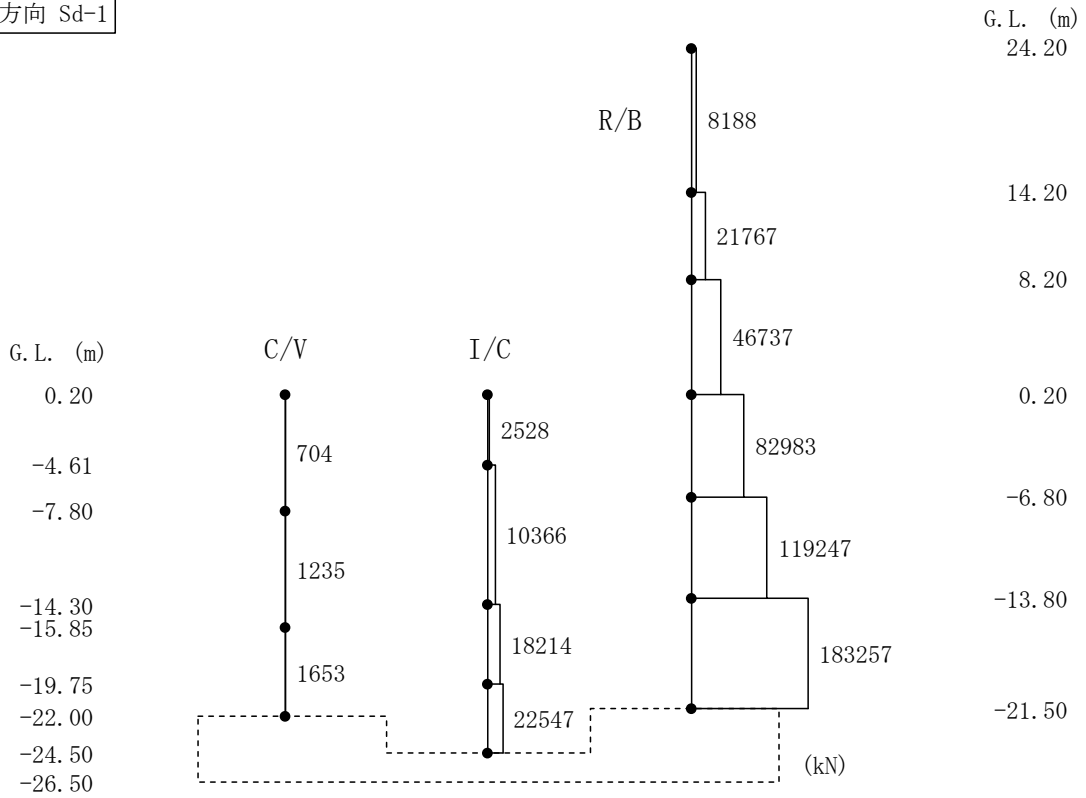
EW方向 Sd-1



第 5.28 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-1)

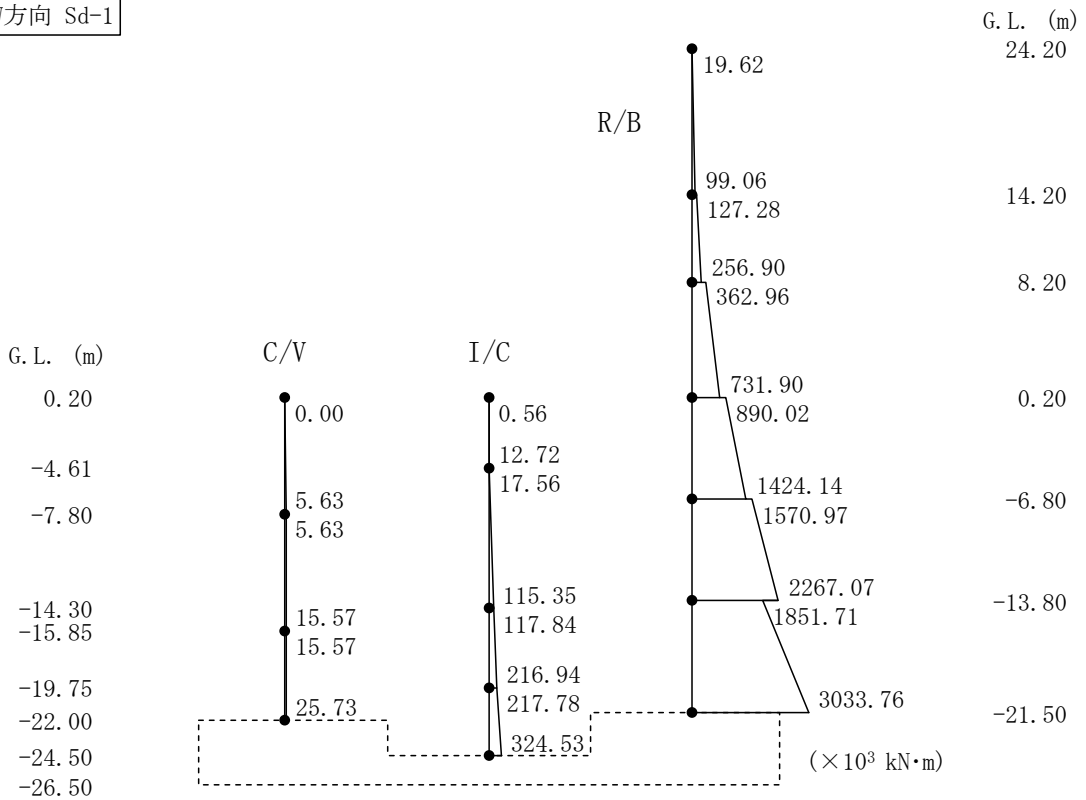


EW方向 Sd-1



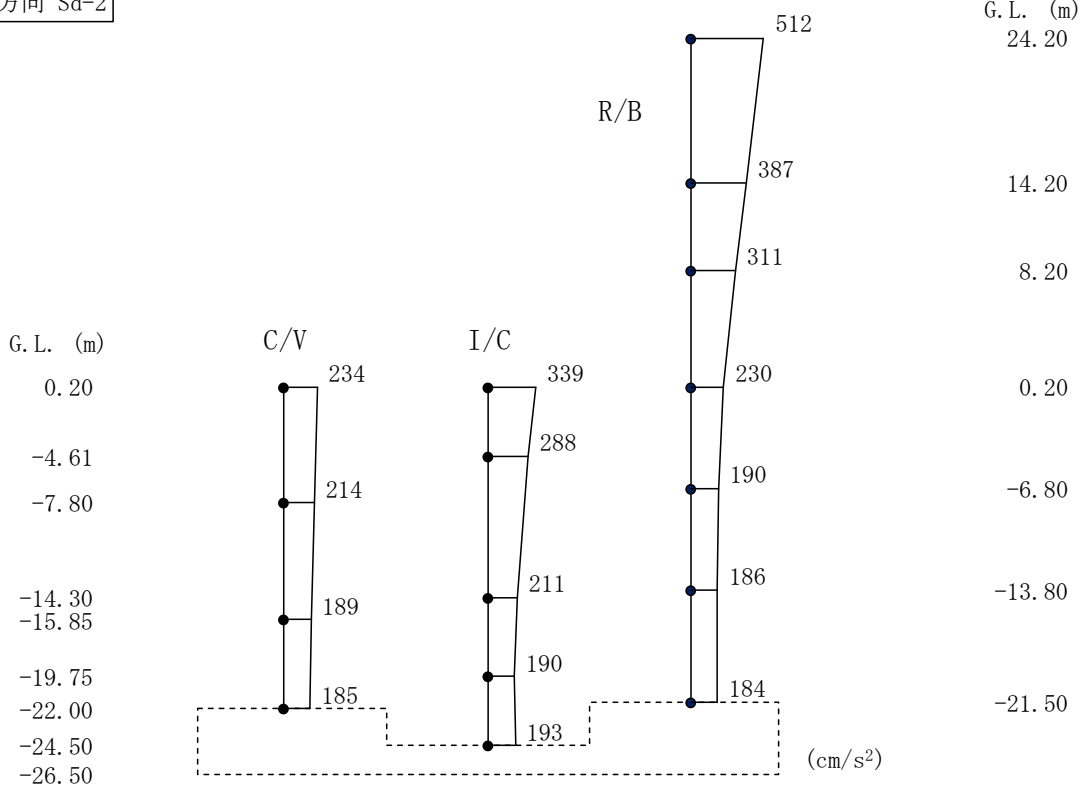
第 5.29 図 最大応答せん断力(EW 方向、Sd-1)

EW方向 Sd-1



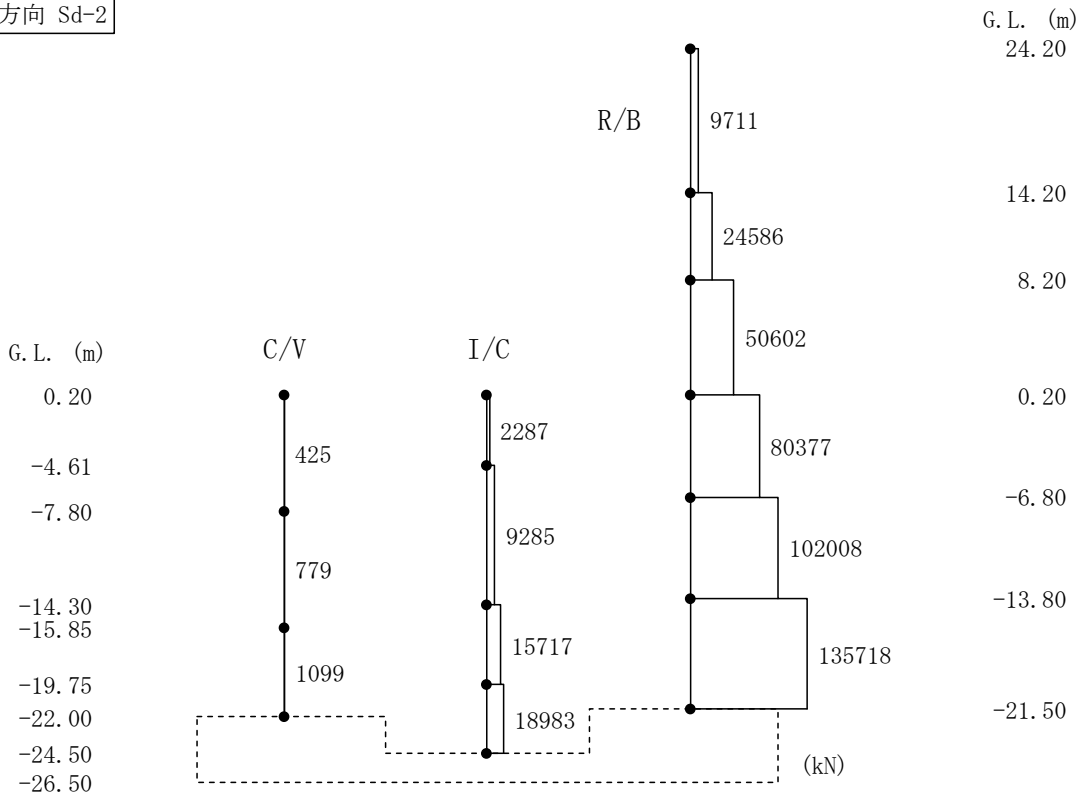
第 5.30 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-1)

EW方向 Sd-2



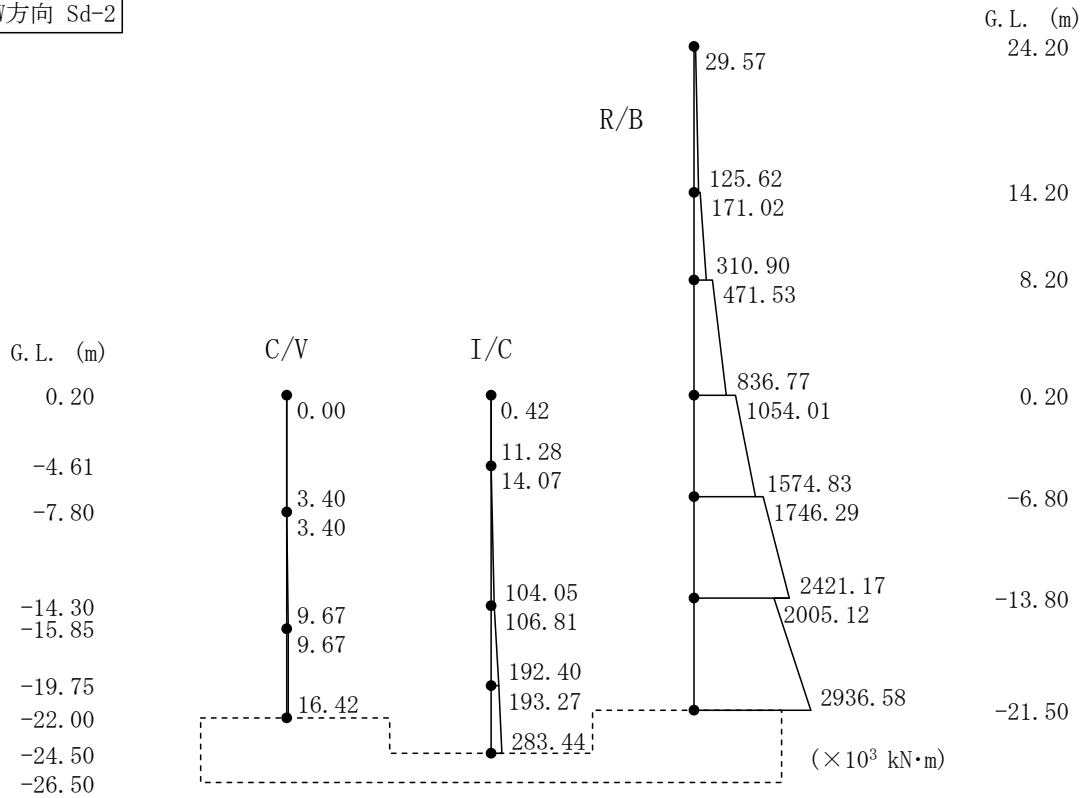
第 5.31 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-2)

EW方向 Sd-2



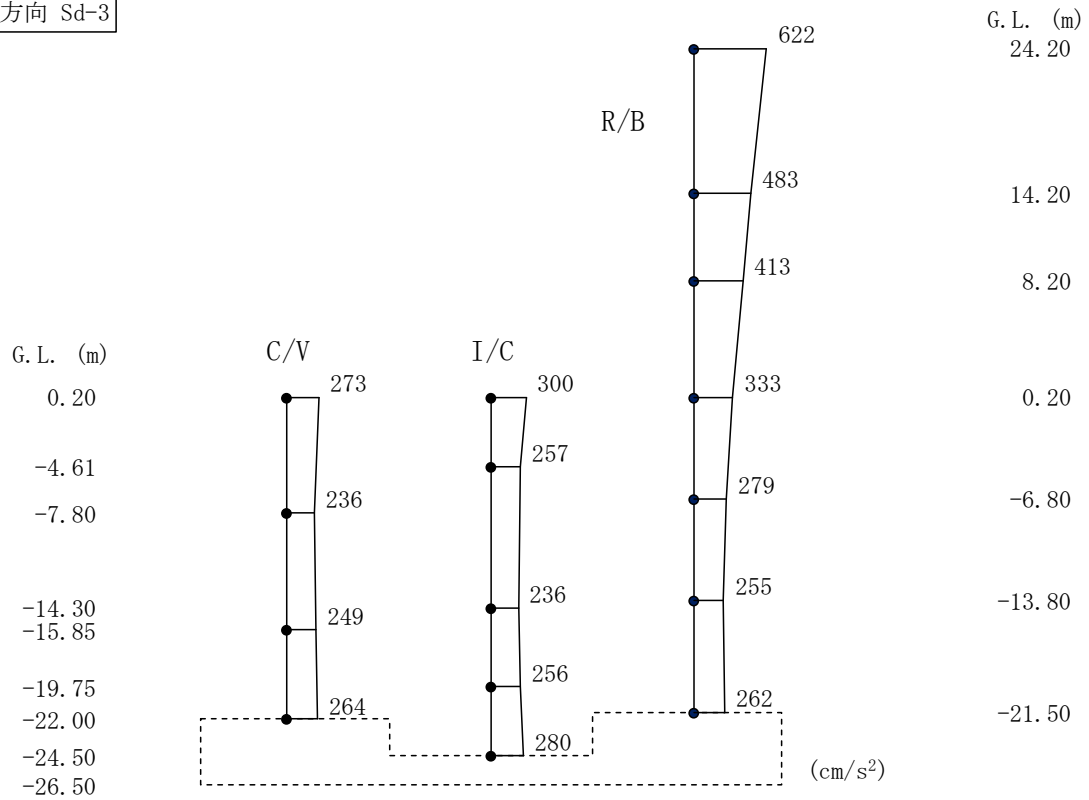
第 5.32 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Sd-2)

EW方向 Sd-2



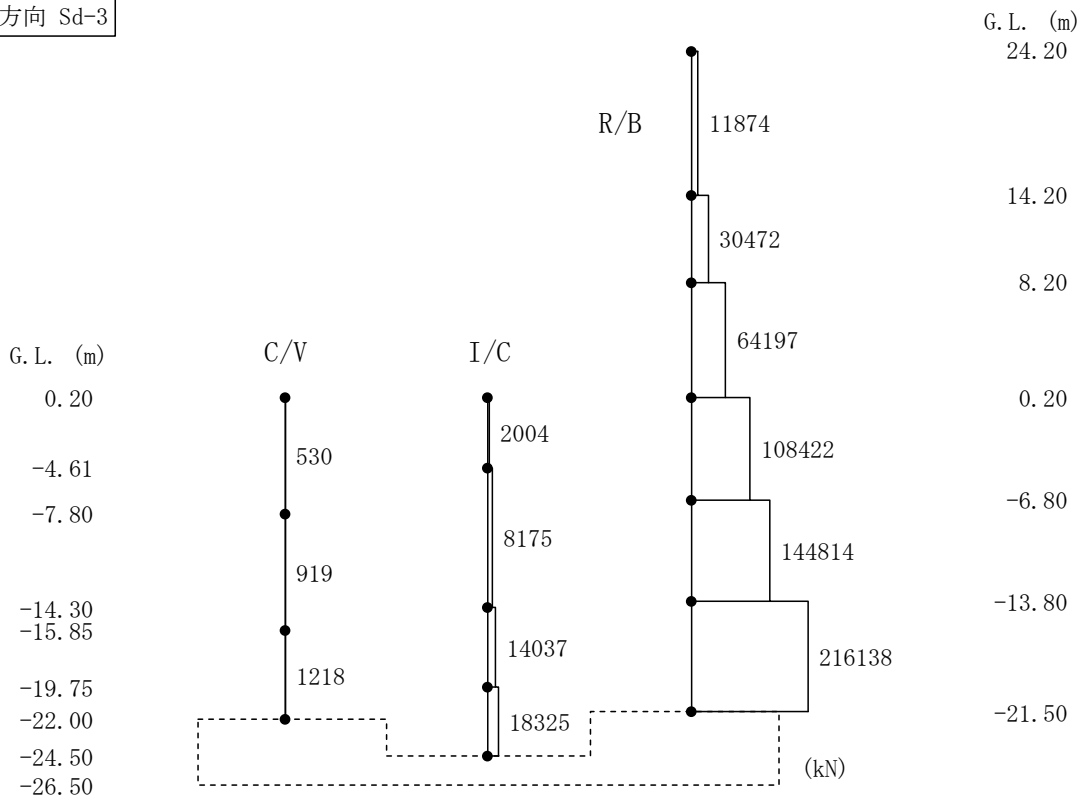
第 5.33 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Sd-2)

EW方向 Sd-3



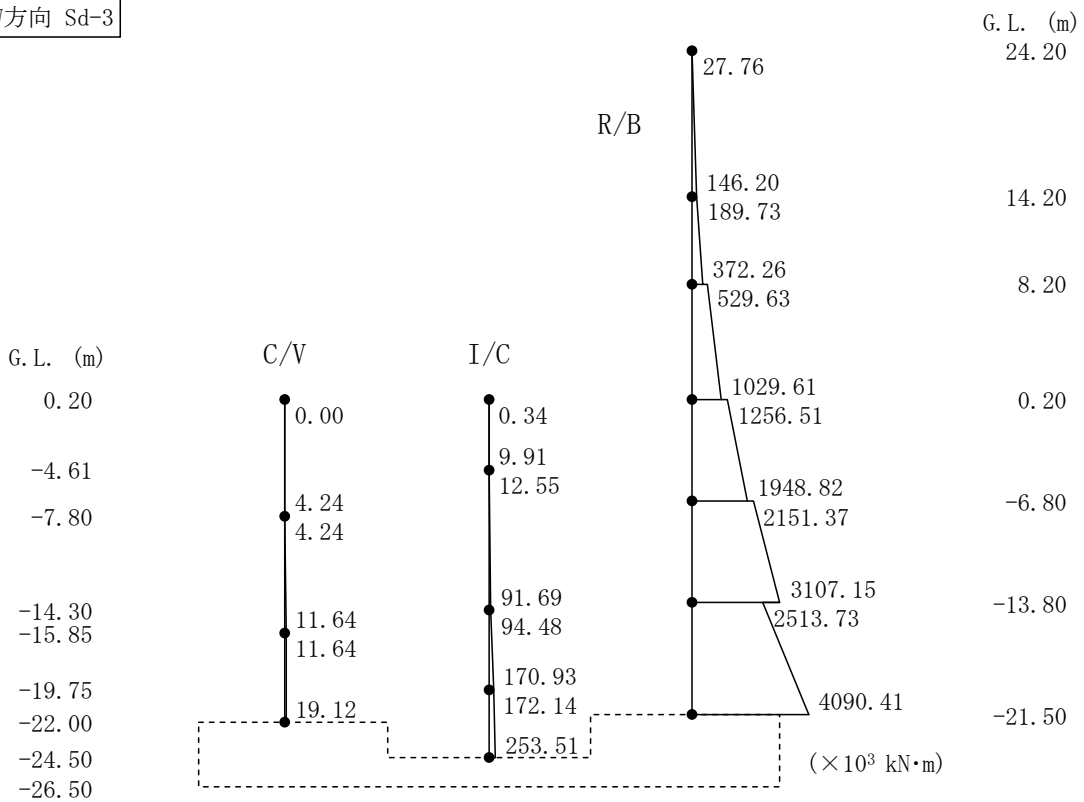
第 5.34 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-3)

EW方向 Sd-3



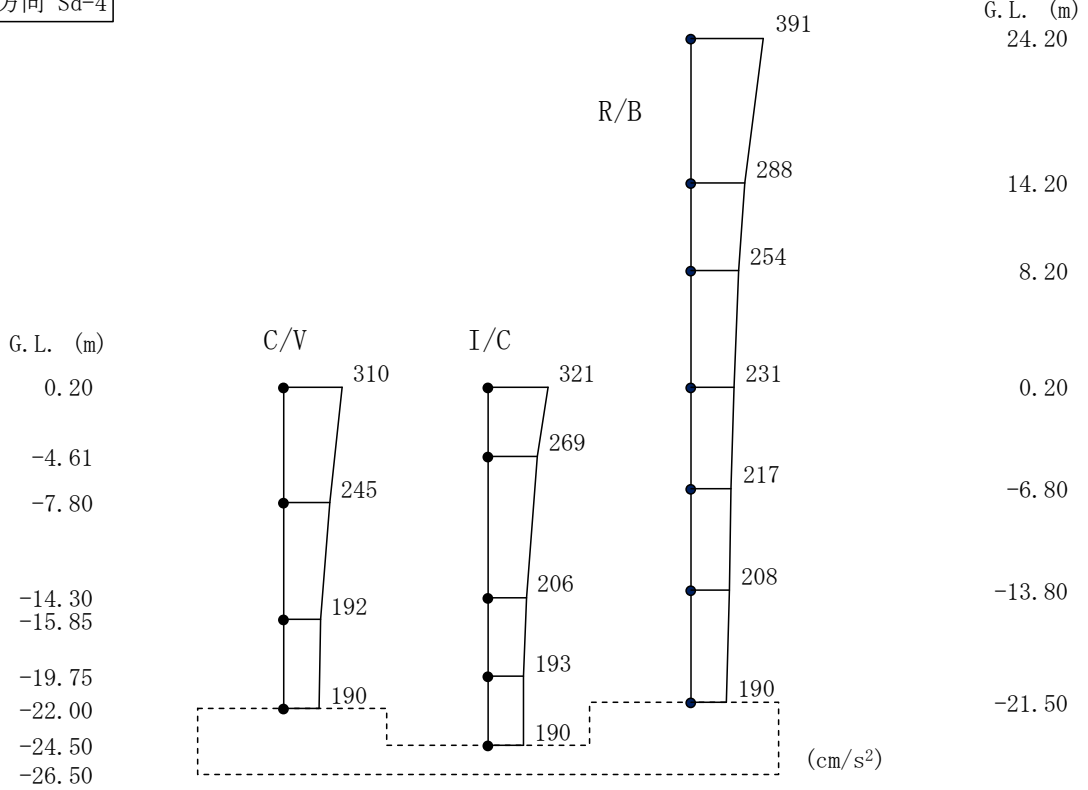
第 5.35 図 最大応答せん断力(EW 方向、Sd-3)

EW方向 Sd-3



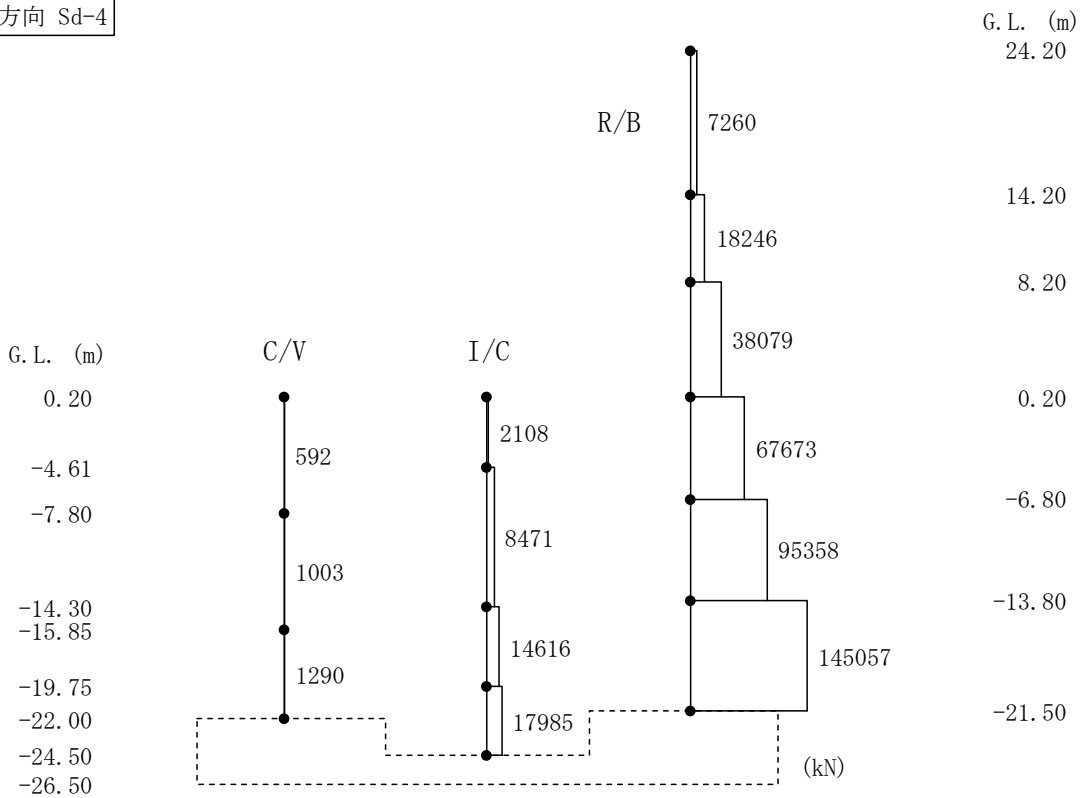
第 5.36 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-3)

EW方向 Sd-4



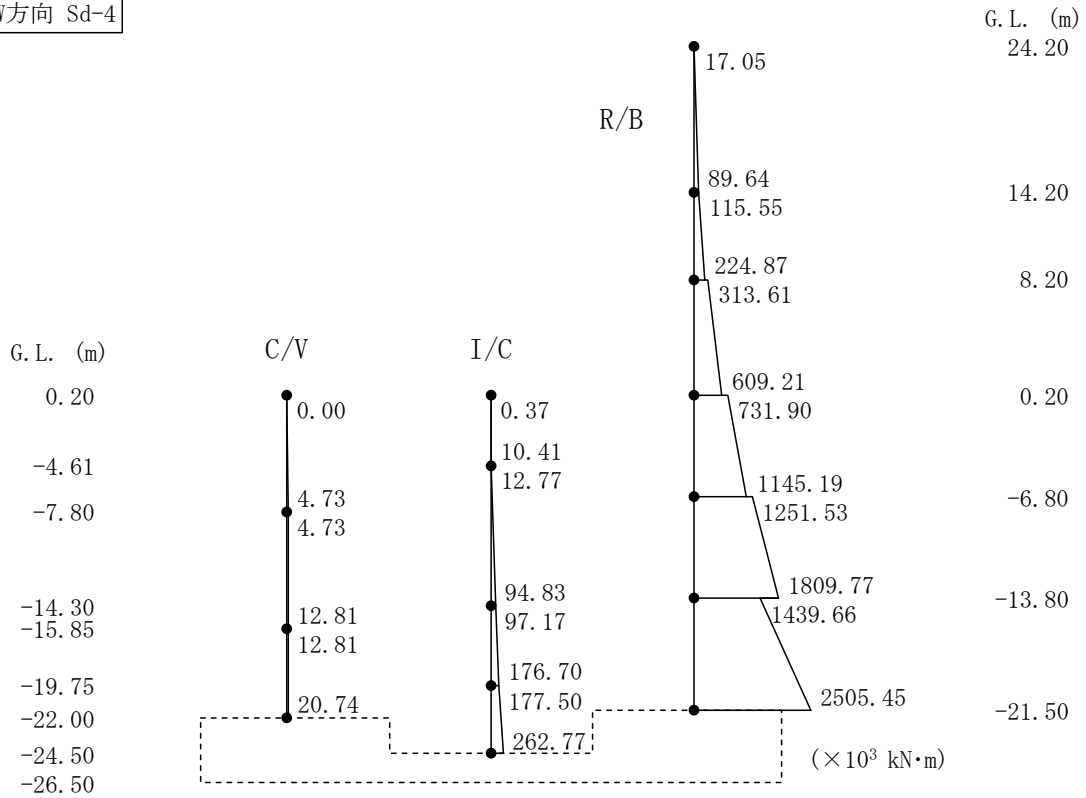
第 5.37 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-4)

EW方向 Sd-4



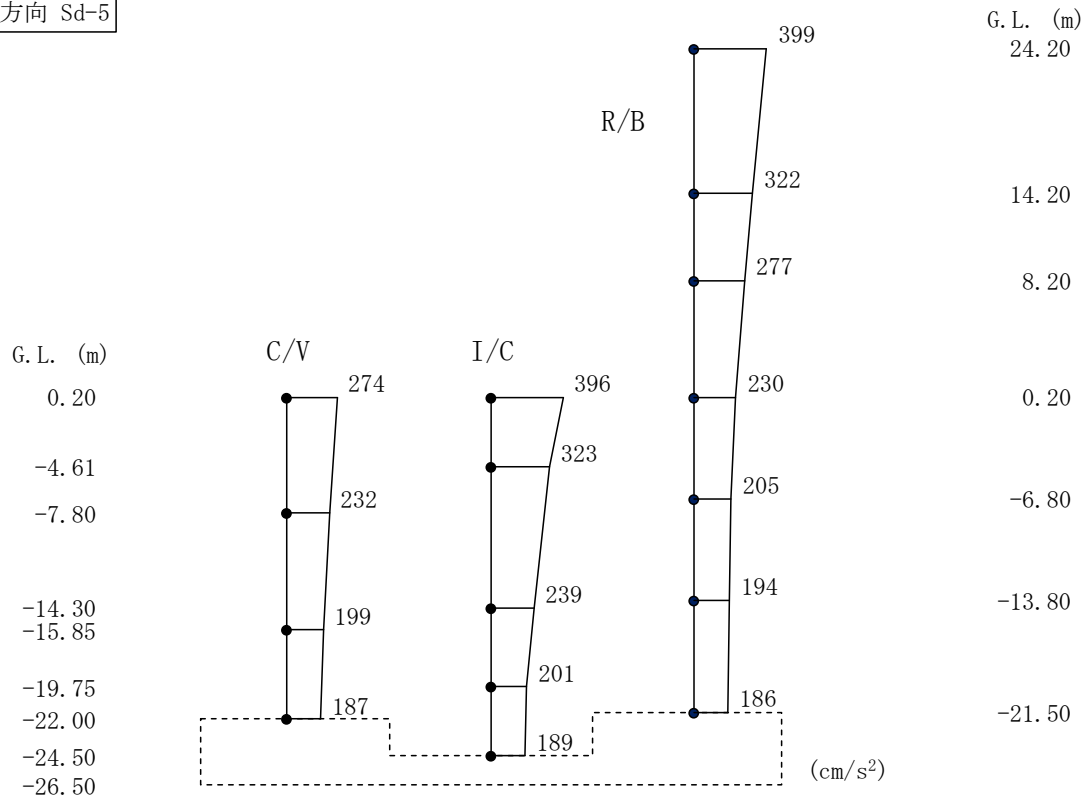
第 5.38 図 最大応答せん断力 (EW 方向、Sd-4)

EW方向 Sd-4



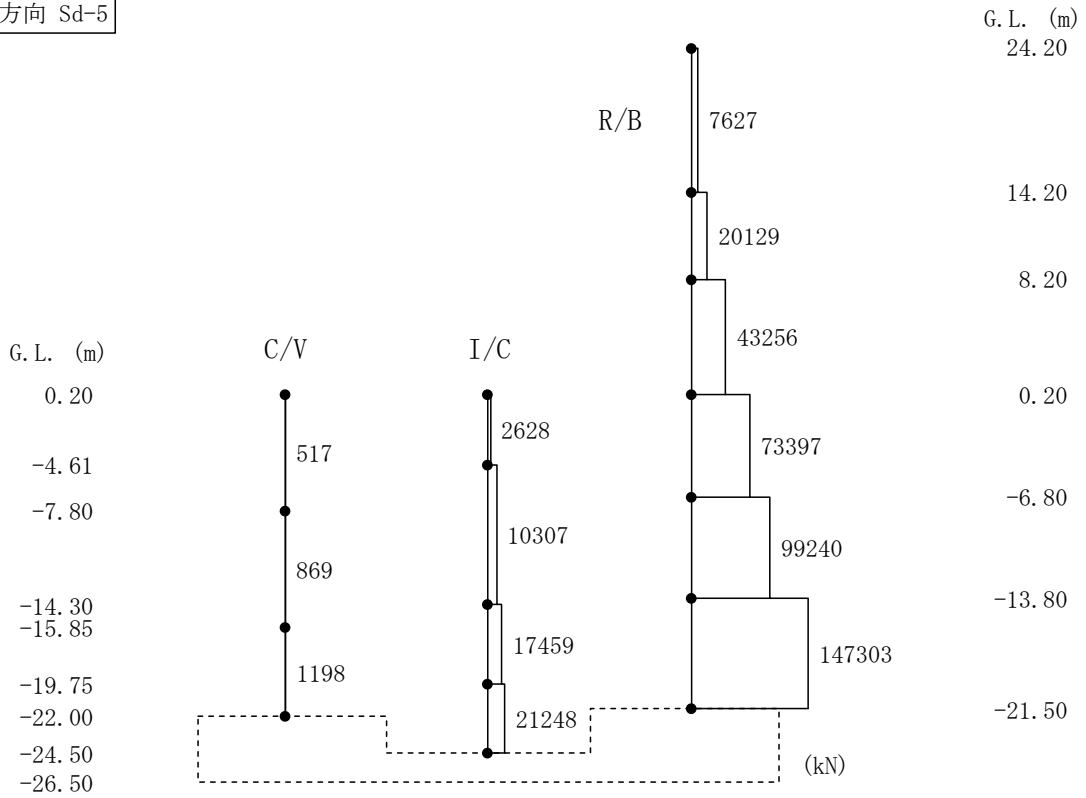
第 5.39 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Sd-4)

EW方向 Sd-5



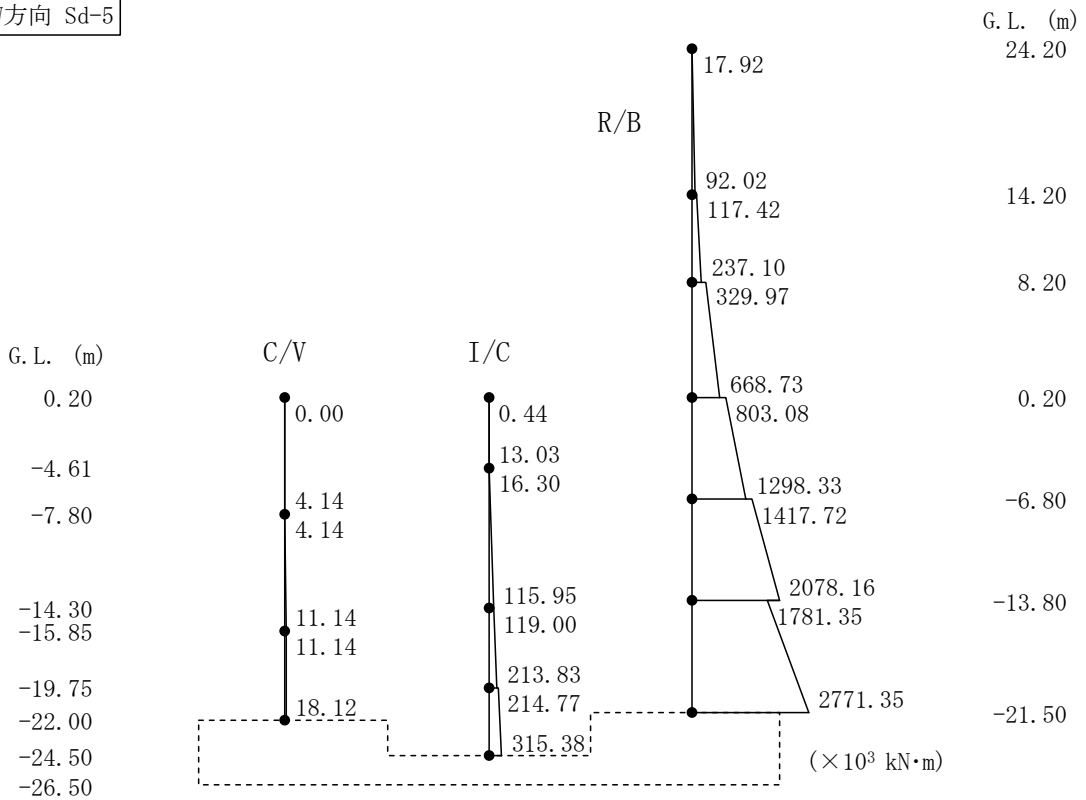
第 5.40 図 最大応答加速度 (EW 方向、Sd-5)

EW方向 Sd-5



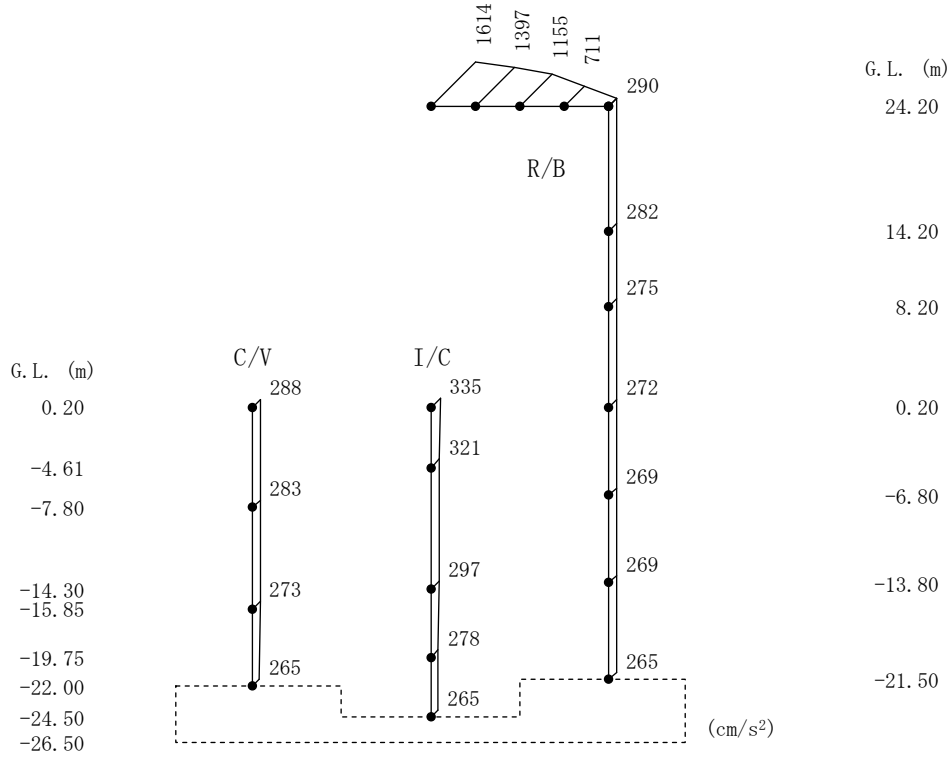
第 5.41 図 最大応答せん断力(EW 方向、Sd-5)

EW方向 Sd-5



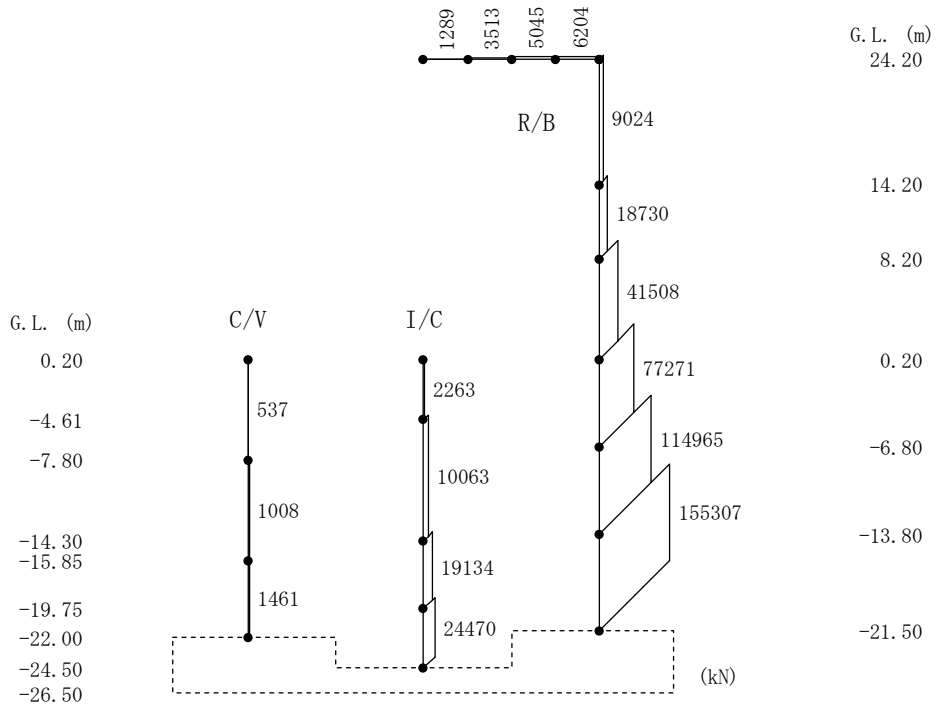
第 5.42 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、Sd-5)

UD方向 Sd-D



第 5.43 图 最大応答加速度(UD 方向、Sd-D)

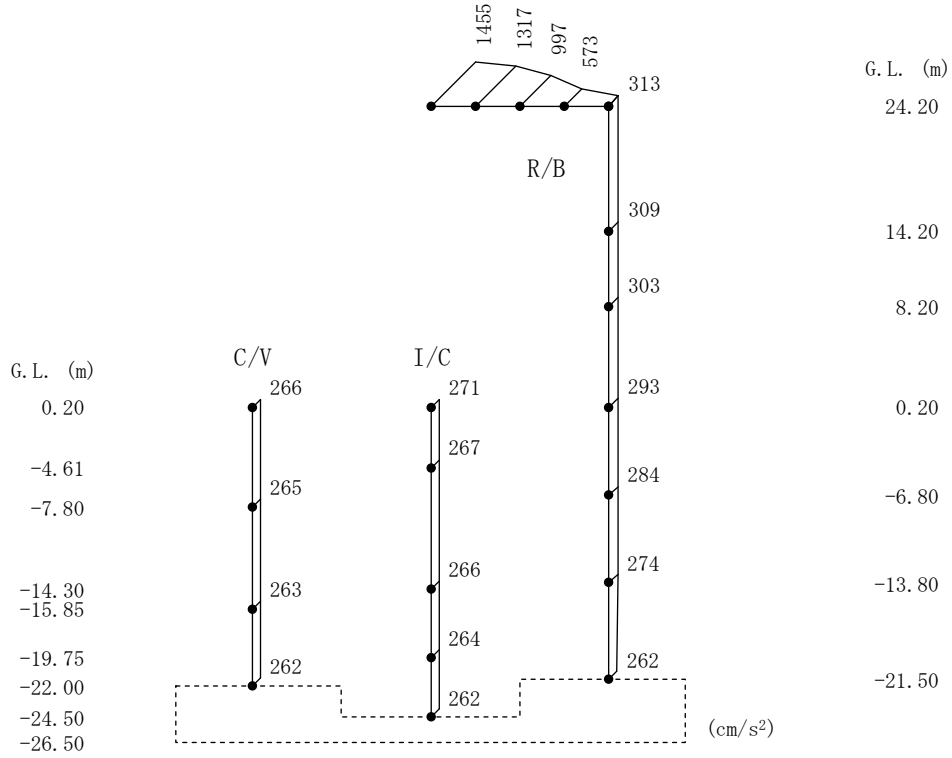
UD方向 Sd-D



第 5.44 图 最大応答軸力(UD 方向、Sd-D)

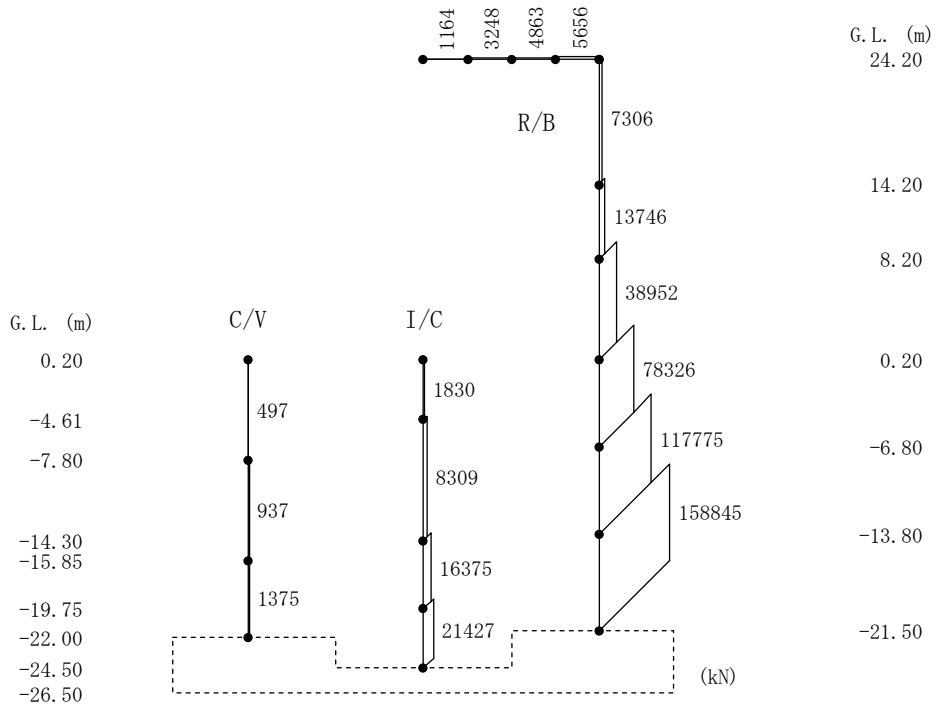


UD方向 Sd-1



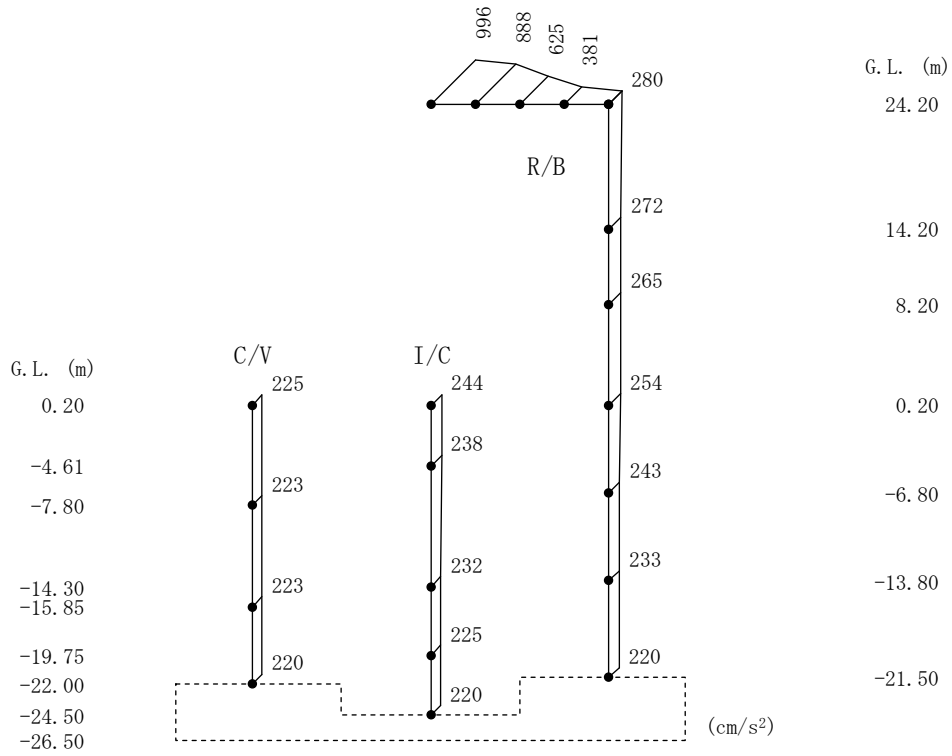
第 5.45 图 最大応答加速度(UD 方向、Sd-1)

UD方向 Sd-1



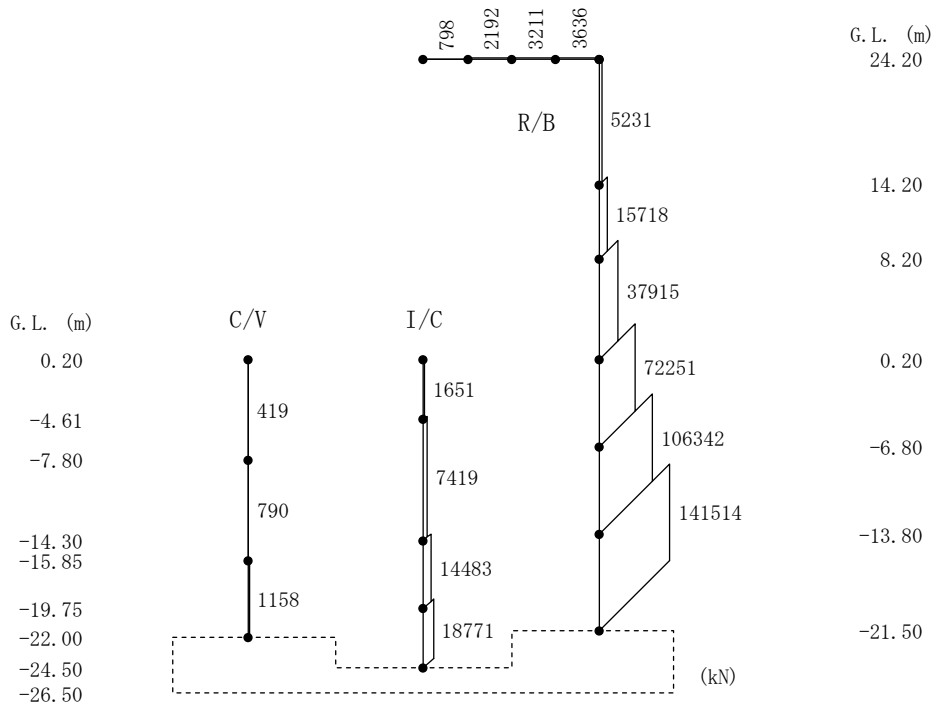
第 5.46 图 最大応答軸力(UD 方向、Sd-1)

UD方向 Sd-2



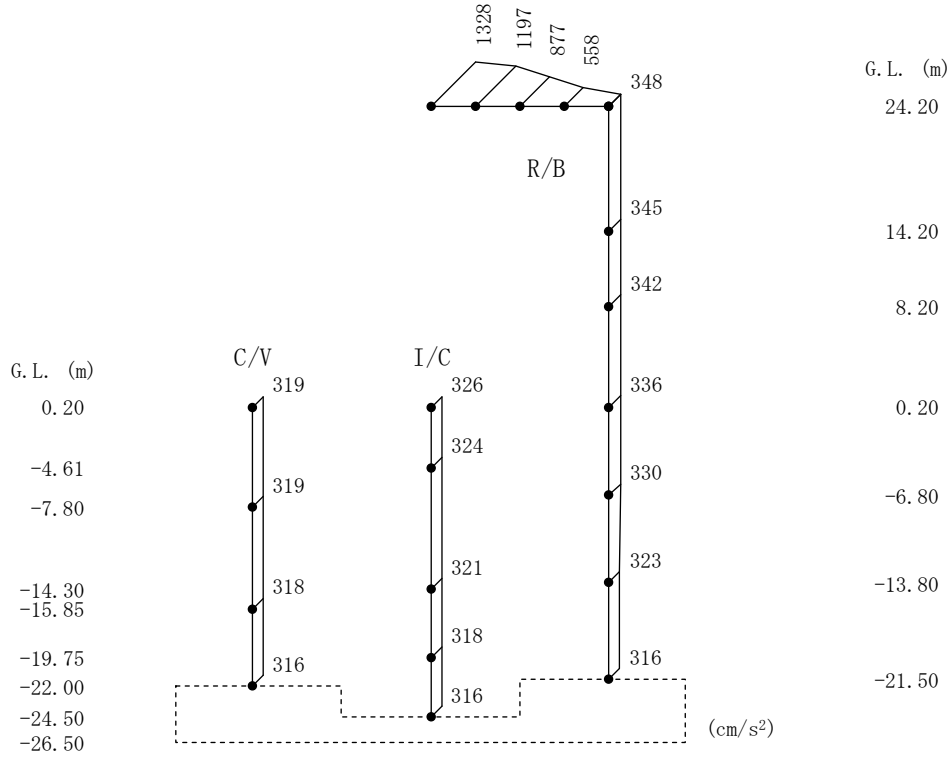
第 5.47 图 最大応答加速度(UD 方向、Sd-2)

UD方向 Sd-2



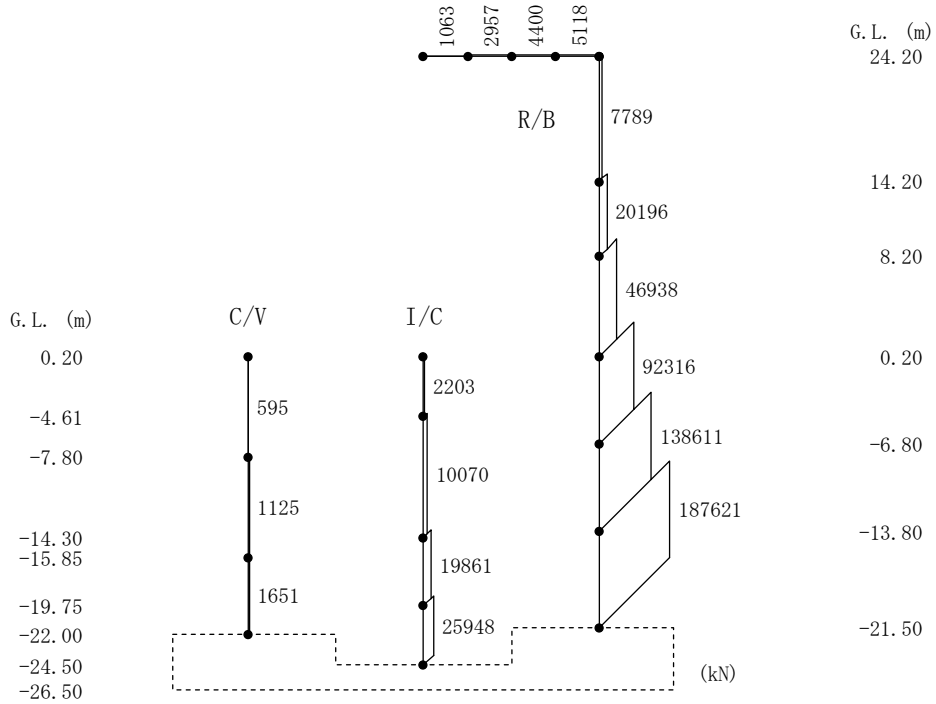
第 5.48 图 最大応答軸力(UD 方向、Sd-2)

UD方向 Sd-3



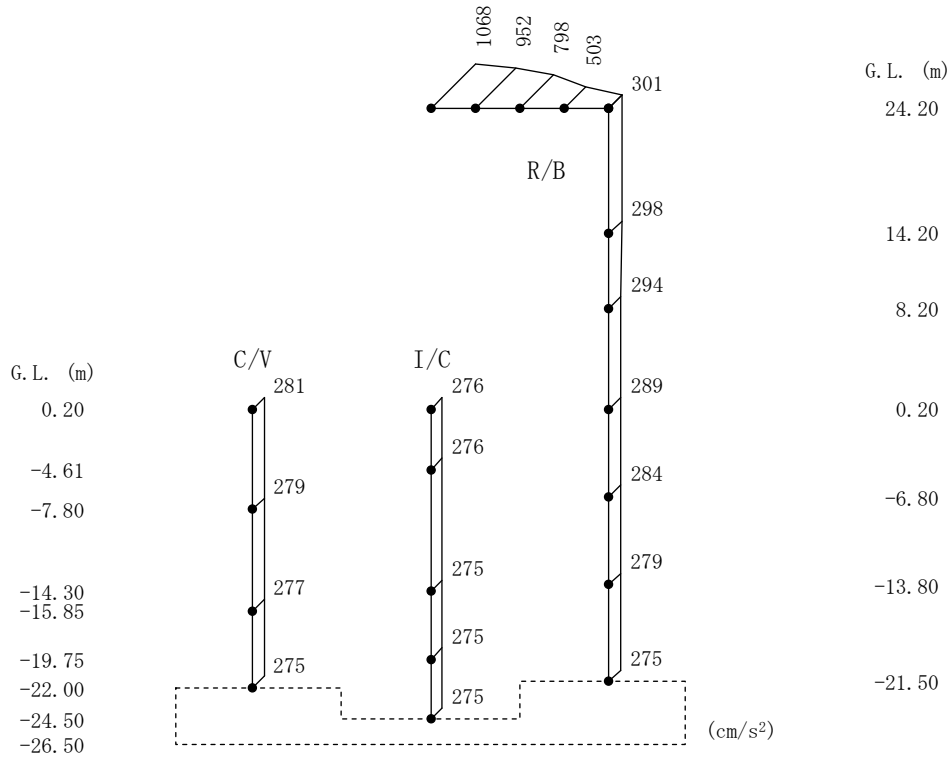
第 5.49 图 最大応答加速度(UD 方向、Sd-3)

UD方向 Sd-3



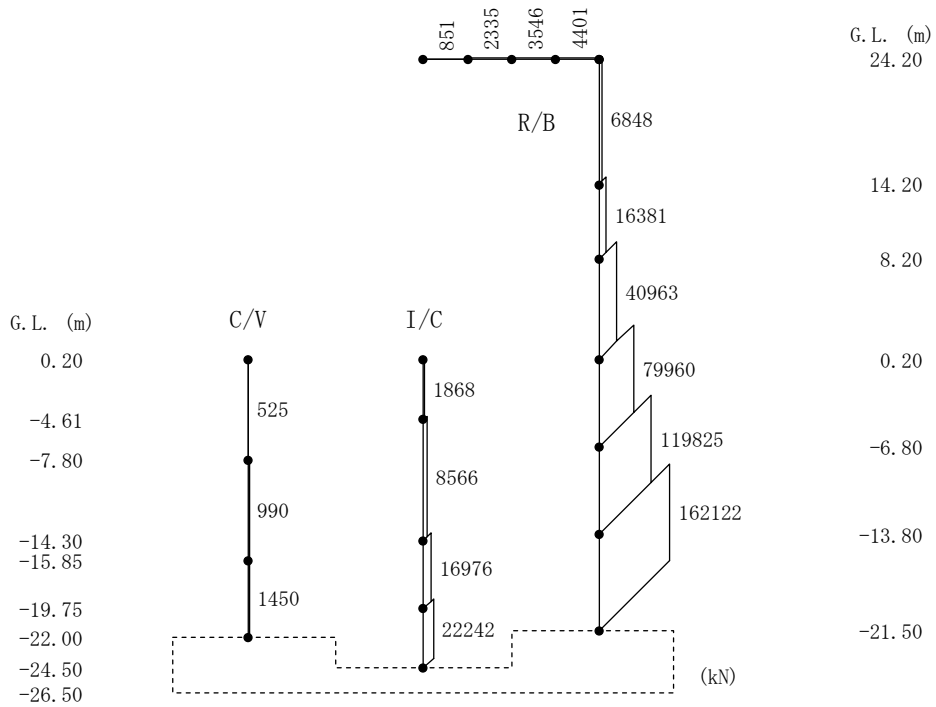
第 5.50 图 最大応答軸力(UD 方向、Sd-3)

UD方向 Sd-4



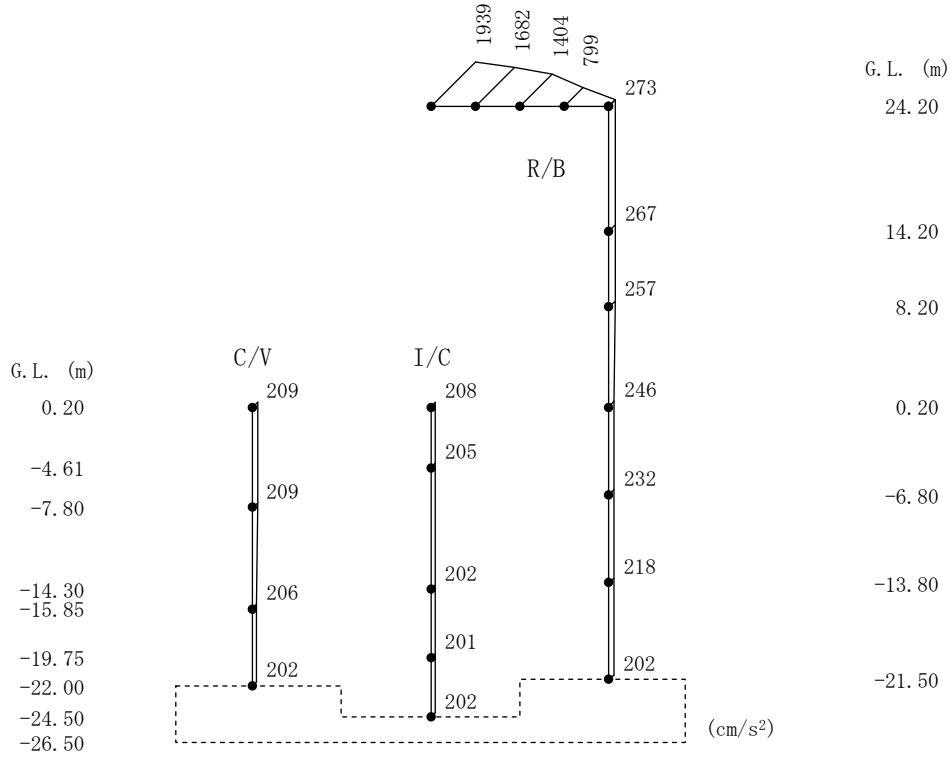
第 5.51 图 最大応答加速度(UD 方向、Sd-4)

UD方向 Sd-4



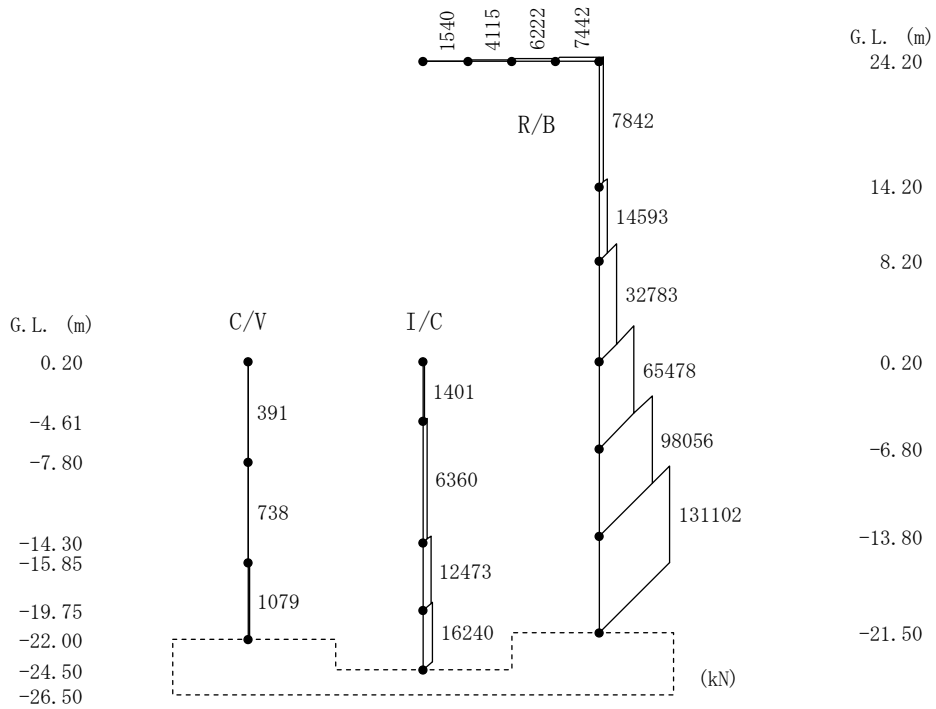
第 5.52 图 最大応答軸力(UD 方向、Sd-4)

UD方向 Sd-5

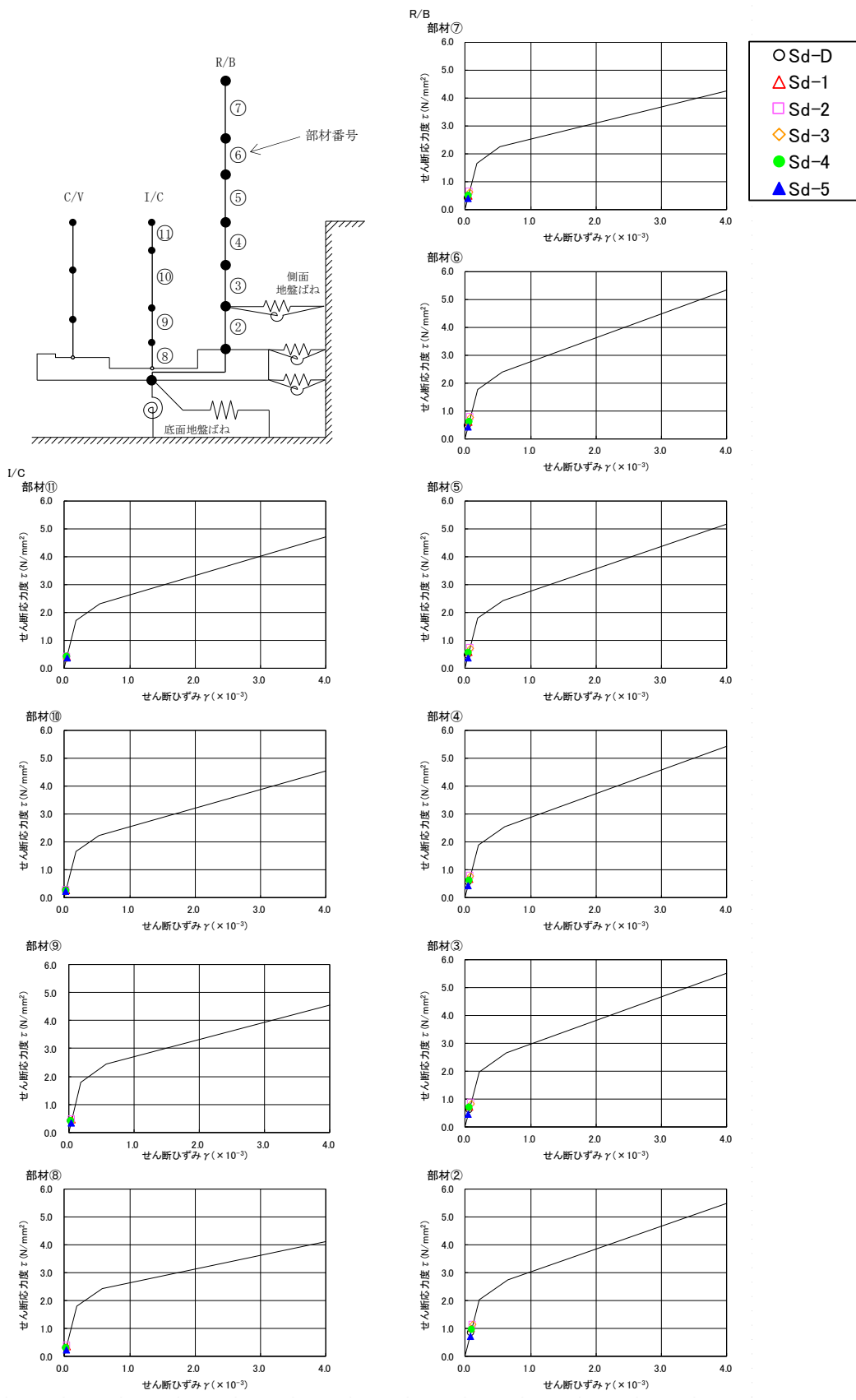


第 5.53 图 最大応答加速度 (UD 方向、Sd-5)

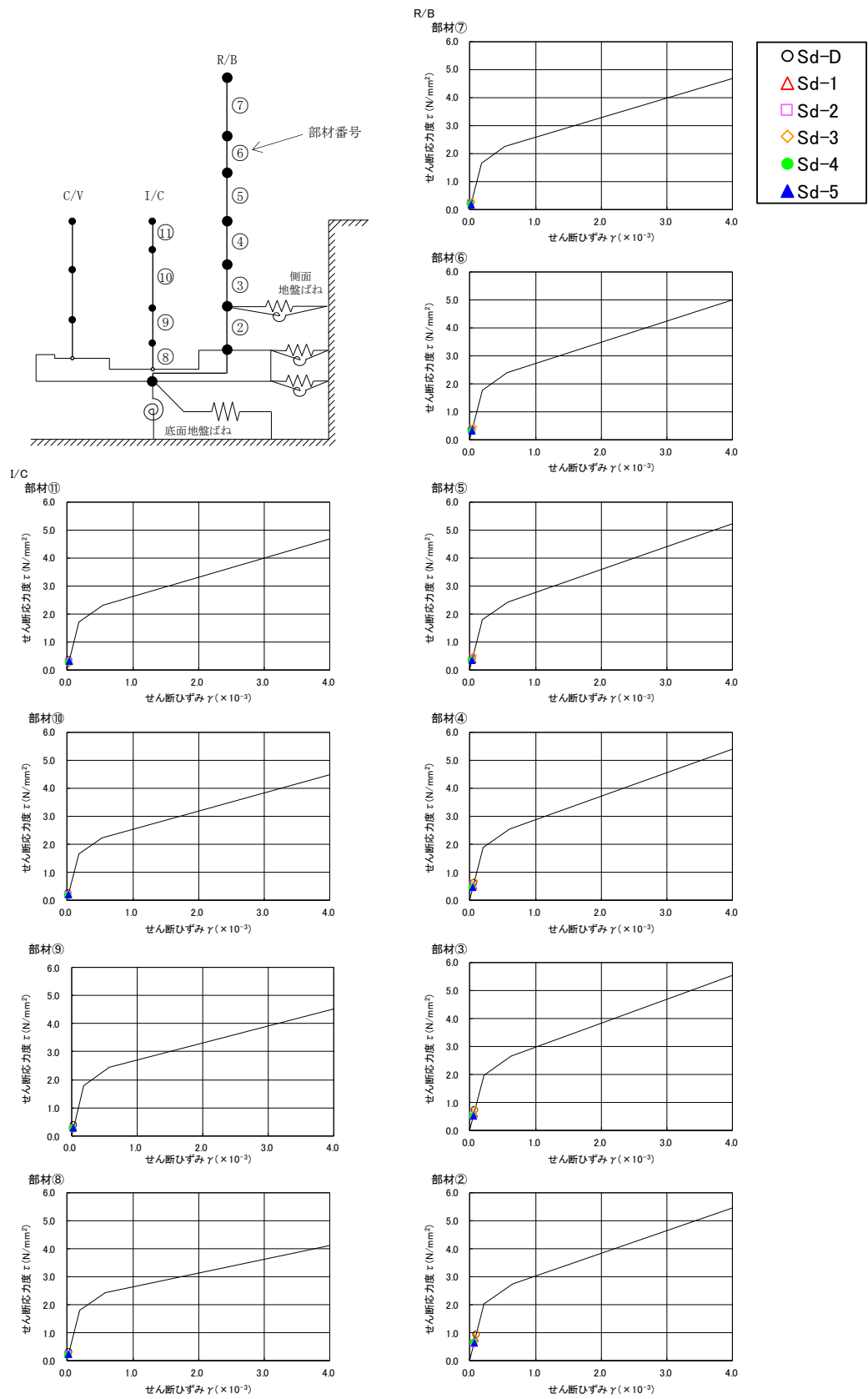
UD方向 Sd-5



第 5.54 图 最大応答軸力 (UD 方向、Sd-5)



第 5.55 図 セン断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向、Sd)



第 5.56 図 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向、Sd)

## 6. 基礎浮き上がりの検討

弾性設計用地震動 Sd による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を第 6.1 表に示す。また、地震時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を第 6.2 表に示す。

接地率は、線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値(75%)以上であることを確認した。

接地圧は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度 1,900kN/m<sup>2</sup>を 2/3 倍し設定した短期許容支持力度 1,260kN/m<sup>2</sup>を超えないことを確認した。

第 6.1 表 最小接地率(Sd)

(a) NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
Sd-D	9.03	4.11	100.0
Sd-1		4.83	100.0
Sd-2		5.61	100.0
Sd-3		5.72	100.0
Sd-4		4.67	100.0
Sd-5		3.44	100.0

(b) EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
Sd-D	8.69	4.05	100.0
Sd-1		3.43	100.0
Sd-2		2.82	100.0
Sd-3		4.32	100.0
Sd-4		2.86	100.0
Sd-5		2.99	100.0



第 6.2 表 最大接地压(Sd)

地震動	方向	最大接地压 (kN/m <sup>2</sup> )
Sd-D	NS	620
	EW	630
Sd-1	NS	650
	EW	590
Sd-2	NS	680
	EW	560
Sd-3	NS	690
	EW	640
Sd-4	NS	640
	EW	570
Sd-5	NS	580
	EW	570

## 7. 評価結果

原子炉建家の耐震性評価として弾性設計用地震動 Sd による地震応答解析を行い、接地率が線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値以上であること、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により、原子炉建家は弾性設計用地震動 Sd に対して耐震余裕を有していることを確認した。

1-2-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析)

## 目次

1. 概要 .....	添 1 - 2 - 3 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 2 - 3 - 2
2.1 位置 .....	添 1 - 2 - 3 - 2
2.2 構造概要 .....	添 1 - 2 - 3 - 3
2.3 評価方針 .....	添 1 - 2 - 3 - 5
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 2 - 3 - 6
2.5 使用材料 .....	添 1 - 2 - 3 - 6
3. 入力地震動 .....	添 1 - 2 - 3 - 7
3.1 水平方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 3 - 7
3.2 鉛直方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 3 - 21
4. 解析モデル .....	添 1 - 2 - 3 - 26
4.1 水平方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 3 - 26
4.2 鉛直方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 3 - 39
5. 解析結果 .....	添 1 - 2 - 3 - 42
5.1 固有値解析結果 .....	添 1 - 2 - 3 - 42
5.2 地震応答解析結果 .....	添 1 - 2 - 3 - 57
6. 基礎浮き上がりの検討 .....	添 1 - 2 - 3 - 82
7. 評価結果 .....	添 1 - 2 - 3 - 83

表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 2 - 3 - 6
第 2.2 表	鋼材の材料定数.....	添 1 - 2 - 3 - 6
第 3.1 表	地盤の物性値.....	添 1 - 2 - 3 - 9
第 4.1 表	解析モデルの諸元(NS 方向) (1/2) .....	添 1 - 2 - 3 - 29
第 4.2 表	解析モデルの諸元(NS 方向) (2/2) .....	添 1 - 2 - 3 - 30
第 4.3 表	解析モデルの諸元(EW 方向) (1/5) .....	添 1 - 2 - 3 - 31
第 4.4 表	解析モデルの諸元(EW 方向) (2/5) .....	添 1 - 2 - 3 - 32
第 4.5 表	解析モデルの諸元(EW 方向) (3/5) .....	添 1 - 2 - 3 - 33
第 4.6 表	解析モデルの諸元(EW 方向) (4/5) .....	添 1 - 2 - 3 - 34
第 4.7 表	解析モデルの諸元(EW 方向) (5/5) .....	添 1 - 2 - 3 - 35
第 4.8 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、1/2Sd) .....	添 1 - 2 - 3 - 36
第 4.9 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、1/2Sd) .....	添 1 - 2 - 3 - 37
第 4.10 表	解析モデルの諸元(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 3 - 41
第 4.11 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、1/2Sd).....	添 1 - 2 - 3 - 41
第 5.1 表	固有値解析結果(1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 43
第 5.2 表	固有値解析結果(1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 44
第 5.3 表	固有値解析結果(1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 45
第 5.4 表	固有値解析結果(1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 46
第 5.5 表	固有値解析結果(1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 47
第 5.6 表	固有値解析結果(1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 48
第 6.1 表	最小接地率(1/2Sd).....	添 1 - 2 - 3 - 82

## 目 次

第 2.1 図	使用済燃料貯蔵建家の位置.....	添 1 - 2 - 3 - 2
第 2.2 図	平面図(G. L. 0.2m).....	添 1 - 2 - 3 - 3
第 2.3 図	断面図(NS 断面).....	添 1 - 2 - 3 - 4
第 2.4 図	断面図(EW 断面).....	添 1 - 2 - 3 - 4
第 2.5 図	使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析フロー.....	添 1 - 2 - 3 - 5
第 3.1 図	入力地震動算定の概要(水平方向).....	添 1 - 2 - 3 - 8
第 3.2 図	地盤の非線形特性(1/2).....	添 1 - 2 - 3 - 10
第 3.3 図	地盤の非線形特性(2/2).....	添 1 - 2 - 3 - 11
第 3.4 図	地盤の地震応答解析結果(水平方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 12
第 3.5 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 12
第 3.6 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 13
第 3.7 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 13
第 3.8 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 14
第 3.9 図	地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 14
第 3.10 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 15
第 3.11 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 15
第 3.12 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 16
第 3.13 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 16
第 3.14 図	地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 17
第 3.15 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向、1/2Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 3 - 18
第 3.16 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向、1/2Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 3 - 19
第 3.17 図	入力地震動の加速度応答スペクトル(1/2Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 3 - 20
第 3.18 図	入力地震動算定の概要(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 3 - 22
第 3.19 図	地盤の地震応答解析結果(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 3 - 23
第 3.20 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 3 - 24
第 3.21 図	入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置).....	添 1 - 2 - 3 - 25
第 4.1 図	解析モデル(NS 方向).....	添 1 - 2 - 3 - 27
第 4.2 図	解析モデル(EW 方向).....	添 1 - 2 - 3 - 28
第 4.3 図	地盤ばねの定式化の概要.....	添 1 - 2 - 3 - 38
第 4.4 図	解析モデル(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 3 - 40

第 5.1 図	刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 3 - 49
第 5.2 図	刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 3 - 50
第 5.3 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、1 次及び 2 次).....	添 1 - 2 - 3 - 51
第 5.4 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、3 次及び 4 次).....	添 1 - 2 - 3 - 52
第 5.5 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、5 次及び 6 次).....	添 1 - 2 - 3 - 53
第 5.6 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、7 次及び 12 次).....	添 1 - 2 - 3 - 54
第 5.7 図	刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 3 - 55
第 5.8 図	刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、5 次及び 6 次).....	添 1 - 2 - 3 - 56
第 5.9 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 58
第 5.10 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 58
第 5.11 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 59
第 5.12 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 59
第 5.13 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 60
第 5.14 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 60
第 5.15 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 61
第 5.16 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 61
第 5.17 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 62
第 5.18 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 62
第 5.19 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 63
第 5.20 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 63
第 5.21 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 64
第 5.22 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 64
第 5.23 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 3 - 65
第 5.24 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 65
第 5.25 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 66
第 5.26 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 3 - 66
第 5.27 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 67
第 5.28 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 67
第 5.29 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 3 - 68
第 5.30 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 68
第 5.31 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 69
第 5.32 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 3 - 69
第 5.33 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 70
第 5.34 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 70
第 5.35 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 3 - 71
第 5.36 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 3 - 71

第 5.37 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 3 - 72
第 5.38 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 3 - 72
第 5.39 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 3 - 73
第 5.40 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 3 - 73
第 5.41 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 3 - 74
第 5.42 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 3 - 74
第 5.43 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 3 - 75
第 5.44 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 3 - 75
第 5.45 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-D) .....	添 1 - 2 - 3 - 76
第 5.46 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-D) .....	添 1 - 2 - 3 - 76
第 5.47 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-1) .....	添 1 - 2 - 3 - 77
第 5.48 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-1) .....	添 1 - 2 - 3 - 77
第 5.49 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-2) .....	添 1 - 2 - 3 - 78
第 5.50 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-2) .....	添 1 - 2 - 3 - 78
第 5.51 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 3 - 79
第 5.52 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 3 - 79
第 5.53 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 3 - 80
第 5.54 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 3 - 80
第 5.55 図	最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 3 - 81
第 5.56 図	最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 3 - 81



## 1. 概要

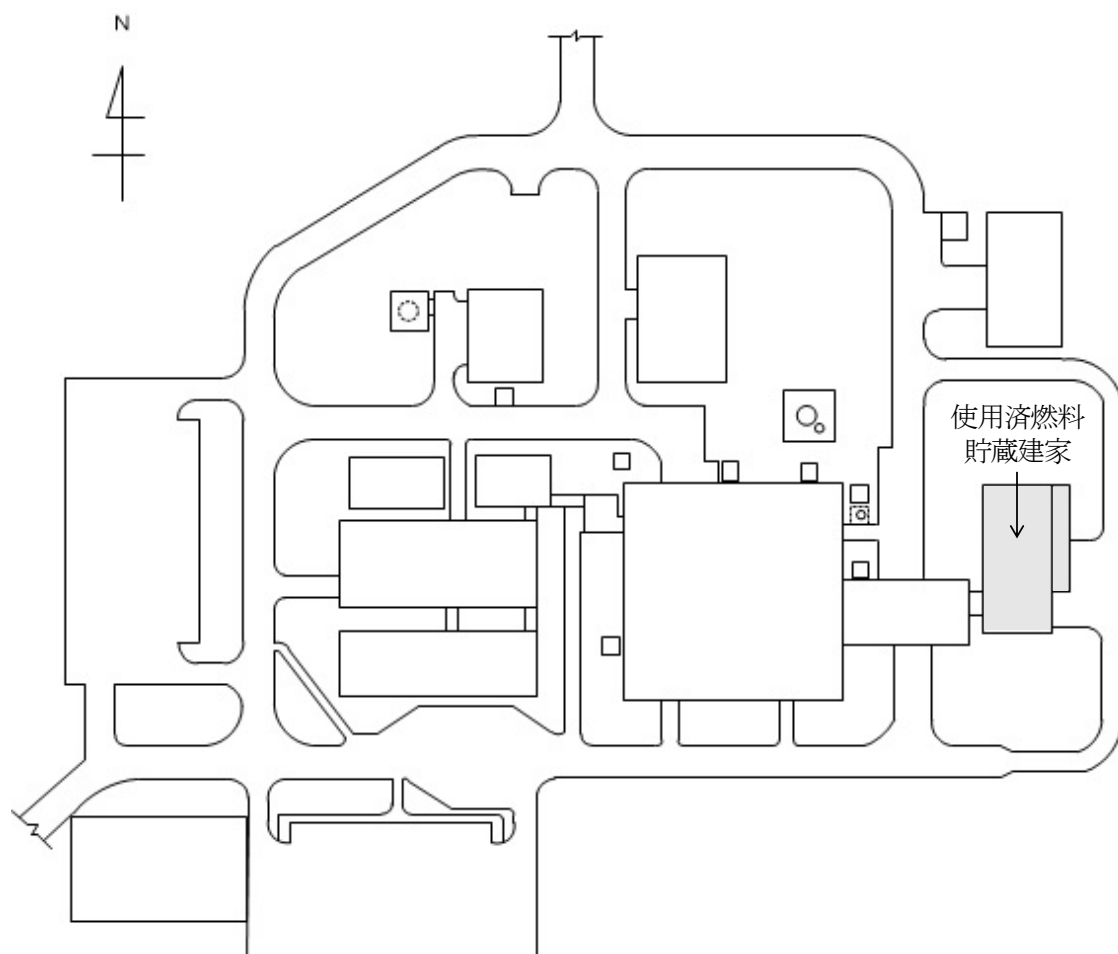
本資料は、弾性設計用地震動  $S_d$  に 2 分の 1 を乗じた地震動(以下「共振検討用地震動  $1/2S_d$ 」という。)を用いた地震応答解析について説明するものである。

この地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

使用済燃料貯蔵建家の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 使用済燃料貯蔵建家の位置

## 2.2 構造概要

使用済燃料貯蔵建家は、平面 32.4m(NS)×16.4m(EW)、地上高さ 17.2m(地上 1 階)、地下深さ 10.8m(地下 1 階)で矩形の鉄筋コンクリート造(一部、鉄骨鉄筋コンクリート造、屋根部：鉄骨造)である。基礎は厚さ 2.0m のべた基礎とし、第四系更新統の M1 段丘堆積物(Mu-S2)に設置されている。

建家の代表的な平面図及び断面図を第 2.2 図から第 2.4 図に示す。



第 2.2 図 平面図(G. L. 0.2m)

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.3 図 断面図 (NS 断面)

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.4 図 断面図 (EW 断面)

### 2.3 評価方針

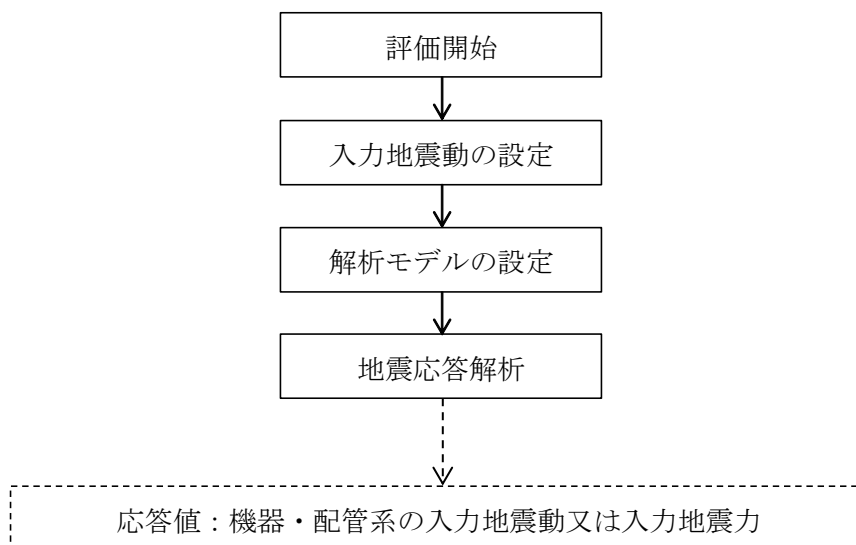
評価に用いる地震動は、共振検討用地震動 1/2Sd とする。

地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS、EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析フローを第 2.5 図に示す。



第 2.5 図 使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析フロー

## 2.4 準拠規格・基準

使用済燃料貯蔵建家の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計と保有水平耐力―(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

## 2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を第 2.1 表に、鋼材の材料定数を第 2.2 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの材料定数

設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
23.5	$2.25 \times 10^4$	0.20

第 2.2 表 鋼材の材料定数

種類	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
SN490B	$2.05 \times 10^5$	0.30

### 3. 入力地震動

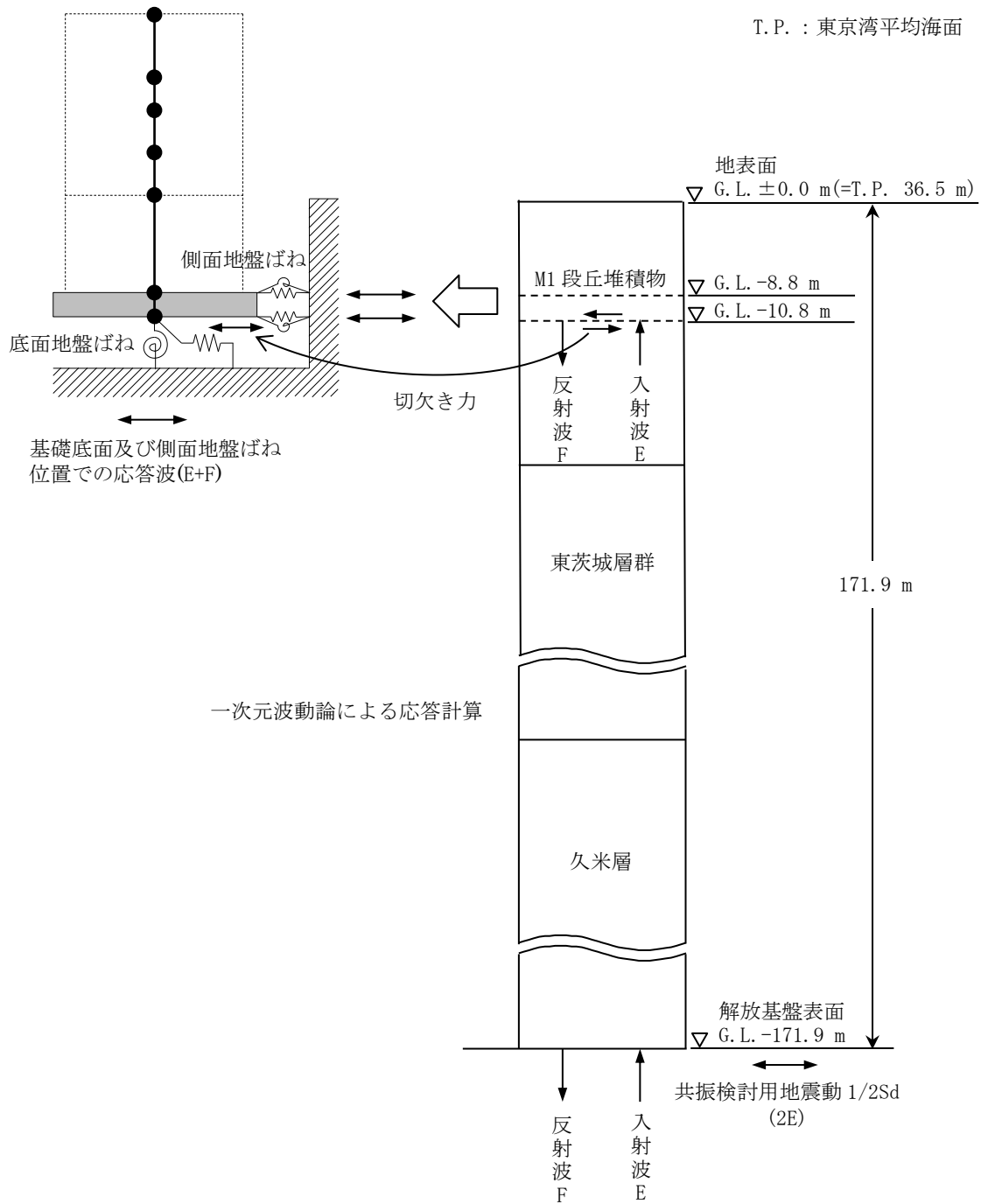
#### 3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、共振検討用地震動  $1/2S_d$  を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を第 3.1 図に、地盤の物性値を第 3.1 表に、地盤の非線形特性を第 3.2 図及び第 3.3 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「KSHAKE(清水建設株式会社)」である。

共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.4 図から第 3.14 図に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.15 図から第 3.17 図に示す。

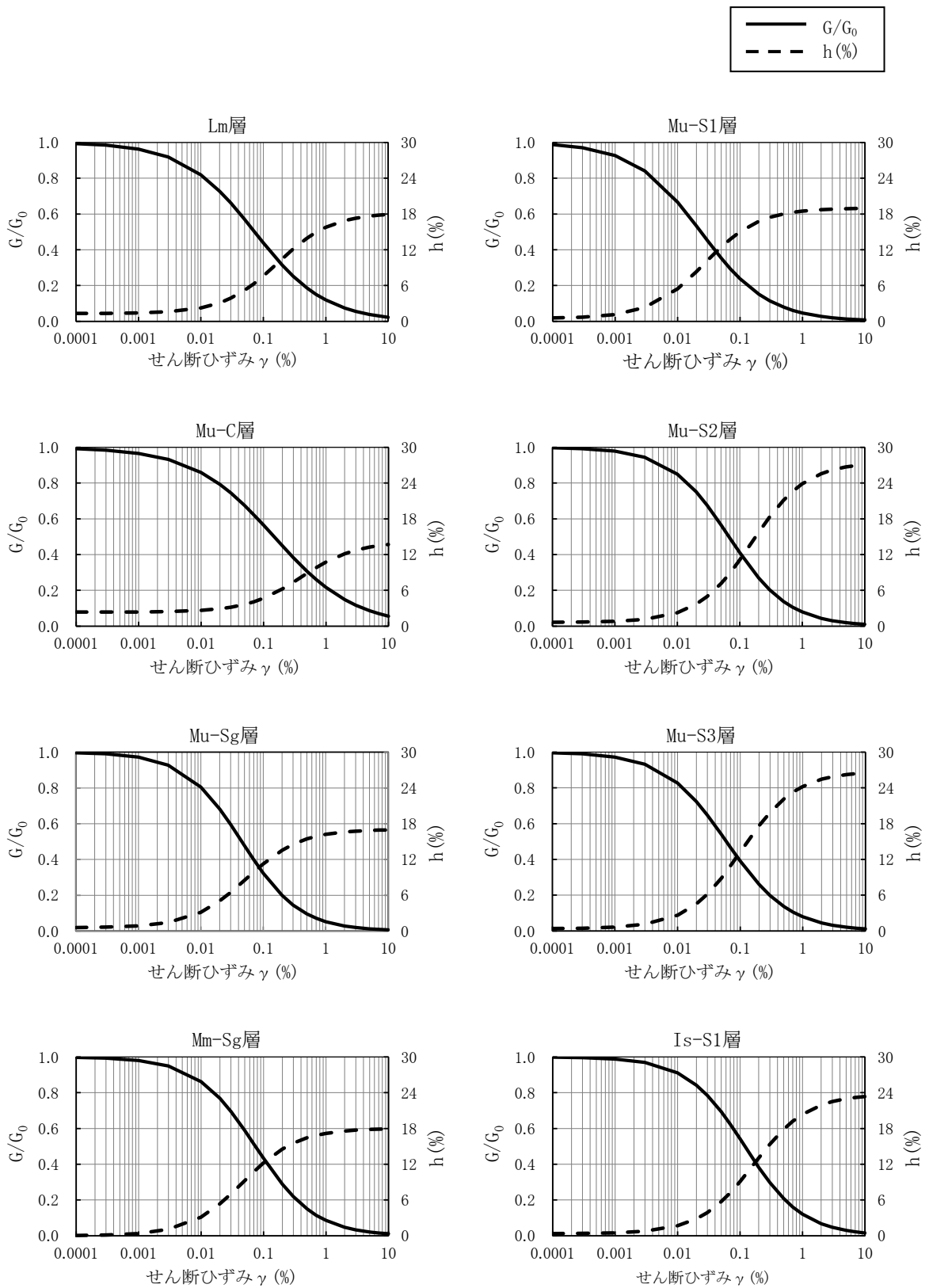


第 3.1 図 入力地震動算定の概要(水平方向)

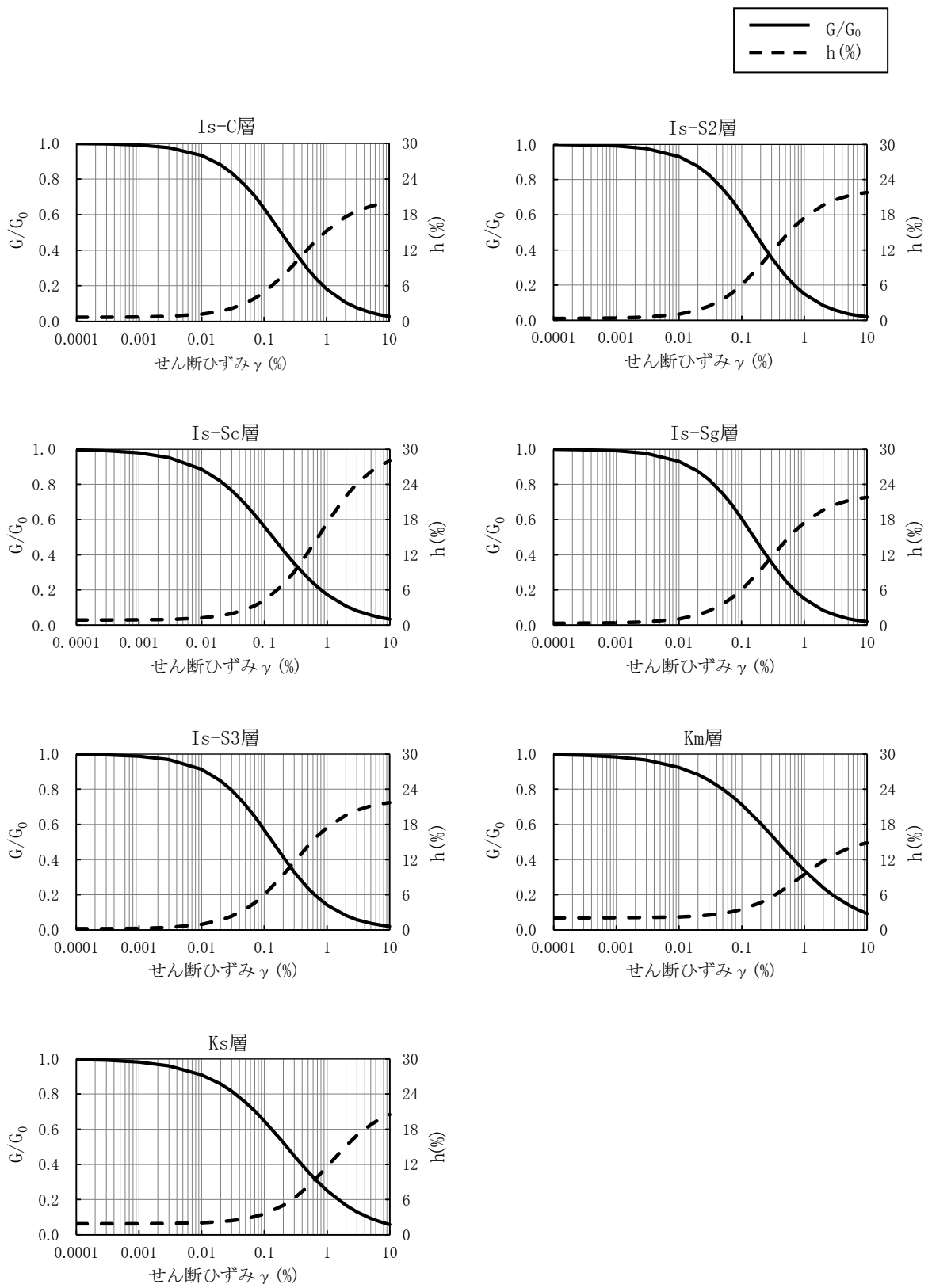


第 3.1 表 地盤の物性値

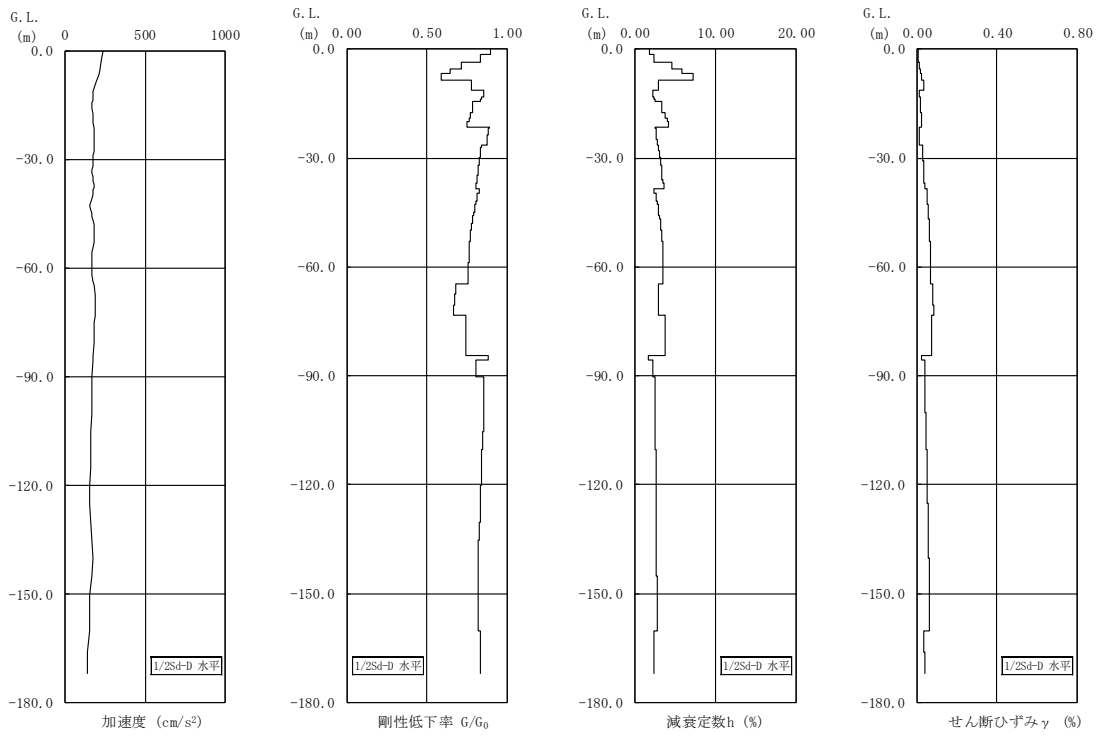
深さ G. L. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	動ポア ソン比 $\nu_d$	動せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	▽地表面				
-1.5	M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.47	42,300
-8.5		Mu-S1	1.90	0.44	222,000
-11.3		Mu-C	1.75	0.46	150,000
-14.3		Mu-S2	1.90	0.41	354,000
-15.9		Mu-Sg	2.02	0.44	409,000
-21.3		Mu-S3	1.81	0.38	386,000
-26.3		東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.38
-38.5	Is-S1		1.87	0.46	359,000
-39.6	Is-C		1.88	0.47	275,000
-64.6	Is-S2		1.86	0.47	288,000
-73.3	Is-Sc		1.82	0.47	285,000
-84.4	Is-S2		1.86	0.47	288,000
-85.8	Is-Sg		1.98	0.44	714,000
-90.2	Is-S3		1.97	0.45	485,000
-160.3	久米層	Km	1.79	0.45	464,000
-171.9	▽解放基盤表面	Ks	1.88	0.43	763,000
	解放基盤		1.98	0.36	2,020,000



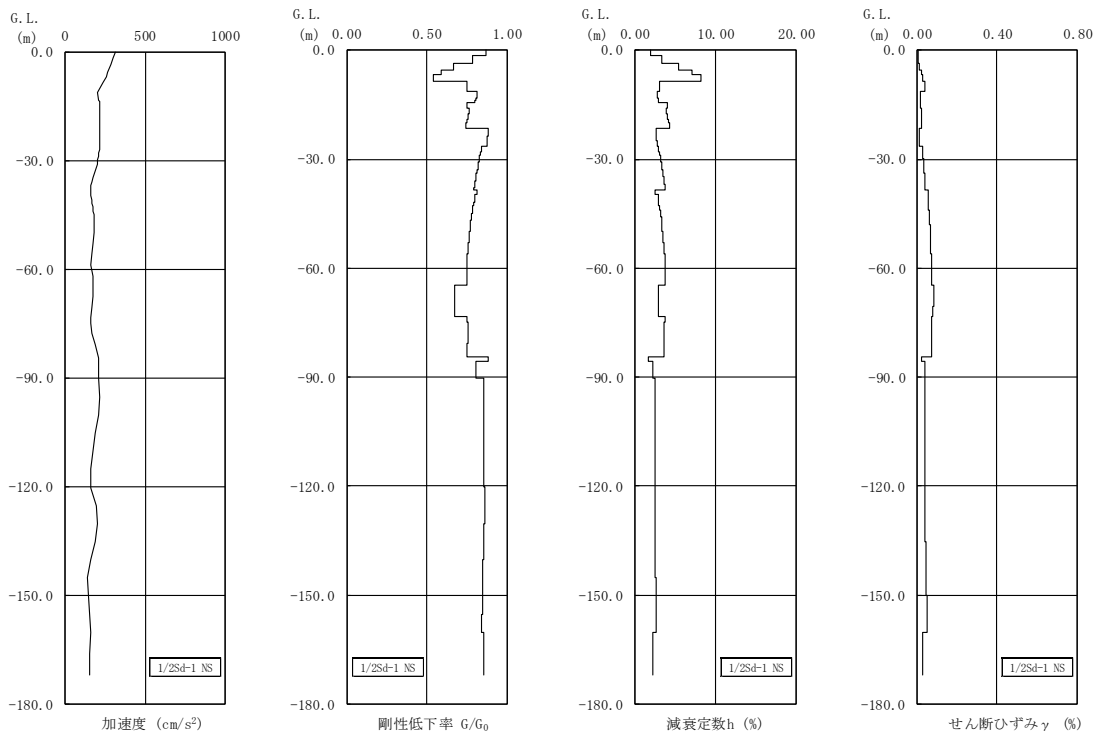
第 3.2 図 地盤の非線形特性(1/2)



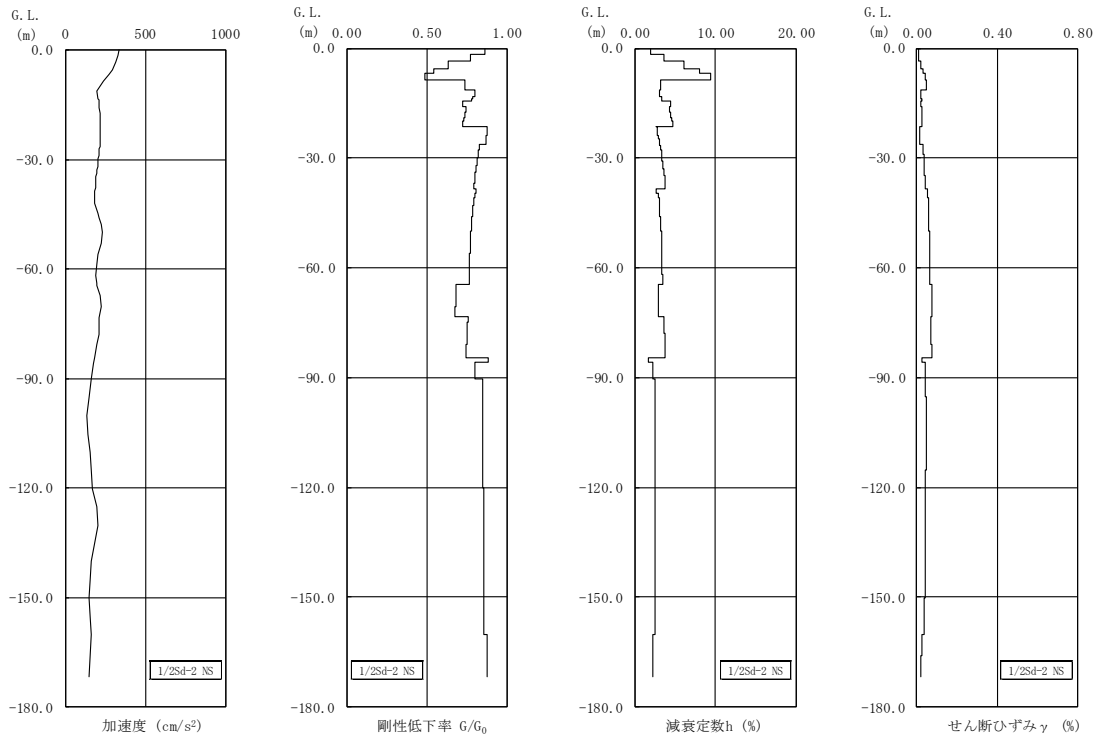
第 3.3 図 地盤の非線形特性(2/2)



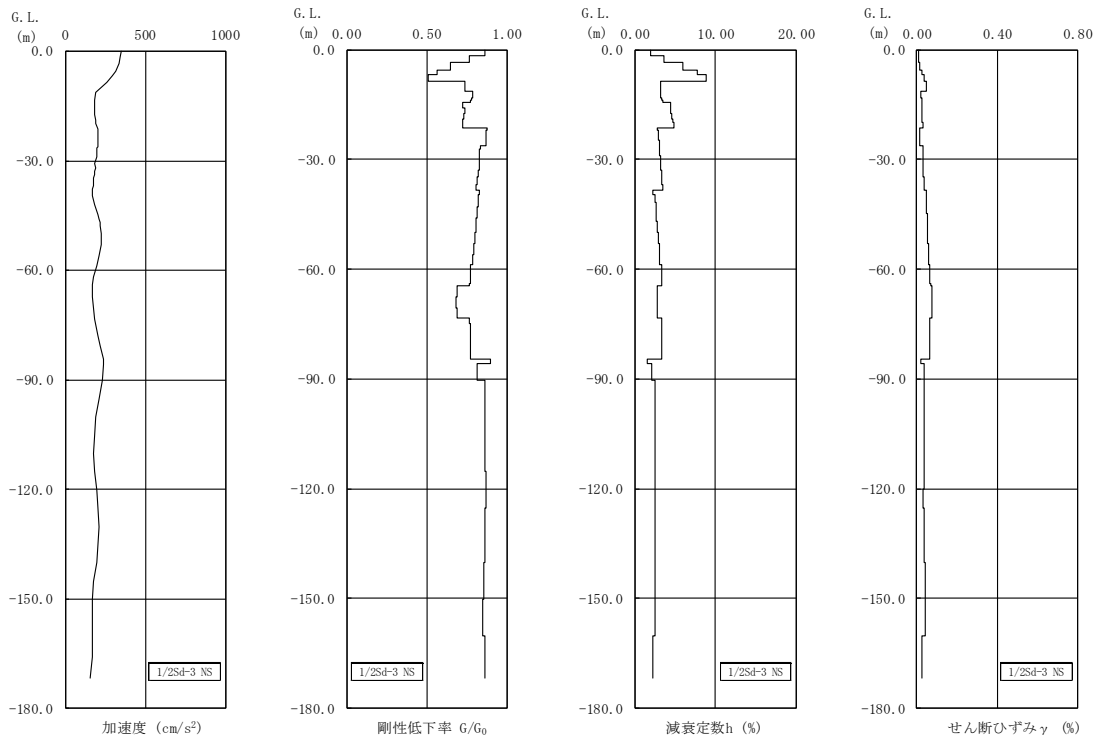
第 3.4 図 地盤の地震応答解析結果(水平方向、1/2Sd-D)



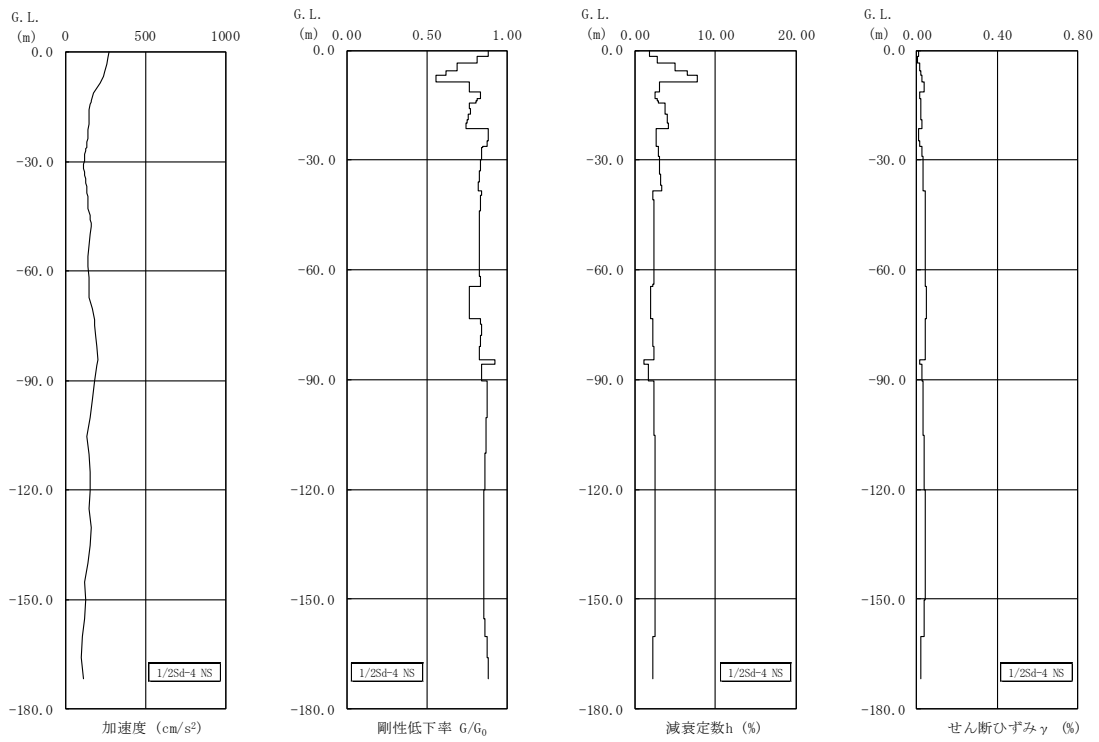
第 3.5 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-1)



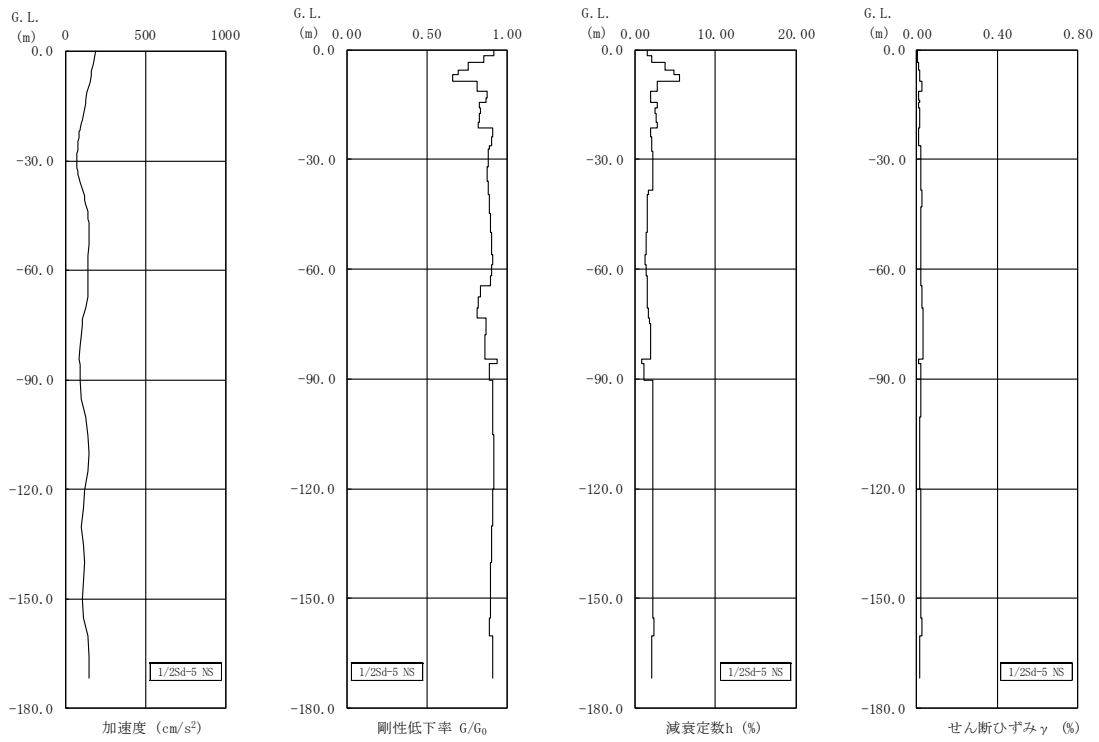
第 3.6 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-2)



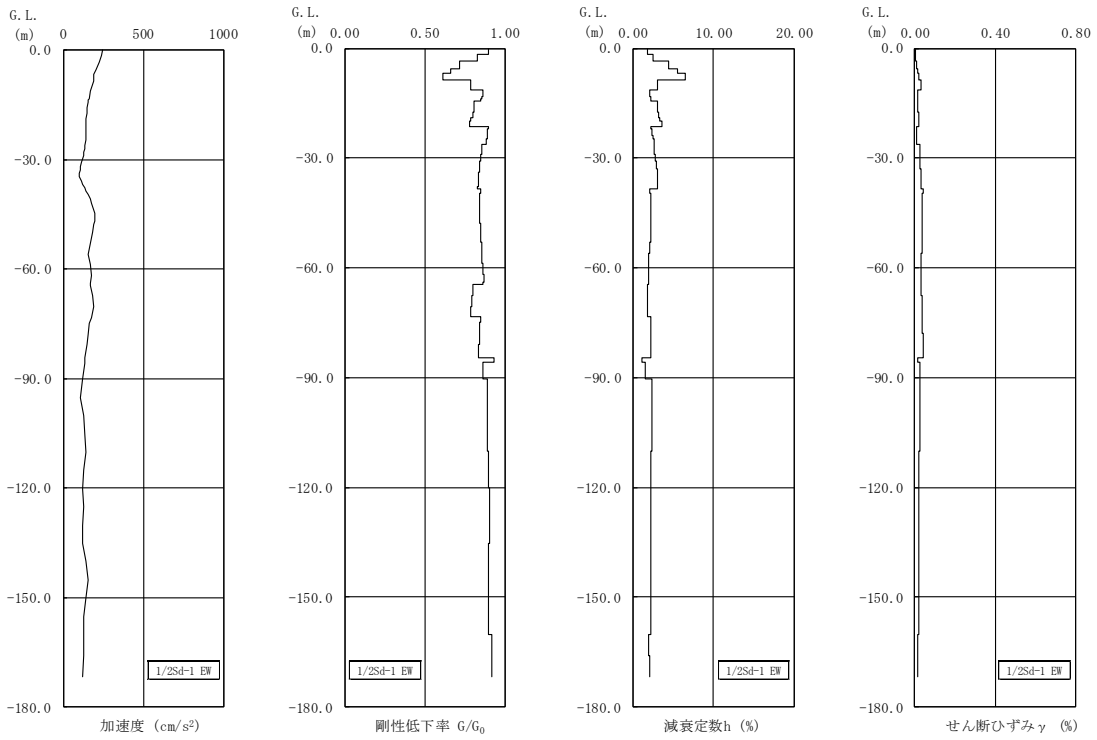
第 3.7 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-3)



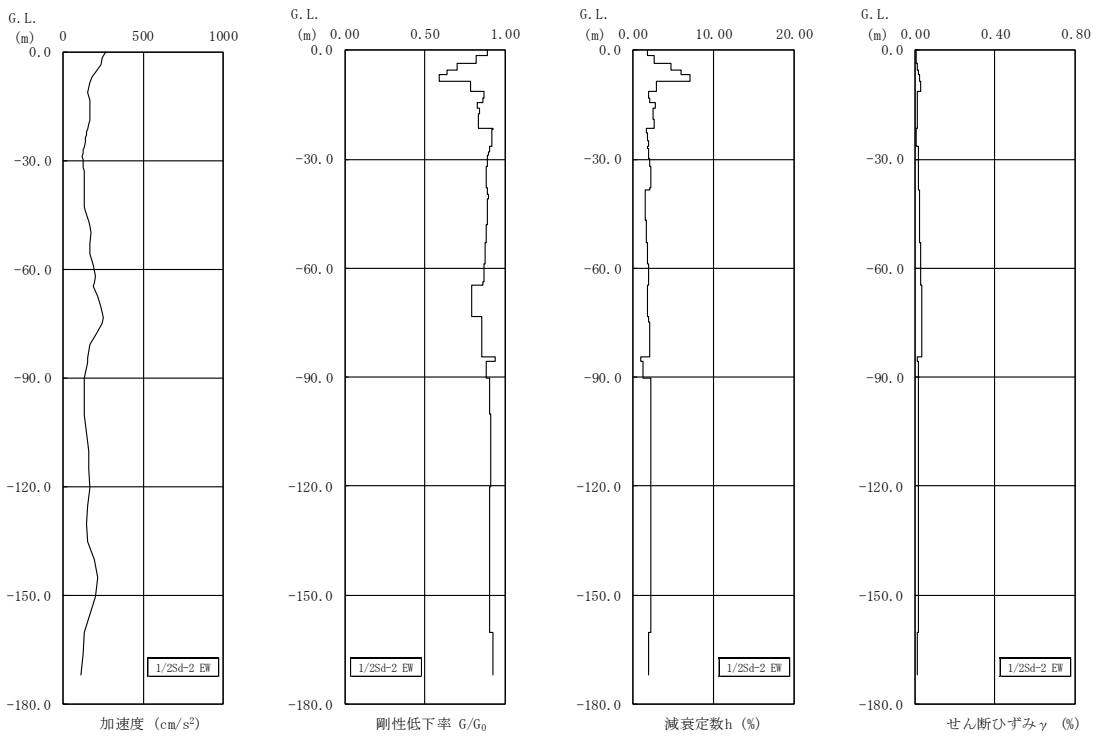
第 3.8 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-4)



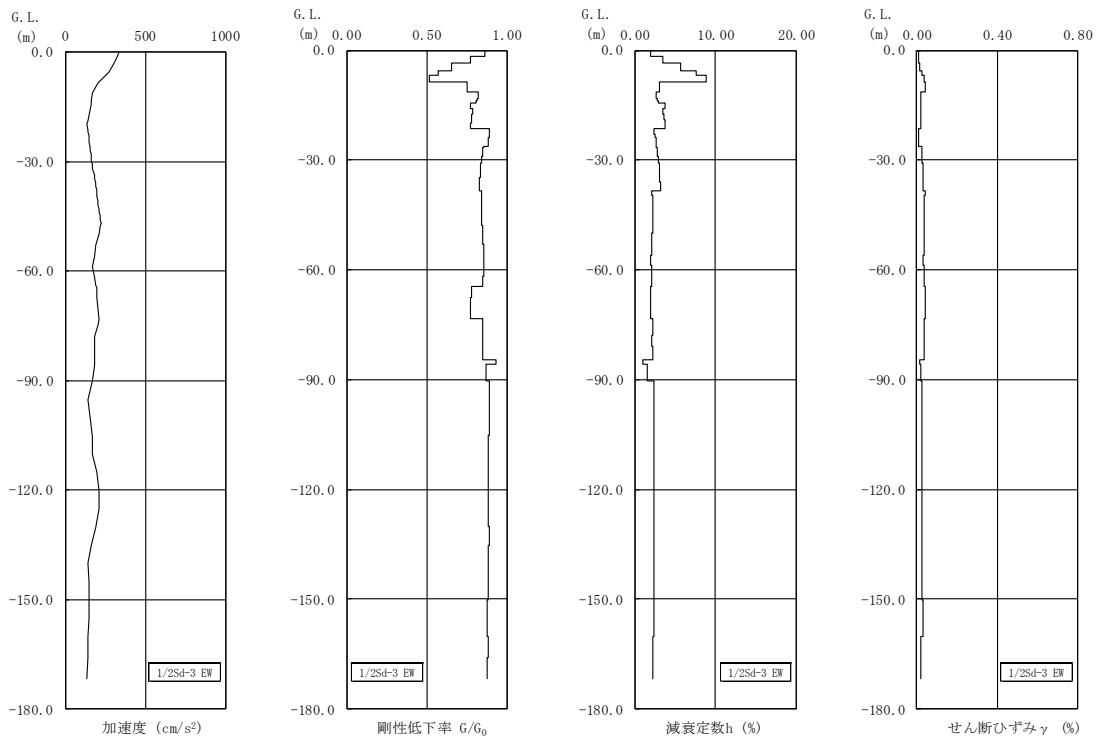
第 3.9 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-5)



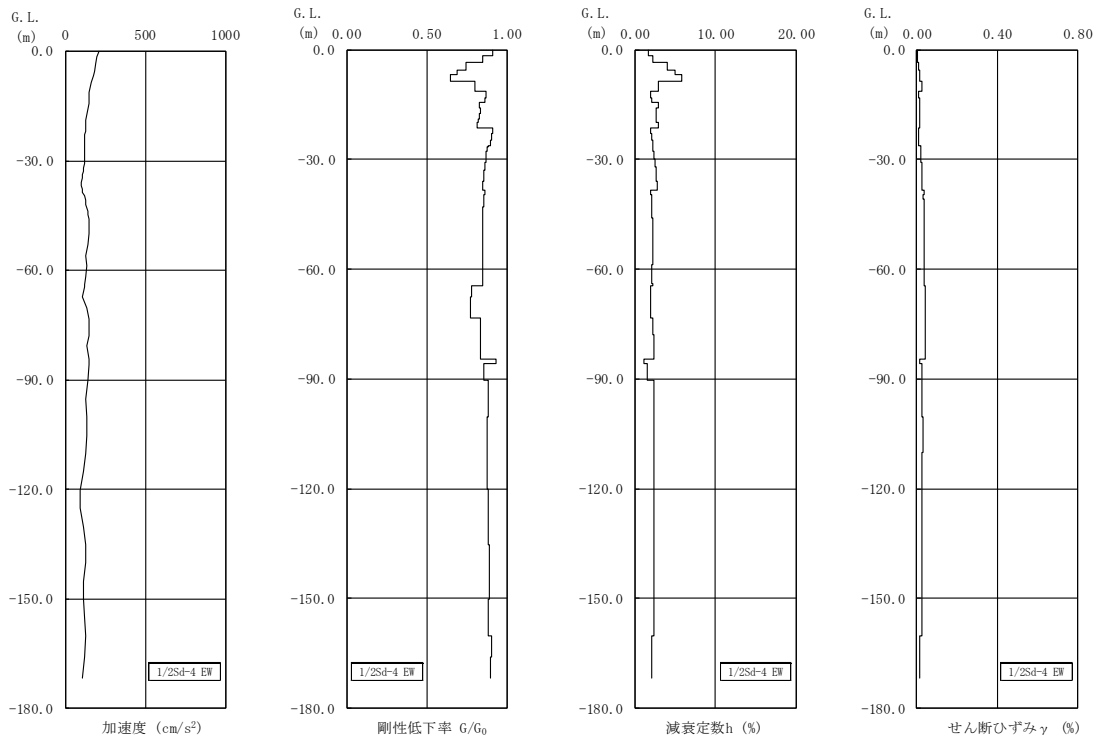
第 3.10 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-1)



第 3.11 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-2)

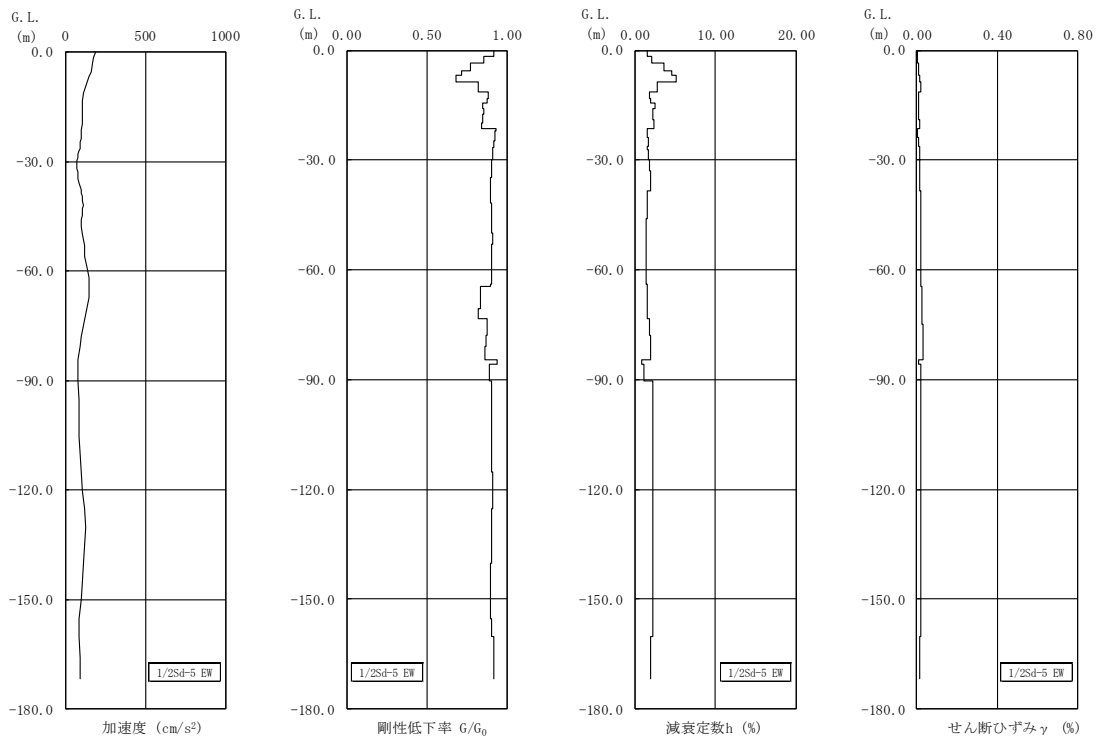


第 3.12 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-3)

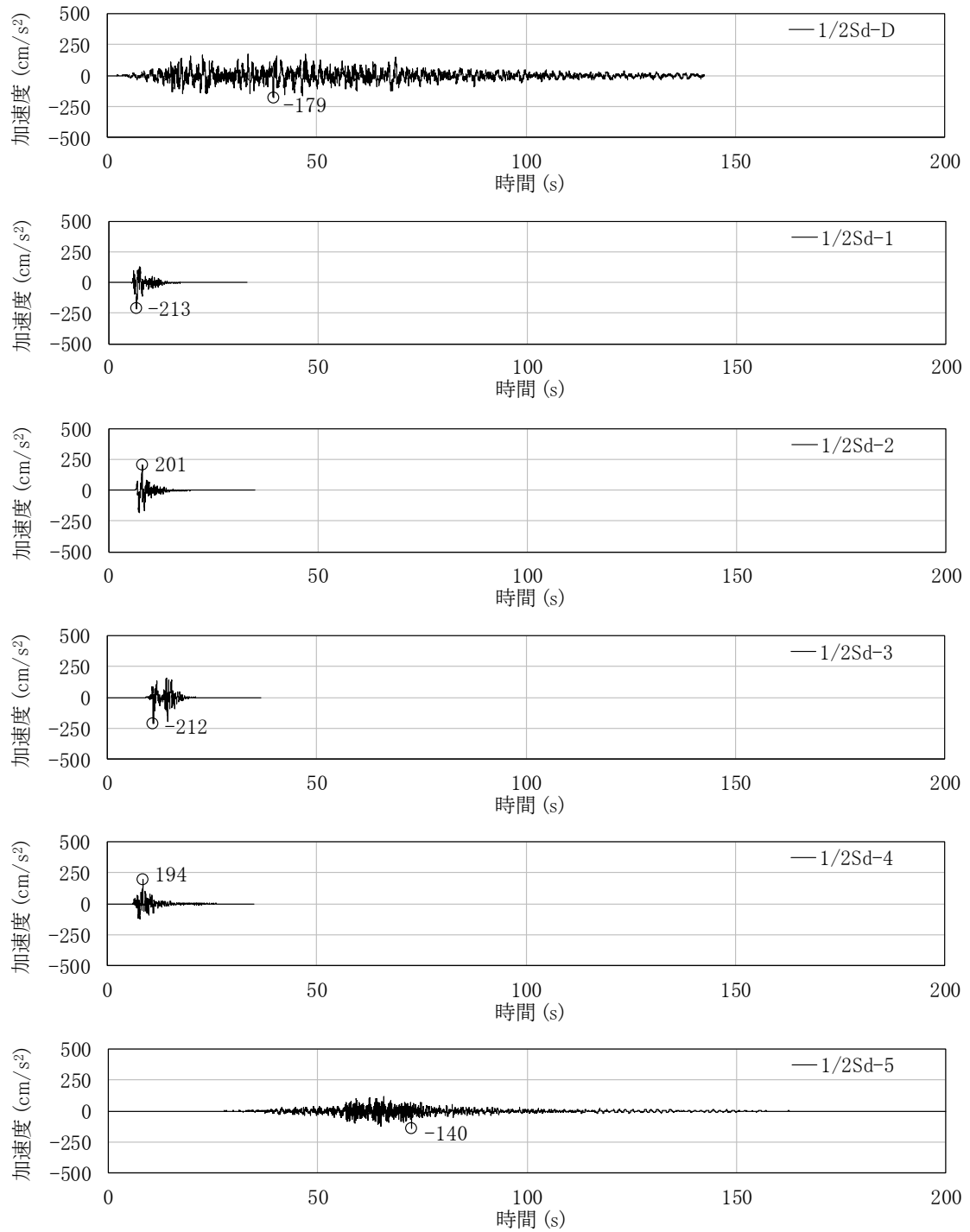


第 3.13 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-4)

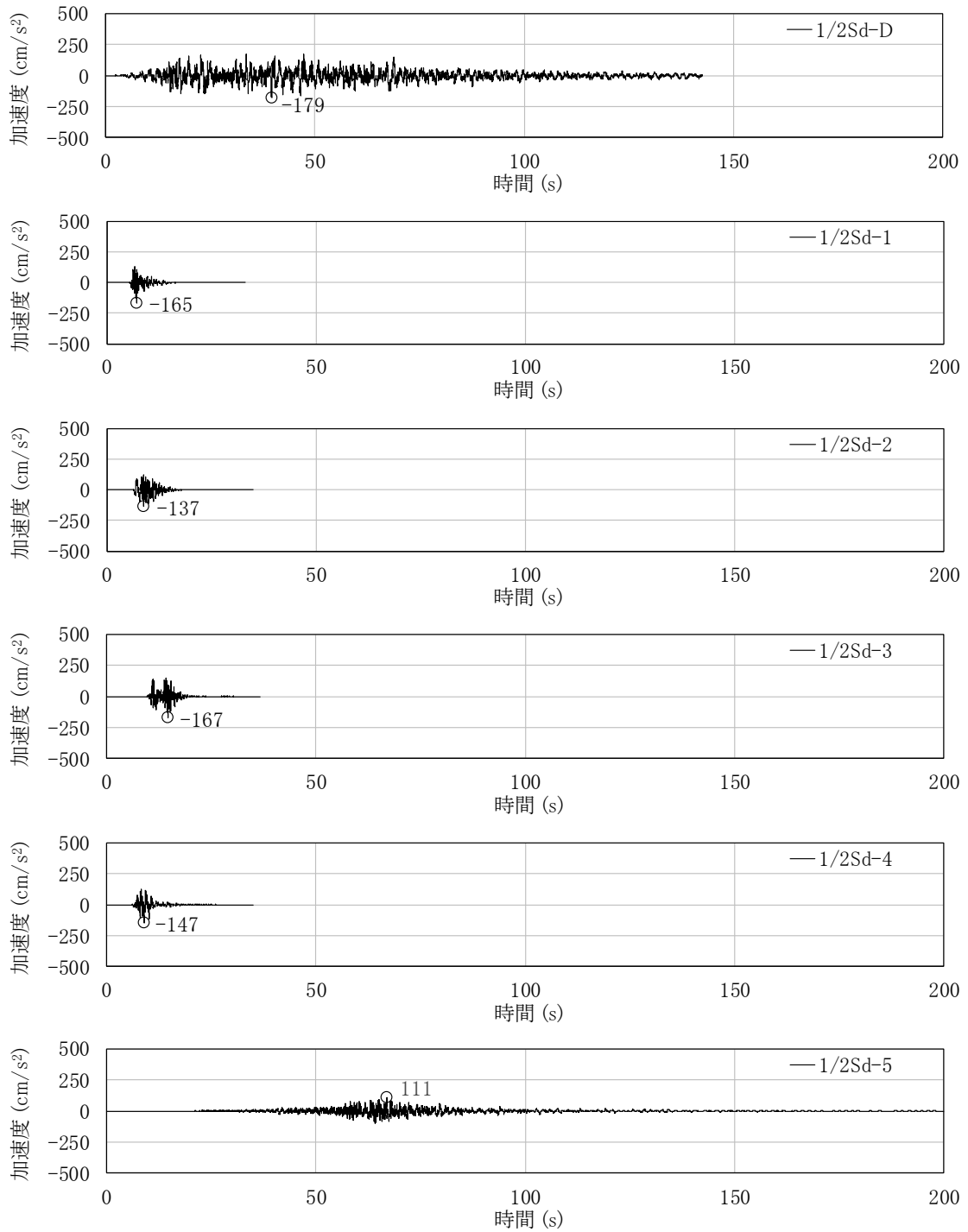




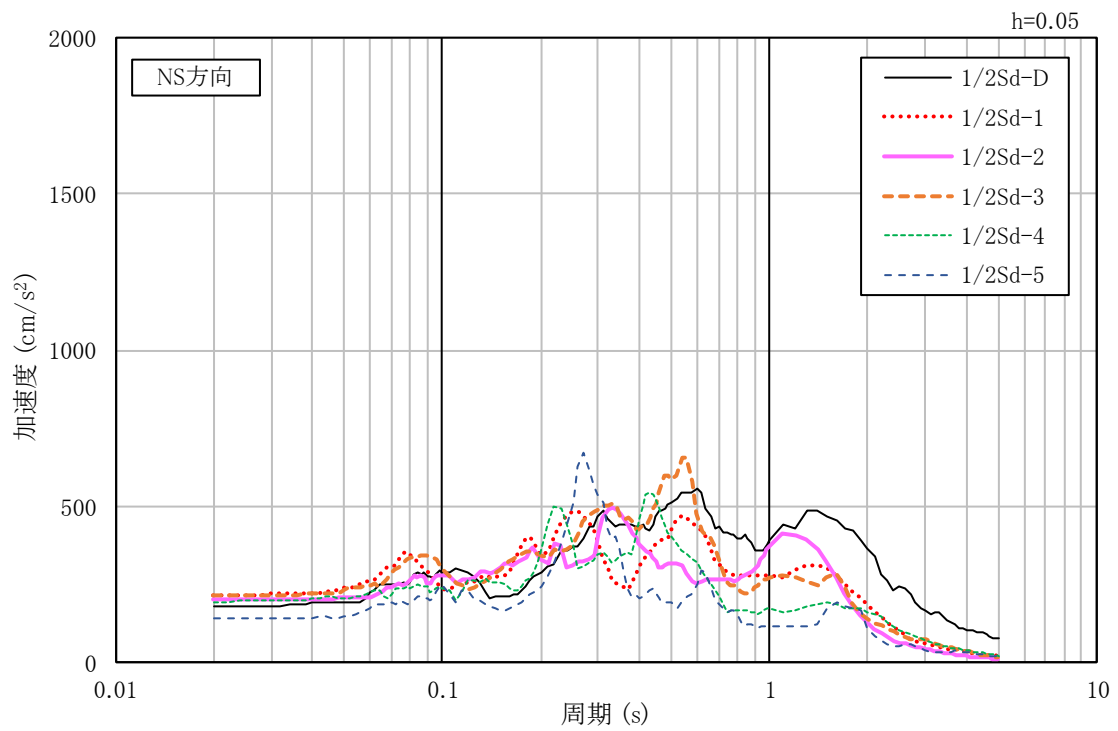
第 3.14 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-5)



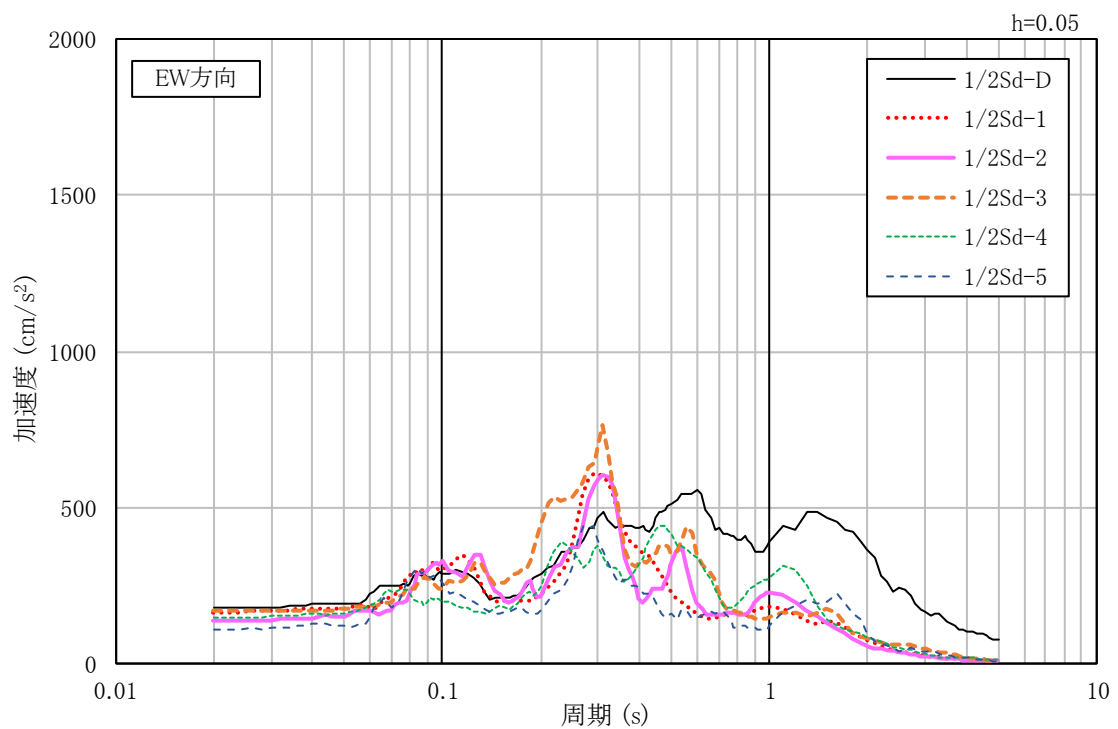
第 3.15 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向、1/2Sd、基礎底面位置)



第 3. 16 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向、1/2Sd、基礎底面位置)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

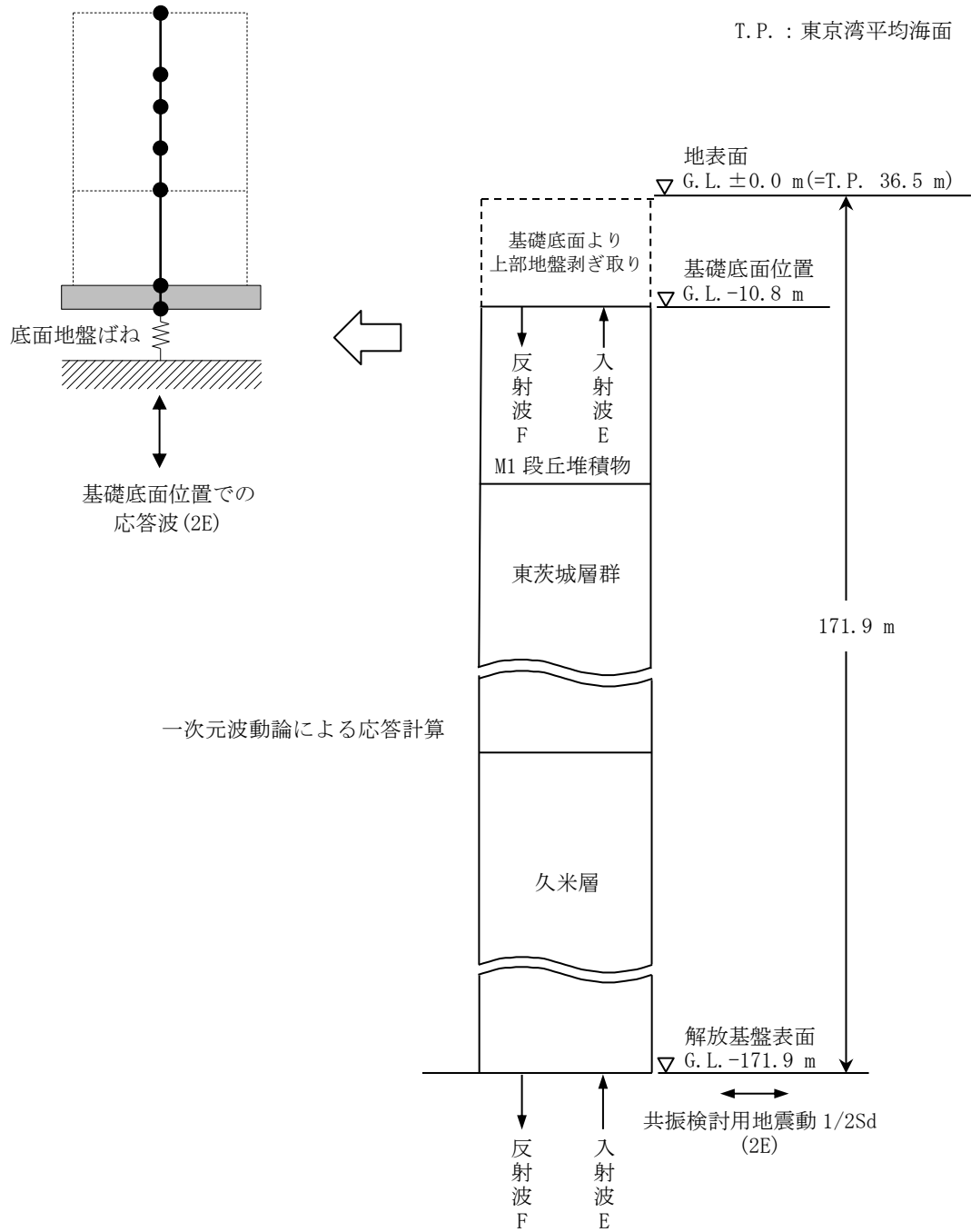
第 3.17 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(1/2Sd、基礎底面位置)

### 3.2 鉛直方向の入力地震動

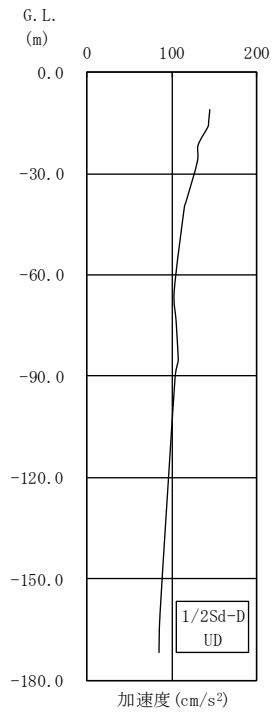
鉛直方向の入力地震動は、共振検討用地震動  $1/2S_d$  を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。鉛直方向の入力地震動算定の概要を第 3.18 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「KSHAKE(清水建設株式会社)」である。

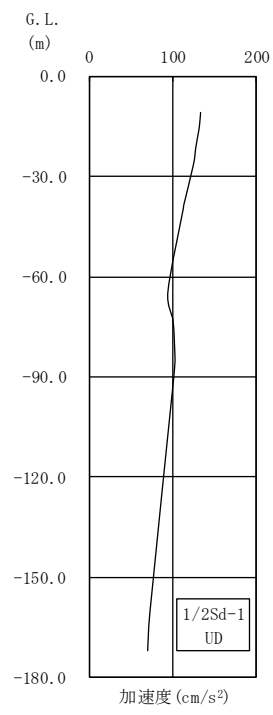
共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.19 図に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.20 図及び第 3.21 図に示す。



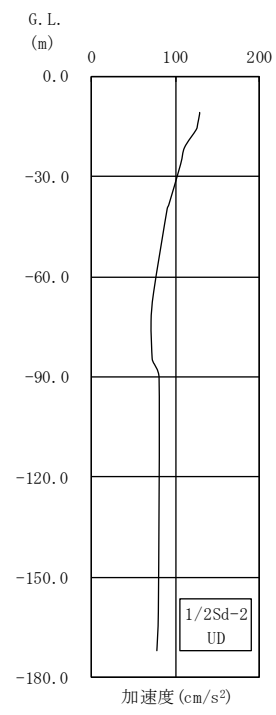
第 3.18 図 入力地震動算定の概要(鉛直方向)



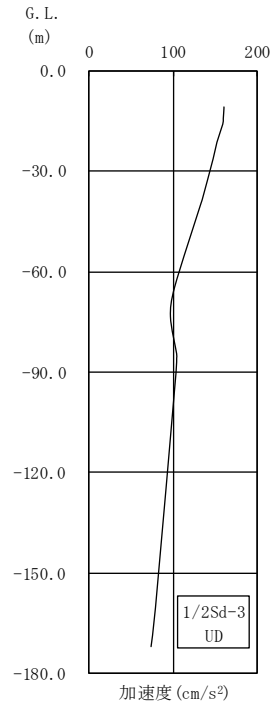
(a) 1/2Sd-D



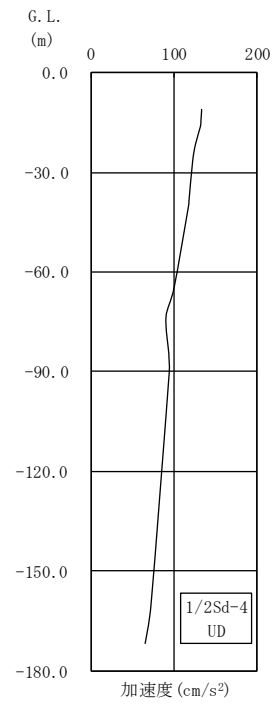
(b) 1/2Sd-1



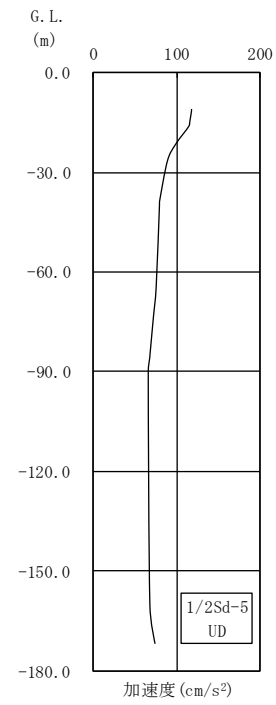
(c) 1/2Sd-2



(d) 1/2Sd-3

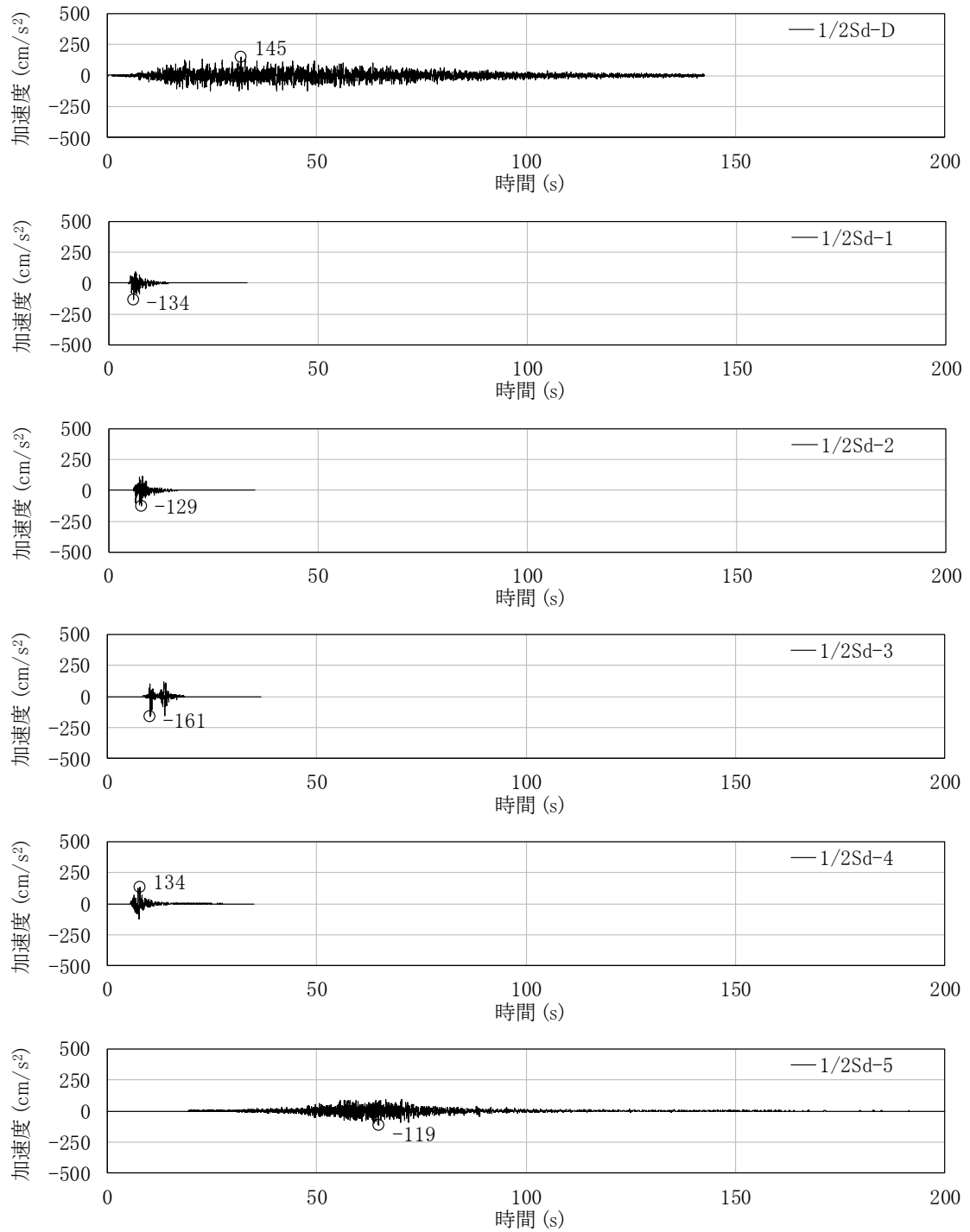


(e) 1/2Sd-4



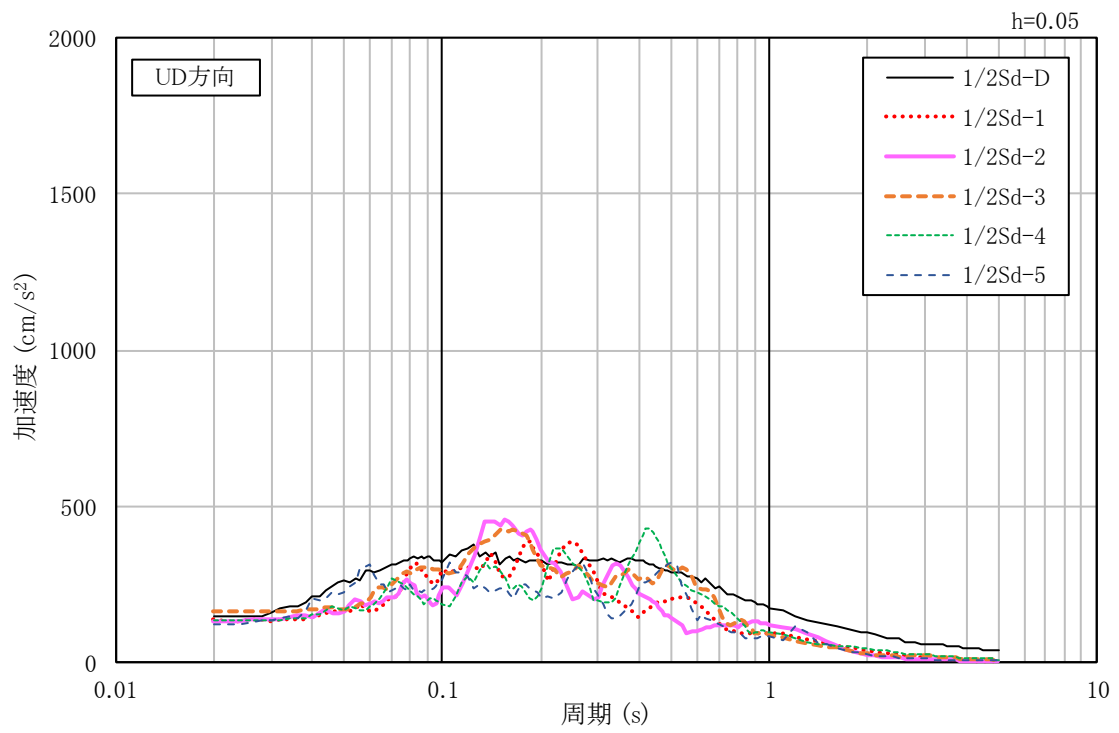
(f) 1/2Sd-5

第 3.19 図 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向)



第 3.20 図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置)





第 3.21 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置)

#### 4. 解析モデル

##### 4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多軸多質点系モデル(線形)とする。

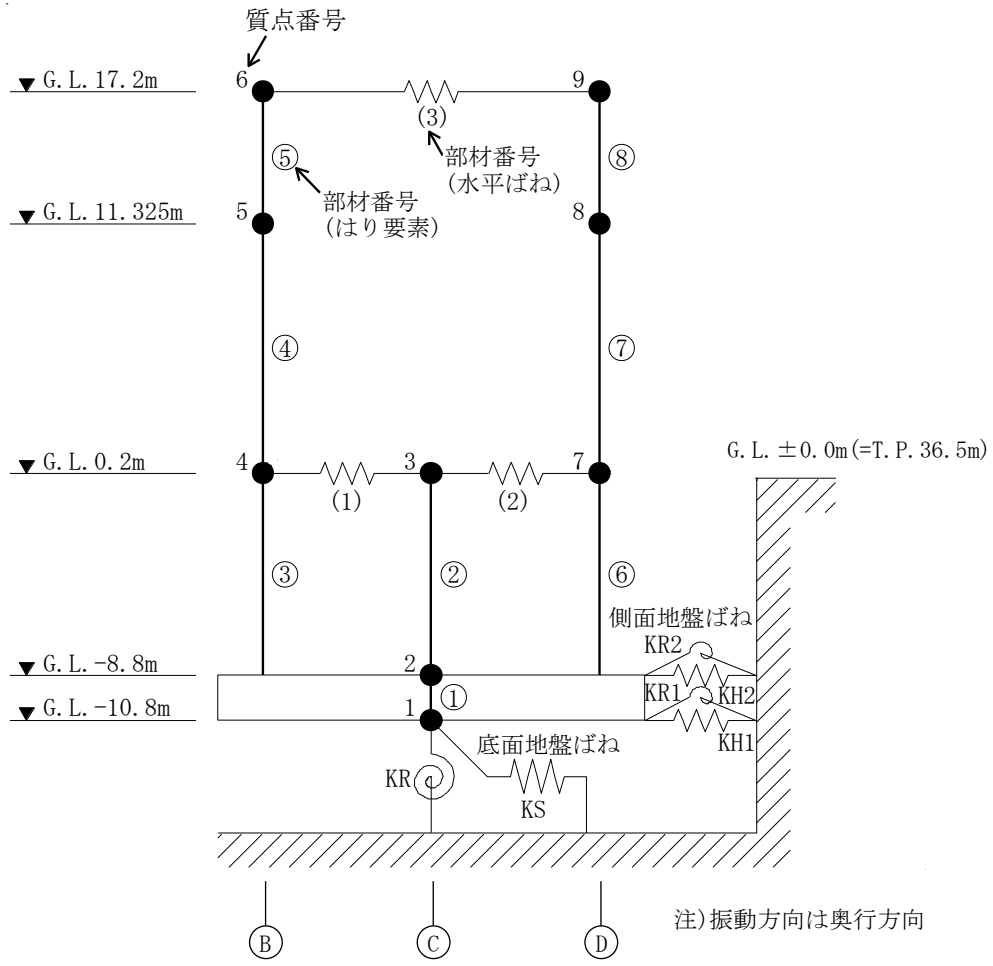
水平方向の解析モデルを第 4.1 図及び第 4.2 図に、解析モデルの諸元を第 4.1 表～第 4.7 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「GRIMP2(清水建設株式会社)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「NVK463(清水建設株式会社)」である。

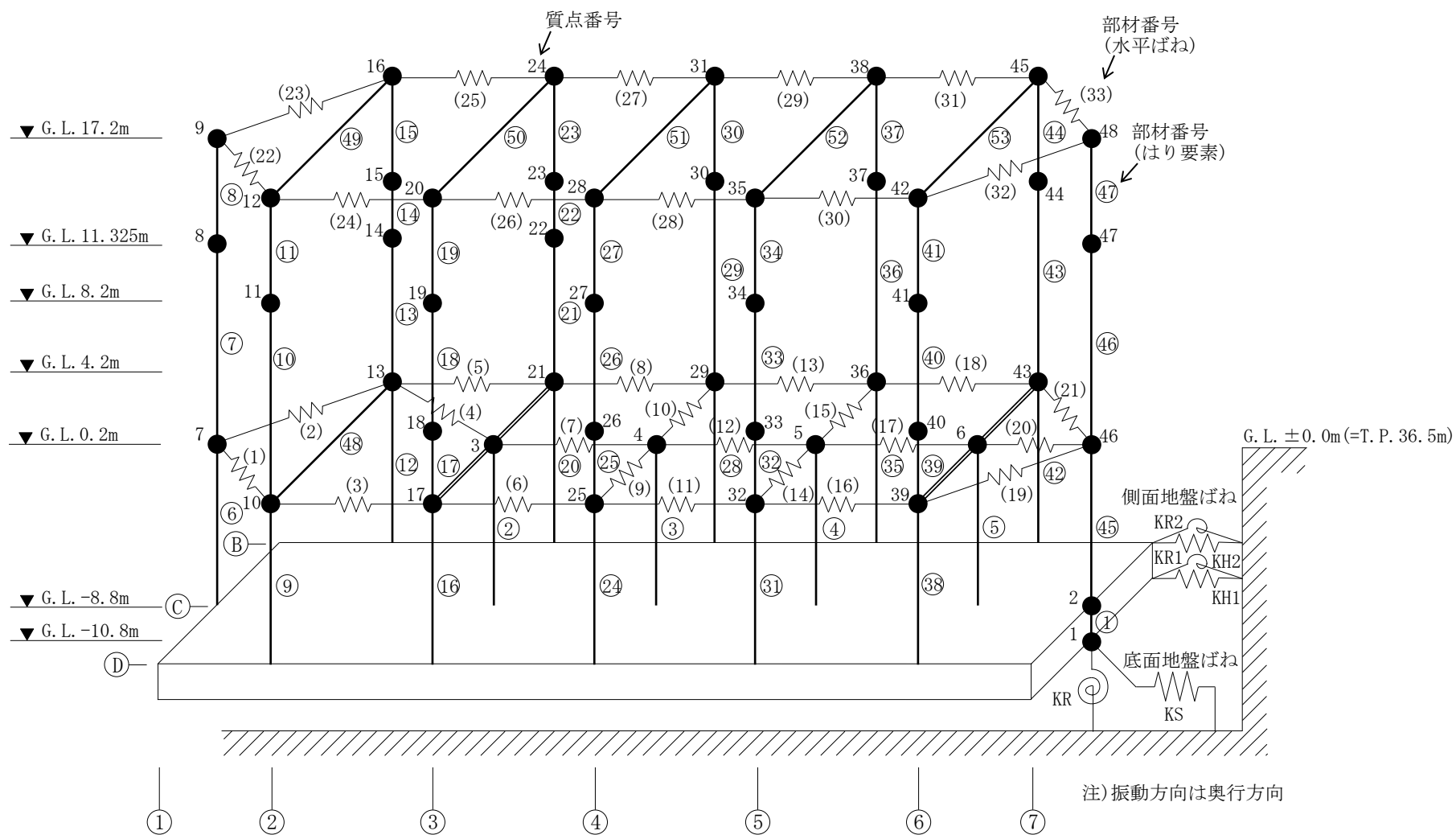
地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.8 表及び第 4.9 表に、地盤ばねの定式化の概要を第 4.3 図に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%、屋根の鉄骨部分の減衰定数は 2%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4. 1 図 解析モデル (NS 方向)



第 4.2 図 解析モデル(EW 方向)

第 4.1 表 解析モデルの諸元 (NS 方向) (1/2)

高さ G.L. (m)	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m <sup>2</sup> )	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 (×10 <sup>3</sup> kN・m <sup>2</sup> )	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m <sup>2</sup> )
17.2	6	4,550		—			9	4,650	
11.325	5	6,560					8	6,240	
0.2	4	10,700		3	27,600		7	13,200	
-8.8	—			2	38,040	10,300	—		
-10.8				1	14,740	129			

第 4.2 表 解析モデルの諸元 (NS 方向) (2/2)

高さ G.L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (×10 <sup>3</sup> m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (×10 <sup>3</sup> m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (×10 <sup>3</sup> m <sup>4</sup> )
17.2	—	/		—	/		—	/	
	⑤						16.02		
11.325	④	15.11	1.53				⑦	17.49	1.67
0.2	③	22.76	2.31	②	65.00	2.02	⑥	22.76	2.31
-8.8	—	/		①	615.6	53.9	—	/	
-10.8				—	/				

高さ G.L. (m)	部材 番号	水平ばね (×10 <sup>6</sup> kN/m)
17.2	(3)	3.836
0.2	(1)	7.543
	(2)	3.712

第 4.3 表 解析モデルの諸元 (EW 方向) (1/5)

高さ G.L. (m)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)
17.2	9	1,220	12	550	16	550	20	720	24	720	28	720
11.325	8	2,130	11	780	15	520	19	760	23	590	27	610
8.2	—	/	—	/	14	600	—	/	22	690	—	/
4.2					—	18	670		—	26	750	
0.2	7	3,020	10	1,490	13	2,520	17	1,290	21	2,020	25	1,560

高さ G.L. (m)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)
17.2	31	720	35	720	38	720	42	600	45	600	48	1,430
11.325	30	760	34	610	37	760	41	540	44	680	47	2,360
8.2	—	/	—	/	—	/	—	/	—	/	—	/
4.2			33				760					
0.2	29	1,010	32	1,440	36	1,010	39	1,170	43	860	46	4,010

高さ G.L. (m)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性重量 ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )
0.2	3	5,070	4	7,940	5	7,940	6	6,650	—	/	—
-8.8	—	/	—	/	—	/	—	/	2		38,040
-10.8									1	14,740	441

第 4.4 表 解析モデルの諸元 (EW 方向) (2/5)

高さ G.L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
17.2	—	/		—	/		—	/	
11.325	⑧	7.300	207	⑪	1.000	0.14	⑮	1.00	0.14
8.2	⑦	7.300	205	⑩	1.000	0.14	⑭	1.00	0.14
4.2							⑬	1.81	1.18
0.2	⑥	10.76	305	⑨	1.630	0.32	⑫	2.91	4.25
-8.8	—	/		—	/		—	/	

高さ G.L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
17.2	—	/		—	/		—	/	
11.325	⑲	1.000	0.140	㉓	1.00	0.14	㉗	1.00	0.14
8.2	⑱	1.000	0.140	㉒	1.00	0.14	㉖	1.00	0.14
4.2									
0.2	⑰	1.930	1.77	⑳	2.91	4.25	㉕	1.00	0.25
-8.8	⑰	3.060	5.84	㉐	2.91	4.25	㉔	3.06	5.84
-8.8	—	/		—	/		—	/	



第 4.5 表 解析モデルの諸元 (EW 方向) (3/5)

高さ G. L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
17.2	—			—			—		
11.325	③⑩	1.00	0.14	③④	1.00	0.14	③⑦	1.00	0.14
8.2	②⑨	1.00	0.14	③③	1.00	0.14	③⑥	1.00	0.14
4.2				③②					
0.2	②⑧	1.63	0.32	③①	3.06	5.84	③⑤	1.63	0.32
-8.8	—			—			—		

高さ G. L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
17.2	—			—			—		
11.325	④①	1.00	0.14	④④	1.00	0.14	④⑦	7.30	207
8.2	④⑩	1.00	0.14	④③	1.00	0.14	④⑥	7.67	240
4.2	③⑨	1.00	0.25						
0.2	③⑧	3.06	5.84	④②	1.63	0.32	④⑤	11.86	405
-8.8	—			—			—		

第 4.6 表 解析モデルの諸元 (EW 方向) (4/5)

高さ G.L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
0.2	—			—			—			—		
-8.8	②	22.67	240	③	22.67	240	④	22.67	240	⑤	22.67	240
-10.8	①	615.6	1.85×10 <sup>4</sup>	—			—			—		
	—			—			—			—		

高さ G.L. (m)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
17.2	④⑨	0.0135	0.0107
	⑤⑩	0.0135	0.0111
	⑥⑪	0.0135	0.0111
	⑦⑫	0.0135	0.0111
	⑧⑬	0.0135	0.0111
0.2	④⑧	0.875	0.295

第 4.7 表 解析モデルの諸元(EW 方向) (5/5)

高さ G. L. (m)	部材 番号	水平ばね (kN/m)
17.2	(22)	$4.303 \times 10^6$
	(23)	$4.303 \times 10^6$
	(24)	$2.654 \times 10^6$
	(25)	$2.654 \times 10^6$
	(26)	$2.654 \times 10^6$
	(27)	$2.654 \times 10^6$
	(28)	$2.654 \times 10^6$
	(29)	$2.654 \times 10^6$
	(30)	$2.654 \times 10^6$
	(31)	$2.654 \times 10^6$
	(32)	$3.388 \times 10^6$
	(33)	$3.388 \times 10^6$
0.2	(1)	$6.455 \times 10^6$
	(2)	$6.455 \times 10^6$
	(3)	$6.634 \times 10^6$
	(4)	$6.634 \times 10^6$
	(5)	$6.634 \times 10^6$
	(6)	$1.311 \times 10^6$
	(7)	$2.352 \times 10^7$
	(8)	$1.311 \times 10^6$
	(9)	$2.297 \times 10^7$
	(10)	$2.297 \times 10^7$
	(11)	$5.782 \times 10^5$
	(12)	$2.352 \times 10^7$
	(13)	$5.782 \times 10^5$
	(14)	$1.170 \times 10^7$
	(15)	$2.297 \times 10^7$
	(16)	$8.024 \times 10^5$
	(17)	$4.233 \times 10^7$
	(18)	$8.024 \times 10^5$
(19)	$4.563 \times 10^6$	
(20)	$4.563 \times 10^6$	
(21)	$4.563 \times 10^6$	

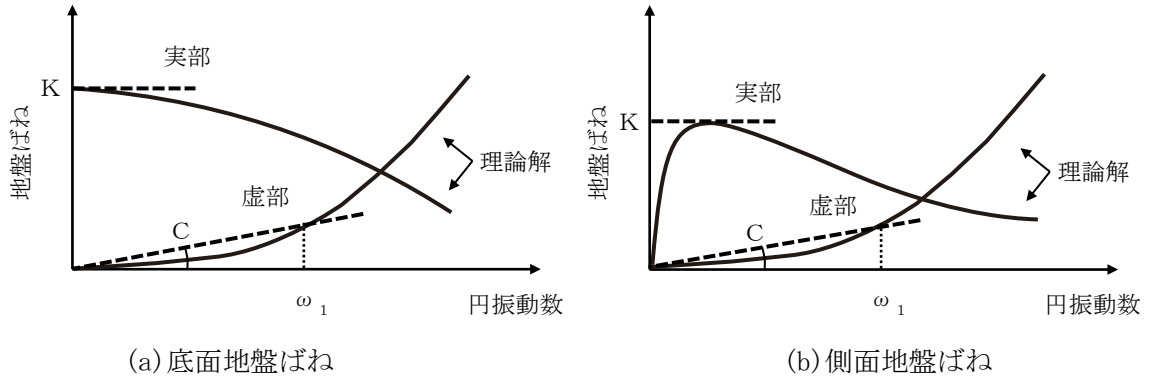
第 4.8 表 地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、1/2Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	側面	水平	KH2	$5.054 \times 10^5$	$7.152 \times 10^4$
			KH1	$5.054 \times 10^5$	$7.152 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.194 \times 10^7$	$2.792 \times 10^6$
			KR1	$6.194 \times 10^7$	$2.792 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.250 \times 10^7$	$4.514 \times 10^5$
		回転	KR	$6.412 \times 10^9$	$4.280 \times 10^7$
1/2Sd-1	側面	水平	KH2	$5.015 \times 10^5$	$7.129 \times 10^4$
			KH1	$5.015 \times 10^5$	$7.129 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.146 \times 10^7$	$2.785 \times 10^6$
			KR1	$6.146 \times 10^7$	$2.785 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.271 \times 10^7$	$4.535 \times 10^5$
		回転	KR	$6.471 \times 10^9$	$4.297 \times 10^7$
1/2Sd-2	側面	水平	KH2	$4.976 \times 10^5$	$7.105 \times 10^4$
			KH1	$4.976 \times 10^5$	$7.105 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.098 \times 10^7$	$2.777 \times 10^6$
			KR1	$6.098 \times 10^7$	$2.777 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.283 \times 10^7$	$4.547 \times 10^5$
		回転	KR	$6.533 \times 10^9$	$4.306 \times 10^7$
1/2Sd-3	側面	水平	KH2	$4.821 \times 10^5$	$6.999 \times 10^4$
			KH1	$4.821 \times 10^5$	$6.999 \times 10^4$
		回転	KR2	$5.909 \times 10^7$	$2.737 \times 10^6$
			KR1	$5.909 \times 10^7$	$2.737 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.222 \times 10^7$	$4.486 \times 10^5$
		回転	KR	$6.347 \times 10^9$	$4.263 \times 10^7$
1/2Sd-4	側面	水平	KH2	$5.093 \times 10^5$	$7.185 \times 10^4$
			KH1	$5.093 \times 10^5$	$7.185 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.242 \times 10^7$	$2.807 \times 10^6$
			KR1	$6.242 \times 10^7$	$2.807 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.315 \times 10^7$	$4.578 \times 10^5$
		回転	KR	$6.609 \times 10^9$	$4.331 \times 10^7$
1/2Sd-5	側面	水平	KH2	$5.291 \times 10^5$	$7.325 \times 10^4$
			KH1	$5.291 \times 10^5$	$7.325 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.485 \times 10^7$	$2.862 \times 10^6$
			KR1	$6.485 \times 10^7$	$2.862 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.434 \times 10^7$	$4.694 \times 10^5$
		回転	KR	$6.956 \times 10^9$	$4.425 \times 10^7$

第 4.9 表 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、1/2Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	側面	水平	KH2	$5.054 \times 10^5$	$7.045 \times 10^4$
			KH1	$5.054 \times 10^5$	$7.045 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.194 \times 10^7$	$2.583 \times 10^6$
			KR1	$6.194 \times 10^7$	$2.583 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.360 \times 10^7$	$4.940 \times 10^5$
		回転	KR	$2.969 \times 10^9$	$7.426 \times 10^6$
1/2Sd-1	側面	水平	KH2	$5.015 \times 10^5$	$7.018 \times 10^4$
			KH1	$5.015 \times 10^5$	$7.018 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.146 \times 10^7$	$2.578 \times 10^6$
			KR1	$6.146 \times 10^7$	$2.578 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.382 \times 10^7$	$4.962 \times 10^5$
		回転	KR	$2.996 \times 10^9$	$7.442 \times 10^6$
1/2Sd-2	側面	水平	KH2	$4.976 \times 10^5$	$6.991 \times 10^4$
			KH1	$4.976 \times 10^5$	$6.991 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.098 \times 10^7$	$2.573 \times 10^6$
			KR1	$6.098 \times 10^7$	$2.573 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.395 \times 10^7$	$4.976 \times 10^5$
		回転	KR	$3.025 \times 10^9$	$7.456 \times 10^6$
1/2Sd-3	側面	水平	KH2	$4.821 \times 10^5$	$6.882 \times 10^4$
			KH1	$4.821 \times 10^5$	$6.882 \times 10^4$
		回転	KR2	$5.909 \times 10^7$	$2.538 \times 10^6$
			KR1	$5.909 \times 10^7$	$2.538 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.330 \times 10^7$	$4.909 \times 10^5$
		回転	KR	$2.939 \times 10^9$	$7.414 \times 10^6$
1/2Sd-4	側面	水平	KH2	$5.093 \times 10^5$	$7.072 \times 10^4$
			KH1	$5.093 \times 10^5$	$7.072 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.242 \times 10^7$	$2.597 \times 10^6$
			KR1	$6.242 \times 10^7$	$2.597 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.429 \times 10^7$	$5.010 \times 10^5$
		回転	KR	$3.060 \times 10^9$	$7.466 \times 10^6$
1/2Sd-5	側面	水平	KH2	$5.291 \times 10^5$	$7.209 \times 10^4$
			KH1	$5.291 \times 10^5$	$7.209 \times 10^4$
		回転	KR2	$6.485 \times 10^7$	$2.640 \times 10^6$
			KR1	$6.485 \times 10^7$	$2.640 \times 10^6$
	底面	水平	KS	$2.553 \times 10^7$	$5.134 \times 10^5$
		回転	KR	$3.221 \times 10^9$	$7.498 \times 10^6$

$\omega_1$  : 地盤-建家連成系 1 次固有円振動数  
 K : ばね定数  
 C : 減衰係数



第 4.3 図 地盤ばねの定式化の概要

#### 4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多軸多質点系モデルとする。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

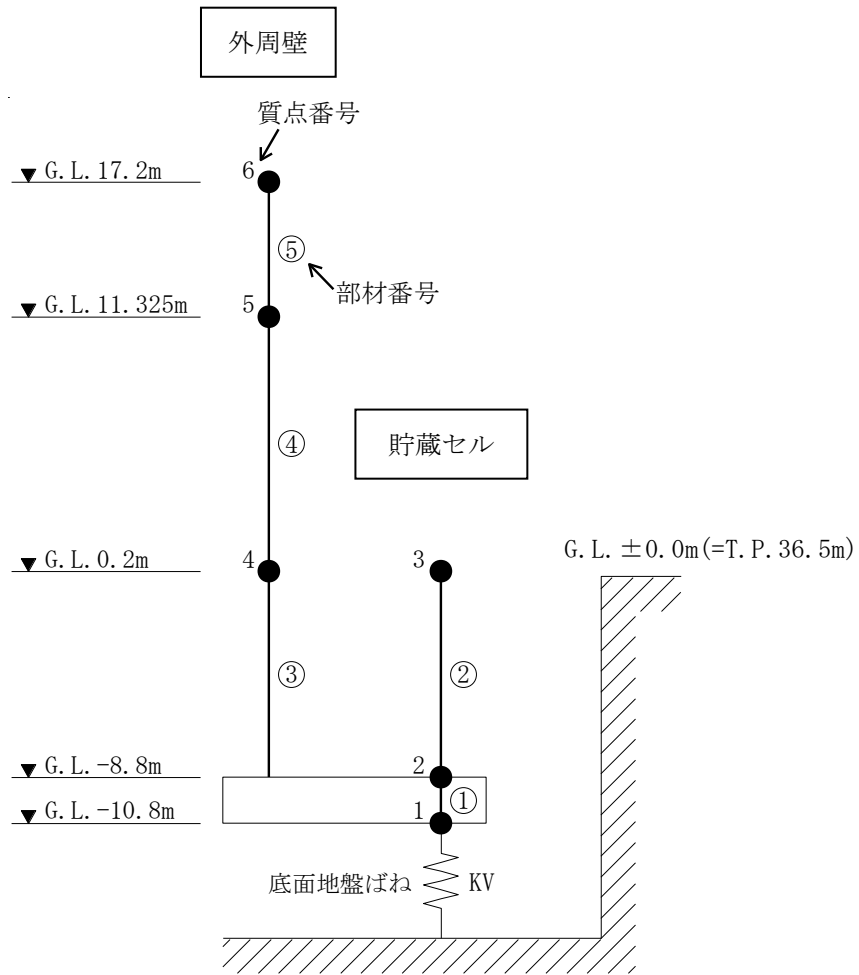
鉛直方向の解析モデルを第 4.4 図に、解析モデルの諸元を第 4.10 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「GRIMP2(清水建設株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.11 表に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.4 図 解析モデル(鉛直方向)



第 4.10 表 解析モデルの諸元(鉛直方向)

高さ G. L. (m)	質点 番号	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m <sup>2</sup> )	質点 番号	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m <sup>2</sup> )
17.2	6	9,200	—					
			⑤	41.84	—		—	
11.325	5	12,800	④	42.77				
0.2	4	23,900	③	60.30	3	27,600	②	130.5
-8.8					2	38,040	①	615.6
-10.8	—		—		1	14,740	—	

第 4.11 表 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、1/2Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	底面	鉛直	KV	$3.134 \times 10^7$	$9.590 \times 10^5$
1/2Sd-1	底面	鉛直	KV	$3.214 \times 10^7$	$9.710 \times 10^5$
1/2Sd-2	底面	鉛直	KV	$3.261 \times 10^7$	$9.781 \times 10^5$
1/2Sd-3	底面	鉛直	KV	$3.199 \times 10^7$	$9.688 \times 10^5$
1/2Sd-4	底面	鉛直	KV	$3.295 \times 10^7$	$9.830 \times 10^5$
1/2Sd-5	底面	鉛直	KV	$3.477 \times 10^7$	$1.010 \times 10^6$

## 5. 解析結果

### 5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を第 5.1 表から第 5.6 表に示す。刺激関数を  $1/2Sd-D$  の結果を代表として、第 5.1 図～第 5.8 図に示す。

第 5.1 表 固有値解析結果(1/2Sd-D)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.196	5.09	1.569	全体 1 次
	2	0.097	10.36	-0.628	
	3	0.061	16.44	0.045	
	4	0.059	16.90	0.020	
	5	0.036	27.66	0.007	
	6	0.033	30.71	0.037	
	7	0.029	34.11	-0.066	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.274	3.64	2.291	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.096	
	3	0.199	5.03	-0.240	
	4	0.195	5.12	-1.162	
	5	0.187	5.34	-1.247	
	6	0.170	5.88	-0.143	
	7	0.169	5.93	0.346	
	8	0.164	6.08	0.586	
	9	0.159	6.29	-0.398	
	10	0.153	6.54	0.456	
	11	0.139	7.21	-1.994	
	12	0.119	8.43	-1.278	全体 2 次
UD	1	0.131	7.66	1.110	全体 1 次
	2	0.037	26.98	-0.116	
	3	0.019	52.40	-0.002	
	4	0.014	70.56	-0.019	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	403.99	0.002	

第 5.2 表 固有値解析結果(1/2Sd-1)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.196	5.11	1.571	全体 1 次
	2	0.096	10.40	-0.631	
	3	0.061	16.46	0.047	
	4	0.059	16.90	0.021	
	5	0.036	27.66	0.006	
	6	0.033	30.71	0.037	
	7	0.029	34.11	-0.067	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.274	3.65	2.295	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.096	
	3	0.199	5.03	-0.239	
	4	0.195	5.12	-1.161	
	5	0.187	5.34	-1.250	
	6	0.170	5.88	-0.142	
	7	0.169	5.93	0.345	
	8	0.164	6.08	0.587	
	9	0.159	6.29	-0.396	
	10	0.153	6.54	0.454	
	11	0.139	7.22	-1.980	
	12	0.118	8.44	-1.280	全体 2 次
UD	1	0.129	7.75	1.113	全体 1 次
	2	0.037	26.99	-0.119	
	3	0.019	52.40	-0.002	
	4	0.014	70.58	-0.020	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	404.00	0.002	

第 5.3 表 固有値解析結果(1/2Sd-2)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.195	5.12	1.572	全体 1 次
	2	0.096	10.43	-0.633	
	3	0.061	16.48	0.048	
	4	0.059	16.91	0.021	
	5	0.036	27.66	0.006	
	6	0.033	30.71	0.037	
	7	0.029	34.12	-0.067	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.273	3.66	2.300	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.096	
	3	0.199	5.03	-0.239	
	4	0.195	5.12	-1.162	
	5	0.187	5.34	-1.255	
	6	0.170	5.88	-0.142	
	7	0.169	5.93	0.345	
	8	0.164	6.08	0.588	
	9	0.159	6.29	-0.396	
	10	0.153	6.54	0.453	
	11	0.138	7.22	-1.973	
	12	0.118	8.45	-1.280	全体 2 次
UD	1	0.128	7.81	1.115	全体 1 次
	2	0.037	27.00	-0.120	
	3	0.019	52.40	-0.003	
	4	0.014	70.58	-0.020	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	404.01	0.002	

第 5.4 表 固有値解析結果(1/2Sd-3)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.197	5.07	1.568	全体 1 次
	2	0.097	10.31	-0.625	
	3	0.061	16.42	0.044	
	4	0.059	16.90	0.019	
	5	0.036	27.66	0.007	
	6	0.033	30.70	0.036	
	7	0.029	34.10	-0.065	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.275	3.63	2.285	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.097	
	3	0.199	5.03	-0.242	
	4	0.195	5.12	-1.163	
	5	0.187	5.34	-1.243	
	6	0.170	5.88	-0.144	
	7	0.169	5.93	0.347	
	8	0.164	6.08	0.586	
	9	0.159	6.29	-0.400	
	10	0.153	6.54	0.460	
	11	0.139	7.21	-2.020	
	12	0.119	8.41	-1.276	全体 2 次
UD	1	0.129	7.74	1.113	全体 1 次
	2	0.037	26.99	-0.118	
	3	0.019	52.40	-0.002	
	4	0.014	70.57	-0.020	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	404.00	0.002	

第 5.5 表 固有値解析結果(1/2Sd-4)

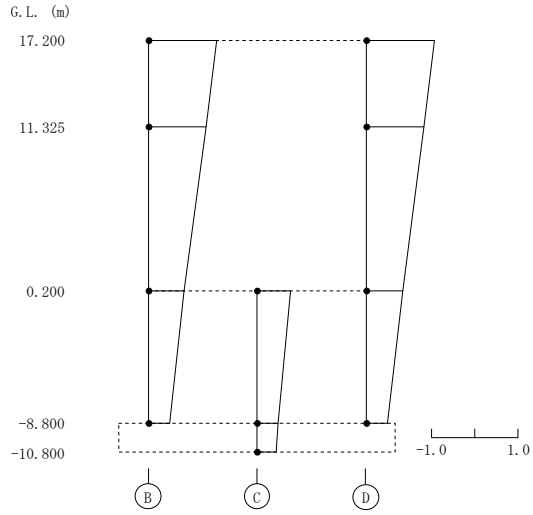
方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.194	5.15	1.574	全体 1 次
	2	0.095	10.49	-0.637	
	3	0.061	16.50	0.050	
	4	0.059	16.91	0.023	
	5	0.036	27.66	0.006	
	6	0.033	30.71	0.038	
	7	0.029	34.13	-0.068	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.272	3.67	2.306	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.095	
	3	0.199	5.03	-0.237	
	4	0.195	5.13	-1.161	
	5	0.187	5.34	-1.259	
	6	0.170	5.88	-0.141	
	7	0.169	5.93	0.344	
	8	0.164	6.09	0.589	
	9	0.159	6.29	-0.394	
	10	0.153	6.54	0.450	
	11	0.138	7.23	-1.947	
	12	0.118	8.48	-1.282	全体 2 次
UD	1	0.127	7.84	1.116	全体 1 次
	2	0.037	27.00	-0.122	
	3	0.019	52.40	-0.003	
	4	0.014	70.59	-0.020	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	404.02	0.002	

第 5.6 表 固有値解析結果(1/2Sd-5)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.190	5.26	1.581	全体 1 次
	2	0.093	10.71	-0.651	
	3	0.060	16.61	0.060	
	4	0.059	16.91	0.033	
	5	0.036	27.67	0.006	
	6	0.033	30.72	0.039	
	7	0.029	34.17	-0.070	
	8	0.021	48.39	-0.004	
EW	1	0.269	3.71	2.331	全体 1 次
	2	0.199	5.02	-0.092	
	3	0.199	5.03	-0.232	
	4	0.195	5.13	-1.159	
	5	0.187	5.35	-1.281	
	6	0.170	5.88	-0.139	
	7	0.169	5.93	0.341	
	8	0.164	6.09	0.594	
	9	0.159	6.29	-0.388	
	10	0.153	6.54	0.440	
	11	0.138	7.26	-1.867	
	12	0.117	8.56	-1.286	全体 2 次
UD	1	0.124	8.05	1.123	全体 1 次
	2	0.037	27.03	-0.128	
	3	0.019	52.40	-0.003	
	4	0.014	70.62	-0.021	
	5	0.011	91.52	-0.001	
	6	0.002	404.04	0.003	

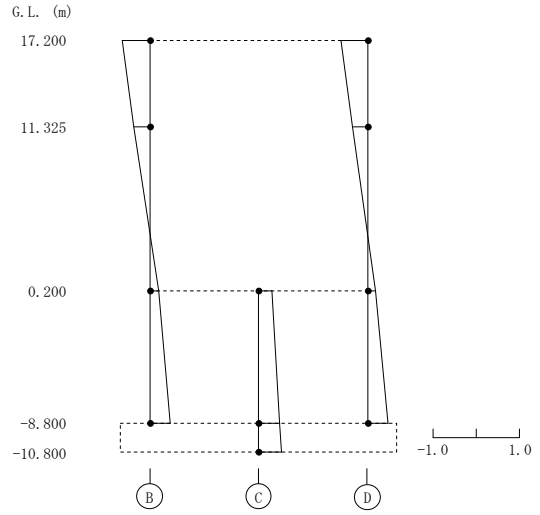


NS方向 1/2Sd-D 1次



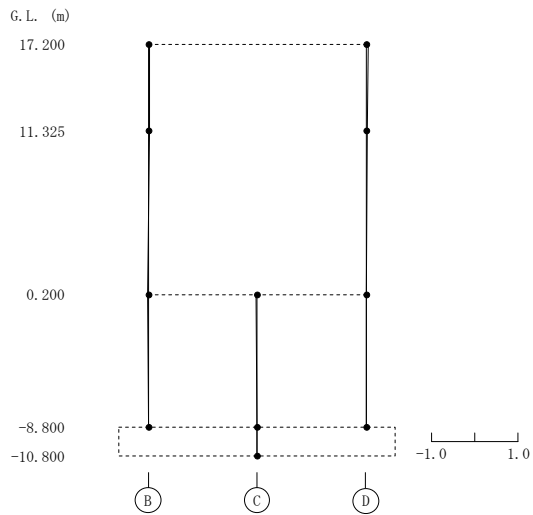
(1次)

NS方向 1/2Sd-D 2次



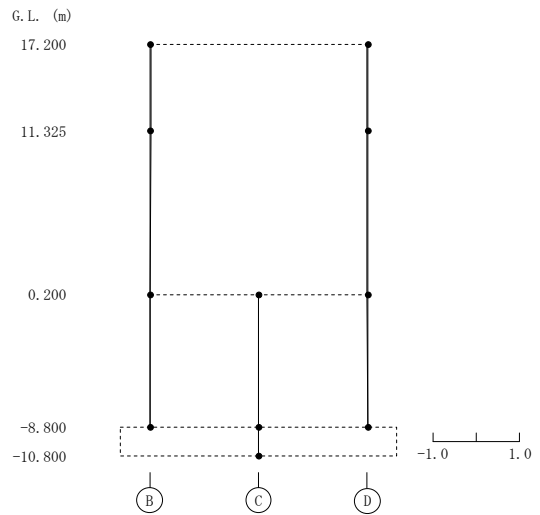
(2次)

NS方向 1/2Sd-D 3次



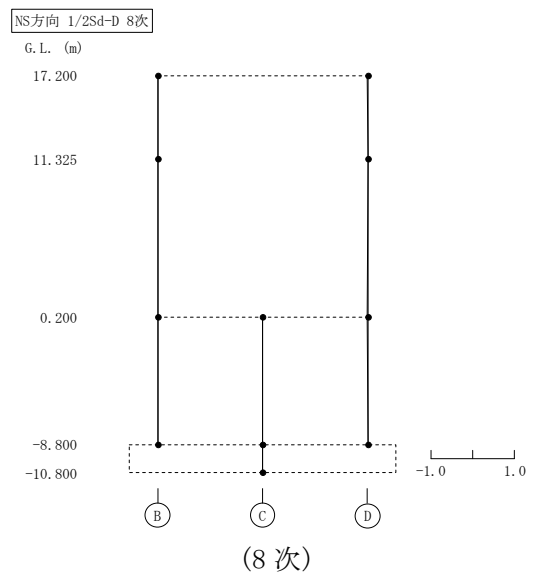
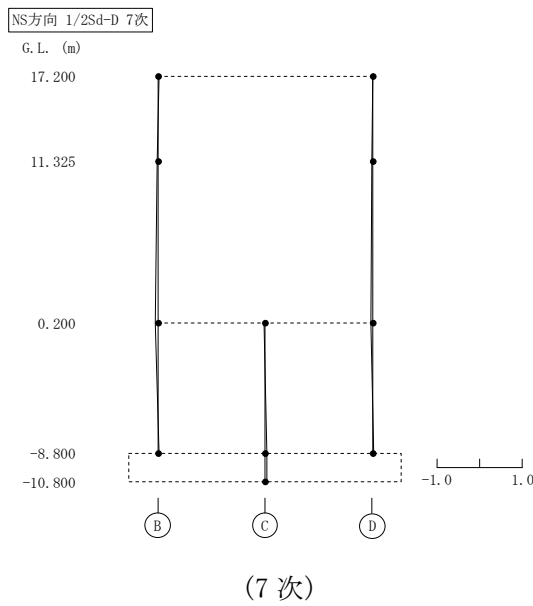
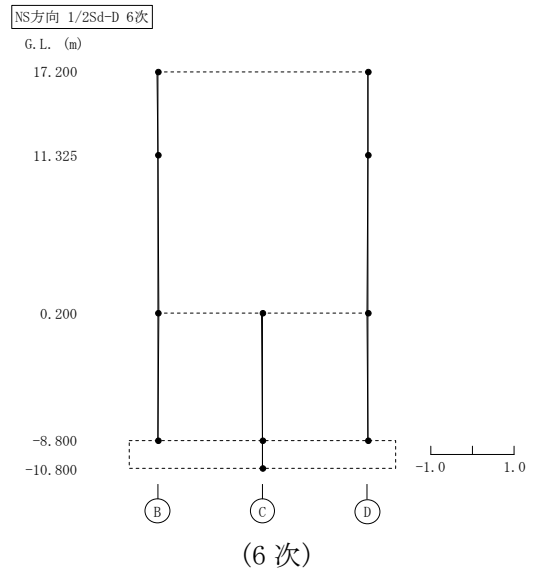
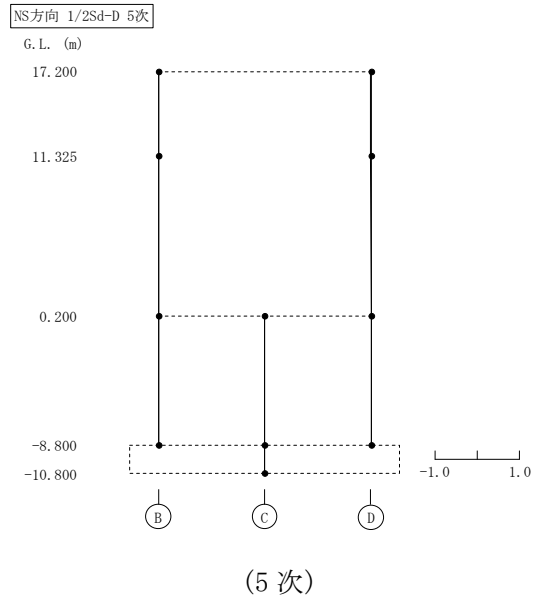
(3次)

NS方向 1/2Sd-D 4次



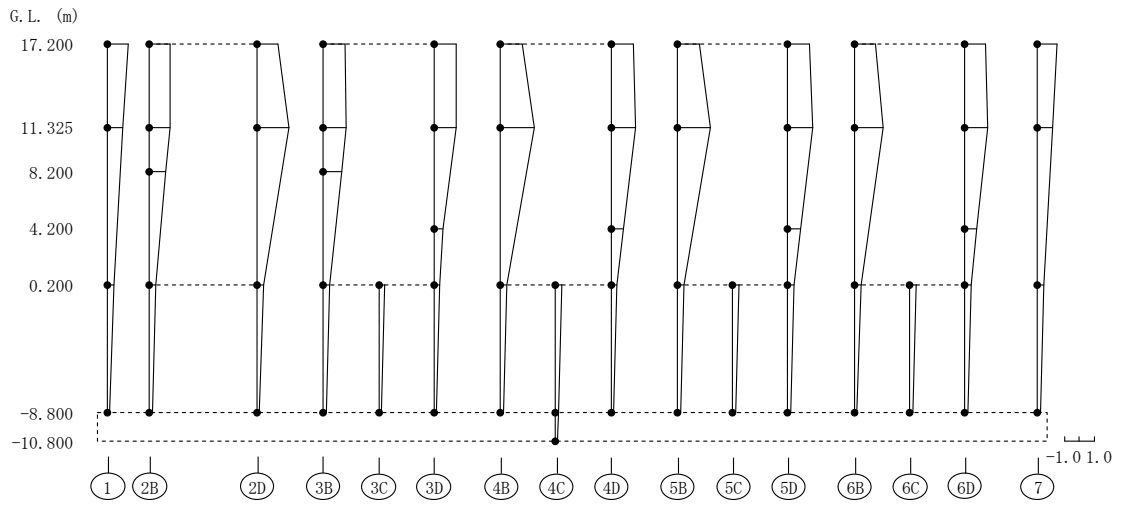
(4次)

第 5.1 図 刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、1~4 次)



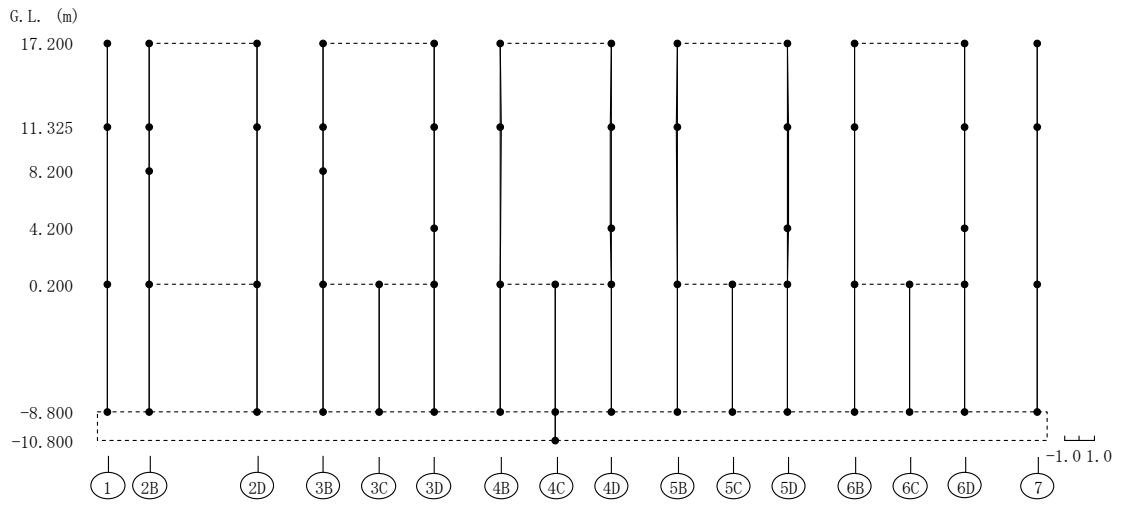
第 5.2 図 刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、5~8 次)

EW方向 1/2Sd-D 1次



(1次)

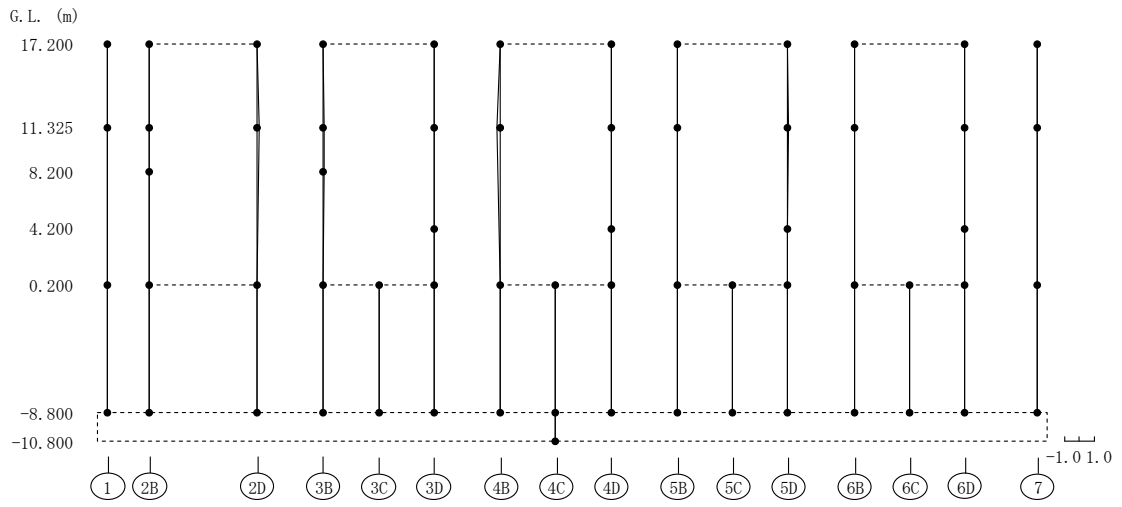
EW方向 1/2Sd-D 2次



(2次)

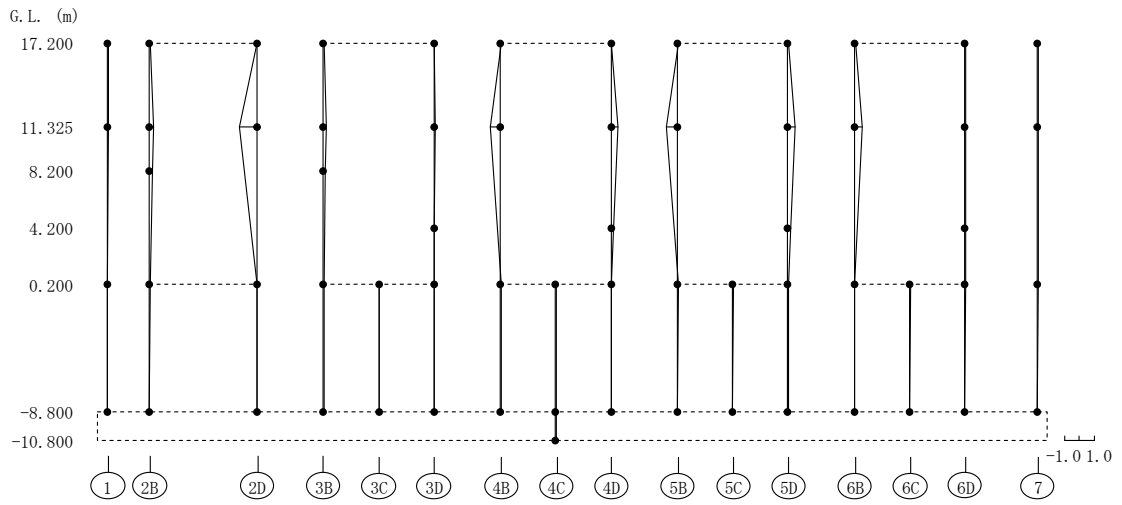
第 5.3 図 刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、1次及び2次)

EW方向 1/2Sd-D 3次



(3次)

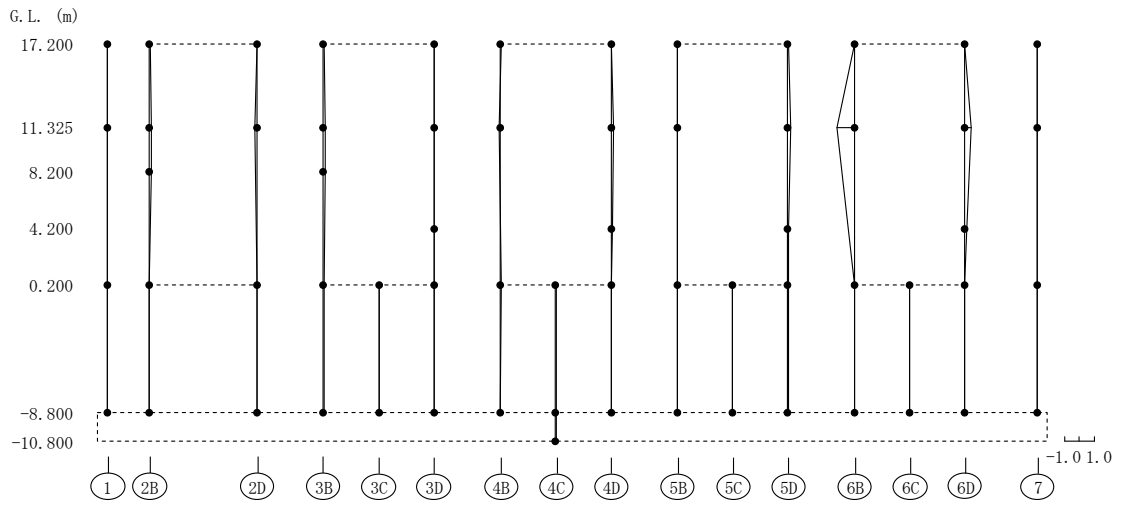
EW方向 1/2Sd-D 4次



(4次)

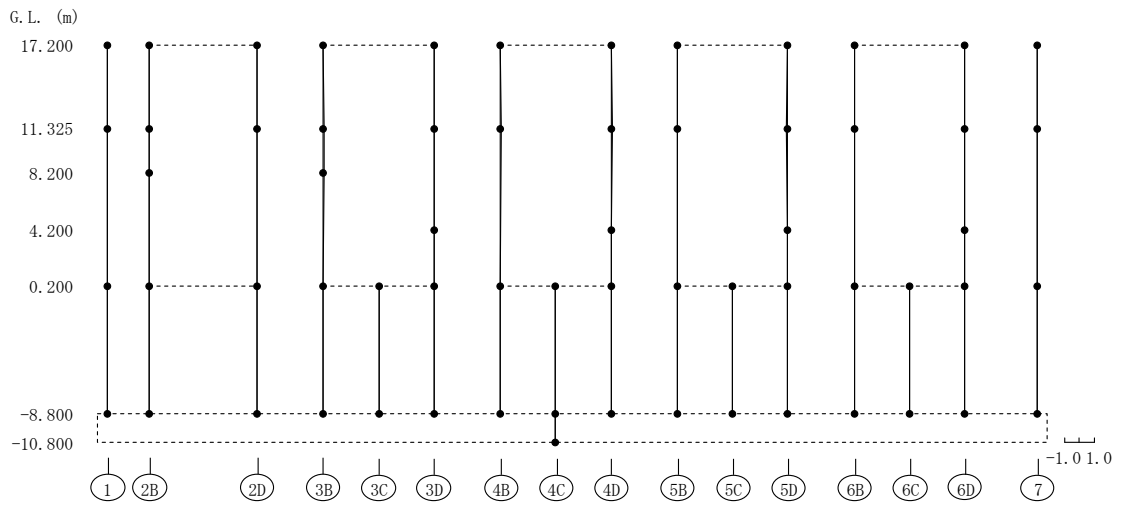
第 5.4 図 刺激関数 (EW 方向、1/2Sd-D、3 次及び 4 次)

EW方向 1/2Sd-D 5次



(5次)

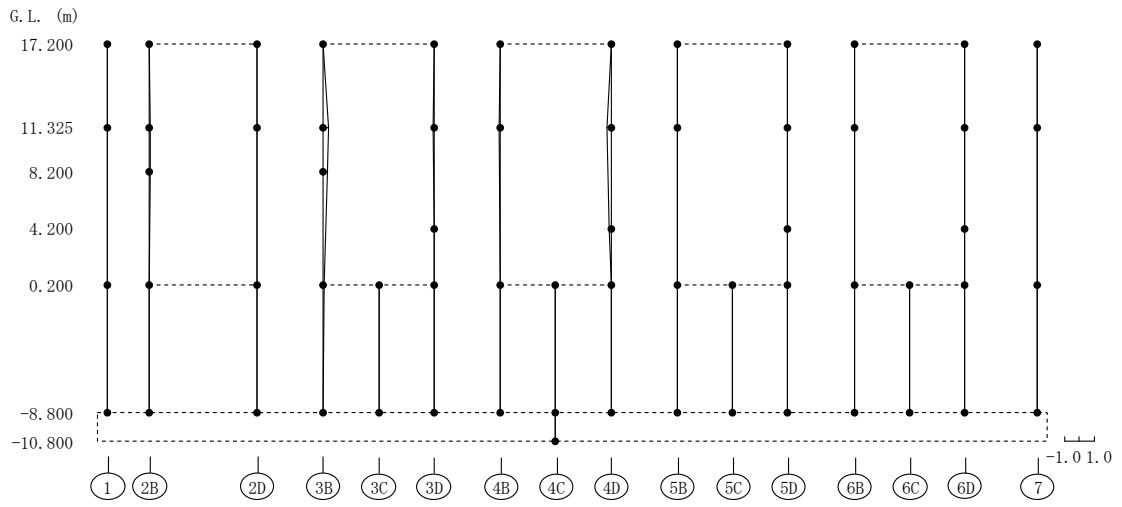
EW方向 1/2Sd-D 6次



(6次)

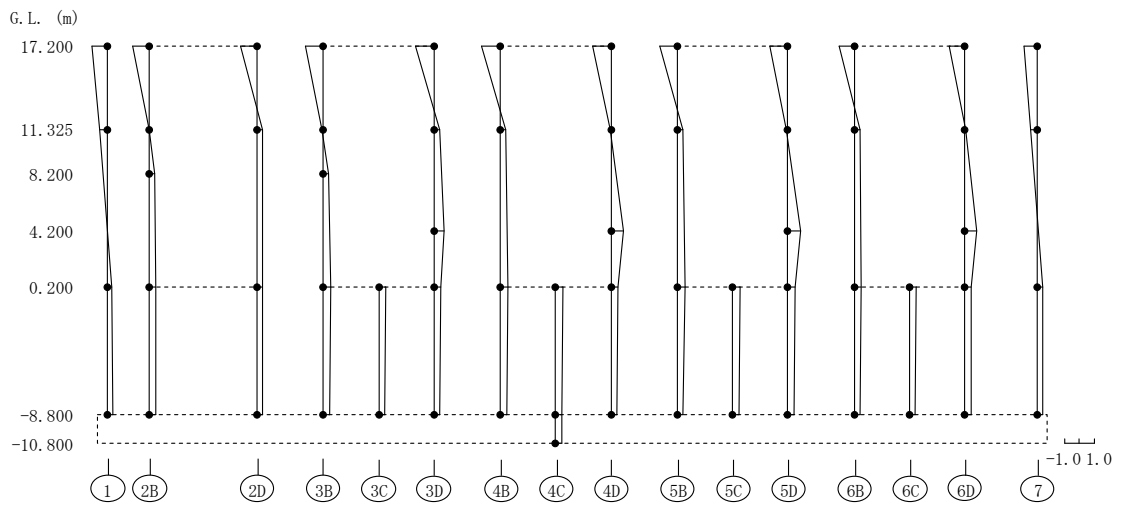
第 5.5 図 刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、5 次及び 6 次)

EW方向 1/2Sd-D 7次



(7次)

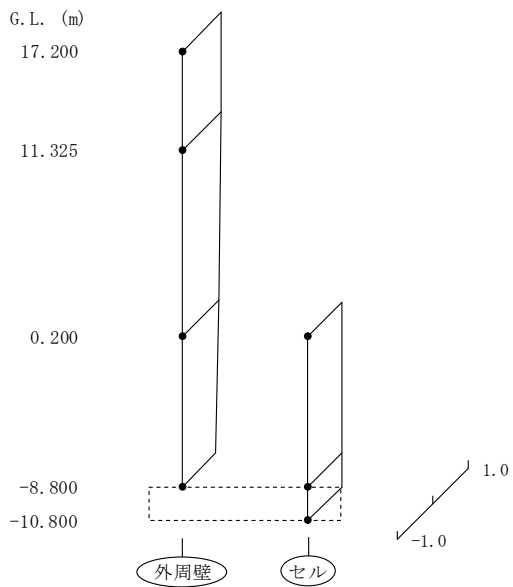
EW方向 1/2Sd-D 12次



(12次)

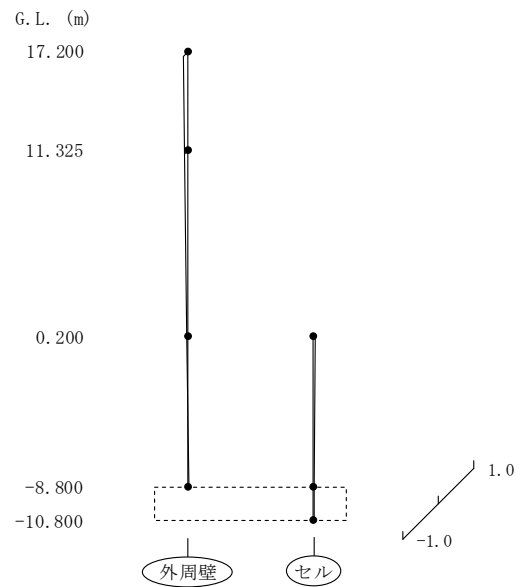
第 5.6 図 刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、7 次及び 12 次)

UD方向 1/2Sd-D 1次



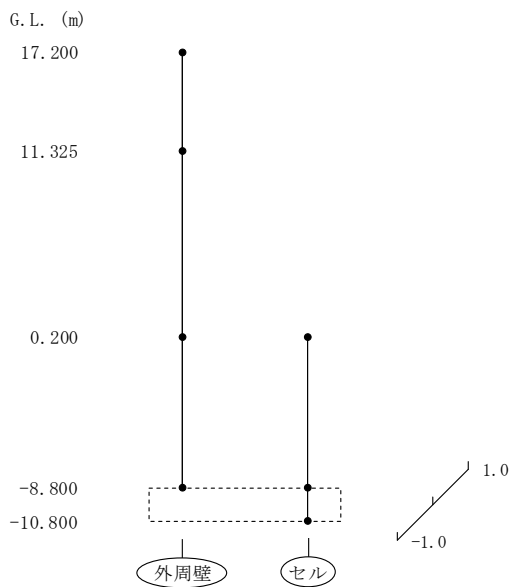
(1次)

UD方向 1/2Sd-D 2次



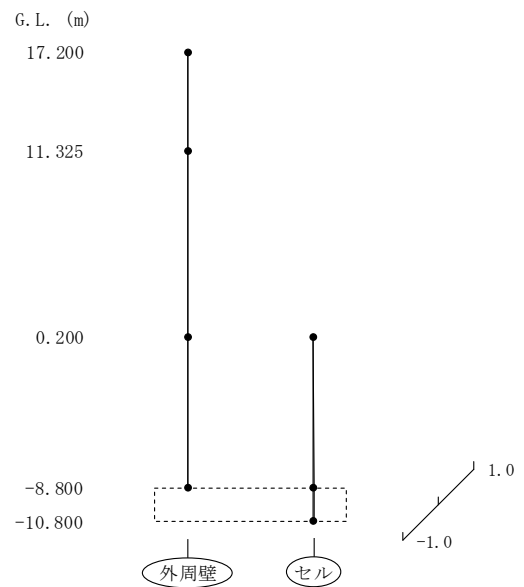
(2次)

UD方向 1/2Sd-D 3次



(3次)

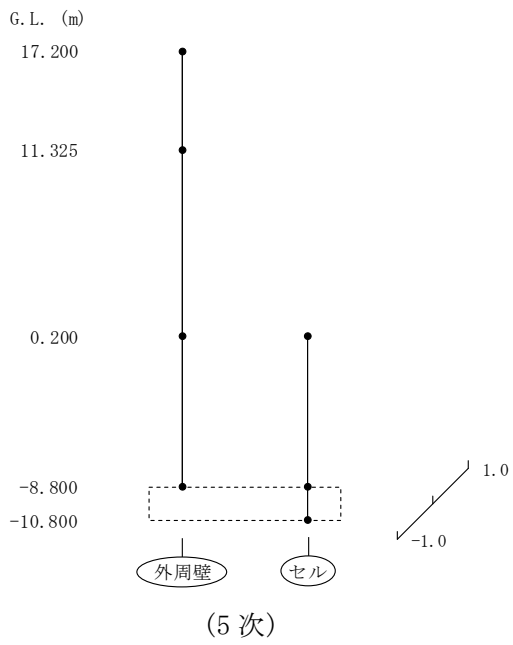
UD方向 1/2Sd-D 4次



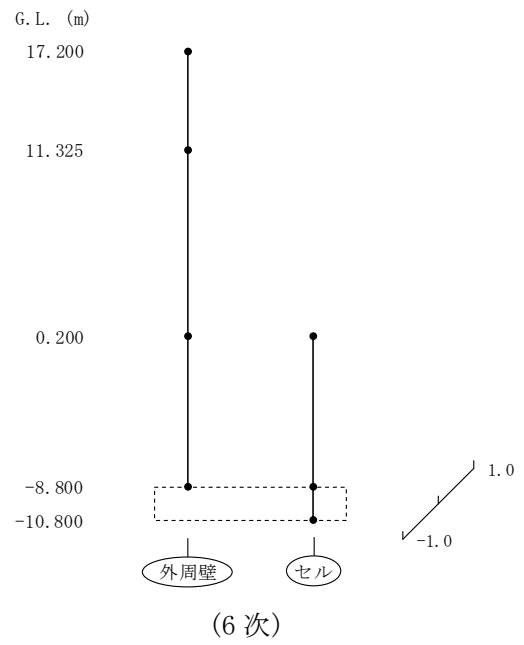
(4次)

第 5.7 図 刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、1~4 次)

UD方向 1/2Sd-D 5次



UD方向 1/2Sd-D 6次



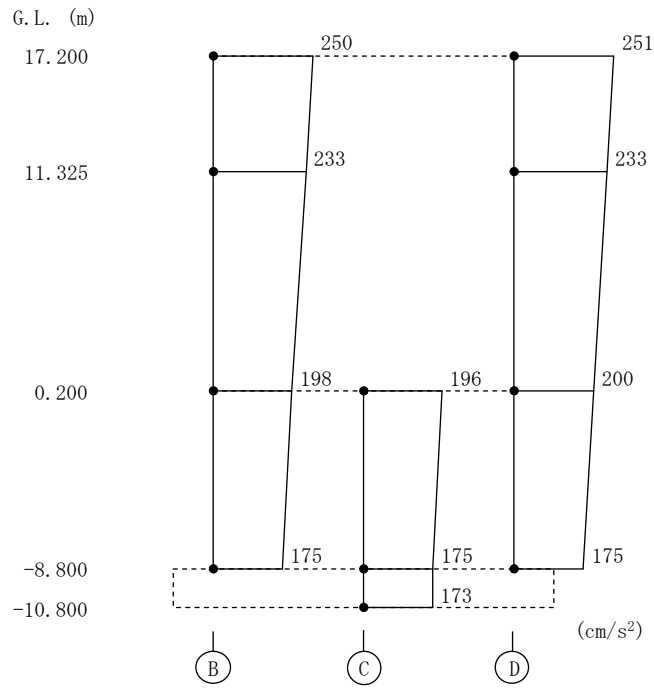
第 5.8 図 刺激関数 (UD 方向、1/2Sd-D、5 次及び 6 次)



## 5.2 地震応答解析結果

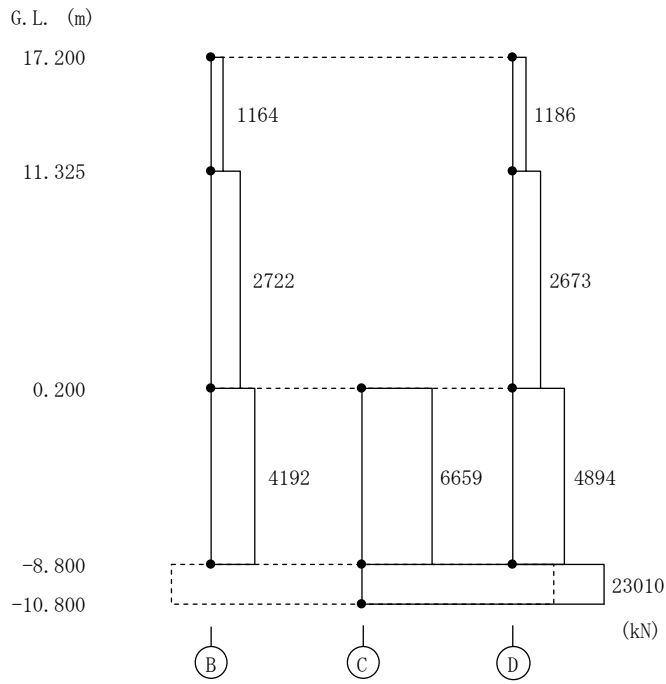
共振検討用地震動 1/2Sd による水平方向の最大応答加速度、せん断力及び曲げモーメントを第 5.9 図から第 5.44 図に、鉛直方向の最大応答加速度及び軸力を第 5.45 図から第 5.56 図に示す。

NS方向 1/2Sd-D



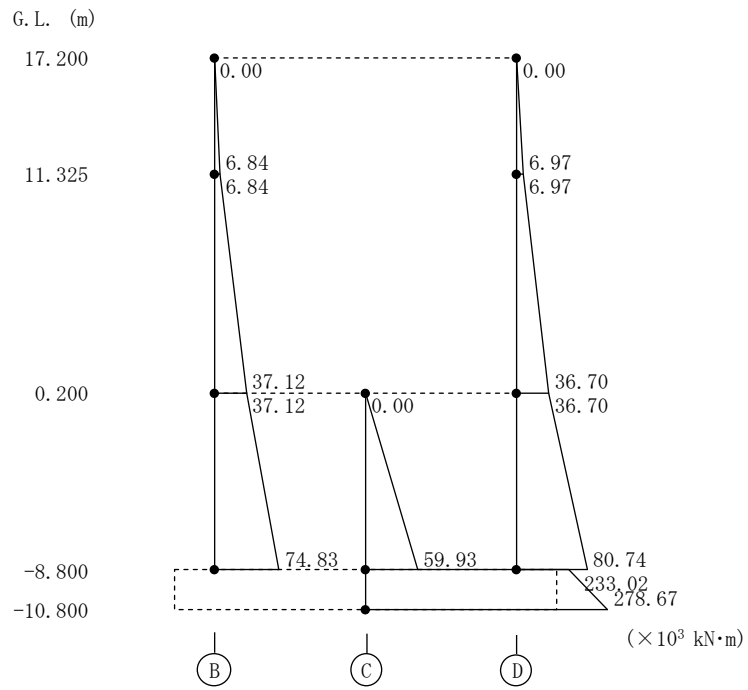
第 5.9 図 最大応答加速度 (NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-D



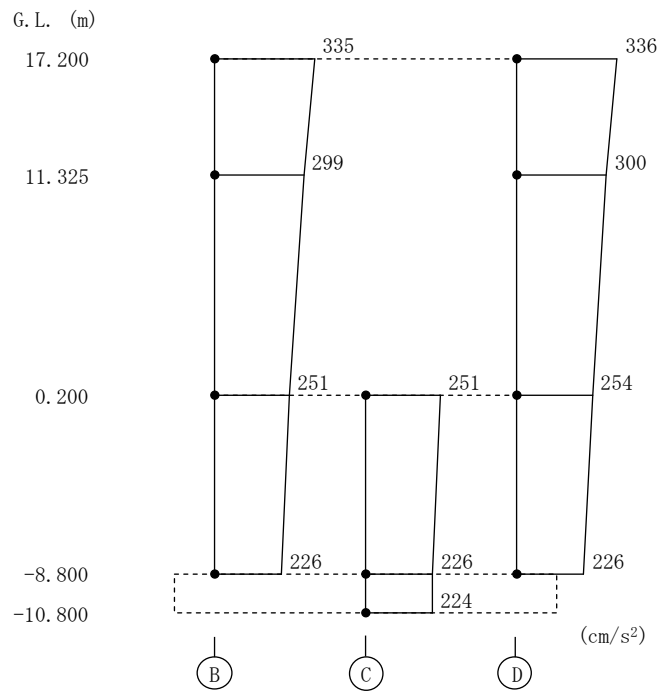
第 5.10 図 最大応答せん断力 (NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-D



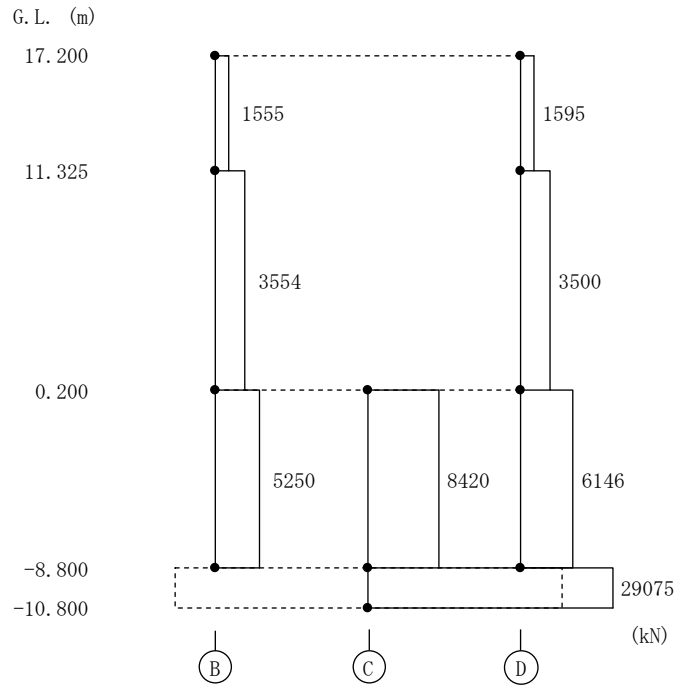
第 5.11 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-1



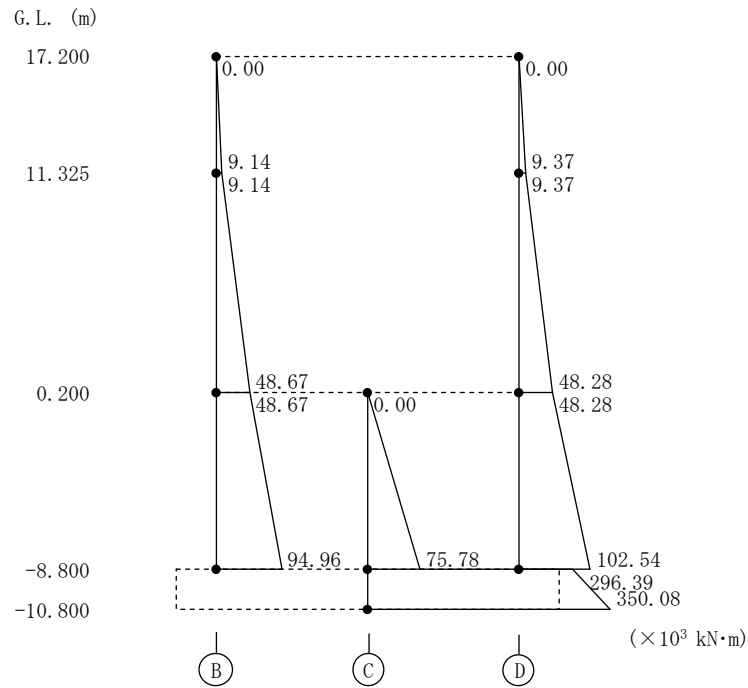
第 5.12 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-1



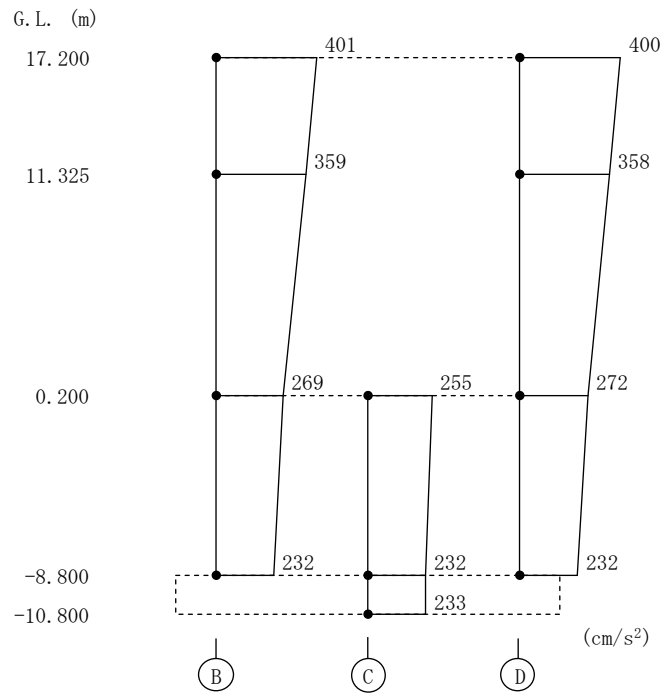
第 5.13 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-1



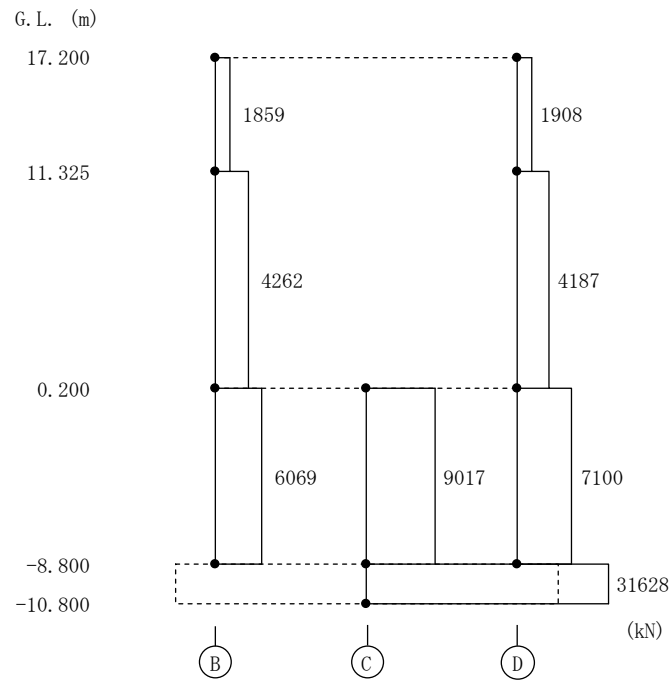
第 5.14 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-2



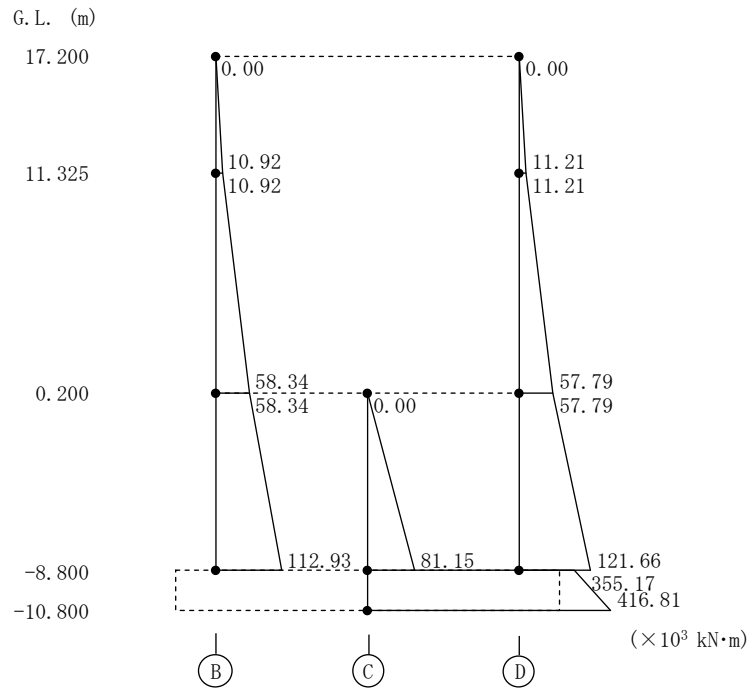
第 5.15 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-2)

NS方向 1/2Sd-2



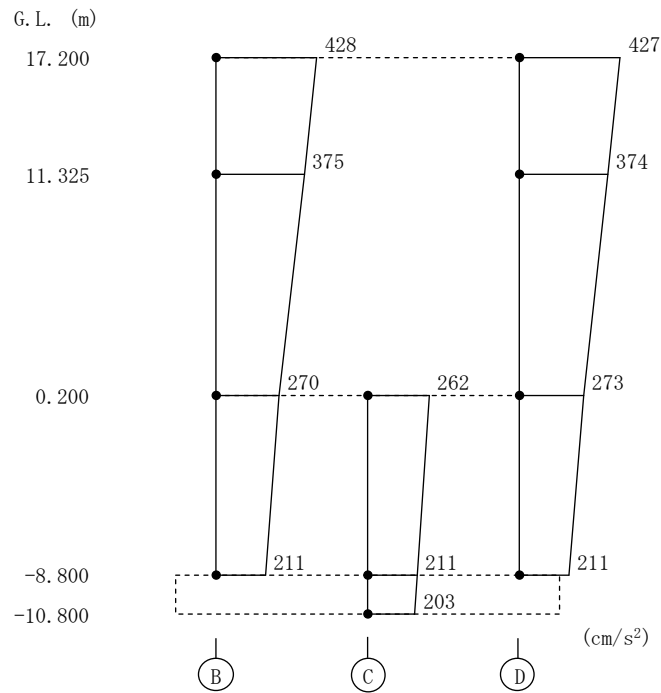
第 5.16 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-2)

NS方向 1/2Sd-2



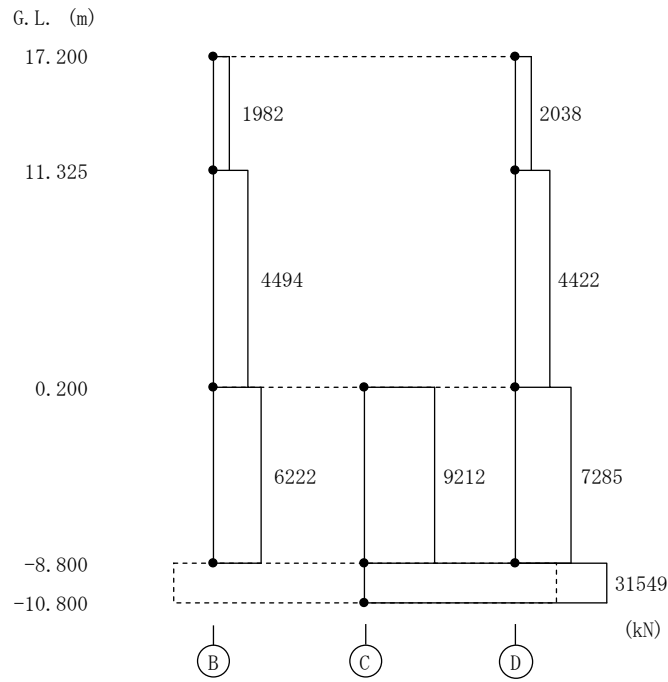
第 5.17 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-2)

NS方向 1/2Sd-3



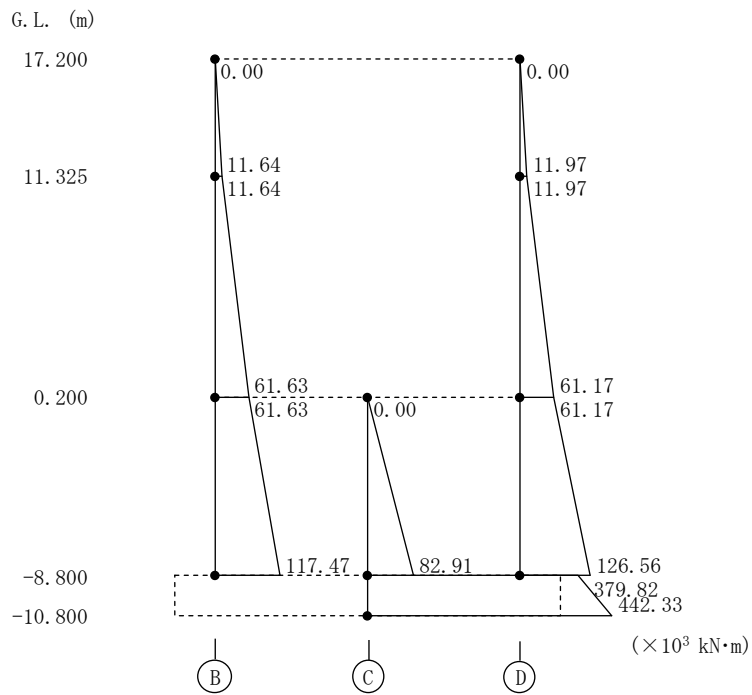
第 5.18 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-3



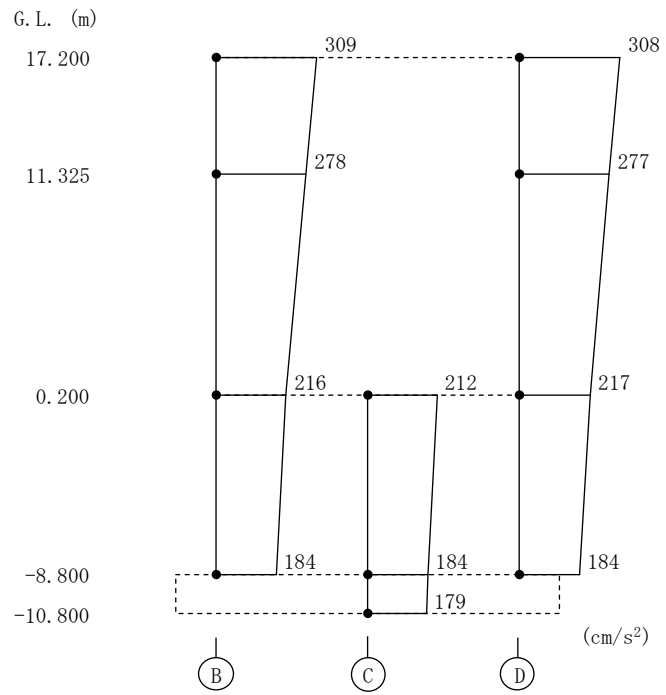
第 5.19 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-3



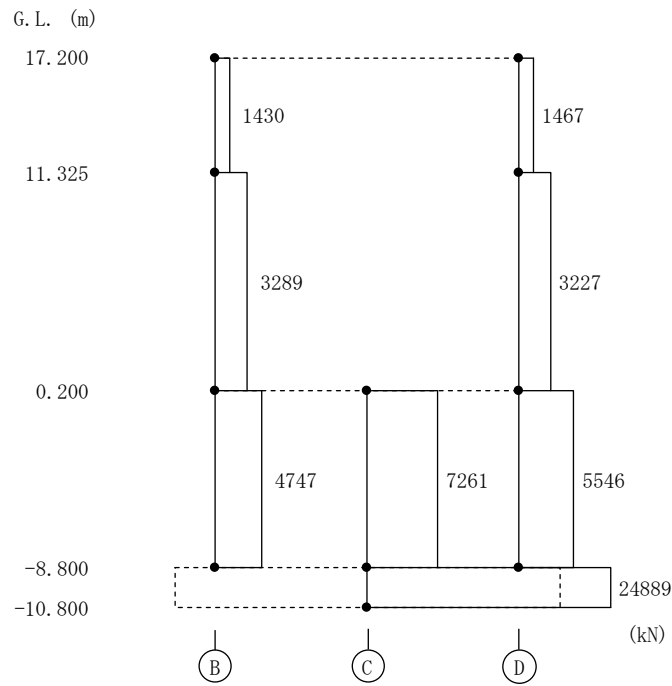
第 5.20 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-4



第 5.21 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-4)

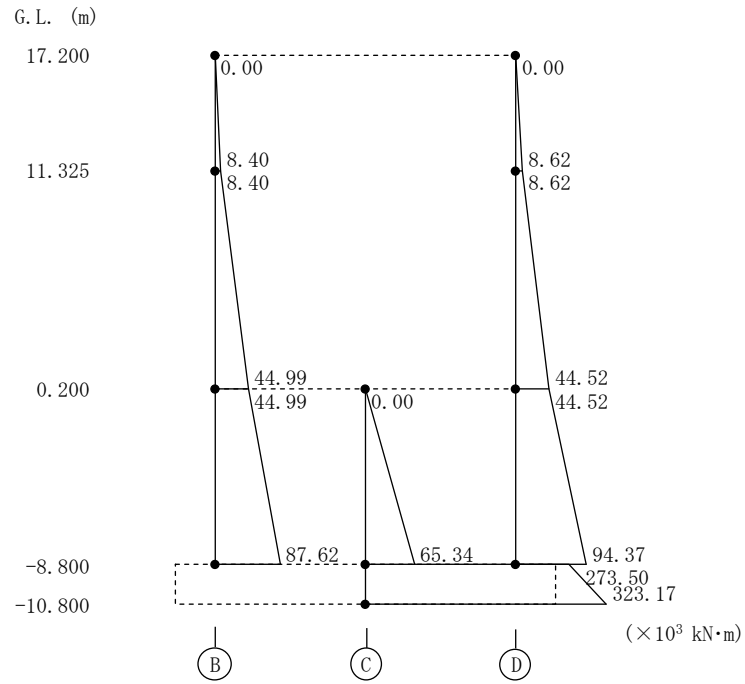
NS方向 1/2Sd-4



第 5.22 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-4)

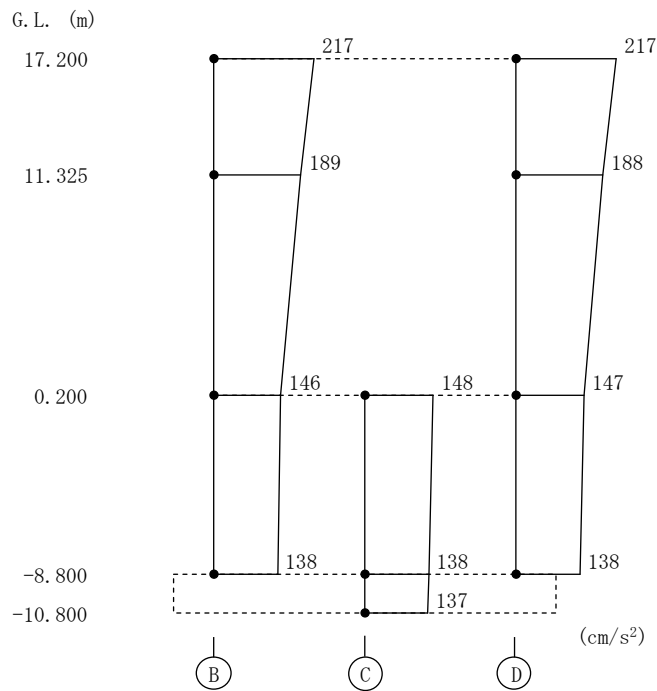


NS方向 1/2Sd-4



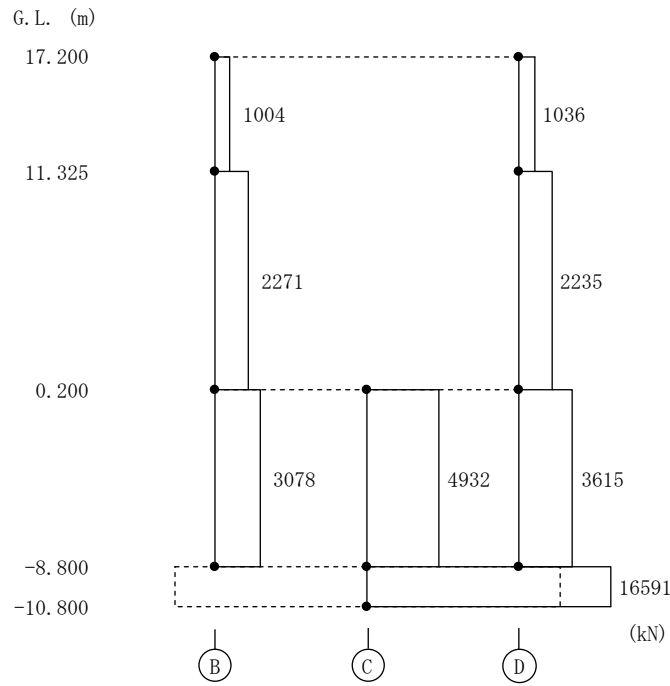
第 5.23 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-4)

NS方向 1/2Sd-5



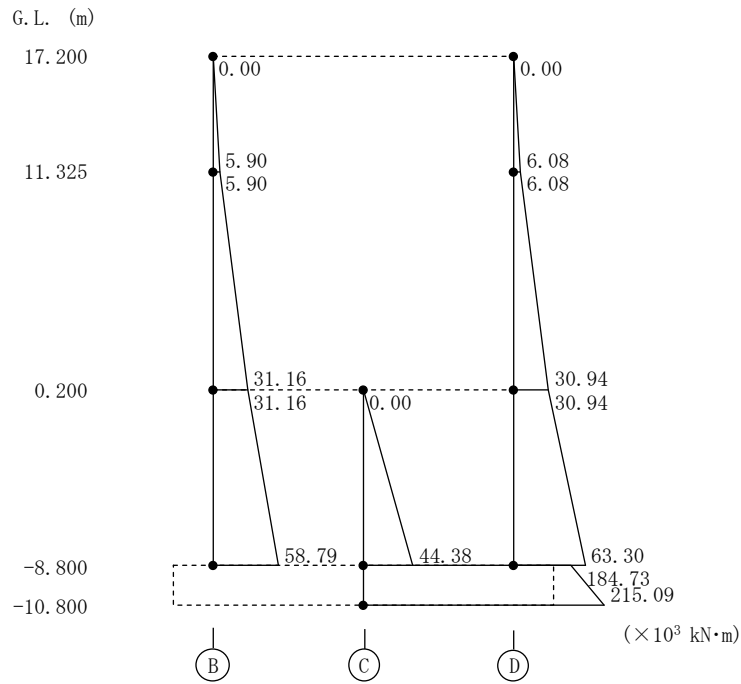
第 5.24 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-5)

NS方向 1/2Sd-5



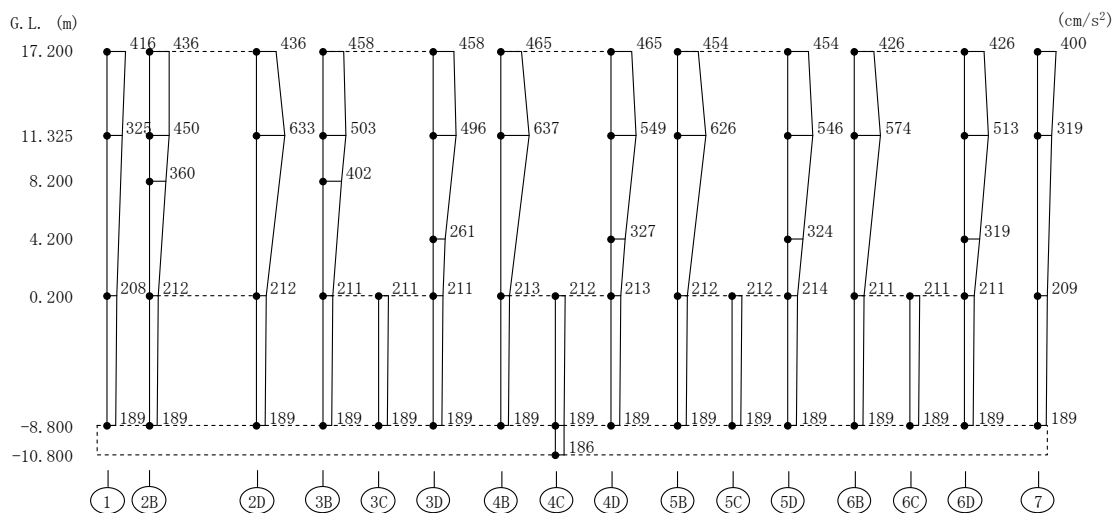
第 5.25 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-5)

NS方向 1/2Sd-5



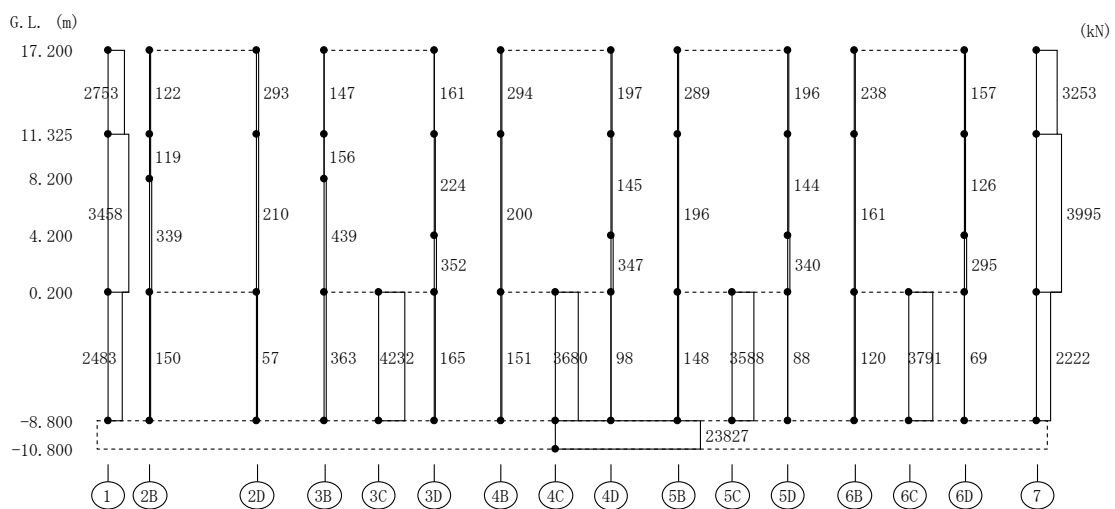
第 5.26 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-D



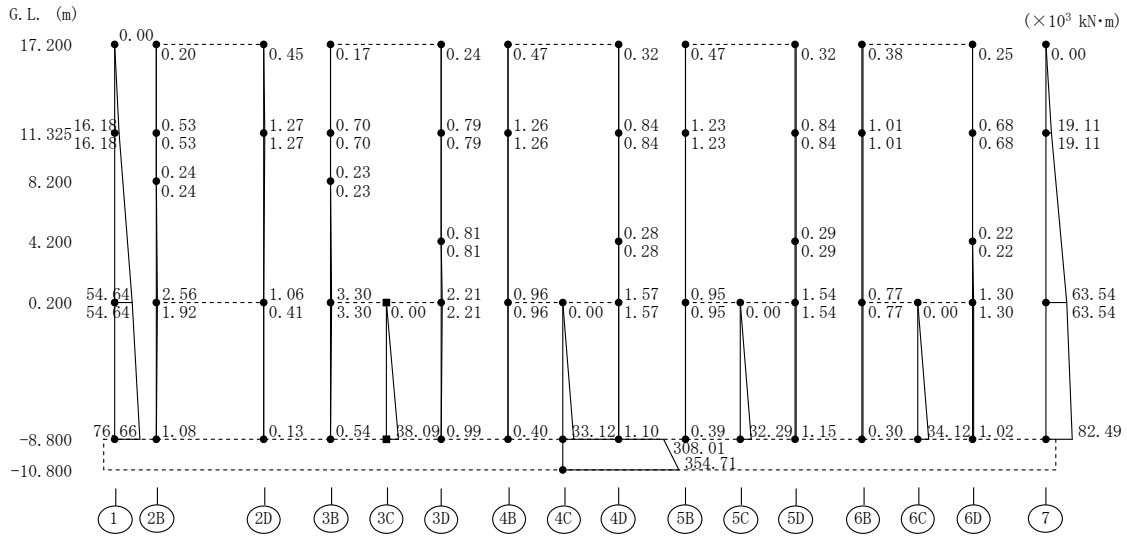
第 5.27 図 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-D



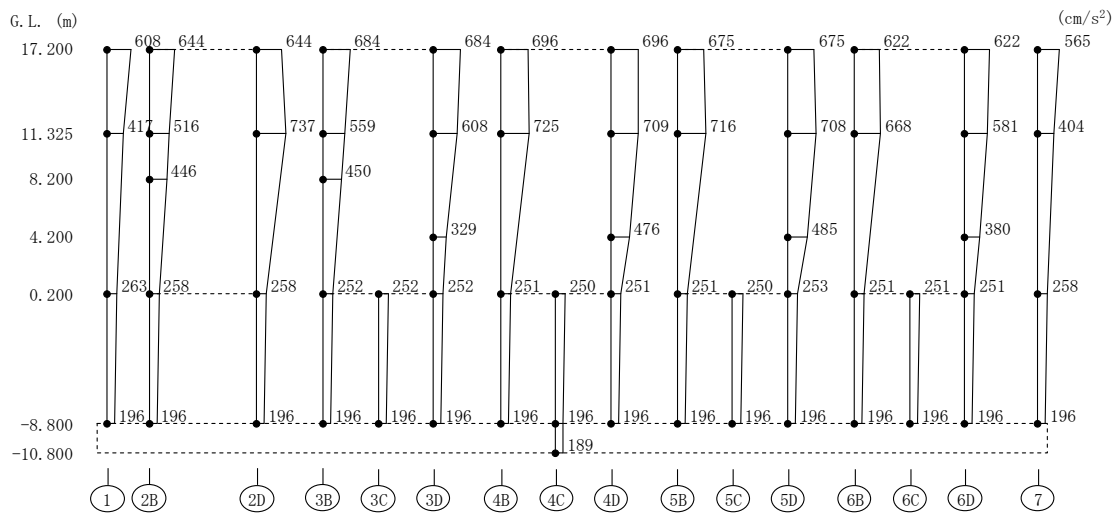
第 5.28 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-D



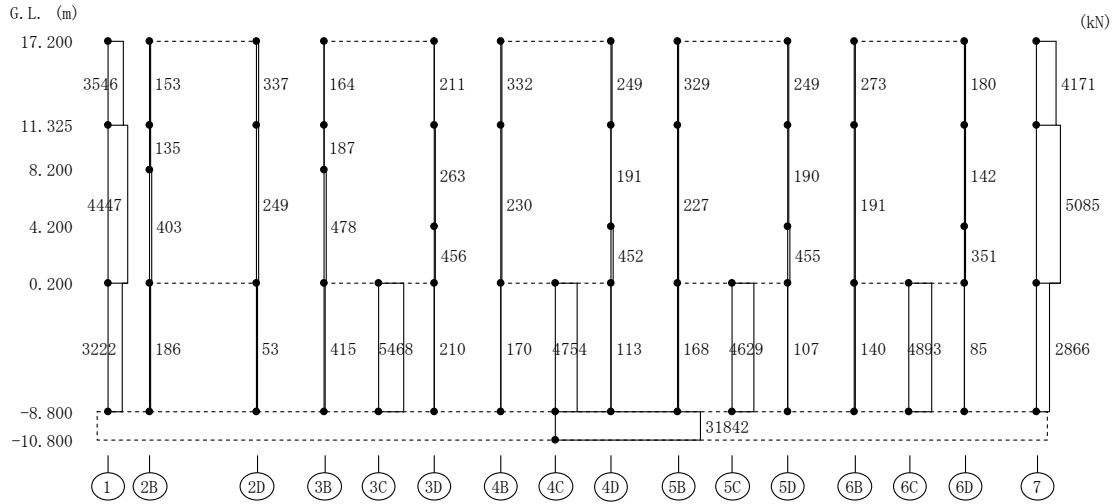
第 5.29 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-1



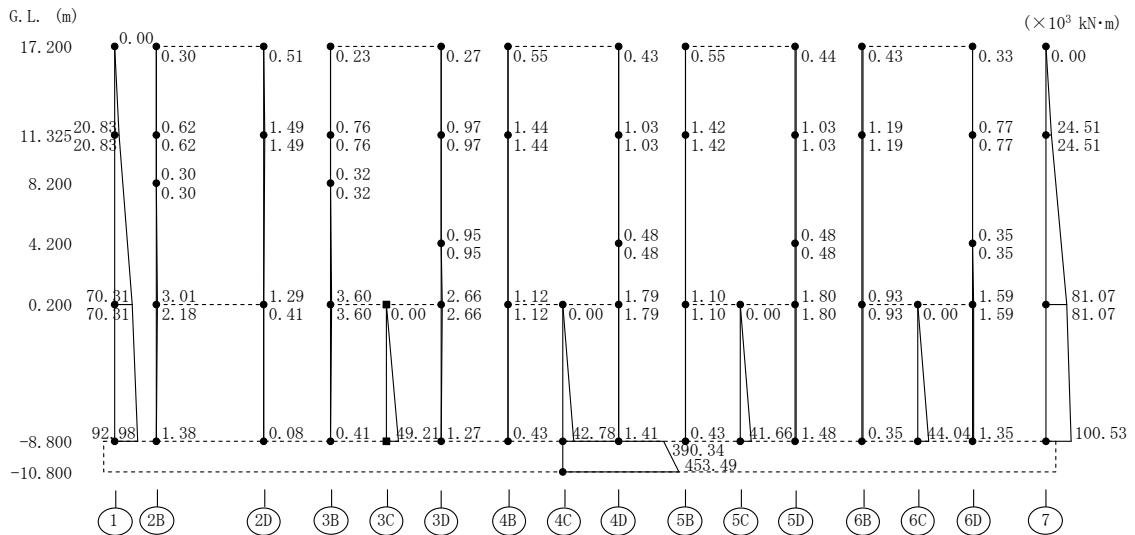
第 5.30 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-1)

EW方向 1/2Sd-1



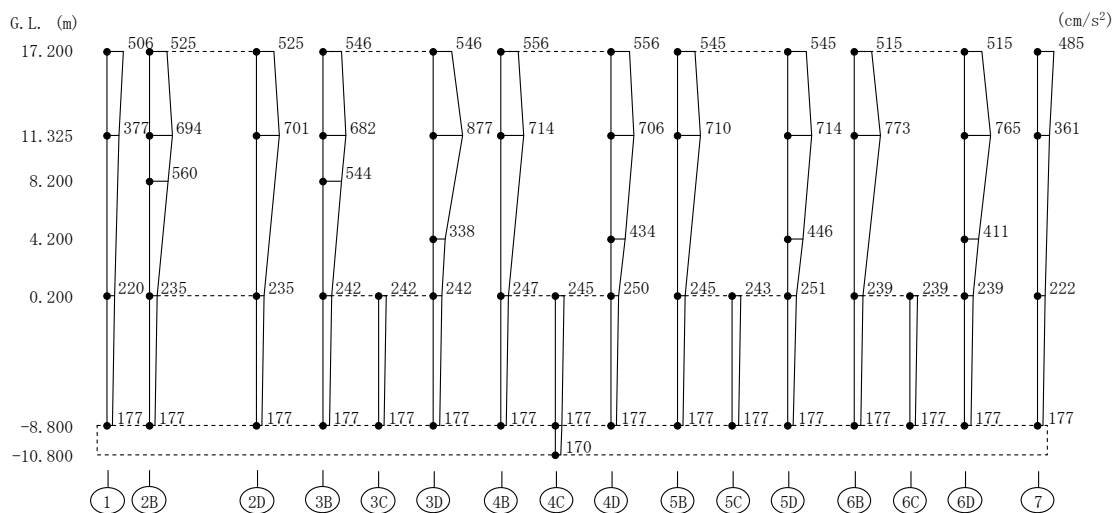
第 5.31 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-1)

EW方向 1/2Sd-1



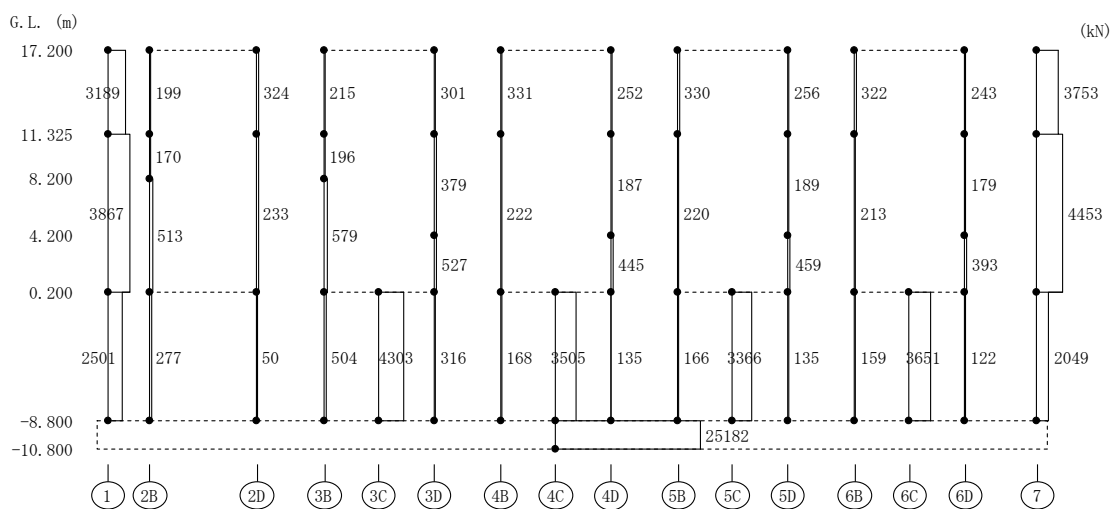
第 5.32 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-1)

EW方向 1/2Sd-2



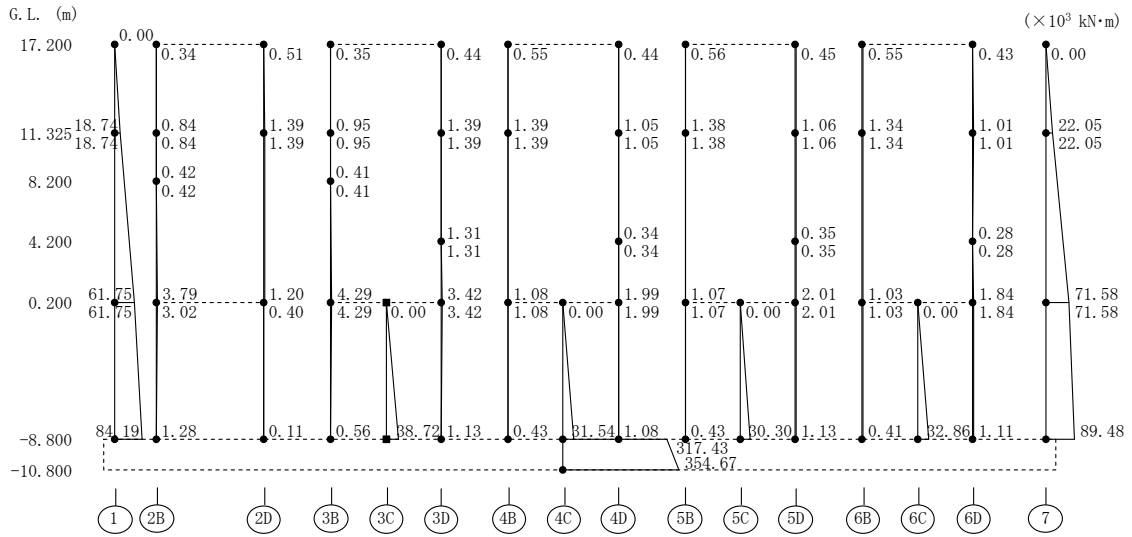
第 5.33 图 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-2



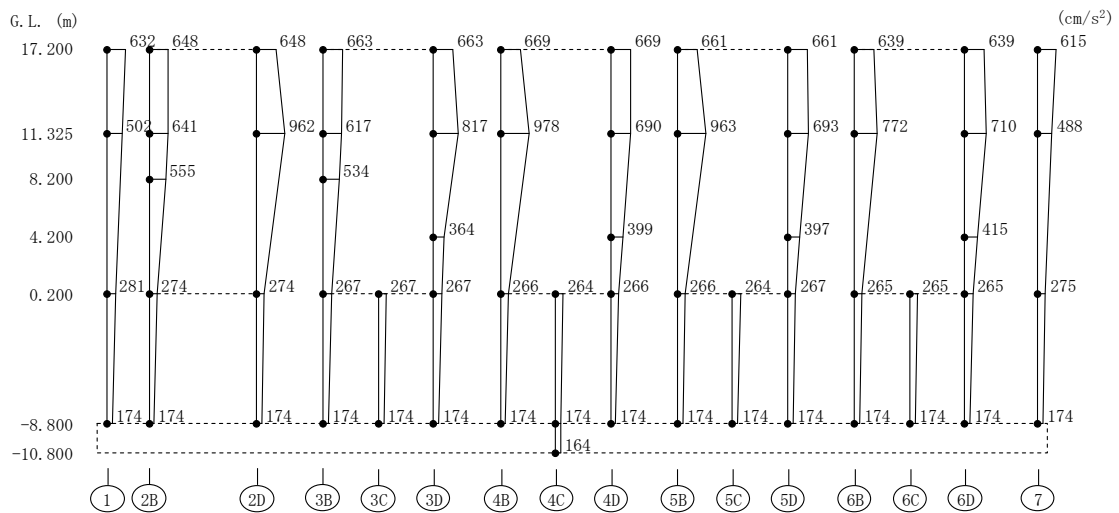
第 5.34 图 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-2



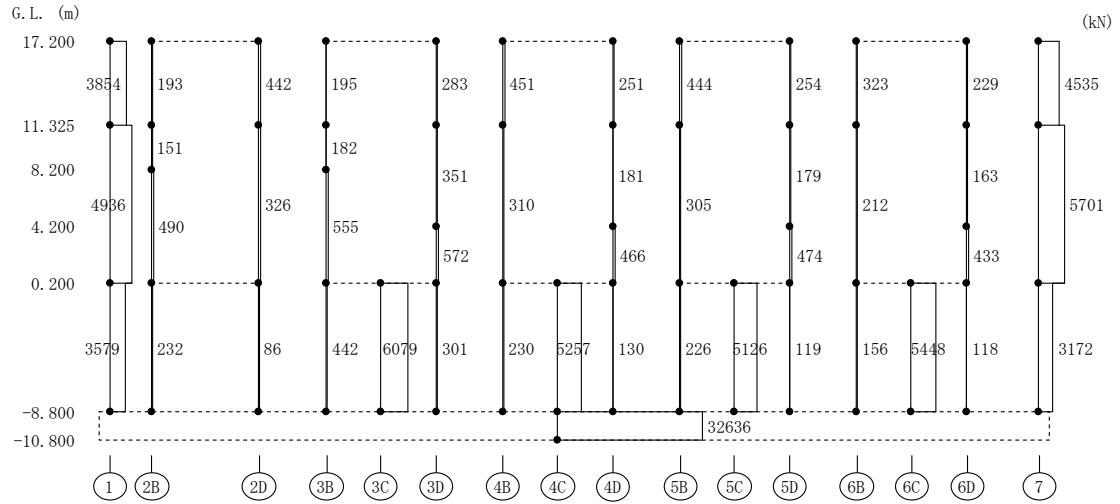
第 5.35 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-3



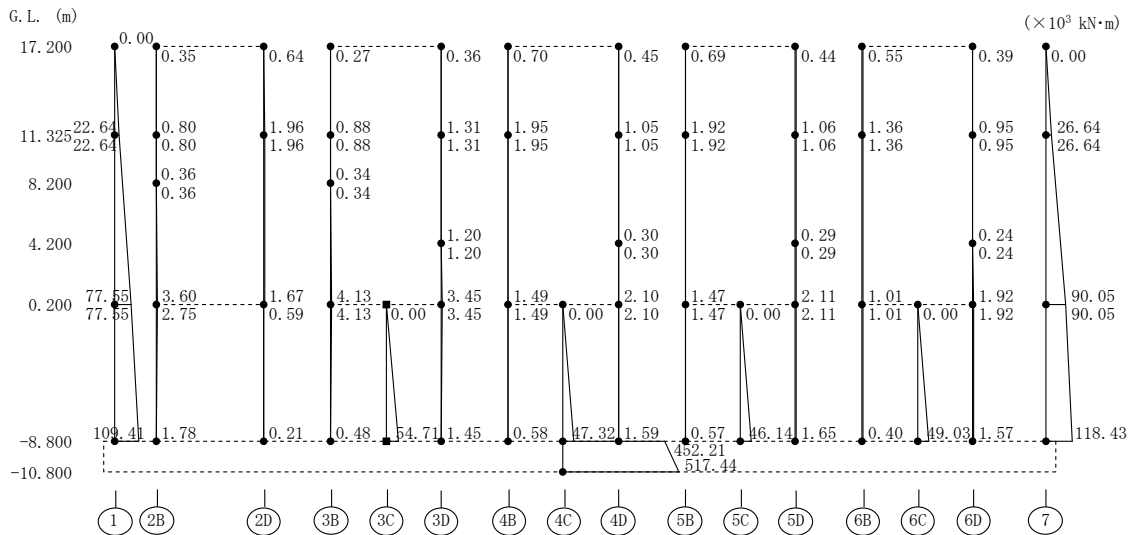
第 5.36 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-3)

EW方向 1/2Sd-3



第 5.37 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-3)

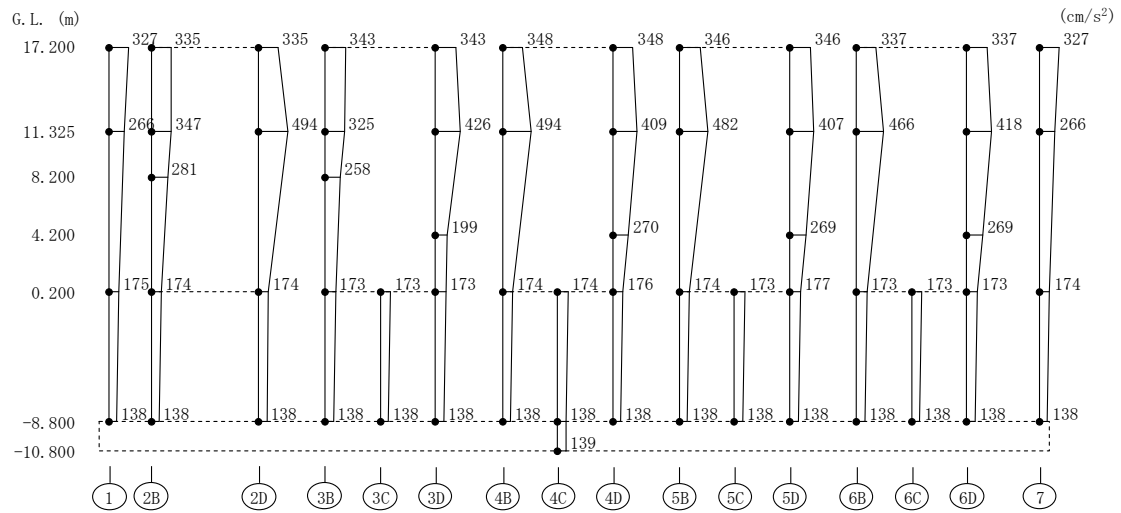
EW方向 1/2Sd-3



第 5.38 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-3)

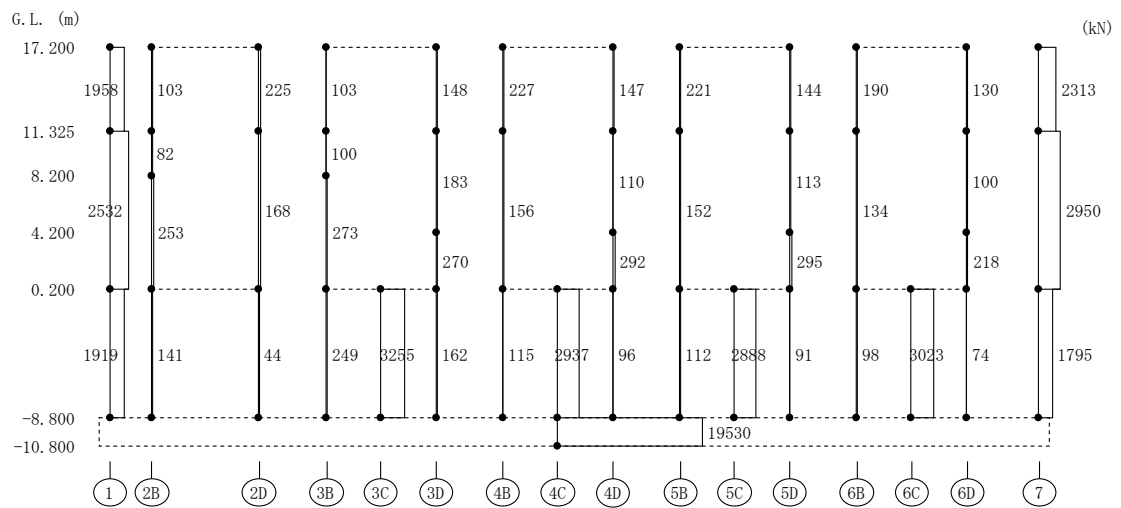


EW方向 1/2Sd-4



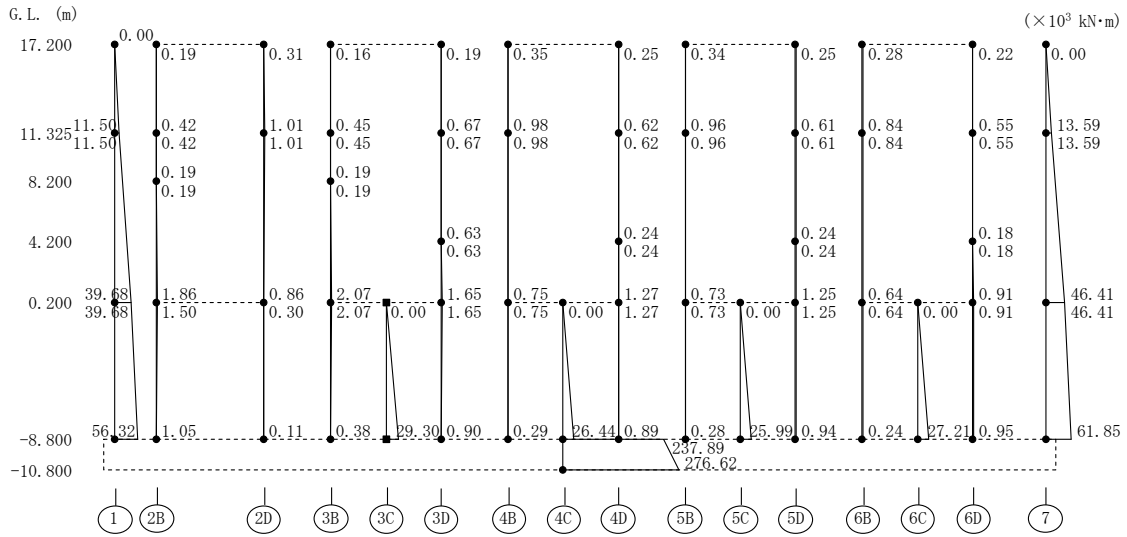
第 5.39 図 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-4



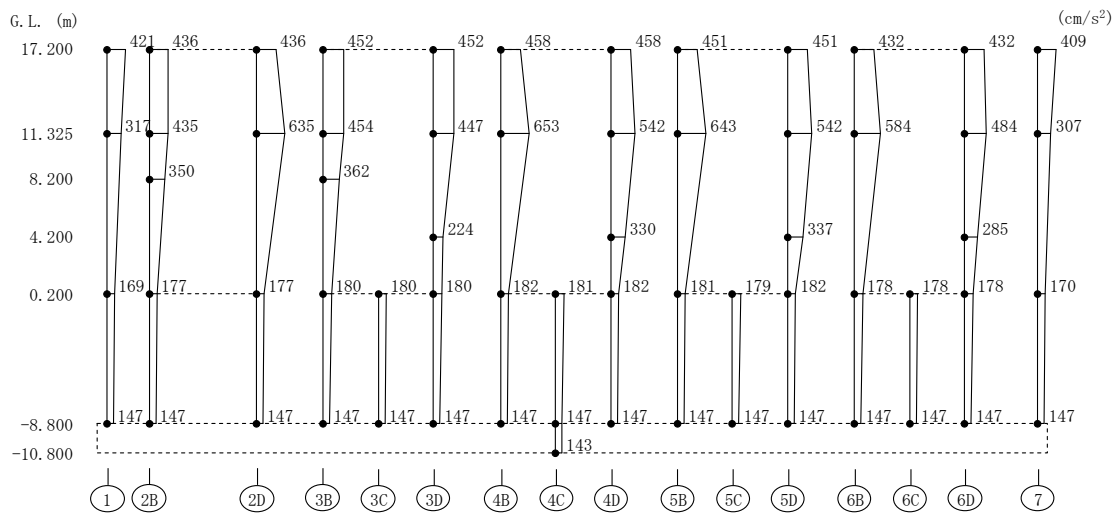
第 5.40 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-4



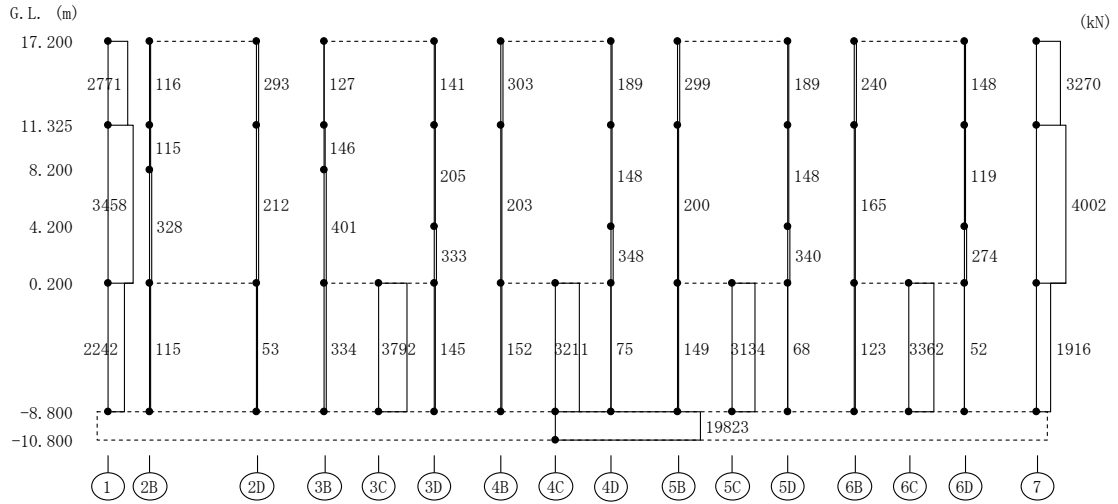
第 5.41 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-5



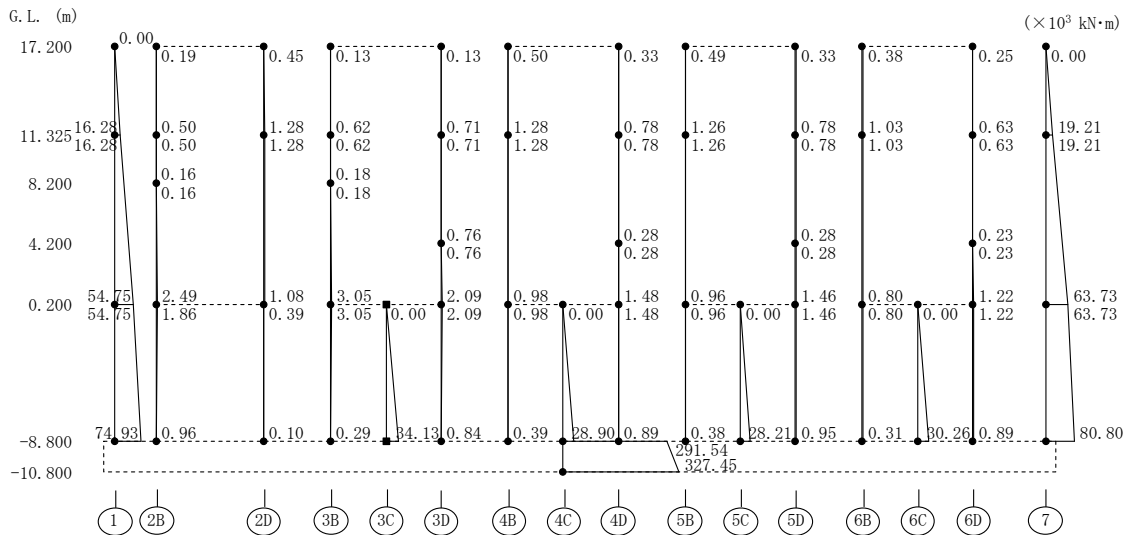
第 5.42 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-5



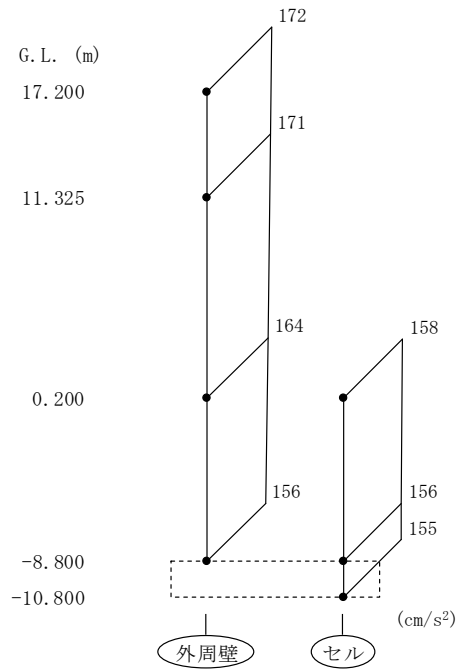
第 5.43 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-5



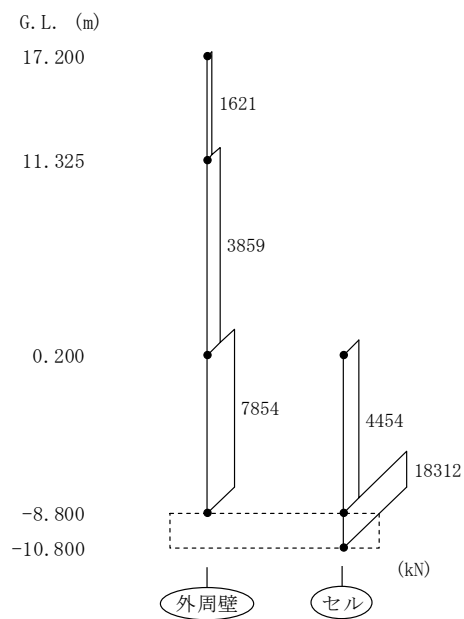
第 5.44 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-5)

UD方向 1/2Sd-D



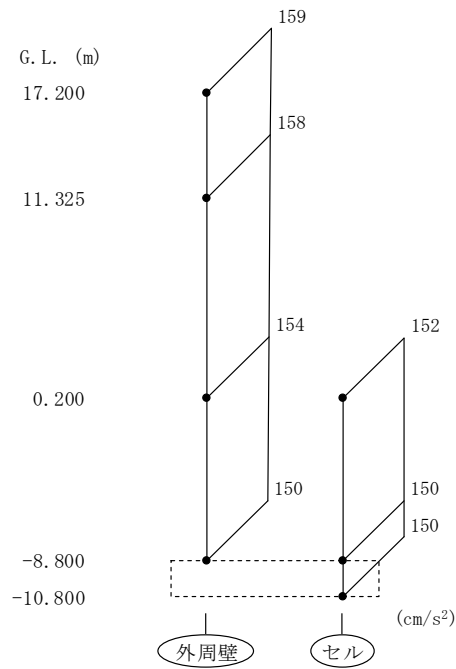
第 5.45 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-D)

UD方向 1/2Sd-D



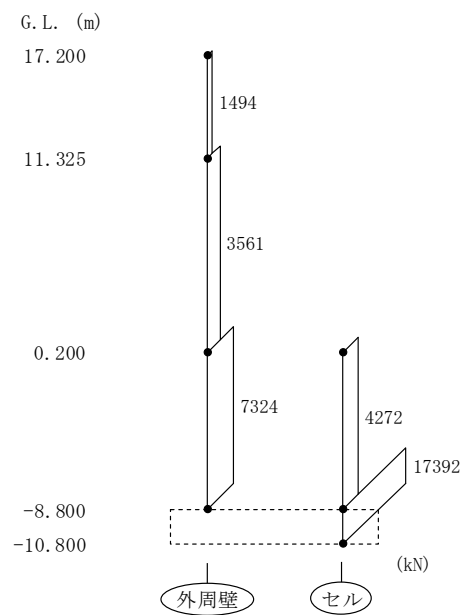
第 5.46 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-D)

UD方向 1/2Sd-1



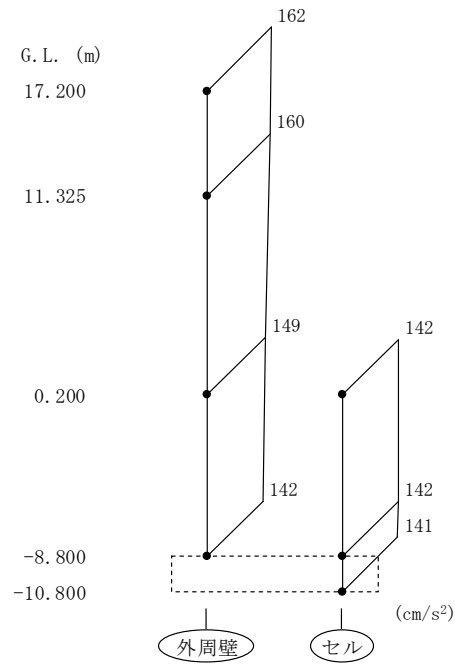
第 5.47 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-1)

UD方向 1/2Sd-1



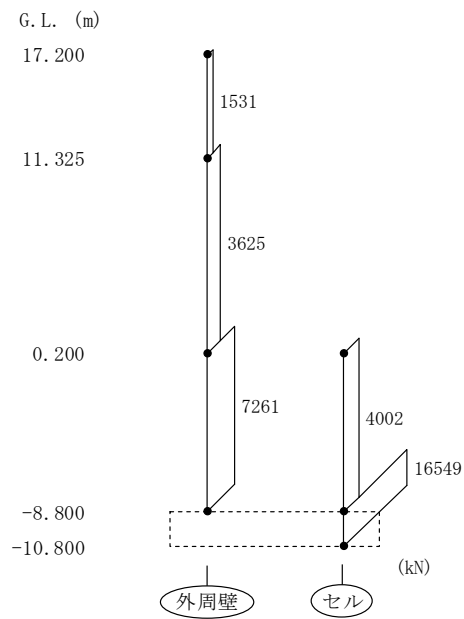
第 5.48 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-1)

UD方向 1/2Sd-2



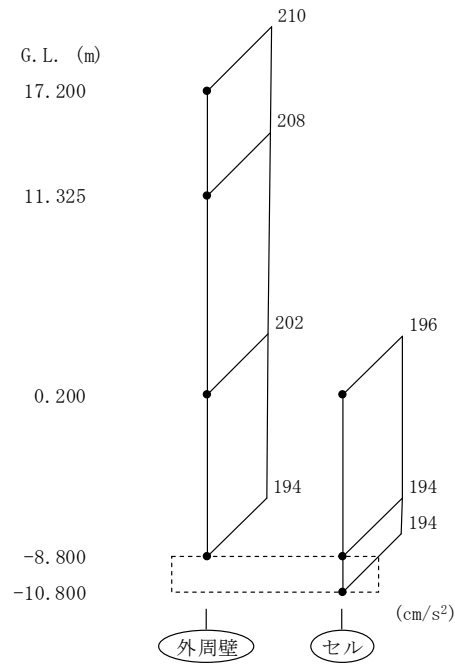
第 5.49 図 最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-2)

UD方向 1/2Sd-2



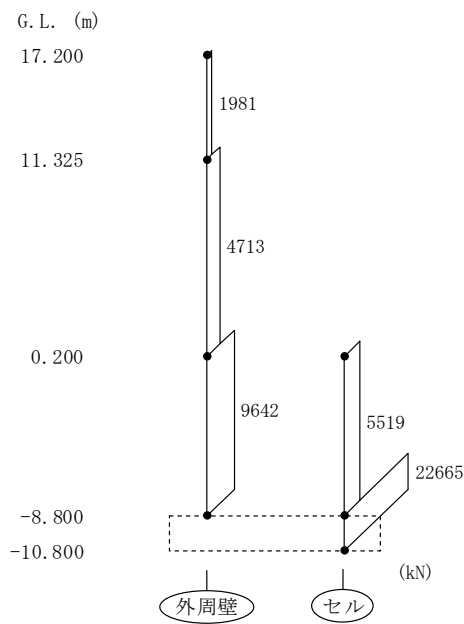
第 5.50 図 最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-2)

UD方向 1/2Sd-3



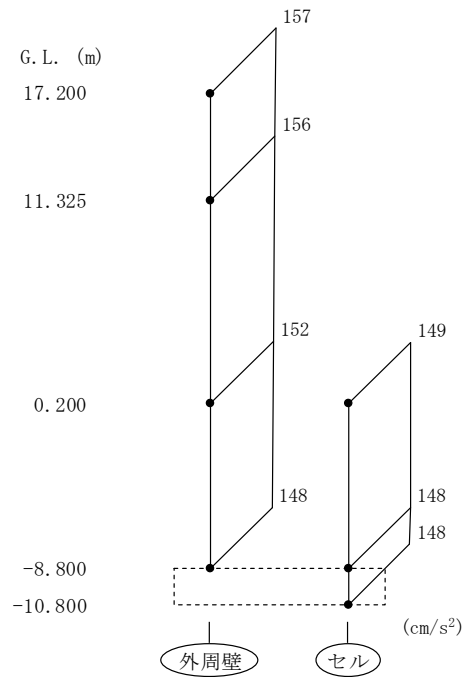
第 5.51 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-3)

UD方向 1/2Sd-3



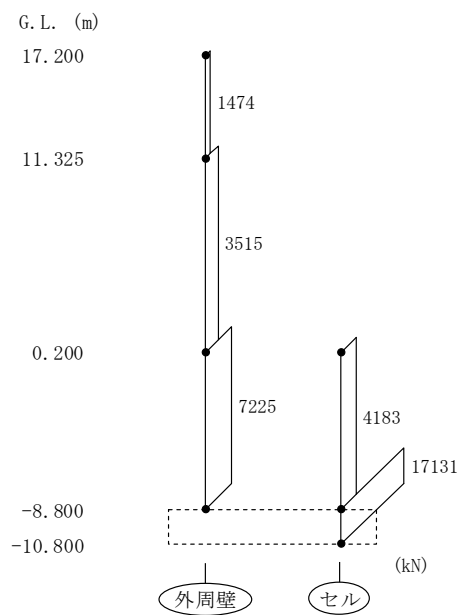
第 5.52 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-3)

UD方向 1/2Sd-4



第 5.53 図 最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-4)

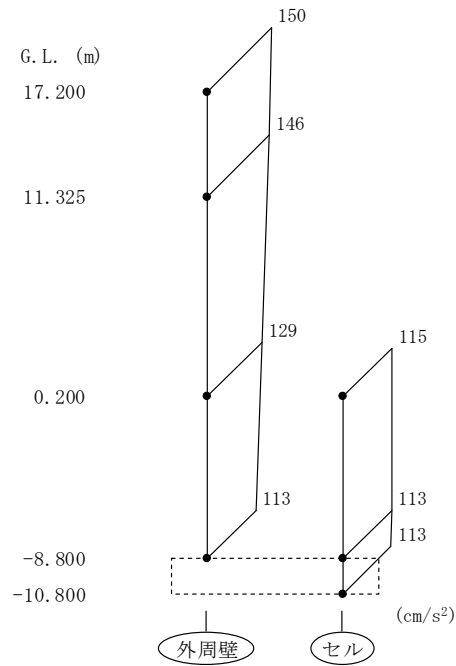
UD方向 1/2Sd-4



第 5.54 図 最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-4)

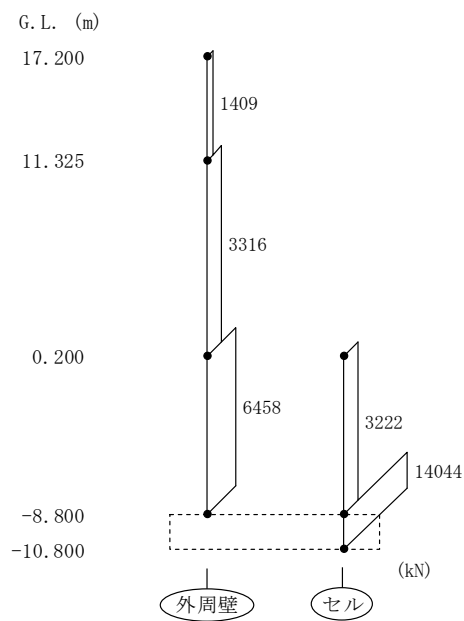


UD方向 1/2Sd-5



第 5.55 図 最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-5)

UD方向 1/2Sd-5



第 5.56 図 最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-5)

6. 基礎浮き上がりの検討

共振検討用地震動 1/2Sd による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を第 6.1 表に示す。

接地率は、線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値 (75%) 以上であることを確認した。

第 6.1 表 最小接地率 (1/2Sd)

(a) NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
1/2Sd-D	6.82	2.75	100.0
1/2Sd-1		3.46	100.0
1/2Sd-2		4.11	100.0
1/2Sd-3		4.37	100.0
1/2Sd-4		3.19	100.0
1/2Sd-5		2.12	100.0

(b) EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
1/2Sd-D	4.00	3.49	100.0
1/2Sd-1		4.46	94.2
1/2Sd-2		3.49	100.0
1/2Sd-3		5.10	86.2
1/2Sd-4		2.72	100.0
1/2Sd-5		3.22	100.0

## 7. 評価結果

使用済燃料貯蔵建家について共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地震応答解析を行い、接地率が線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値以上であることを確認した。地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

1-2-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(冷却塔の地震応答解析)

## 目 次

1. 概要 .....	添 1 - 2 - 4 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 2 - 4 - 2
2.1 位置 .....	添 1 - 2 - 4 - 2
2.2 構造概要 .....	添 1 - 2 - 4 - 3
2.3 評価方針 .....	添 1 - 2 - 4 - 6
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 2 - 4 - 7
2.5 使用材料 .....	添 1 - 2 - 4 - 7
3. 入力地震動 .....	添 1 - 2 - 4 - 8
3.1 水平方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 4 - 8
3.2 鉛直方向の入力地震動 .....	添 1 - 2 - 4 - 22
4. 解析モデル .....	添 1 - 2 - 4 - 27
4.1 水平方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 4 - 27
4.2 鉛直方向の解析モデル .....	添 1 - 2 - 4 - 34
5. 解析結果 .....	添 1 - 2 - 4 - 38
5.1 固有値解析結果 .....	添 1 - 2 - 4 - 38
5.2 地震応答解析結果 .....	添 1 - 2 - 4 - 51
6. 基礎浮き上がりの検討 .....	添 1 - 2 - 4 - 76
7. 評価結果 .....	添 1 - 2 - 4 - 77

## 表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 2 - 4 - 7
第 3.1 表	地盤の物性値.....	添 1 - 2 - 4 - 10
第 4.1 表	解析モデルの諸元(NS 方向).....	添 1 - 2 - 4 - 29
第 4.2 表	解析モデルの諸元(EW 方向).....	添 1 - 2 - 4 - 30
第 4.3 表	地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、 $1/2S_d$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 31
第 4.4 表	地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、 $1/2S_d$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 32
第 4.5 表	解析モデルの諸元(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 4 - 36
第 4.6 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、 $1/2S_d$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 37
第 5.1 表	固有値解析結果( $1/2S_d-D$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 39
第 5.2 表	固有値解析結果( $1/2S_d-1$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 40
第 5.3 表	固有値解析結果( $1/2S_d-2$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 41
第 5.4 表	固有値解析結果( $1/2S_d-3$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 42
第 5.5 表	固有値解析結果( $1/2S_d-4$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 43
第 5.6 表	固有値解析結果( $1/2S_d-5$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 44
第 6.1 表	最小接地率( $1/2S_d$ ).....	添 1 - 2 - 4 - 76

## 目 次

第 2.1 図	冷却塔の位置.....	添 1 - 2 - 4 - 2
第 2.2 図	平面図 (G. L. -4.5m).....	添 1 - 2 - 4 - 4
第 2.3 図	平面図 (G. L. 10.55m、G. L. 7.2m、G. L. 12.95m).....	添 1 - 2 - 4 - 4
第 2.4 図	断面図 (NS 断面).....	添 1 - 2 - 4 - 5
第 2.5 図	断面図 (EW 断面).....	添 1 - 2 - 4 - 5
第 2.6 図	冷却塔の地震応答解析フロー.....	添 1 - 2 - 4 - 6
第 3.1 図	入力地震動算定の概要 (水平方向).....	添 1 - 2 - 4 - 9
第 3.2 図	地盤の非線形特性 (1/2).....	添 1 - 2 - 4 - 11
第 3.3 図	地盤の非線形特性 (2/2).....	添 1 - 2 - 4 - 12
第 3.4 図	地盤の地震応答解析結果 (水平方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 13
第 3.5 図	地盤の地震応答解析結果 (NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 13
第 3.6 図	地盤の地震応答解析結果 (NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 14
第 3.7 図	地盤の地震応答解析結果 (NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 14
第 3.8 図	地盤の地震応答解析結果 (NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 4 - 15
第 3.9 図	地盤の地震応答解析結果 (NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 4 - 15
第 3.10 図	地盤の地震応答解析結果 (EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 16
第 3.11 図	地盤の地震応答解析結果 (EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 16
第 3.12 図	地盤の地震応答解析結果 (EW 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 17
第 3.13 図	地盤の地震応答解析結果 (EW 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 4 - 17
第 3.14 図	地盤の地震応答解析結果 (EW 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 4 - 18
第 3.15 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m).....	添 1 - 2 - 4 - 19
第 3.16 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m).....	添 1 - 2 - 4 - 20
第 3.17 図	入力地震動の加速度応答スペクトル (1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m).....	添 1 - 2 - 4 - 21
第 3.18 図	入力地震動算定の概要 (鉛直方向).....	添 1 - 2 - 4 - 23
第 3.19 図	地盤の地震応答解析結果 (鉛直方向、1/2Sd).....	添 1 - 2 - 4 - 24
第 3.20 図	入力地震動の加速度時刻歴波形 (鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m).....	添 1 - 2 - 4 - 25
第 3.21 図	入力地震動の加速度応答スペクトル (鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m).....	添 1 - 2 - 4 - 26
第 4.1 図	解析モデル (水平方向).....	添 1 - 2 - 4 - 28
第 4.2 図	底面地盤ばねの定式化の概要.....	添 1 - 2 - 4 - 33

第 4.3 図	解析モデル(鉛直方向).....	添 1 - 2 - 4 - 35
第 5.1 図	刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 4 - 45
第 5.2 図	刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 4 - 46
第 5.3 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 4 - 47
第 5.4 図	刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 4 - 48
第 5.5 図	刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、1~4 次).....	添 1 - 2 - 4 - 49
第 5.6 図	刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、5~8 次).....	添 1 - 2 - 4 - 50
第 5.7 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 52
第 5.8 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 52
第 5.9 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 53
第 5.10 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 53
第 5.11 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 54
第 5.12 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 54
第 5.13 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 55
第 5.14 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 55
第 5.15 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 56
第 5.16 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 56
第 5.17 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 57
第 5.18 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 57
第 5.19 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 4 - 58
第 5.20 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 4 - 58
第 5.21 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-4).....	添 1 - 2 - 4 - 59
第 5.22 図	最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 4 - 59
第 5.23 図	最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 4 - 60
第 5.24 図	最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-5).....	添 1 - 2 - 4 - 60
第 5.25 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 61
第 5.26 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 61
第 5.27 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-D).....	添 1 - 2 - 4 - 62
第 5.28 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 62
第 5.29 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 63
第 5.30 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-1).....	添 1 - 2 - 4 - 63
第 5.31 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 64
第 5.32 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 64
第 5.33 図	最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-2).....	添 1 - 2 - 4 - 65
第 5.34 図	最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 65
第 5.35 図	最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-3).....	添 1 - 2 - 4 - 66



第 5.36 図	最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 4 - 66
第 5.37 図	最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 4 - 67
第 5.38 図	最大応答せん断力 (EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 4 - 67
第 5.39 図	最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 4 - 68
第 5.40 図	最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 4 - 68
第 5.41 図	最大応答せん断力 (EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 4 - 69
第 5.42 図	最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 4 - 69
第 5.43 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-D) .....	添 1 - 2 - 4 - 70
第 5.44 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-D) .....	添 1 - 2 - 4 - 70
第 5.45 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-1) .....	添 1 - 2 - 4 - 71
第 5.46 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-1) .....	添 1 - 2 - 4 - 71
第 5.47 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-2) .....	添 1 - 2 - 4 - 72
第 5.48 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-2) .....	添 1 - 2 - 4 - 72
第 5.49 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 4 - 73
第 5.50 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-3) .....	添 1 - 2 - 4 - 73
第 5.51 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 4 - 74
第 5.52 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-4) .....	添 1 - 2 - 4 - 74
第 5.53 図	最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 4 - 75
第 5.54 図	最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-5) .....	添 1 - 2 - 4 - 75

## 1. 概要

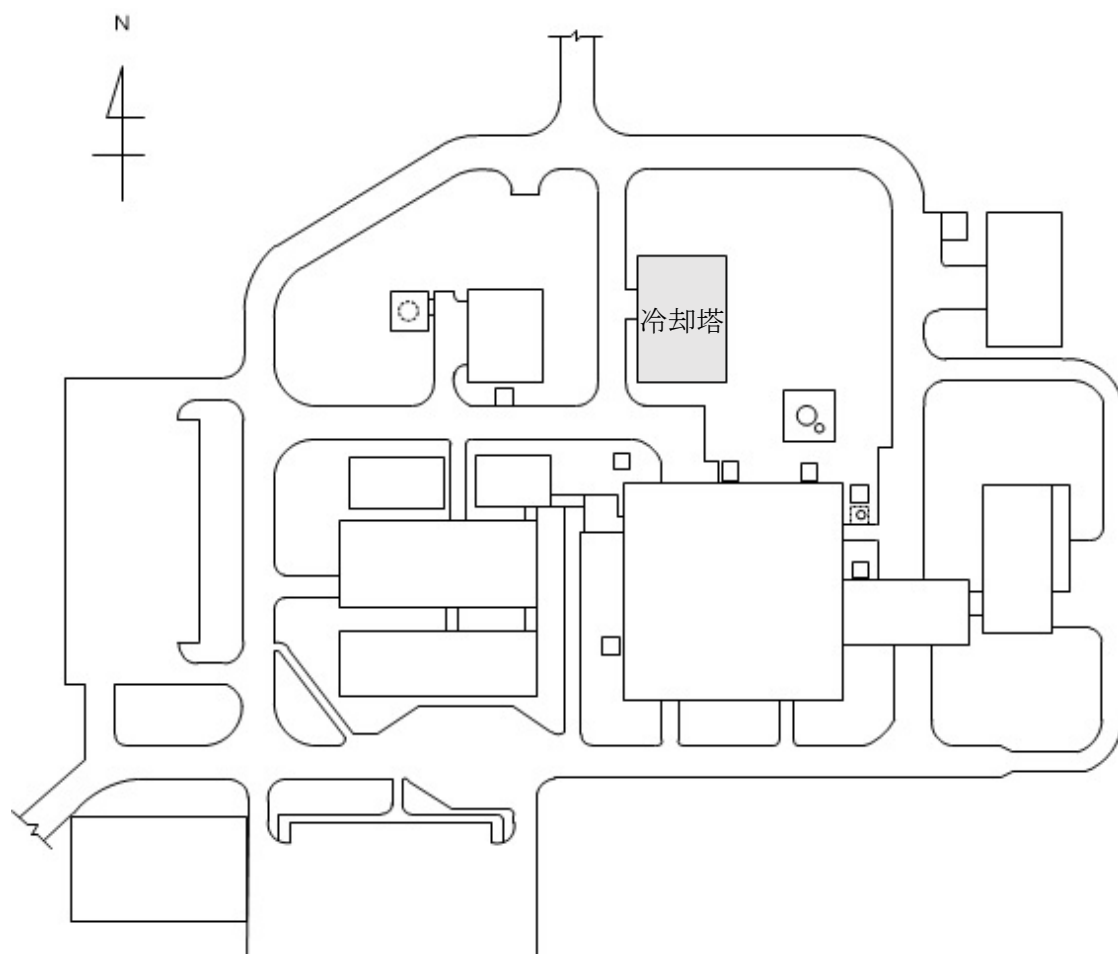
本資料は、弾性設計用地震動  $S_d$  に 2 分の 1 を乗じた地震動(以下「共振検討用地震動  $1/2S_d$ 」という。)を用いた地震応答解析について説明するものである。

この地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

2. 一般事項

2.1 位置

冷却塔の位置を第 2.1 図に示す。

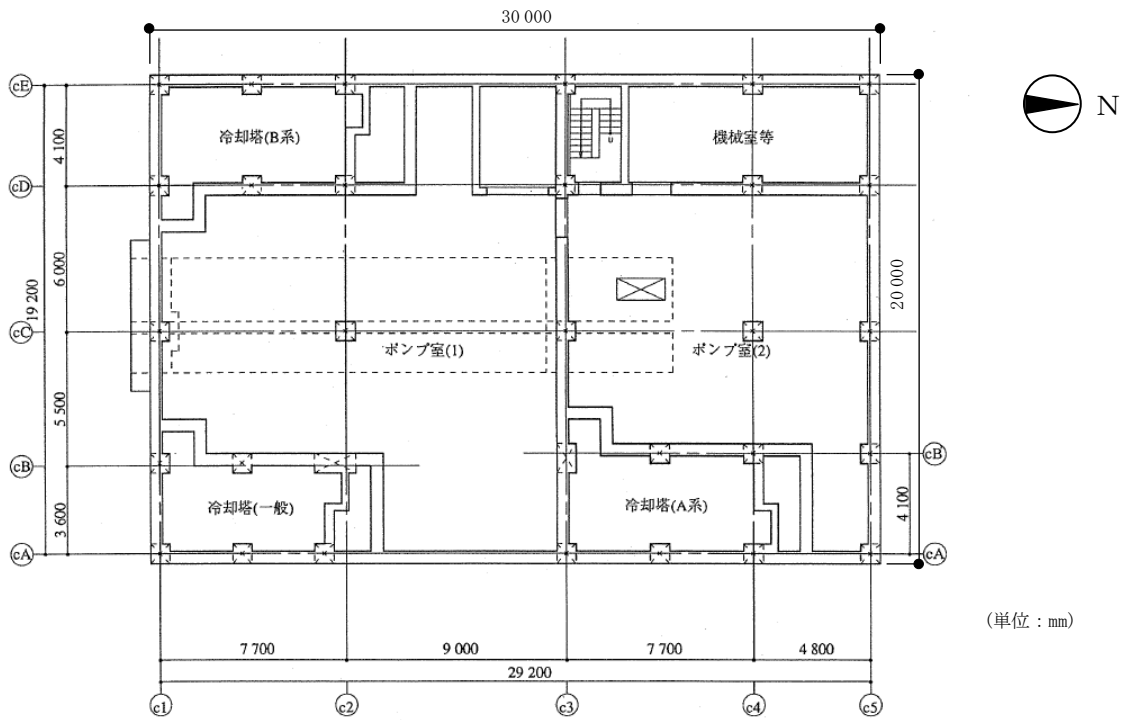


第 2.1 図 冷却塔の位置

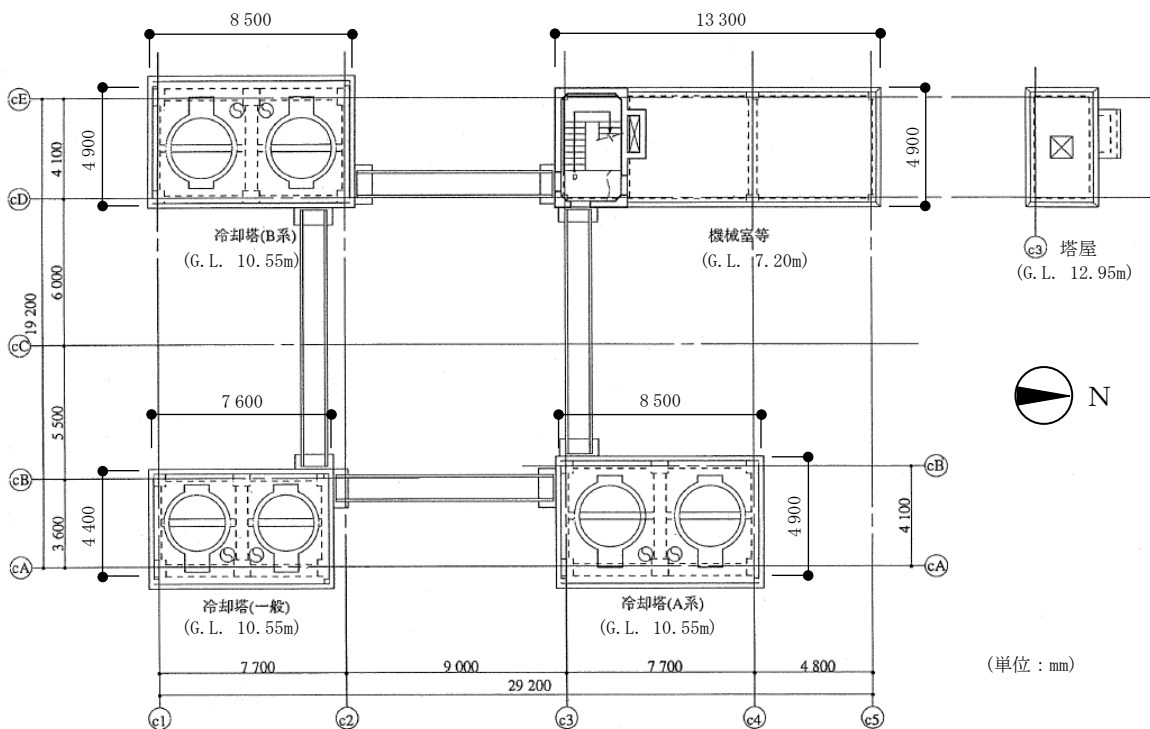
## 2.2 構造概要

冷却塔は、地下部と補機冷却水設備冷却塔(A系統、B系統)(以下「冷却塔(A系)」及び「冷却塔(B系)」という。)、一般冷却水設備冷却塔(以下「冷却塔(一般)」という。)及び空調機械室等(以下「機械室等」という。)の地上部からなる、地下1階、地上2階建の鉄筋コンクリート造の建家である。地下部は平面 30.0m(NS)×20.0m(EW)、地下深さ 8.0m、地上部の冷却塔(A系)及び冷却塔(B系)は平面 8.5m(NS)×4.9m(EW)、地上高さ 10.55m、冷却塔(一般)は平面 7.6m(NS)×4.4m(EW)、地上高さ 10.55m、機械室等は平面 13.3m(NS)×4.9m(EW)、地上高さ 12.95m である。建家の基礎は厚さ 1.2m~3.5m のべた基礎とし、人工地盤を介して第四系更新統の M1 段丘堆積物(Mu-S2)に設置されている。

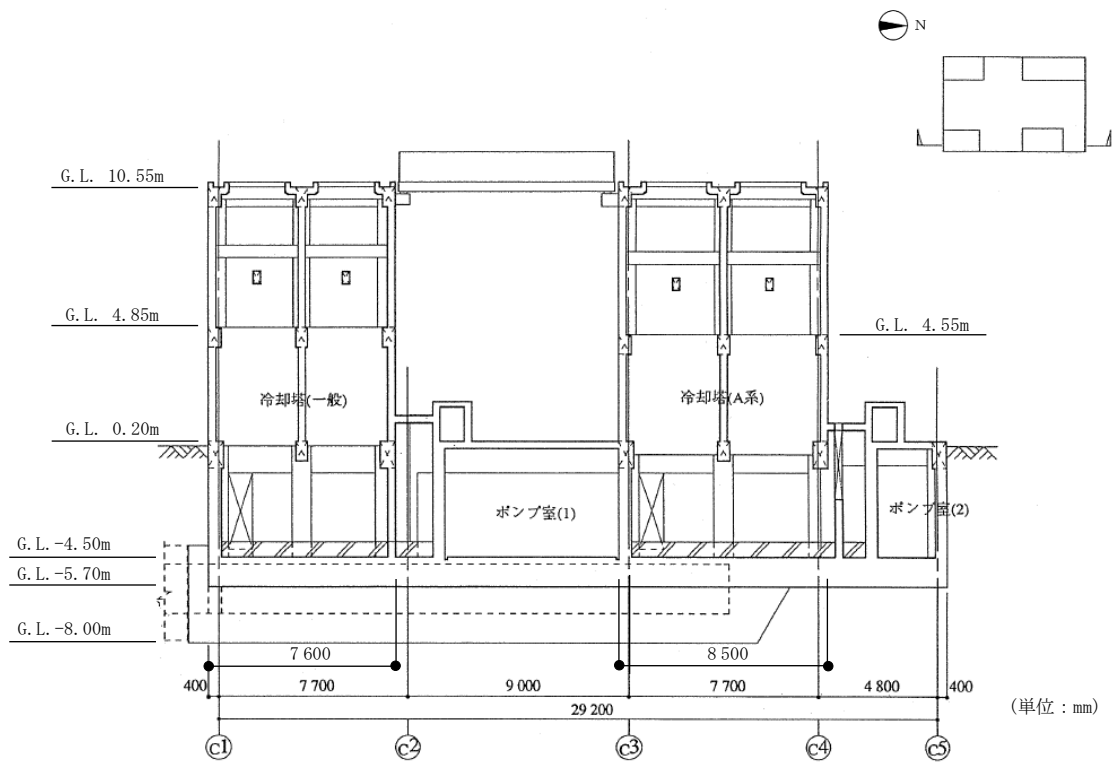
冷却塔の代表的な平面図及び断面図を第 2.2 図から第 2.5 図に示す。



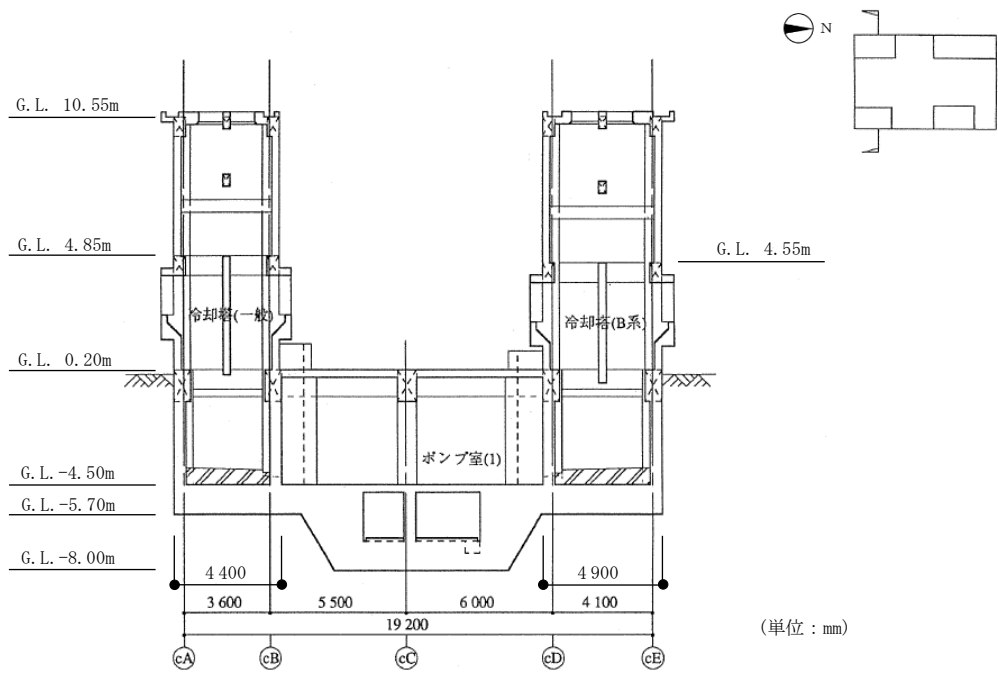
第 2.2 図 平面図 (G. L. -4.5m)



第 2.3 図 平面図 (G. L. 10.55m、G. L. 7.2m、G. L. 12.95m)



第 2.4 図 断面図 (NS 断面)



第 2.5 図 断面図 (EW 断面)

### 2.3 評価方針

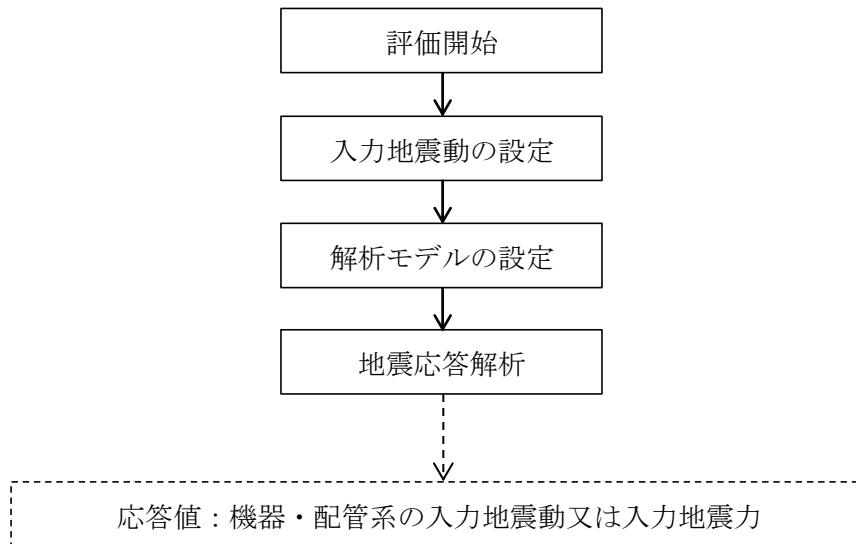
評価に用いる地震動は、共振検討用地震動  $1/2S_d$  とする。

地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS、EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

冷却塔の地震応答解析フローを第 2.6 図に示す。



第 2.6 図 冷却塔の地震応答解析フロー

## 2.4 準拠規格・基準

冷却塔の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601  
(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

## 2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を第 2.1 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの材料定数

設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
23.5	$2.25 \times 10^4$	0.20



### 3. 入力地震動

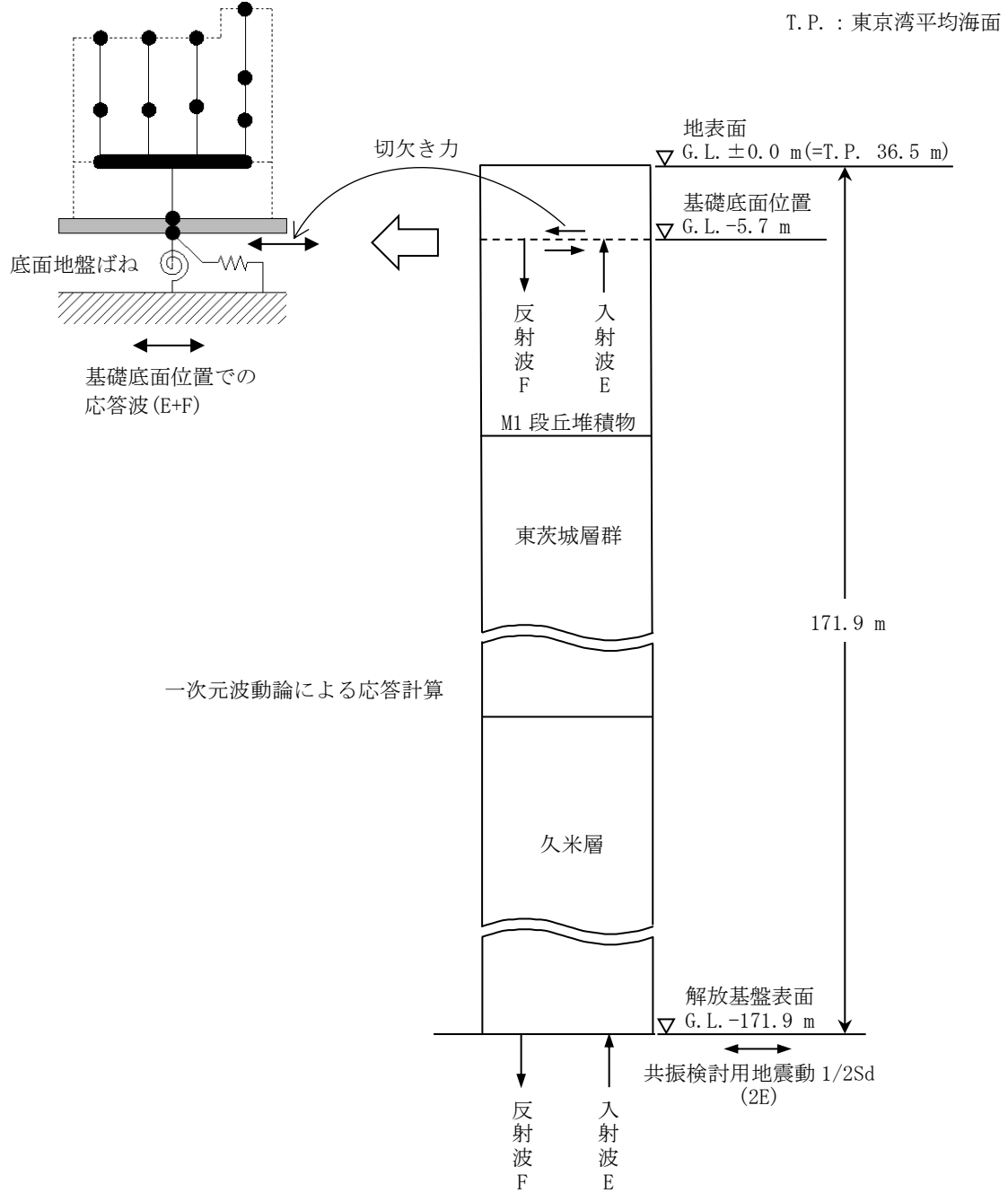
#### 3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、共振検討用地震動  $1/2S_d$  を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を第 3.1 図に、地盤の物性値を第 3.1 表に、地盤の非線形特性を第 3.2 図及び第 3.3 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「KSHAKE(清水建設株式会社)」である。

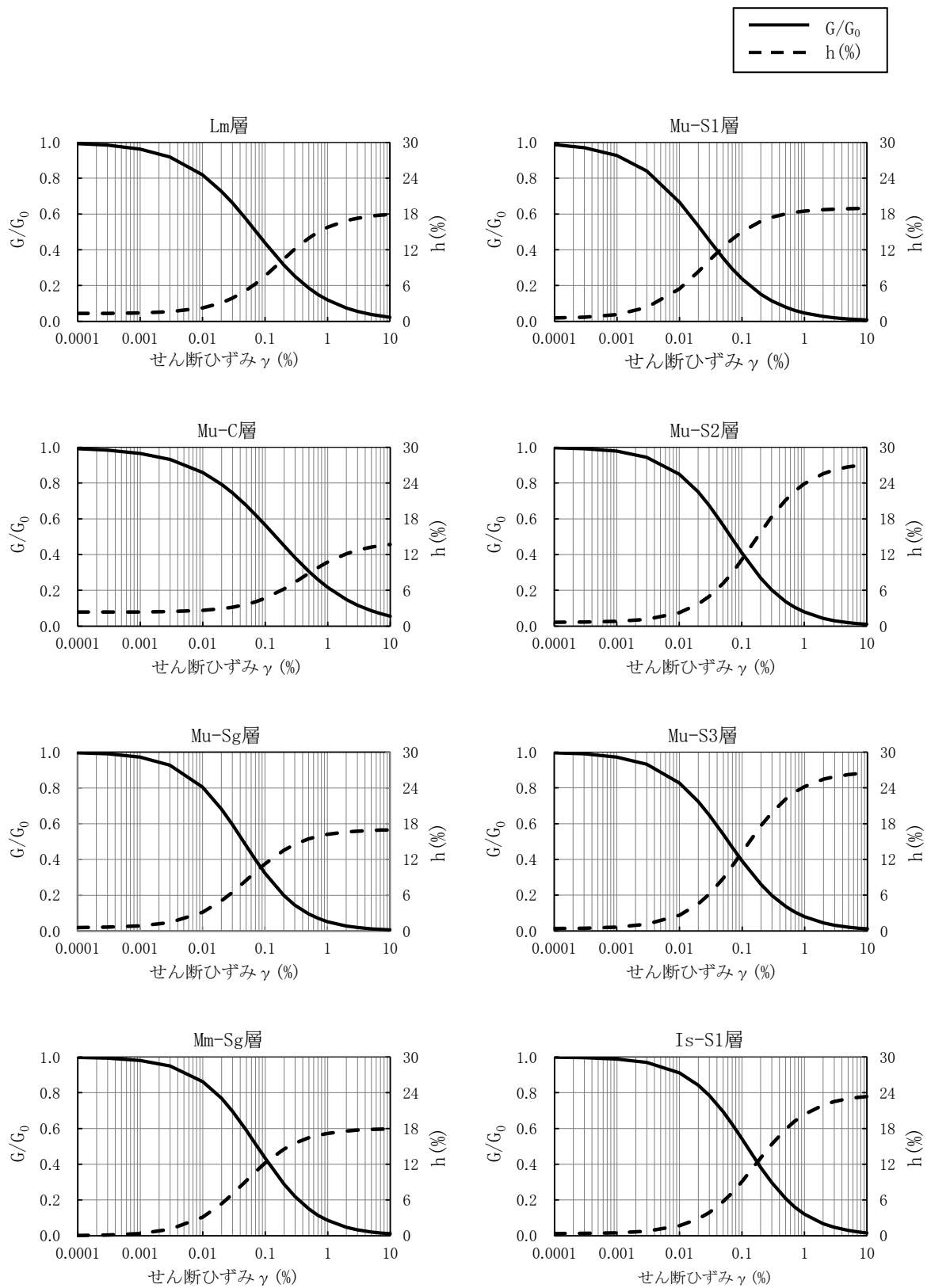
共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.4 図から第 3.14 図に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.15 図から第 3.17 図に示す。



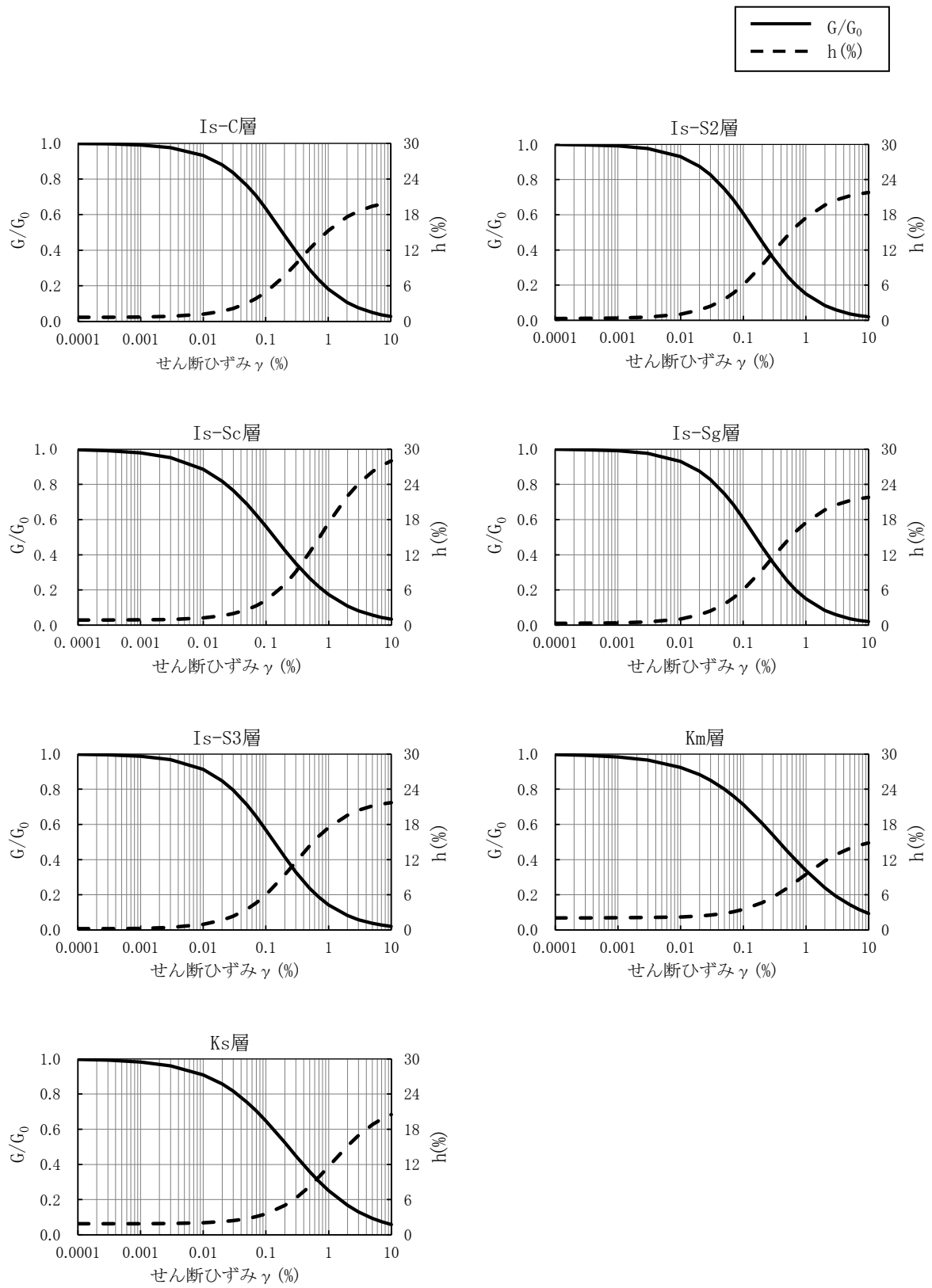
第 3.1 図 入力地震動算定の概要(水平方向)

第 3.1 表 地盤の物性値

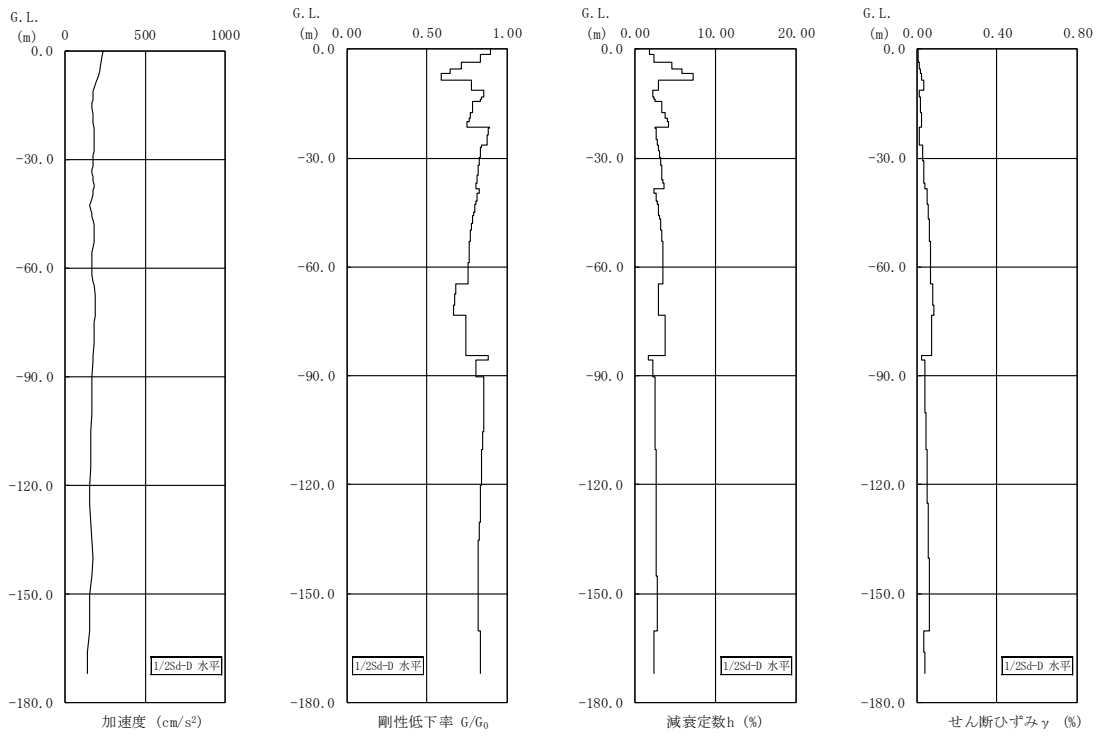
深さ G.L. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	動ポア ソン比 $\nu_d$	動せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	▽地表面				
-1.5	M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.47	42,300
-8.5		Mu-S1	1.90	0.44	222,000
-11.3		Mu-C	1.75	0.46	150,000
-14.3		Mu-S2	1.90	0.41	354,000
-15.9		Mu-Sg	2.02	0.44	409,000
-21.3		Mu-S3	1.81	0.38	386,000
-26.3	東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.38	752,000
-38.5		Is-S1	1.87	0.46	359,000
-39.6		Is-C	1.88	0.47	275,000
-64.6		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-73.3		Is-Sc	1.82	0.47	285,000
-84.4		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-85.8		Is-Sg	1.98	0.44	714,000
-90.2	Is-S3	1.97	0.45	485,000	
-160.3	久米層	Km	1.79	0.45	464,000
-171.9	▽解放基盤表面	Ks	1.88	0.43	763,000
	解放基盤		1.98	0.36	2,020,000



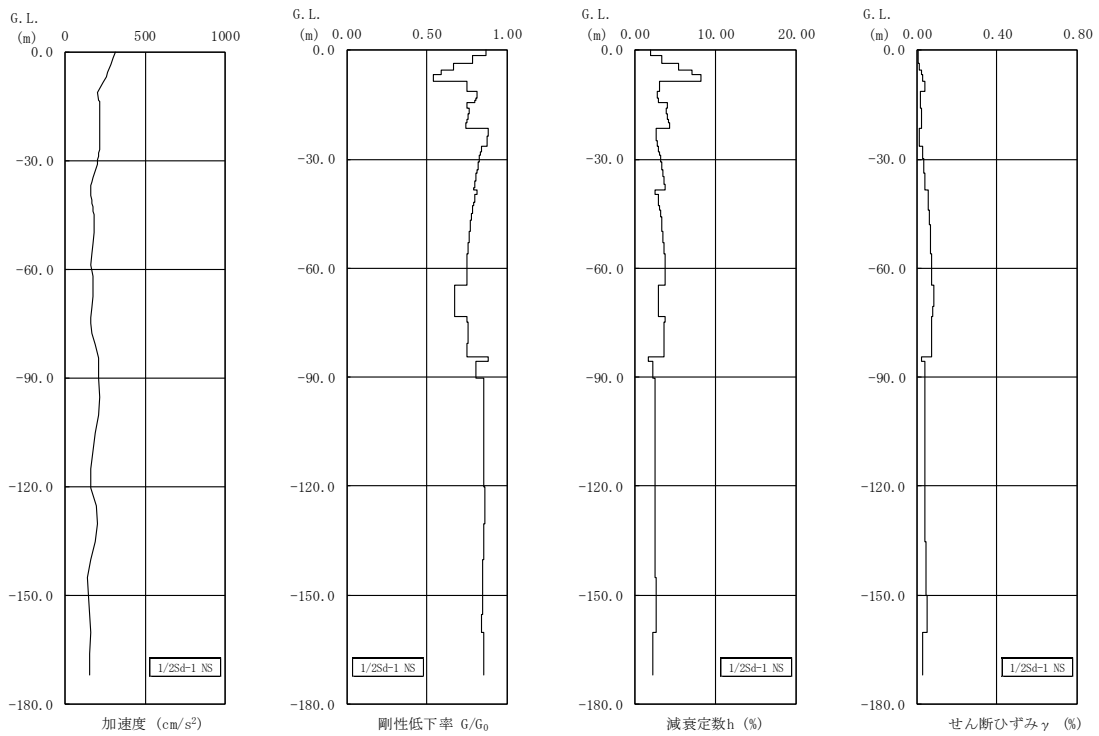
第 3.2 図 地盤の非線形特性(1/2)



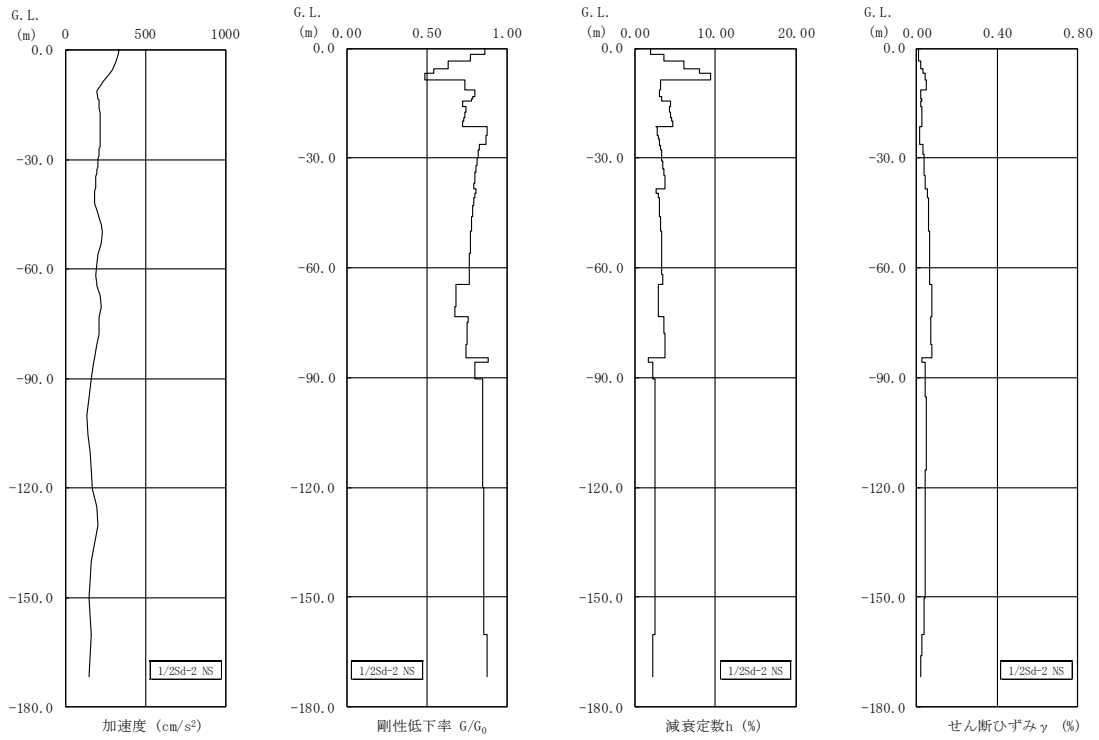
第 3.3 図 地盤の非線形特性(2/2)



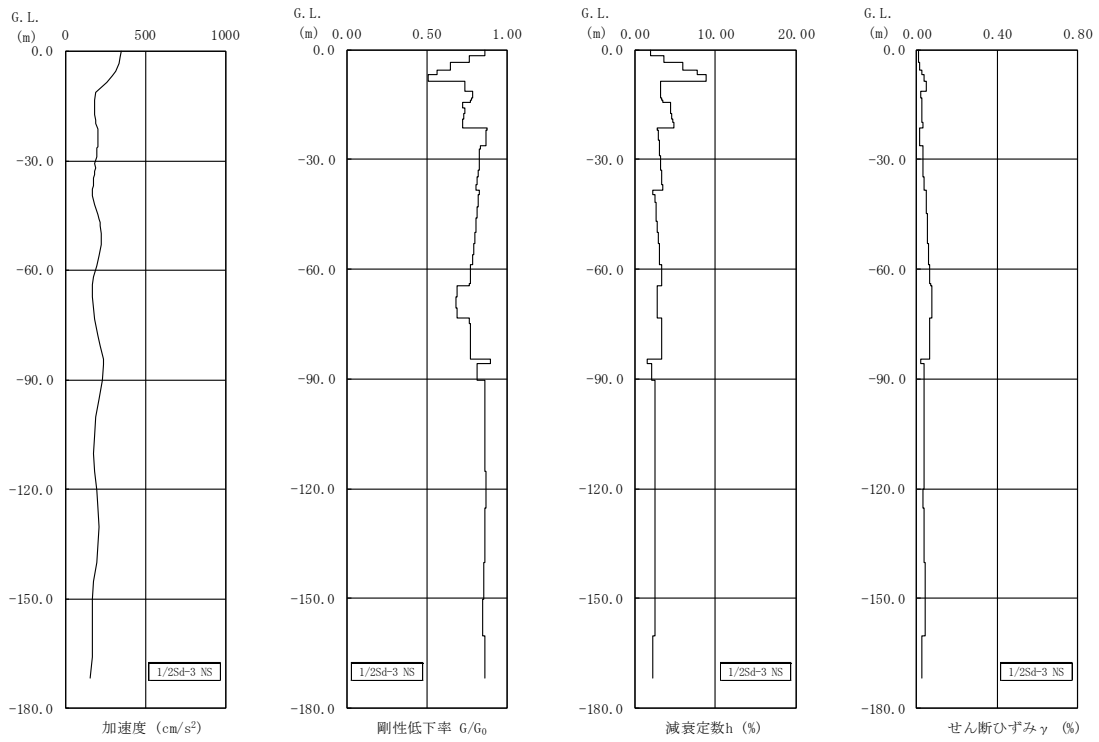
第 3.4 図 地盤の地震応答解析結果(水平方向、1/2Sd-D)



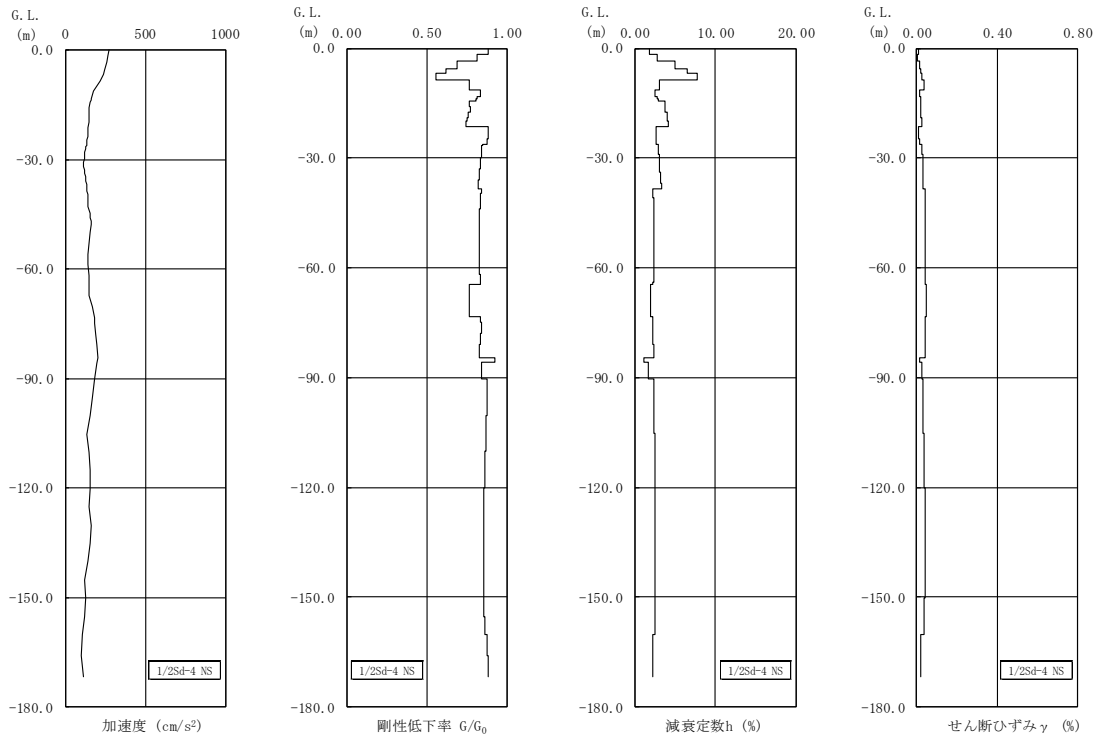
第 3.5 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-1)



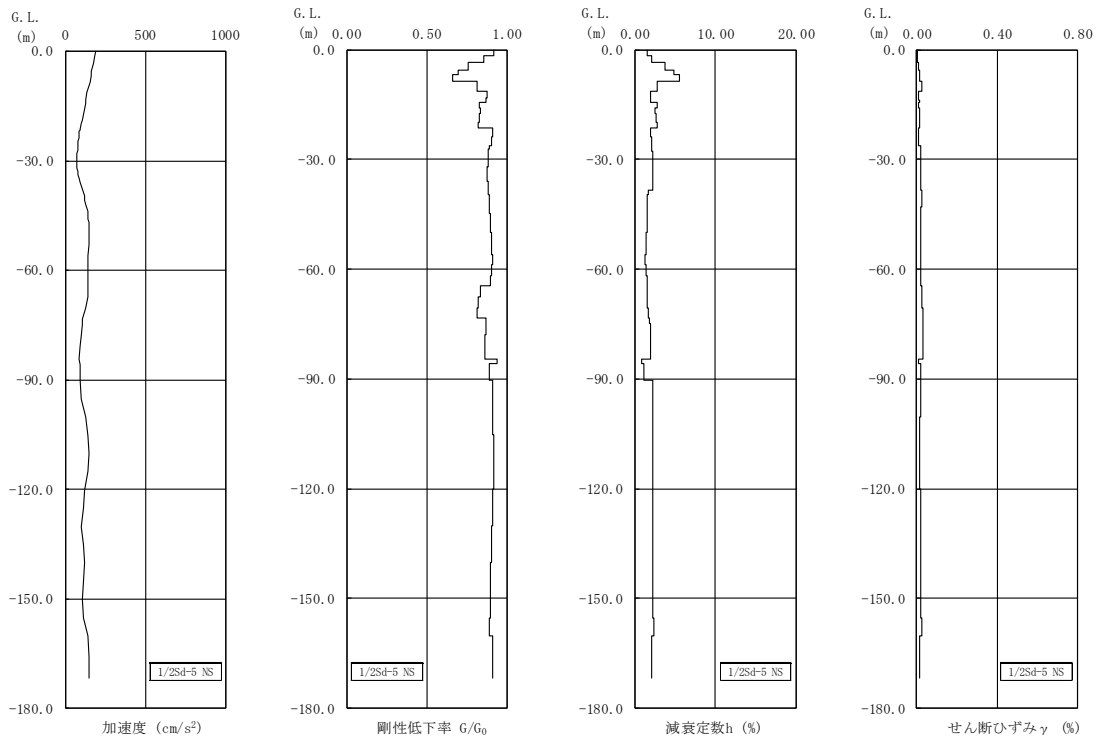
第 3.6 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-2)



第 3.7 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-3)

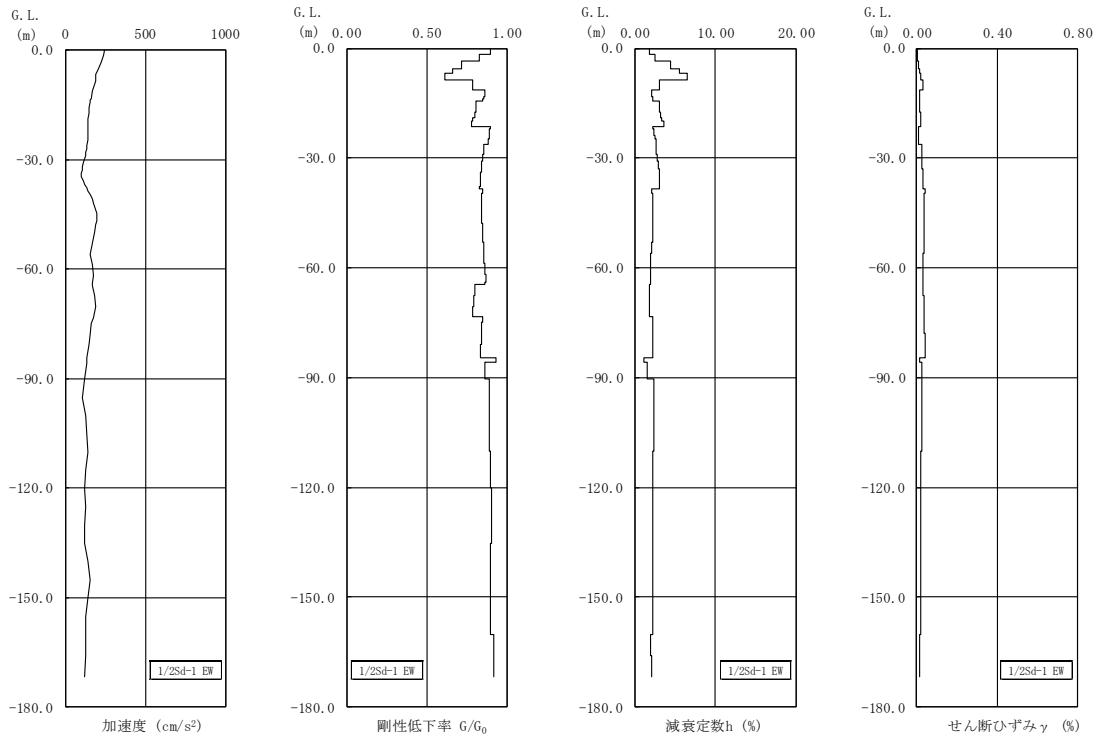


第 3.8 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-4)

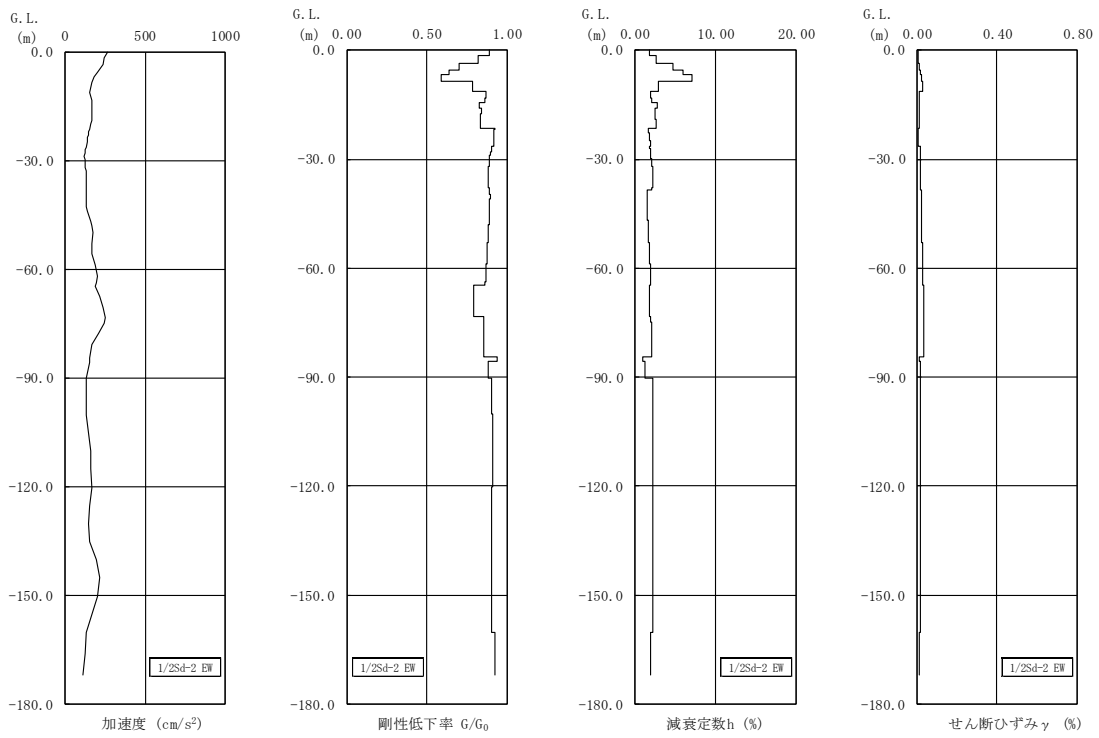


第 3.9 図 地盤の地震応答解析結果(NS 方向、1/2Sd-5)

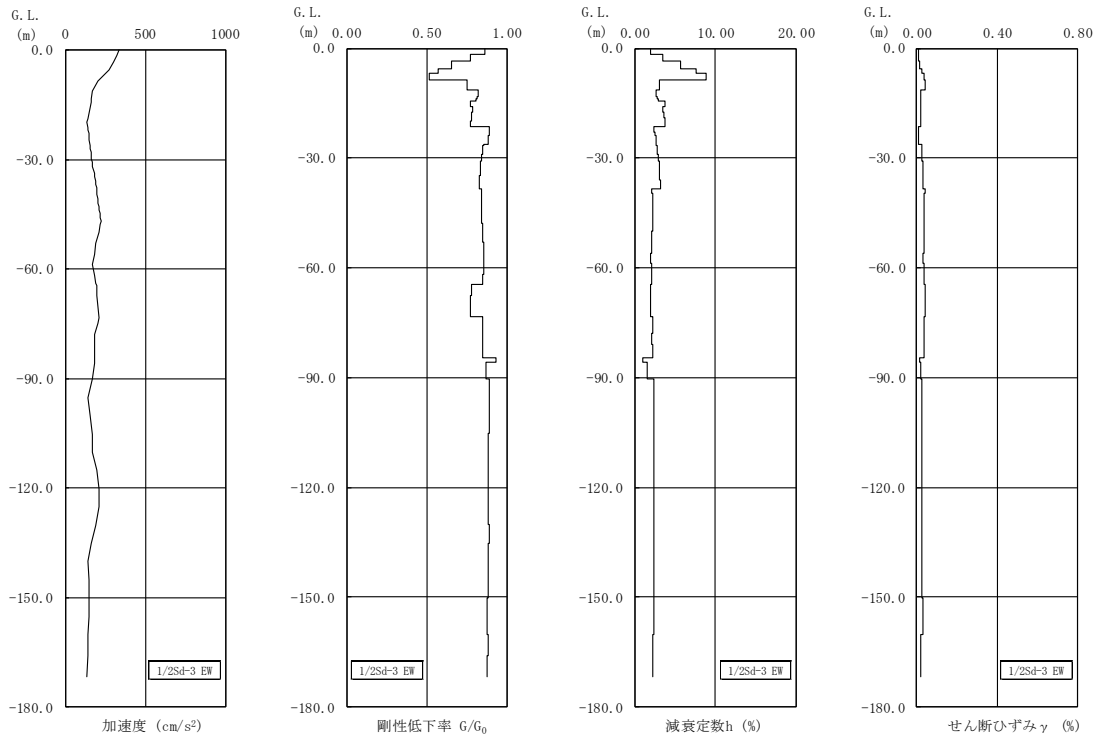




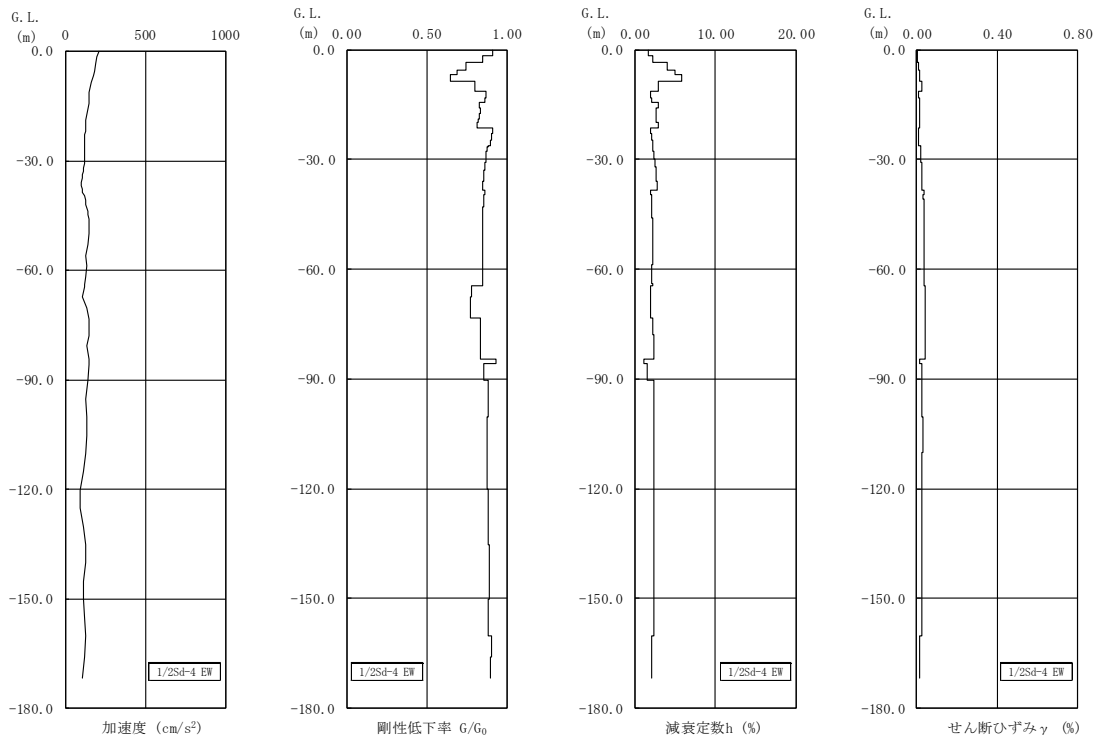
第 3.10 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-1)



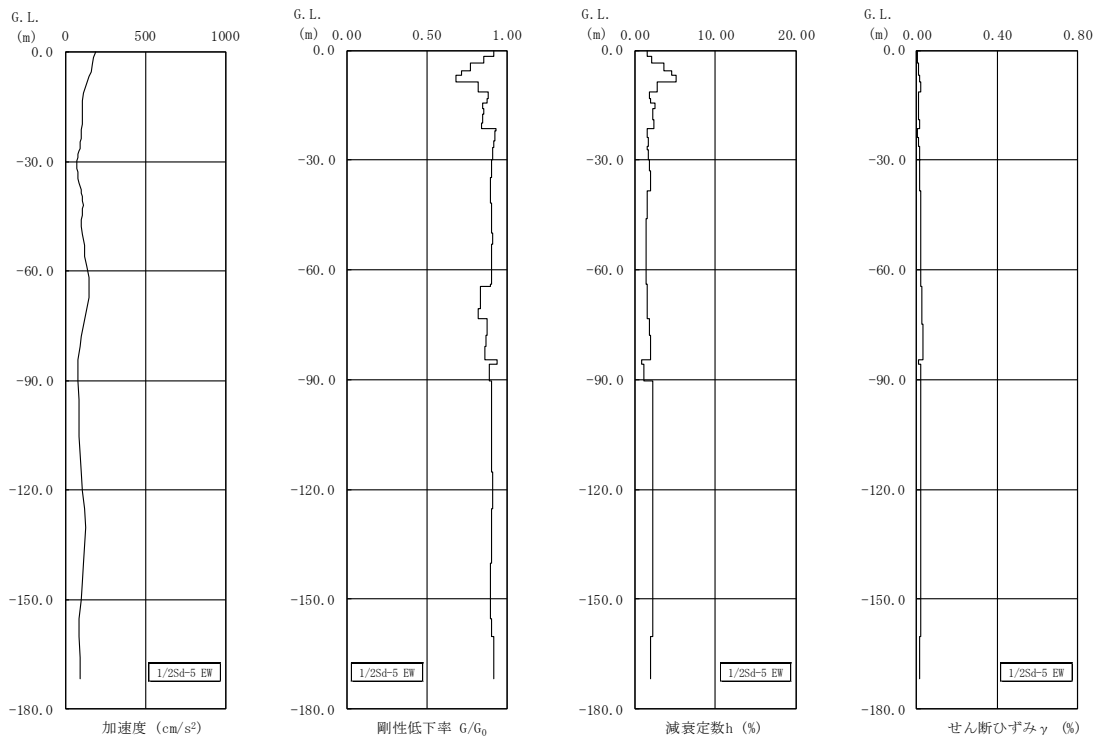
第 3.11 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-2)



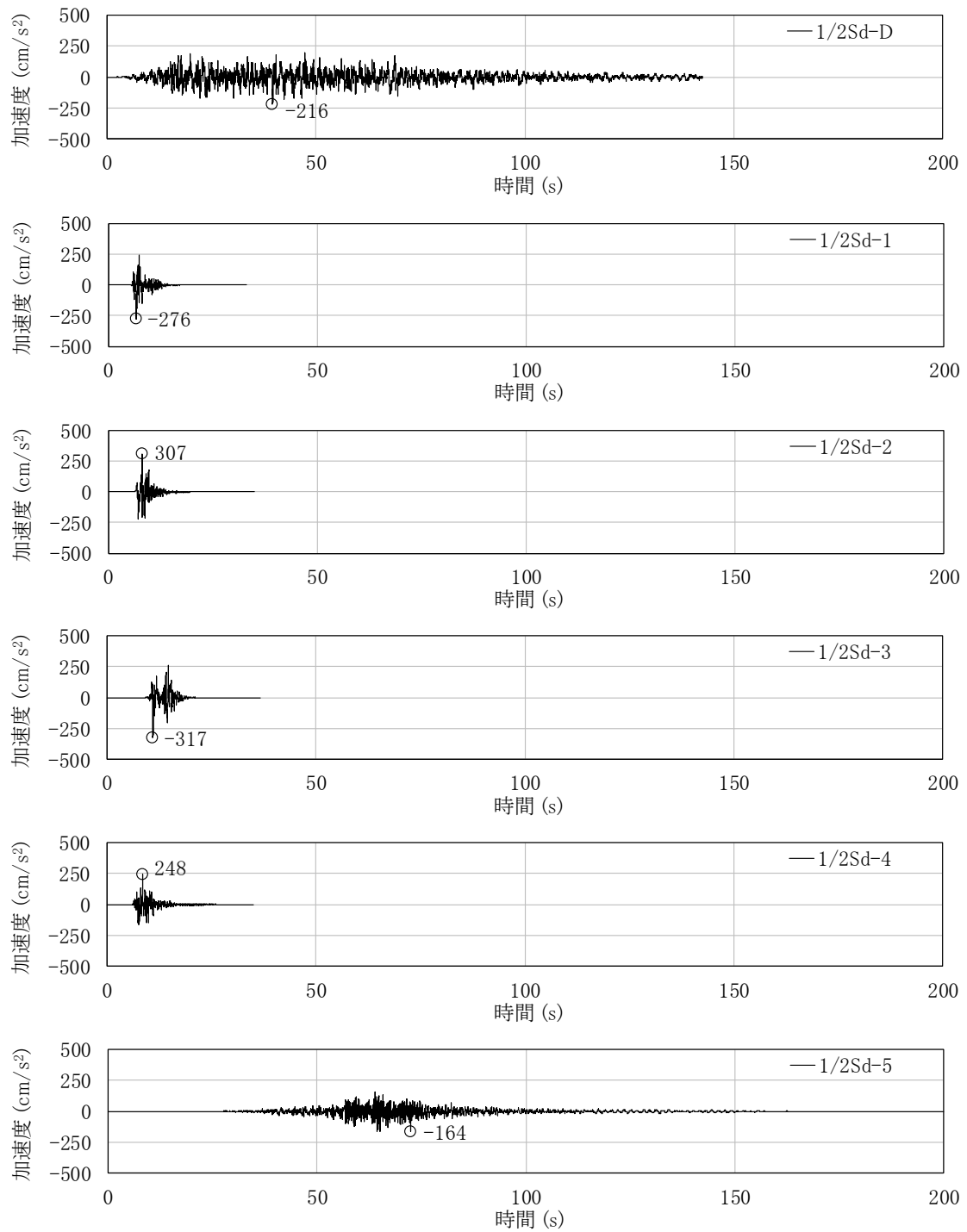
第 3.12 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-3)



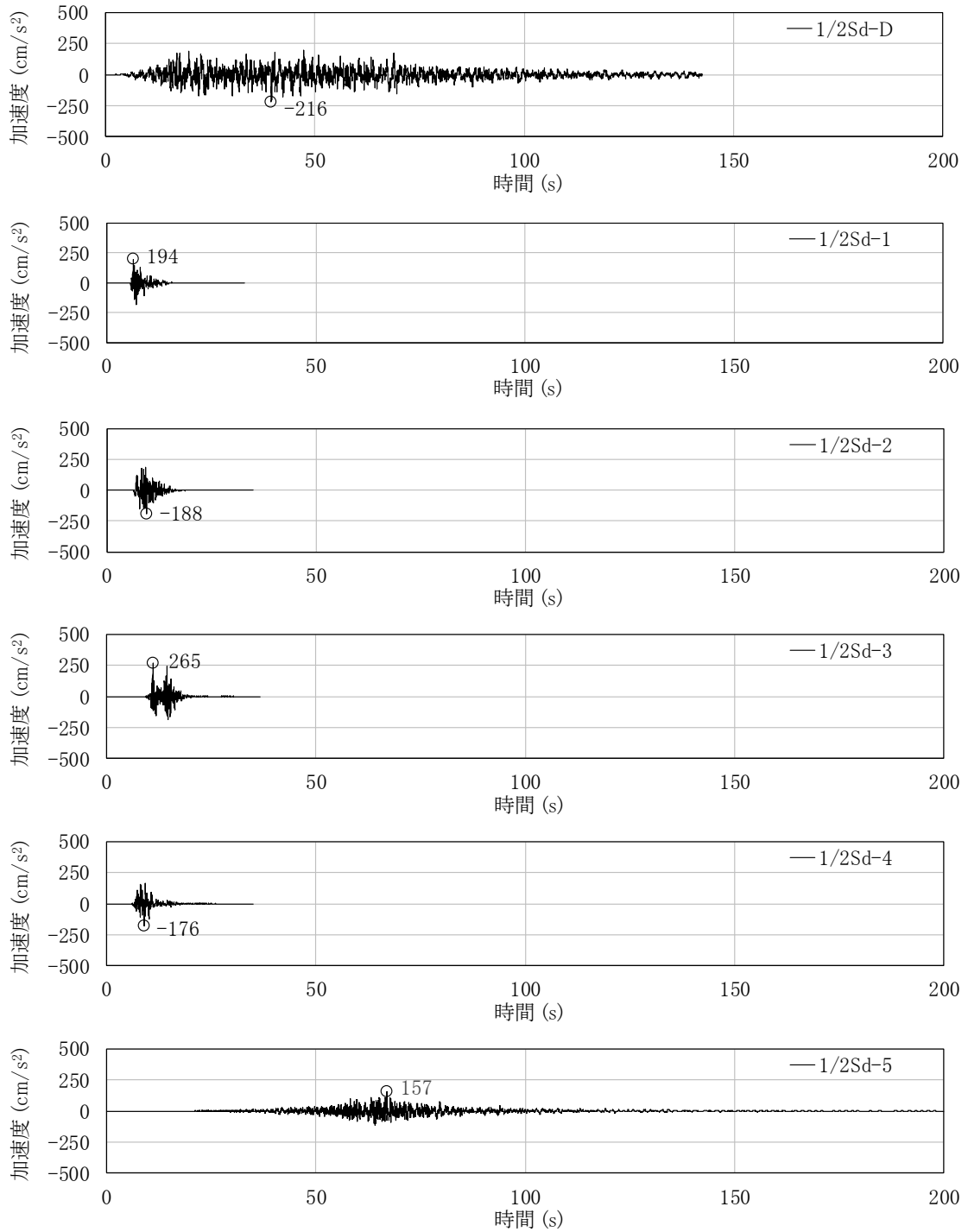
第 3.13 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-4)



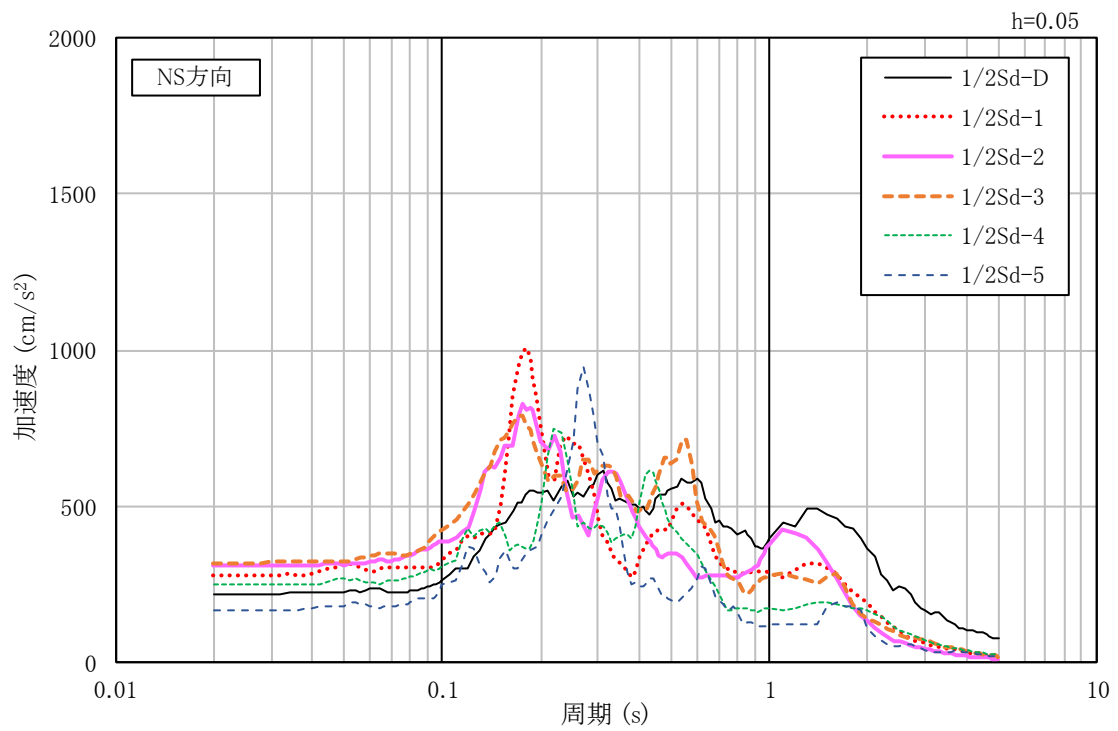
第 3.14 図 地盤の地震応答解析結果(EW 方向、1/2Sd-5)



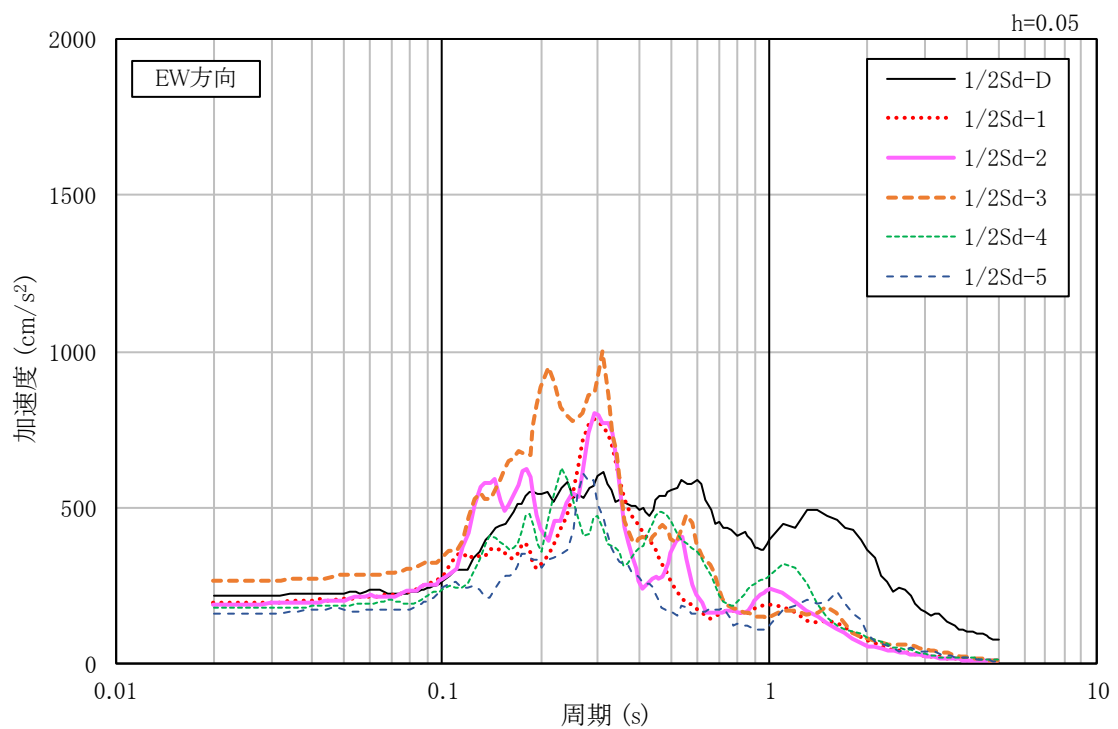
第 3.15 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m)



第 3.16 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

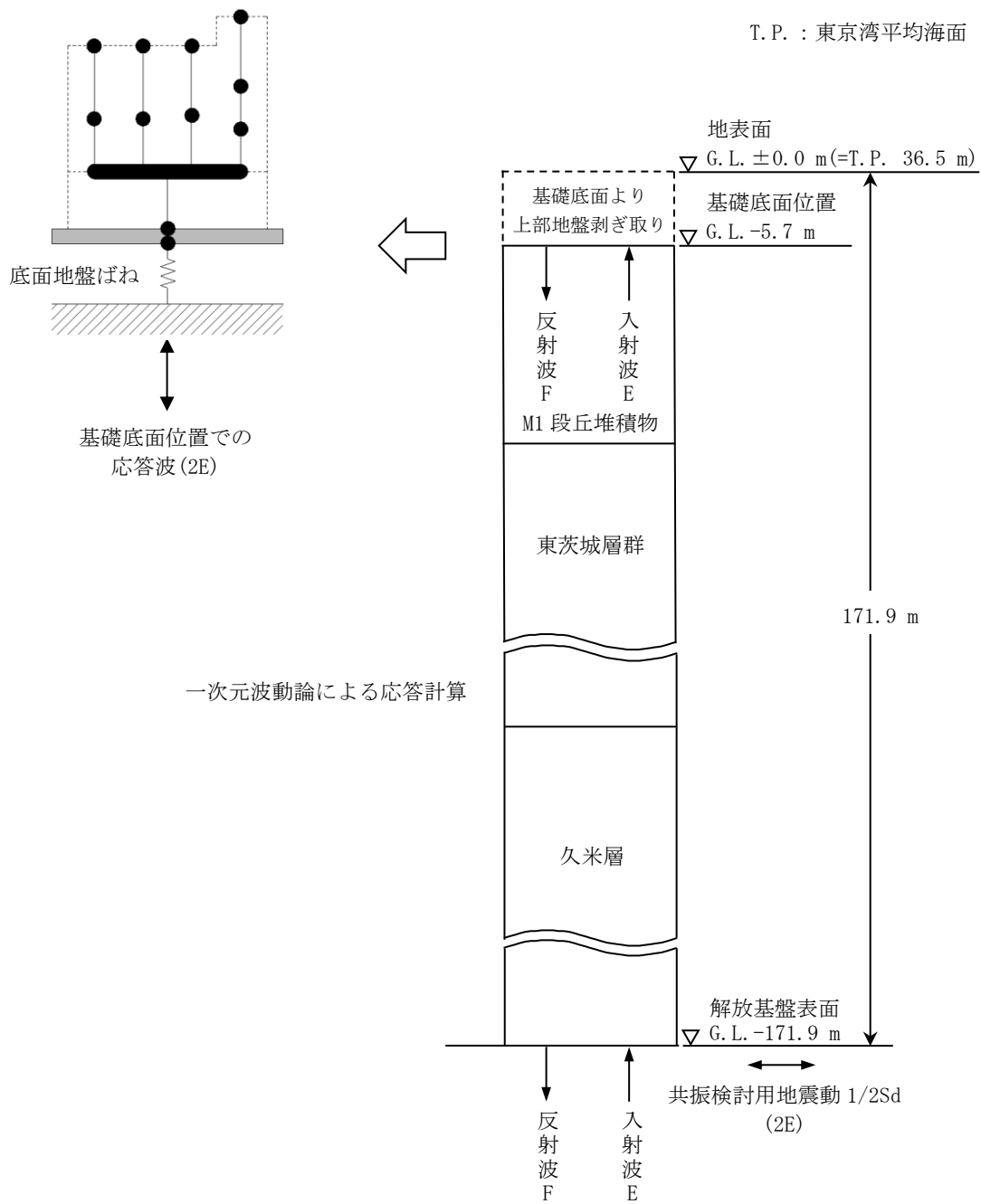
第 3.17 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m)

### 3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、共振検討用地震動  $1/2S_d$  を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

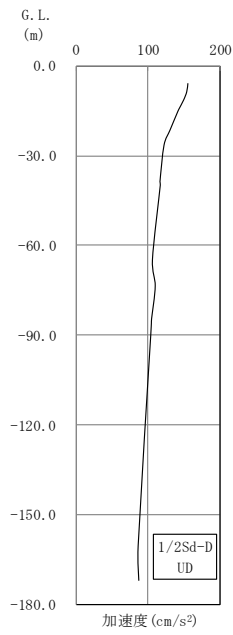
算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。鉛直方向の入力地震動算定の概要を第 3.18 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「KSHAKE(清水建設株式会社)」である。

共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地盤の地震応答解析結果を第 3.19 図に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.20 図及び第 3.21 図に示す。

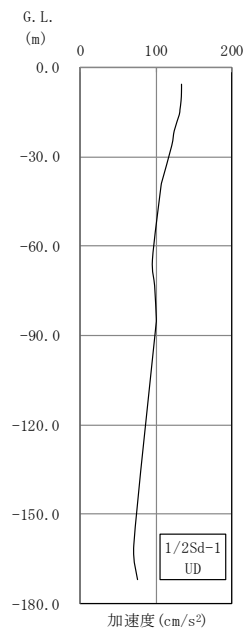


第 3.18 図 入力地震動算定の概要(鉛直方向)

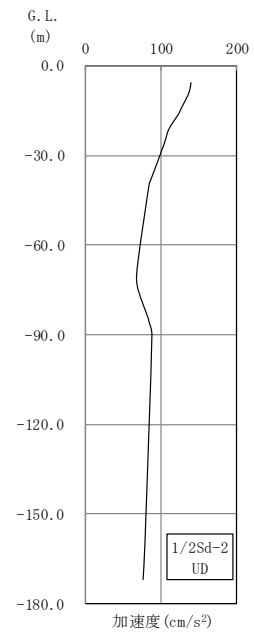




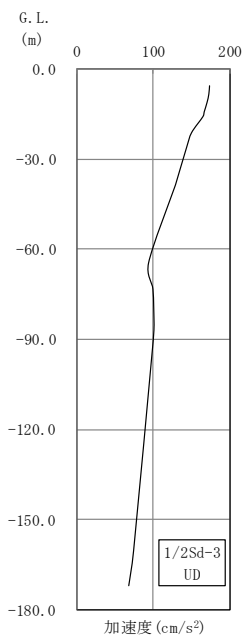
(a) 1/2Sd-D



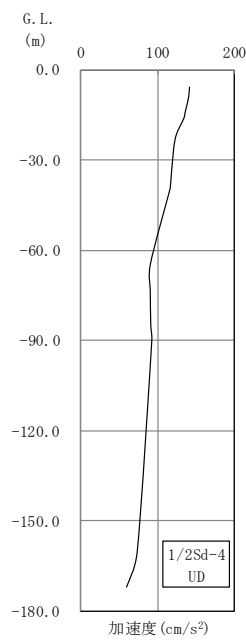
(b) 1/2Sd-1



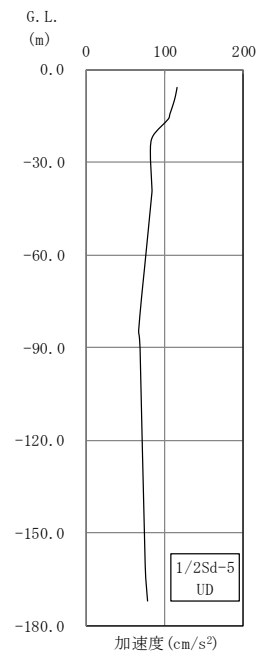
(c) 1/2Sd-2



(d) 1/2Sd-3

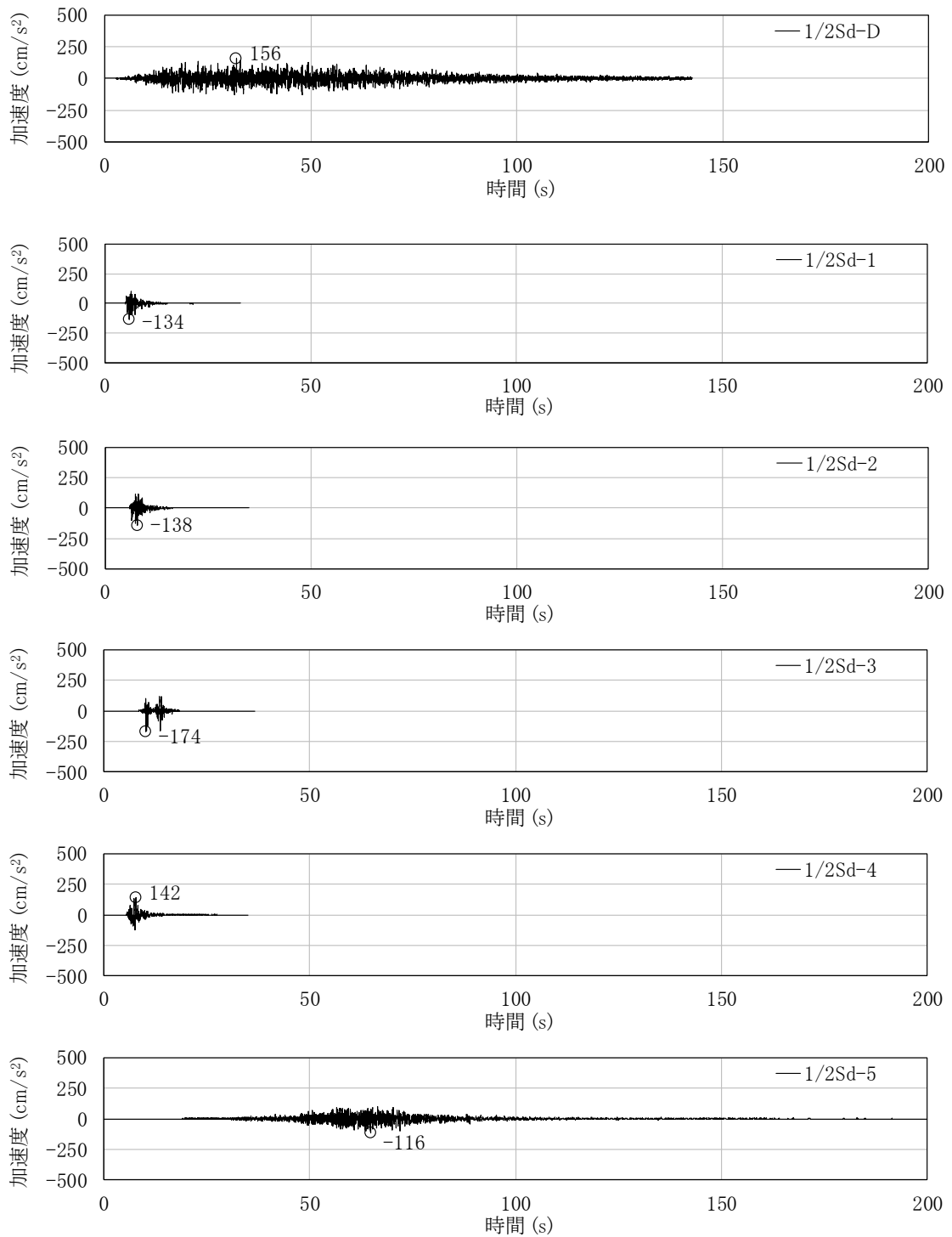


(e) 1/2Sd-4

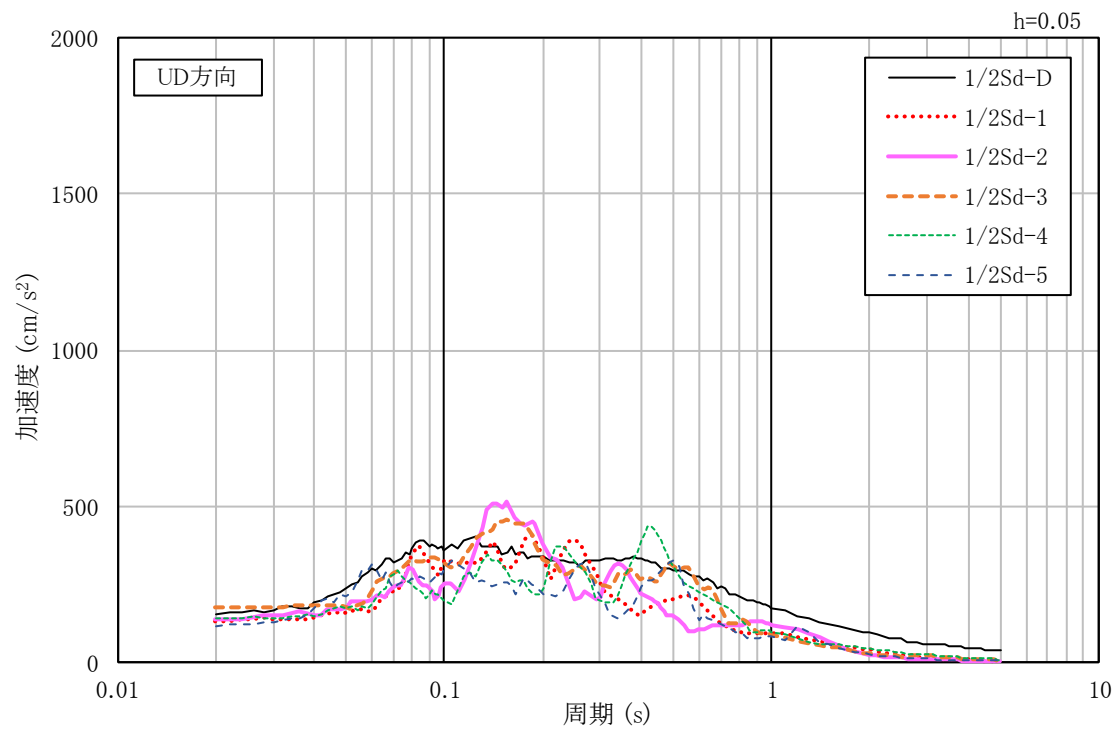


(f) 1/2Sd-5

第 3.19 図 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向、1/2Sd)



第 3.20 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5.7m)



第 3. 21 図 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向、1/2Sd、基礎底面位置 G. L. -5. 7m)

#### 4. 解析モデル

##### 4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多軸多質点系モデル(線形)とする。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

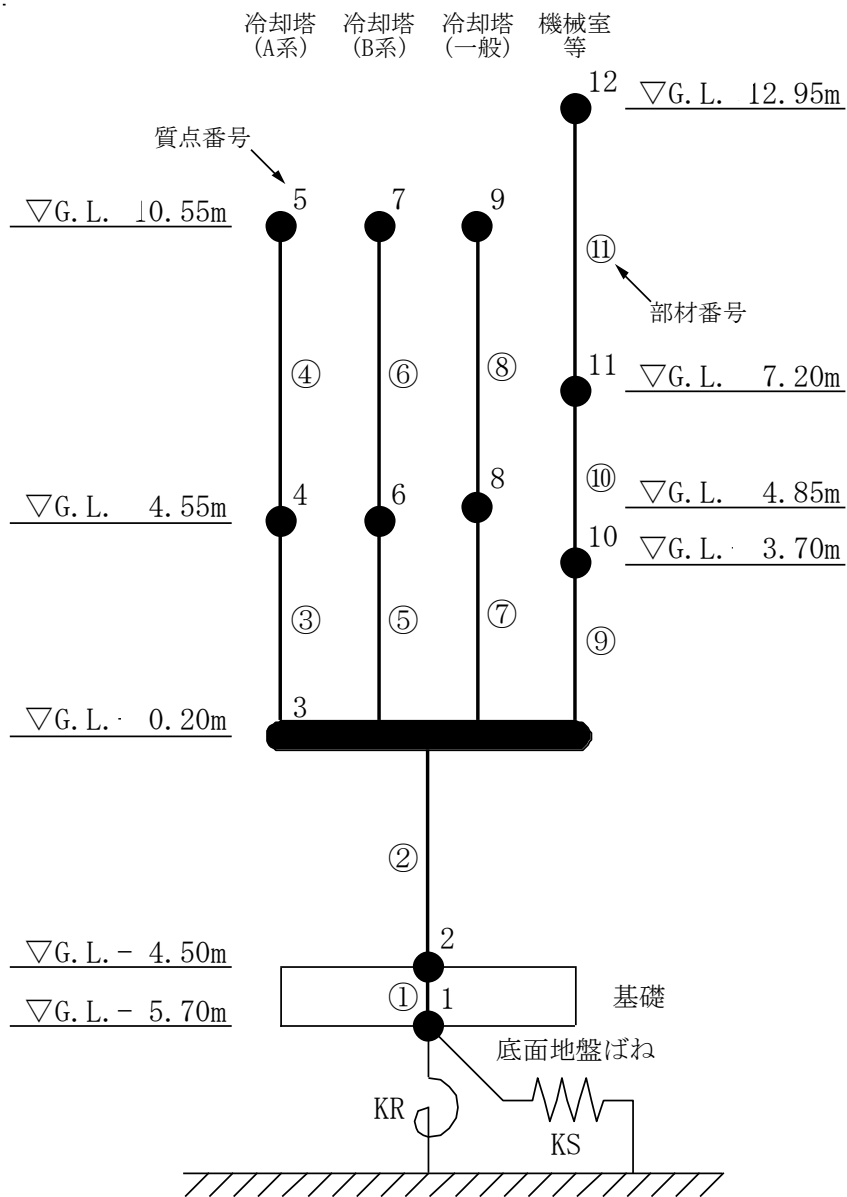
水平方向の解析モデルを第 4.1 図に、解析モデルの諸元を第 4.1 表及び第 4.2 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「GRIMP2(清水建設株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.3 表及び第 4.4 表に、底面地盤ばねの定式化の概要を第 4.2 図に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.1 図 解析モデル(水平方向)

第 4.1 表 解析モデルの諸元(NS 方向)

	質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 (kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
冷却塔 (A 系)	5	10.55	1,225	7,530	—		
					④	6.78	64.5
	4	4.55	1,570	9,790	③	2.00	48.6
	3	0.2	17,947	1,350,000	②	53.66	5.17×10 <sup>3</sup>
	2	- 4.50	18,252	1,370,000	①	600.0	4.50×10 <sup>4</sup>
基礎	1	- 5.7	15,771	1,190,000	—		
					—		
冷却塔 (B 系)	7	10.55	1,224	7,530	—		
					⑥	6.78	64.5
	6	4.55	1,570	9,790	⑤	2.00	48.6
	3	0.2			—		
冷却塔 (一般)	9	10.55	1,046	5,190	—		
					⑧	6.24	39.1
	8	4.85	1,399	7,090	⑦	2.06	47.1
	3	0.2			—		
機械室等	12	12.95	481	428	—		
					⑪	1.40	2.7
	11	7.2	1,298	19,200	⑩	7.10	134
	10	3.7	1,484	22,000	⑨	7.33	140
	3	0.2			—		

第 4.2 表 解析モデルの諸元(EW 方向)

	質点 番号	高さ G. L. (m)	重量 (kN)	回転慣性 (kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )
冷却塔 (A 系)	5	10.55	1,225	2,610	—		
					④	4.06	15.9
	4	4.55	1,570	3,480	③	4.06	10.8
	3	0.2	17,947	601,000	②	40.55	2.17×10 <sup>3</sup>
	2	- 4.50	18,252	611,000	①	600.00	2.00×10 <sup>4</sup>
基礎	1	- 5.7	15,771	528,000	—		
					—		
冷却塔 (B 系)	7	10.55	1,224	2,610	⑥	4.06	15.9
	6	4.55	1,570	3,480	⑤	4.06	10.8
	3	0.2			—		
					—		
冷却塔 (一般)	9	10.55	1,046	1,910	⑧	3.82	12.1
	8	4.85	1,399	2,720	⑦	3.82	8.4
	3	0.2			—		
					—		
機械室等	12	12.95	481	1,040	⑪	2.38	8.4
	11	7.2	1,298	2,680	⑩	4.19	15.1
	10	3.7	1,484	3,090	⑨	4.53	15.1
	3	0.2			—		
					—		

第 4.3 表 地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向、1/2Sd)

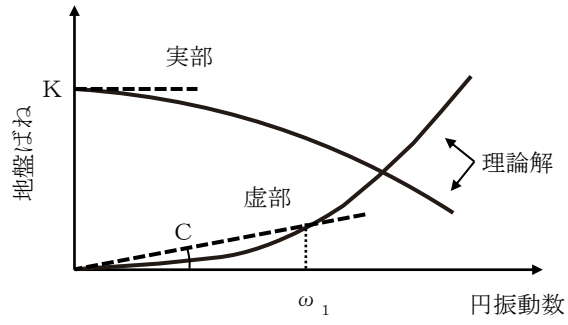
地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	底面	水平	KS	$2.176 \times 10^7$	$4.482 \times 10^5$
		回転	KR	$5.380 \times 10^9$	$4.936 \times 10^7$
1/2Sd-1	底面	水平	KS	$2.184 \times 10^7$	$4.490 \times 10^5$
		回転	KR	$5.391 \times 10^9$	$4.945 \times 10^7$
1/2Sd-2	底面	水平	KS	$2.184 \times 10^7$	$4.490 \times 10^5$
		回転	KR	$5.399 \times 10^9$	$4.947 \times 10^7$
1/2Sd-3	底面	水平	KS	$2.123 \times 10^7$	$4.427 \times 10^5$
		回転	KR	$5.235 \times 10^9$	$4.881 \times 10^7$
1/2Sd-4	底面	水平	KS	$2.219 \times 10^7$	$4.526 \times 10^5$
		回転	KR	$5.481 \times 10^9$	$4.980 \times 10^7$
1/2Sd-5	底面	水平	KS	$2.324 \times 10^7$	$4.631 \times 10^5$
		回転	KR	$5.746 \times 10^9$	$5.085 \times 10^7$



第 4.4 表 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向、1/2Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	底面	水平	KS	$2.257 \times 10^7$	$4.822 \times 10^5$
		回転	KR	$3.000 \times 10^9$	$1.760 \times 10^7$
1/2Sd-1	底面	水平	KS	$2.265 \times 10^7$	$4.830 \times 10^5$
		回転	KR	$3.006 \times 10^9$	$1.762 \times 10^7$
1/2Sd-2	底面	水平	KS	$2.265 \times 10^7$	$4.830 \times 10^5$
		回転	KR	$3.011 \times 10^9$	$1.762 \times 10^7$
1/2Sd-3	底面	水平	KS	$2.202 \times 10^7$	$4.763 \times 10^5$
		回転	KR	$2.920 \times 10^9$	$1.745 \times 10^7$
1/2Sd-4	底面	水平	KS	$2.302 \times 10^7$	$4.869 \times 10^5$
		回転	KR	$3.057 \times 10^9$	$1.773 \times 10^7$
1/2Sd-5	底面	水平	KS	$2.410 \times 10^7$	$4.980 \times 10^5$
		回転	KR	$3.205 \times 10^9$	$1.801 \times 10^7$

$\omega_1$  : 地盤-建家連成系 1 次固有円振動数  
 K : ばね定数  
 C : 減衰係数



第 4.2 図 底面地盤ばねの定式化の概要

## 4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多軸多質点系モデルとする。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

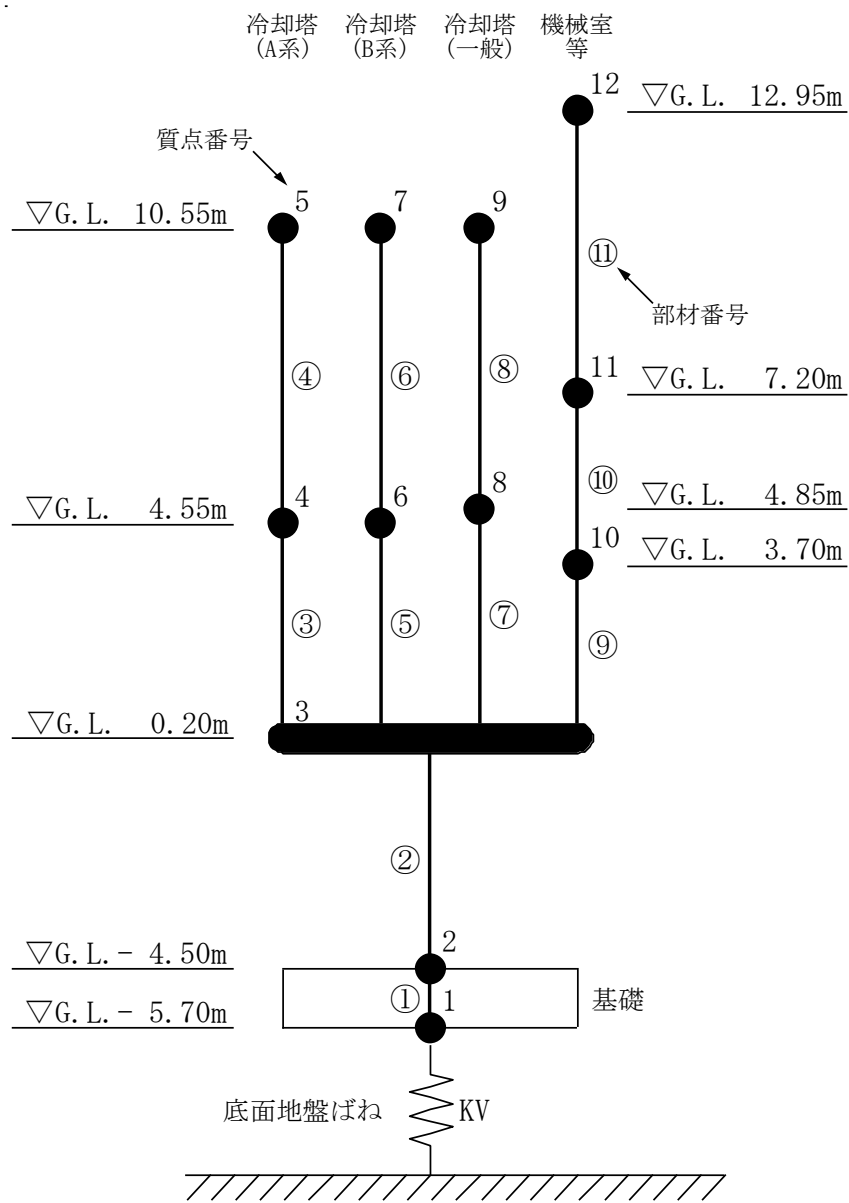
鉛直方向の解析モデルを第 4.3 図に、解析モデルの諸元を第 4.5 表に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「GRIMP2(清水建設株式会社)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.6 表に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家のコンクリート部分の減衰定数は 3%とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「DYNA2E(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.3 図 解析モデル(鉛直方向)

第 4.5 表 解析モデルの諸元(鉛直方向)

	質点 番号	高さ G.L. (m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m <sup>2</sup> )
冷却塔 (A系)	5	10.55	1,225	—	
				④	8.88
	4	4.55	1,570	③	5.04
	3	0.2	17,947	②	83.5
	2	- 4.50	18,252	①	6.00×10 <sup>2</sup>
基礎	1	- 5.7	15,771	—	
				—	
冷却塔 (B系)	7	10.55	1,224	—	
				⑥	8.88
	6	4.55	1,570	⑤	5.04
	3	0.2		—	
冷却塔 (一般)	9	10.55	1,046	—	
				⑧	8.04
	8	4.85	1,399	⑦	4.74
	3	0.2		—	
機械室等	12	12.95	481	—	
				⑪	3.05
	11	7.2	1,298	⑩	9.33
	10	3.7	1,484	⑨	9.51
	3	0.2		—	

第 4.6 表 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向、1/2Sd)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
1/2Sd-D	底面	鉛直	KV	$3.072 \times 10^7$	$9.829 \times 10^5$
1/2Sd-1	底面	鉛直	KV	$3.132 \times 10^7$	$9.924 \times 10^5$
1/2Sd-2	底面	鉛直	KV	$3.163 \times 10^7$	$9.971 \times 10^5$
1/2Sd-3	底面	鉛直	KV	$3.095 \times 10^7$	$9.865 \times 10^5$
1/2Sd-4	底面	鉛直	KV	$3.202 \times 10^7$	$1.003 \times 10^6$
1/2Sd-5	底面	鉛直	KV	$3.371 \times 10^7$	$1.029 \times 10^6$

## 5. 解析結果

### 5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を第 5.1 表～第 5.6 表に示す。刺激関数を  $1/2Sd-D$  の結果を代表として、第 5.1 図から第 5.6 図に示す。

第 5.1 表 固有値解析結果(1/2Sd-D)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.122	8.18	1.705	全体 1 次
	2	0.069	14.45	-0.824	
	3	0.067	15.04	0.003	
	4	0.065	15.44	-0.221	
	5	0.062	16.19	-0.019	
	6	0.047	21.18	0.055	
	7	0.028	35.66	-0.107	
	8	0.026	38.95	-0.054	
EW	1	0.137	7.28	2.337	全体 1 次
	2	0.102	9.84	-0.498	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.091	10.93	1.519	
	5	0.082	12.22	-2.896	
	6	0.049	20.41	0.298	
	7	0.030	32.91	0.059	
	8	0.026	39.10	-0.105	
UD	1	0.092	10.83	1.082	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.025	
	4	0.022	46.02	-0.111	
	5	0.019	53.74	-0.128	
	6	0.011	89.65	0.056	
	7	0.010	101.78	-0.025	
	8	0.008	119.10	0.000	



第 5.2 表 固有値解析結果(1/2Sd-1)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.122	8.20	1.707	全体 1 次
	2	0.069	14.46	-0.828	
	3	0.067	15.04	0.003	
	4	0.065	15.44	-0.226	
	5	0.062	16.19	-0.020	
	6	0.047	21.19	0.056	
	7	0.028	35.66	-0.107	
	8	0.026	38.95	-0.054	
EW	1	0.137	7.29	2.339	全体 1 次
	2	0.102	9.84	-0.498	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.091	10.93	1.519	
	5	0.082	12.23	-2.896	
	6	0.049	20.42	0.298	
	7	0.030	32.91	0.059	
	8	0.026	39.10	-0.106	
UD	1	0.091	10.93	1.083	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.025	
	4	0.022	46.02	-0.113	
	5	0.019	53.75	-0.130	
	6	0.011	89.66	0.057	
	7	0.010	101.79	-0.025	
	8	0.008	119.10	0.000	

第 5.3 表 固有値解析結果(1/2Sd-2)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.122	8.20	1.707	全体 1 次
	2	0.069	14.46	-0.828	
	3	0.067	15.04	0.003	
	4	0.065	15.44	-0.227	
	5	0.062	16.19	-0.021	
	6	0.047	21.20	0.056	
	7	0.028	35.66	-0.107	
	8	0.026	38.95	-0.054	
EW	1	0.137	7.29	2.339	全体 1 次
	2	0.102	9.84	-0.498	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.091	10.93	1.519	
	5	0.082	12.23	-2.895	
	6	0.049	20.43	0.298	
	7	0.030	32.91	0.059	
	8	0.026	39.11	-0.106	
UD	1	0.091	10.98	1.084	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.025	
	4	0.022	46.03	-0.114	
	5	0.019	53.75	-0.132	
	6	0.011	89.66	0.057	
	7	0.010	101.79	-0.026	
	8	0.008	119.10	0.000	

第 5.4 表 固有値解析結果(1/2Sd-3)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.123	8.10	1.697	全体 1 次
	2	0.070	14.33	-0.794	
	3	0.067	15.04	0.002	
	4	0.065	15.44	-0.184	
	5	0.062	16.19	-0.004	
	6	0.047	21.06	0.047	
	7	0.028	35.64	-0.105	
	8	0.026	38.95	-0.053	
EW	1	0.138	7.23	2.322	全体 1 次
	2	0.102	9.84	-0.500	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.092	10.92	1.523	
	5	0.082	12.15	-2.901	
	6	0.049	20.22	0.295	
	7	0.030	32.90	0.059	
	8	0.026	39.08	-0.103	
UD	1	0.092	10.87	1.082	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.025	
	4	0.022	46.02	-0.111	
	5	0.019	53.75	-0.129	
	6	0.011	89.66	0.056	
	7	0.010	101.78	-0.025	
	8	0.008	119.10	0.000	

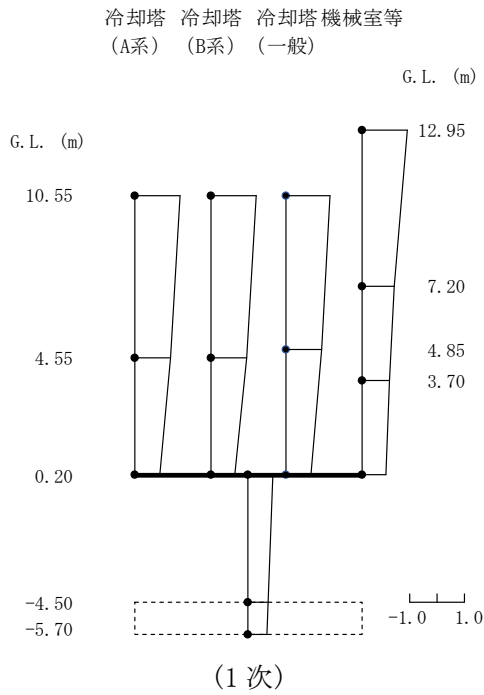
第 5.5 表 固有値解析結果(1/2Sd-4)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.121	8.25	1.713	全体 1 次
	2	0.069	14.53	-0.848	
	3	0.067	15.04	-0.004	
	4	0.065	15.44	-0.255	
	5	0.062	16.19	-0.031	
	6	0.047	21.26	0.061	
	7	0.028	35.67	-0.109	
	8	0.026	38.95	-0.055	
EW	1	0.136	7.33	2.348	全体 1 次
	2	0.102	9.85	-0.498	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.091	10.94	1.515	
	5	0.081	12.27	-2.892	
	6	0.049	20.54	0.300	
	7	0.030	32.91	0.059	
	8	0.026	39.12	-0.108	
UD	1	0.091	11.05	1.085	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.026	
	4	0.022	46.03	-0.115	
	5	0.019	53.75	-0.133	
	6	0.011	89.66	0.058	
	7	0.010	101.79	-0.026	
	8	0.008	119.10	0.000	

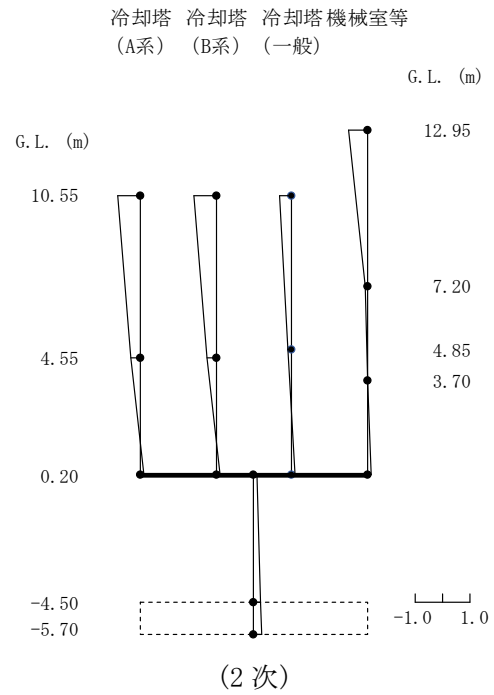
第 5.6 表 固有値解析結果(1/2Sd-5)

方向	次 数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
NS	1	0.119	8.41	1.730	全体 1 次
	2	0.068	14.74	-0.916	
	3	0.067	15.04	-0.007	
	4	0.065	15.45	-0.369	
	5	0.062	16.19	-0.070	
	6	0.047	21.48	0.075	
	7	0.028	35.70	-0.113	
	8	0.026	38.96	-0.058	
EW	1	0.135	7.43	2.374	全体 1 次
	2	0.102	9.85	-0.497	
	3	0.098	10.19	0.004	
	4	0.091	10.96	1.504	
	5	0.081	12.41	-2.877	
	6	0.048	20.89	0.305	
	7	0.030	32.93	0.059	
	8	0.026	39.16	-0.112	
UD	1	0.088	11.33	1.090	全体 1 次
	2	0.023	44.32	-0.001	
	3	0.022	44.67	0.027	
	4	0.022	46.05	-0.121	
	5	0.019	53.76	-0.141	
	6	0.011	89.67	0.061	
	7	0.010	101.80	-0.027	
	8	0.008	119.10	0.000	

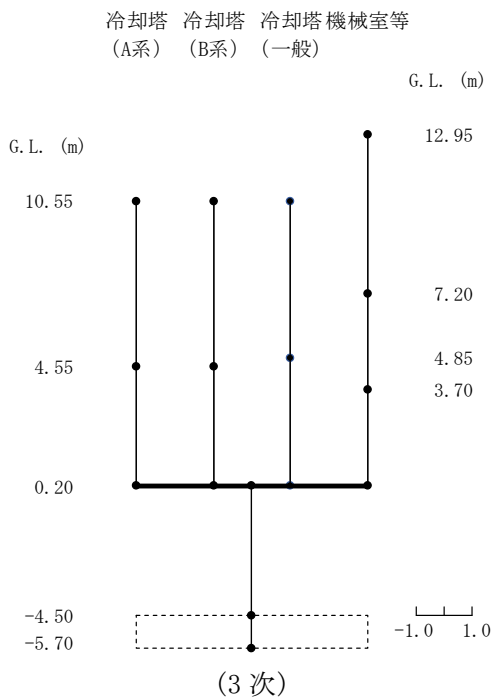
NS方向 1/2Sd-D 1次



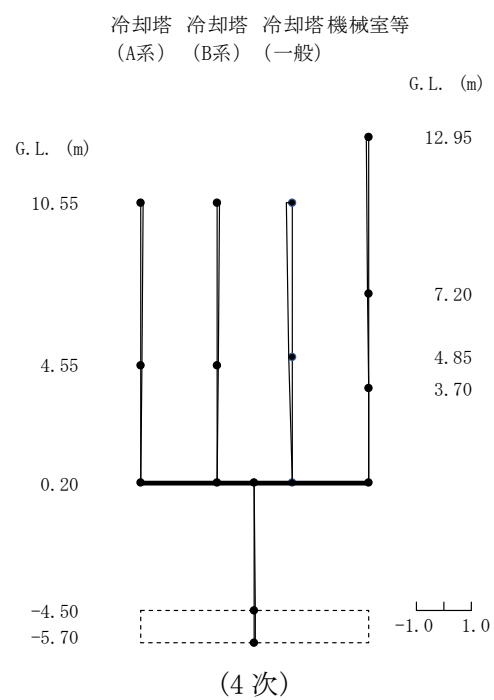
NS方向 1/2Sd-D 2次



NS方向 1/2Sd-D 3次

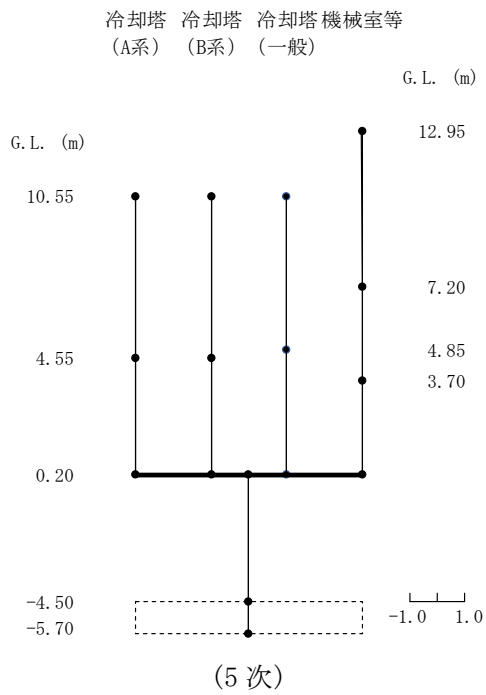


NS方向 1/2Sd-D 4次

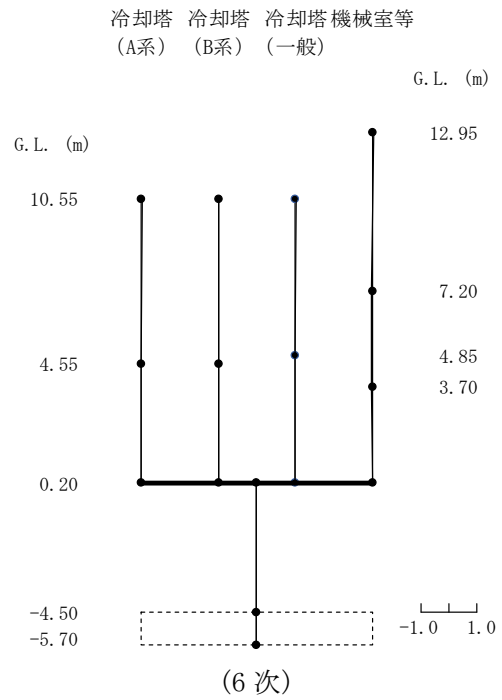


第 5.1 図 刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、1~4 次)

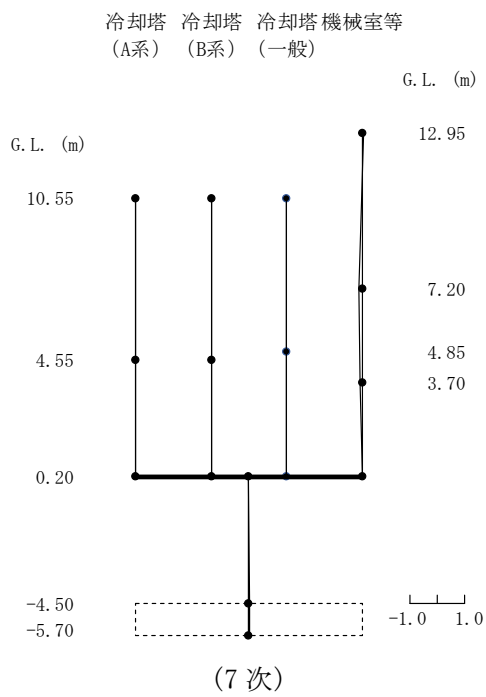
NS方向 1/2Sd-D 5次



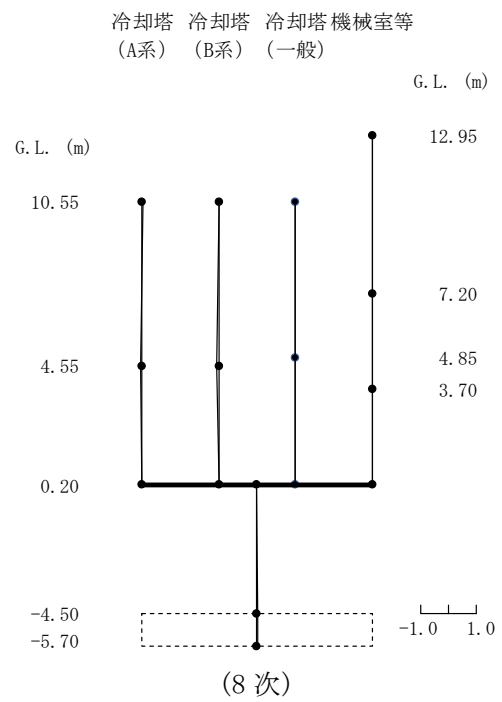
NS方向 1/2Sd-D 6次



NS方向 1/2Sd-D 7次

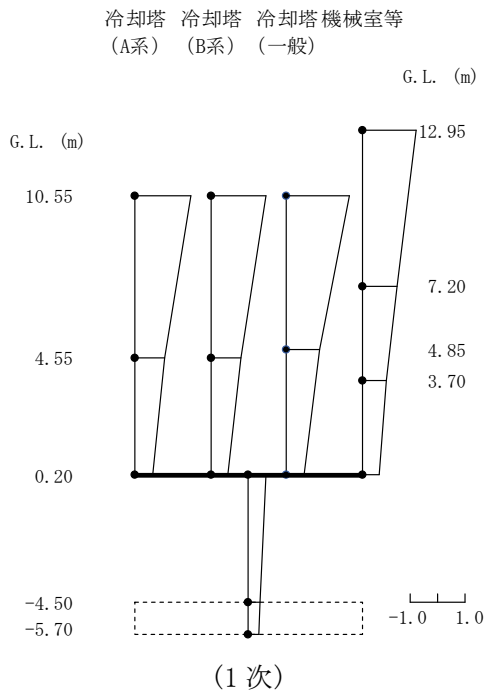


NS方向 1/2Sd-D 8次

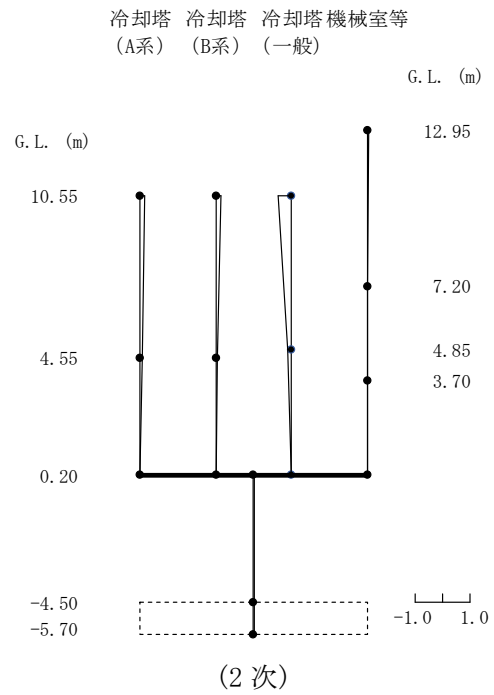


第 5.2 図 刺激関数(NS 方向、1/2Sd-D、5~8 次)

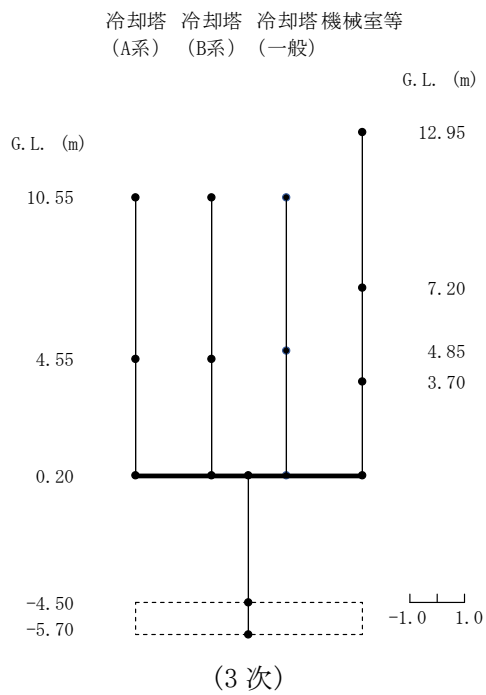
EW方向 1/2Sd-D 1次



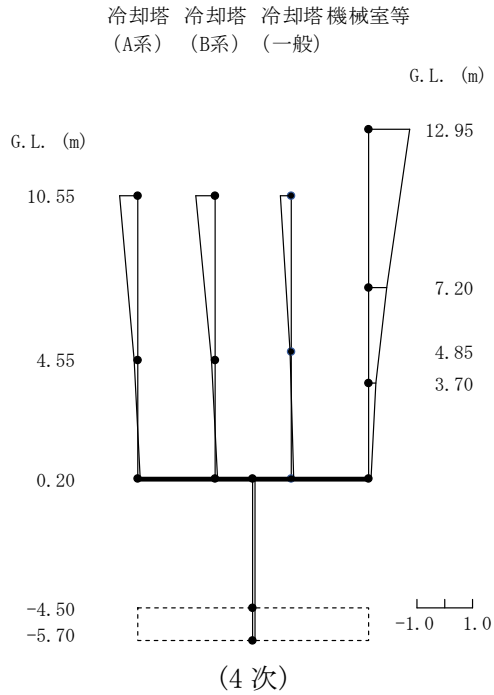
EW方向 1/2Sd-D 2次



EW方向 1/2Sd-D 3次



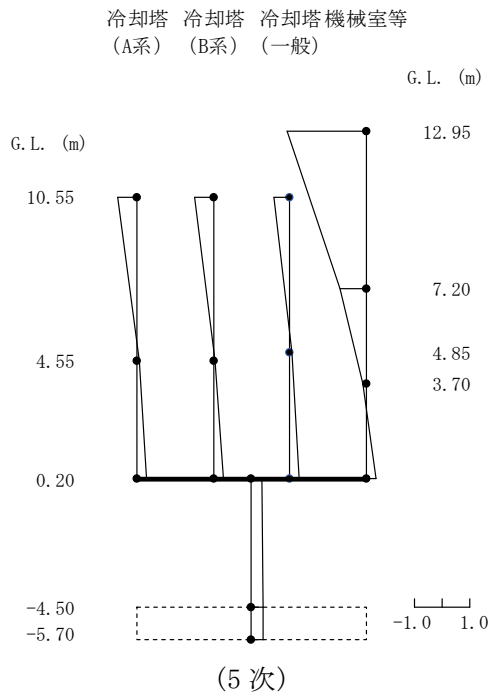
EW方向 1/2Sd-D 4次



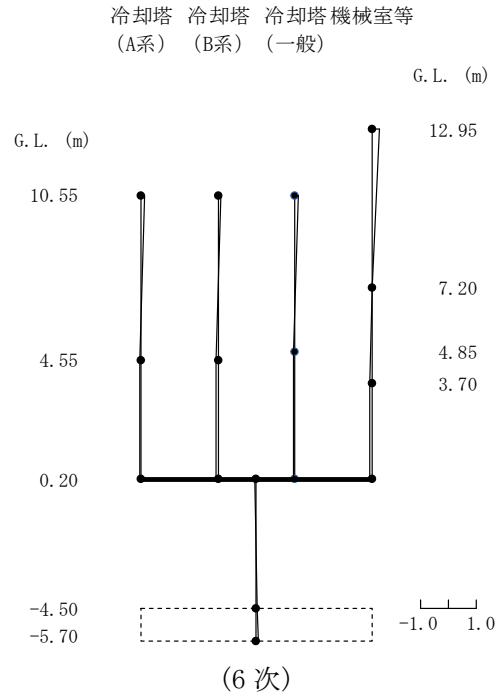
第 5.3 図 刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、1~4 次)



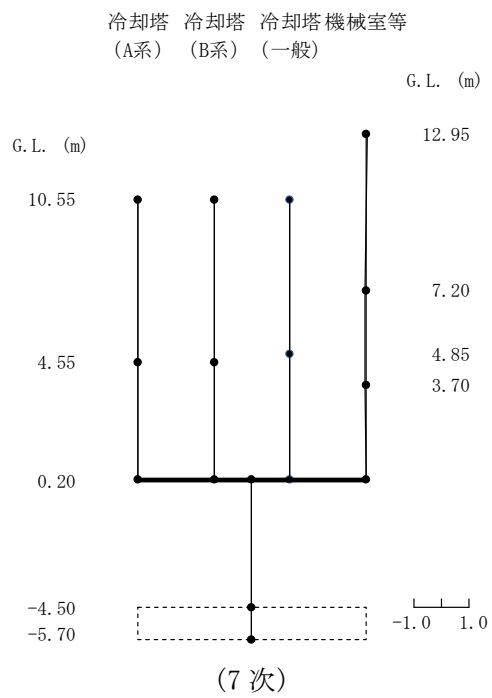
EW方向 1/2Sd-D 5次



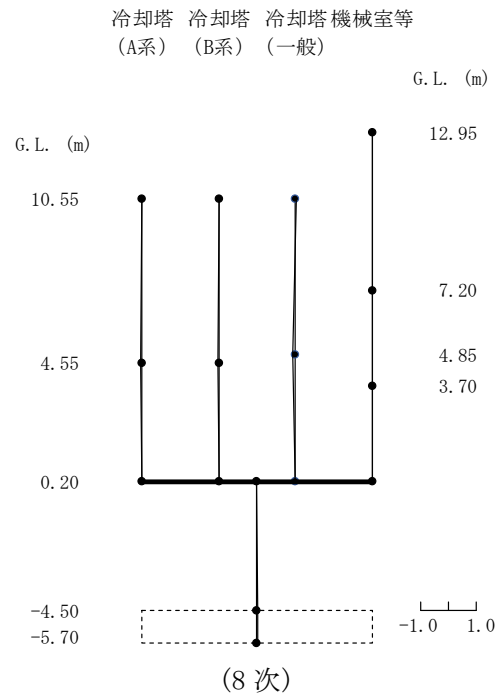
EW方向 1/2Sd-D 6次



EW方向 1/2Sd-D 7次

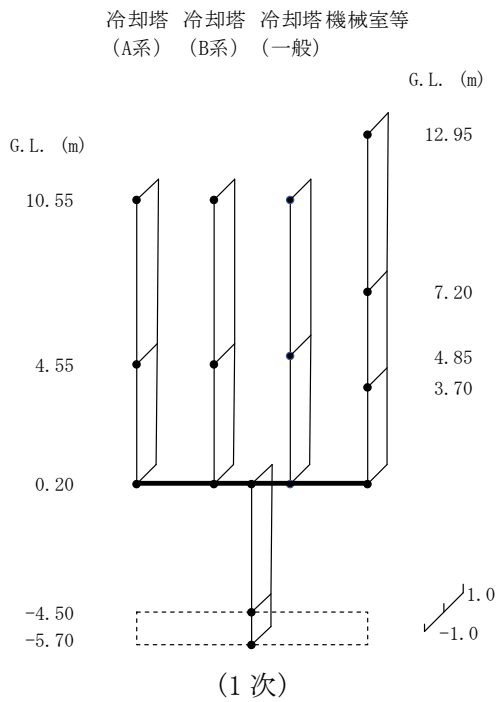


EW方向 1/2Sd-D 8次

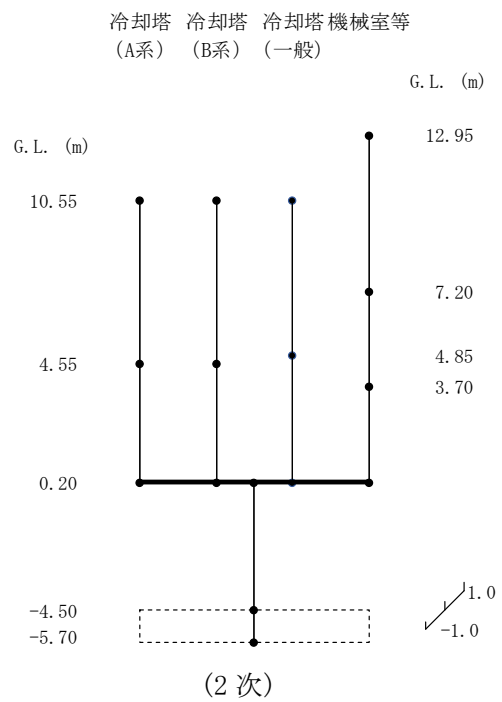


第 5.4 図 刺激関数(EW 方向、1/2Sd-D、5~8 次)

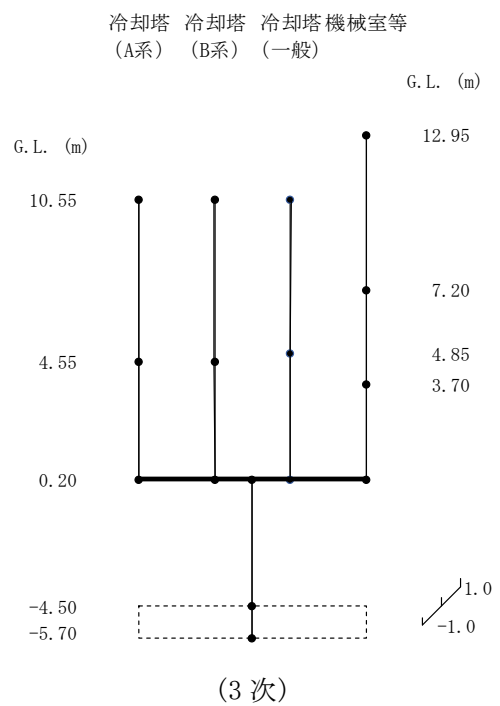
UD方向 1/2Sd-D 1次



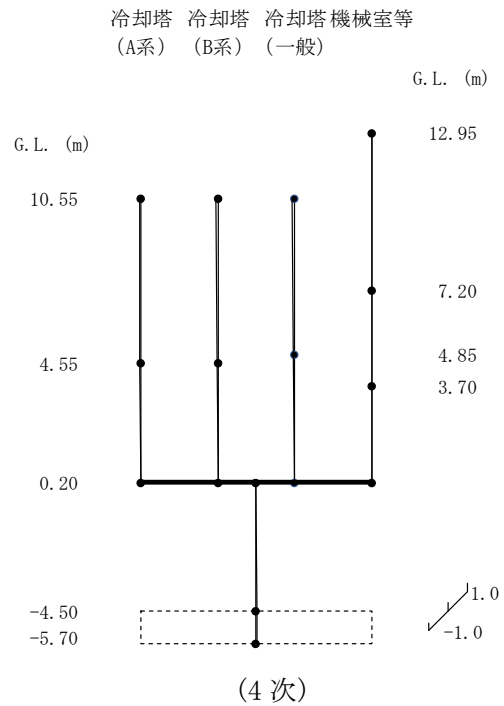
UD方向 1/2Sd-D 2次



UD方向 1/2Sd-D 3次



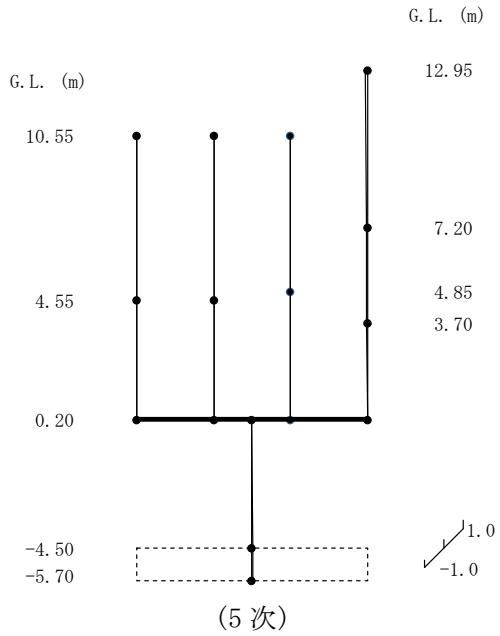
UD方向 1/2Sd-D 4次



第 5.5 図 刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、1~4 次)

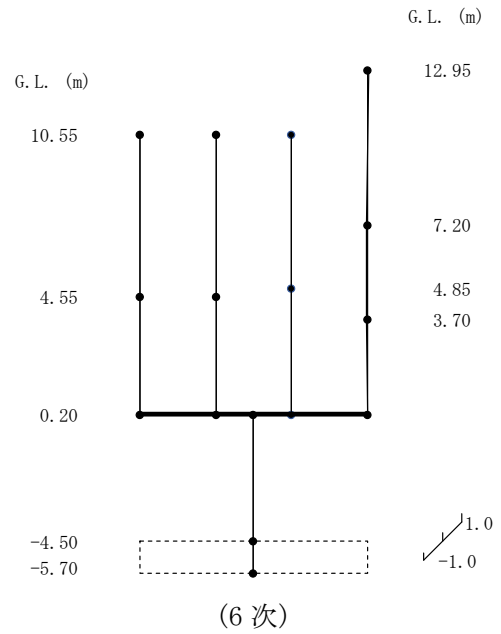
UD方向 1/2Sd-D 5次

冷却塔 (A系) 冷却塔 (B系) 冷却塔 (一般) 機械室等



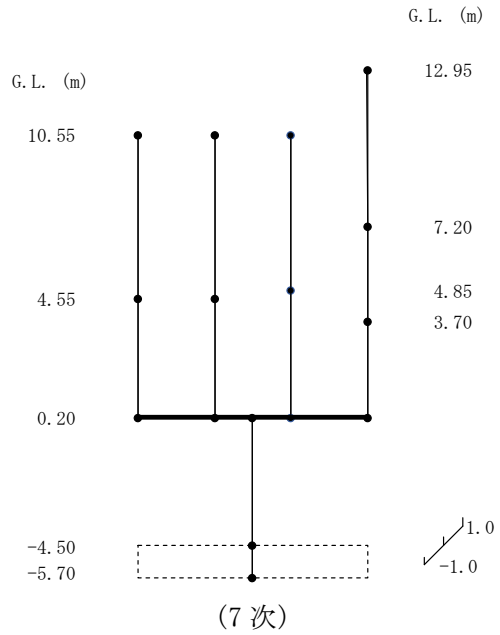
UD方向 1/2Sd-D 6次

冷却塔 (A系) 冷却塔 (B系) 冷却塔 (一般) 機械室等



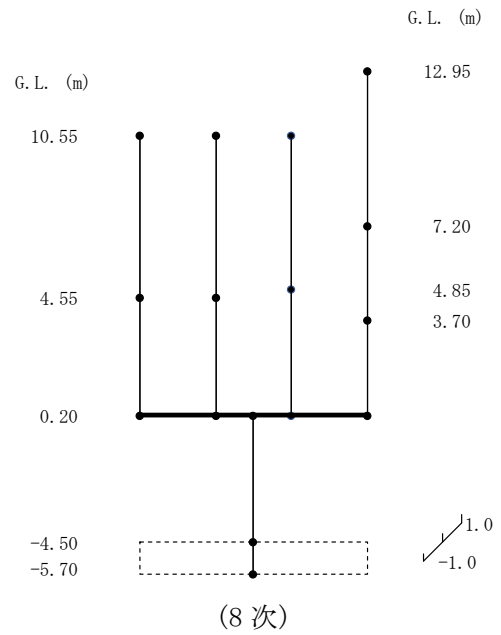
UD方向 1/2Sd-D 7次

冷却塔 (A系) 冷却塔 (B系) 冷却塔 (一般) 機械室等



UD方向 1/2Sd-D 8次

冷却塔 (A系) 冷却塔 (B系) 冷却塔 (一般) 機械室等

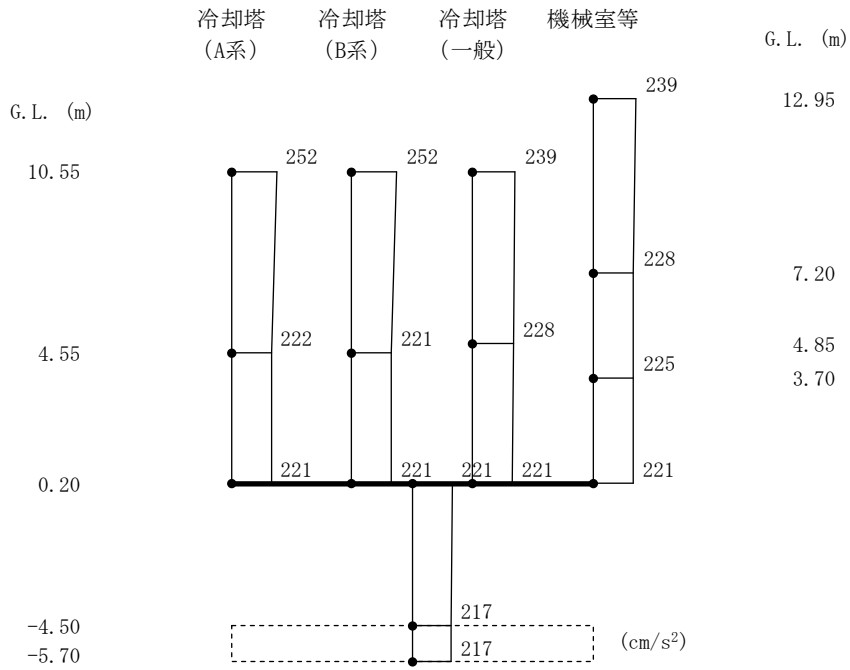


第 5.6 図 刺激関数(UD 方向、1/2Sd-D、5~8 次)

## 5.2 地震応答解析結果

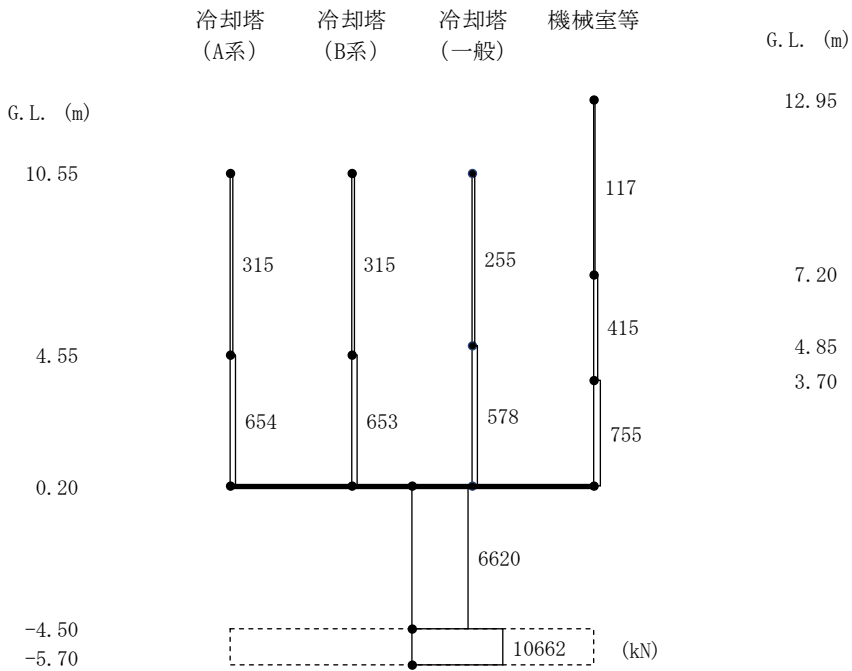
共振検討用地震動 1/2Sd による水平方向の最大応答加速度、せん断力及び曲げモーメントを第 5.7 図から第 5.42 図に、鉛直方向の最大応答加速度及び軸力を第 5.43 図から第 5.54 図に示す。

NS方向 1/2Sd-D



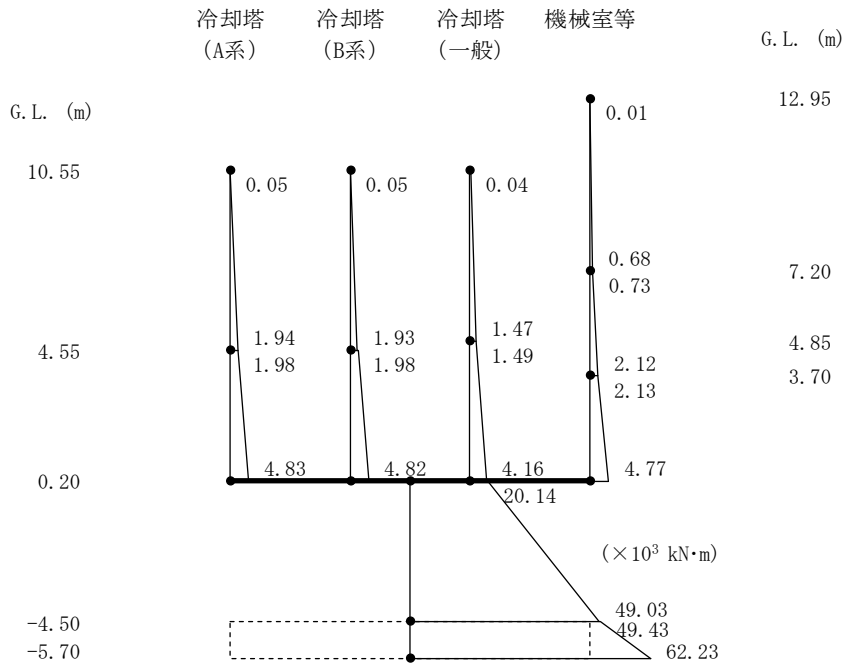
第 5.7 図 最大応答加速度 (NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-D



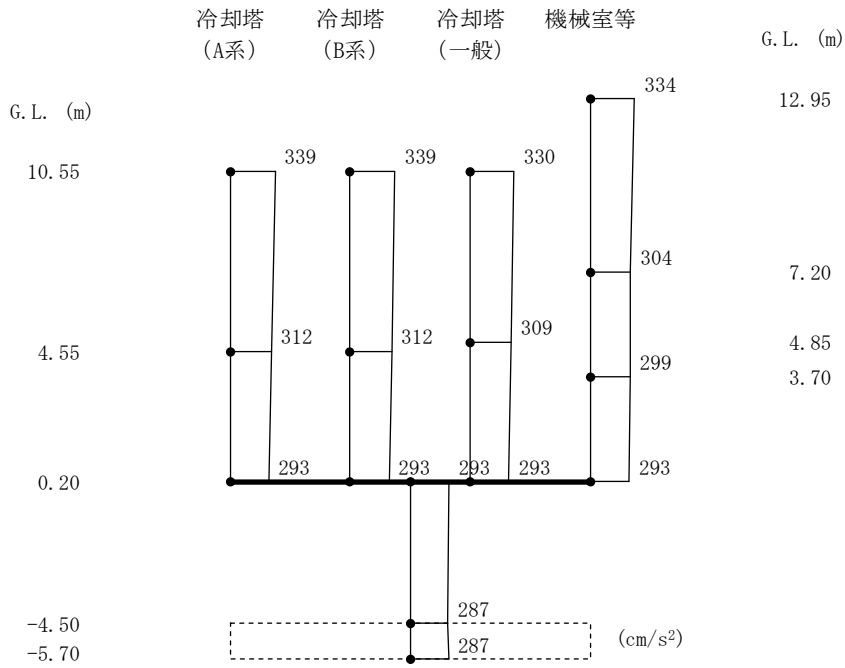
第 5.8 図 最大応答せん断力 (NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-D



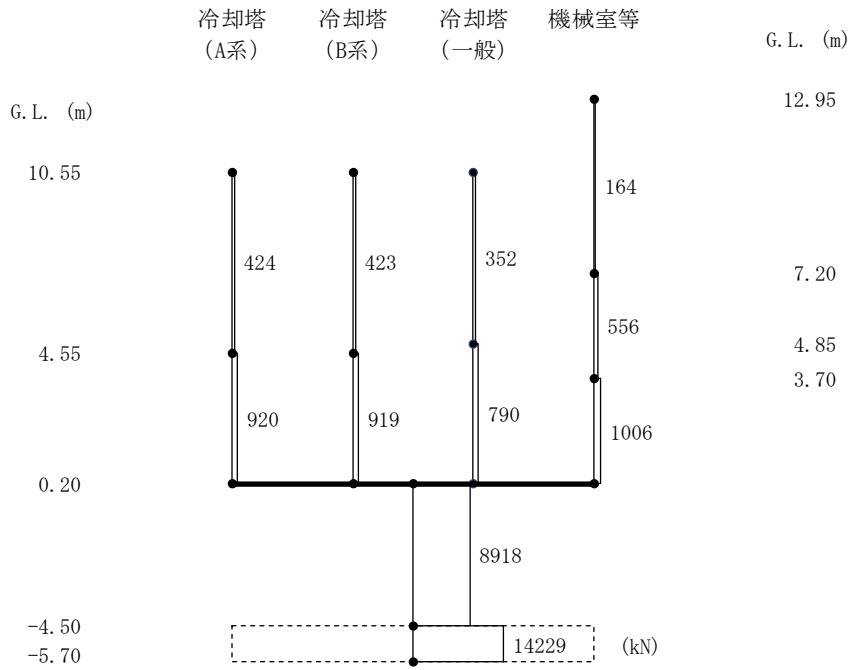
第 5.9 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向、1/2Sd-D)

NS方向 1/2Sd-1



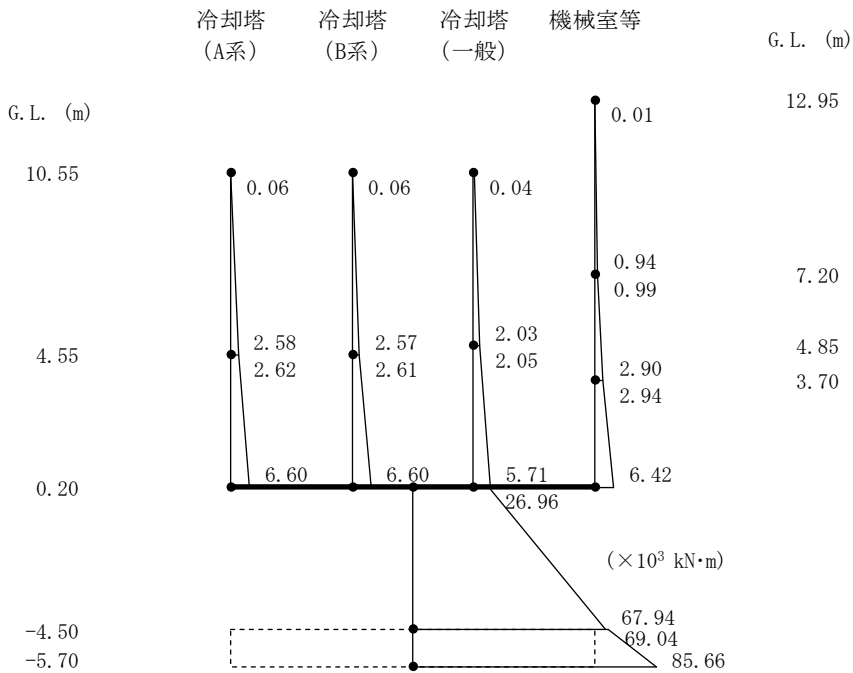
第 5.10 図 最大応答加速度 (NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-1



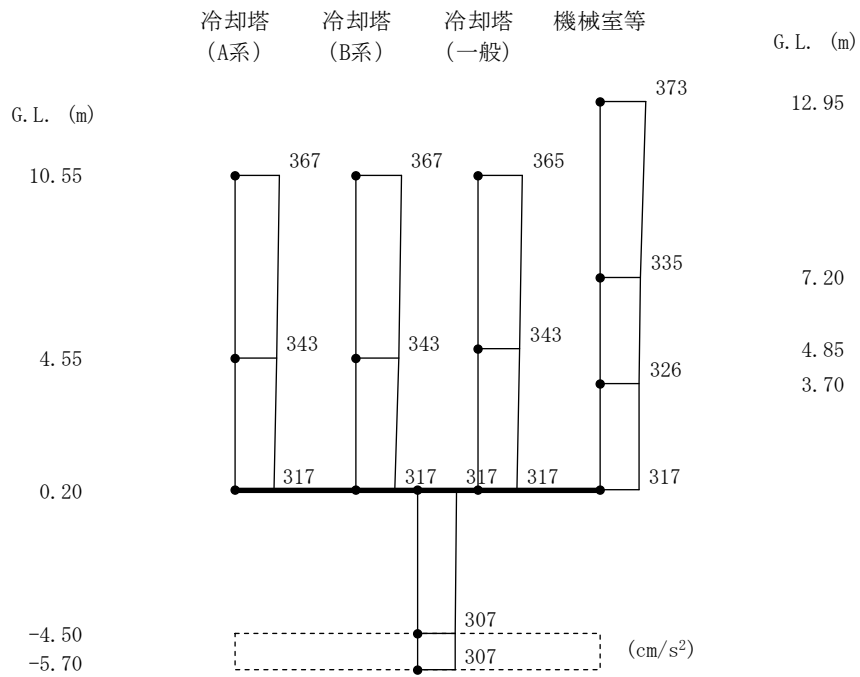
第 5.11 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-1



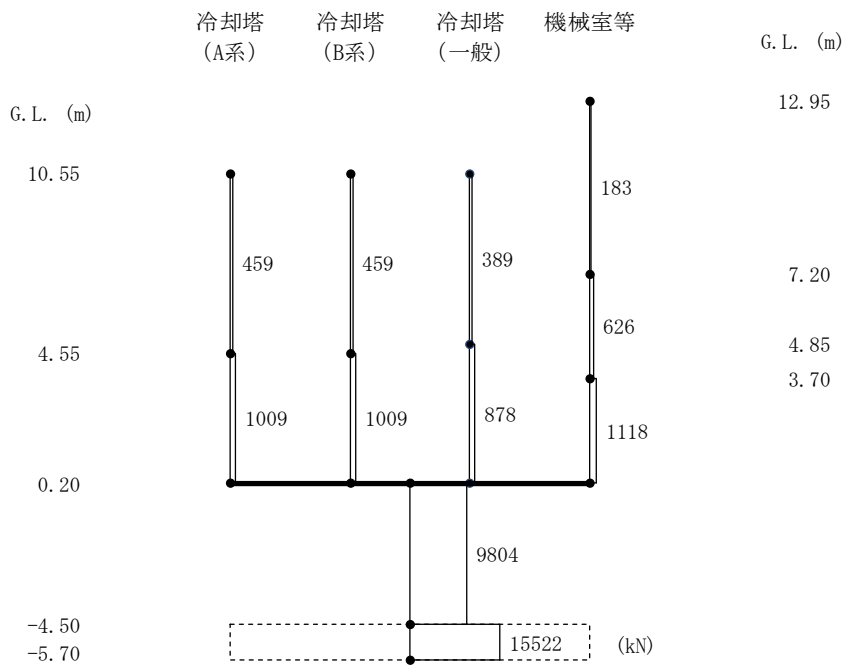
第 5.12 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-1)

NS方向 1/2Sd-2



第 5.13 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-2)

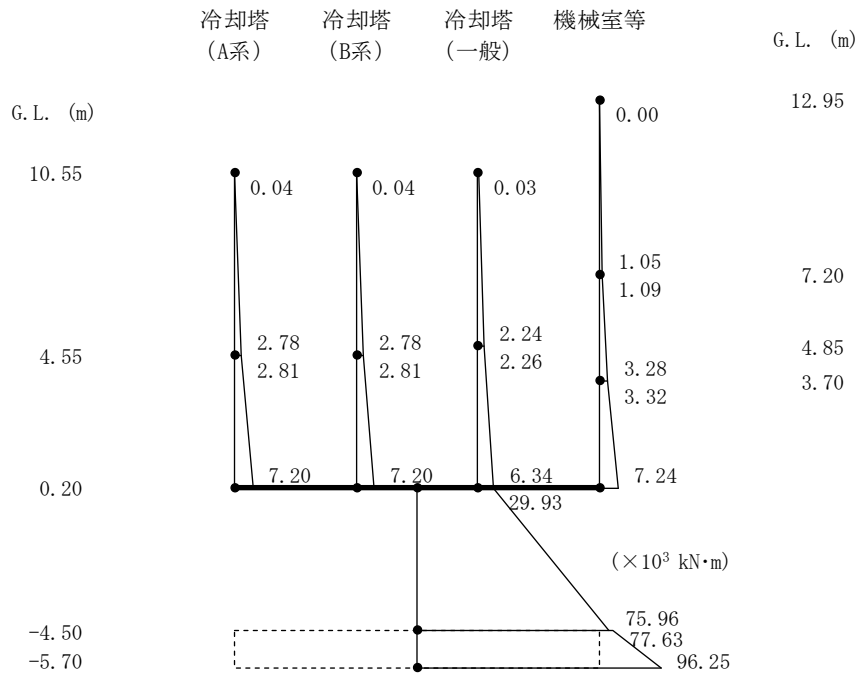
NS方向 1/2Sd-2



第 5.14 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-2)

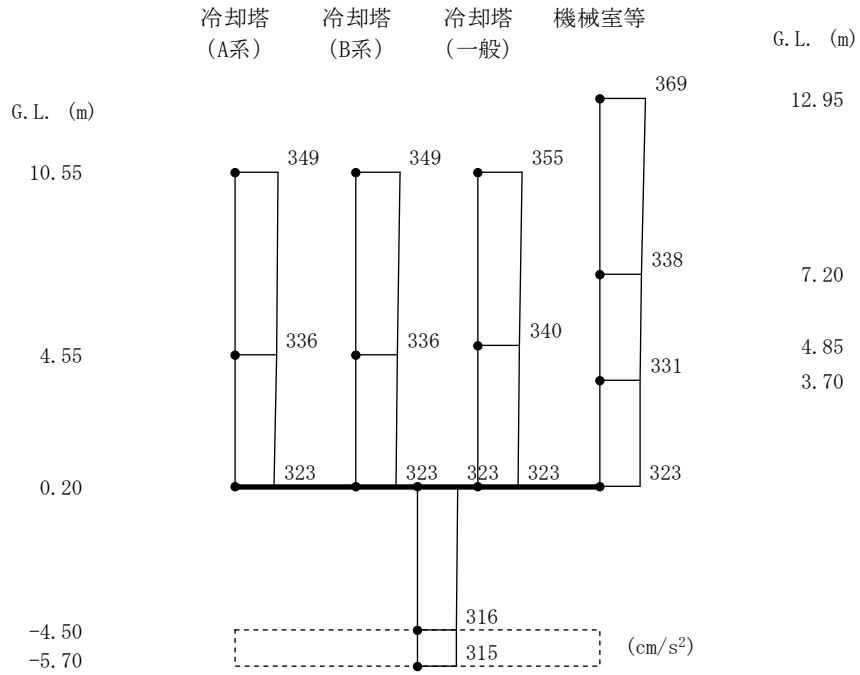


NS方向 1/2Sd-2



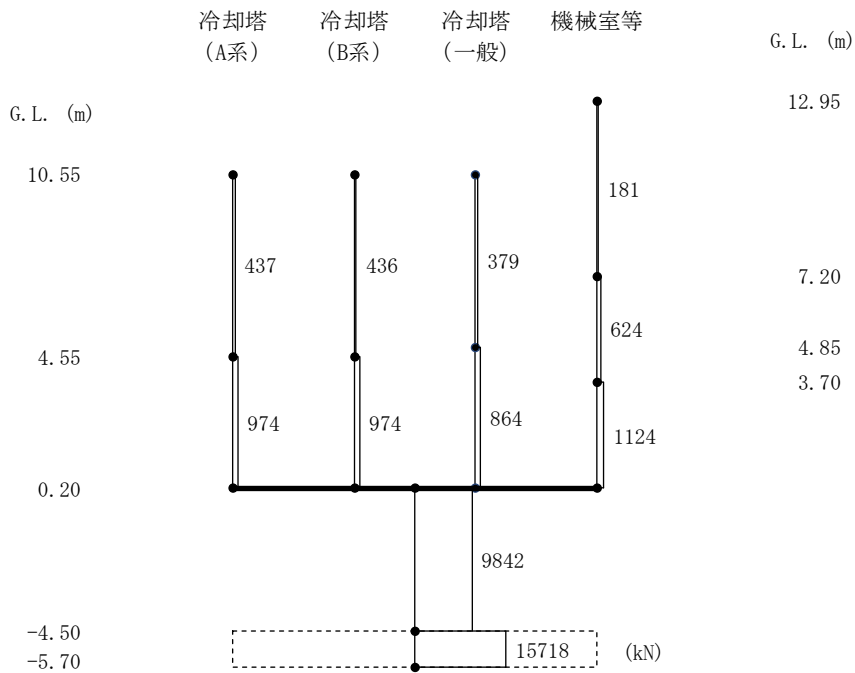
第 5.15 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向、1/2Sd-2)

NS方向 1/2Sd-3



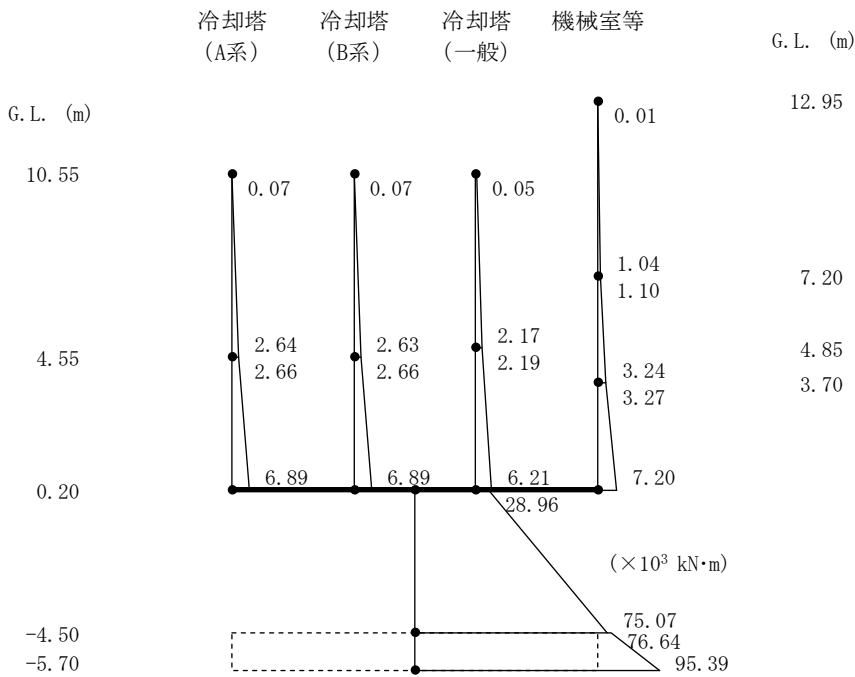
第 5.16 図 最大応答加速度 (NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-3



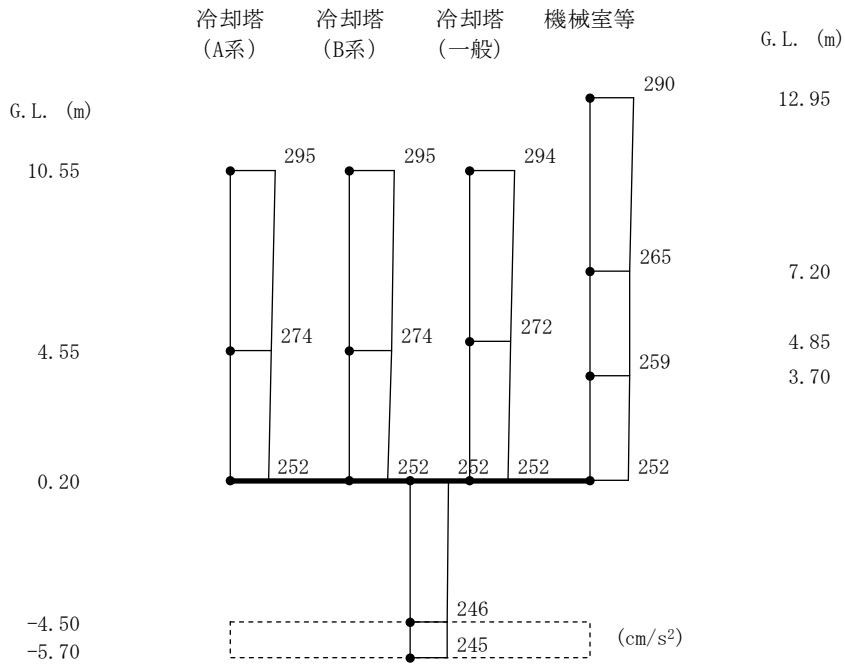
第 5.17 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-3



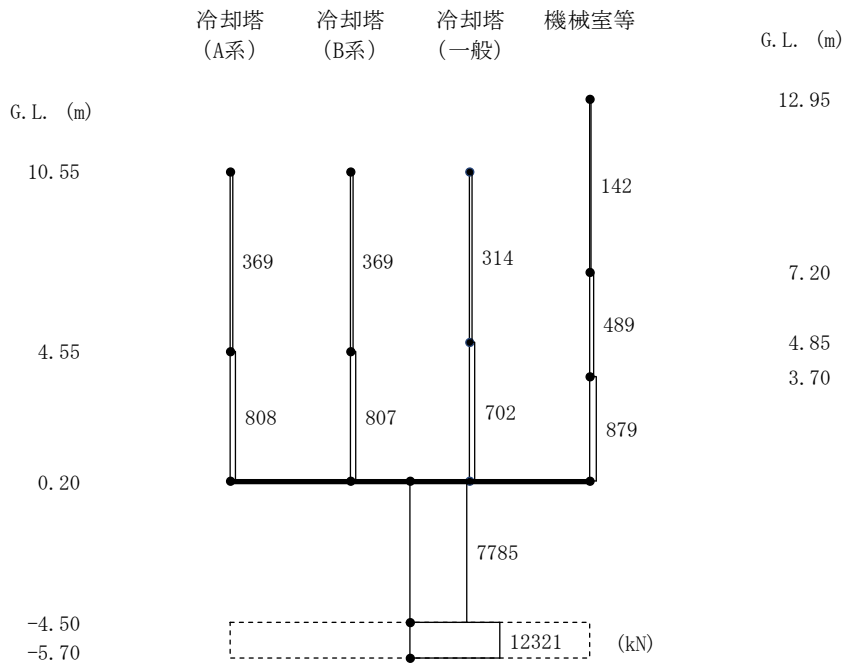
第 5.18 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-3)

NS方向 1/2Sd-4



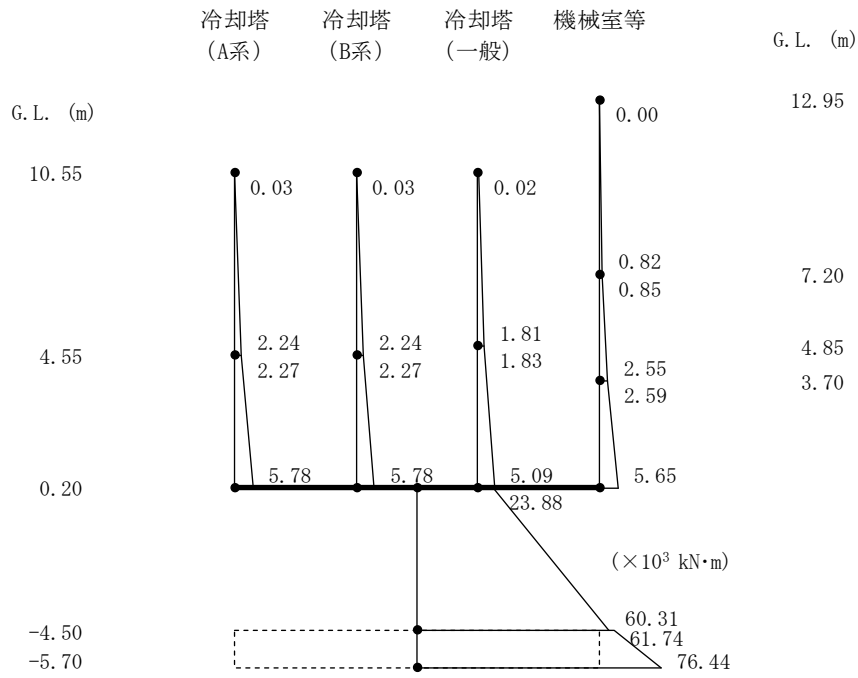
第 5.19 図 最大応答加速度(NS 方向、1/2Sd-4)

NS方向 1/2Sd-4



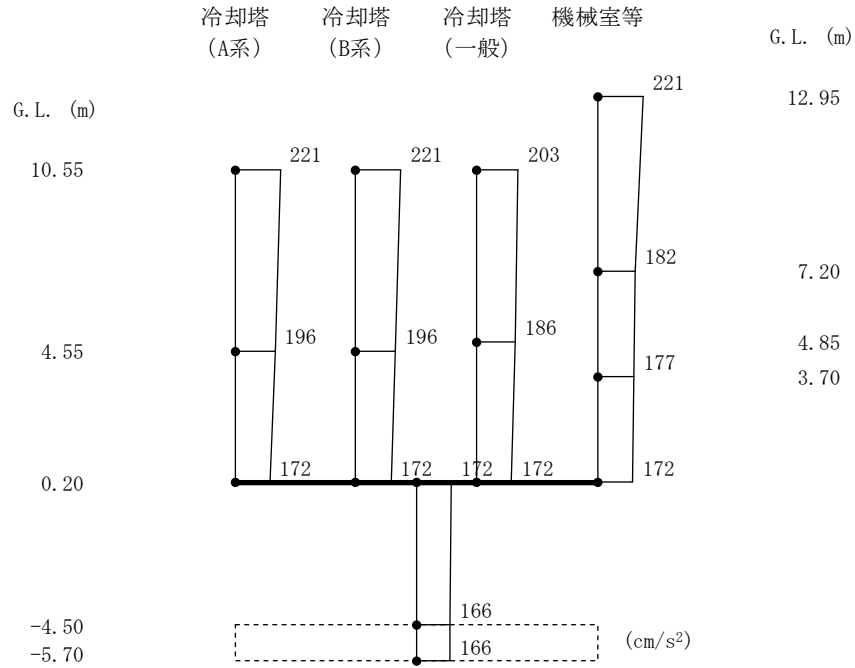
第 5.20 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-4)

NS方向 1/2Sd-4



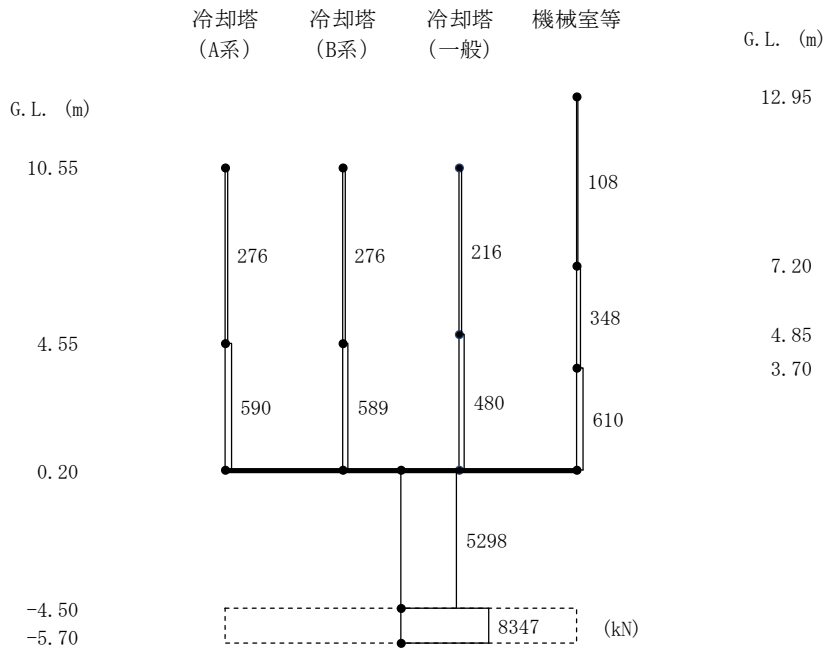
第 5.21 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向、1/2Sd-4)

NS方向 1/2Sd-5



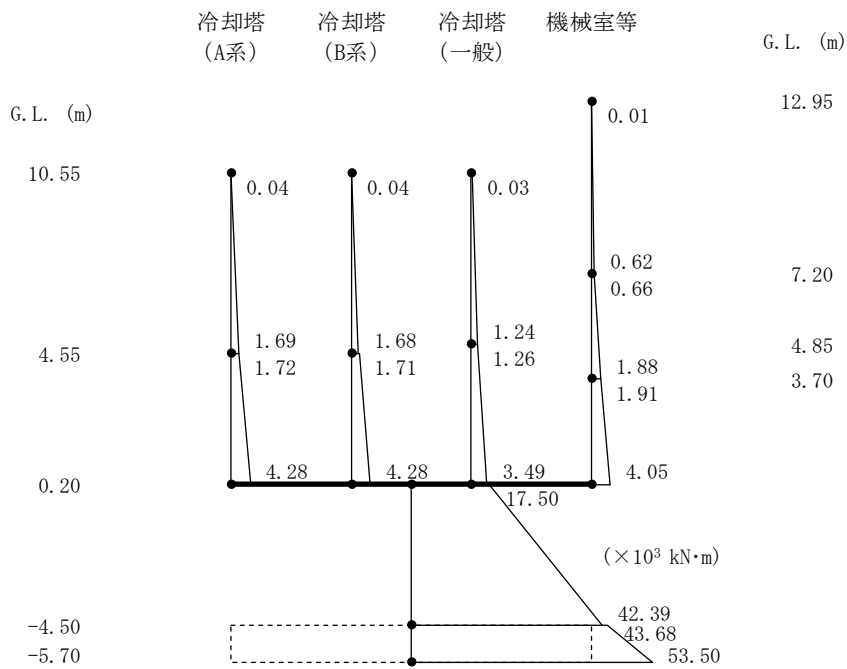
第 5.22 図 最大応答加速度 (NS 方向、1/2Sd-5)

NS方向 1/2Sd-5



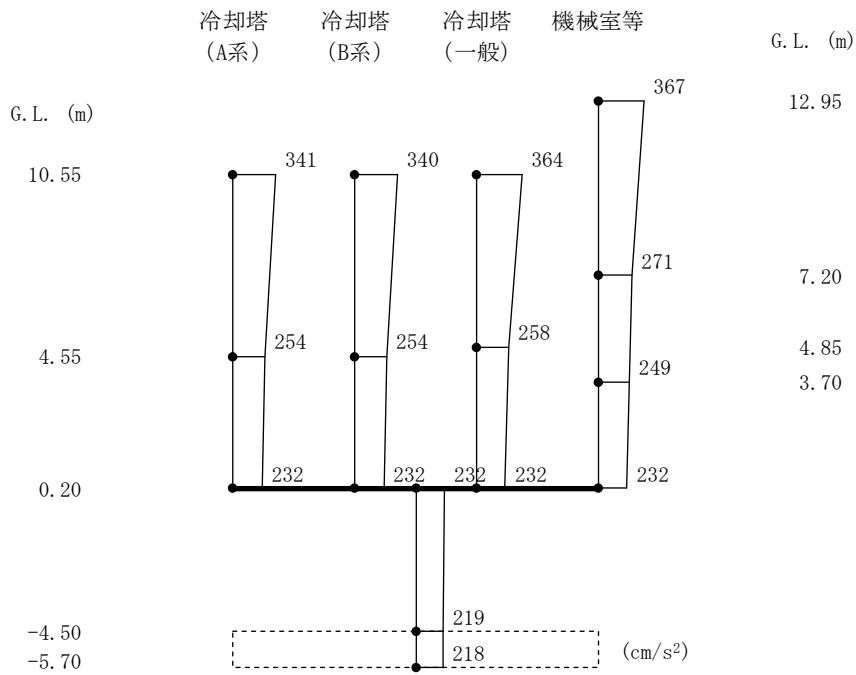
第 5.23 図 最大応答せん断力(NS 方向、1/2Sd-5)

NS方向 1/2Sd-5



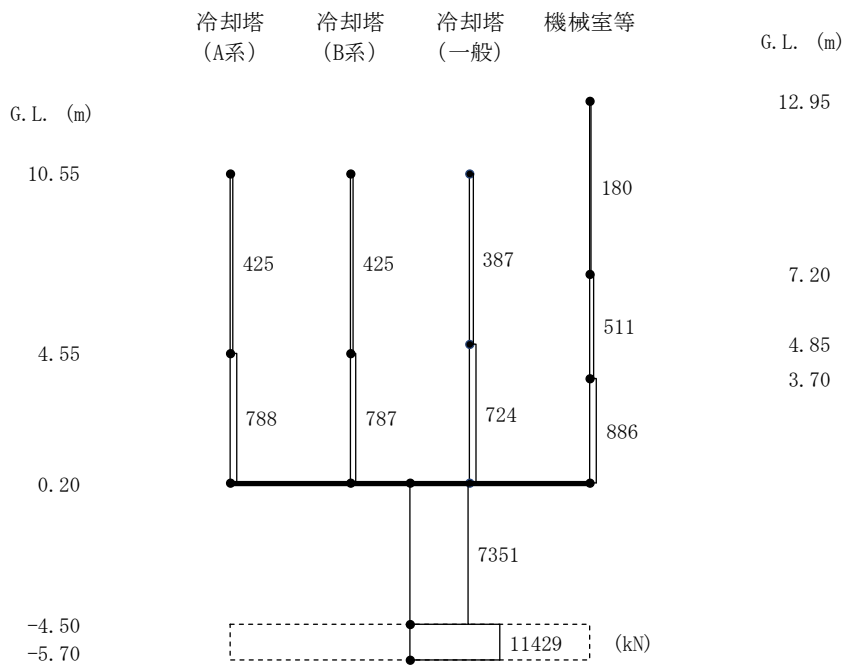
第 5.24 図 最大応答曲げモーメント(NS 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-D



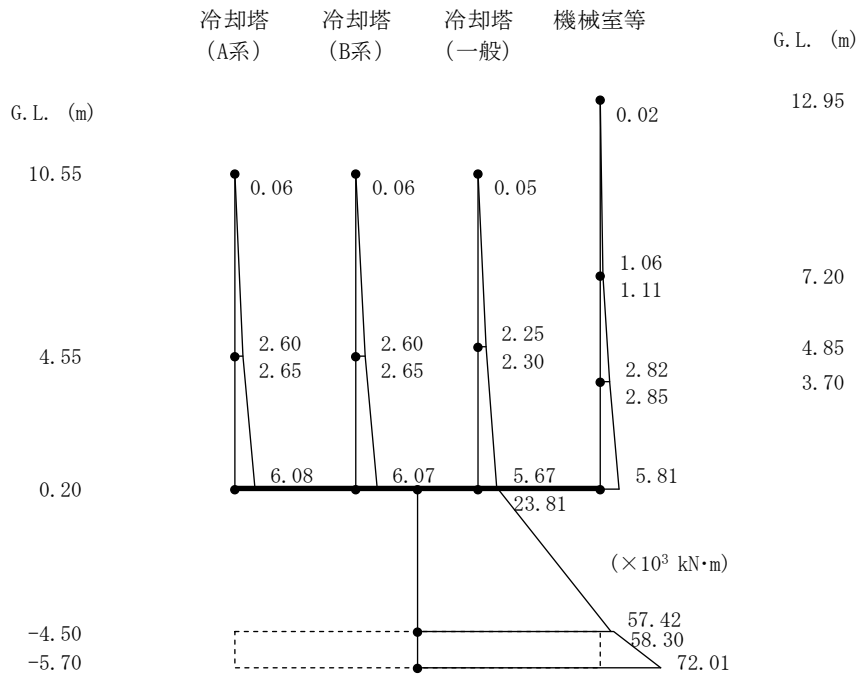
第 5.25 図 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-D



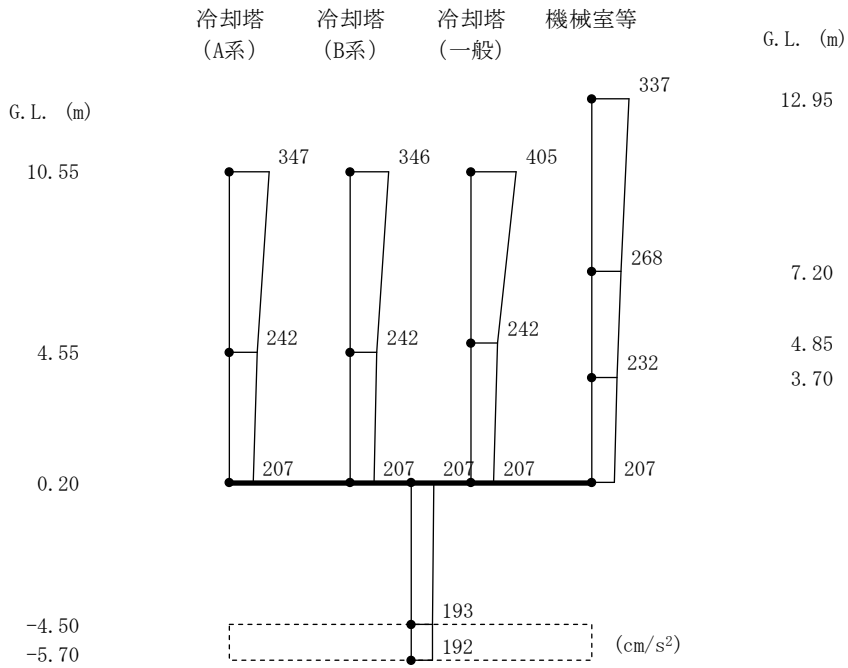
第 5.26 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-D



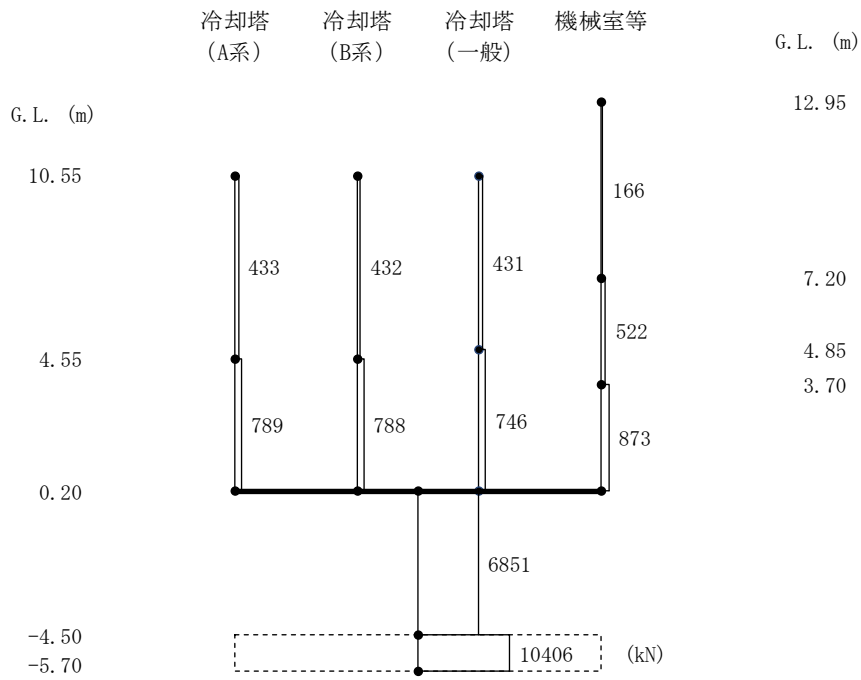
第 5.27 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-D)

EW方向 1/2Sd-1



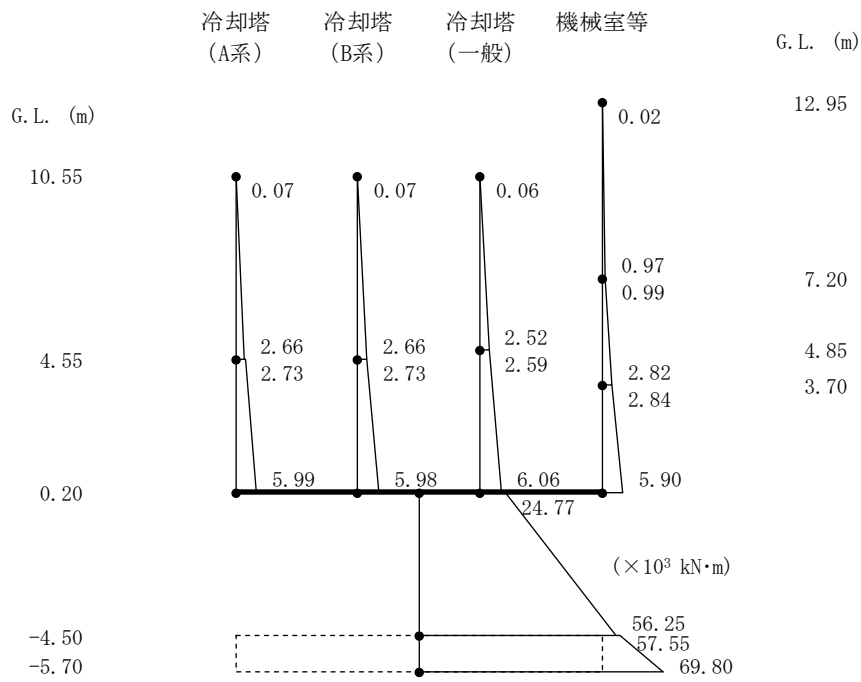
第 5.28 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-1)

EW方向 1/2Sd-1



第 5.29 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-1)

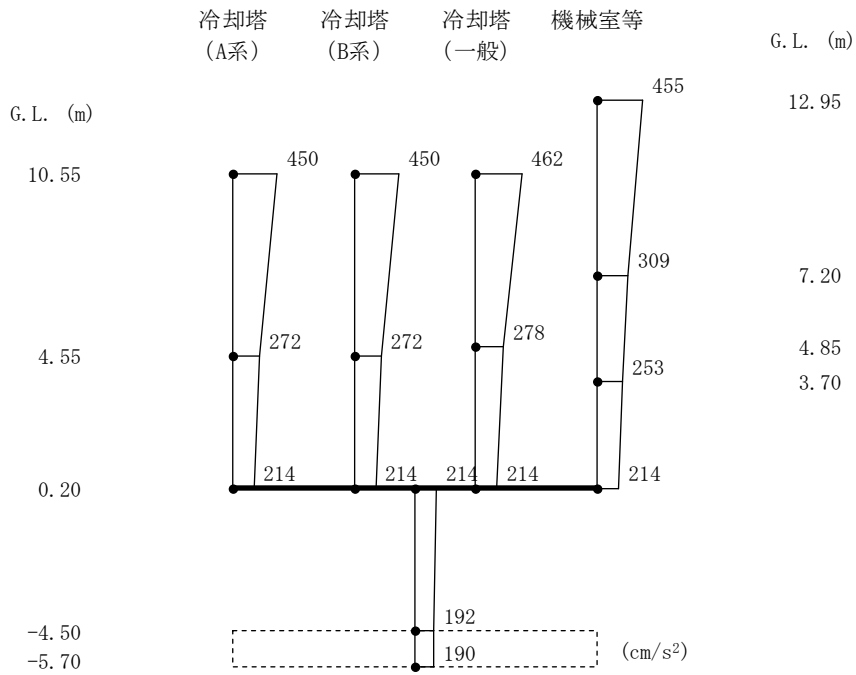
EW方向 1/2Sd-1



第 5.30 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-1)

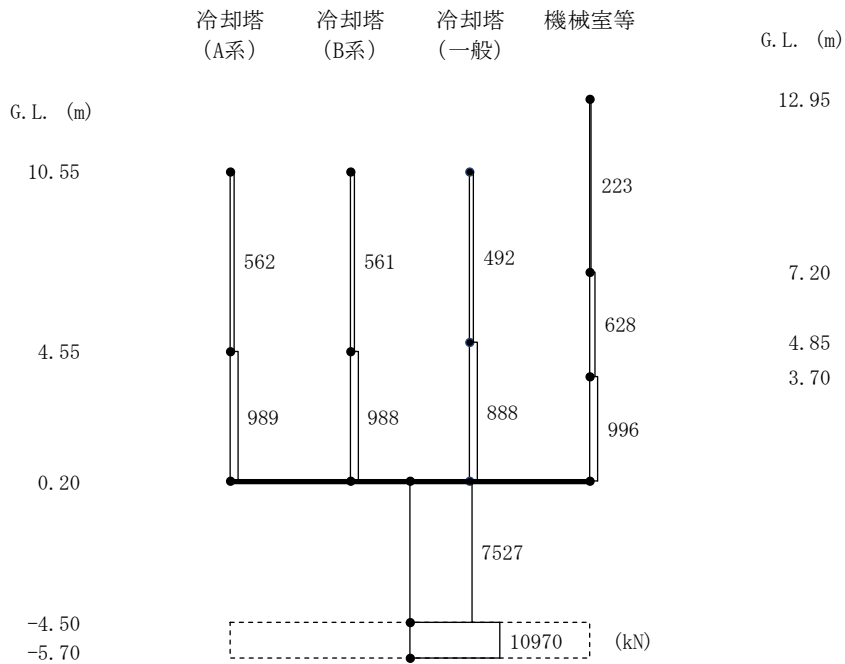


EW方向 1/2Sd-2



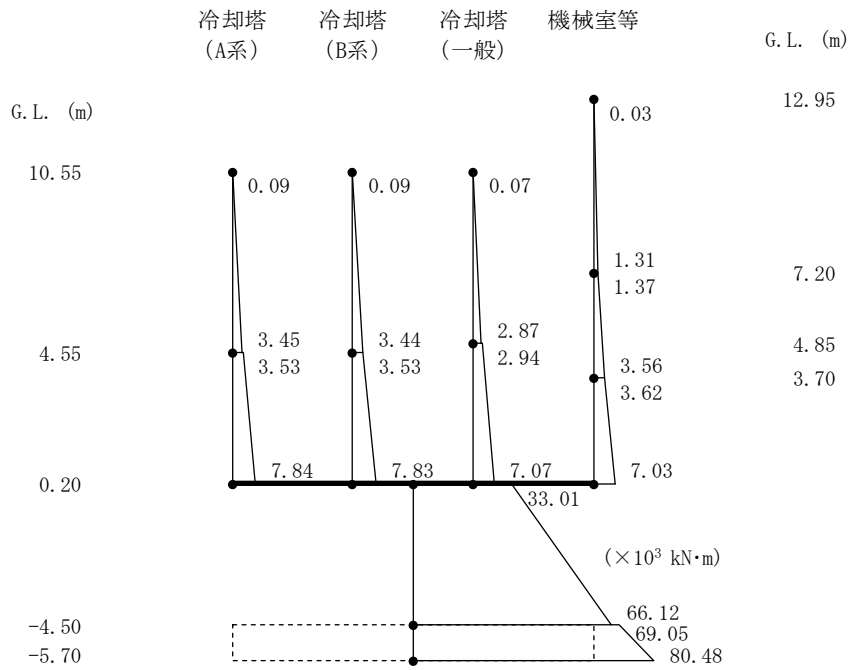
第 5.31 図 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-2



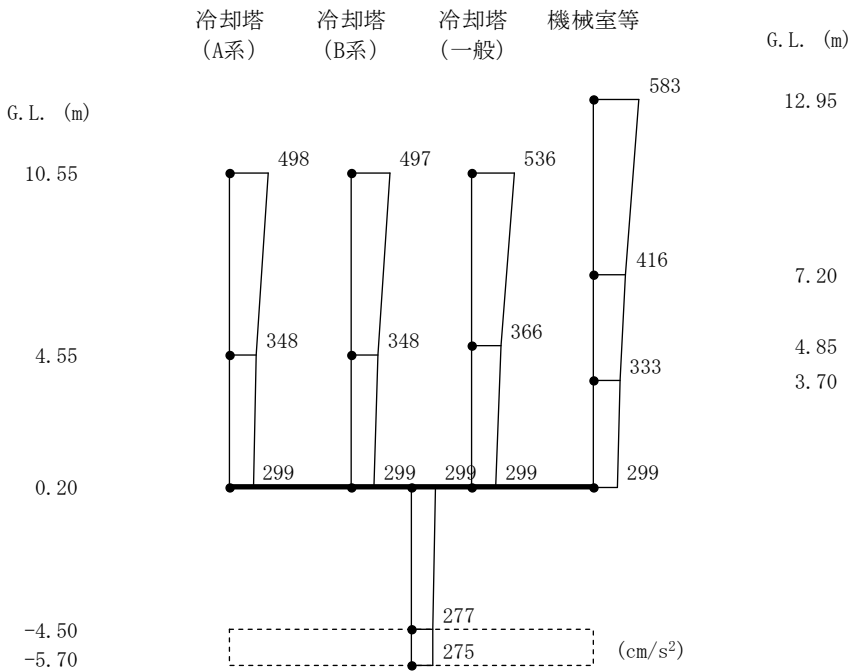
第 5.32 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-2



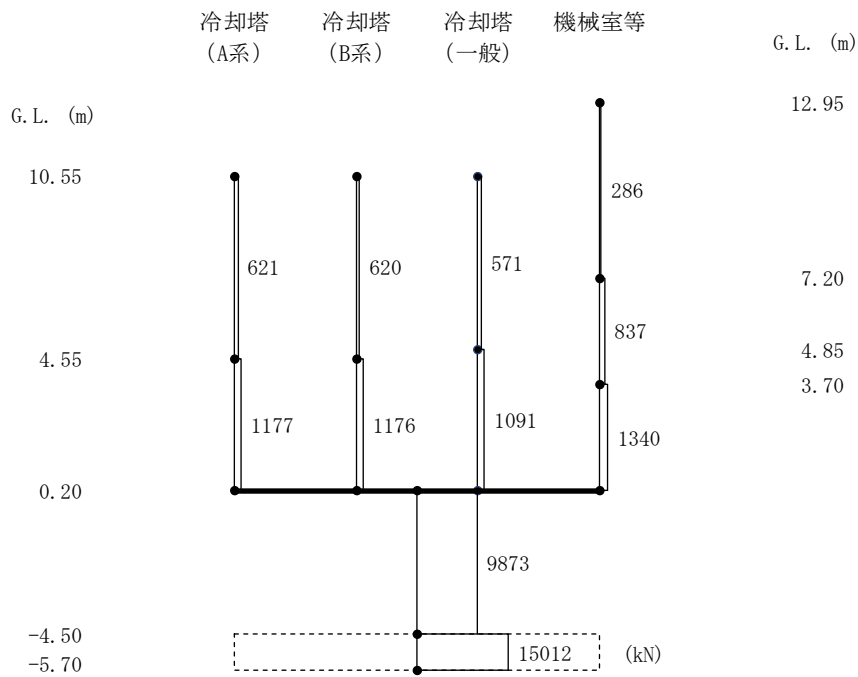
第 5.33 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-2)

EW方向 1/2Sd-3



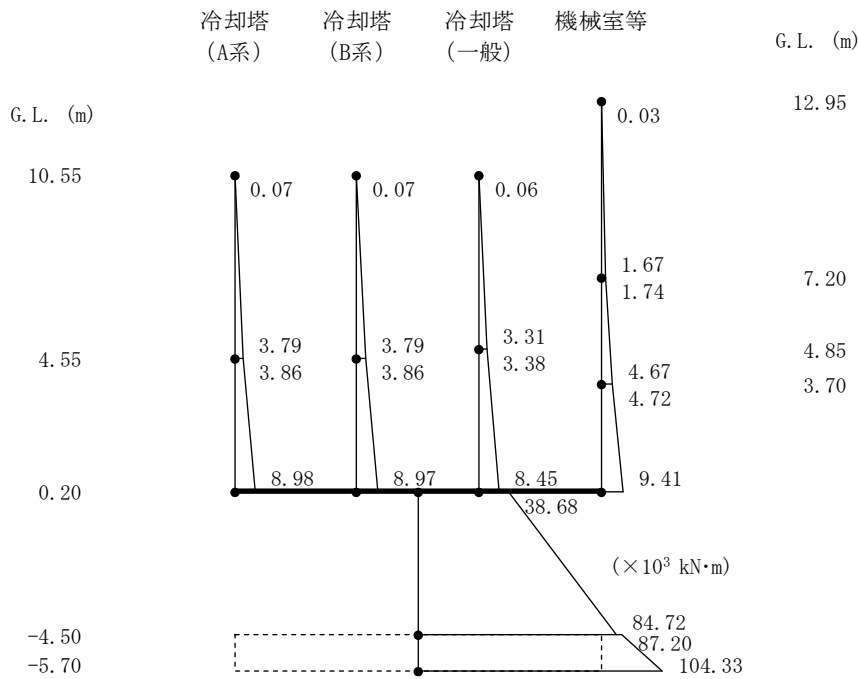
第 5.34 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-3)

EW方向 1/2Sd-3



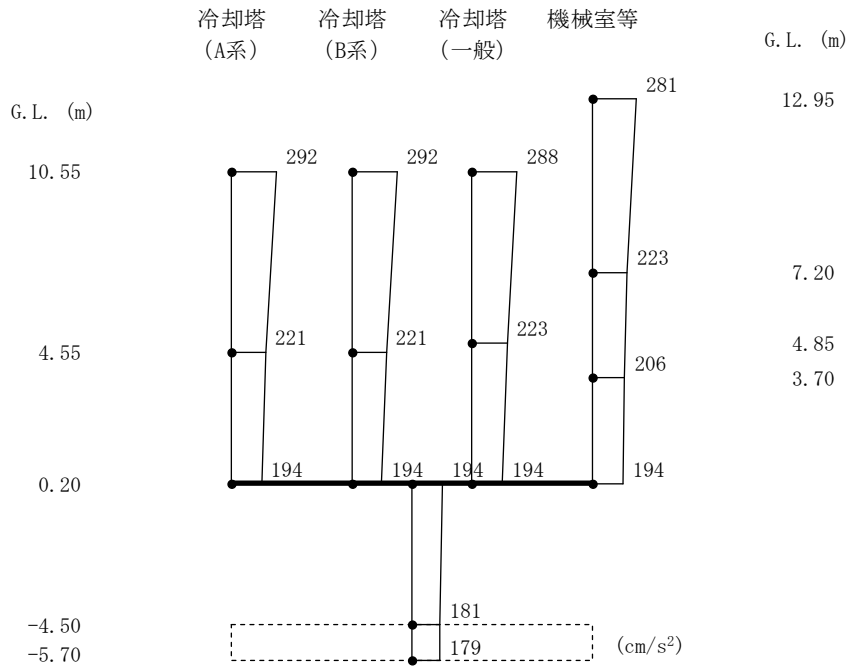
第 5.35 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-3)

EW方向 1/2Sd-3



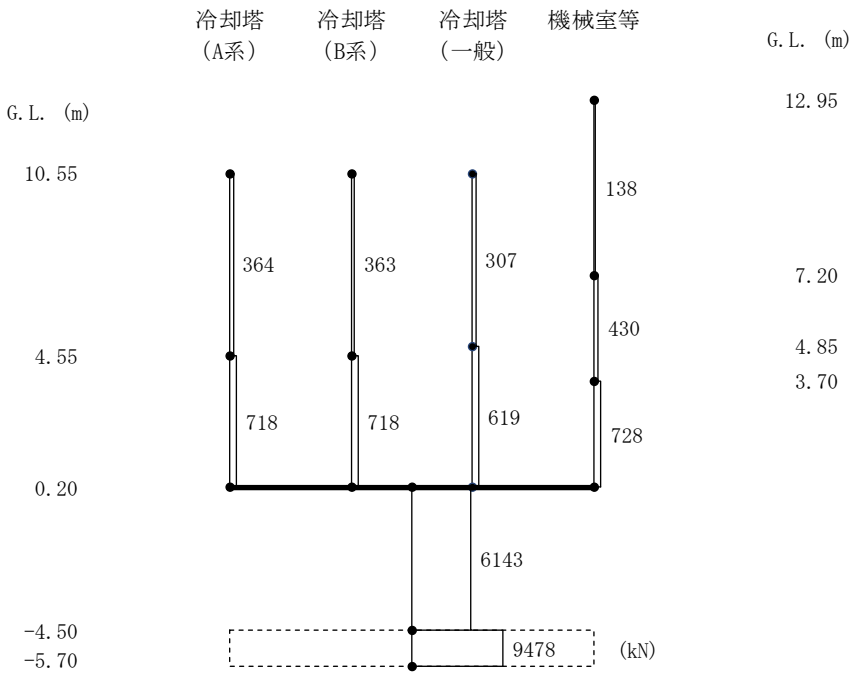
第 5.36 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-3)

EW方向 1/2Sd-4



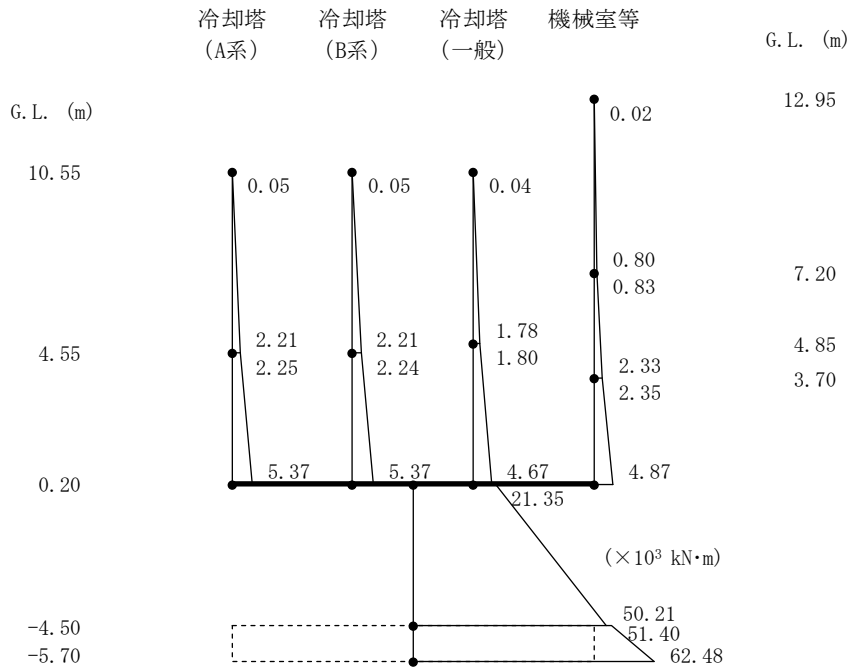
第 5.37 図 最大応答加速度(EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-4



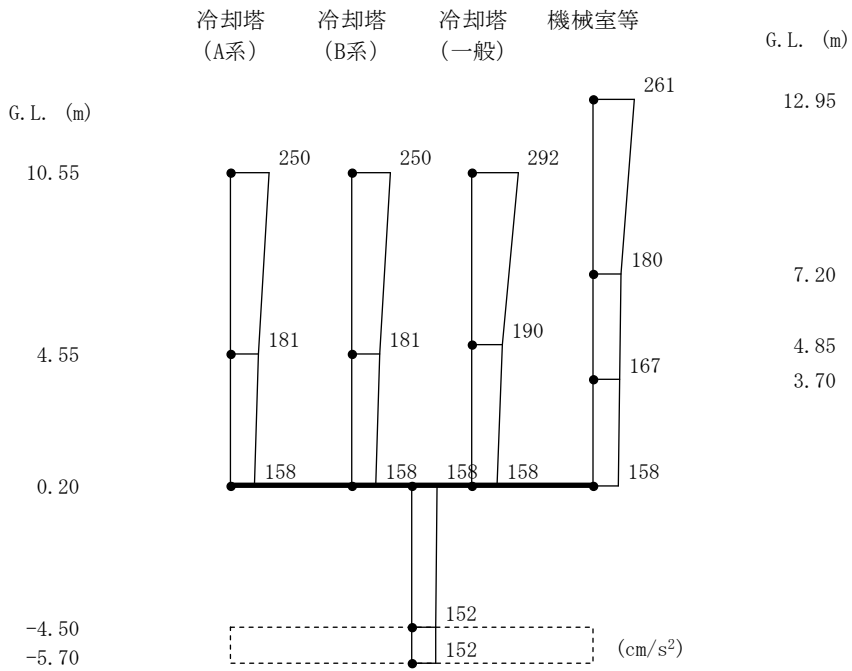
第 5.38 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-4



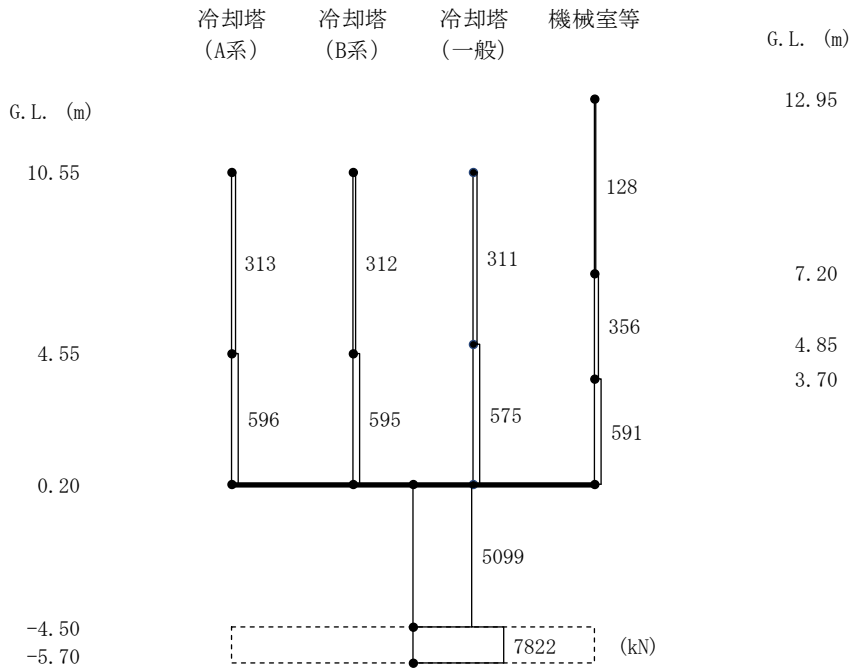
第 5.39 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向、1/2Sd-4)

EW方向 1/2Sd-5



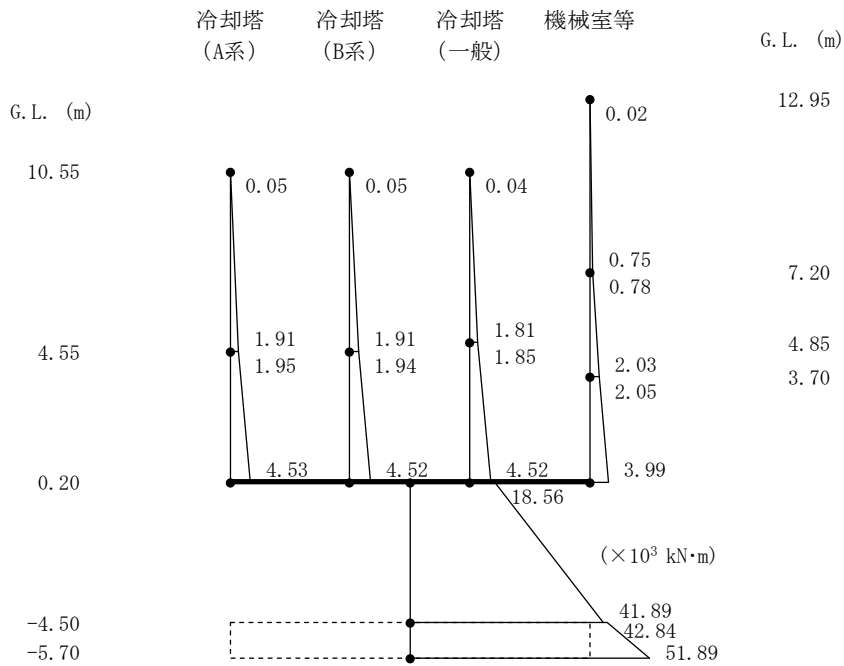
第 5.40 図 最大応答加速度 (EW 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-5



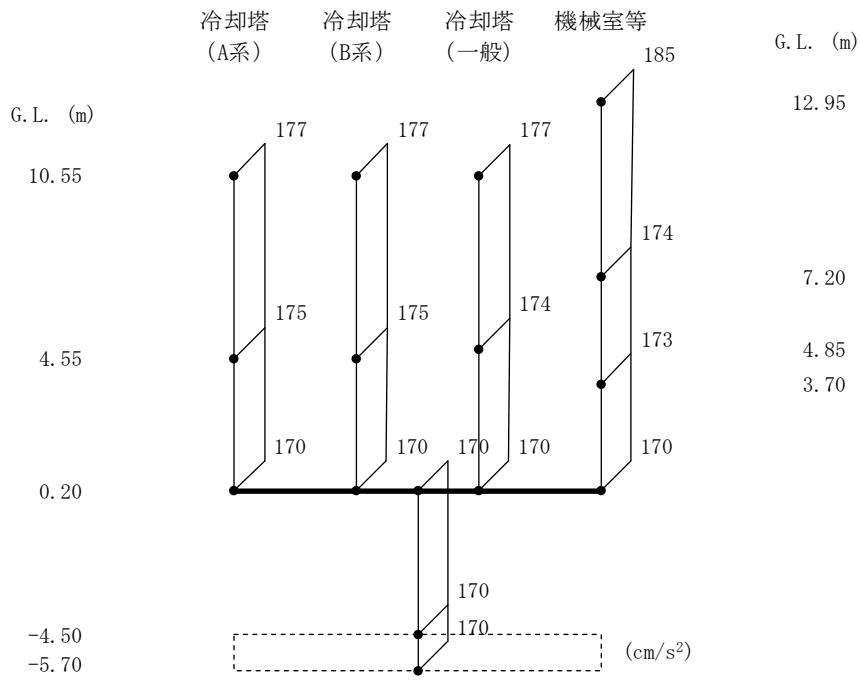
第 5.41 図 最大応答せん断力(EW 方向、1/2Sd-5)

EW方向 1/2Sd-5



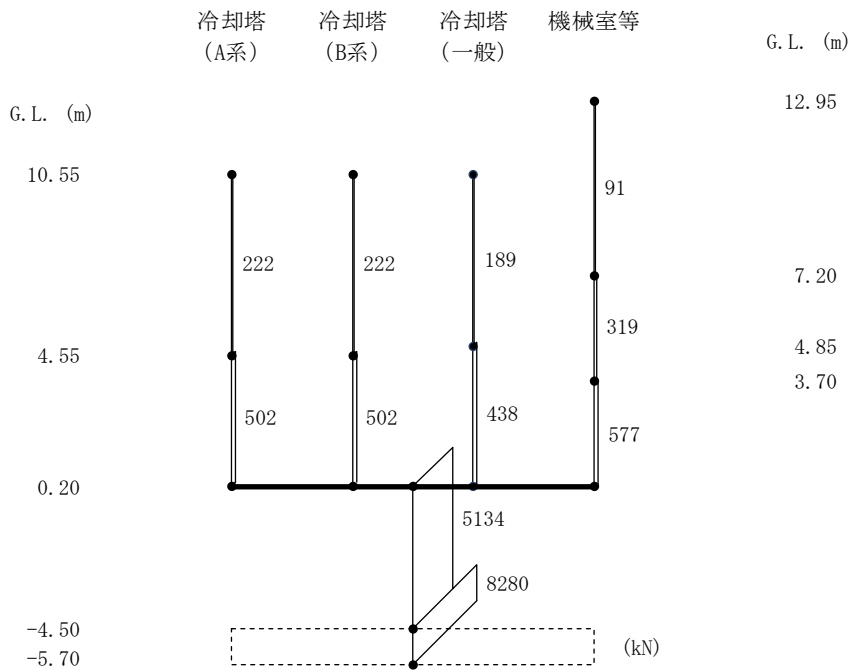
第 5.42 図 最大応答曲げモーメント(EW 方向、1/2Sd-5)

UD方向 1/2Sd-D



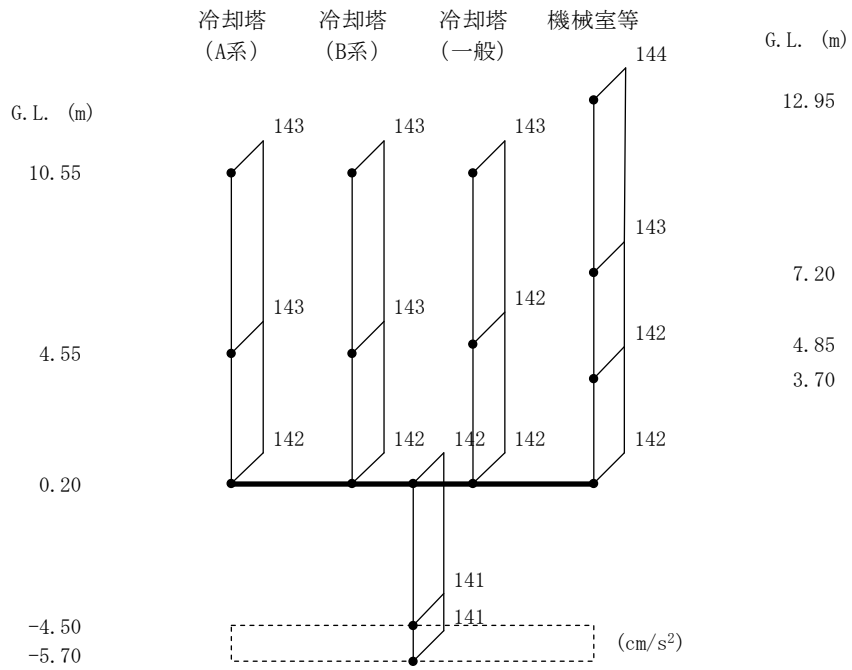
第 5.43 图 最大応答加速度 (UD 方向、1/2Sd-D)

UD方向 1/2Sd-D



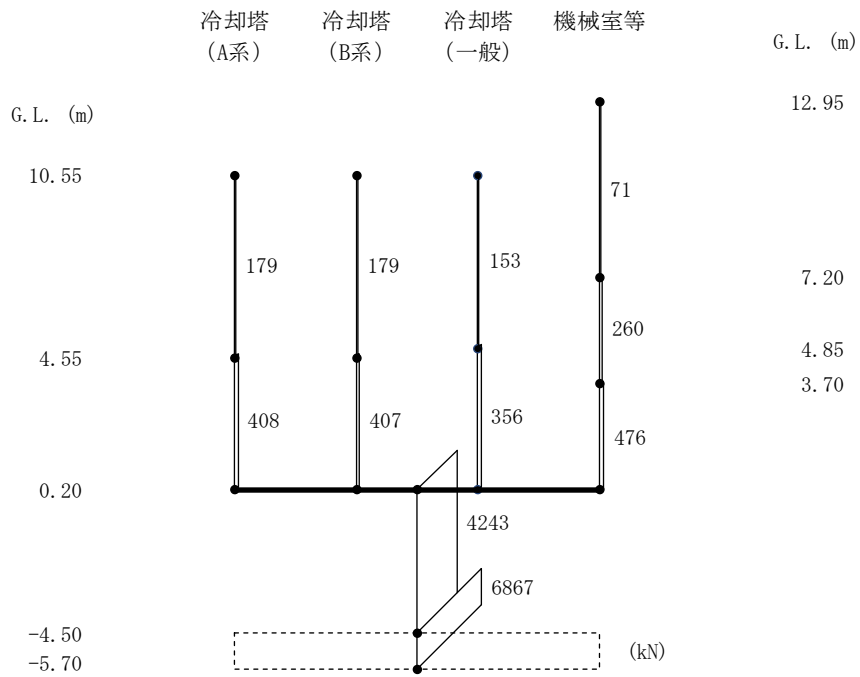
第 5.44 图 最大応答軸力 (UD 方向、1/2Sd-D)

UD方向 1/2Sd-1



第 5.45 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-1)

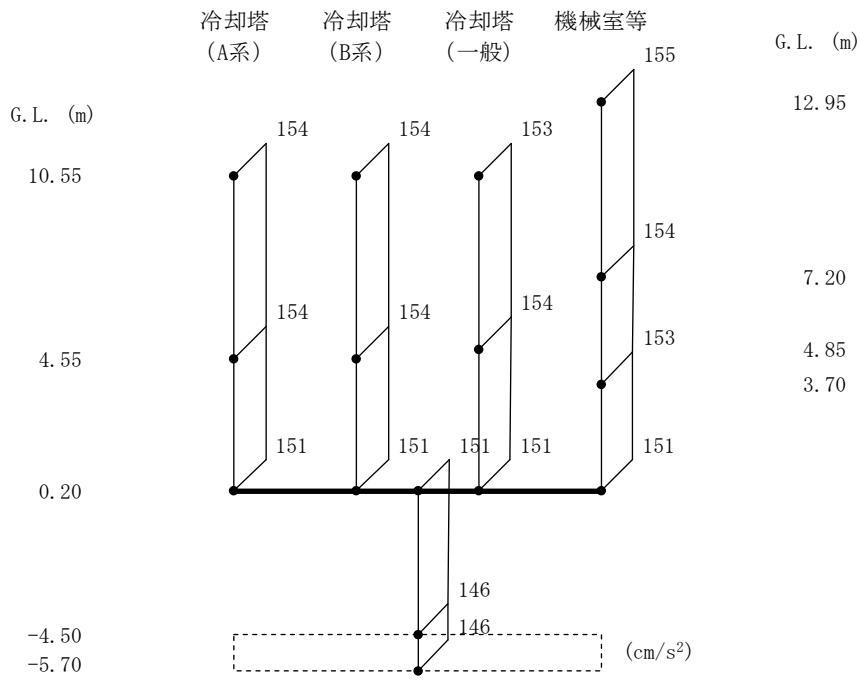
UD方向 1/2Sd-1



第 5.46 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-1)

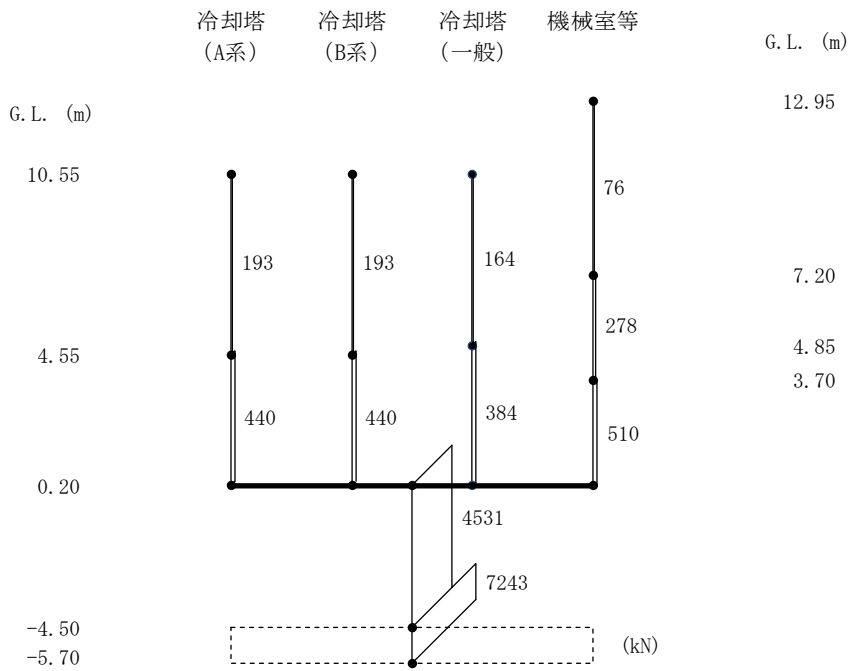


UD方向 1/2Sd-2



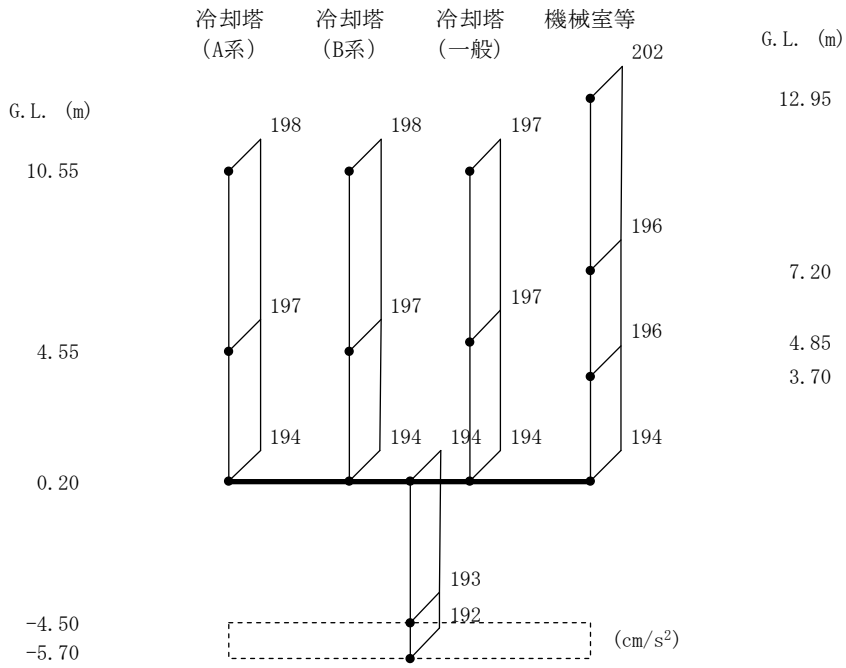
第 5.47 图 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-2)

UD方向 1/2Sd-2



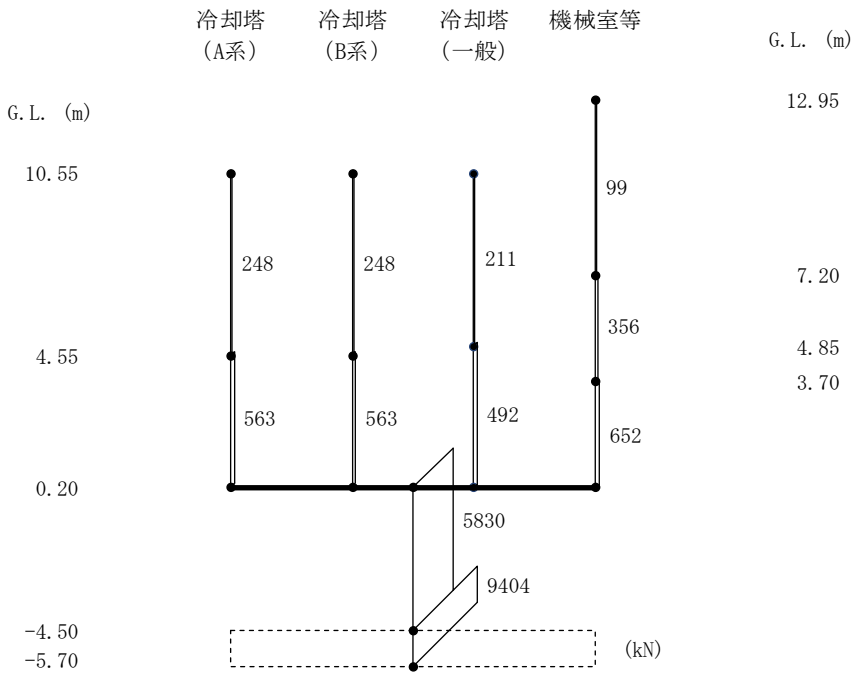
第 5.48 图 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-2)

UD方向 1/2Sd-3



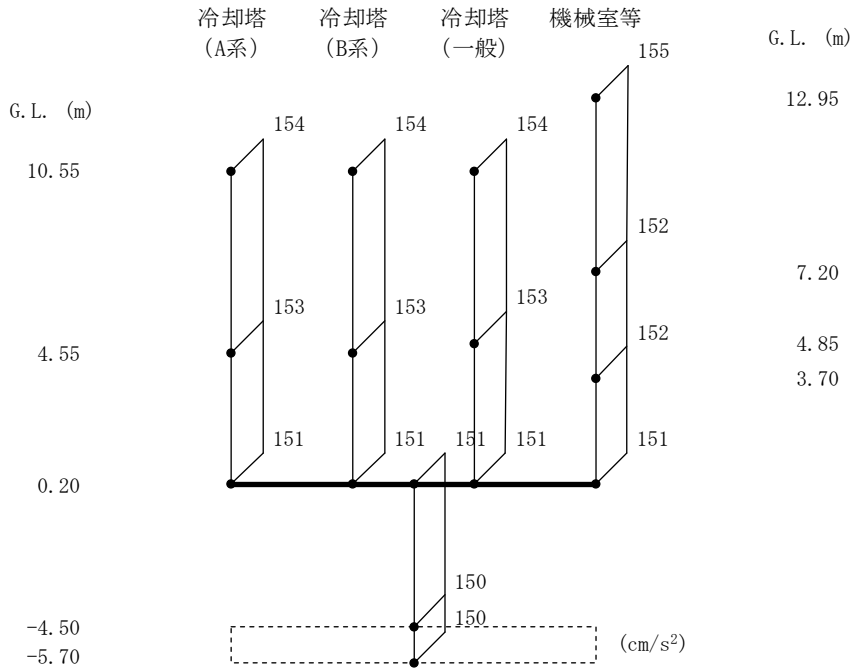
第 5.49 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-3)

UD方向 1/2Sd-3



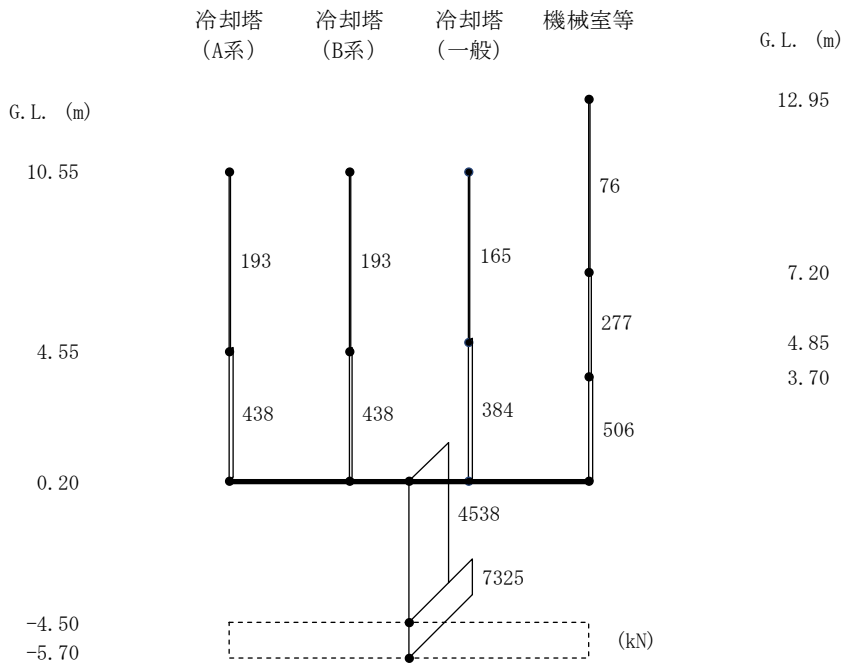
第 5.50 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-3)

UD方向 1/2Sd-4



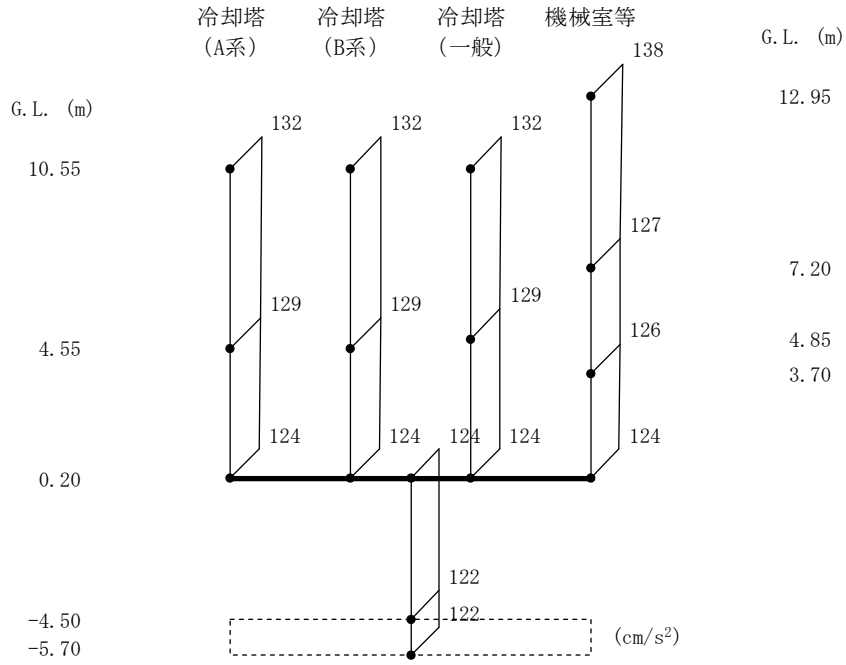
第 5.51 図 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-4)

UD方向 1/2Sd-4



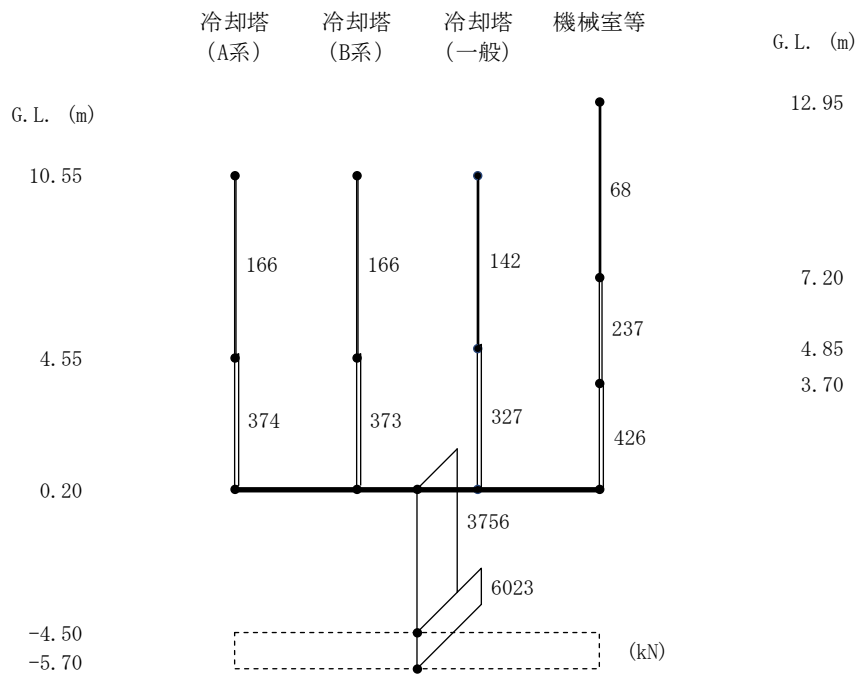
第 5.52 図 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-4)

UD方向 1/2Sd-5



第 5.53 图 最大応答加速度(UD 方向、1/2Sd-5)

UD方向 1/2Sd-5



第 5.54 图 最大応答軸力(UD 方向、1/2Sd-5)

6. 基礎浮き上がりの検討

共振検討用地震動 1/2Sd による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を第 6.1 表に示す。

接地率は、線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値 (75%) 以上であることを確認した。

第 6.1 表 最小接地率 (1/2Sd)

(a) NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
1/2Sd-D	31.6	6.19	100.0
1/2Sd-1		8.44	100.0
1/2Sd-2		9.48	100.0
1/2Sd-3		9.43	100.0
1/2Sd-4		7.54	100.0
1/2Sd-5		5.24	100.0

(b) EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
1/2Sd-D	21.1	7.20	100.0
1/2Sd-1		6.98	100.0
1/2Sd-2		8.05	100.0
1/2Sd-3		10.4	100.0
1/2Sd-4		6.25	100.0
1/2Sd-5		5.19	100.0

## 7. 評価結果

冷却塔について共振検討用地震動  $1/2S_d$  による地震応答解析を行い、接地率が線形地盤ばねを用いた地震応答解析を適用できる値以上であることを確認した。地震応答解析による応答値は、機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

- 1-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(建物・構築物の耐震性評価の概要)

## 1. 建物・構築物の耐震性評価

添付書類 1-3-1. から添付書類 1-3-3. では、建物・構築物のうち、原子炉建家内使用済燃料貯設備貯蔵プール、原子炉建家天井クレーン及び使用済燃料貯蔵建家天井クレーンが耐震重要度分類に応じた地震力に対して耐震余裕を有することを説明する。また、添付書類 1-3-4. では、原子炉建家内の耐震 S クラスの機器・配管系等の間接支持構造物である原子炉建家基礎版が基準地震動  $S_s$  に対して、耐震余裕を有することを説明する。



1-3-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(使用済燃料貯蔵プールの耐震性評価)

## 目次

1. 概要 .....	添 1 - 3 - 1 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 3 - 1 - 2
2.1 位置 .....	添 1 - 3 - 1 - 2
2.2 構造概要 .....	添 1 - 3 - 1 - 3
2.3 評価方針 .....	添 1 - 3 - 1 - 4
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 3 - 1 - 6
2.5 使用材料及び許容応力度等 .....	添 1 - 3 - 1 - 7
3. 荷重及び荷重の組合せ.....	添 1 - 3 - 1 - 9
3.1 荷重 .....	添 1 - 3 - 1 - 9
3.2 荷重の組合せ .....	添 1 - 3 - 1 - 14
4. 地震応答解析による評価.....	添 1 - 3 - 1 - 18
4.1 評価方法 .....	添 1 - 3 - 1 - 18
4.2 評価結果 .....	添 1 - 3 - 1 - 19
5. 応力解析による評価.....	添 1 - 3 - 1 - 22
5.1 評価方法 .....	添 1 - 3 - 1 - 22
5.2 解析モデル .....	添 1 - 3 - 1 - 24
5.3 解析諸元 .....	添 1 - 3 - 1 - 27
5.4 評価結果 .....	添 1 - 3 - 1 - 29

## 表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの使用材料及び許容応力度.....	添 1 - 3 - 1 - 7
第 2.2 表	鉄筋の使用材料及び許容応力度.....	添 1 - 3 - 1 - 7
第 2.3 表	コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ.....	添 1 - 3 - 1 - 8
第 3.1 表	設計用荷重.....	添 1 - 3 - 1 - 10
第 3.2 表	Sd 地震時の水平変位.....	添 1 - 3 - 1 - 12
第 3.3 表	Ss 地震時の水平変位.....	添 1 - 3 - 1 - 12
第 3.4 表	プールの鉛直震度.....	添 1 - 3 - 1 - 12
第 3.5 表	荷重の組合せ (Sd) (1/2).....	添 1 - 3 - 1 - 15
第 3.6 表	荷重の組合せ (Sd) (2/2).....	添 1 - 3 - 1 - 16
第 3.7 表	荷重の組合せ (Ss).....	添 1 - 3 - 1 - 17
第 4.1 表	プールの地震応答解析による評価基準値.....	添 1 - 3 - 1 - 18
第 5.1 表	プールの応力解析による評価基準値.....	添 1 - 3 - 1 - 22
第 5.2 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 3 - 1 - 27
第 5.3 表	鉄筋の材料定数.....	添 1 - 3 - 1 - 27
第 5.4 表	断面算定結果 (1/3).....	添 1 - 3 - 1 - 32
第 5.5 表	断面算定結果 (2/3).....	添 1 - 3 - 1 - 33
第 5.6 表	断面算定結果 (3/3).....	添 1 - 3 - 1 - 34
第 5.7 表	Ss 地震時の評価結果 (ひずみ).....	添 1 - 3 - 1 - 38
第 5.8 表	Ss 地震時の評価結果 (応力度).....	添 1 - 3 - 1 - 39

## 目 次

第 2.1 図	プールの位置.....	添 1 - 3 - 1 - 2
第 2.2 図	プールの平面図及び断面図.....	添 1 - 3 - 1 - 3
第 2.3 図	プールの評価フロー.....	添 1 - 3 - 1 - 5
第 3.1 図	通常運転時における温度分布.....	添 1 - 3 - 1 - 11
第 3.2 図	静水圧荷重.....	添 1 - 3 - 1 - 13
第 3.3 図	Sd 地震時の動水圧荷重.....	添 1 - 3 - 1 - 13
第 3.4 図	Ss 地震時の動水圧荷重.....	添 1 - 3 - 1 - 13
第 4.1 図	耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の 最大応答値(Ss).....	添 1 - 3 - 1 - 20
第 4.2 図	耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の 最大応答値(Sd).....	添 1 - 3 - 1 - 21
第 5.1 図	応力解析の評価フロー.....	添 1 - 3 - 1 - 23
第 5.2 図	解析モデル(全体).....	添 1 - 3 - 1 - 25
第 5.3 図	解析モデル(プール周辺).....	添 1 - 3 - 1 - 26
第 5.4 図	応力-ひずみ関係(コンクリートの $\sigma - \epsilon$ 関係).....	添 1 - 3 - 1 - 28
第 5.5 図	応力-ひずみ関係(鉄筋の $\sigma - \epsilon$ 関係).....	添 1 - 3 - 1 - 28
第 5.6 図	断面算定の要素位置(壁：水平方向 底版：NS 方向)..... .....	添 1 - 3 - 1 - 30
第 5.7 図	断面算定の要素位置(壁：鉛直方向 底版：EW 方向)..... .....	添 1 - 3 - 1 - 31
第 5.8 図	最大ひずみの発生要素位置.....	添 1 - 3 - 1 - 36
第 5.9 図	最大応力度の発生要素位置.....	添 1 - 3 - 1 - 37

## 1. 概要

本資料は、基準地震動  $S_s$ 、弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力  $3.0C_i$  に対して、使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール(以下「プール」という。)が耐震余裕を有することを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

プールは原子炉建家の1階に設置され、原子炉建家の一部を成している。

プールの位置を第2.1図に示す。



第2.1図 プールの位置

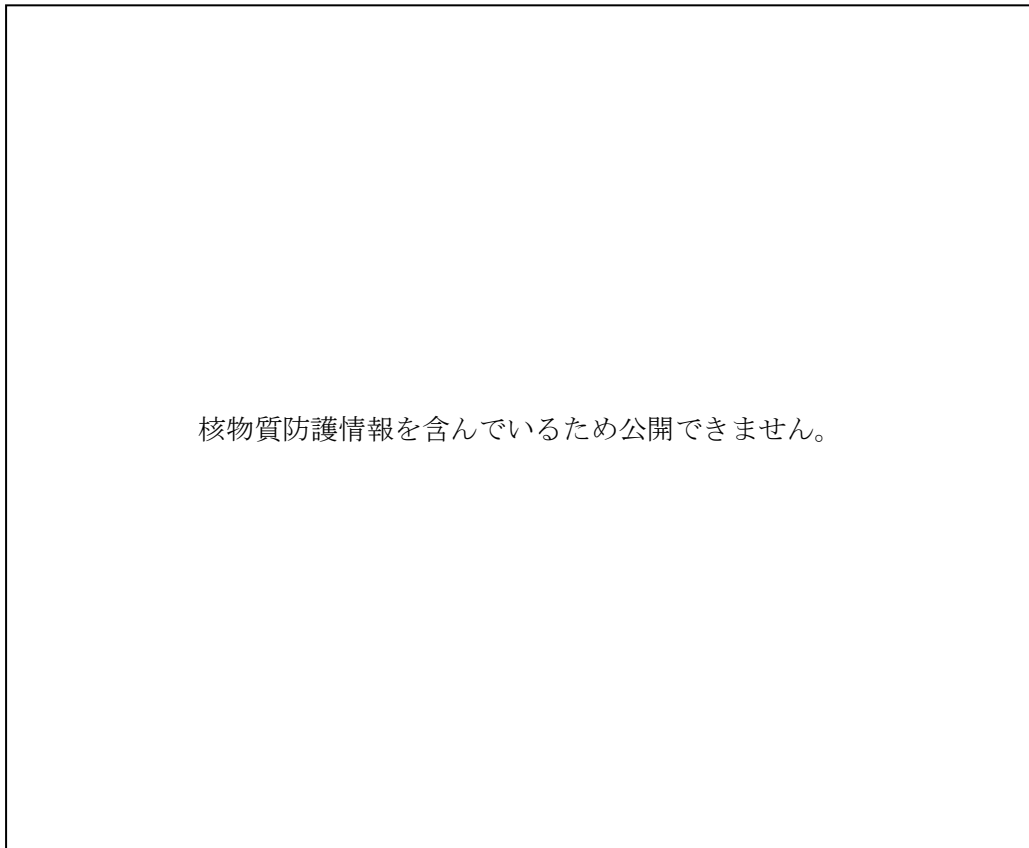
## 2.2 構造概要

プールは、使用済燃料を一定期間貯蔵するためのもので箱型の形状をした鉄筋コンクリート造であり、プールの壁の一部は原子炉建家の耐震要素となっている。

使用済燃料は、プール内に設けられたラックに納められ、ラックはプールの壁又は底版によって支持されている。プールには使用済燃料の崩壊熱を除去するために常時水が張られており、プールの内面はプール水の漏えいを防止するためにステンレス鋼によってライニングされている。プールの内法寸法は7.25m(NS方向)×5.5m(EW方向)、深さ8.0mである。また、プールの底版の厚さは□m、プールの壁の厚さは□mである。

プールの平面図及び断面図を第2.2図に示す。

核物質防護情報を含んでいる  
ため公開できません。



第2.2図 プールの平面図及び断面図

### 2.3 評価方針

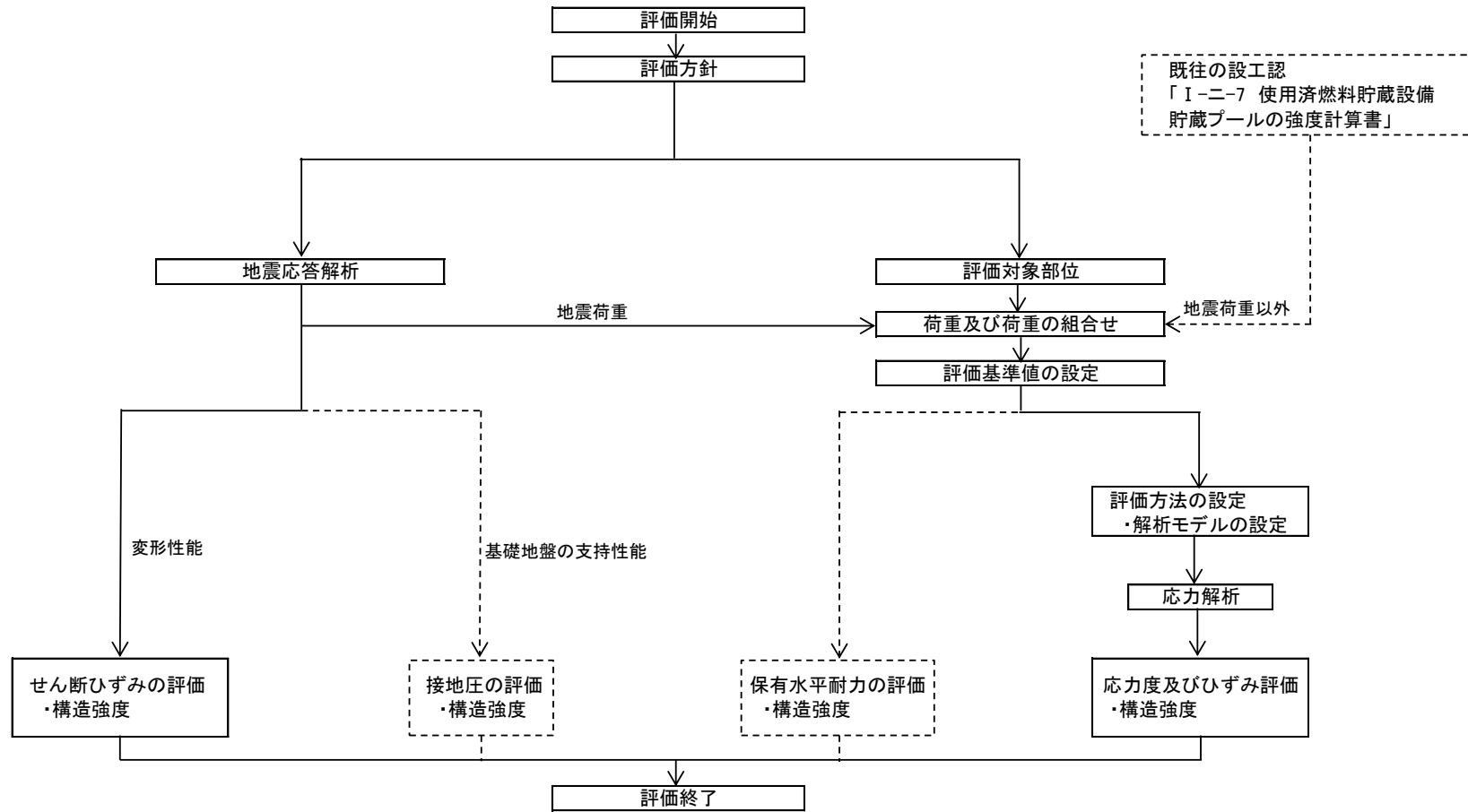
プールの耐震クラスは、Sクラスであり、基準地震動  $S_s$ 、弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力  $3.0C_i$  に対して、構造物全体としての変形性能の評価及び応力解析による評価を行い、十分な構造強度を有することを確認する。

構造物全体としての変形性能の評価は、基準地震動  $S_s$  に対する耐震壁の最大せん断ひずみを算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

応力解析による評価は、弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力  $3.0C_i$  に対する応力解析を実施し、発生する応力度が評価基準値を超えないことを確認する。また、基準地震動  $S_s$  に対する応力解析を実施し、発生する応力度及びひずみが評価基準値を超えないことを確認する。

プールの評価フローを第 2.3 図に示す。





第 2.3 図 プールの評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

プールの評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(日本機械学会)  
(以下「CCV 規格」という。)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)  
(以下「RC-N 規準」という。)
- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会)

## 2.5 使用材料及び許容応力度等

### (1) コンクリート

コンクリートの使用材料及び許容応力度を第 2.1 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの使用材料及び許容応力度

		圧縮	せん断
		長期許容応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	7.83
設計基準強度 $F_c=23.5\text{N}/\text{mm}^2$	短期許容応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	15.7	1.09
	材料強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	23.5	—

### (2) 鉄筋

鉄筋の使用材料及び許容応力度を第 2.2 表に示す。

第 2.2 表 鉄筋の使用材料及び許容応力度

	SD35 (SD345 相当)		
	引張 圧縮		せん断
	D29 未満	D29 以上	
長期許容応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	215	195	195
短期許容応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	345		345
材料強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	345		345

(3) コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを第 2.3 表に示す。

第 2.3 表 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重時	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮・引張ひずみ)
Ss 地震時	$3.00 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-3}$

### 3. 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.1 荷重

応力解析に用いる設計用荷重を第 3.1 表に示す。また、各荷重の内容を以下に示す。

##### (1) 常時荷重 (GP\*)

固定荷重については、プールを構成する鉄筋コンクリート構造体の単位体積重量を  $24.0\text{kN/m}^3$  として、壁及び底版の厚さに応じて定める。

また、機器・配管荷重を実状に応じて考慮する。

##### (2) 温度荷重 (T)

通常運転時における温度荷重を考慮する。プール水温は通常運転時において  $52^\circ\text{C}$  一定であるため、温度荷重は一次元定常温度分布解析により求めた温度分布に基づき算定する。

断面の厚さに応じて温度荷重が変化することから、全ての断面について算定した。通常運転時における温度分布を第 3.1 図に示す。

##### (3) 地震荷重 (K)

地震荷重は、Sd 地震時においては、原子炉建家の地震応答解析により得られた弾性設計用地震動 Sd の結果及び静的地震力  $3.0C_i$  を包絡して設定した水平方向の最大応答変位及び鉛直方向の最大応答加速度を考慮する。Ss 地震時においては、原子炉建家の地震応答解析による水平方向の最大応答変位及び鉛直方向の最大応答加速度を考慮する。

水平方向の最大応答変位は強制変位として各床位置に作用させる。

鉛直方向の最大応答加速度は、慣性力を考慮するため鉛直震度として作用させる。

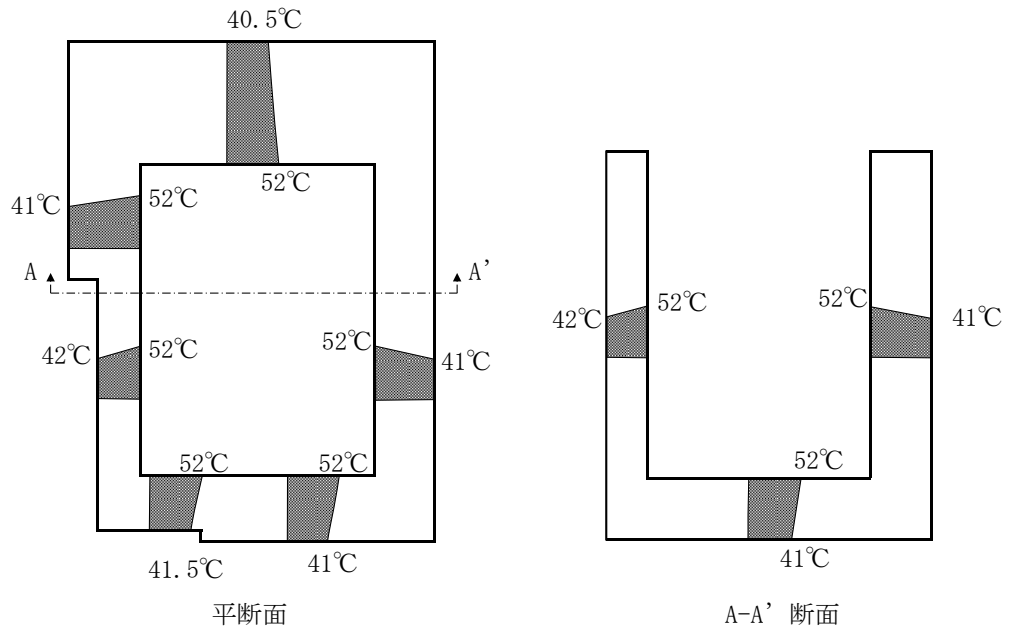
応力解析に用いた水平変位を第 3.2 表及び第 3.3 表に、鉛直震度を第 3.4 表に示す。

##### (4) 水圧荷重 (H)

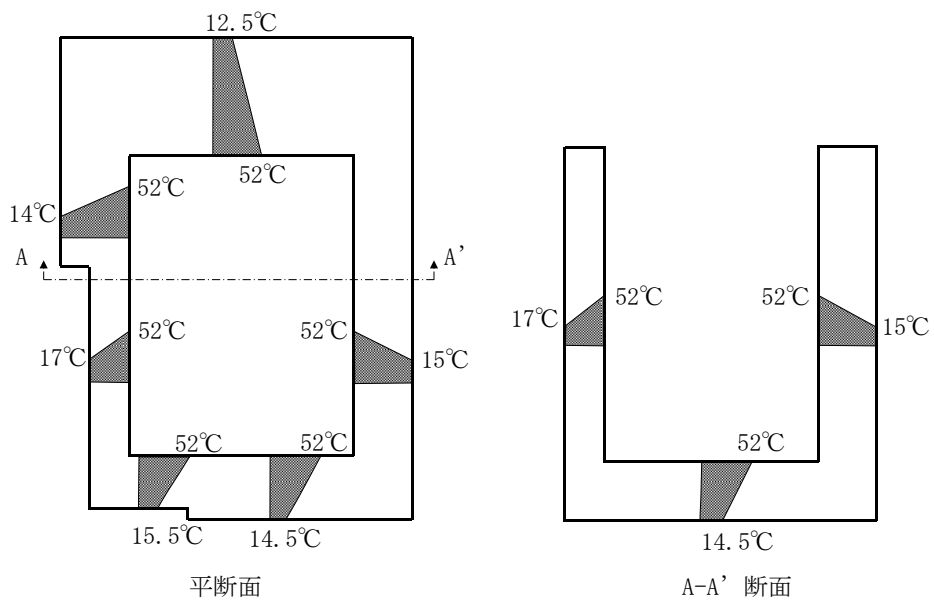
プールには常時水が張られているため、静水圧及び地震時の動水圧を水圧荷重として考慮する。プール水面を G.L.  $-2.4\text{m}$  とした水圧荷重を第 3.2 図から第 3.4 図に示す。

第 3.1 表 設計用荷重

荷重	符号	内容	
常時荷重	GP*	固定・機器・配管荷重(通常時)	
温度荷重	$T_s$	通常運転時(プール内最高温度：52℃)	夏季
	$T_w$		冬季
地震荷重	$K_{dNS}$	弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力及び静的地震力 $3.0C_i$ のうち何れか大きい方	NS 方向
	$K_{dEW}$		EW 方向
	$K_{dUD}$		UD 方向
	$K_{sNS}$	基準地震動 $S_s$ による地震力	NS 方向
	$K_{sEW}$		EW 方向
	$K_{sUD}$		UD 方向
水圧荷重	$H_s$	静水圧	
	$H_{dNS}$	地震荷重 $K_d$ による動水圧	NS 方向
	$H_{dEW}$		EW 方向
	$H_{dSNS}$	地震荷重 $K_s$ による動水圧	NS 方向
	$H_{dSEW}$		EW 方向



(a) 夏季



(b) 冬季

第 3.1 図 通常運転時における温度分布

第 3.2 表 Sd 地震時の水平変位

地震動	高さ	水平変位 (mm)※	
		NS 方向	EW 方向
弾性設計用地震動 Sd 及び静的地震力 3.0C <sub>1</sub> の包絡値	G. L. 8.2m	4.011	4.004
	G. L. - 0.1m	2.890	3.136
	G. L. - 7.1m	2.019	2.163
	G. L. -14.1m	1.039	1.046

※ 水平変位を強制変位として各床位置に与える。

第 3.3 表 Ss 地震時の水平変位

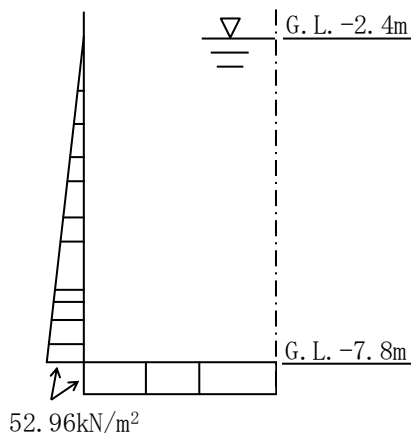
地震動	高さ	水平変位 (mm)※	
		NS 方向	EW 方向
基準地震動 Ss	G. L. 8.2m	6.326	5.007
	G. L. - 0.1m	4.515	3.911
	G. L. - 7.1m	3.162	2.743
	G. L. -14.1m	1.734	1.460

※ 水平変位を強制変位として各床位置に与える。

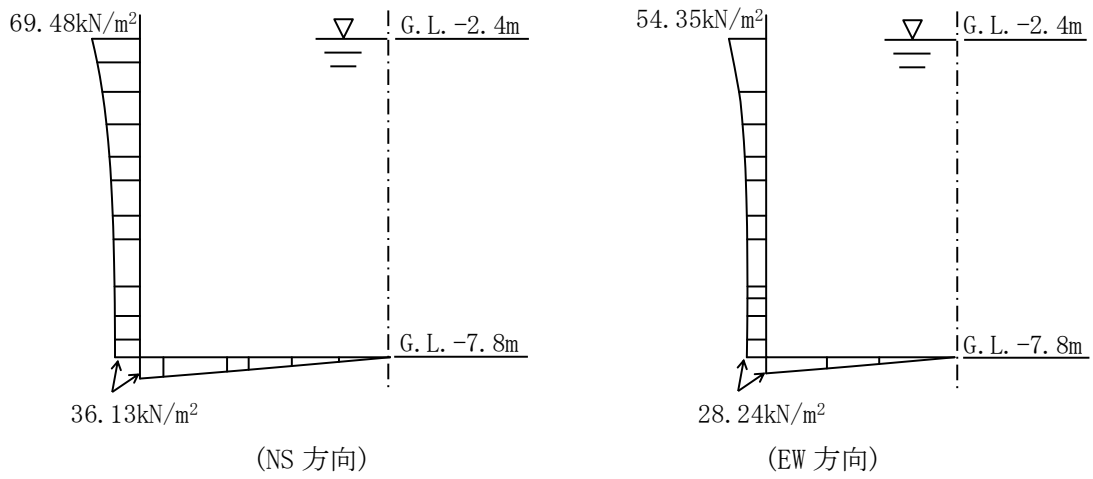
第 3.4 表 プールの鉛直震度

地震動	評価用震度
弾性設計用地震動 Sd	0.34
基準地震動 Ss	0.64

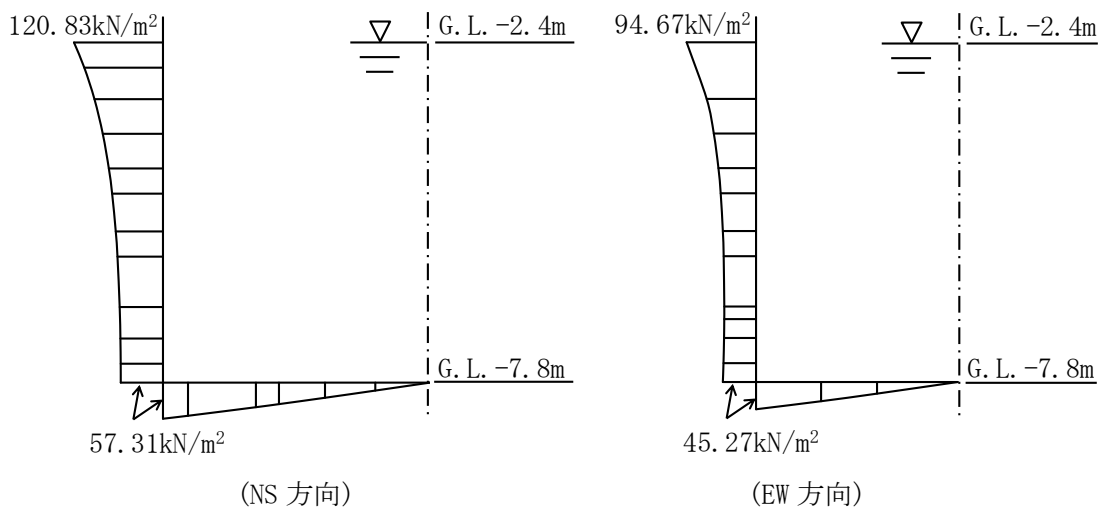




第 3.2 図 静水圧荷重



第 3.3 図 Sd 地震時の動水圧荷重



第 3.4 図 Ss 地震時の動水圧荷重

### 3.2 荷重の組合せ

応力解析に用いる水平地震荷重と鉛直地震荷重の組合せは、組合せ係数法を用いて以下のとおりとする。

- ・  $1.0 \times \text{水平地震力 (H)} + 0.4 \times \text{鉛直地震力 (V)}$
- ・  $0.4 \times \text{水平地震力 (H)} + 1.0 \times \text{鉛直地震力 (V)}$

なお、温度荷重はコンクリートのひび割れを考慮して、Sd 地震時の評価においては  $1/3$ 、Ss 地震時の評価においてはゼロに低減した値とする。

荷重の組合せを第 3.5 表から第 3.7 表に示す。

第 3.5 表 荷重の組合せ (Sd) (1/2)

		組合せ
Sd 地震時	NS 方向 地震時 1. 0H+0. 4V	$GP^*+H_S \quad +1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad +1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+1. 0H_Dd_{NS}+1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-1. 0H_Dd_{NS}-1. 0Kd_{NS}-0. 4Kd_{UD}$
	EW 方向 地震時 1. 0H+0. 4V	$GP^*+H_S \quad +1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad +1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}+0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+1. 0H_Dd_{EW}+1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-1. 0H_Dd_{EW}-1. 0Kd_{EW}-0. 4Kd_{UD}$

第 3.6 表 荷重の組合せ (Sd) (2/2)

		組合せ
Sd 地震時	NS 方向 地震時 0. 4H+1. 0V	$GP^*+H_S \quad +0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad +0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+0. 4H_D d_{NS}+0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-0. 4H_D d_{NS}-0. 4Kd_{NS}-1. 0Kd_{UD}$
	EW 方向 地震時 0. 4H+1. 0V	$GP^*+H_S \quad +0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad +0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S \quad -0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3+0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_S/3-0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}+1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3+0. 4H_D d_{EW}+0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$
		$GP^*+H_S+T_W/3-0. 4H_D d_{EW}-0. 4Kd_{EW}-1. 0Kd_{UD}$

第 3.7 表 荷重の組合せ (Ss)

		組合せ
Ss 地震時	NS 方向 地震時 1. 0H+0. 4V	$GP^*+H_S+1. 0H_D S_{NS}+1. 0K_S S_{NS}+0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-1. 0H_D S_{NS}-1. 0K_S S_{NS}+0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S+1. 0H_D S_{NS}+1. 0K_S S_{NS}-0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-1. 0H_D S_{NS}-1. 0K_S S_{NS}-0. 4K_S S_{UD}$
	EW 方向 地震時 1. 0H+0. 4V	$GP^*+H_S+1. 0H_D S_{EW}+1. 0K_S S_{EW}+0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-1. 0H_D S_{EW}-1. 0K_S S_{EW}+0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S+1. 0H_D S_{EW}+1. 0K_S S_{EW}-0. 4K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-1. 0H_D S_{EW}-1. 0K_S S_{EW}-0. 4K_S S_{UD}$
	NS 方向 地震時 0. 4H+1. 0V	$GP^*+H_S+0. 4H_D S_{NS}+0. 4K_S S_{NS}+1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-0. 4H_D S_{NS}-0. 4K_S S_{NS}+1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S+0. 4H_D S_{NS}+0. 4K_S S_{NS}-1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-0. 4H_D S_{NS}-0. 4K_S S_{NS}-1. 0K_S S_{UD}$
	EW 方向 地震時 0. 4H+1. 0V	$GP^*+H_S+0. 4H_D S_{EW}+0. 4K_S S_{EW}+1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-0. 4H_D S_{EW}-0. 4K_S S_{EW}+1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S+0. 4H_D S_{EW}+0. 4K_S S_{EW}-1. 0K_S S_{UD}$
		$GP^*+H_S-0. 4H_D S_{EW}-0. 4K_S S_{EW}-1. 0K_S S_{UD}$

#### 4. 地震応答解析による評価

##### 4.1 評価方法

プールの構造物全体としての変形性能の評価は、原子炉建家の地震応答解析結果に基づき行う。

プール設置階の耐震壁の構造強度は、最大せん断ひずみが評価基準値を超えないことを確認する。

プールの地震応答解析による評価基準値を第 4.1 表に示す。

第 4.1 表 プールの地震応答解析による評価基準値

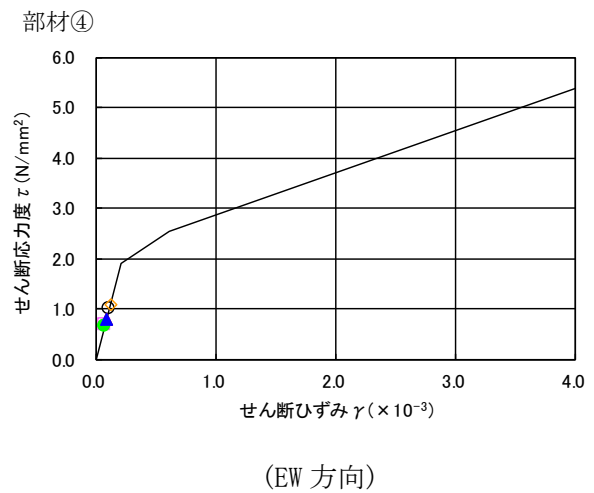
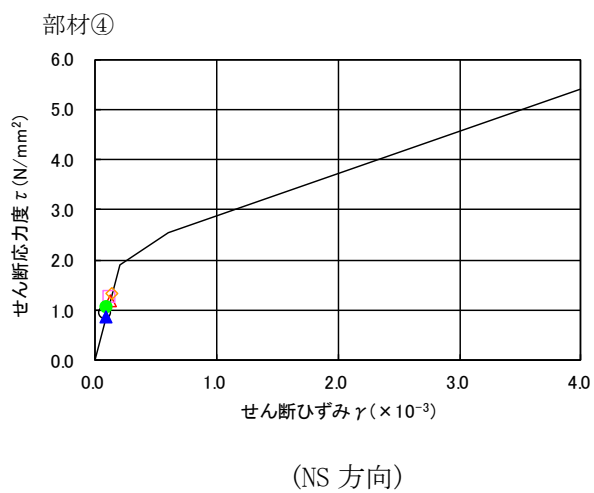
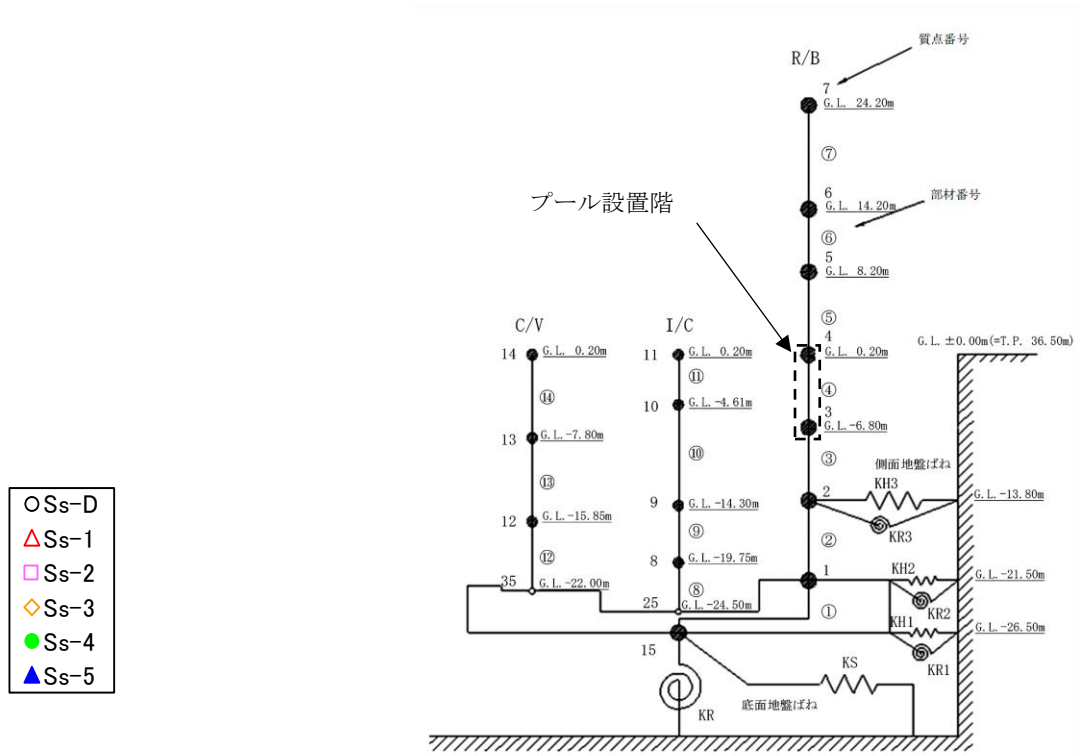
評価方針	地震力	部位	評価方法	評価基準値
構造強度を確保すること	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための評価基準値を超えないことを確認	最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

#### 4.2 評価結果

基準地震動  $S_s$  に対するプール設置階における耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を第 4.1 図に、弾性設計用地震動  $S_d$  に対するせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を第 4.2 図に示す。

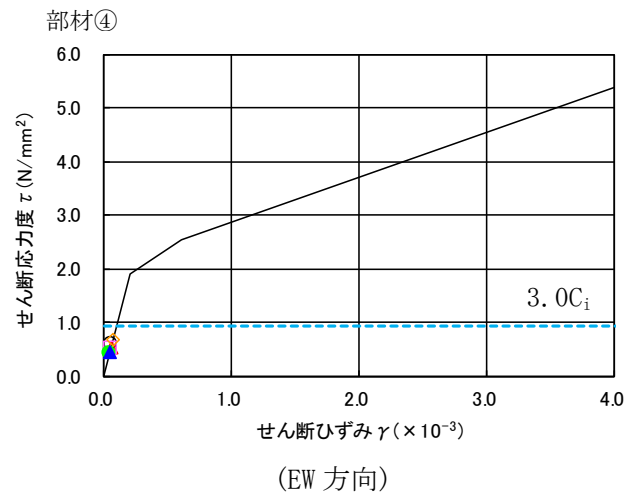
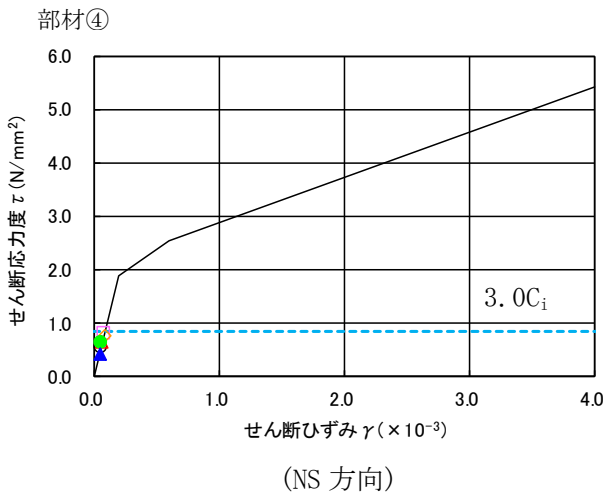
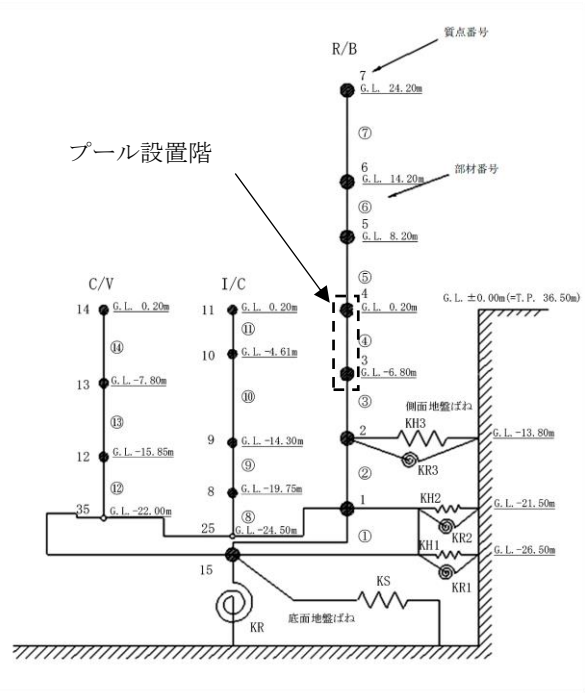
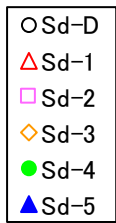
基準地震動  $S_s$  に対する耐震壁の最大せん断ひずみは、評価基準値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

なお、弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力  $3.0C_i$  における耐震壁の最大せん断ひずみは、おおむね弾性範囲内であることを確認した。



第 4.1 図 耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(Ss)





第 4.2 図 耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(Sd)

## 5. 応力解析による評価

### 5.1 評価方法

プールの応力解析による評価対象部位は、プールを構成する壁及び底版とし、以下の方法に基づき評価を行う。

#### (1) Sd 地震時に対する評価

Sd 地震時に対する評価は、三次元 FEM モデルを用いた静的線形応力解析によることとし、地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力度が RC-N 規準により設定した評価基準値を超えないことを断面算定により確認する。

三次元 FEM モデルを用いた応力解析に当たっては、原子炉建家の地震応答解析により得られた弾性設計用地震動 Sd の結果及び静的地震力  $3.0C_i$  を包絡して設定した荷重を用いて、荷重の組合せを行う。

#### (2) Ss 地震時に対する評価

Ss 地震時に対する評価は、三次元 FEM モデルを用いた静的非線形応力解析によることとし、地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、発生するひずみ及び応力度が CCV 規格により設定した評価基準値を超えないことを確認する。

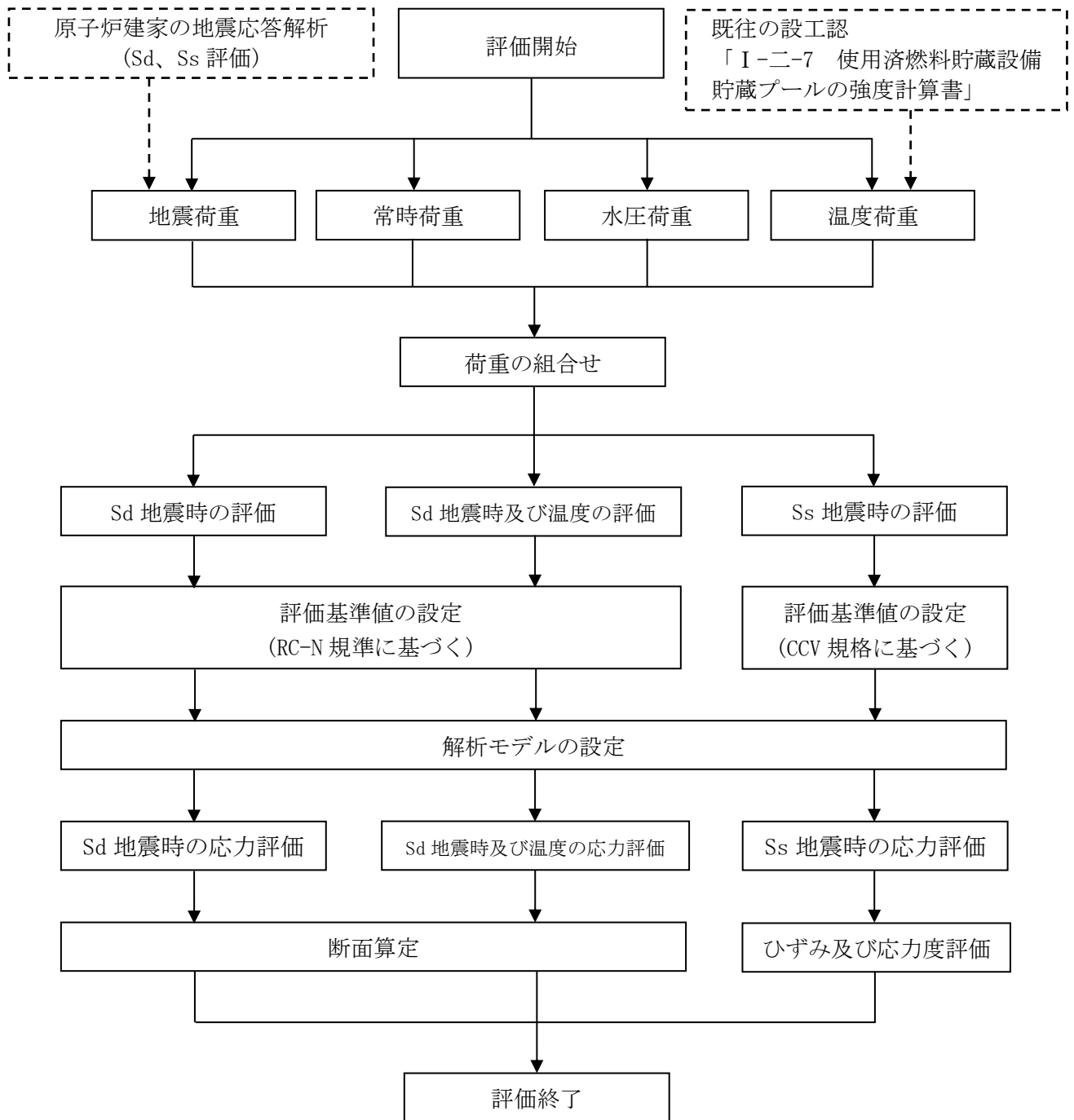
三次元 FEM モデルを用いた応力解析に当たっては、原子炉建家の地震応答解析により得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。

なお、原子炉建家の基準地震動 Ss に対する地震応答解析は、添付書類 1-2-1. で示している。

プールの応力解析による評価基準値を第 5.1 表に、応力解析の評価フローを第 5.1 図に示す。

第 5.1 表 プールの応力解析による評価基準値

評価方針	地震力	部位	評価方法	評価基準値
構造強度を確保すること	弾性設計用地震動 Sd 及び静的地震力 $3.0C_i$	プール 躯体	部材に生じる応力度が 評価基準値を超えない ことを確認	短期許容 応力度
	基準地震動 Ss		部材に生じるひずみ及 び応力度が評価基準値 を超えないことを確認	CCV 規格にお ける荷重状態 IV の許容値



第 5.1 図 応力解析の評価フロー

## 5.2 解析モデル

### (1) 基本方針

応力解析は、三次元 FEM モデルを用いた静的線形解析(Sd 地震時)又は静的非線形解析(Ss 地震時)とする。プールは原子炉建家と一体となっているため、周辺の壁及び床版をモデル化し、これらがプールへ与える影響を考慮する。モデル化に当たって考慮する範囲は、平面的には4通り～7通り間及びC通り～G通り間とし、高さ方向にはG.L. - 21.5m(基礎版上面)～G.L. 8.2mの部分とする。

応力解析に使用する解析コードは「MSC NASTRAN(MSC Software Corporation)」及び「FINAL(株式会社大林組)」である。

解析モデルを第5.2図及び第5.3図に示す。

### (2) 使用要素

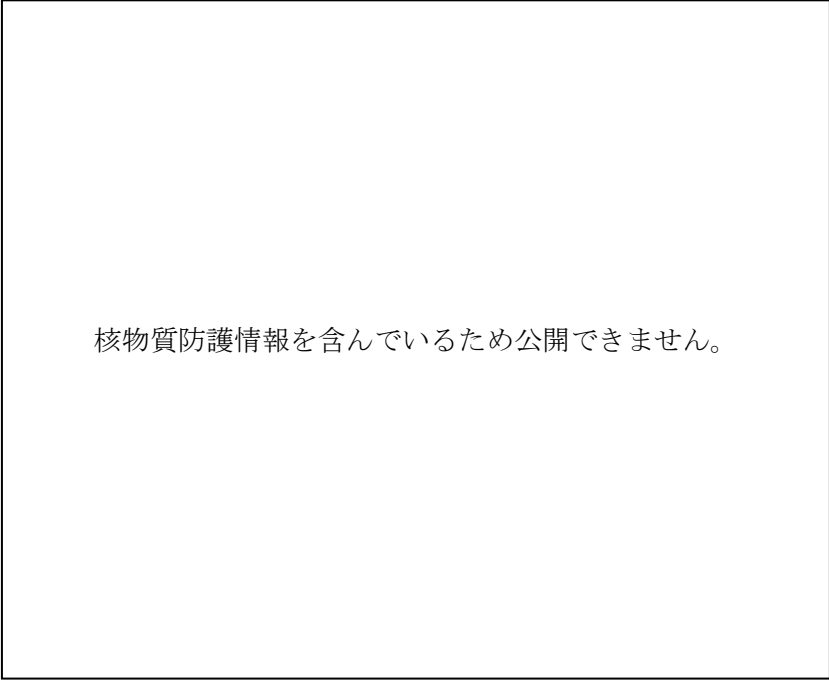
応力解析に用いる要素は、静的線形解析時はシェル要素とし、静的非線形解析時は厚さ方向に18分割し、鉄筋層及びコンクリート層を考慮した積層シェル要素としてモデル化する。

### (3) 境界条件

応力解析モデルの下端(基礎版上面)は固定とし、プール周辺の床版及び壁は対称性を考慮し、境界条件を設定する。

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 5.2 図 解析モデル(全体)



第 5.3 図 解析モデル(プール周辺)

### 5.3 解析諸元

応力解析に用いるコンクリートの材料定数を第 5.2 表に、鉄筋の材料定数を第 5.3 表に、静的非線形解析に用いるコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係を第 5.4 図及び第 5.5 図に示す。

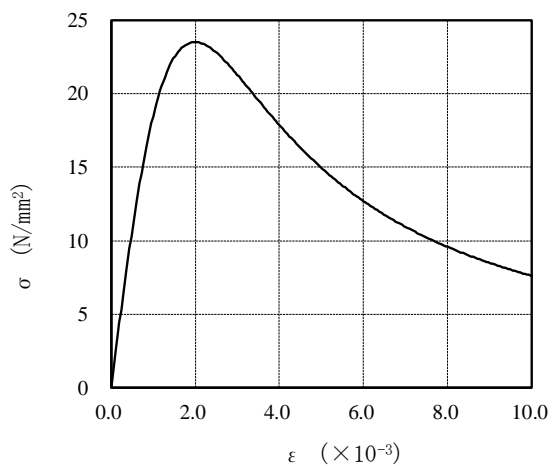
第 5.2 表 コンクリートの材料定数

設計基準 強度 $F_c$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	圧縮強度 $\sigma_c$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	引張強度 $\sigma_t$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	ヤング 係数 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	ポアソ ン比 $\nu$	線膨張 係数 ( $1/^\circ\text{C}$ )	単位体積重量 $\gamma$ ※ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
23.5	23.5	1.89	$2.25 \times 10^4$	0.20	$1.00 \times 10^{-5}$	24.0

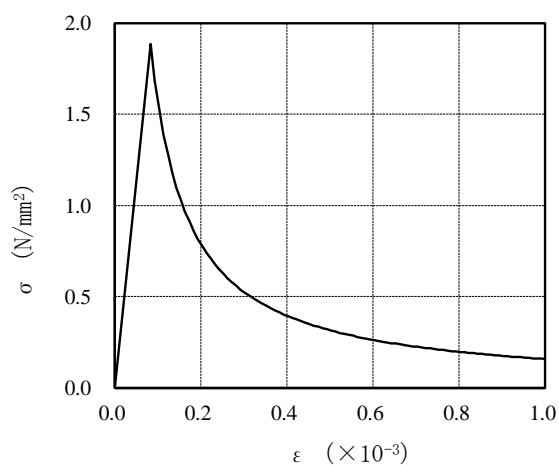
※ 単位体積重量は鉄筋コンクリートとしての重量

第 5.3 表 鉄筋の材料定数

種類	降伏強度 $F_y$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	ヤング 係数 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	線膨張 係数 ( $1/^\circ\text{C}$ )
SD35 (SD345 相当)	345	$2.05 \times 10^5$	$1.00 \times 10^{-5}$

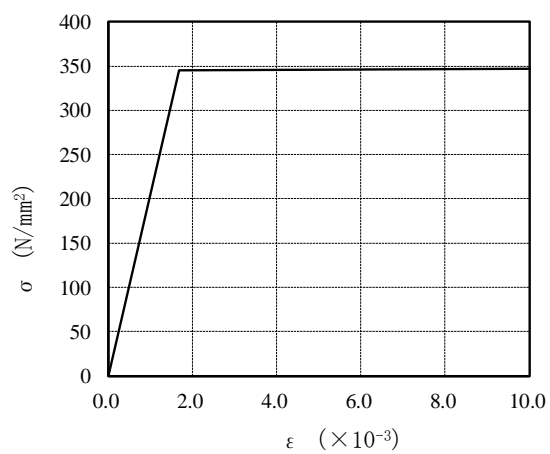


(a) 圧縮側



(b) 引張側

第 5.4 図 応力-ひずみ関係(コンクリートの  $\sigma - \epsilon$  関係)



第 5.5 図 応力-ひずみ関係(鉄筋の  $\sigma - \epsilon$  関係)



## 5.4 評価結果

### 5.4.1 Sd 地震時の評価結果

#### (1) 算定方法

断面算定では、RC-N 規準に準拠し、発生応力度により算出される必要鉄筋断面積が短期許容応力度による求められる設計鉄筋断面積を超えないことを確認する。

#### (2) 算定結果

断面算定は最大応力度の発生要素を対象とした。

断面算定の要素位置を第 5.6 図及び第 5.7 図に、断面算定結果を第 5.4 表から第 5.6 表に示す。

断面算定表中の記号の説明を以下に示す。

N : 各方向の軸力

M : 各方向の曲げモーメント

$N_{XY}$  : 面内せん断力

$M_{XY}$  : ねじりモーメント

$N^*$  : 等価軸力

$$N^* = N \pm |N_{XY}|$$

$M^*$  : 等価曲げモーメント

$$M^* = M \pm |M_{XY}|$$

Q : 面外せん断力

$P_{req,t}$  : 必要鉄筋比

$A_{req,t}$  : 必要鉄筋断面積

$P_{req,w}$  : 必要面外せん断補強筋比

$A_{req,w}$  : 必要面外せん断補強筋断面積

D : 部材厚

d : 有効せい

j : 応力中心間距離

b : 単位幅 (1m)

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度

$A_t$  : 設計鉄筋断面積

$A_w$  : 設計面外せん断補強筋断面積

$\alpha$  : せん断スパン比による割増係数

設計鉄筋断面積が必要鉄筋断面積以上であることを確認した。

したがって、各要素の発生応力度が評価基準値である短期許容応力度を超えないことを確認した。



第 5.6 図 断面算定の要素位置(壁：水平方向 底版：NS 方向)



第 5.7 図 断面算定の要素位置（壁：鉛直方向 底版：EW 方向）

第 5.4 表 断面算定結果(1/3)

部材番号		1		2		3		
D	(cm)	260		135		150		
d(j)	(cm)	247(216)		122(107)		137(120)		
方向		鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	
軸方向筋の算定	要素番号	4656	4656	4960	5327	4250	4627	
	N (kN)	293	1,279	-224	-1,084	-486	2,530	
	N <sub>XY</sub> (kN)	-1,380	-1,418	-769	-874	-1,173	743	
	N* (kN)	1,672	2,697	545	-210	687	3,274	
	M (kN・m)	107	146	-499	-1,168	-664	-1,043	
	M <sub>XY</sub> (kN・m)	-23	-32	-83	10	-73	-181	
	M* (kN・m)	130	177	581	1,178	737	1,225	
	reqP <sub>t</sub> (%)	0.10	0.16	0.17	0.21	0.18	0.51	
	reqA <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	25.9	41.3	23.1	28.4	27.7	76.1	
面外せん断力の検討*	要素番号	2601	2600	5331	5330	4627	3575	
	Q (kN)	-1,493	953	-1,124	824	-548	1,035	
	2/3 α f <sub>s</sub> b j (kN)	3,132	3,132	1,547	1,414	1,699	1,737	
	reqP <sub>w</sub> (%)	-	-	-	-	-	-	
	reqA <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	
設計配筋(既存)*	軸方向筋	配筋	2-D35@200 +2-D35@400	2-D35@200 +2-D35@400	2-D35@200 +2-D35@400	2-D35@200 +2-D35@400	4-D35@200	2-D35@100 +2-D35@200
		A <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	71.8	71.8	71.8	71.8	95.7	143.5
	せん断補強筋	配筋	-	-	-	-	-	-
		A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-

※ 面外せん断力はすべてコンクリートで負担するため「-」と記載

第 5.5 表 断面算定結果(2/3)

部材番号		④		⑤		⑥	
D (cm)		117		150		117	
d(j) (cm)		104(91)		134(117)		101(88)	
方向		鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向
軸方向筋の 算定	要素番号	2570	2567	3560	4615	3163	2566
	N (kN)	-226	-403	733	-749	825	-458
	N <sub>XY</sub> (kN)	1,013	-764	1,335	1,409	889	-808
	N* (kN)	787	360	2,068	660	1,714	350
	M (kN・m)	-115	-834	110	-1,029	37	-829
	M <sub>XY</sub> (kN・m)	-5	14	13	143	2	7
	M* (kN・m)	120	848	123	1,173	38	835
	reqP <sub>t</sub> (%)	0.13	0.27	0.22	0.25	0.22	0.28
	reqA <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	15.5	32.0	33.0	37.8	26.2	32.5
面外せん断力の 検討*	要素番号	2572	2571	4612	4622	2560	2566
	Q (kN)	-872	-834	1,144	438	543	-535
	2/3 α f <sub>s</sub> b j (kN)	1,281	1,237	1,699	1,083	1,281	891
	reqP <sub>w</sub> (%)	-	-	-	-	-	-
	reqA <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-
設計配筋 (既存)*	軸方向筋	配筋	4-D35@200	2-D35@100 +2-D35@200	4-D35@200	4-D35@200	4-D35@200
		A <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	95.7	143.5	95.7	95.7	95.7
	せん断 補強筋	配筋	-	-	-	-	-
		A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-

※ 面外せん断力はすべてコンクリートで負担するため「-」と記載

第 5.6 表 断面算定結果(3/3)

部材番号		7	8	9				
D	(cm)	90	165	140		140		
d(j)	(cm)	79(69)		149(130)		124(109)		
方向		鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	NS 方向	EW 方向	
軸方向筋の 算定	要素番号	2381	2381	2396	2396	2582	2580	
	N (kN)	673	793	1,284	2,060	2,058	-701	
	N <sub>XY</sub> (kN)	-991	-991	-1,570	-720	-65	847	
	N* (kN)	1,664	1,784	2,854	2,779	2,123	146	
	M (kN・m)	22	82	7	-745	676	-1,206	
	M <sub>XY</sub> (kN・m)	3	3	-30	185	290	-16	
	M* (kN・m)	24	85	37	929	966	1,223	
	reqP <sub>t</sub> (%)	0.28	0.33	0.26	0.37	0.40	0.25	
	reqA <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	25.2	29.5	42.2	60.5	56.6	34.3	
面外せん断力の 検討*	要素番号	2381	2195	2468	2482	2582	4628	
	Q (kN)	280	-658	758	1,127	-869	930	
	2/3 α f <sub>s</sub> b j (kN)	1,002	1,002	1,890	1,890	1,573	1,496	
	reqP <sub>w</sub> (%)	-	-	-	-	-	-	
	reqA <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	
設計配筋 (既存)*	軸方向筋	配筋	2-D35@200	2-D35@200	4-D35@200	4-D35@200	4-D35@200	4-D35@200
		A <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )	47.8	47.8	95.7	95.7	95.7	95.7
	せん断 補強筋	配筋	-	-	-	-	-	-
		A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-

※ 面外せん断力はすべてコンクリートで負担するため「-」と記載

#### 5.4.2 基準地震動 Ss に対する評価結果

各部材の最大ひずみ及び最大応力度の発生要素位置を第 5.8 図及び第 5.9 図に、Ss 地震時の評価結果を第 5.7 表及び第 5.8 表に示す。

Ss 地震時におけるプールに生じるひずみ及び応力度が、評価基準値を超えないことを確認した。



第 5.8 図 最大ひずみの発生要素位置



核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 5.9 図 最大応力度の発生要素位置

第 5.7 表 Ss 地震時の評価結果(ひずみ)

部材		要素 番号	評価項目	最大ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	評価基準値 ( $\times 10^{-3}$ )
壁	1	4642	コンクリート	0.07	3.00
		4642	鉄筋	0.05	5.00
	2	5025	コンクリート	0.13	3.00
		5025	鉄筋	0.13	5.00
	3	4627	コンクリート	0.09	3.00
		4627	鉄筋	0.07	5.00
	4	2571	コンクリート	0.09	3.00
		2572	鉄筋	0.07	5.00
	5	4612	コンクリート	0.16	3.00
		4612	鉄筋	0.12	5.00
	6	3171	コンクリート	0.09	3.00
		3074	鉄筋	0.04	5.00
	7	2195	コンクリート	0.14	3.00
		2195	鉄筋	0.13	5.00
	8	2482	コンクリート	0.11	3.00
		2396	鉄筋	0.21	5.00
底版	9	4628	コンクリート	0.11	3.00
		2582	鉄筋	0.32	5.00

第 5.8 表 S<sub>s</sub> 地震時の評価結果(応力度)

部材	要素 番号	評価項目	最大応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )	
壁	1	4642	圧縮	1.21	23.5
		2601	面外せん断	0.44	1.33
	2	4900	圧縮	2.63	23.5
		4914	面外せん断	0.42	1.51
	3	4627	圧縮	1.37	23.5
		3575	面外せん断	0.63	1.77
	4	2572	圧縮	1.13	23.5
		2572	面外せん断	0.58	1.45
	5	4612	圧縮	2.47	23.5
		4612	面外せん断	0.61	1.75
	6	3074	圧縮	1.04	23.5
		2566	面外せん断	0.34	1.71
	7	2195	圧縮	3.25	23.5
		2395	面外せん断	0.45	1.50
	8	2482	圧縮	2.08	23.5
		2396	面外せん断	0.31	1.50
底版	9	2582	圧縮	0.89	23.5
		2582	面外せん断	0.92	1.48

1-3-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉建家天井クレーンの耐震性評価)

## 目 次

1. 原子炉建家天井クレーンの耐震性評価.....	添 1 - 3 - 2 - 1
2. 基本方針 .....	添 1 - 3 - 2 - 1
2.1 配置概要.....	添 1 - 3 - 2 - 1
2.2 構造の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 2
2.3 評価方針.....	添 1 - 3 - 2 - 3
2.4 適用規格.....	添 1 - 3 - 2 - 3
3. 耐震評価箇所 .....	添 1 - 3 - 2 - 4
4. 地震応答解析 .....	添 1 - 3 - 2 - 5
4.1 基本方針.....	添 1 - 3 - 2 - 5
4.2 評価用地震動.....	添 1 - 3 - 2 - 6
4.3 解析モデル及び諸元.....	添 1 - 3 - 2 - 15
4.4 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 2 - 17
5. 応力評価及び荷重評価.....	添 1 - 3 - 2 - 23
5.1 基本方針.....	添 1 - 3 - 2 - 23
5.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	添 1 - 3 - 2 - 23
5.3 クレーン本体の応力評価方法.....	添 1 - 3 - 2 - 27
5.4 落下に対する評価方法.....	添 1 - 3 - 2 - 30
5.5 車輪の応力評価方法.....	添 1 - 3 - 2 - 31
5.6 レールの応力評価方法.....	添 1 - 3 - 2 - 33
5.7 吊具の荷重評価方法.....	添 1 - 3 - 2 - 37
5.8 クレーン本体の応力評価条件.....	添 1 - 3 - 2 - 38
5.9 落下に対する評価条件.....	添 1 - 3 - 2 - 39
5.10 車輪の応力評価条件.....	添 1 - 3 - 2 - 39
5.11 レールの応力評価条件.....	添 1 - 3 - 2 - 40
5.12 吊具の荷重評価条件.....	添 1 - 3 - 2 - 40
6. 評価結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 41
7. まとめ .....	添 1 - 3 - 2 - 47

## 表 目 次

第 2.1 表	原子炉建家天井クレーンの構造概要.....	添 1 - 3 - 2 - 2
第 4.1 表	Sd-1 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 9
第 4.2 表	Sd-2 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 10
第 4.3 表	Sd-3 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 11
第 4.4 表	Sd-4 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 12
第 4.5 表	Sd-5 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 13
第 4.6 表	Sd-D 地震動 .....	添 1 - 3 - 2 - 14
第 4.7 表	機器諸元(質量).....	添 1 - 3 - 2 - 16
第 4.8 表	機器諸元(断面性状).....	添 1 - 3 - 2 - 16
第 4.9 表	1/2Sd-1 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 17
第 4.10 表	1/2Sd-2 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 18
第 4.11 表	1/2Sd-3 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 19
第 4.12 表	1/2Sd-4 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 20
第 4.13 表	1/2Sd-5 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 21
第 4.14 表	1/2Sd-D 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 3 - 2 - 22
第 5.1 表	荷重の組合せ及び許容応力状態(1/2Sd) .....	添 1 - 3 - 2 - 24
第 5.2 表	許容応力(その他の支持構造物).....	添 1 - 3 - 2 - 24
第 5.3 表	許容応力(1/2Sd).....	添 1 - 3 - 2 - 25
第 5.4 表	吊具の許容荷重(1/2Sd).....	添 1 - 3 - 2 - 26
第 5.5 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 28
第 5.6 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 30
第 5.7 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 31
第 5.8 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 34
第 5.9 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 36
第 5.10 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 2 - 37
第 6.1 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-1) .....	添 1 - 3 - 2 - 41
第 6.2 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-2) .....	添 1 - 3 - 2 - 42
第 6.3 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-3) .....	添 1 - 3 - 2 - 43
第 6.4 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-4) .....	添 1 - 3 - 2 - 44
第 6.5 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-5) .....	添 1 - 3 - 2 - 45
第 6.6 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-D) .....	添 1 - 3 - 2 - 46

## 目 次

第 2.1 図	原子炉建家天井クレーン概要図.....	添 1 - 3 - 2 - 1
第 2.2 図	原子炉建家天井クレーンの耐震評価フロー.....	添 1 - 3 - 2 - 3
第 4.1 図	原子炉建家天井クレーンの方位とモデル化.....	添 1 - 3 - 2 - 5
第 4.2 図	原子炉建家モデル(水平方向).....	添 1 - 3 - 2 - 7
第 4.3 図	原子炉建家モデル(鉛直方向).....	添 1 - 3 - 2 - 8
第 4.4 図	Sd-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 9
第 4.5 図	Sd-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 9
第 4.6 図	Sd-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 9
第 4.7 図	Sd-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 10
第 4.8 図	Sd-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 10
第 4.9 図	Sd-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 10
第 4.10 図	Sd-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 11
第 4.11 図	Sd-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 11
第 4.12 図	Sd-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 11
第 4.13 図	Sd-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 12
第 4.14 図	Sd-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 12
第 4.15 図	Sd-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 12
第 4.16 図	Sd-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 13
第 4.17 図	Sd-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 13
第 4.18 図	Sd-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 13
第 4.19 図	Sd-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 14
第 4.20 図	Sd-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 14
第 4.21 図	Sd-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 3 - 2 - 14
第 4.22 図	解析モデル.....	添 1 - 3 - 2 - 15
第 5.1 図	ガーダの評価断面図.....	添 1 - 3 - 2 - 29
第 5.2 図	車輪とレールの状態.....	添 1 - 3 - 2 - 30
第 5.3 図	車輪つば部の評価断面図.....	添 1 - 3 - 2 - 32
第 5.4 図	横行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 3 - 2 - 34
第 5.5 図	走行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 3 - 2 - 36
第 5.6 図	走行レール取付金物溶接部の詳細図.....	添 1 - 3 - 2 - 36

1. 原子炉建家天井クレーンの耐震性評価

本評価は、原子炉建家天井クレーンの耐震余裕を有することを説明するものである。

2. 基本方針

2.1 配置概要

原子炉建家天井クレーンは第 2.1 図に示すように、燃料取扱フロアの上部に設置される。



第 2.1 図 原子炉建家天井クレーン概要図



## 2.2 構造の説明

原子炉建家天井クレーンの構造概要を第 2.1 表に示す。

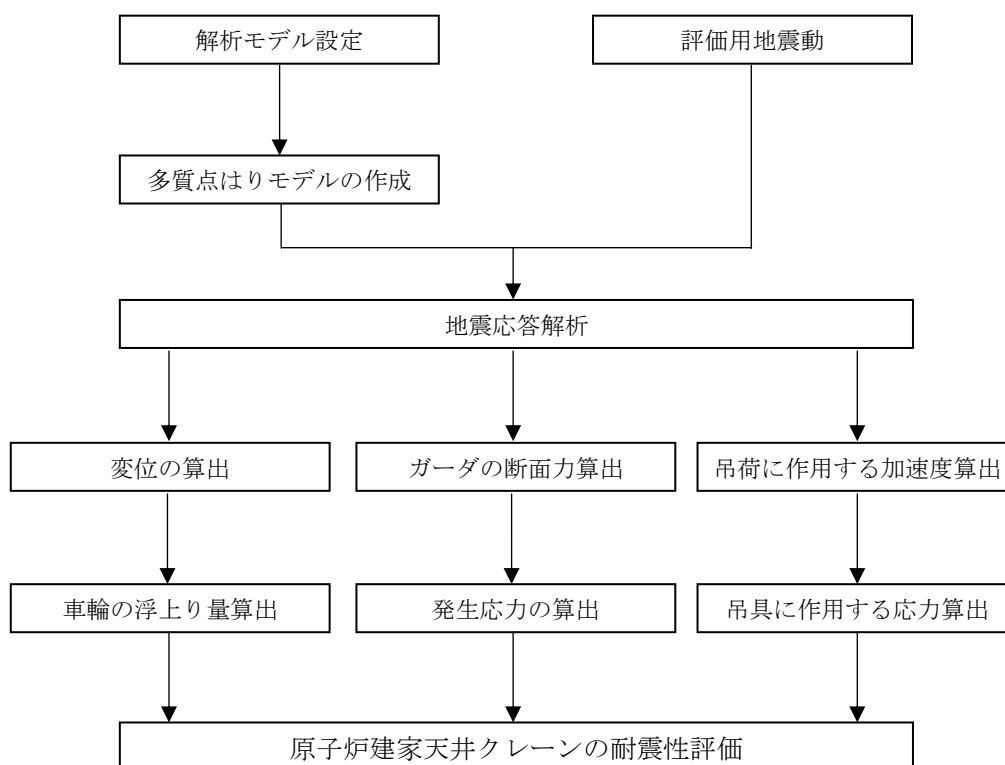
第 2.1 表 原子炉建家天井クレーンの構造概要

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建家天井クレーン	クラブトロリ式天井クレーン	天井クレーンは燃料取扱フロア上部に設置され、走行レール上を走行するブリッジとブリッジ上を横行するトロリにより構成される。ブリッジは2本のガーダ、サドル、走行装置等からなり、トロリはトロリフレーム、巻き上げ装置、横行装置等から構成されている。	

### 2.3 評価方針

耐震 B クラスの原子炉建家天井クレーンの耐震健全性を評価する観点で弾性設計用地震動  $S_d$  に 2 分の 1 を乗じた地震動(以下、「 $1/2S_d$ 」という。)を用いた動的解析による評価を行う。原子炉建家天井クレーンの耐震性評価フローを第 2.2 図に示す。

なお、本解析及び評価は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構) (以下、「クレーン類の耐震試験報告書」という。)に準じるものとする。



第 2.2 図 原子炉建家天井クレーンの耐震評価フロー

### 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- ・クレーン構造規格(平成七年労働省告示第一三四号)
- ・JSME S NC1
- ・鋼構造設計規準(日本建築学会)
- ・発電用原子力設備規格設計・建設規格

### 3. 耐震評価箇所

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価は、以下を選定して実施する。

#### (1) クレーン本体

クレーン本体については、ガーダの応力評価を実施する。

#### (2) 落下の評価

車輪の浮上り高さの確認により、浮上り高さと同車輪のつば高さの関係、浮上り車輪数により落下の危険性を評価する。

#### (3) 車輪の評価

クレーン類の耐震試験報告書に準じて以下に示す値を各レールの直角方向力(レール作用力)とし、車輪のつばの応力評価を実施する。

- ・ 走行車輪：吊荷以外の質量に X(NS) 方向入力地震波の最大瞬間加速度の 1.2 倍の値を乗じた値を地震時走行レール直角方向力とする。
- ・ 横行車輪：トロリ重量に走行車輪の静止摩擦係数 0.3 を乗じた値を地震時横行レール直角方向力とする。

#### (4) レールの評価

「車輪の評価」に用いたレール直角方向力により、レール取付ボルトとレール取付金具溶接部の応力評価を実施する。

#### (5) 吊具の評価

吊具については、ワイヤロープの評価を実施する。

原子炉建家天井クレーンの応力解析による評価基準値は、許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub> における許容応力値とし、具体的な数値は「5. 応力評価及び荷重評価」に示す。落下に評価に関する評価基準は、車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合、同時に浮上った車輪の数が 2 輪以下であれば落下しないものとし、詳細は「5.4 落下に対する評価方法」に示す。

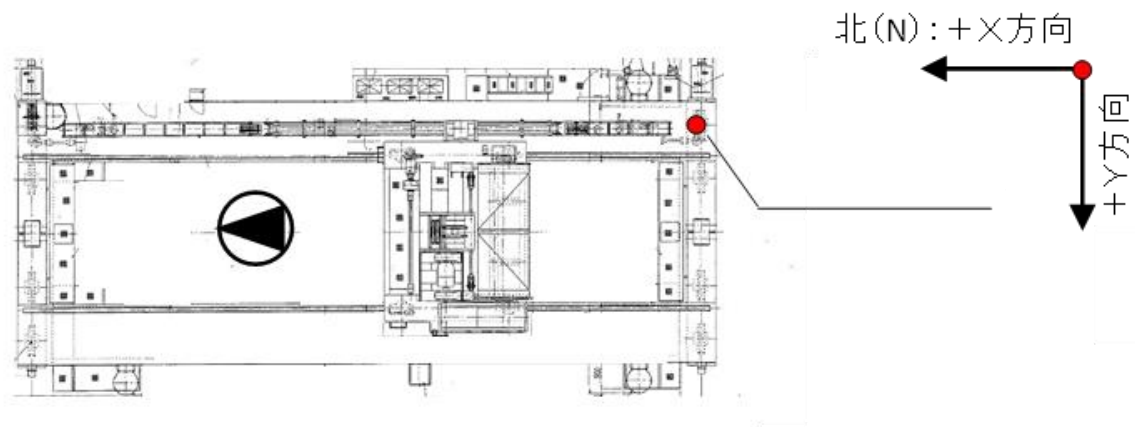
#### 4. 地震応答解析

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

##### 4.1 基本方針

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価の基本方針を以下に示す。

- (1) 天井クレーンのモデル化は、既往の設工認、図面等から、天井クレーンの形状、寸法、重量等を適切に再現した3次元モデルを作成する。原子炉建家天井クレーンの方位を第4.1図に示す。
- (2) モデルは、耐震解析を実施するうえで技術的に適切なモデルとし、耐震解析に用いる寸法は公称値を使用する。
- (3) 耐震解析に係る解析手法は、「クレーン類の耐震試験報告書」と整合を図ること。
- (4) 解析方法は、幾何学的非線形を考慮した時刻歴応答解析とし、車輪とレールのすべり／浮上り／衝突を考慮した解析を行う。解析コードは(3)に準じ「ABAQUS(ダッソー・システムズ株式会社)」を使用する。

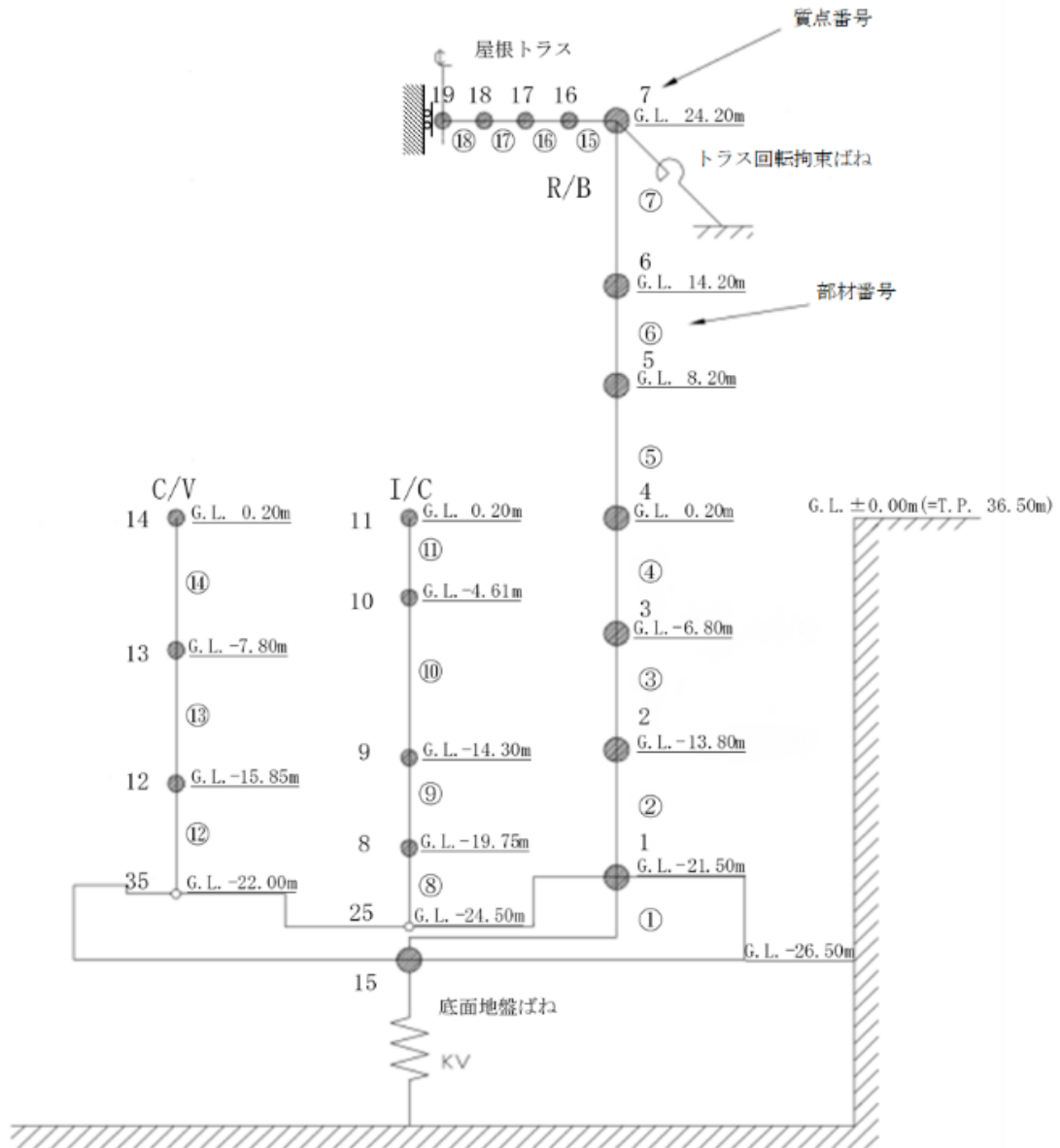


第 4.1 図 原子炉建家天井クレーンの方位とモデル化

#### 4.2 評価用地震動

- (1) 耐震計算に用いる評価用地震動は、第4.2図及び第4.3図に示す原子炉建家モデルにより時刻歴応答解析で算定された、クレーン設置位置に最も近い高さにある節点(T.P. 50.7[m]、節点番号6)の応答加速度を用いる。第4.1表から第4.6表及び第4.4図から第4.21図に示す弾性設計用地震動Sdに2分の1を乗じた $1/2Sd$ を用いる。
- (2) 時刻歴入力位置は走行車輪位置とする。
- (3) 地震波入力方向については、NS方向時刻歴応答加速度波をモデルX方向に入力し、EW方向時刻歴応答加速度波をモデルY方向に入力する。
- (4) 地震力は水平2方向と鉛直1方向地震力を同時入力し、解析を実施する。

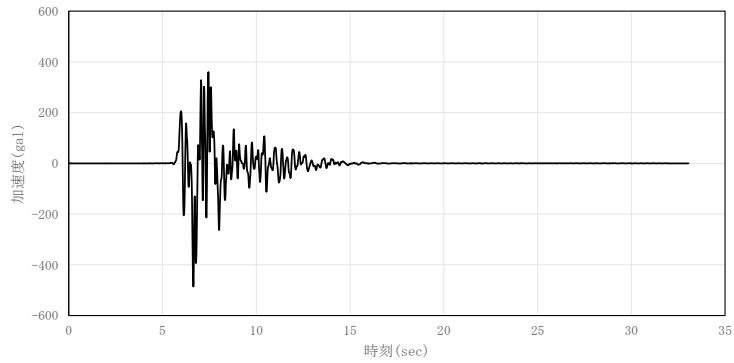




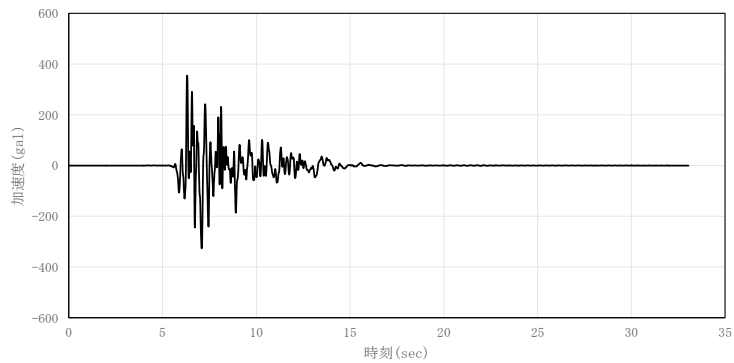
第 4.3 図 原子炉建家モデル(鉛直方向)

第 4.1 表 Sd-1 地震動

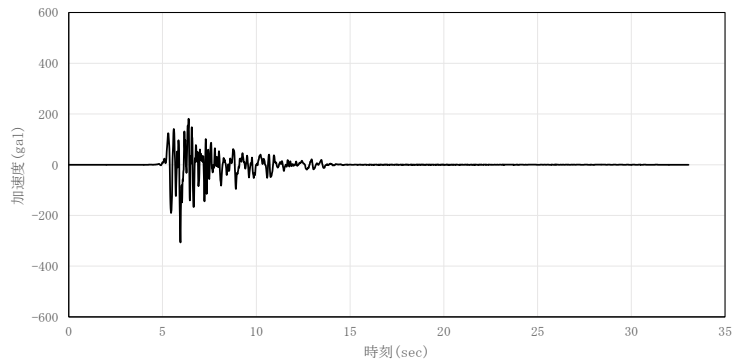
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-487(gal)
6	EW	355(gal)
6	UD	-307(gal)



第 4.4 図 Sd-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.5 図 Sd-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形

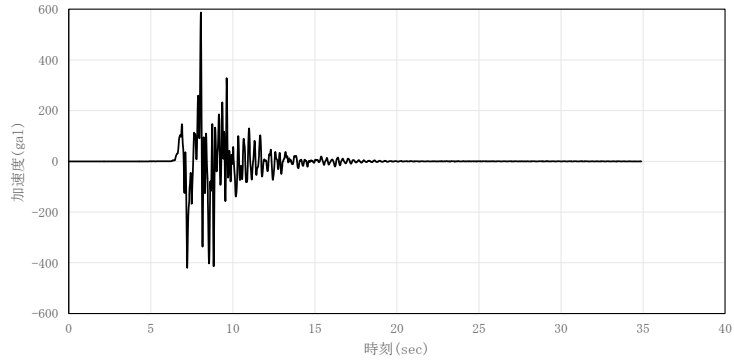


第 4.6 図 Sd-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

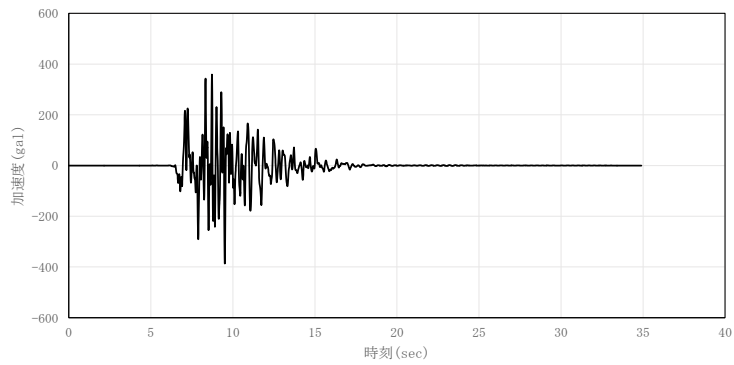


第 4.2 表 Sd-2 地震動

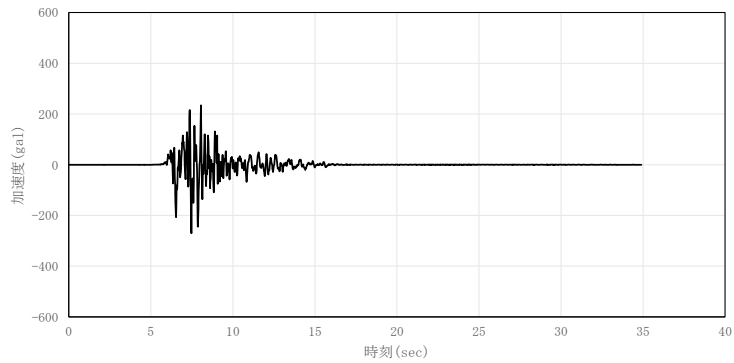
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	587 (gal)
6	EW	-387 (gal)
6	UD	-270 (gal)



第 4.7 図 Sd-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



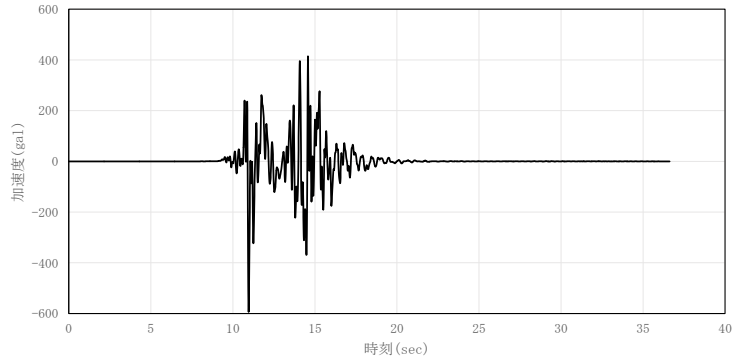
第 4.8 図 Sd-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



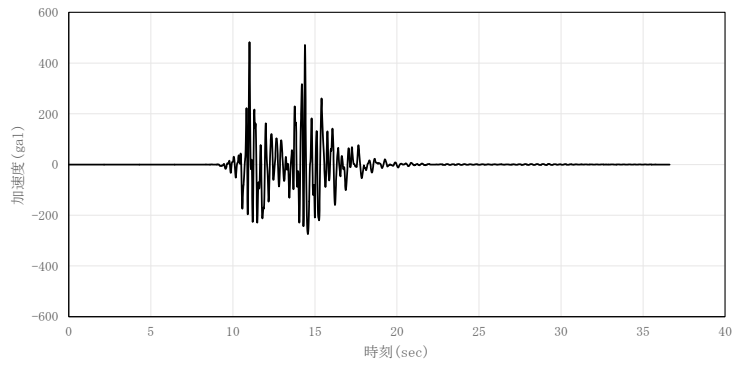
第 4.9 図 Sd-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.3 表 Sd-3 地震動

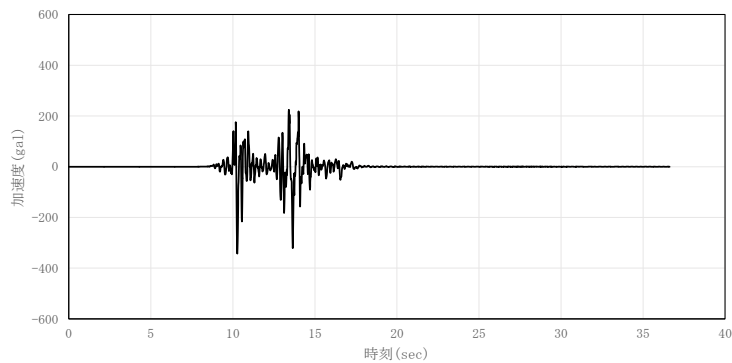
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-594(gal)
6	EW	483(gal)
6	UD	-343(gal)



第 4.10 図 Sd-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



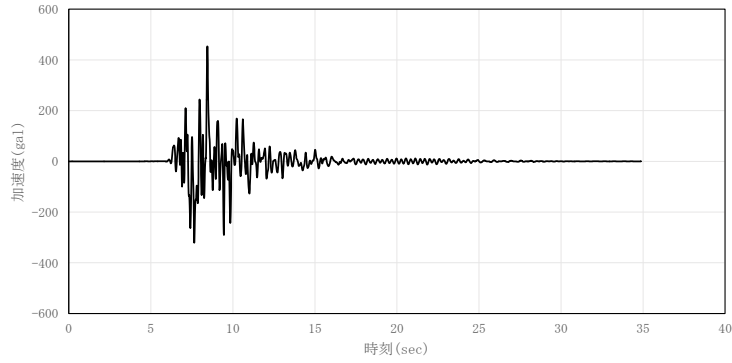
第 4.11 図 Sd-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



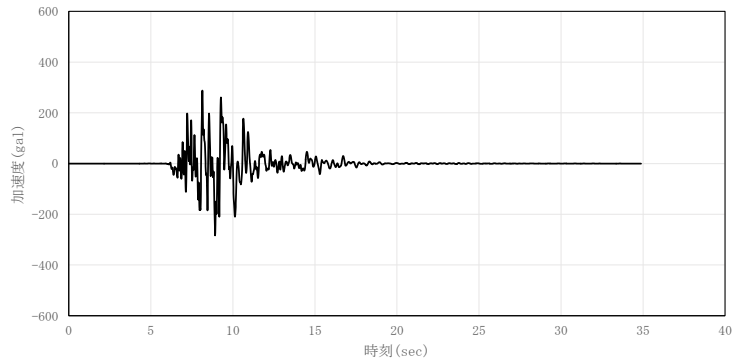
第 4.12 図 Sd-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.4 表 Sd-4 地震動

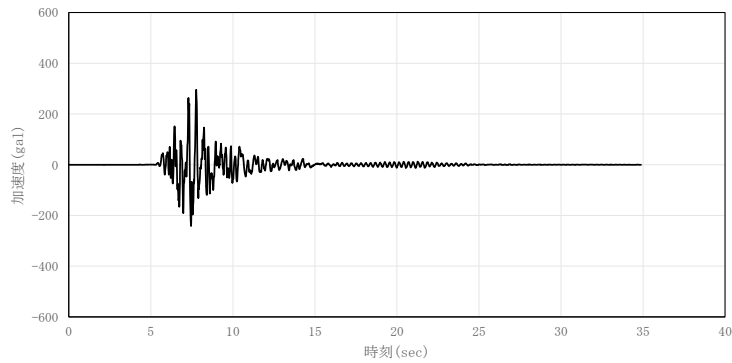
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	454 (gal)
6	EW	288 (gal)
6	UD	296 (gal)



第 4.13 図 Sd-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



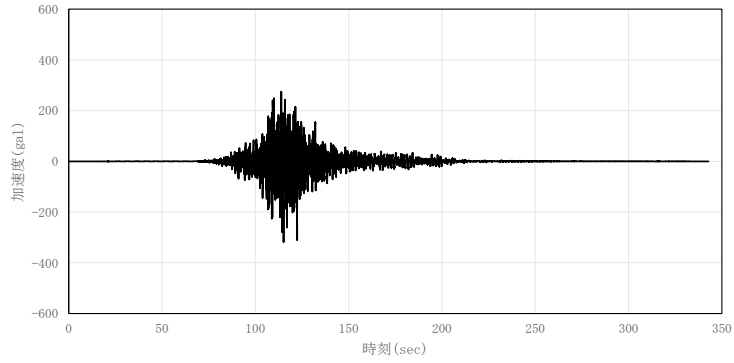
第 4.14 図 Sd-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



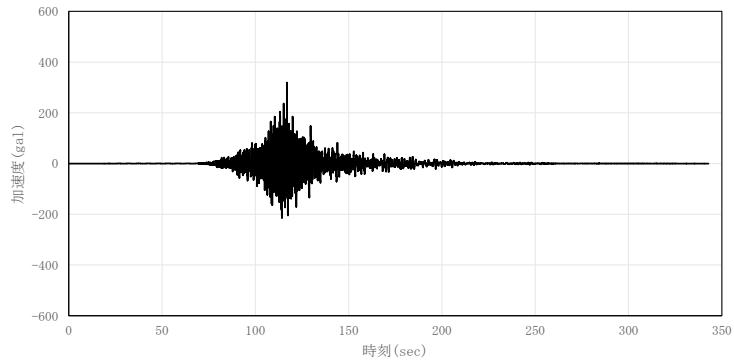
第 4.15 図 Sd-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.5 表 Sd-5 地震動

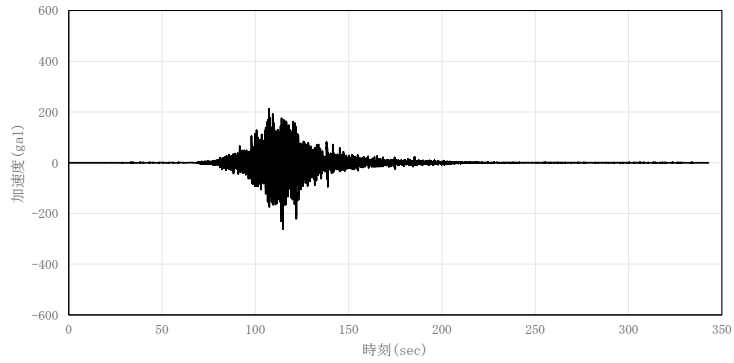
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-319(gal)
6	EW	320(gal)
6	UD	-262(gal)



第 4.16 図 Sd-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



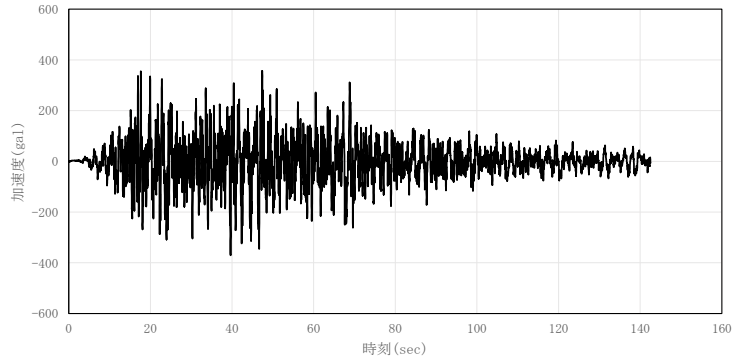
第 4.17 図 Sd-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



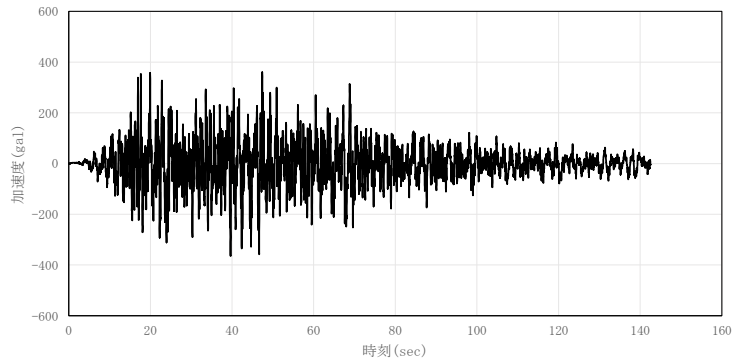
第 4.18 図 Sd-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.6 表 Sd-D 地震動

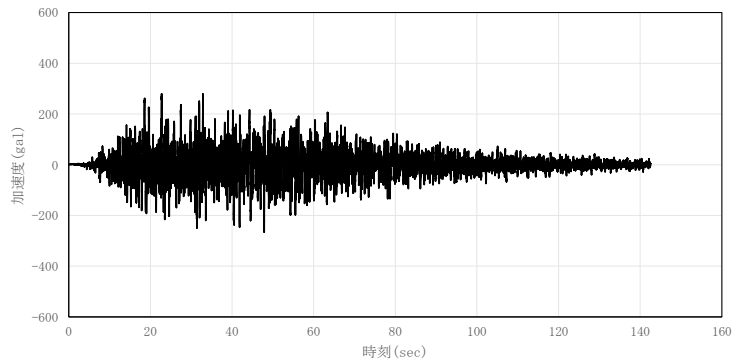
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-371 (gal)
6	EW	-365 (gal)
6	UD	280 (gal)



第 4.19 図 Sd-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



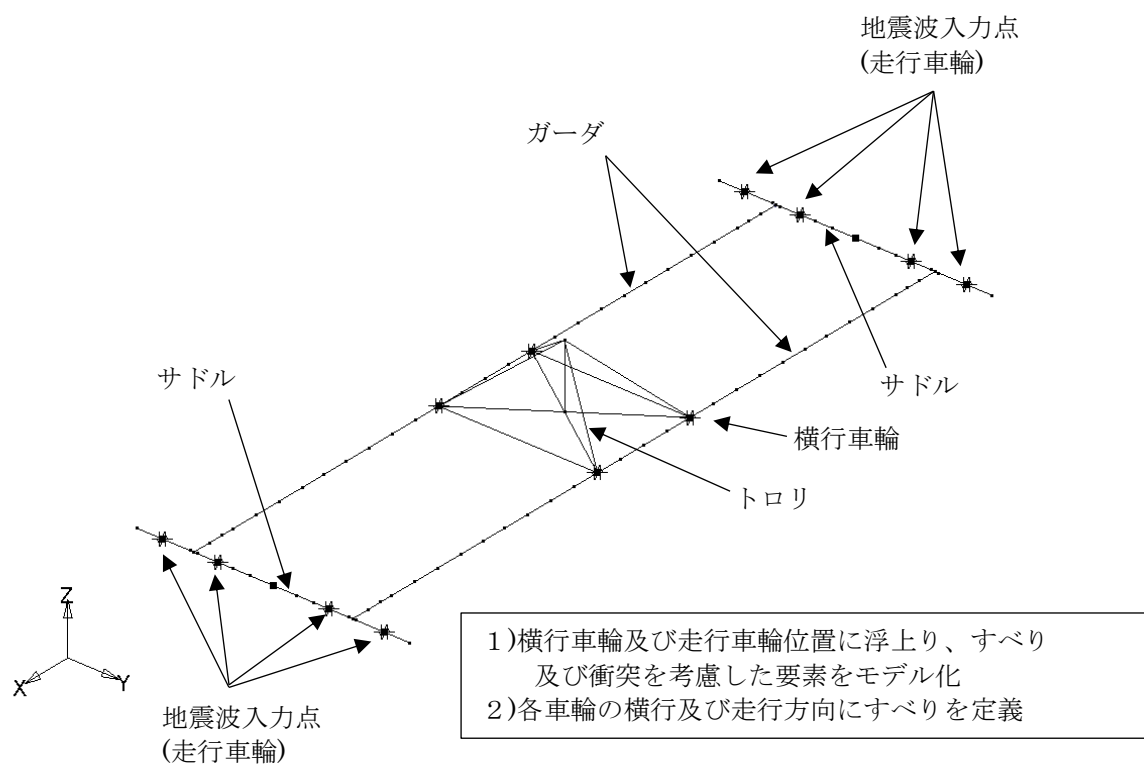
第 4.20 図 Sd-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.21 図 Sd-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

#### 4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建家天井クレーンの解析モデルは、クレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルである。解析モデルを第 4.22 図に、機器諸元を第 4.7 表、第 4.8 表に示す。



第 4.22 図 解析モデル

第 4.7 表 機器諸元(質量)

項目		質量 (kg)
クレーン	ガーダ	50,000
	トロリ	35,000
	サドル	16,600
吊荷		155,000

第 4.8 表 機器諸元(断面性状)

部材	縦弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )		断面積 (mm <sup>2</sup> )
		水平軸廻り	鉛直軸廻り	
ガーダ中央部	$2.03 \times 10^5$	$6.40 \times 10^{10}$	$3.15 \times 10^{10}$	$8.348 \times 10^4$
ガーダ端部	$2.03 \times 10^5$	$1.71 \times 10^{10}$	$2.23 \times 10^{10}$	$7.114 \times 10^4$
サドル	$2.03 \times 10^5$	$5.42 \times 10^9$	$2.01 \times 10^9$	$3.053 \times 10^4$

#### 4.4 応答解析結果

##### 4.4.1 応答荷重

ガーダ本体、落下、車輪及びレール、吊具の評価に必要な応答解析結果の最大値及び最大値を示す評価ケースを第4.9表から第4.14表に示す。

なお、最大値は組合せ応力が最大となる時刻における結果とする。

第4.9表 1/2Sd-1地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-1	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$6.81 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$3.09 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$1.02 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$8.46 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	4.68 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	3.68 (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及びレールの評価	横行車輪1車輪あたりのレール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪1車輪あたりのレール直角方向力の最大値	39	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	4.7 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>



第 4.10 表 1/2Sd-2 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-2	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$6.41 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$3.40 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$2.04 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	3.29 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	7.93 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.55 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	46	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	4.8 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.11 表 1/2Sd-3 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-3	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$6.06 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$2.25 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$3.14 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	1.72 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.67 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$3.07 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	46	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	4.3 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.12 表 1/2Sd-4 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-4	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$6.86 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$2.88 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$7.52 \times 10^{-2}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	1.34 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$8.62 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.39 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	36	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	5.9 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.13 表 1/2Sd-5 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-5	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$5.93 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$3.56 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$1.35 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	5.47 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$5.45 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.12 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	3.9 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.14 表 1/2Sd-D 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-D	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$6.57 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$3.56 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$8.22 \times 10^{-6}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	2.17 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	8.68 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.33 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	30	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	5.2 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

## 5. 応力評価及び荷重評価

### 5.1 基本方針

許容応力について、JSME S NC1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位を切り捨てた値を用いるものとする。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの評価に当たって、考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を第5.1表に示す。

#### 5.2.2 許容応力

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの許容応力を第5.2表に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの使用材料の許容応力を第5.3表に示す。

第 5.1 表 荷重の組合せ及び許容応力状態 (1/2Sd)

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等の 区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
その他	原子炉建家天井 クレーン <sup>(注)</sup>	B	—	D+P+1/2Sd	Ⅲ <sub>A</sub> S

D：自重，P：吊荷重，1/2Sd：健全性を評価する地震波

(注) その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

第 5.2 表 許容応力(その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>(注1)(注2)</sup> (ボルト以外)			許容限界 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	せん断	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>

(注 1) 「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002 年日本建築学会)の幅厚比の制限を満足させる。

(注 2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第 5.3 表 許容応力(1/2Sd)

部材名		材料	温度 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	許容応力 (MPa)		
						1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>t</sub>
クレーン 本体	ガーダ 中央部	SS400	20	245	400	244	141	244
	ガーダ 端部	SS400	20	245	400	244	141	244
車輪	横行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
	走行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
横行 レール	取付 ボルト	SS400	20	235	400	—	135	—
走行 レール	取付金物 溶接部	SS400	20	235	400	—	135	—

記号の説明

S<sub>y</sub> : 材料の使用温度における設計降伏点

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 8 より)

S<sub>u</sub> : 材料の使用温度における設計引張強さ

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 9 より)

f<sub>t</sub> : 許容引張応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>s</sub> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>s</sub> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値



原子炉建家天井クレーンの吊具については、ワイヤの許容荷重はクレーン構造規格にて規定される安全率を超える値となるように設定して評価する。許容荷重を第 5.4 表に示す。

第 5.4 表 吊具の許容荷重(1/2Sd)

部材名	材料	温度 (°C)	定格荷重 (kg)	安全率	許容荷重 <sup>(注)</sup> (kN)
ワイヤ (12 本掛け)	炭素鋼	20	155,000	5	7,600

(注) 定格荷重に安全率を乗じて算出

### 5.3 クレーン本体の応力評価方法

#### 5.3.1 ガーダ

##### (1) ガーダの応力計算方法

以下に示す方法により、ガーダに作用する応力値を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

計算で使用する記号を第 5.5 表に、評価断面図を第 5.1 図に示す。

##### ① 曲げ応力

$$\sigma_v = \frac{M_x \times 10^6}{Z_x}$$

$$\sigma_H = \frac{M_y \times 10^6}{Z_y}$$

##### ② せん断応力

$$\tau_v = \frac{F_y \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2})}$$

$$\tau_H = \frac{F_x \times 10^3}{B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

$$\tau_J = \frac{T \times 10^6}{2 \times \left( B_3 + \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \right) \left( H_1 + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right) \times t_{w1}}$$

##### ③ 軸方向応力

$$\sigma_N = \frac{N \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2}) + B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

##### ④ 組合せ応力

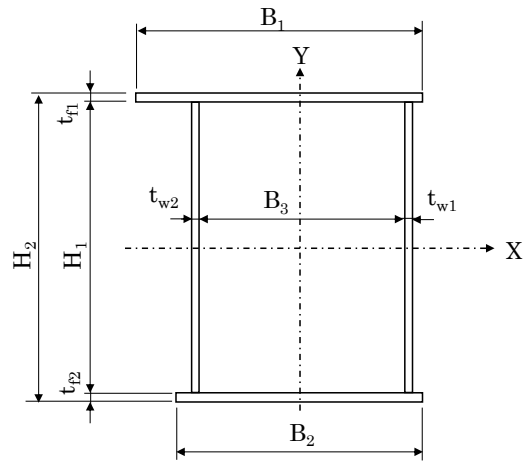
$$\sigma = \sigma_v + \sigma_H + \sigma_N$$

$$\tau = \text{Max} \{ \tau_v, \tau_H \} + \tau_J$$

$$\sigma_{\text{comb}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}$$

第 5.5 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$B_1$	ガーダ断面寸法	mm
$B_2$	ガーダ断面寸法	mm
$B_3$	ガーダ断面寸法	mm
$H_1$	ガーダ断面寸法	mm
$H_2$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w2}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f2}$	ガーダ断面寸法	mm
$M_x$	水平軸まわり曲げモーメント	kN・m
$M_y$	鉛直軸まわり曲げモーメント	kN・m
$T$	ねじりモーメント	kN・m
$F_y$	鉛直方向せん断力	kN
$F_x$	水平方向せん断力	kN
$N$	軸方向力	kN
$Z_x$	水平軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	鉛直軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_v$	水平軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_H$	鉛直軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_N$	軸方向応力	MPa
$\tau_v$	鉛直方向せん断応力	MPa
$\tau_H$	水平方向せん断応力	MPa
$\tau_J$	ねじりせん断応力	MPa
$\sigma$	垂直応力の組合せ	MPa
$\tau$	せん断応力の組合せ	MPa
$\sigma_{comb}$	組合せ応力	MPa



第 5.1 図 ガーダの評価断面図

#### 5.4 落下に対する評価方法

車輪つば高さを超える浮上り個数を確認し、落下の危険性を判定する。

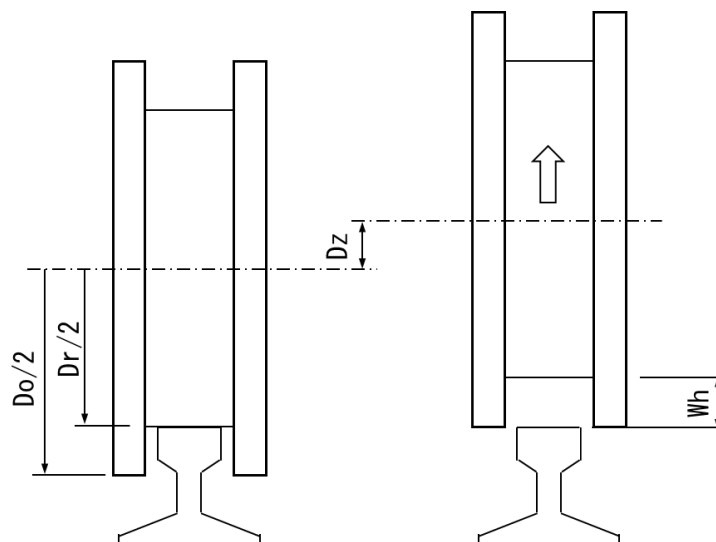
##### (1) 落下の判定方法

車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合に落下の危険性が発生するが、走行車輪(サドル)は片側4車輪の合計8車輪、横行車輪(トロリ)は片側2車輪の合計4車輪で構成されているため、車輪の一部が車輪つば高さを超えても、2輪以下の場合、サドルやトロリが落下する危険性がない。

ここで記号の説明を第5.6表に、車輪とレールの状態を第5.2図に示す。

第5.6表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$D_o$	車輪フランジ径	mm
$D_r$	車輪径	mm
$W_h$	車輪つば高さ	mm
$D_z \text{ max}$	車輪の最大浮上り量	mm



第5.2図 車輪とレールの状態

## 5.5 車輪の応力評価方法

車輪(車輪つば部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

### (1) 車輪の応力計算方法

車輪の応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.7 表に、評価断面図を第 5.3 図に示す。

#### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

#### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

#### (c) レール直角方向

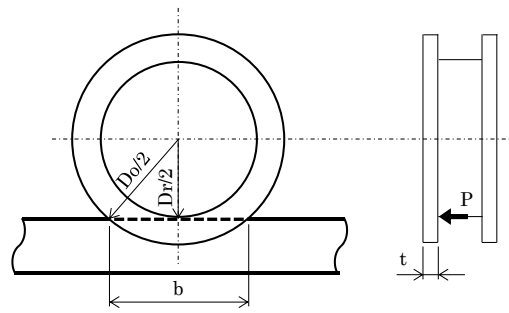
レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力が車輪つば部からレールに作用することより、車輪つば部の評価を行う。

$$\text{車輪つば部の負担幅} : b = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_r}{2}\right)^2}$$

$$\text{車輪つば部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{b \times t}$$

第 5.7 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
D <sub>o</sub>	車輪フランジ径	mm
D <sub>r</sub>	車輪径	mm
b	車輪つば部の負担幅	mm
t	車輪つば部の板厚	mm
τ	車輪つば部に作用するせん断応力	MPa



第 5.3 図 車輪つば部の評価断面図

## 5.6 レールの応力評価方法

### 5.6.1 横行レールの応力評価方法

横行レール(レール取付ボルト)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

#### (1) 横行レールの応力計算方法

横行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.8 表に示す。

##### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

##### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

##### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付ボルトで支持することより、レール取付ボルトの評価を行う。

車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第 5.4 図に横行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

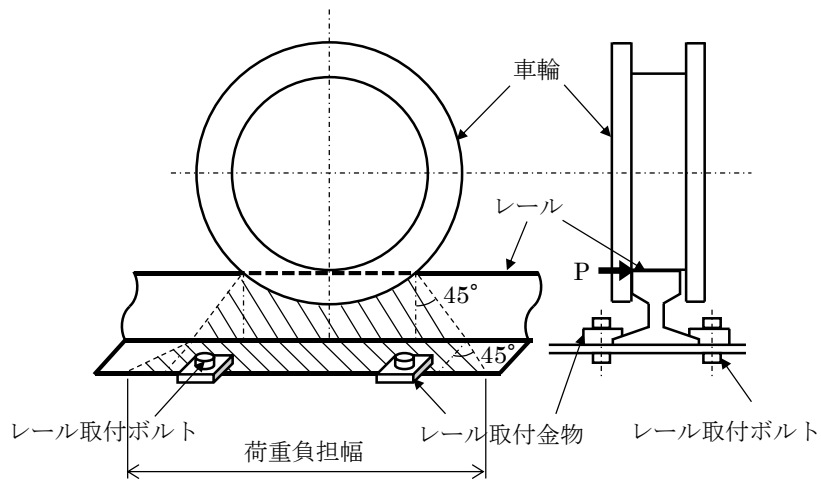
レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。

$$\text{レール取付ボルトに作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_b \times n_b \times n_s}$$



第 5.8 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$P$	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_b$	レール取付ボルトの軸径断面積	$\text{mm}^2$
$n_b$	レール取付金物 1 箇所あたりのボルト本数	本
$n_s$	レール取付金物の負担個数	個
$\tau$	レール取付ボルトに作用するせん断応力	MPa



第 5.4 図 横行レール取付金物の負担個数設定の概念図

### 5.6.2 走行レールの応力評価方法

走行レール(レール取付金物溶接部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

#### (1) 走行レールの応力計算方法

走行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.9 表に示す。

##### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

##### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

##### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付金物の溶接部で支持することより、レール取付金物溶接部の評価を行う。

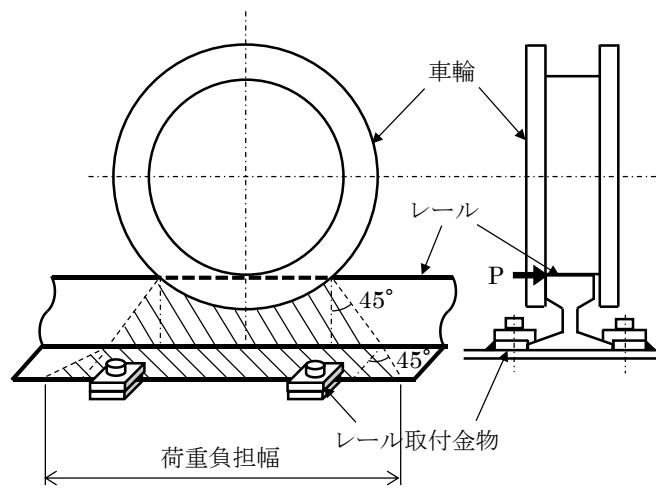
車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第 5.5 図に走行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。第 5.6 図に走行レール取付金物溶接部の詳細図を示す。

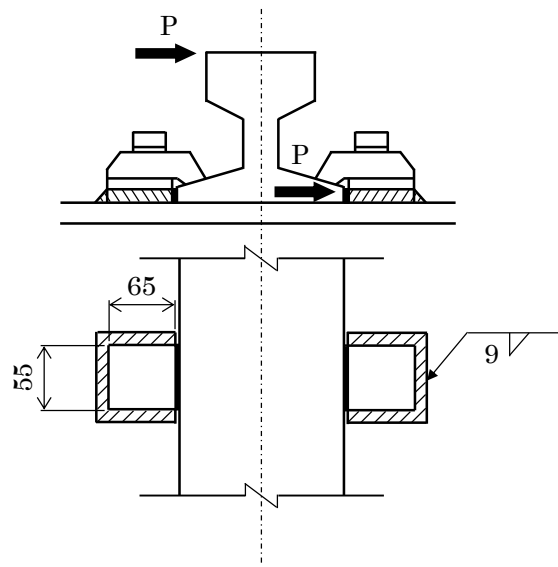
$$\text{レール取付金物溶接部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_s \times n}$$

第 5.9 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_s$	レール取付金物の溶接部面積	$\text{mm}^2$
n	レール取付金物の負担个数	個
$\tau$	レール取付金物溶接部に作用するせん断応力	MPa



第 5.5 図 走行レール取付金物の負担个数設定の概念図



第 5.6 図 走行レール取付金物溶接部の詳細図

## 5.7 吊具の荷重評価方法

以下に示す方法により、吊具の荷重を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

### (1) 吊具の計算条件

- ① 吊具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・クレーンの吊荷重を受ける部分は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ、エコライザで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷、破断により即落下に至る可能性があり、かつ裕度の低いワイヤロープを評価対象とする。
- ② ワイヤロープの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ(平衡装置)とフックブロック(動滑車)の回転により、自動的に荷重を吊り合い状態に保つことから、評価では、12本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
  - ・吊荷加速度算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果より鉛直下向きの加速度を抽出し、その最大値を用いるものとする。
  - ・ワイヤロープは本来引張荷重のみ負担し、圧縮方向の荷重は作用しないが、横行車輪部に浮上りを考慮した接触要素をモデル化することにより、トロリ、吊荷の浮き上りを含めた挙動を模擬することができるため、時刻歴解析においては、ワイヤロープはモデル化せず、吊荷を1質点としてガーダと同じ高さ位置でモデル化する。
  - ・吊荷の質量は、燃料交換機と吊具の質量を合計した155,000kgとする。
  - ・ワイヤ長さは、ワイヤを長くすれば固有周期が大きくなるが、床応答加速度はほぼ変わらない。ワイヤを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、時刻歴解析においては保守的にワイヤロープのモデル化は行わない。

### (2) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり、ワイヤロープに作用する荷重Fを算出する。計算に使用する記号を第5.10表に示す。

$$F=m \times a$$

第5.10表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度	m/s <sup>2</sup>
F	地震時にワイヤに発生する荷重	kN
m	吊荷の質量	kg
a	吊荷の最大加速度	m/s <sup>2</sup>

## 5.8 クレーン本体の応力評価条件

### 5.8.1 ガーダ中央部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	$B_1$	mm	1685
ガーダ断面寸法	$B_2$	mm	1560
ガーダ断面寸法	$B_3$	mm	1500
ガーダ断面寸法	$H_1$	mm	2100
ガーダ断面寸法	$H_2$	mm	2128
ガーダ断面寸法	$t_{w1}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{w2}$	mm	10
ガーダ断面寸法	$t_{f1}$	mm	16
ガーダ断面寸法	$t_{f2}$	mm	12
水平軸まわり断面係数	$Z_x$	mm <sup>3</sup>	$5.49 \times 10^7$
鉛直軸まわり断面係数	$Z_y$	mm <sup>3</sup>	$3.72 \times 10^7$

### 5.8.2 ガーダ端部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	$B_1$	mm	1685
ガーダ断面寸法	$B_2$	mm	1560
ガーダ断面寸法	$B_3$	mm	1500
ガーダ断面寸法	$H_1$	mm	1068
ガーダ断面寸法	$H_2$	mm	1100
ガーダ断面寸法	$t_{w1}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{w2}$	mm	10
ガーダ断面寸法	$t_{f1}$	mm	16
ガーダ断面寸法	$t_{f2}$	mm	16
水平軸まわり断面係数	$Z_x$	mm <sup>3</sup>	$3.02 \times 10^7$
鉛直軸まわり断面係数	$Z_y$	mm <sup>3</sup>	$2.60 \times 10^7$

## 5.9 落下に対する評価条件

### 5.9.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	680
車輪径	$D_r$	mm	630
車輪つば高さ	Wh	mm	25

### 5.9.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	850
車輪径	$D_r$	mm	800
車輪つば高さ	Wh	mm	25

## 5.10 車輪の応力評価条件

### 5.10.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	680
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	630
車輪つば部の負担幅	b	mm	255
車輪つば部の板厚	t	mm	27.5

### 5.10.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	850
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	800
車輪つば部の負担幅	b	mm	287
車輪つば部の板厚	t	mm	27.5

## 5.11 レールの応力評価条件

### 5.11.1 横行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付ボルトの軸径断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	380
レール取付金物 1箇所当たりのボルト本数	$n_b$	本	1
レール取付金物の負担個数	$n_s$	個	2

### 5.11.2 走行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付金物の溶接部面積	$A_s$	$\text{mm}^2$	1177
レール取付金物の負担個数	$n$	個	2

## 5.12 吊具の荷重評価条件

項目	記号	単位	数値
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
吊荷の質量	$m$	kg	155000

6. 評価結果

原子炉建家天井クレーンの1/2Sdに対する耐震評価結果を第6.1表から第6.6表に示す。

第6.1表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-1)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	133	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	107	244		
落下	横行 車輪	1車輪	浮上り回数	0回	∞	
		2車輪	浮上り回数	0回	∞	
		3車輪	浮上り回数	0回	0回	
		4車輪	浮上り回数	0回	0回	
	走行 車輪	1車輪	浮上り回数	0回	∞	
		2車輪	浮上り回数	0回	∞	
		3車輪	浮上り回数	0回	0回	
		4車輪	浮上り回数	0回	0回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	5	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	17	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,250	7,600	単位：kN	



第 6.2 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-2)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	127	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	118	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	6	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	20	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,265	7,600	単位 : kN	

第 6.3 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-3)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	117	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	108	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	6	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	20	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,188	7,600	単位 : kN	

第 6.4 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-4)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	133	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	119	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	5	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	16	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,436	7,600	単位 : kN	

第 6.5 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-5)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	118	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	111	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	11	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,126	7,600	単位 : kN	

第 6.6 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-D)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	130	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	116	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	13	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	2,327	7,600	単位 : kN	

## 7. まとめ

評価結果に示すとおり、発生値は、評価基準値を満足しており、耐震余裕を有していることを確認した。

- 1-3-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価)

## 目 次

1. 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価.....	添 1 - 3 - 3 - 1
2. 基本方針 .....	添 1 - 3 - 3 - 1
2.1 配置概要.....	添 1 - 3 - 3 - 1
2.2 構造の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 2
2.3 評価方針.....	添 1 - 3 - 3 - 3
2.4 適用規格.....	添 1 - 3 - 3 - 3
3. 耐震評価箇所 .....	添 1 - 3 - 3 - 4
4. 地震応答解析 .....	添 1 - 3 - 3 - 5
4.1 基本方針.....	添 1 - 3 - 3 - 5
4.2 評価用地震動.....	添 1 - 3 - 3 - 6
4.3 解析モデル及び諸元.....	添 1 - 3 - 3 - 22
4.4 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 24
5. 応力評価及び荷重評価.....	添 1 - 3 - 3 - 30
5.1 基本方針.....	添 1 - 3 - 3 - 30
5.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	添 1 - 3 - 3 - 30
5.3 クレーン本体の応力評価方法.....	添 1 - 3 - 3 - 34
5.4 落下に対する評価方法.....	添 1 - 3 - 3 - 37
5.5 車輪の応力評価方法.....	添 1 - 3 - 3 - 38
5.6 レールの応力評価方法.....	添 1 - 3 - 3 - 40
5.7 吊具の荷重評価方法.....	添 1 - 3 - 3 - 44
5.8 クレーン本体の応力評価条件.....	添 1 - 3 - 3 - 45
5.9 落下に対する評価条件.....	添 1 - 3 - 3 - 46
5.10 車輪の応力評価条件.....	添 1 - 3 - 3 - 46
5.11 レールの応力評価条件.....	添 1 - 3 - 3 - 47
5.12 吊具の荷重評価条件.....	添 1 - 3 - 3 - 47
6. 評価結果 .....	添 1 - 3 - 3 - 48
7. まとめ .....	添 1 - 3 - 3 - 54



## 表 目 次

第 2.1 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの構造概要.....	添 1 - 3 - 3 - 2
第 4.1 表	1/2Sd-1 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 10
第 4.2 表	1/2Sd-1 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 10
第 4.3 表	1/2Sd-1 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 10
第 4.4 表	1/2Sd-2 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 12
第 4.5 表	1/2Sd-2 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 12
第 4.6 表	1/2Sd-2 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 12
第 4.7 表	1/2Sd-3 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 14
第 4.8 表	1/2Sd-3 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 14
第 4.9 表	1/2Sd-3 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 14
第 4.10 表	1/2Sd-4 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 16
第 4.11 表	1/2Sd-4 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 16
第 4.12 表	1/2Sd-4 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 16
第 4.13 表	1/2Sd-5 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 18
第 4.14 表	1/2Sd-5 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 18
第 4.15 表	1/2Sd-5 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 18
第 4.16 表	1/2Sd-D 地震動 動的地震波(NS 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 20
第 4.17 表	1/2Sd-D 地震動 動的地震波(EW 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 20
第 4.18 表	1/2Sd-D 地震動 動的地震波(UD 方向)一覧.....	添 1 - 3 - 3 - 20
第 4.19 表	機器諸元(質量).....	添 1 - 3 - 3 - 23
第 4.20 表	機器諸元(断面性状).....	添 1 - 3 - 3 - 23
第 4.21 表	1/2Sd-1 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 24
第 4.22 表	1/2Sd-2 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 25
第 4.23 表	1/2Sd-3 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 26
第 4.24 表	1/2Sd-4 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 27
第 4.25 表	1/2Sd-5 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 28
第 4.26 表	1/2Sd-D 地震動 応答解析結果.....	添 1 - 3 - 3 - 29
第 5.1 表	荷重の組合せおよび許容応力状態(1/2Sd).....	添 1 - 3 - 3 - 31
第 5.2 表	許容応力(その他の支持構造物).....	添 1 - 3 - 3 - 31
第 5.3 表	許容応力(1/2Sd).....	添 1 - 3 - 3 - 32
第 5.4 表	吊具の許容荷重(1/2Sd).....	添 1 - 3 - 3 - 33
第 5.5 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 35
第 5.6 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 37
第 5.7 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 38

第 5.8 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 41
第 5.9 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 43
第 5.10 表	記号の説明.....	添 1 - 3 - 3 - 44
第 6.1 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-1) .....	添 1 - 3 - 3 - 48
第 6.2 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-2) .....	添 1 - 3 - 3 - 49
第 6.3 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-3) .....	添 1 - 3 - 3 - 50
第 6.4 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-4) .....	添 1 - 3 - 3 - 51
第 6.5 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-5) .....	添 1 - 3 - 3 - 52
第 6.6 表	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-D) .....	添 1 - 3 - 3 - 53

## 目 次

第 2.1 図	使用済燃料貯蔵建家天井クレーン概要図.....	添 1 - 3 - 3 - 1
第 2.2 図	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価フロー.....	添 1 - 3 - 3 - 3
第 4.1 図	使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの方位とモデル化.....	添 1 - 3 - 3 - 5
第 4.2 図	建家モデル(NS 方向) .....	添 1 - 3 - 3 - 7
第 4.3 図	建家モデル(EW 方向) .....	添 1 - 3 - 3 - 8
第 4.4 図	建家モデル(UD 方向) .....	添 1 - 3 - 3 - 9
第 4.5 図	節点番号 42 の 1/2Sd-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 11
第 4.6 図	節点番号 422 の 1/2Sd-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 11
第 4.7 図	節点番号 41 の 1/2Sd-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 11
第 4.8 図	節点番号 41 の 1/2Sd-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 13
第 4.9 図	節点番号 432 の 1/2Sd-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 13
第 4.10 図	節点番号 41 の 1/2Sd-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 13
第 4.11 図	節点番号 41 の 1/2Sd-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 15
第 4.12 図	節点番号 441 の 1/2Sd-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 15
第 4.13 図	節点番号 41 の 1/2Sd-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 15
第 4.14 図	節点番号 41 の 1/2Sd-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 17
第 4.15 図	節点番号 422 の 1/2Sd-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 17
第 4.16 図	節点番号 41 の 1/2Sd-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 17
第 4.17 図	節点番号 41 の 1/2Sd-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 19
第 4.18 図	節点番号 441 の 1/2Sd-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 19

第 4.19 図	節点番号 41 の 1/2Sd-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 19
第 4.20 図	節点番号 42 の 1/2Sd-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 21
第 4.21 図	節点番号 441 の 1/2Sd-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 21
第 4.22 図	節点番号 41 の 1/2Sd-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形 .....	添 1 - 3 - 3 - 21
第 4.23 図	解析モデル.....	添 1 - 3 - 3 - 22
第 5.1 図	ガーダの評価断面図.....	添 1 - 3 - 3 - 36
第 5.2 図	車輪とレールの状態.....	添 1 - 3 - 3 - 37
第 5.3 図	車輪つば部の評価断面図.....	添 1 - 3 - 3 - 39
第 5.4 図	横行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 3 - 3 - 41
第 5.5 図	走行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 3 - 3 - 43
第 5.6 図	走行レール取付金物溶接部の詳細図.....	添 1 - 3 - 3 - 43

## 1. 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価

本評価は、使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震余裕を有することを説明するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 配置概要

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンは第 2.1 図の位置関係に示すように、使用済燃料貯蔵建家上部に設置される。

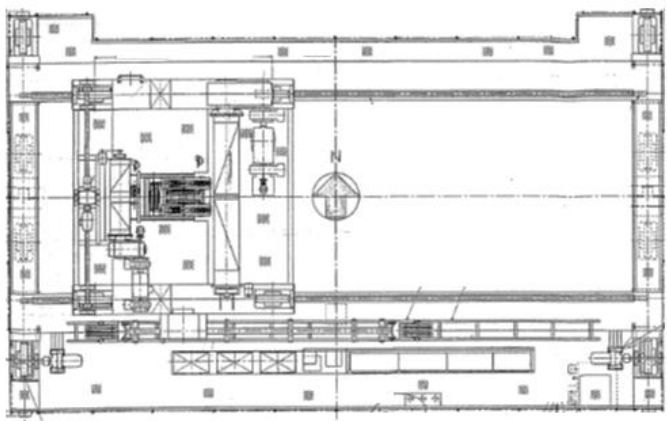
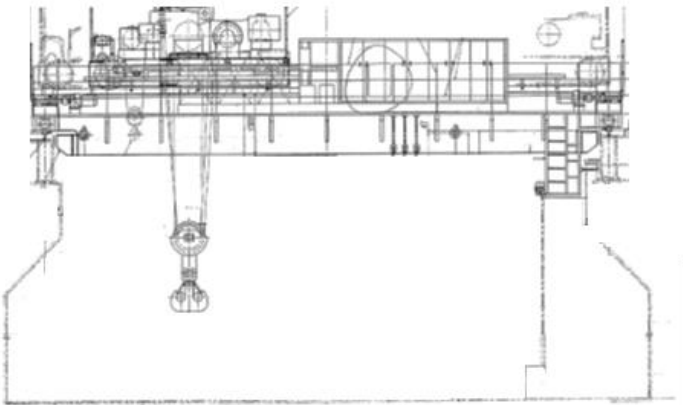
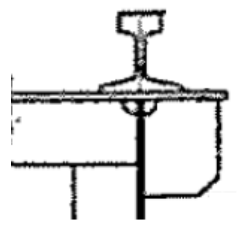
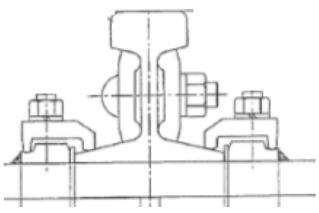


第 2.1 図 使用済燃料貯蔵建家天井クレーン概要図

## 2.2 構造の説明

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの構造概要を第 2.1 表に示す。

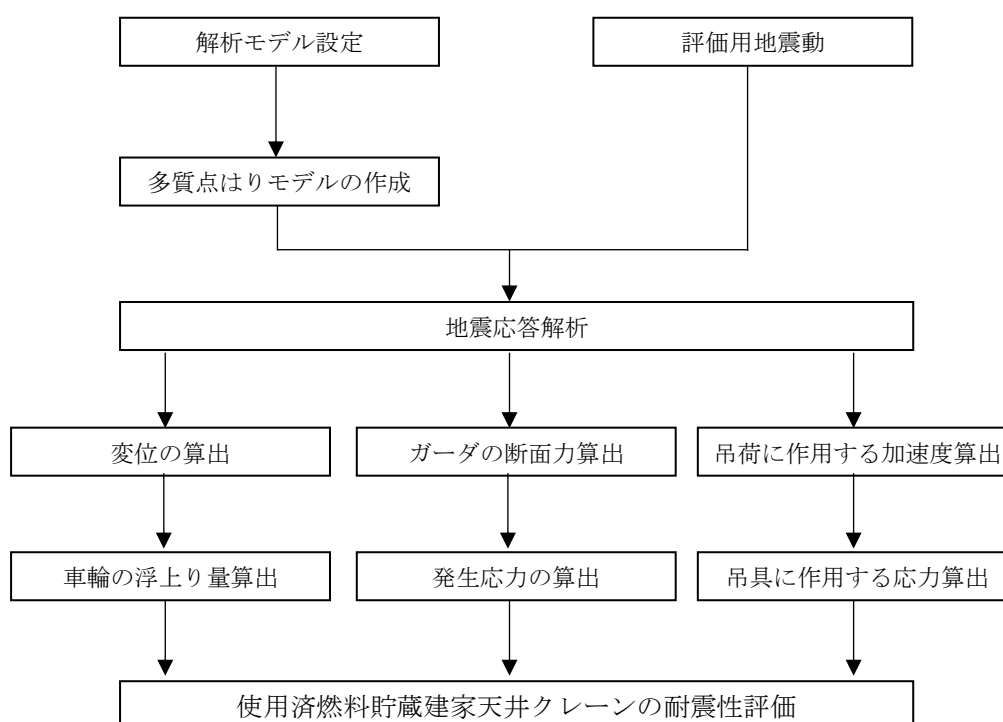
第 2.1 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの構造概要

設備 名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料貯蔵建家天井クレーン	クラブトロリ式天井クレーン	天井クレーンは使用済燃料貯蔵建家上部に設置され、走行レール上を走行するブリッジとブリッジ上を横行するトロリにより構成される。ブリッジは2本のガーダ、サドル、走行装置等からなり、トロリはトロリフレーム、巻き上げ装置、横行装置等から構成されている。	 <p style="text-align: center;">天井クレーン平面図</p>  <p style="text-align: center;">天井クレーン立面図</p>  <p style="text-align: center;">横行レール取付図</p>  <p style="text-align: center;">走行レール取付図</p>

## 2.3 評価方針

耐震 B クラスの使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震健全性を評価する観点で弾性設計用地震動 Sd に 2 分の 1 を乗じた地震動(以下、「1/2Sd」という。)を用いた動的解析による評価を行う。使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価フローを第 2.2 図に示す。

なお、本解析及び評価は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構)以下、「クレーン類の耐震試験報告書」という。)に準じるものとする。



第 2.2 図 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- ・クレーン構造規格(平成七年労働省告示第一三四号)
- ・JSME S NC1
- ・鋼構造設計規準(日本建築学会)
- ・発電用原子力設備規格設計・建設規格

### 3. 耐震評価箇所

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価は、以下を選定して実施する。

#### (1) クレーン本体

クレーン本体については、ガーダの応力評価を実施する。

#### (2) 落下の評価

車輪の浮上り高さの確認により、浮上り高さと同車輪のつば高さの関係、浮上り車輪数により落下の危険性を評価する。

#### (3) 車輪の評価

クレーン類の耐震試験報告書に準じて以下に示す値を各レールの直角方向力(レール作用力)とし、車輪のつばの応力評価を実施する。

- ・走行車輪：吊荷以外の質量に Y(EW) 方向入力地震波の最大瞬間加速度の 1.2 倍の値を乗じた値を地震時走行レール直角方向力とする。
- ・横行車輪：トロリ重量に走行車輪の静止摩擦係数 0.3 を乗じた値を地震時横行レール直角方向力とする。

#### (4) レールの評価

「車輪の評価」に用いたレール直角方向力により、レール取付ボルトとレール取付金具溶接部の応力評価を実施する。

#### (5) 吊具の評価

吊具については、ワイヤロープの評価を実施する。

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの応力解析による評価基準値は、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S における許容応力値とし、具体的な数値は「5. 応力評価及び荷重評価」に示す。落下に評価に関する評価基準は、車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合、同時に浮上った車輪の数が 2 輪以下であれば落下しないものとし、詳細は「5.4 落下に対する評価方法」に示す。



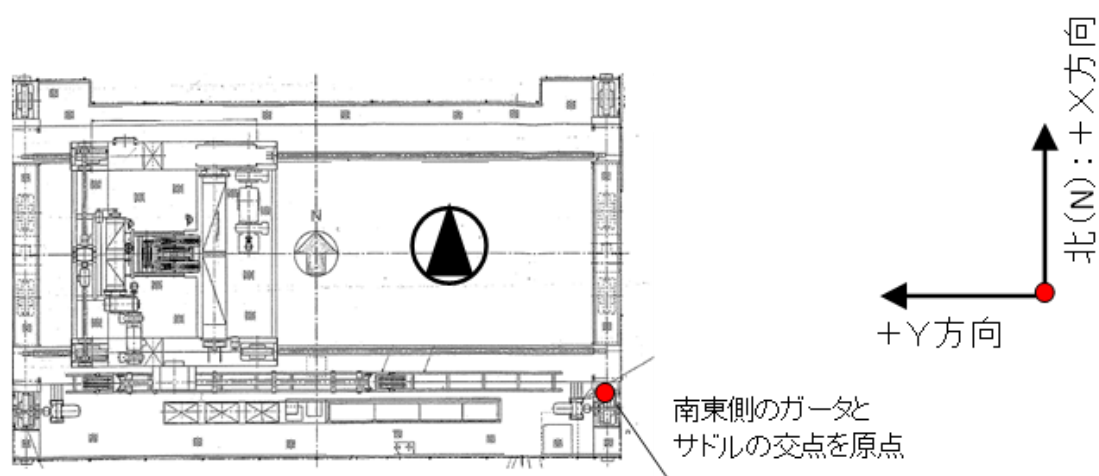
#### 4. 地震応答解析

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

##### 4.1 基本方針

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価の基本方針を以下に示す。

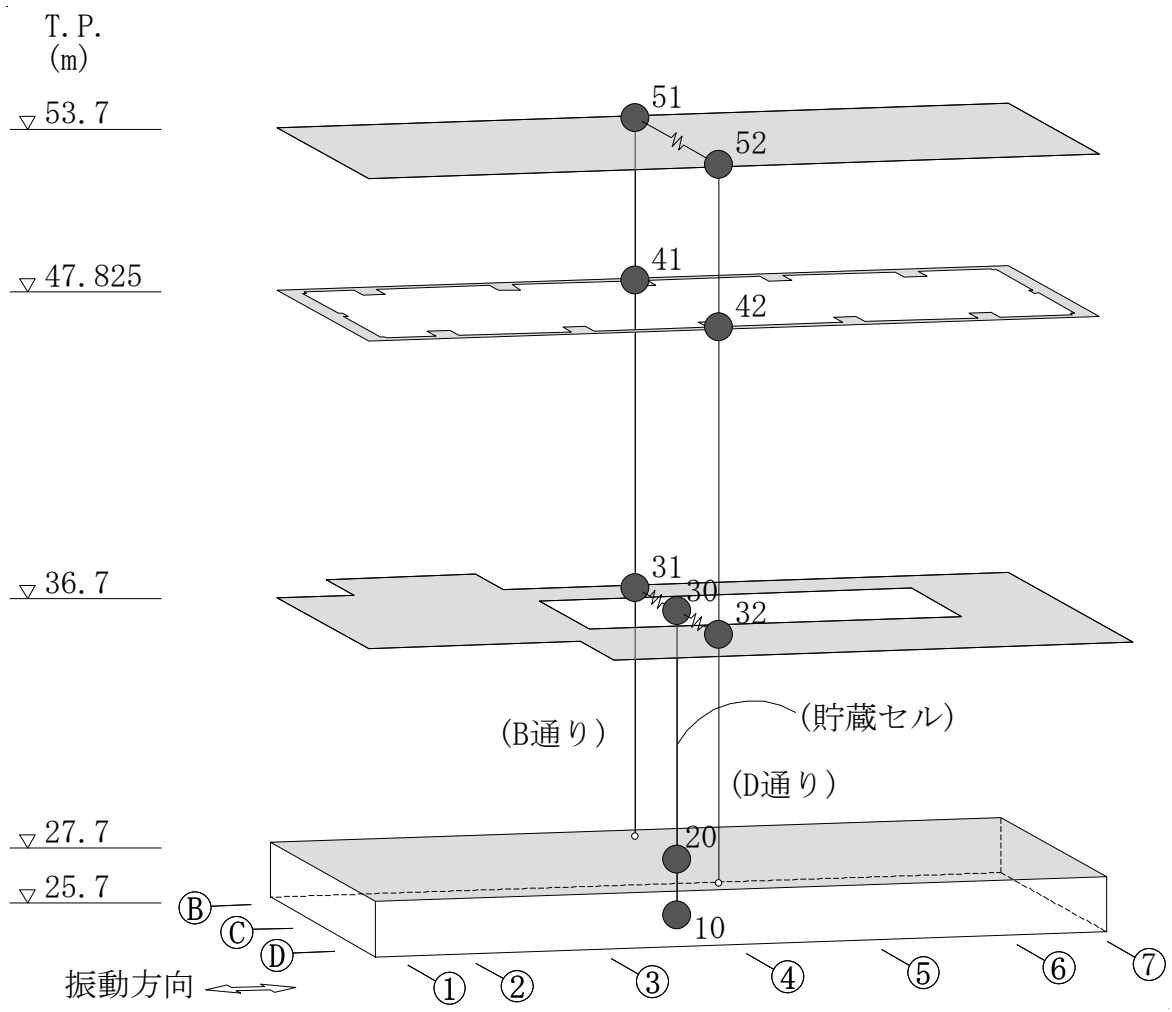
- (1) 天井クレーンのモデル化は、既往の設工認、図面等から、天井クレーンの形状、寸法、重量等を適切に再現した3次元モデルを作成する。使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの方位を第4.1図に示す。
- (2) モデルは、耐震解析を実施する上で技術的に適切なモデルとし、耐震解析に用いる寸法は公称値を使用する。
- (3) 耐震解析に係る解析手法は、「クレーン類の耐震試験報告書」と整合を図ること。
- (4) 解析方法は、幾何学的非線形を考慮した時刻歴応答解析とし、車輪とレールの“すべり／浮上り／衝突”を考慮した解析を行う。解析コードは(3)に準じ「ABAQUS(ダッソー・システムズ株式会社)」を使用する。



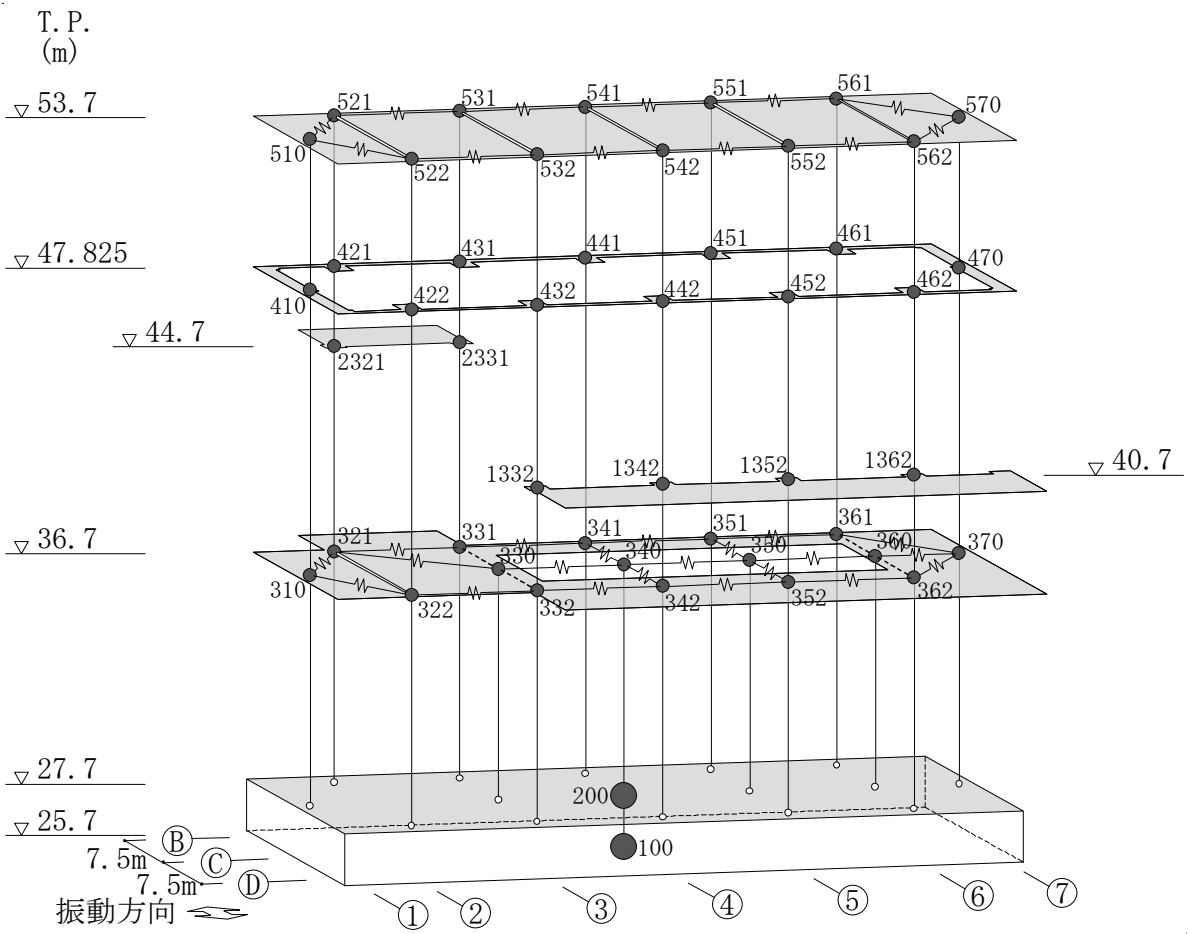
第 4.1 図 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの方位とモデル化

#### 4.2 評価用地震動

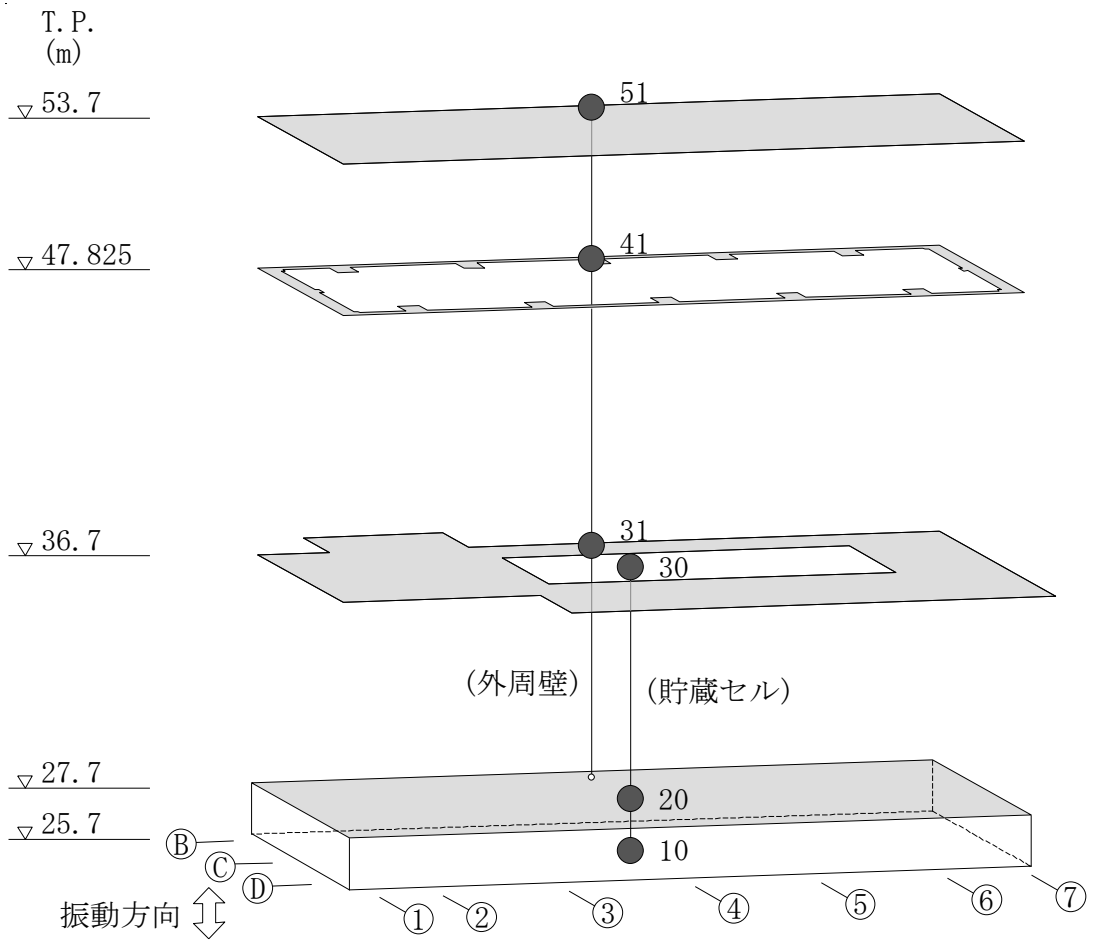
- (1) 耐震計算に用いる評価用地震動は、第4.2図から第4.4図に示す建家モデルによる時刻歴応答解析で算定された応答加速度のうち、クレーン設置位置に最も近い高さにある節点(T. P. 47.825[m])の中で、最大加速度が最も大きい地震波を用いる。第4.1表から第4.18表及び第4.5図から第4.22図に示す地震動を用いる。
- (2) 時刻歴入力位置は走行車輪位置とする。
- (3) 地震波入力方向については、NS方向時刻歴応答加速度波をモデルX方向に入力し、EW方向時刻歴応答加速度波をモデルY方向に入力する。
- (4) 地震力は水平2方向と鉛直1方向地震力を同時入力し解析を実施する。



第 4.2 図 建家モデル(NS 方向)



第 4.3 図 建家モデル(EW 方向)



第 4.4 図 建家モデル (UD 方向)

第 4.1 表 1/2Sd-1 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

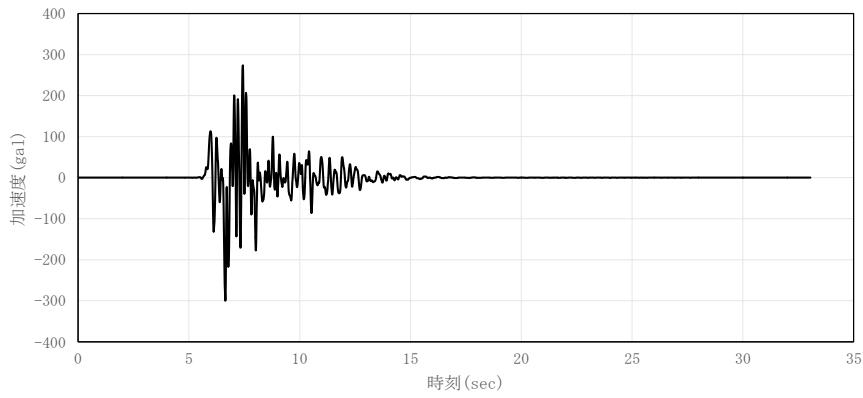
節点番号	最大加速度
41	-299 (gal)
42	-300 (gal)

第 4.2 表 1/2Sd-1 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

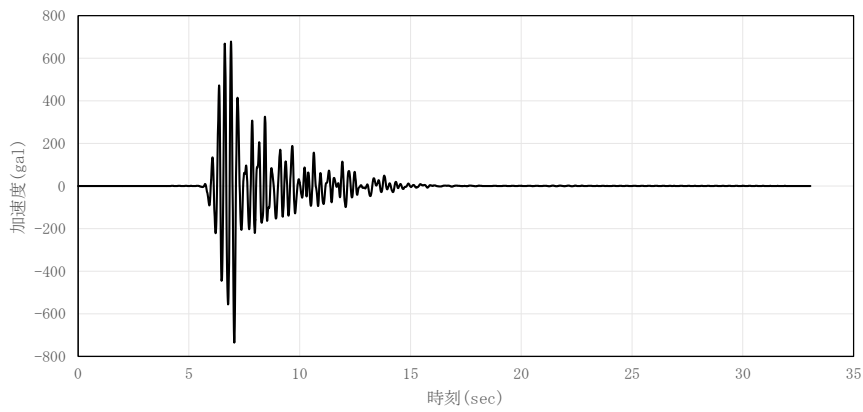
節点番号	最大加速度
410	-414 (gal)
421	-514 (gal)
422	-736 (gal)
431	560 (gal)
432	608 (gal)
441	-725 (gal)
442	704 (gal)
451	-716 (gal)
452	701 (gal)
461	-668 (gal)
462	580 (gal)
470	-403 (gal)

第 4.3 表 1/2Sd-1 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

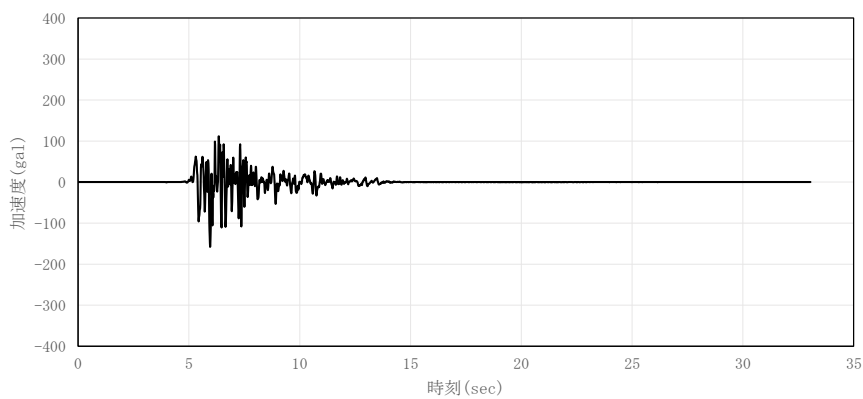
節点番号	最大加速度
41	-158 (gal)



第 4.5 図 節点番号 42 の 1/2Sd-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.6 図 節点番号 422 の 1/2Sd-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.7 図 節点番号 41 の 1/2Sd-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.4 表 1/2Sd-2 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
41	359 (gal)
42	358 (gal)

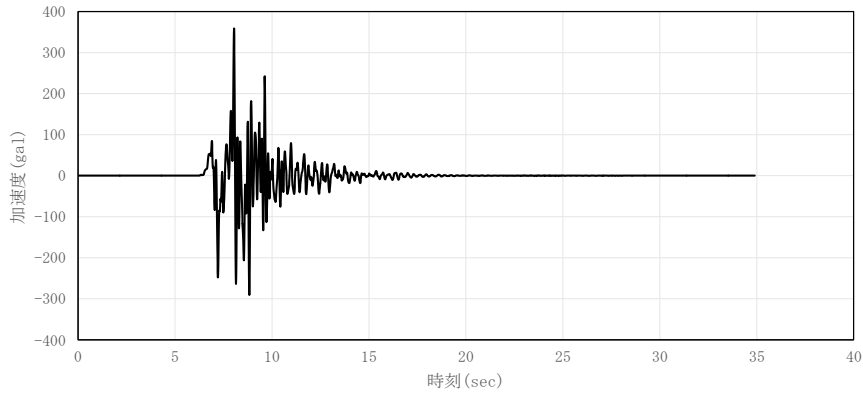
第 4.5 表 1/2Sd-2 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
410	-375 (gal)
421	693 (gal)
422	697 (gal)
431	682 (gal)
432	878 (gal)
441	713 (gal)
442	705 (gal)
451	709 (gal)
452	715 (gal)
461	771 (gal)
462	762 (gal)
470	-359 (gal)

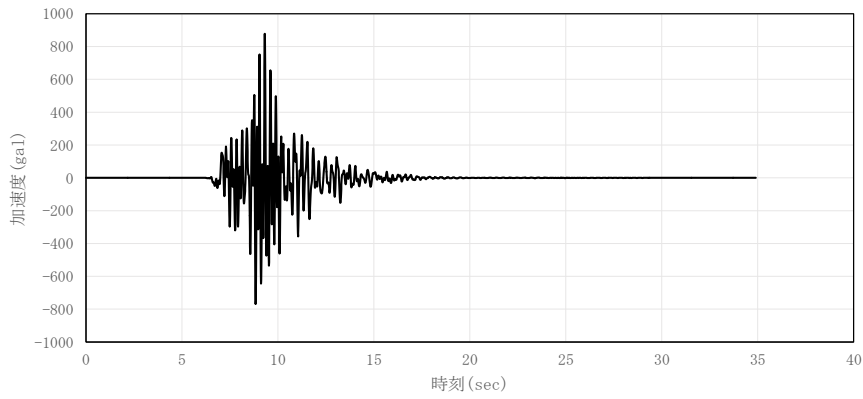
第 4.6 表 1/2Sd-2 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
41	-158 (gal)

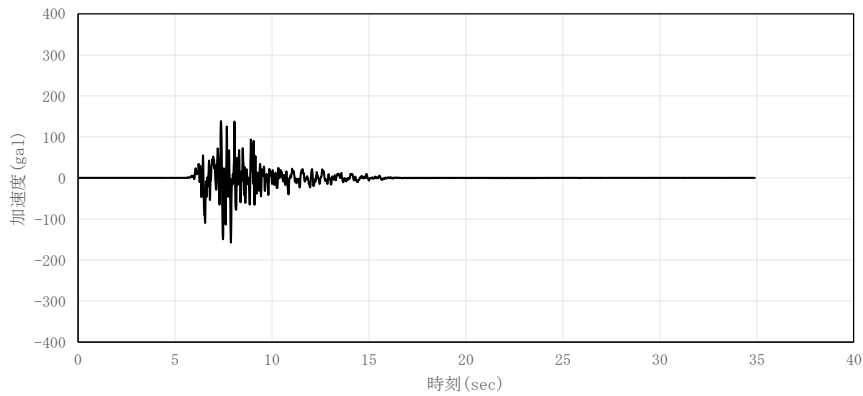




第 4.8 図 節点番号 41 の 1/2Sd-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.9 図 節点番号 432 の 1/2Sd-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.10 図 節点番号 41 の 1/2Sd-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.7 表 1/2Sd-3 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

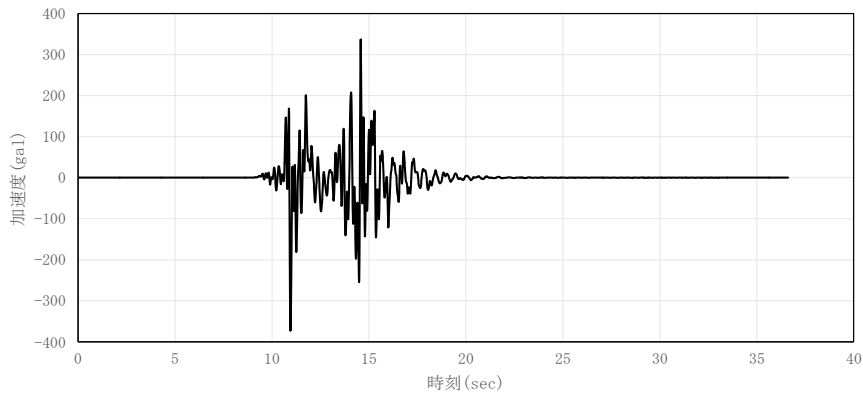
節点番号	最大加速度
41	-373 (gal)
42	-373 (gal)

第 4.8 表 1/2Sd-3 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

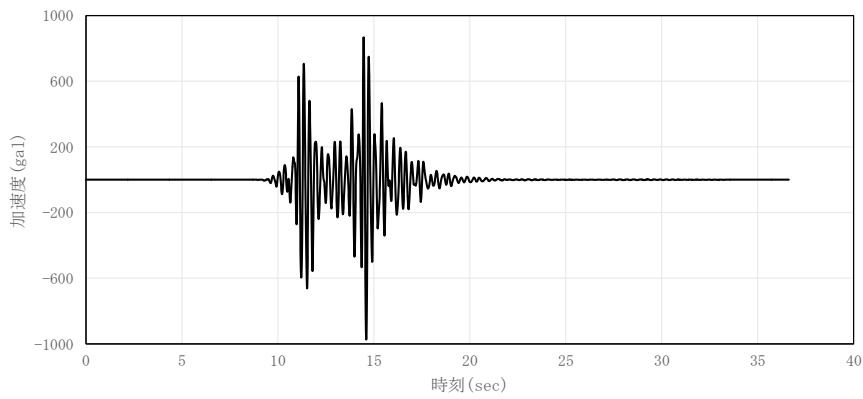
節点番号	最大加速度
410	-499 (gal)
421	-637 (gal)
422	-957 (gal)
431	-617 (gal)
432	-814 (gal)
441	-974 (gal)
442	-690 (gal)
451	-960 (gal)
452	-693 (gal)
461	772 (gal)
462	705 (gal)
470	-485 (gal)

第 4.9 表 1/2Sd-3 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

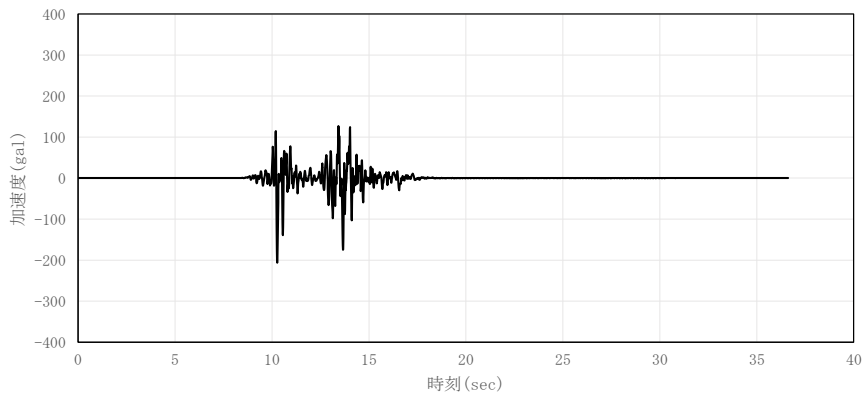
節点番号	最大加速度
41	-207 (gal)



第 4.11 図 節点番号 41 の 1/2Sd-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.12 図 節点番号 441 の 1/2Sd-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.13 図 節点番号 41 の 1/2Sd-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.10 表 1/2Sd-4 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

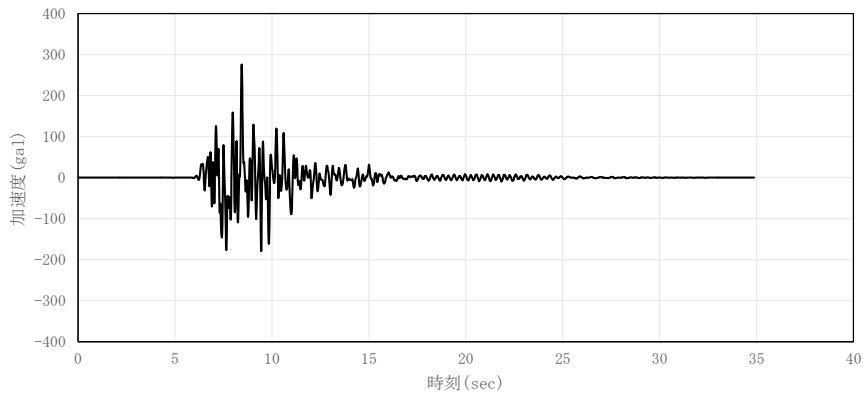
節点番号	最大加速度
41	276 (gal)
42	275 (gal)

第 4.11 表 1/2Sd-4 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

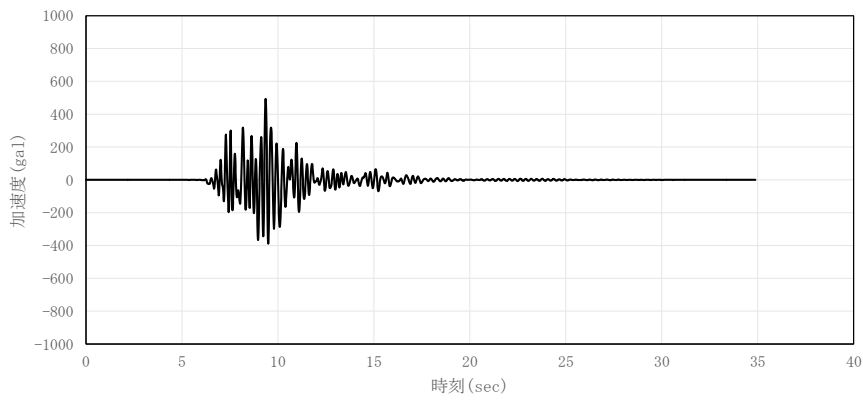
節点番号	最大加速度
410	266 (gal)
421	-348 (gal)
422	494 (gal)
431	-323 (gal)
432	-422 (gal)
441	494 (gal)
442	409 (gal)
451	482 (gal)
452	-407 (gal)
461	466 (gal)
462	-417 (gal)
470	266 (gal)

第 4.12 表 1/2Sd-4 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

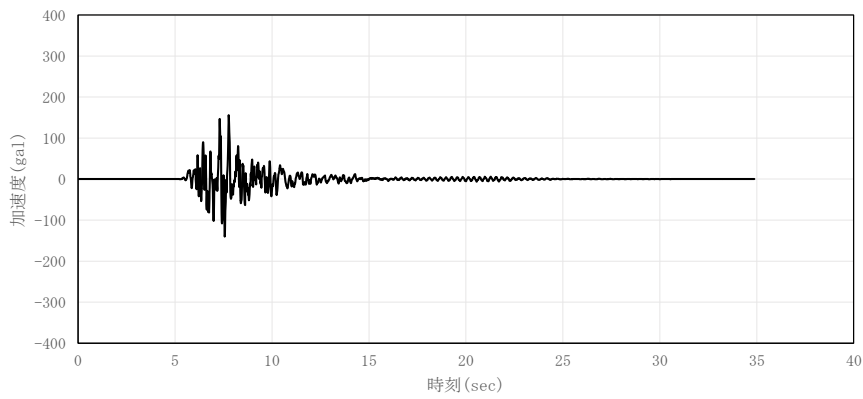
節点番号	最大加速度
41	156 (gal)



第 4.14 図 節点番号 41 の 1/2Sd-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.15 図 節点番号 422 の 1/2Sd-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.16 図 節点番号 41 の 1/2Sd-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.13 表 1/2Sd-5 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

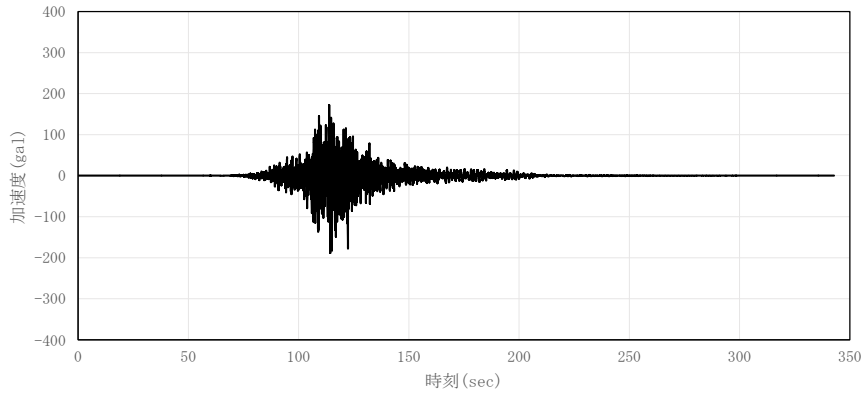
節点番号	最大加速度
41	-189 (gal)
42	-188 (gal)

第 4.14 表 1/2Sd-5 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

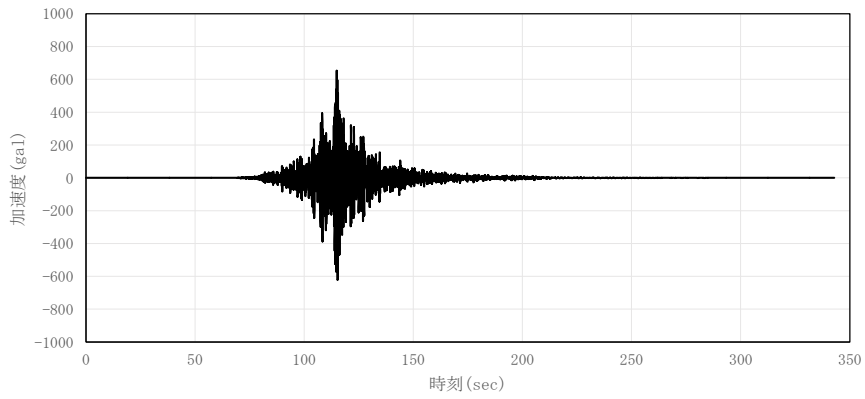
節点番号	最大加速度
410	317 (gal)
421	433 (gal)
422	635 (gal)
431	453 (gal)
432	444 (gal)
441	653 (gal)
442	-536 (gal)
451	643 (gal)
452	-536 (gal)
461	-583 (gal)
462	-483 (gal)
470	307 (gal)

第 4.15 表 1/2Sd-5 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

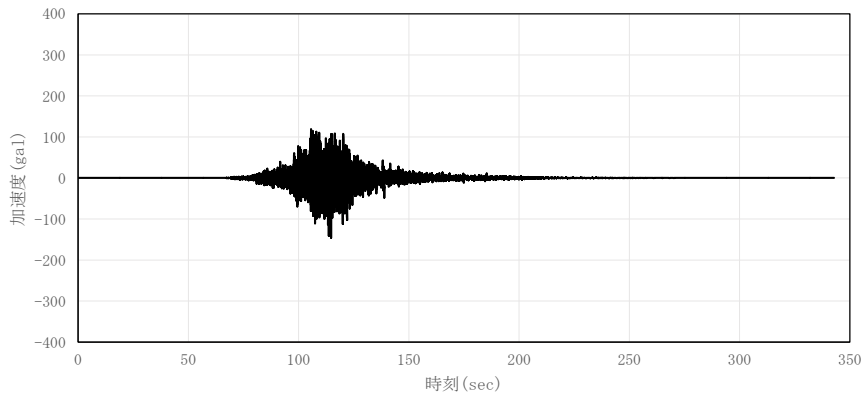
節点番号	最大加速度
41	-146 (gal)



第 4.17 図 節点番号 41 の 1/2Sd-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.18 図 節点番号 441 の 1/2Sd-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.19 図 節点番号 41 の 1/2Sd-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4. 16 表 1/2Sd-D 地震動 動の地震波 (NS 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
41	-233 (gal)
42	-234 (gal)

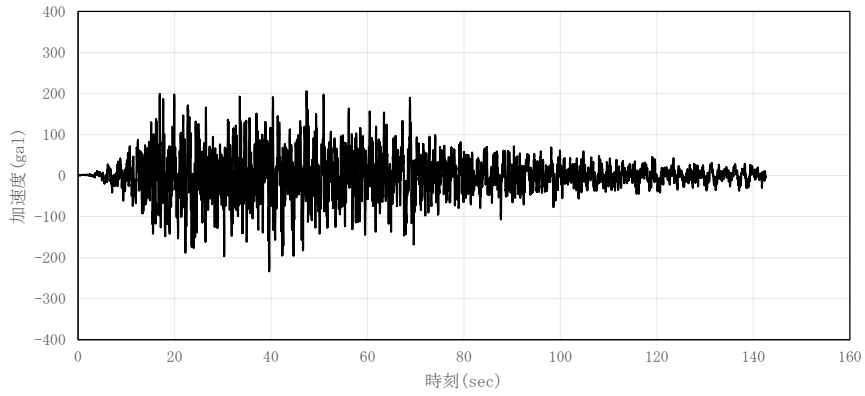
第 4. 17 表 1/2Sd-D 地震動 動の地震波 (EW 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
410	-326 (gal)
421	-450 (gal)
422	-633 (gal)
431	-504 (gal)
432	-496 (gal)
441	637 (gal)
442	-550 (gal)
451	626 (gal)
452	-546 (gal)
461	-572 (gal)
462	-512 (gal)
470	-319 (gal)

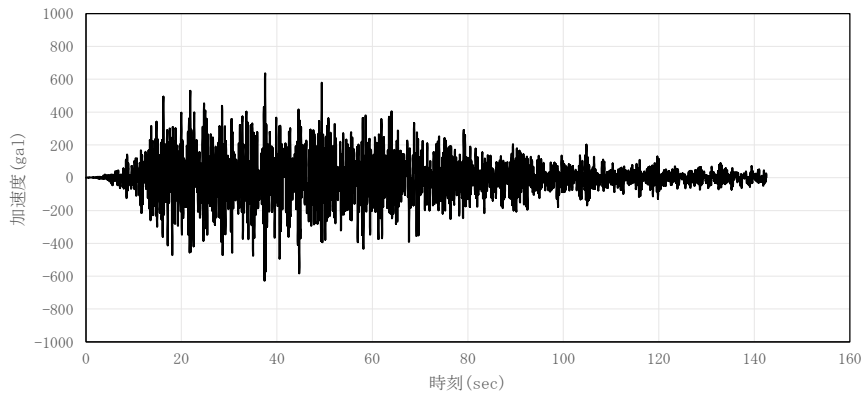
第 4. 18 表 1/2Sd-D 地震動 動の地震波 (UD 方向) 一覽

節点番号	最大加速度
41	171 (gal)

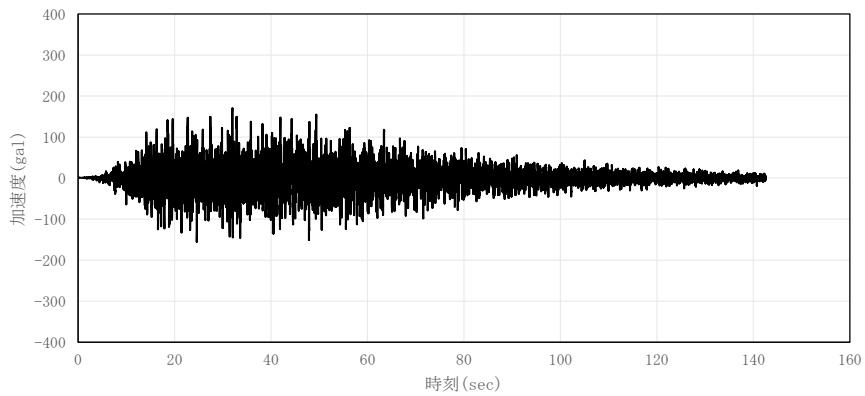




第 4.20 図 節点番号 42 の 1/2Sd-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



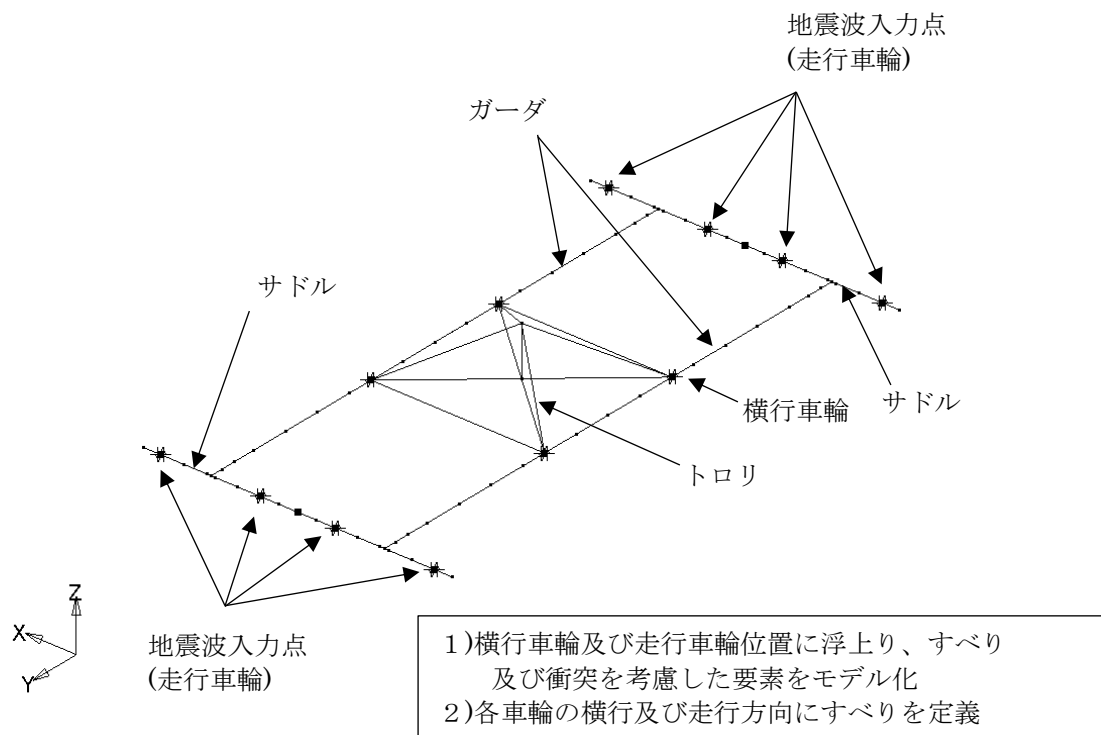
第 4.21 図 節点番号 441 の 1/2Sd-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.22 図 節点番号 41 の 1/2Sd-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

#### 4.3 解析モデル及び諸元

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの解析モデルは、クレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルである。解析モデルを第 4.23 図に、機器諸元を第 4.19 表、第 4.20 表に示す。



第 4.23 図 解析モデル

第 4.19 表 機器諸元(質量)

項目		質量 (kg)
クレーン	ガーダ	15,500
	トロリ	15,000
	サドル	7,800
吊荷		76,300

第 4.20 表 機器諸元(断面性状)

部材	縦弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )		断面積 (mm <sup>2</sup> )
		水平軸廻り	鉛直軸廻り	
ガーダ中央部	$2.03 \times 10^5$	$9.61 \times 10^9$	$2.63 \times 10^9$	$3.652 \times 10^4$
ガーダ端部	$2.03 \times 10^5$	$3.48 \times 10^9$	$1.93 \times 10^9$	$2.984 \times 10^4$
サドル	$2.03 \times 10^5$	$6.00 \times 10^8$	$6.55 \times 10^8$	$1.475 \times 10^4$

#### 4.4 応答解析結果

##### 4.4.1 応答荷重

ガーダ本体、落下、車輪及びレール、吊具の評価に必要な応答解析結果の最大値及び最大値を示す評価ケースを第 4.21 表から第 4.26 表に示す。

なお、最大値は組合せ応力が最大となる時刻における結果とする。

第 4.21 表 1/2Sd-1 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-1	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.56 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$8.81 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$5.33 \times 10^{-3}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	3.74 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.39 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.46 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪およびレールの評価	横行車輪 1 車輪あたりのレール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりのレール直角方向力の最大値	43	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	4.4 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.22 表 1/2Sd-2 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-2	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.55 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$7.80 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$6.86 \times 10^{-3}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$3.02 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.39 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.94 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪および レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	51	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	5.2 (トロリ位置：端部)	m/s <sup>2</sup>

第 4.23 表 1/2Sd-3 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-3	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.71 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	6.10 (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$3.11 \times 10^{-3}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$1.74 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	4.10 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.08 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪および レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	57	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	5.8 (トロリ位置：端部)	m/s <sup>2</sup>

第 4.24 表 1/2Sd-4 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-4	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.62 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$7.28 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$1.32 \times 10^{-3}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$1.12 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	2.10 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	6.28 (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪および レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	29	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	4.4 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.25 表 1/2Sd-5 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-5	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.52 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$5.73 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$2.66 \times 10^{-4}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$3.26 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.21 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	2.53 (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪および レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	38	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	3.2 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>



第 4.26 表 1/2Sd-D 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	1/2Sd-D	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.71 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$3.85 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$2.24 \times 10^{-9}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$9.17 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	5.29 (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.20 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
	走行車輪の最大浮上り量	0.0	mm
車輪および レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	12	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	37	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	5.6 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

## 5. 応力評価及び荷重評価

### 5.1 基本方針

許容応力について、JSME S NC1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位を切り捨てた値を用いるものとする。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料貯蔵建家天井クレーン本体、車輪及びレールの荷重の組合せ及び許容応力状態について、 $1/2S_d$  波に対する評価に用いるものを第 5.1 表に示す。

#### 5.2.2 許容応力

使用済燃料貯蔵建家天井クレーン本体、車輪及びレールの許容応力を第 5.2 表に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力

使用済燃料貯蔵建家天井クレーン本体、車輪及びレールの使用材料の許容応力を第 5.3 表に示す。

第 5.1 表 荷重の組合せおよび許容応力状態 (1/2Sd)

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等の 区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
その他	使用済燃料貯蔵建 家天井クレーン <sup>(注)</sup>	B	—	D+P+1/2Sd	Ⅲ <sub>A</sub> S

D：自重，P：吊荷重，1/2Sd：健全性を評価する地震波

(注) その他の支持構造物の荷重の組合せおよび許容応力を適用する。

第 5.2 表 許容応力(その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>(注1)(注2)</sup> (ボルト以外)			許容限界 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	せん断	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>

(注 1) 「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002 年日本建築学会)の幅厚比の制限を満足させる。

(注 2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第 5.3 表 許容応力(1/2Sd)

部材名		材料	温度 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	許容応力 (MPa)		
						1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>t</sub>
クレーン 本体	ガーダ 中央部	SS400	20	245	400	244	141	244
	ガーダ 端部	SS400	20	245	400	244	141	244
車輪	横行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
	走行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
横行 レール	取付 ボルト	SS400	20	235	400	—	135	—
走行 レール	取付金物 溶接部	SS400	20	235	400	—	135	—

記号の説明

S<sub>y</sub> : 材料の使用温度における設計降伏点

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 8 より)

S<sub>u</sub> : 材料の使用温度における設計引張強さ

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 9 より)

f<sub>t</sub> : 許容引張応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>s</sub> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>s</sub> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005/2007年追補版)SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの吊具については、ワイヤの許容荷重はクレーン構造規格にて規定される安全率を超える値となるように設定して評価する。許容荷重を第5.4表に示す。

第5.4表 吊具の許容荷重(1/2Sd)

部材名	材料	温度 (°C)	定格荷重 (kg)	安全率	許容荷重 <sup>(注)</sup> (kN)
ワイヤ (12本掛け)	炭素鋼	20	90,000	4	3,530

(注) 定格荷重に安全率を乗じて算出

### 5.3 クレーン本体の応力評価方法

#### 5.3.1 ガーダ

##### (1) ガーダの応力計算方法

以下に示す方法により、ガーダに作用する応力値を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

計算に使用する記号を第 5.5 表に、ガーダの評価断面図を第 5.1 図に示す。

##### ① 曲げ応力

$$\sigma_v = \frac{M_x \times 10^6}{Z_x}$$

$$\sigma_H = \frac{M_y \times 10^6}{Z_y}$$

##### ② せん断応力

$$\tau_v = \frac{F_y \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2})}$$

$$\tau_H = \frac{F_x \times 10^3}{B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

$$\tau_J = \frac{T \times 10^6}{2 \times \left( B_3 + \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \right) \left( H_1 + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right) \times t_{w1}}$$

##### ③ 軸方向応力

$$\sigma_N = \frac{N \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2}) + B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

##### ④ 組合せ応力

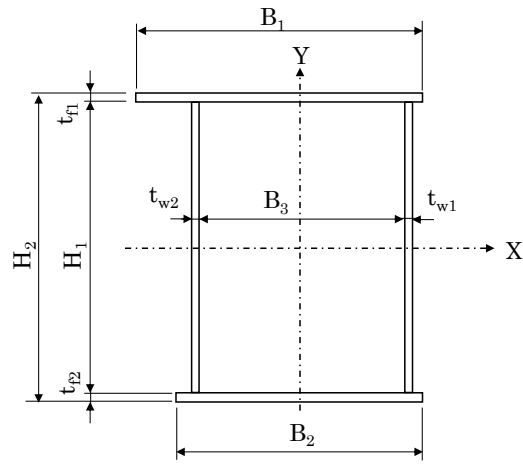
$$\sigma = \sigma_v + \sigma_H + \sigma_N$$

$$\tau = \text{Max} \{ \tau_v, \tau_H \} + \tau_J$$

$$\sigma_{\text{comb}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}$$

第 5.5 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$B_1$	ガーダ断面寸法	mm
$B_2$	ガーダ断面寸法	mm
$B_3$	ガーダ断面寸法	mm
$H_1$	ガーダ断面寸法	mm
$H_2$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w2}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f2}$	ガーダ断面寸法	mm
$M_x$	水平軸まわり曲げモーメント	kN・m
$M_y$	鉛直軸まわり曲げモーメント	kN・m
$T$	ねじりモーメント	kN・m
$F_y$	鉛直方向せん断力	kN
$F_x$	水平方向せん断力	kN
$N$	軸方向力	kN
$Z_x$	水平軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	鉛直軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_v$	水平軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_H$	鉛直軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_N$	軸方向応力	MPa
$\tau_v$	鉛直方向せん断応力	MPa
$\tau_H$	水平方向せん断応力	MPa
$\tau_J$	ねじりせん断応力	MPa
$\sigma$	垂直応力の組合せ	MPa
$\tau$	せん断応力の組合せ	MPa
$\sigma_{comb}$	組合せ応力	MPa



第 5.1 図 ガーダの評価断面図



#### 5.4 落下に対する評価方法

車輪つば高さを超える浮上り個数を確認し、落下危険性を判定する。

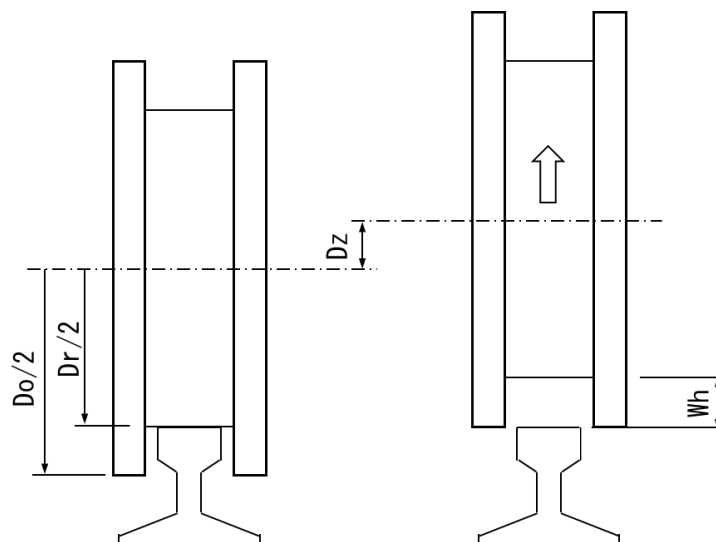
##### (1) 落下の判定方法

車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合に落下の危険性が発生するが、走行車輪(サドル)は片側4車輪の合計8車輪、横行車輪(トロリ)は片側2車輪の合計4車輪で構成されているため、車輪の一部が車輪つば高さを超えても、2輪以下の場合、サドルやトロリが落下する危険性がない。

ここで、記号の説明を第5.6表に、車輪とレールの状態を第5.2図に示す。

第5.6表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$D_o$	車輪フランジ径	mm
$D_r$	車輪径	mm
$W_h$	車輪つば高さ	mm
$D_z \text{ max}$	車輪の最大浮上り量	mm



第5.2図 車輪とレールの状態

## 5.5 車輪の応力評価方法

車輪(車輪つば部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

### (1) 車輪の応力計算方法

車輪の応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.7 表に、評価断面図を第 5.3 図に示す。

#### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

#### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

#### (c) レール直角方向

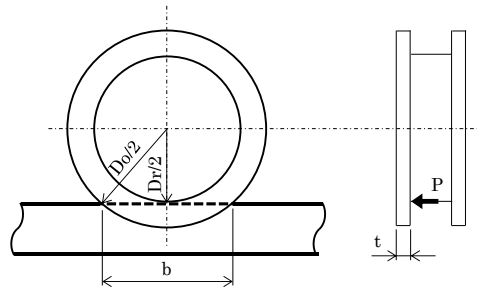
レール直角方向に関しては、車輪に作用する走レール角方向力が車輪つば部からレールに作用することより、車輪つば部の評価を行う。

$$\text{車輪つば部の負担幅} : b = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_r}{2}\right)^2}$$

$$\text{車輪つば部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{b \times t}$$

第 5.7 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
D <sub>o</sub>	車輪フランジ径	mm
D <sub>r</sub>	車輪径	mm
b	車輪つば部の負担幅	mm
t	車輪つば部の板厚	mm
τ	車輪つば部に作用するせん断応力	MPa



第 5.3 図 車輪つば部の評価断面図

## 5.6 レールの応力評価方法

### 5.6.1 横行レールの応力評価方法

横行レール(レール取付ボルト)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

#### (1) 横行レールの応力計算方法

横行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第5.8表に示す。

##### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

##### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

##### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付ボルトで支持することより、レール取付ボルトの評価を行う。

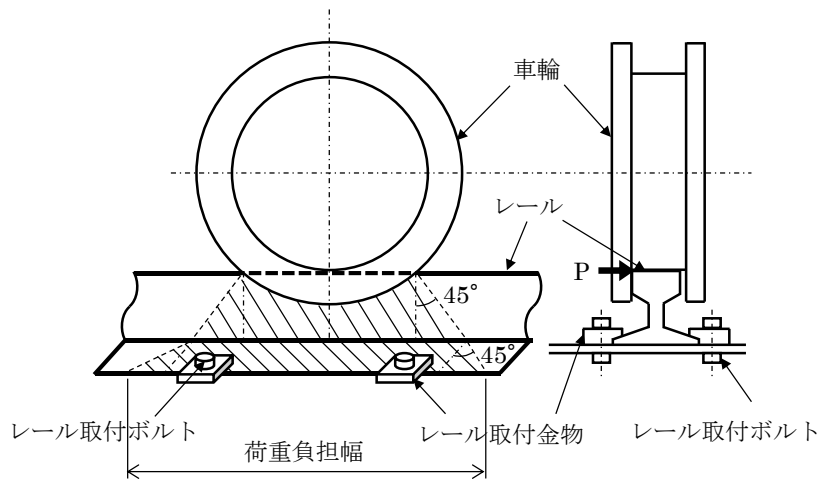
車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第5.4図に横行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。

$$\text{レール取付ボルトに作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_b \times n_b \times n_s}$$

第 5.8 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$P$	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_b$	レール取付ボルトの軸径断面積	mm <sup>2</sup>
$n_b$	レール取付金物 1 箇所あたりのボルト本数	本
$n_s$	レール取付金物の負担個数	個
$\tau$	レール取付ボルトに作用するせん断応力	MPa



第 5.4 図 横行レール取付金物の負担個数設定の概念図

### 5.6.2 走行レールの応力評価方法

走行レール(レール取付金物溶接部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

#### (1) 走行レールの応力計算方法

走行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第5.9表に示す。

##### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

##### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

##### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付金物の溶接部で支持することより、レール取付金物溶接部の評価を行う。

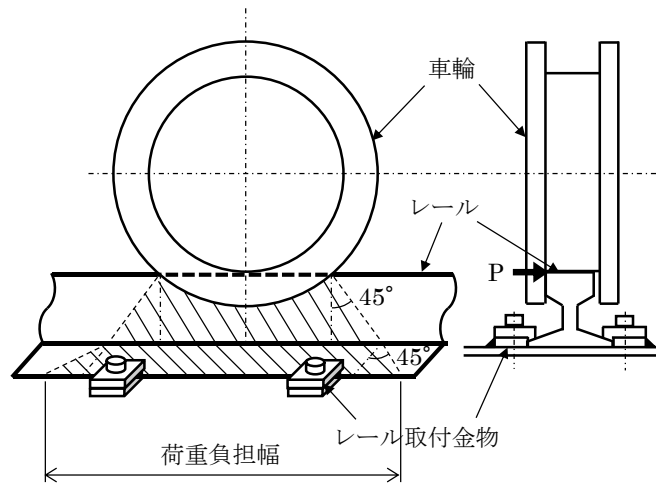
車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第5.5図に走行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。第5.6図に走行レール取付金物溶接部の詳細図を示す。

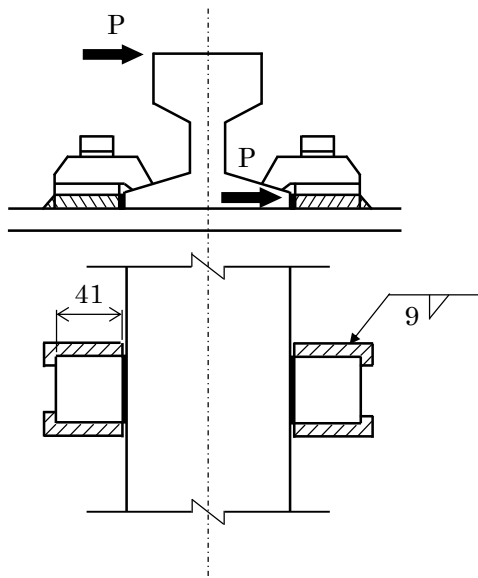
$$\text{レール取付金物溶接部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_s \times n}$$

第 5.9 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_s$	レール取付金物の溶接部面積	$\text{mm}^2$
n	レール取付金物の負担個数	個
$\tau$	レール取付金物溶接部に作用するせん断応力	MPa



第 5.5 図 走行レール取付金物の負担個数設定の概念図



(単位：mm)

第 5.6 図 走行レール取付金物溶接部の詳細図

## 5.7 吊具の荷重評価方法

以下に示す方法により、吊具の荷重を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

### (1) 吊具の計算条件

- ① 吊具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・クレーンの吊荷重を受ける部分は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ、エコライザで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷、破断により即落下に至る可能性があり、かつ裕度の低いワイヤロープを評価対象とする。
- ② ワイヤロープの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ(平衡装置)とフックブロック(動滑車)の回転により、自動的に荷重を吊り合い状態に保つことから、評価では、12本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
  - ・吊荷加速度算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果より鉛直下向きの加速度を抽出し、その最大値を用いるものとする。
  - ・ワイヤロープは本来引張荷重のみ負担し、圧縮方向の荷重は作用しないが、横行車輪部に浮上りを考慮した接触要素をモデル化することにより、トロリ、吊荷の浮き上りを含めた挙動を模擬することができるため、時刻歴解析においては、ワイヤロープはモデル化せず、吊荷を1質点としてガーダと同じ高さ位置でモデル化する。
  - ・吊荷の質量は、燃料搬出機と吊具の質量を合計した76.3tとする。
  - ・ワイヤ長さは、ワイヤを長くすれば固有周期が大きくなるが、床応答加速度はほぼ変わらない。ワイヤを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、時刻歴解析においては保守的にワイヤロープのモデル化は行わない。

### (2) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり、ワイヤロープに作用する荷重Fを算出する。計算に使用する記号を第5.10表に示す。

$$F=m \times a$$

第5.10表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度	m/s <sup>2</sup>
F	地震時にワイヤに発生する荷重	kN
m	吊荷の質量	kg
a	吊荷の最大加速度	m/s <sup>2</sup>



## 5.8 クレーン本体の応力評価条件

### 5.8.1 ガーダ中央部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	$B_1$	mm	760
ガーダ断面寸法	$B_2$	mm	660
ガーダ断面寸法	$B_3$	mm	602
ガーダ断面寸法	$H_1$	mm	1300
ガーダ断面寸法	$H_2$	mm	1322
ガーダ断面寸法	$t_{w1}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{w2}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{f1}$	mm	12
ガーダ断面寸法	$t_{f2}$	mm	10
水平軸まわり断面係数	$Z_x$	mm <sup>3</sup>	$1.36 \times 10^7$
鉛直軸まわり断面係数	$Z_y$	mm <sup>3</sup>	$6.30 \times 10^6$

### 5.8.2 ガーダ端部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	$B_1$	mm	760
ガーダ断面寸法	$B_2$	mm	660
ガーダ断面寸法	$B_3$	mm	602
ガーダ断面寸法	$H_1$	mm	800
ガーダ断面寸法	$H_2$	mm	824
ガーダ断面寸法	$t_{w1}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{w2}$	mm	8
ガーダ断面寸法	$t_{f1}$	mm	12
ガーダ断面寸法	$t_{f2}$	mm	12
水平軸まわり断面係数	$Z_x$	mm <sup>3</sup>	$8.13 \times 10^6$
鉛直軸まわり断面係数	$Z_y$	mm <sup>3</sup>	$4.66 \times 10^6$

## 5.9 落下に対する評価条件

### 5.9.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	670
車輪径	$D_r$	mm	630
車輪つば高さ	Wh	mm	20

### 5.9.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	670
車輪径	$D_r$	mm	630
車輪つば高さ	Wh	mm	20

## 5.10 車輪の応力評価条件

### 5.10.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	670
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	630
車輪つば部の負担幅	b	mm	228
車輪つば部の板厚	t	mm	22.5

### 5.10.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	670
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	630
車輪つば部の負担幅	b	mm	228
車輪つば部の板厚	t	mm	22.5

## 5.11 レールの応力評価条件

### 5.11.1 横行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付ボルトの軸径断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	$2.011 \times 10^2$
レール取付金物 1箇所あたりのボルト本数	$n_b$	本	1
レール取付金物の負担個数	$n_s$	個	2

### 5.11.2 走行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付金物の溶接部面積	$A_s$	$\text{mm}^2$	$5.218 \times 10^2$
レール取付金物の負担個数	$n$	個	2

## 5.12 吊具の荷重評価条件

項目	記号	単位	数値
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
吊荷の質量	$m$	kg	76300

6. 評価結果

使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの 1/2Sd に対する耐震評価結果を第 6.1 表から第 6.6 表に示す。

第 6.1 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-1)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	130	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	87	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	9	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	42	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	1,085	3,530	単位：kN	

第 6.2 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-2)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	128	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	100	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	10	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	49	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	1, 146	3, 530	単位 : kN	

第 6.3 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-3)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	127	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	91	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	12	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	55	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	1,192	3,530	単位：kN	

第 6.4 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-4)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	131	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	79	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	6	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	28	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	1,085	3,530	単位 : kN	

第 6.5 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-5)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	121	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	79	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	8	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	37	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	994	3,530	単位 : kN	



第 6.6 表 使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震評価結果(1/2Sd-D)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん断)	132	244		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん断)	86	244		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	3	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	8	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	30	135	
	走行 レール	取付 金物	せん断	36	135	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	1,177	3,530	単位 : kN	

## 7. まとめ

評価結果に示すとおり、発生値は、評価基準値を満足しており、耐震余裕を有していることを確認した。

1-3-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(基礎版の耐震性評価)

## 目次

1. 概要 .....	添 1 - 3 - 4 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 3 - 4 - 2
2.1 位置及び構造概要 .....	添 1 - 3 - 4 - 2
2.2 評価方針 .....	添 1 - 3 - 4 - 3
2.3 準拠規格・基準 .....	添 1 - 3 - 4 - 4
2.4 使用材料及び許容応力度等 .....	添 1 - 3 - 4 - 5
3. 荷重及び荷重の組合せ.....	添 1 - 3 - 4 - 7
3.1 荷重 .....	添 1 - 3 - 4 - 7
3.2 荷重の組合せ .....	添 1 - 3 - 4 - 11
4. 応力解析 .....	添 1 - 3 - 4 - 12
4.1 評価方法 .....	添 1 - 3 - 4 - 12
4.2 解析モデル .....	添 1 - 3 - 4 - 13
4.3 解析諸元 .....	添 1 - 3 - 4 - 15
4.4 評価結果 .....	添 1 - 3 - 4 - 17

## 表 目 次

第 2.1 表	コンクリートの使用材料及び許容応力度.....	添 1 - 3 - 4 - 5
第 2.2 表	鉄筋の使用材料及び許容応力度.....	添 1 - 3 - 4 - 5
第 2.3 表	コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ.....	添 1 - 3 - 4 - 6
第 3.1 表	設計用荷重.....	添 1 - 3 - 4 - 8
第 3.2 表	基礎版上に生じる軸力.....	添 1 - 3 - 4 - 8
第 3.3 表	基礎版上の応力(NS 方向).....	添 1 - 3 - 4 - 9
第 3.4 表	基礎版上の応力(EW 方向).....	添 1 - 3 - 4 - 9
第 3.5 表	基礎版の震度.....	添 1 - 3 - 4 - 10
第 3.6 表	土圧荷重.....	添 1 - 3 - 4 - 10
第 3.7 表	圧力荷重.....	添 1 - 3 - 4 - 10
第 3.8 表	荷重の組合せ.....	添 1 - 3 - 4 - 11
第 4.1 表	基礎版の評価基準値.....	添 1 - 3 - 4 - 12
第 4.2 表	コンクリートの材料定数.....	添 1 - 3 - 4 - 15
第 4.3 表	鉄筋の材料定数.....	添 1 - 3 - 4 - 15
第 4.4 表	ひずみの評価結果(Ss).....	添 1 - 3 - 4 - 20
第 4.5 表	応力度の評価結果(EW 方向、Ss).....	添 1 - 3 - 4 - 21
第 4.6 表	応力度の評価結果(NS 方向、Ss).....	添 1 - 3 - 4 - 21

## 図 目 次

第 2.1 図	基礎版の平面図及び断面図.....	添 1 - 3 - 4 - 2
第 2.2 図	基礎版の評価フロー.....	添 1 - 3 - 4 - 3
第 4.1 図	解析モデル.....	添 1 - 3 - 4 - 14
第 4.2 図	解析モデル(耐震壁を非表示).....	添 1 - 3 - 4 - 14
第 4.3 図	応力-ひずみ関係(コンクリートの $\sigma$ - $\varepsilon$ 関係).....	添 1 - 3 - 4 - 16
第 4.4 図	応力-ひずみ関係(鉄筋の $\sigma$ - $\varepsilon$ 関係).....	添 1 - 3 - 4 - 16
第 4.5 図	最大ひずみの発生要素位置.....	添 1 - 3 - 4 - 18
第 4.6 図	最大応力度の発生位置.....	添 1 - 3 - 4 - 19

## 1. 概要

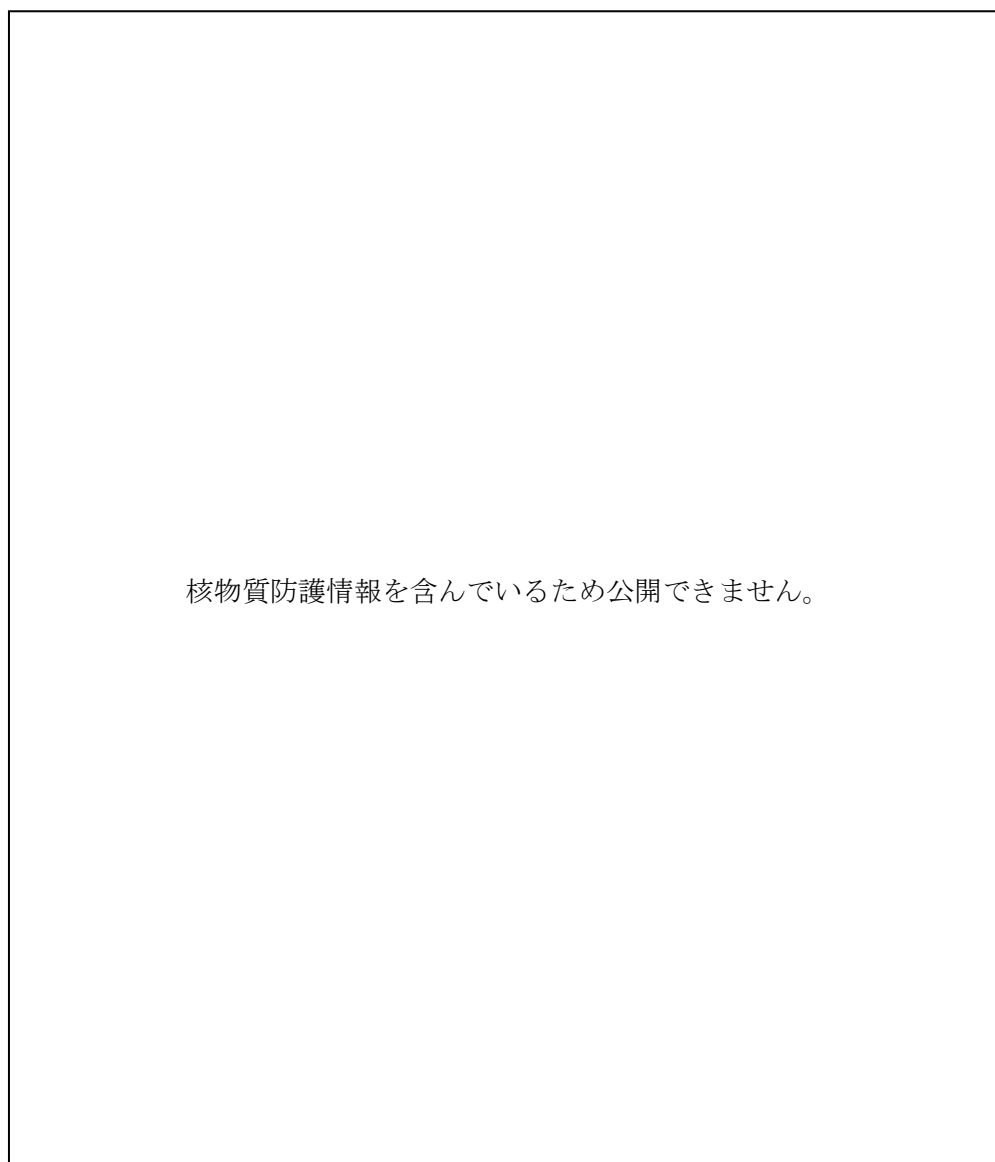
本資料は、基準地震動  $S_s$  に対して、原子炉建家基礎版が耐震余裕を有することを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置及び構造概要

原子炉建家の基礎版は、原子炉格納容器及び内部コンクリート構造物との共通の基礎となっている。平面形状は NS 方向 52.0m、EW 方向 50.0m のほぼ正方形を成し、厚さは 5.0m～9.0m の鉄筋コンクリート造である。

基礎版の平面図及び断面図を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 基礎版の平面図及び断面図

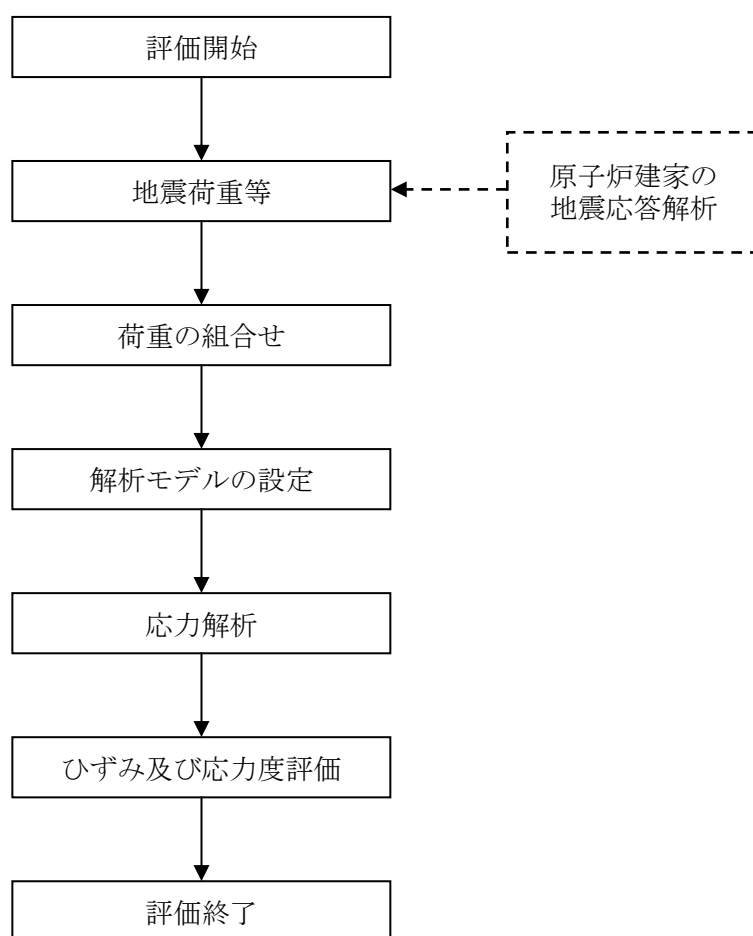


## 2.2 評価方針

原子炉建家の耐震クラスはBクラスであり、Sクラスを内包する施設として、支持構造物の観点から基準地震動  $S_s$  に対して、十分な耐震性を有することを確認する。

基礎版については、基準地震動  $S_s$  に対する応力解析を実施し、基礎版のひずみ及び応力度を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

基礎版の評価フローを第 2.2 図に示す。



第 2.2 図 基礎版の評価フロー

## 2.3 準拠規格・基準

基礎版の評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(日本機械学会)  
(以下「CCV 規格」という。)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一(日本建築学会)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会)

## 2.4 使用材料及び許容応力度等

### (1) コンクリート

コンクリートの使用材料及び許容応力度を第 2.1 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの使用材料及び許容応力度

		圧縮	せん断
設計基準強度 $F_c=23.5\text{N/mm}^2$	長期許容応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )	7.83	0.725
	短期許容応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )	15.7	1.09
	材料強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	23.5	—

### (2) 鉄筋

鉄筋の使用材料及び許容応力度を第 2.2 表に示す。

第 2.2 表 鉄筋の使用材料及び許容応力度

	SD35 (SD345 相当)		
	引張 圧縮		せん断
	D29 未満	D29 以上	
長期許容応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )	215	195	195
短期許容応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )	345		345
材料強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	345		345

(3) コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを第 2.3 表に示す。

第 2.3 表 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重時	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮・引張ひずみ)
Ss 地震時	$3.00 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-3}$

### 3. 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.1 荷重

設計用荷重を第 3.1 表に示す。また、各荷重の内容を以下に示す。

##### (1) 常時荷重 (GP\*)

固定荷重については、基礎版を構成する鉄筋コンクリート構造体の単位体積重量を  $24.0\text{kN/m}^3$  として、壁及び基礎版の厚さに応じて定める。

また、機器・配管荷重を実状に応じて考慮する。

基礎版上に生じる軸力を第 3.2 表に示す。

##### (2) 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、原子炉建家の地震応答解析により得られた基準地震動  $S_s$  の結果による最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答加速度を考慮する。

最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントは節点荷重として基礎版上に作用させる。

最大応答加速度は、基礎版に発生する慣性力を考慮するため、水平震度及び鉛直震度として基礎版に作用させる。

応力解析に用いた基礎版上の応力を第 3.3 表及び第 3.4 表に示す。また、応力解析に用いた基礎版の水平震度 (NS 方向及び EW 方向) 及び鉛直震度 (UD 方向) を第 3.5 表に示す。

##### (3) 土圧荷重 (Es)

基準地震動  $S_s$  による土圧荷重により地下外壁下端に生じるせん断力及び曲げモーメントを考慮する。土圧荷重の内訳を第 3.6 表に示す。

##### (4) 圧力荷重 (NP)

通常運転時において原子炉格納容器内に発生する圧力荷重を考慮する。圧力荷重は基礎版に直接作用するものとし、面荷重として入力する。

圧力荷重を第 3.7 表に示す。

第 3.1 表 設計用荷重

荷重名	符号	内容	
常時荷重	GP*	固定荷重及び積載荷重	
地震荷重	$K_{S_{NS}}$	基準地震動 $S_s$ による地震力	NS 方向
	$K_{S_{EW}}$		EW 方向
	$K_{S_{UD}}$		UD 方向
土圧荷重	$E_{S_{NS}}$	$S_s$ 地震時による土圧	NS 方向
	$E_{S_{EW}}$		EW 方向
圧力荷重	NP	通常運転時	

第 3.2 表 基礎版上に生じる軸力

部位	軸力 (kN)
原子炉建家 (R/B)	$6.20 \times 10^5$
内部コンクリート (I/C)	$7.08 \times 10^4$
原子炉格納容器 (C/V)	$5.12 \times 10^3$
原子炉圧力容器 (RPV)	$9.35 \times 10^3$
基礎版上面の機器・配管荷重等	$6.63 \times 10^3$

第 3.3 表 基礎版上の応力(NS 方向)

部位	評価用せん断力 (kN)	評価用曲げモーメント (kN・m)
原子炉建家(R/B)	$4.79 \times 10^5$	$9.07 \times 10^6$
内部コンクリート(I/C)	$5.74 \times 10^4$	$7.69 \times 10^5$
原子炉格納容器(C/V)	$3.61 \times 10^3$	$5.27 \times 10^4$
原子炉圧力容器(RPV)	$1.04 \times 10^4$	$7.94 \times 10^4$

第 3.4 表 基礎版上の応力(EW 方向)

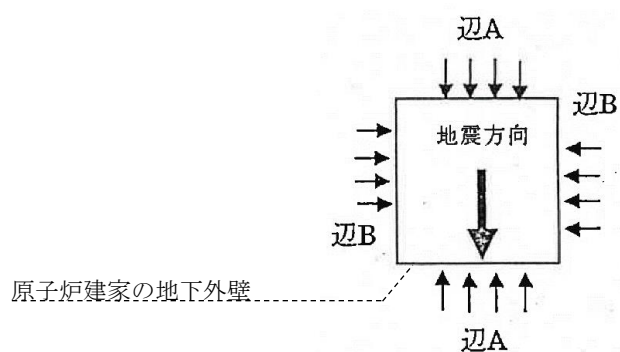
部位	評価用せん断力 (kN)	評価用曲げモーメント (kN・m)
原子炉建家(R/B)	$3.67 \times 10^5$	$7.15 \times 10^6$
内部コンクリート(I/C)	$4.45 \times 10^4$	$5.93 \times 10^5$
原子炉格納容器(C/V)	$2.74 \times 10^3$	$3.95 \times 10^4$
原子炉圧力容器(RPV)	$8.21 \times 10^3$	$6.29 \times 10^4$

第 3.5 表 基礎版の震度

方向	評価用震度
NS 方向	0.70
EW 方向	0.55
UD 方向	0.61

第 3.6 表 土圧荷重

部位	評価用せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	評価用曲げモーメント ( $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m/m}$ )
辺 A	2.15	2.76
辺 B	0.7	0.9



第 3.7 表 圧力荷重

	圧力 (kPa)
通常運転時	118.0

注) 室内圧  $P_0$  を 108.0kPa とし、 $P_0$  との差圧を考慮する。



### 3.2 荷重の組合せ

水平地震荷重と鉛直地震荷重の組合せは、組合せ係数法を用いて以下のとおりとする。

- $1.0 \times \text{水平地震力 (H)} + 0.4 \times \text{鉛直地震力 (V)}$
- $0.4 \times \text{水平地震力 (H)} + 1.0 \times \text{鉛直地震力 (V)}$

荷重の組合せを第 3.8 表に示す。

第 3.8 表 荷重の組合せ

		組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	NS 方向 地震時 1.0H+0.4V	$GP^*+NP+1.0E_{S_{NS}}+1.0K_{S_{NS}}+0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{NS}}-1.0K_{S_{NS}}+0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{NS}}+1.0K_{S_{NS}}-0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{NS}}-1.0K_{S_{NS}}-0.4K_{S_{UD}}$
	EW 方向 地震時 1.0H+0.4V	$GP^*+NP+1.0E_{S_{EW}}+1.0K_{S_{EW}}+0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{EW}}-1.0K_{S_{EW}}+0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{EW}}+1.0K_{S_{EW}}-0.4K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+1.0E_{S_{EW}}-1.0K_{S_{EW}}-0.4K_{S_{UD}}$
	NS 方向 地震時 0.4H+1.0V	$GP^*+NP+0.4E_{S_{NS}}+0.4K_{S_{NS}}+1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{NS}}-0.4K_{S_{NS}}+1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{NS}}+0.4K_{S_{NS}}-1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{NS}}-0.4K_{S_{NS}}-1.0K_{S_{UD}}$
	EW 方向 地震時 0.4H+1.0V	$GP^*+NP+0.4E_{S_{EW}}+0.4K_{S_{EW}}+1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{EW}}-0.4K_{S_{EW}}+1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{EW}}+0.4K_{S_{EW}}-1.0K_{S_{UD}}$
		$GP^*+NP+0.4E_{S_{EW}}-0.4K_{S_{EW}}-1.0K_{S_{UD}}$

#### 4. 応力解析

##### 4.1 評価方法

基準地震動  $S_s$  に対する評価は、三次元 FEM モデルを用いた応力解析によることとし、荷重の組合せの結果、発生するひずみ及び応力度が CCV 規格により設定した評価基準値を超えないことを確認する。

基礎版の評価基準値を第 4.1 表に示す。

第 4.1 表 基礎版の評価基準値

評価方針	地震力	部位	評価方法	評価基準値
構造強度を確保すること	基準地震動 $S_s$	基礎版	部材に生じるひずみ及び応力度が評価基準値を超えないことを確認	CCV 規格における荷重状態Ⅳの許容値

## 4.2 解析モデル

### (1) 基本方針

応力解析は、三次元 FEM モデルを用いた静的非線形解析とする。応力解析に使用する解析コードは「FINAL(株式会社大林組)」である。

基礎版の解析モデルを第 4.1 図及び第 4.2 図に示す。

### (2) 使用要素

応力解析に用いる要素は、基礎版をソリッド要素とし、基礎版の鉄筋は、ソリッド要素内部の埋込み鉄筋としてモデル化する。

主要な耐震壁は、基礎版の変形を拘束する効果があるため、高さ方向に一層分をシェル要素としてモデル化する。

### (3) 境界条件

建家周辺の地盤条件を考慮し、基礎版底面に水平及び鉛直方向の地盤ばねを設ける。

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 4.1 図 解析モデル

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 4.2 図 解析モデル(耐震壁を非表示)

#### 4.3 解析諸元

応力解析に用いるコンクリートの材料定数を第 4.2 表に、鉄筋の材料定数を第 4.3 表に、静的非線形解析に用いるコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係を第 4.3 図及び第 4.4 図に示す。

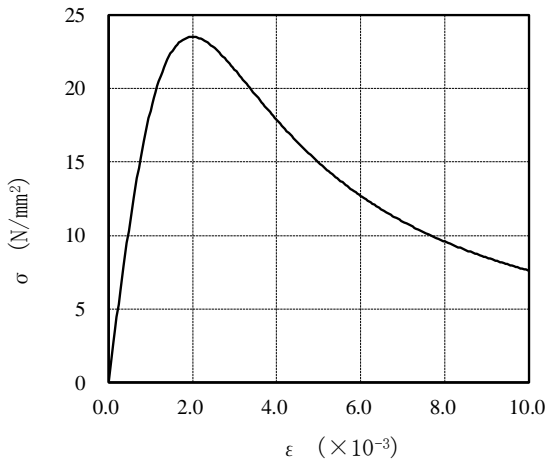
第 4.2 表 コンクリートの材料定数

設計基準 強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	圧縮強度 $\sigma_c$ ( $N/mm^2$ )	引張強度 $\sigma_t$ ( $N/mm^2$ )	ヤング 係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	ポアソ ン比 $\nu$	線膨張 係数 ( $1/^\circ C$ )	単位体積重量 $\gamma^*$ ( $kN/m^3$ )
23.5	23.5	1.89	$2.25 \times 10^4$	0.20	$1.00 \times 10^{-5}$	24.0

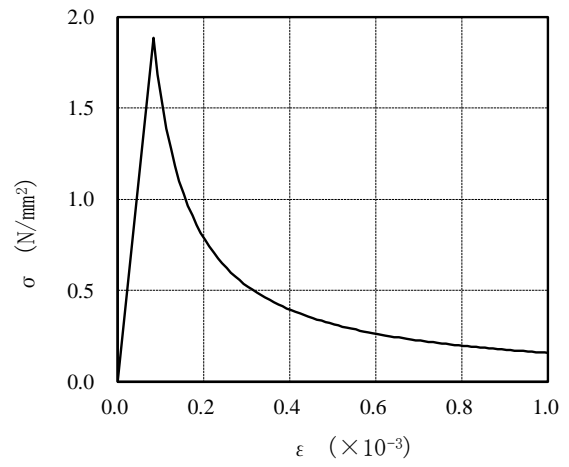
※ 単位体積重量は鉄筋コンクリートとしての重量

第 4.3 表 鉄筋の材料定数

種類	降伏強度 $F_y$ ( $N/mm^2$ )	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	線膨張 係数 ( $1/^\circ C$ )
SD35 (SD345 相当)	345	$2.05 \times 10^5$	$1.00 \times 10^{-5}$

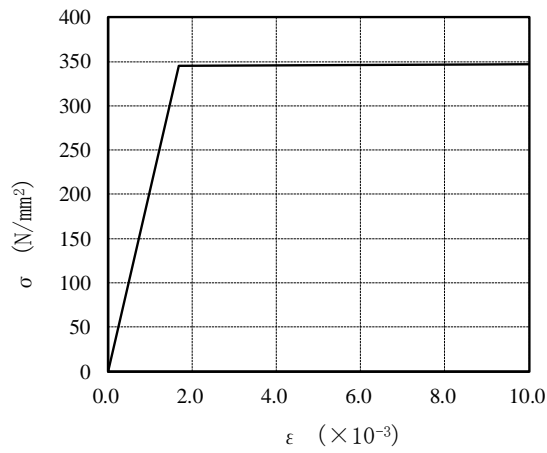


(a) 圧縮側



(b) 引張側

第 4.3 図 応力-ひずみ関係(コンクリートの  $\sigma - \epsilon$  関係)



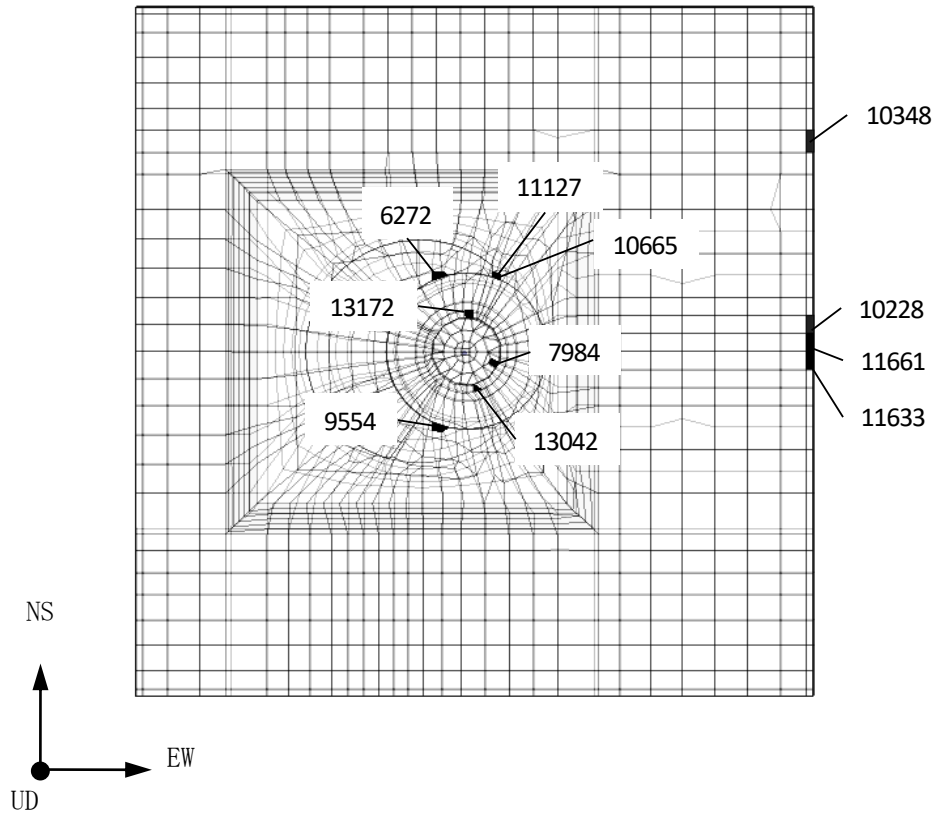
第 4.4 図 応力-ひずみ関係(鉄筋の  $\sigma - \epsilon$  関係)

#### 4.4 評価結果

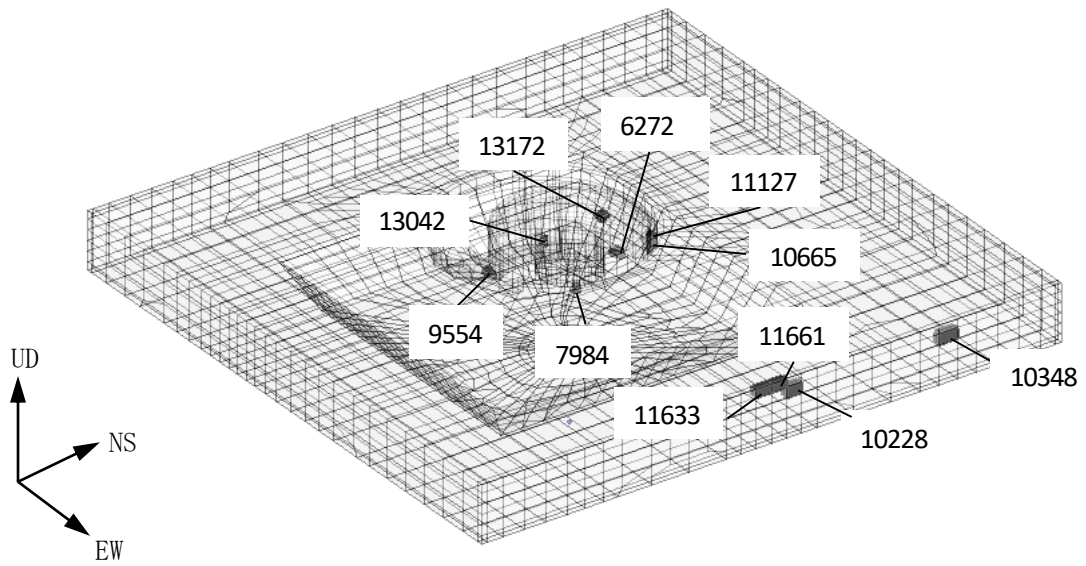
コンクリート及び鉄筋の最大ひずみの発生要素位置及び最大応力度の発生位置を第

4.5 図及び第 4.6 図に、S<sub>s</sub> 地震時の評価結果を第 4.4 表から第 4.6 表に示す。

S<sub>s</sub> 地震時における基礎版に生じるひずみ及び応力度が、評価基準値を超えないことを確認した。



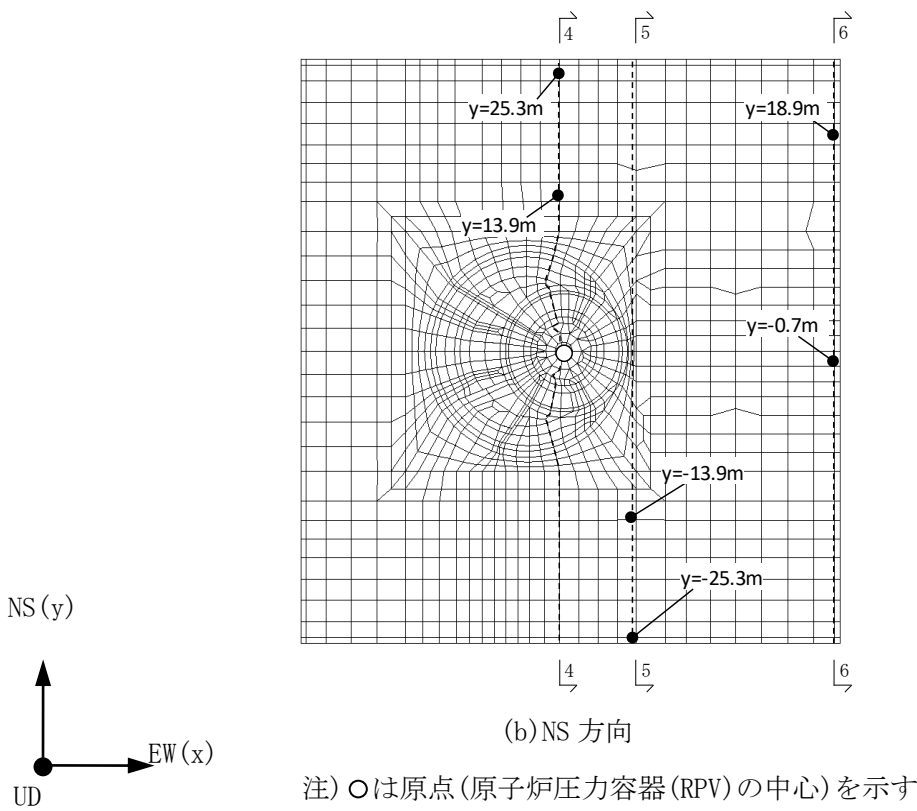
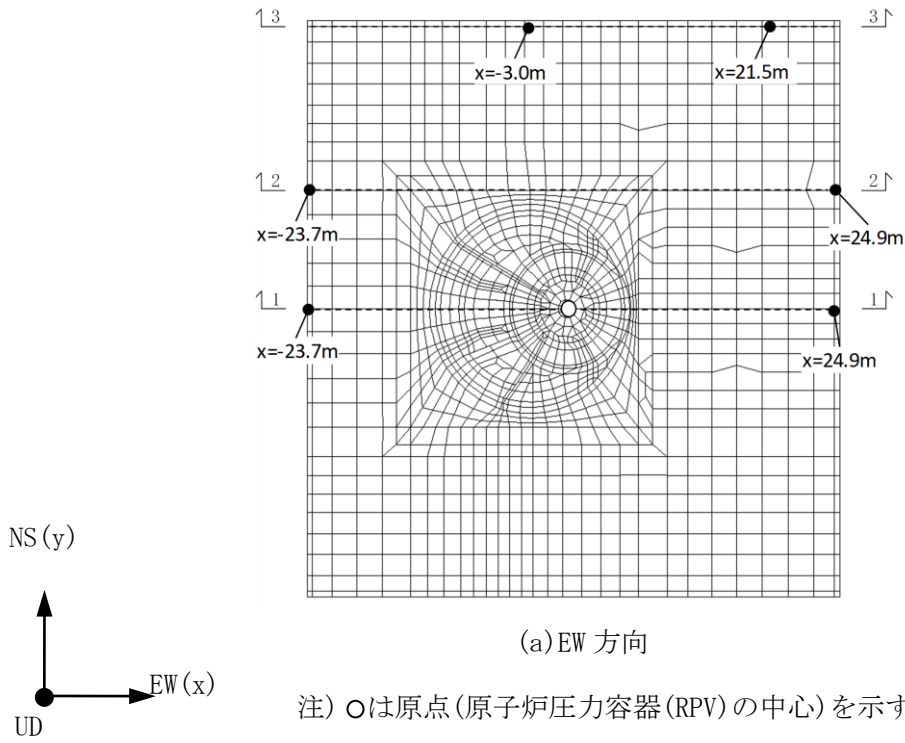
(a) 平面



(b) 鳥瞰

第 4.5 図 最大ひずみの発生要素位置





第 4.6 図 最大応力度の発生位置

第 4.4 表 ひずみの評価結果 (Ss)

要素 番号	評価項目	最大ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	評価基準値 ( $\times 10^{-3}$ )
13172	コンクリート	0.33	3.00
13042	鉄筋	3.05	5.00
7984	コンクリート	0.07	3.00
7984	鉄筋	0.07	5.00
10348	コンクリート	0.36	3.00
10228	鉄筋	0.31	5.00
11661	コンクリート	0.51	3.00
11633	鉄筋	0.79	5.00
11127	コンクリート	0.51	3.00
10665	鉄筋	0.20	5.00
6272	コンクリート	0.23	3.00
9554	鉄筋	0.18	5.00

第 4.5 表 応力度の評価結果(EW 方向、Ss)

最大応力度発生位置		評価項目	最大応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )
通り	x 方向距離(m)			
1	-23.7	圧縮	1.48	23.5
	24.9	面外せん断	0.97	1.48
2	-23.7	圧縮	1.11	23.5
	24.9	面外せん断	1.21	1.42
3	-3.0	圧縮	2.35	23.5
	21.5	面外せん断	1.10	1.40

第 4.6 表 応力度の評価結果(NS 方向、Ss)

最大応力度発生位置		評価項目	最大応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> )
通り	y 方向距離(m)			
4	25.3	圧縮	2.28	23.5
	13.9	面外せん断	0.87	1.42
5	-25.3	圧縮	1.96	23.5
	-13.9	面外せん断	0.83	1.42
6	-0.7	圧縮	1.37	23.5
	18.9	面外せん断	1.14	1.34