

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-006 改3
提出年月日	2020年8月24日

V-2-1-6 地震応答解析の基本方針

K7 ① V-2-1-6 R0

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 地震応答解析の方針	5
2.1 建物・構築物	5
2.2 機器・配管系	9
2.3 屋外重要土木構造物	11
3. 設計用減衰定数	12

別紙 地震観測網について

: 今回提出範囲

2. 地震応答解析の方針

2.1 建物・構築物

(1) 入力地震動

入力地震動の評価においては、解放基盤表面以浅の影響を適切に考慮するため、解放基盤表面は、地盤調査の結果から、S波速度が0.7km/s以上であるT.M.S.L.-155m(7号機及び6号機)、T.M.S.L.-134m(5号機)としている。

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮した上で、必要に応じ2次元FEM解析又は1次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。

地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意するとともに、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。更に必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ、地質・速度構造等の地盤条件を設定する。

また、設計基準対象施設におけるBクラスの建物・構築物及び重大事故等対処施設におけるBクラスの施設の機能を代替する常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類がBクラスのもの)が設置される重大事故等対処施設の建物・構築物のうち共振のおそれがあり、動的解析が必要なものに対しては、弾性設計用地震動 S_d を1/2倍したものをを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。また、原則として、建物・構築物の地震応答解析及び床応答曲線の策定は、線形解析及び非線形解析に適用可能な時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の動的解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。なお、建物の補助壁を耐震要素として考慮するに当たっては、その適用性を確認した上で、適切な解析モデルを設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎スラブの平面形状、基礎側面と地盤の接触状況、地盤の剛性等を考慮して定める。各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえて、地盤ばねには必要に応じて、基礎浮上りによる非線形性又は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形性を考慮するものとする。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものをを用いる。

地盤-建物・構築物連成系の減衰定数は、振動エネルギーの地下逸散及び地震応答における各部のひずみレベルを考慮して定める。

地震応答解析において、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した地震応答解析を行う。

また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、建物・構築物の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した地震応答解析を行う。

地震応答解析に用いる材料定数については、材料物性のばらつき等を適切に考慮する。なお、コンクリートの実強度を考慮して鉄筋コンクリート造耐震壁の剛性を設定する場合は、建物・構築物ごとの建設時の試験データ等の代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して適用する。また、ばらつきによる変動が建物・構築物の振動性状や応答性状に及ぼす影響として考慮すべきばらつきの要因を選定した上で、選定された要因を考慮した動的解析により設計用地震力を設定する。

建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響については、建物・構築物の3次元FEMモデルによる解析に基づき、施設の重要性、建屋規模、構造特性を考慮して評価する。3次元応答性状等の評価は、周波数応答解析法等による。解析方法及び解析モデルについては、V-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に示す。

建屋の設置状況を踏まえ、隣接建屋が建物・構築物の応答性状及び機器・配管系へ及ぼす影響については、地盤3次元FEMモデルによる解析に基づき評価する。解析方法及び解析モデルについては、V-2-2-別添2「隣接建屋による影響を考慮した耐震性についての計算書」に示す。

原子炉建屋は設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加が有意であることから、原子炉建屋の応答性状及び機器・配管系へ及ぼす影響については、重量増加を反映したモデルによる解析に基づき評価する。解析方法及び解析モデルについては、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の別紙に示す。

また、更なる信頼性の向上を目的として設置した地震観測網から得られた観測記録により振動性状を把握する。動的解析に用いるモデルについては、地震観測網により得られた観測記録を用い解析モデルの妥当性確認等を行う。地震観測網の概要は、別紙「地震観測網について」に示す。

a. 解析方法

建物・構築物の地震応答は、(2. 1)式の多質点系の振動方程式をNewmark- β 法 ($\beta = 1/4$) を用いた直接積分法により求める。

$$[m] \cdot \{\ddot{x}\}_t + [c] \cdot \{\dot{x}\}_t + [k] \cdot \{x\}_t = -[m] \cdot \{\ddot{y}\}_t \quad \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで,

- [m] : 質量マトリックス
- [c] : 減衰マトリックス
- [k] : 剛性マトリックス
- { \ddot{x} }_t : 時刻 t の加速度ベクトル
- { \dot{x} }_t : 時刻 t の速度ベクトル
- {x}_t : 時刻 t の変位ベクトル
- { \ddot{y} }_t : 時刻 t の入力加速度ベクトル

ここで、時刻 t+ Δt における解を次のようにして求める。なお、 Δt は時間メッシュを示す。

$$\{x\}_{t+\Delta t} = \{x\}_t + \{\dot{x}\}_t \cdot \Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) \cdot \{\ddot{x}\}_t + \beta \cdot \{\ddot{x}\}_{t+\Delta t} \right] \cdot \Delta t^2 \quad \dots\dots\dots (2. 2)$$

$$\{\dot{x}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{x}\}_t + \frac{1}{2} \cdot [\{\ddot{x}\}_t + \{\ddot{x}\}_{t+\Delta t}] \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (2. 3)$$

$$\{\ddot{x}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{x}\}_t + \{\Delta \ddot{x}\}_{t+\Delta t} \quad \dots\dots\dots (2. 4)$$

(2. 2), (2. 3)及び(2. 4) 式を(2. 1)式に代入して整理すると、加速度応答増分ベクトルが次のように求められる。

$$\{\Delta \ddot{x}\}_{t+\Delta t} = -[A]^{-1} \cdot ([B] + [m] \cdot \{\Delta \ddot{y}\}_{t+\Delta t}) \quad \dots\dots\dots (2. 5)$$

ここで,

$$[A] = [m] + \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot [c] + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot [k]$$

$$[B] = \left(\Delta t \cdot [c] + \frac{1}{2} \cdot \Delta t^2 \cdot [k] \right) \cdot \{\ddot{x}\}_t + \Delta t \cdot [k] \cdot \{\dot{x}\}_t$$

$$\{\Delta \ddot{y}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{y}\}_{t+\Delta t} - \{\ddot{y}\}_t$$

(2. 5)式を(2. 2), (2. 3)及び(2. 4)式に代入することにより、時刻 t+ Δt の応答が時刻 t の応答から求められる。

b. 解析モデル

代表的な建物・構築物の解析モデルを以下に示す。

(a) 原子炉建屋

水平方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁、補助壁等の曲げ及びせん断剛性を考慮した多質点系モデルとする。鉛直方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁等の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した多質点系モデルとする。

(b) 原子炉建屋屋根トラス

原子炉建屋屋根トラスは水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、原子炉建屋の燃料取替床 (T. M. S. L. 31. 7m) より上部の鉄骨鉄筋コンクリート造の柱、はり及び壁並びに鉄骨造の屋根トラス、水平ブレース等をモデル化した立体フレームモデルとする。各鉄骨部材は軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素と軸変形のみを考慮したトラス要素とし、耐震壁及び外周はりには各々シェル要素並びに軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化する。

(c) 主排気筒

主排気筒は塔状構造物であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、原子炉建屋屋上 (T. M. S. L. 38. 2m) より上部を立体的にモデル化した立体フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとする。構成部材のうち、筒身、鉄塔部の支柱及び鉄骨鉄筋コンクリートの基礎部については軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素として、鉄塔斜材及び水平材についてはトラス要素としてモデル化する。

(d) 格納容器圧力逃がし装置基礎及び遮蔽壁

基礎及び遮蔽壁については、多質点系モデルとし、地盤は3次元FEMモデルとする。杭は全てを線材モデルとし、杭と地盤の相互作用を考慮する。遮蔽壁の多質点系モデルは、水平方向において曲げ及びせん断剛性を考慮する。鉛直方向については、軸剛性を考慮する。