

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画認可申請に係る説明について (大物搬入建屋 杭の損傷要因について)

2022年5月30日
東京電力ホールディングス株式会社

■ 指摘事項 (No.1)

杭の損傷状況についてのデータ整理を行い、考察の充実を図ること。



■ 回答

第6号機大物搬入建屋の杭上部及び下部の損傷状況調査結果（外観目視、打音検査、内部鉄筋調査、及び非破壊試験）を示し、No.8杭の杭頭部鉄筋破断及びNo.6・8杭の杭中間部水平ひび割れ等に関する考察を行った。（本資料の1章部分）

■ 指摘事項 (No.2)

杭の損傷原因の特定にあたっての要因の絞り込みに係る考え方、プロセスを説明すること。その説明にあたっては、杭の特異な損傷状態を念頭に設計データ、施工データ等を網羅的に確認できるようにすること。



■ 回答

2.1節に示す損傷要因評価フローに基づき、調査結果、設計データ及び施工データ等に基づく多面的な分析及び絞り込みを行い、No.6・8杭に生じた特異な損傷の主な要因は、地震及び杭周辺地盤状況の複合による損傷と推定した。（本資料の2章部分）

■ 指摘事項 (No.3)

要因の絞り込みのプロセスに関して、東京電力が要因を特定する際に実施した解析的検証等の方針、方法、条件、結果についても妥当性を説明すること。その説明にあたっては、杭の損傷状況と解析的検証との関係についても考察すること。

■ 回答 (本資料の3章及び4章部分)

①No.8杭頭部は、セメント改良土により変形が拘束されたことに着目し、3次元FEM静的応力解析を行い、セメント改良土による杭頭せん断力分担率への影響を確認した。その結果、セメント改良土を模擬したケースではセメント改良土がないケースに比べ杭頭せん断力が3倍程度大きくなり、セメント改良土の影響でNo.8杭に応力集中する傾向を確認した。

②No.6・8杭中間部は、セメント改良土に拘束されたことに着目し、3次元FEM静的応力解析を行い、剛性の高いセメント改良土と剛性の低い埋戻土層境界部における曲げモーメントの発生状況を確認した。その結果、セメント改良土を模擬したケースでは、No.8杭中間部に大きな曲げモーメントが発生することを確認した。またNo.8杭頭部の損傷を考慮した場合、No.6杭中間部に大きな曲げモーメントが発生することを確認した。

以上から、No.6・8杭がセメント改良土に拘束されていたことが損傷要因と考えられる。

1. 杭の健全性調査結果

- 1.1 第6号機大物搬入建屋の概要
- 1.2 杭の健全性調査結果の概要
- 1.3 杭上部の調査結果
- 1.4 杭下部の調査結果
- 1.5 杭の健全性調査結果
- 1.6 杭の原設計の内容
- 1.7 杭の損傷状況まとめ

2. 杭の損傷要因の絞り込み

- 2.1 損傷要因評価フロー
- 2.2 損傷要因の抽出
- 2.3 損傷要因の絞り込み
- 2.4 損傷要因のまとめ

3. 杭の損傷要因の検証

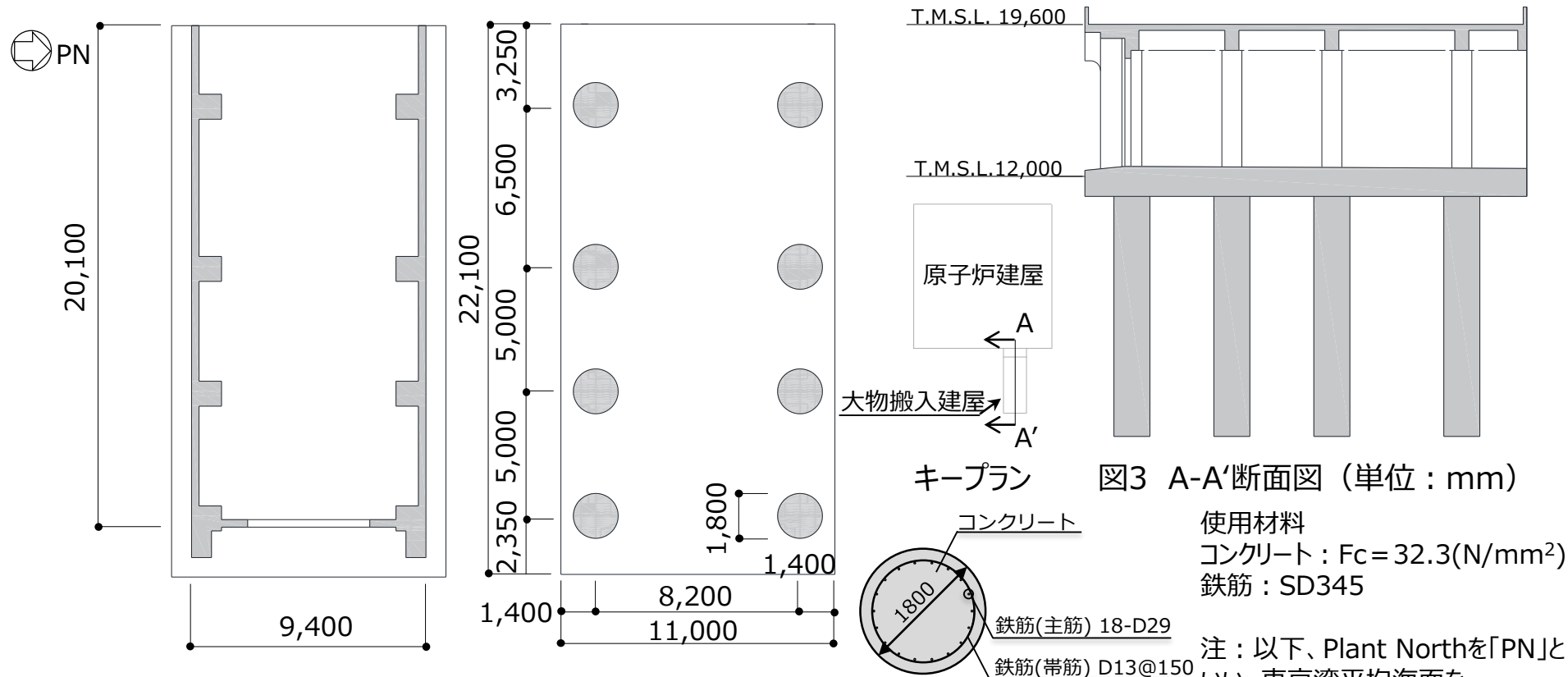
- 3.1 セメント改良土に着目した解析
- 3.2 No.8杭のせん断に着目した解析
- 3.3 No.8杭のせん断に着目した解析のまとめ
- 3.4 No.6・8杭の曲げに着目した解析
- 3.5 No.6・8杭の曲げに着目した解析のまとめ
- 3.6 No.8杭頭部の鉄筋破断のメカニズム

4. 杭の損傷要因の特定

- 4.1 まとめ

1.1 第6号機大物搬入建屋の概要

- ▶ 柏崎刈羽原子力発電所第6号機大物搬入建屋（以下、「K6大物搬入建屋」という。）は、第6号機原子炉建屋の北東側に隣接する鉄筋コンクリート造1階建てであり、基礎平面は11.0m（南北方向）×22.1m（東西方向）、地上高さは7.6mである。
- ▶ 平面図、杭伏図、断面図及び杭配筋図を図1～4に示す。



- K6大物搬入建屋の杭伏図及び断面図を図5及び図6に示す。
- 杭上部：基礎スラブ下約5.5mまで掘削し、杭の外観目視によるひび割れ等の調査結果を表1に示す。
 - ✓ No.1・4・7：損傷なし。
 - ✓ No.2・3・5：支持性能に大きな支障となる損傷はなく、耐震性能に影響はない。
 - ✓ No.6・8：耐震性能に影響はあるが、鉛直支持力はある程度保持されている状態である。
- 杭下部：非破壊試験による健全性調査を行い、全ての杭下部で「健全性は高い」と判定した。
- 次ページ以降に、調査結果の詳細を示す。

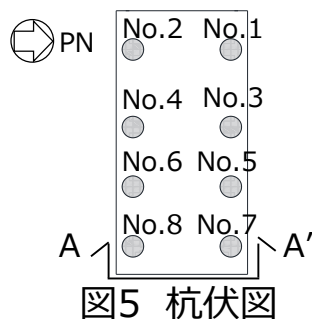


図5 杭伏図

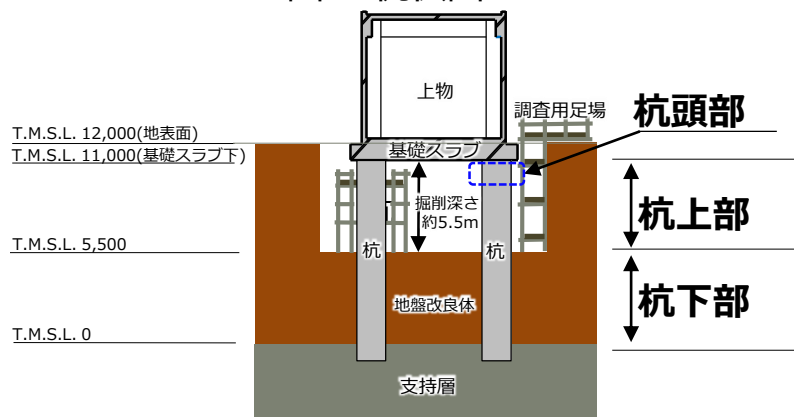


図6 A-A'断面図 (単位 : mm)

表1 杭上部調査結果一覧

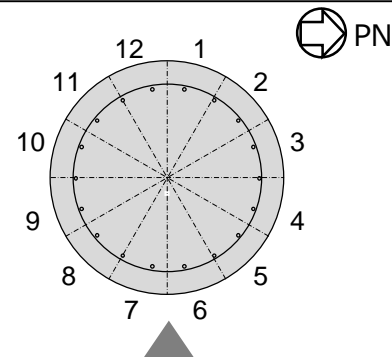
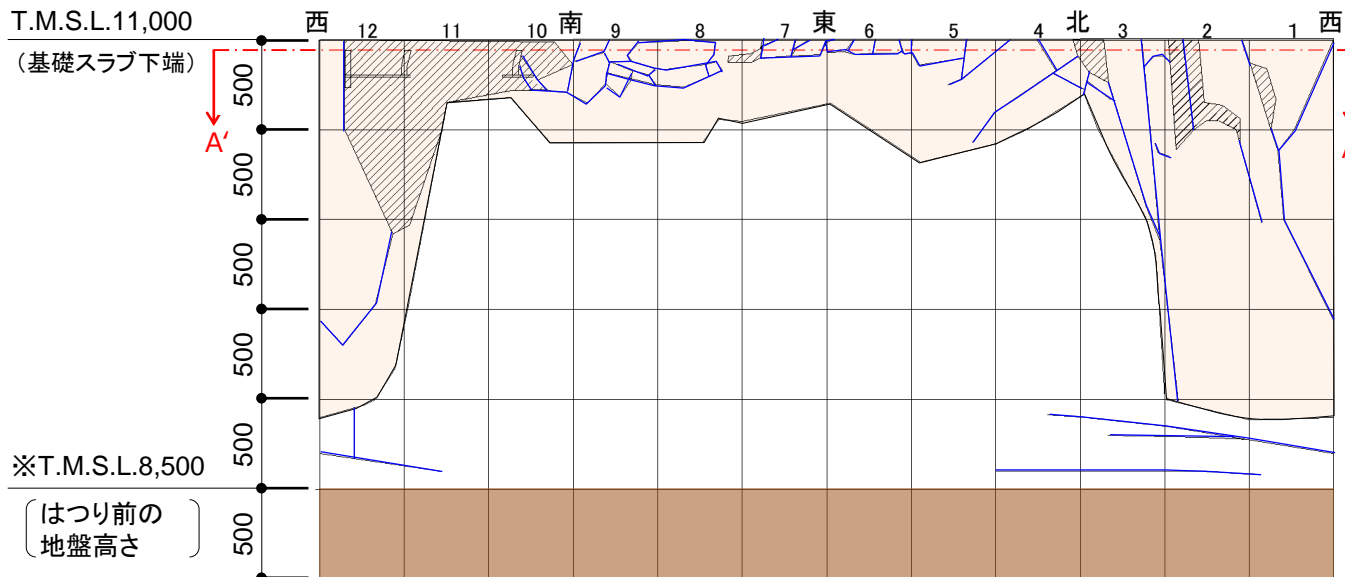
調査項目 杭No	コンクリート 剥離	コンクリート 浮き	コンクリート ひび割れ幅	鉄筋状態	損傷度 ※
No.1	なし	表面のみ	なし	損傷なし	なし
No.2	なし	表面のみ	最大1.8mm計1本	損傷なし	Ⅱ
No.3	なし	表面のみ	最大0.7mm計1本	損傷なし	Ⅱ
No.4	なし	表面のみ	なし	損傷なし	なし
No.5	なし	表面のみ	最大1.1mm計1本	損傷なし	Ⅱ
No.6	なし	主筋内側まで	最大4.0mm計6本	損傷なし	Ⅲ
No.7	なし	表面のみ	なし	損傷なし	なし
No.8	あり	主筋内側まで	鉄筋が見えるひび割れ	変形11本破断7本	Ⅳ

※建築研究資料 No.90 1997.8 建築基礎の被災度区分判定指標及び復旧技術例の考えに沿って評価

1.3 杭上部の調査結果 (No.8杭のはつり取り前)

➤ No.8杭のはつり取り前の杭上部の調査結果を図7に示す。なお、基礎スラブ下約2.5m※まで掘削し、鉄筋調査のためにコンクリートをはつり取る前の調査結果である。

- ✓ ひび割れ : 鉄筋の見えるひび割れを含め、鉛直、水平及び斜め方向に複数本確認した。
- ✓ 浮き及び剥落 : 基礎スラブ下から約2.1mの範囲に、浮き及び剥落を確認した。



杭断面図 (A-A'断面図)

- 凡例
- : 鉄筋
 - : ひび割れ
 - ▨ : 剥落
 - : 浮き
 - ▲ : 展開図の中心位置

- 用語の定義
- ・浮き：本調査では杭表面の打音検査で異音が生じた部分の状態
 - ・剥落：コンクリートが剥がれて落ちること
 - ・はつり取り：コンクリートを少しずつ削り取ること

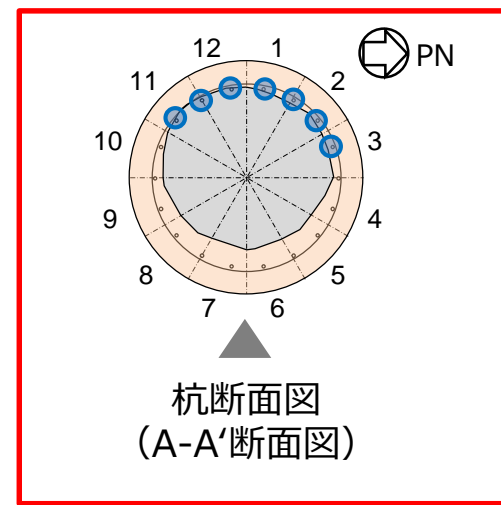
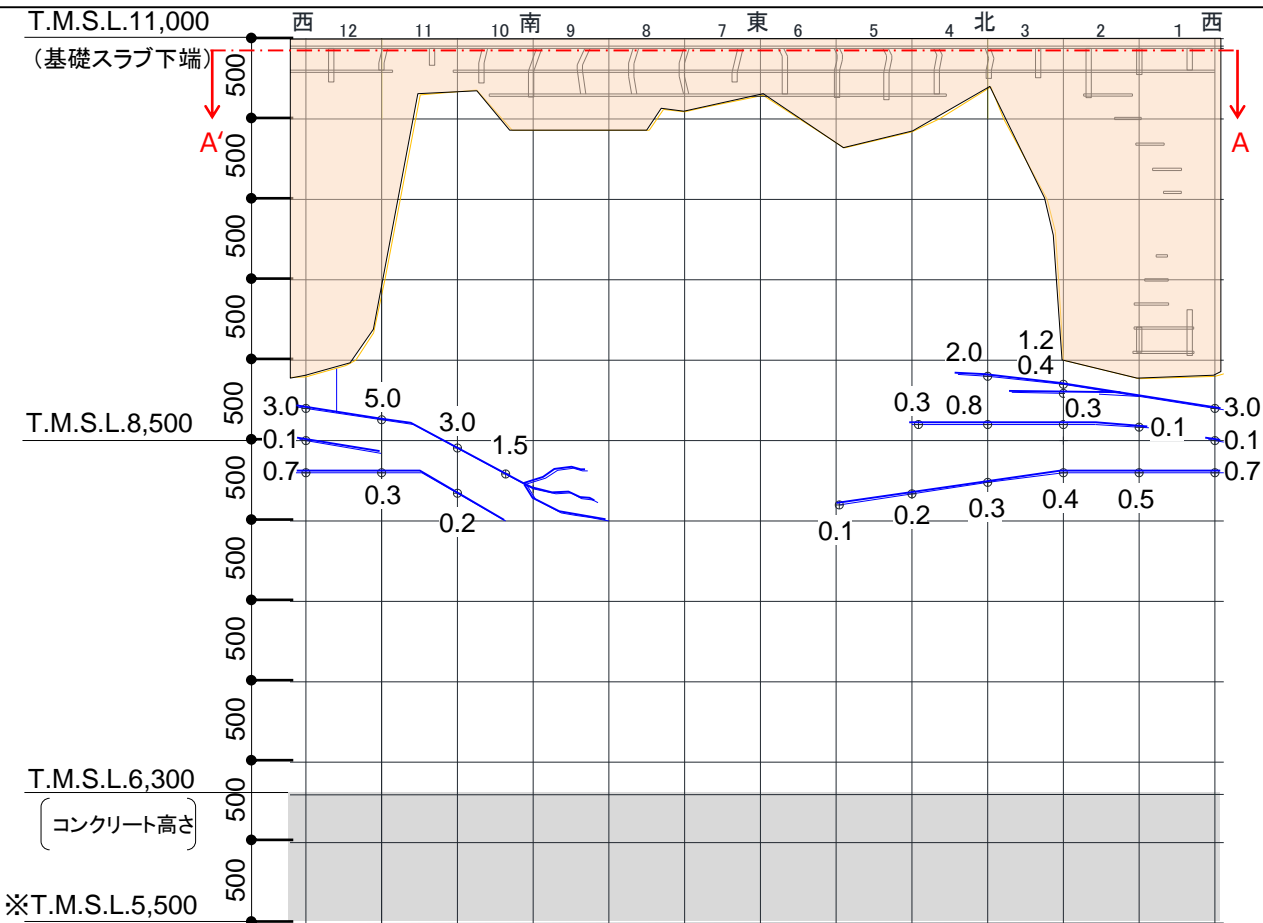


西側 南側 東側 北側

図7 No.8杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り前) (単位: mm)

1.3 杭上部の調査結果 (No.8杭のはつり取り後)

- ▶ 基礎スラブ下約5.5m※まで掘削し、コンクリートをはつり取った後のNo.8杭上部の調査結果を図8に示す。
- ✓ ひび割れ：基礎スラブ下から約2.1m～3mの範囲に、ひび割れ幅0.1～5.0mmの水平方向のひび割れを3本確認した。
- ✓ 鉄筋：鉄筋の調査結果を次ページに示す。

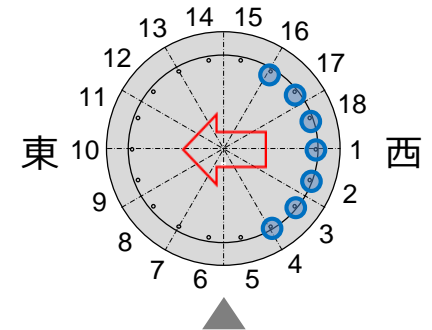
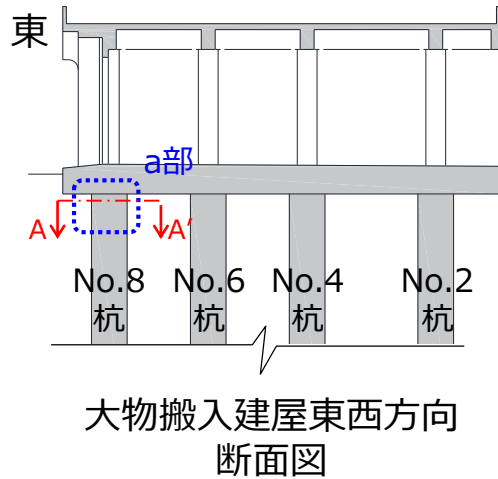


- 凡例
- : 鉄筋
 - : ひび割れ (数値: ひび割れ幅)
 - : 浮き・剥落 (コンクリートはつり取り部)
 - ▲ : 展開図の中心位置
 - : 主筋の破断箇所

図8 No.8杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り後) (単位: mm)

1.3 杭上部の調査結果 (No.8杭の鉄筋)

- No.8杭頭部の構造及び損傷状況を図9に示す。
 - ✓ 鉄筋は、西側のNo.1～4及びNo.16～18（杭断面図の青丸で示す箇所）が破断し、それ以外のNo.5～15は、図9に示すように、杭を基準に西から東の方向に変形している。



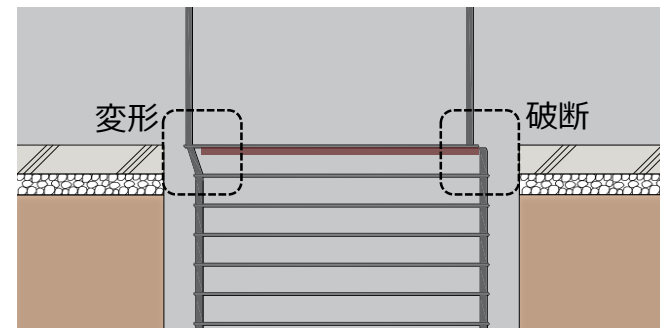
杭断面図 (A-A'断面図)

凡例

- : 主筋の破断箇所
- ➡ : 主筋の変形方向
- ▲ : a部拡大写真の撮影方向



a部拡大図 (No.8杭損傷前)



a部拡大図 (No.8杭損傷後イメージ)

図9 No.8杭頭部の構造及び損傷状況 (イメージ) (単位: mm)

※ 鉄筋かご建込用の施工上必要な鉄筋であり、約3,000mm間隔で全杭同様な位置に配筋している

1.3 杭上部の調査結果 (No.6杭のはつり取り前)

- No.6杭上部の調査結果を図10に示す。なお、No.8杭同様に基礎スラブ下約2.5m※まで掘削し、鉄筋調査のためにコンクリートをはつり取る前の調査結果である。
 - ✓ ひび割れ：基礎スラブ下約2.1m～2.5mの範囲に水平ひび割れを複数本確認した。
 - ✓ 浮き：基礎スラブ下から約0.3mの範囲に浮きを確認した。

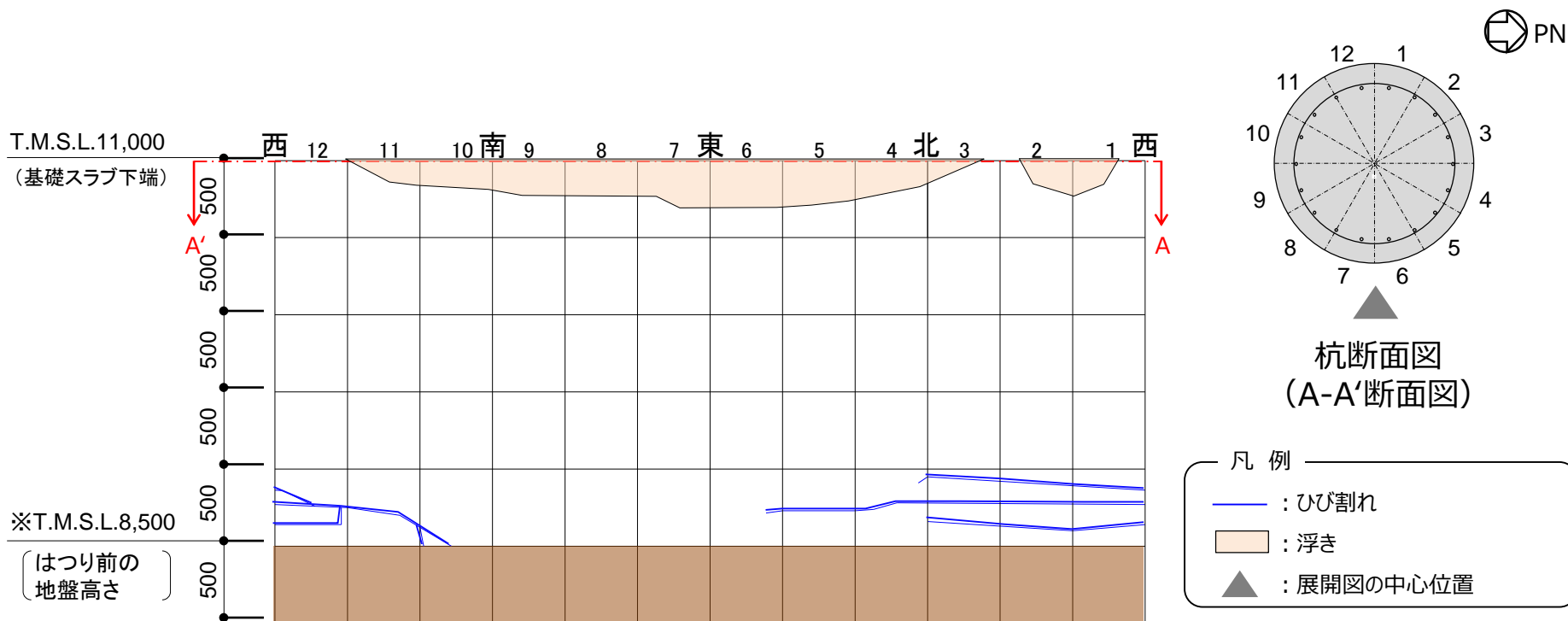
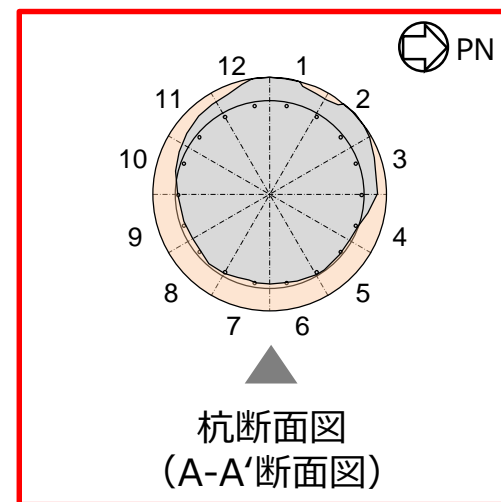
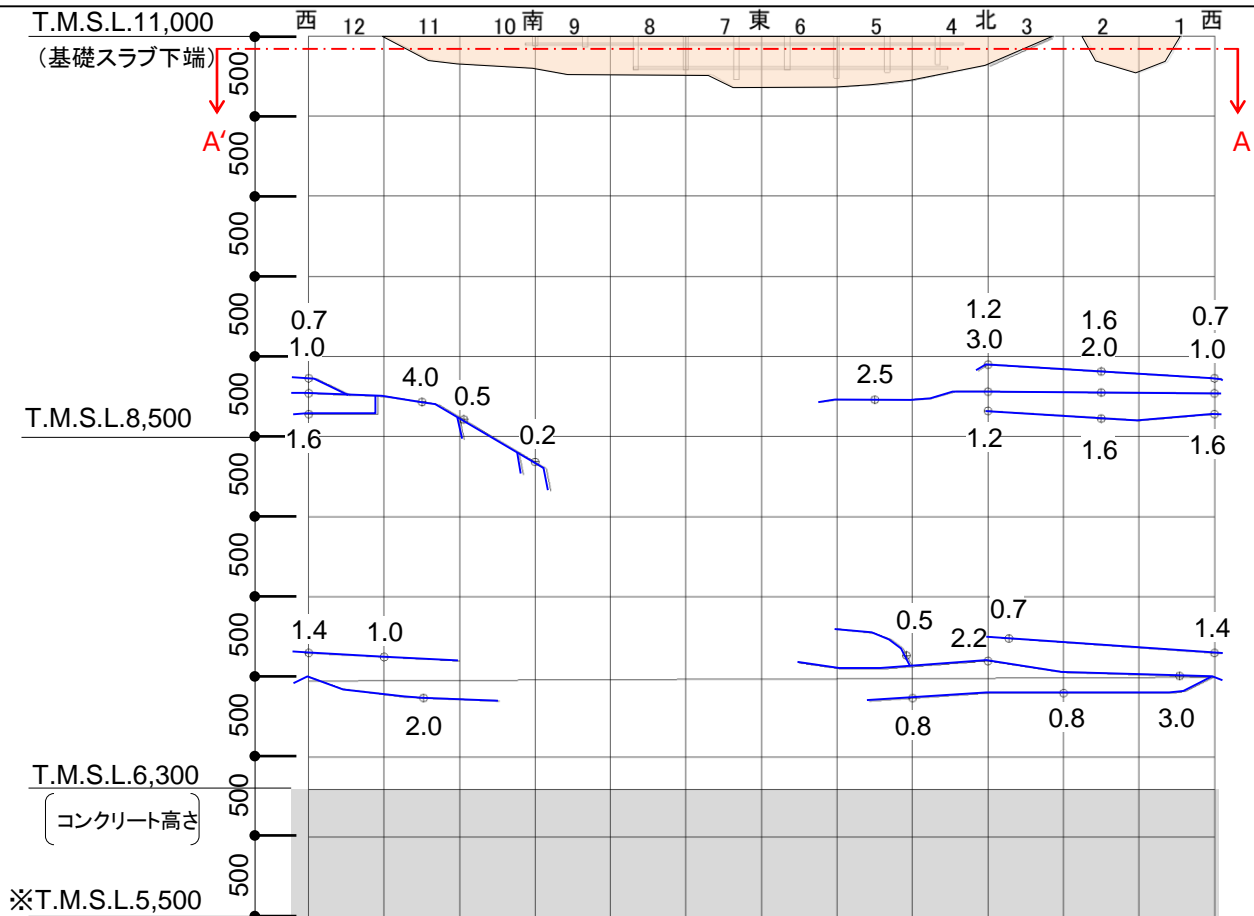


図10 No.6杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り前) (単位：mm)

1.3 杭上部の調査結果 (No.6杭のはつり取り後)

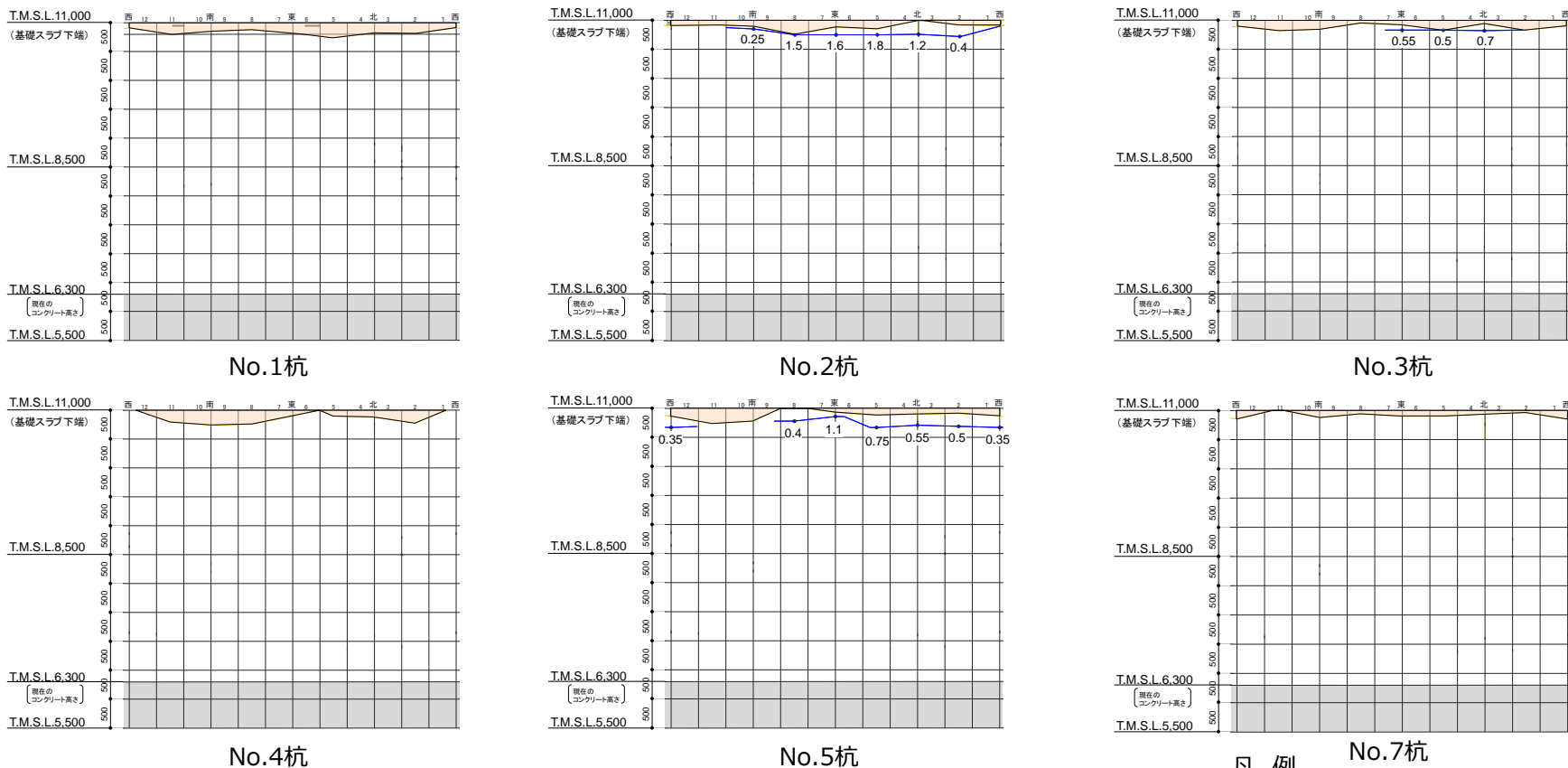
- 基礎スラブ下約5.5m※まで掘削し、鉄筋調査のためにコンクリートをはつり取った後のNo.6杭上部の調査結果を図11に示す。
- ✓ ひび割れ：基礎スラブ下から約2.1~4.2mの範囲に、ひび割れ幅0.2~4.0mmの水平方向のひび割れを6本確認した。また、ひび割れは2段に分かれていた。
- ✓ 鉄筋：損傷は確認されなかった。



- 凡例
- : 鉄筋
 - (数値) : ひび割れ (数値：ひび割れ幅)
 - : 浮き (コンクリートはつり取り部)
 - ▲ : 展開図の中心位置

図11 No.6杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り後) (単位：mm)

- 基礎スラブ下約5.5m※まで掘削し、打音検査における異音が生じた部分のコンクリートをはつり取った後のNo.1～5・7杭上部の調査結果を図12に示す。
- ✓ ひび割れ：幅0.25～1.8mmの水平方向のひび割れをNo.2・3・5杭で1本ずつ確認した。



凡例

- : ひび割れ (数値：ひび割れ幅)
- : 浮き (コンクリートはつり取り部)

※基礎スラブ下5.5mは、T.M.S.L.5,500

図12 No.1～5・7杭上部の調査結果 (コンクリートはつり取り後) (単位：mm)

- 杭下部は、外観目視による調査が困難なため、図13に示す非破壊試験（衝撃弾性波反射法※1）により健全性を調査した。
- 文献※2に基づく調査の結果、全ての杭下部の「健全性が高い」と判定した。
- 判定基準例を図14に示す。
- 次ページ以降の図15にNo.1～4杭の結果を、図16にNo.5～8杭の結果を示す。

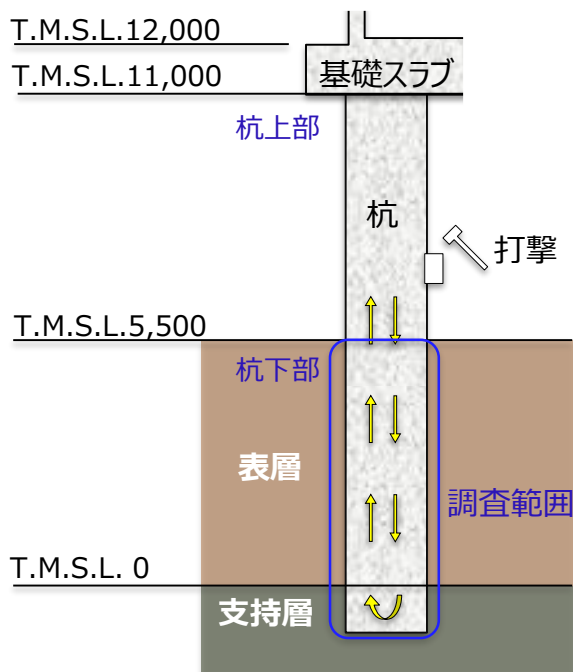


図13 非破壊試験概要図（単位：mm）

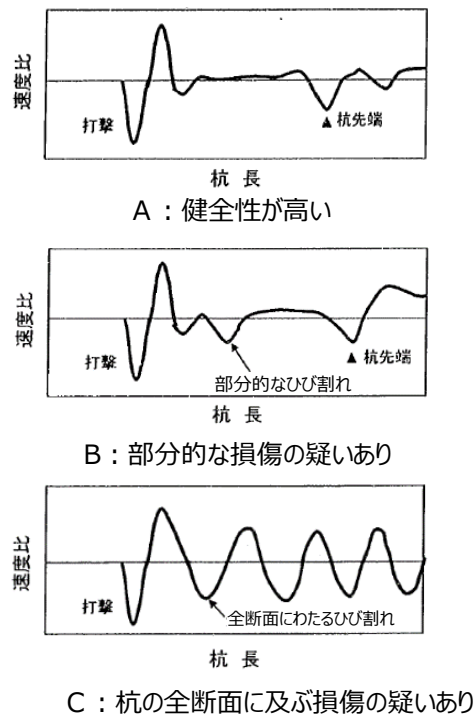


図14 判定基準例

※1 杭体をハンマーで打撃し、杭中を伝わる振動を計測することにより杭の健全性を判定する手法

※2 橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル（案）インテグリティ試験を用いた橋梁基礎調査法マニュアル（案）による

➤ 図15に示すように、No.1～4杭の非破壊試験の結果、杭の先端反射が明瞭であり、杭の先端反射以浅（手前）に下向きピークがみられないため、健全性は高いと判断した。

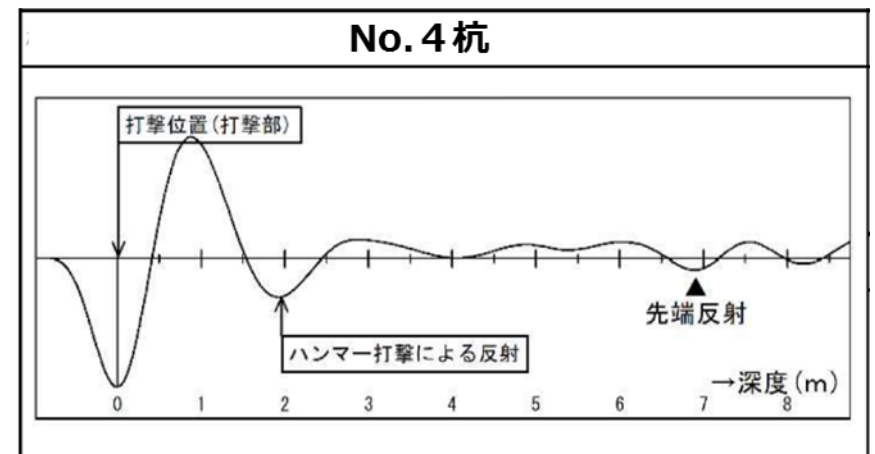
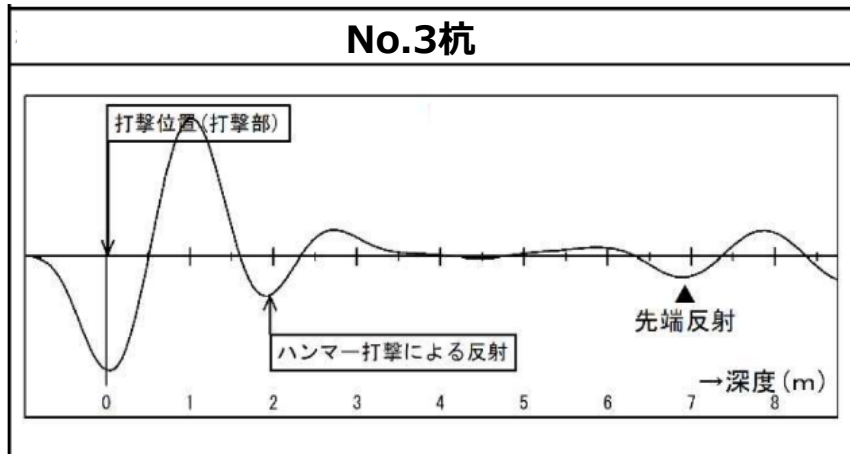
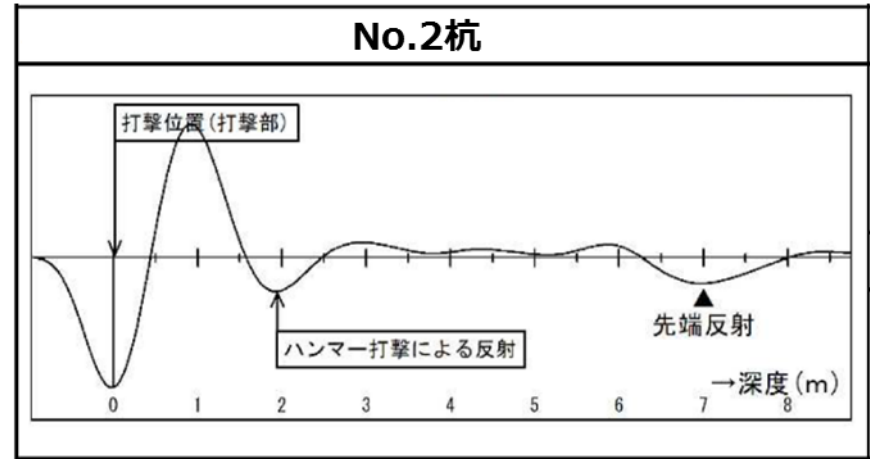
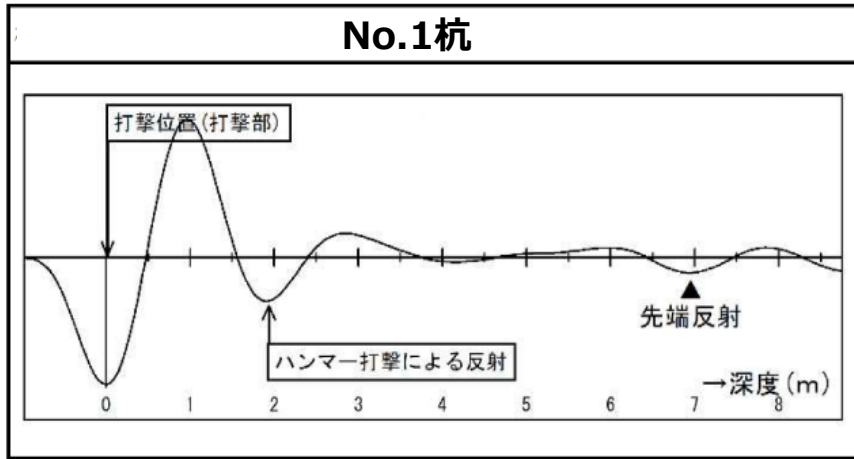


図15 No.1～4杭下部の非破壊試験結果

- 図16に示すように、No.5～8杭の非破壊試験の結果、杭の先端反射が明瞭であり、杭の先端反射以浅（手前）に下向き（負）のピークがみられないため、健全性は高いと判断した。

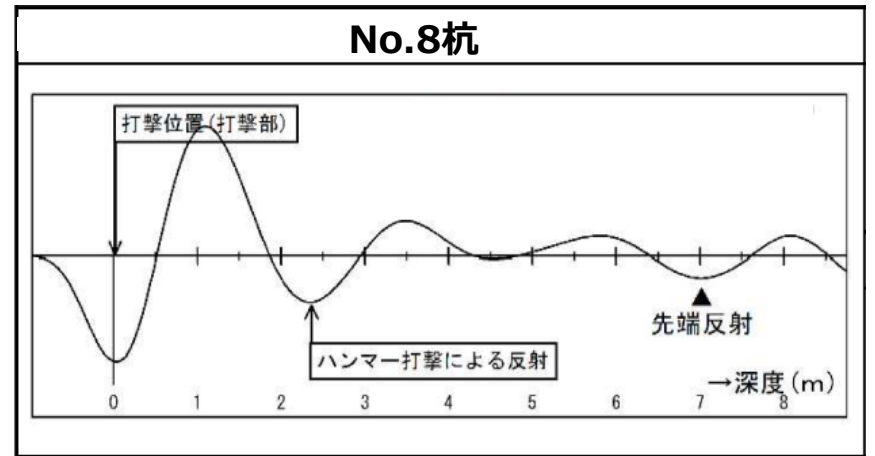
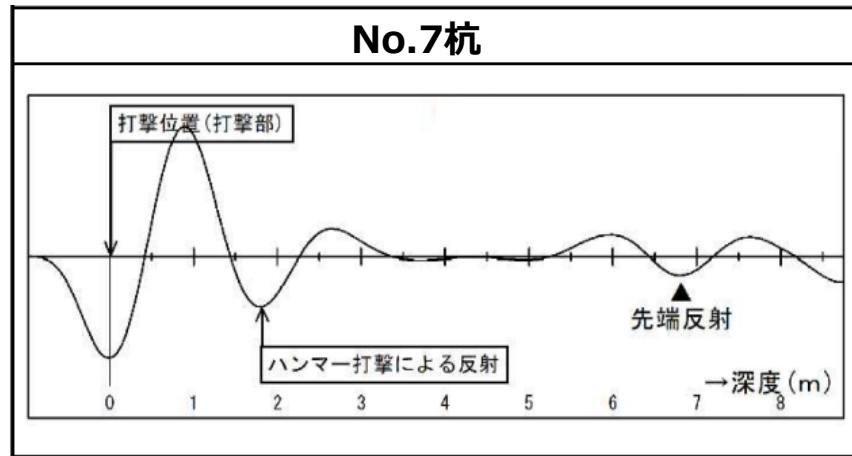
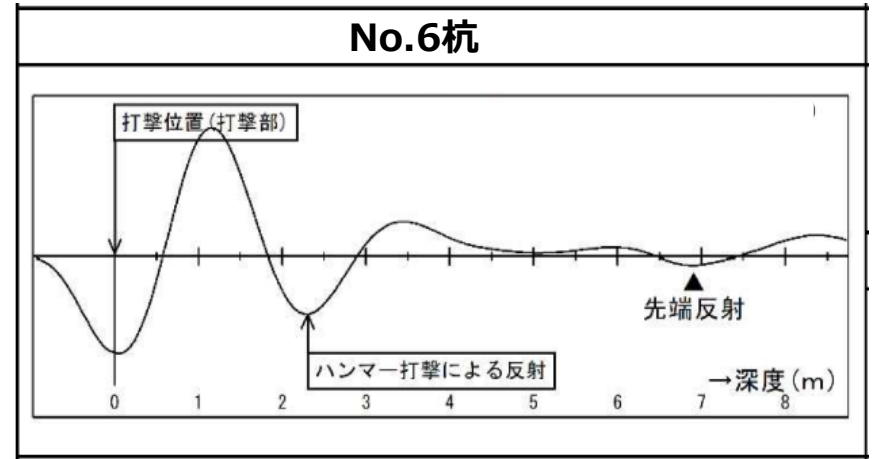
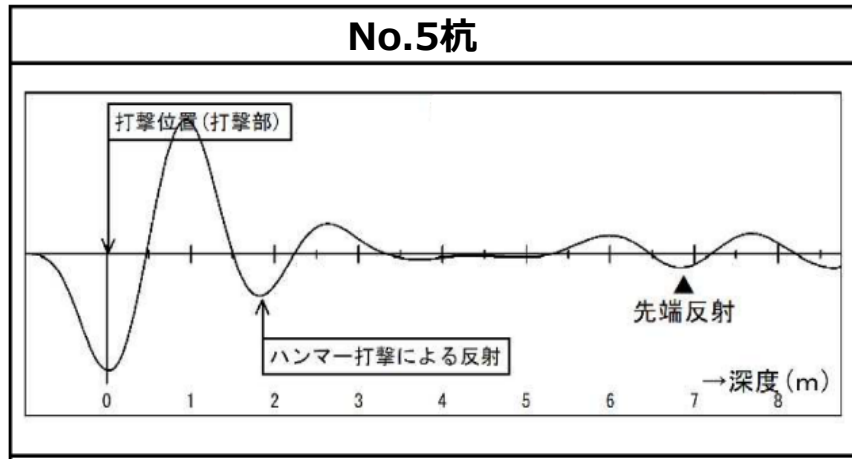


図16 No.5～8杭下部の非破壊試験結果

【No.8杭の損傷状況】

- 杭頭部の西側の7本の鉄筋が破断し、11本の鉄筋は、杭を基準に西から東の方向に変形している。(損傷度Ⅳ)
- 基礎スラブ下端から約2.1～3mの範囲に、ひび割れ幅0.1～5.0mmの水平方向のひび割れが3本発生している。

【No.6杭の損傷状況】

- 基礎スラブ下端から約2.1～4.2mの範囲に、ひび割れ幅0.2～4.0mmの水平方向のひび割れが6本発生している。(損傷度Ⅲ)
- 基礎スラブ下端から約0.3mの範囲に主筋内側まで浮きを確認しているものの、コンクリートはつり取り後の目視確認により、鉄筋の損傷はないことを確認した。

【No.1～5・7杭の損傷状況】

- No.2・3・5杭は、杭頭部に水平方向のひび割れが発生している。(損傷度Ⅱ)
- No.1・4・7杭は、ひび割れが発生していない。(損傷なし)

以上から

- No.8杭の杭頭部に鉄筋の破断・変形が発生している。
- No.6・8杭の中間部にひび割れが発生している。
- No.1～5・7杭は支持性能に影響を与えるような損傷がない。

(1)基本方針

- 大物搬入建屋は、耐震ノンクラスの施設であるが、自主的に耐震設計審査指針※の耐震Aクラス相当で耐震設計を行い、静的地震力3.0Ciと基準地震動 S_1 による動的地震力の大きい値に対して、短期許容応力度設計を実施している。

(2)解析方法

- 地震応答解析は、図17に示すように、建屋～杭～地盤の相互作用を考慮したモデルとし、地盤は水平成層地盤、杭は8本の杭を集約してモデル化し、薄層要素法により杭と地盤の相互作用ばねを評価している。
- 入力地震動は、T.M.S.L.-155mの解放基盤表面において定義された基準地震動 S_1 から、一次元波動論により杭頭の応答波形を算定し、これを基礎スラブ下端に入力している。
- 杭の断面算定は、スウェイ・ロッキングモデルの地盤ばね反力より算定した上部構造からの慣性力による応力及び一次元波動論の応答変位により算定した地盤変位による応力を足し合わせて、杭の応力を算定し、断面の設計を実施している。(図18)

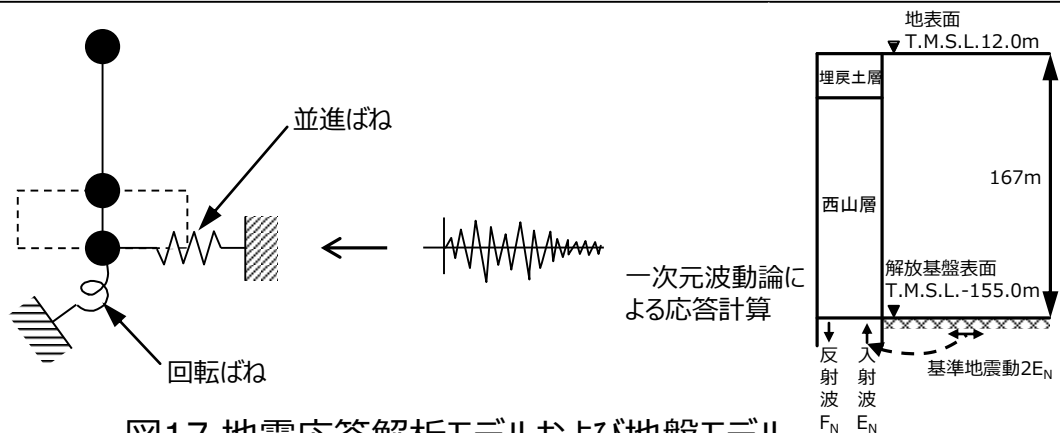


図17 地震応答解析モデルおよび地盤モデル

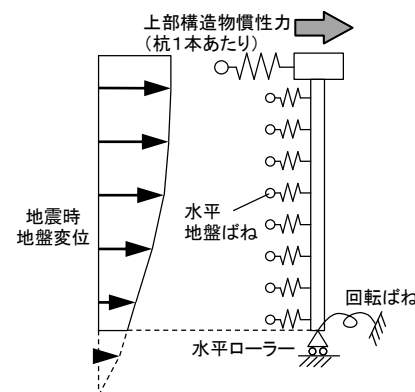


図18 杭の応力評価方法

※発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会，昭和56年7月20日）

(3)解析結果

- 杭は8本の杭を集約したモデルで解析しており、同一断面の設計である。
- 表2に杭頭せん断力の解析結果を、表3に杭頭曲げモーメントの解析結果を示す。杭の最大応力は杭頭部で発生し、せん断力は検定比が0.736（短期）、曲げモーメントは設計配筋比に対する必要鉄筋比の比率が0.958である。
- 断面算定の結果、曲げモーメントはせん断力に比べ、設計に対する裕度が小さい結果である。

表2 杭頭せん断力の解析結果

せん断力 (kN)	発生応力			短期許容応力との比較	
	地盤変位による 応力	慣性力による 応力	設計応力:Q	Qa (kN)	Q/Qa
	28	1,252	1,280	1,740	0.736

表3 杭頭曲げモーメントの解析結果

曲げモーメント (kN・m)	発生応力			設計配筋比に対する必要鉄筋比の比較		
	地盤変位による 応力	慣性力による 応力	設計応力	必要鉄筋比reqPt	設計配筋比dPt	reqPt/dPt
	929	2,346	3,275	0.435%	0.454%	0.958

【調査結果に基づく考察】

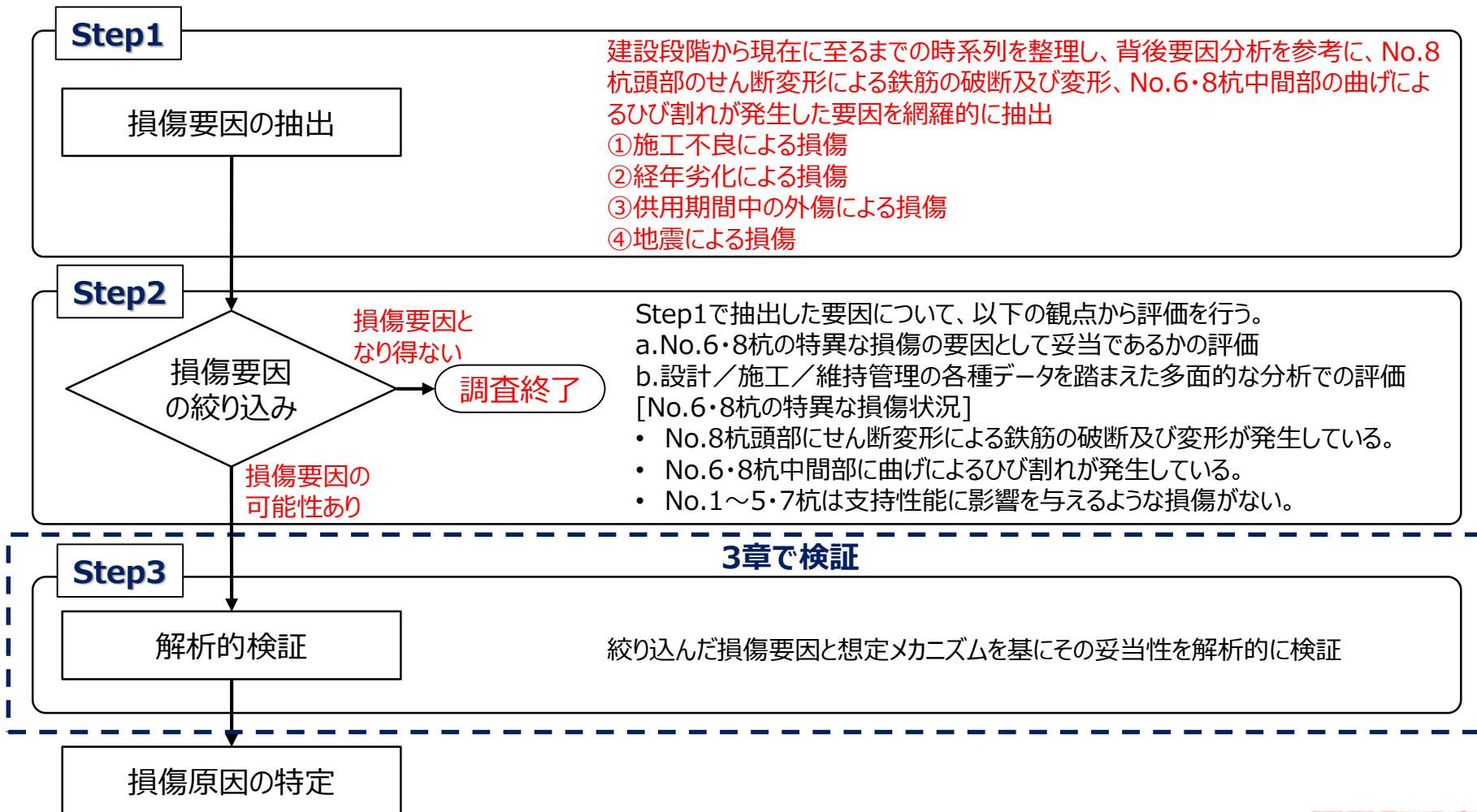
- No.8杭頭部の鉄筋の破断及び変形は、No.8杭の損傷の状態から、杭頭部に発生したせん断により生じたものと考えられる。
- No.6・8杭中間部のひび割れは、No.6・8杭の損傷の状態から、杭中間部に発生した曲げモーメントにより生じたものと考えられる。

【原設計データに基づく考察】

- 杭の配置がほぼ均等で同一断面であるため、特定の杭頭部のみが損傷することは考えにくいですが、調査結果では、No.8杭頭部にせん断変形による鉄筋の破断及び変形が発生しており、設計での応力状態と実際の損傷状況に差異が見られる。
- 杭に発生する曲げモーメントの最大値は杭頭部で発生しているが、調査結果では、No.6・8杭中間部に曲げモーメントによるひび割れが発生しており、設計での応力状態と実際の損傷状況に差異が見られる。
- 杭断面算定の結果では、曲げモーメントがせん断力に比べ設計に対する裕度が小さいため、杭頭がせん断により損傷する可能性は考えにくいですが、調査結果では、No.8杭頭部に鉄筋の破断及び変形が生じており、設計での応力状態と実際の損傷状況に差異が見られる。

このことから、No.6・8杭の特異な損傷は、設計上考慮されていない要因により損傷したものと考えられる。

- No.6・8杭の損傷原因を特定するため、以下の損傷要因評価フローに基づき、Step1で「損傷要因の抽出」を、Step2で「損傷要因の絞り込み」を、Step3で「解析的検証」を行い、損傷要因の特定を実施する。



- Step 1として、No.8杭頭部のせん断変形による鉄筋破断及び変形、No.6・8杭中間部の曲げによるひび割れを引き起こす要因について、①～④項目で整理し、要因を抽出した。
(なお時系列を整理し、背後要因分析手法を参考に、以下に示す主たる要因以外についても要因抽出を実施しているが、本資料においては、特に重要な要因を対象に記載している。)

①施工不良による損傷

- | | | |
|----------|--------------|--------------|
| (1)使用材料 | (2)鉄筋かご組立・建込 | (3)コンクリート打込み |
| (4)杭頭処理 | (5)杭位置 | (6)掘削 |
| (7)杭鉛直精度 | (8)スライム処理 | |

②経年劣化による損傷

- | | | |
|-------------|----------|-----------|
| (1)アルカリ骨材反応 | (2)化学的浸食 | (3)凍結融解作用 |
| (4)熱 | (5)放射線照射 | (6)機械振動 |
| (7)中性化 | (8)塩分浸透 | |

③供用期間の外傷による損傷

- | | |
|-----------|-------------|
| (1)重機等の衝突 | (2)重車両の走行影響 |
|-----------|-------------|

④地震による損傷

- (1)慣性力・ねじれ・水平2方向・地盤変位
- (2)過去経験した最大の地震（新潟県中越沖地震）
- (3)地盤の液状化

➤ Step2では、Step1で抽出した要因に対して、

- a.No.6・8杭の特異な損傷の要因として妥当であるかの評価
- b.設計／施工／維持管理データ各種を踏まえた多面的な分析での評価

を踏まえた損傷要因となる可能性を次ページ以降で評価した。

a.No.6・8杭の特異な損傷状況

- No.8杭頭部にせん断変形による鉄筋の破断及び変形が発生している。
- No.6・8杭中間部に曲げによるひび割れが発生している。
- No.1～5・7杭は支持性能に影響を与えないような損傷がない。

b.設計／施工／維持管理データ

- 設計データ：設備図書（設計方針、設計条件、評価方法及び評価結果）
- 施工データ：工事記録（施工要領書、図面、品質管理記録）
- 維持管理データ：定期点検記録、臨時点検記録及び不適合管理情報

Step2 ① 施工不良による損傷

- 施工不良によるNo.6・8杭の特異な損傷要因の評価結果を表4及び表5に示す。
- 杭の品質管理項目のうち、表4に示す杭の耐力に影響を及ぼす項目が、No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性が高いと考えられるため、次ページ以降に、詳細に確認した結果を示す。

表4 施工不良によるNo.6・8杭の特異な損傷要因の評価結果（重点確認）

品質管理項目	No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性	工事記録等に基づく評価結果	判定※
(1)使用材料	コンクリート・鉄筋材料の不良により、杭の耐力が低下し、地震によってNo.6・8の特異な損傷に繋がる可能性がある。	コンクリートの設計基準強度・性状、鉄筋の材質等が設計図書通りであることを圧縮強度試験成績表、鋼材検査証明書、配筋検査報告書より確認でき、使用材料の不良は確認されなかった。	○
(2)鉄筋かご組立・建込	鉄筋かごの組立・建込の不良により、杭の耐力が低下し、地震によってNo.6・8の特異な損傷に繋がる可能性がある。	鉄筋径、本数、継手・定着長さ、鉄筋かご傾斜・設置高さ等が設計図書通りであることを施工計画書及び配筋検査報告書より確認でき、鉄筋かご組立・建込の不良は確認されなかった。	○
(3)コンクリート打込み	コンクリート打込みの不良により、杭の耐力が低下し、地震によってNo.6・8の特異な損傷に繋がる可能性がある。	打設中はケーシング、トレミー管共2m以上入っており、余盛高さが管理値以上であることを施工計画書より確認でき、コンクリート打込の不良は確認されなかった。	○
(4)杭頭処理	杭頭処理位置により、杭頭部の耐力が低下し、地震によってNo.6・8の特異な損傷に繋がる可能性がある。	余盛コンクリートの脆弱部分が撤去されていることを杭頭処理検査報告書より確認でき、杭頭処理の不良は確認されなかった。	○

表5 施工不良によるNo.6・8杭の特異な損傷要因の評価結果

品質管理項目	No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性	工事記録等に基づく評価結果	判定※
(5)杭位置	杭位置の不良により、No.6・8杭の特異な損傷に繋がる可能性は低いと考えられるものの、工事記録等により不備がなかったことを確認する。	杭芯の位置ずれが管理値を満足していること杭芯検査報告書より確認でき、杭位置の不良は確認されなかった。	○
(6)掘削	掘削の不良により、No.6・8杭の特異な損傷に繋がる可能性は低いと考えられるものの、工事記録等により不備がなかったことを確認する。	杭径が管理値を満足していること、支持層（西山層）に定着されていることをケーシング内径寸法検査報告書及びコンクリート打設前検査報告書より確認でき、掘削の不良は確認されなかった。	○
(7)杭鉛直精度	杭鉛直精度の不良により、No.6・8杭の特異な損傷に繋がる可能性は低いと考えられるものの、工事記録等により不備がなかったことを確認する。	ケーシングの鉛直度が管理値を満足していることをケーシング建入検査報告書より確認でき、杭鉛直精度の不良は確認されなかった。	○
(8)スライム処理	スライム処理の不良により、No.6・8杭の特異な損傷に繋がる可能性は低いと考えられるものの、工事記録等により不備がなかったことを確認する。	掘削完了後にスライムが除去されていることをコンクリート打設前検査報告書より確認でき、スライム処理の不良は確認されなかった。	○

※ ○：施工不良なし ×：施工不良の可能性あり

Step2 ① 施工不良による損傷

- No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性が高い品質管理項目の重点確認結果を表6に示す。
- 杭の施工において、元請会社は総合品質保証計画書に基づき、要求品質を満足するよう施工計画を定めて施工管理及び社内検査を実施し、当社は要求品質が確保されていることを立会、記録等により確認しており、一連の品質管理の中で施工不良は確認されていない。

以上から、施工不良により杭が損傷に至ったとは考えにくい。

表6 品質管理項目(1)～(4)の詳細な確認結果

品質管理項目		管理項目	管理方法/基準	当社の確認方法	判定※
(1)使用材料	鉄筋	規格、径、長さ、本数	設計図書通りであること JIS G 3112に適合すること	立会又は記録（鋼材検査証明書）にて確認	○
	コンクリート	セメント種類、スランプ、強度等	設計図書通りであること JASS 5 N(1991年度版)に適合すること	立会又は記録（生コンクリート製造関係工事記録・コンクリート圧縮強度試験成績表）にて確認	○
(2)鉄筋かご組立・建込	鉄筋かご組立	鉄筋径、本数、継手長さ、定着長さ、間隔等	主要部分の実測により設計図書通りであること 鉄筋本数が均等に分布していること 鉄筋あきが所定の数値以上確保されていること 設計図書通りの継手方法が用いられていること	立会又は記録（配筋検査報告書）にて確認	○
	鉄筋かごの建込み精度	鉄筋かごの傾斜 鉄筋かごの設置高さ	垂直性を2方向から確認 鉄筋かご天端をスケールで計測	杭工事施工計画書に基づき、要求品質を満足するよう施工されていることを確認	○
(3)コンクリート打込み	トレミー管・ケーシング引き抜き	初期コンクリート分離防止	ブランジャーを使用していること	杭工事施工計画書に基づき、要求品質を満足するよう施工されていることを確認	○
		コンクリート中への挿入長さ	コンクリート中に所定の深さ以上入っていること		
	コンクリート余盛高さ	余盛高さ	所定の高さ以上余盛されていること		
(4)杭頭処理	杭頭処理状況	余盛コンクリートの除去	JASS 4 (1988年度版)に準拠すること	立会又は記録（杭頭処理検査報告書）にて確認	○

※ ○：施工不良なし ×：施工不良の可能性あり

Step2 ②経年劣化による損傷

- K6大物搬入建屋の杭（地中埋設のコンクリート構造物）の経年劣化の要因を分析するにあたって、これまでの柏崎刈羽原子力発電所の高経年化技術評価結果を参考とし、着目すべき経年劣化事象として以下の要因を抽出した。

- (1)アルカリ骨材反応 (2)化学的浸食 (3)凍結融解作用
- (4)熱 (5)放射線照射 (6)機械振動
- (7)中性化 (8)塩分浸透

- このうち、(1)アルカリ骨材反応、(2)化学的浸食及び(3)凍結融解作用は、柏崎刈羽原子力発電所では、これまでの品質管理や立地環境から発生する可能性が低く、着目する劣化要因ではないと整理しており、杭についても同様と考えられる。

(1)アルカリ骨材反応

- 建設時に実施した骨材試験により、アルカリシリカ反応が無いことを確認している。

(2)化学的浸食

- 立地地点に土壤汚染がなく、浸食性物質による劣化は生じない。

(3)凍結融解作用

- 日本建築学会 工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事の凍害危険度の分布図では、新潟県の沿岸部は凍害危険度が区分対象外であり、凍結融解作用の可能性が低いと考えられる。

Step2 ②経年劣化による損傷

(4)熱及び(5)放射線照射

- 杭は地中に設置しており、劣化環境にないため、劣化の可能性が低いと考えられる。

(6)機械振動

- 繰り返し振動の影響を受ける劣化環境にないため、劣化の可能性が低いと考えられる。

(7)中性化及び(8)塩分浸透

- 中性化及び塩分浸透の劣化メカニズムは、大気中の二酸化炭素、塩化物イオン及び酸素がコンクリート中に侵入し、コンクリート中の中性化や塩分浸透が進むことにより、鉄筋腐食が進行し、鉄筋が体積膨張を起こすことでコンクリートがひび割れが発生し強度低下を起こすものである。
- 杭は地中に設置しており、二酸化炭素、塩化物イオン及び酸素の供給が大気中より少なく、環境条件的に劣化の可能性が低いと考えられる。
- また、No.6・8杭の損傷状況の確認結果からも損傷部位の鉄筋は、腐食による減肉や腐食に伴う体積膨張によるコンクリートのひび割れは確認されていないことから鉄筋コンクリートの経年劣化による損傷の可能性はない。

以上から、経年劣化により杭が損傷に至ったことは考えにくい。

Step2 ③ 供用期間の外傷による損傷

(1) 重機等の衝突

- 供用期間に、今回実施中である耐震強化工事以外に、K6大物搬入建屋の杭を露頭させたことはないことを工事記録により確認している。
- 耐震強化工事実施期間中においては、建屋下地盤掘削時に杭を露頭させた状態での重機との衝突はなかったことを工事関係者への聞き取りにより確認している。

(2) 重車両の走行影響

1) 維持管理データの観点から確認

- これまで実施している建屋の定期点検結果の確認から、重車両の建屋への衝突による損傷がないことを確認している。

2) 不適合管理データの観点から確認

- 過去の記録から、重車両の建屋への衝突による不適合情報がないことを確認している。

3) 設計データの観点から確認

- 過去走行した重車両の荷重は、設計荷重として考慮されている仕様以下であることを確認している。

以上から、供用期間の外傷により杭が損傷に至ったことは考えにくい。

Step2 ④地震による損傷

(1)建屋の慣性力・ねじれ・水平2方向・地盤変位

(No.6・8杭の特異な損傷の要因として妥当であるかの評価)

- K6大物搬入建屋は左右対称な建屋形状で杭配置がほぼ均等であることから、建屋の地震による慣性力や偏心によるねじれ影響が要因となり、No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性は考えにくい。(図19及び図20)
- No.8杭は隅杭のため直交する2方向の荷重が応力集中することが考えられるが、No.1・2・7杭の隅杭も同様の応力集中が生じることが考えられるため、No.8杭のみ損傷することはないと判断している。
- 杭の配置状況及び杭周辺の地盤が一様に埋戻土層であることから、地盤変位がNo.6・8杭のみに大きく作用して、No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性は考えにくい。No.6・8杭周辺の地盤状況によっては、杭に応力集中を発生させる要因となる可能性がある。
- 次ページ以降で、過去経験した最大の地震である新潟県中越沖地震を対象に、原設計モデルに基づくシミュレーション解析を行い、杭に発生する応力状態を確認する。

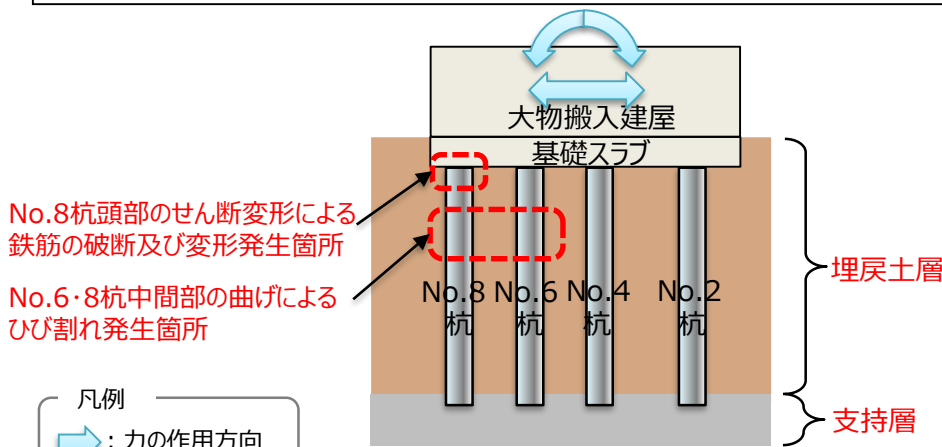


図19 慣性力イメージ図

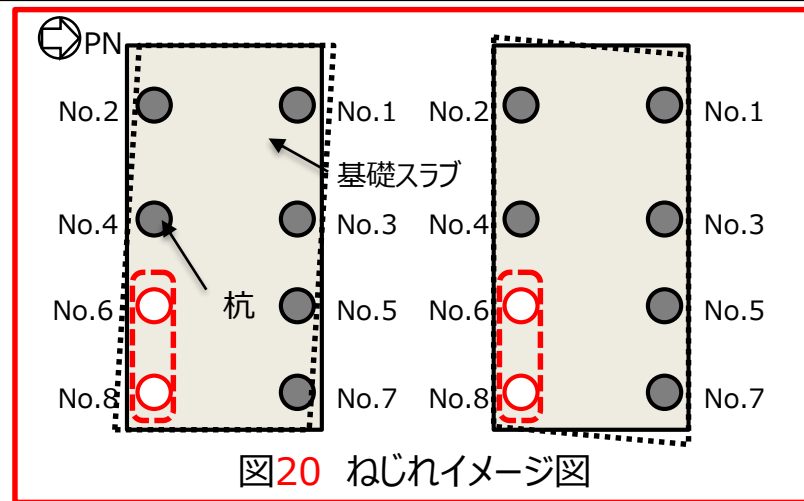


図20 ねじれイメージ図

Step2 ④地震による損傷

(2)過去経験した最大の地震（新潟県中越沖地震）

1)目的

- 最も損傷の大きいNo.8杭に着目して、供用期間中に経験した最大の地震である2007年新潟県中越沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析を行い、No.8杭頭部の鉄筋の破断を引き起こすような応力状態であったかを確認する。

2)解析方法

- 地震応答解析は、図21に示すように、原設計と同様の建屋～杭～地盤の相互作用を考慮したモデルとし、地盤は水平成層地盤、杭は8本の杭を集約してモデル化し、薄層要素法により杭と地盤の相互作用ばねを評価した。
- 入力地震動は、6号機原子炉建屋基礎版上での観測記録を基に算定した解放基盤波を用いた。
- 地盤条件（埋戻土層及び西山層）は、7号機設工認の地盤の支持性能に基づき設定した。(表7)
- 杭の応力解析においては、原設計と同様に、スウェイ・ロッキングモデルの地盤ばね反力より算定した上部構造からの慣性力および一次元波動論の応答変位により算定した地盤変位による応力を足し合わせて、杭に生じる応力を評価した。(図22)

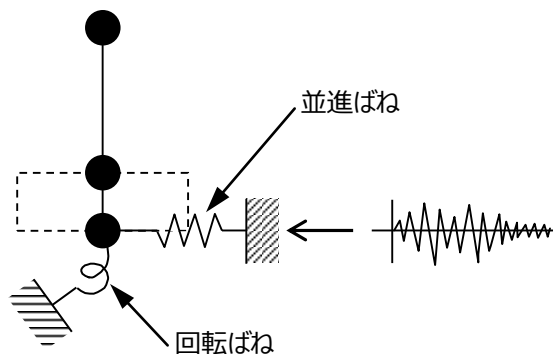


図21 地震応答解析モデル

表7 地盤条件

標準 TMSL (m)	地層	初期せん断定数 V_s (m/s)	単位体積質量 γ (kN/m ³)	初期ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 $G(kN/m^2)$	剛性低下後せん断定数 V_s (m/s)	減衰定数 $h(\%)$
12	埋戻土	152	19.0	0.483	44,800	0.40	17,900	96	9
8		192	19.0	0.483	71,800	0.16	11,400	76	15
4		215	19.0	0.483	89,400	0.16	14,300	85	16
0	西山層	490	17.0	0.451	416,000	0.96	399,000	479	3
-33		530	16.6	0.446	475,000	0.93	441,000	510	3
-90		590	17.3	0.432	614,000	0.92	564,000	565	3
-136		650	19.3	0.424	832,000	0.94	782,000	630	3
-155		解放基盤	720	19.9	0.416	1,050,000	1.00	1,050,000	720

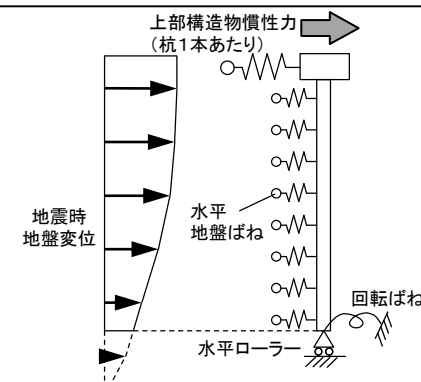


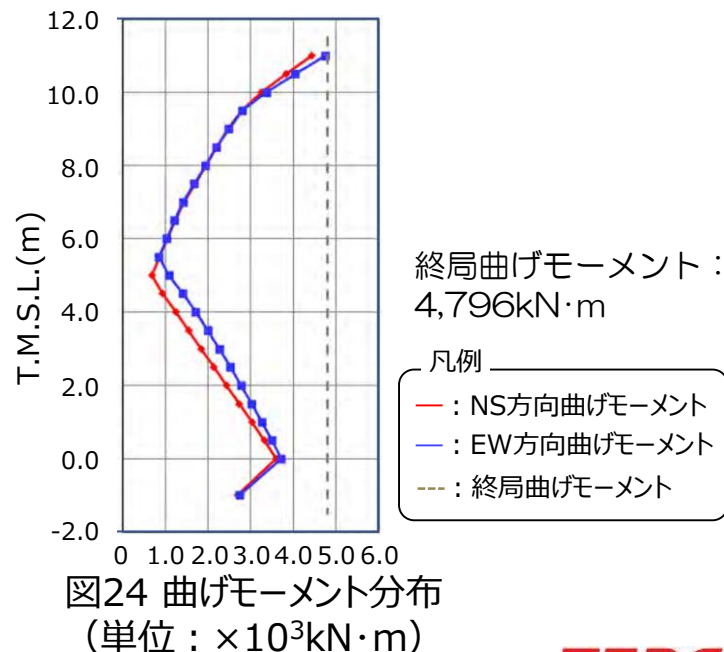
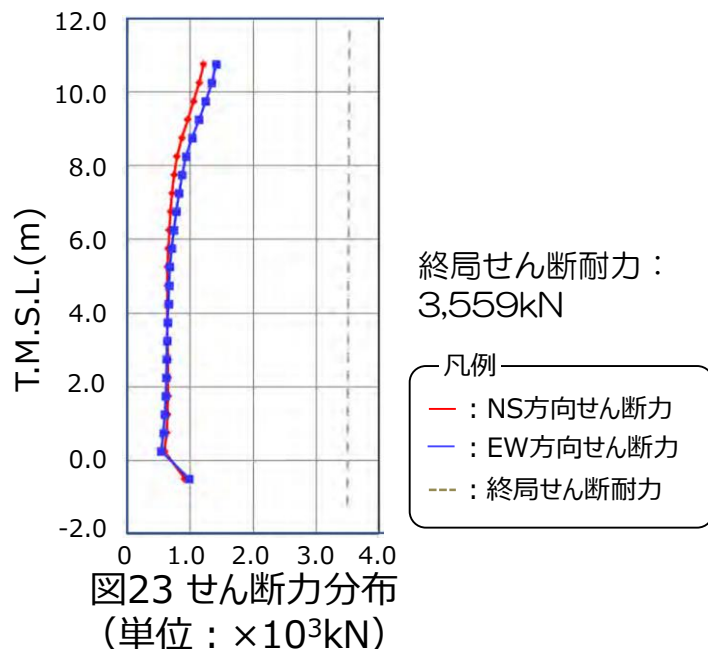
図22 杭の応力解析方法

Step2 ④地震による損傷

3)解析結果

- 図23及び図24に示すように、杭に発生するせん断力及び曲げモーメントの最大値は杭頭部で発生し断面評価の結果、せん断力及び曲げモーメントは終局耐力以下である。
- 杭の健全性調査結果では、No.6・8杭以外の杭は耐震性能に影響のない損傷状況であり、シミュレーション解析結果とは差異が見られるため、本解析結果は一定の保守性を持ったものと想定される。

以上から、中越沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析の結果、一定の保守性を持った解析結果であることが想定されるものの、No.8杭頭部の鉄筋の破断を引き起こすような応力状態には至らず、中越沖地震単独による要因ではないと考えられる。



Step2 ④地震による損傷

(3) 地盤の液状化

- 新潟県中越沖地震時に、K6大物搬入建屋近傍の地盤では、亀裂・噴砂は確認されていない。このため、K6大物搬入建屋の周辺では液状化が発生しておらず、液状化により杭が損傷に至ったことは考えにくい。(図25)



図25 中越沖地震後の亀裂・噴砂分布図

出典：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について（平成19年12月25日）より

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

- Step2において、抽出した要因①～④に対して、
 - a.No.6・8杭の特異な損傷の要因として妥当であるかの評価
 - b.設計／施工／維持管理データを踏まえた多面的な分析
 を踏まえた要因の可能性を評価した結果を表8の評価結果に示す。
- ①～③は、No.6・8杭の特異な損傷要因となる可能性は考えにくい。
- ④は、No.6・8杭の周辺地盤状況により、杭に応力集中を発生させる要因がある場合は、地震によって、No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性が考えられる。
- 次ページ以降で、No.6・8杭周辺の地盤状況を調査した。

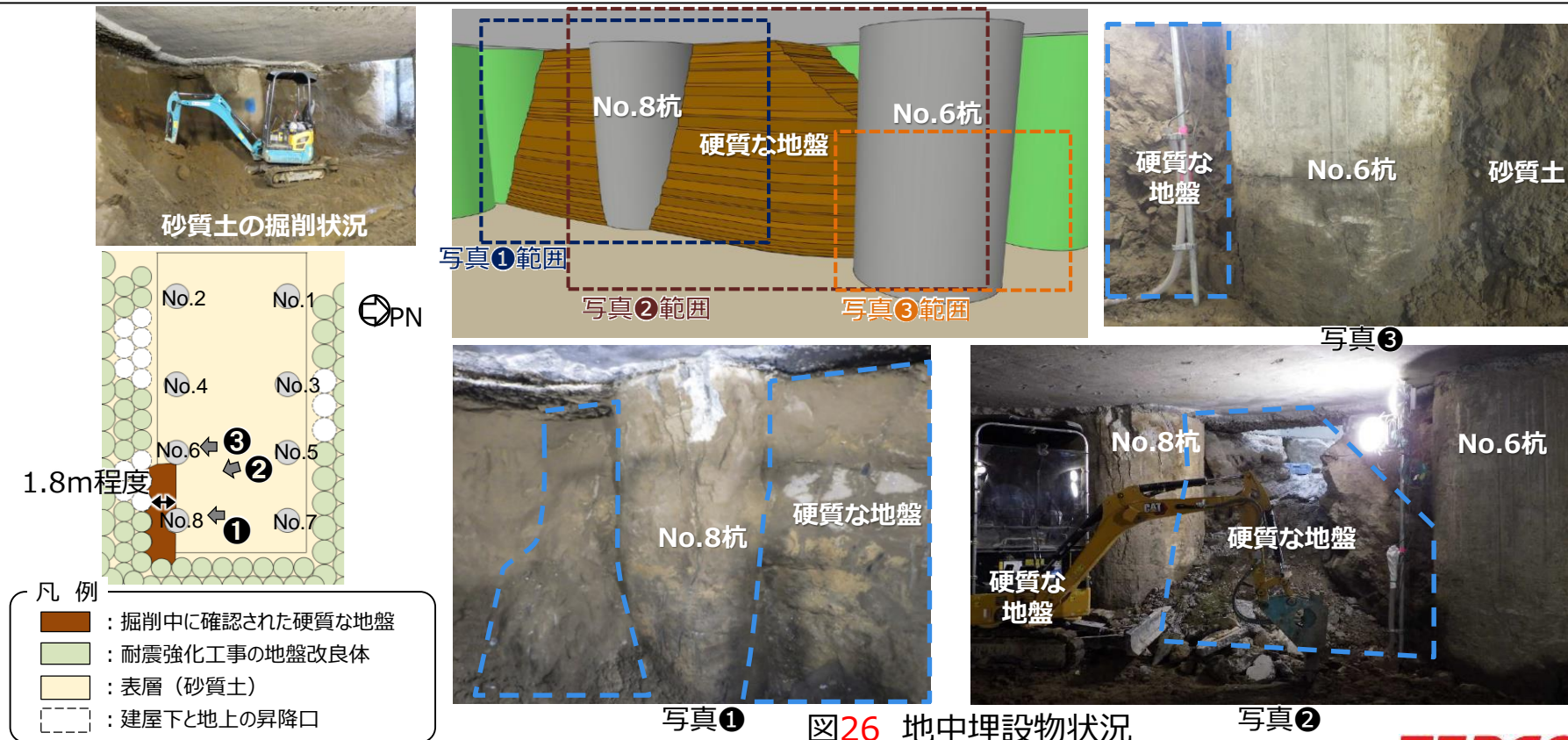
表8 損傷要因評価結果一覧表

分類	要因	評価結果
①	施工不良による損傷	施工不良によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
②	経年劣化による損傷	経年劣化によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
③	供用期間の外傷による損傷	供用期間の外傷によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
④	地震による損傷	中越沖地震シミュレーション解析を中心とした評価（建屋の慣性力・ねじれ・水平2方向・地盤変位に対する考察含む）に基づき、No.6・8杭が特異な損傷を引き起こす可能性は考えにくいと判断した。 しかし、No.6・8杭の周辺地盤により、杭に応力集中を発生させる要因があった場合は、地震によってNo.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性が考えられる。

Step2 ④'地震による損傷

(1)杭周辺地盤の状況

- No.6・8杭と特定の杭に損傷が集中していることから、今回の掘削作業時に損傷につながるような要因が無かったか、作業写真の確認や関係者への聞き取りを実施した。
- その結果、主に砂質土で構成されている地盤の中で、南東側周辺に硬質な地盤があったことを確認した。図26に地中埋設物の状況を示す。
- 硬質な地盤は、損傷が集中して見られるNo.6・8杭に干渉していることを確認した。



Step2 ④'地震による損傷

- 硬質な地盤の材料や範囲等について、建設記録の確認や協力企業への聞き取りを実施した。その結果、硬質な地盤は、6号機建設時に大型クレーン位置の地盤を補強するため、セメントと土を混ぜて作られたセメント改良土であることを確認した。図27にセメント改良土配置図を示す。
- 地震が発生した際にセメント改良土の影響でNo.6及びNo.8杭に応力が集中する可能性がある。

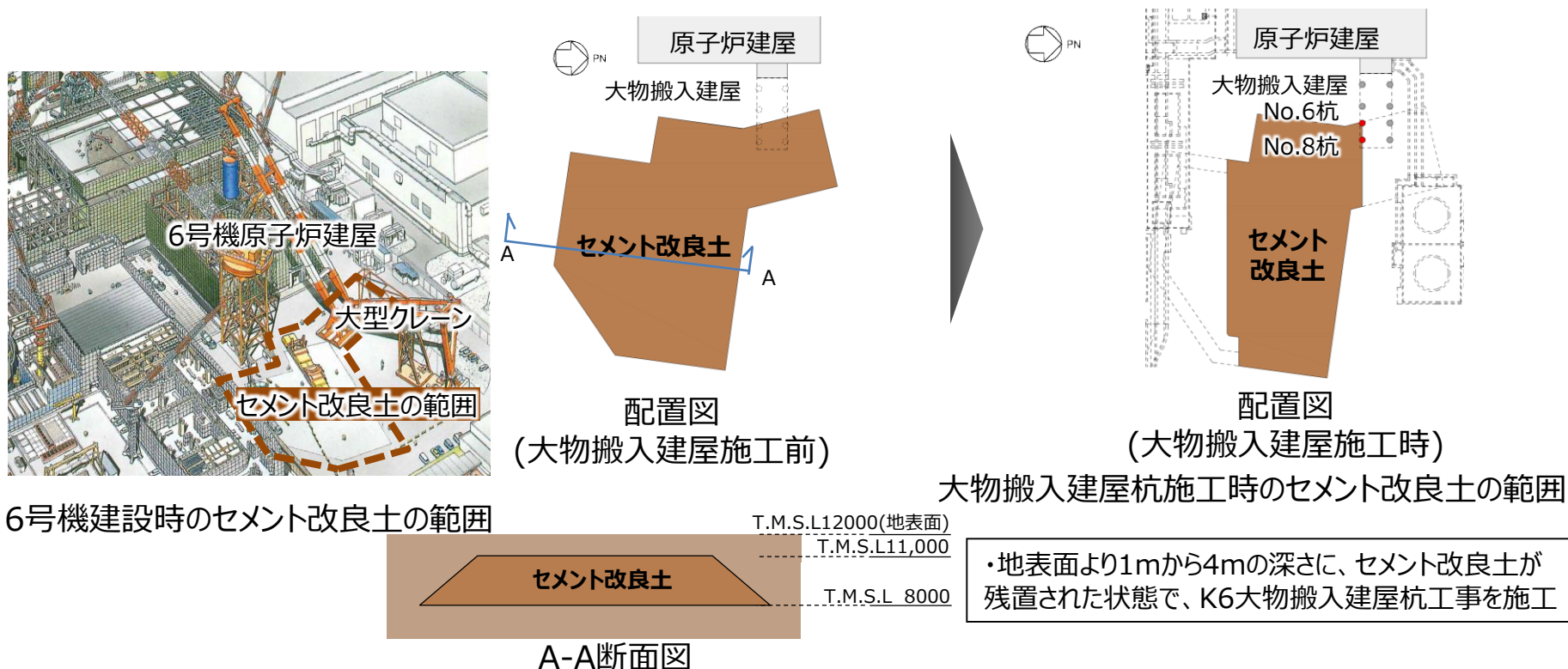


図27 セメント改良土配置図

- 大物搬入建屋の杭周辺地盤の状況を調査した結果、No.6・8杭周辺にセメント改良土が干渉していることを確認した。(表9内、最下段)
- 地震が発生した際にセメント改良土の影響でNo.6・8杭に応力が集中する可能性がある。

以上から、「セメント改良土による応力集中」を推定要因として絞り込み、Step3で解析的検証を行う。

表9 損傷要因調査結果一覧表

P.30再掲

分類	要因	評価結果
①	施工不良による損傷	施工不良によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
②	経年劣化による損傷	経年劣化によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
③	供用期間の外傷による損傷	供用期間の外傷によりNo.6・8杭が損傷に至ったとは考えにくいと判断した。
④	地震による損傷	中越沖地震のシミュレーション解析を中心とした評価（建屋の慣性力・ねじれ・水平2方向・地盤変位に対する考察含む）に基づき、No.6・8杭が特異な損傷を引き起こす可能性は考えにくいと判断した。
④'	地震による損傷 (セメント改良土による応力集中)	地震が発生した際にセメント改良土の影響でNo.6・8杭に応力集中する可能性がある。

- 損傷要因評価フローから、推定要因として絞り込んだ「地震による損傷（セメント改良土による応力集中）」について、「杭の損傷状況」と「周辺地盤状況」から以下の損傷メカニズムを推定した。

「杭の損傷状況」

- ① No.8杭頭部にせん断変形による鉄筋の破断及び変形が発生している。（図28）
- ② No.6・8杭中間部に曲げによるひび割れが発生している。

「周辺地盤状況」（図29）

- ・No.6・8杭の周辺には、基礎スラブ下約3mの範囲でセメント改良土が中越沖地震時に存在した。

上記より、

- ① No.8杭頭部がセメント改良土により拘束されたため、せん断により損傷した。
- ② No.6・8杭中間部がセメント改良土の影響による曲げにより損傷した。

と推定した。

杭頭部がせん断により損傷



はつり後の拡大写真
(鉄筋変形)

図28 No.8杭の杭頭部の損傷状況

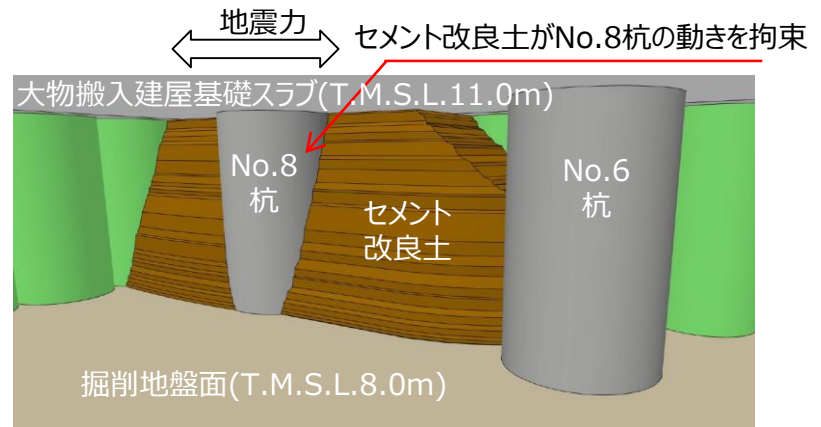


図29 杭とセメント改良土の位置関係

①No.8杭頭部がセメント改良土により拘束されたため、せん断により損傷したことに対する検証

(1)損傷メカニズム

- セメント改良土によってNo.8杭の変形が拘束されたため、地震力の多くが集中的に伝達された結果、杭頭部がせん断破壊したものと推定。
- No.8杭がセメント改良土に拘束された状態でのK6大物搬入建屋から杭への地震力（慣性力）の伝達状態を図30に示す。

(2)No.8杭の解析的検証の内容

- セメント改良土がNo.8とNo.6のみに干渉していることが確認されたため、地震時にセメント改良土が杭を拘束することを想定して、3次元FEMモデルを作成して杭への応力伝達を検証した。
- 杭頭部のせん断力は、建屋からの地震時の慣性力が支配的であり、地盤変形の影響は小さいため、建屋からの慣性力に着目した解析とした。

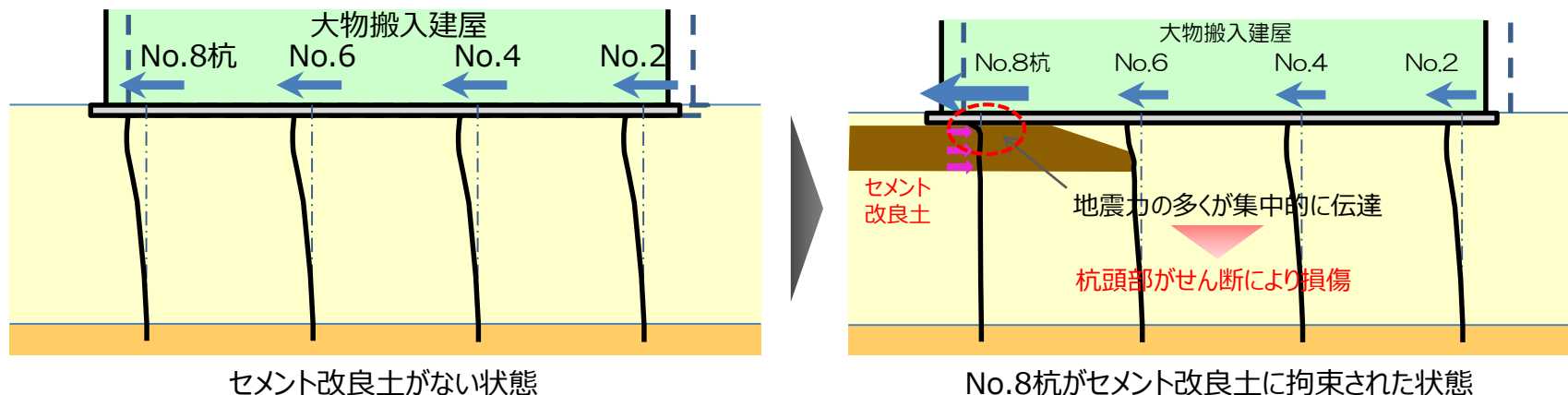


図30 地震力伝達状態（イメージ）

- セメント改良土によってNo.8杭の変形が拘束されたことに着目し、基礎を水平方向に加力した場合の3次元FEM静的応力解析を行い、セメント改良土による杭頭せん断力分担率への影響を確認する。
- 加力方向は、杭の損傷状況及び中越沖地震の観測記録等より東西方向の揺れが卓越していたことから、西から東方向とした。また、せん断力分担率の傾向把握を目的としているため1方向加力とする。
- 3次元FEM静的応力解析のイメージを図31に、建屋周辺の解析モデル図を図32に示す。
- 解析ケースは「セメント改良土なし」と「セメント改良土あり」の2ケースで検証した。

大物搬入建屋の基礎を水平方向に加力し、杭頭せん断力の分担率を算出する。

Case1：セメント改良土なし

Case2：セメント改良土あり

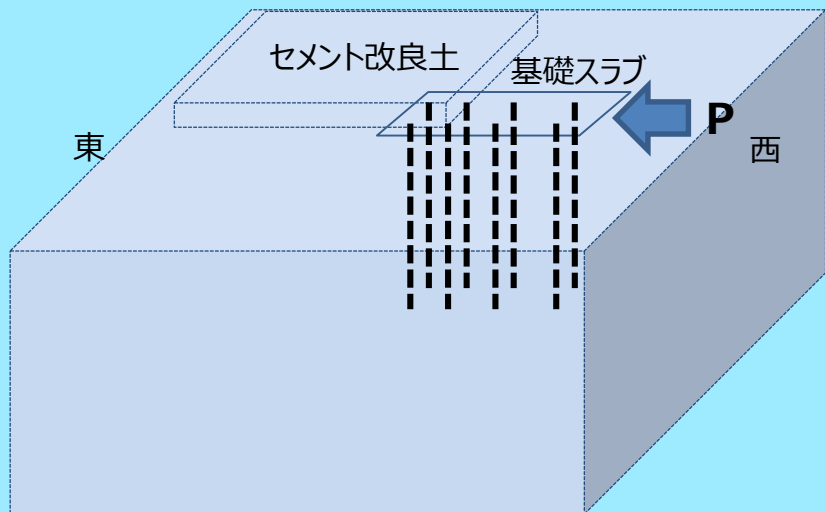


図31 3次元FEM静的応力解析のイメージ

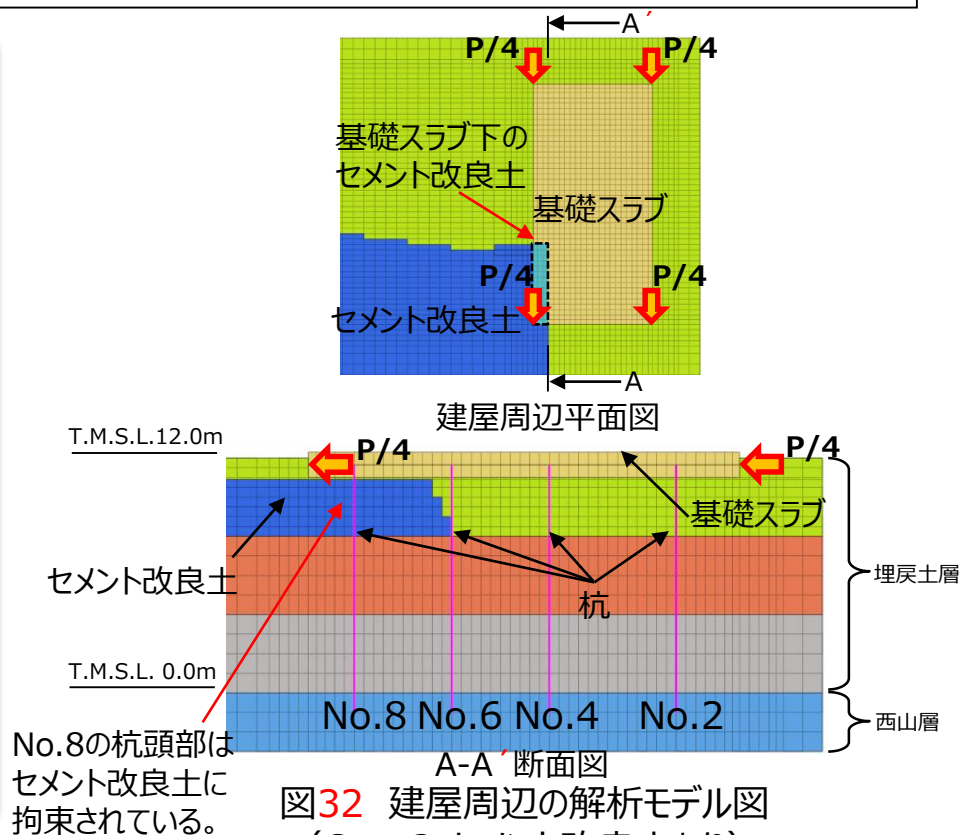


図32 建屋周辺の解析モデル図 (Case2:セメント改良土あり)

(3)No.8杭の解析的検証の結果

- K6大物搬入建屋の基礎を水平方向に加力した場合の「セメント改良土なしの場合」と「セメント改良土ありの場合」の杭のせん断力分布を図33に示す。

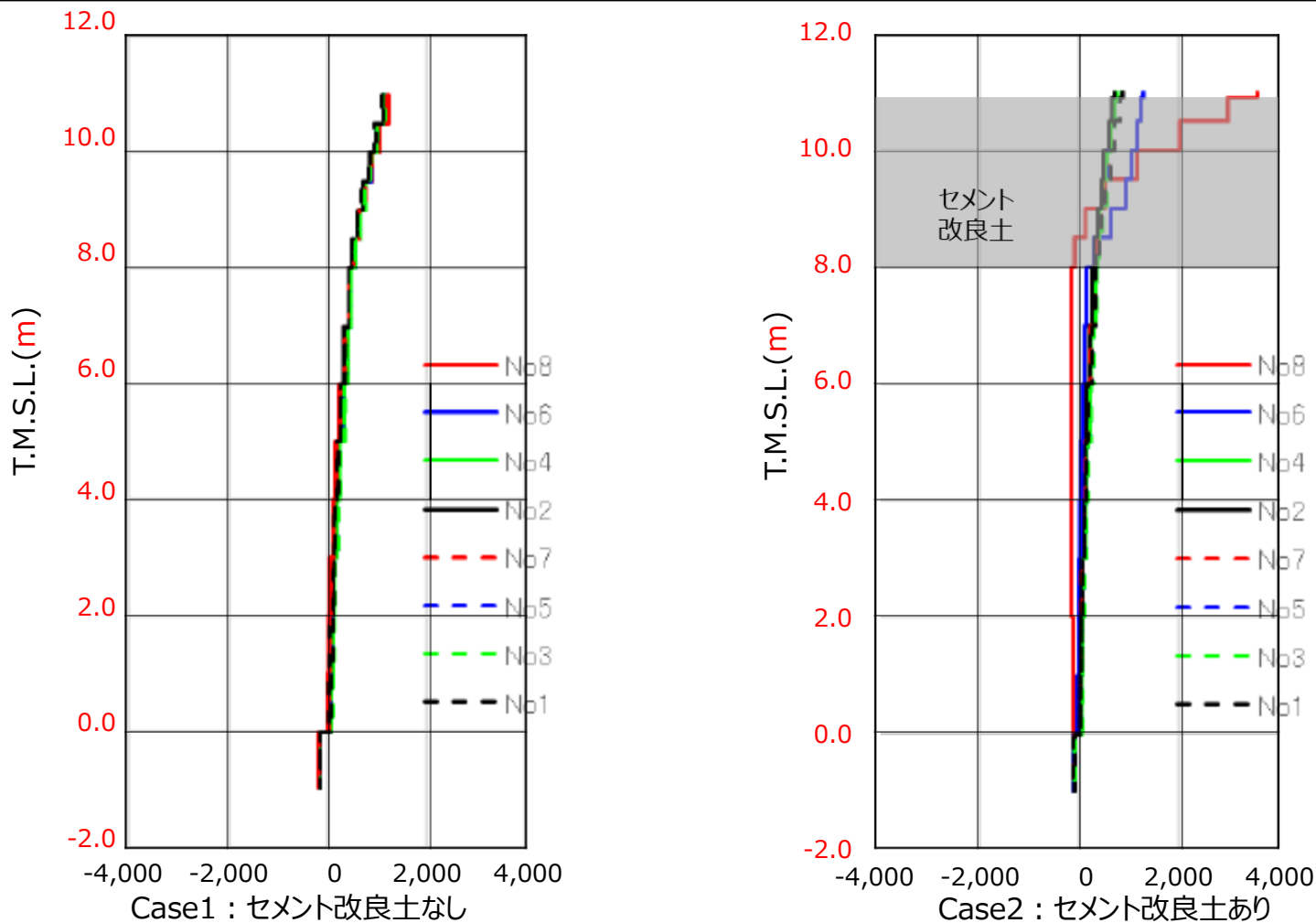


図33 杭のせん断力 (単位: kN)

- 図34に杭頭せん断力の最大値の比率を示す。
- No.8杭周辺のセメント改良土を模擬したケースでは、セメント改良土がないケースに比べ杭頭せん断力が3倍程度大きくなり、セメント改良土の影響でNo.8杭に応力集中する傾向を確認した。

以上から、No.8杭がセメント改良土に拘束されていたことが損傷要因と考えられる。

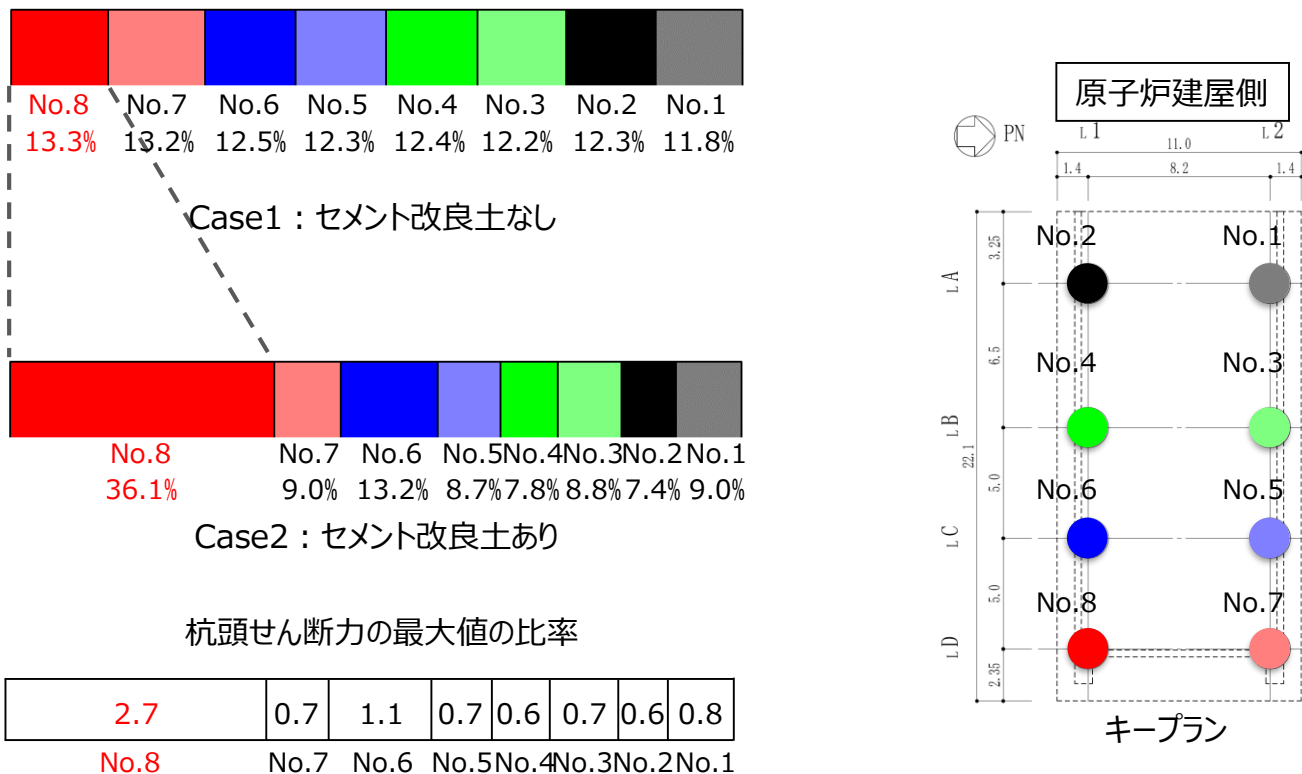


図34 Case2/Case1の比率

②No.6・8杭の中間部がセメント改良土の影響による曲げにより損傷したことに対する検証

(1) 損傷メカニズム

- 剛性の高いセメント改良土と剛性の低い埋戻土の境界部で曲げモーメントが大きくなり、No.6・8杭中間部に曲げひび割れが発生したと推定。
- No.6・8杭がセメント改良土に拘束された状態の、杭に生じる想定曲げモーメントを図35に示す。

(2) No.6・8杭の解析的検証の内容

- セメント改良土がNo.6・8のみに干渉していることが確認されたため、地震時にセメント改良土が杭を拘束することを想定して、3次元FEMモデルを作成して杭への応力伝達を検証した。
- 剛性の高いセメント改良土と剛性の低い埋戻土の境界部における曲げモーメントの発生状況を確認するため、地盤変位に着目した解析とした。
- セメント改良土がNo.6・8杭を拘束した条件に加え、No.8杭頭部がせん断により損傷した場合の応力の発生状況を確認するため、No.8杭頭部が基礎スラブと接合していない条件も併せて検証した。

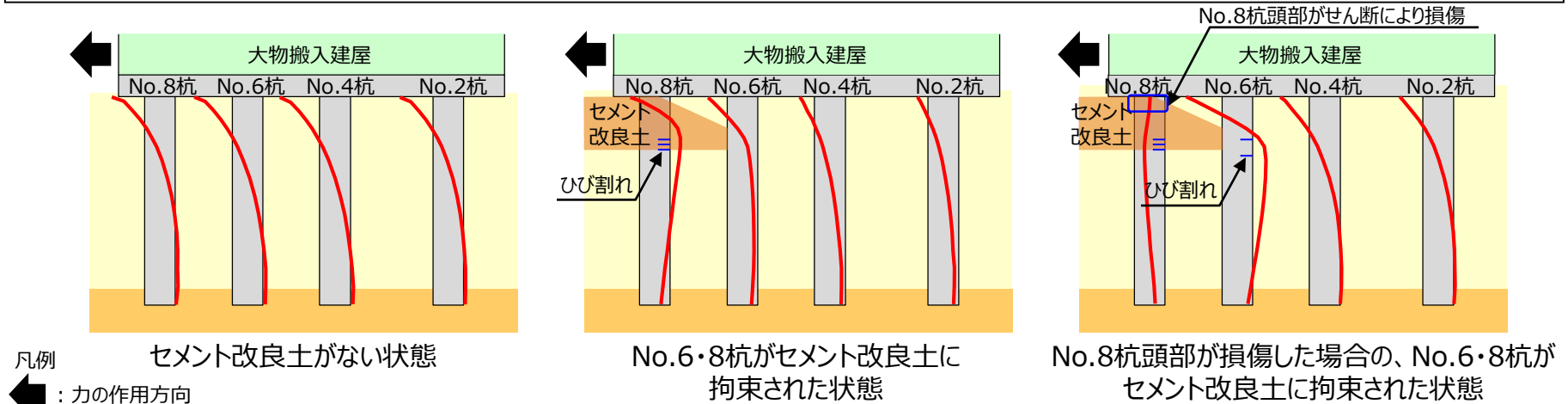


図35 杭に生じる想定曲げモーメント (イメージ)

- セメント改良土と埋戻土層の境界部における曲げモーメントの発生状況を確認するため、地盤に対して慣性力を与えた場合の3次元FEM静的応力解析を実施した。
- 3次元FEM静的応力解析のイメージを図36に、建屋周辺の解析モデル図を図37に示す。
- 解析ケースは、「セメント改良土なし」、「セメント改良土あり」に加え、No.8杭頭部がせん断により損傷している場合の応力の発生状況を確認するため、No.8杭頭部が基礎スラブと接合していない条件「セメント改良土あり（No.8杭頭部損傷後）」の3ケースで検証した。

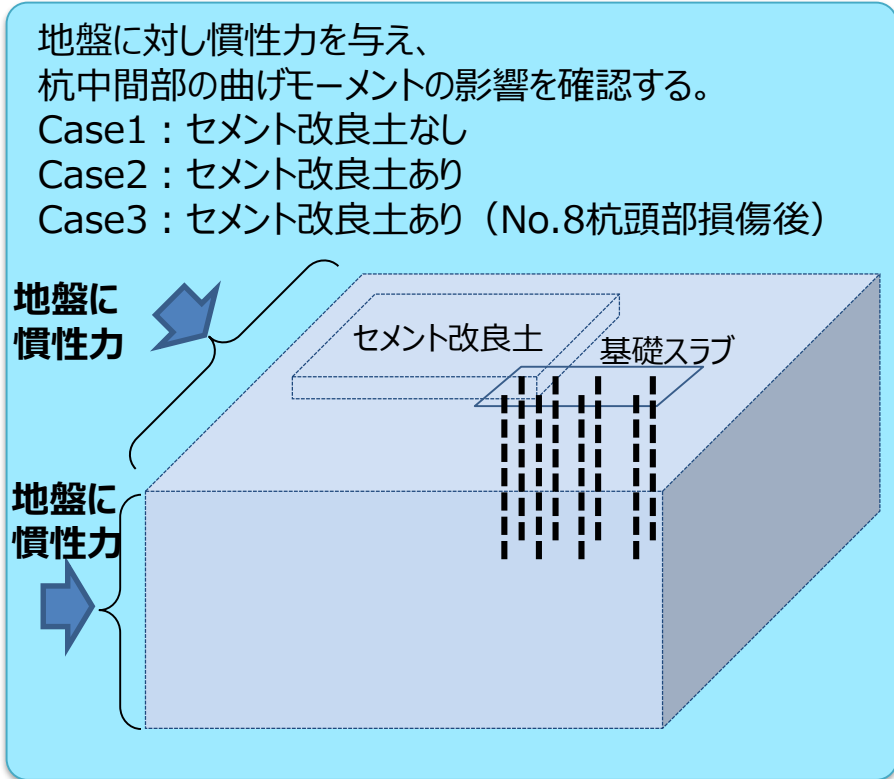


図36 3次元FEM静的応力解析のイメージ

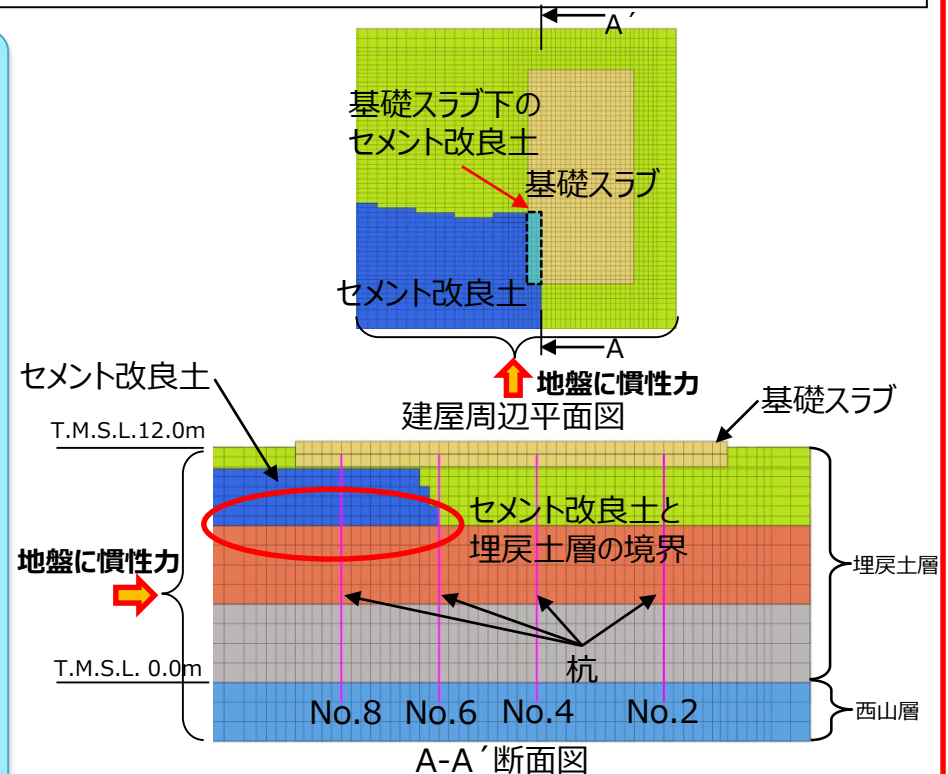


図37 建屋周辺の解析モデル図
(Case2:セメント改良土あり)

(3)No.6・8杭の解析的検証の結果

- Case1~3における曲げモーメントの解析結果を図38に示す。
- Case1の場合、全ての杭で曲げモーメントの発生状況に大きな差は見られない。
- Case2の場合、No.8杭中間部のT.M.S.L.8m付近で曲げモーメントが大きくなっている。
- Case3の場合、No.6杭中間部のT.M.S.L.8m付近で曲げモーメントが大きくなっている。

以上から、No.6・8杭がセメント改良土に拘束されていたことが、No.6・8杭中間部に曲げひび割れが発生した要因と考えられる。

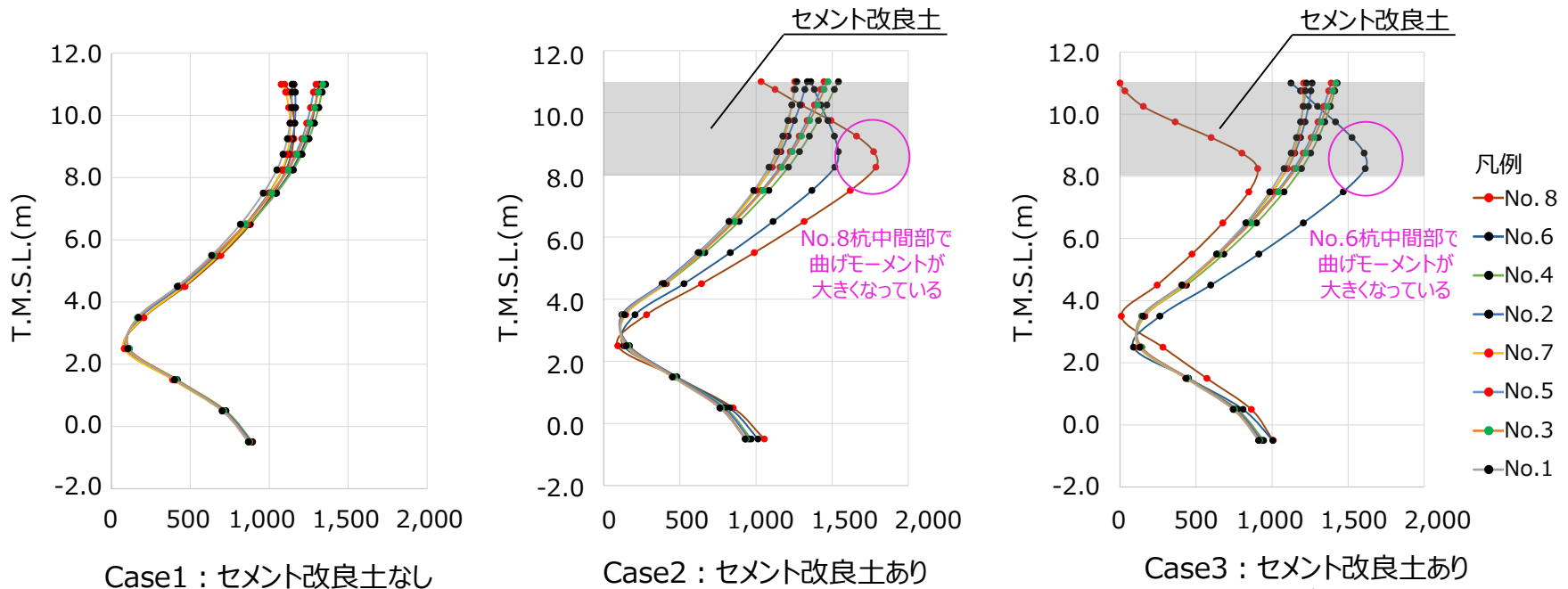
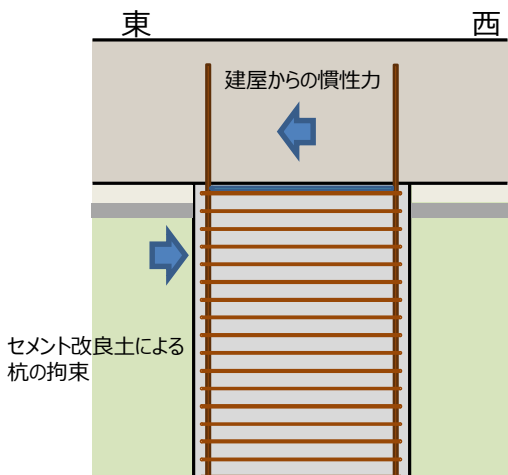
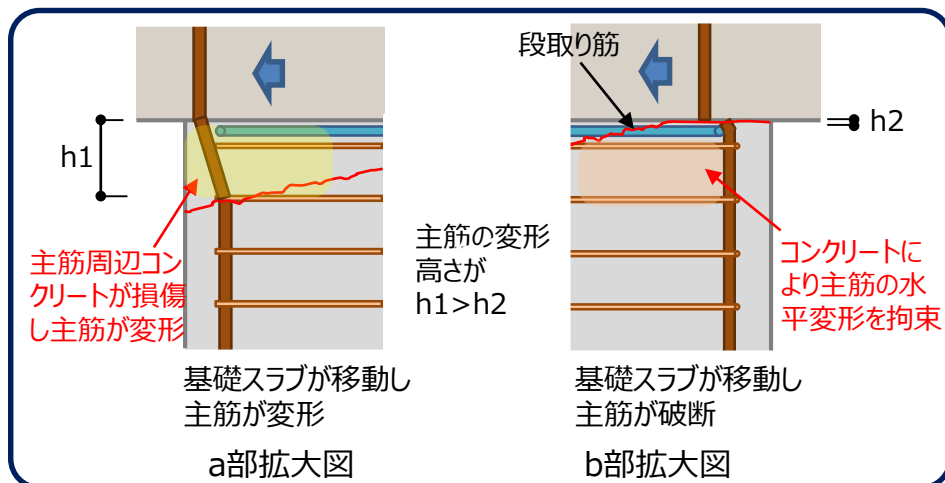
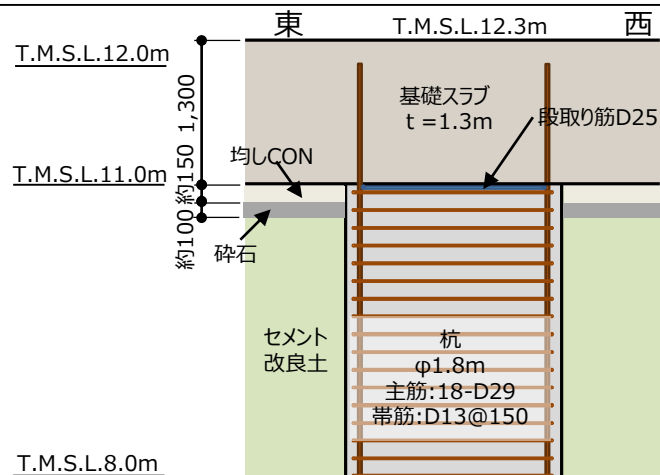


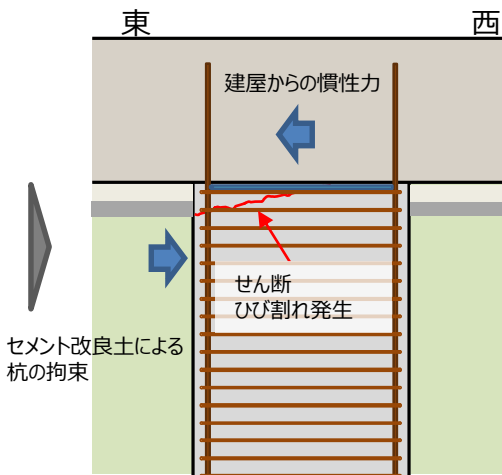
図38 杭の曲げモーメント (単位: kN・m)

3.6 No.8杭頭部の鉄筋破断のメカニズム

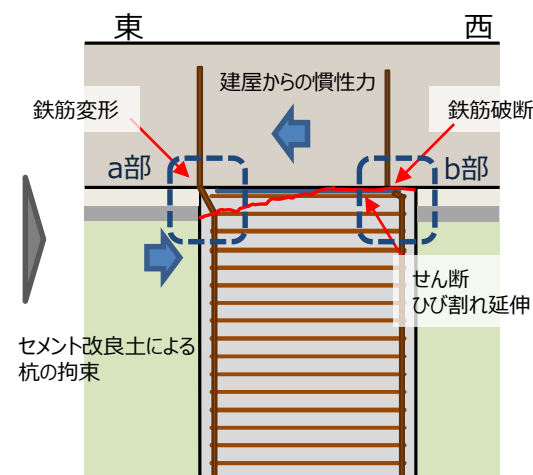
➤ No.8杭頭部の鉄筋破断の概念図を図39に示す。杭頭部に発生したせん断ひび割れにより、基礎スラブと杭頭部にズレが生じ、東側は主筋周辺コンクリートが損傷したことにより主筋が変形し、西側は主筋周辺コンクリートが水平変位を拘束したことにより、主筋が破断したものと考えられる。



ステップ1



ステップ2



ステップ3

図39 No.8杭頭部の鉄筋破断のメカニズム (イメージ)

1. 杭の健全性調査結果

- 杭の健全性調査の結果、No.1～5・7杭とNo.6・8杭の損傷の程度は明らかに異なり、No.6・8杭に特異な力が作用したものと考えられる。
 - ✓ No.8杭頭部にせん断変形による鉄筋の破断・変形が発生している。
 - ✓ No.6・8杭中間部に曲げによるひび割れが発生している。
 - ✓ No.1～5・7杭は支持性能に影響を与えるような損傷がない。

2. 杭の損傷要因の絞り込み

- No.6・8杭の損傷要因を特定するために損傷要因評価フローに基づき、Step1として「損傷要因の抽出」を、Step2で「損傷要因の絞り込み」を実施した。
- その結果、「セメント改良土による応力集中」を推定要因として抽出した。

3. 杭の損傷要因の検証

- 推定要因から、下記の解析的検証を実施した。
 - ✓ No.8杭頭部のせん断変形による鉄筋の破断及び変形に伴い、杭頭部のせん断に着目した解析
 - ✓ No.6・8杭中間部の曲げひび割れに伴い、杭中間部の曲げモーメントに着目した解析
- 杭頭部のせん断に着目した解析におけるセメント改良土を模擬したケースでは、セメント改良土がないケースに比べ、No.8杭の杭頭せん断力が3倍程度大きくなることを確認した。
- 杭中間部の曲げに着目した解析におけるセメント改良土を模擬したケースでは、No.8杭中間部に大きな曲げモーメントが発生することを確認した。またNo.8杭頭部の損傷を考慮した場合、No.6杭中間部に大きな曲げモーメントが発生することを確認した。

以上から、No.6・8杭がセメント改良土に拘束されていたことが損傷要因と特定した。

- 原設計の杭の地震荷重に対する設計フローを図40に示す。
- 上部構造からの地震力は、スウェイ・ロッキングモデルの地盤ばね反力により算定し、地盤変位は、一次元波動論の応答変位により算定している。（図41）

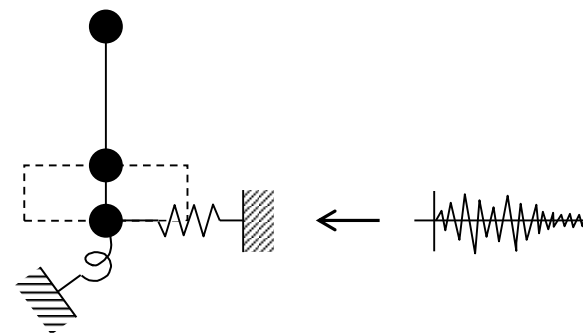
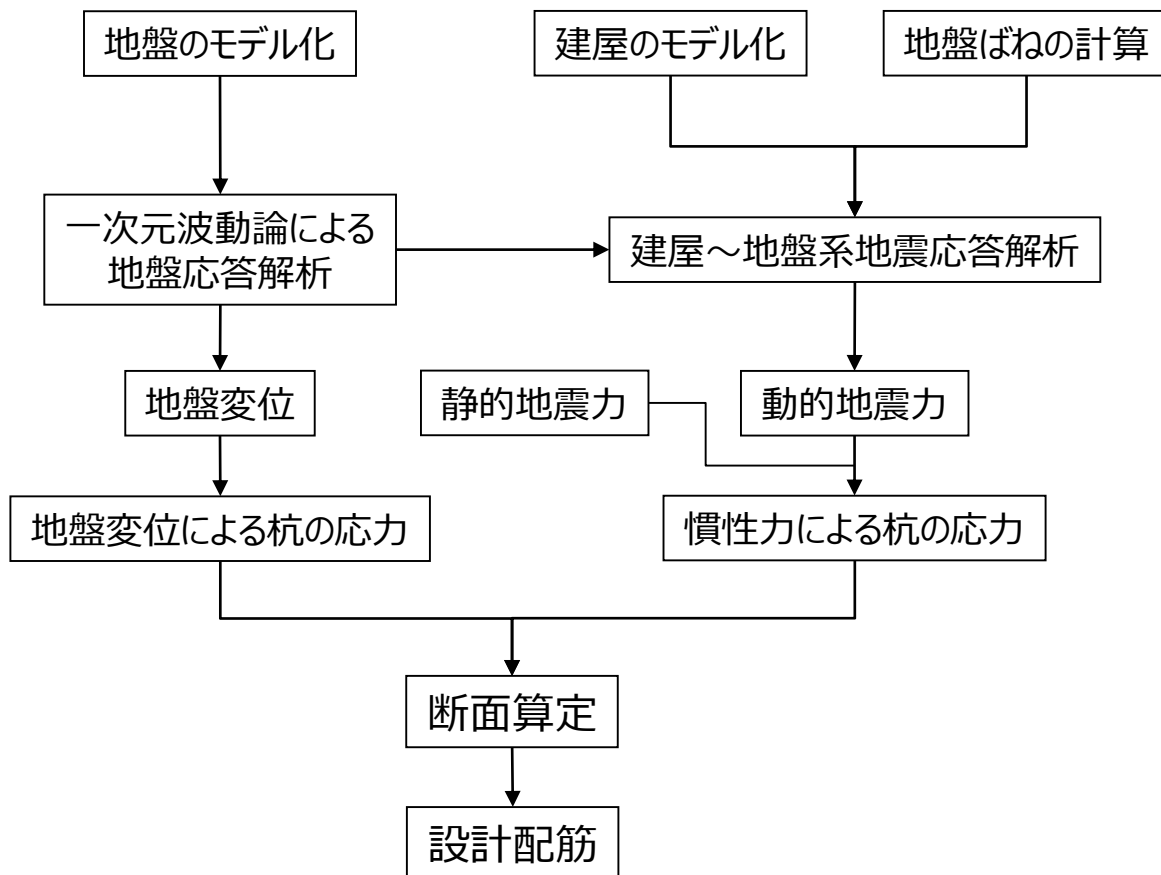


図41 地震応答解析モデル

図40 杭設計フロー

▶ 原設計での設計地震力での杭頭のせん断力及び曲げモーメントの発生応力及び断面算定結果を表10～12に示す。

表10 せん断及び曲げモーメント

		3.0Ci	基準地震動S1
NS方向	せん断力 (kN)	6,404	10,640
	曲げモーメント(kN・m)	31,685	34,872
EW方向	せん断力 (kN)	6,404	10,660
	曲げモーメント(kN・m)	31,685	34,931

表11 杭頭せん断力の検討

せん断力 (kN)	発生応力			短期許容応力との比較	
	地盤変位による 応力	慣性力による 応力	設計応力:Q	Qa (kN)	Q/Qa
	28	1,252	1,280	1,740	0.736

表12 杭曲げモーメントの検討

曲げモーメント (kN・m)	発生応力			設計配筋比に対する必要鉄筋比の比較		
	地盤変位による 応力	慣性力による応力	設計応力	必要鉄筋比reqPt	設計配筋比dPt	reqPt/dPt
	929	2,346	3,275	0.435%	0.454%	0.958

➤ 基準地震動S₁による杭の発生応力（せん断力）を図42に示す。

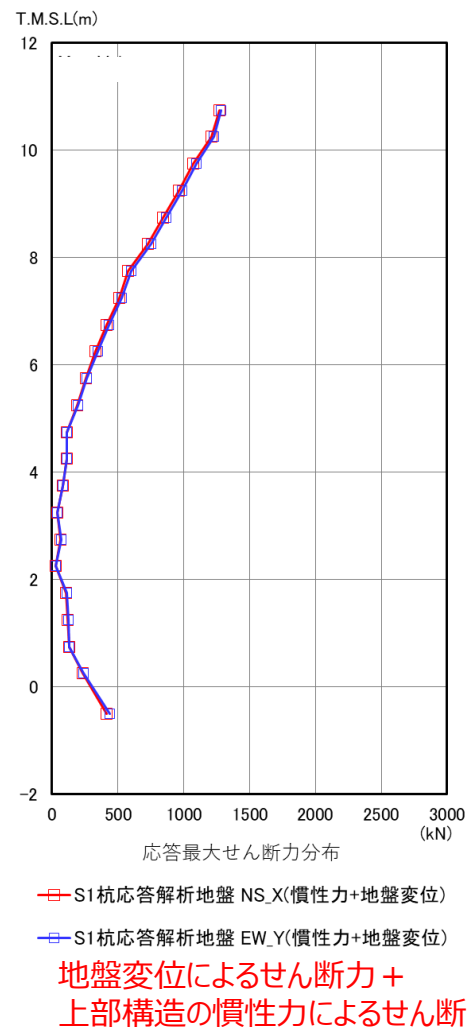
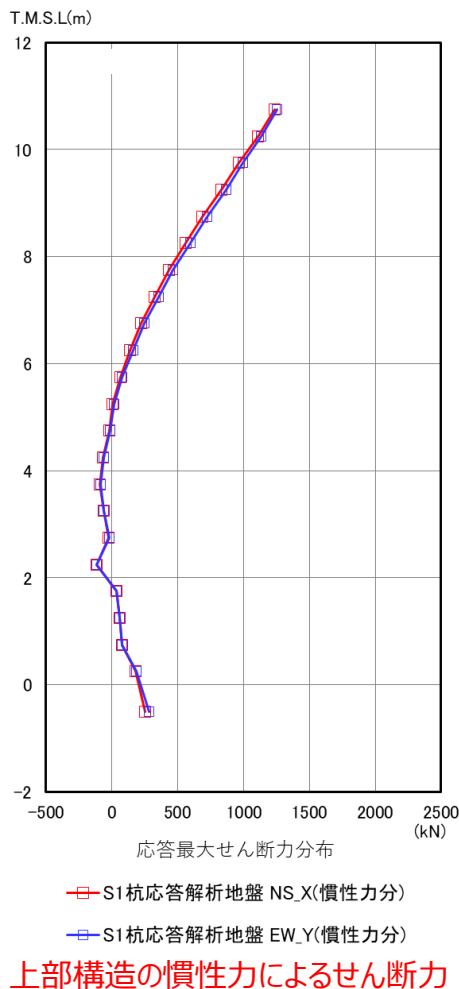
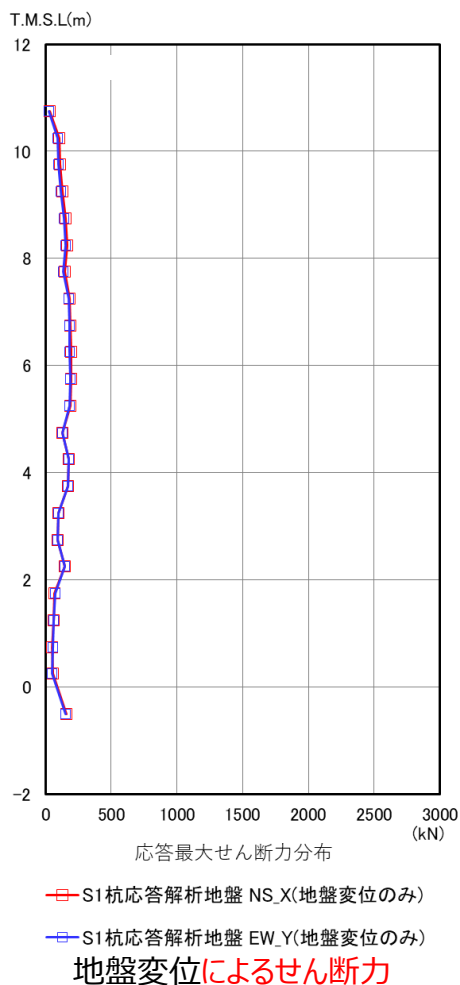
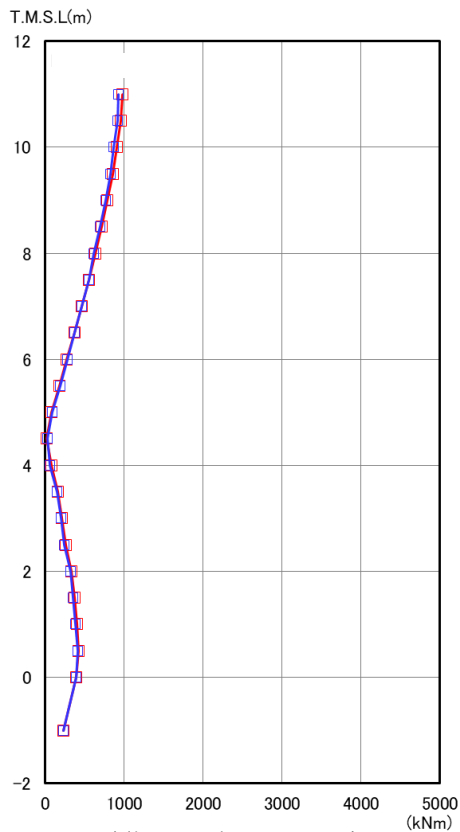


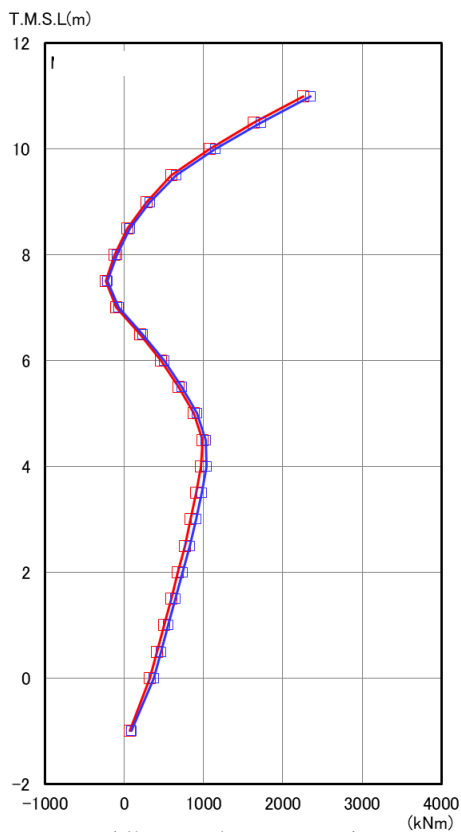
図42 杭のせん断力（静的解析）

➤ 基準地震動S₁による杭の発生応力（曲げモーメント）を図43に示す。



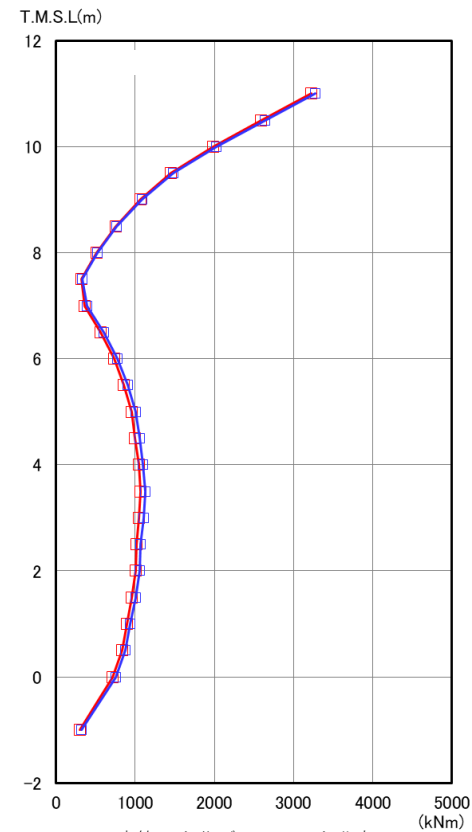
—■— S1杭応答解析地盤 NS_X(地盤変位のみ)
 —□— S1杭応答解析地盤 EW_Y(地盤変位のみ)

地盤変位による曲げモーメント



—■— S1杭応答解析地盤 NS_X(慣性力分)
 —□— S1杭応答解析地盤 EW_Y(慣性力分)

上部構造の慣性力による曲げモーメント



—■— S1杭応答解析地盤 NS_X(慣性力+地盤変位)
 —□— S1杭応答解析地盤 EW_Y(慣性力+地盤変位)

地盤変位による曲げモーメント+
 上部構造の慣性力による曲げモーメント

図43 杭の曲げモーメント（静的解析）

①モデル化及び境界条件

- 図44に3次元静的FEM解析モデル図を示す。
- モデル化範囲は、大物搬入建屋とセメント改良土の残置範囲を包絡できるように設定した。
- 地盤及び大物搬入建屋は以下の要素でモデル化する。
 - ・地盤：ソリッド要素（弾性）
 - ・大物搬入建屋
 - 基礎スラブ：シェル要素（弾性）
 - 杭：はり要素（弾性）
- 境界条件は以下の通り。
 - ・基礎スラブ
 - 底面：全自由度固定、側面：Z方向固定
 - また、加力方向と平行する側面は面外変形(X方向)も固定する。

・杭

支持層面：接点共有
他、いずれも接点共有

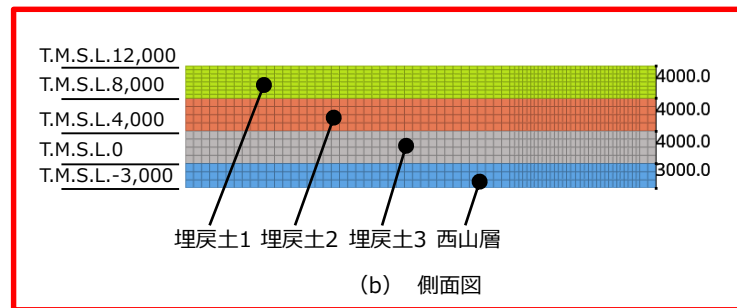
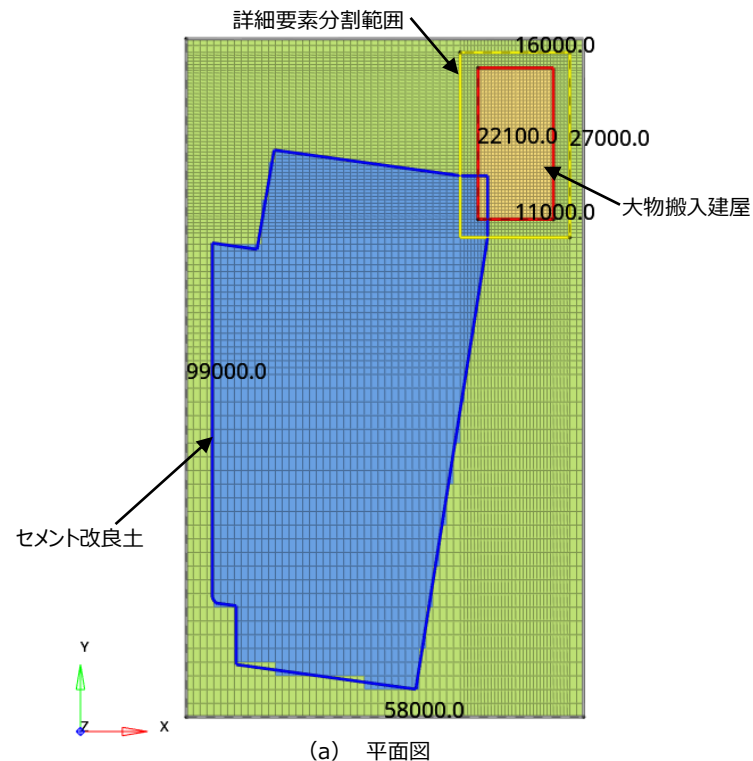


図44 解析モデル図（セメント改良土あり）
（単位：mm）

②地盤及び大物搬入建屋の物性値

➤ 3次元FEM静的応力解析に用いた大物搬入建屋周辺の解析モデル図を図45に、地盤の物性値、材料物性値及び杭の断面性能を表13～表15に示す。

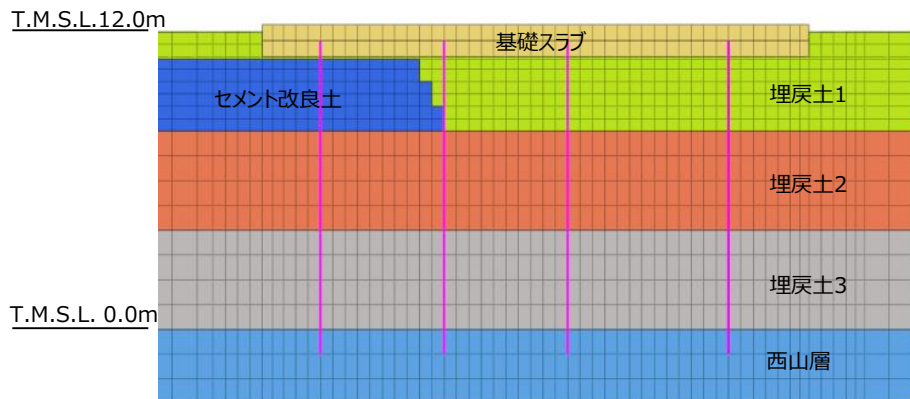


図45 大物搬入建屋周辺の解析モデル図
(Case2:セメント改良土あり)

表13 地盤の物性値

地層	せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比
■: 埋戻土1	1.79×10^4	0.483
■: 埋戻土2	1.14×10^4	0.483
■: 埋戻土3	1.43×10^4	0.483
■: 西山層	3.99×10^5	0.451
■: セメント改良土※	5.42×10^5	0.410

※ボーリングコア2か所の実強度の平均値により物性値を設定

表14 大物搬入建屋（基礎スラブ及び杭）の材料物性値

	ヤング係数 (kN/m ²)	ポアソン比
基礎スラブ	2.88×10^7	0.2
杭	2.50×10^7	0.2

表15 杭の断面性能

外形 D(mm)	全断面積 (m ²)	せん断 断面積 A _s (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)
1,800	2.545	2.313	0.5153