

## 柏崎刈羽原子力発電所 6 号機大物搬入建屋の杭の損傷要因の 確認結果及び今後の対応

令和 4 年 12 月 7 日  
原子力規制庁

### 1. 趣旨

本議題は、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）柏崎刈羽原子力発電所 6 号機大物搬入建屋の杭の損傷について、以下の事項を報告するものである。

- ① 東京電力が実施した損傷要因に係る分析の確認結果
- ② 東京電力が実施した 6 号機大物搬入建屋以外の主要な杭支持構造物を対象とした追加調査の概要
- ③ 6 号機及び 7 号機の設計及び工事の計画の認可（以下「設工認」という。）との関係
- ④ 原子力規制庁（以下「規制庁」という。）の今後の対応

### 2. 経緯

令和 3 年 7 月 9 日に、東京電力が柏崎刈羽原子力発電所 6 号機大物搬入建屋の耐震強化工事を実施していたところ、同建屋の杭に損傷が発見された。令和 3 年 11 月 10 日の原子力規制委員会（以下「委員会」という。）において、本事業案について報告を行い、その後の対応については、規制庁が適切な時期に現地で目視確認を行った上で、6 号機の設工認の審査の中で議論を進めることを基本とし、途中で何らかの発見があれば、その都度、委員会に報告することとされた。

これを受け、規制庁は、令和 4 年 3 月 1 日に現地確認を行った上で、3 月 2 日の委員会においてその概要報告を行い、6 号機の設工認の新規制基準適合性審査において、東京電力による杭の損傷要因に係る分析の成立性を確認することとされた。その後、審査会合（7 月 28 日、10 月 20 日及び 11 月 21 日）において、東京電力が行った分析及び調査について確認を行った。

### 3. 6 号機大物搬入建屋の杭の損傷要因に係る分析の確認結果

令和 4 年 3 月時点で、東京電力は、杭の損傷要因を、建設残置物（6 号機の建設工事のための大型クレーンを設置する位置の地盤を補強するために作られたセメント改良土）が、6 号機大物搬入建屋の一部の杭を拘束している状況のもとで地震力が作用し、当該一部の杭に応力が集中したことによるものと示していたが、この損傷要因を特定するための分析が不十分であったことから、規制庁は、東京電力に十分に分析を行った上で損傷要因を特定するよう求めた。

これに対し、東京電力は、以下の調査等を行い、杭の損傷要因の特定を行った（別紙 1 及び別紙 3）。また、東京電力は、これらに加え、損傷要因の特定をより確かなものとするために、建設残置物の影響を受けていない杭支持構造物で

ある4号機大物搬入建屋の杭の調査を行い、杭の耐震性に影響するような損傷がないことを確認した（別紙2）。

- ・杭の損傷状況に係るデータの整理及び考察
- ・地震による杭の被害事例や杭の破壊形態に係る既存の論文等の参照による一般的な杭の破壊形態との比較検証
- ・杭の損傷要因の体系的かつ網羅的な抽出
- ・杭の損傷要因の絞り込みについて、その考え方及びプロセス、杭の設計データ及び施工データの整理
- ・杭の損傷要因の検証において行う解析的検証の方針、方法、条件及び結果の整理

規制庁は、東京電力による杭の損傷要因の特定について、以下のとおり、十分に検討が行われており、特定された損傷要因以外の要因で今回の杭の損傷が発生したとは考えにくいことから、建設残置物が6号機大物搬入建屋の一部の杭を拘束している状況のもとで地震力が作用し、当該一部の杭に応力が集中したことによるものと損傷要因を特定していることは妥当であると判断した。

- ・杭の損傷状況等の把握及び考察並びに一般的な杭の破壊形態との比較検証を行った上で、網羅的に損傷要因を抽出し、その各々に対する検討により、損傷要因の絞り込みを行っていること。
- ・絞り込んだ損傷要因について、解析による検証を行い、損傷要因を特定していること。
- ・また、これらに加え、建設残置物の影響を受けていない4号機大物搬入建屋の杭の調査を実施することにより、損傷要因の特定をより確かにしていること。

#### 4. 6号機大物搬入建屋以外の主要な杭支持構造物を対象とした追加調査の概要

東京電力は、6号機大物搬入建屋と同様にセメント改良土等の建設残置物が杭に干渉していないか確認するため、柏崎刈羽原子力発電所内の主要な杭支持構造物<sup>1</sup>（杭に接する地盤改良を実施したものを除く。）を対象に、追加調査として、工事記録等の確認及び聞き取り調査、表面波探査、掘削調査並びにボーリング調査を実施した。当該調査の状況は以下のとおり（別紙2）。

なお、東京電力は、杭支持構造物以外の直接基礎の構造物は、建設時に基礎底面まで掘削を行い地中残置物がないことを直接確認していることから、調査対象とはしていない。

<sup>1</sup> 耐震上の重要性を考慮し基準地震動 $S_s$ による耐震評価が要求される施設とする。具体的には、設計基準対象施設のうち耐震重要施設、耐震重要施設の間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設、並びに重大事故等対処施設（基準地震動 $S_s$ による耐震評価が要求される施設に限る。以下同じ。）、重大事故等対処施設の間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設に該当する杭支持構造物を基本として選定（1～5号機については、7号機の設工認（令和2年10月14日認可）を参考に類似の施設を選定。）

(1) 6号機フィルタベント基礎<sup>2</sup>

掘削調査の結果、建設残置物が6号機フィルタベント基礎の3本の杭に接していること、杭の損傷はないことを確認した。なお、建設残置物は撤去した。

(2) 5号機フィルタベント基礎<sup>2</sup>

掘削調査を実施中。これまでの調査において、建設残置物が、5号機フィルタベント基礎の1本の杭に接していることを確認した。引き続き、掘削調査を行い、杭への影響を確認するとともに、建設残置物を撤去する。

(3) その他

(1) 及び (2) 以外の柏崎刈羽原子力発電所内の主要な杭支持構造物の周辺については、建設残置物は確認されなかった。

## 5. 6号機及び7号機の設工認との関係

6号機設工認（平成25年9月27日申請。以下同。）は審査中であり、7号機設工認（令和2年10月14日認可。以下同。）は既に認可しているが、これらと本事案との関係を整理した。具体的には以下のとおり。

6号機の大物搬入建屋の杭の損傷及びフィルタベント基礎の掘削調査終了後の基礎下の埋め戻し等の措置が、6号機の設工認の審査に及ぼす影響について、(1) のとおり確認した。

また、5号機フィルタベント基礎の近傍に、6号機及び7号機の緊急時対策所が設置される5号機原子炉建屋並びに同緊急時対策所の可搬型電源が存在することを踏まえ、5号機フィルタベント基礎の杭に建設残置物が接していることが6号機の設工認及び7号機の設工認の審査に及ぼす影響について(2) のとおり確認した。

(1) 6号機の設工認（審査中）

東京電力は、6号機大物搬入建屋及び6号機フィルタベント基礎の周辺の建設残置物を既に撤去するとともに、6号機大物搬入建屋の損傷した杭については補修して使用するとしている。東京電力は、6号機の設工認申請の補正後に、当該審査において、大物搬入建屋については当該杭の補修を、フィルタベント基礎については掘削調査完了後の地盤状況を考慮した建屋の耐震安全性について説明するとしている（別紙2）。

これらを踏まえ、規制庁は、6号機の設工認申請の補正後に、①大物搬入建屋については、今回損傷が認められた杭の再使用にあたり、杭の損傷状況に応じて適切な補修がなされた上で耐震設計が行われているか、②フィルタベント基礎については、掘削調査完了後の基礎下の埋め戻し等の措置が耐震設計に悪影響を及ぼしていないか、についても留意し、当該審査を行うこととする。

<sup>2</sup> 5号機フィルタベント基礎、6号機フィルタベント基礎及び7号機フィルタベント基礎は、2007年新潟県中越沖地震後に着工し竣工。

なお、5号機フィルタベント基礎が6号機（及び7号機）の緊急時対策所が設置される5号機の原子炉建屋及び同緊急時対策所の可搬型電源に与える波及的影響等の評価については、6号機の設工認申請の補正後に、当該審査において（2）と同様に確認する。

（2）7号機の設工認（既認可）

東京電力は、7号機の設工認において、5号機フィルタベント基礎が7号機（及び6号機）の緊急時対策所が設置される5号機の原子炉建屋及び同緊急時対策所の可搬型電源に与える波及的影響等について評価した結果、施設の安全機能は損なわれないとしている。同評価について、東京電力は、杭の存在を無視しフィルタベント基礎が液状化により沈下する等の保守的な条件で行っていることから、建設残置物が5号機フィルタベント基礎の杭に干渉し、その結果杭が地震で損傷した場合においても、同評価の内容に影響するものではないとしている（別紙2）。

規制庁は、7号機の設工認の審査において、杭の支持機能の喪失を前提とした波及的影響等の評価が行われていることから、5号機フィルタベント基礎の杭が建設残置物に接していることを踏まえても、7号機の設工認の審査内容に影響は生じないことを確認した。

6. 規制庁の今後の対応

（1）6号機の設工認審査における取扱い

5.（1）のとおり、6号機の設工認申請の補正後に、今回損傷が認められた杭の再使用及び追加調査完了後の基礎下の埋め戻し等の措置の耐震安全性への影響について留意し、当該審査を行う。

（2）被規制者向け情報通知文書（NRA Information Notice）の発出

東京電力以外の原子力事業者に対し、建設残置物が杭構造を有する施設に影響を及ぼしたとする東京電力の調査結果を、被規制者向け情報通知文書（NRA Information Notice）にて周知する。

以上

<別紙>

- 別紙 1 第 1082 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料  
資料 1 (一部抜粋)
- 別紙 2 第 1092 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料  
資料 1
- 別紙 3 令和 4 年 11 月 25 日新規制基準適合性審査に関する事業者ヒアリン  
グ資料

(参考：本事案に係る主な経緯)

- 令和 3 年 7 月 9 日 東京電力が、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機大物搬入建  
屋の耐震強化工事実施中に、杭基礎の損傷を発見。
- 11 月 2 日 東京電力が規制庁本庁へ、本事案について説明。
- 11 月 10 日 規制庁から委員会へ、本事案について報告 (第 44 回  
原子力規制委員会)。
- 令和 4 年 3 月 1 日 規制庁が現地確認を実施。
- 3 月 2 日 規制庁から委員会へ、現地確認の概要をトピックとし  
て報告 (第 69 回原子力規制委員会)。
- 7 月 28 日 審査会合を開催。
- 10 月 20 日 審査会合を開催。
- 11 月 21 日 審査会合を開催。



令和4年10月20日第1082回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料1（抜粋）

# 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10月20日  
東京電力ホールディングス株式会社

## 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 既往文献に基づく分析
- 1.8 既往文献に基づく杭の被害事例
- 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例
- 1.10 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杭のせん断力に着目した解析
- 3.3 No.8杭のせん断力に着目した解析のまとめ
- 3.4 No.6・8杭の曲げモーメントに着目した解析
- 3.5 No.6・8杭の曲げモーメントに着目した解析のまとめ
- 3.6 No.6・8杭の損傷メカニズム（推定）

## 4. 杭の損傷要因の特定

- 4.1 まとめ

第1063回 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（2022年7月28日）資料1からの主な変更箇所を赤囲いで示す。

# 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号機原子炉建屋の東側に隣接する、基礎平面は11.0m（NS方向）×22.1m（EW方向）、地上高さは7.6mの鉄筋コンクリート造1階建ての建物である。
- ▶ 平面図、杭伏図、断面図及び杭配筋図を図1～4に示す。

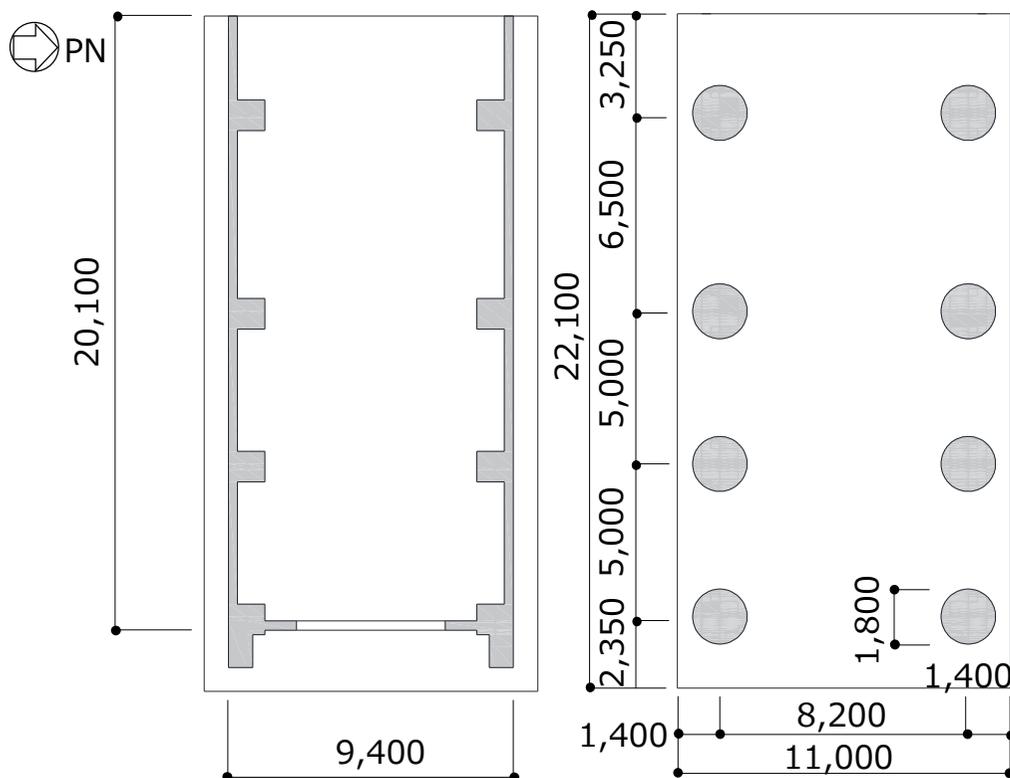


図1 平面図（単位：mm） 図2 杭伏図（単位：mm）

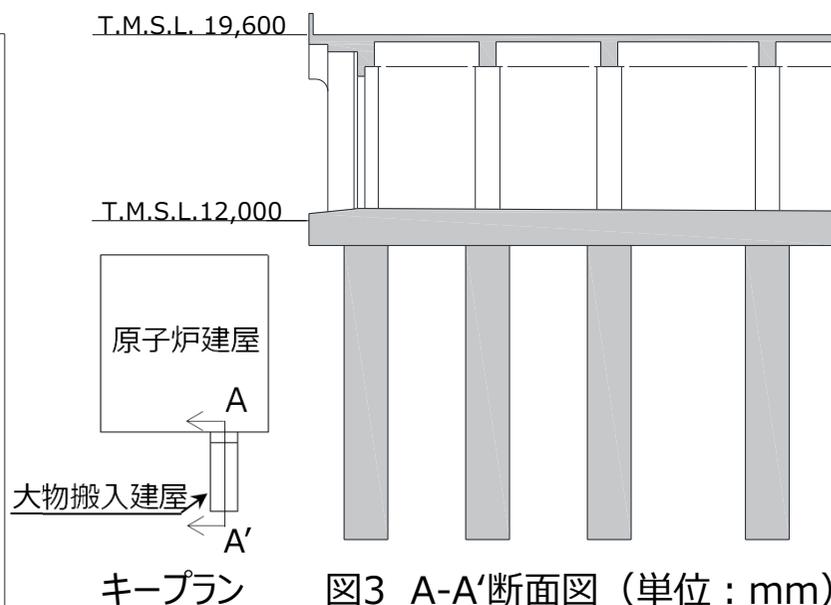


図3 A-A'断面図（単位：mm）

使用材料  
 コンクリート： $F_c = 32.3(N/mm^2)$   
 鉄筋：SD345

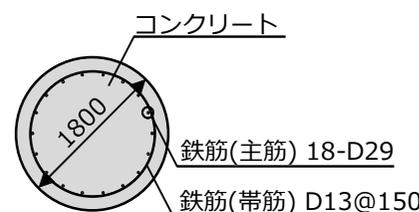


図4 杭配筋図

注：以下、Plant Northを「PN」といい、東京湾平均海面を「T.M.S.L.」という。

# 1.2 杭の健全性調査結果の概要

- 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※1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。なお、本調査結果は2022年8月31日時点に基づく。

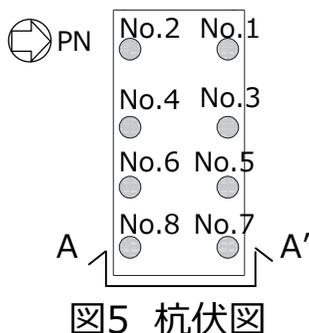


図5 杭伏図

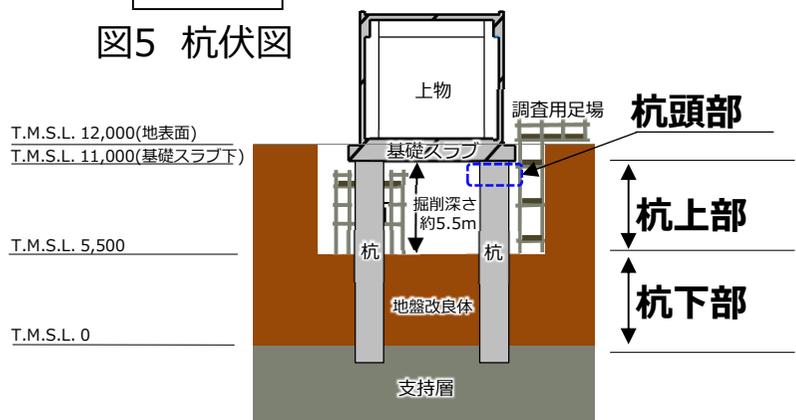


図6 A-A'断面図 (単位：mm)

表1 杭上部調査結果一覧

| 調査項目<br>杭No | コンクリート<br>剥離 | コンクリート<br>浮き | コンクリート<br>ひび割れ幅 | 鉄筋状態          | 損傷度※2 |
|-------------|--------------|--------------|-----------------|---------------|-------|
| 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10本<br>破断8本 | Ⅳ     |

※1 基礎スラブ下5.5mは、T.M.S.L.5,500

※2 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、この調査結果は、基礎スラブ下約2.5m※まで掘削し、杭表面に浮き・剥落を確認した範囲のコンクリートをはつり取る前のものである。
  - ✓ 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。

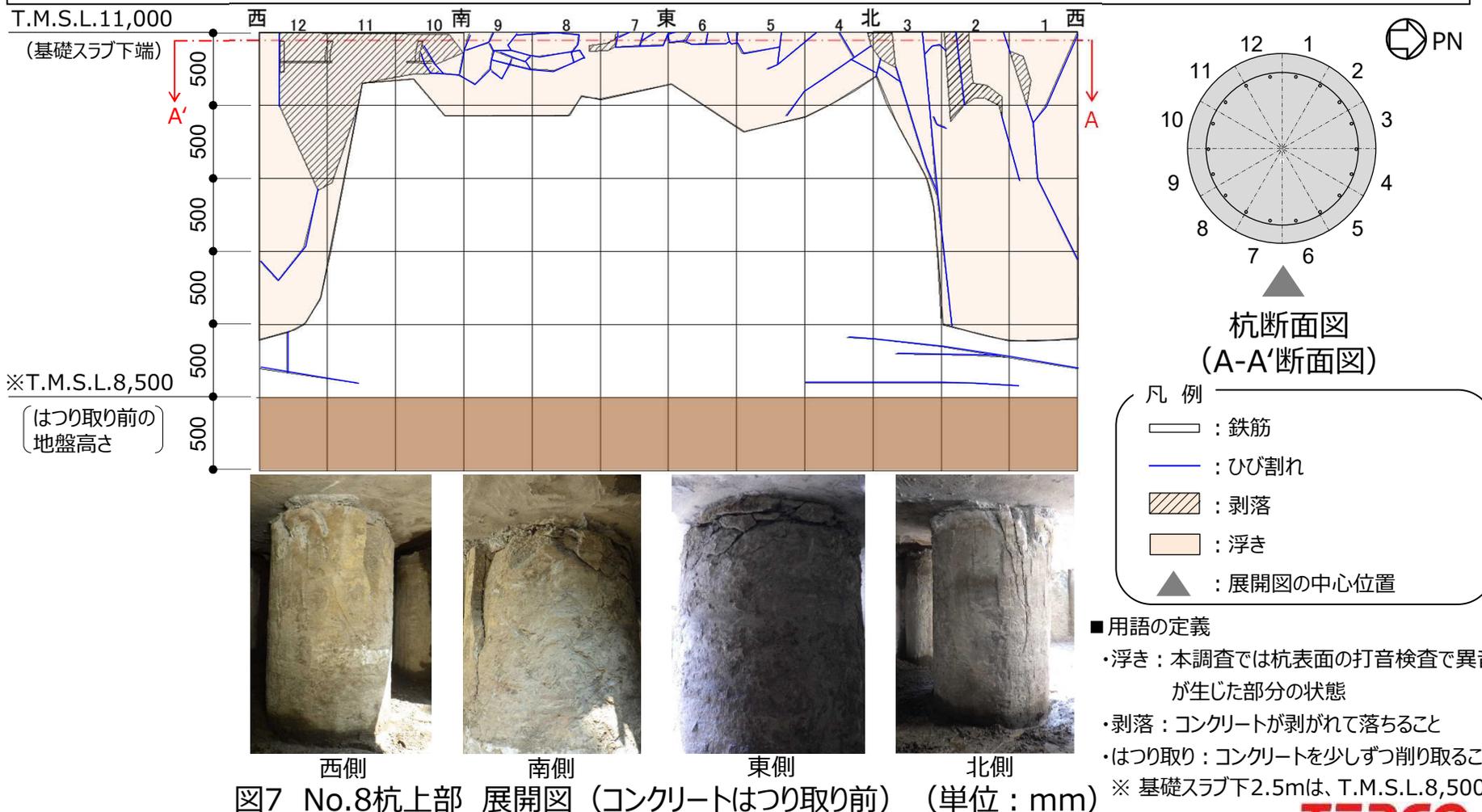
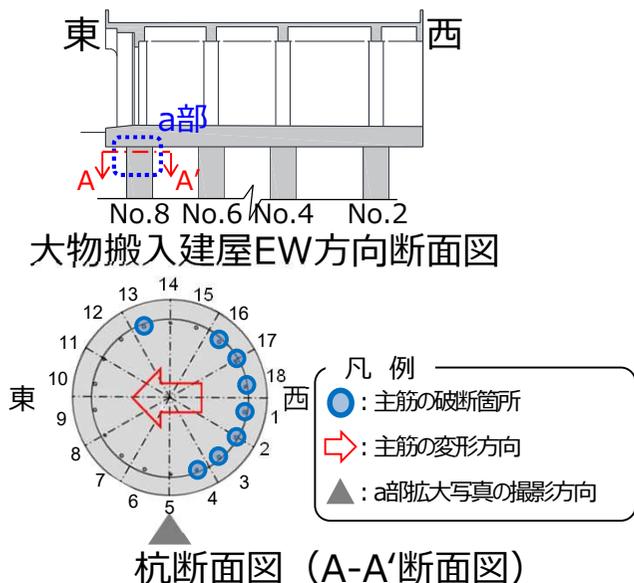


図7 No.8杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り前) (単位: mm)



# 1.3 杭上部の調査結果（No.8杭の鉄筋）

- No.8杭頭部の構造及び損傷状況イメージを図9に示す。
  - ✓ 図9に示すように、鉄筋は8本（No.1～4、No.13及びNo.16～18）が破断し、それ以外のNo.5～12、No.14及びNo.15は、杭を基準に西から東の方向に変形している。



a部拡大写真



b部拡大写真

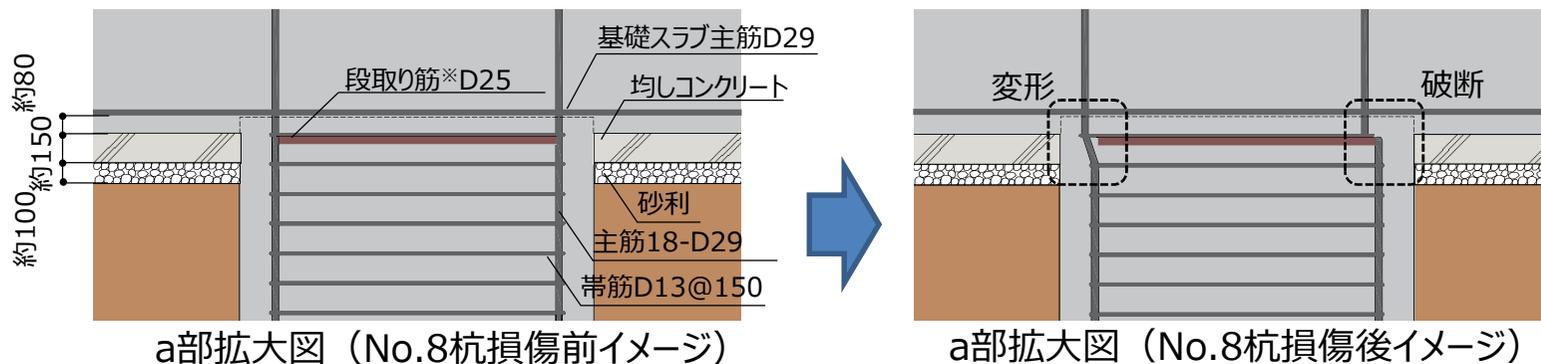


図9 No.8杭頭部の構造及び損傷状況（イメージ）（単位：mm）

※ 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  
 ©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

# 1.3 杭上部の調査結果（No.8杭の追加調査）

- ▶ 前ページの調査結果を補完するため、基礎スラブ下約0.5mの範囲のコンクリートを3次元計測で段階的に記録しながら、ウォータージェット工法により取り除いた後に、鉄筋の損傷状況を調査した。
- ▶ コンクリート取り除き段階（杭径約1,000mm及び約600mm）における調査結果を図10に示す。
  - ✓ 基礎スラブ下端付近の帯筋と重なる部分において、No.13鉄筋の破断を確認した。
  - ✓ コンクリート取り除き段階において、杭頭部にひび割れ（a部拡大写真及びb部拡大写真）を確認したこと及び鉄筋の変形状況（詳細を次ページに示す）から、杭頭部コンクリートには貫通ひび割れが発生したと推定される。

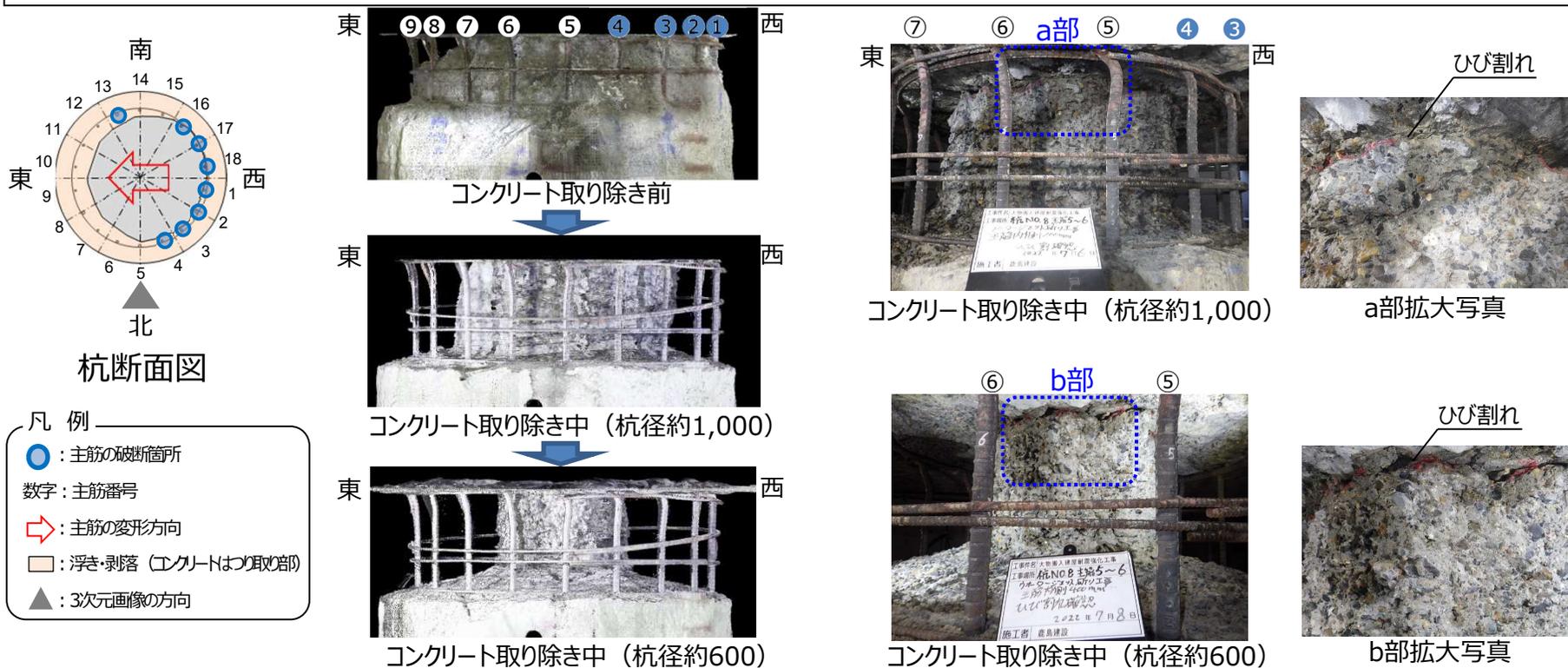
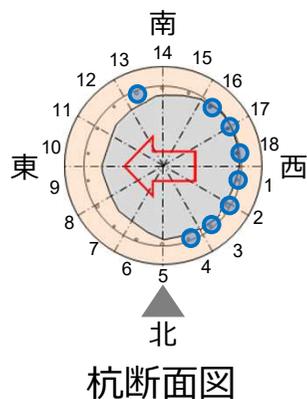


図10 コンクリート取り除き段階のNo.8杭頭部の3次元画像及び写真（北面）（単位：mm）

# 1.3 杭上部の調査結果（No.8杭の追加調査）

- コンクリート取り除き後の3次元計測による鉄筋の損傷状況の調査結果を図11に示す。
  - ✓ 鉄筋は、杭を基準にいずれも概ね西から東の方向に平均50mm程度変形しており、相対的にコンクリートの損傷が小さい西側の範囲においては鉄筋が破断に至っている場合が多く、コンクリートの損傷が大きい東側の範囲においては大きく変形しているものの、破断に至っていない傾向を確認した。
  - ✓ コンクリートを取り除く際に破断が確認されたNo.13鉄筋は、他の鉄筋と破断位置や変形状況に大きな差はない。
- 以上から、No.8杭の追加調査において、新たに「杭頭部コンクリートのひび割れ状況」及び「鉄筋の定量的な損傷状況」を確認したが、これまでの原因究明の説明性を補完する結果であるため、損傷要因推定への影響はない。



凡例

- : 主筋の破断箇所
- 数字 : 主筋番号
- ➡ : 主筋の変形方向
- : 浮き・剥落 (コンクリートは取り除く部)
- ▲ : 3次元画像の方向

●破断した鉄筋：相対的に鉄筋周辺のコンクリートの損傷が小さく、鉄筋の変形も小さい。  
 ○破断していない鉄筋：相対的に鉄筋周辺のコンクリートの損傷が大きく、鉄筋の変形も大きい。

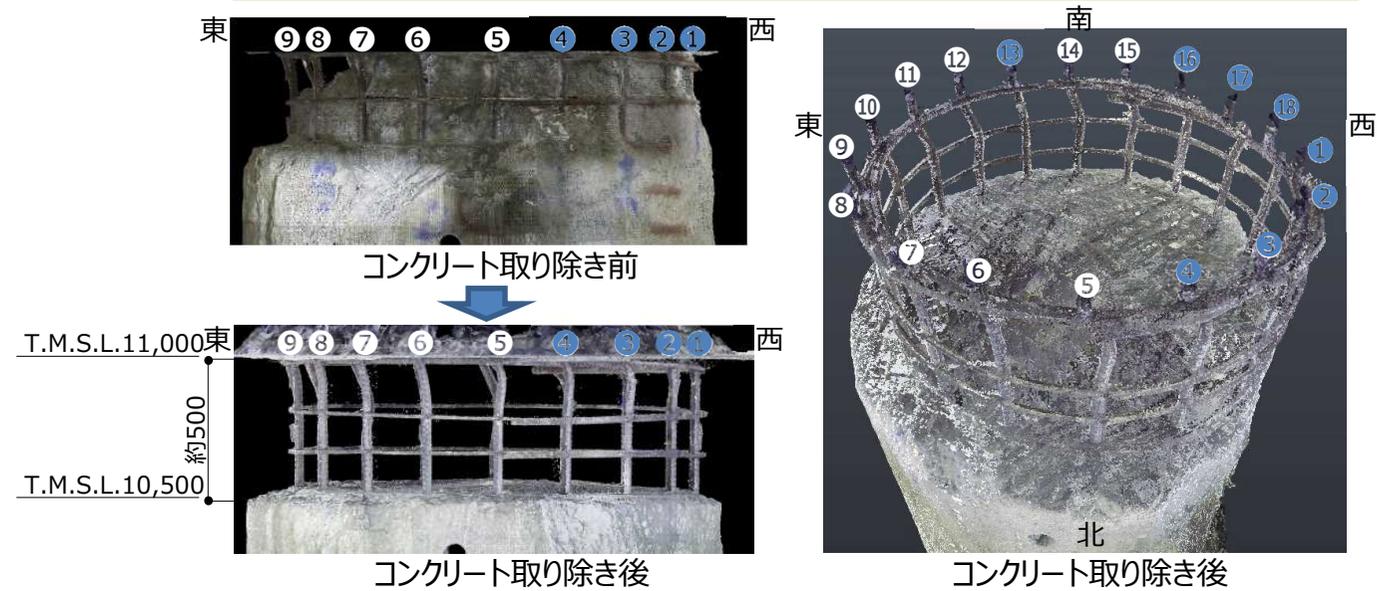


図11 コンクリート取り除き前後のNo.8杭頭部の3次元画像（北面）（単位：mm）

- 15 -

# 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12に示す。なお、この調査結果は、No.8杭同様に基礎スラブ下約2.5m※まで掘削し、杭表面に浮きを確認した範囲のコンクリートをはつり取る前のものである。
- ✓ 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。

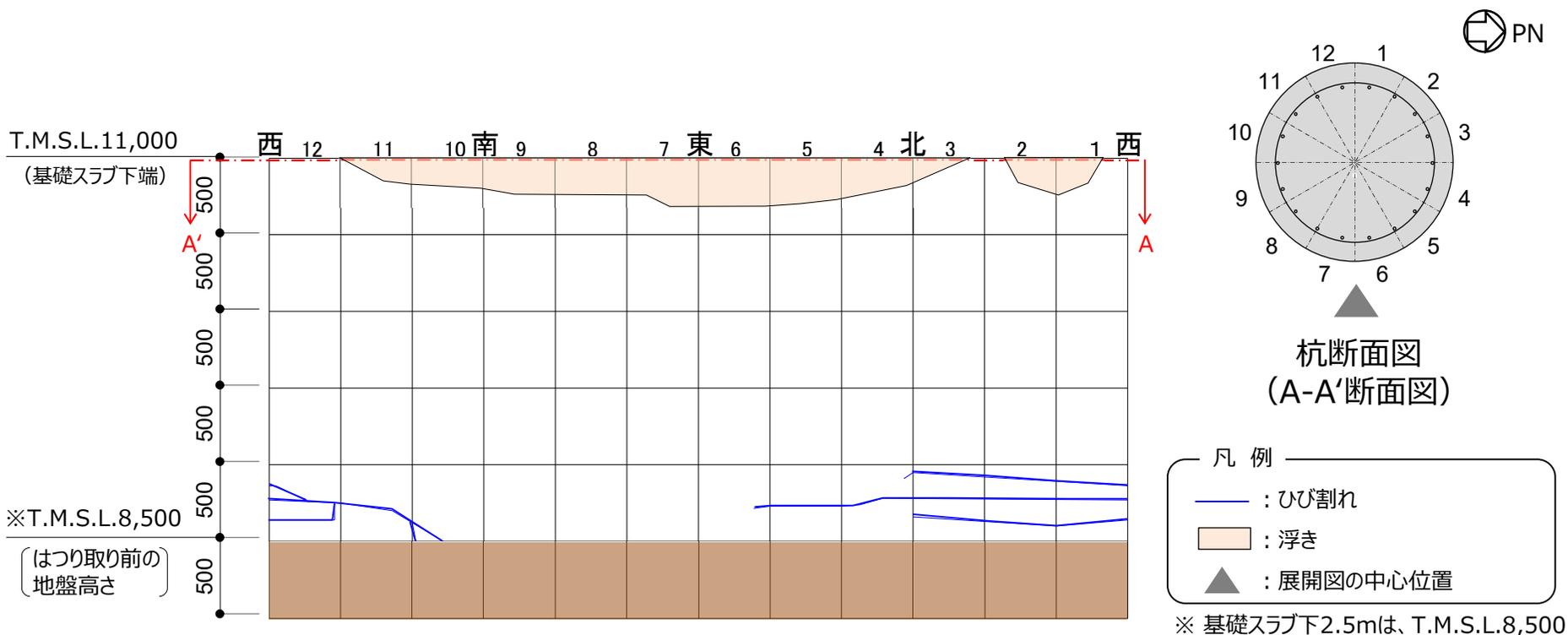
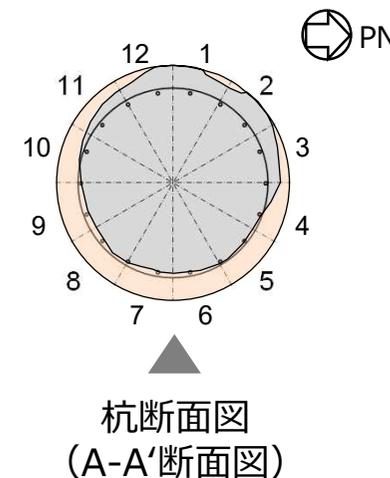
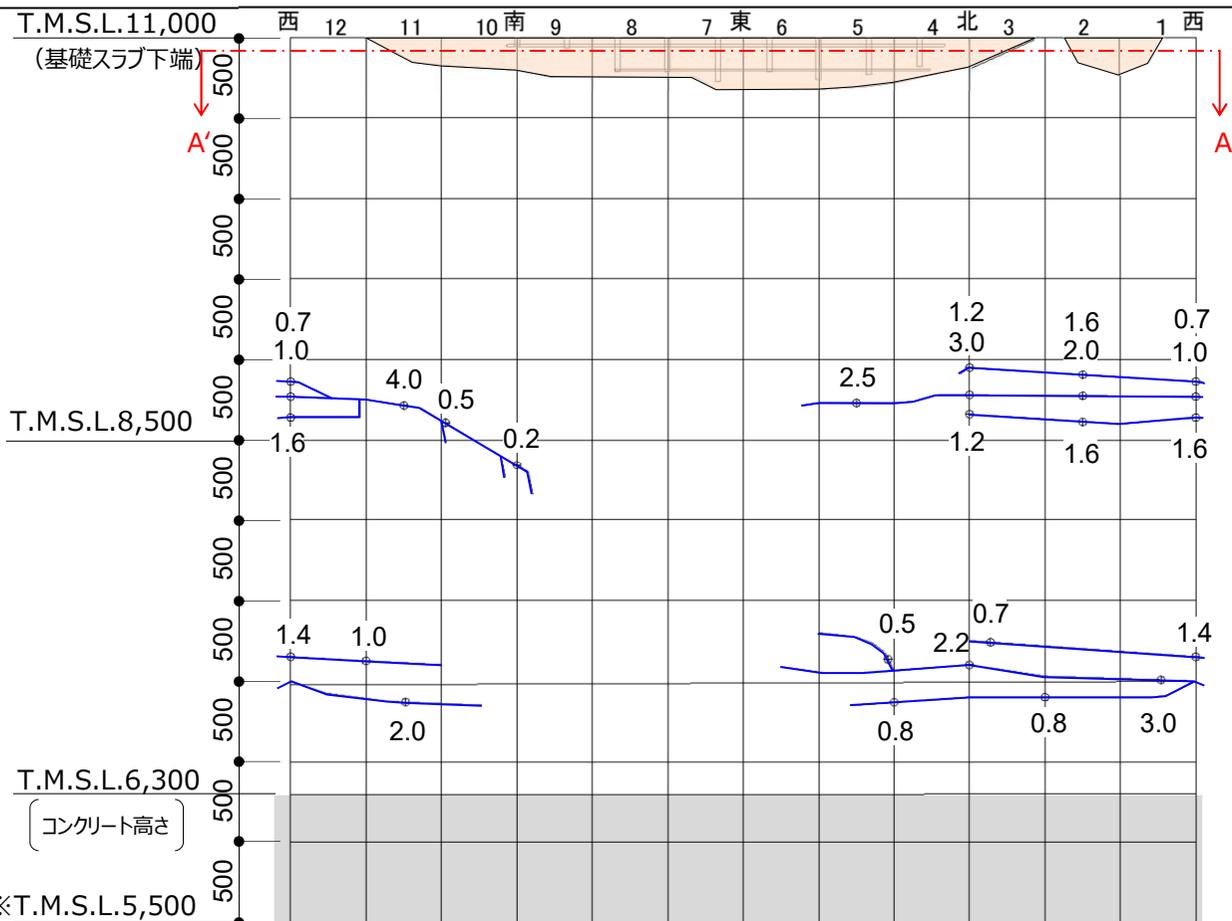


図12 No.6杭上部 展開図（コンクリートはつり取り前）（単位：mm）

# 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、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13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
- : 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

※ 基礎スラブ下5.5mは、T.M.S.L.5,500

図13 No.6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.1~5・7杭)

- 基礎スラブ下約5.5m※まで掘削し、杭表面に浮きを確認した範囲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14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。

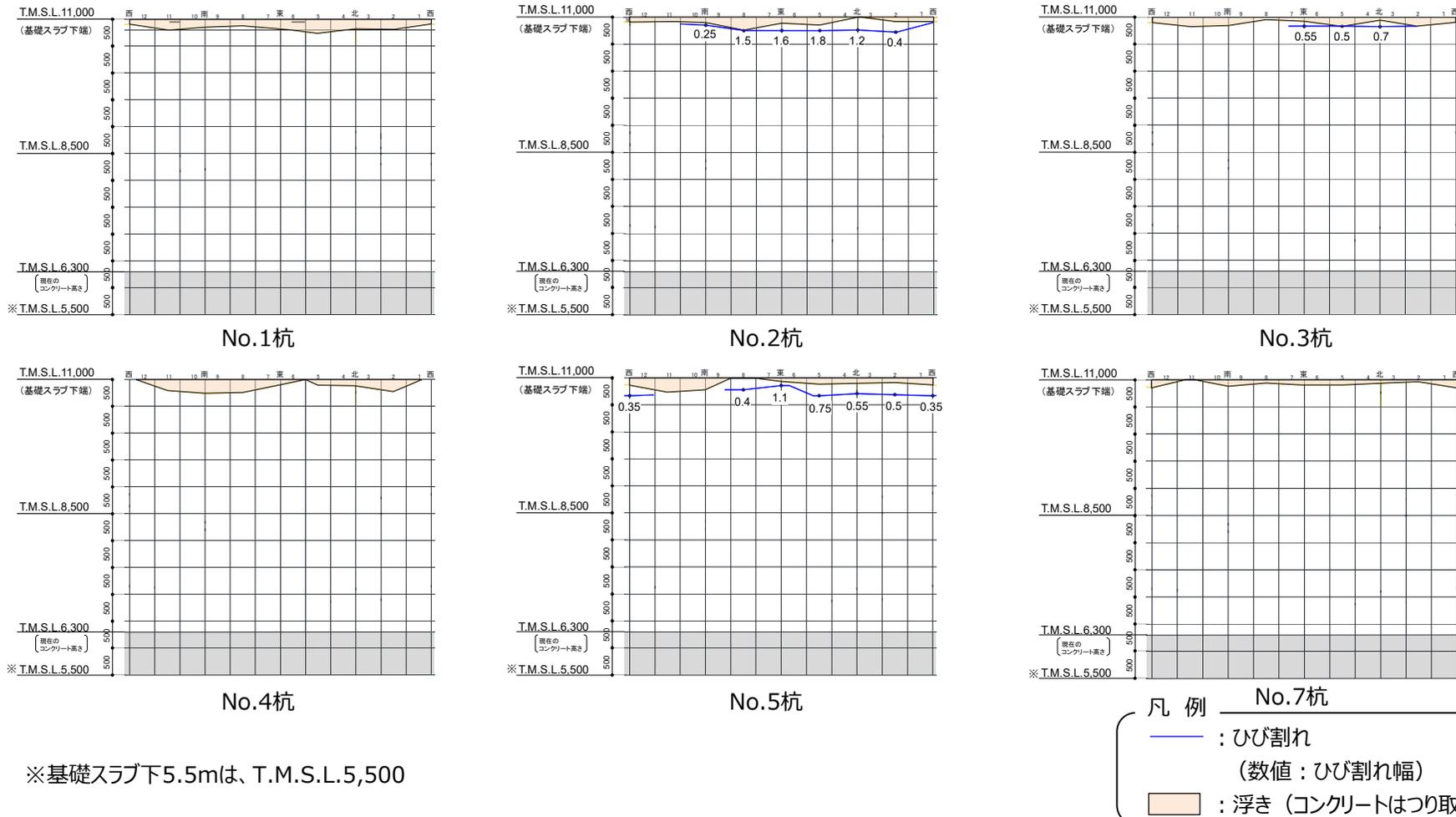


図14 No.1~5・7杭上部 展開図 (コンクリートはつり取り後) (単位：mm)

# 1.4 杭下部の調査結果

- 杭下部は、外観目視による調査が困難なため、図15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、全ての杭下部で「健全性が高い」と判定した。
- 判定基準例を図16に示す。
- 次ページ以降の図17にNo.1～4杭の結果を、図18にNo.5～8杭の非破壊試験結果を示す。

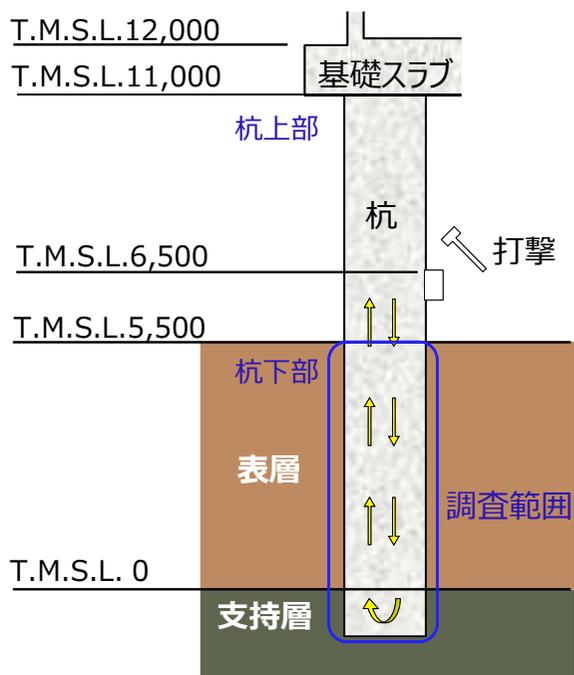
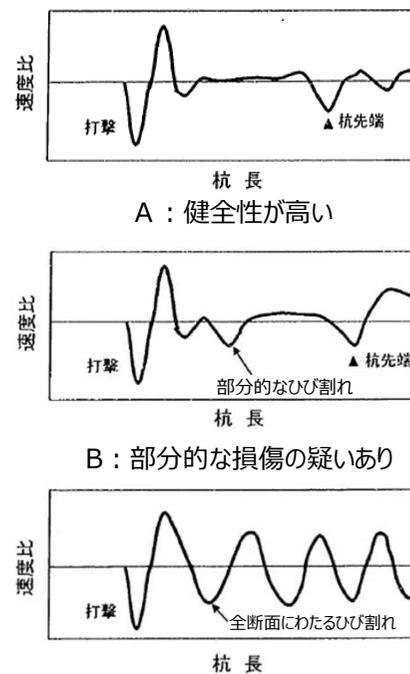


図15 非破壊試験概要図（単位：mm）



C：杭の全断面に及ぶ損傷の疑いあり

図16 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

# 1.4 杭下部の調査結果

➤ 図17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、先端反射以浅（手前）に下向きのピークがみられないため、健全性は高いと判断した。

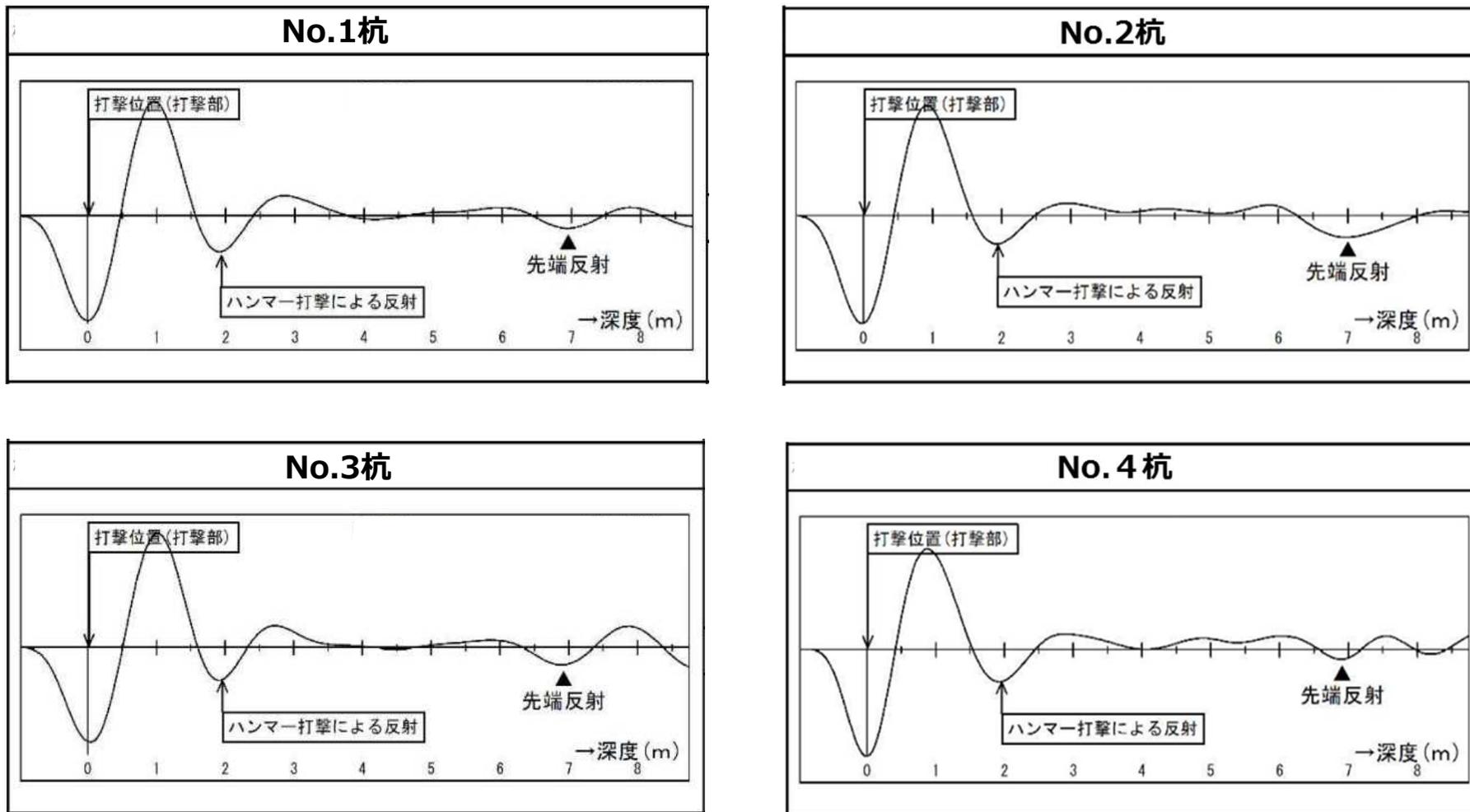


図17 No.1～4杭下部の非破壊試験結果

# 1.4 杭下部の調査結果

➤ 図18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、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。

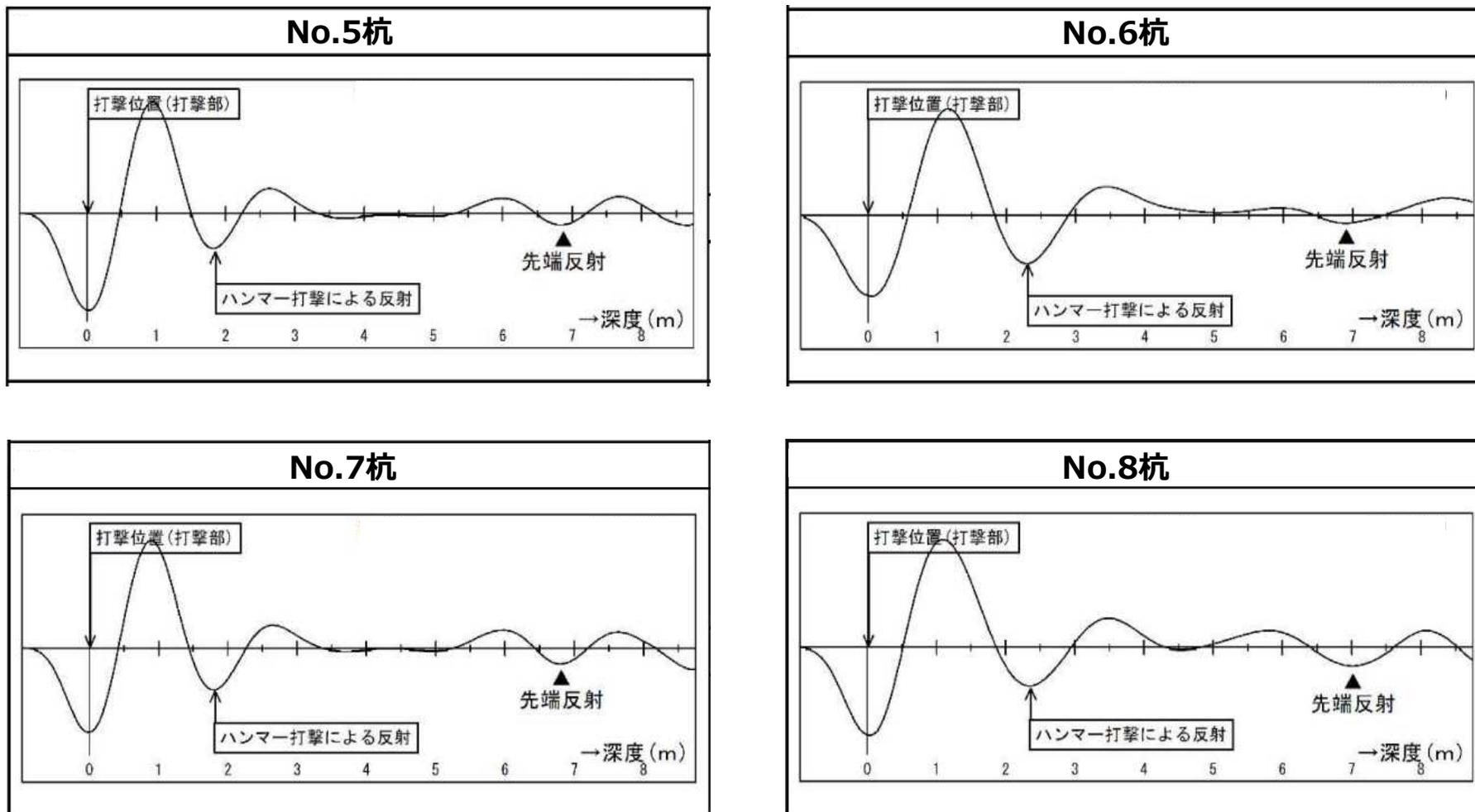


図18 No.5～8杭下部の非破壊試験結果

## 1.5 杭の健全性調査結果

### 【No.8杭の損傷状況】

- 杭頭部の8本の鉄筋が破断し、それ以外の10本の鉄筋は、杭を基準に西から東の方向に平均50m程度変形しており、杭頭部コンクリートには貫通ひび割れが発生したと推定される。
- 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。
- 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。
- No.1・4・7杭は、ひび割れが発生していない。

以上から杭の健全性調査結果の概要をまとめると

- No.8杭の杭頭部のコンクリートには貫通ひび割れが発生し、鉄筋には破断・変形が発生している。
- No.6・8杭の中間部に水平ひび割れが発生している。
- No.1～5・7杭は耐震性能に影響を与えるような損傷がない。

# 1.6 杭の原設計の内容

## (1)基本方針

- K6大物搬入建屋は、建設時、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19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による地盤応答解析により算定した地盤変位による杭の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20）

— 23 —

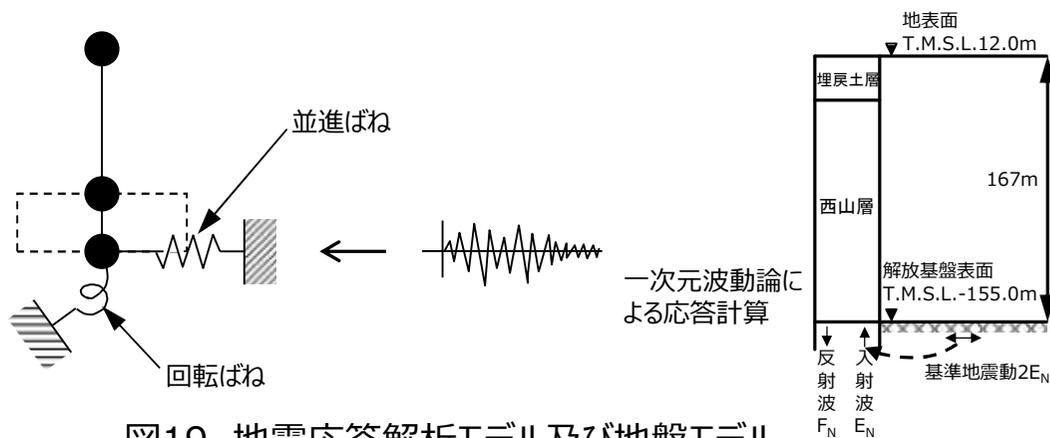


図19 地震応答解析モデル及び地盤モデル

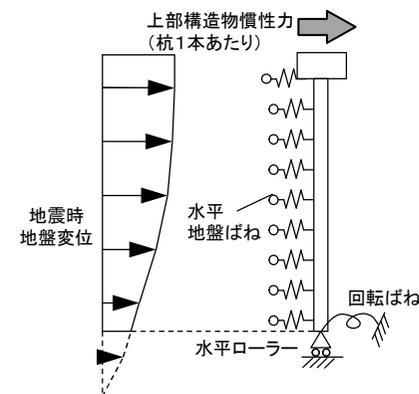


図20 杭の応力評価方法

※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）

## 1.6 杭の原設計の内容

### (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。
- 杭頭部のせん断力の解析結果を表2に、杭頭部の曲げモーメントの解析結果を表3に示す。
- 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裕度（許容値に対する発生応力の余裕）が小さい結果である。

表2 杭頭部のせん断力の解析結果

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

表3 杭頭部の曲げモーメントの解析結果

| 曲げモーメント<br>(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<br>応力 | 慣性力による<br>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     |

# 1.7 既往文献に基づく分析

- K6大物搬入建屋の杭の損傷要因の推定にあたり、図21の文献調査フローに基づき、建築分野に限らず文献を収集し、代表文献の選定を行った上で、K6大物搬入建屋との比較分析を実施する。
- 次ページ以降に、調査・分析結果を示す。

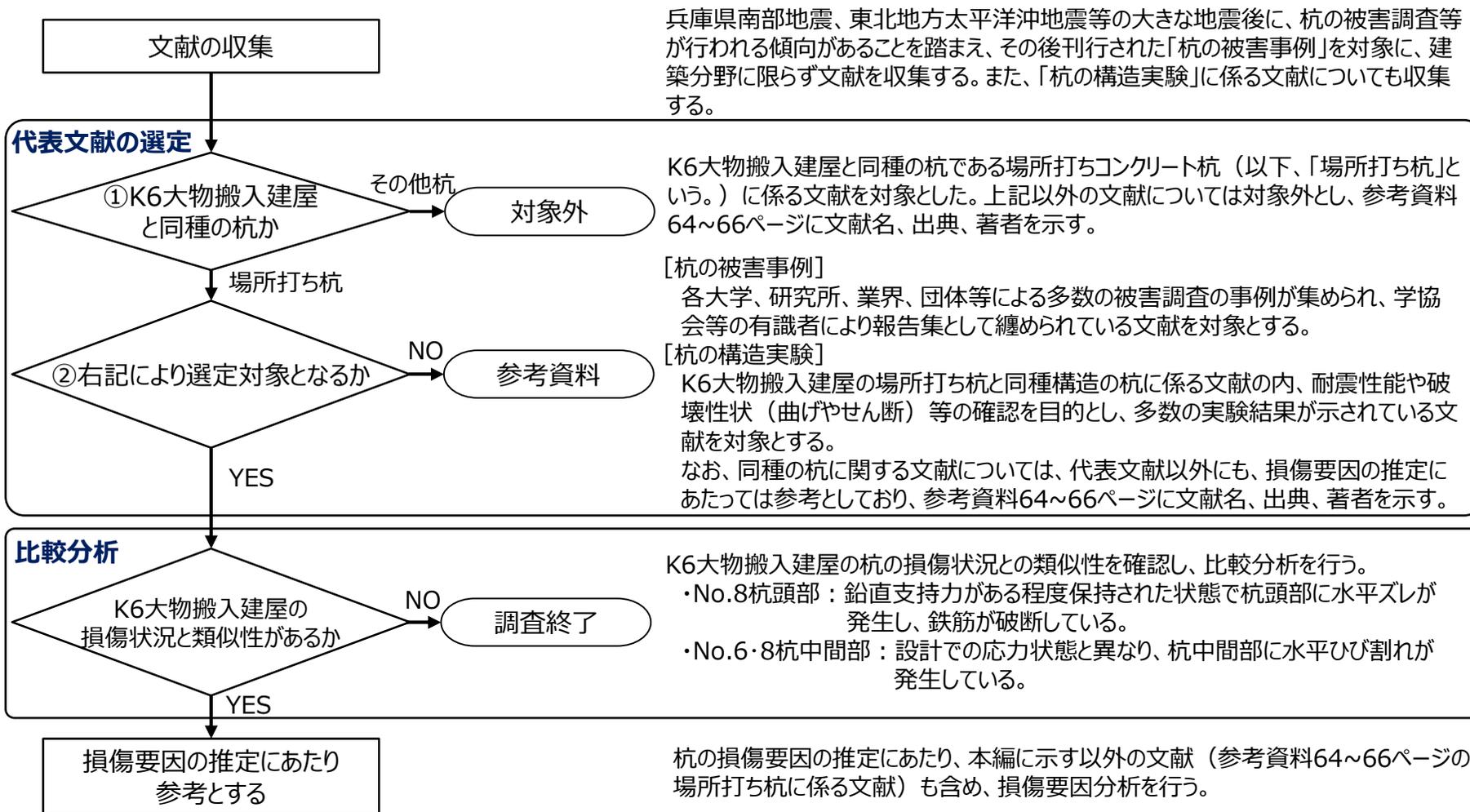


図21 文献調査フロー

# 1.8 既往文献に基づく杭の被害事例

- 表4に既往文献に基づく場所打ち杭の被害事例の調査結果を、詳細を次ページ以降に示す。
- 場所打ち杭の被害事例としては、兵庫県南部地震によるものが多数報告されているが、東北地方太平洋沖地震、熊本地震等においては確認されなかったため、比較分析としては、表4に示す文献を対象に行う。
- No.1~3の文献では、計490本程度※1を対象とした被害調査の事例が示されており、杭頭部の損傷についてはひび割れの事例が多く、No.8杭頭部のように、鉛直支持力がある程度保持された状態で杭頭部に水平ズレが発生し、鉄筋が破断している事例は確認されなかった。
- また、杭中間部のひび割れの事例も示されており、その損傷要因は、地盤の液状化や杭周辺地盤の状況等、事例毎に異なることが確認された。

表4 既往文献に基づく場所打ち杭の被害事例の調査結果

| No. | 文献名                             | 出典                                      | 著者                                  | 文献の概要   |
|-----|---------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| 1   | 兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告集        | 日本建築学会近畿支部、1996年7月                      | 日本建築学会近畿支部基礎構造部会、兵庫県南部地震建築基礎被害調査委員会 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1995年兵庫県南部地震に被災した建築物の杭を対象とした被害調査の事例(調査本数:約50本※1)が掲載されている。</li> <li>• 基礎被害状況が杭種毎に集計されており、場所打ち杭の被害としては杭頭部のひび割れ※2が最も多い。</li> </ul>  |
| 2   | 阪神・淡路大震災調査報告 土木構築物の被害 第4章基礎構造物  | 地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本建築学会、日本地震学会、1998年6月 | 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1995年兵庫県南部地震に被災した土木構築物の杭を対象とした被害調査の事例(調査数:約400基※1)が掲載されている。</li> <li>• 橋梁・高架橋の被害の特徴として、杭頭部のひび割れ※2は最大モーメントが杭頭部に生じたためと考えられており、杭中間部のひび割れ※2は地盤の液状化や側方流動、杭体の配筋及び地盤の振動特性等が影響し合っ生じたものと考えられている。</li> </ul> |
| 3   | 阪神・淡路大震災調査報告 建築編-4 木造建築物/建築基礎構造 | 日本建築学会、地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本地震学会、1998年3月 | 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1995年兵庫県南部地震に被災した建築物の杭を対象とした被害調査の事例(調査本数:約40本※1)が掲載されている。</li> <li>• 場所打ち杭の杭頭部のひび割れ、剥落、杭中間部のひび割れ等の事例が示されている。</li> </ul>  |

※1 調査手法の相違や被害事例の重複、調査本数が不明確な事例もあるため参考値として示す。なお、No.2の文献の調査数は橋脚数等で示されている事例もあり、一橋脚辺りの調査本数は不明確なため、本資料では橋脚数を杭1本として集計した。また、構造物の建設中に被災した杭の被害事例は対象外とした。

※2 文献では「亀裂」や「クラック」と記述されているが、本資料では「ひび割れ」に置き換えて記載している。



# 1.8 既往文献に基づく杭の被害事例

- 表4の文献No.1の報告内容の一例を以下に示す。
  - ✓ 兵庫県南部地震による建築物の基礎被害状況が杭種毎に集計されており、場所打ち杭は基礎梁クラック、杭頭クラック及び杭頭破損※1といった事例が多く、計26件記載されている。(図22)
  - ✓ 基礎被害原因が杭種毎に集計されており、場所打ち杭は地震力過大、地盤の液状化及び地盤水平変位といった原因が多く、計17件記載されている。(図23)
- No.8杭頭部の損傷状況の類似事例は確認されなかったが、被害原因として多数報告されている地震力過大、地盤の液状化及び地盤水平変位については、特に留意し、損傷要因分析に際して参考とする。

| 基礎被害状況    | PC | PHC | SC | ベ'デ'ス% | 既製RC | 鋼管 | 鋼管巻RC | 場所打ちRC | 計   |
|-----------|----|-----|----|--------|------|----|-------|--------|-----|
| 杭頭破損      | 18 | 12  |    | 3      | 3    | 2  |       | 3      | 41  |
| 杭頭クラック    | 12 | 9   |    | 1      | 2    |    |       | 6      | 30  |
| 杭中破損      | 7  | 6   | 1  |        |      |    | 2     | 1      | 17  |
| 杭中クラック    |    | 1   |    |        |      |    |       | 1      | 2   |
| 杭頭露出      | 8  | 5   |    | 1      | 2    | 4  |       | 1      | 21  |
| 杭傾斜       | 8  | 2   |    | 1      | 1    |    |       | 1      | 14  |
| 水平ずれ      | 2  | 1   |    |        | 1    |    |       | 1      | 6   |
| フーチング破損   | 1  | 2   | 2  | 1      |      | 1  |       | 2      | 9   |
| フーチングクラック | 2  |     |    |        |      |    |       | 1      | 3   |
| 基礎梁破損     |    |     |    |        | 1    |    |       |        | 2   |
| 基礎梁クラック   | 2  | 1   |    |        | 1    |    |       | 7      | 11  |
| 基礎沈下      | 3  | 3   | 1  |        | 2    | 1  |       | 1      | 11  |
| 不明        |    | 1   |    |        |      |    |       | 1      | 1   |
| 計         | 63 | 43  | 4  | 7      | 13   | 10 | 2     | 26     | 188 |

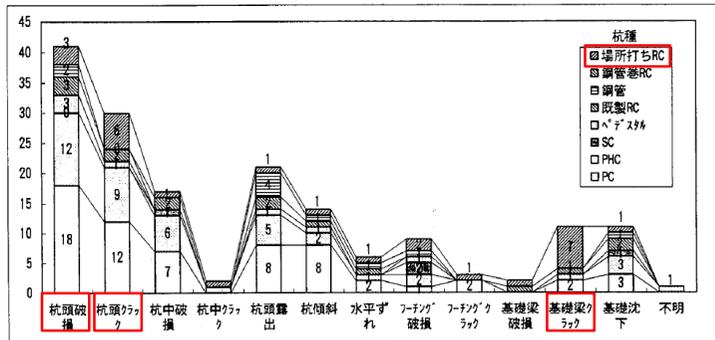


図22 基礎被害状況と杭種の関係※2,3

| 基礎被害原因   | PC | PHC | SC | ベ'デ'ス% | 既製RC | 鋼管 | 鋼管巻RC | 場所打ちRC | 計   |
|----------|----|-----|----|--------|------|----|-------|--------|-----|
| 側方流動     | 8  | 8   |    | 4      | 2    | 2  |       | 2      | 26  |
| 液状化      | 15 | 11  |    | 3      | 2    | 3  |       | 1      | 40  |
| 地滑り      | 2  | 2   |    |        |      |    |       | 1      | 5   |
| 擁壁の倒壊、移動 | 1  | 2   |    |        | 2    |    |       |        | 5   |
| 杭頭接合不良   | 2  |     |    | 1      | 2    | 2  |       |        | 8   |
| 地震力過大    | 8  | 11  | 1  | 2      |      | 2  |       | 5      | 29  |
| 地盤水平変位   | 2  | 3   |    |        | 1    |    |       | 3      | 10  |
| 地盤沈下     | 2  | 3   |    |        |      | 1  |       | 1      | 7   |
| 不明       | 2  | 4   |    |        |      |    |       | 2      | 8   |
| 計        | 42 | 44  | 4  | 9      | 10   | 10 | 2     | 17     | 138 |

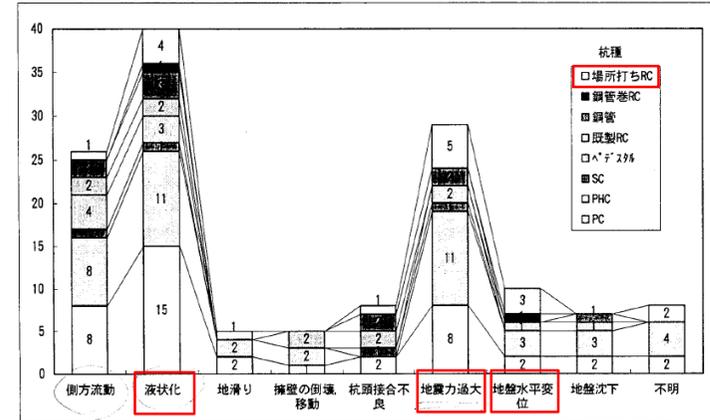


図23 基礎被害原因と杭種の関係※3

※1 杭頭破損の被害事例として杭頭部のコンクリート剥落が示されている。

※2 No.8杭頭部の損傷と比較的類似した事例として水平ズレの事例を1例確認したが、詳細状況や損傷原因が記載されていないため、要因分析の対象外とした。

※3 出典：兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告集、日本建築学会近畿支部基礎構造部会、日本建築学会近畿支部、1996年7月

# 1.8 既往文献に基づく杭の被害事例

➤ 表4の文献No.2の報告内容を2例、以下に示す。

✓ 兵庫県南部地震による橋梁・高架橋基礎の全般的な被害の特徴について、以下のように記載されている。「いずれの事例においても杭頭部においてクラックが発生している。これは、杭頭がフーチングと剛結されているため、杭頭部において最大モーメントが生じたためと考えられる。杭頭部以外にも、杭の中間部分や支持層への根入れ付近においても、クラックが生じている事例が見受けられる。これらについては、地盤の液状化や側方流動、杭体の配筋及び地盤の振動特性等が複雑に影響し合って生じたものと考えられる。」(図24)

✓ 阪神高速道路3号神戸線ピルツ区間における3基の杭頭部の被害調査の事例について、以下のように記載されている。「最大幅2mmの亀裂が発見されている。(中略) 亀裂は曲げモーメントが最大となる杭頭部付近に集中していることが分かる。」(図25)

➤ No.8杭頭部の損傷状況の類似事例は確認されなかったが、No.6・8杭中間部と同様に、杭中間部のひび割れ発生の事例は確認されたため、その原因については、損傷要因分析に際して参考とする。

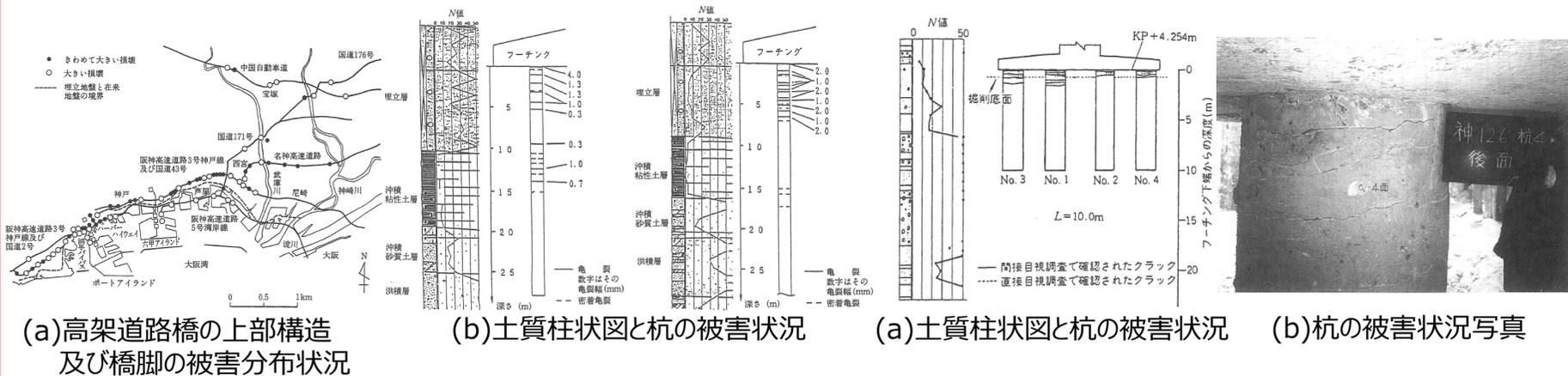


図24 橋梁・高架橋基礎の被害事例※

図25 阪神高速道路3号神戸線ピルツ区間の被害事例※

※出典：阪神・淡路大震災調査報告 土木構築物の被害 第4章基礎構造物、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本建築学会、1998年6月

# 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例

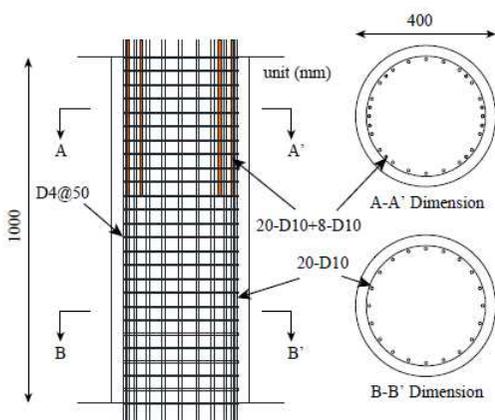
- 表5に既往文献に基づく場所打ち杭の構造実験の調査結果を、詳細を次ページ以降に示す。
- 場所打ち杭の構造実験としては、K6大物搬入建屋の場所打ち杭と同種構造の内、耐震性能や破壊性状（曲げやせん断）の確認を目的とし、多数の実験結果が示されている表5の文献を対象に、比較分析を行うこととする。
- No.1~2の文献では、試験体を載荷装置により加力した際の曲げやせん断による破壊状況等が示されているが、No.8杭頭部のように、鉛直支持力がある程度保持された状態で杭頭部に水平ズレが発生し、鉄筋が破断している事例は確認されなかった。

表5 既往文献に基づく場所打ち杭の構造実験の調査結果

| No. | 文献名   | 出典                                   | 著者                   | 文献の概要  |
|-----|---|--------------------------------------|----------------------|--|
| 1   | 大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 第4章場所打ちRC杭の杭頭部曲げせん断実験 | 建築研究資料No.195、建築研究所、2019年10月          | 国立研究開発法人建築研究所 向井智久、他 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一般的な8階建て鉄筋コンクリート造建物に使用される場所打ち杭を対象に、1/3に縮小した試験体を計9体製作し、載荷装置により正負交番繰返し載荷とした際の構造実験結果が掲載されている。</li> <li>• 試験体のパラメータはシアスパン比、軸力比とされており、載荷状況に応じた試験体の曲げ破壊やせん断破壊等の状況が示されている。</li> </ul>  |
| 2   | 場所打ち鉄筋コンクリート杭部材の変形性能評価に関する研究_土木学会論文集_2002年8月                          | 土木学会論文No.711/V-56、pp.173-190、2002年8月 | 鉄道総合技術研究所 谷村 幸裕、他    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 杭径1000mm程度の鉄道高架橋等に用いられる場所打ち杭を対象に、50~70%に縮小した試験体を計13体製作し、載荷装置により交番載荷とした場合の構造実験結果が掲載されている。</li> <li>• 試験体のパラメータは、主に帯鉄筋比、軸圧縮応力度、施工条件等とされており、載荷状況に応じた杭頭部の曲げ破壊の状況が示されている。</li> </ul> |

# 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例

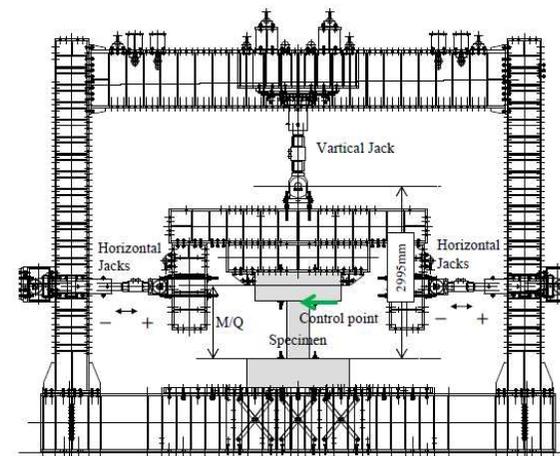
- ▶ 表5の文献No.1の報告内容を以下に示す。(図26)
  - ✓ 実験目的：場所打ち杭の実験検討例が少なく、耐震性能が十分に明らかにされているとは言い難いことを背景に、耐震性能を明らかにするため構造実験を実施するとされている。
  - ✓ 実験条件：一般的な8階建てRC造の場所打ち杭を対象に試験体は1/3スケールとされている。試験体パラメータはシアスパン比及び軸力比とされている。
  - ✓ 载荷条件：3本のオイルジャッキにより加力される機構となっており、試験体の下スタブはフーチングを想定し、杭を180度回転させ、杭頭部が下側に来るような形で载荷装置に設置されている。载荷方法は、正負交番繰返し载荷とされている。
- ▶ 次ページに本文献の構造実験結果を2例示す。



(a)基本配筋図

| Specimen  | Shear Span Ratio | Axial Force Ratio $\eta$ | Remarks                    |
|-----------|------------------|--------------------------|----------------------------|
| N-3L      | 3.0              | 0.15                     | R<2.0%                     |
|           | 2.0              | 0.40                     | R>2.0%                     |
| N-2S      | 2.0              | 0.40                     |                            |
| N-2L      |                  | 0.15                     |                            |
| V-2       |                  | 0 to 0.40                | varying axial forces       |
| N-1.75S-I | 1.75             | 0.40                     | Cantilever Loading         |
| N-1.75S-C |                  |                          |                            |
| V-1.75    |                  | -0.20 to 0.40            | varying axial forces       |
| N-3L-R    | 3.0              | 0.15                     | Repaired                   |
| N-2S-R    | 2.0              | 0.15                     | Steel Jacketing            |
| N-2L-R    |                  |                          | Steel Jacketing            |
| N-1.4S-H  | 1.4              | 0.40                     | Main Reinforcement: USD785 |
| N-1.4S    |                  |                          | Main Reinforcement: SD390  |

(b)試験体パラメータ



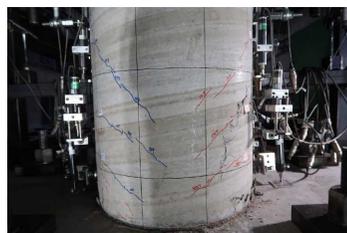
(c)载荷装置の例

図26 表5文献No.1の報告内容※

※出典：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造的評価に関する研究第4章場所打ちRC杭の杭頭部曲げせん断実験、国立研究開発法人建築研究所 向井智久、他、建築研究資料No.195、建築研究所、2019年10月

# 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例

- ▶ 表5の文献No.1の報告内容の内、構造実験結果を2例、以下に示す。
  - ✓ 試験体①では、「端部に曲げひび割れ発生→杭頭部の位置に曲げひび割れ発生→主筋の引張降伏とほぼ同時にコンクリートの圧壊発生→圧壊領域が進展し耐力が徐々に低下→圧壊により軸支持能力を喪失」といった曲げ破壊と考えられる破壊過程が示されている。(図27)
  - ✓ 試験体②では、「曲げひび割れ発生→せん断ひび割れの発生と同時に、せん断補強筋が破断し、せん断破壊」といったせん断破壊の破壊過程が示されている。(図28)
- ▶ 構造実験に基づき、せん断破壊等の一般的な破壊過程を確認した結果、No.8杭頭部の損傷状況(鉛直支持力がある程度保持された状態で杭頭部に水平ズレが発生し、鉄筋が破断)とは差異が見られる。



変形角R=1.0%サイクル

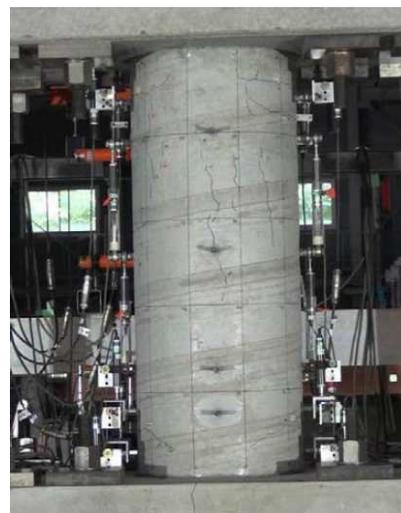


変形角R=2.0%サイクル

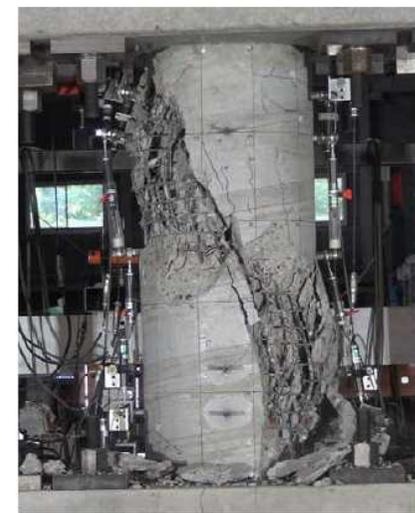


最終破壊状況

図27 試験体①の実験状況※



変形角R=±0.5%時



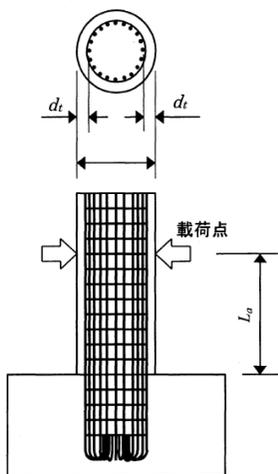
実験終了時

図28 試験体②の実験状況※

※出典：大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造的評価に関する研究第4章場所打ちRC杭の杭頭部曲げせん断実験、国立研究開発法人建築研究所 向井智久、他、建築研究資料No.195、建築研究所、2019年10月

# 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例

- ▶ 表5の文献No.2の報告内容を以下に示す。(図29)
  - ✓ 実験目的：場所打ち杭を模擬した試験体を用いた交番载荷実験を実施し、実験結果を基に、場所打ち杭の非線形性と部材の損傷状況の関連付けを行い、損傷状況を考慮した部材の変形性能算定手法の提案を行うためとされている。
  - ✓ 実験条件：鉄道高架橋等の基礎等の杭を対象に、杭径1,000mm程度の杭部材を50~70%に縮小したものとされている。試験体のパラメータは、帯鉄筋比、軸圧縮応力度、施工条件等とされている。
  - ✓ 载荷条件：载荷方法は、正負交番繰返し载荷とされている。
- ▶ 次ページに本文献の構造実験結果を1例示す。



(a)供試体の形状及び配筋略図

| 供試体 | 施工条件 | 帯鉄筋呼び名@間隔(mm) | 帯鉄筋比 $p_w(\%)$ | 帯鉄筋の接合方法                   | 軸圧縮応力度 $\sigma_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) | コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |                |
|-----|------|---------------|----------------|----------------------------|--|---------------------------------|----------------|
|     |      |               |                |                            |  | 杭体 $f_c$                        | フーチング $f_{cf}$ |
| M-0 | 気中   | D10@75        | 0.38           | フレア溶接                      | 2.70                                   | 31.4                            | 31.3           |
| A-1 | 水中   | D10@150       | 0.19           | 端部に半円形フックを取り付け、軸方向鉄筋に掛けて定着 | 8.48                                   | 29.9                            | 33.9           |
| A-2 |      |               |                |                            | 8.03                                   | 35.6                            | 32.1           |
| A-3 |      |               |                |                            | 8.65                                   | 31.7                            | 34.6           |
| A-4 | 8.45 | 41.4          | 33.8           |                            |  |                                 |                |
| B-1 | 気中   | D10@150       | 0.19           |                            | 0.00                                   | 35.3                            | 29.3           |
| B-2 | 0.00 |               |                |                            | 36.3                                   | 29.7                            |                |
| B-3 | 3.90 |               |                |                            | 39.6                                   | 31.2                            |                |
| B-4 | 水中   | D10@75        | 0.38           |                            | 3.75                                   | 37.7                            | 30.0           |
| B-5 | 泥水中  | D10@150       | 0.19           |                            | 3.73                                   | 31.6                            | 29.8           |
| T-1 | 気中   | D16@125       | 0.45           |                            | フラッシュパット溶接                             | 9.80                            | 27.3           |
| T-2 |      |               |                | -3.82                      |  | 27.7                            | 31.8           |
| T-3 |      |               |                | ※                          |  | 23.2                            | 28.1           |

(b)試験体パラメータ

図29 表5文献No.2の報告内容※

※出典：場所打ち鉄筋コンクリート杭部材の変形性能評価に関する研究、土木学会論文集、2002年8月、鉄道総合技術研究所 谷村 幸裕、他、土木学会論文 No.711/V-56、pp.173-190、2002年8月

## 1.9 既往文献に基づく杭の構造実験例

- ▶ 表5の文献No.2の報告内容の内、構造実験結果を1例、以下に示す。
  - ✓ 試験体①では、「まず、杭部材基部に水平方向に曲げひび割れが生じ、水平荷重の増加とともに曲げひび割れが発達していった。そして杭部材基部の引張側最外縁の軸方向鉄筋が降伏し、（ $1\delta_y$ 、写真-1(a)）その後水平変位の増加とともに順次軸方向鉄筋が降伏し、かぶりコンクリートの圧壊が生じた。（写真-1(b)）さらに載荷を続けると、 $5\delta_y$ の2回目の繰返し載荷でかぶりコンクリートが大きく剥落し（写真-1(c)）、軸方向鉄筋の破断（ $8\delta_y$ 3回目）に至った（写真-1(d)。（中略）以上の破壊状況より、曲げ破壊したものと考えられる。」といった曲げ破壊の破壊過程が示されている。（図30）
  - ▶ 構造実験に基づき、曲げ破壊の一般的な破壊過程を確認したが、No.8杭頭部の損傷状況（鉛直支持力がある程度保持された状態で杭頭部に水平ズレが発生し、鉄筋が破断）とは差異が見られる。

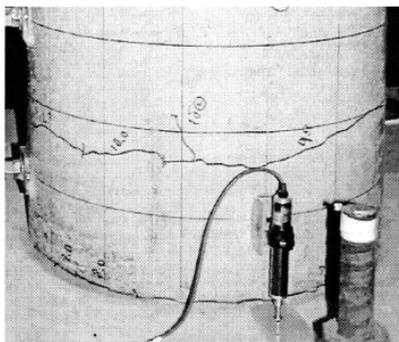


写真1-(a)

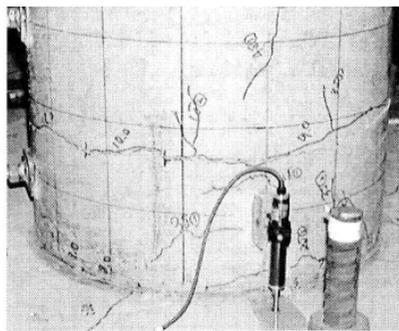


写真1-(b)

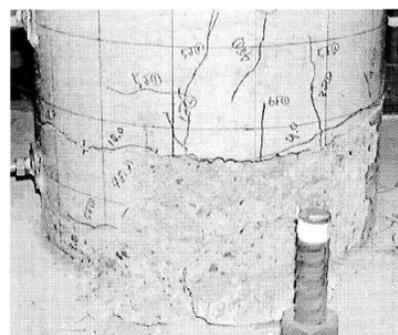


写真1-(c)

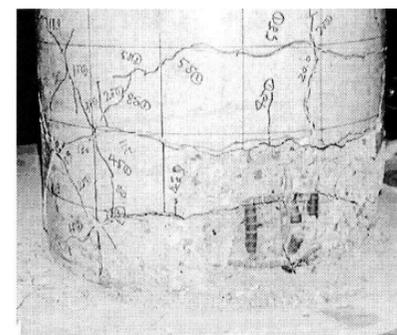


写真1-(d)

図30 試験体①の試験状況※

※出典：場所打ち鉄筋コンクリート杭部材の変形性能評価に関する研究、土木学会論文集、2002年8月、鉄道総合技術研究所 谷村 幸裕、他、土木学会論文 No.711/V-56、pp.173-190、2002年8月

### 【調査結果、原設計データに基づく考察】

- 杭の断面算定結果では、曲げモーメントがせん断力に比べ設計裕度（許容値に対する発生応力の余裕）が小さいため、杭頭部がせん断により損傷することは考えにくいですが、調査結果では、No.8杭頭部にせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・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影響と考えられる水平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。

### 【既往文献に基づく考察】

- No.6・8杭中間部の損傷状況の類似事例として、杭中間部のひび割れ発生の事例が確認されたため、被害原因として示されている地盤の液状化、杭周辺地盤の状況等といった要因については、要因分析に際し参考とする必要がある。
- No.8杭頭部の損傷状況は、既往文献に基づく杭の被害事例や構造実験例と類似していないことから、既往文献に基づき、No.8杭の損傷要因を特定することは難しいと考えているが、被害原因として多数報告されている地震力過大、地盤の液状化及び地盤変位については、杭中間ひび割れとの連続性・関係性にも留意した上で、要因分析の参考とし、網羅的な要因の絞り込みとその妥当性確認を行う必要がある。

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、既往文献に基づく杭の被害事例等の調査結果より、杭の損傷要因の特定にあたっては、本建屋の実態を踏まえた網羅的な要因の絞り込みとその妥当性確認が必要であると考ええる。

## 2.1 損傷要因評価フロー

➤ No.6・8杭の損傷原因を特定するため、図31に示す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。

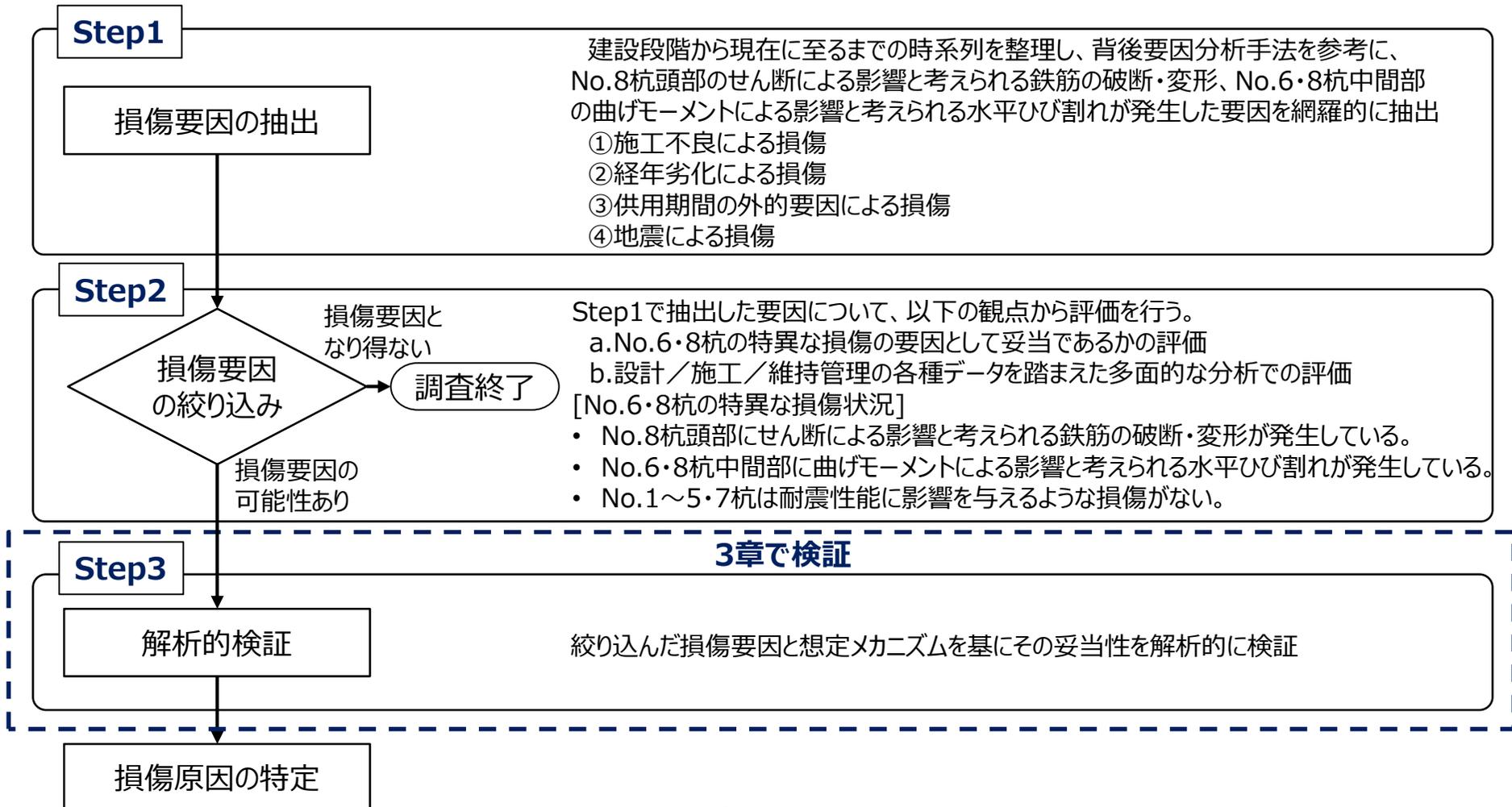


図31 損傷要因評価フロー

➤ Step 1として、No.8杭頭部のせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・変形、No.6・8杭中間部の曲げモーメントによる影響と考えられる水平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 供用期間の外的要因による損傷

- |           |             |
|-----------|-------------|
| (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)地盤の液状化・揺すり込み沈下 | (2)上部構造の慣性力・ねじれ          |
| (3)水平2方向入力        | (4)原子炉建屋からの影響            |
| (5)地盤変位           | (6)過去経験した最大の地震（新潟県中越沖地震） |
| (7)杭周辺地盤の状況       |                          |

## 2.3 損傷要因の絞り込み

➤ 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杭頭部にせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・変形が発生している。
- No.6・8杭中間部に曲げモーメントによる影響と考えられる水平ひび割れが発生している。
- No.1～5・7杭は耐震性能に影響を与えるような損傷がない。

### 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（施工計画書、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

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### 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6及び表7に示す。
- 杭の品質管理項目のうち、表6に示す項目が杭の耐力に影響を及ぼすと考えられ、No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす可能性が高いため、品質管理内容を詳細に確認した。その結果を次頁に示す。

表6 施工不良によるNo.6・8杭の特異な損傷要因の評価結果（詳細確認対象）

| 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。 | 施工不良なし |
| (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。   | 施工不良なし |
| (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、コンクリート打込みの不良は確認されなかった。          | 施工不良なし |
| (4)杭頭処理      | 杭頭処理の不良により、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。                             | 施工不良なし |

表7 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。                                      | 施工不良なし |
| (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。 | 施工不良なし |
| (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。  | ケーシングの鉛直精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。                           | 施工不良なし |
| (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 |

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### 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8に示す。
- 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、施工管理及び社内検査を実施しており、一連の品質管理の中で施工不良は確認されていない。
- また、当社は、要求品質が確保されていることを立会又は記録等により確認しており、こ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8 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<br>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                         | 施工不良なし |
|              | 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<br>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 | 施工不良なし |
| (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<br>鉄筋本数が均等に分布していること<br>鉄筋あきが所定の数値以上確保されていること<br>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                         | 施工不良なし |
|              | 鉄筋かごの建込み精度      | 鉄筋かごの傾斜<br>鉄筋かごの設置高さ | 垂直性を2方向から確認<br>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        | 施工不良なし |
| (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        | 施工不良なし |
|              |                 | 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 |

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### 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。

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### 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に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。

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ③供用期間の外的要因による損傷

#### (1)重機等の衝突

- 供用期間において、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、供用期間の外的要因により杭が損傷に至ったことは考えにくい。

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ④地震による損傷

#### (1)地盤の液状化・揺すり込み沈下

- 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・大きな地盤の鉛直変動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や揺すり込み沈下が発生しておらず、これらの事象により杭が損傷に至ったことは考えにくい。(図32及び図33)
- なお、K6大物搬入建屋は原子炉建屋の地下水排水設備近傍に立地しており、過去の記録から、新潟県中越沖地震発生前後においても地下水排水設備が稼働していたことを確認しているため、地下水位が低下していたと考えられる。



図32 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



図33 中越沖地震後の地盤鉛直変動図※

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ④地震による損傷

#### (2)上部構造の慣性力・ねじれ

- K6大物搬入建屋は、建屋形状が左右対称で、かつ、杭配置がほぼ均等であることから、地震時の上部構造からの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34及び図35)

#### (3)水平2方向入力

- 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、同様にNo.1・2・7杭も隅杭であることから、No.8杭の損傷は、水平2方向入力の影響による要因ではないと考えられる。

#### (4)原子炉建屋からの影響

- K6大物搬入建屋と原子炉建屋は、エキスパンションジョイントを介して構造的に分離している。
- 新潟県中越沖地震後の調査結果より、建屋間境界部周辺の躯体に損傷は確認されていないため、原子炉建屋からの影響により、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36)

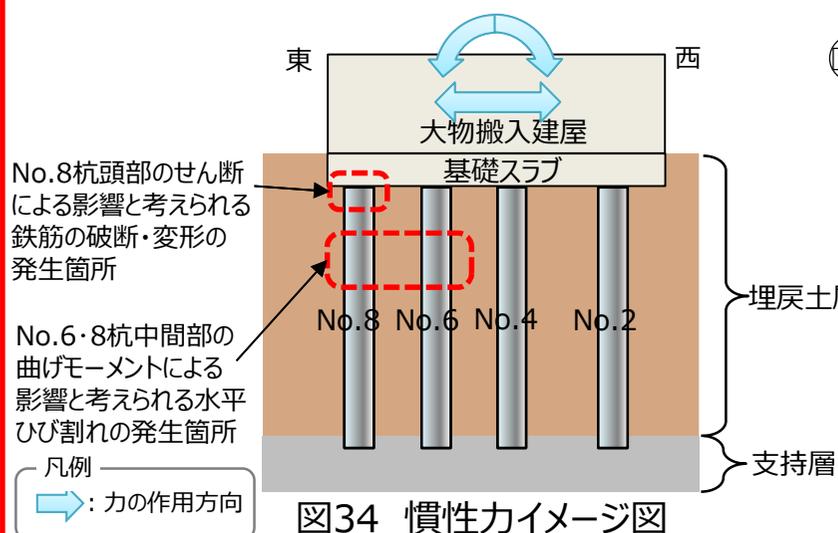


図34 慣性力イメージ図

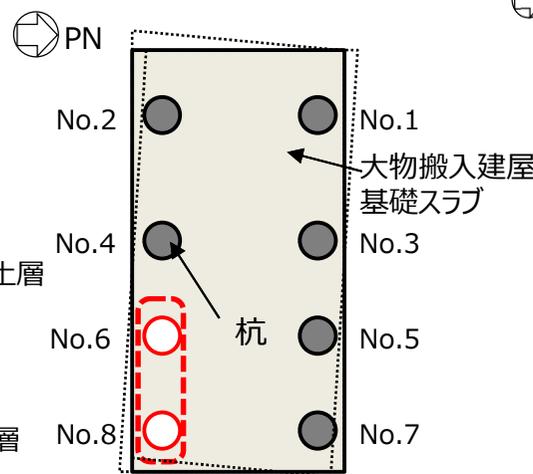


図35 ねじれイメージ図

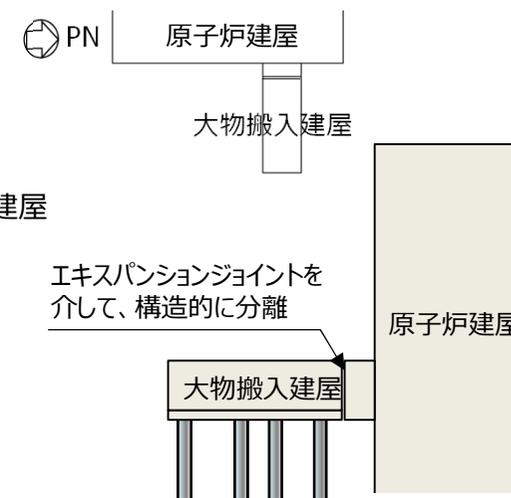


図36 原子炉建屋との位置関係

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ④地震による損傷

#### (5)地盤変位

- K6大物搬入建屋の杭周辺の地盤は、建設時にT.M.S.L.0mまでオープンカット工法で掘削を行い、その後、T.M.S.L.12mまで敷地内の掘削土（埋戻土）で埋め戻していることから、水平方向に広がりを持った一様な地質構造となっており、また、法面から離れた位置にK6大物搬入建屋は立地している。（図37）
- 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杭周辺地盤の状況によっては、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。

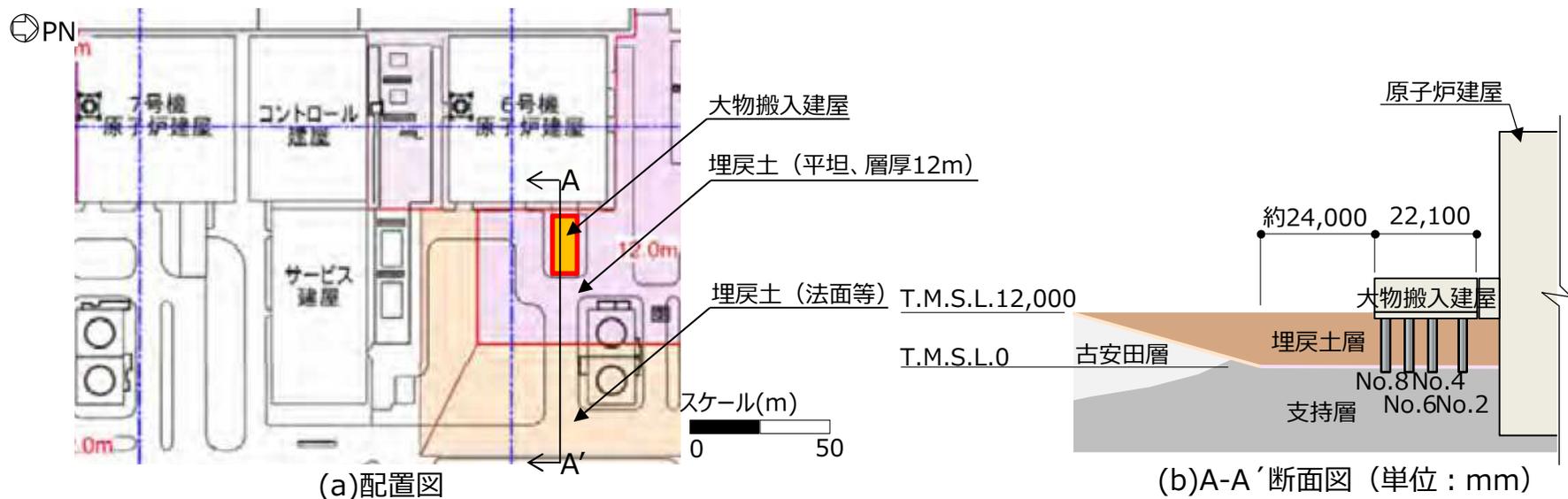


図37 大物搬入建屋周辺埋戻土の概略範囲図※

※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

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ④地震による損傷

#### (6)過去経験した最大の地震（新潟県中越沖地震）

##### 1)目的

- ・ 供用期間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38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。（参考資料59ページ参照）
- ・ 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号機設工認申請に伴う追加の地盤調査結果に基づき、原設計時からの地盤の層厚と物性値を見直し、設定した。（表9）
- ・ 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による応力及び一次元波動論による地盤応答解析により算定した地盤変位による杭の応力を足し合わせて、杭に生じる応力を評価した。（図39）

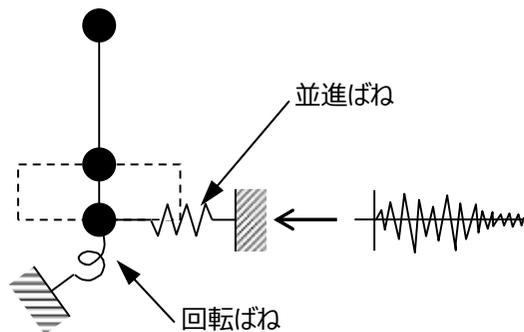


図38 地震応答解析モデル

表9 地盤条件

| 深さ<br>T.M.S.L.<br>(m) | 地層  | 初期せん断<br>波速度<br>$V_s$ (m/s) | 単位体積<br>重量<br>$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 初期<br>ポアソン比<br>$\nu$ | 初期せん断<br>弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 剛性低下率<br>$G/G_0$ | せん断<br>弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 剛性低下後<br>S波速度<br>$V_s$ (m/s) | 減衰定数<br>$b$ (%) |
|-----------------------|-----|-----------------------------|---|----------------------|---|------------------|---|------------------------------|-----------------|
| 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                                   | 585                          | 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             |

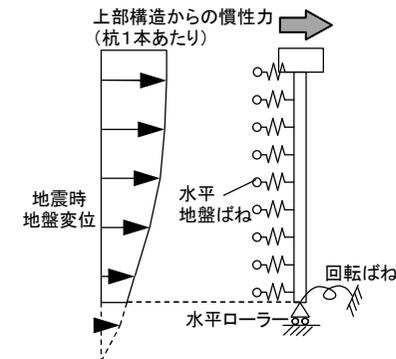


図39 杭の応力解析方法

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### Step2 ④地震による損傷

#### 3)解析結果

- 図40及び図41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。なお、本解析は基礎の柔性を非考慮及び上部構造からの慣性力と地盤変位による応力の最大値をそれぞれ静的に算定し、その結果を足し合わせて評価していることから、一定の保守性を持ったものと想定され、No.6・8以外の杭の損傷状況と整合しない保守的なものとなっている。
- また、仮に水平2方向入力を考慮した場合、せん断力は終局せん断耐力に対して十分な余裕があり曲げモーメントは終局曲げモーメントを超えることが予想され、杭の損傷状況とは整合しない。

以上の解析結果から、No.8杭頭部の鉄筋破断を引き起こすようなせん断応力状態には至らず、杭に応力集中を発生させる設計上考慮されていない要因があったと考える。

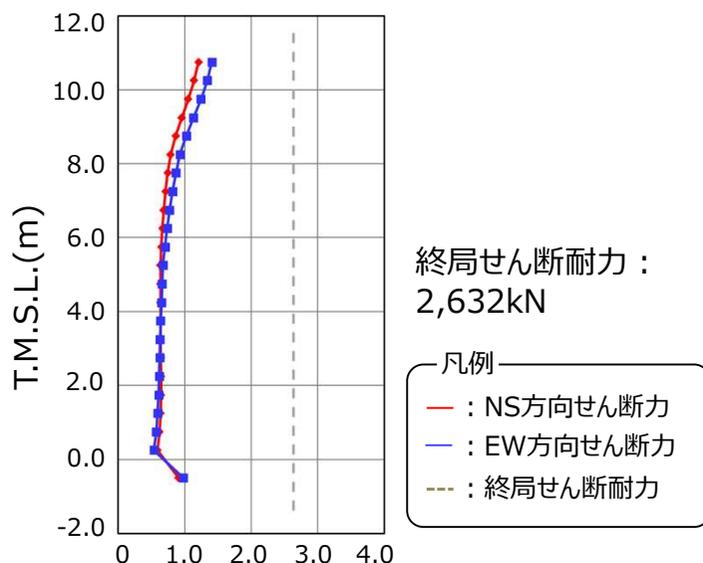


図40 杭のせん断力 (単位： $\times 10^3$ kN)

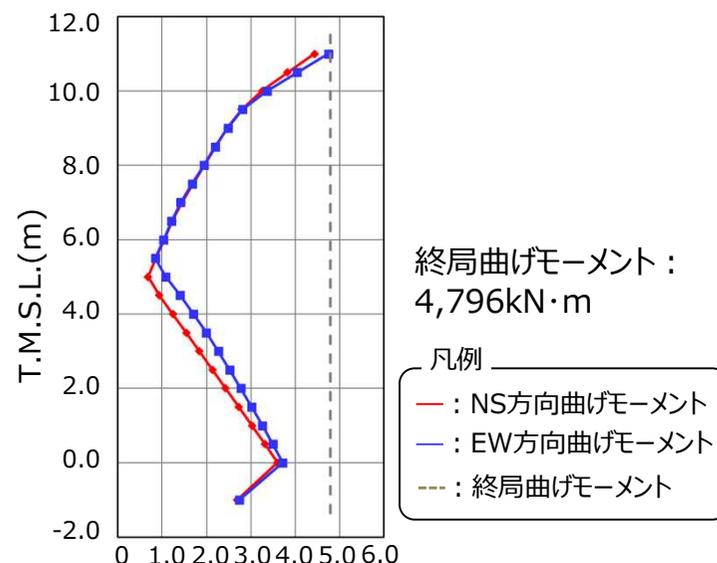


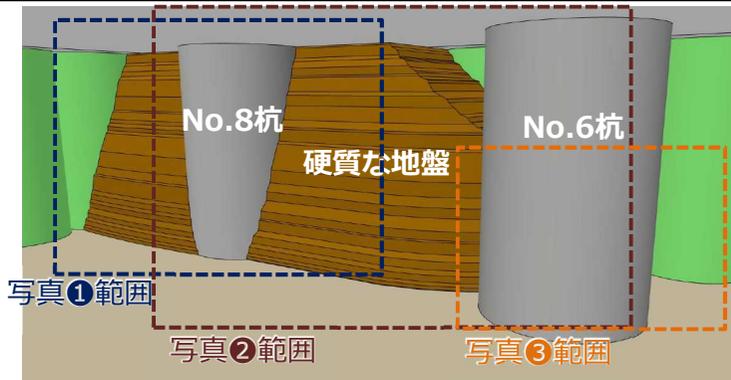
図41 杭の曲げモーメント (単位： $\times 10^3$ kN・m)

## 2.3 損傷要因の絞り込み

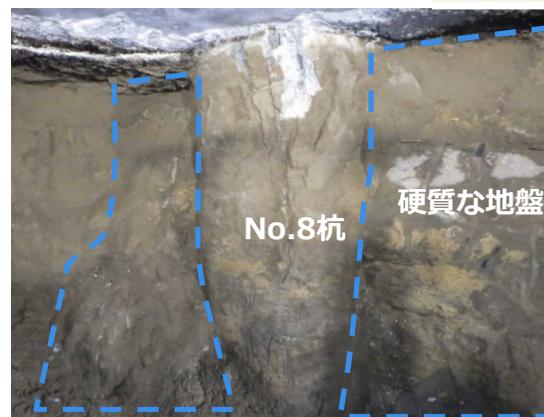
### Step2 ④地震による損傷

#### (7)杭周辺地盤の状況

- (5),(6)に基づき、No.6・8の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、杭に応力集中を発生させる設計上考慮されていない要因の有無について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、主に埋戻土で構成されている地盤の中で、K6大物搬入建屋南東側周辺に硬質な地盤があったことを確認した。図42に杭周辺地盤の状況を示す。
- 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。



- 凡例
- : 掘削中に確認された硬質な地盤
  - : 耐震強化工事の地盤改良体
  - : 埋戻土
  - : 建屋下と地上の昇降口



写真① 写真② 図42 杭周辺地盤の状況

## 2.3 損傷要因の絞り込み

### 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43にセメント改良土配置図を示す。
- これにより、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。

— 49 —

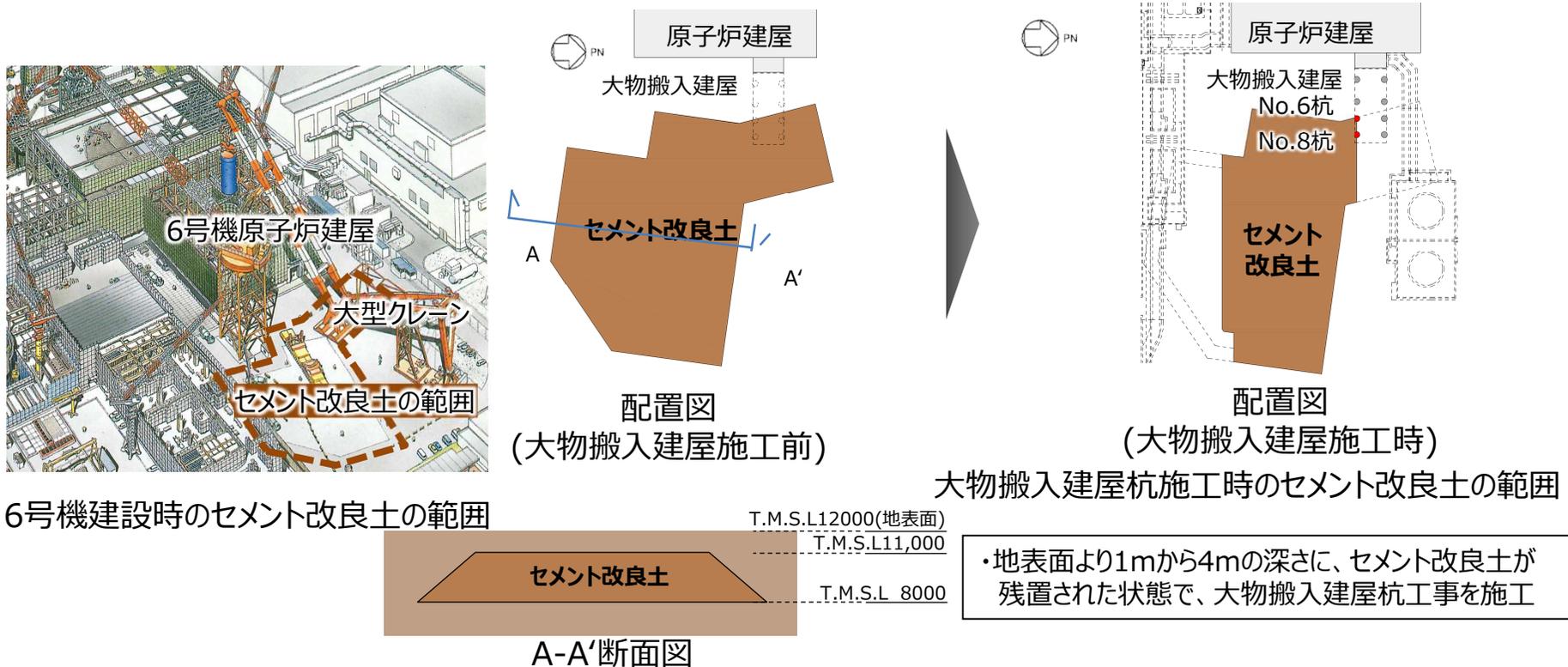


図43 セメント改良土配置図

- 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10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設計上考慮されていない要因がある場合は、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。
- 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。これにより、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。

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10 損傷要因評価結果

| 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  | 供用期間の外的要因による損傷                          | 供用期間の外的要因により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<br>・杭周辺地盤の状況<br>→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。 |

# 3.1 セメント改良土に着目した解析

➤ 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「杭周辺地盤の状況」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杭頭部にせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・変形が発生している。（図44）
- ② No.6・8杭中間部に曲げモーメントによる影響と考えられる水平ひび割れが発生している。

### 「周辺地盤状況」（図45）

・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拘束されたため、主に上部構造からの慣性力によるせん断力の影響で損傷した。
- ② No.6・8杭中間部がセメント改良土に拘束されたため、主に埋戻土との境界部の地盤変位による曲げモーメントの影響で損傷した。

と推定した。

杭頭部にせん断による影響と考えられる損傷



図44 No.8杭頭部の損傷状況

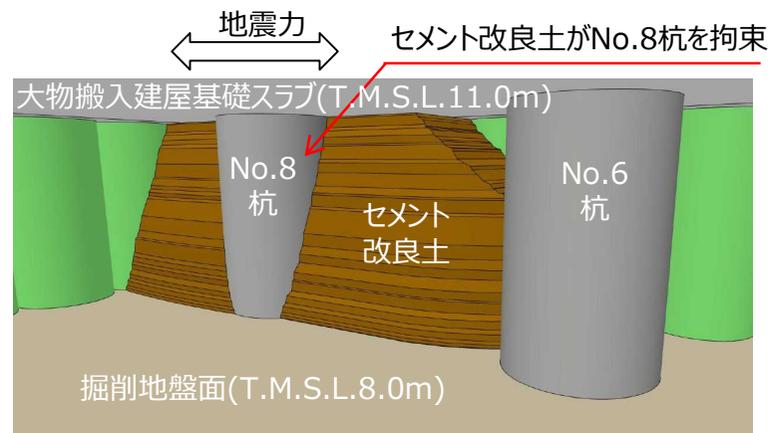


図45 杭とセメント改良土の位置関係

## 3.2 No.8杭のせん断力に着目した解析

### (1)基本方針

- 杭の損傷状況、推定要因、推定される損傷メカニズム（図46）に基づき、次ページ以降で、3次元FEMモデルを用いた静的応力解析を行い、セメント改良土がNo.8杭に及ぼす応力集中の傾向分析を行う。

### (2)解析の前提条件

- No.8杭頭部にせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・変形が発生していることから、杭頭部のせん断力に着目した解析とする。
- 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した条件で解析を行う。
- 杭頭部のせん断力は、地震時の上部構造からの慣性力が支配的であり、地盤変位の影響は小さいと考えられるため、上部構造からの慣性力に着目した解析とする。

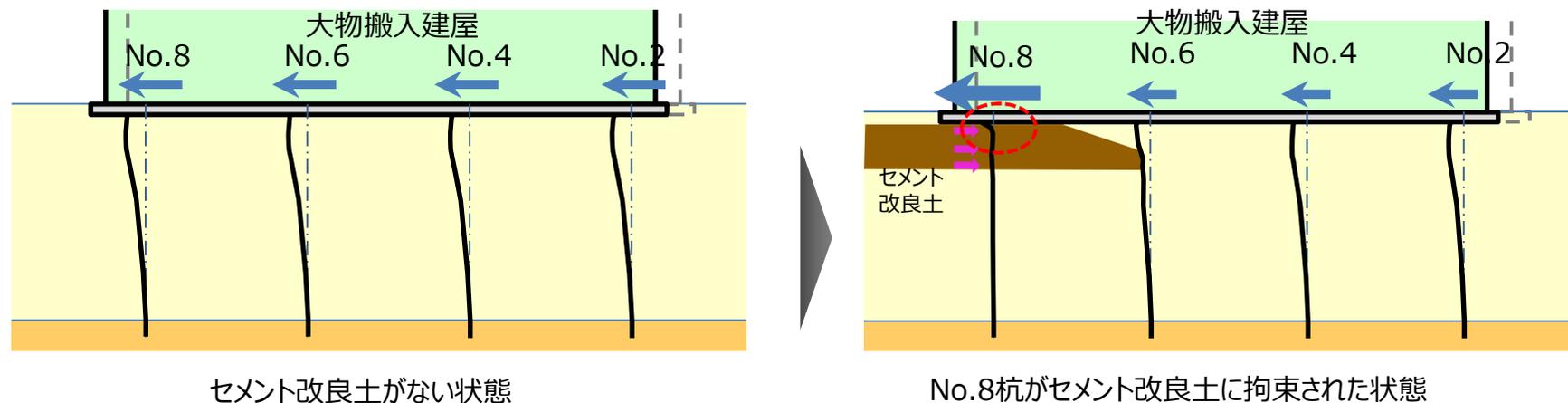


図46 地震力伝達状態（イメージ）

## 3.2 No.8杭のせん断力に着目した解析

### (3)解析目的・条件

- 周辺地盤を考慮した3次元FEMモデルを作成し、基礎を水平方向に仮定の慣性力として単位荷重で加力した場合の静的応力解析を行い、セメント改良土によるせん断力の応力集中傾向を確認する。
- 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EW方向の揺れが卓越していたことから西から東方向とする。またせん断力の応力集中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47に、建屋周辺の解析モデル図を図48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ケースとする。

大物搬入建屋の基礎を水平方向に仮定の慣性力として単位荷重で加力し、杭頭部のせん断力の最大値の比率を算出し、応力集中の傾向を確認する。

Case1：セメント改良土なし

Case2：セメント改良土あり

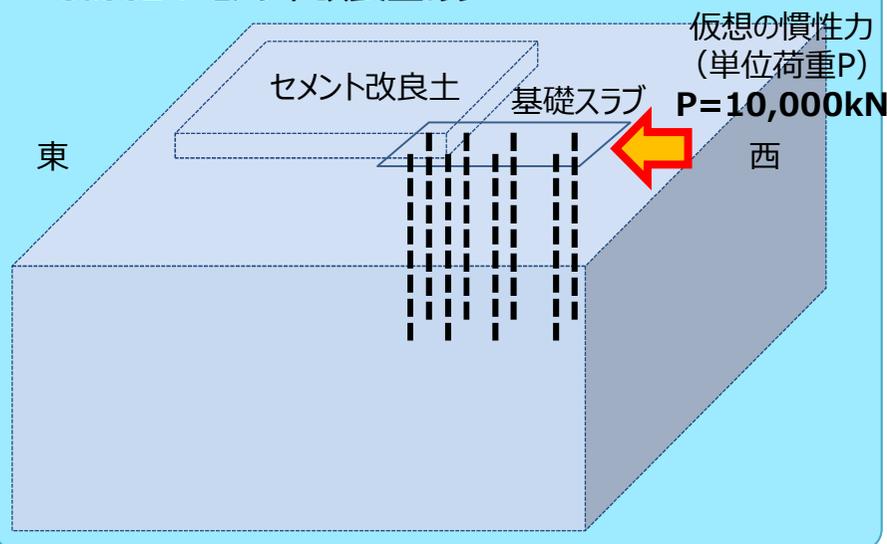
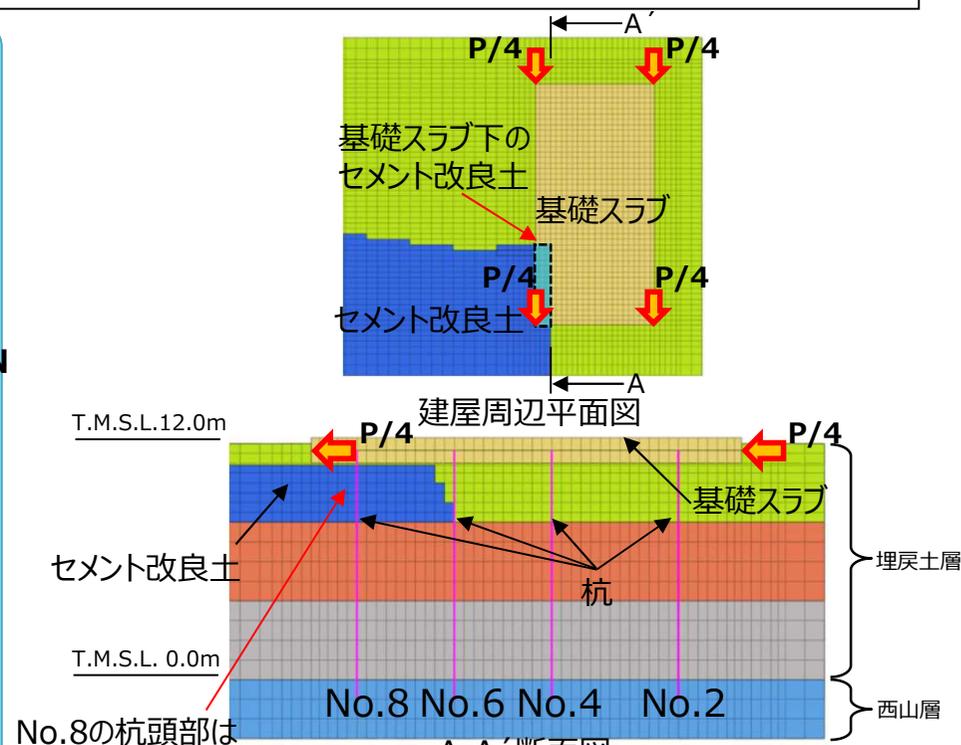


図47 3次元FEM静的応力解析のイメージ



No.8の杭頭部はセメント改良土に拘束されている。

図48 建屋周辺の解析モデル図 (Case2:セメント改良土あり)

# 3.2 No.8杭のせん断力に着目した解析

## (4)解析結果

- 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49に、杭頭部のせん断力の最大値の比率を図50に示す。

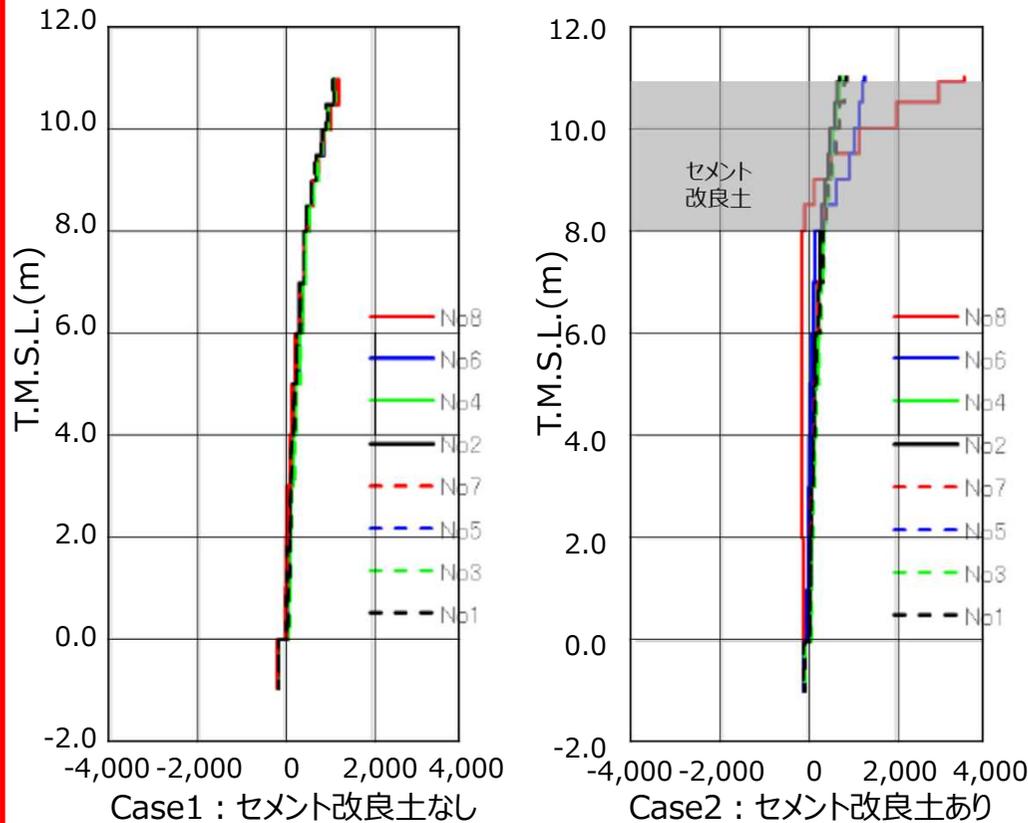


図49 杭のせん断力 (単位 : kN)

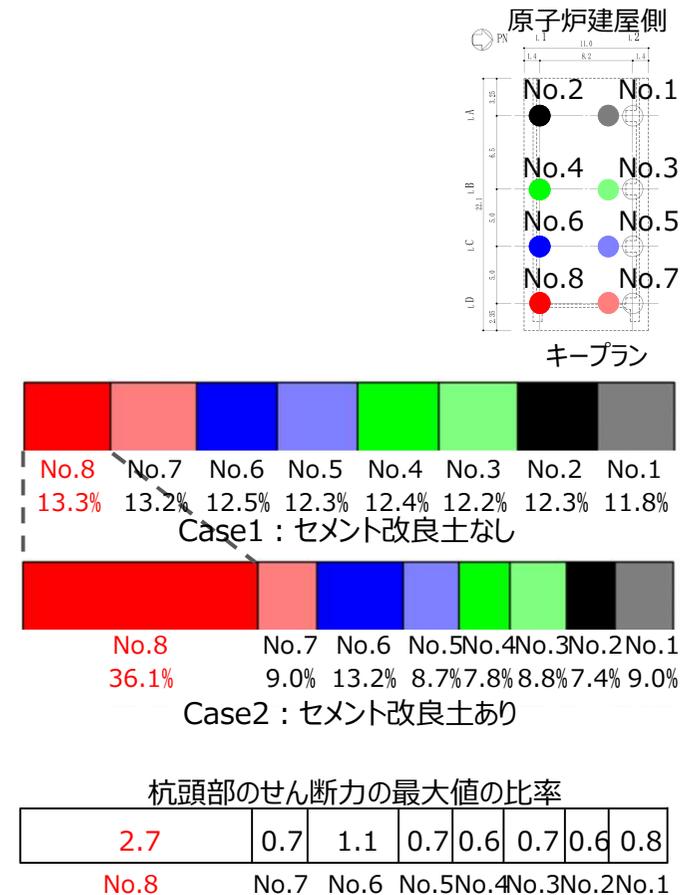


図50 Case2/Case1の比率

#### (5)解析的検証の結果

- 図50に示すように、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、杭頭部のせん断力が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。
- NS方向に加力した場合もEW方向と同様にNo.8杭頭部に応力集中する傾向は同じであるが、EW方向の方がより集中度が大きいことから、No.8杭頭部の鉄筋の損傷状況と整合することを確認した。  
(参考資料62ページ参照)
- 本解析の単位荷重10,000kNは、40ページで示すセメント改良土を考慮していない中越沖地震シミュレーション解析の杭8本が負担する杭頭部のせん断力（EW方向：約1,400kN/本×8本=約11,200kN）に比べ、大きな差がない程度の荷重となっており、中越沖地震シミュレーション解析結果の杭頭部のせん断力に対して、約3倍の応力集中の結果を乗じた場合、No.8杭頭部は終局せん断耐力（建築基礎構造設計指針に基づく）を超える可能性がある。

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、No.8杭頭部の鉄筋の破断・変形が発生した要因と考えられる。

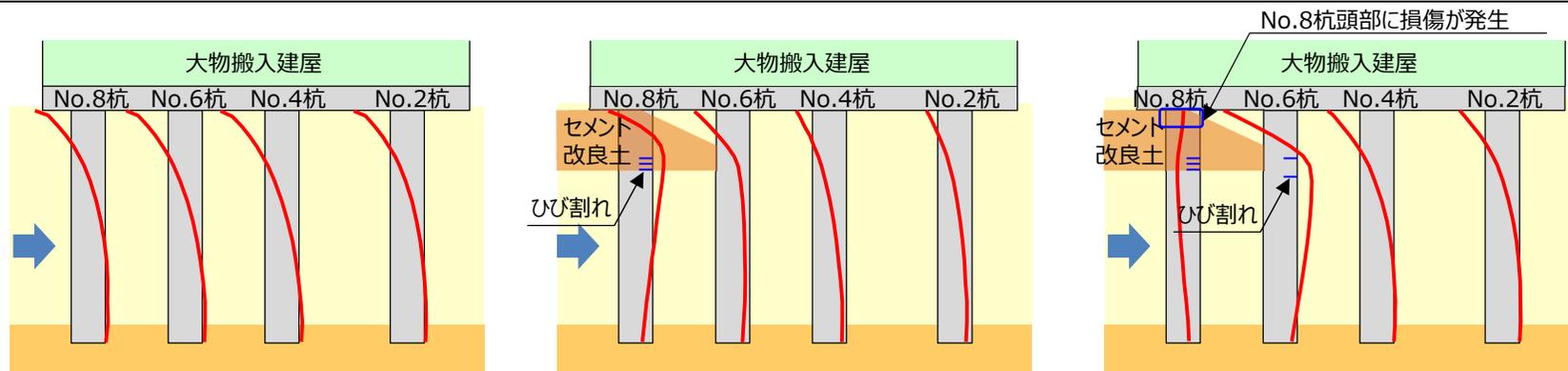
# 3.4 No.6・8杭の曲げモーメントに着目した解析

## (1)基本方針

- 杭の損傷状況、推定要因、推定される損傷メカニズム（図51）に基づき、次ページ以降で、3次元FEMモデルを用いた静的応力解析を行い、セメント改良土がNo.6・8杭に及ぼす応力集中の傾向分析を行う。

## (2)解析の前提条件

- No.6・8杭中間部に曲げモーメントによる影響と考えられる水平ひび割れが発生しているため、杭中間部の曲げモーメントに着目した解析とする。
- 地震時にセメント改良土がNo.6・8杭を拘束した条件で解析を行う。また、併せてNo.8杭頭部がせん断により損傷した場合の応力状態を確認するため、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する。
- 上部構造からの慣性力による曲げモーメントは杭頭部が支配的であり、杭中間部に与える影響は小さいと考えられるため、杭中間部の曲げモーメントに影響を与える可能性が考えられる地盤変位に着目した解析とする。



凡例  
← : 力の作用方向  
— : 想定曲げモーメント

図51 杭に生じる想定曲げモーメント（イメージ）

### 3.4 No.6・8杭の曲げモーメントに着目した解析

#### (3) 解析目的・条件

- 周辺地盤を考慮した3次元FEMモデルを作成し、地盤に対して仮定の慣性力を単位荷重として与えた場合の静的応力解析を行い、セメント改良土と埋戻土の境界部の曲げモーメントを確認する。
- 3次元FEM静的応力解析のイメージを図52に、建屋周辺の解析モデル図を図53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応力状態を確認するため、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杭頭部の損傷を模擬）」の3ケースとする。

地盤に対して仮定の慣性力として単位荷重を与え、杭中間部の曲げモーメントの影響を確認する。

Case1：セメント改良土なし

Case2：セメント改良土あり

Case3：セメント改良土あり(No.8杭頭部の損傷を模擬)

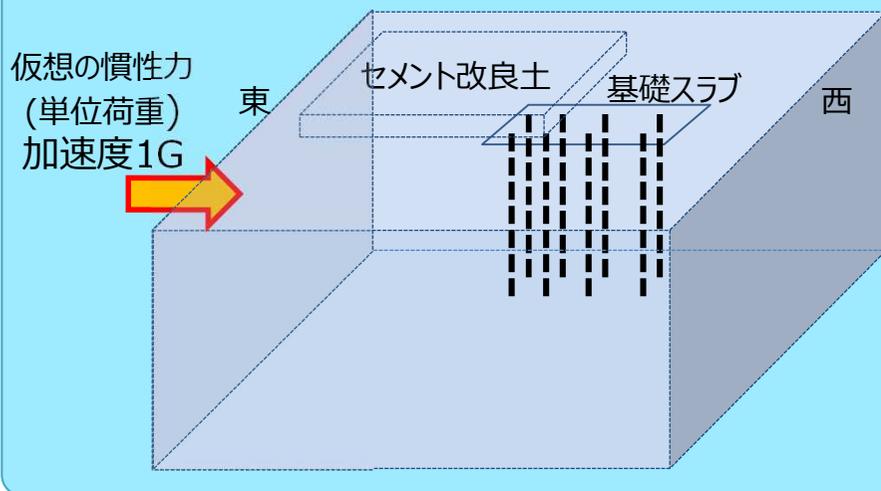


図52 3次元FEM静的応力解析のイメージ

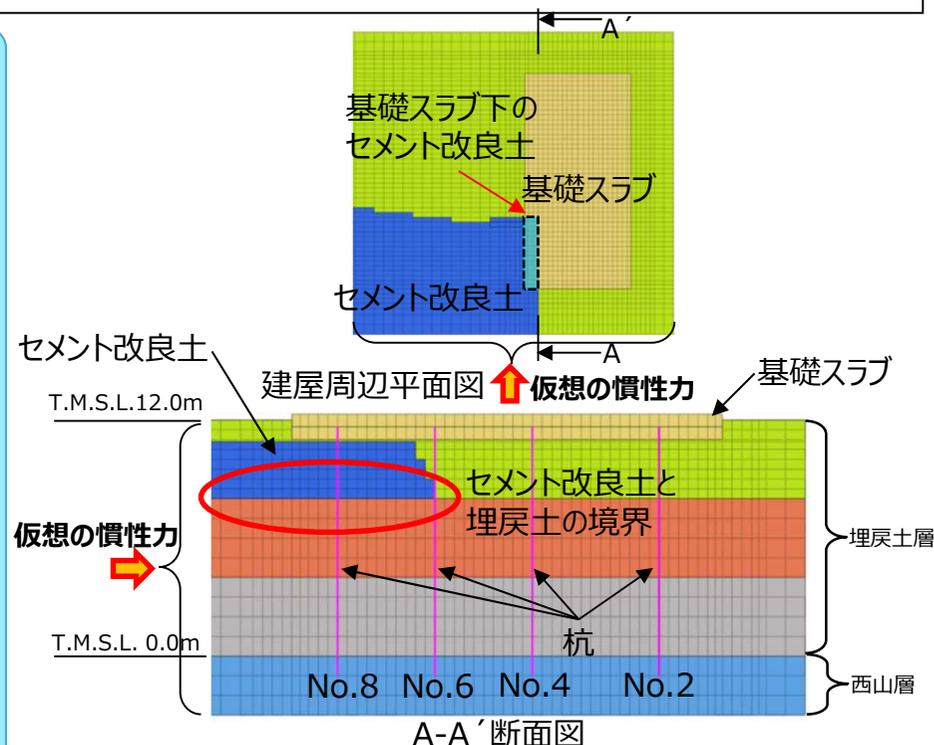


図53 建屋周辺の解析モデル図 (Case2:セメント改良土あり)

# 3.5 No.6・8杭の曲げモーメントに着目した解析のまとめ

## (4) 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54に示す。
- セメント改良土なしの場合、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。
- セメント改良土ありの場合、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。
- No.8杭頭部の損傷を模擬した場合、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。
- 今回の解析結果とNo.6・8杭の健全性調査で確認されたひび割れ位置（T.M.S.L.8m前後）は概ね整合している。

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杭中間部に水平ひび割れが発生した要因と考えられる。

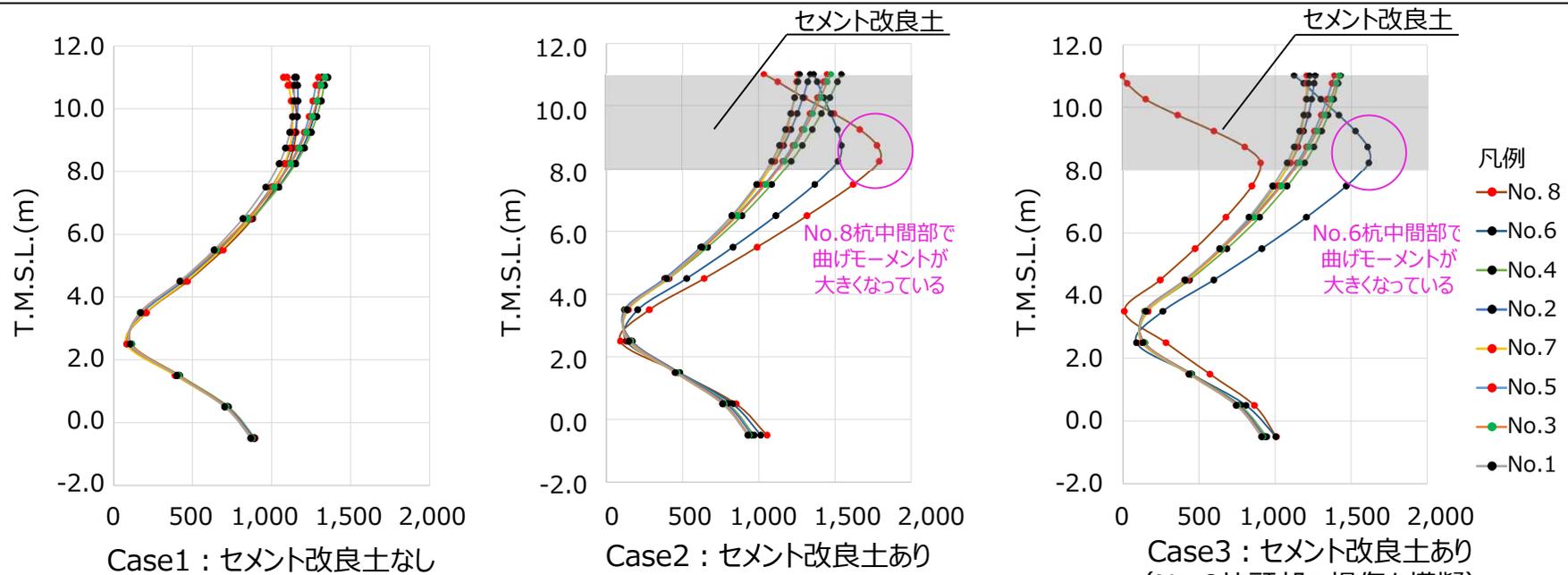


図54 杭の曲げモーメント (単位 : kN・m)

### 3.6 No.6・8杭の損傷メカニズム（推定）

- 杭の損傷状況とセメント改良土の干渉状況から推定したNo.6・8杭の損傷メカニズムを図55に示す。
- No.6・8杭の特異な損傷は、セメント改良土が杭を拘束している状況のもとで、地震力が作用し、No.6・8杭に応力集中したことによるものと推定した。

- 59 -

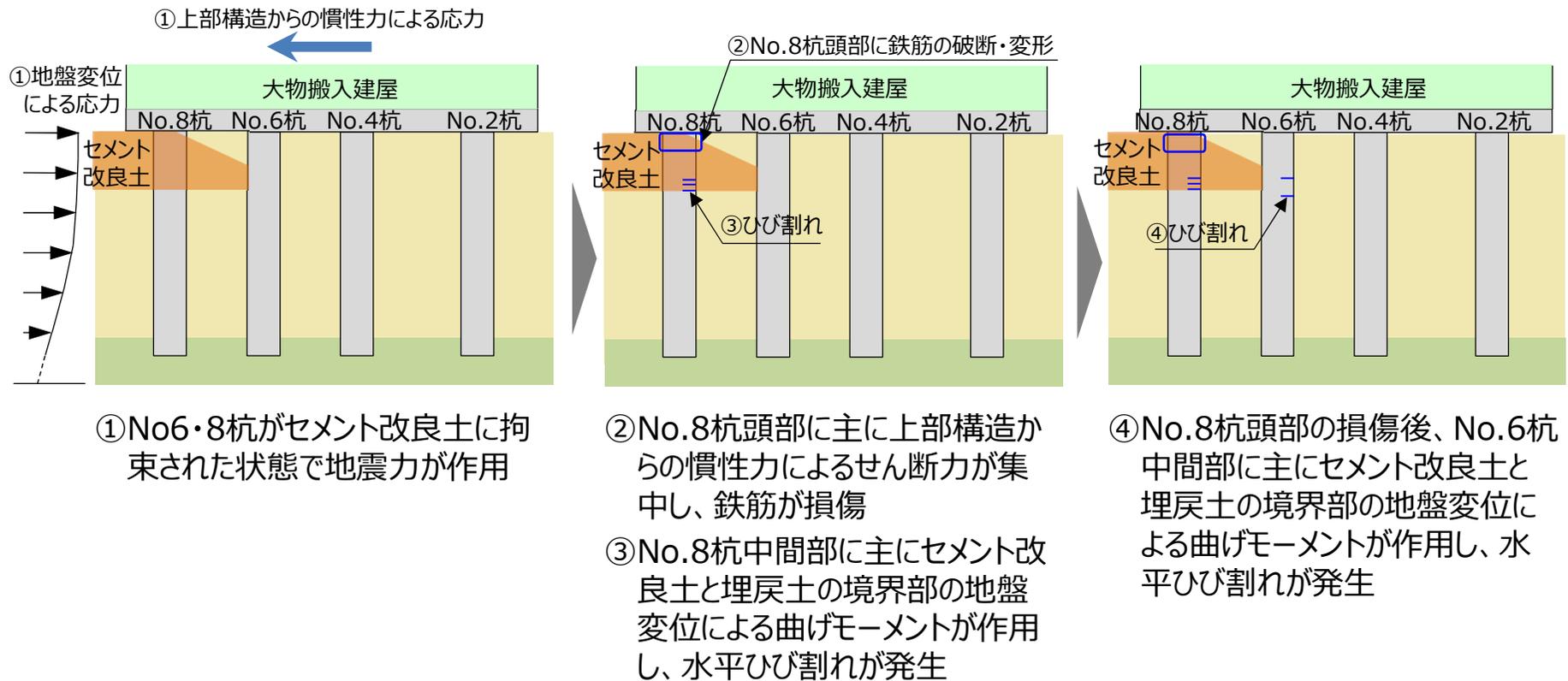


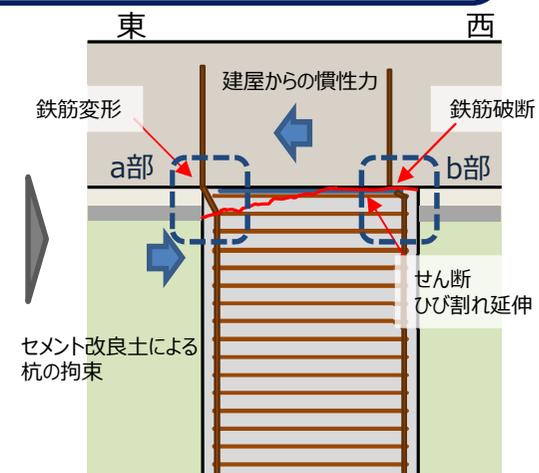
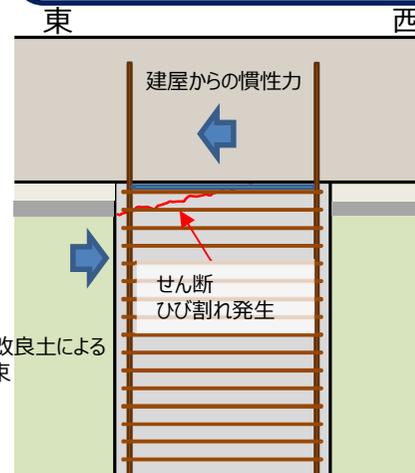
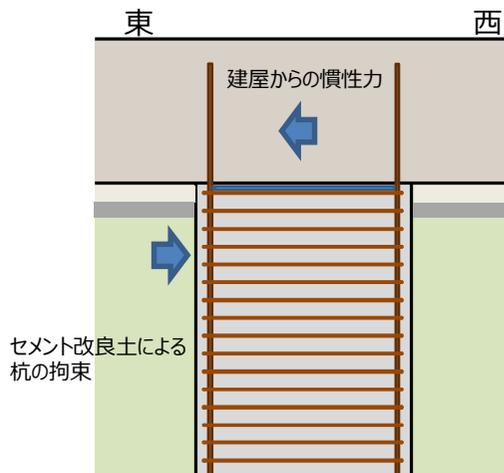
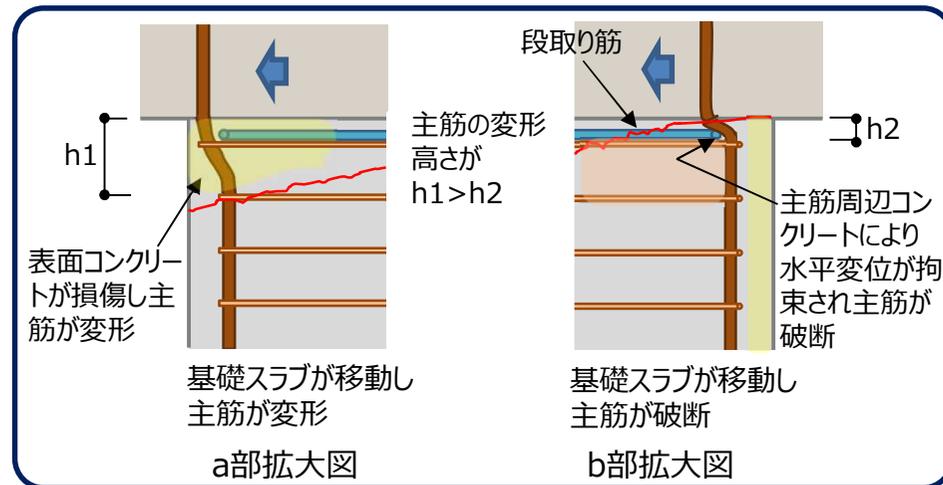
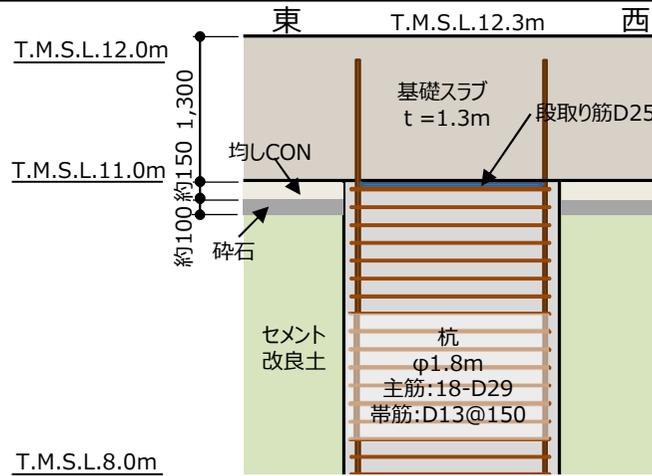
図55 No.6・8杭の損傷メカニズム（推定）

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <p><b>背景</b></p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 新規制基準を踏まえたK6大物搬入建屋の耐震強化工事に伴い、建屋下の掘削作業を進める中、南東側のNo.8杭に損傷を確認した。</li> </ul>   |
| <p><b>1.杭の健全性調査結果</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 杭の健全性調査の結果、南東側のNo.6・8杭に損傷が集中していることを確認した。             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No.8杭頭部にせん断による影響と考えられる鉄筋の破断・変形が発生</li> <li>✓ No.6・8杭中間部に曲げモーメントによる影響と考えられる水平ひび割れが発生</li> </ul> </li> <li>➤ 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るものと推定した。</li> </ul>  |
| <p><b>2.杭の損傷要因の絞り込み</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No.6・8杭の特異な損傷を引き起こす要因を網羅的に抽出し、「施工不良」、「経年劣化」、「供用期間の外的要因」、「地震」の項目に整理して、要因の絞り込みを実施した。</li> <li>➤ その結果、損傷が集中しているNo.6・8杭に、6号機建設時に施工されたセメント改良土が干渉していたことを確認した。</li> <li>➤ これにより、地震が発生した際、杭に応力集中する可能性があるかと推定した。</li> </ul>   |
| <p><b>3.杭の損傷要因の検証</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No.6・8杭周辺のセメント改良土と杭の損傷状況から損傷に至るメカニズムを推定した。             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No.8杭頭部の鉄筋の破断・変形は、セメント改良土がNo.8杭を拘束したため、主に上部構造からの慣性力によるせん断力の影響で損傷したものと推定</li> <li>✓ No.6・8杭中間部の水平ひび割れは、セメント改良土がNo.6・8杭を拘束したため、主に埋戻土との境界部の地盤変位による曲げモーメントの影響で損傷したものと推定</li> </ul> </li> <li>➤ 推定した損傷メカニズムの妥当性について、3次元FEM静的応力解析による傾向分析を実施した結果、セメント改良土の影響でNo.6・8杭に応力集中する傾向を確認した。</li> </ul> |

以上から、No.6・8杭の特異な損傷は、セメント改良土が杭を拘束している状況のもとで、地震力が作用し、No.6・8杭に応力集中したことによるものと推定した。

# 【参考】No.8杭頭部の鉄筋破断・変形のメカニズム（推定）

➤ No.8杭頭部の鉄筋破断・変形のメカニズムを図56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56 No.8杭頭部の鉄筋破断・変形のメカニズム（推定）



令和4年11月21日第1092回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料 1

# 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 (杭の損傷に関する追加調査について)

---

2022年11月21日  
東京電力ホールディングス株式会社

➤ 設計及び工事計画認可申請に係る審査会合の指摘事項に対する回答

| No. | 実施日                        | 指摘事項  |
|-----|----------------------------|---|
| 1   | 2022年10月20日<br>第1082回 審査会合 | 【大物搬入建屋 杭の損傷要因について】<br>柏崎刈羽原子力発電所において現在実施されている、6号機大物搬入建屋以外の他号機も対象とした、杭基礎構造物周辺の調査等について、当該調査結果を説明すること。その際は、本会合は6号機の設工認の審査会合であることから、6号機に関する調査結果を中心に、それ以外の号機に関する調査結果も分かるように説明をすること。また、追加調査において、今回説明のあった類似事案がもれなく抽出されているかについて、調査対象の網羅性や調査プロセスも含めて説明すること。 |

■ 回答

6号機大物搬入建屋以外の他号機も対象とした、杭基礎構造物周辺の調査等について、6号機に関する調査結果を中心に、調査対象の網羅性及び調査プロセスを含めて、本資料により説明する。

1. 杭の損傷に関する追加調査実施の経緯
2. 建設残置物の追加調査
  - 2.1. 調査対象施設の選定
    - 2.1.1. 調査対象施設の選定方法
    - 2.1.2. 調査対象施設の選定結果
  - 2.2. 追加調査方法および調査結果
    - 2.2.1. 建設残置物の追加調査方法
    - 2.2.2. 建設残置物の追加調査結果
    - 2.2.3. 5号機フィルタベント基礎 調査状況
    - 2.2.4. 6号機フィルタベント基礎 調査結果
    - 2.2.5. 7号機フィルタベント基礎 調査結果
3. 4号機大物搬入建屋の調査
4. 追加調査のまとめ
5. 一連の追加調査を踏まえた設計上の対応について

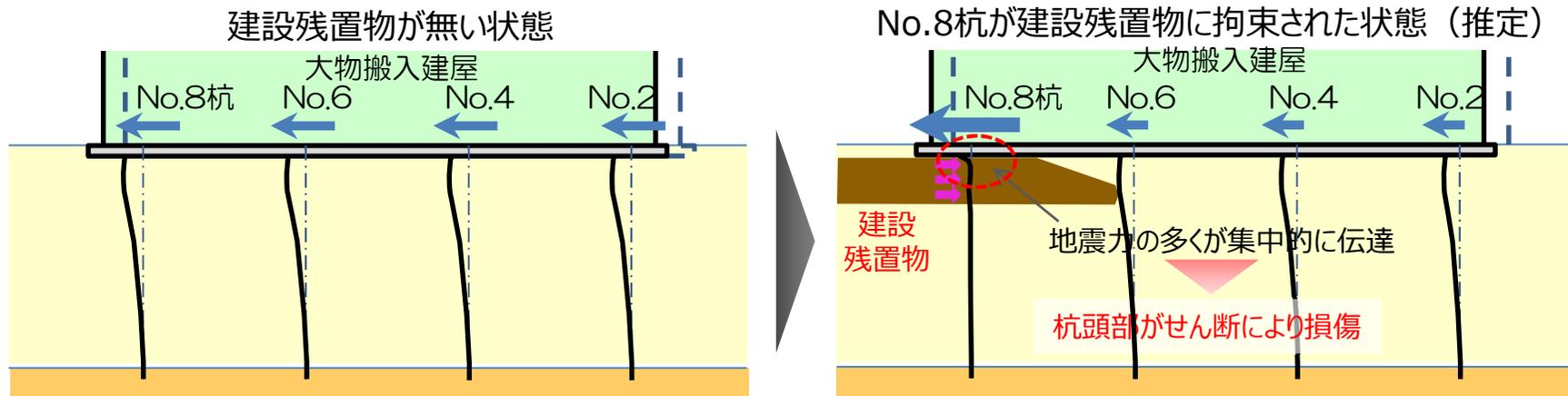
# 1. 杭の損傷に関する追加調査実施の経緯 (1/2)

## (1) 6号機大物搬入建屋の杭損傷事象

- 6号機大物搬入建屋は、新規規制基準を踏まえた安全対策として、原子炉建屋と同等のSクラスとする耐震強化工事を実施。2021年7月、当該工事において、隅杭（No.8杭）に損傷を確認、その後の調査により、隅杭（No.8杭）と隣接杭（No.6杭）に損傷が集中していることが判明。
- 以降、損傷原因究明のため、詳細調査を開始。

## (2) 6号機大物搬入建屋の調査結果まとめ

- 詳細調査の結果、6号機大物搬入建屋の杭損傷要因は、建設残置物である地中の大型クレーン用セメント改良土が杭に干渉しているという状況のもとで、新潟県中越沖地震による地震力が作用したことによるものであると推定。



6号機大物搬入建屋 地震力伝達イメージ図

# 1. 杭の損傷に関する追加調査実施の経緯 (2/2)

## (3) 追加調査実施の経緯

- 6号機大物搬入建屋の杭の損傷は、設計で考慮していない建設残置物（セメント改良土）が杭を拘束している状況のもとで、新潟県中越沖地震による地震力が作用したという特異な要因によるものであり、上物・基礎部に異常がなく、かつ建設残置物の影響を受けていない杭支持構造物においては、当該事象のような耐震性能に影響のある損傷はないと考える。



### 追加調査1 建設残置物の調査

- 6号機大物搬入建屋と同様にセメント改良土等の建設残置物が杭に干渉していないか確認するため、主要な杭支持構造物を対象に追加調査を実施。

### 追加調査2 4号機大物搬入建屋の調査

- 上物・基礎部に異常がなく、かつ建設残置物の影響を受けていない杭支持構造物においては、6号機大物搬入建屋のような耐震性に影響のある損傷はないという当社の考えをより確かなものにするため、同種構造であり、新潟県中越沖地震において地震影響の大きかった荒浜側に立地している4号機大物搬入建屋（上物・基礎部に異常なし、建設残置物の影響なし）を対象に追加調査を実施。

## 2.1.1. 調査対象施設の選定方法（1/2）

➤ 調査対象施設は、発電所構内の建物・構築物及び土木構造物のうち、主要な杭支持構造物を抽出し、このうち杭に接する地盤改良を実施していないものとする。

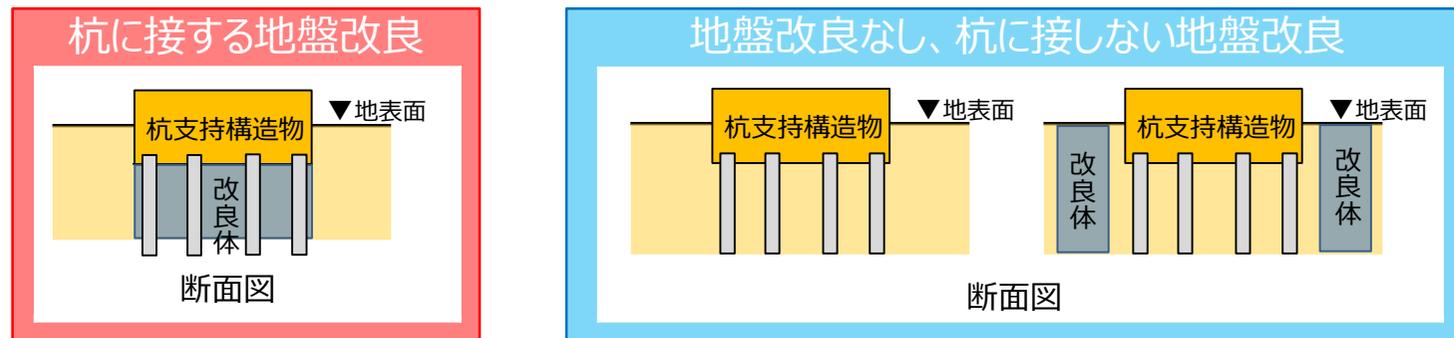
### 【主要な杭支持構造物】

主要な杭支持構造物とは、耐震上の重要性を考慮し基準地震動 $S_s$ による耐震評価が要求される施設を対象とする。具体的には、設計基準対象施設のうち耐震重要施設、耐震重要施設の間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設、並びに重大事故等対処施設※、重大事故等対処施設※の間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設とし、(1)～(3)の条件により選定。

- (1) 7号機：7号機設計及び工事の計画の認可「V-2-1-4耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」に記載の杭支持構造物を選定。
- (2) 6号機：6号及び7号炉の新規制基準適合性に係る発電用原子炉設置変更許可申請書（平成29年12月27日付け、原規規発第1712272号をもって設置変更許可）及び(1)を参考に新規制基準後の補正申請時の耐震重要度分類を想定し杭支持構造物を選定。
- (3) 1～5号機：(1)を参考に新規制基準後の変更申請時の耐震重要度分類を想定し杭支持構造物を選定。

### 【杭に接する地盤改良】

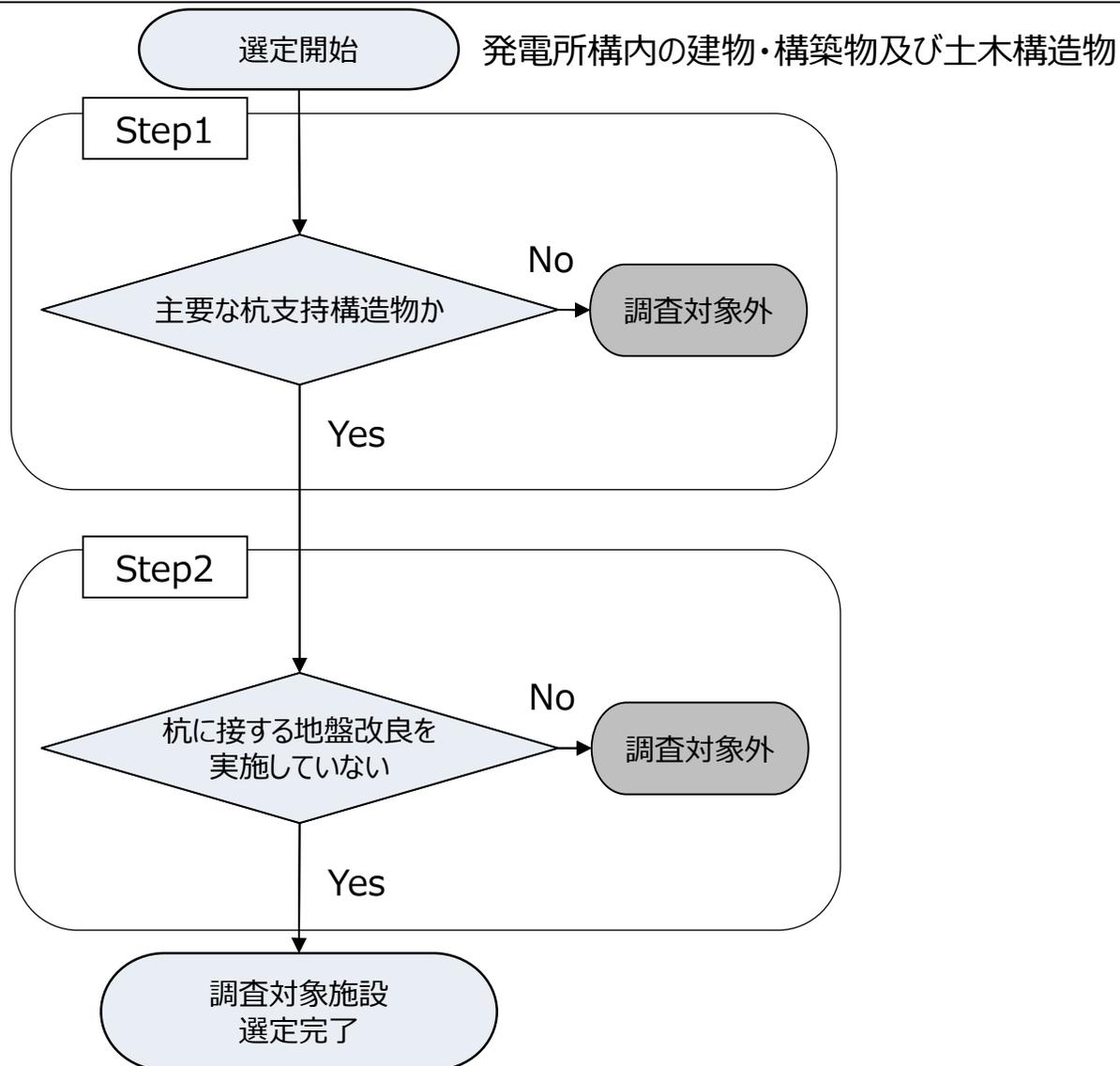
杭に接する地盤改良とは、基礎スラブ直下を地盤改良し、その部分に杭を打設したものを示す。



※重大事故等対処施設は基準地震動 $S_s$ による耐震評価が要求される施設を対象とし、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、及び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クラス又はCクラスのもの）は除く。

## 2.1.1. 調査対象施設の選定方法（2/2）

➤ 調査対象施設を以下のフローに基づき選定。



## 2.1.2. 調査対象施設の選定結果（1/2）

➤ 主要な杭支持構造物のうち、杭に接する地盤改良を実施していない施設を調査対象とする。

| No. | 施設名称             | Step1 主要な杭支持構造物<br>○：該当、－：該当しない |         |           | Step2<br>地盤改良<br>の有無 | 調査対象<br>○：対象、－：対象外  |
|-----|------------------|---------------------------------|---------|-----------|----------------------|---------------------|
|     |                  | (1) 7号機                         | (2) 6号機 | (3) 1～5号機 |                      |                     |
| 1   | 4号機大物搬入建屋        | －                               | －       | ○         | なし                   | 追加調査2で掘削により確認のため対象外 |
| 2   | 6号機大物搬入建屋        | －                               | ○       | －         | なし                   | 基礎下掘削により確認済みのため対象外  |
| 3   | 7号機大物搬入建屋        | ○                               | －       | －         | あり                   | －                   |
| 4   | 1/2号機主排気筒        | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 5   | 3号機主排気筒          | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 6   | 4号機主排気筒          | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 7   | 5号機主排気筒※1        | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 8   | 4号機非常用ガス処理系配管ダクト | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 9   | 5号機非常用ガス処理系配管ダクト | －                               | －       | ○         | あり                   | －                   |
| 10  | 6号機軽油タンク基礎       | ○                               | ○       | －         | なし                   | ○                   |
| 11  | 6号機燃料移送系配管ダクト    | －                               | ○       | －         | あり                   | －                   |
| 12  | 7号機軽油タンク基礎       | ○                               | ○       | －         | なし                   | ○                   |
| 13  | 7号機燃料移送系配管ダクト    | ○                               | －       | －         | あり                   | －                   |
| 14  | 固体廃棄物貯蔵施設※2      | ○                               | ○       | ○         | なし                   | ○                   |
| 15  | 使用済燃料輸送容器保管建屋※2  | ○                               | ○       | ○         | あり                   | －                   |
| 16  | 焼却炉建屋（荒浜側）※2     | －                               | －       | ○         | なし                   | ○                   |
| 17  | 焼却炉建屋（大湊側）※2     | ○                               | ○       | ○         | なし                   | ○                   |
| 18  | ランドリ建屋（荒浜側）※2    | －                               | －       | ○         | なし                   | ○                   |
| 19  | 5号機フィルタバント基礎※1   | －                               | －       | ○         | なし                   | ○                   |
| 20  | 6号機フィルタバント基礎     | －                               | ○       | －         | なし                   | ○                   |
| 21  | 7号機フィルタバント基礎     | ○                               | －       | －         | なし                   | ○                   |
| 22  | D/Dポンプ建屋（荒浜側）※2  | －                               | －       | ○         | なし                   | ○                   |
| 23  | D/Dポンプ建屋（大湊側）※2  | ○                               | ○       | ○         | なし                   | ○                   |
| 24  | 常設代替交流電源設備基礎     | ○                               | ○       | －         | あり                   | －                   |

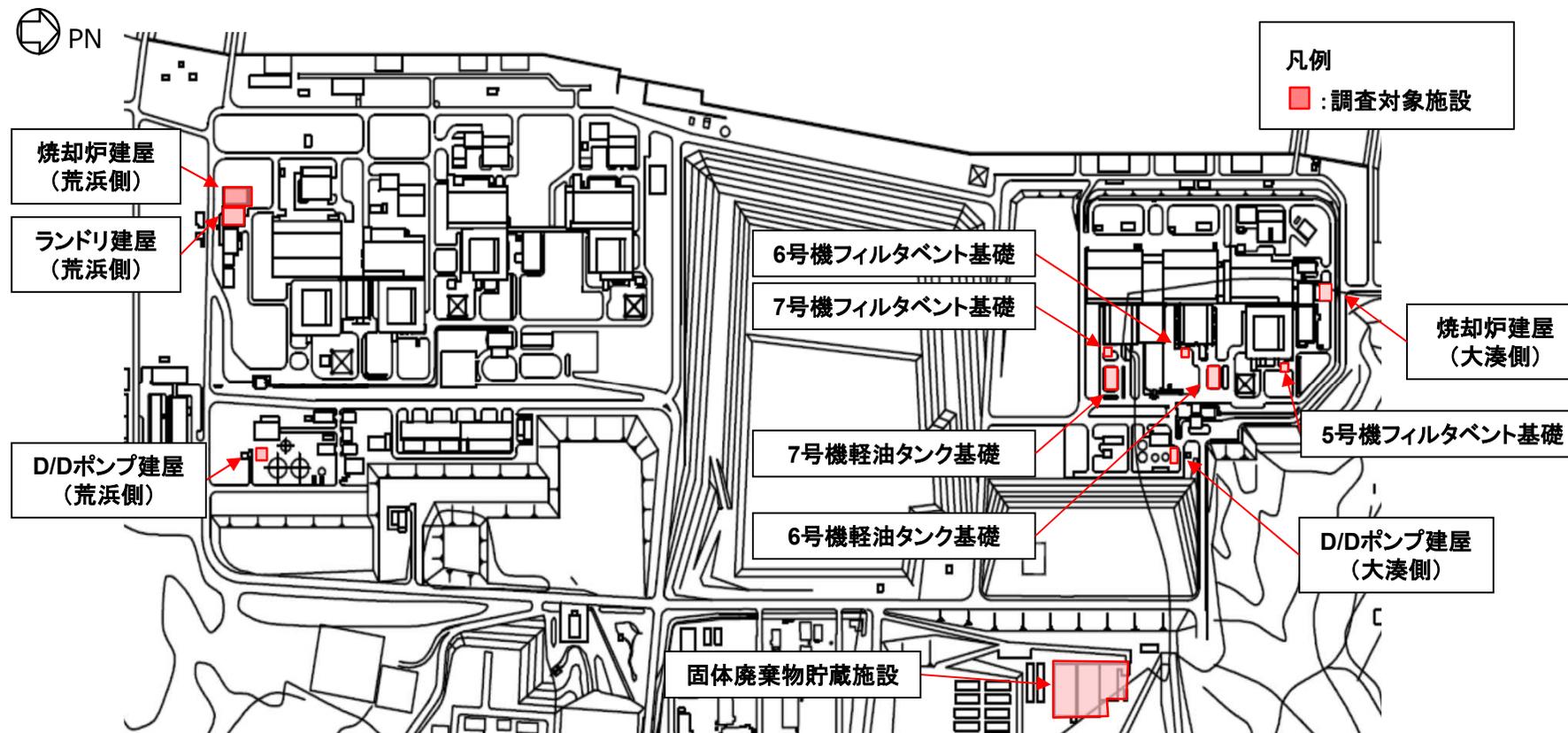
※1 No.7、No.19の施設については、7号機設工認において、波及的影響を考慮すべき施設の低位クラス施設として評価している。

※2 6号機大物搬入建屋と同様の建屋構造であり、同種の杭構造の施設（No.14～18,22,23）も本調査に併せて実施することから、対象施設として記載。

©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

## 2.1.2. 調査対象施設の選定結果 (2/2)

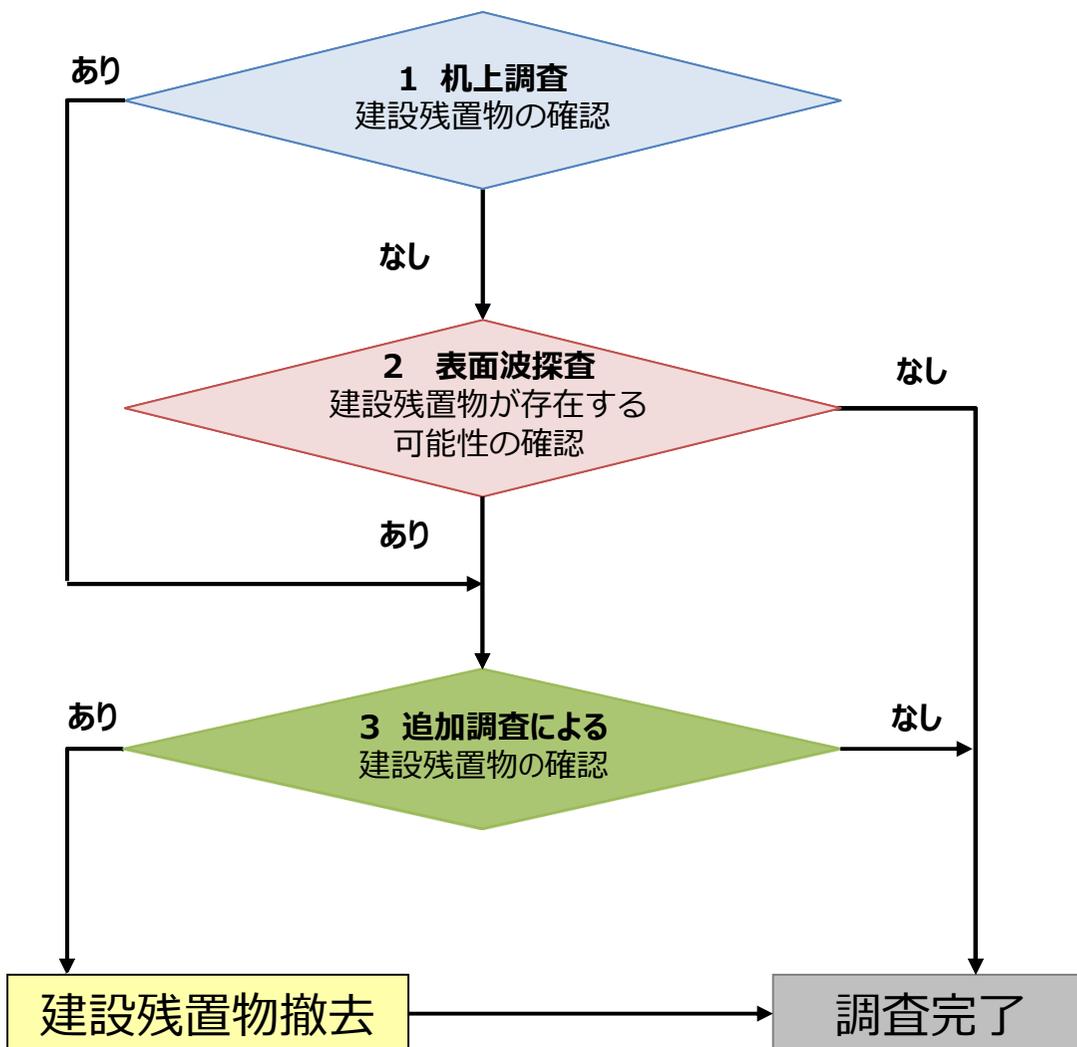
➤ 選定した調査対象施設の配置図を、以下に示す。



調査対象施設 配置図

## 2.2.1. 建設残置物の追加調査方法

➤ 選定した調査対象施設に対し、以下フローに従い、建設残置物の調査を実施。



### 【1 机上調査による確認】

以下の資料により、建設残置物の有無を確認

- 建設残置物に関する記録
  - ・建設仮設計画書、撤去計画書、施工写真等
- 建物・構築物等に関する記録
  - ・設計図書、地盤調査報告書、工事記録、施工結果報告書、施工写真等
- 聞き取り調査による確認
  - ・今回の調査に当たり、当社・協力会社における当時の工事関係者を対象として、建設残置物に関する聞き取りを実施

### 【2 表面波探査による確認】

表面波探査の結果について、以下の要領により、建設残置物の有無の可能性を確認

- 建設残置物が存在する可能性がない
  - ① 硬いものを示すデータがない場合
  - ② 硬いものを示すデータがあるが、隣接構造物や安全対策工事で実施した地盤改良体による影響であると判断できる場合
- 建設残置物が存在する可能性がある
  - ③ 硬いものを示すデータがあり、工事記録等により、建設残置物ではないと判断できない場合

### 【3 追加調査による確認】

ボーリング調査、または基礎下掘削調査により建設残置物の有無を確認する。

## 2.2.2. 建設残置物の追加調査結果（1/2）

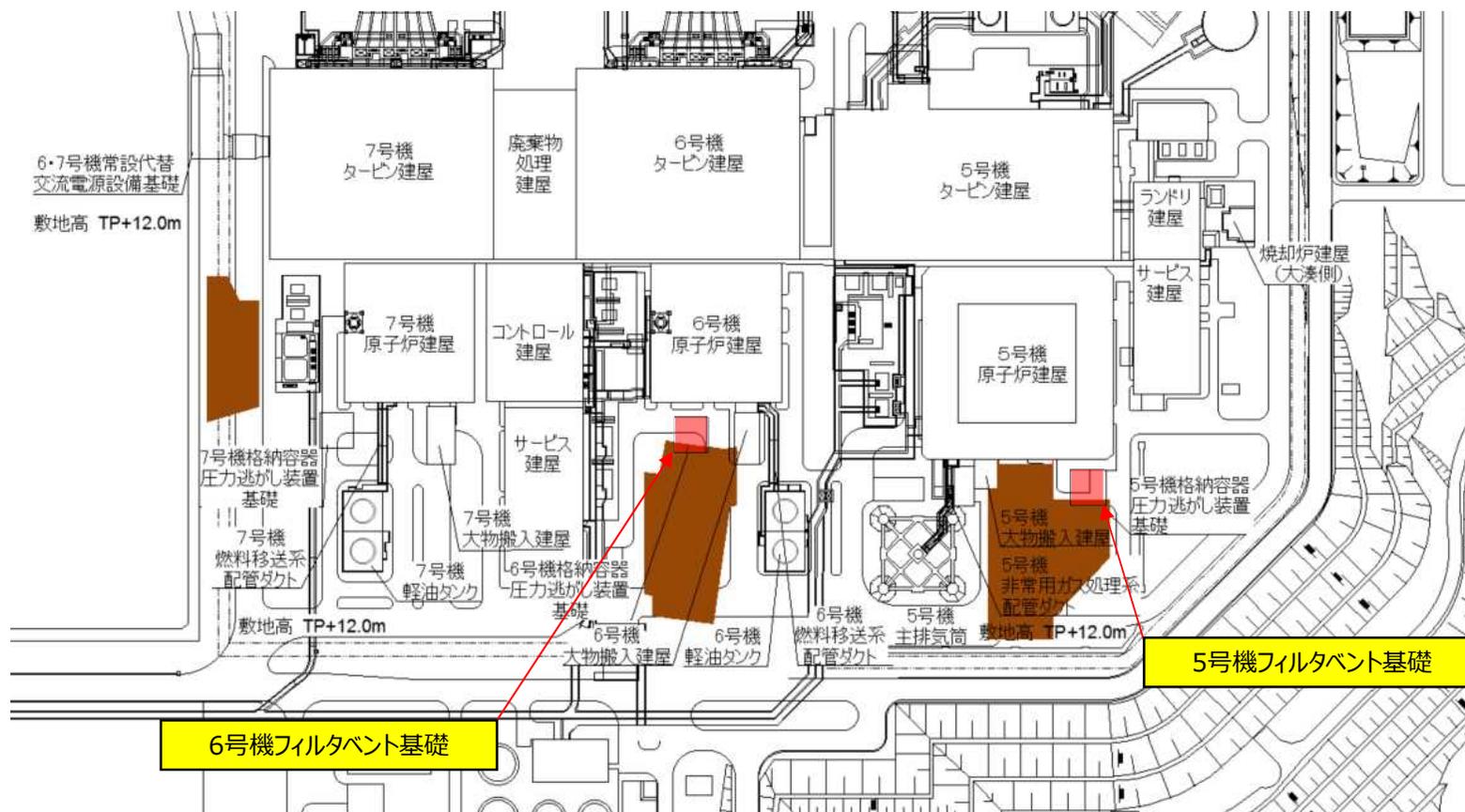
- 調査結果を以下に示す。
  - ✓ 5号機フィルタベント基礎以外の調査は完了
  - ✓ 6号機フィルタベント基礎において、基礎下掘削調査の結果、建設残置物が杭に干渉していることを確認した。杭に干渉する部分の建設残置物は撤去済み。
  - ✓ 7号機フィルタベント基礎において、追加ボーリング調査の結果、建設残置物は確認されなかった。

| No.※1 | 調査対象施設         | 1 机上調査<br>建設残置物の有無 | 2 表面波探査<br>建設残置物が存在する可能性の有無※2 | 3 追加調査<br>建設残置物の確認 | 建設残置物<br>確認結果 |
|-------|----------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|
| 19    | 5号機フィルタベント基礎   | なし                 | あり (③)                        | 要                  | 調査中           |
| 20    | 6号機フィルタベント基礎   | あり                 | —                             | 基礎下掘削調査<br>(実施済)   | あり<br>(撤去済)   |
| 21    | 7号機フィルタベント基礎   | なし                 | あり (③)                        | 追加ボーリング調査<br>(実施済) | なし            |
| 10    | 6号機軽油タンク基礎     | なし                 | なし (②)                        | —                  | なし            |
| 12    | 7号機軽油タンク基礎     | なし                 | なし (②)                        |                    |               |
| 14    | 固体廃棄物貯蔵施設      | なし                 | なし (②)                        |                    |               |
| 16    | 焼却炉建屋 (荒浜側)    | なし                 | なし (①)                        |                    |               |
| 17    | 焼却炉建屋 (大湊側)    | なし                 | なし (②)                        |                    |               |
| 18    | ランドリ建屋 (荒浜側)   | なし                 | なし (①)                        |                    |               |
| 22    | D/Dポンプ建屋 (荒浜側) | なし                 | なし (④)                        |                    |               |
| 23    | D/Dポンプ建屋 (大湊側) | なし                 | なし (①)                        |                    |               |

※1 P.7と同様 ※2 括弧内の数字は、P.9の【2 表面波探査による確認】の分類に対応

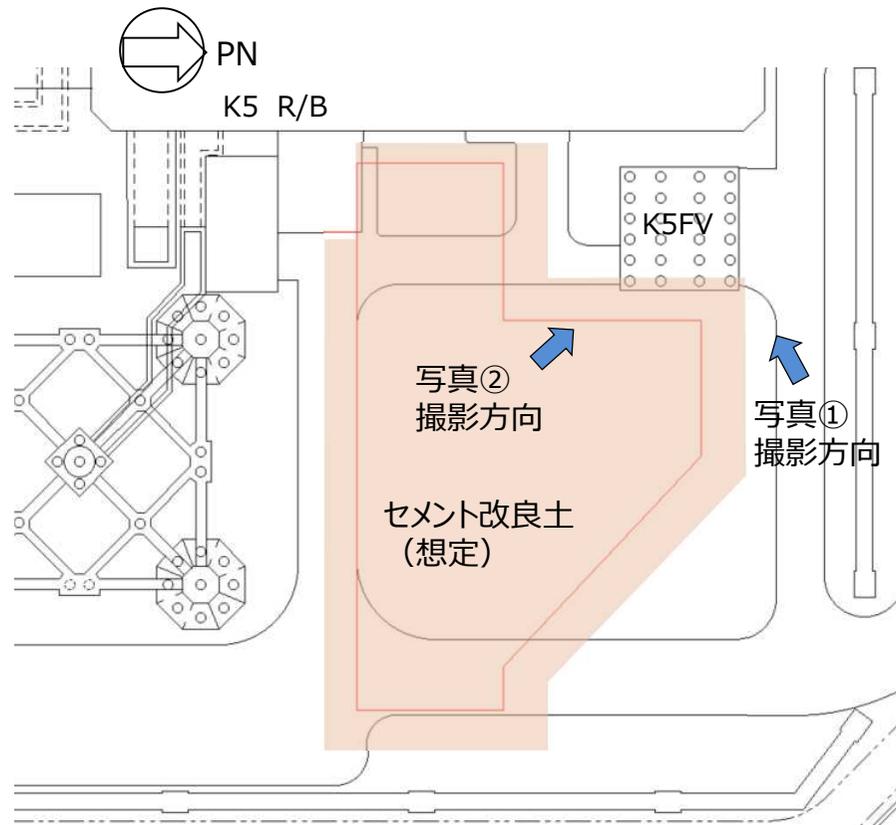
## 2.2.2. 建設残置物の追加調査結果（2/2）

- 主要な杭支持構造物に対し、建設残置物の調査を行った結果、5号機フィルタバント基礎及び6号機フィルタバント基礎において、建設残置物のうち設計で考慮していない地中の大型クレーン用セメント改良土が杭に干渉している可能性のあるものとして抽出された。
- 以下に、5号機フィルタバント基礎、6号機フィルタバント基礎とセメント改良土の配置を示す。
- なお、7号機南側にもセメント改良土が存在するものの、調査対象施設との干渉はない。



## 2.2.3. 5号機フィルタベント基礎 調査状況

- 5号機フィルタベント基礎と建設残置物（セメント改良土）の計画範囲との位置関係を図示。
- 掘削調査を行い、セメント改良土と杭との干渉の有無を確認する。セメント改良土と杭とが干渉している場合には、干渉範囲のセメント改良土の撤去を実施予定。
- なお、現時点で5号機フィルタベント基礎は重要設備を内包していない。



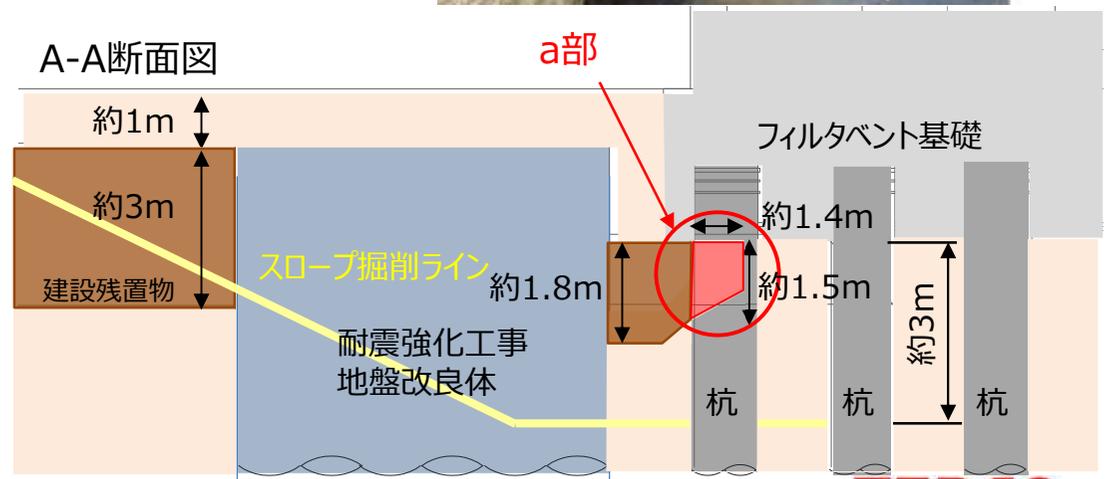
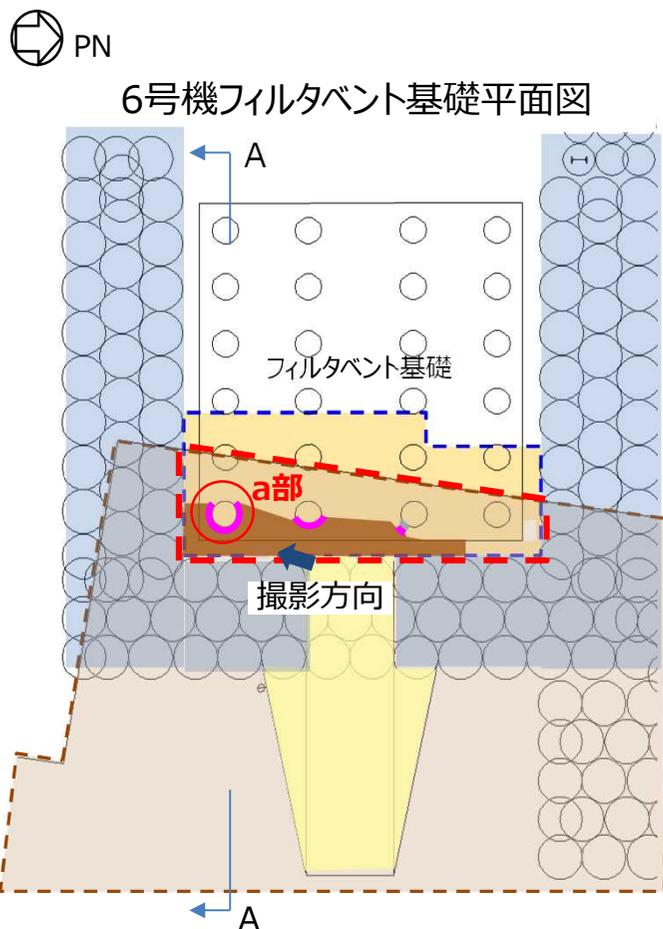
写真①



写真②

## 2.2.4. 6号機フィルタベント基礎 調査結果

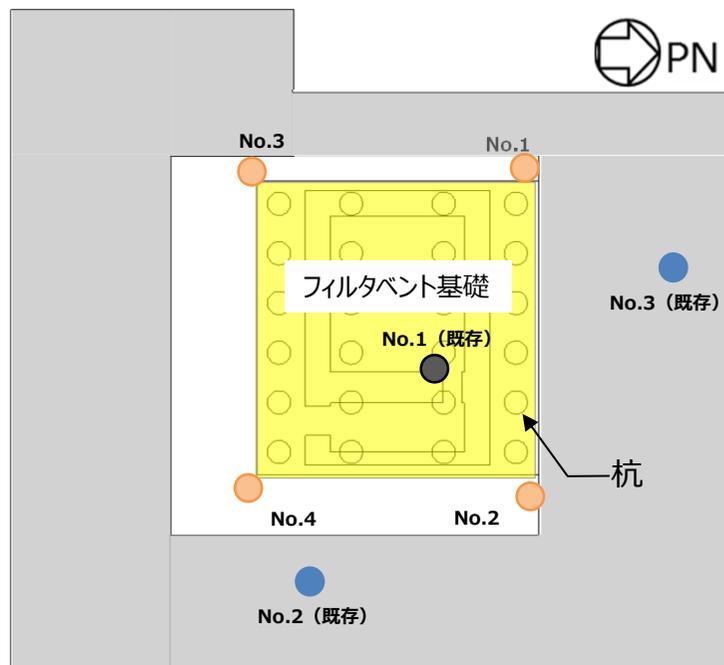
- 6号機フィルタベント基礎の杭と建設残置物が干渉する可能性のある範囲を掘削し、目視確認を実施。
- 掘削調査の結果、6号機フィルタベント基礎の手前側で確認した建設残置物が東側の3本の杭に接していることを確認。
- 確認された杭周辺の建設残置物（セメント改良土）については、既に撤去済み。



## 2.2.5. 7号機フィルタバント基礎 調査結果

- 7号機フィルタバント基礎周辺の表面波探査を実施した結果、硬いものを示すデータを確認。
- 既存のボーリング調査結果において、建設残置物は確認されていないが、調査数が少ないため、建設残置物が存在する可能性を否定できない。よって、追加ボーリング調査を実施。
- 追加ボーリング調査の結果、6号機フィルタバントで見られたような建設残置物は確認されず、表面波探査で確認されたデータは、周囲の安全対策工事で実施した地盤改良体の影響によるものと判断。

埋設物探査と追加ボーリング調査位置図



- 凡例
- : 地盤改良体
  - : 既存ボーリング位置 (2012年9月実施)
  - : 既存ボーリング位置 (2017年10月実施)
  - : 追加ボーリング位置 (2022年9月実施)

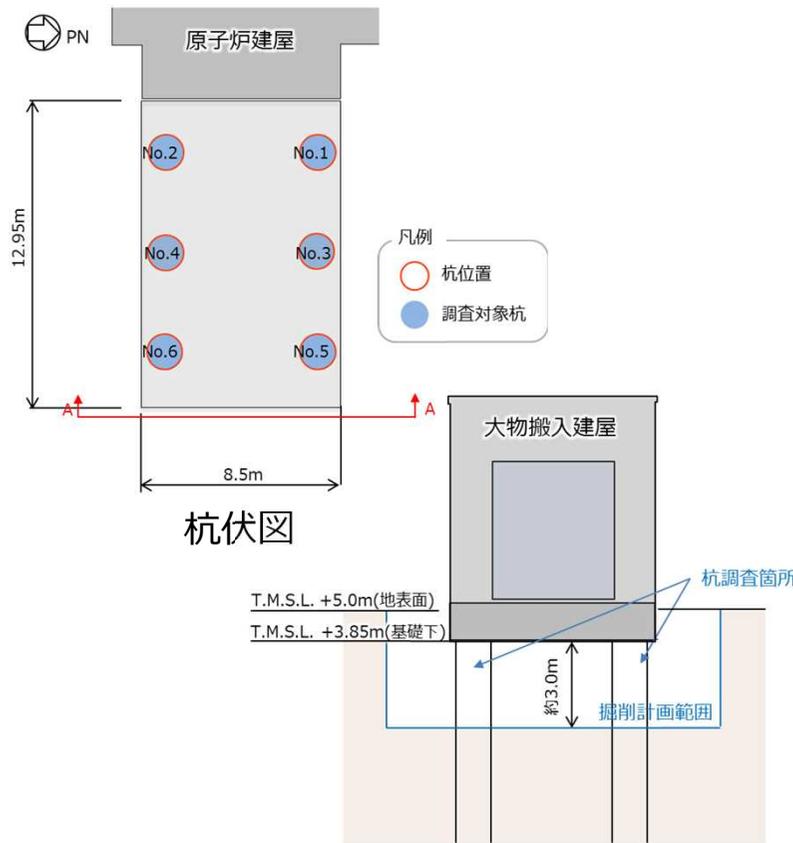
ボーリング調査による建設残置物の確認結果

| ボーリング No. | 追加ボーリングによる地中埋設物の有無 | 建設残置物の確認結果 |
|-----------|--------------------|------------|
| No.1 (既存) | なし                 | なし         |
| No.2 (既存) | なし                 | なし         |
| No.3 (既存) | なし                 | なし         |
| No.1      | なし                 | なし         |
| No.2      | なし                 | なし         |
| No.3      | なし                 | なし         |
| No.4      | なし                 | なし         |

### 3. 4号機大物搬入建屋の調査（1/2）

- 基礎スラブ下約3mまで掘削し、杭の外観目視によるひび割れ等の調査を実施。
- 調査の結果、6本全ての杭で、幅1mm未満のひび割れが確認されたものの、杭としての支持性能に大きな支障となる損傷はなく、耐震性能に影響がない状態であることを確認。
- なお、杭下部については非破壊試験（衝撃弾性波反射法）を実施し、健全性を確認。

- 78 -



杭上部調査結果一覧

| 調査項目<br>杭No | コンクリート<br>剥落 | コンクリート<br>浮き                   | コンクリート<br>ひび割れ本数・幅 | 鉄筋露出 | 損傷度※1 |
|-------------|--------------|--------------------------------|--------------------|------|-------|
| No.1        | なし           | なし                             | 7本<br>最大0.30mm     | なし   | II    |
| No.2        | なし           | なし                             | 7本<br>最大0.55mm     | なし   | II    |
| No.3        | なし           | なし                             | 3本<br>最大0.20mm     | なし   | I     |
| No.4        | なし           | なし                             | 6本<br>最大0.25mm     | なし   | II    |
| No.5        | なし           | 表面のみ<br>(約0.04m <sup>2</sup> ) | 1本<br>最大0.95mm     | なし   | II    |
| No.6        | なし           | なし                             | 2本<br>最大0.40mm     | なし   | II    |

※1 「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

# 3. 4号機大物搬入建屋の調査（2/2）

- 杭上部の状況写真を以下に示す。
- 杭の耐震性に影響するような損傷がないことを確認した。



No.1杭上部の状況



No.2杭上部の状況



No.3杭上部の状況



No.4杭上部の状況



No.5杭上部の状況



No.6杭上部の状況



キープラン

※ひび割れ箇所の明確化のため、チョークでマーキングしている。

## 4. 追加調査のまとめ

■ 6号機大物搬入建屋の杭損傷事象を踏まえて実施した追加調査の結果は以下のとおり。

### 1. 建設残置物の調査

- ✓ 新潟県中越沖地震以降に建設した5/6号機フィルタベント基礎の一部で建設残置物（セメント改良土）の計画範囲が干渉していることを確認。

⇒6号機フィルタベント基礎は、掘削し、杭と干渉する部分を撤去済み

⇒5号機フィルタベント基礎は、今後掘削調査を行い、干渉している場合は撤去予定

➤ 5号機フィルタベント基礎以外の調査は完了

### 2. 4号機大物搬入建屋の調査

- ✓ 6号機大物搬入建屋と同種構造であり、新潟県中越沖地震において地震影響の大きかった荒浜側に立地している4号機大物搬入建屋の杭を対象に調査を実施した結果、耐震性能に影響ない状態であることを確認。

➤ 上物・基礎部に異常がなく、かつ建設残置物の影響を受けていない杭支持構造物においては耐震性能に影響のある損傷はないという考えの妥当性を確認

## 5. 一連の追加調査を踏まえた設計上の対応について（1/2）

18

➤ 今回実施した一連の追加調査を踏まえた設計上の対応は以下のとおり。

### ■ 6号機大物搬入建屋

- ✓ 杭周辺の建設残置物は撤去済み
- ✓ 6号機の設工認補正申請に向け、損傷した杭の再使用に係る妥当性と耐震安全性を評価
- ✓ 評価の結果を踏まえて、6号機の補正申請後の審査では、建屋の耐震設計に係る説明を行う予定

### ■ 6号機フィルタベント基礎

- ✓ 杭周辺の建設残置物は撤去済み
- ✓ 6号機の設工認補正申請に向け、掘削調査完了後の地盤条件を考慮した耐震安全性を評価
- ✓ 評価の結果を踏まえて、6号機の補正申請後の審査では、建屋の耐震設計に係る説明を行う予定

### ■ 5号機フィルタベント基礎

✓ 建設残置物の掘削調査を行い、杭周辺に建設残置物が接している場合は撤去予定。

✓ 5号機フィルタベント基礎に関して、7号機設工認の補足説明資料の波及的影響評価（以下（1）、（2））及び竜巻防護（以下（3））において以下の説明を行っている。

（1）5号機原子炉建屋（緊急時対策所）への波及的影響評価として、5号機フィルタベント基礎が仮に転倒し、5号機原子炉建屋へ衝突しても問題がないことを確認

（2）5号機可搬電源（電源車）への波及的影響評価として、5号機フィルタベント基礎が仮に沈下しても転倒には至らず、電源車に衝突しないことを確認

（3）5号機可搬電源（電源車）の竜巻による横滑りを防止するための防護壁として、電源車が5号機フィルタベント基礎の遮へい壁に衝突して、横滑りしないことを確認

⇒上記（1）～（3）のいずれにおいても、杭に期待した評価は行っておらず、仮に建設残置物が杭に干渉しており、その結果杭が地震で損傷した場合においても、当該評価の内容に影響するものではない。

✓ 5号機フィルタベント基礎は、6号機の補正申請後の審査においても、波及的影響評価及び竜巻防護について、上記と同様の説明を行う予定。

(1) 5号機原子炉建屋（緊急時対策所）への波及的影響評価（1 / 2）

- KK7補足-024-3 「下位クラス施設の波及的影響の検討について」

6. 下位クラス施設の検討結果

6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果

表 6-1-3 6号機及び7号機 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）（2/2）

| 建屋外上位クラス施設   | 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設 | 評価結果  | 備考                               |
|--|------------------------|---|----------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 5号機原子炉建屋（つづき）</li> </ul>  | 5号機格納容器圧力逃がし装置基礎       | 5号機格納容器圧力逃がし装置基礎は5号機原子炉建屋と連続した岩盤に杭を介して支持されており、不等沈下は生じない。また、5号機格納容器圧力逃がし装置基礎の周辺地盤の液状化を想定した場合であっても、5号機格納容器圧力逃がし装置基礎は5号機原子炉建屋に対して建屋の規模が小さく軽量であることから、5号機原子炉建屋に衝突したとしても5号機原子炉建屋の耐震性を損なうことはないことを確認した。 | 評価結果の詳細は、本資料「添付資料5」及び「添付資料9」に示す。 |
|  | 5号機主排気モニタ建屋            | 5号機主排気モニタ建屋は埋戻し土に支持されているため、基準地震動 $S_s$ に対して、不等沈下による影響を受けるおそれがある。しかしながら、5号機主排気モニタ建屋は5号機原子炉建屋に対して建屋の規模が小さく軽量であることから、5号機原子炉建屋に衝突したとしても5号機原子炉建屋の耐震性を損なうことはないことを確認した。                                | 評価結果の詳細は、本資料「添付資料5」及び「添付資料9」に示す。 |
|  | 5号機大物搬入建屋              | 5号機大物搬入建屋は5号機原子炉建屋と連続した岩盤にマンメイドロック（MMR）を介して支持されており、不等沈下は生じない。   | 評価結果の詳細は、本資料「添付資料5」に示す。          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 5号機原子炉建屋</li> <li>・ 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備</li> <li>・ 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用衛星電話設備</li> <li>・ 無線通信装置（5号機設置）</li> <li>・ 6号機非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク</li> <li>・ 6号機軽油タンク基礎</li> </ul> | 5号機主排気筒                | 5号機主排気筒は5号機原子炉建屋と連続した岩盤に杭を介して支持されており、不等沈下は生じない。また、5号機主排気筒近傍地盤の液状化による沈下を想定した場合であっても、倒壊に至ることはないことを確認した。   | 評価結果の詳細は、本資料「添付資料5」及び「添付資料7」に示す。 |

## (1) 5号機原子炉建屋（緊急時対策所）への波及的影響評価（2 / 2）

### 添付資料9 緊急時対策所に対する周辺建屋の波及的影響について

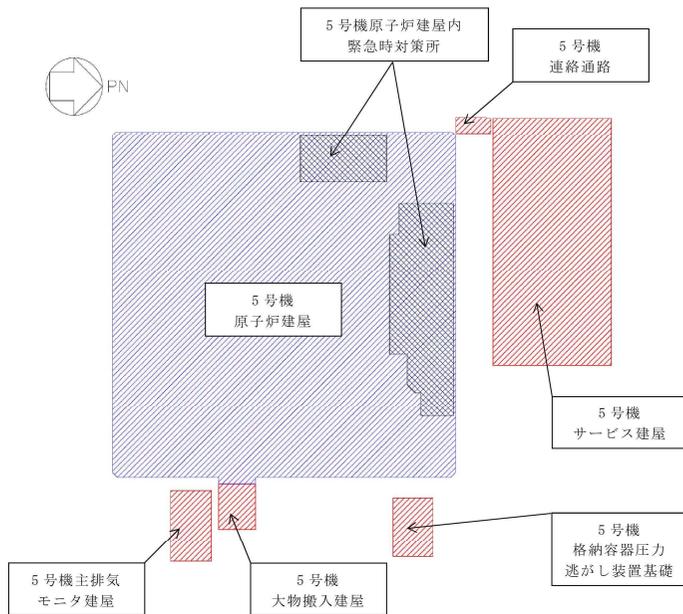


図1-1 全体の配置図

### 2. 5号機原子炉建屋に対する波及的影響の代表評価建屋の抽出と波及的影響評価結果

#### 2.1 代表評価建屋の抽出

5号機原子炉建屋及び下位クラス施設の施設規模並びに5号機原子炉建屋への作用荷重（作用荷重[F]=衝突を考慮した重量[m]×重力加速度[g]）を表2-1に、5号機原子炉建屋の外壁仕様を表2-2に、下位クラス施設の5号機原子炉建屋への衝突階を表2-3に示す。表2-1より5号機サービス建屋が最も作用荷重が大きいこと、表2-2より上層ほど外壁耐力が小さいこと及び表2-3より壁耐力の小さい2階に衝突する可能性のある下位クラス施設は、5号機サービス建屋、5号機連絡通路及び5号機格納容器圧力逃がし装置基礎であること、の3点から、5号機サービス建屋を代表評価建屋として選定する。なお、5号機大物搬入建屋は、支持地盤条件が良いことから5号機原子炉建屋には不等沈下による慣性力による衝突ではなく、地震応答による衝突が考えられる。しかしながら、5号機サービス建屋の作用荷重は、5号機大物搬入建屋の4.29倍（=13420kN/3130kN）であり、4.29Gの応答加速度が生じることは考え難いため、5号機大物搬入建屋の作用荷重は、5号機サービス建屋の作用荷重に包絡される。

(中略)

### 3. まとめ

5号機サービス建屋を代表評価建屋として評価した結果、5号機サービス建屋が5号機原子炉建屋に衝突した場合を想定しても、5号機原子炉建屋の構造安全性に影響はなく、5号機サービス建屋が波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より、5号機原子炉建屋に対して、周辺建屋（下位クラス施設）が波及的影響を及ぼすことがないことを確認した。

5号機原子炉建屋（緊急時対策所）への波及的影響は5号機サービス建屋を代表建屋として影響評価。当該評価結果より、周辺建屋が5号機原子炉建屋に衝突した場合を想定しても、波及的影響を及ぼすことがないことを確認している。

## (2) 5号機可搬電源（電源車）への波及的影響評価（1 / 2）

- KK7補足-021-2「工事計画に係る補足説明資料（可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート）」

### 8. 保管場所及び屋外アクセスルート周辺構造物の耐震性評価について

#### (13) 5号機格納容器圧力逃がし装置基礎の東側保管場所への影響評価について

(以下、抜粋)

#### (c) 評価方針

装置基礎の影響評価は、V-1-1-7-別添1「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に基づき、隣接する東側保管場所に保管される5号機可搬電源への影響評価として行う。

装置基礎においては液状化対策を実施していないため、基準地震動  $S_s$  により装置基礎直下に存在する埋戻土層及び古安田層が液状化するおそれがある。埋戻土層及び古安田層が液状化した場合、地盤の水平変位の増大に伴い基礎スラブを支持する杭が損傷し、鉛直支持能力が低下する可能性がある。

よって、基準地震動  $S_s$  に対して、液状化のおそれが否定できない埋戻土層及び古安田層に着目し、その液状化による沈下量を用いて求められる装置基礎の傾斜角が、装置基礎の転倒に至る傾斜角に達しないことを確認することで、5号機可搬電源を損壊させないことを評価する。

この装置基礎の傾斜角は、保守的な条件として、杭を無視し、かつ、埋戻土層及び古安田層の全層が液状化した状態の最大限の沈下量が、装置基礎の一端にのみ生じたと仮定して評価する。

装置基礎の影響評価フローを図8-4に示す。

#### (c) 許容限界

装置基礎の傾斜角の許容限界は、装置基礎の転倒限界角  $\theta_L$  とする。なお、転倒限界角  $\theta_L$  は、装置基礎の転倒により5号機可搬電源に影響を及ぼさない最大傾斜角とし、5号機可搬電源が装置基礎端部にある場合を仮定して、装置基礎の遮蔽壁が5号機可搬電源に接する沈下量より設定する。

影響評価における許容限界を表8-2に示す。

表8-2 影響評価における許容限界

| 機能設計上の性能目標       | 地震力         | 部位     | 機能維持のための考え方                             | 許容限界<br>(転倒限界角 $\theta_L$ ) |
|------------------|-------------|--------|---|-----------------------------|
| 5号機可搬電源に影響を及ぼさない | 基準地震動 $S_s$ | 装置基礎全体 | 最大傾斜角が5号機可搬電源に影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認 | 1/3.3                       |

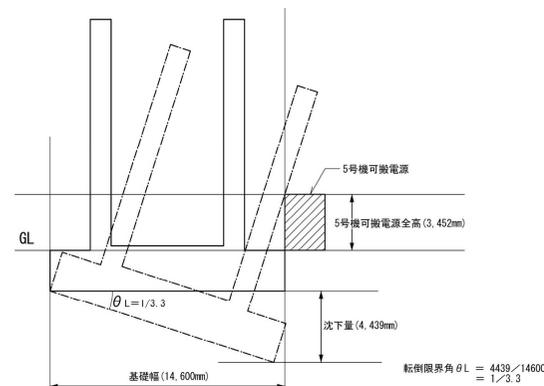


図8-5 装置基礎の転倒限界角

(2) 5号機可搬電源（電源車）への波及的影響評価（2 / 2）

(d) 評価方法

装置基礎の影響評価は、支持層である西山層との間に存在する埋戻土層及び古安田層の液状化による影響が否定できないことから、埋戻土層及び古安田層の全層が液状化した状態の最大限の沈下量が、装置基礎の一端にのみ生じたと仮定した場合の装置基礎の傾斜角を用いて、装置基礎全体が転倒に至らないことを確認することで行う。

最大沈下量については、V-1-1-7-別添1「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に基づき、埋戻土層及び古安田層の層厚の2.0%とする。

以上より、最大沈下量 $U_z$ 及び最大限の沈下量 $U_z$ に基づく装置基礎の傾斜角 $\theta_z$ は、図8-6に示すとおり装置基礎の短辺方向長さを $L$ とすれば、下式で算定できる。

$$U_z = h_o \cdot S$$

$$\theta_z = U_z / L$$

ここで、

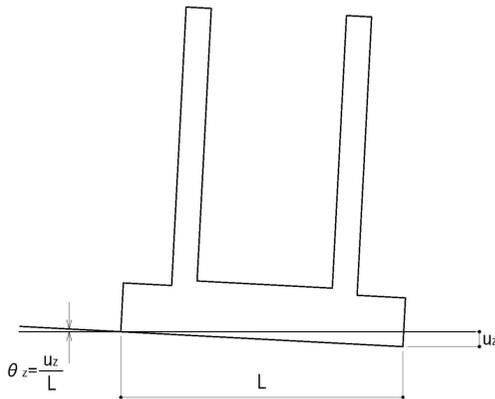
$U_z$ ：沈下量 (mm)

$h_o$ ：埋戻土層及び古安田層の全層厚 (=18.5m)

$S$ ：液状化に伴う沈下率 (=2.0%)

$\theta_z$ ：装置基礎の傾斜角

$L$ ：装置基礎の短辺方向長さ (=14.6m)



液状化層(埋戻土層及び古安田層)の最大沈下量が、装置基礎の一端にのみ生じたと仮定した場合の装置基礎の傾斜角 $\theta_z$ を評価する。

図8-6 装置基礎の傾斜角の考え方

d. 評価結果

支持層である西山層との間に存在する埋戻土層及び古安田層が液状化した状態における最大沈下量及びその沈下量から求めた最大傾斜角を表8-3に示す。

表8-3 埋戻土層及び古安田層の液状化を考慮した沈下量及び最大傾斜角

|     | 沈下量<br>(mm) | 最大傾斜角 | 許容限界  |
|-----|-------------|-------|-------|
| 最大値 | 370         | 1/39  | 1/3.3 |

e. まとめ

以上より、液状化により埋戻土層及び古安田層が最大限に沈下したと仮定しても、装置基礎は、転倒に至ることはなく、5号機可搬電源は損壊しない。



地盤の液状化を考慮した沈下量及び最大傾斜角の評価において、保守的に杭を無視した評価を行い、5号機FV基礎が仮に沈下しても転倒には至らず、5号機可搬電源（電源車）に衝突しないことを確認している

(3) 5号機可搬電源（電源車）の竜巻による横滑りを防止するための防護壁

- KK7補足-019「工事計画に係る補足説明資料（発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書）」

7. 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計について

7. 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計について

7.1 はじめに

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所の屋外の重大事故等対処設備（以下「SA 設備」という。）の竜巻に対する設計方針について補足する資料である。

7.2 柏崎刈羽原子力発電所における SA 設備の具体的な竜巻防護設計方針

7.2.1 設計の考え方について

柏崎刈羽原子力発電所の屋外 SA 設備においては、技術基準規則第 54 条の要求事項を踏まえた設計方針に従って、位置的分散による機能維持に加え、技術基準規則第 7 条の要求事項を踏まえた設計方針に従って、浮き上がり又は横滑りによって外部事象防護対象施設及び防護対策施設（以下「外部事象防護対象施設」という。）に衝突し、外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼす可能性がある場合には、飛来物とならないよう固縛する設計とする。

位置的分散による SA 設備の機能維持設計は、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて示すため、以下では、固縛等に関する設計の考え方を示す。

7.2.2 固縛の設計方針

固縛については、浮き上がり又は横滑りによって外部事象防護対象施設等に衝突し、外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼさない設計とするため、全ての屋外 SA 設備を検討の対象とする。

ただし、屋外 SA 設備のうち、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、風荷重の作用しない場所に配置する設計又は竜巻の風荷重を考慮した設計とする設備は、竜巻防護がされていることから、以降に示す固縛対象設備の選定候補から除外する。

(表 7-1 参照)

考慮する屋外 SA 設備、及びその保管場所を表 7-2、図 7-1 に示す。

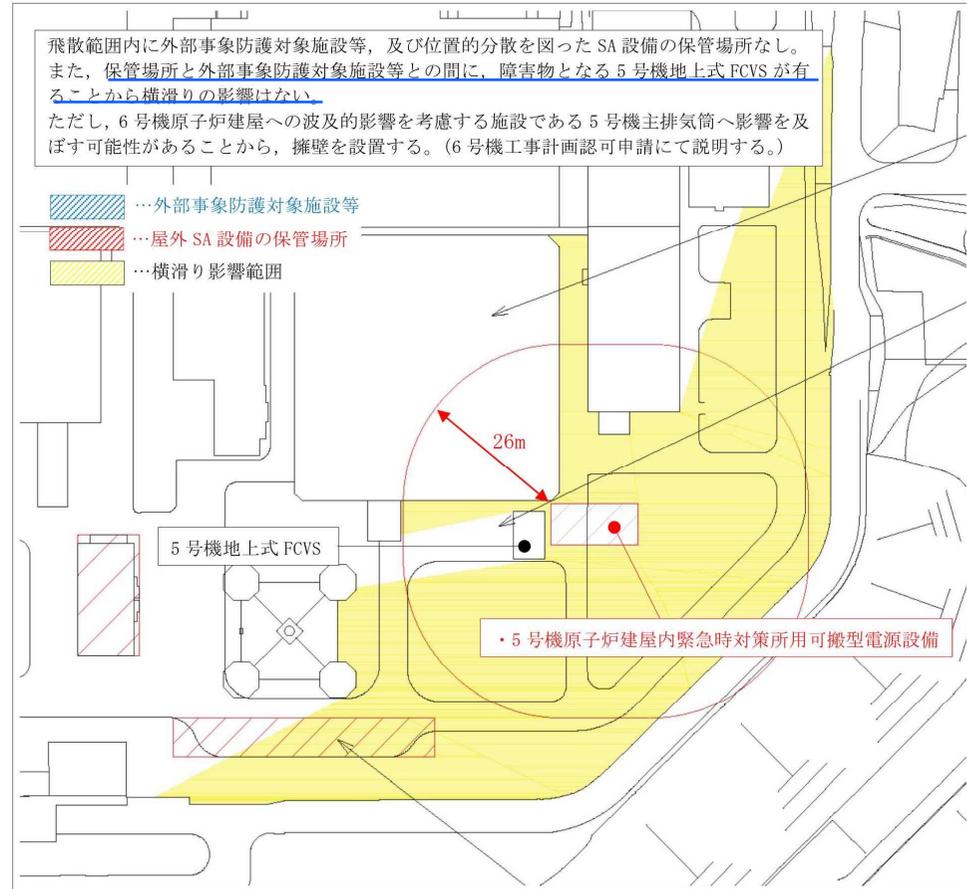
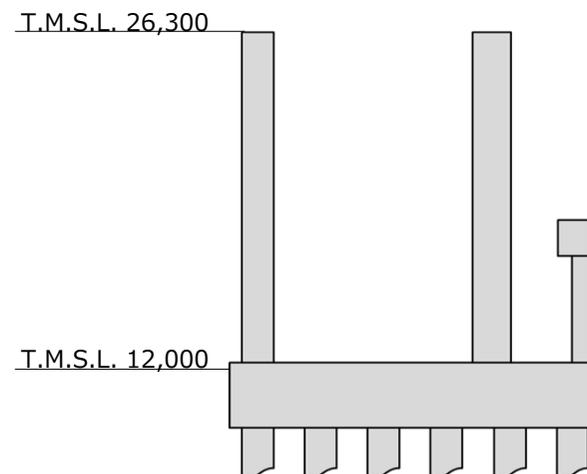
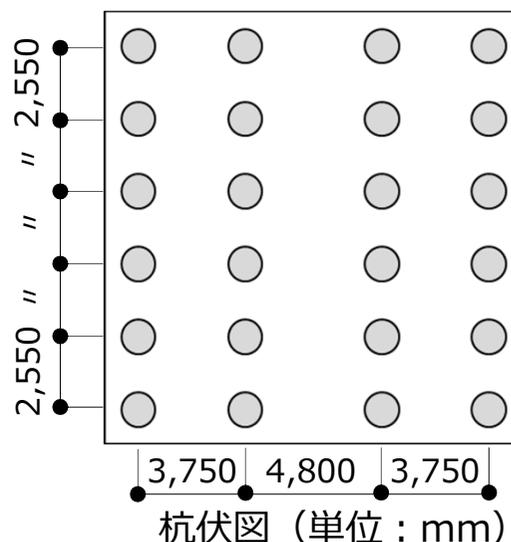
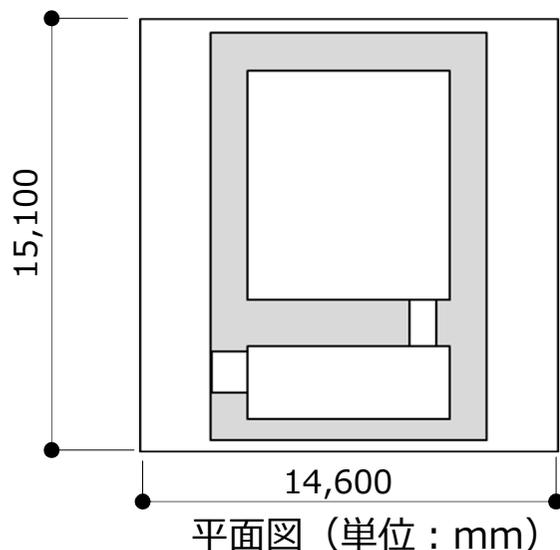


図7-9 屋外SA設備の保管場所及び飛散距離 (③5号機東側保管場所)

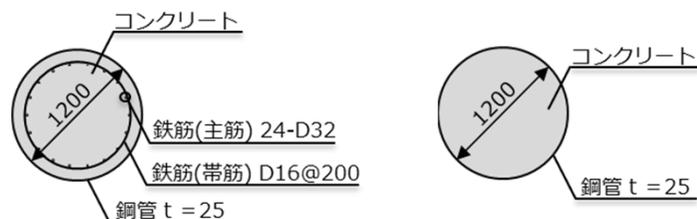
5号機可搬型電源（電源車）は5号機FV遮へい壁が障害となるため、竜巻により横滑りしないことを確認している。仮に杭がないとして、5号機フィルタベント基礎が傾斜していたとしても、横滑りに関する評価に影響はない。

## (参考) 6号機フィルタベント基礎 概要

- ▶ 柏崎刈羽原子力発電所6号機フィルタベント基礎は、6号機原子炉建屋の東側に位置する、基礎平面は14.6m (NS方向) ×15.1m (EW方向)、地上高さは14.3mの鉄筋コンクリート造の工作物である。
- ▶ 平面図、杭伏図、断面図及び杭配筋図を以下に示す。



東西方向 断面図



杭配筋図 (左・上杭, 右: 下杭)

杭種: 場所打ち鋼管コンクリート杭  
杭長: 約28m

使用材料

コンクリート:  $F_c = 24 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

鉄筋: 主筋 SD390

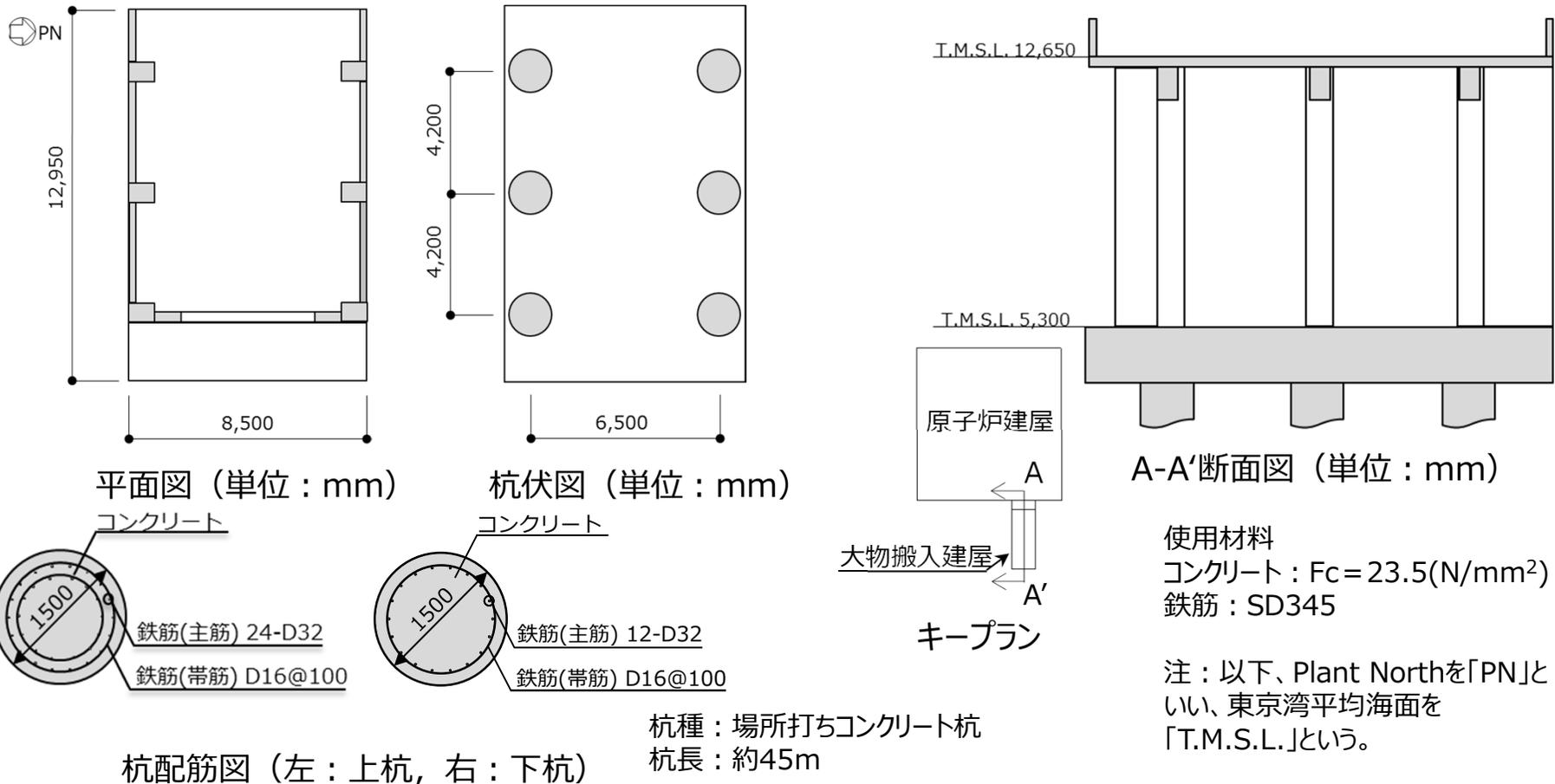
帯筋 SD345

鋼管: SKK1490

注: 以下、Plant Northを「PN」といい、東京湾平均海面を「T.M.S.L.」という。

# (参考) 4号機大物搬入建屋 建屋概要

- ▶ 柏崎刈羽原子力発電所4号機大物搬入建屋は、4号機原子炉建屋の東側に隣接する、基礎平面は12.95m (NS方向) × 8.5m (EW方向)、地上高さは7.65mの鉄筋コンクリート造1階建ての建物である。
- ▶ 平面図、杭伏図、断面図及び杭配筋図を以下に示す。

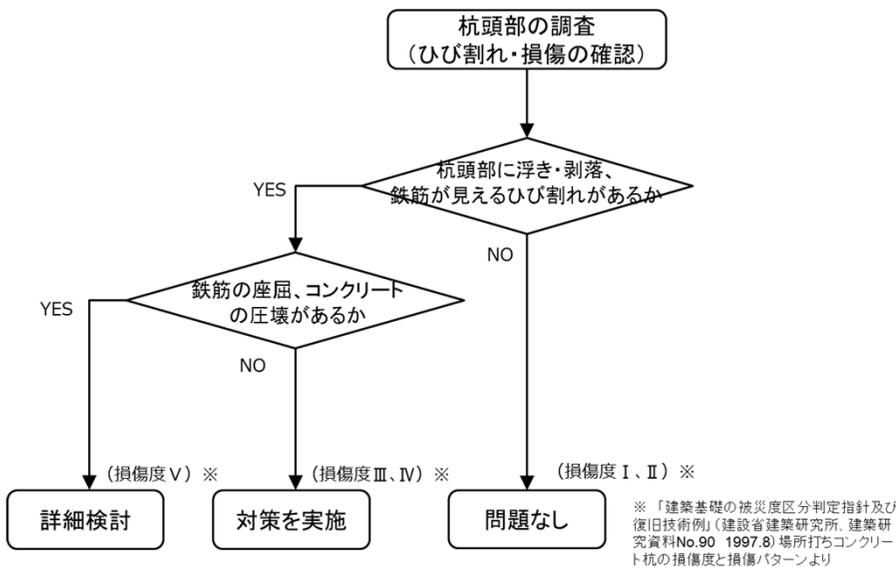


使用材料  
 コンクリート:  $F_c = 23.5 (N/mm^2)$   
 鉄筋: SD345

注: 以下、Plant Northを「PN」といい、東京湾平均海面を「T.M.S.L.」という。

# (参考) 4号機大物搬入建屋 杭の調査・評価について

- 4号機大物搬入建屋の調査・評価については「柏崎刈羽原子力発電所4号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に準拠し、以下のフローにて調査・評価を実施。
- なお、目視調査においては、「建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例（建設省建築研究所，建築研究資料）」を参考とした。



| 損傷度         | I                                 | II  | III  | IV  | V   |
|-------------|-----------------------------------|---|--|---|---|
| 軸力と曲げによる被害  | 基礎スラブ<br>1.5D 以内に 1~3本<br>0.2mm以下 | 基礎スラブ<br>1.5D 以内に 1~3本<br>表面剥離<br>鉄筋が見えない | 基礎スラブ<br>1.5D 以内に 3本程度<br>約10cm<br>局所的な剥離<br>鉄筋が少し見えてもよい               | 基礎スラブ<br>表面コンクリートの剥離<br>軸方向に腐んでいる<br>鉄筋が局部的に露出              | 基礎スラブ<br>鉄筋がすべて座屈<br>鉄筋の破断                      |
| 軸力とせん断による被害 | 基礎スラブ<br>1~3D<br>0.2mm以下          | 基礎スラブ<br>1~3D<br>1mm程度                    | 基礎スラブ<br>1~3D<br>コンクリートの剥離<br>鉄筋が見えない<br>1~2mm程度                       | 基礎スラブ<br>1~3D<br>コンクリートの剥離<br>2mm以上<br>鉄筋が見える<br>鉄筋は座屈していない | 基礎スラブ<br>鉄筋が座屈<br>鉄筋の破断                         |
| 軸力による被害     | 基礎スラブ<br>1D程度以上<br>0.2mm以下        | 基礎スラブ<br>0.5~1D 以下<br>1mm以下               | 基礎スラブ<br>0.5~1D 以下<br>鉄筋がわずかに見える<br>コンクリートの剥離<br>10cm程度 (わずか)<br>2mm程度 | 基礎スラブ<br>フーチングと離れる<br>定着鉄筋が見える<br>コンクリートの剥離<br>鉄筋の露出        | 基礎スラブ<br>軸方向に腐んでいる<br>鉄筋が座屈<br>鉄筋の破断<br>杭の折れ曲がり |

※建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例（建設省建築研究所，建築研究資料）

4号機大物搬入建屋 杭の調査・評価フロー

杭の損傷度分類例

- 柏崎刈羽原子力発電所では、従来から埋設物管理図を作成し、建設計画・設計・施工の各段階でこれを確認することとしていたが、今回の調査で把握したセメント改良土のような建設残置物の情報も含めて一元管理する仕組みとし、建設計画・設計・施工の各段階で必ずこの一元管理された情報を確認することをルール化する。
- 埋設物管理図を確認する目的として、大きく以下の3点が挙げられるが、6号機大物搬入建屋杭の損傷事象を踏まえ、特に③についても建設計画・設計・施工の各段階で必ず確認するよう、ルールに明記する。
  - ①地中に存在する重要設備の損傷防止
  - ②地中埋設物の存在による施工計画・工法等の検討
  - ③地中埋設物による計画施設への耐震上の影響確認
- 以上に述べたルールについて、建設計画・設計・施工に関わる全ての当社社員及び協力企業の方々へ周知徹底する。なお、6号機大物搬入建屋杭の損傷事象については、既に発電所内で説明会を実施済み。



## 令和4年11月25日新規制基準適合性審査に関する事業者ヒアリング資料

## 【参考】3次元FEM静的応力解析に用いた物性値

2022年11月25日  
東京電力ホールディングス株式会社

- 2022年10月20日 第1082回原子力発電所の新規制基準に係る審査会合 資料1の3次元FEM静的応力解析に用いたK6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）及び地盤の物性値を示す。

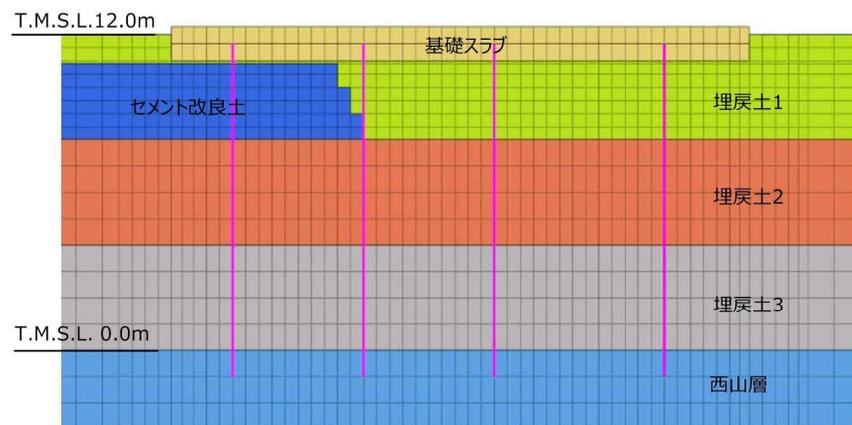


図 大物搬入建屋周辺の解析モデル図  
(Case2:セメント改良土あり)

表 地盤の物性値

| 地層      | せん断波速度<br>Vs (m/s) | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | せん断弾性係数<br>G (kN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$ |
|---------|--------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| 埋戻土1    | 96                 | 19.0                                      | 17,900                            | 0.483          |
| セメント改良土 | 530                | 18.9                                      | 542,000                           | 0.410          |
| 埋戻土2    | 76                 | 19.0                                      | 11,400                            | 0.483          |
| 埋戻土3    | 85                 | 19.0                                      | 14,300                            | 0.483          |
| 西山層     | 479                | 17.0                                      | 399,000                           | 0.451          |

注1 埋戻土1~3及び西山層のせん断波速度Vs及びせん断弾性係数Gについては、2022年10月20日 第1082回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料1 P.39 表9の剛性低下後せん断波速度Vs及びせん断弾性係数Gの数値を記載

注2 セメント改良土は、ボーリング2か所の調査結果の平均値により物性値を設定