

# 柏崎刈羽原子力発電所 6号機大物搬入建屋 杭の損傷原因と今後の対応について

2022年2月24日  
東京電力ホールディングス株式会社  
柏崎刈羽原子力発電所

1. これまでの経緯	P. 2
2. 杭の健全性調査	P. 3
3. 周辺地盤状況	P. 7
4. 杭損傷の推定原因	P.10
5. 水平展開（建設残置物の調査結果）	P.11
6. 調査結果まとめ	P.13
7. 今後の対応	P.14

# 1. これまでの経緯

経緯

健全性  
調査

原因  
調査

推定  
原因

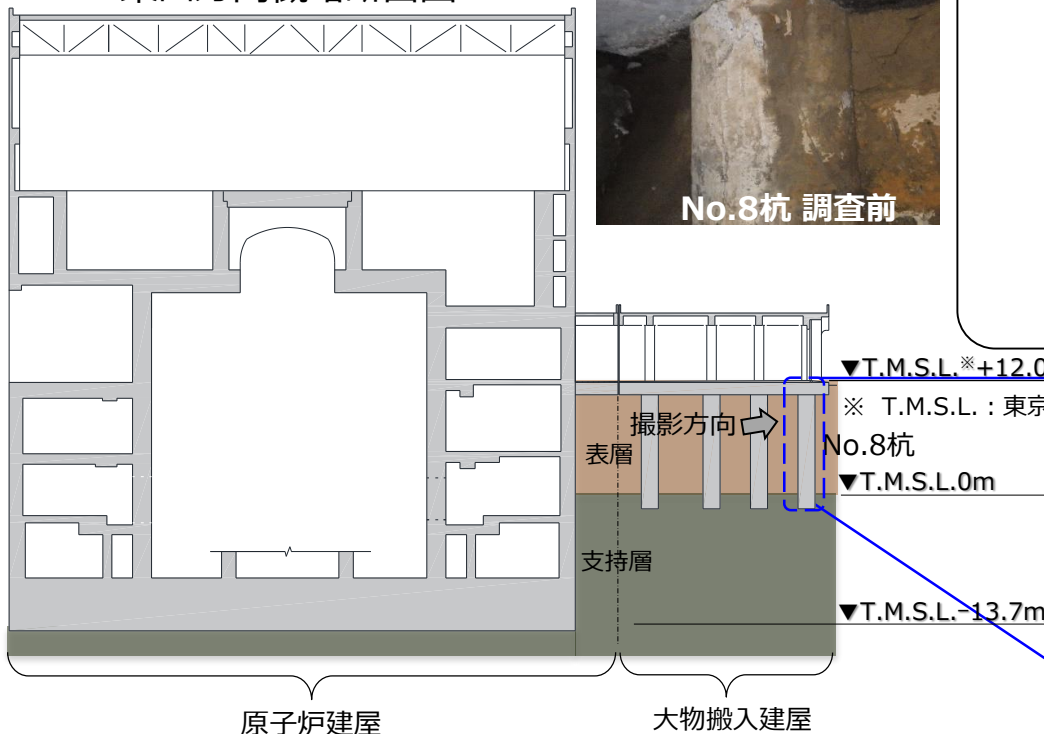
水平  
展開

今後の  
対応

2

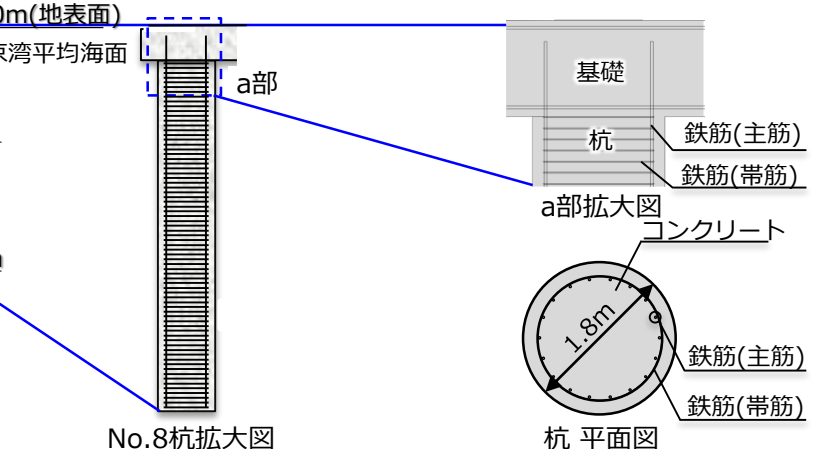
- 新規規制基準を踏まえた6号機の安全対策工事において、大物搬入建屋を原子炉建屋の一部として扱うことにしたため、Sクラスに応じた耐震強化工事を開始
- 当該工事において建屋下の掘削作業を進める中、8本ある地中の杭の内、No.8杭でコンクリートの剥離、浮きを確認（2021年7月9日）
- その後、No.8杭で鉄筋の変形・破断を確認する中、6号機大物搬入建屋の全ての杭の調査を開始（2021年8月5日～）

6号機原子炉建屋・大物搬入建屋  
東西方向概略断面図



主な時系列（お知らせ済）

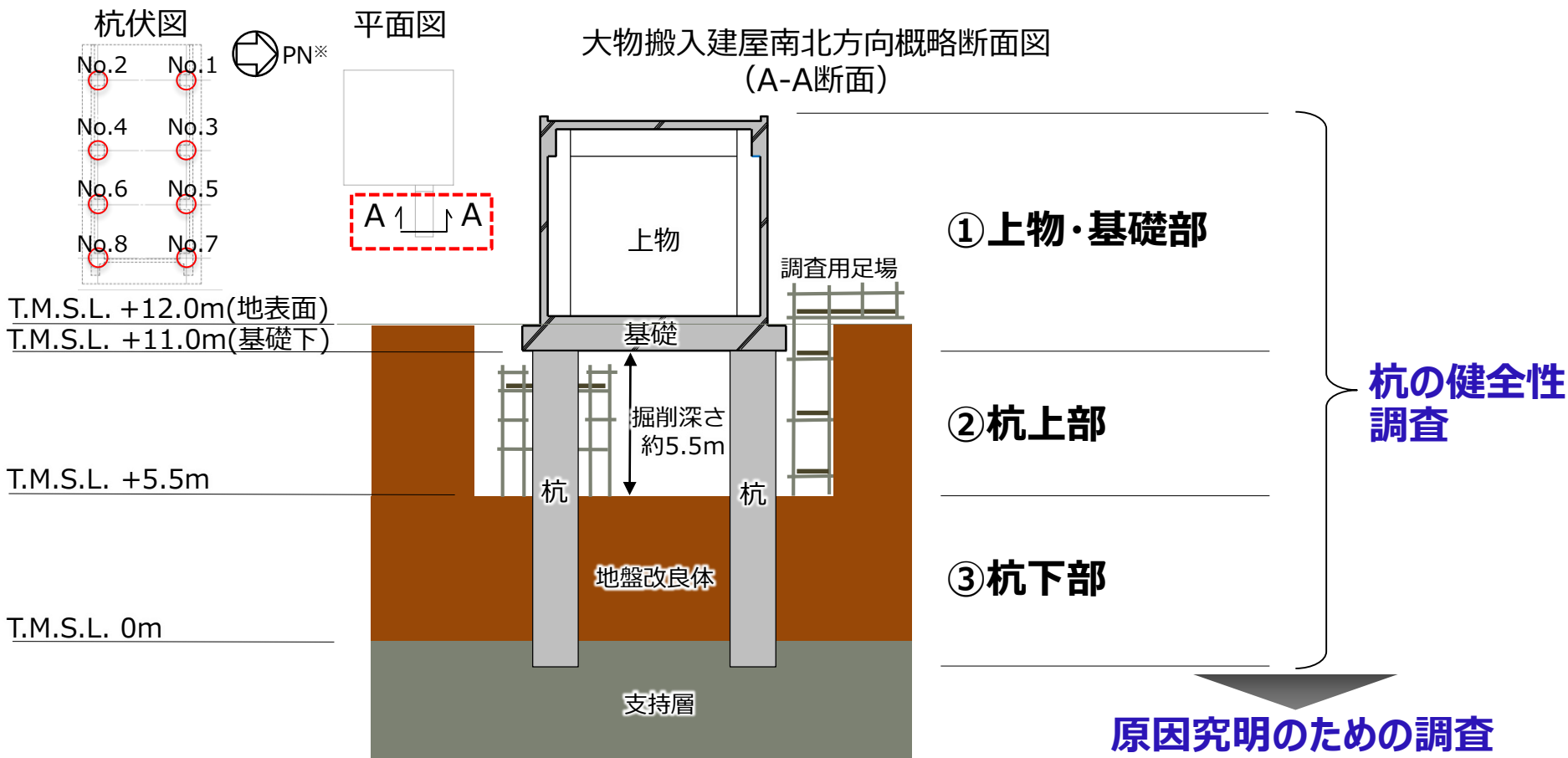
- 2021年 3月10日 耐震強化工事の一環で建屋下掘削作業開始
- 7月 9日 No.8杭にコンクリートの剥離、浮きを確認。工事中断
- 7月15日 不適合情報としてホームページ掲載
- 7月27日 作業の安全性を確認し、No.8の杭の調査を再開
- 8月 5日 No.8 杭の鉄筋の変形・破断を確認以降、全ての杭の調査を開始
- 8月17日 原子力規制庁運転検査官現地確認
- 10月20日 原子力規制庁運転検査官に杭の状況をご説明
- 11月 2日 原子力規制庁本庁に杭の状況をご説明
- 11月 4日 定例所長会見で杭の状況ご説明
- 11月10日 原子力規制委員会
- 12月23日 新潟県技術委員会でのご説明



# 2-1. 杭の健全性調査

➤ 杭の健全性や損傷した原因を究明するため、以下の調査を実施

- ① 上物・基礎部 : 外観目視や測量による沈下・傾斜、ひび割れ等の調査
- ② 杭上部 : 基礎下5.5mまで掘削し、杭の外観目視によるひび割れ等の調査
- ③ 杭下部 : 非破壊試験による健全性の調査
- ④ 周辺地盤状況 : 建設工事等の記録確認や協力企業への聞き取り調査



※ PN : プラントノース (発電所内座標の北を示す)

原因究明のための調査  
④ 周辺地盤状況

## 2-2. ①上物・基礎部の調査結果

経緯

健全性  
調査

原因  
調査

推定  
原因

水平  
展開

今後の  
対応

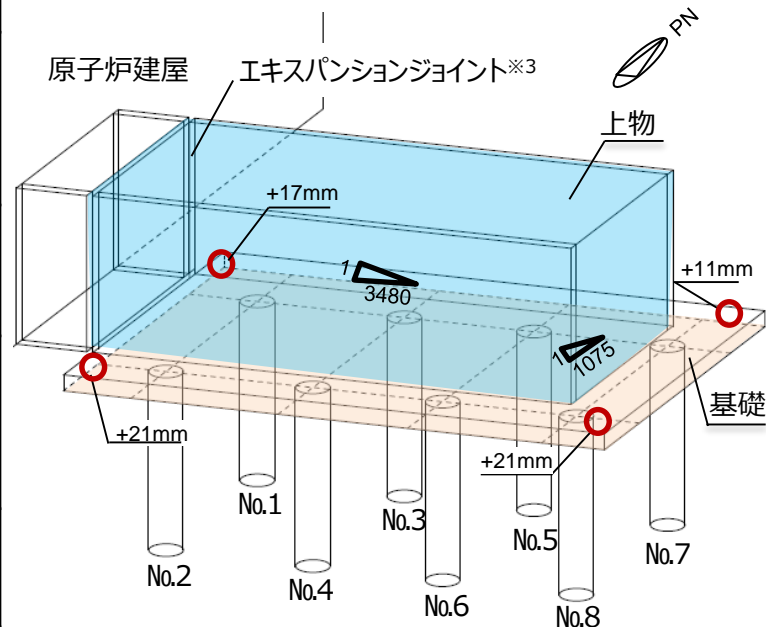
4

- 6号機大物搬入建屋の上物・基礎部を調査した結果、異常がないことを確認
- ✓ 沈下・傾斜：外観目視による点検・調査や原子炉建屋内の基準点から大物搬入建屋の基礎高さを測定し設計値との差を確認した結果、沈下や傾斜は確認されず
- ✓ ひび割れ等：外観目視による点検・調査の結果、構造上問題のある損傷は確認されず

点検・調査結果一覧

項目	対象箇所	点検・調査結果	点検・調査時期※2
沈下・傾斜	基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子炉建屋との段差や建物の使用上問題となる傾斜なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 直近の定期点検 (2019年度)</li> <li>• 地震後点検 (2007年度)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 沈下量50mm未満※1を確認</li> <li>• 傾斜1/300未満※1を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 今回の調査 (2021年度)</li> </ul>
ひび割れ等	上物・基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 構造上問題のあるひび割れ、剥離、浮き等なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 直近の定期点検 (2020年度)</li> <li>• 地震後点検 (2008年度)</li> </ul>
	基礎下	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 構造上問題のあるひび割れ、剥離、浮き等なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 今回の調査 (2021年度)</li> </ul>
	エキスパンションジョイント※3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• エクスパンションジョイントや周辺躯体に構造上問題のある損傷なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 直近の定期点検 (2019年度)</li> <li>• 地震後点検 (2007年度)</li> </ul>

大物搬入建屋 点検・調査範囲図



凡例

- ：沈下測定位置（数値は設計値との差を示す）  
判定基準：沈下量50mm未満（測定値>-50mm）
- ▲：基礎の傾斜  
判定基準：1/300未満（測定値<1/300）
- ：上物調査範囲
- ：基礎調査範囲

※1 原子力安全・保安院 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 構造ワーキング 第60回（2010年12月3日）

※2 定期点検は1回/2年の頻度で実施

※3 構造的に分離された施設間をつなぐ伸縮継手で相互に応力を伝えない構造となっている

## 2-3. ②杭上部の調査結果

経緯

健全性  
調査

原因  
調査

推定  
原因

水平  
展開

今後の  
対応

5

- 杭上部の調査の結果、南東側のNo.8およびNo.6杭に損傷が集中していることを確認
  - ✓ 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なく、耐震性能に影響ない状態（損傷度Ⅱ）
  - ✓ No.6・8：耐震性能に影響はあるが、縦方向に支える力(軸力)はある程度保持されている状態（損傷度Ⅲ、Ⅳ）
- 損傷度：建設省建築研究所作成の「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しているもの  
→詳細については19スライド参照

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

No.8杭主筋の変形状況



No.8杭主筋の破断状況



※ 調査の進展により、2021年11月4日に公表したものに追加、約1mmのひび割れ1本を追加で確認

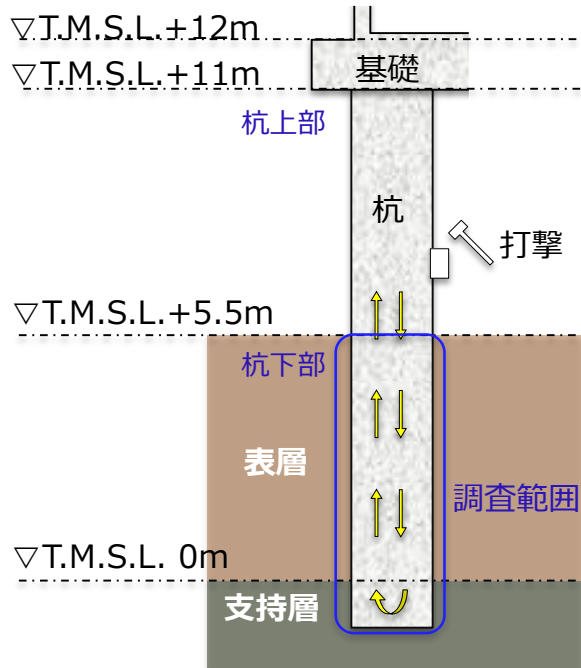
# 2-4. ③杭下部の調査結果

➤ 杭下部は、外観目視による調査が困難なことから、非破壊試験（衝撃弾性波反射法※）により健全性を調査

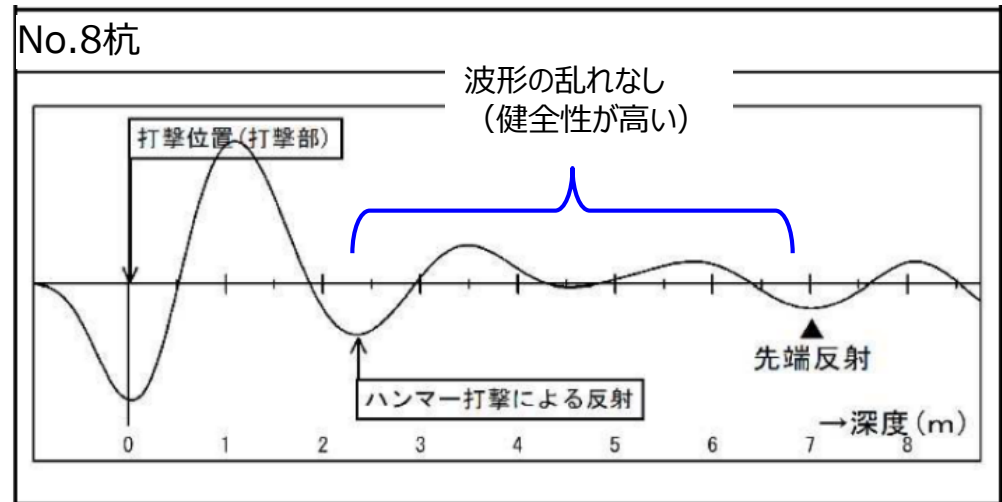
※杭体をハンマーで打撃し、杭中を伝わる振動を計測することにより杭の健全性を判定する手法

➤ 調査の結果、全ての杭下部が「健全性は高い」との判定

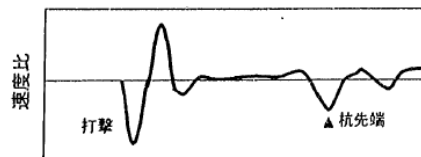
非破壊試験概要図



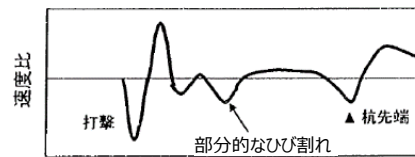
試験結果の一例（No.8杭の波形）



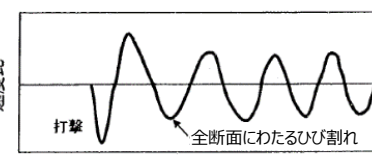
判定基準例



A : 健全性が高い



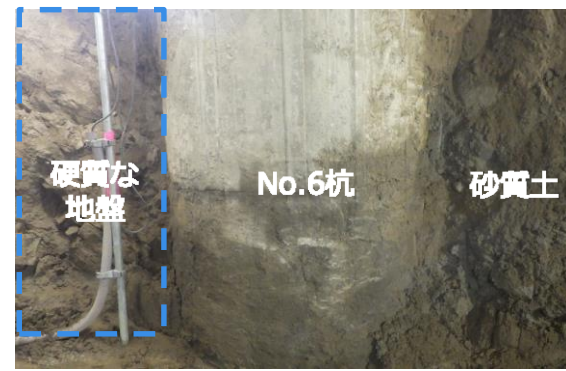
B : 部分的な損傷の疑いあり



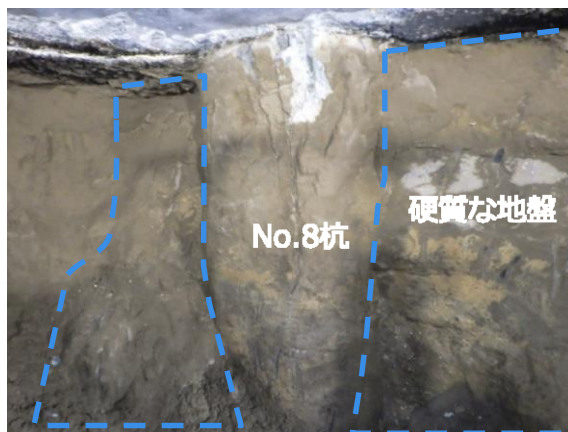
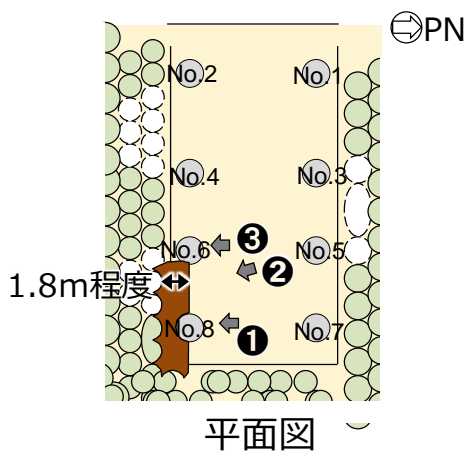
C : 杭の全断面に及ぶ損傷の疑いあり

# 3-1. ④周辺地盤状況

- No.8杭、No.6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
- 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
- 硬質な地盤は、損傷が集中して見られるNo.8杭およびNo.6杭に干渉していることも確認



写真③



写真①



写真②

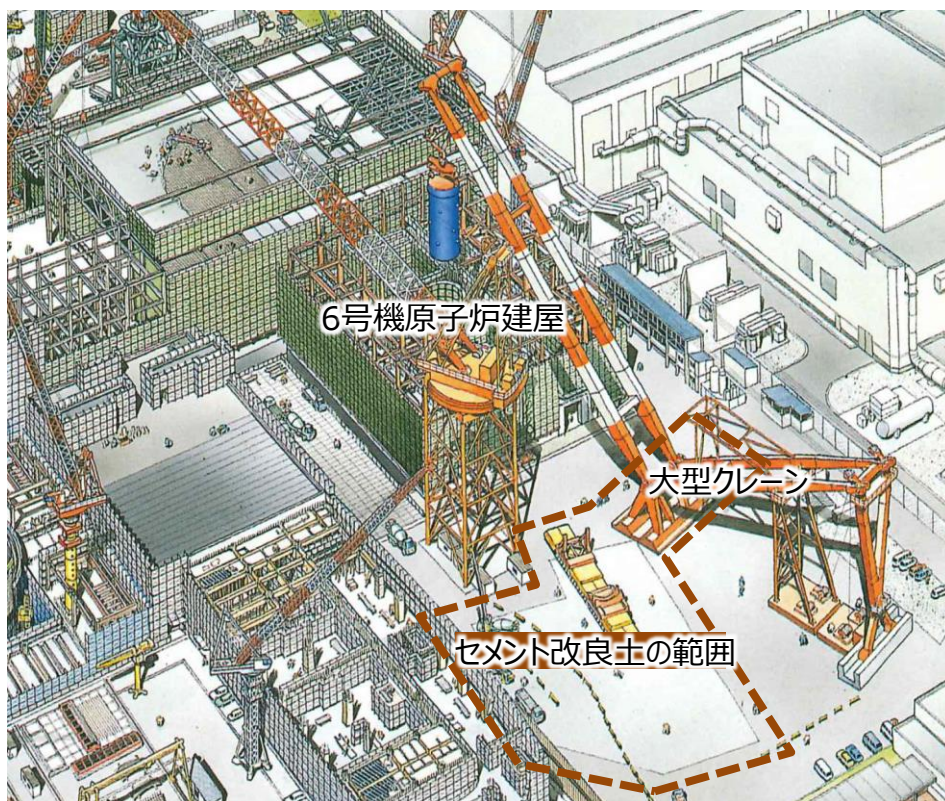
- 凡例
- 掘削中に確認された硬質な地盤
  - 耐震強化工事の地盤改良体
  - 表層(砂質土)
  - 建屋下と地上の昇降口



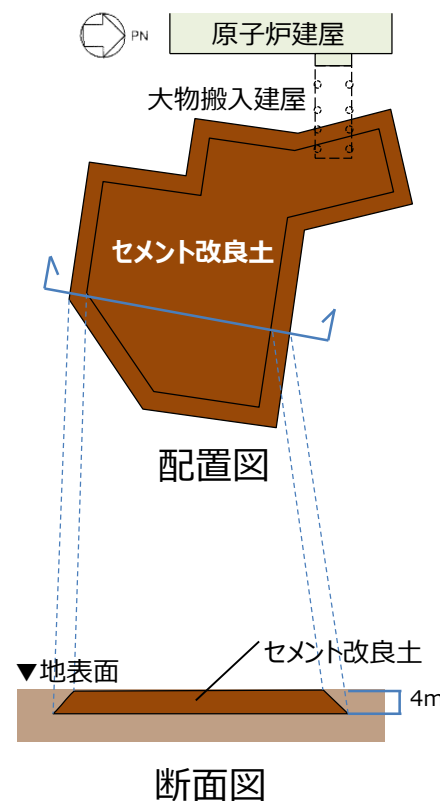
## 3-2. 硬質な地盤の由来

- 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
- 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  
※6号機建設時に大型機器等を吊り込むために設置されたクレーン。図中の大型クレーン以外に、移動式大型クレーンも使用
- セメント改良土を含む建設残置物については、契約上、発注者が支障がないと認めたもの以外、撤去するルール。撤去しない場合には当社への申し入れが必要

6号機建設時のセメント改良土の範囲（1994年）



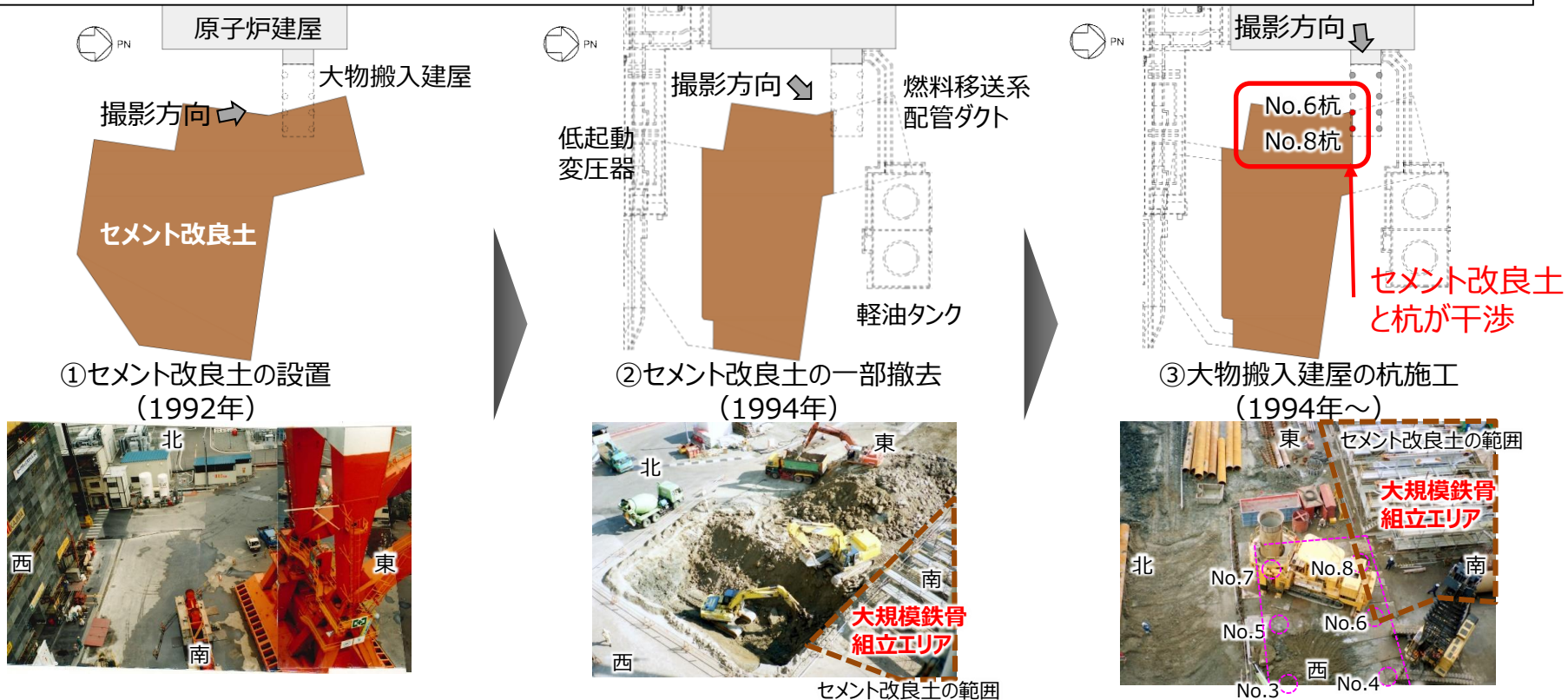
6号機建設時におけるセメント改良土範囲



# 3-3. セメント改良土の調査

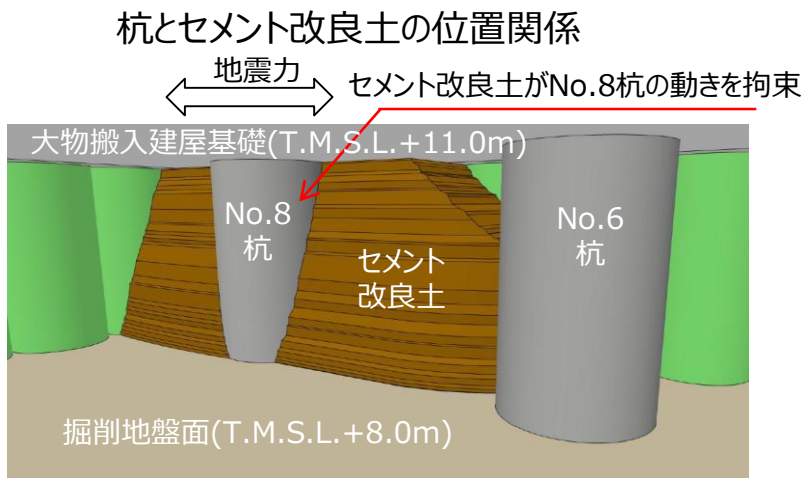
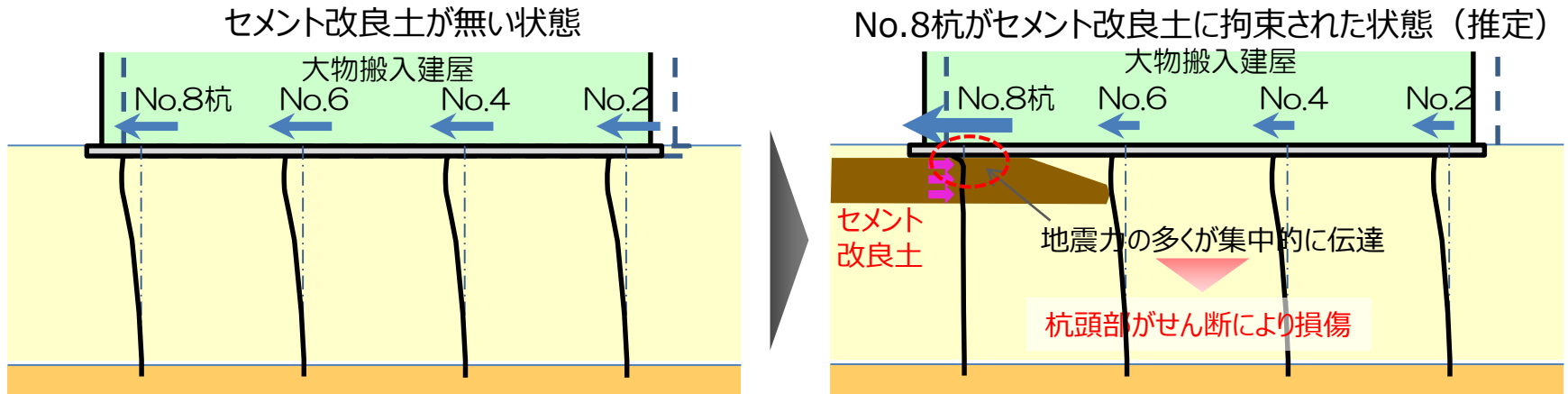
- セメント改良土を設置した企業Aは、大物搬入建屋の杭周辺のセメント改良土を残置（当社へ報告・協議した記録なし）
- 当該エリアは、原子炉建屋の大規模鉄骨の組立エリアと重なっており、そのため撤去を行わなかったものと推定
- 大物搬入建屋の杭工事を行った企業Bは、工事を行う中で硬質な地盤の干渉があったが、そのまま杭を施工（当社へ報告・協議した記録なし）

※当社は、建設残置物について支障がないかを、契約上、受注者からの報告を受けた上で確認することとなっていたが、発注者として適切に管理することが望ましかった



# 4. 杭損傷の推定原因

- ①～④の調査結果から、セメント改良土が中越沖地震時にNo.8杭の動きを拘束したため、杭頭部に地震力が集中し、せん断※により損傷したものと推定  
※物体をはさみ切るような作用のこと
- 推定したメカニズムの妥当性について、解析的検証を実施した結果、セメント改良土の影響で杭頭せん断力がNo.8杭に集中する傾向を確認



No.8杭の杭頭部の損傷状況  
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)

# 5. 建設残置物の調査結果 (1/2)

- 中越沖地震を経験した主要な杭支持構造物に、6号機大物搬入建屋と同様なセメント改良土等の建設残置物が干渉していないか確認するため、下記調査を実施
  - ✓ 建設記録調査：建設仮設計画書、撤去計画書、施工状況写真等の確認
  - ✓ 聞き取り調査：当社・協力企業における当時の工事関係者への聞き取り
- 調査の結果、6号機大物搬入建屋以外には、建設残置物の干渉はないことを確認。一方で、建設残置物管理に弱みがあったことから、杭支持構造で建てられている建屋周辺の更なる調査を実施予定

中越沖地震を経験した主要な杭支持構造物の調査結果

番号	主要な杭支持構造物の名称	建設残置物の干渉有無										
		大型クレーン用セメント改良土			大型クレーン用 コンクリート基礎	コンクリート地中連壁・擁壁※1			その他※2			
①	4,6,7号機大物搬入建屋	4号 -	6号 ×	7号 -	-	4号 -	6号 ○	7号 -	-			
②	1/2,3,4,5号機主排気筒	-			-	-			1/2号 ○	3号 -	4号 -	5号 -
③	4,5号機非常用ガス処理系配管ダクト	-			-	-			-			
④	6,7号機軽油タンク基礎 燃料移送系配管ダクト	6号 ○	7号 -	-		6号 ○	7号 -	-				
⑤	固体廃棄物貯蔵施設(既設・増設)	-			-	-			-			
⑥	使用済燃料輸送容器保管建屋	-			-	-			○			
⑦	焼却炉建屋	-			-	-			-			
⑧	ランドリ建屋	-			-	-			-			

凡例 ○：事前撤去や離隔確保の対策済のため干渉なし -：干渉なし ×：建設残置物の干渉あり

※1 地中深く掘削する際、周辺の地盤が崩れないように設置する壁（以下、山留）

※2 鋼製の仮設作業床、山留用の凹凸に成形加工した鋼板、土を盛って作られた擁壁、セメント製の山留壁等

# 5. 建設残置物の調査結果 (2/2)

- 中越沖地震後に新設した主要な杭支持構造物も同様に調査。その結果、6号機建設時のセメント改良土の計画範囲が6号機フィルタベント基礎に一部重なっていることを確認
- このため、今回の水平展開調査においてフィルタベント基礎の周辺地盤ボーリングを行ったところ、セメント改良土らしきものがみられる箇所とみられない箇所があることを確認
- 一方で、フィルタベントの設計・施工段階では、設計用ボーリング、試掘、基礎掘削などを行っているが、その過程においてセメント改良土は出てきておらず
- 今回の水平展開調査におけるボーリング箇所は基礎外側であり、杭との干渉の可能性は低いと考えているが、安全最優先の観点から掘削の上、確認を実施予定  
→詳細については、20・21スライド参照

中越沖地震後に新設した主要な杭支持構造物の調査結果

番号	主要な杭支持構造物の名称	建設残置物の干渉有無							
		大型クレーン用セメント改良土			大型クレーン用 コンクリート基礎	コンクリート地中 連壁・擁壁※1			その他※2
A	7号機大物搬入建屋 (建替)	-			-	-			-
B	固体廃棄物貯蔵施設 (増設2)	-			-	-			-
C	使用済燃料輸送容器保管建屋(増設)	-			-	-			○
D	5,6,7号機フィルタベント基礎	5号 -	6号 □	7号 -	-	5号 -	6号 ○	7号 -	-
E	D/Dポンプ建屋※3	-			-	-			-
F	常設代替交流電源設備基礎	-			-	-			-

凡例 ○：事前撤去や離隔確保の対策済のため干渉なし -：干渉なし ×：建設残置物の干渉あり □：調査中

※1 地中深く掘削する際、周辺の地盤が崩れないように設置する壁（以下、山留）

※2 鋼製の仮設作業床、山留用の凹凸に成形加工した鋼板、土を盛って作られた擁壁、セメント製の山留壁等

※3 ディーゼル駆動消火ポンプ建屋

### (1) 6号機大物搬入建屋の杭損傷の推定原因

- 今回のNo.8、No.6杭の損傷は、建設残置物が杭に干渉しているという状況のもとで、中越沖地震による地震力が作用したことによるものと推定
  - ※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に耐震性能に影響のある損傷はないと考える

### (2) その他杭支持構造物に干渉する建設残置物の確認

- 中越沖地震を経験した主要な杭支持構造物は、6号機大物搬入建屋を除き、建設残置物の干渉は確認されず。一方で、建設残置物管理に弱みがあったことから、杭支持構造で建てられている建屋周辺の更なる調査を実施予定
- 中越沖地震後に新設された主要な杭支持構造物について、同様に建設残置物との干渉を調査したところ、6号機フィルタベント基礎にセメント改良土の計画範囲が一部重なっていることを確認。フィルタベント基礎の工事状況より、杭への干渉の可能性は低いと考えているが、安全最優先の観点から掘削の上、確認を実施予定

### 対応1 6号機大物搬入建屋の杭の補修

- 調査結果や復旧技術指針等を参考に補修方法を選定予定

### 対応2 建設残置物の追加調査および管理強化

- 建設残置物の調査の確からしさを一層高めることを目的として、主要な杭支持構造物の周辺を埋設物探査する予定
- 中越沖地震以降に新設した杭支持構造物のうち、6号機フィルタバント基礎について建設残置物との干渉がないことを、安全最優先の観点から掘削の上、確認を実施予定
- なお、建設残置物を確実に管理するため、「埋設物の一元管理」「計画段階で建設残置物を確認するしくみ」「今回の事例の周知・教育」を実施

### 対応3 4号機大物搬入建屋の調査

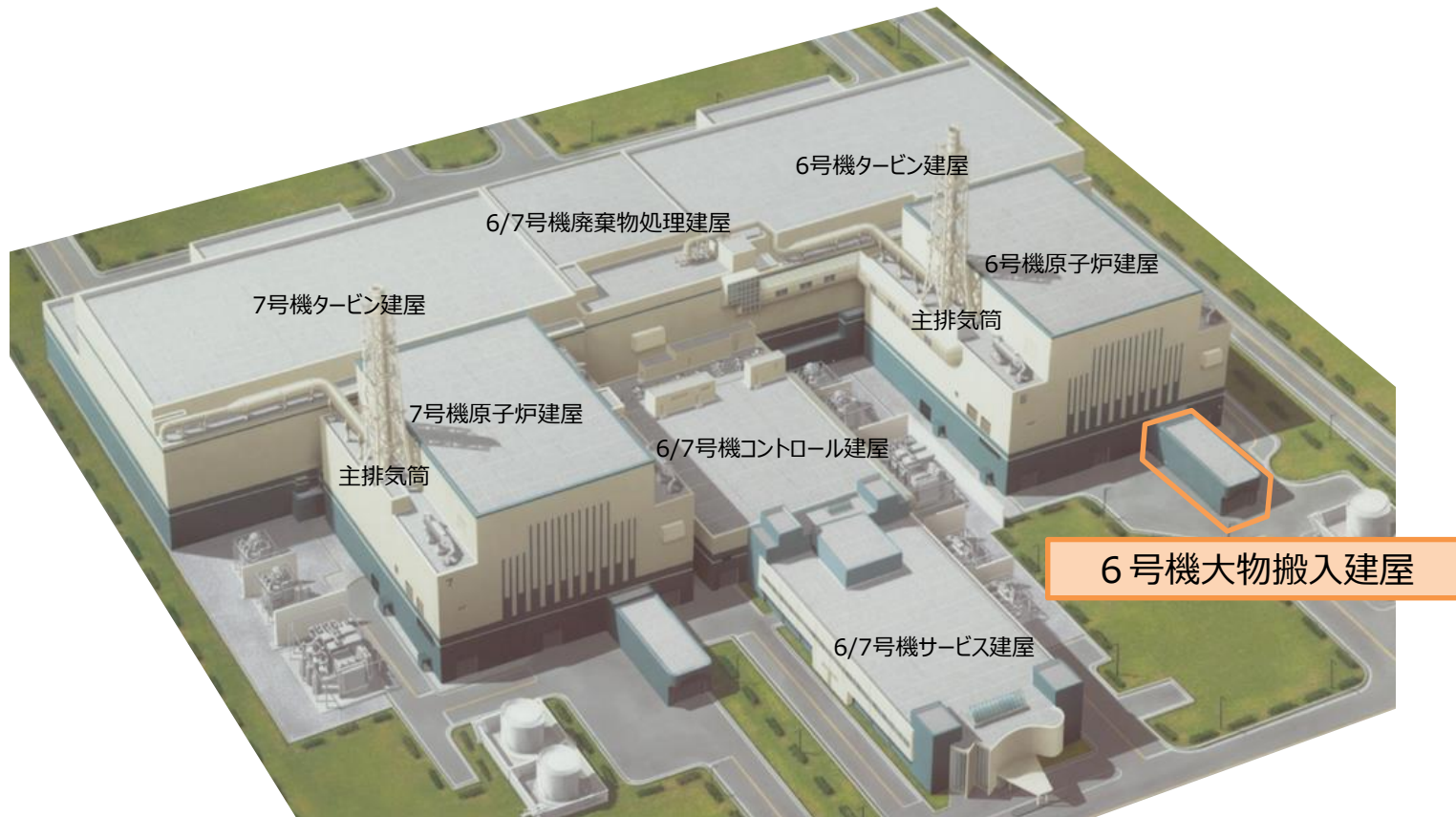
- 建設残置物が影響していた推定原因をより確かなものにするため、同種構造であり、中越沖地震において地震影響の大きかった荒浜側に立地している4号機大物搬入建屋（上物・基礎部に異常なし、建設残置物の影響なし）を対象に追加調査を実施
- 調査にあたっては、学識者などの第三者のご意見等をいただきながら進めていく予定

上記の対応については、その進捗に応じて、地域の皆さまにお伝えしていく

# (参考1) 6号機大物搬入建屋の概要

- 大物搬入建屋は、屋外から原子炉建屋内部へ大物物品等を搬出入するための玄関口となる地上1階建ての鉄筋コンクリート造の建物
- 大型物品をトレーラ等に積載したまま、原子炉建屋内部に搬出入することが可能
- 原子炉建屋の大物搬入口内扉を常時閉止し、原子炉建屋の気密を維持

6・7号機周辺配置図





# (参考2) 7号機大物搬入建屋既設杭の撤去状況

- 7号機大物搬入建屋は、上物・基礎部の点検の結果、異常が認められなかったため、通常の工事手順に沿って大型ブレーカや大型圧砕機を用い上物から解体撤去し、その後基礎を解体撤去
- 新設する基礎に干渉しない範囲まで基礎の撤去および地盤を掘削し、杭を含めて建屋を建替え



上物解体状況



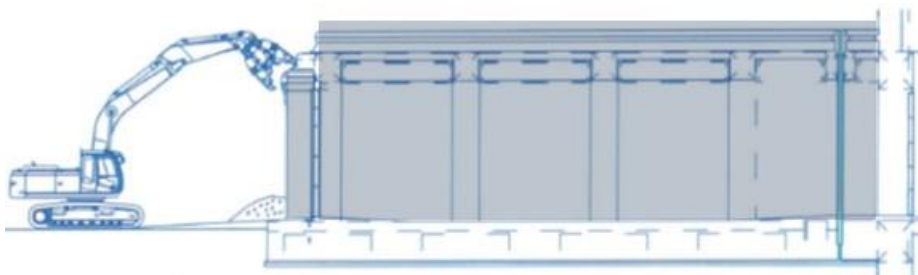
基礎解体状況



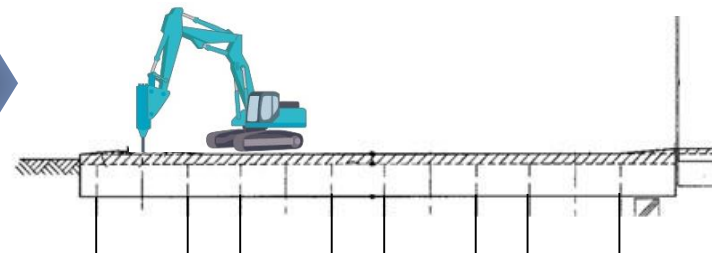
基礎解体状況



杭解体状況



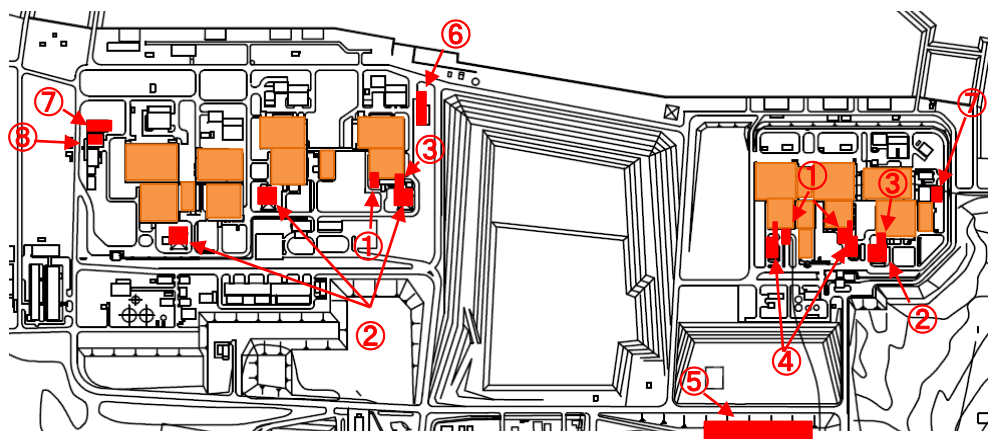
上物解体状況



基礎解体状況

# (参考3-1) 中越沖地震以前に設置した主要な杭支持構造物の一覧※ 17

番号	設備名称	号機	新規制基準における耐震クラス	杭基礎形式 (中越沖地震時)
①	大物搬入建屋	4,6,7	S	場所打ちコンクリート杭
②	主排気筒	1/2,3,4,5	C (Ss)	場所打ちコンクリート杭
③	非常用ガス処理系配管ダクト	4,5	C (Ss)	鋼管杭
④	軽油タンク基礎 燃料移送系配管ダクト	6,7	C (Ss) C (Ss)	鋼管杭
⑤	固体廃棄物貯蔵施設 (既設) " (増設)	共用	B C	工場製コンクリート杭
⑥	使用済燃料輸送容器保管建屋	共用	C	場所打ちコンクリート杭
⑦	焼却炉建屋	共用	B	工場製コンクリート杭
⑧	ランドリ建屋	共用	C	工場製コンクリート杭



※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」記載設備のうち、中越沖地震以前に設置していた杭支持構造物。新規制基準後の補正申請前の号機は、申請時の耐震重要度分類を想定して記載





# (参考3-2) 中越沖地震以降の点検状況

	構造物名称	号機	杭本数	上物・基礎部の 調査結果	杭の調査			対策	
					調査状況	調査本数	調査結果		
①	大物搬入建屋	4	6	異常なし	・杭頭部目視点検（6号機） （安全対策工事に伴い実施）	—	損傷あり （6号機）	検討中	
		6	8			8			
		7	8 (建替後16)			—			
②	主排気筒	5	53	上部鋼構造にボルトの緩み等 ⇒	・杭頭部目視点検 ・非破壊検査	3	異常なし	—	
		1/2	53	異常なし	同上（念のため実施）	4	異常なし	—	
		3	52			4			
		4	52			4			
③	非常用ガス処理系 配管ダクト	4	18	ダクト底版に変位・ひび割れ等 ⇒	・杭頭部目視点検	2	残留変位あり （傾斜） ⇒	補強 （増杭）	
		5	10	異常なし	同上（念のため実施）	1	異常なし	—	
④	軽油タンク基礎・ 燃料移送系配管ダクト	6	120 16	異常なし	・杭頭部目視点検（6号機） （安全対策工事に伴い実施）	64	異常なし	—	
		7	112 16			—			
⑤	固体廃棄物貯蔵施設	共用	891	異常なし	・杭頭部目視点検 ・非破壊検査(念のため実施)	4	異常なし	—	
⑥	使用済燃料輸送容器 保管建屋	共用	68	異常なし	・杭頭部目視点検 （念のため実施）	2	異常なし	—	
⑦	焼却炉建屋	共用	360	異常なし	—	—	—	—	
⑧	ランドリ建屋	共用	132	異常なし	—	—	—	—	
			合計	1975				合計	96

- ✓ 上物・基礎部に異常が認められた設備は杭周辺を掘削し、杭頭部を目視で確認するなどの調査を実施(表中赤)
- ✓ 異常が認められなかった設備も、類似設備の変状を考慮する等して、杭を対象とした調査を実施したものもあり(表中青)

# (参考4) 杭の損傷度と耐震性能

➤ 建築基礎の被災度区分判定指標及び復旧技術例※<sup>1</sup>の考え方に沿って設定した損傷度を用いて評価を行った。以下に結果を示す

損傷度	I	II	III	IV	V
	6号機大物搬入建屋の杭の状況				
6号機大物搬入建屋の杭の損傷度評価および文献※ <sup>1</sup> における損傷度の事例	<p>■ No.2杭</p>  <p style="text-align: center;">ひび割れ</p> <p>■ 評価結果 ひび割れ幅が最大1.8mm程度あるが、1.5D(杭径の1.5倍の範囲内)に1本 コンクリートの表面剥離は無く、鉄筋も見えない</p>	<p>■ No.6杭</p>  <p style="text-align: center;">ひび割れ</p> <p>■ 評価結果 ひび割れ幅が最大4mm程度あるが、1.5D(杭径の1.5倍の範囲内)に6本 コンクリートの表面剥離は無く、鉄筋も見えない</p>	<p>■ No.8杭</p>  <p>■ 評価結果 杭頭部の鉄筋が7本破断 基礎は沈下しておらず、基礎と杭頭に隙間は生じてない</p>	<p>■ 文献※<sup>1</sup>における損傷度Vの実例</p> 	
	耐震性能に関する解釈※ <sup>2</sup>	支持性能に大きな支障となる損傷がなく、耐震性能に影響ない状態	耐震性能に影響はあるが、縦方向に支える力(軸力)はある程度保持されている状態	耐震性能の回復を目的とした補修を行う	
補修・補強の必要性	耐震性能の回復を目的とした補修は不要				

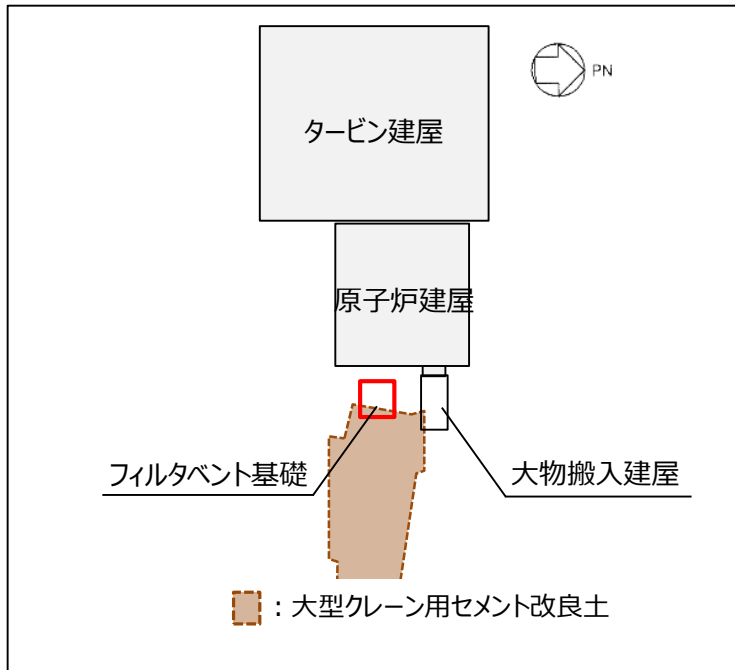
※<sup>1</sup> 建設省建築研究所「建築研究資料 No.90 1997.8 建築基礎の被災度区分判定指標及び復旧技術例」

※<sup>2</sup> 原子力安全・保安院 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 構造ワーキング 第60回 (2010年12月3日) や震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 (日本建築防災協会, 2015年) の考え方に沿って解釈したもの

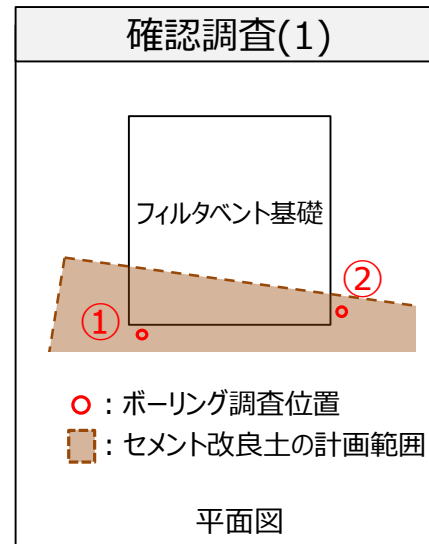
- 中越沖地震後に新設した主要な杭支持構造物も同様に調査。その結果、6号機建設時のセメント改良土の計画範囲が6号機フィルタベント基礎に一部重なっていることを確認
- このため、今回の水平展開調査においてフィルタベント基礎の周辺地盤ボーリングを行ったところ、セメント改良土らしきものがみられる箇所とみられない箇所があることを確認
- 今回の水平展開調査におけるボーリング箇所は基礎外側であり、杭との干渉の可能性は低いと考えているが、安全最優先の観点から掘削の上、確認を実施予定

【今後の計画】

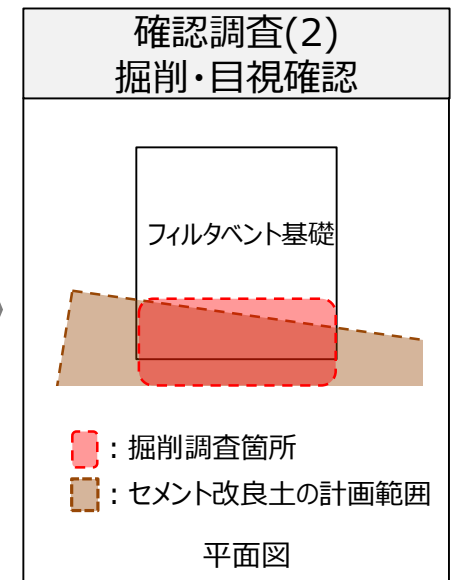
当時のセメント改良土の計画範囲が、図面上ではフィルタベント基礎に一部重なる



基礎の直近2箇所をボーリング調査したところ、①ではセメント改良土らしきものが確認され、②では確認されなかった

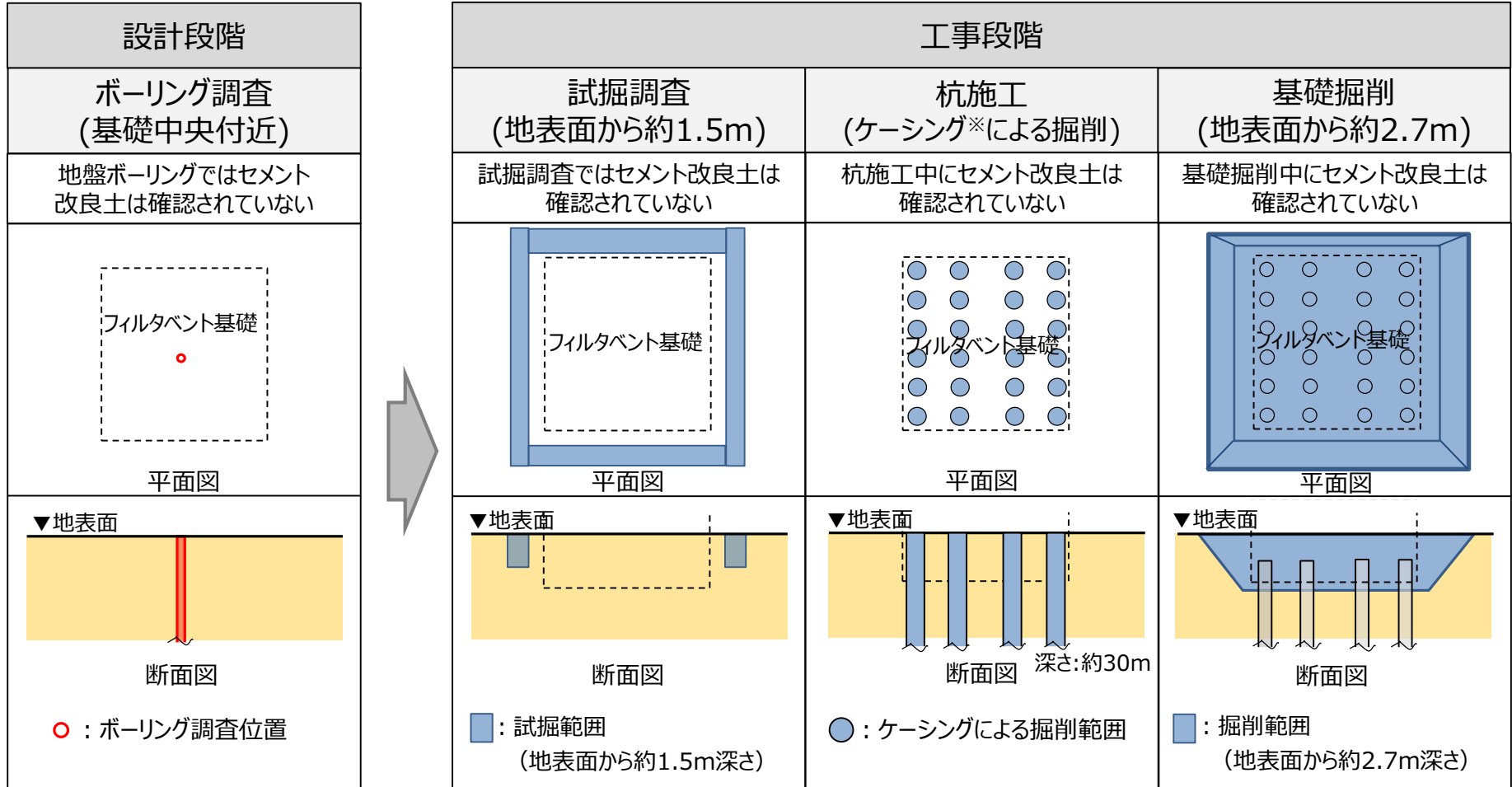


セメント改良土らしきものが杭に干渉していないことを確認するため、掘削の上、目視確認を行う



# (参考5-2) 6号機フィルタバント基礎新設時の埋設物調査(2013年~2014年工事時)21

➤ 6号機フィルタバント基礎の設計・施工段階では、設計用ボーリング、試掘、基礎掘削等を行っているが、その過程においてセメント改良土は出てきていなかったことを確認



※ ケーシング : 杭施工時に地盤掘削に用いる仮設の鋼管