

柏崎刈羽原子力発電所3号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る
点検・評価状況について
(排気筒基礎杭に関するコメント回答)

平成22年12月3日



東京電力

ご報告内容

- 本報告は、構造W59-3「柏崎刈羽原子力発電所3号機新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価状況について（排気筒）」説明時に頂いた、以下のコメントへの回答である。

- 基礎杭に確認されたひび割れの評価について、日本建築防災協会「復旧技術指針」※¹における記載を確認すること。
- ひび割れが確認された基礎杭の補修方法を示すこと。

- 上記への回答として、排気筒基礎杭について以下の補足説明を行う。
 1. 「復旧技術指針」における、杭基礎構造の評価方法について
 2. 「点検・評価計画書」※²における、杭基礎構造物の評価方法について
 3. ひび割れが確認された基礎杭の補修および耐久性確保について

※1：日本建築防災協会「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」

※2：柏崎刈羽原子力発電所3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）



1. 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法

■ 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法

日本建築防災協会「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」（以下、「復旧技術指針」）では、杭基礎構造について、以下の評価を行うこととしている。

● 杭基礎構造の被災度区分

杭基礎構造の被災度を、基礎の沈下量と傾斜を用いて区分する。この被災度区分をもとに、その後の補修・補強等の要否を判断する。

● 杭基礎部材の補修方法

被災した杭基礎構造に対して、被災以前の状態に復旧することを原則とし、個別の杭の損傷度に応じた補修方法を示している。

1. 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法

■杭基礎構造の被災度区分

- 基礎の沈下量と傾斜を用いて、以下のとおり区分される。

		基礎の沈下量(m)			
		0	0.1	0.3	
基礎 の 傾 斜	1/300	[無被害]	[小 破]	[中 破]	※
	1/150	[小 破]	[中 破]	[中 破]	[大 破]
	1/75	[中 破]	[中 破]	[大 破]	[大 破]
	(radian)	[大 破]	[大 破]	[大 破]	[大 破]

※：想定外、
要詳細調査

- 基礎の沈下量と傾斜が大きい場合には、基礎杭が損傷を受けている可能性があるため、個別の杭について損傷度を分類し、その損傷度分類に応じた補修方法の検討を実施する。

1. 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法

■杭基礎部材の補修方法

- 杭の損傷度分類および補修方法について、以下のとおり示している。
- 補修の目的は、損傷度Ⅲ以下については、「耐久性の回復」、損傷度Ⅳ・Ⅴについては、「性能回復(曲げ・せん断・軸力)」としている。

損傷度	Ⅲ以下	ⅣあるいはⅤ		
損傷度のイメージ				
補修法	<p>ひび割れ補修 基礎補修技術シート No.11</p> <p>欠損部補修 基礎補修技術シート No.12</p>	<p>欠損部補修</p> <p>鋼管巻き補修 基礎補修技術シート No.13</p>	<p>欠損部補修</p> <p>鉄筋コンクリート巻き補修 基礎補修技術シート No.14</p>	<p>欠損部補修</p> <p>炭素繊維シート巻き付け補修 基礎補修技術シート No.15</p>

日本建築防災協会「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」より

1. 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法

- 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法のまとめ
 - 杭基礎構造の被災度を沈下と傾斜で判断し、個別の杭の点検・復旧の要否を判断する。
 - 基礎の沈下量と傾斜が大きい場合には、杭の損傷度分類に応じた補修方法を示している。その際、損傷度をひび割れ幅で評価する方法とはなっていない。
 - 「復旧技術指針」における杭基礎構造の評価方法の背景については、以下のよう
に推測している。
 - ◆ 杭基礎構造の最も重要な目的は、構造物の自重を支持することであるため、支持性能を確保できる状態にあるかを判断基準としているものと推定される。
 - ◆ 一般的に杭構造は地中にあるため、目視点検が困難であり、仮に目視点検を行うとすれば、多額の費用が必要となるため、個別の杭の点検の実施要否を沈下量と傾斜をもとに判断する基準としていると推定される。
 - ◆ 個別の杭の評価については、ひび割れ幅ではなく、コンクリートの剥離や鉄筋の座屈といった損傷状況で判断しているが、これは、基礎の沈下量と傾斜が大きい場合の杭の評価法であることが前提になっているためであると推定される。

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■ 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

当社が原子力安全・保安院へ提出している「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の健全性評価については、「復旧技術指針」を基本として検討し、一部を文献等で補完して策定している。

- 沈下量と傾斜の評価基準値については、「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査（日本建築学会技術報告集 第5号 1997年12月）を参考に、沈下量：50mm未満と設定している。
- 杭の損傷度分類については、より具体的に損傷パターンを示している建設省建築研究所「建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例 建築研究資料No.90」（以下、「建築研究資料」）を用いた。（「復旧技術指針」の損傷度分類も本資料を出典としている。）

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■沈下量と傾斜の評価基準値について

基礎の沈下量と傾斜が小さい場合には、基礎杭が損傷を受けている可能性が小さく、杭の支持性能への影響はほとんどないと考えられる。

傾斜の評価基準値については、「復旧技術指針」における最も厳しい値である1/300を採用している。

沈下量の評価基準値については、「復旧技術指針」における基準値0m～0.1m(100mm)の間で検討し、「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査」において、沈下量が50～100mm以上であると、杭基礎に被害がある可能性が高いとする知見を参考に、沈下量の評価基準値を50mm未満と設定している。

■杭の損傷度分類について

「復旧技術指針」における杭の損傷度分類は、比較的被害の大きい場合を主な対象としているため、損傷度Ⅲ以上についてのイメージ図が示されている。

「点検・評価計画書」では、比較的被害の小さい損傷度Ⅰ・Ⅱについても適切に分類できるよう、「建築研究資料」の損傷度分類を参照した。（次ページに示す）

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■杭の損傷度分類（場所打ちコンクリート杭の損傷度と損傷パターン）

損傷度	I	II	III	IV	V
軸力と曲げによる被害	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 1~3本 1mm程度 表面剝離 鉄筋は見えない D</p>	<p>基礎スラブ 1.5D 以内に 3本程度 約10cm または 0.2D 1~2mm程度 局所的な剝落 鉄筋が少し見えてもよい D</p>	<p>基礎スラブ 表面コンクリートの剝落 縦ひび割れ 鉄筋が局部的に座屈 D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋がすべて座屈 鉄筋の破断 D</p>
杭 基 礎	<p>基礎スラブ 1~3D 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D 1mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D コンクリートの剝落 鉄筋は見えない 1~2mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ 1~3D コンクリートの剝落 2mm以上 鉄筋が見える 鉄筋は座屈していない D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋の破断 D</p>
軸力による被害	<p>基礎スラブ 1D程度以上 0.2mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 0.5~1D 以下 1mm以下 D</p>	<p>基礎スラブ 鉄筋がわずかに見える 0.5~1D 以下 コンクリートの剝落 10cm幅程度(わずが) 2mm程度 D</p>	<p>基礎スラブ フーチングと離れる 定着鉄筋が見える コンクリートの剝落 鉄筋の露出 D</p>	<p>基礎スラブ 軸方向に縮んでいる 鉄筋が座屈 鉄筋が破断 杭の折れ曲がり D</p>

「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No.90 1997.8）より

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■杭の損傷度分類と支持性能

各損傷度の状態における、基礎杭の支持性能への影響については、以下の様に推定している。（軸力と曲げによる被害とした場合）

損傷度	損傷による支持性能への影響
I	細いひび割れが発生している軽微な状態である。
II	鉄筋が見えない程度の表面付近の剥離が発生している状態であり、断面欠損はわずかであるため、支持性能への影響はないと考えられる。
III	鉄筋が見える程度のコンクリートの剥離が局部的に発生していることにより、数%程度の断面欠損を生じているが、支持性能への影響はないと考えられる。
IV	表面コンクリートが大幅に剥落し、鉄筋の局部的な座屈が発生している状態であり、断面欠損が大きく、支持性能が低下していると考えられる。
V	コンクリートが全断面において圧壊しており、鉄筋が座屈または破断している状態であり、支持性能はかなり低下していると考えられる。

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■ 耐震性能の評価基準値について

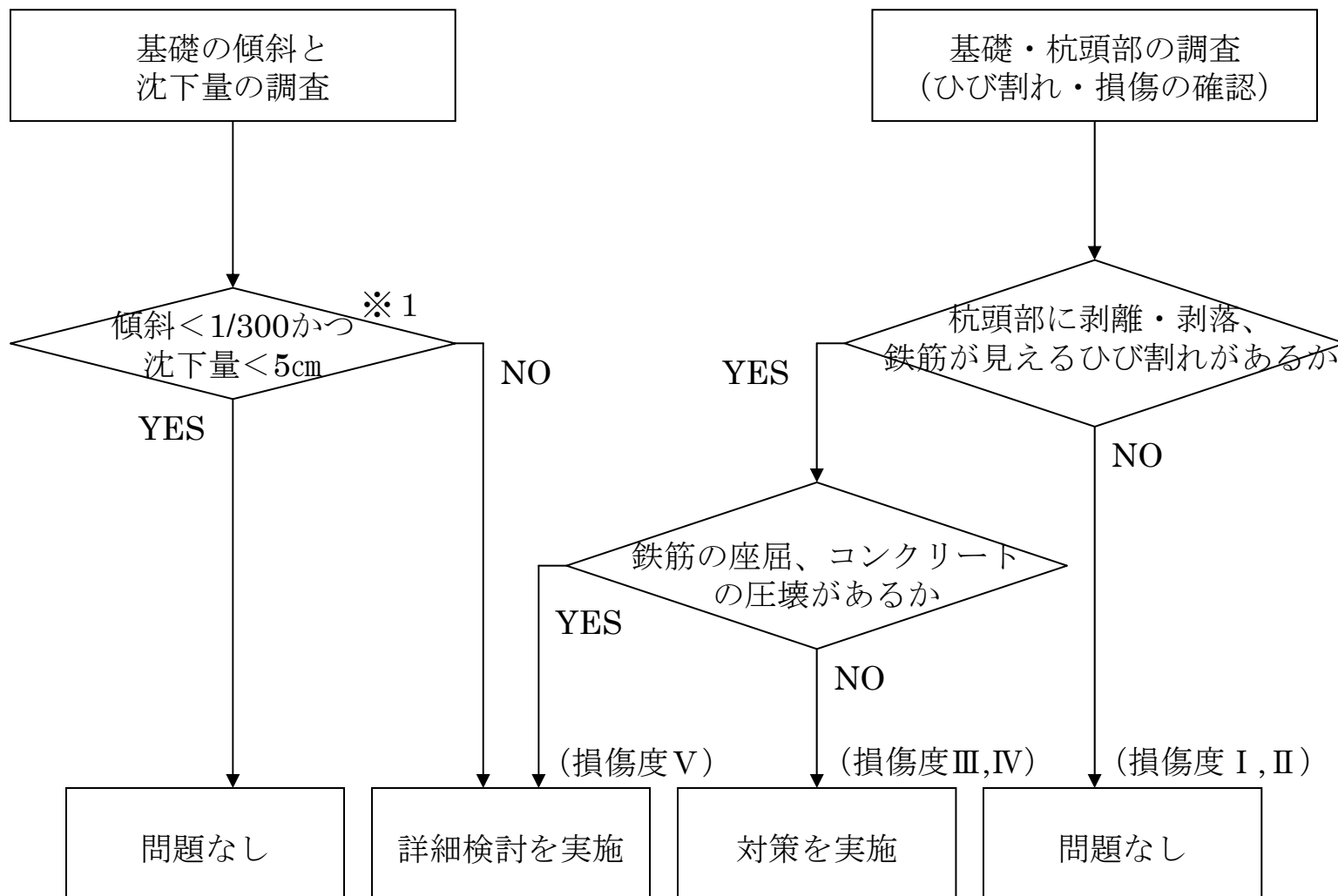
- 「復旧技術指針」では、損傷度Ⅳ・Ⅴの場合には、「性能回復（曲げ・せん断・軸力）」を目的とした補修としている。
- 「点検・評価計画書」では、損傷度Ⅳ・Ⅴに加えて、杭頭部に剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れが確認される損傷度Ⅲ程度以上の場合に、耐震性能への影響があるものとしている。また、損傷度Ⅱ以下の場合に耐震性能への影響がないものとしている。

「復旧技術指針」と「点検・評価計画書」の比較

	損傷度				
	I	II	III	IV	V
復旧技術指針	耐久性回復を目的とする			性能回復を目的とする	
点検・評価計画書	耐震性能への影響なし		耐震性能への影響あり		

2. 「点検・評価計画書」における杭基礎構造物の評価方法

■ 「点検・評価計画書」における杭基礎構造の点検フロー

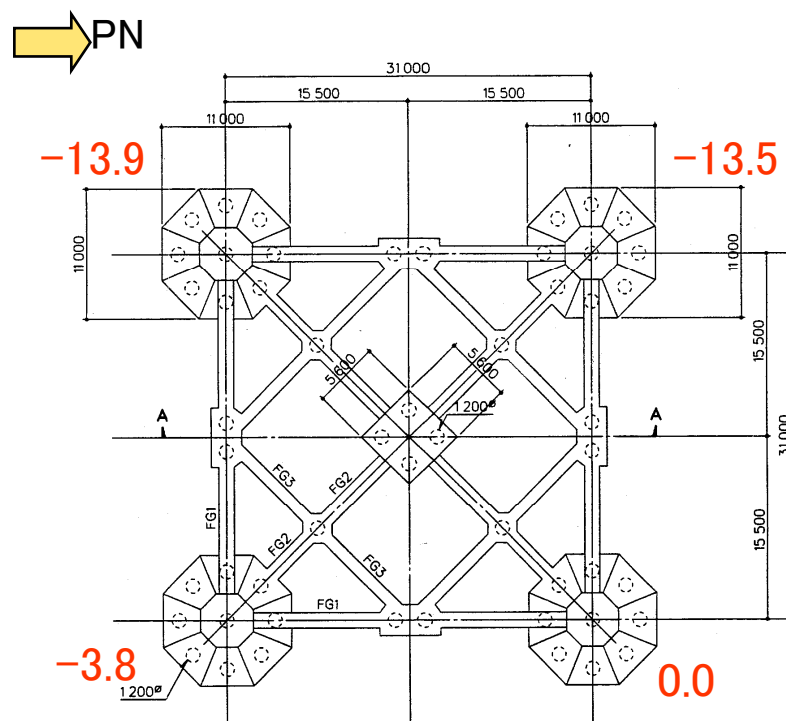


※1 「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査」を参考に設定

排気筒の点検結果

■ 3号機排気筒基礎杭の点検結果（沈下・傾斜）

- 排気筒基礎の最大傾斜量は約 $1 / 2200$ 、最大沈下量は 13.9mm であり、評価基準値（傾斜量： $1 / 300$ 未滿かつ沈下量： 50mm 未滿）を満足していることを確認した。



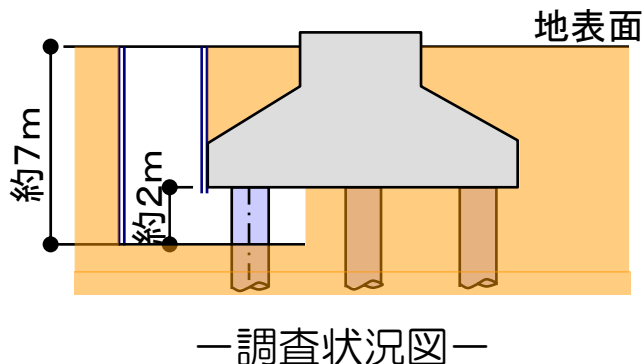
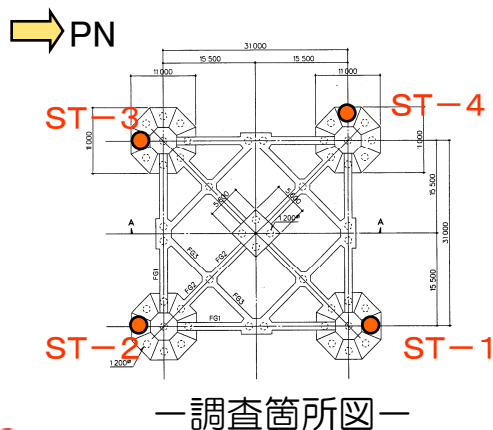
各フーチング基礎の沈下量(mm)
(北東部を基準としている)

排気筒の点検結果

■ 3号機排気筒基礎杭の点検結果（杭頭部）

- 杭頭部において、ひび割れの発生は確認されたが、剥離・剥落および鉄筋が見えるひび割れは生じていないことが確認された。

調査箇所	最大ひび割れ幅 (mm)	最大ひび割れ長さ(m)	ひび割れ本数	杭頭部の剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れ
ST-1	0.25	1.6	6	なし
ST-2	0.80	3.5	8	なし
ST-3	2.00	2.5	8	なし
ST-4	1.00	2.3	6	なし

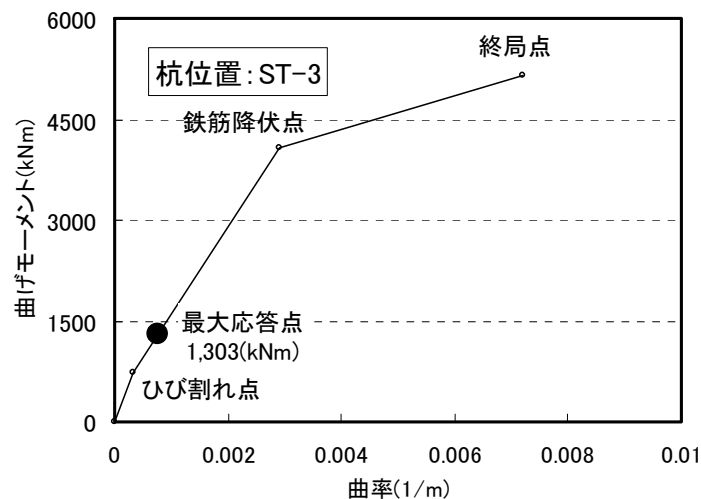
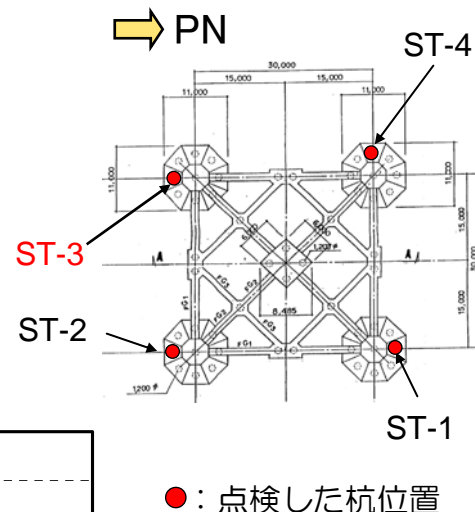


排気筒の耐震健全性評価結果

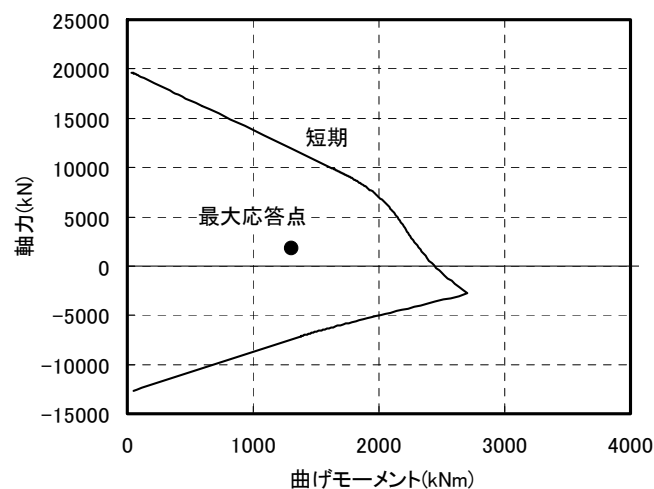
基礎部の健全性評価結果

杭頭にひび割れが確認された杭のうち、地震応答解析から求めた杭（ST-3）の応答曲げモーメントおよび応答軸力を曲げモーメント-曲率(M- ϕ)関係図と軸力-曲げモーメント相関図に応答点をプロットして下図に示す。

なお、他の位置の杭も同程度の応答結果であることを確認している。



(a) 杭のM- ϕ 関係図と応答プロット点



(b) 杭のN-M相関図と応答プロット点

注) 最大応答点●：最大曲げモーメント発生時の曲げモーメントおよび軸力の点をプロット

(杭の位置記号：ST-3にある杭1本あたりの応答結果)

地震応答解析から求まる杭頭付近の応答軸力～曲げモーメント関係（EW方向）

3. 基礎杭の補修および耐久性確保について

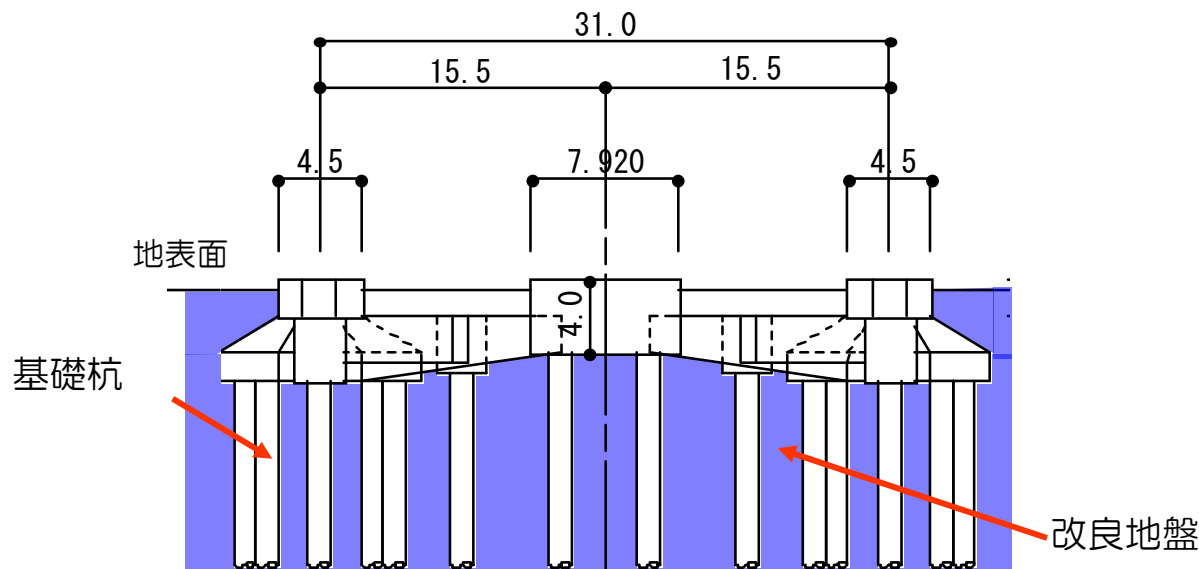
■ 基礎杭の補修および耐久性確保の方針について

- 杭頭部に幅2.0mmのひび割れが確認された基礎杭については、損傷パターンにあてはめると、剥離・剥落による断面欠損がなく、支持性能への影響がないと考えられるため、損傷度Ⅱと判断した。
 - 杭頭部の点検を実施した以外の杭については、同程度の損傷が想定される。
 - 「点検・評価計画書」による評価では、損傷度Ⅱであるため、対策不要と判断した。
 - 「復旧技術指針」において損傷度Ⅲ以下の基礎杭における復旧の目的は「耐久性回復」である。したがって、念のため、基礎杭に対して、鉄筋腐食に対する耐久性確保の対策を以下のとおり実施した。
- ① 基礎杭については、杭基礎周辺の地盤改良により、杭周辺をアルカリ性の環境とし、鉄筋腐食に対する耐久性を確保した。
 - ② 点検により確認されたひび割れについては、念のためエポキシ樹脂注入等によるひび割れ補修を実施した。

3. 基礎杭の補修および耐久性確保について

■ 地盤改良による耐久性確保について

- 3号機排気筒については、耐震性向上のため、基礎杭周辺をセメント系固化剤によって地盤改良を実施している。
- 改良地盤の物性はアルカリ性を示す。（同一の施工方法で実施した1/2号機排気筒の改良地盤では、pH11.2程度である）
- 以上のことから、基礎杭は、改良地盤のアルカリ環境下にあることから、鉄筋腐食に対する耐久性が確保される。



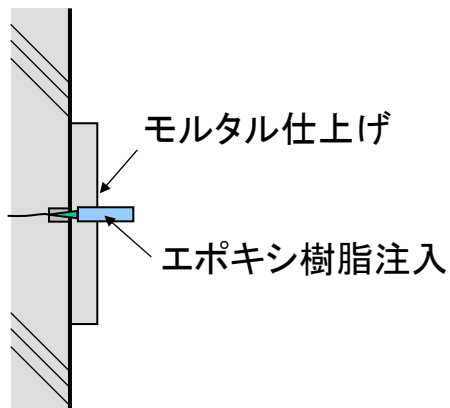
—基礎杭周辺地盤改良状況図—

(参考) 基礎杭のひび割れ補修について

■ 基礎杭のひび割れ補修方法

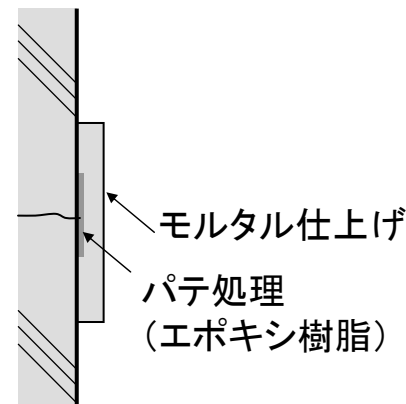
- ① ひび割れ幅が0.2mmを超えるひび割れについては、エポキシ樹脂注入による補修を実施した。
 - ② ひび割れ幅が0.2mm以下のひび割れについては、エポキシ樹脂による表面補修を実施した。
- ひび割れが適切に補修されたことについては、記録または立会により確認している。

- ①凹カット
- ②座金取り付け
- ③シール
- ④エポキシ樹脂注入
- ⑤モルタル仕上げ



ひび割れ幅 $W > 0.2\text{mm}$ の場合

- ①パテ処理
(エポキシ樹脂)
- ②モルタル仕上げ



ひび割れ幅 $W \leq 0.2\text{mm}$ の場合