

女川原子力発電所2号炉
液状化影響の検討方針のうち
2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について

平成30年5月22日
東北電力株式会社

目次

1. 液状化評価の基本
2. 液状化検討対象層の抽出
3. 液状化検討対象施設の抽出
4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性
5. 液状化強度試験結果
6. 液状化影響の検討方針

: 本日も説明する内容

補足説明資料 1. 防潮堤の設計方針等の変更について

(平成30年2月13日第548回審査会合資料再掲)

2. 盛土・旧表土のボーリング柱状図・コア写真 【データ集1. に収録】
3. 液状化に関連する基本物性の補足
4. N値と F_c の関係の整理
5. 盛土の均一性
6. 盛土のN値の取扱いについて
7. 液状化強度試験結果 【データ集2. に収録】
8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について

参考文献

補足説明資料

8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

構内道路【H23.3.12撮影】(3号炉海水ポンプ室脇から海側を撮影)

- 構内道路を横断して杭基礎構造の3号炉復水器連続洗浄装置連絡配管トレンチが埋設されているため、周辺の埋戻し部との境界で段差が生じたと考えられる。
- 沈下量は写真右側の側溝から約15cmと推定される。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の沈下の状況(2/9)

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

構内道路【H23.3.12撮影】（2号炉原子炉建屋脇から山側を撮影）

- 敷地の盛土の分布範囲から、写真手前側は埋戻し部（盛土）が分布している範囲であり、写真奥側は切土の範囲であることから、盛土層厚の違いによって段差が生じたものと考えられる。
- 沈下量は写真のアスファルト舗装の段差から約10cmと推定される。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の沈下の状況(3/9)

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

1号炉SPT・T-11トレンチ【H23.3.12撮影】

- 1号炉SPTは杭基礎、T-2-1トレンチはMMRを介して岩着しているが、写真中央のT-11トレンチは岩着していない構造であるため、T-11トレンチのみ沈下し、1号炉SPT及びT-2-1トレンチとの接続部において段差が生じたと考えられる。



←1号炉SPTとT-11トレンチの接続部

地震後の状況【H29.5.24撮影】

- 沈下量は右側の写真のタンク基礎が露出した部分から約15cmと推定される。



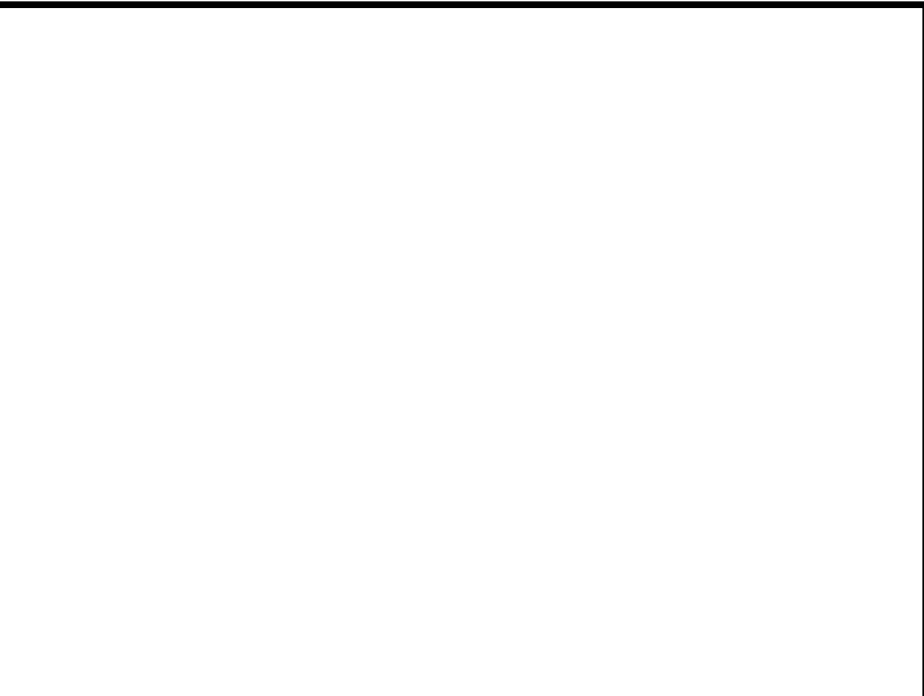
地震後の状況【H29.5.24撮影】

←巡視用ステップ

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の沈下の状況(4/9)

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

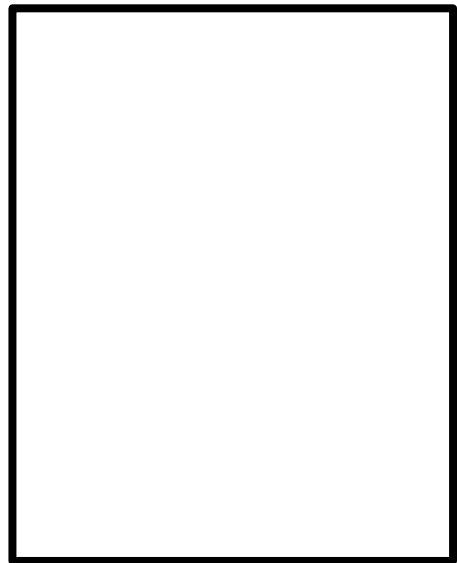


構内道路及び3号炉油水分離槽【H23.3.12撮影】

- 3号炉油水分離槽は、3T-9トレンチ(MMRを介して岩着)の近傍に位置している。そのため、3T-9トレンチに近い側と遠い側で沈下量が異なり、3号炉油水分離槽は写真のように傾いたと考えられる。
- 沈下量は写真の油水分離槽の奥の基礎から約35cmと推定される。



平面図



A-A断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について
地震後の沈下の状況(5/9)

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

構内道路【H23.3.12撮影】(2号炉海水ポンプ室付近から1号炉海水ポンプ室方向を撮影)

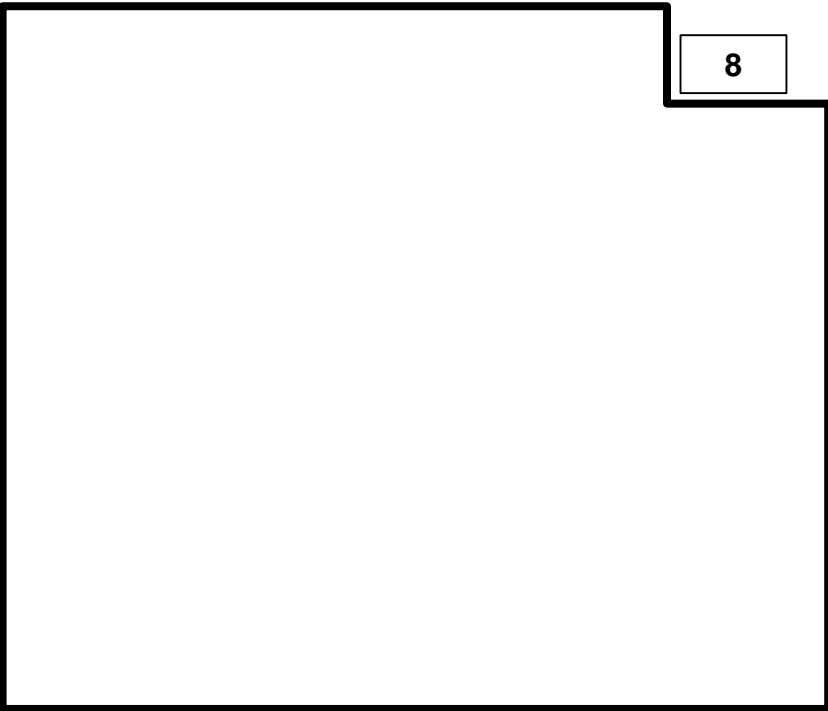
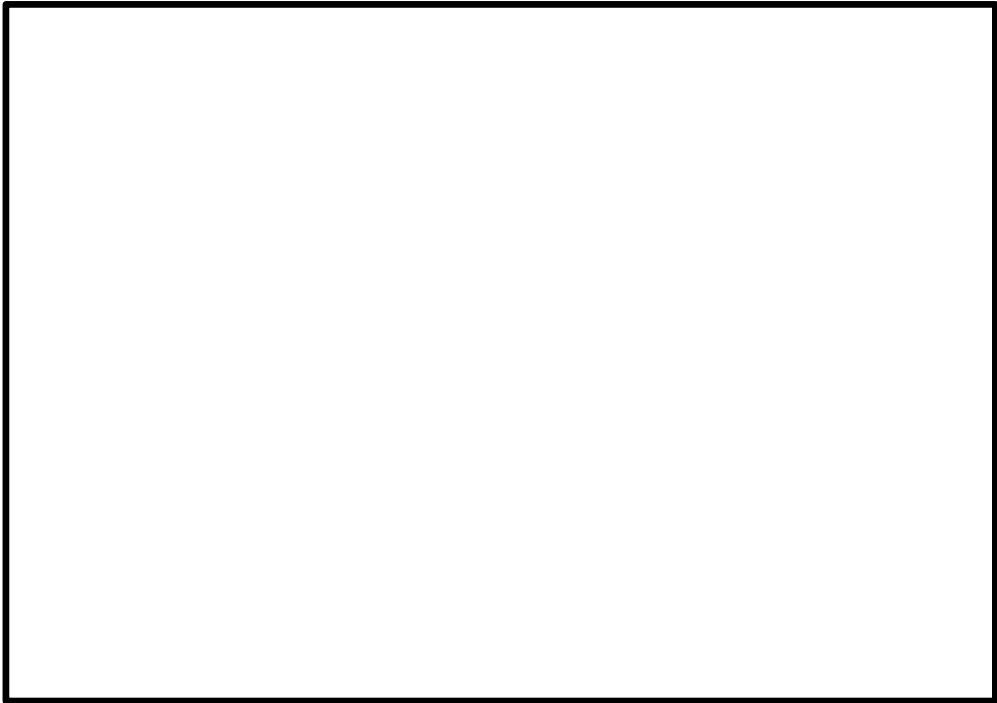
- 門型クレーン基礎の一部に杭フーチングが張り出している箇所があり、L型側溝に不陸が生じている。
- フーチングの張出し部の上部にある側溝は道路側に傾いていること、道路の白線にはほとんど不陸が生じていないことから、沈下量は約15cmと推定される。

地震前の状況【H21.2.3撮影】
(写真㊸と逆方向から撮影)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

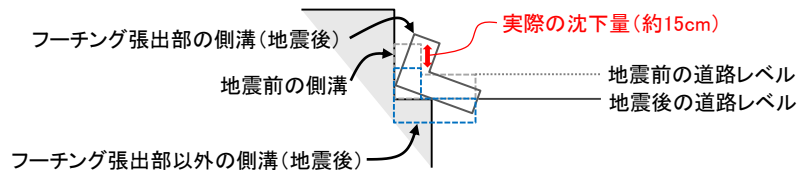
補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の沈下の状況(6/9)

- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。



構内道路【H23.3.12撮影】(2号炉海水ポンプ室付近から1号炉海水ポンプ室方向を撮影)

- 門型クレーン基礎の一部に杭フーチングが張り出している箇所があり、L型側溝に不陸が生じている。
- フーチングの張出し部の上部にある側溝は道路側に傾いていること、道路の白線にはほとんど不陸が生じていないことから、沈下量は約15cmと推定される。



枠囲みの内容は
防護上の観点から
公開できません。

地震後の沈下の状況(7/9)

- 写真㊸は、3月12日のAM7:19に撮影したもので、写真左側が東、写真右が西である。レール基礎の右側(西側)に影が出来ていることが確認できる。
- また、3月11日から12日にかけて、降雪があった。
- このことから、レール基礎の右側(道路脇)に白っぽく見えるものは、3月11日からの降雪がレール基礎の陰になって残ったものであり、噴砂ではない。

構内道路【H23.3.12撮影】(2号炉海水ポンプ室付近から1号炉海水ポンプ室方向を撮影) ※3月12日のAM7:19に撮影

構内道路【H23.3.12撮影】(2号炉海水ポンプ室付近から1号炉海水ポンプ室方向を撮影) ※3月12日のAM7:06に撮影

レール基礎の陰に雪が残っている状況が確認される。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

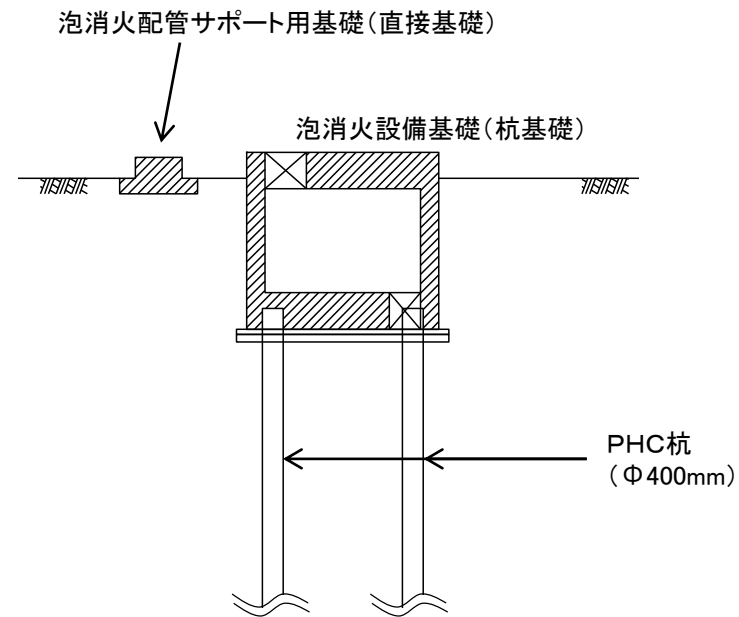
- 2011年東北地方太平洋沖地震における女川原子力発電所の沈下実績を示す。

3号炉泡消火設備基礎【H23.3.20撮影】

- 写真㊦: 3号炉泡消火設備基礎は杭基礎構造(MMRを介して岩着)であるため、周辺の埋戻し部のみが沈下している。
- 写真㊦では基礎に敷設されている配管が3号炉原子炉建屋側に向かって下がっている状況が確認される。これは、写真㊦'から、3号炉泡消火設備基礎から3号炉原子炉建屋に中間にサポート部材があり、その基礎(直接基礎: 非岩着)が沈下したことにより生じたものであり、3号炉泡消火設備基礎が浮き上がったものではない(断面図は次頁に示す)。

地震後の沈下の状況(9/9)

- 泡消火設備基礎(杭基礎)に敷設されている配管は、泡消火配管サポート用基礎(直接基礎)を介して3号炉原子炉建屋の外側に敷設されている。
- 泡消火設備基礎(杭基礎)と泡消火配管サポート用基礎(直接基礎)の断面図を下に示す。
- 3号炉泡消火設備周辺の沈下量は下の写真から約40cmと推定される。



A-A' 断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

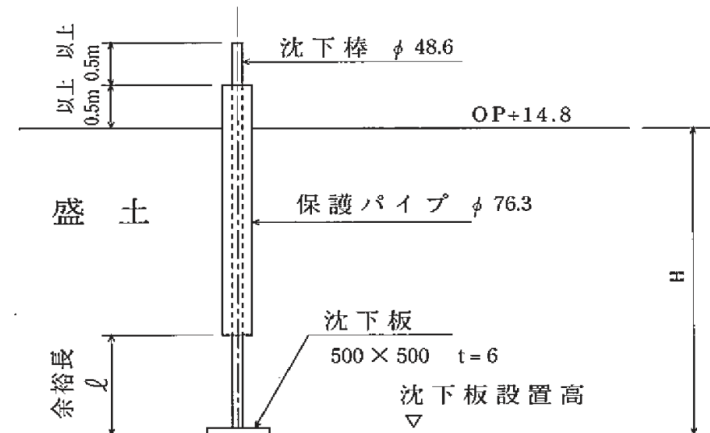
地震後の沈下実績 沈下量測定位置及び測定方法

- 埋戻し土(盛土)の圧密沈下量や地震時の沈下量の把握のために沈下棒を設置しており、左下図に示す位置で沈下測定を実施した。
- 沈下棒の構造は右下図のとおりであり、水準点No.1から3号炉放水立坑の測定点を測定し、その測定点を基準に各沈下棒の天端部の標高を測定(2級レベル)することにより、沈下板の下に存在する盛土や旧表土の沈下量を求めた。
- 沈下率は測定した沈下量を沈下板の下に存在する盛土及び旧表土の層厚で除すことにより算出した。

$$A(\%) = \frac{S(m)}{H(m)}$$

A: 沈下率
S: 沈下量
H: 盛土・旧表土の層厚

- 沈下量の測定は、2011年東北地方太平洋沖地震の前後の2月8日と3月27, 28日に実施しており、当該地震の影響による沈下量を把握できている。
- なお、同年4月7日に宮城県沖で地震(M7.4)が発生したが、この地震直後に行った設備点検で大きな変状は確認されなかったため、この地震による沈下量の測定は行っていない。

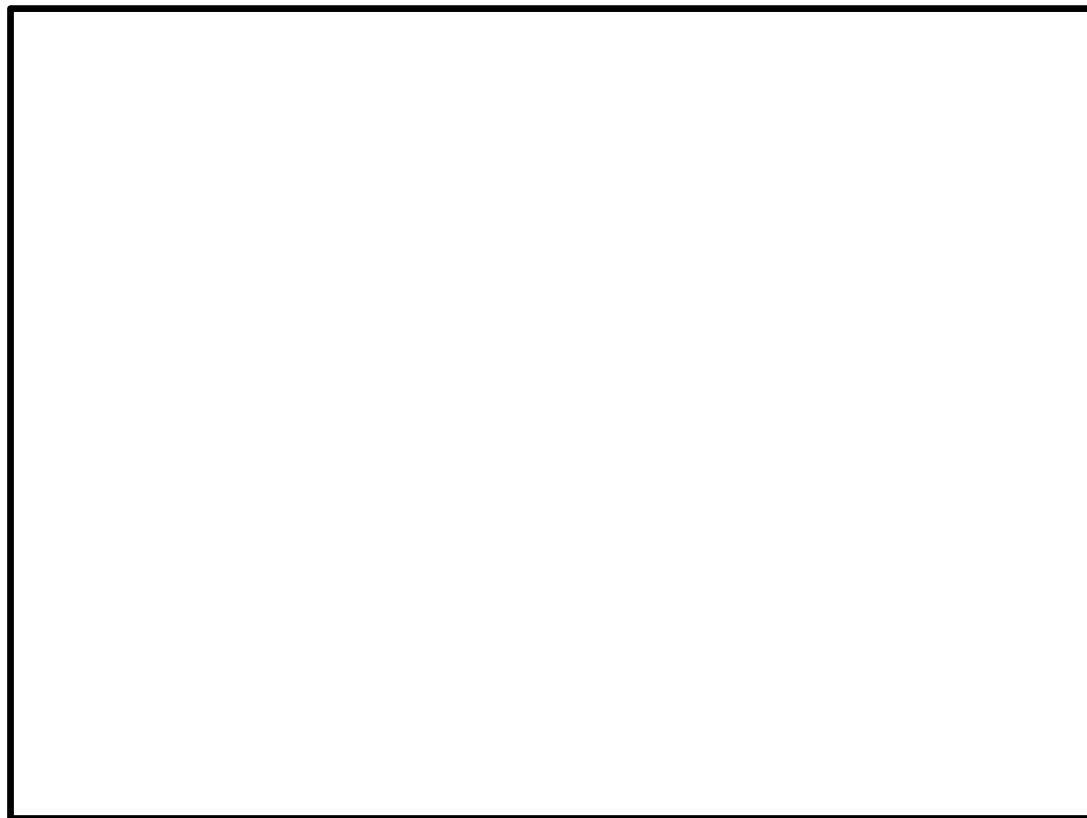


沈下測定箇所

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

地震後の沈下実績 沈下量及び沈下率

- 2011年東北地方太平洋沖地震における盛土及び旧表土の沈下実績値を示す。
- 測定箇所13地点の平均沈下率は0.87%であり、概ね1.0%前後の沈下率であった。



2011年東北地方太平洋沖地震（平成23年3月11日）
における沈下実績値

No.	沈下量	沈下率
1	15.0cm	0.93%
2	18.0cm	0.93%
3	4.3cm	0.18%
4	9.3cm	0.79%
5	11.5cm	1.00%
6	8.8cm	0.50%
7	30.1cm	1.18%
8	20.9cm	1.21%
9	15.7cm	0.76%
10	14.9cm	1.02%
11	10.8cm	0.84%
12	7.1cm	1.15%
13	19.8cm	0.82%

平均沈下率	0.87%
-------	-------

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の岩着構造物の沈下について(1号炉SPT)

2011年東北地方太平洋沖地震による岩着構造物(杭基礎を含む)の沈下影響を確認するため、1号炉SPT(サプレッションプール水貯蔵タンク:杭基礎)、2号炉海水ポンプ室(門型クレーン基礎含む)(岩着)及び3号炉泡消火設備基礎(杭基礎)について、同地震を挟み2007年から2018年までの変位量を整理した。

【1号炉SPT(サプレッションプール水貯蔵タンク)】

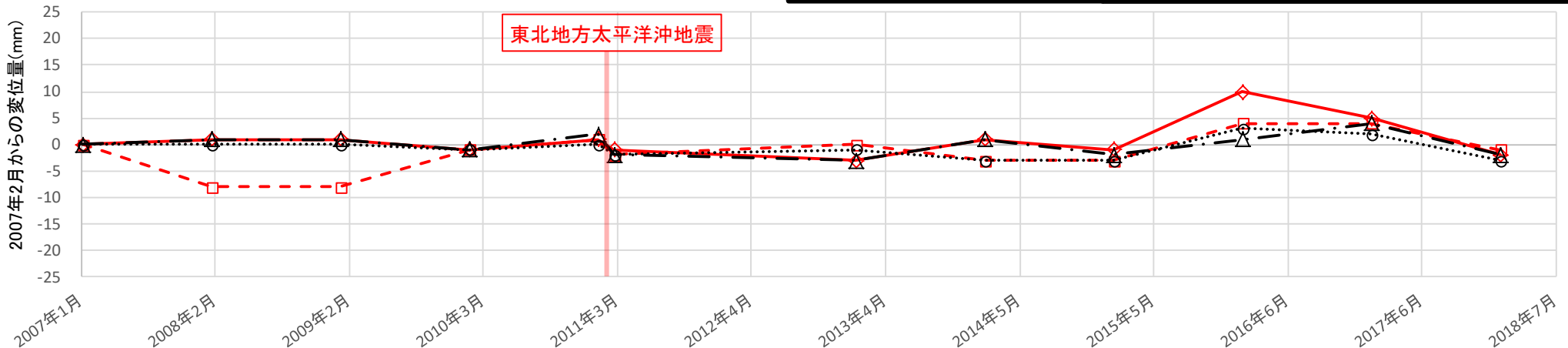
- 1号炉SPTは、2011年東北地方太平洋沖地震による沈下は生じておらず、2007年以降、±約1cm内で推移している。
- 1号炉SPTは、杭基礎構造であることから、沈下しなかったものと考えられる。

2007年2月からの変位量(mm)

#1SPT	2007年 2月	2008年 2月	2009年 2月	2010年 2月	2011年 2月	2011年 3月	2013年 2月	2014年 2月	2015年 2月	2016年 2月	2017年 2月	2018年 2月
①	0	-8	-8	-1	1	-2	0	-3	-3	4	4	-1
②	0	1	1	-1	1	-1	-3	1	-1	10	5	-2
③	0	1	1	-1	2	-2	-3	1	-2	1	4	-2
④	0	0	0	-1	0	-2	-1	-3	-3	3	2	-3

東北地方太平洋沖地震

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の岩着構造物の沈下について(2号炉海水ポンプ室)

2011年東北地方太平洋沖地震による岩着構造物(杭基礎を含む)の沈下影響を確認するため、1号炉SPT(杭基礎)、2号炉海水ポンプ室(門型クレーン基礎含む)(岩着)及び3号炉泡消火設備基礎(杭基礎)について、同地震を挟み2007年から2018年までの変位量を整理した。

【2号炉海水ポンプ室】

- 2号炉海水ポンプ室(門型クレーン基礎含む)は、2011年東北地方太平洋沖地震による沈下は生じておらず、2007年以降、±約1cm内で推移している。
- 2号炉海水ポンプ室(門型クレーン基礎含む)は、岩着構造であることから、沈下しなかったものと考えられる。

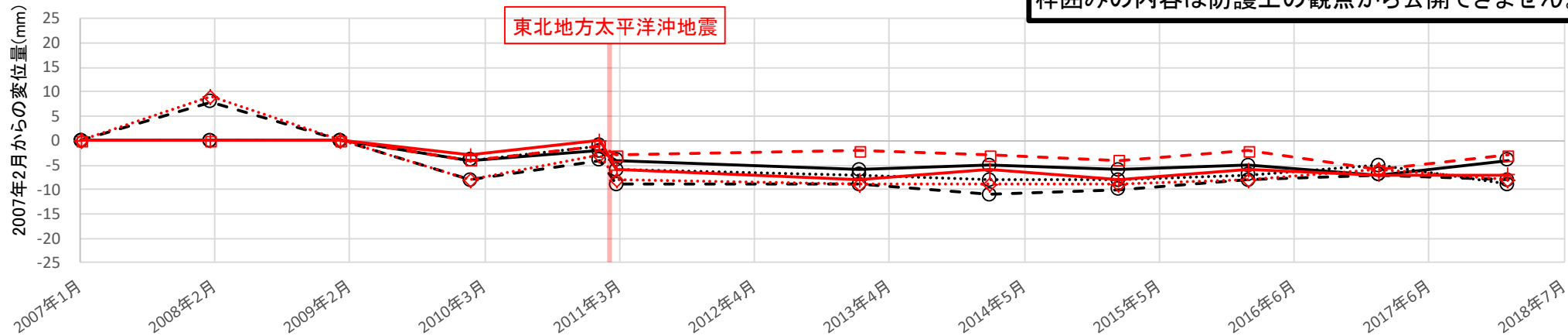
2007年2月からの変位量(mm)

#2海P室	2007年 2月	2008年 2月	2009年 2月	2010年 2月	2011年 2月	2011年 3月	2013年 2月	2014年 2月	2015年 2月	2016年 2月	2017年 2月	2018年 2月
①	0	8	0	-8	-4	-9	-9	-11	-10	-8	-7	-8
②	0	0	0	-4	-1	-6	-7	-8	-8	-7	-5	-9
③	0	0	0	-4	-2	-4	-6	-5	-6	-5	-7	-4
④	0	9	0	-8	-3	-8	-9	-9	-9	-8	-6	-8
⑤	0	0	0	-3	0	-6	-8	-6	-8	-6	-7	-7
⑥	0	0	0	-4	-1	-3	-2	-3	-4	-2	-6	-3

東北地方太平洋沖地震

—○— #2海P室-① …○… #2海P室-② —○— #2海P室-③ …◇… #2海P室-④ —+— #2海P室-⑤ -■- #2海P室-⑥

東北地方太平洋沖地震



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

補足説明資料8. 2011年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について 地震後の岩着構造物の沈下について(3号炉泡消火設備基礎)

2011年東北地方太平洋沖地震による岩着構造物(杭基礎を含む)の沈下影響を確認するため、1号炉SPT(杭基礎)、2号炉海水ポンプ室(門型クレーン基礎含む)(岩着)及び3号炉泡消火設備基礎(杭基礎)について、同地震を挟み2007年から2018年までの変位量を整理した。

【3号炉泡消火設備基礎】

- 3号炉泡消火設備基礎は、2011年東北地方太平洋沖地震による沈下は生じておらず、2007年以降ほとんど変位していない。
- 3号炉泡消火設備基礎は、杭基礎構造であることから、沈下しなかったものと考えられる。

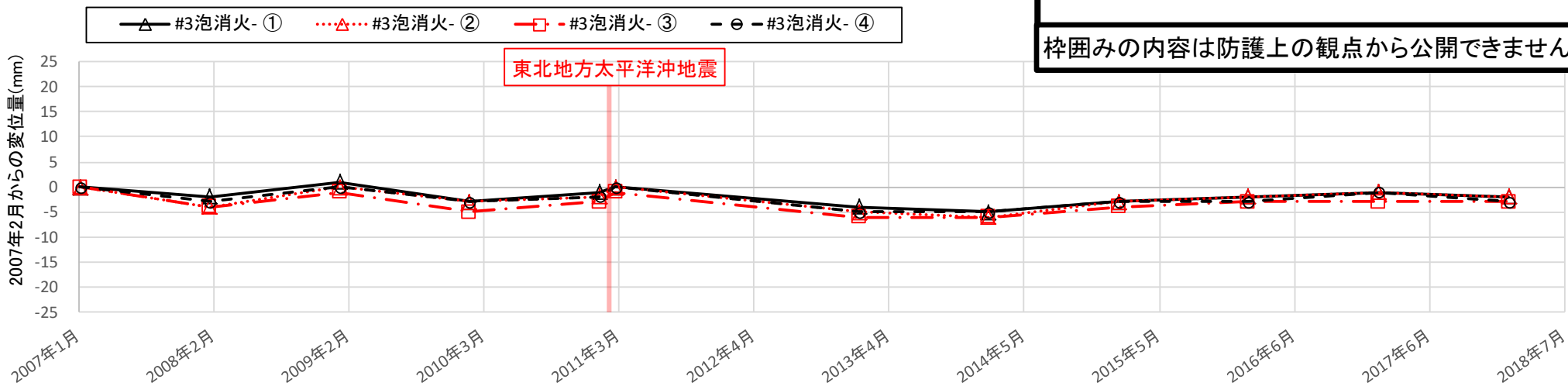
【岩着構造物の沈下のまとめ】

岩着構造物(杭基礎を含む)については、2011年東北地方太平洋沖地震において沈下していない。

2007年2月からの変位量(mm)

#3泡消火	2007年 2月	2008年 2月	2009年 2月	2010年 2月	2011年 2月	2011年 3月	2013年 2月	2014年 2月	2015年 2月	2016年 2月	2017年 2月	2018年 2月
①	0	-2	1	-3	-1	0	-4	-5	-3	-2	-1	-2
②	0	-4	0	-3	-2	0	-5	-6	-3	-2	-1	-2
③	0	-4	-1	-5	-3	-1	-6	-6	-4	-3	-3	-3
④	0	-3	0	-3	-2	0	-5	-5	-3	-3	-1	-3

東北地方太平洋沖地震

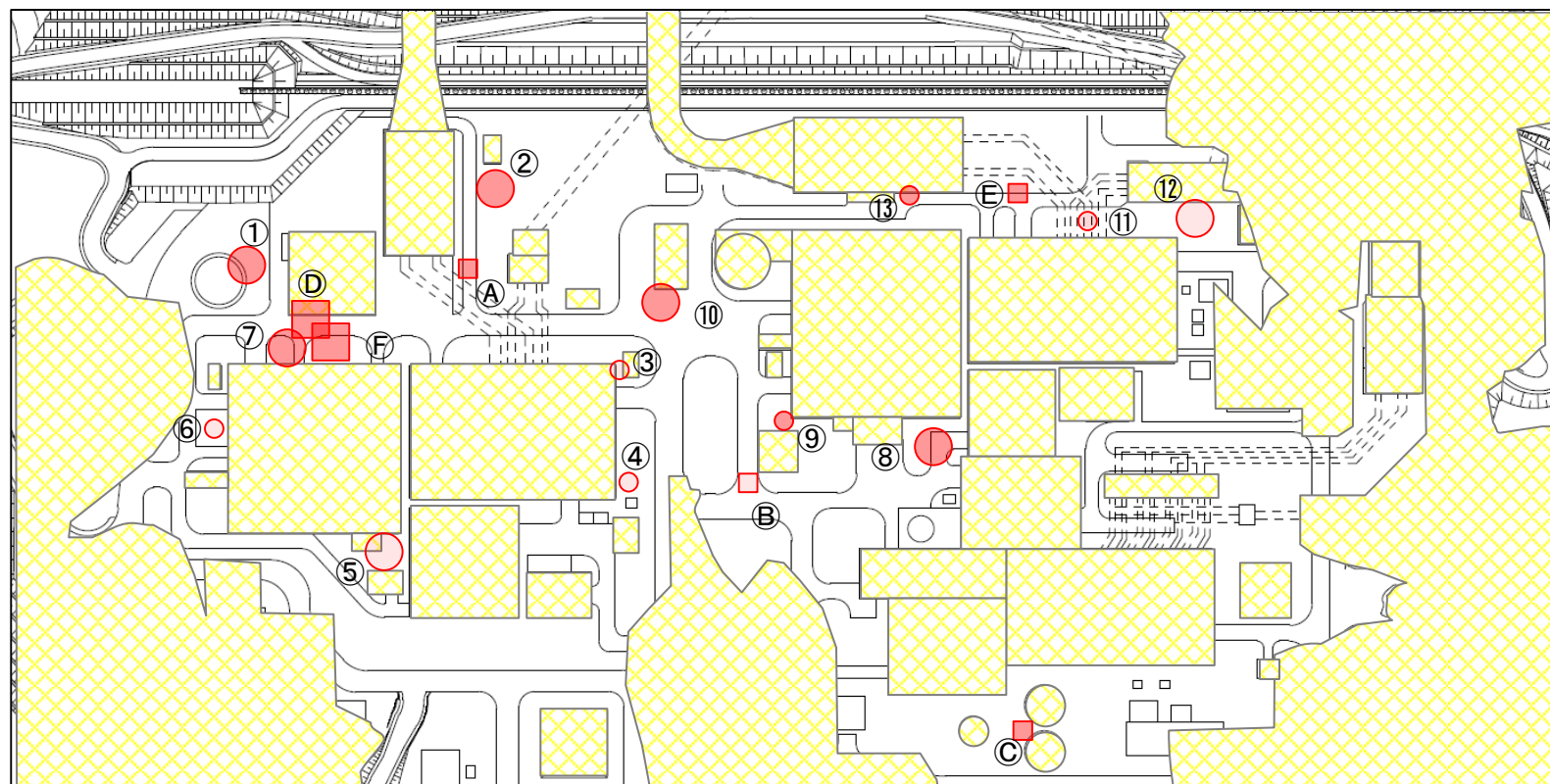


枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

3.11地震による地盤変位について

- 沈下棒及び写真による沈下量から、敷地内のどのエリアで沈下量が大きくなっているか検討し、以下を確認した。
 - ✓ 施設と施設に挟まれたエリア(例えば、測定箇所⑦, ⑧, ⑬等)で比較的沈下量が大きくなっていることを確認した。
 - ✓ 特に、⑦の付近で最も大きくなっていることを確認した。
 - ✓ また、構内道路は比較的一様に沈下しており、その量もそれほど大きくないが、建屋(施設)の近傍は局所的に沈下量が大きくなっていることを確認した。

測定箇所	沈下量 (cm)	沈下率 (%)
①	15.0	0.93
②	18.0	0.93
③	4.3	0.18
④	9.3	0.79
⑤	11.5	1.00
⑥	8.8	0.50
⑦	30.1	1.18
⑧	20.9	1.21
⑨	15.7	0.76
⑩	14.9	1.02
⑪	10.8	0.84
⑫	7.1	1.15
⑬	19.8	0.82
平均(①~⑬)	14.4	0.87
Ⓐ ^{※1}	約15	約0.60
Ⓑ ^{※1}	約10	約0.78
Ⓒ ^{※1}	約15	約0.84
Ⓓ ^{※1}	約35	約1.21
Ⓔ ^{※1}	約15	約0.75
Ⓕ ^{※1}	約40	約1.28



凡例

● : 沈下棒の設置位置

■ : 写真より推定した沈下位置

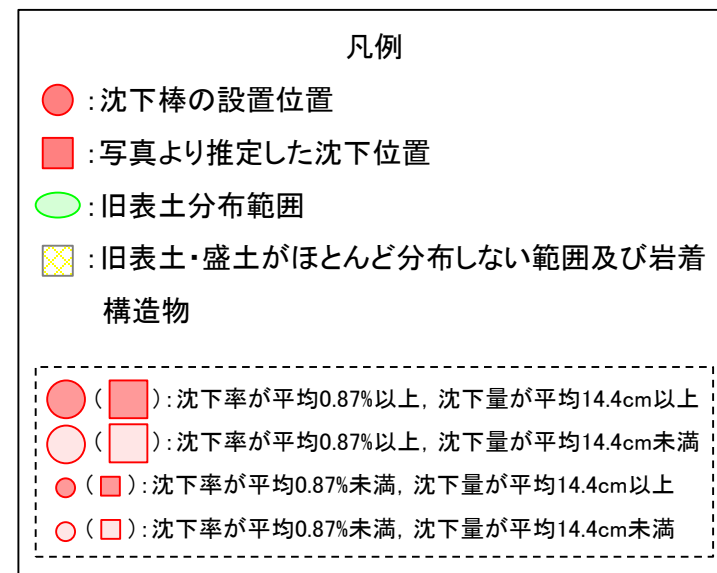
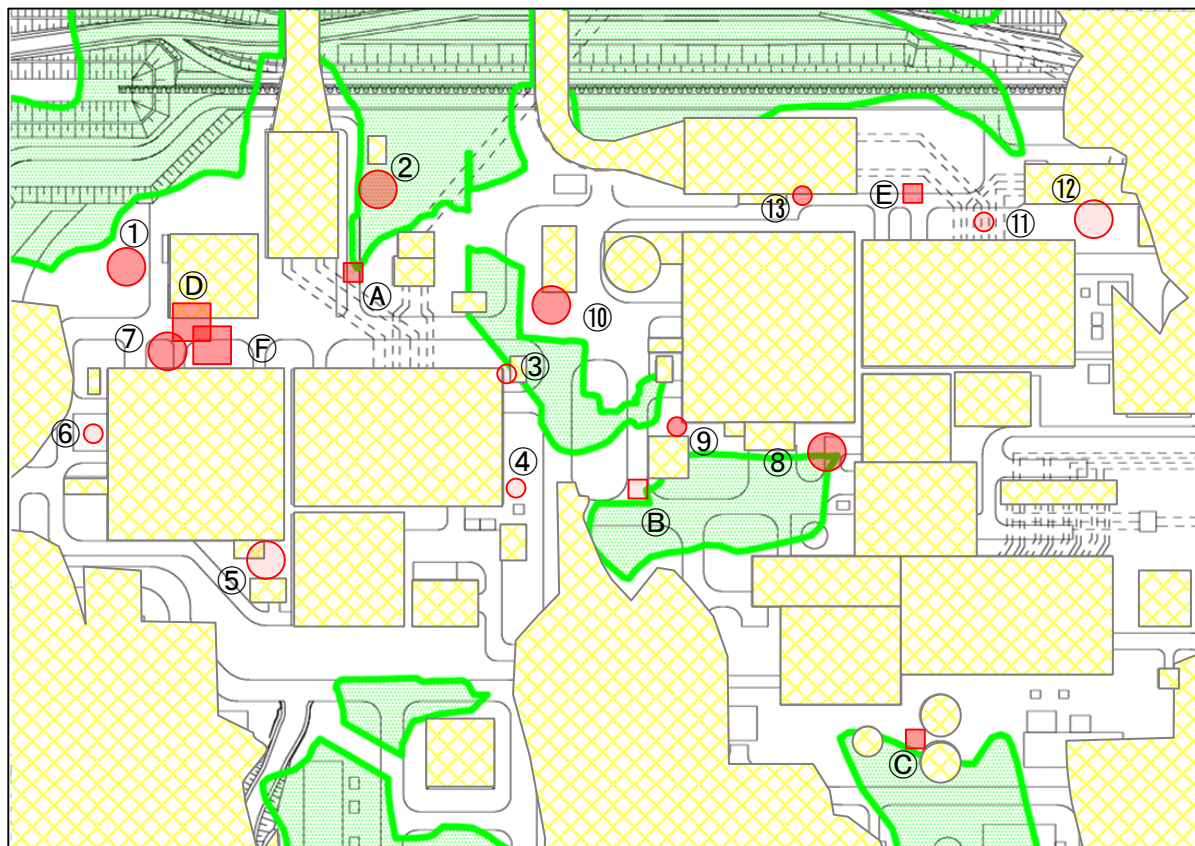
■ (斜線) : 旧表土・盛土がほとんど分布しない範囲及び岩着構造物

- (■) : 沈下率が平均0.87%以上, 沈下量が平均14.4cm以上
- (□) : 沈下率が平均0.87%以上, 沈下量が平均14.4cm未満
- (■) : 沈下率が平均0.87%未満, 沈下量が平均14.4cm以上
- (□) : 沈下率が平均0.87%未満, 沈下量が平均14.4cm未満

※1 沈下量及び沈下率については、写真からの推定値

3.11地震による地盤変位について

- 敷地内において残存している旧表土の分布と沈下実績を重ね合わせて検討を行ったが、旧表土の分布と沈下量(沈下率)には相関がほとんどないと考えられる。



3.11地震による地盤変位について

- これまで示した沈下棒及び写真による沈下実績に加え、3.11地震後においても大きな変状が生じていないことを確認しているエリア(下の写真参照)も含めて敷地内の沈下量及び沈下率の大まかな分布を作成した(次々頁)。
- 写真⑨及び⑩は1号炉と3号炉のエリアであり、構内道路及び緑地帯タービン建屋付近には大きな変状が確認されず、沈下量は10cm未満と推定した。(写真⑨の建屋近傍に沈下測定箇所④(沈下量9.3cm)がある)

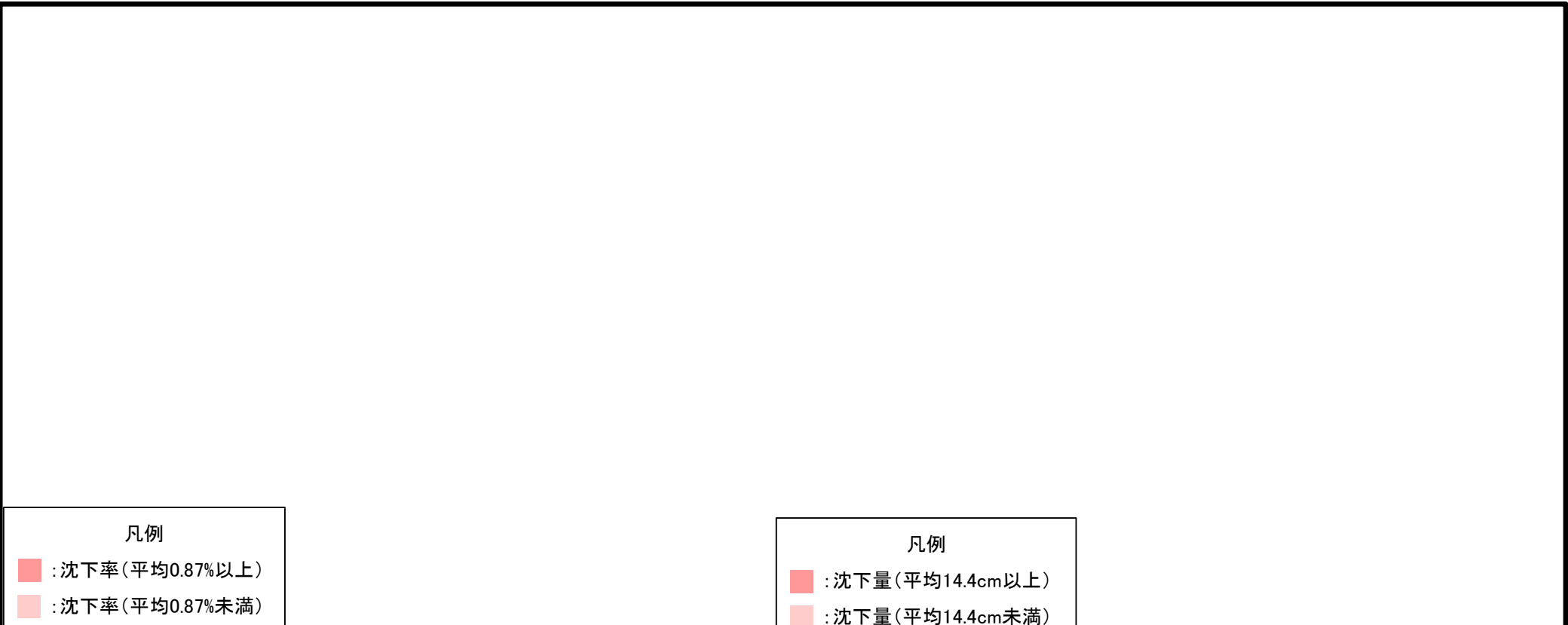
3.11地震による地盤変位について

- 写真⑥”で確認できる3号炉海側の構内道路に傾斜が確認されるもののその変状(傾斜)は小さく、沈下量は消火栓の基礎から15～20cm程度と推定できる。
- 3号炉海側の構内道路は、3号炉海水ポンプ室から3号炉タービン建屋に繋がる循環水管(岩着)が横断方向に埋設されていることから、周辺の盛土との境界で傾斜が生じたと考えられる。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

3.11地震による地盤変位について

- 敷地全体では、3号炉原子炉建屋と海水熱交換器建屋の間で沈下が大きく沈下棒と地震直後の写真から捉えている。また、建屋近傍での局所的に沈下が大きくなっている箇所も、沈下棒からの測定よりその状況を正確に捉えている。
- 以上の調査結果及び考察については、保管場所・アクセスルート等の沈下に関する評価の検証等に考慮していく。



凡例

- : 沈下率(平均0.87%以上)
- : 沈下率(平均0.87%未満)
- : 旧表土・盛土がほとんど分布しない範囲及び岩着構造物

敷地内の沈下分布図(沈下率で整理)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

凡例

- : 沈下量(平均14.4cm以上)
- : 沈下量(平均14.4cm未満)
- : 旧表土・盛土がほとんど分布しない範囲及び岩着構造物

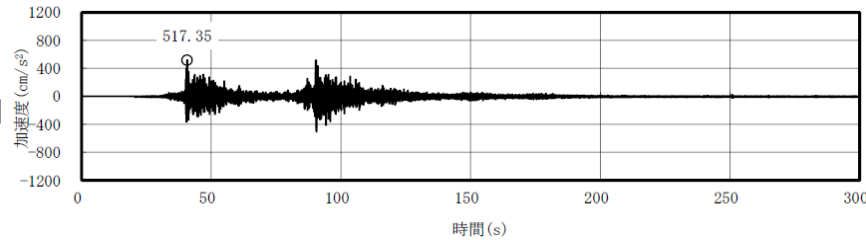
敷地内の沈下分布図(沈下量で整理)

※白抜き箇所は沈下量を測定していないため、沈下量の推定が困難なエリア

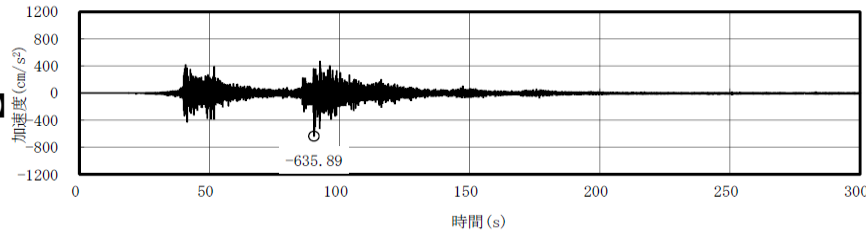
沈下の要因について

- 前頁までに示した沈下の要因としては、建屋近傍での状況及び計測であることから、建屋近傍のくさび崩壊※1に伴う沈下の成分を含む可能性があり、その他の要因として、不飽和地盤の繰り返しせん断に伴う沈下(揺すり込み沈下)及び飽和地盤の過剰間隙水圧の消散に伴う沈下が考えられる。
- 沈下量測定箇所における2011年東北地方太平洋沖地震による液状化の有無について、一次元地震応答解析により、液状化に対する抵抗率(F_L)を確認することで判断し、過剰間隙水圧の消散に伴う体積変化(再圧密)の影響の有無を確認することにより、沈下の要因について考察する。
- 沈下測定箇所の液状化判定の対象とする地震動は、女川原子力発電所で観測された敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の地震波から表層の影響を除去したはざとり波とする。地震動の時刻歴波形及び応答スペクトルを以下に示す。
- 2011年東北地方太平洋沖地震において女川原子力発電所で観測された地震動は、水平動(NS方向), 水平動(EW方向), 鉛直動(UD方向)それぞれ517.35gal, 635.89gal, 312.21galである。

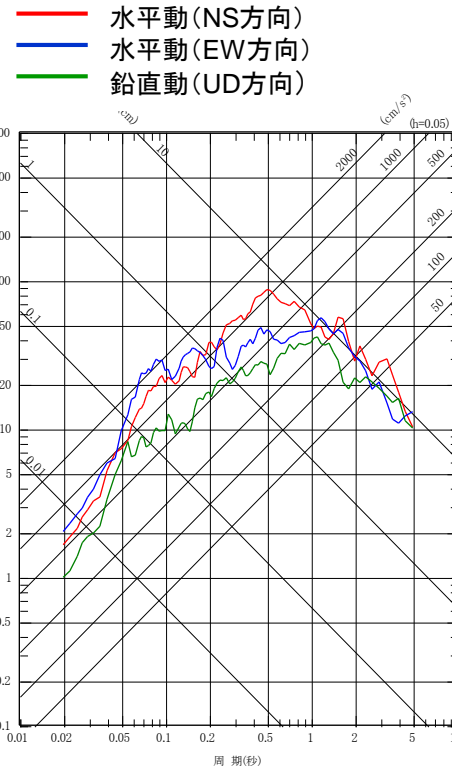
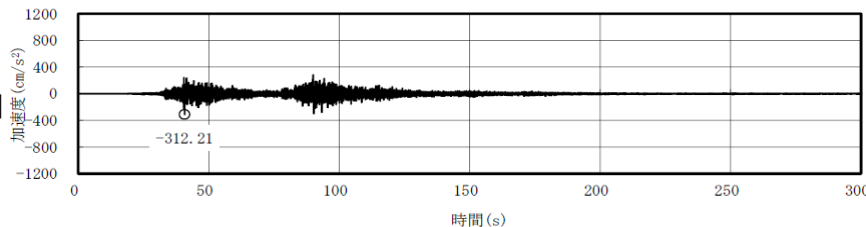
【水平動】
【NS方向】



【水平動】
【EW方向】

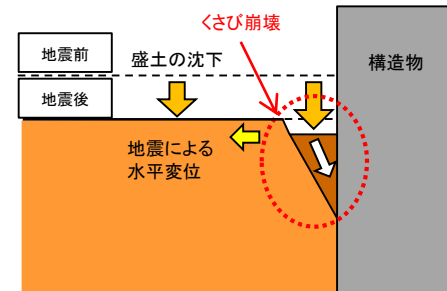


【鉛直動】
【UD方向】



応答スペクトル図

※1 くさび崩壊とは
構造物と周囲地盤の相対変位に起因する主働状態で生じるすべり破壊。



沈下測定箇所の液状化発生有無の確認

- 沈下量測定箇所における2011年東北地方太平洋沖地震による液状化の有無については、沈下量測定箇所のうち比較的地下水位の高い地点(No. 10)を選定し、一次元地震応答解析により、液状化に対する抵抗率(F_L)を確認することで液状化判定を行った。
- その結果、地下水位以深の飽和地盤の液状化に対する抵抗率(F_L)は1.0を上回っており、液状化はしていなかったと考えられる。
- このことから、今回測定した箇所での沈下については不飽和地盤の揺すり込み沈下であると判断される。

高さ O.P.(m)	層名称	F_L
14.800	盛土	-
13.450		-
12.464		-
11.478		-
10.492		-
9.506		-
8.520		-
7.534		-
6.548		-
5.562		-
4.576		-
3.590		-
2.604		-
1.618		-
0.632		1.94
-0.285		2.01
-1.202		2.08
-2.119	2.15	
-3.953	2.31	
-4.870	2.39	
-5.788	2.47	

地下水位→

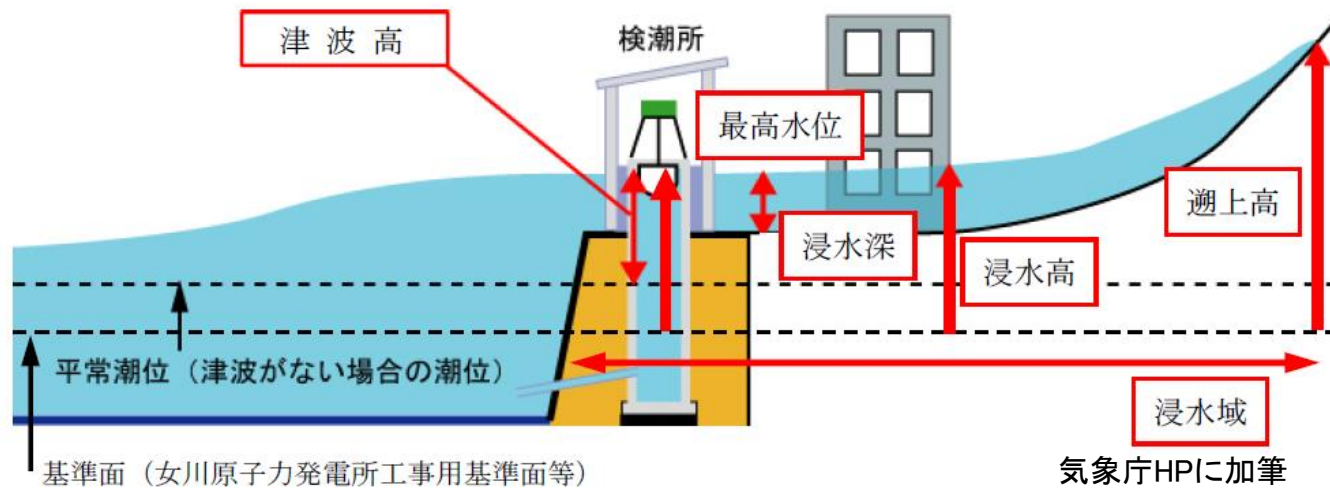


枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

※ 液状化強度比 R_L 20は敷地全体の盛土の液状化強度特性を用いた平均0.673である。

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の調査概要について

- ・ 痕跡調査を実施(平成23年3月17日～18日, 3月26日)し, 発電所敷地における浸水高, 遡上高を調査した。また, 海水により運搬されたと考えられる痕跡物の到達点の追跡により津波に伴う海水の浸入の痕跡を調査した。用語の定義を以下に示す(参考図参照)。
- ・ 最高水位: 潮位計で観測された津波の高さの最高値
- ・ 津波高: 津波によって海面が上昇した高さ
- ・ 浸水高: 建屋や設備に残された津波の痕跡の高さ
- ・ 遡上高: 海岸から内陸に津波が及んだ高さ
- ・ 浸水域: 津波によって浸水した範囲
- ※ 痕跡高: 浸水高、遡上高を総称



参考図:用語の定義

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の調査結果について(1/2)

- 発電所敷地における浸水高、遡上高及び浸水域の調査結果を下図に示す。なお、ここでは地震による地盤沈下量の約1mを考慮している。調査結果は以下のとおりである。

【浸水高、浸水深】

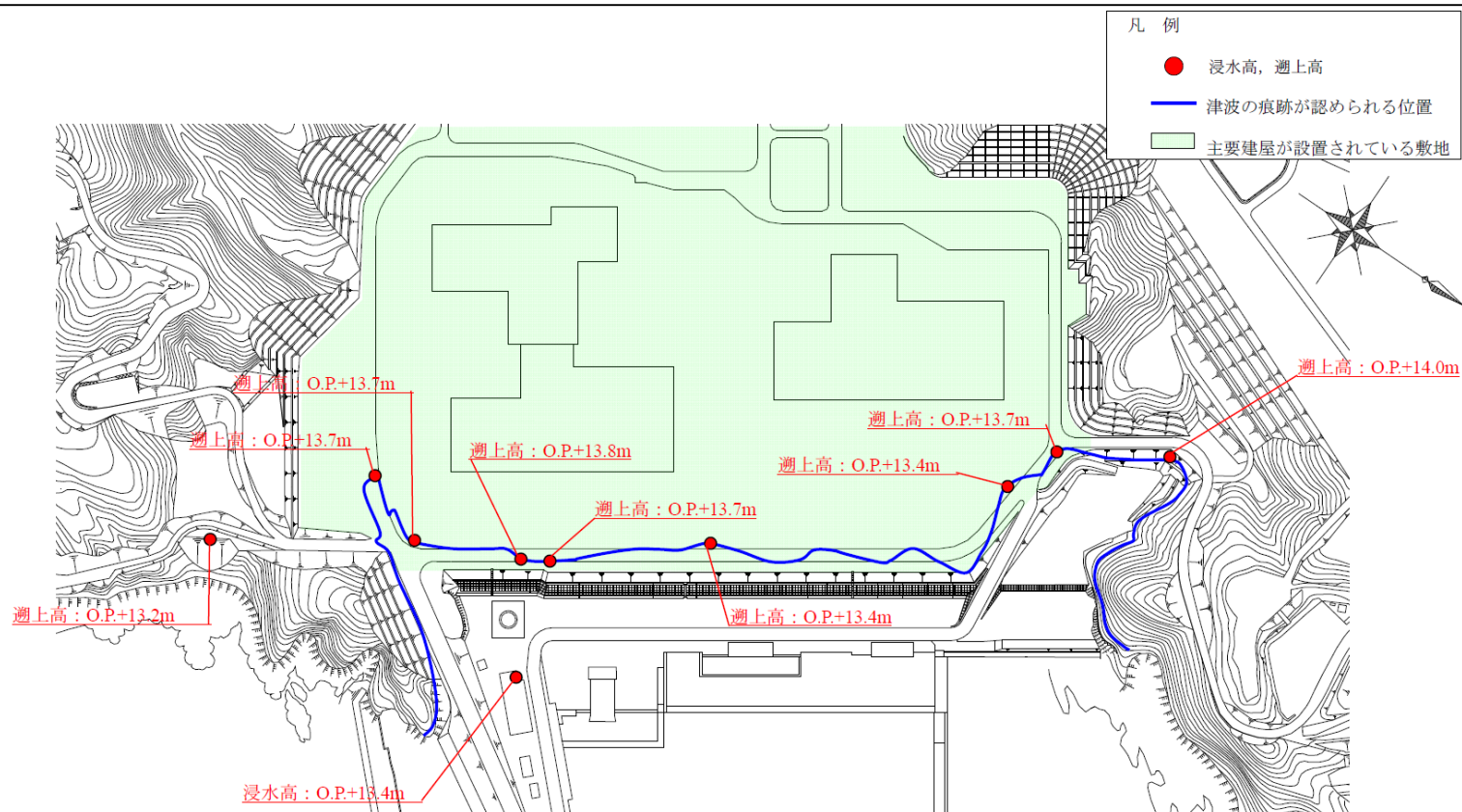
最大浸水高は、主要な建屋が設置されている敷地前面において、屋外電動機等点検建屋に残された痕跡痕からO.P.約+13.4m(浸水深約10.9m)である。

【遡上高】

最大遡上高は、主要な建屋が設置されている敷地北側の法面においてO.P.約+14.0mである。また、主要な建屋が設置されている敷地前面における最大遡上高は、O.P.約+13.8mである。

【浸水域】

海水により運搬されたと考えられる痕跡物の到達点の追跡調査により、津波に伴い海水が主要な建屋が設置されている敷地に侵入した範囲は、敷地(O.P.+13.8m)の法肩から平均約20mであり、主要な建屋には及んでいないことを確認した。



2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の調査結果について(2/2)

- 発電所敷地の海側(法肩付近)において、津波による塵芥が残留した状況を確認している。

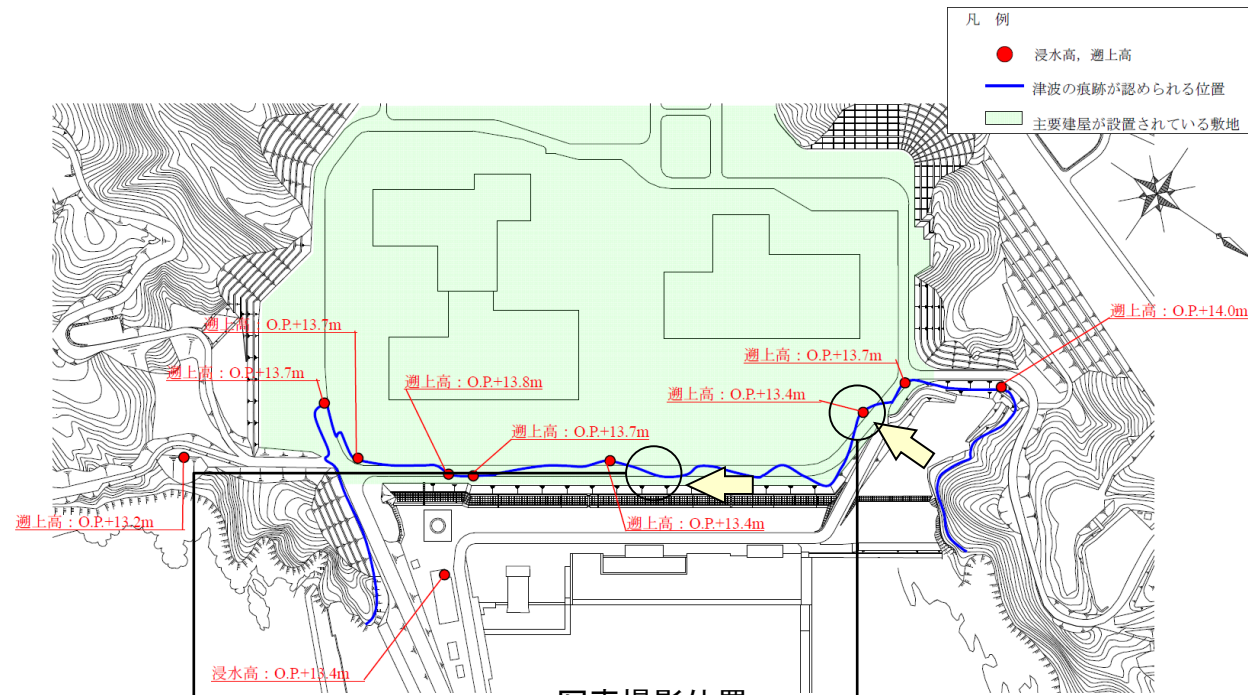


写真2 構内道路上に残留した塵芥



写真1 敷砂利上に残留した塵芥

2011年東北地方太平洋沖地震によるO.P.+3.5m盤の液状化発生有無の確認(1/2)

- 2号炉取水口と隣接する敷地護岸(矢板式護岸)は、O.P.+3.5m盤に位置し、2011年東北地方太平洋沖地震の後に発生した津波により浸水を受けた場所(女川原子力発電所で観測された津波高さはO.P.約+13m)であることから、液状化の痕跡である噴砂等は確認できない。
- このため、敷地護岸(矢板式護岸)付近における2011年東北地方太平洋沖地震による液状化の有無については、一次元地震応力解析により、液状化に対する抵抗率(F_L)及び土質定数の低減係数(D_E)を確認することにより判断した。
- なお、液状化に対する抵抗率(F_L)の判定は、動的せん断強度比(R)と一次元全応力解析から得られる地震時せん断応力(L)の比により算出し、一次元全応力解析の実施及び液状化に対する抵抗率(F_L)と土質定数の低減係数(D_E)の関係(道路橋示方書より抜粋)を右下に示す。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2号炉取水口付近【H23.3.15撮影】

➤ 写真㊦: 2号炉取水口付近は、津波により浸水したため、地震による影響(液状化、噴砂等)の有無を確認することはできない。なお、道路に生じている段差は岩着している取水口と埋戻し土の境界であり、道路上に確認される砂については、津波によって巻き上げられた海砂が堆積したものと考えられる。

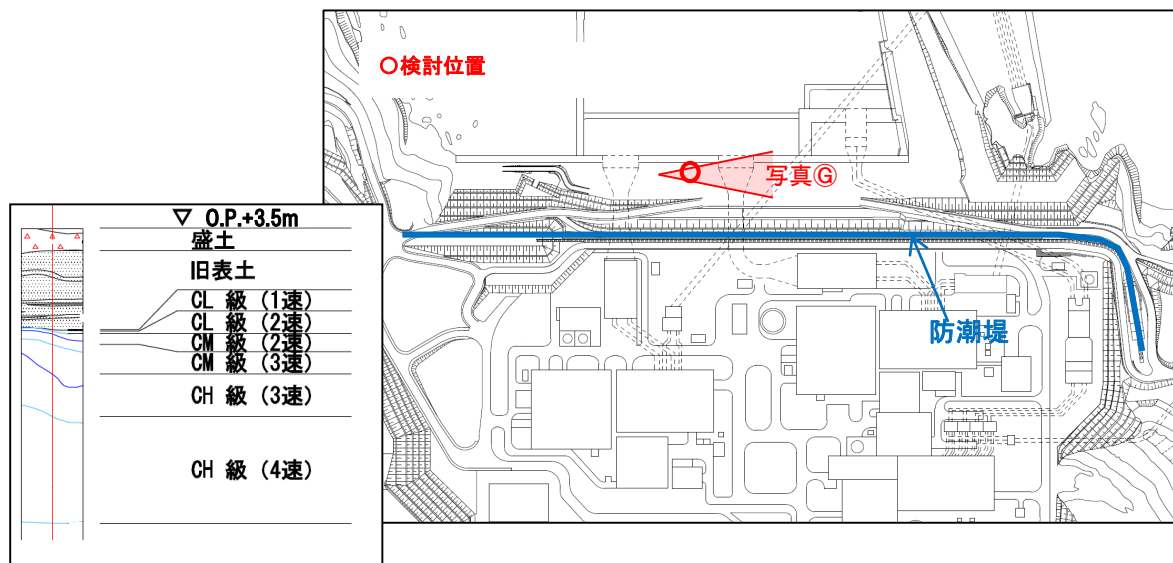


表-8.2.1 土質定数の低減係数 D_E

F_L の範囲	現地盤面からの深度 x (m)	動的せん断強度比 R			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		レベル1地震動に対する照査	レベル2地震動に対する照査	レベル1地震動に対する照査	レベル2地震動に対する照査
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 < x \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 < x \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 < x \leq 20$	1	1	1	1

道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)((社)日本道路協会, 平成14年3月 p125より抜粋)

2011年東北地方太平洋沖地震によるO.P.+3.5m盤の液状化発生有無の確認(2/2)

- 敷地護岸(矢板式護岸)付近での液状化に対する抵抗率(F_L)を確認することで液状化判定を行った。
- その結果, 地下水位以深の飽和地盤の液状化に対する抵抗率(F_L)は1.0を下回っており, 土質定数の低減係数(D_E)も1を下回る範囲が多いことから, O.P.+3.5m盤は有効応力の減少により地盤の剛性低下が生じていた可能性が高いと考えられる。

高さ O.P.(m)	層名称	F_L	D_E
3.500	盛土	-	-
2.500		-	-
1.500		-	-
0.400		1.01	-
-0.320	旧表土	0.94	1
-1.040		0.50	2/3
-2.040		0.49	2/3
-3.040		0.49	2/3
-3.978		0.50	2/3
-4.978		0.52	2/3
-5.978		0.54	2/3
-6.978		0.56	2/3
-7.978		0.59	2/3
-8.978		0.62	2/3
-9.978		0.66	2/3
-10.978		0.69	1
-11.978	0.73	1	
-12.978	0.77	1	
-13.978	0.82	1	
-14.978	0.86	1	
-15.978	0.90	1	

地下水位→

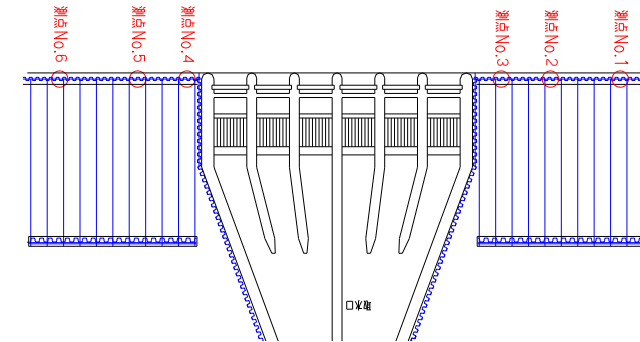
※ 液状化強度比 R_{L20} は敷地全体の液状化強度特性を用いた平均であり, 以下のとおりである。
盛土:0.673 旧表土:0.374

 F_L 判定結果及び D_E の関係

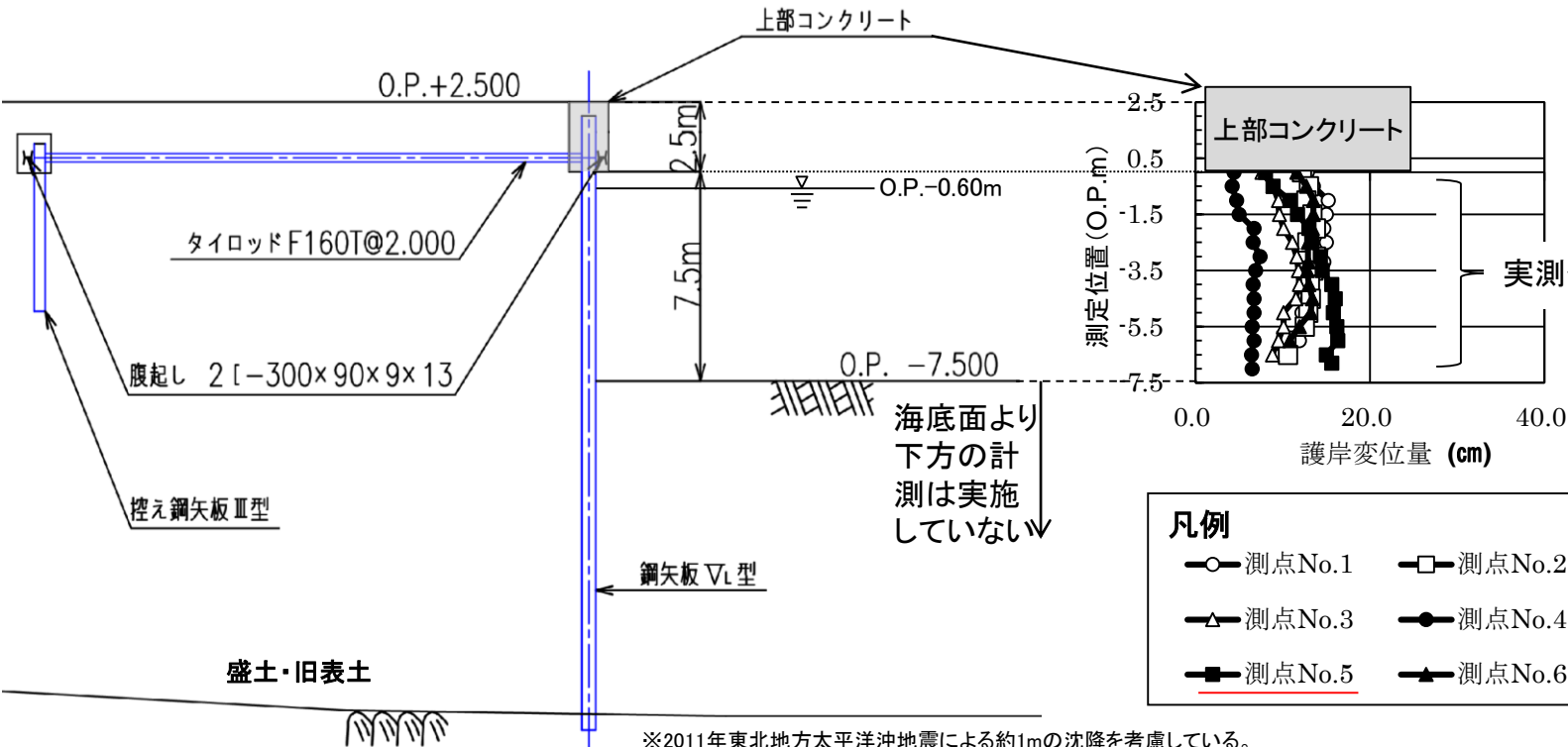
二次元有効応力解析の妥当性検証(工事計画認可段階での対応)

敷地護岸(矢板式護岸)の水平変位

- 2011年東北地方太平洋沖地震後に敷地護岸(矢板式護岸)の水平変位を計測した結果, 10cm~16cm(測点No.5 最大16.3cm)の変位を確認した。
- この計測した水平変位は少なくとも2011年東北地方太平洋沖地震による影響を含んでいるものと考えられることから, 二次元有効応力解析(FLIP)による再現解析を実施し, 二次元有効応力解析の妥当性について検証する。



敷地護岸平面図



凡例

○	測点No.1	□	測点No.2
△	測点No.3	●	測点No.4
■	測点No.5	▲	測点No.6

※2011年東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮している。

敷地護岸(矢板式護岸)断面図

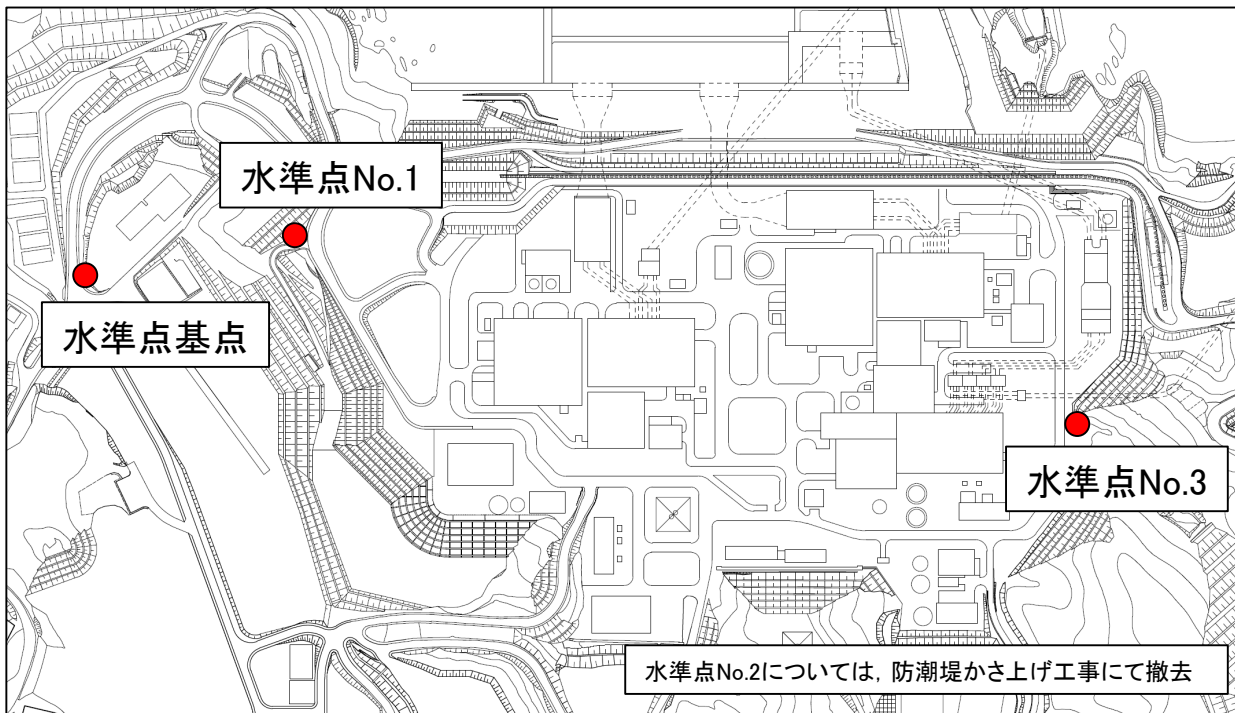
(参考)3.11地震による地盤変位について

【東北地方太平洋沖地震前後の地盤変位量】

- 平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震前後における地盤変動を把握するため、構内の水準点(3点)を対象に水準測量を実施した。測量を実施した基準点の位置を右図に、測量結果による構内水準点標高の経年変化を下表に示す。
- 敷地内の地盤変位量は、3水準点においてほぼ同値であり、不等沈下の影響はなく、一様に変位していることを確認した。
- 地震後の測量では約1m沈降していたが、至近の測量(平成29年4月)では、前回(平成23年11月)に比べ約30cm隆起していることを確認した。なお、同年4月7日に宮城県沖で地震(M7.4)が発生したが、前回(平成23年11月)の測量結果はこの地震の影響も含まれていると考えられる。

【津波防護設計における地殻変動量の考慮】

- 津波防護設計においては、約1mの沈降が発生していることを考慮した設計とし、敷地高さや施設高さ等に沈降量を考慮することとする。



水準測量実施位置図

表 構内水準点標高の経年変化

測点	地震前(A) 平成23年2月	地震後(B) 平成23年11月	地震後(C) 平成29年4月	地盤変位量 (B-A)	地盤変位量 (C-B)
水準点 基点	O.P.58.226m (T.P.57.486m)	O.P.57.264m (T.P.56.524m)	O.P.57.572m (T.P.56.832m)	-0.962m	0.308m
水準点 No.1	O.P.27.223m (T.P.26.483m)	O.P.26.252m (T.P.25.512m)	O.P.26.559m (T.P.25.819m)	-0.971m	0.307m
水準点 No.3	O.P.16.088m (T.P.15.348m)	O.P.15.115m (T.P.14.375m)	O.P.15.424m (T.P.14.684m)	-0.973m	0.309m