

福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における平成 23 年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告（その 2）【概要版】

当社は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所に到達した津波について、図 1 に示す検討の流れに基づき、敷地内外における津波調査、津波の特徴、発電所への浸水による影響の分析等を実施しました。

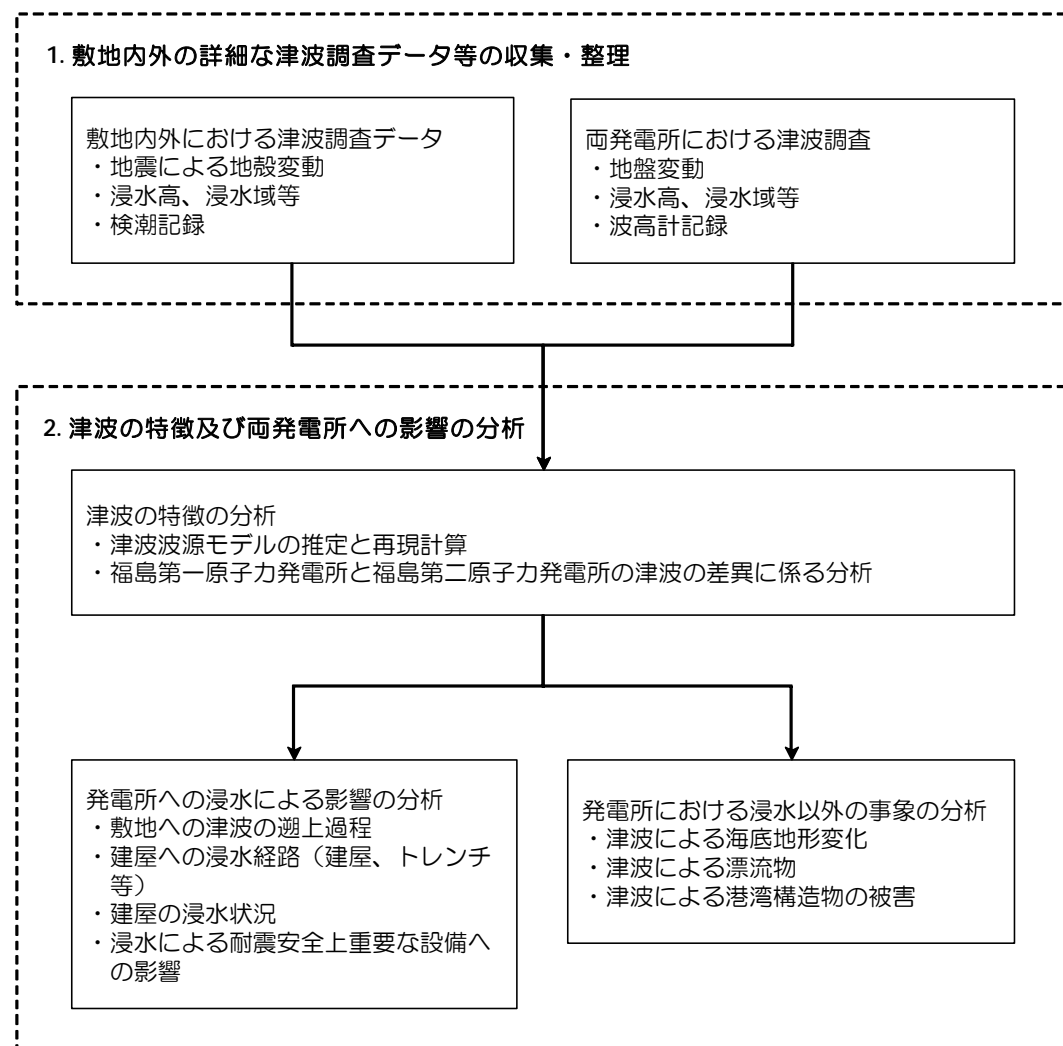


図 1 主な検討内容と検討の流れ

(1) 福島第一原子力発電所

浸水高 ◇主要建屋設置エリア（1～4号機側、敷地高 0.P. +10m）

・0.P. 約+11.5～約+15.5m^{*}（浸水深 約 1.5～約 5.5m）

※：当該エリア南西部では局所的に 0.P. 約+16～約+17m（浸水深 約 6～約 7m）

◇主要建屋設置エリア（5・6号機側、敷地高 0.P. +13m）

・0.P. 約+13～約+14.5m（浸水深 約 1.5m 以下）

浸水域 ◇海側エリア及び主要建屋設置エリアほぼ全域

(2) 福島第二原子力発電所

浸水高 ◇海側エリア（敷地高 0.P. +4m）

・0.P. 約+7m^{*}（浸水深 約 3m）※：1号機熱交換機建屋南側南側面等で局所的な高まりがある。

◇主要建屋設置エリア（敷地高 0.P. +12m）

・0.P. 約+12～約+14.5m^{*}（浸水深 約 2.5m 以下）

※：1号機建屋南側から免震重要棟にかけて局所的に 0.P. 約+15～約+16m（浸水深 約 3～約 4m）

浸水域 ◇海側エリアの全域に及んでいるが、海側エリアから斜面を越えて主要建屋設置エリアへの遡上は認められない。

◇主要建屋設置エリア南東側から免震重要棟への道路に集中的に遡上し、1・2号機の建屋周辺及び3号機の建屋南側のみ浸水（4号機の建屋周辺には浸水なし）

2. 津波の特徴の分析

(1) 津波波源モデルの推定と再現計算結果（図 2、図 3）

今回の地震・津波による広域（北海道～千葉県）の浸水高、遡上高、浸水域、検潮記録及び地殻変動を最も良く説明できる津波波源モデルの推定を数値シミュレーションにより行いました。結果は以下のとおりです。

- ◇推定された波源モデルはマグニチュード（Mw）9.1です。
- ◇津波の再現計算の結果、両発電所敷地内の浸水高及び浸水域をよく再現できております。
- ◇両発電所の検潮所設置位置における津波の高さ^{*}は以下のとおりです。
 - 福島第一原子力発電所：約+13m
 - 福島第二原子力発電所：約+ 9m

※：計器の損傷のため、検潮所における実際の津波の高さは把握できておりません

(2) 福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の津波の差異に係る分析

◇福島第一原子力発電所における津波の高さが、福島第二原子力発電所に比べて高かった要因について分析を行いました。

その結果、宮城県沖ならびに福島県沖に想定されるすべり量の大きい領域からの津波のピークの重なり具合が異なることが影響した可能性が考えられます（図 4）。

1. 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における津波調査結果

（4月9日報告済み情報の一部更新）

浸水高、浸水深及び浸水域について、現地踏査ならびに痕跡の高さの測定を実施し、データの拡充と精度の向上を行いました。調査結果は以下のとおりです。なお、地震による地盤変動量（両発電所とも約 0.5～0.65m 沈降）を測定しましたが、暫定値のため浸水高等には反映しておりません。

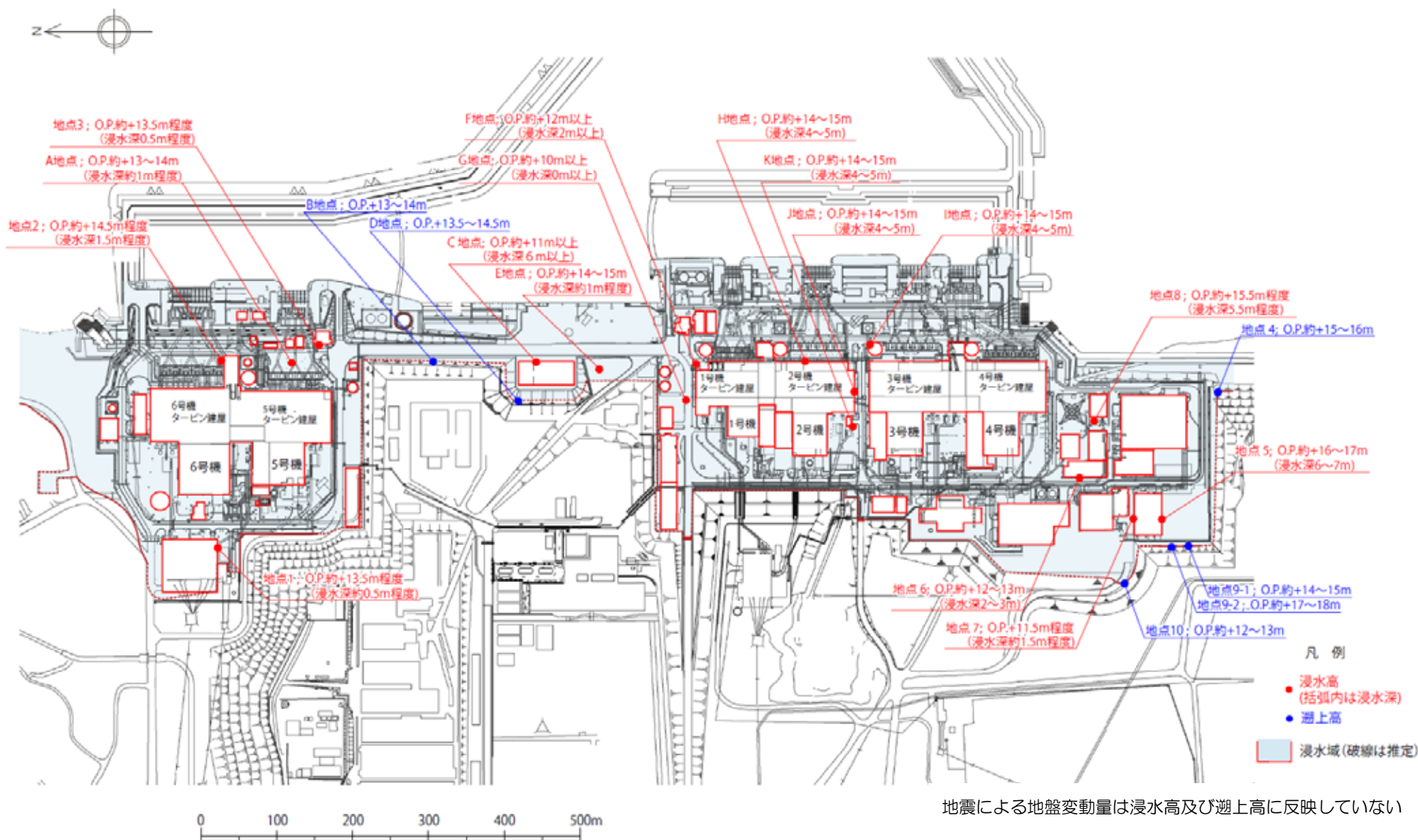


図2 (1) 福島第一原子力発電所における津波の調査結果 (浸水高、浸水深及び浸水域)

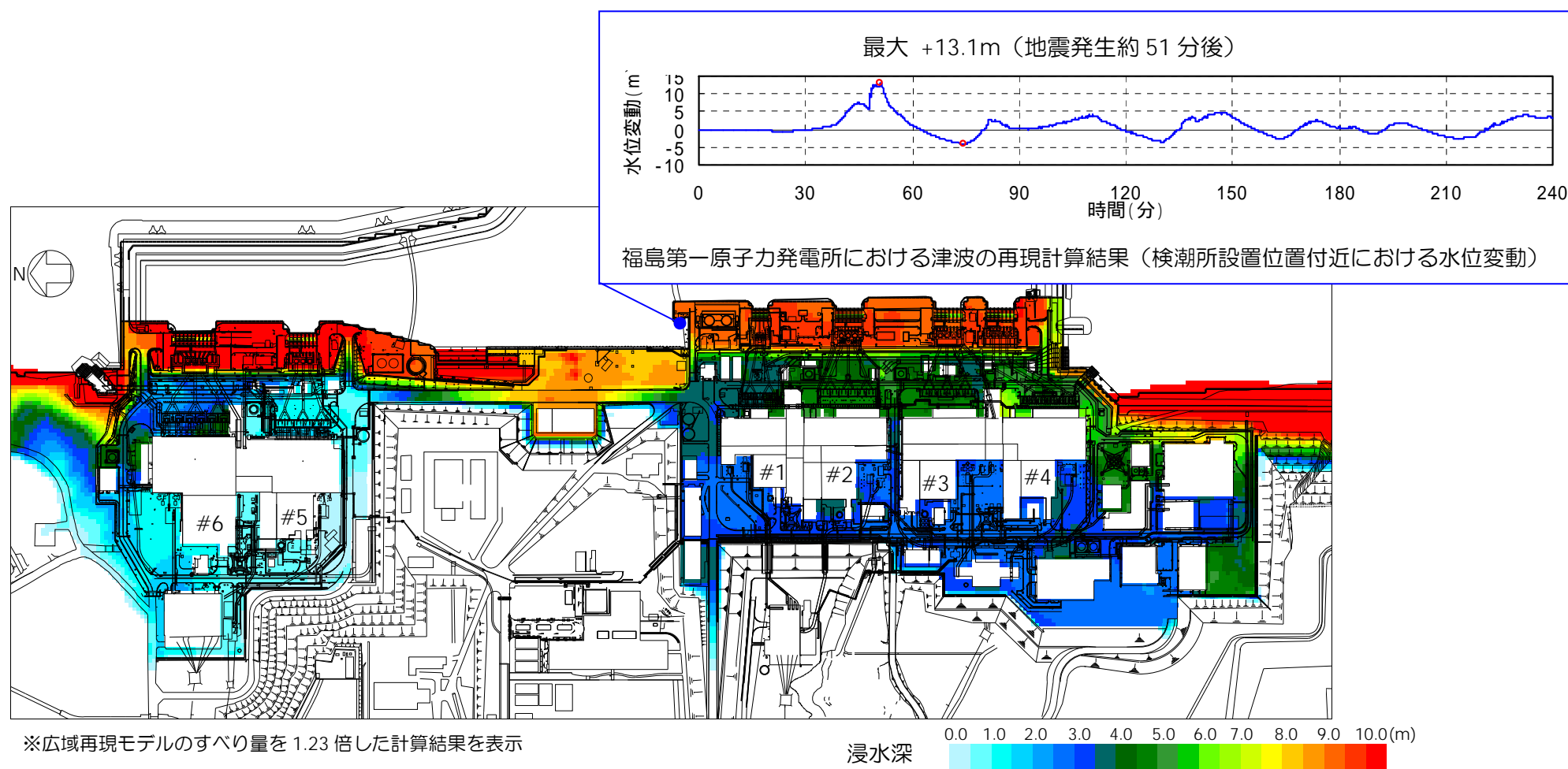
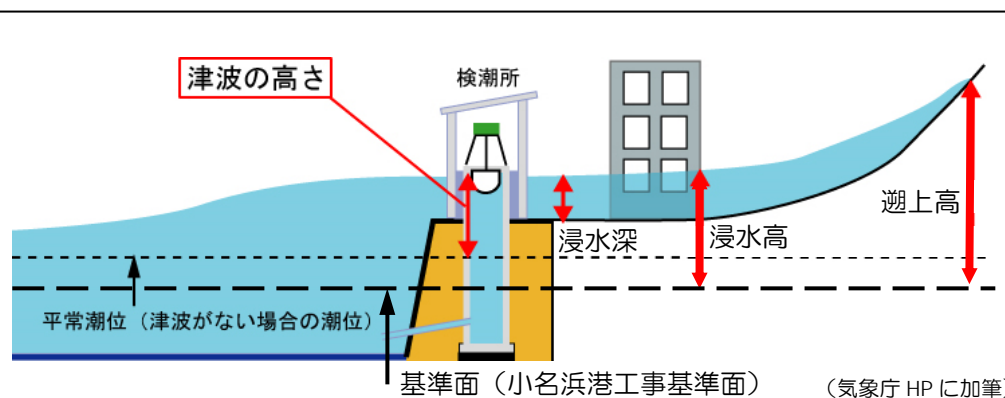


図2 (2) 福島第一原子力発電所における津波の再現計算結果 (浸水深及び浸水域)

用語の定義

- ・ 津波の高さ：平常潮位 (津波がない場合の潮位) から、津波によって海面が上昇した高さの差。
 - ・ 浸水高：建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の基準面からの高さ (O.P.表示*)。
 - ・ 浸水深：建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の地表面からの高さ。
 - ・ 浸水域：津波によって浸水した範囲。
 - ・ 遡上高：津波が内陸へかけ上がった結果、斜面や路面上に残された変色部や漂着物等の痕跡の基準面からの高さ (O.P.表示*)。
- ※ 小名浜港工事基準面 (O.P.) は東京湾平均海面 (T.P.) の下方 0.727m にある。



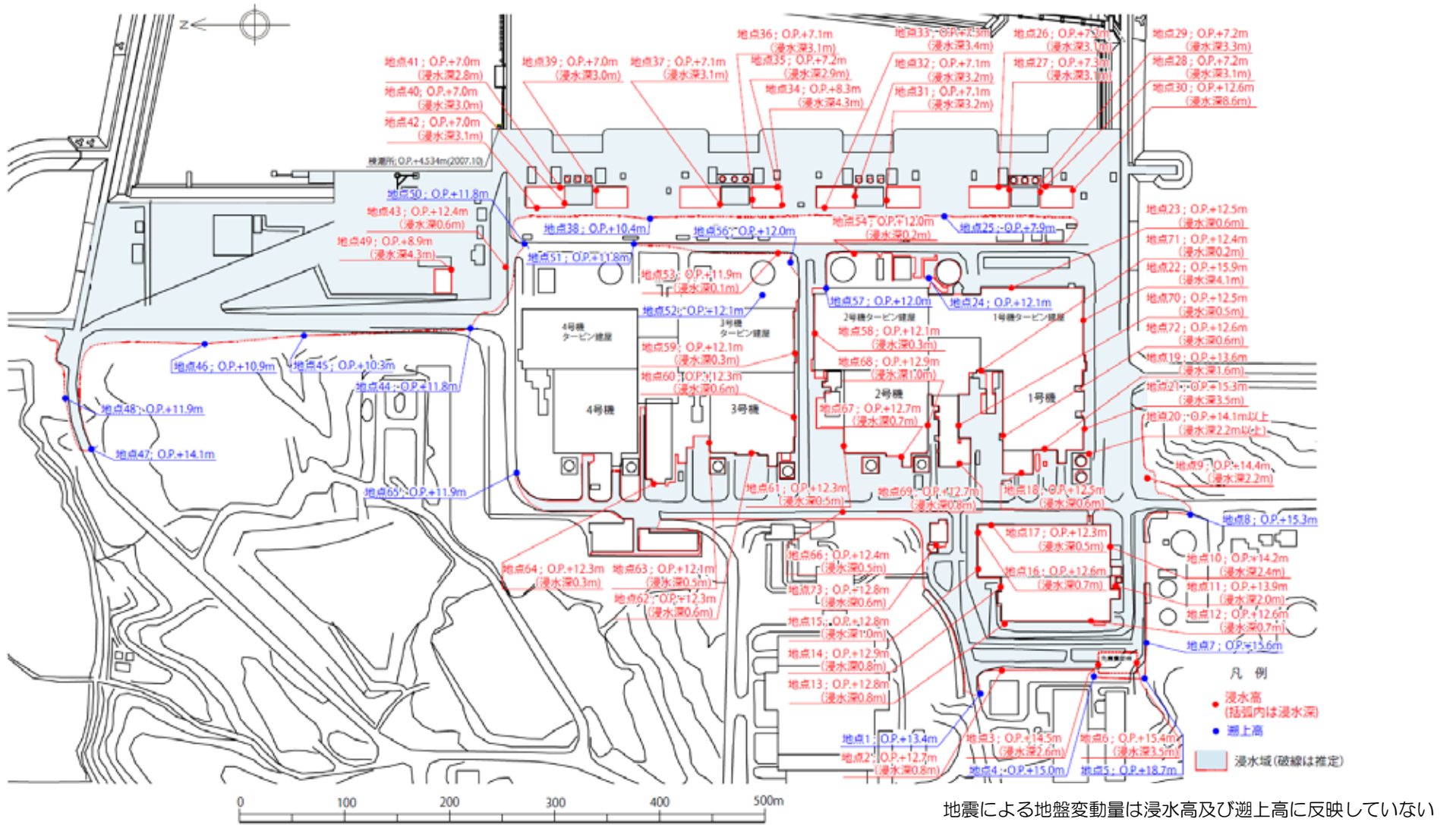


図3 (1) 福島第二原子力発電所における津波の調査結果 (浸水高、浸水深及び浸水域)

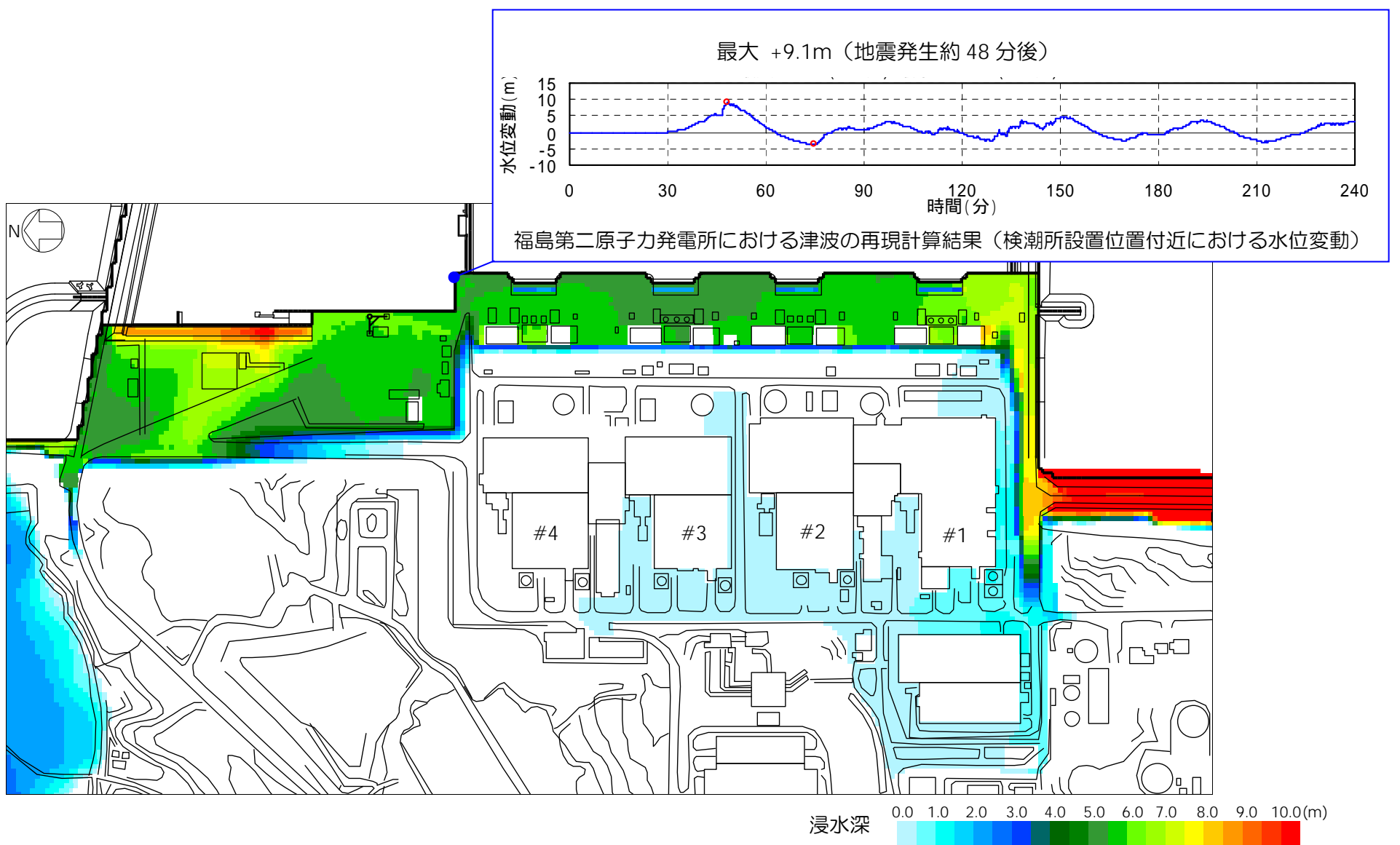
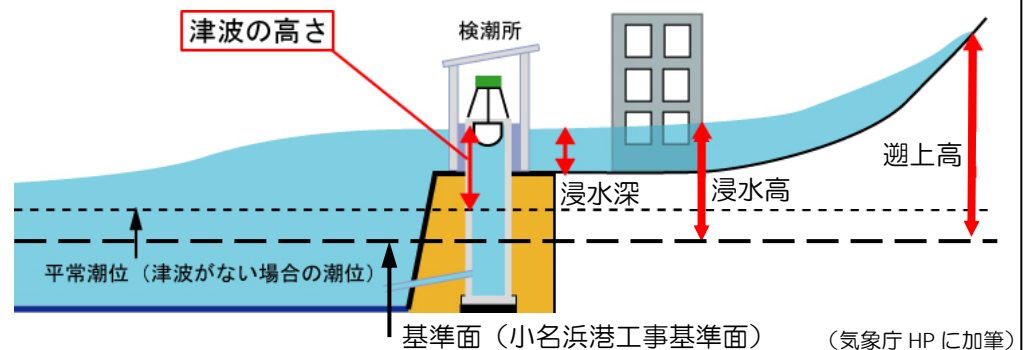


図3 (2) 福島第二発電所における津波の再現計算結果 (浸水深及び浸水域)

用語の定義

- ・ 津波の高さ：平常潮位 (津波がない場合の潮位) から、津波によって海面が上昇した高さの差。
- ・ 浸水高：建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の基準面からの高さ。(O.P.表示※)
- ・ 浸水深：建物や設備に残された変色部や漂着物等の痕跡の地表面からの高さ。
- ・ 浸水域：津波によって浸水した範囲。
- ・ 遡上高：津波が内陸へかけ上がった結果、斜面や路面上に残された変色部や漂着物等の痕跡の基準面からの高さ (O.P.表示※)。

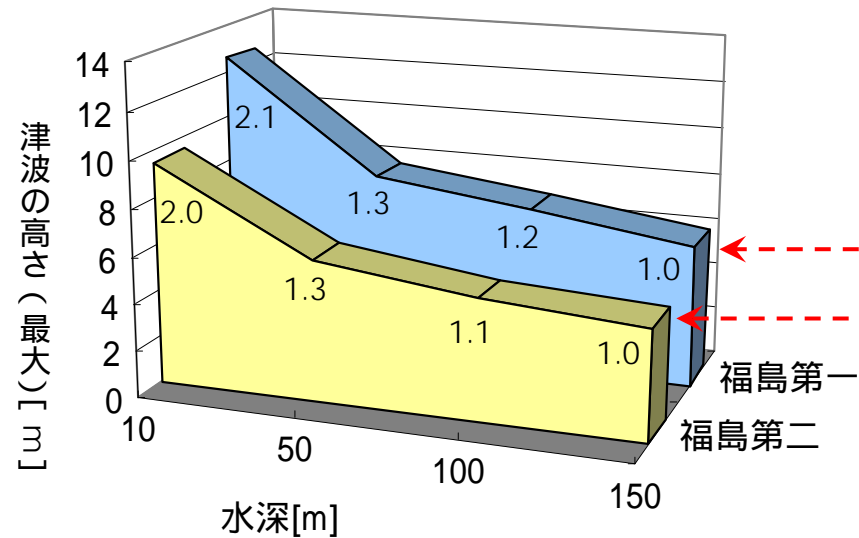
※ 小名浜港工事基準面 (O.P.) は東京湾平均海面 (T.P.) の下方 0.727m にある。



福島第一原子力発電所沖合い水深
150m 地点の水位の時刻歴波形

- 水深 150m における各ブロックからの津波の高さは両発電所において大きな差はない。
- 各ブロックからの波形において、ピークの重なり度合いが大きいため、津波の高さも大きくなる。
- 水深 150m 以浅の増幅率に両発電所の差はない。

グラフ中の数字は沖合い水深 150m 地点を基準とした増幅率

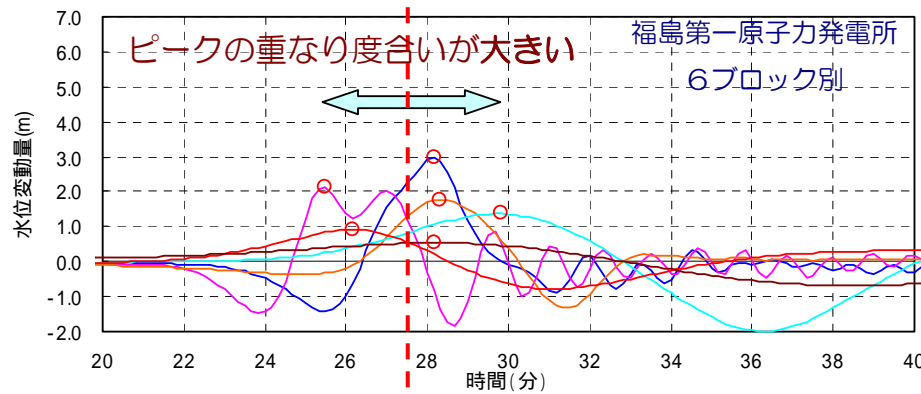
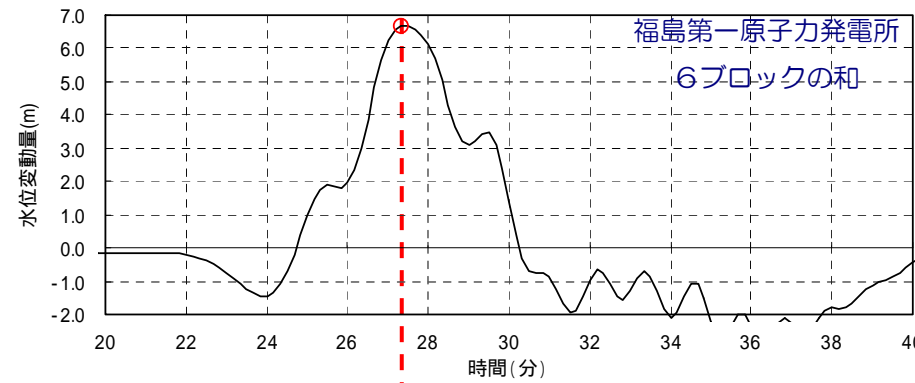


※ 広域再現モデル全体による結果

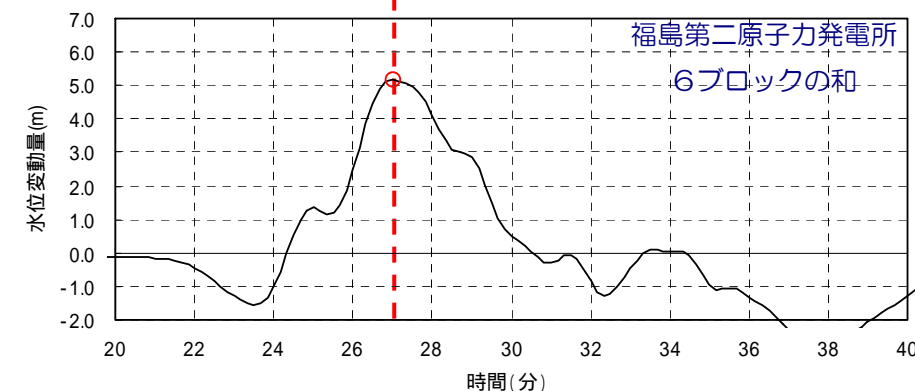
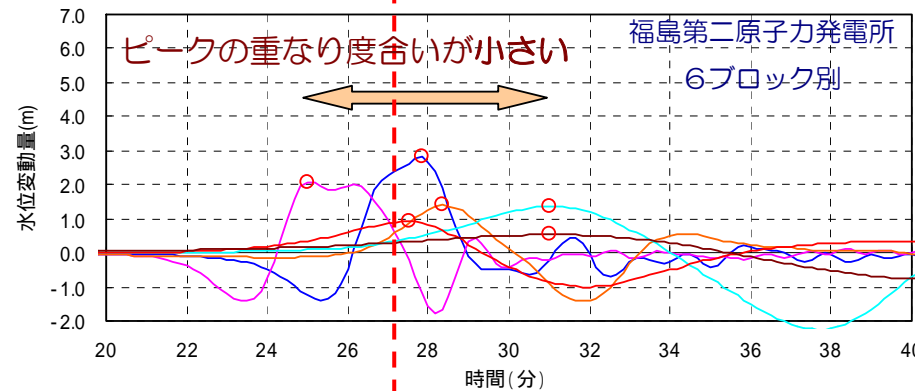
- 水深 150m における各ブロックからの津波の高さは両発電所において大きな差はない。
- 各ブロックからの波形において、ピークの重なり度合いが小さいため、津波の高さも小さくなる。
- 水深 150m 以浅の増幅率に両発電所の差はない。

福島第二原子力発電所沖合い水深
150m 地点の水位の時刻歴波形

主要な成分（ブロック）を取り出した結果

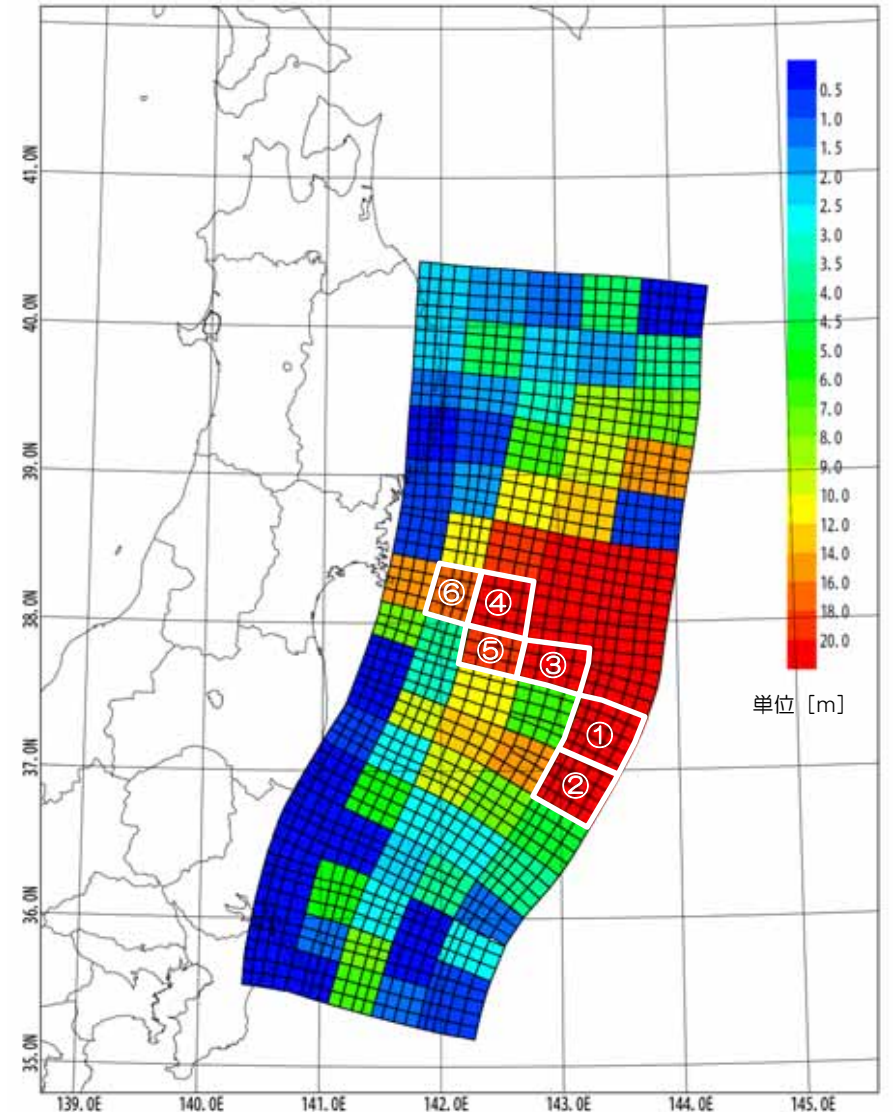


6ブロックの和で概ね全体の違いを説明可能



※ 時間は、地震発生時からの経過時間

推定された波源モデルのうち
両発電所沖合いの津波の高さに
影響が大きいブロックの位置



広域（北海道～千葉県）の浸水高、遡上高、浸水域、検潮記録及び地殻変動を最も良く説明できる津波波源モデルを使用して分析を行った

まとめ

福島第一と福島第二の津波の差異の主な原因は、宮城県沖ならびに福島県沖に想定されるすべり量の大きい領域から発生した津波のピークが、福島第一では重なる度合いが強く、福島第二では弱いことによると考えられる。

図4 津波の差異に関する分析

3. 浸水による福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所への影響の分析

(1) 福島第一原子力発電所

【建屋の浸水状況】

O.P. +10mの敷地にある主要建屋の周辺では、ほぼ全域が津波の遡上を受け浸水したと考えられますが、主要建屋の外壁や柱等の構造躯体に有意な損傷は確認されておりません。

浸水によって、主要建屋の地上の開口（建屋の出入口や機器搬入口（ハッチ）、給排気口（ルーバ））や、敷地の地下に埋設されたトレンチやダクトに接続する開口（ケーブルや配管の貫通口）の一部が建屋内への浸水経路になったと考えられ、1～4号機タービン建屋の東側（海側）を中心に、開口に取り付けられた扉やシャッター等の一部が津波により損傷していることを確認しました。建屋内では、通路や階段室等を介して地下の広い範囲が浸水したものと考えられます。主要建屋内への浸水経路になったと考えられる開口の位置を図5に示します。

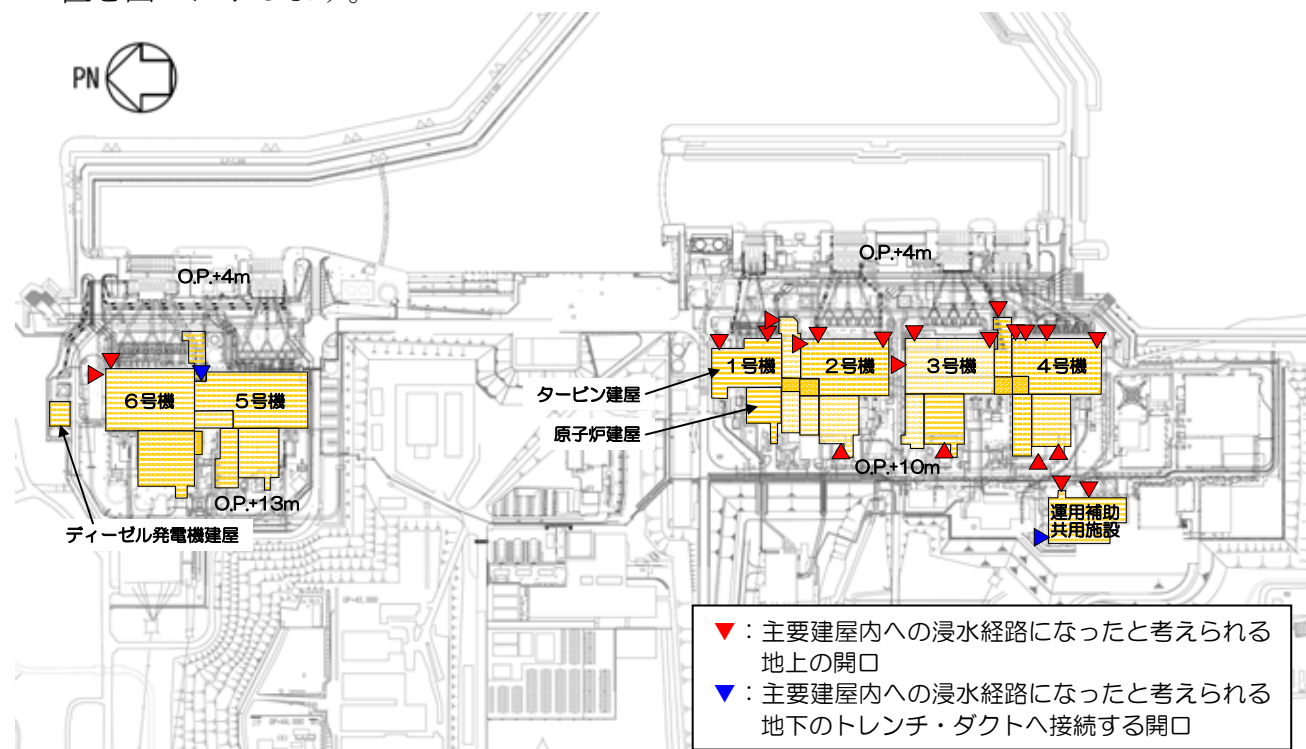


図5 主要建屋内への浸水経路になったと考えられる開口の位置（福島第一原子力発電所）

【浸水による耐震安全上重要な設備への影響】

耐震安全上重要な設備のうち、非常用電源盤、非常用ディーゼル発電設備（D/G）及び直流主母線盤について、調査可能な範囲で浸水の範囲及び影響を調査しました。概要を以下に示します（詳細は表1参照）。

非常用電源盤：6号機の電源盤を除き、1～5号機の全ての盤で浸水。

D/G：D/G(6B)を除き、D/G本体または関連機器の浸水により使用不可。

直流主母線盤：1, 2, 4号機の直流主母線盤が浸水。3, 5, 6号機の電源盤には浸水なし。

また、屋外ヤードエリア設置の非常用海水冷却系設備については、点検中で取り外していたポンプを除き、いずれも津波を受けた後も据付場所に自立しており、ポンプ本体が流出したものはありませんでした。図6に、6号機非常用海水冷却系設備の状況を示します。

しかし、設備点検用クレーンの倒壊、漂流物の衝突等によるポンプならびに付属機器の損傷、および電動機軸受潤滑油への海水の混入も確認しました。

なお、D/G(6A)冷却系海水ポンプでは、津波により被水したものの、3月18日に冷却海水ポンプ電動機の健全性を確認し、翌3月19日にD/G(6A)の確認運転を行いました。

表1 津波の浸水による非常用電源盤（M/C、P/C）、非常用ディーゼル発電設備（D/G）、直流主母線盤への影響（福島第一原子力発電所）

設備	系統 ^{※1}	1号機			2号機			3号機			4号機			5号機			6号機		
		浸水有無	津波後の状況	設置場所	浸水有無	津波後の状況	設置場所	浸水有無	津波後の状況	設置場所	浸水有無	津波後の状況	設置場所	浸水有無	津波後の状況	設置場所	浸水有無	津波後の状況	設置場所
非常用電源盤 (M/C)	C	有	×	T/B 1FL O.P.+10.2m	有	×	T/B B1FL O.P.+1.9m	有	×	T/B B1FL O.P.-0.3m	有	×	T/B B1FL O.P.+1.9m	有	×	T/B B1FL O.P.+2.77m	無	○	R/B B3FL O.P.+1m
	D	有	×		有	×		有	×		有	×		有	×		無	○	R/B B1FL O.P.+7m
	E(H)				有	×	共用B1FL O.P.+2.7m				有	×	共用B1FL O.P.+2.7m				無	○	R/B 1FL O.P.+13.2m
非常用電源盤 (P/C)	C	有	×	C/B B1FL O.P.+4.9m	有	○	T/B 1FL O.P.+9m	有	×	T/B B1FL O.P.-0.3m	有	- ^{※2}	T/B 1FL O.P.+9m	有	×	T/B B1FL O.P.+2.77m	無	○	R/B B3FL O.P.+1m
	D	有	×		有	○		有	×		有	○		有	×		無	○	R/B B1FL O.P.+7m
	E				有	×	共用B1FL O.P.+2.7m				有	×	共用B1FL O.P.+2.7m				無	○	DG屋B1FL O.P.+5.7m
非常用ディーゼル発電設備 (D/G)	A	有	×	T/B B1FL O.P.+4.9m	有	×	T/B B1FL O.P.+1.9m	有	×	T/B B1FL O.P.+1.9m	有	×	T/B B1FL O.P.+1.9m	無	×	T/B B1FL O.P.+4.9m	無	×	R/B B1FL O.P.+5.8m
	B	有	×	T/B B1FL O.P.+2m	無	×	共用1FL O.P.+10.2m	有	×	共用1FL O.P.+10.2m	無	×	共用1FL O.P.+10.2m	無	×		無	○	DG屋1FL O.P.+13.2m
	H																無	×	R/B B1FL O.P.+5.8m
直流主母線盤	A	有	×	C/B B1FL O.P.+4.9m	有	×	C/B B1FL O.P.+1.9m	無	○	T/B MB1F O.P.+6.5m	有	×	C/B B1FL O.P.+1.9m	無	○	T/B MB1F O.P.+9.5m	無	○	T/B MB1F O.P.+9.5m
	B	有	×		有	×		無	○		有	×		無	○		無	○	

凡例：○：使用可、×：使用不可

T/B：タービン建屋、C/B：コントロール建屋、共用：運用補助共用施設、

R/B：原子炉建屋または原子炉複合建屋、DG屋：ディーゼル発電機建屋

※1：2,4号機のM/CはE系統、6号機のM/CはH系統。

※2：M/C(4C),D/G(4A)は点検・工事中。P/C(4C)は、取替工事中。

- ：浸水有り、
- ：本体または関連機器の浸水により使用不可の機器
- ：電源供給元が給電不可のため受電不可。M/C(6C,6H)は、D/G(6A,6H)が使用不可のため受電不可。

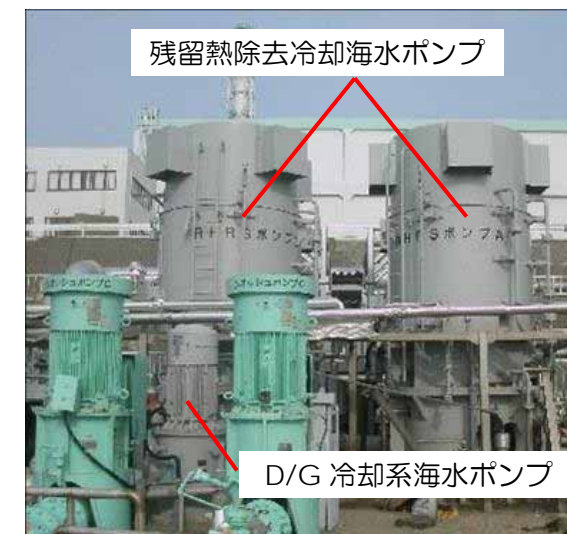


図6 6号機非常用海水冷却設備の状況

(2) 福島第二原子力発電所

【建屋の浸水状況】

主要建屋の周辺では、O.P. +4mの敷地東側（海側）やO.P. +12mの敷地南側が津波の遡上を受け浸水しましたが、福島第一原子力発電所と同様、主要建屋の外壁や柱等の構造躯体に有意な損傷は確認されておりません。

浸水によって、主要建屋の地上の開口（建屋の出入口や機器搬入口（ハッチ）、給排気口（ルーバ））や、敷地の地下に埋設されたトレンチやダクトに接続する開口（ケーブルや配管の貫通口）の一部が建屋内への浸水経路になったと考えられ、O.P. +4mの敷地にある海水熱交換器建屋やO.P. +12mの敷地にある1号機原子炉建屋の南側で、開口に取り付けられた扉やシャッター等の一部が津波により損傷していることを確認しました。建屋内では通路や階段室等を介して浸水範囲が拡大し、1号機の主要建屋の地下階や3号機タービン建屋地下2階、全号機の海水熱交換器建屋等が津波により浸水したことを確認しました。主要建屋内への浸水経路になったと考えられる開口の位置を図7に示します。

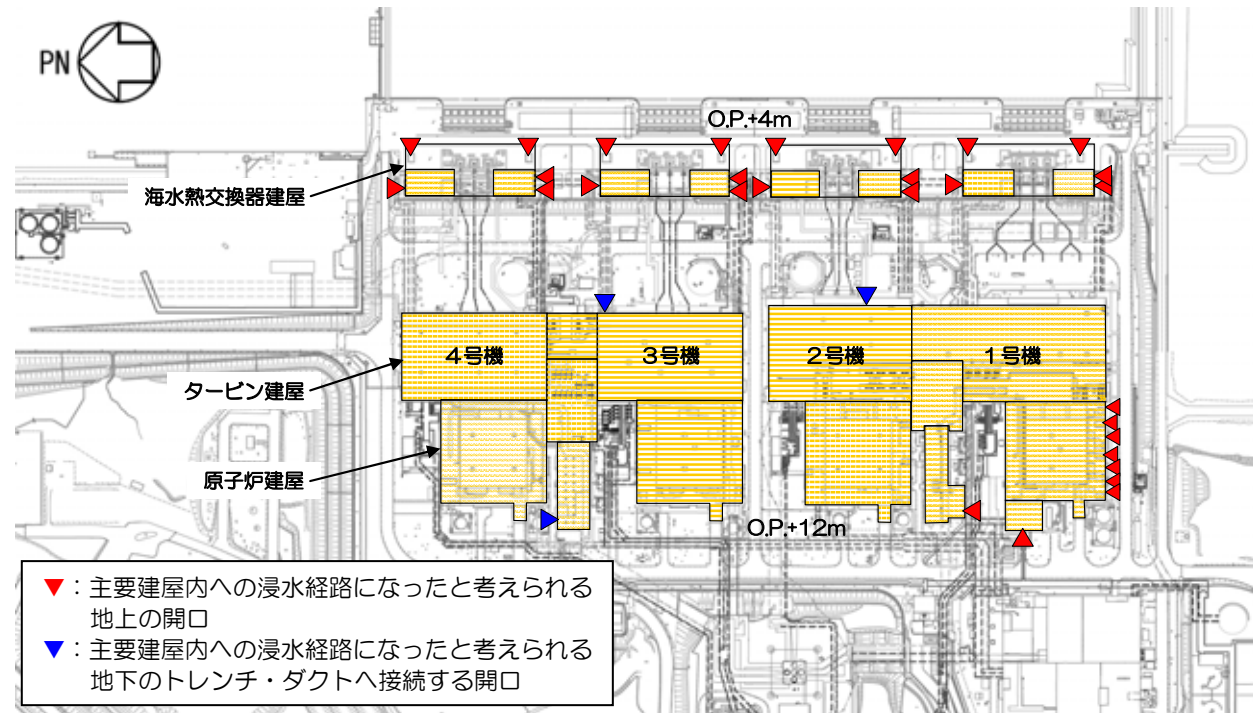


図7 主要建屋内への浸水経路になったと考えられる開口の位置（福島第二原子力発電所）

【浸水による耐震安全上重要な設備への影響】

耐震安全上重要な設備のうち、非常用電源盤、非常用ディーゼル発電設備（D/G）、直流主母線盤について、浸水の範囲及び影響を調査しました。概要を以下に示します（詳細は表2参照）。

非常用電源盤：海水熱交換器建屋設置の非常用電源盤は全ての号機で浸水し、3号機のD-2系電源盤を除いて機能喪失。原子炉建屋設置の非常用電源盤は、1号機のC,H系、3号機のH系で浸水。

D/G：3号機のD/G(B)(H)、4号機のD/G(H)を除き、D/G本体または関連機器の浸水により使用不可。

直流主母線盤：1号機の直流主母線盤(H)が浸水。

また、海水熱交換器建屋に設置されている非常用冷却系設備のうち、残留熱除去冷却海水系ポンプ、残留熱除去冷却系ポンプの動力電源は、いずれも海水熱交換器建屋の非常用電源盤（C-2, D-2）から供給されています。海水熱交換器建屋の非常用電源盤は、3号機のD-2系を除いて機能喪失したため、3号機の残留熱除去冷却海水系ポンプ、残留熱除去冷却系ポンプを除いて停止しました。その後、1, 2, 4号機の残留熱除去冷却海水系ポンプ、残留熱除去冷却系ポンプの点検を実施し、健全性が確認できたポンプについては、電源供給元を切り替え、確認運転を行いました。

表2 津波の浸水による非常用電源盤（M/C, P/C）、非常用ディーゼル発電設備（D/G）、直流主母線盤への影響（福島第二原子力発電所）

設備	系統	1号機		2号機		3号機		4号機	
		浸水有無	津波後の状況	浸水有無	津波後の状況	浸水有無	津波後の状況	浸水有無	津波後の状況
非常用電源盤（M/C） （R/B 地下1階 O.P.+6.0m）	C	有	×	無	○	無	○	無	○
	D	無	○	無	○	無	○	無	○
	H	有	×	無	○	有	○	無	○
非常用電源盤（P/C） （R/B 地下1階 O.P.+6.0m）	C-1	有	×	無	○	無	○	無	○
	D-1	無	○	無	○	無	○	無	○
非常用電源盤*（P/C） （Hx/B 1階 O.P.+4.2m）	C-2	有	×	有	×	有	×	有	×
	D-2	有	×	有	×	有	○	有	×
非常用ディーゼル発電設備（D/G） （R/B 地下2階 O.P.±0m）	A	有	×	無	×	無	×	無	×
	B	有	×	無	×	無	○	無	×
	H	有	×	無	×	無	○	無	○
直流主母線盤 （1,2号A,B:C/B 2階 O.P.+1.8m 3,4号A,B:C/B 1階 O.P.+1.22m 1~4号H:R/B 地下2階 O.P.±0m）	A	無	○	無	○	無	○	無	○
	B	無	○	無	○	無	○	無	○
	H	有	×	無	○	無	○	無	○

凡例：○：使用可、×：使用不可
R/B：原子炉建屋、Hx/B：海水熱交換器建屋、C/B：コントロール建屋

※：非常用電源盤（P/C C-2,D-2）は海水熱交換器建屋に設置。

■：浸水有り、■：本体または関連機器の浸水により使用不可の機器

4. 浸水以外の事象の分析

両発電所における津波による港内の海底地形変化、漂流物の状況及び港湾構造物の被害状況を把握しました。漂流物の状況は、津波の再現計算による流れで説明可能であることを確認しました。また、港湾構造物は、部分的に消波機能は損なわれているものの、堤体は概ね存立していることを確認しました。