

# 地震後の設備健全性確認 他

<(1)震災時における被害と対応状況について(その1)他>

平成26年12月24日

東北電力株式会社



# 目次

1. 女川原子力発電所における東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果および設備被害について(No.4関連)
2. 東日本大震災時におけるソフト面での対応状況および教訓について  
(No.11,12,13,14,15関連)
3. 事業者による防災訓練の充実化について(No.81関連)

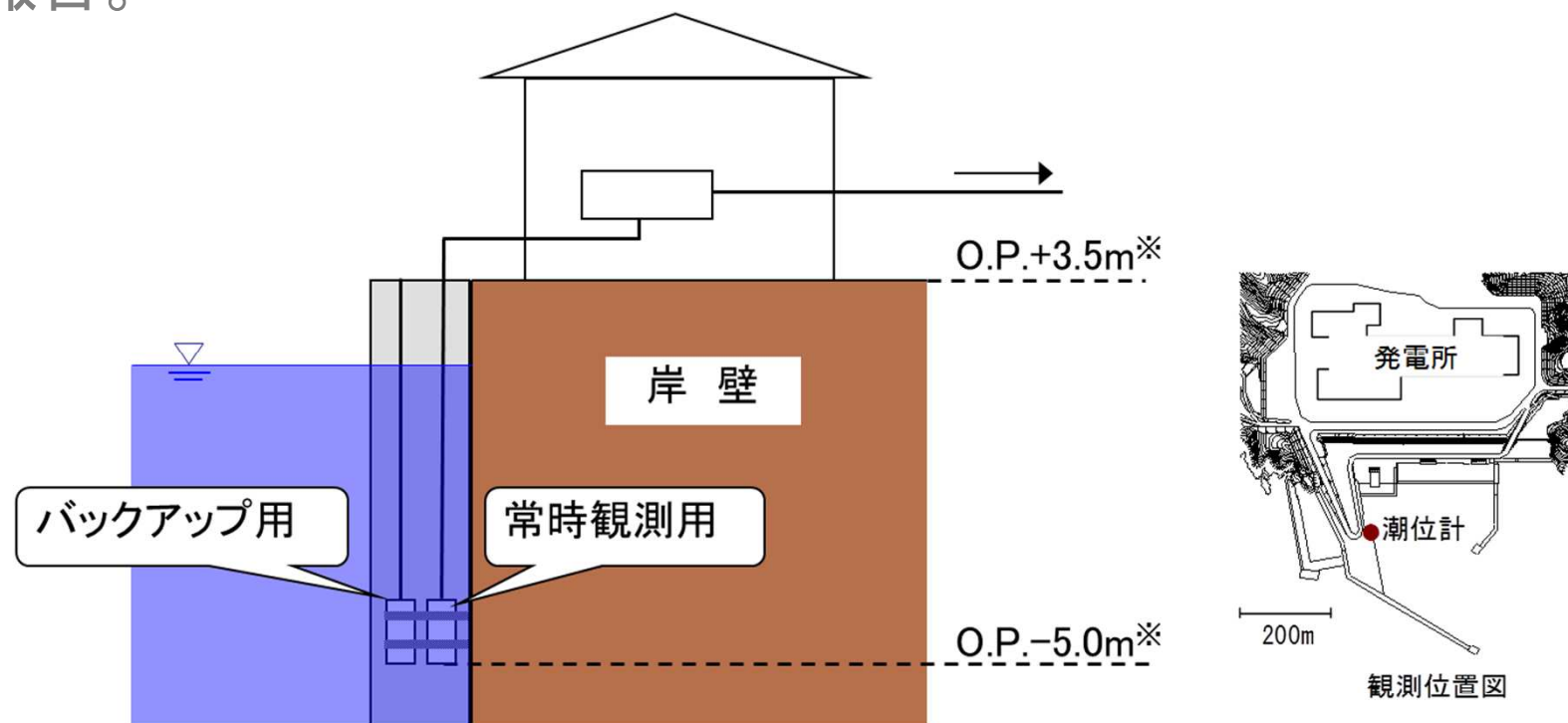


1. 女川原子力発電所における東北地方太平洋沖地震  
により発生した津波の調査結果および設備被害について  
(No.4関連)



## 1. 1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(1/4)

- ◆ 東北地方太平洋沖地震による津波の調査結果を，平成23年4月7日に国へ報告。



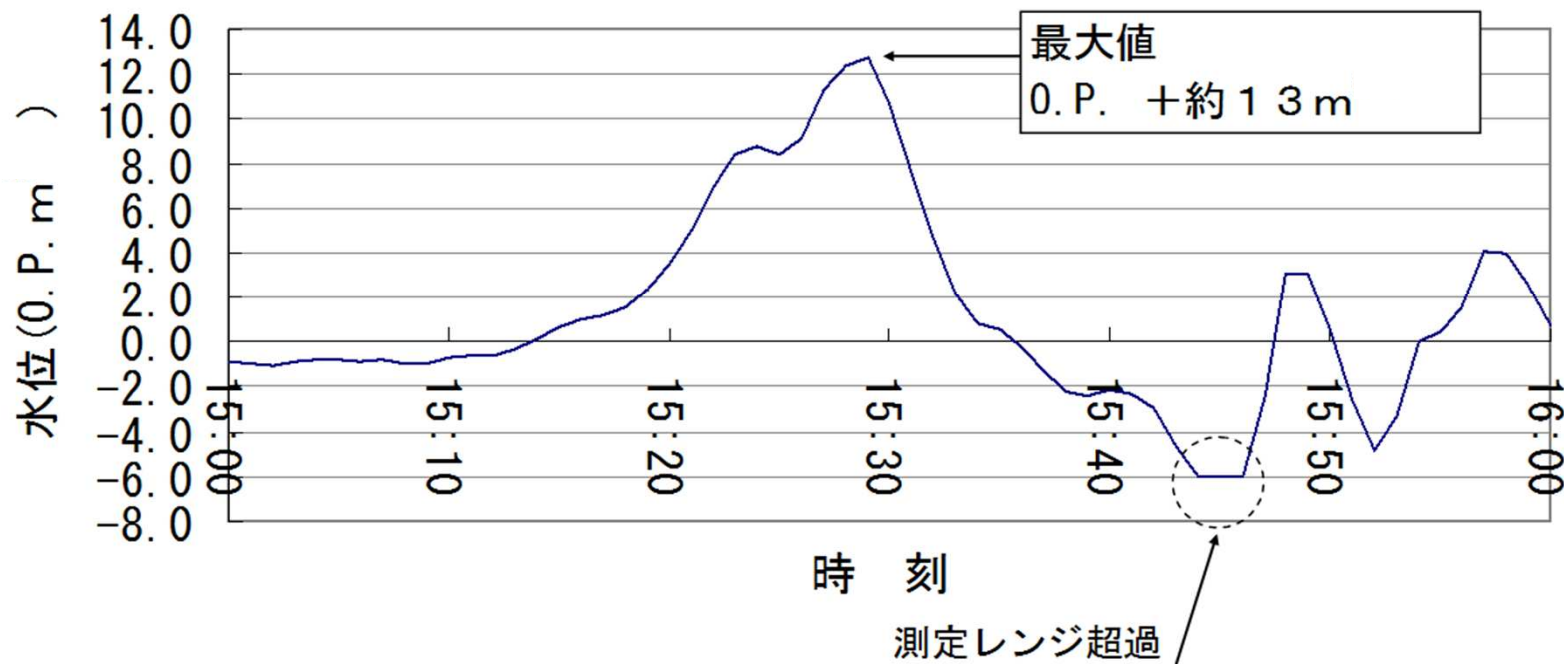
※ 設置時の標高にて表示（今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動（一約1m:速報値）は考慮されていない）

- ・潮位計は，発電所前面の港内静穏域に設置。  
常時観測用（測定範囲  $-5\text{m} \sim +5\text{m}$ ） ⇒ 津波により欠測  
バックアップ用（測定範囲  $-5\text{m} \sim +20\text{m}$ ） ⇒ 観測記録取得



# 1. 1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(2/4)

2011年3月11日潮位記録 (女川)

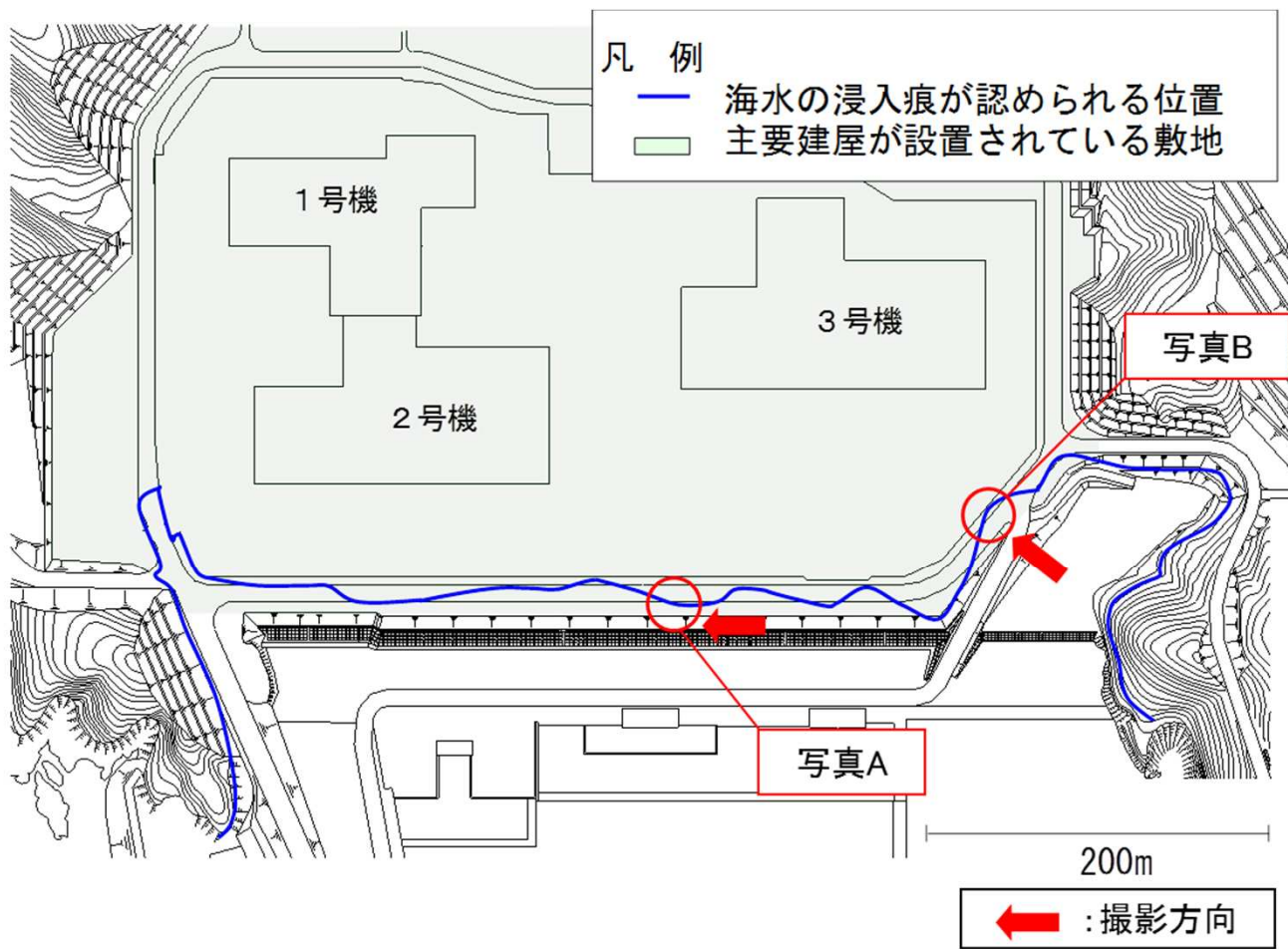


潮位計で観測された津波の高さは、O. P. 約+13m※であった。

※ O.P.(女川の基準面：東京湾平均海面-0.74m)にて表示。  
今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動(一約1m:速報値)を考慮。



# 1. 1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(3/4)



写真A 構内道路に残留した塵芥

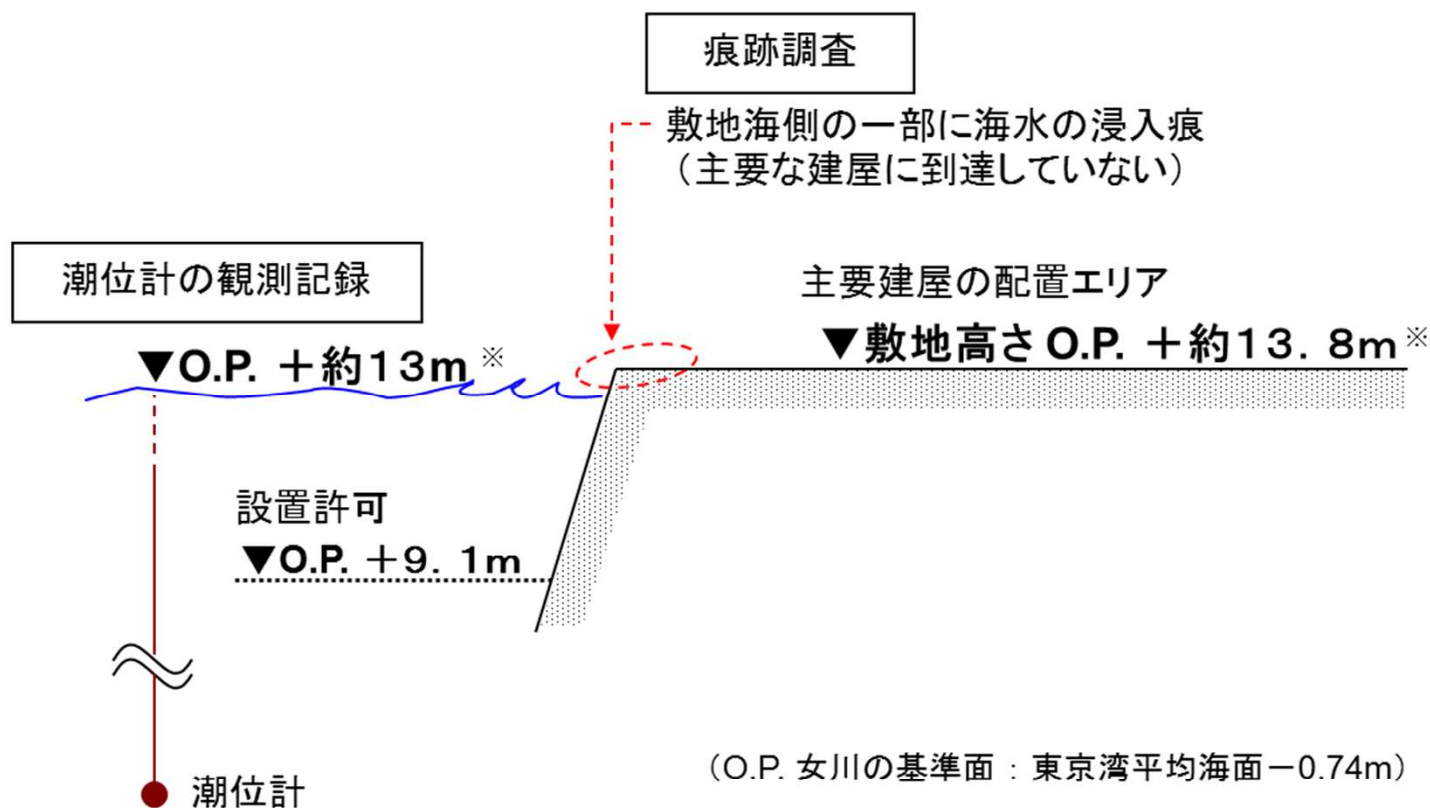


写真B 敷砂利上に残留した塵芥

敷地海側の一部に海水の浸入痕が確認されたが、主要な建屋には到達していない。



# 1. 1 東北地方太平洋沖地震により発生した津波調査結果(4/4)



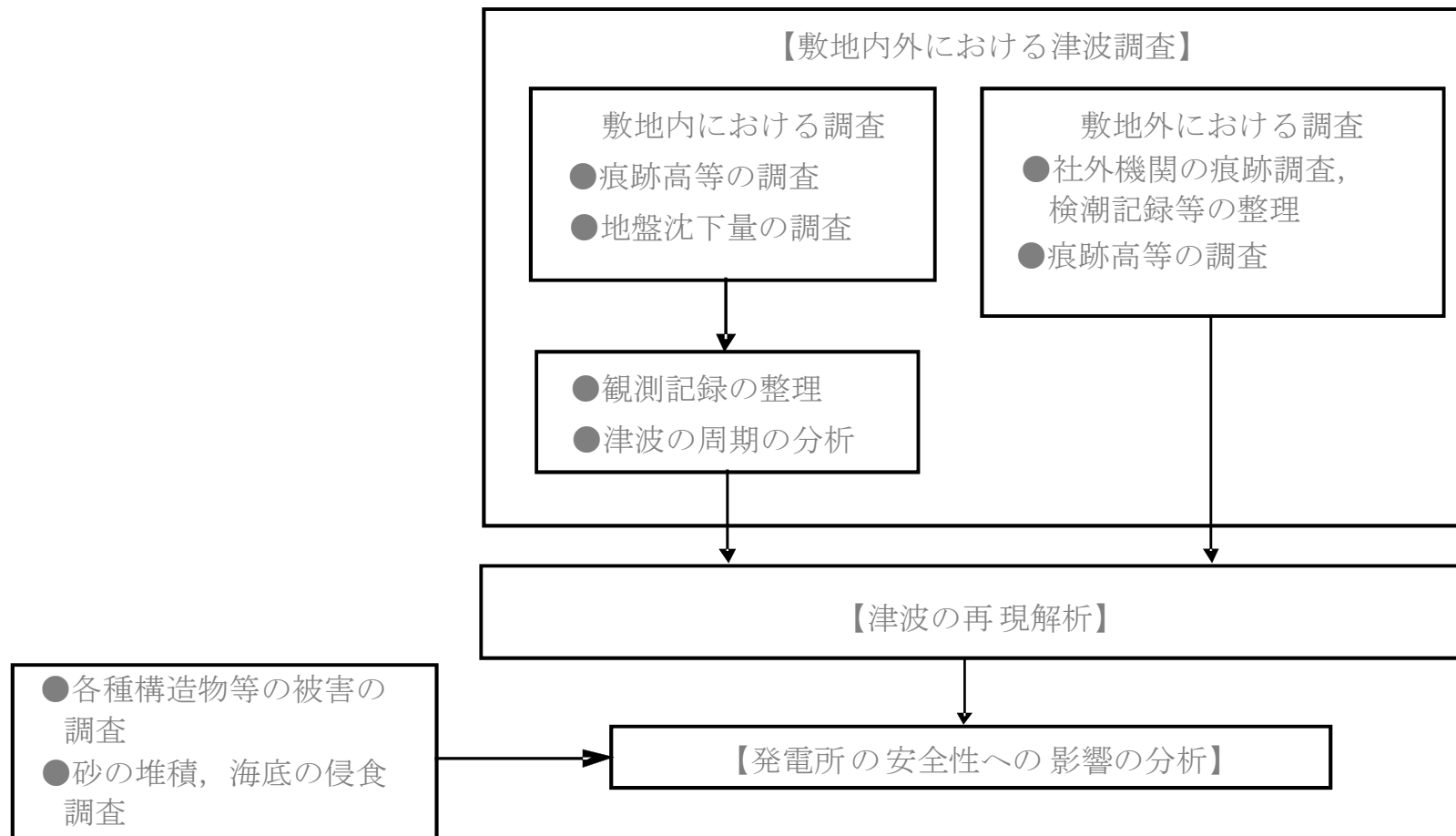
女川原子力発電所の潮位計で観測された津波の高さは、O. P. + 約13m\*  
であり、敷地高さ(O. P. + 約13.8m\*)を超えていないことを確認した。

※ 今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動(一約1m:速報値)を考慮。



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の影響分析に係る検討の流れ

◆ 津波に係る追加の調査および女川原子力発電所に来襲した津波の再現解析による分析等を実施し、平成23年7月8日に国へ報告。



### 津波の影響の分析に係る検討の流れ

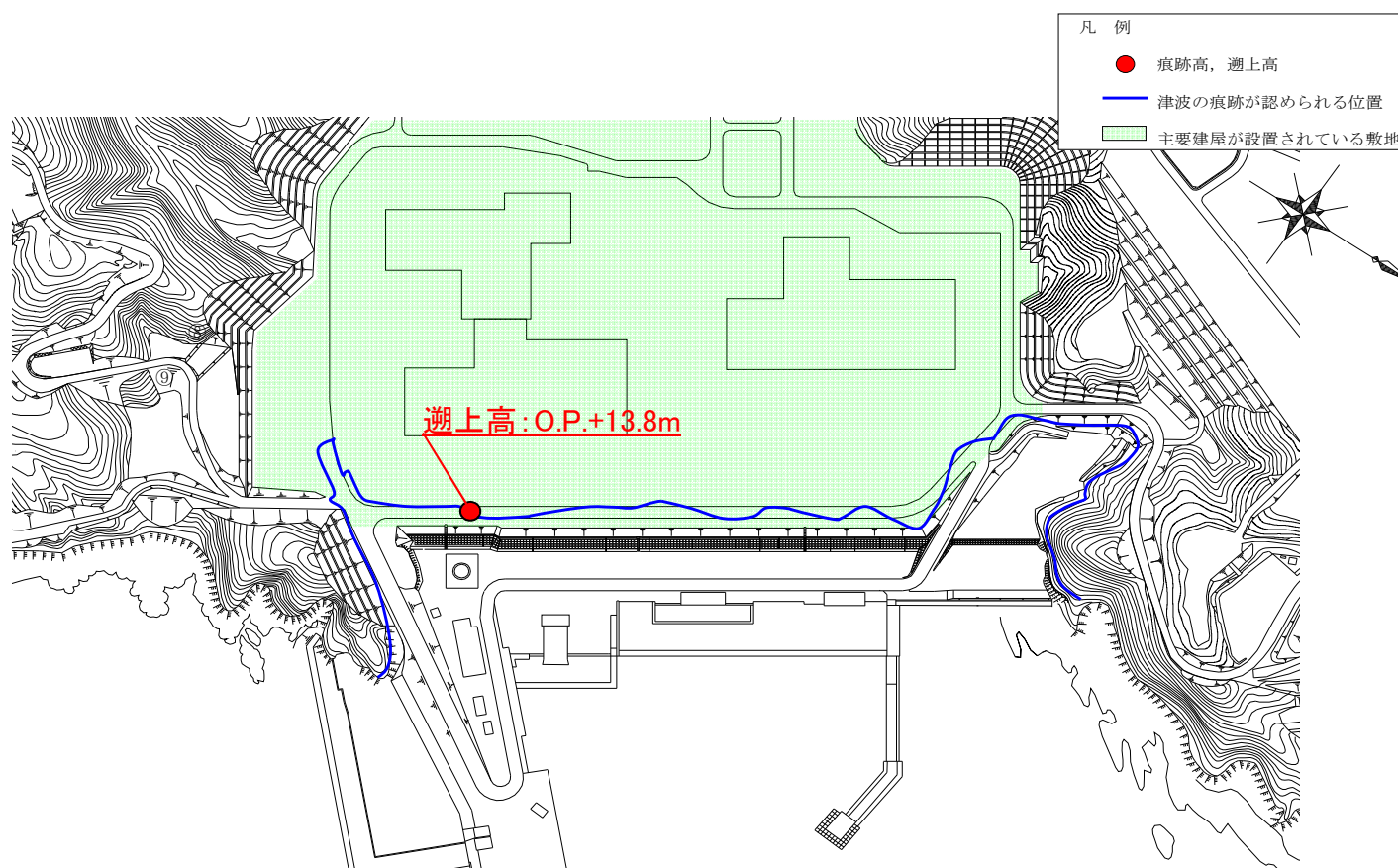




## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(1/5)

### (1) 痕跡高(浸水高, 遡上高)等の調査

- 女川原子力発電所に来襲した津波の痕跡高(浸水高, 遡上高)をGPS測量により把握
- 主要な建屋が設置されている敷地前面における遡上高は, 最大でO.P. ※1約+13.8m※2



※1: O.P.とは, 女川の工所用基準面で,  
O.P.±0.0mは東京湾  
平均海面(T.P.)-0.74mである

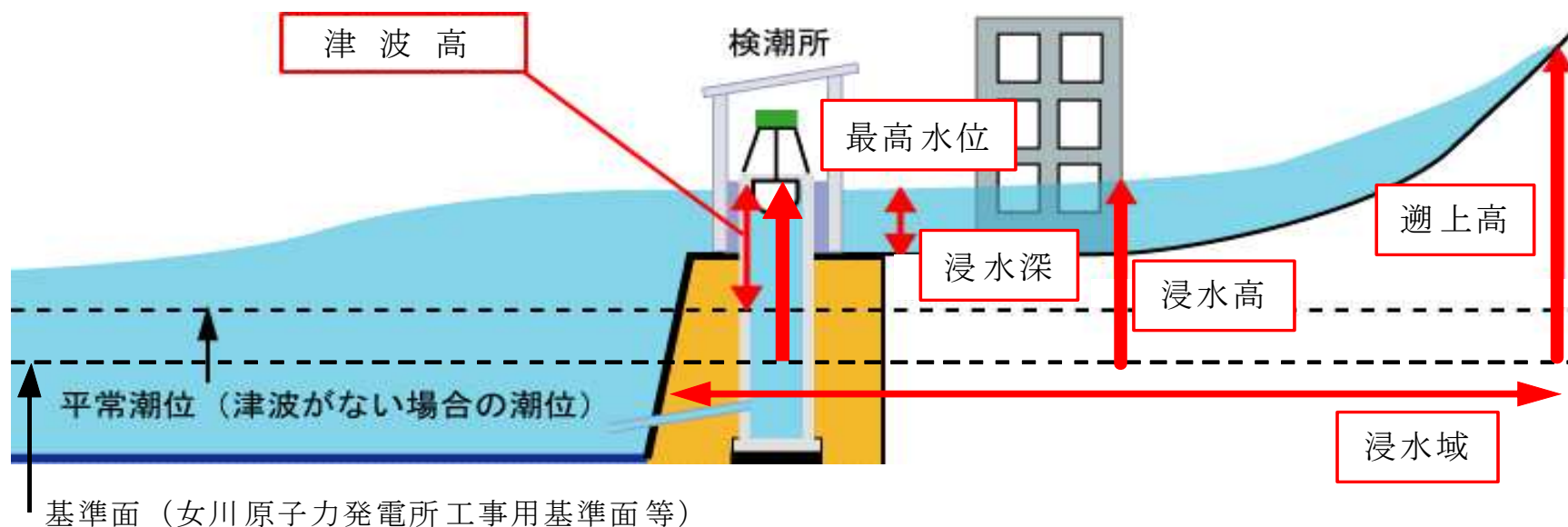
※2: 地盤沈下量約1mを考慮した値



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(2/5)

- 最高水位: 潮位計で観測された津波の高さの最高値(標高で表す)
- 津波高: 津波によって海面が上昇した高さ(mで表す)
- 浸水高: 建屋や設備に残された津波の痕跡の高さ(標高で表す)
- 遡上高: 海岸から内陸に津波が及んだ高さ(標高で表す)
- 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



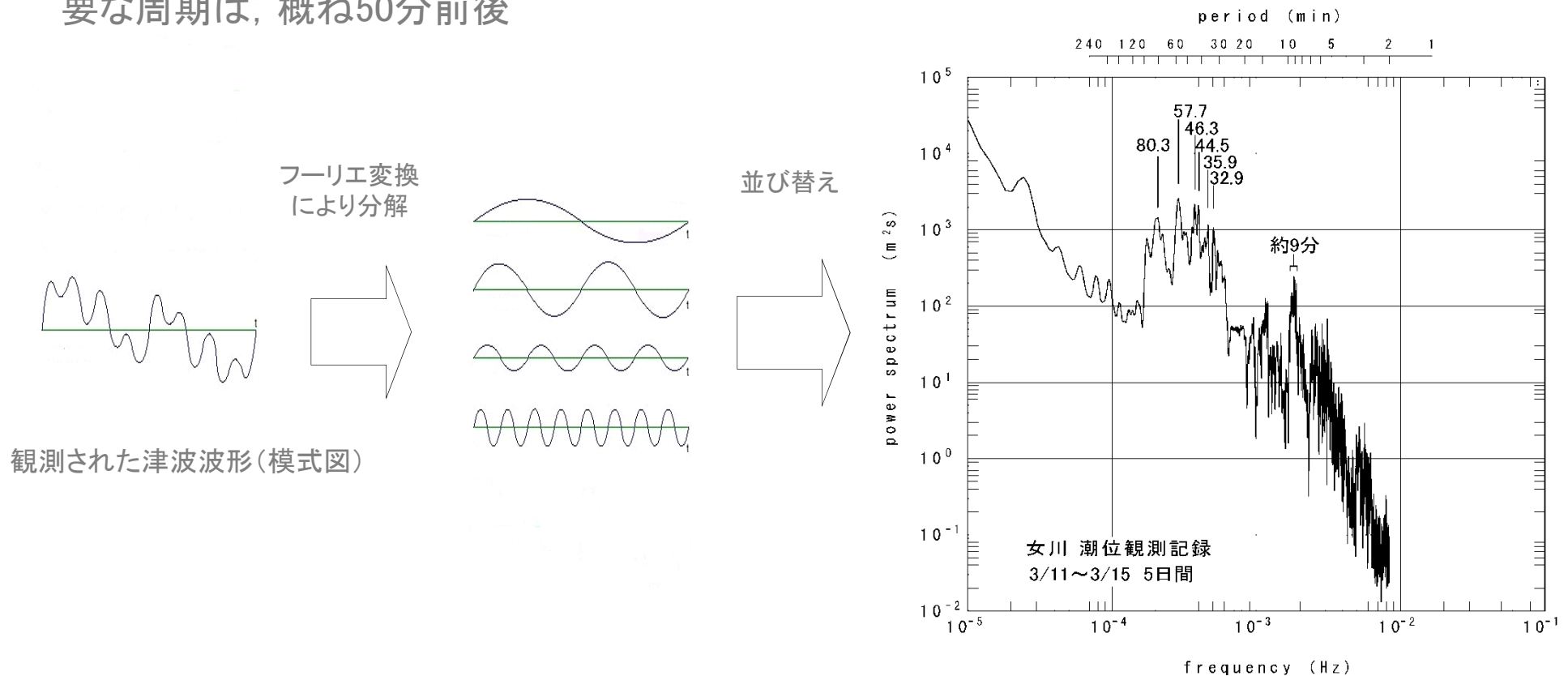
※: 4月7日時点では, 潮位計で観測された水位の最高値を津波の高さと表現していたが, 今回, 潮位計で観測された水位から, 平常潮位を差し引いた値を津波高とし, 潮位計で観測された水位の最高値を最高水位とした。



# 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(3/5)

## (2) 津波の周期の分析

- 女川原子力発電所で観測された津波波形を分析し、津波の主要な周期を把握。津波の主要な周期は、概ね50分前後



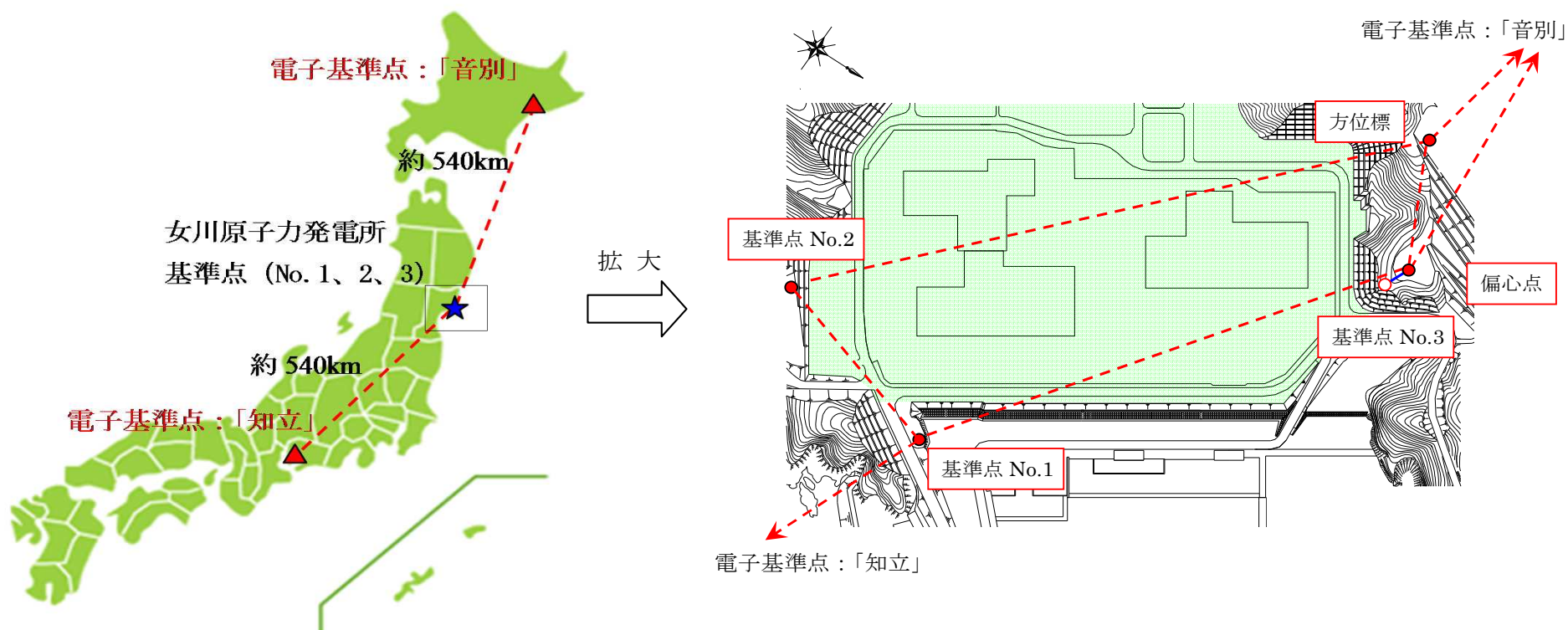
- 津波の主要な周期(50分前後)は、発電所周辺の地形等の固有周期とは合致せず、地形等の影響により顕著な波高の増幅は生じなかったと考えられる。



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(4/5)

### (3) 地盤沈下量の調査

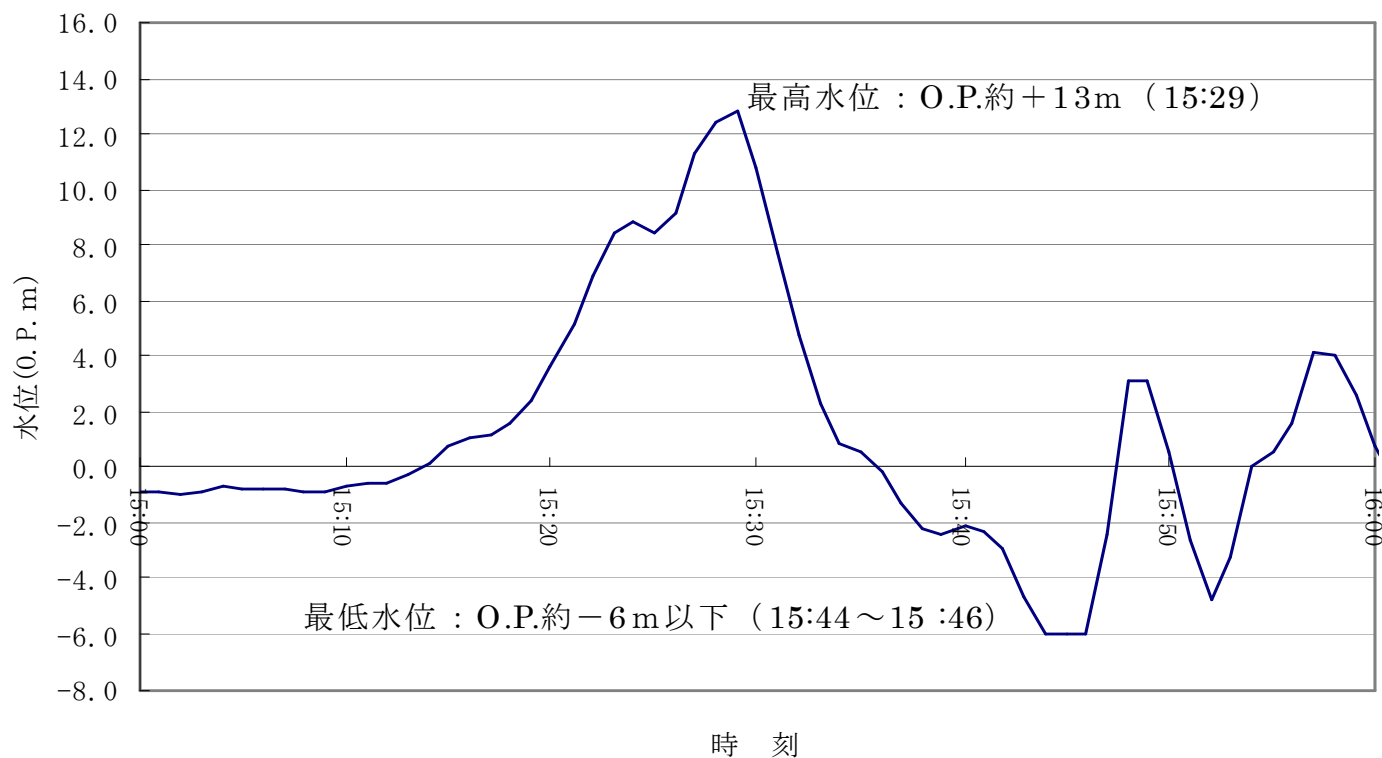
- 地震に伴う発電所敷地の地盤沈下量を把握するため、GPS測量を実施
- 発電所敷地の地盤は、一様に1m程度沈下していることを確認



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 敷地内外における津波調査(5/5)

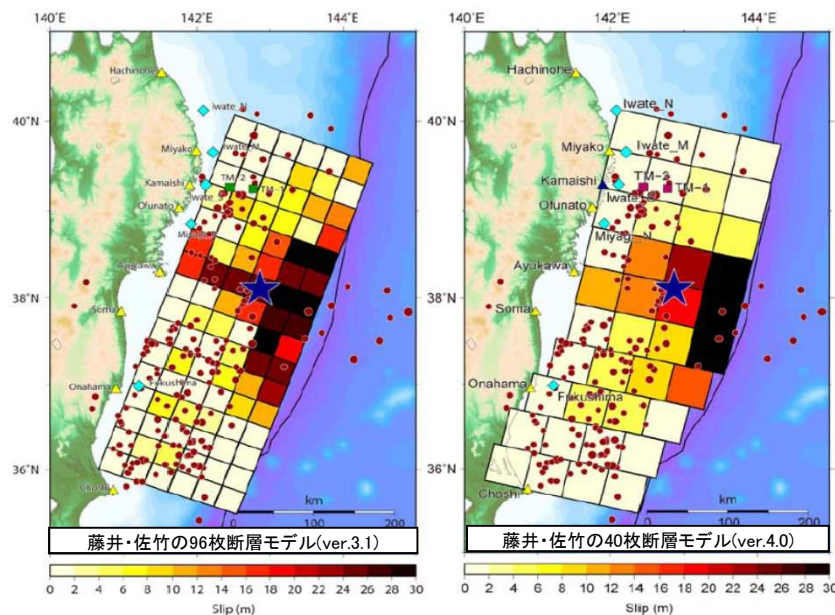
### (4) 津波の水位

- 女川原子力発電所の潮位計で観測された津波の高さ(最高水位)は、敷地の地盤沈下約1mを考慮すると、O.P.約+13m(4月7日報告値と同値)

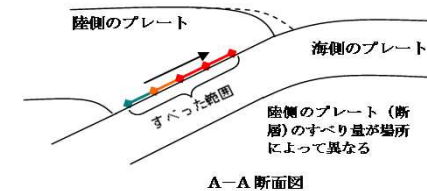
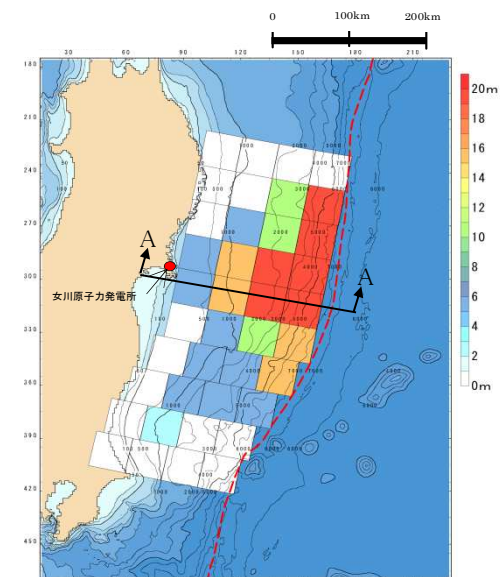
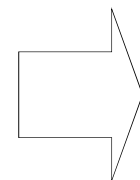


# 1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の再現解析結果(1/4)

- 藤井・佐竹(2011)の40枚断層モデルを基に女川原子力発電所近傍の痕跡高等を良好に再現する津波の波源モデルを作成



独立行政法人建築研究所HPより引用し加筆



A-A断面図

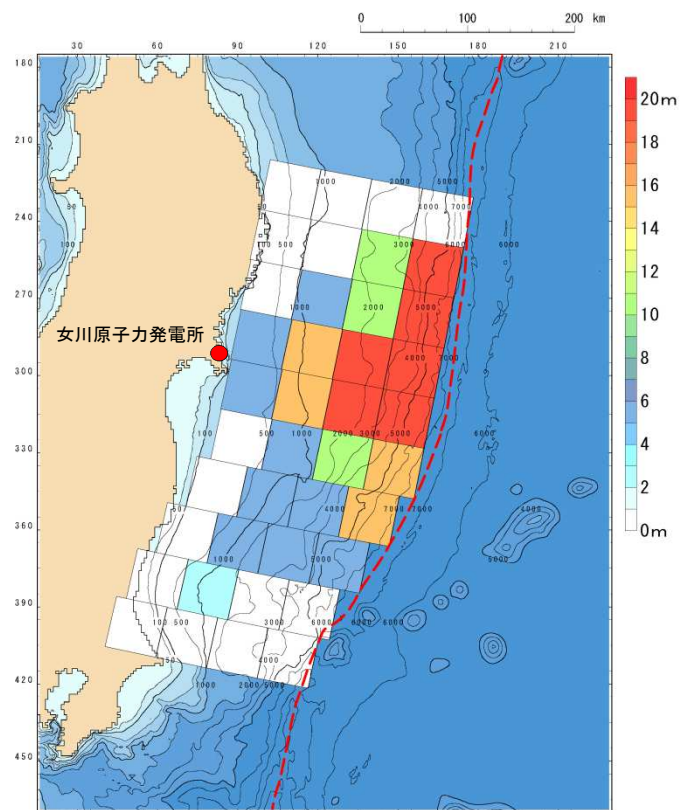
当社で作成した波源モデル(すべり量分布)

走向	傾斜角	断層上縁深さ	最大すべり量	モーメントマグニチュード Mw
193°	14°	3km	20m	8.94



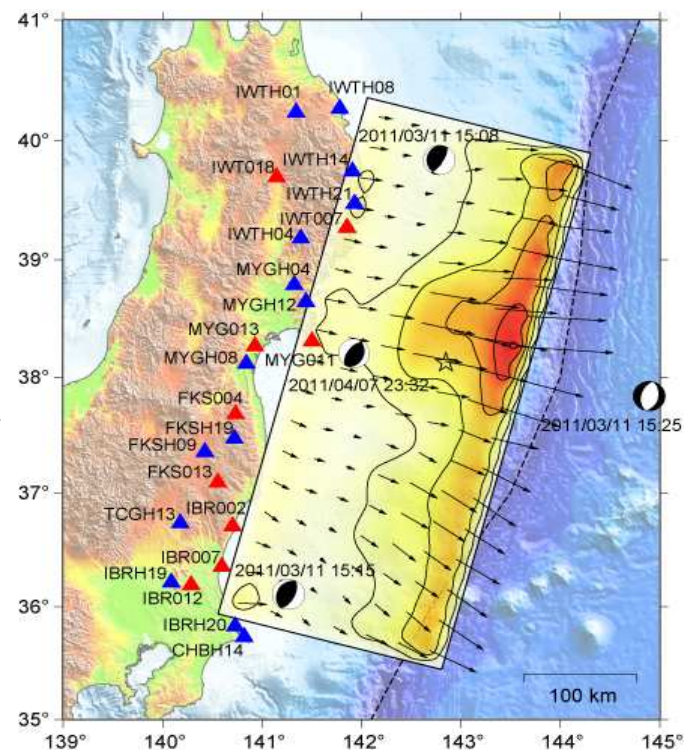
# 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の再現解析結果(2/4)

- 波源モデルの作成に当たっては、社外機関の地震動解析モデル等との整合性を確認しながら検討



当社で作成した波源モデル(すべり量分布)

整合的



防災科研による海溝近傍のすべり量を説明する地震波インバージョンの結果

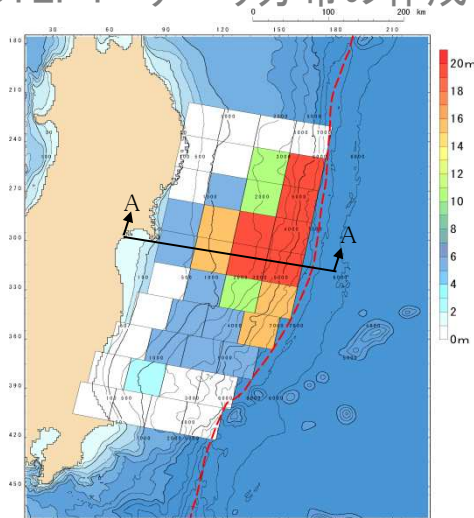
独立行政法人防災科学研究所HPより引用



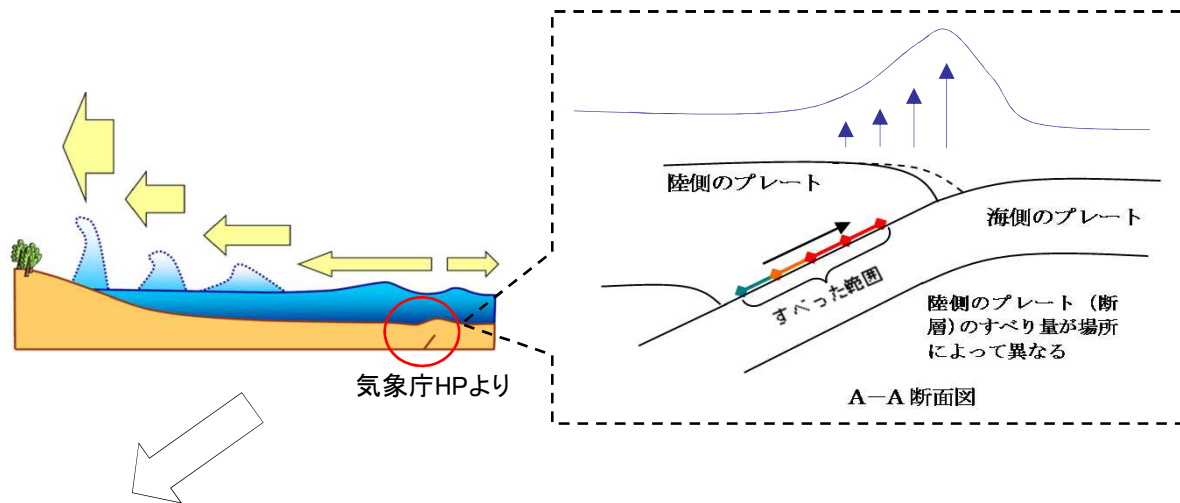
# 1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の再現解析結果(3/4)

## ●津波解析の流れ

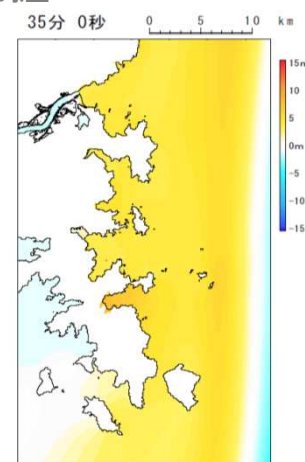
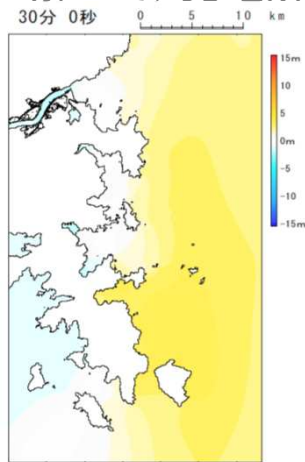
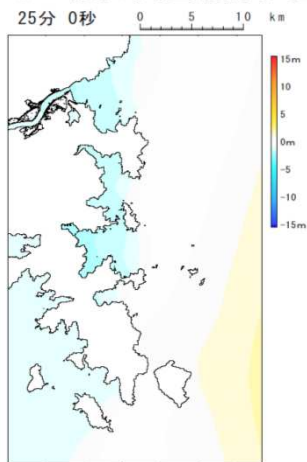
### ■ STEP1 すべり分布の作成



### ■ STEP2 地殻変動させる



### ■ STEP3 波の連続方程式を時々刻々に解いて、発電所への影響を把握

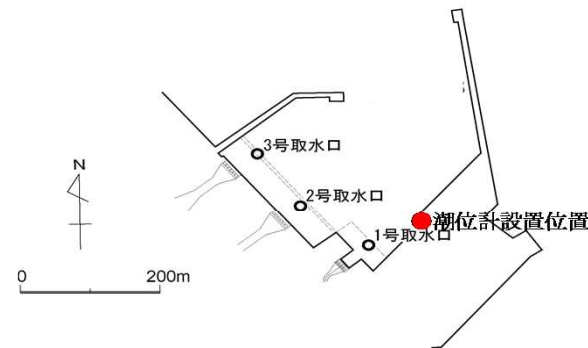
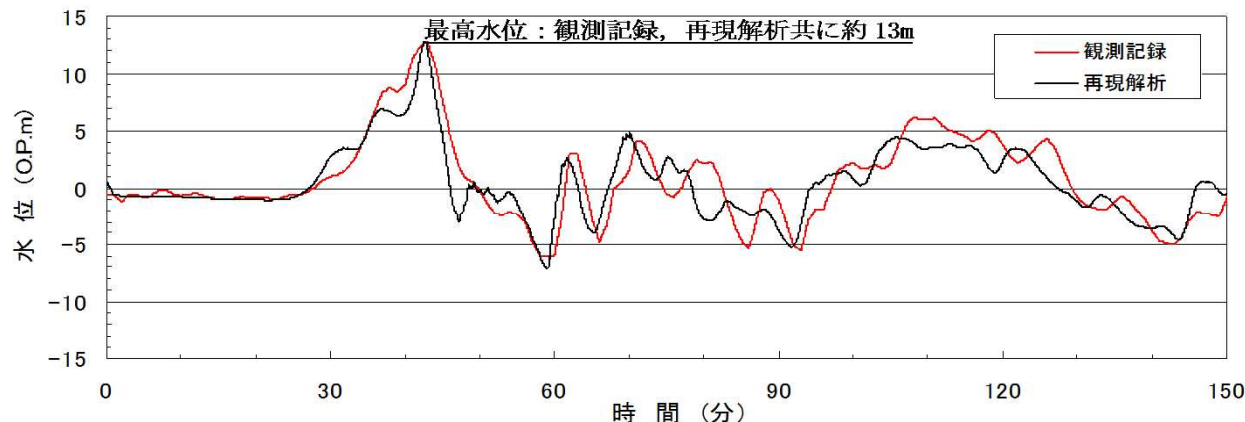




# 1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波の再現解析結果(4/4)

## 再現性の確認

●女川原子力発電所の潮位計で観測された水位と解析で得られた水位は良く一致している



●調査で得られた痕跡高と解析で得られた痕跡高も良く一致している(発電所近傍)

	K	κ
再現解析の結果	K=1.00	κ=1.04
土木学会(2002)による再現性の目安	0.95 < K < 1.05	κ < 1.45

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i \quad , \quad \log \kappa = \left[ \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - n(\log K)^2 \right\} \right]^{1/2}$$

$$K_i = R_i / H_i$$

$n$  : 地点数,  $R_i$  :  $i$ 番目の地点での観測値(痕跡高),  
 $H_i$  :  $i$ 番目の地点での再現解析結果

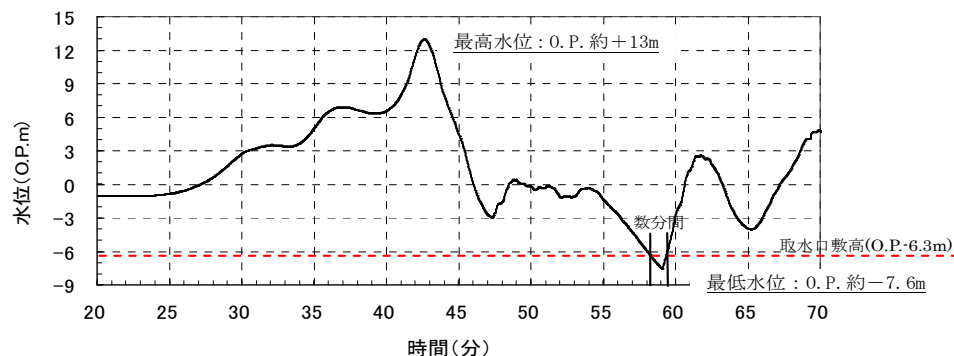
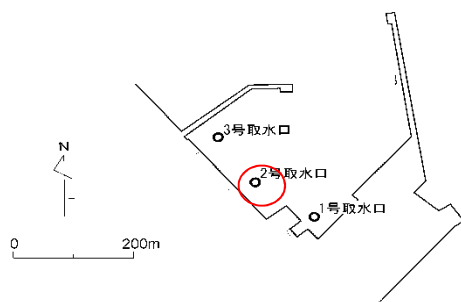
※:K, κは再現解析と痕跡調査結果との差やばらつきの程度を表す指標



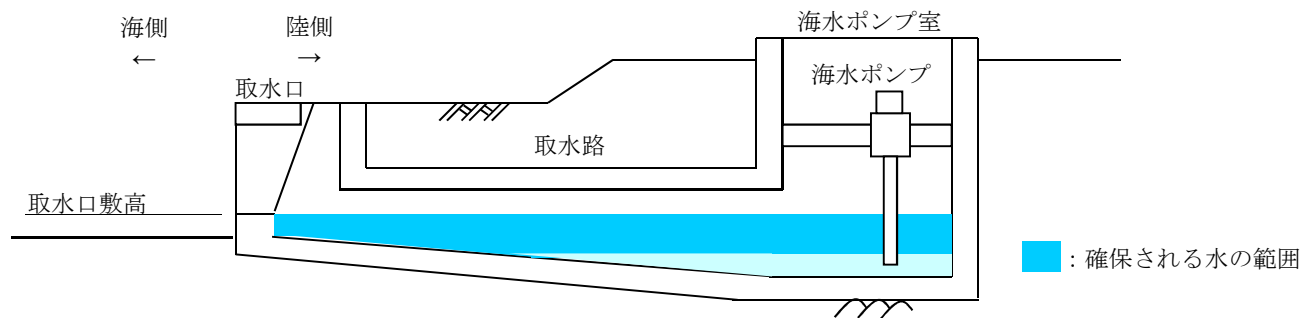
# 1.2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 発電所の安全性への影響の分析(1/3)

## (1) 津波に伴う水位下降の評価

- 1号～3号の取水口前面では最低水位O.P.約-7.6m
- 数分間程度、水位が取水口敷高を下回ったと推定
- 原子炉補機冷却系海水ポンプに必要な海水が1号機では約40分間、2, 3号機では約38分、取水設備内に確保される構造となっていることから、発電所の安全性に影響が無かったことを確認



取水口前面の水位と取水口敷高の関係(2号機の例)



取水設備の概要図(断面図)

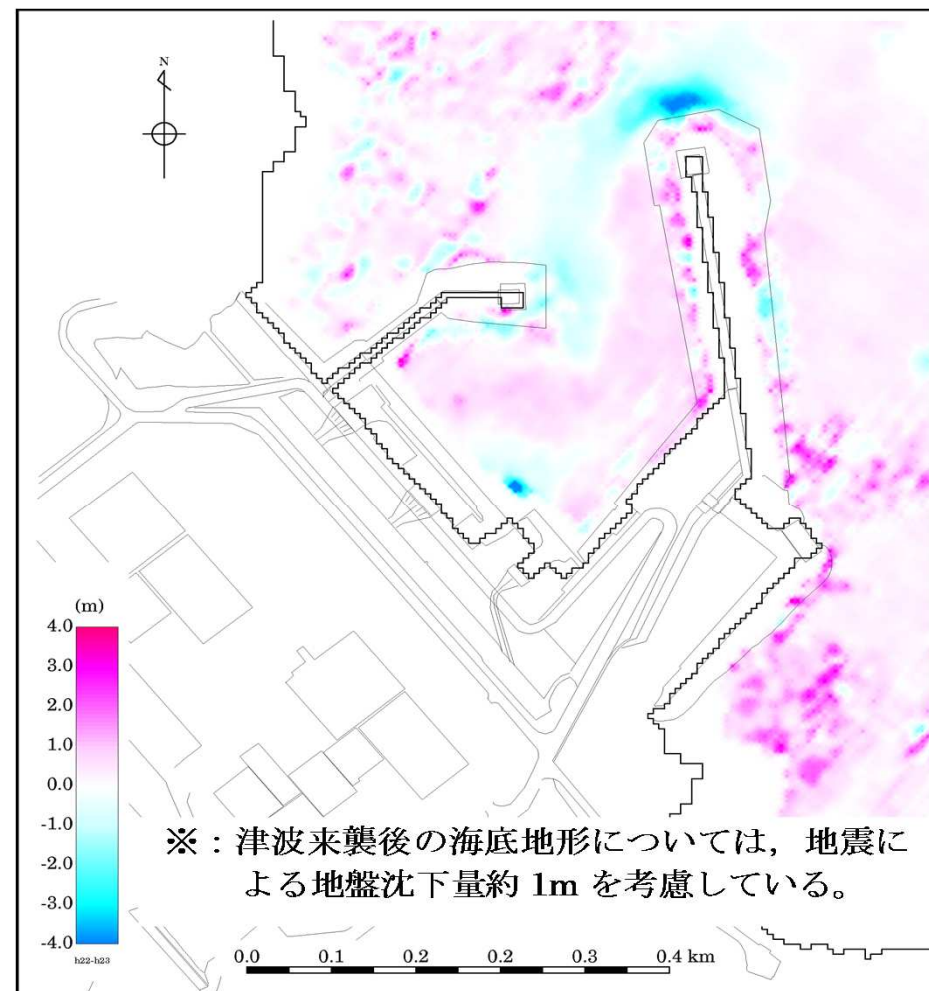


## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 発電所の安全性への影響の分析(2/3)

### (2) 津波に伴う砂の堆積, 海底の侵食状況

- 女川原子力発電所に来襲した津波に伴う砂の堆積, 海底の侵食状況を測量により把握
- 津波来襲に伴い, 0.5m~0.6m程度の砂の堆積, 最大5.5m程度の侵食を確認
- 津波に伴う堆砂により取水口が閉塞することはなかったことを確認

(原子炉補機冷却系海水ポンプに必要な海水が継続的に取水可能であったことを確認)



津波来襲前後の堆積侵食状況



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 発電所の安全性への影響の分析(3/3)

### (3) 各種構造物等の被害

- 既に女川1号重油貯蔵タンクの倒壊等を確認しているが、更に津波に伴う構造物等の被害を追加調査
  - 低い位置(O.P.+2.5m※)に設置されている小屋等に浸水による損傷を確認
  - 安全上重要な施設に新たな被害が無かったことを確認
- ※:地盤沈下量約1mを考慮した値



## 1. 2 東北地方太平洋沖地震により発生した津波の追加調査および再現解析結果 津波調査に係るまとめ

- 東北地方太平洋沖地震に際して女川原子力発電所に来襲した津波に係る追加調査および再現解析を実施した。
- 女川原子力発電所に来襲した津波を再現する波源モデルを作成した。
- この波源モデルのすべり量分布から、今回の津波は波源が広範囲に渡っており、日本海溝沿いのすべり量が大きい特徴があることが確認された。
- 追加調査等により、女川原子力発電所に来襲した津波に伴う水位下降や砂の堆積等が発電所の安全性に影響を及ぼさなかったことを確認した。



## 1.3 津波による被害状況 法令等報告対象事象(1/2)

- 法令等報告対象事象5件の被害(下表)のうち、津波起因による事象は2件。  
(事象の概要については、第1回検討会においてご説明済)

	設備名称	被害概要	原因
1号機	高圧電源盤	常用のA系高圧電源盤が焼損 (B系および非常用電源は問題なし)	地震
	屋外重油貯蔵タンク	倒壊	津波
	原子炉建屋 天井クレーン	走行部の損傷	地震
	非常用ディーゼル 発電機	高圧電源盤の焼損による影響で、電圧調整などに使用している回路が損傷	地震
2号機	補機冷却水系	原子炉補機冷却水B系および高圧炉心スプレー補機冷却水系が浸水 (A系の機能に問題はなし)	津波



# 1.3 津波による被害状況 法令等報告対象事象(2/2)

2号機 原子炉建屋 付属棟  
(海水流入)



敷地高さ: 13.8m  
(地震前 14.8m)

港湾高さ: 2.5m  
(地震前 3.5m)

1号機重油タンク  
(倒壊)



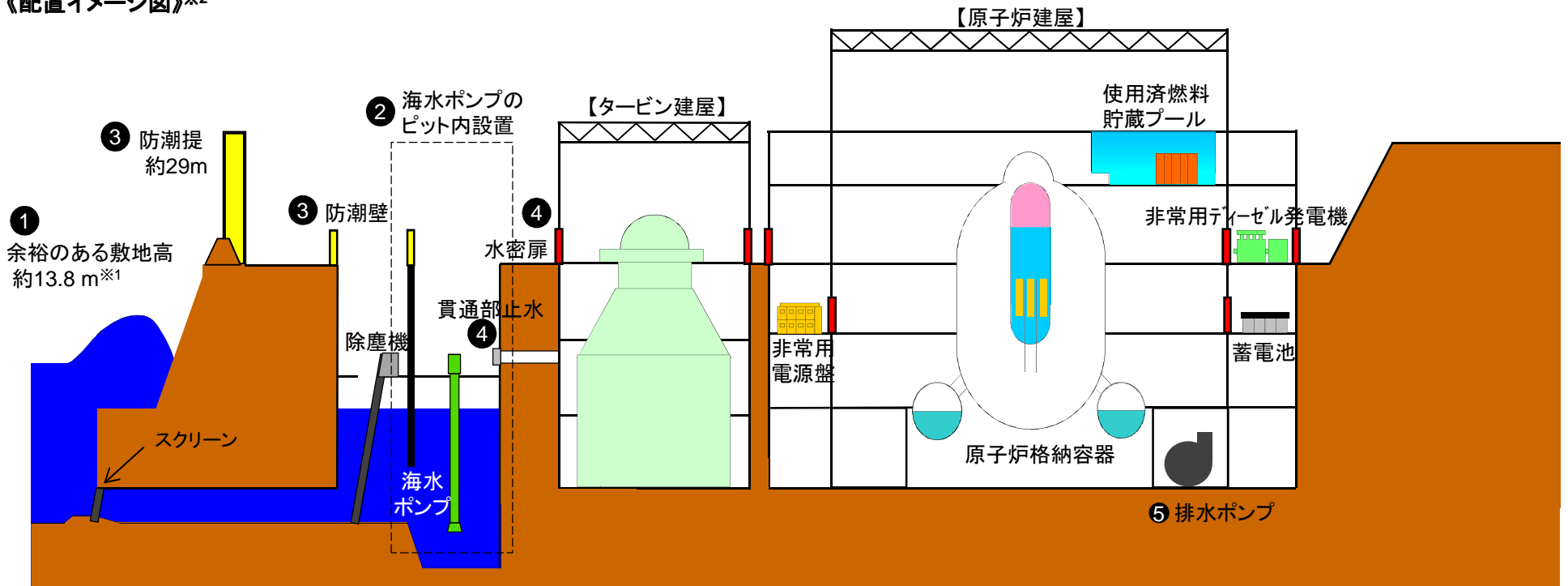
## 1.4 津波への対応

# 津波に対する従来からの備えと福島第一事故を踏まえた対策

●建設時に設計した「余裕のある敷地高」に加え、防潮堤・壁、水密扉などの対策により巨大津波への備えを行っていく。

	1重	2重	3重	4重	5重
津波対策	① 余裕のある敷地高	② 海水ポンプのピット内設置	③ 想定津波高見直しに伴う防潮堤・防潮壁 <b>強化</b>	④ 水密扉, 貫通口止水 <b>多様化</b>	⑤ 排水ポンプ <b>多様化</b>
	津波の敷地・建屋内への浸水を防ぎ、安全上重要な機器の機能喪失を回避				

《配置イメージ図》※2



※1 女川周辺の地盤沈下(約1m)を考慮

※2 機器設置位置はプラント毎に異なる





### まとめ

- 東北地方太平洋沖地震により発生した津波による女川原子力発電所の安全性に影響を及ぼす被害はなかった。
- 東日本大震災以降、福島第一事故から得られた知見や、震災の教訓などを踏まえた緊急安全対策等を実施。
- その後も、万一の事故の際に、その進展段階に応じてそれぞれ対策を講じる「深層防護」と、各段階の対策に二重・三重の厚み(多様化・多重化)を加えることを基本的な考えとし、重要な安全機能をハード・ソフト両面から強化する取り組みを継続的に実施。
- 今後も、新規制基準の要求に満足せず、自主的かつ継続的な安全性向上に取り組んでいく。

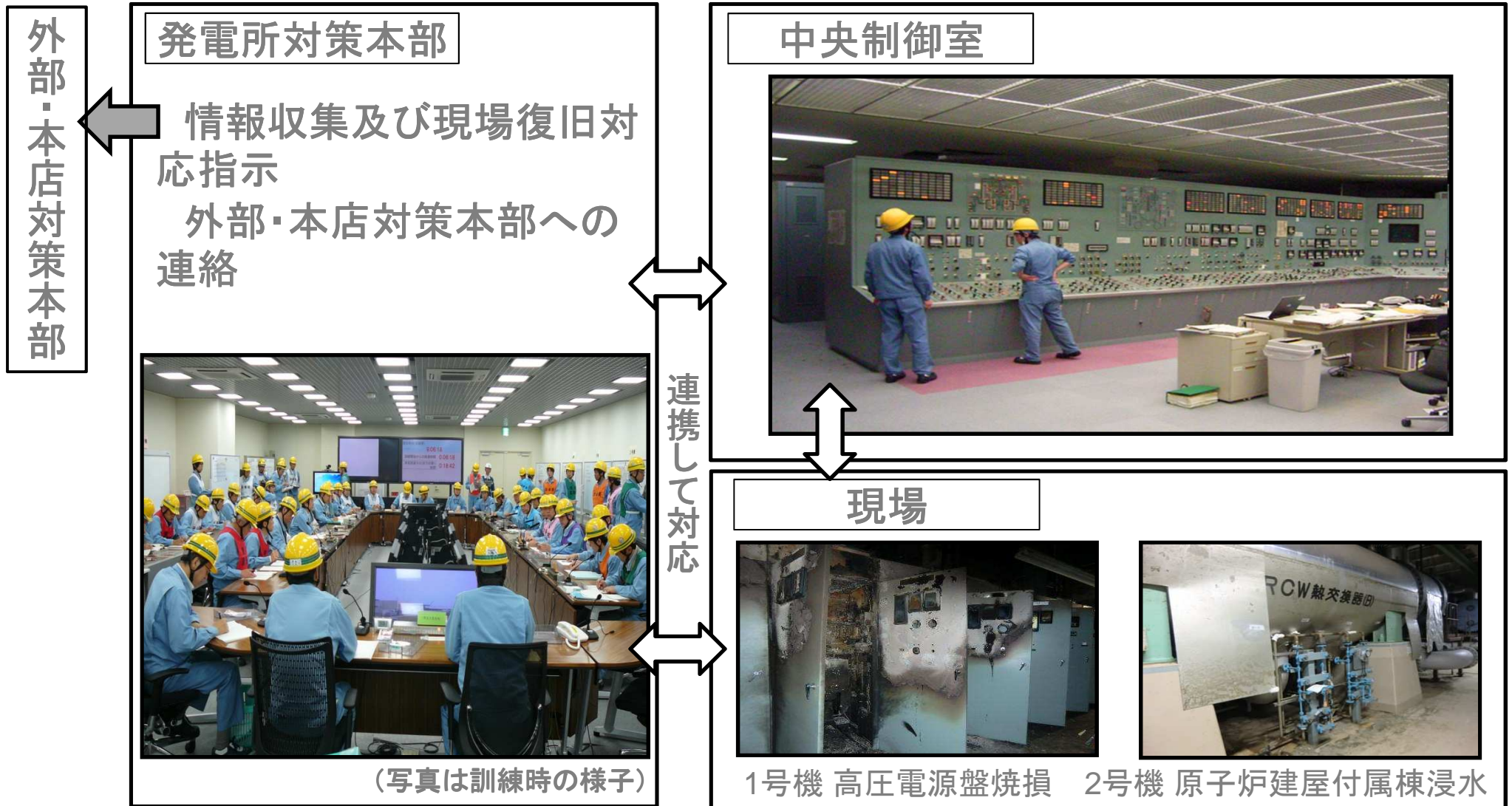
## 2. 東日本大震災時におけるソフト面 での対応状況および教訓について (No.11,12,13,14,15関連)



# 2.1 東日本大震災時における発電所の対応について(1/5)

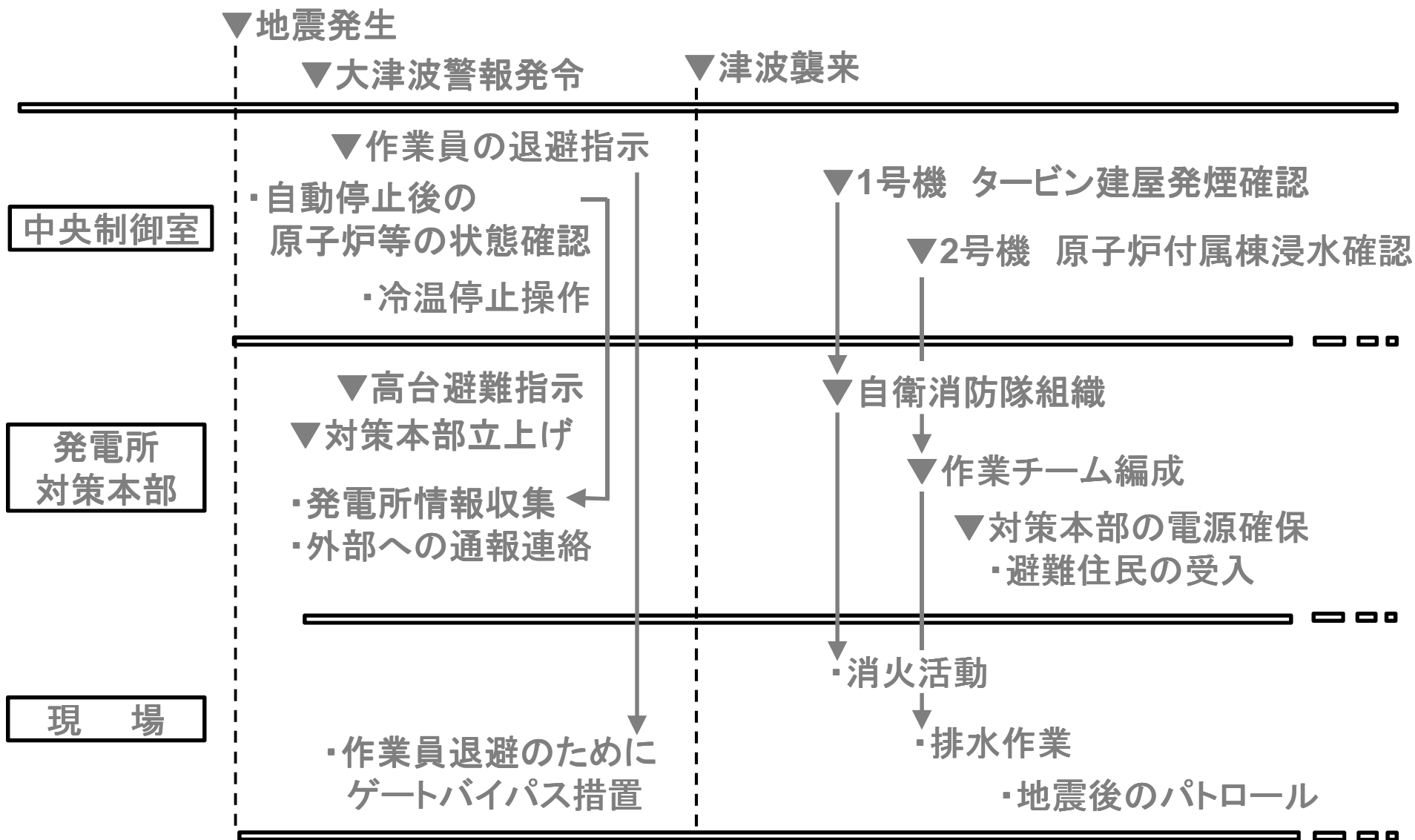
No.11, 12関連

## 《発電所の状況》



# 2.1 東日本大震災時における発電所の対応について(2/5)

No.11, 12関連



### 《中央制御室の状況》

- 地震発生当初，制御盤の手すりに掴まりながら，原子炉等の状態を監視。その後，冷温停止操作に移行。
- 原子炉等の状態を逐次，対策本部に連絡。(津波襲来状況含む)



- 1号機高圧電源盤発煙状況や2号機原子炉建屋付属棟の浸水状況の現場確認を行い，対策本部に報告。

### 《現場の状況》

#### 1号機高圧電源盤焼損



- 地震の揺れによりショートし、火災が発生
- 自衛消防隊を組織して、消火活動を実施
- 消火活動は、現場が煙で充満しており、酸素ポンベを背負いながら、交替して対応

#### 2号機原子炉建屋付属棟浸水



- 約2.5mの浸水
  - 浸水した水については、放射能を測定した上で、排水
- 地下3階から地上まで汲み上げるには、高低差が大きく、仮設ポンプ1台だけで汲み上げられず、中継用溜め升を設置して排水

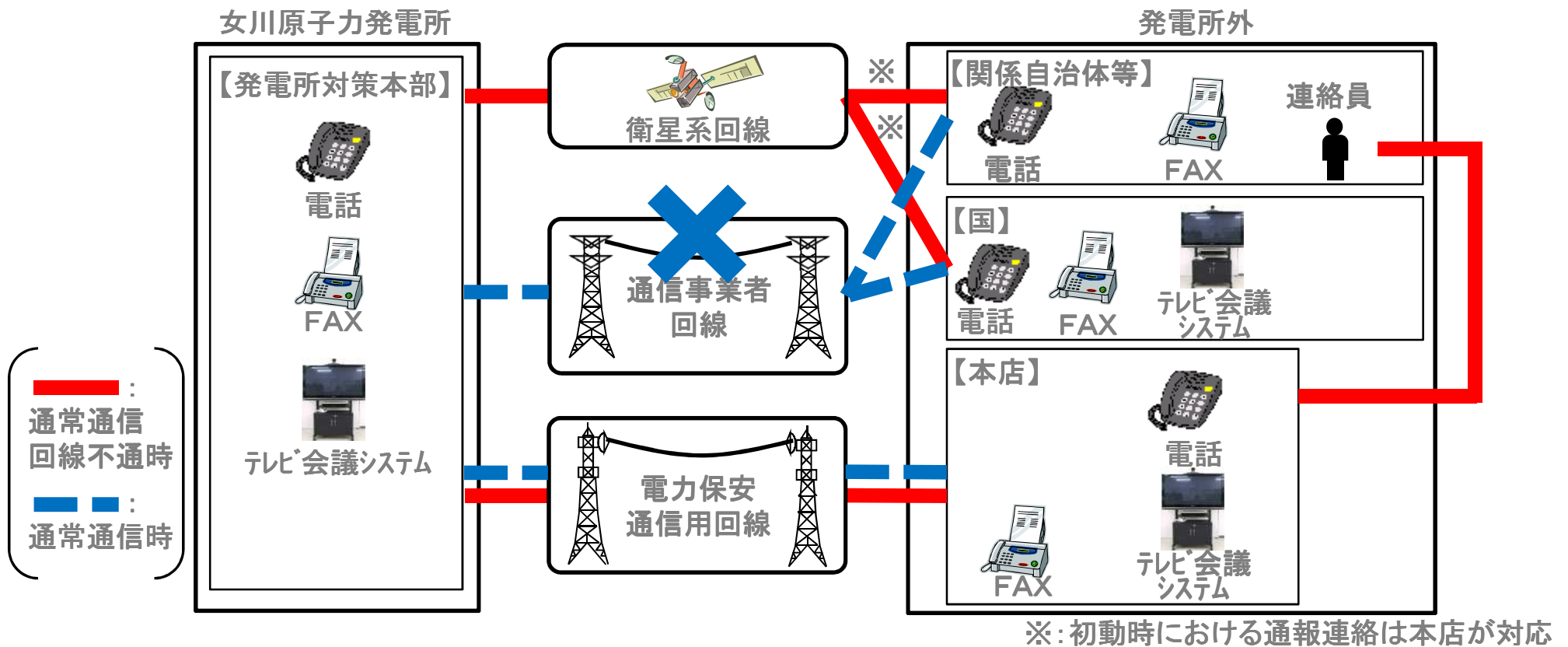
# 2.1 東日本大震災時における発電所の対応について(5/5)

No.12関連

## 《発電所対策本部の状況》

- 津波により通常の通信回線が不通となり、以下のとおり通報連絡を実施。

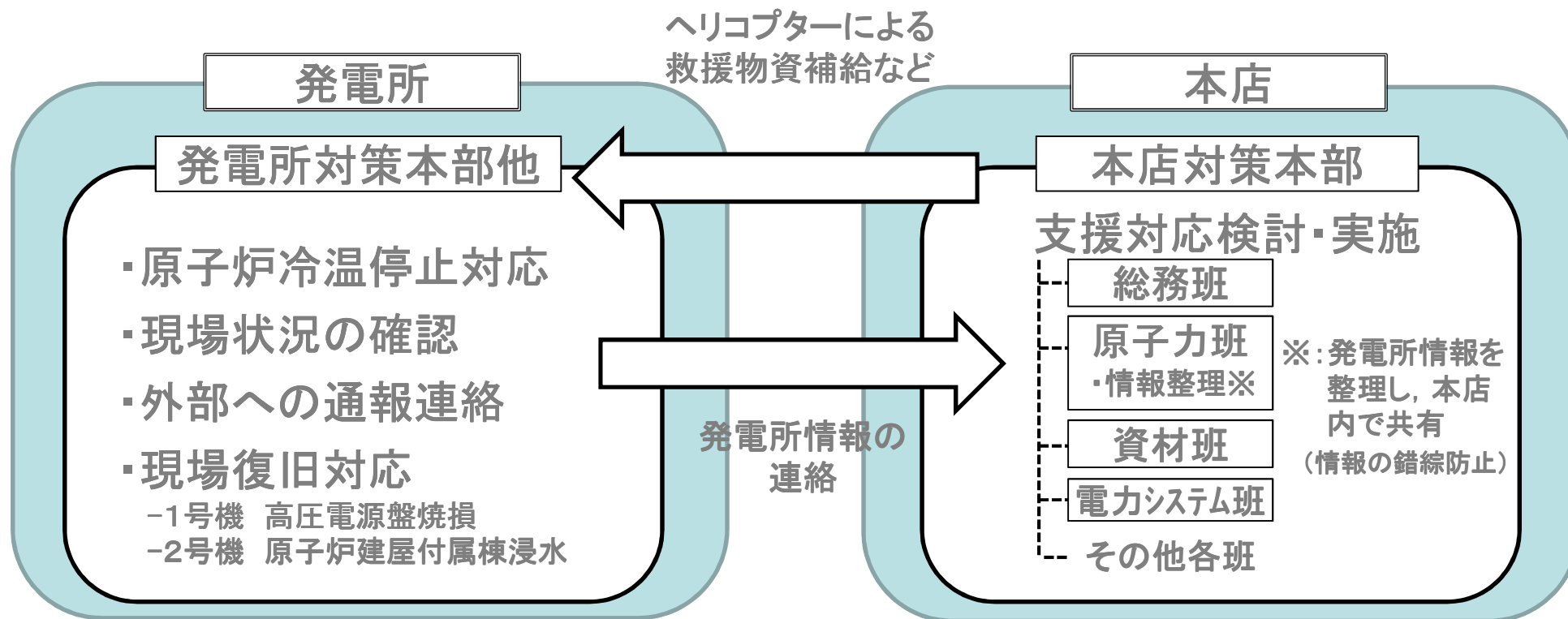
関係自治体等	衛星系回線端末で連絡または連絡員を派遣して連絡
国	衛星系回線端末で連絡



## 2.2 東日本大震災時における指揮命令系統について

No.13, 14関連

- 3.11震災時における当社の指揮命令系統は、これまでのトラブル対応や訓練で得た経験を活かし、発電所は現場対応に専念、本店は発電所を支援するとの基本的な考えに基づき対応。
- 指揮命令系統に大きな混乱はなく、全社体制で発電所の復旧対応を支援。





## 2.3 東日本大震災におけるソフト面での教訓と対応について(1/2)

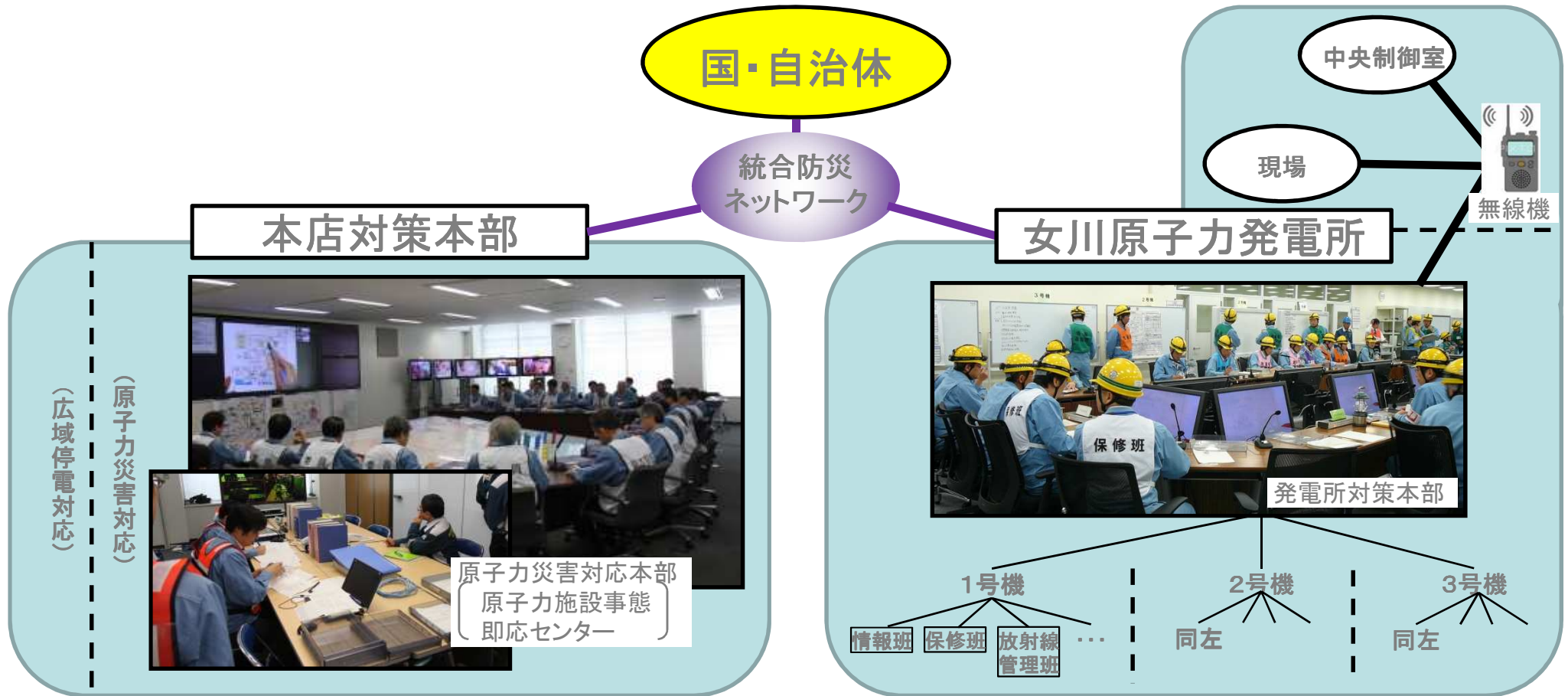
No.15関連

教訓内容	対 策
国との連携強化	社内に「原子力施設事態即応センター」を設置
複数号機同時発災した際の体制構築	発電所対策本部の号機専任体制を構築
原子力災害時の対応手順	①対応手順を見直し, 充実化 ②防災訓練を通して, 対応手順を検証
現場作業員との連絡手段の確保	無線機の追加配備
原子力災害および広域停電の同時発災時における体制整備	本店対策本部の体制構築 (原子力災害対応と広域停電対応の分任)
原子力災害対策の支援を行う施設	災害が発生した発電所の後方支援を行うため, 災害対策支援拠点を設置
通信設備の信頼性向上および通信量増強	外部との通信機能の多重化・多様化のため, 統合原子力防災ネットワークを整備

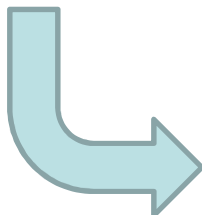


# 2.3 東日本大震災におけるソフト面での教訓と対応について(2/2)

No.15 関連

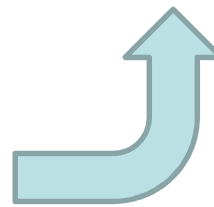


物資・人員  
の手配



## 災害対策支援拠点

- 本店ビル
  - 石巻ヘリポート(当社施設)
- 輸送中継および出入管理等の拠点として活用



支援



### 3. 事業者による防災訓練の充実化について (No.81関連)



## 3. 1 事業者による防災訓練の充実化について(1/2)

### 《総合訓練》

震災以降は、対応要員の能力向上を図るため、訓練シナリオ等のバリエーションを広げて実施

	震災前	震災後
シナリオ	訓練参加者に訓練シナリオの詳細を事前提示して訓練実施	訓練参加者に訓練シナリオの詳細は提示せず、概要のみ提示して、フレキシブルに訓練を実施
発災想定	平日の発災を想定	休日の発災も想定
評価体制	社内関係者による訓練評価を実施	社外機関による訓練評価を実施

### 《要素訓練》

総合訓練以外にも、現場対応力向上のために定期的に個別の要素訓練を実施

- 中越沖地震の教訓から、巨大地震に起因した全ての交流電源が喪失した状態を想定した運転訓練を実施
- 社員自らが対応できるように、実働訓練を実施（夜間・天候不良時にも実施）
  - －電源車の接続を行う電源確保訓練
  - －原子炉への注水のために消防車のホースを接続する冷却確保訓練
  - －ホイールローダの重機によるがれき撤去訓練
- 社内関係者による要素訓練の評価を実施



## 3. 1 事業者による防災訓練の充実化について(2/2)

- 全ての交流電源が喪失した状態を想定した運転訓練



- 冷却確保訓練(可搬式ポンプおよび消防車による原子炉冷却手段確保)



- 電源確保訓練(高台電源センターでの電源車による電源確保)



- ホイールローダによる夜間のがれき撤去訓練

