

女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■女川原子力発電所の立地条件

- ・女川発電所は、地形変化に富む三陸海岸に面している。津波が増幅しやすいリアス式海岸である。三陸沿岸は、過去に多くの津波を経験している。
- ・原子炉機器冷却用水は、港内に設けられた取水口から取水する構造となっている。

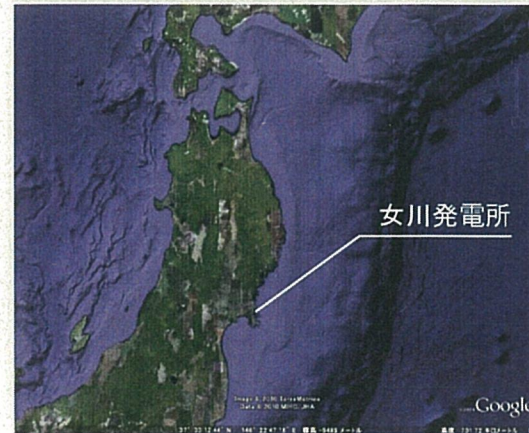


写真1 敷地前面海域



写真2 女川発電所の施設周辺

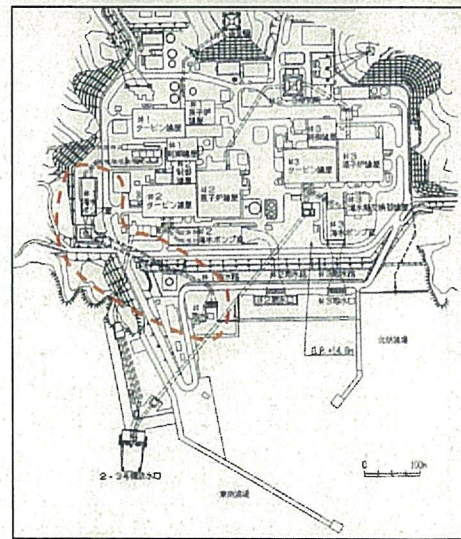


図1 女川発電所平面図

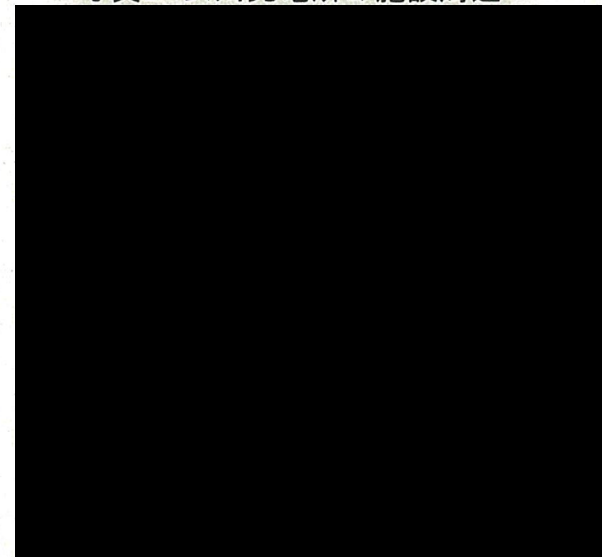


図2 女川1号機取水設備平面図

■津波に係るクロスチェック解析の基本方針

- ・土木学会の「原子力発電所の津波評価技術（2002）」に準拠して、原子炉施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性のある津波を想定し、その津波によって施設の安全機能が損なわれることがないことを確認する。
- ・想定津波に対して施設が安全であることを判断するために、以下の項目について具体的な基準（**安全性判断基準**）を設定し、津波解析等の結果が、この基準を満足することを確認する。

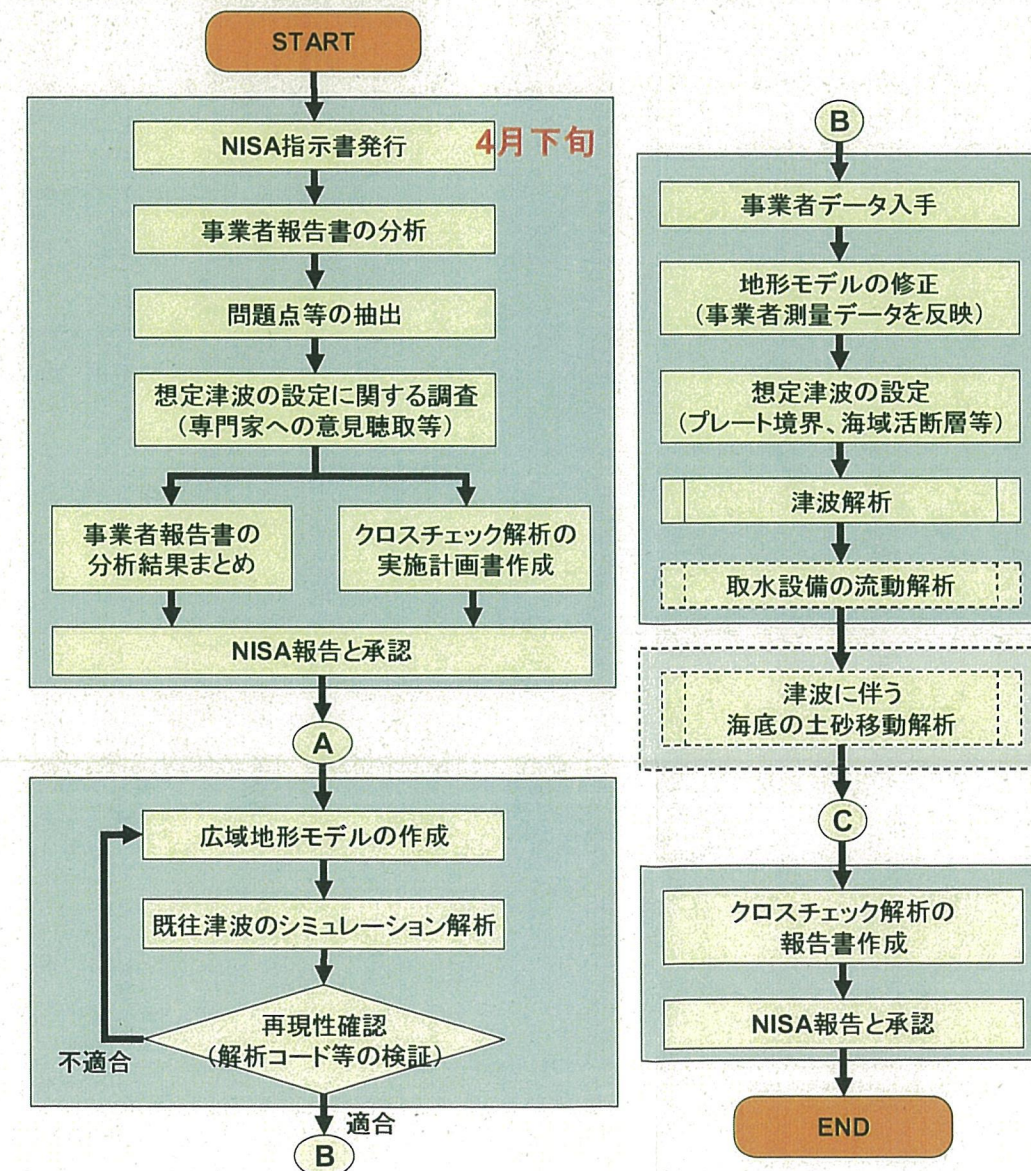
- ① 想定津波が敷地内に侵入し重要機器が冠水することがないこと
- ② 原子炉機器冷却系の取水に支障がないこと

- ・上記の方針に基づき、事業者の耐震バックチェック報告書を分析し、その妥当性を確認する。

■津波に対する安全性判断基準

- ① 想定津波が敷地内に侵入し、重要機器が冠水することがないこと
 - ・想定津波による最高水位が、敷地レベルを上回らないこと。
 - ・想定津波による最高水位が、敷地レベルを上回る場合には、浸水範囲を評価し、その範囲内に重要機器が存在しないこと、あるいは、浸水範囲内の水位が重要機器の機能喪失レベルを上回らないこと。
- ② 原子炉機器冷却系の取水に支障がないこと
 - ・想定津波による引き波時の海水ポンプ室の水位が、海水ポンプの設計最低水位（取水不能水位）を下回らないこと。
 - ・想定津波に伴う海底の土砂移動による取水口前面の堆砂高が、取水口の開口高を上回らないこと。

■津波に係るクロスチェック解析のフロー



女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■ JNESの解析ケース一覧

(a) 想定津波の津波解析

解析内容		内訳	ケース数	備考													
参考解析	日本海溝沿いに想定される地震に伴う津波	・最大水位上昇ケース ・最大水位下降ケース	2ケース	粗度係数n=0.030 遡上境界(岩崎・真野1979)													
基本解析 感度解析	日本海溝沿いに想定される地震に伴う津波	・概略パラメータスタディ(計12ケース)	30ケース	粗度係数n=0.025 遡上境界(小谷ら1998)													
		<table><tr><td>領域</td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">3</td><td>位置</td><td>基準, 北へ20km</td></tr><tr><td>走向θ</td><td>基準, 基準-5°、-10°</td></tr><tr><td rowspan="2">4</td><td>位置</td><td>基準, 北へ20km</td></tr><tr><td>走向θ</td><td>基準, 基準-5°、-10°</td></tr></table>			領域			3	位置	基準, 北へ20km	走向θ	基準, 基準-5°、-10°	4	位置	基準, 北へ20km	走向θ	基準, 基準-5°、-10°
		領域															
		3			位置	基準, 北へ20km											
走向θ	基準, 基準-5°、-10°																
4	位置	基準, 北へ20km															
	走向θ	基準, 基準-5°、-10°															
・詳細パラメータスタディ(計18ケース)																	
<table><tr><td>領域</td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">3</td><td>傾斜角δ</td><td>基準, 基準±5°</td></tr><tr><td>すべり角λ</td><td>基準, 基準±10°</td></tr><tr><td rowspan="2">4</td><td>傾斜角δ</td><td>基準, 基準±5°</td></tr><tr><td>上縁深さd</td><td>0, 1, 2km</td></tr></table>	領域			3	傾斜角δ	基準, 基準±5°	すべり角λ	基準, 基準±10°	4	傾斜角δ	基準, 基準±5°	上縁深さd	0, 1, 2km				
領域																	
3	傾斜角δ	基準, 基準±5°															
	すべり角λ	基準, 基準±10°															
4	傾斜角δ	基準, 基準±5°															
	上縁深さd	0, 1, 2km															
感度解析	869年貞観津波	・佐竹(2008)2ケース ・菅原モデル※(断層モデル詳細確認中)	3ケース														
感度解析	中防アスペリティモデル	・明治三陸タイプ地震 ・宮城県沖の地震 ・三陸沖北部の地震	3ケース														
感度解析	遠地津波	・1960年チリ津波(基準位置+1ケース) ・2010年チリ津波(1ケース)	3ケース														

(b) 取水設備の水理特性による水位変動 解析 および 砂移動解析

解析内容		内訳	ケース数	備考
基本解析	取水設備の水理特性による水位変動 解析	<ul style="list-style-type: none"> 最大水位上昇ケース 最大水位下降ケース 	2ケース	
参考解析	〃	〃	2ケース	
基本解析	砂移動解析(高橋ほか1999)	<ul style="list-style-type: none"> 最大水位上昇ケース($C_s=1\%$、5%) 最大水位下降ケース($C_s=1\%$、5%) 	4ケース	
参考解析	〃	<ul style="list-style-type: none"> 最大水位上昇ケース($C_s=1\%$) 最大水位下降ケース($C_s=1\%$) 	2ケース	

女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■JNESの解析条件

(1)津波解析

項目	計算条件						
基礎方程式	・全領域:非線形長波理論の連続式及び運動方程式						
各領域の解析条件	・格子サイズに合わせて設定						
	空間格子間隔(m)	1350	450	150	50	17	5
	時間格子間隔(s)	2.43	0.81	0.27	0.09	0.03	0.01
	地形モデル	海域のみ			海域および陸上		
	境界条件	陸側	完全反射条件			小谷らの遡上境界条件	
		沖側	自由透過条件	—	—	—	—
初期条件	・Mansinha and Smylieの方法を用いて設定。						
現象再現時間	・地震発生後5時間						
海底摩擦係数	・Manningの粗度係数 $n=0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$						
水平渦動粘性係数	考慮しない						

(2)砂移動解析

項目	計算条件
解析手法	高橋他1999
計算時間間隔 (s)	2.43~0.01(1/3接続)
計算格子サイズ (m)	1350~5m(1/3接続)
浮動小数点型	倍精度
現象再現時間	5時間
海水の密度 ρ (g/cm^3)	1.0
水の動粘性係数 (cm^2/s)	0.01
砂の密度 σ (g/cm^3)	事業者データ
砂の水中比重 s	事業者データ
砂の粒径 d (mm)	事業者データ
空隙率 λ	事業者データ
砂粒子沈降速度 w (cm/s)	Rubey式により算出
限界摩擦速度 u_c (cm/s)	設定する
飽和浮遊砂濃度	1%(基本)、5%(参考)
底面勾配の係数	2.0
砂移動解析の境界条件	評価領域外との砂流出入を考慮
陸側の境界条件	遡上あり
水平渦動粘性係数 (m^2/s)	—
Manningの粗度係数 n ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	0.025

女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■想定津波の検討(近地津波)

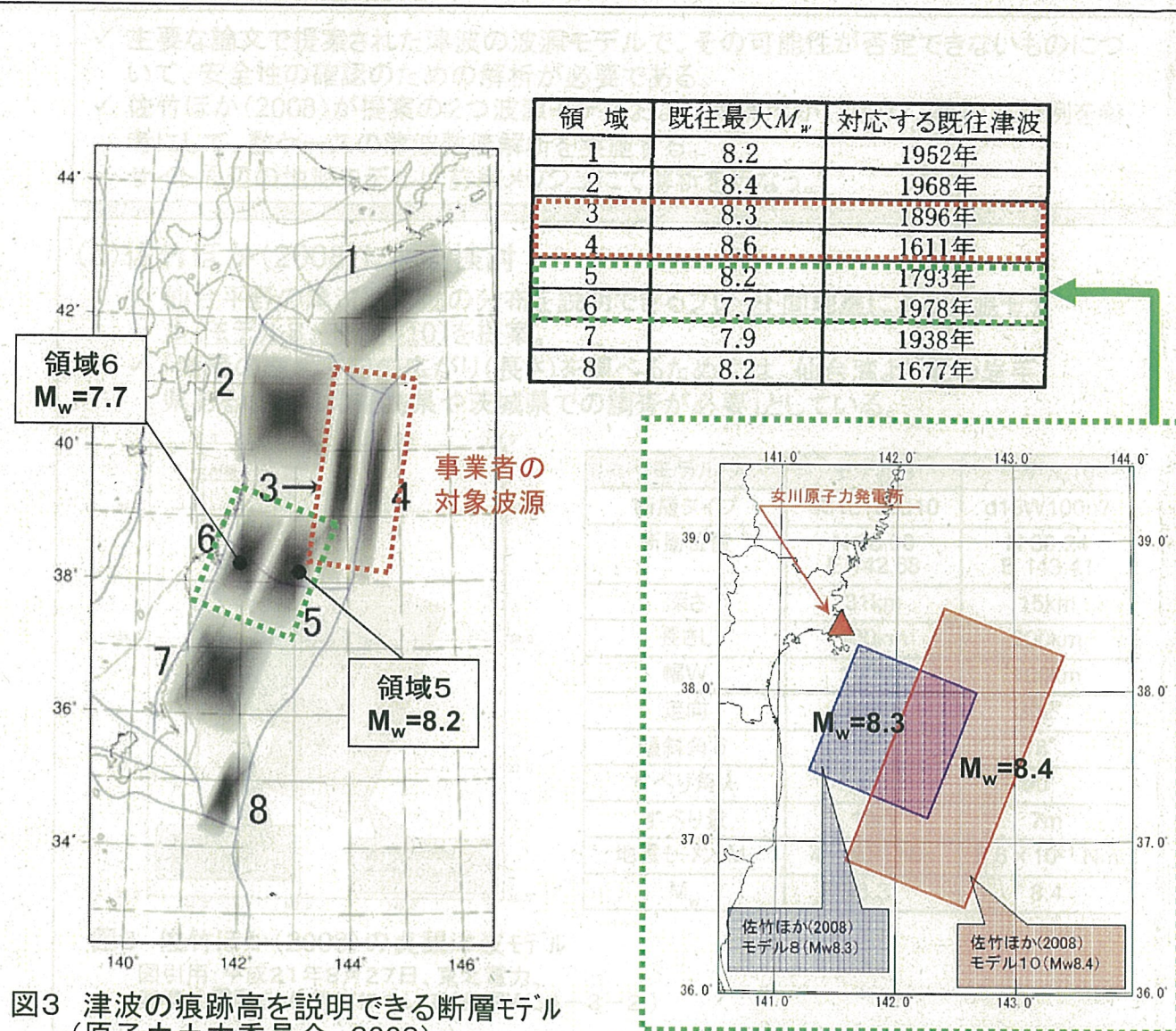


図3 津波の痕跡高を説明できる断層モデル
(原子力土木委員会、2002)
対象海域: 日本海溝沿い及び千島海溝(南部)沿い

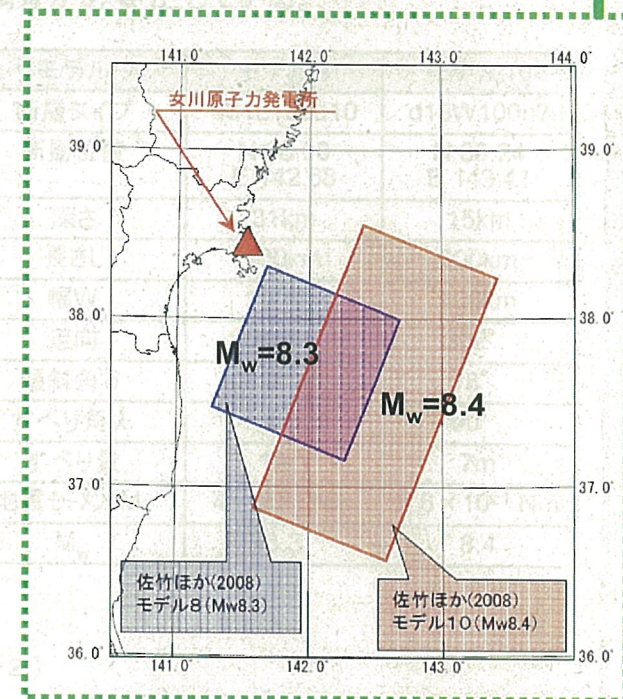
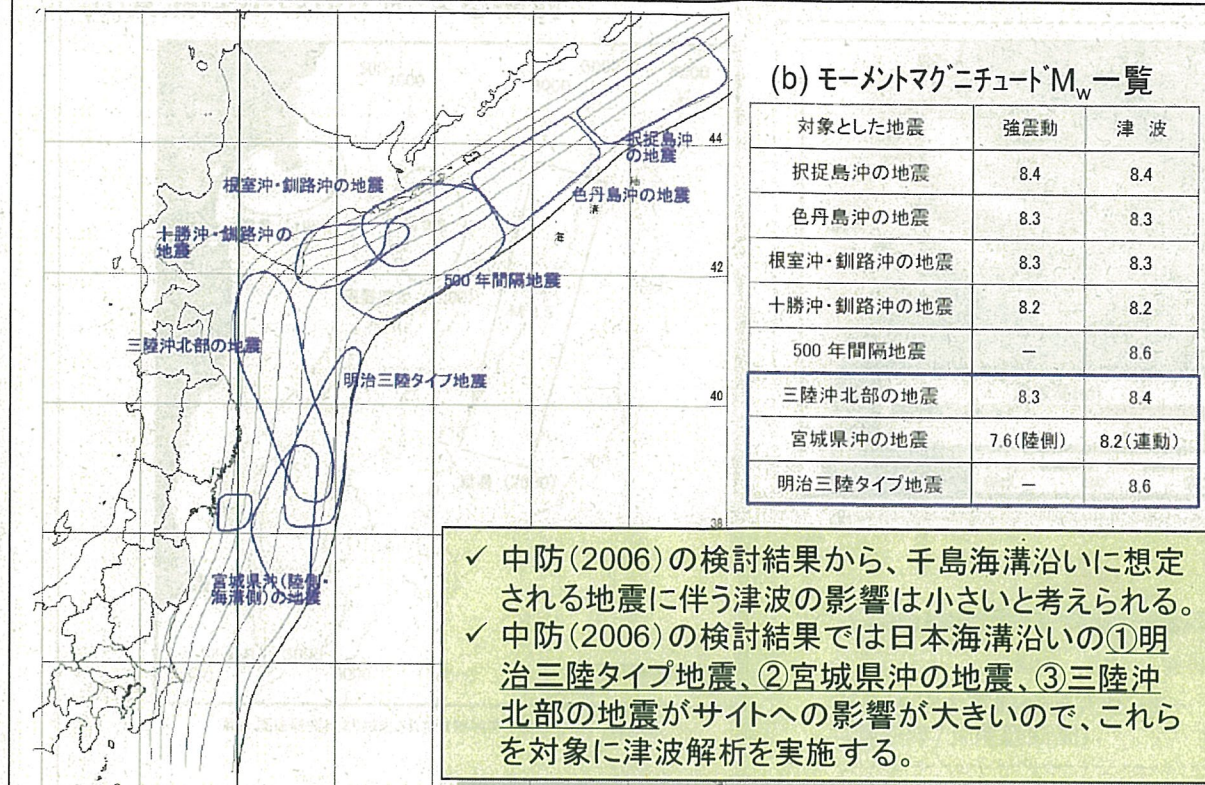


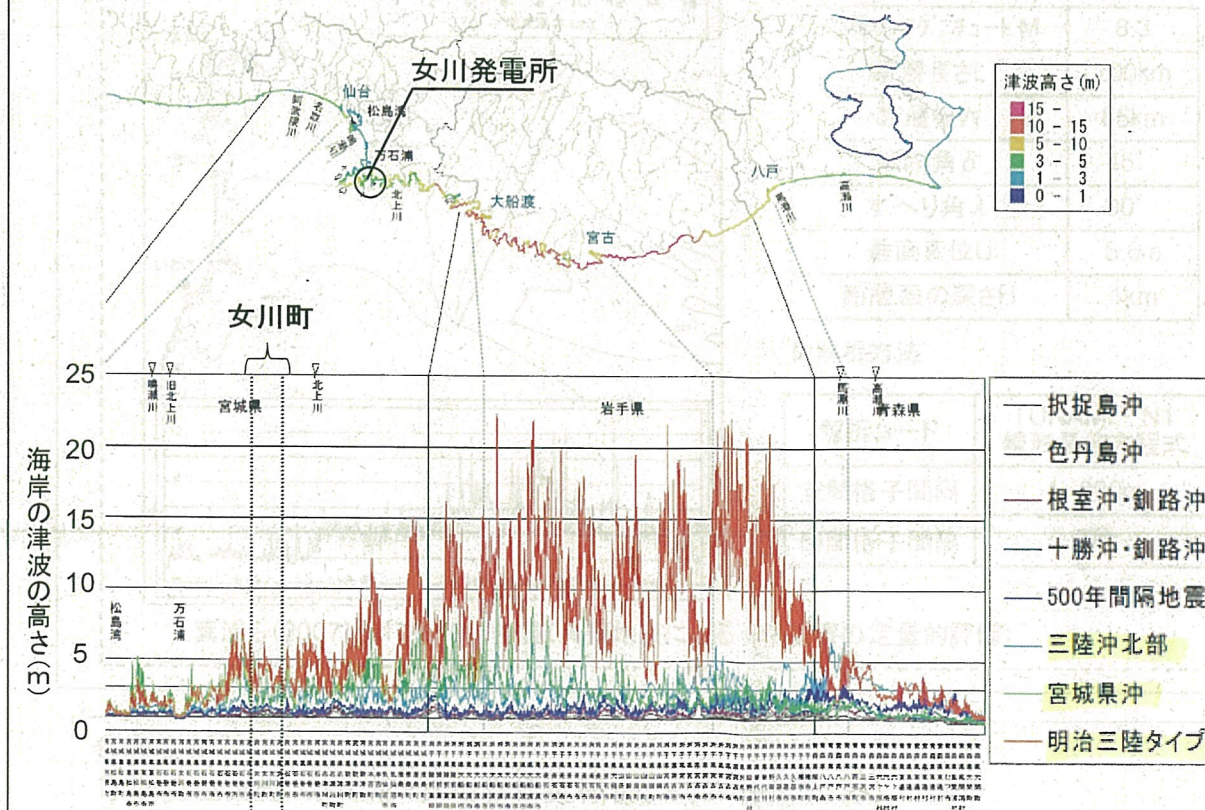
図4 佐竹ほか(2008)による869年貞観津波の断層モデル(プレート間地震)

図引用: 平成21年8月27日、東北電力、基準地震動 S_s の策定について(合同W34-3-2)

- ✓ 領域5、6には、869年貞観津波(最大 M_w 8.4)の波源域が存在するが、原子力土木委員会(2002)の基準断層モデルでは、領域5に M_w =8.2、領域6に M_w =7.7と設定している。
- ✓ 869年貞観津波を、想定津波の1つとして検討する必要がある。ただし、貞観津波の規模を反映した波源モデルを用いて、合理的な範囲で不確かさを検討する必要があるかについては、専門家にヒアリングを行うこととする。



(a) 津波を発生させる断層領域の模式図



(c) 海岸での津波高さの最大値

図5 中央防災会議(2006)「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」

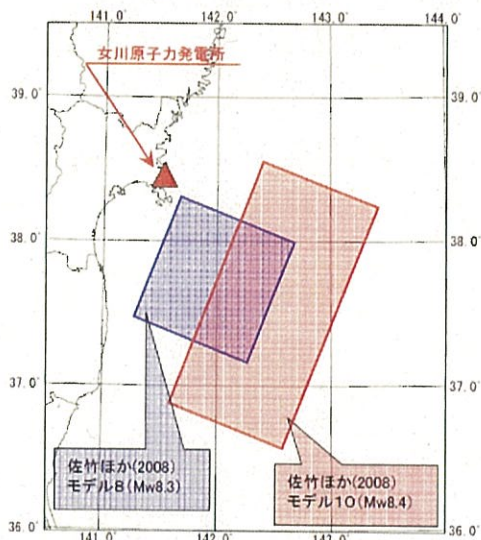
女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■869年貞観津波の検討方針

- ✓ 主要な論文で提案された津波の波源モデルで、その可能性が否定できないものについて、安全性の確認のための解析が必要である。
- ✓ 佐竹ほか(2008)が提案の2つ波源モデルおよび箕浦ほか(2007)、等の検討例を参考にして、数ケースの津波数値解析を実施する。
- ✓ サイト周辺の地形モデルは詳細メッシュにて解析を行なう。

(a) 佐竹ほか(2008)による検討

- ✓ 仙台平野の津波堆積物の分布を説明できるプレート間地震による波源モデル(モデル8、モデル10)を提案。
- ✓ 「断層の南北方向の広がり(長さ)を調べるためには、仙台湾より北の岩手県あるいは南の福島県や茨城県での調査が必要」としている。



モデル	モデル8	モデル10
断層タイプ	d31L100u10	d15W100u7
断層位置	N 38.00 E 142.68	N 38.24 E 143.41
深さ	31km	15km
長さL	100km	200km
幅W	100km	100km
走向	202°	202°
傾斜角 δ	18°	18°
すべり角 λ	90°	90°
すべり量	10m	7m
地震モーメント M_0	4×10^{21} Nm	5.6×10^{21} Nm
M_w	8.3	8.4

図6 佐竹ほか(2008)の貞観津波モデル

図引用:平成21年8月27日、東北電力、
基準地震動Ssの策定について(合同W34-3-2)

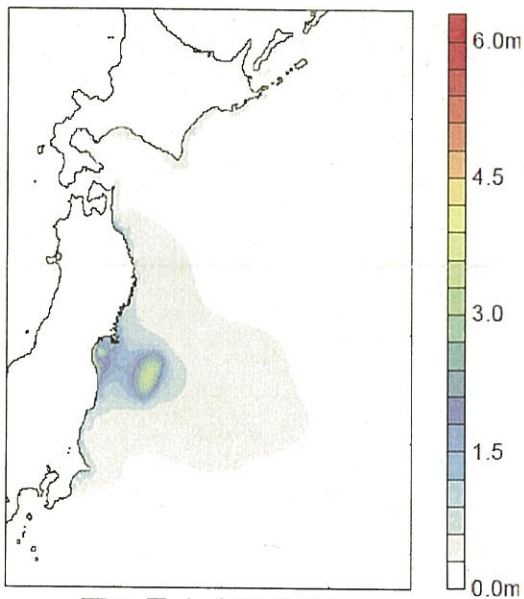


図7 最大水位分布
モデル8(d31L100u10)

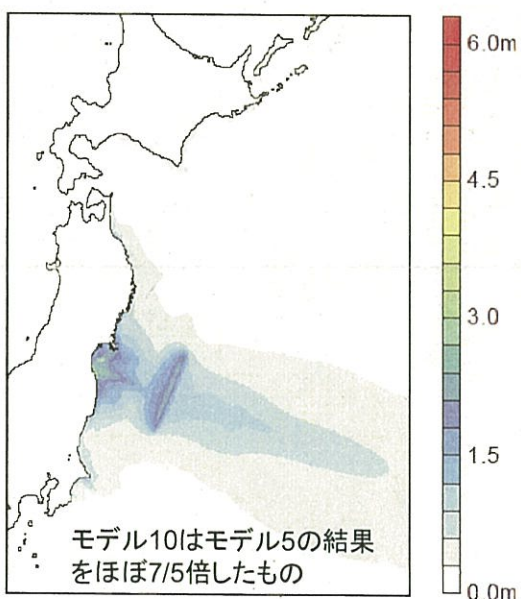


図8 最大水位分布
モデル5(d15W100)

(b) 箕浦ほか(2007)による検討

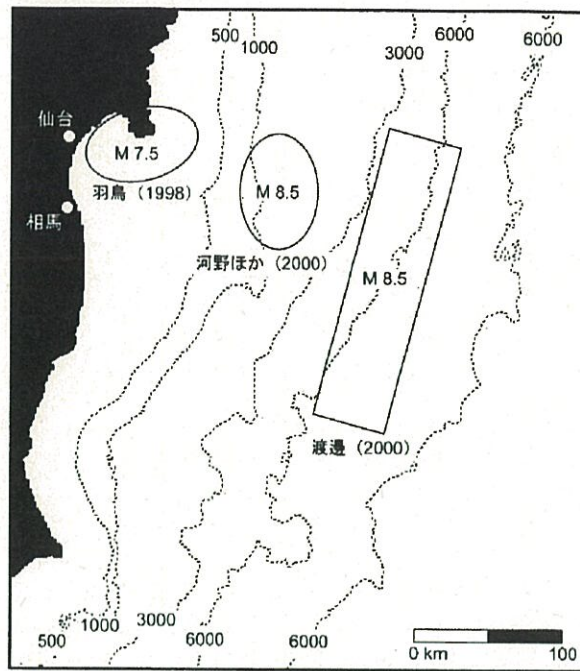
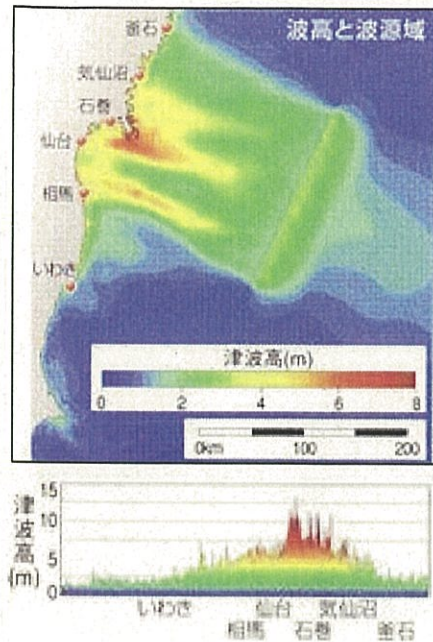
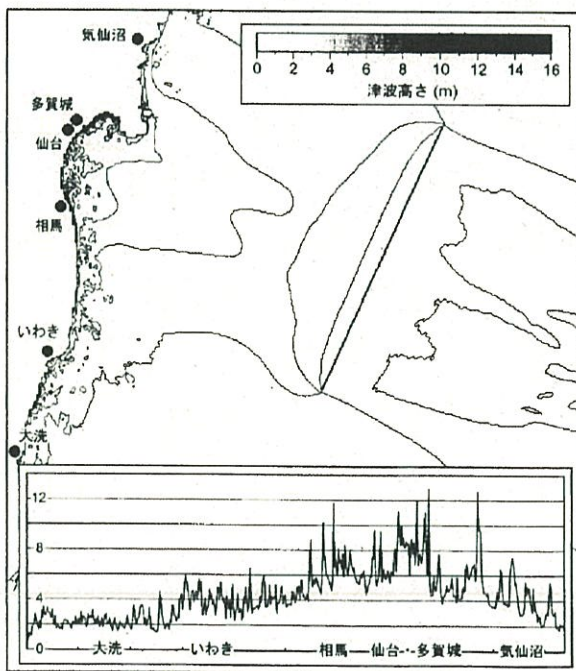


図2. 既往研究により推定された貞観地震の震源と津波の波源域。



東北大学大害制御研究センター
(2009年7月産経新聞)



箕浦ら(2007) H17~19報告書(貞観地震による津波災害の定量的評価)

■断層パラメータ

地震のマグニチュード M	8.3
断層長さL	200km
断層幅W	85km
傾斜角 δ	45°
すべり角 λ	90°
垂直変位U	5.6m
断層面の深さH	1km

■解析方法

解析コード	TUNAMI-N1 線形長波方程式
空間格子間隔	1,000m
時間格子間隔	2秒

参考文献

- 1) 佐竹健治他:活断層・古地震研究報告、8、71-89(2008)
- 2) K..Minoura, S.Nakaya: Journal of Geology, 99, 265-287 (1991)
- 3) 文部科学省「宮城県沖地震重点調査観測(代表機関:東北大学)」

女川原子力発電所の津波に係るクロスチェック解析の実施計画

■想定津波の検討(遠地津波)

(1)目的

- ①SANNAMI遠地津波解析コード(外洋伝播+近海伝播)、波源データ、地形データの妥当性の検証
- ②遠地津波の女川サイトへの影響評価

(2)原子力土木委員会(2002)での考え方

- ✓ 想定津波の対象は近地津波とすることを基本とし、必要に応じて、遠地の想定津波も対象とする。
- ✓ 日本沿岸に与える影響の大きいチリ沖等の遠地津波については、パラメータスタディによる水位の変動幅が狭く(高岡ら、2001)その影響が近地津波より小さいと考えられる。
- ✓ しかし、場合によっては遠地津波の方が評価地点における影響が大きくなることも考えられるので、遠地津波の方が大きくなることが予想される場合は、チリ沖等で発生する津波を対象として遠地津波の想定津波も評価する。

(3)実施内容

- ✓ 1960年チリ津波($M_w 9.5$)および2010年チリ津波($M_w 8.8$)の再現解析
- ✓ サイト前面の水位を評価

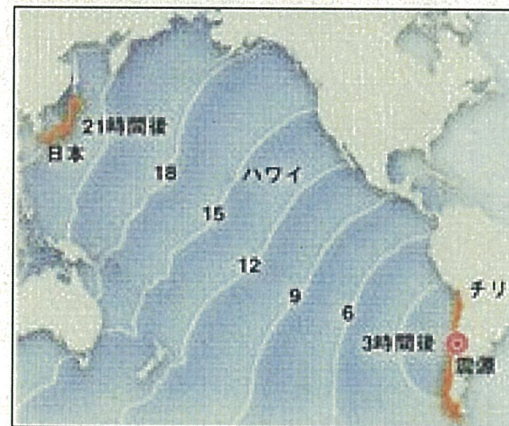


図1 2010年チリの震源と日本の位置関係(数字は津波到達時間)



図2 チリ津波の津波波源

■断層パラメータ

(※今後の文献調査で波源モデルを決定)

	1960年チリ津波 大森ら(2002)	1960年チリ津波 Kanamori&Cipar(1974) 原子力土木委(2002)	2010年チリ津波 DCRC-CASE1
モーメントマグニチュード M_w	9.3	確認中	8.8
長さL(km)	850	800	450
幅W(km)	180	200	100
上縁深さd(km)	1	1	—
すべり量D(m)	17	24	15
傾斜角 $\delta(^{\circ})$	20	10	14
すべり角 $\lambda(^{\circ})$	105	90	104
走向 $\theta(^{\circ})$	N7° E	N10° E	16

■解析条件: 地形メッシュサイズ5m程度

(3)実施内容(つづき)

- ✓ 1960年チリ津波を例とした感度解析
- ✓ サイト前面の水位を評価

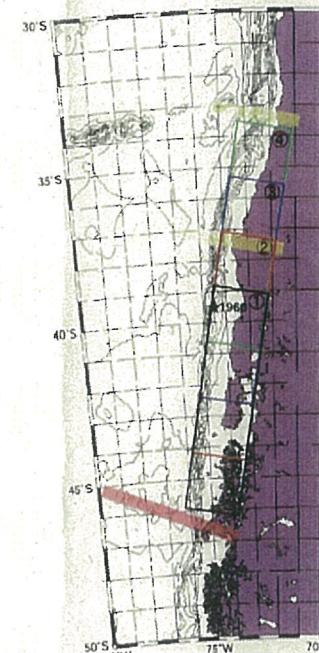


図3 断層位置図(原子力土木委員会2002)

■パラメータ項目パラメータ変動範囲

- ✓ 下記(a),(b)を参考に、位置と走向の感度解析を実施する。
- ✓ 近地津波の想定津波の解析結果と比較して小さくなることが確認できれば、これ以降の検討は行なわない。

(a) 原子力土木委員会(2002)

位置	基準: 断層モデル① 感度: 断層モデル②~④ (基準, 基準から北方向200, 400, 600km)
走向	基準 $\pm 10^{\circ}$

計9ケース

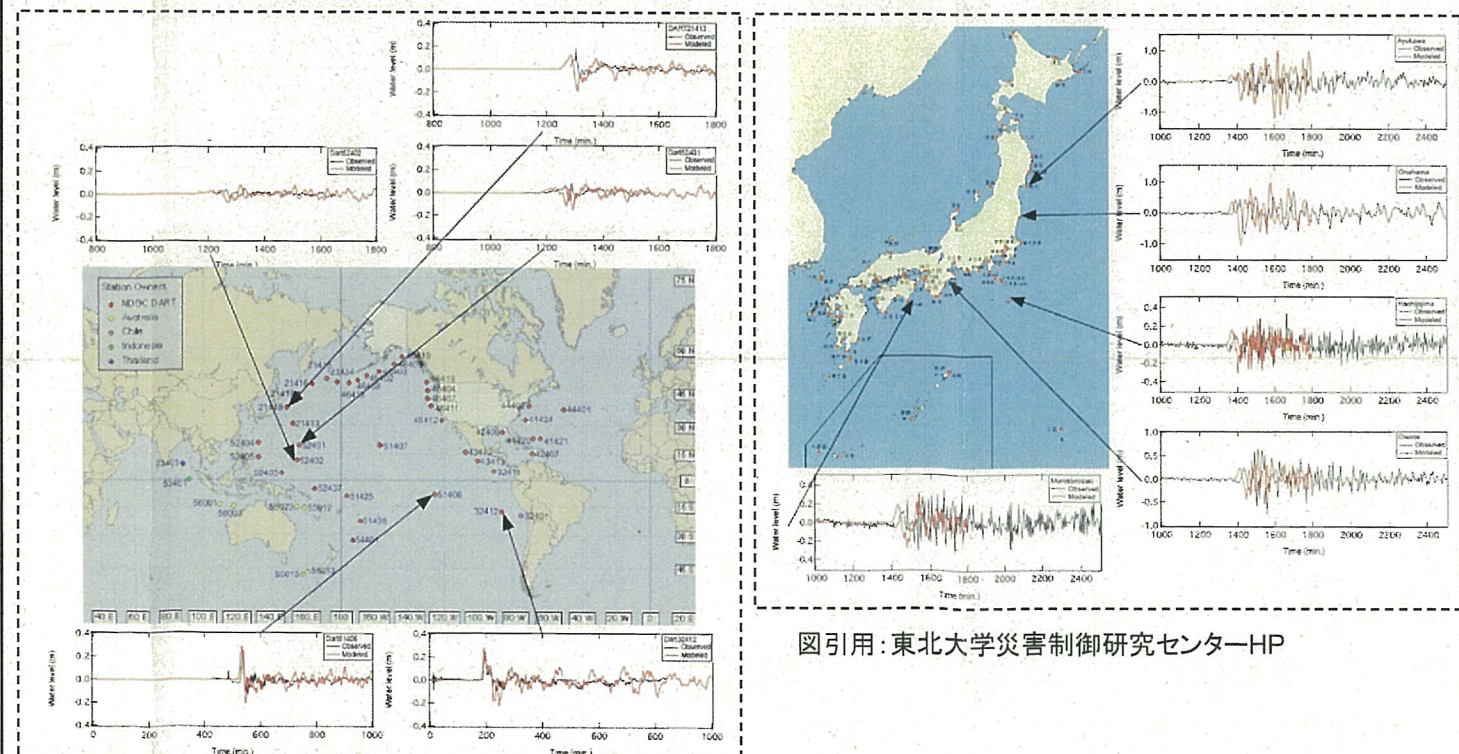
(b) 原子力安全審査課(2009): 東電東通発電所(06-東通設C-51)

位置	基準, 基準から南北100km
走向	基準 $\pm 5^{\circ}$

計9ケース

(4)参考資料(例: 2010年チリ津波の検証データ)

サイトへの影響評価の説明性を高めるために、国内外での観測記録(主に水位の時系列波形)と比較



図引用: 東北大学災害制御研究センターHP

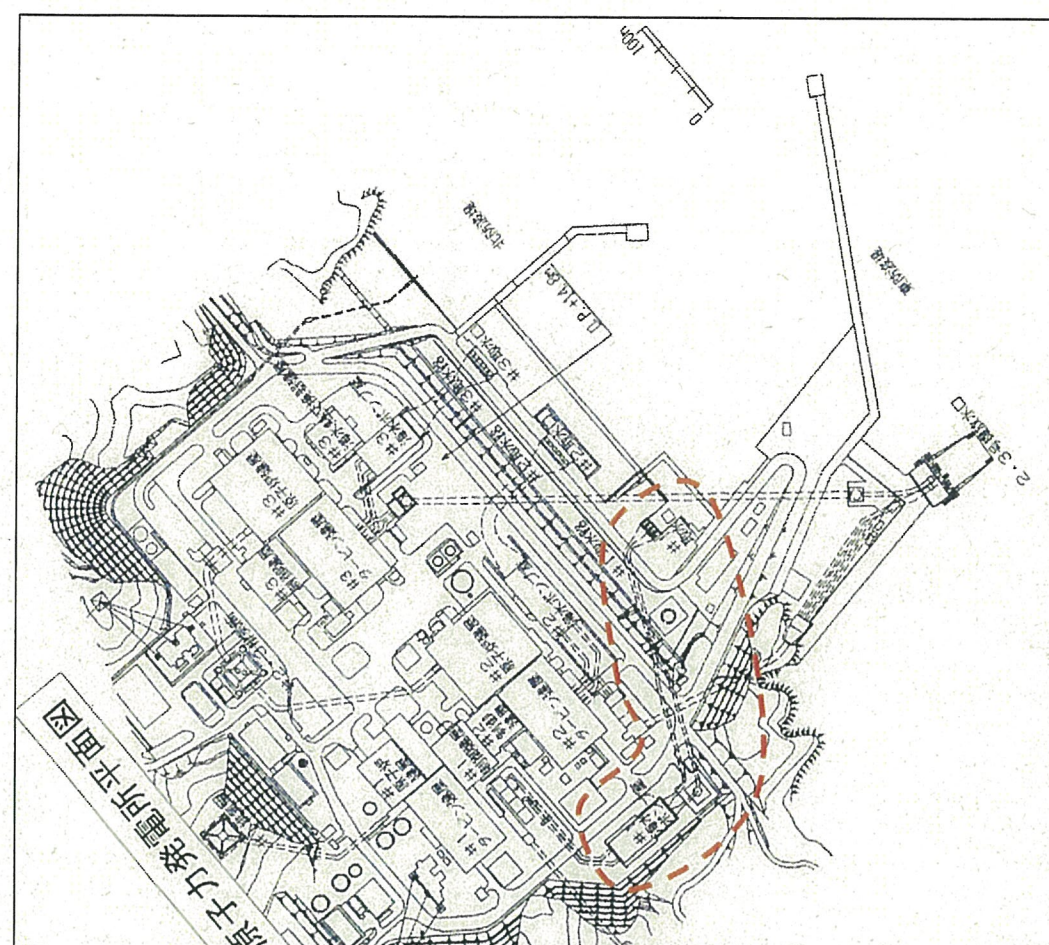


図1 女川発電所平面図

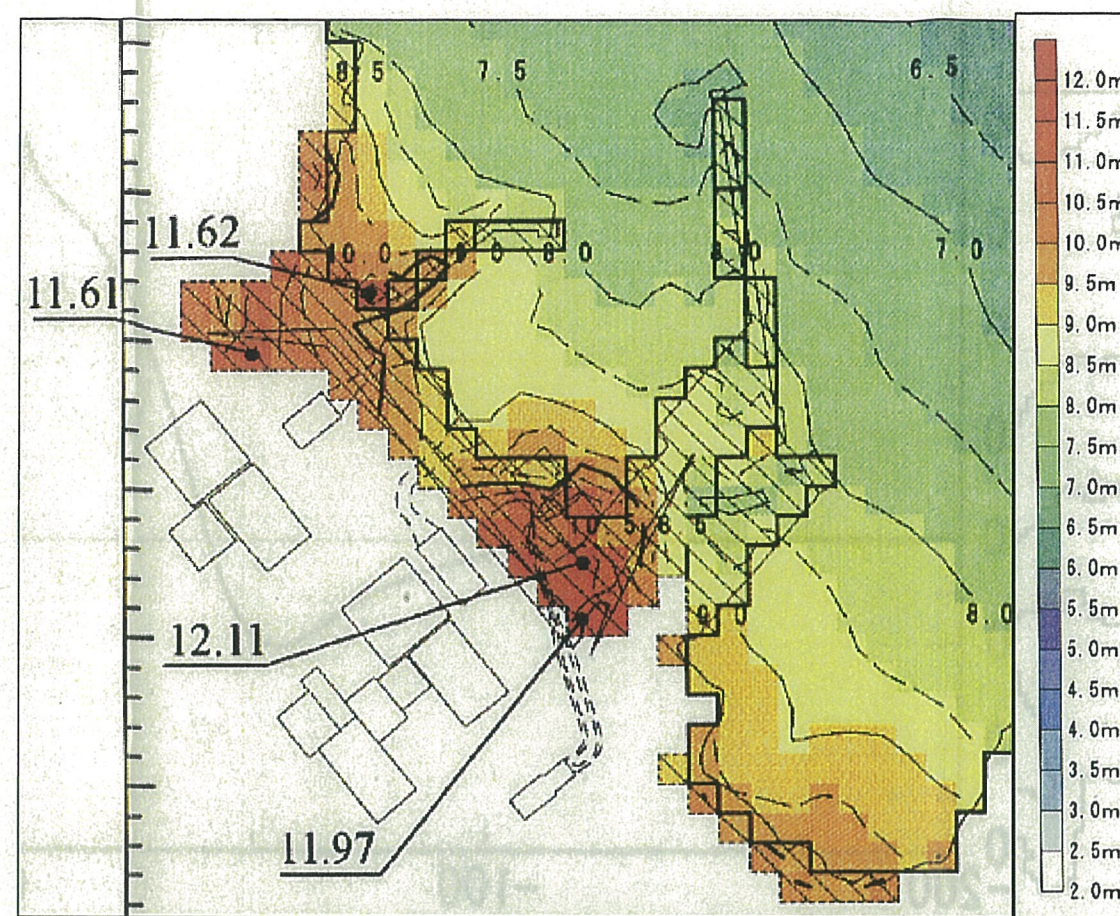


図2 最大水位上昇量分布



写真1 女川発電所の施設周辺