

詳細パラメータスタディ

○概略パラメータスタディ結果のうち最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースそれぞれについて、断層傾斜角及びすべり角をさらに±5度変化させる。

赤字：詳細パラメータスタディにおける基本ケース（概略パラメータスタディ結果のうち最も厳しいケース）

断層名		剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	水位 上昇側	3.3E+10	北75	165	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37
			北80*		87	15.2	7.61	3.27E+20	7.49
			北85		87	15.0	7.61	3.27E+20	7.57
			90*		87	15.0	7.61	3.27E+20	7.59
			南85		87	15.0	7.61	3.27E+20	7.57
	水位 下降側	3.3E+10	北75	185	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37
			北80		87	15.2	7.61	3.27E+20	7.49
			北85		87	15.0	7.61	3.27E+20	7.57

断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府地溝南縁	3.3E+10	北75	-90	9.5	15.53	7.15	6.67E+19	3.33
		北75	-90	16.8				
		北75	-90	12.8				
別府湾断層帯	3.3E+10	南75	-90	22.5	15.53	7.29	7.34E+19	6.37
		南75	-90	20.5	15.53		3.34E+19	3.18

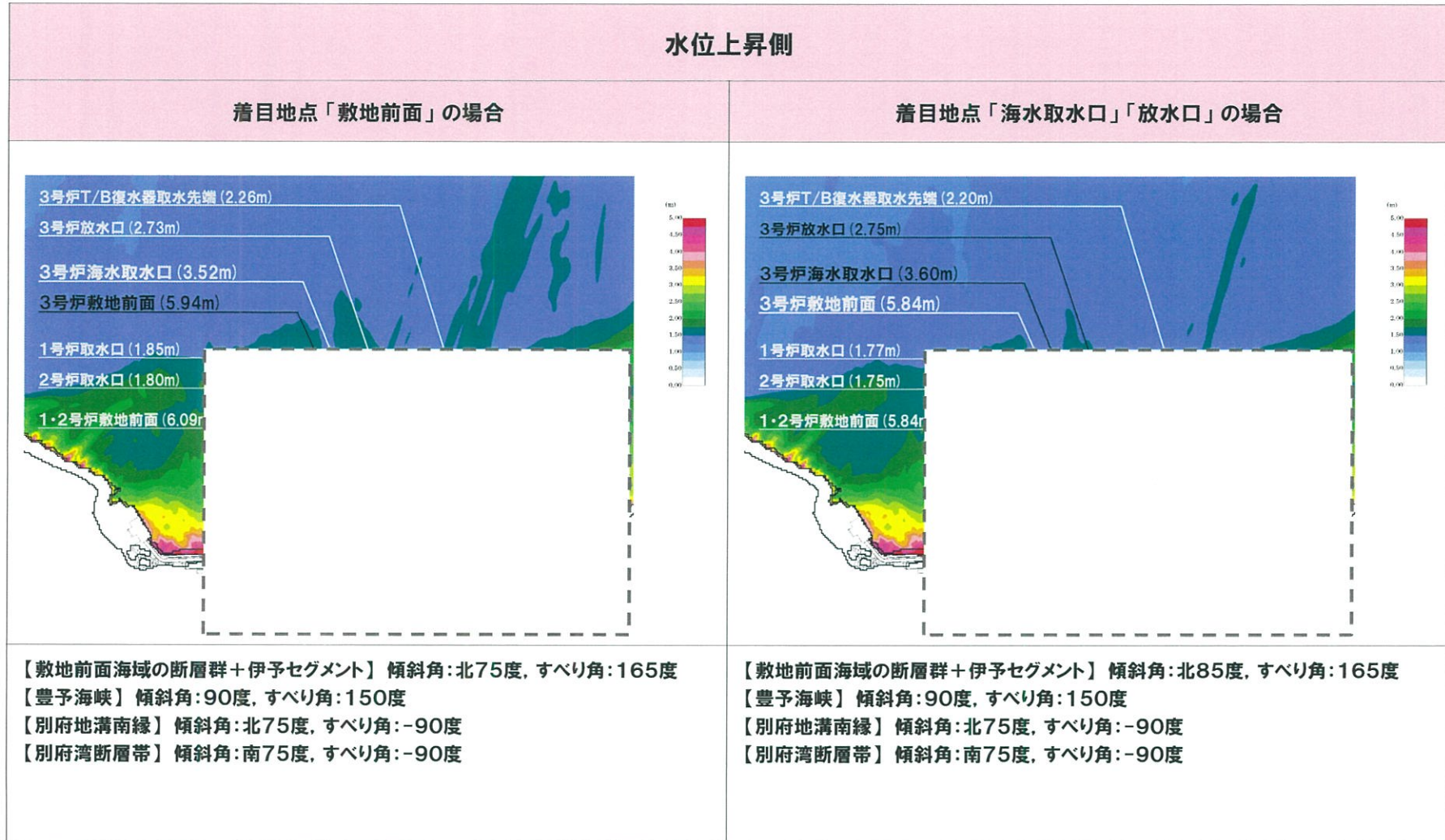
※ 北傾斜80度：概略パラメータスタディ結果のうち着目地点「T/B復水器取水先端」「放水口」における最も厳しいケース
90度：概略パラメータスタディ結果のうち着目地点「敷地前面」「海水取水口」における最も厳しいケース

計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

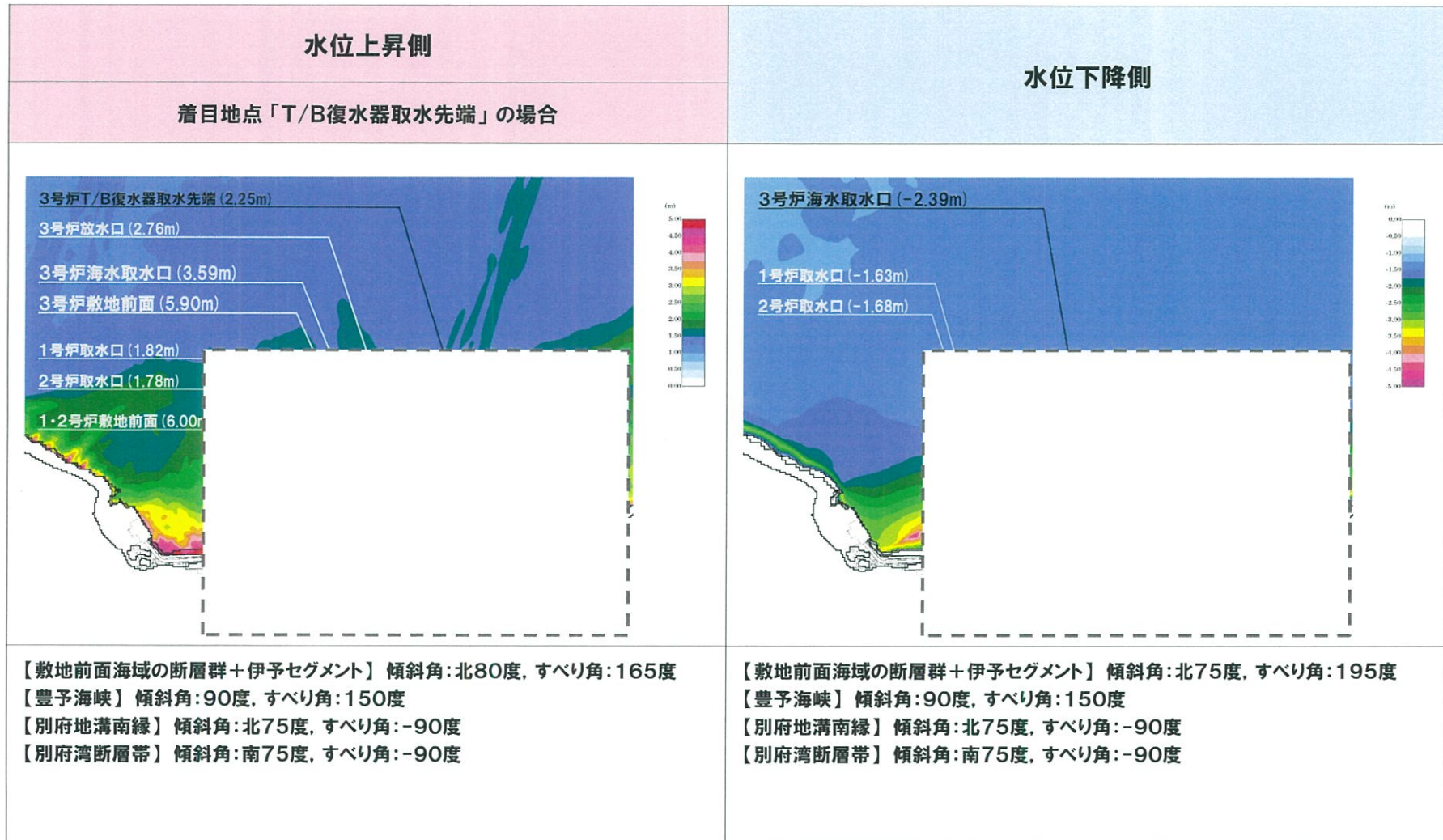
○海域の活断層に想定される地震に伴う津波のうち、詳細パラメータスタディにおける最も厳しいケースの計算結果（最大水位変動量）を以下に示す。



計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。



計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

○海域の活断層に想定される地震に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を下表に整理する。

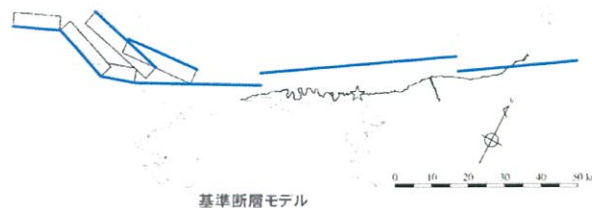
・概略パラメータスタディ

検討ケース		一次評価地点				
		水位上昇側			水位下降側	
傾斜角※ (度)	すべり角※ (度)	3号炉 敷地前面	3号炉 海水取水口	3号炉 T/B復水器 取水先端	3号炉 放水口	3号炉 海水取水口
北80	170	+4.14m [-0.24m]	+2.12m [-0.25m]	<u>+1.48m [-0.24m]</u>	<u>+1.68m [-0.24m]</u>	-1.08m [-0.25m]
	180	+0.41m [±0.00m]	+0.39m [±0.00m]	+0.37m [±0.00m]	+0.38m [±0.00m]	-0.62m [±0.00m]
	190	+0.80m [+0.25m]	+0.73m [0.25m]	+0.73m [0.25m]	+0.72m [0.25m]	<u>-1.72m [0.25m]</u>
90	170	<u>+4.11m [-0.28m]</u>	<u>+2.11m [-0.28m]</u>	+1.41m [-0.28m]	+1.64m [-0.28m]	-1.06m [-0.28m]
	180	+0.43m [+0.01m]	+0.40m [0.01m]	+0.38m [0.01m]	+0.40m [0.01m]	-0.61m [0.01m]
	190	+0.77m [+0.29m]	+0.70m [0.30m]	+0.71m [0.30m]	+0.69m [0.30m]	-1.61m [0.30m]
南80	170	+3.86m [-0.30m]	+1.93m [-0.30m]	+1.25m [-0.30m]	+1.48m [-0.30m]	-1.03m [-0.30m]
	180	+0.44m [+0.02m]	+0.41m [0.02m]	+0.39m [0.02m]	+0.41m [0.02m]	-0.59m [0.02m]
	190	+0.82m [+0.33m]	+0.80m [0.34m]	+0.80m [0.34m]	+0.80m [0.34m]	-1.44m [0.34m]

下線: 各一次評価地点における地盤変動量を考慮した最も厳しいケース

[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起、-が沈降)

※ 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯: 海域部)のうち敷地前面海域の断層群及び伊予セグメントのパラメータであり、別府-万年山断層帯は基準断層モデルと同じ。



3.1 プレート境界付近に想定される地震に伴う津波

3.2 海域活断層に想定される地震に伴う津波

4.1 火山の山体崩壊に伴う津波

4.2 地すべりに伴う津波

5. 重畳津波

最大水位上昇量・下降量
(評価地点及び波源別)

期望平均満潮位を考慮

最高・最低水位
(評価地点及び波源別)

6. 基準津波

計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

○海域の活断層に想定される地震に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を下表に整理する。3号炉敷地前面における最大水位上昇量は約5.9m, 3号炉海水取水口における最大水位下降量は約2.4mであった。

○最も厳しいケースにおける時刻歴水位を添付資料に示す。 <添付資料> pp.100-102参照

・詳細パラメータスタディ

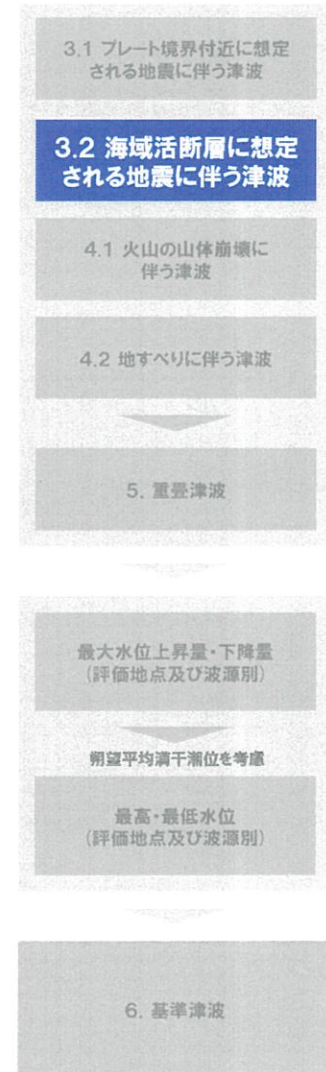
検討ケース		一次評価地点					
		水位上昇側				水位下降側	
傾斜角※1 (度)	すべり角※1 (度)	3号炉敷地前面	3号炉海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉海水取水口	
水位上昇側	北75	165	+5.94m [-0.33m]	+3.52m [-0.34m]	+2.26m [-0.33m]	+2.73m [-0.33m]	
		170	+4.06m [-0.22m]	+2.07m [-0.23m]	+1.48m [-0.22m]	+1.66m [-0.22m]	
		175	+1.98m [-0.11m]	+0.94m [-0.11m]	+0.70m [-0.11m]	+0.77m [-0.11m]	
	※2 北80	165	+5.90m [-0.36m]	+3.59m [-0.37m]	+2.25m [-0.36m]	+2.76m [-0.37m]	
		170	+4.14m [-0.24m]	+2.12m [-0.25m]	+1.48m [-0.24m]	+1.68m [-0.24m]	
		175	+2.00m [-0.12m]	+0.94m [-0.12m]	+0.70m [-0.12m]	+0.77m [-0.12m]	
	北85	165	+5.84m [-0.39m]	+3.60m [-0.40m]	+2.20m [-0.39m]	+2.75m [-0.40m]	
		170	+4.14m [-0.26m]	+2.14m [-0.26m]	+1.45m [-0.26m]	+1.68m [-0.26m]	
		175	+2.01m [-0.13m]	+0.93m [-0.13m]	+0.68m [-0.13m]	+0.76m [-0.13m]	
	※3 90	165	+5.83m [-0.42m]	+3.55m [-0.42m]	+2.12m [-0.42m]	+2.69m [-0.42m]	
		170	+4.11m [-0.28m]	+2.11m [-0.28m]	+1.41m [-0.28m]	+1.64m [-0.28m]	
		175	+1.99m [-0.13m]	+0.91m [-0.13m]	+0.66m [-0.13m]	+0.74m [-0.13m]	
南85	165	+5.60m [-0.44m]	+3.45m [-0.44m]	+2.01m [-0.44m]	+2.59m [-0.44m]		
	170	+4.00m [-0.29m]	+2.05m [-0.29m]	+1.34m [-0.29m]	+1.57m [-0.29m]		
	175	+1.96m [-0.14m]	+0.88m [-0.14m]	+0.62m [-0.14m]	+0.71m [-0.14m]		
水位下降側	北75	185				-0.95m [+0.11m]	
		190				-1.75m [+0.23m]	
		195				-2.39m [+0.34m]	
	※4 北80	185				-0.94m [+0.13m]	
		190				-1.72m [+0.25m]	
	195					-2.34m [+0.38m]	
北85	185					-0.92m [+0.14m]	
	190					-1.68m [+0.28m]	
	195					-2.27m [+0.41m]	

※2 概略パラメータスタディ結果のうち上昇側の着目地点「3号炉T/B復水器取水先端」「3号炉放水口」における最も厳しいケース

※3 概略パラメータスタディ結果のうち上昇側の着目地点「3号炉敷地前面」「3号炉海水取水口」における最も厳しいケース

※4 概略パラメータスタディ結果のうち下降側の着目地点「3号炉海水取水口」における最も厳しいケース

下線: 各一次評価地点における地盤変動量を考慮した最も厳しいケース []内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起, -が沈降)
※ 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)のうち敷地前面海域の断層群及び伊予セグメントのパラメータであり, 別府-万年山断層帯は基準断層モデルと同じ。



4. 地震以外に起因する津波

全体構成

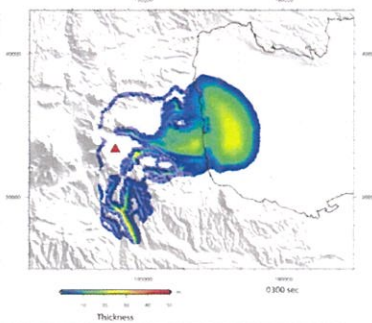
- 1. 既往津波に関する調査
- 2. 津波伝播計算手法及び計算条件
- 3. 地震に起因する津波

4. 地震以外に起因する津波

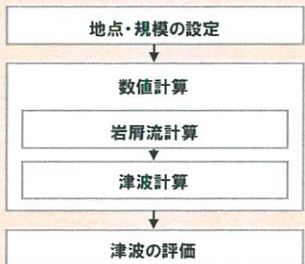
火山の山体崩壊に伴う津波

・鶴見岳の山体崩壊

鶴見岳の山体崩壊



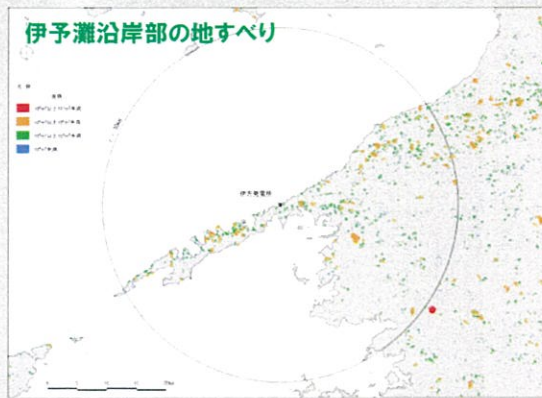
4.1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討



地すべりに伴う津波

・海底地すべり
・伊予灘沿岸部の地すべり

伊予灘沿岸部の地すべり



4.2 地すべりに伴う津波の検討



- 5. 重畳の検討
- 6. 基準津波の策定及び検証
- 7. 基準津波に対する安全性
- 8. 超過確率の参照

4. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

4. 2. 3 地すべり地点の選定

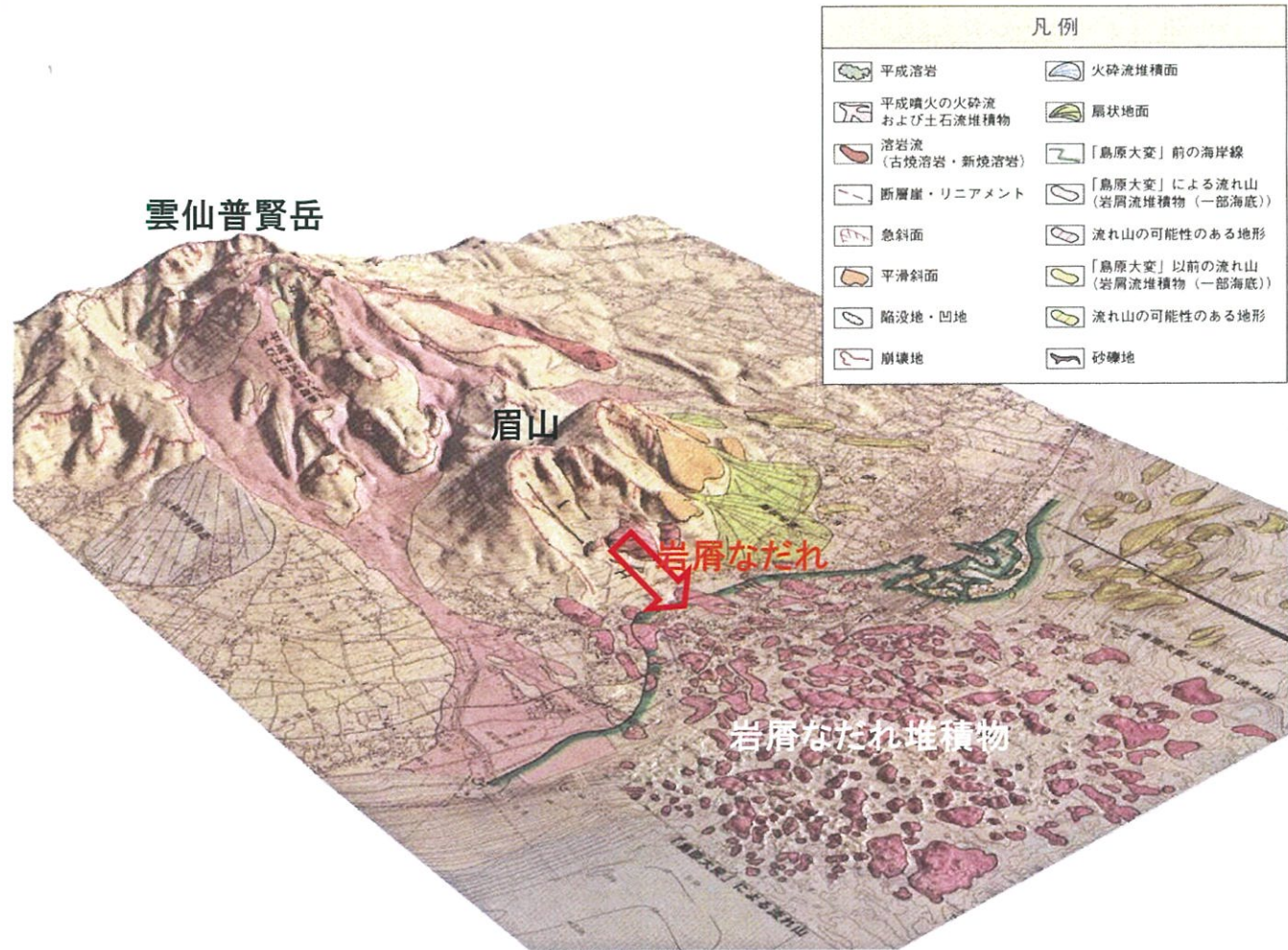
4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

山体崩壊の事例①<雲仙眉山>

○火山は山頂を含む大規模な山体崩壊を起こすことがあり、1792年の雲仙眉山、1888年の磐梯山、1980年のセントヘレンズ火山の山体崩壊がよく知られている。

○1792年の雲仙眉山の山体崩壊では、その崩壊物質が島原城の南方1.5kmから4kmの区間を流下し有明海に突入し、島原周辺より熊本県側の海岸に波高6-9mの大津波を発生させた(日本地すべり学会, 2004)。



(日本地すべり学会, 2004)より
抜粋・一部加筆

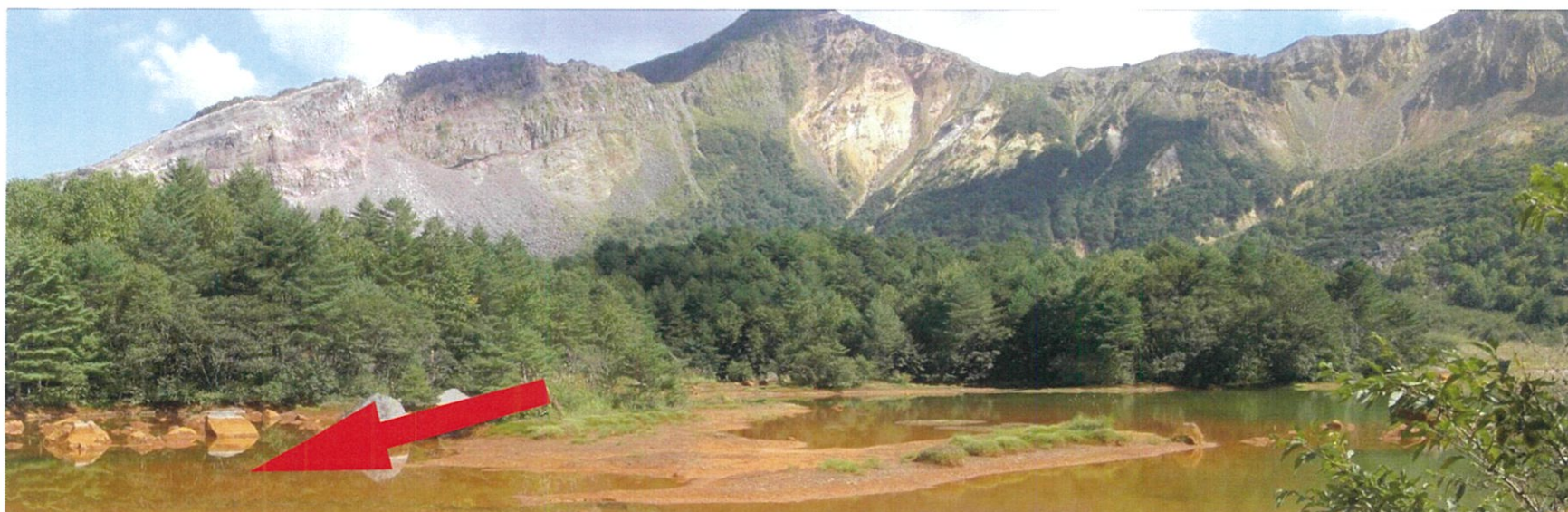
23 雲仙火山眉山および普賢岳周辺の地形災害鳥瞰図

国土地理院の沿岸海域地形図(1998年改訂版)の上に、1998年撮影の航空写真で写真判読した結果を立体表現した地形災害鳥瞰図。寛政四年(1792)の噴火と眉山の山体崩壊、及び平成噴火の状況が表現されている。山体崩壊以前の海岸線(緑色で表示)と比べて、現在の海岸線は、流れ山の流出(ピンク色で表示)によって1km近く前に出ている。北部には古い流れ山地形(黄色で表示)も認められる。(井上1999; 中村ほか2003; 雲仙復興事務所, 2003)

山体崩壊の事例②<セントヘレンズ, 磐梯山>

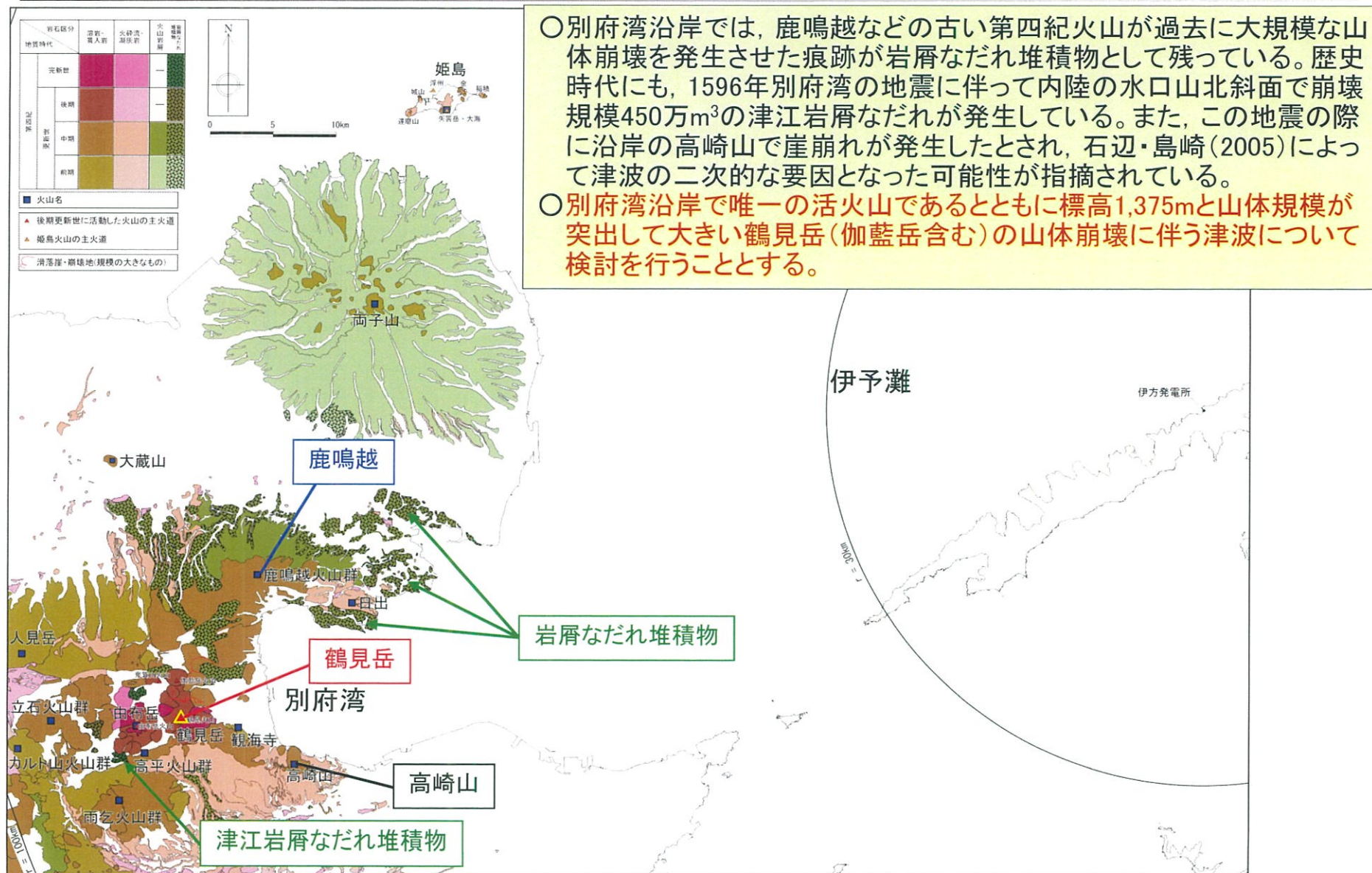


セントヘレンズ1980年の山体崩壊跡地。馬蹄形カルデラ地形がよくわかる。中央～右手に岩屑なだれ堆積物が堆積。



磐梯山1888年山体崩壊跡地。崩壊物質は火山体内部の成層構造と同方向に流下した。

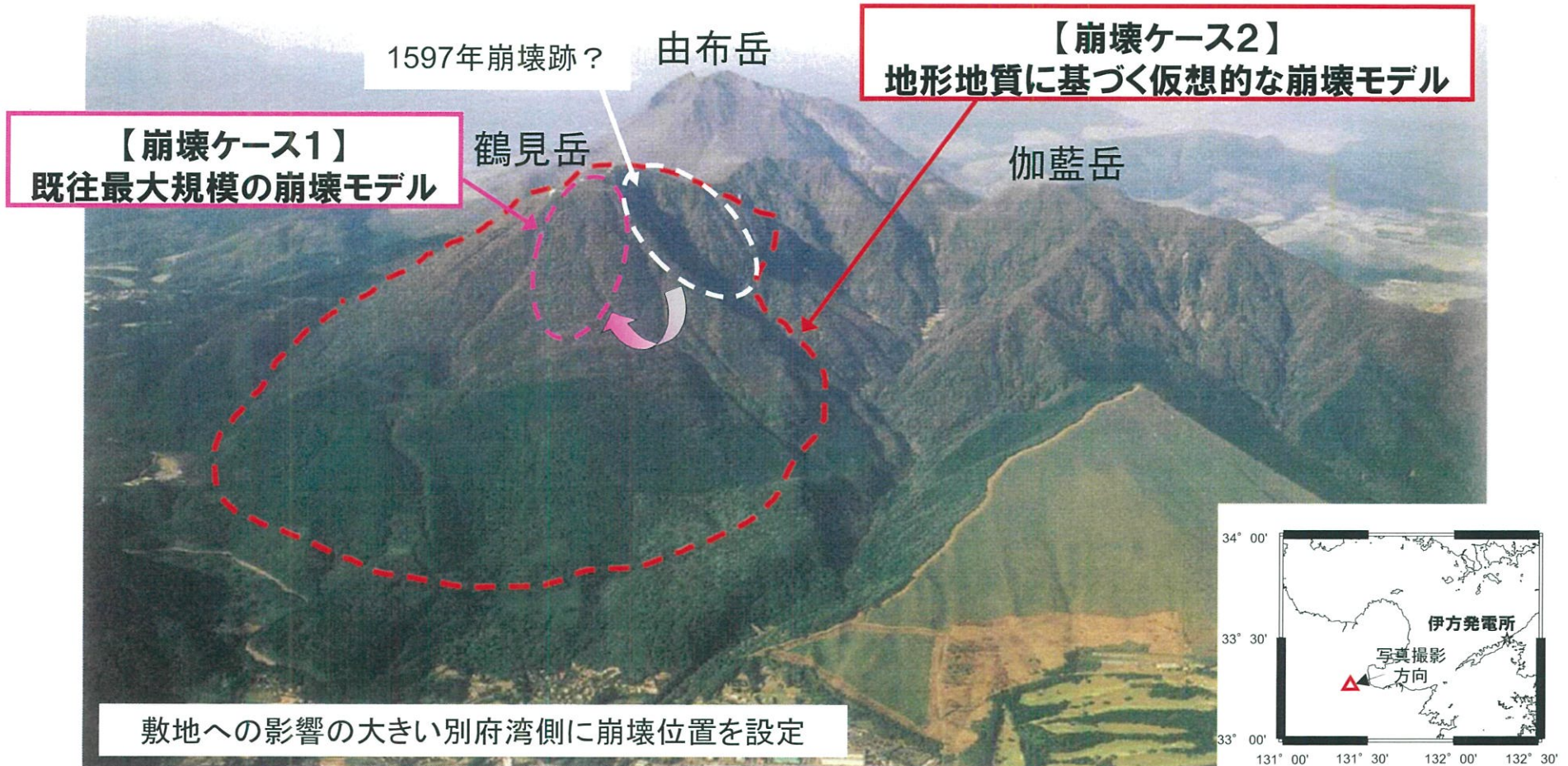
別府湾周辺の地質



※第四紀火山の分布は「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)を使用, 第四紀火山岩類の分布は「20万分の1地質図幅「中津」」(石塚ほか, 2009), 「別府地域の地質」(星住ほか, 1988), 「豊後杵築地域の地質」(石塚ほか, 2005), 「大分地域の地質」(吉岡ほか, 1997)を基に作成

鶴見岳の崩壊モデル

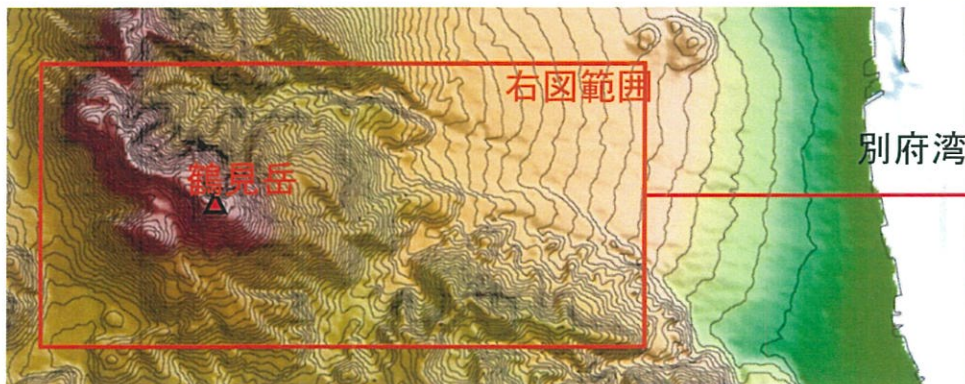
○別府湾への崩壊物の流入量が多い鶴見岳東麓の崩壊を考慮することとし、既往最大規模に相当する2,000万m³の崩壊、さらには、仮想的な崩壊として、地形や溶岩分布に基づく検討から山頂を含む破局的な規模の山体崩壊(5億4,000万m³)について検討する。



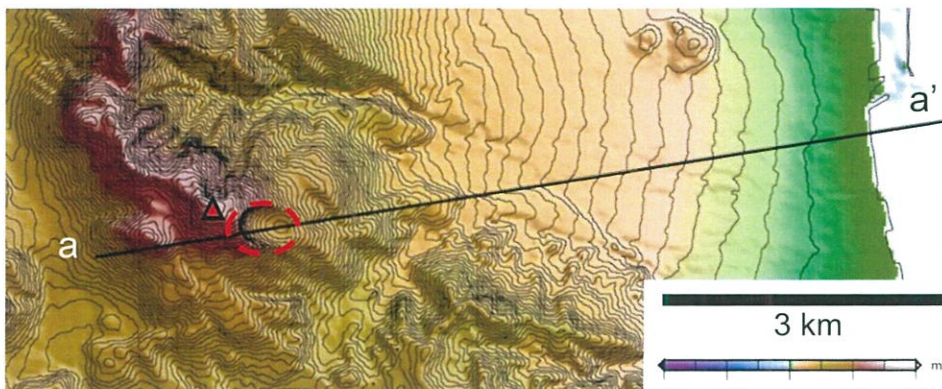
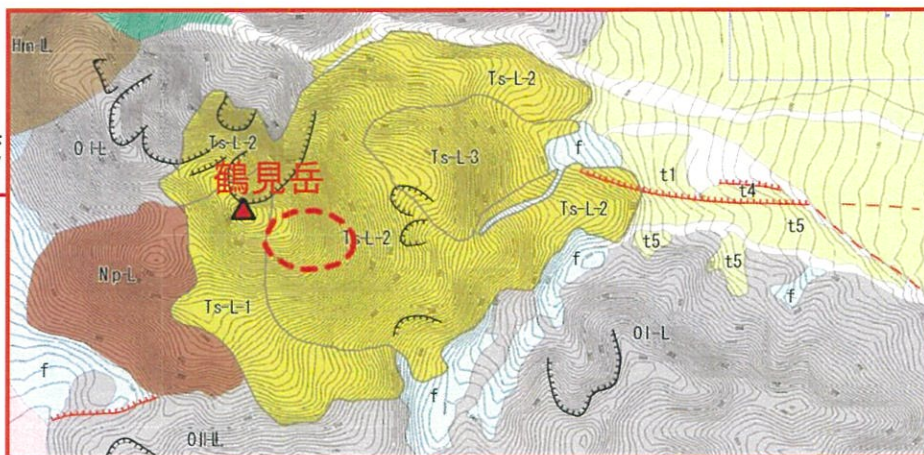
東方(別府湾側)から見た鶴見岳

火山防災用語研究会編(2003)より抜粋・一部加筆

崩壊モデル(既往最大モデル)



崩壊以前の鶴見岳周辺の地形図



崩壊後の鶴見岳周辺の地形図

崩壊モデルの設定根拠
 位置: 最も活動的な山頂東側の急傾斜部
 形状: 別府湾側へ開いた馬蹄形
 崩壊量: 2,000万m³

比較的新しい溶岩

凡例

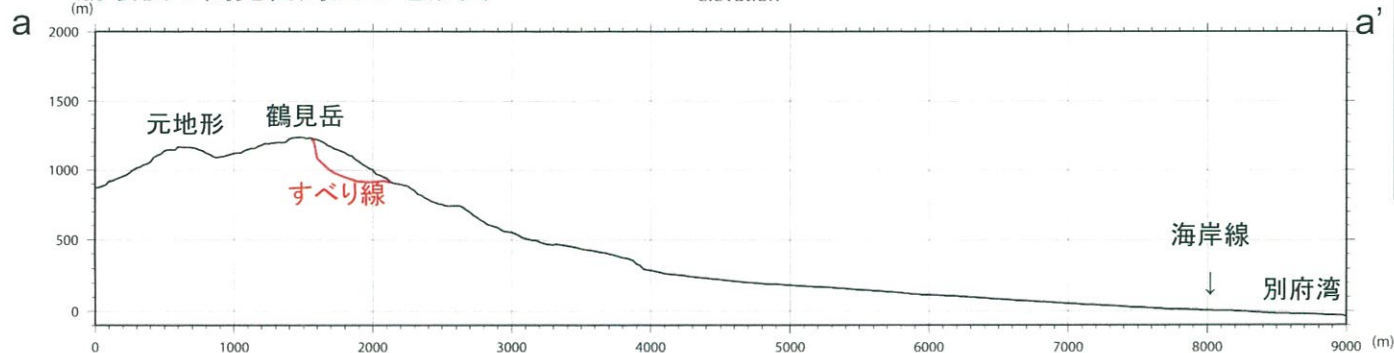
- f 崖錘
土石流 (火砕流もあり)
- t1~5 河成段丘
・扇状地

鶴見岳

- TsL-1 鶴見岳溶岩 1 } 10.5~7.3 ka
- TsL-2 鶴見岳溶岩 2 }
- TsL-3 鶴見岳溶岩 3 ...60 ka以前
- NpL 南平台溶岩

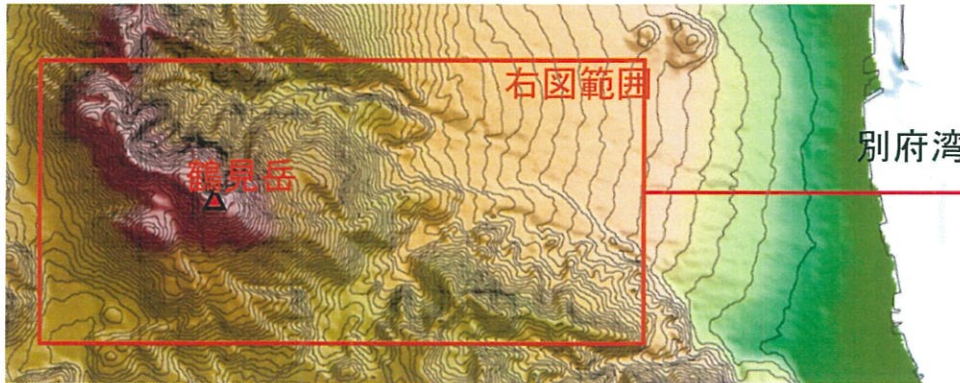
先由布・鶴見火山群

- OIL 古期溶岩 ...前期~中期更新世

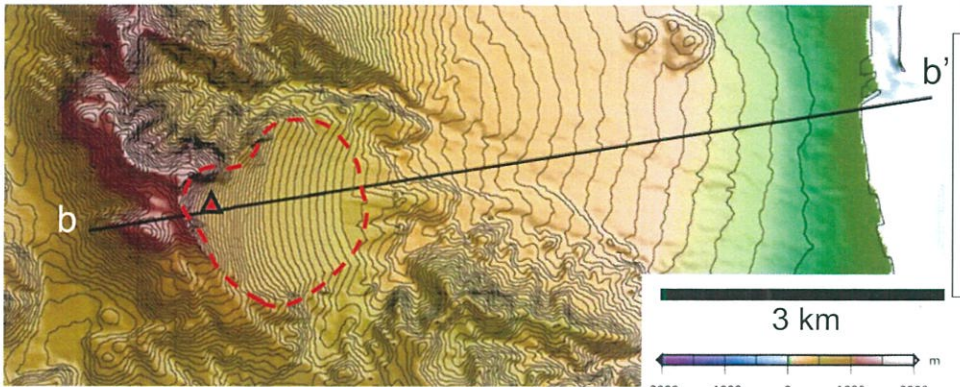
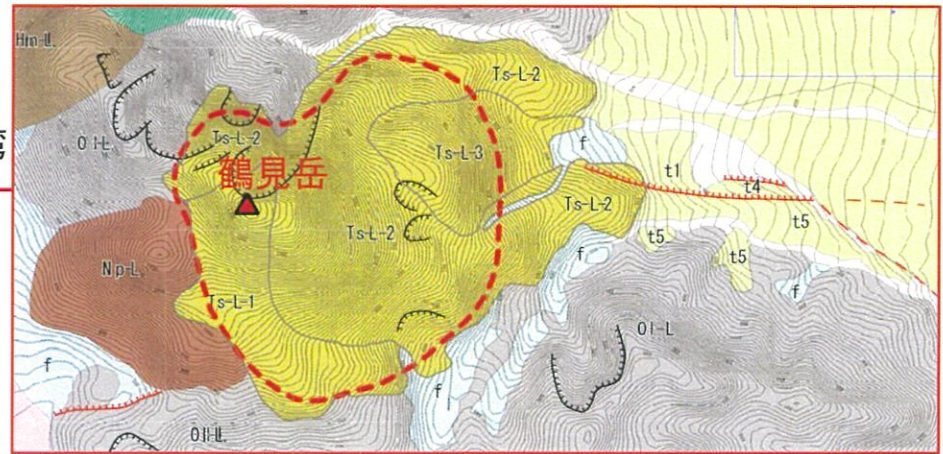


既往最大規模の崩壊モデルの地形断面

崩壊モデル(地形地質に基づく仮想的な崩壊モデル)



崩壊以前の鶴見岳周辺の地形図



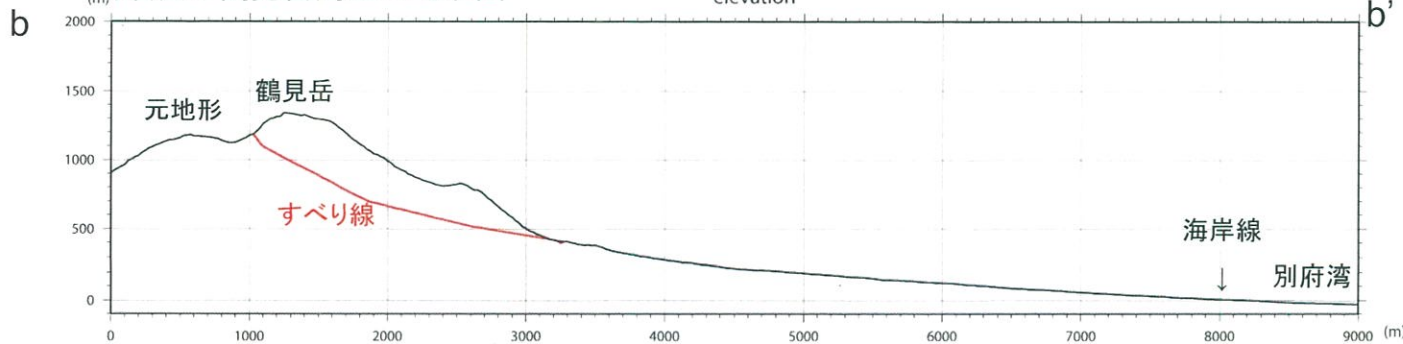
崩壊後の鶴見岳周辺の地形図

崩壊モデルの設定根拠
 位置: 最も活動的な山頂
 ~山頂東麓部
 形状: 別府湾側へ開いた馬蹄形
 範囲: 溶岩分布の境界,
 傾斜変換線を基に設定
 崩壊量: 5億4,000万m³

比較的新しい溶岩

凡例

- f 崖錘
土石流
(火砕流もあり)
- t1~5 河成段丘
・扇状地
- 鶴見岳
 - TsL-1 鶴見岳溶岩 1 } 10.5~7.3 ka
 - TsL-2 鶴見岳溶岩 2 }
 - TsL-3 鶴見岳溶岩 3 ...60 ka以前
- NpL 南平台溶岩
- 先由布・鶴見火山群
 - OIL 古期溶岩 ...前期~中期更新世



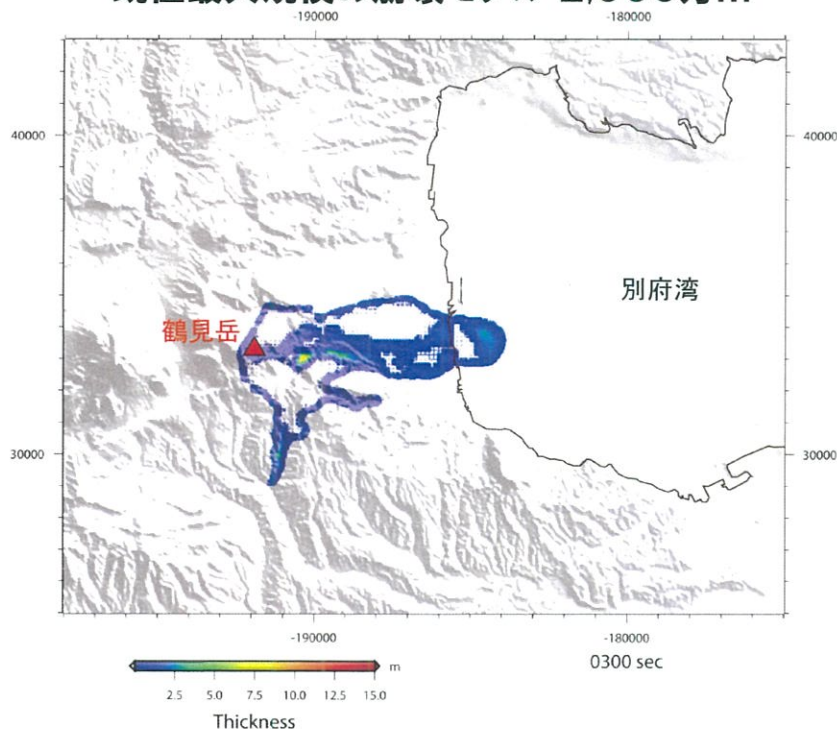
地形地質に基づく最大規模の崩壊モデルの地形断面

検討ケース

- 地質・地質構造に関する検討の結果、別府湾への崩壊物の流入量が多い鶴見岳東麓の崩壊を考慮することとし、既往最大規模に相当する2,000万 m^3 の崩壊、さらには、仮想的な崩壊として、地形や新期の溶岩分布に基づく検討から山頂を含む破局的な規模の山体崩壊(5億4,000万 m^3)について検討することとする。

【崩壊ケース 1】

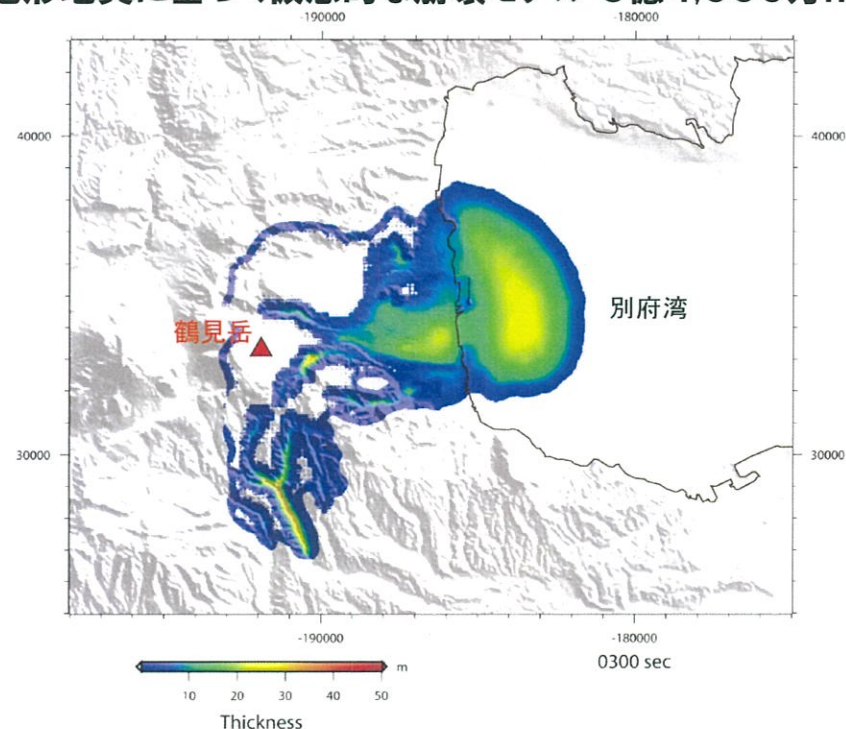
既往最大規模の崩壊モデル 2,000万 m^3



既往最大規模の崩壊モデルの山体崩壊シミュレーションの結果、土塊がわずかに別府湾へ流入する。

【崩壊ケース 2】

地形地質に基づく仮想的な崩壊モデル 5億4,000万 m^3



地形地質に基づく最大規模の崩壊モデルの山体崩壊シミュレーションの結果、別府湾へ2億8,000万 m^3 の土砂が流入する(崩壊量の半分以上)。

まとめ -山体崩壊規模の設定-

- 伊方発電所の位置する四国西部は火山フロントから南東に大きく離れており、敷地を中心とする半径50km内に第四紀火山や第四紀火山岩類は分布しない。
- 敷地前面海域である伊予灘西方の別府湾沿岸には、活火山である鶴見岳が分布するが、これまでに鶴見岳が大規模な山体崩壊を発生した事例はない。
- したがって、基本的には問題ないと考えられるものの、2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、過去の事例に捉われず発電所の更なる安全性向上を図る観点から、鶴見岳が大規模な山体崩壊を発生して生じる津波の影響評価を行う。
- 独自の空中写真判読により、鶴見岳周辺の地形分類図を作成し、歴史記録に残された1597年の崩壊箇所(崩壊地形)を推定した。その際、現状の崩壊地形は複数回の崩壊で形成されたと考えられるのに対して、現状の崩壊地形が一度に形成されたものとして崩壊規模をおよそ2,000万 m^3 と大きく見積もり、崩壊箇所も別府湾への崩壊物の流入量が多い(敷地への影響の大きい)鶴見岳東麓とした。
- さらには、仮想的な崩壊として、地形や溶岩分布に基づく検討から山頂を含む破局的な規模の山体崩壊(5億4,000万 m^3)が別府湾への崩壊物の流入量が多い(敷地への影響の大きい)鶴見岳東側で発生するケースについても検討した。
- 以上を踏まえた津波解析を実施し、伊方発電所への影響について検討する。

4. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

4. 2. 3 地すべり地点の選定

4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

計算条件

○すべり面の形状、崩壊物の規模（体積）、等価摩擦係数等を入力条件として与え、海底の地形変化（以下「比高変化」という。）等を入力する計算手法である粒子流モデル (Patra et al., 2005) を用いた岩屑流計算を実施し、比高変化、突入速度等の挙動を求める。初期水位形状の算出に際しては、二層流モデル (今村ほか, 2001) (Maeno and Imamura, 2007) 及びKinematic Landslideモデル (佐竹・加藤, 2002) の2通りの手法を用いる。

岩屑流計算

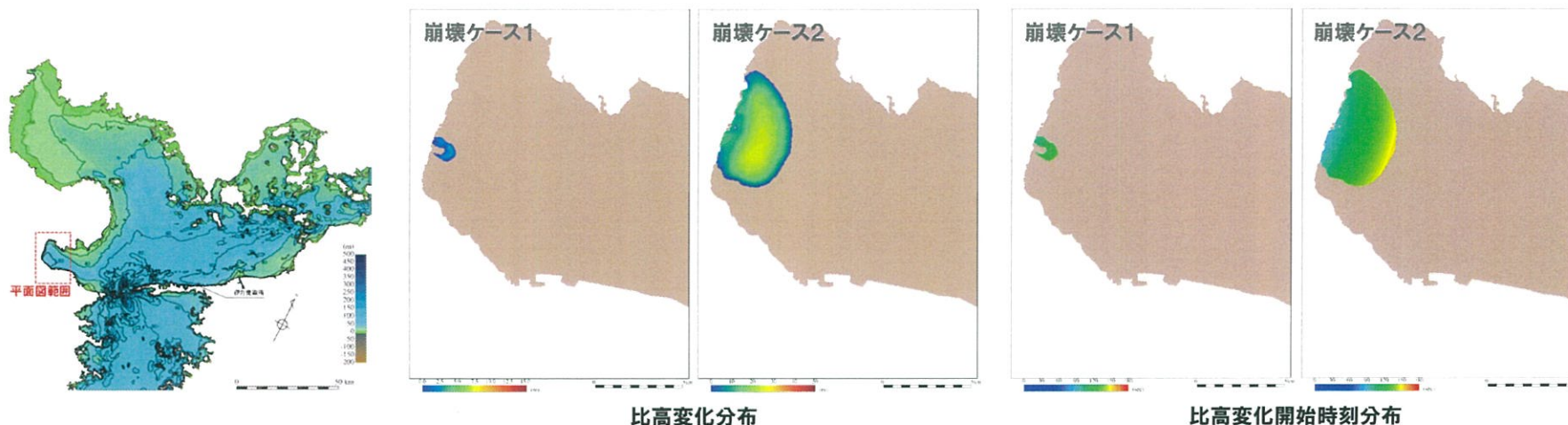
項目	計算条件
内部摩擦角	・ $\phi_{int} = 30^\circ$ (University at Buffalo (2005) に基づき設定)
等価摩擦係数	・ $\tan(\phi_{bed}) = 0.1$ (千木良 (2005) に基づき設定)

二層流モデル及びKinematic Landslideモデル

項目	計算条件	
二層流モデル	海水密度	・ $\rho_1 = 1.03 \text{ (g/m}^3\text{)}$ (一般値を設定)
	崩壊物密度	・ $\rho_2 = 2.0 \text{ (g/m}^3\text{)}$ (松本ほか (1998) に基づき設定)
	上層の粗度係数	・ $n = 0.025 \text{ (m}^{-1/3} \cdot \text{s)}$ (津波シミュレーションと同じ値を設定)
	下層の粗度係数	・ $n = 0.08 \text{ (m}^{-1/3} \cdot \text{s)}$ (Maeno and Imamura (2007) に基づき設定)
	内部摩擦係数	・ 0.0 (Kawamata et al. (2005) に基づき設定)
	下層の水平渦動粘性	・ $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ (Kawamata et al. (2005) に基づき設定)
Kinematic Landslideモデル	比高変化	・ 岩屑流計算の結果による(下図参照)
	比高変化開始時刻	・ 岩屑流計算の結果による(下図参照)
	比高変化継続時間	・ 岩屑流計算の結果による

※ 二層流モデル: 岩屑流計算により求まる崩壊物の海岸線における逐次の突入速度及び層厚を入力条件とし、初期水位条件を与える手法

※ Kinematic Landslideモデル: 岩屑流計算により求まる比高変化、比高変化開始時刻及び比高変化継続時間を入力条件とし、運動学的に初期水位条件を与える手法



比高変化分布

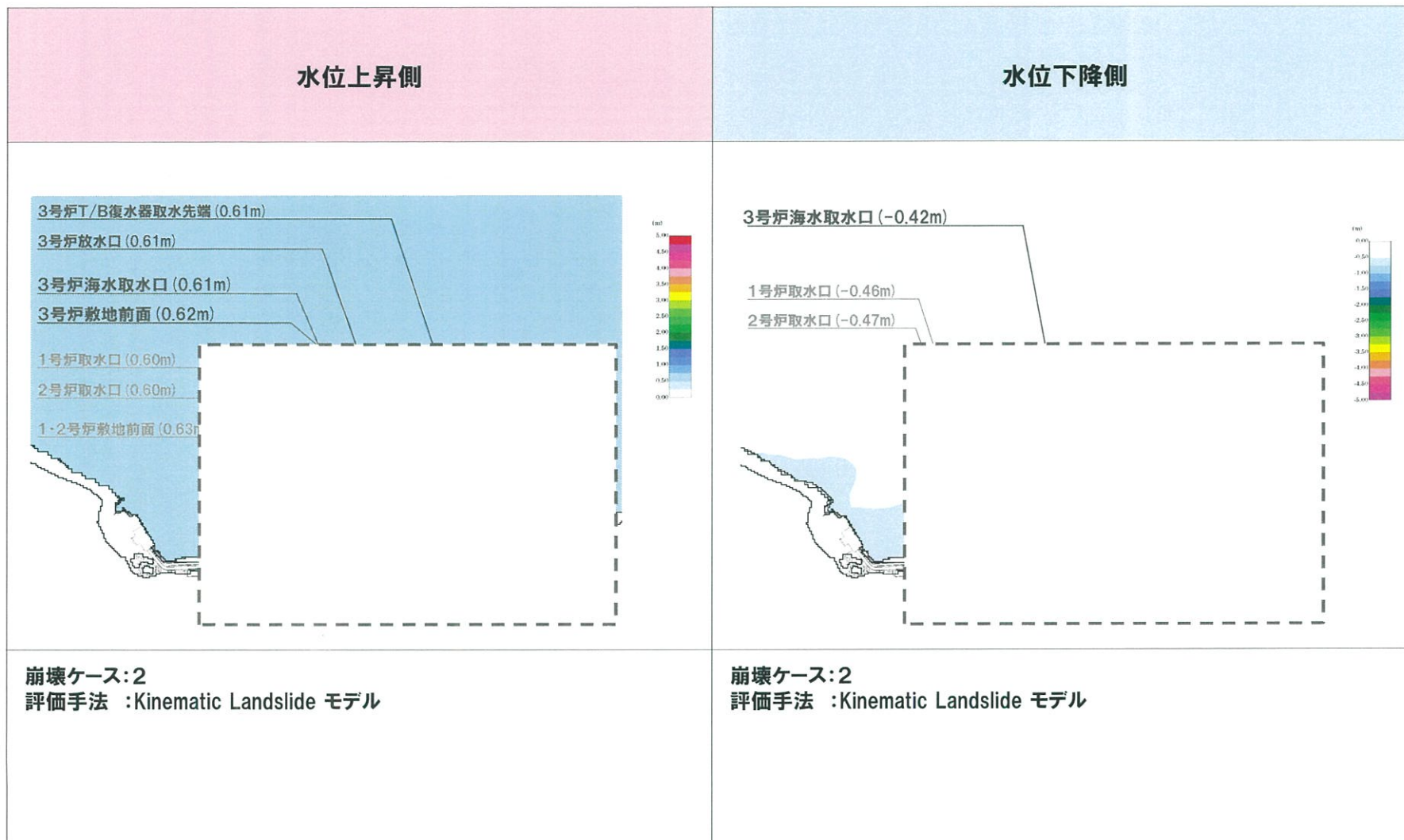
比高変化開始時刻分布

計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

○火山の山体崩壊に伴う津波のうち、最も厳しいケースの計算結果(最大水位変動量)を以下に示す。



計算結果

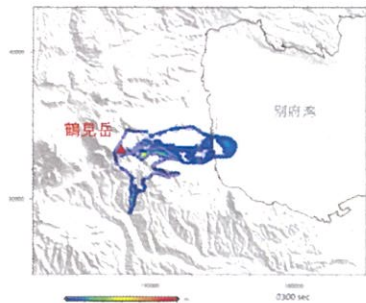
平成27年6月3日
まとめ資料再掲

○火山の山体崩壊に伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を下表に整理する。3号炉敷地前面における最大水位上昇量は約0.9m, 3号炉海水取水口における最大水位下降量は約0.7mであった。

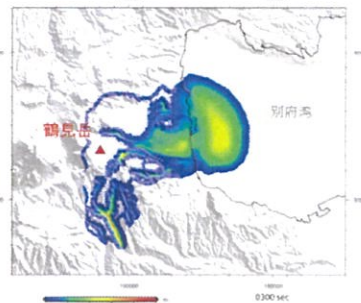
○最も厳しいケースにおける時刻歴水位を添付資料に示す。 <添付資料> pp.103-104参照

検討ケース		一次評価地点				
		水位上昇側			水位下降側	
		3号炉敷地前面	3号炉海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉海水取水口
崩壊ケース1	二層流モデル	+0.04m [±0.00m]	+0.03m [±0.00m]	+0.03m [±0.00m]	+0.03m [±0.00m]	-0.04m [±0.00m]
	Kinematic Landslide モデル	+0.02m [±0.00m]	+0.01m [±0.00m]	+0.01m [±0.00m]	+0.01m [±0.00m]	-0.01m [±0.00m]
崩壊ケース2	二層流モデル	+0.94m [±0.00m]	+0.91m [±0.00m]	+0.90m [±0.00m]	+0.90m [±0.00m]	-0.71m [±0.00m]
	Kinematic Landslide モデル	+0.62m [±0.00m]	+0.61m [±0.00m]	+0.61m [±0.00m]	+0.61m [±0.00m]	-0.42m [±0.00m]

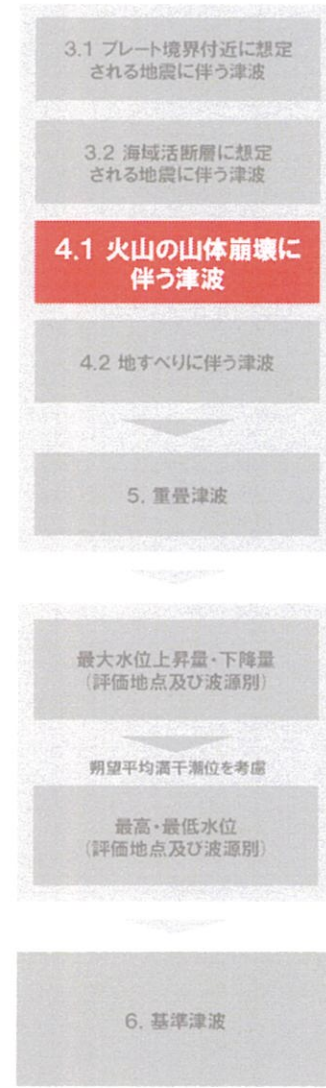
下線:各一次評価地点における地盤変動量を考慮した最も厳しいケース
[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起,-が沈降)



Thickness 崩壊ケース1



Thickness 崩壊ケース2



4. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

4. 2. 3 地すべり地点の選定

4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

海底地すべり評価の流れ

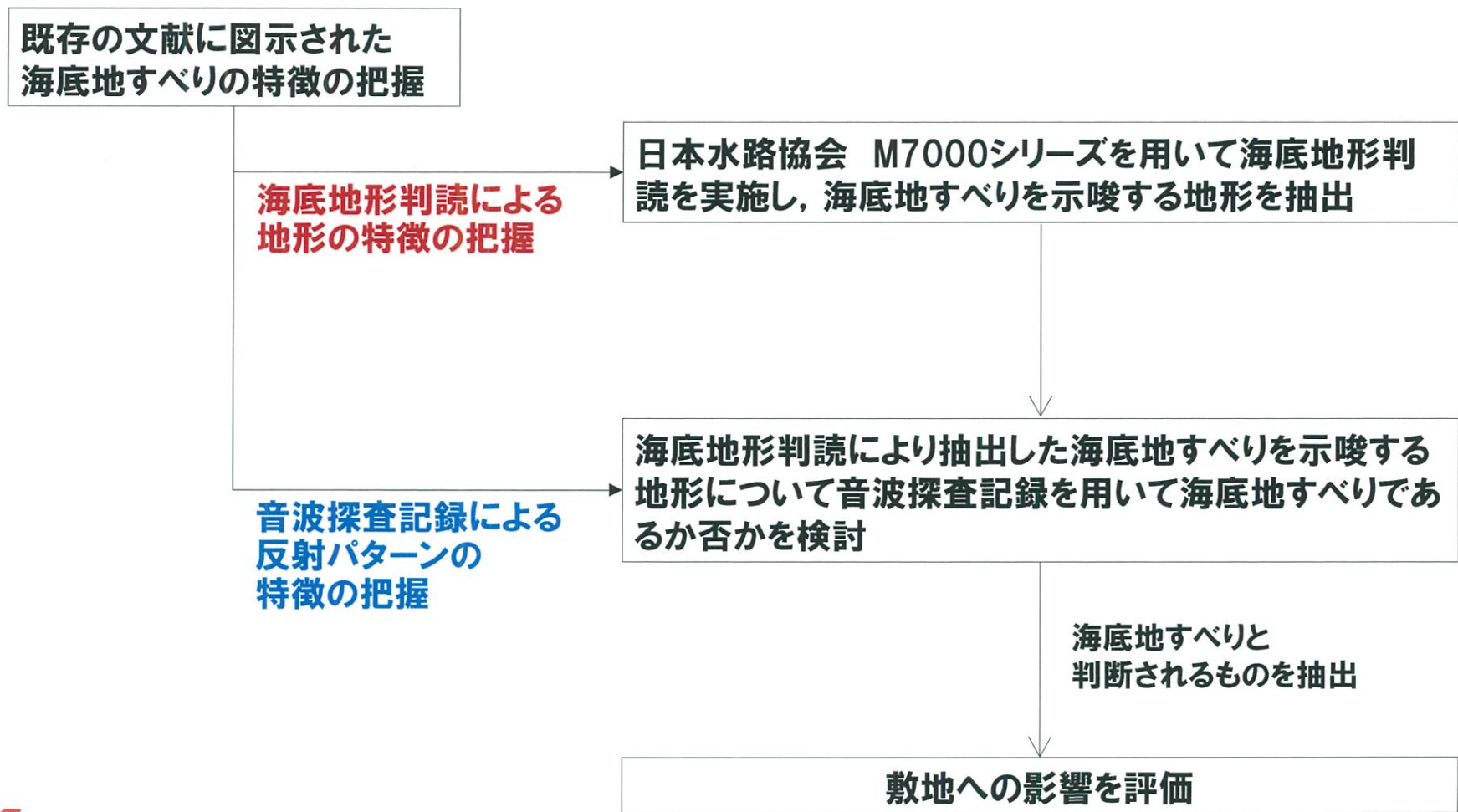
- 敷地は、外洋からの津波の影響が小さい瀬戸内海の伊予灘に面しており、**敷地前面海域の海底地形は極めて平坦**である。
- 敷地から100km以上離れた高知県の足摺岬南方沖合いに海底地すべりが示されているものの(岡村, 1998), 敷地周辺において海底地形判読や音波探査記録による検討を行った結果, 敷地周辺海域に海底地すべりの痕跡は認められないため, **海底地すべりに伴う津波が発電所の安全性に与える影響は小さい**ものと評価される。

(再掲: 既往津波の文献調査)

- なお, 海底地すべりに関連する知見として, 敷地前面海域西方の別府湾において, 1596年慶長豊後地震に伴う**瓜生島沈没の事例**が挙げられる。國生(2002)は「瓜生島沈没伝説」として, 海中地盤の水中音波探査等の結果から「大地震とそれによって発生した津波により, 崩壊, 液状化, 地すべりなどの地変が起き, 島とそこにあった家屋は流出して海底に没した」と推論している。
- 仮に1596年慶長豊後地震に伴い瓜生島が沈没したとしても, 当地震での津波の記録は別府湾沿岸のみに限定されと考えられ, **敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない**。

海底地すべり評価の流れ

○以下の流れに従い、敷地へ影響を及ぼす可能性のある海底地すべりの抽出を行う。



まとめ - 海底地すべりに伴う津波 -

- 敷地は外洋からの津波の影響が小さい瀬戸内海の伊予灘に面して海底地形は極めて平坦であり、また敷地周辺において海底地すべりによる津波被害があったという記録は見当たらない。
- したがって、基本的には問題ないと考えられるものの、2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、過去の事例に捉われず発電所の更なる安全性向上を図る観点から、敷地に影響を与えるような海底地すべりが発生する可能性について検討した。
- 既存の文献に図示された海底地すべりについて海底地形判読および音波探査記録の反射パターンにより特徴を把握した。
- 把握した海底地すべりの特徴に基づき、敷地周辺において海底地形デジタルデータ(M7000シリーズ)を用いて海底地形判読を行い、別府湾において2ヶ所の地すべりを示唆する地形を抽出した。その他の海域において地すべりを示唆する地形は認められなかった。
- 別府湾における2ヶ所の海底地すべりを示唆する地形について音波探査記録を用いて海底地すべりであるか否かについて検討を行った。海底にサンドウェーブと断層変位地形が認められるものの、全体的には海底下の反射面の連続性が良く、成層構造を示すことから海底地すべりではないと判断される。
- 以上より、伊方発電所に影響を与えるような海底地すべりは認められない。

<添付資料> pp.58-71参照

4. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

4. 2. 3 地すべり地点の選定

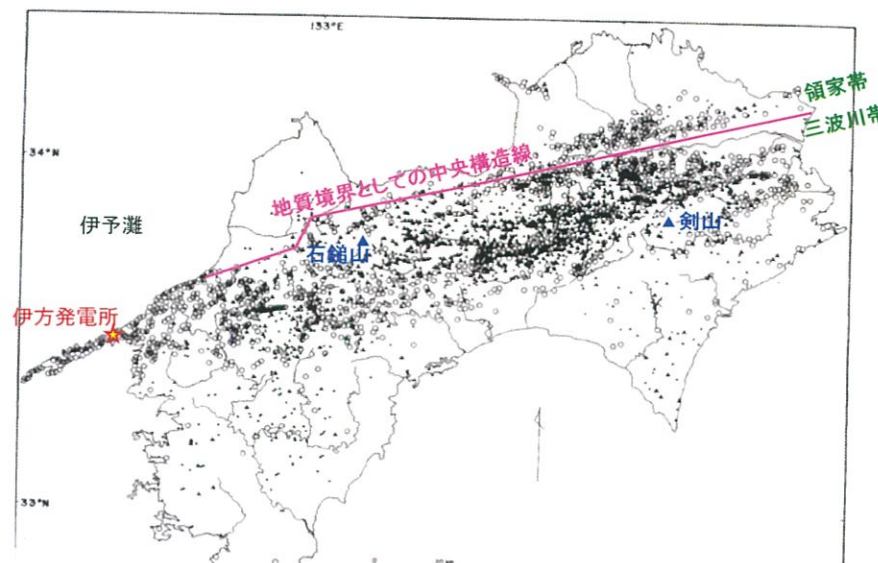
4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

伊予灘沿岸部の地すべりの特徴①（地震地すべり）

- 地震に伴う地すべり(以下、「地震地すべり」という。)については地すべり学会(2012)によって総括されており、1596年の慶長豊後地震の際に大分県の火山で発生した事例を含めて過去の地震地すべりの発生箇所が整理されているが、敷地周辺において、10万 m^3 を超える地震地すべりの報告はない。
- 敷地は南海トラフの震源域から離れており、1946年12月の昭和南海地震(敷地付近での震度は4であった)発生後の1947年10月～1948年5月に敷地周辺で米軍の空中写真が撮影されているが、昭和南海地震に起因すると推定される新鮮な大規模地すべりの痕跡は認められない。
- 四国全域における10万 m^3 以上の大規模崩壊について検討した寺戸(1986)によると、三波川帯の大規模崩壊は剣山北東から石鎚山南方の四国山地部で多く、中央構造線沿いではむしろ少ないとされている。

- 敷地周辺において地震地すべりが発生して敷地に影響を与えるような津波を生じる可能性は極めて低いと評価される。



四国における大規模崩壊地形と地すべり指定地及び同危険箇所の分布
寺戸(1986)から抜粋, 一部追記

伊予灘沿岸部の地すべりの特徴②（降雨地すべり）

- 降雨に伴う地すべり(以下、「降雨地すべり」という。)については、三波川変成岩類分布域において、古い地すべり地が部分的に降雨地すべりを発生した事例の報告が多い。
- 四国における大規模崩壊のうち5%内外が数百年以内の新期の形成であり、規模が100万m³以上になると古期のものが97%を越えるとされる(寺戸, 1986)。
- 敷地周辺の地すべり地の多くは、地形の開析状況等から形成時期が非常に古く、現在に至るまでに幾多の豪雨を経験していると考えられるものの、地すべり土塊の大部分は山腹に残って長年に亘り安定している。また、一般に四国の大規模崩壊は標高500m以上の地域に分布するのに対して(寺戸, 1986)、敷地は標高300m程度の細長い半島に位置するために地すべりの規模も自ずと制限される。

- 大規模な降雨地すべりが発生して敷地に影響を与えるような津波を生じる可能性は低いと評価される。

- 敷地周辺の伊予灘沿岸部に点在する地すべりは、地震地すべりではなく、古い時代に形成された降雨地すべりで現在は安定していると評価され、これまでに伊予灘沿岸部で地すべりによる津波が発生した事例もない。
- したがって、基本的には問題ないと考えられるものの、2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、過去の事例に捉われず発電所の更なる安全性向上を図る観点から、沿岸部の自然斜面で降雨地すべりが発生して岩屑流(地すべり土塊)が海面に突入することで生じる津波(以下、「地すべり津波」という。)の影響評価を行うこととする。

3. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

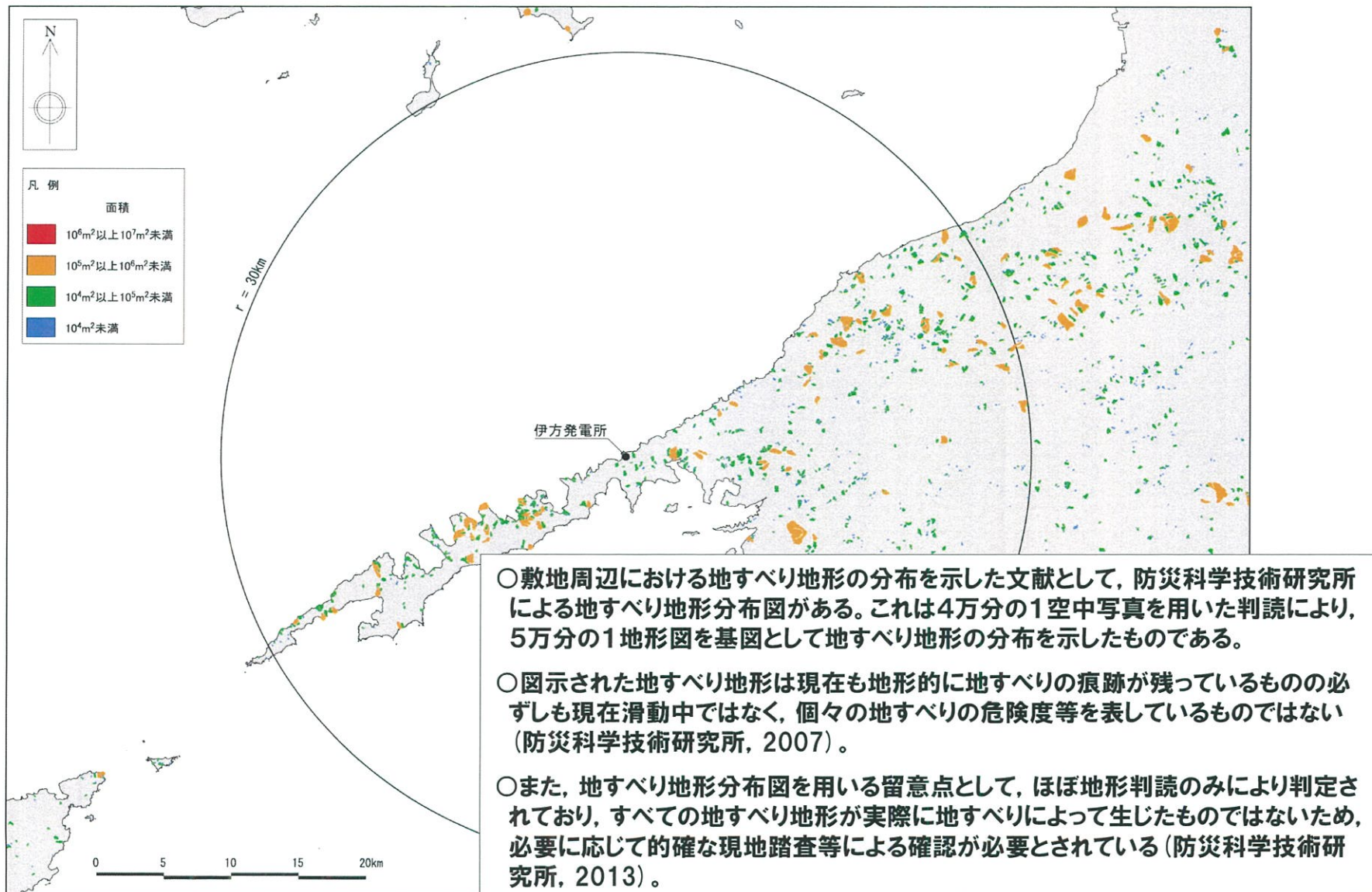
4. 2. 3 地すべり地点の選定

4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

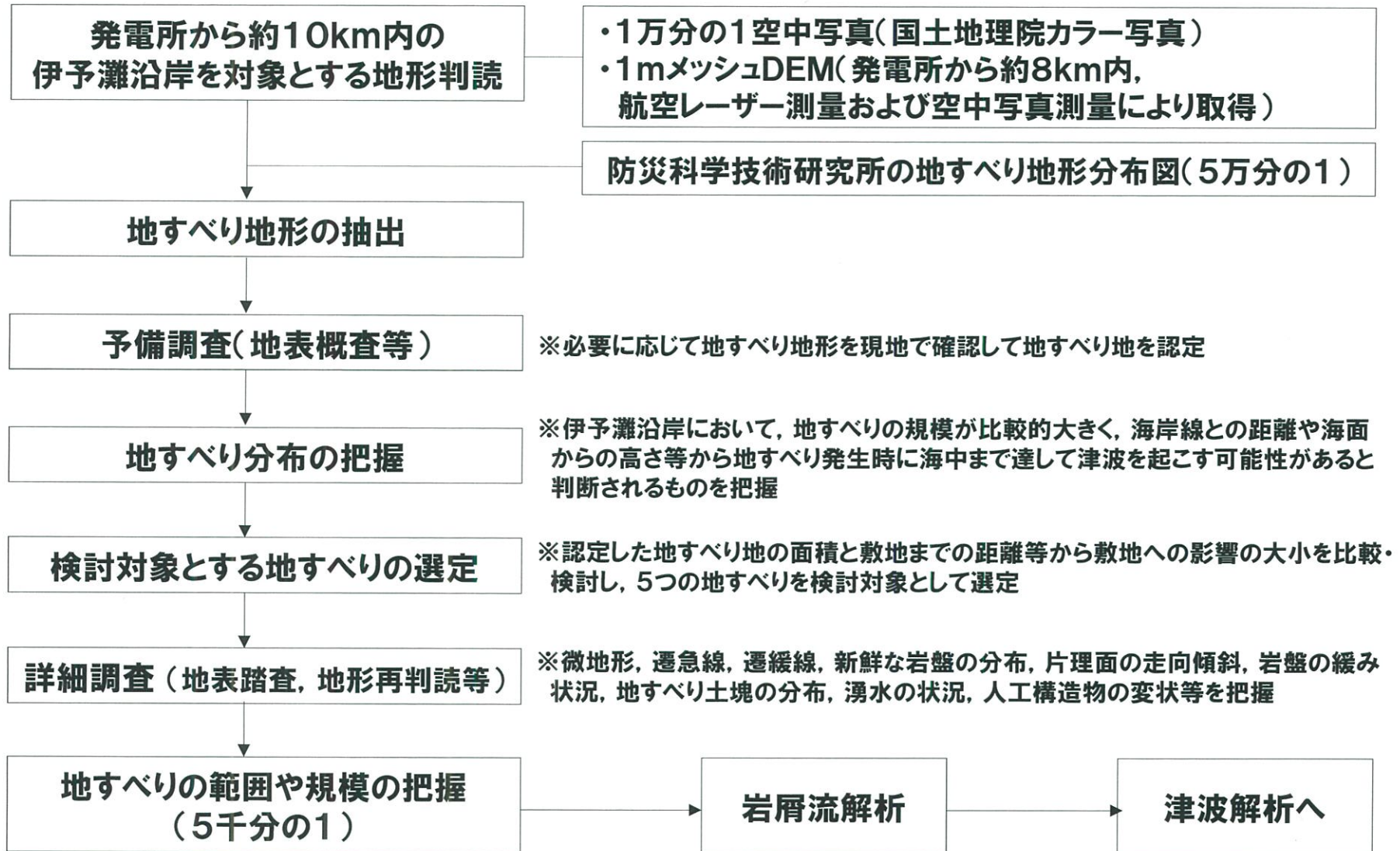
敷地周辺の地すべり地形分布（防災科学技術研究所）

○防災科学技術研究所（2013）によると、敷地周辺に地すべり地形が点在する。

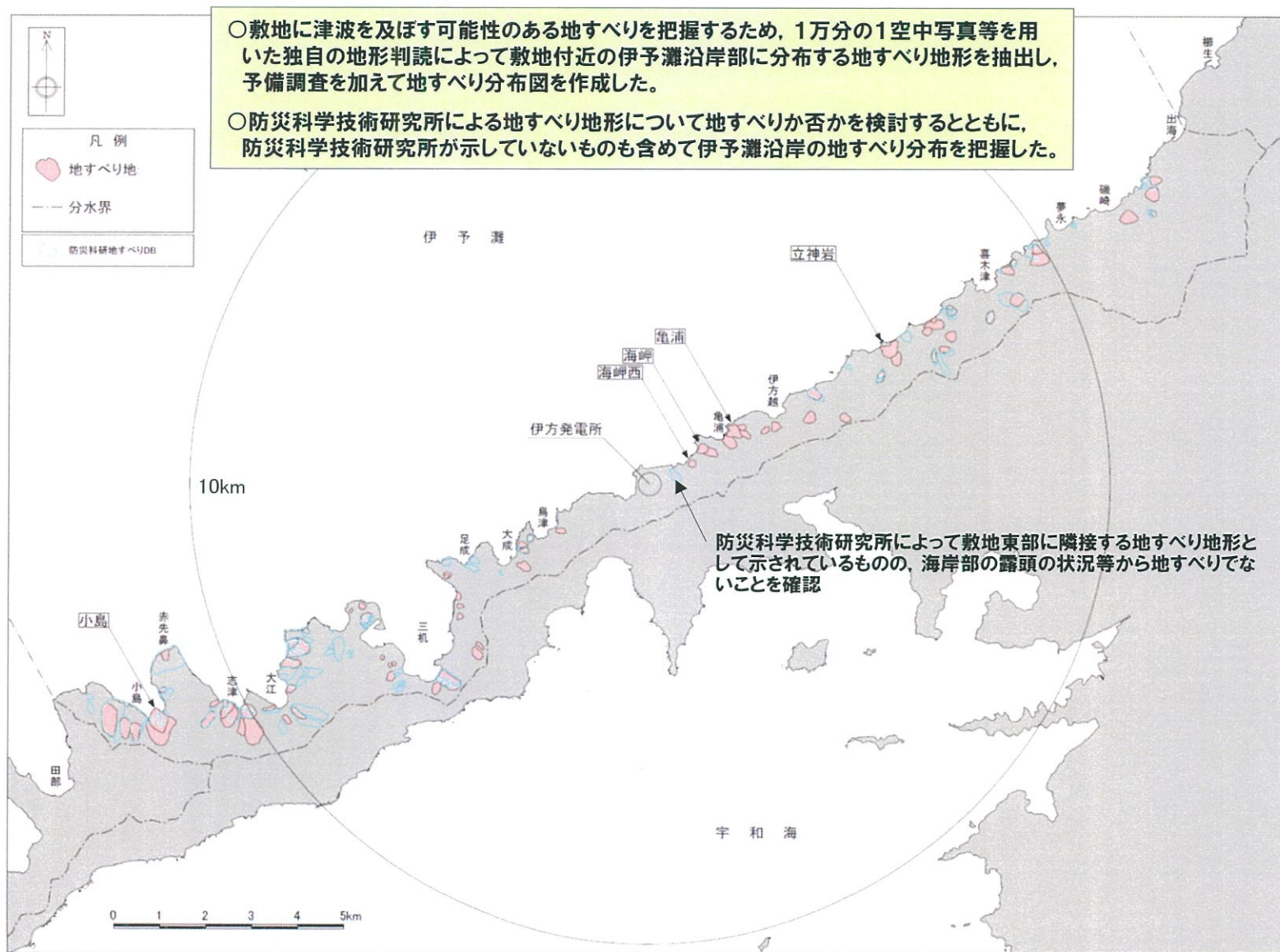


※敷地周辺の地すべり地形分布図を「地すべり地形分布図データベース」(防災科学技術研究所, 2013)を基に作成。個々の地すべりは必ずしも現在滑動中ではなく、実際には地すべりでない地形も含む。

地すべり評価の流れ



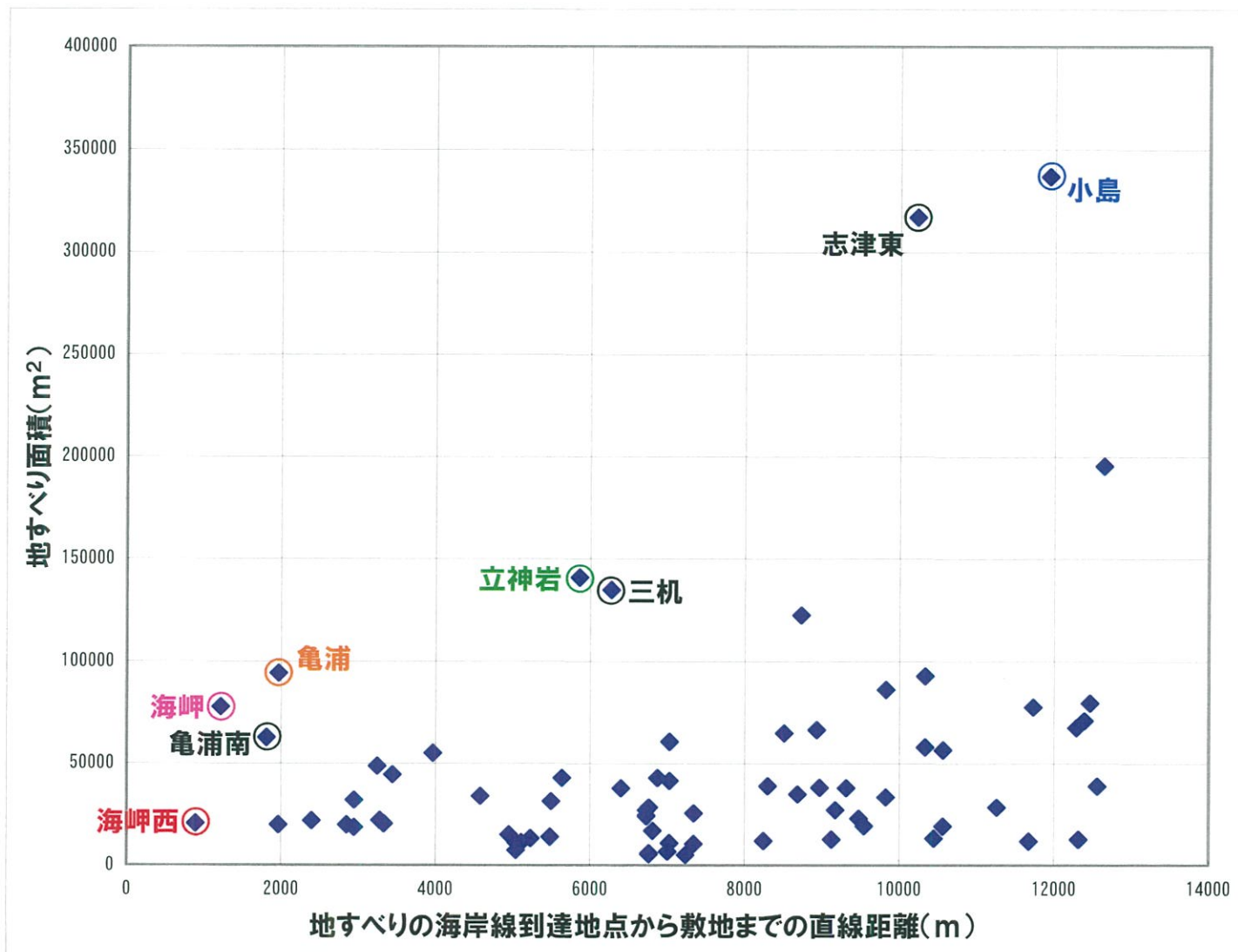
敷地付近(伊予灘沿岸)の地すべり分布



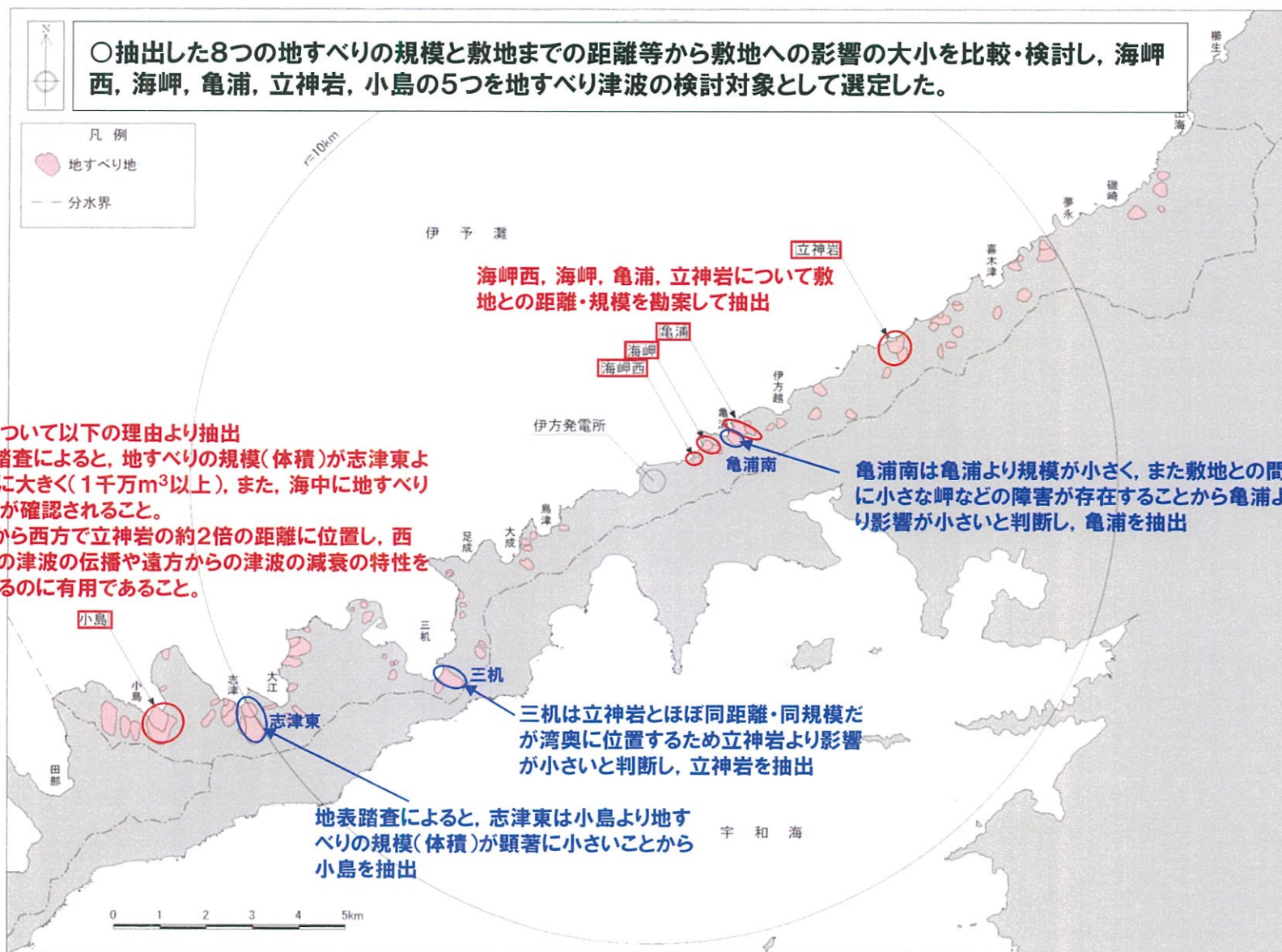
※敷地付近の伊予灘沿岸(佐田岬半島の稜線より北側)において独自の地形判読や地表踏査を行い、地すべりの規模が比較的大きく、海岸線との距離や海面からの高さ等から地すべり発生時に海中まで達して津波を起こす可能性があるものと判断されるものを図示。なお、防災科学技術研究所による地すべり地形についても、同様の観点から実際に地すべりであるとした場合に津波を起こす可能性のあると判断されるものを図示。

検討の対象とする地すべりの選定①

○認定した地すべり地の面積と敷地までの距離を勘案し、敷地に近い方から海岬西、海岬、亀浦南、亀浦、立神岩、三机、志津東、小島の計8つを抽出した。



検討の対象とする地すべりの選定②



※敷地付近の伊予灘沿岸(佐田岬半島の稜線より北側)において独自の地形判読や地表踏査を行い、地すべりの規模が比較的大きく、海岸線との距離や海面からの高さ等から地すべり発生時に海中まで達して津波を起こす可能性があるものと判断されるものを図示。

4. 1 火山の山体崩壊に伴う津波の検討

4. 1. 1 山体崩壊規模の設定

4. 1. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2 地すべりに伴う津波の検討

4. 2. 1 海底地すべりに伴う津波

4. 2. 2 伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波

4. 2. 3 地すべり地点の選定

4. 2. 4 数値シミュレーションによる津波高さの検討

4. 2. 5 評価手法の差異による影響検討

計算条件

- すべり面の形状、崩壊物の規模（体積）、等価摩擦係数等を入力条件として与え、海底の地形変化（以下「比高変化」という。）等を出力する計算手法である粒子流モデル (Patra et al., 2005) を用いた岩屑流計算を実施し、比高変化、突入速度等の挙動を求める。初期水位形状の算出に際しては、二層流モデル (今村ほか, 2001) (Maeno and Imamura, 2007) を用いる。なお、評価手法の差異による影響を確認するため、二層流モデルによる計算結果が最も厳しくなる地点について、Kinematic Landslideモデル (佐竹・加藤, 2002) による津波計算を実施する。

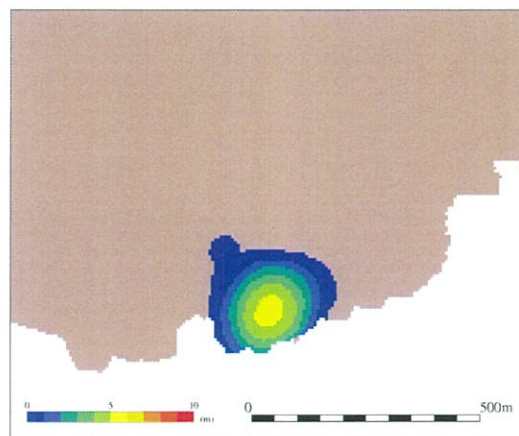
項目	計算条件
内部摩擦角	・ $\phi_{int} = 30^\circ$ (University at Buffalo (2005) に基づき設定)
等価摩擦係数	・ $\tan(\phi_{bed}) = 0.3$ (千木良 (2005) に基づき設定)

二層流モデル及びKinematic Landslideモデル

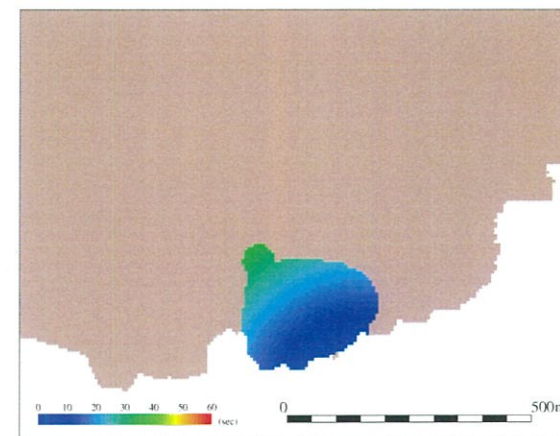
項目	計算条件	
二層流モデル	海水密度	・ $\rho_1 = 1.03 \text{ (g/m}^3\text{)}$ (一般値を設定)
	崩壊物密度	・ $\rho_2 = 2.0 \text{ (g/m}^3\text{)}$ (松本ほか (1998) に基づき設定)
	上層の粗度係数	・ $n = 0.025 \text{ (m}^{-1/3} \cdot \text{s)}$ (津波シミュレーションと同じ値を設定)
	下層の粗度係数	・ $n = 0.40 \text{ (m}^{-1/3} \cdot \text{s)}$ (Kawamata et al. (2005) に基づき設定)
	内部摩擦係数	・ 0.0 (Kawamata et al. (2005) に基づき設定)
Kinematic Landslideモデル	下層の水平渦動粘性	・ $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ (Kawamata et al. (2005) に基づき設定)
	比高変化	・ 岩屑流計算の結果による(下図参照)
	比高変化開始時刻	・ 岩屑流計算の結果による(下図参照)
	比高変化継続時間	・ 岩屑流計算の結果による

※ 二層流モデル: 岩屑流計算により求まる崩壊物の海岸線における逐次の突入速度及び層厚を入力条件とし、初期水位条件を与える手法

※ Kinematic Landslideモデル: 岩屑流計算により求まる比高変化、比高変化開始時刻及び比高変化継続時間を入力条件とし、運動学的に初期水位条件を与える手法



比高変化分布 (地点② (海岬西))



比高変化開始時刻分布 (地点② (海岬西))

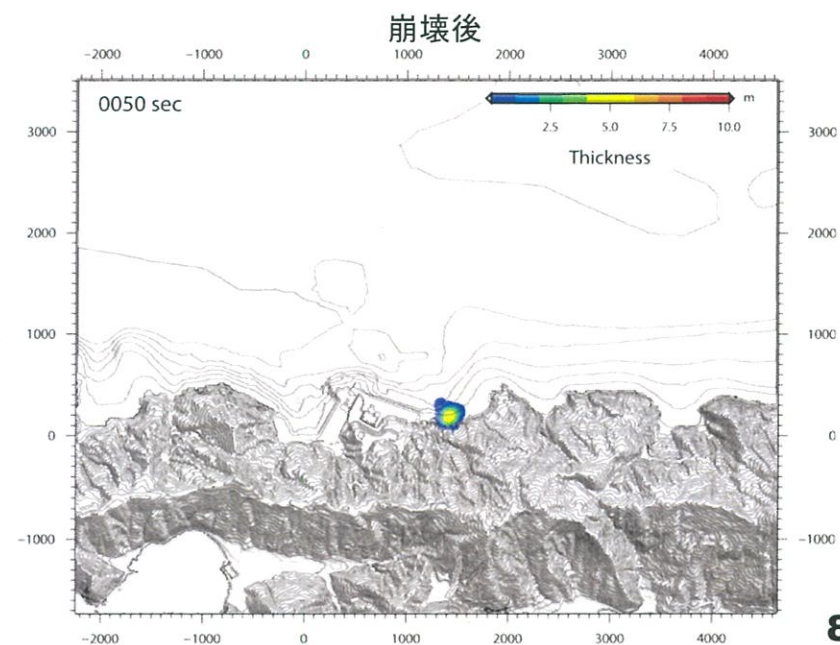
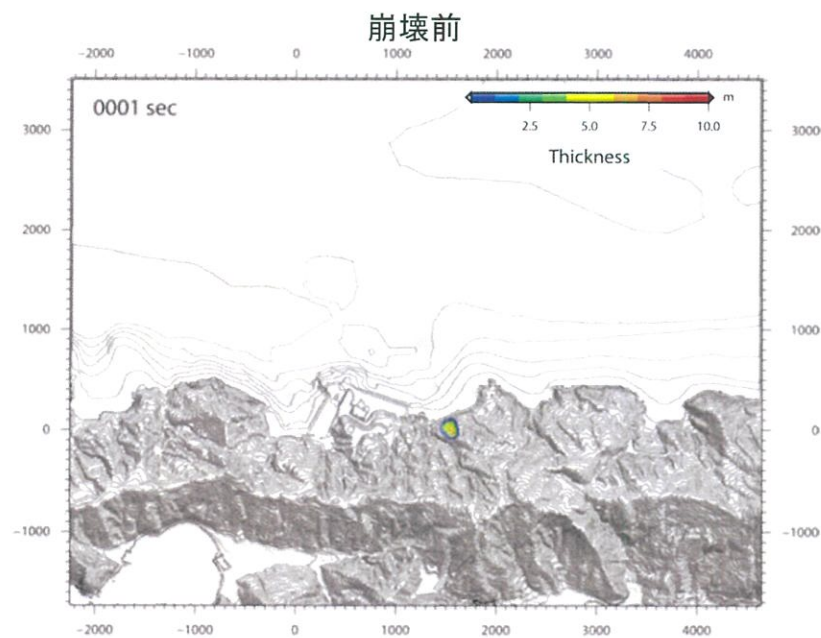
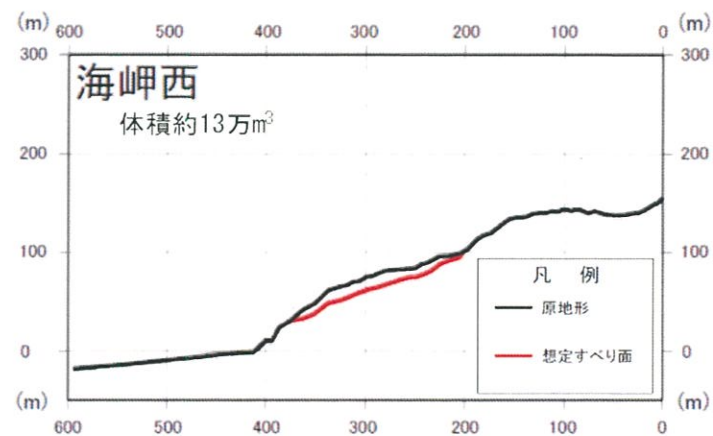
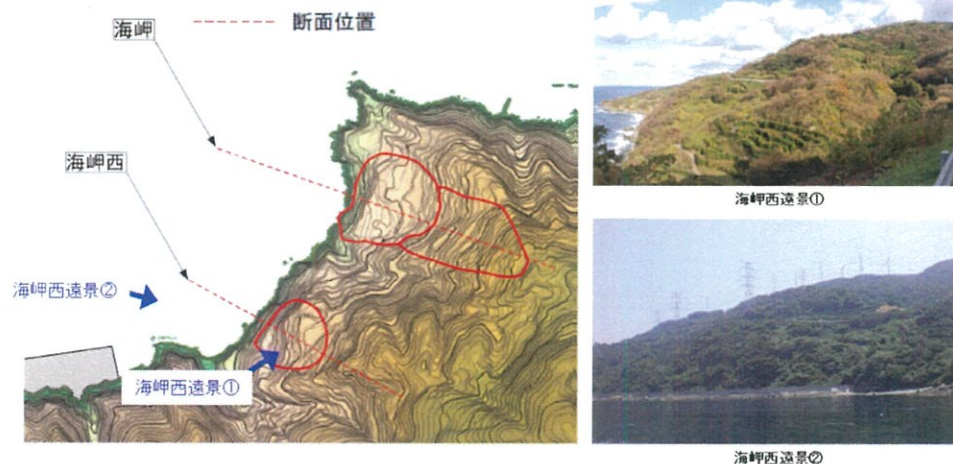
4. 地震以外に起因する津波

計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

○岩屑流計算結果のうち、後述の津波計算において水位変動量が大きくなる海岬西、海岬及び亀浦の結果を示す。

【海岬西】



計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

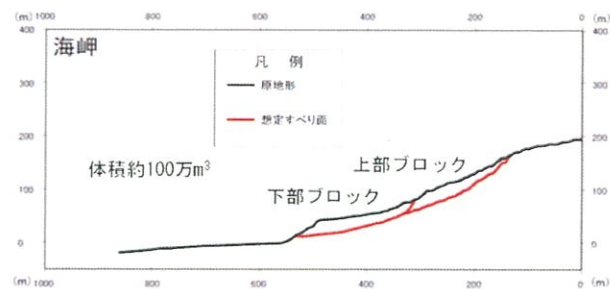
【海岬】



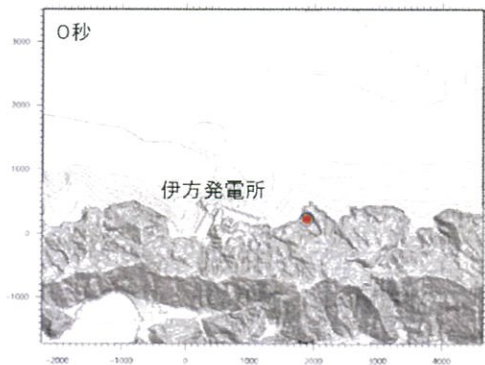
海岬遠景②



海岬遠景①



崩壊前(下部ブロック)



0秒

伊方発電所

崩壊後(下部ブロック)

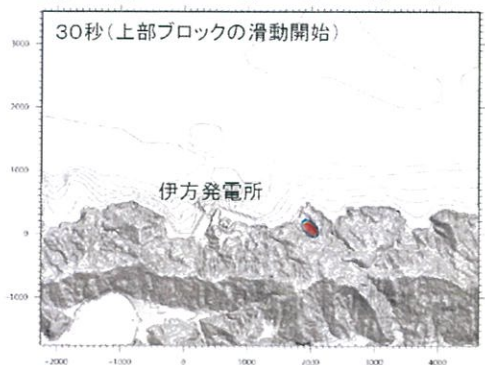


30秒(下部ブロックが抜ける)

伊方発電所

直後

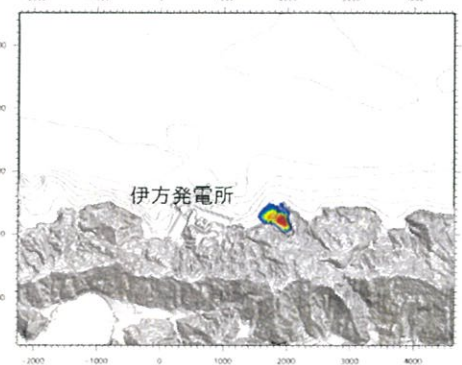
崩壊前(上部ブロック)



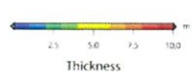
30秒(上部ブロックの滑動開始)

伊方発電所

崩壊後(上部ブロック)

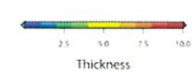


伊方発電所



0001 sec

Thickness



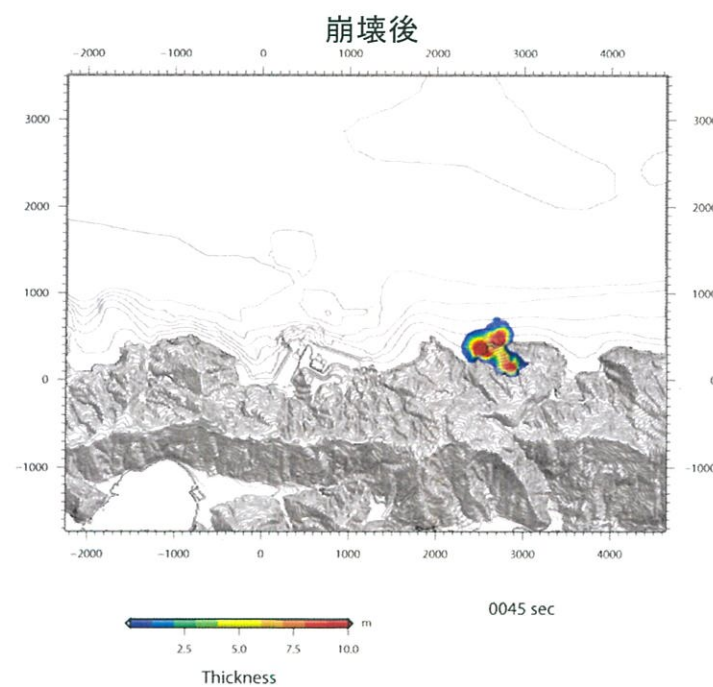
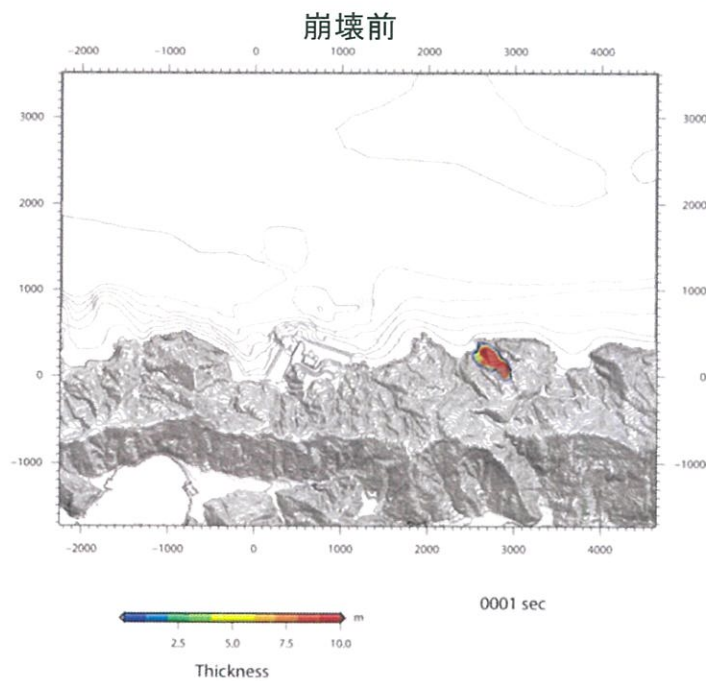
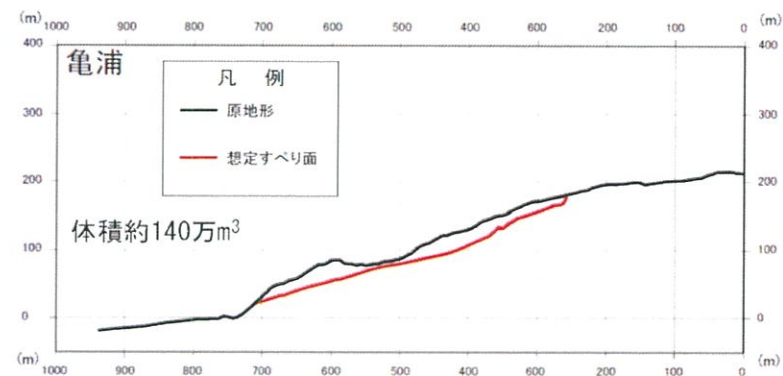
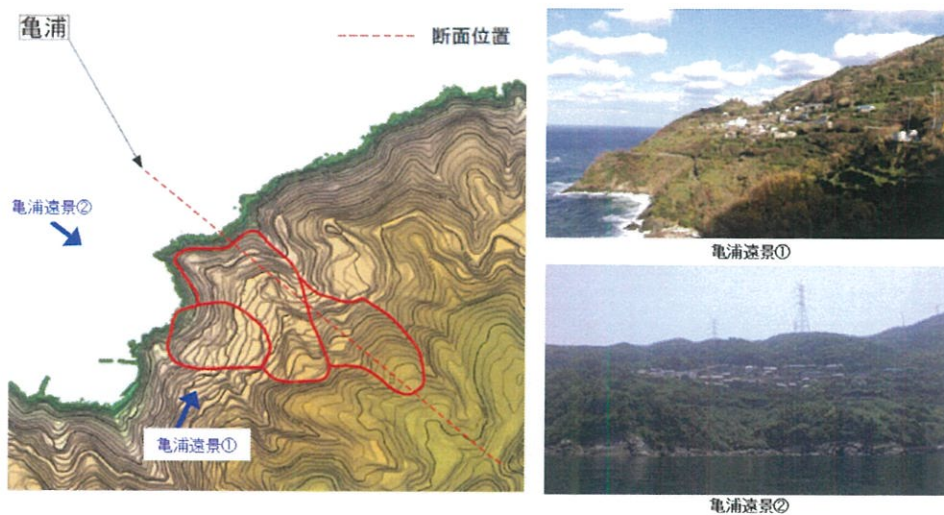
0040 sec

Thickness

4. 地震以外に起因する津波
計算結果

平成27年6月3日
 まとめ資料再掲

【亀浦】

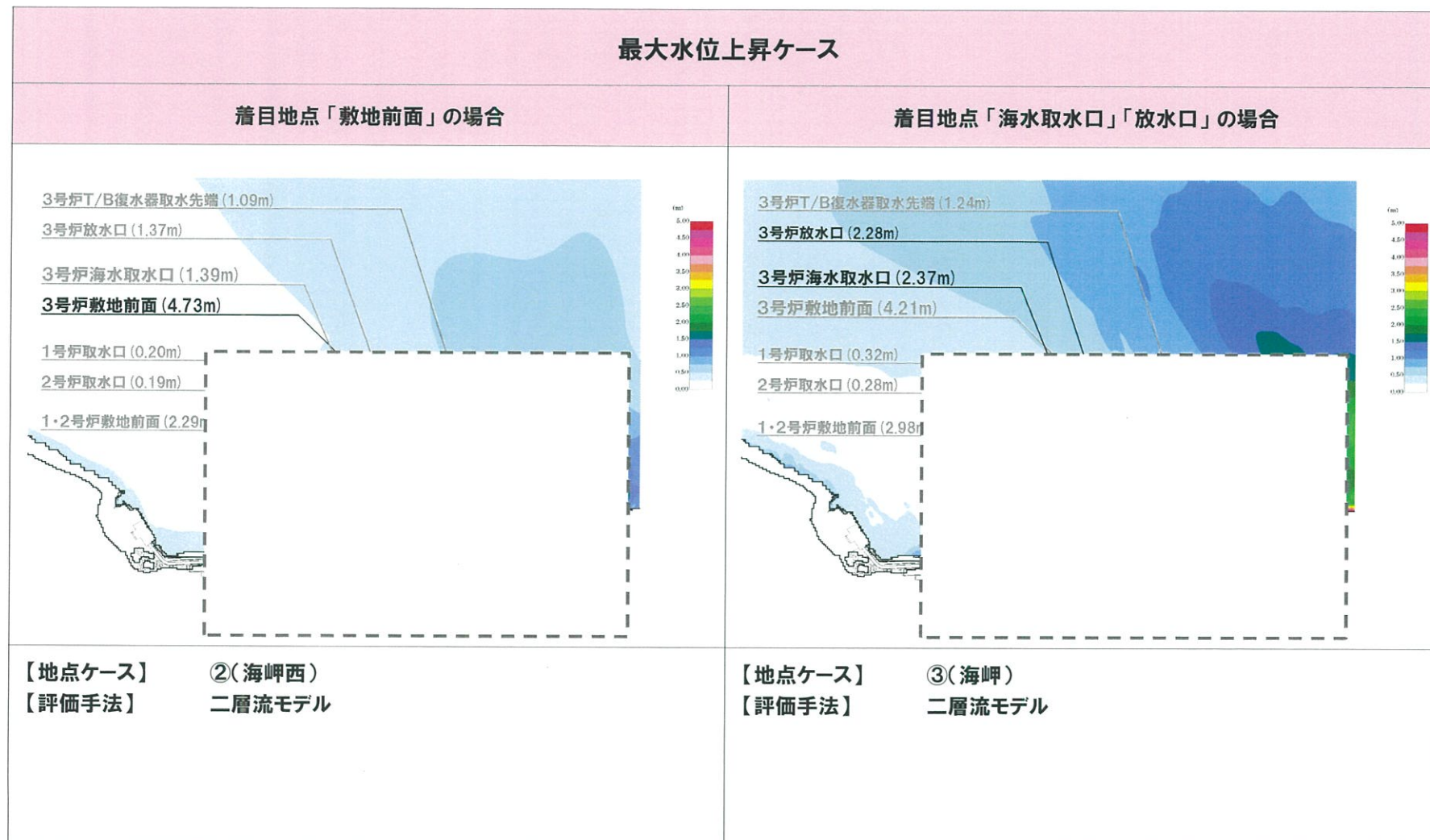


計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

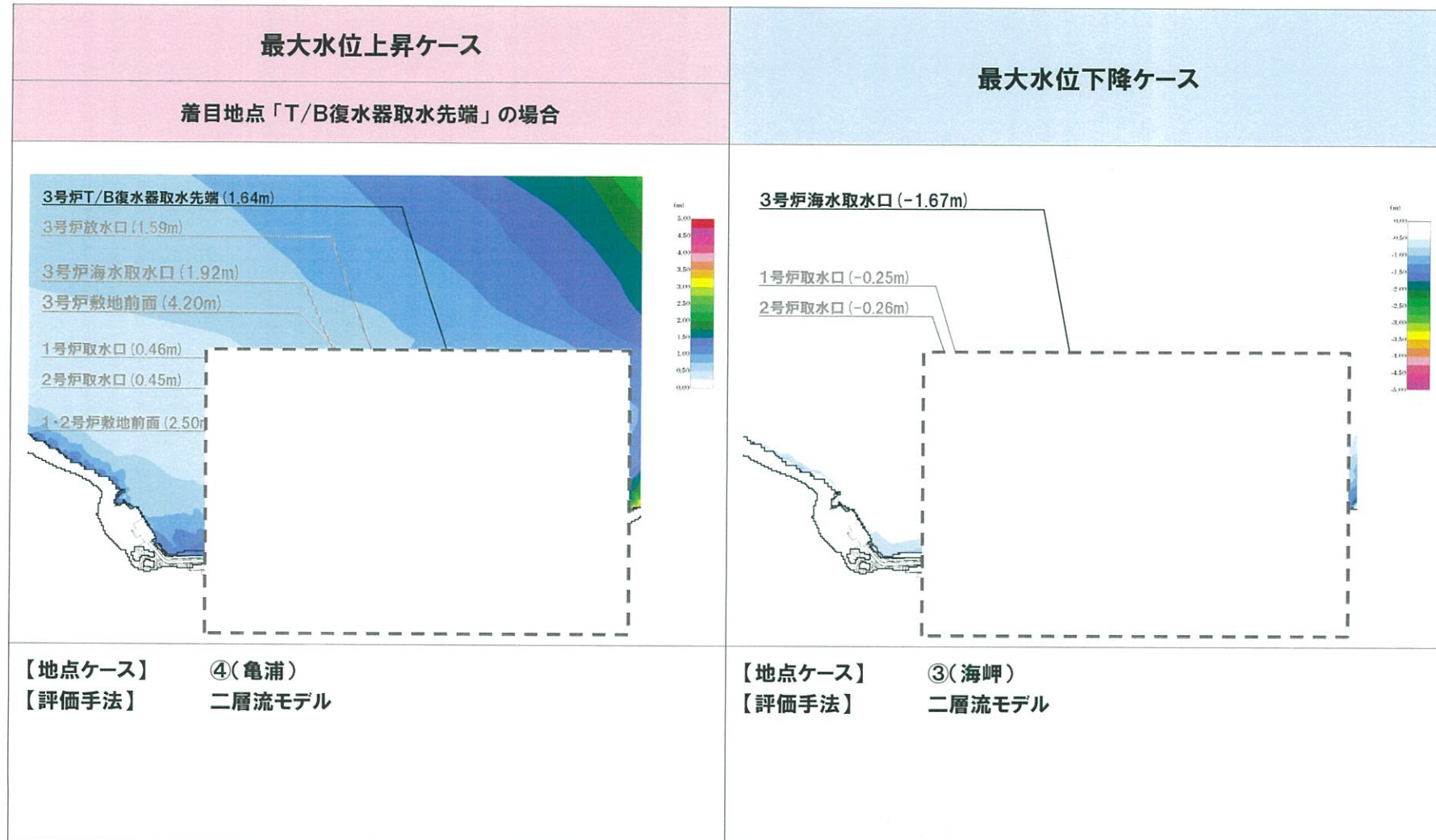
○地すべりに伴う津波のうち、最も厳しいケースの計算結果(最大水位変動量)を以下に示す。



計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み□□の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

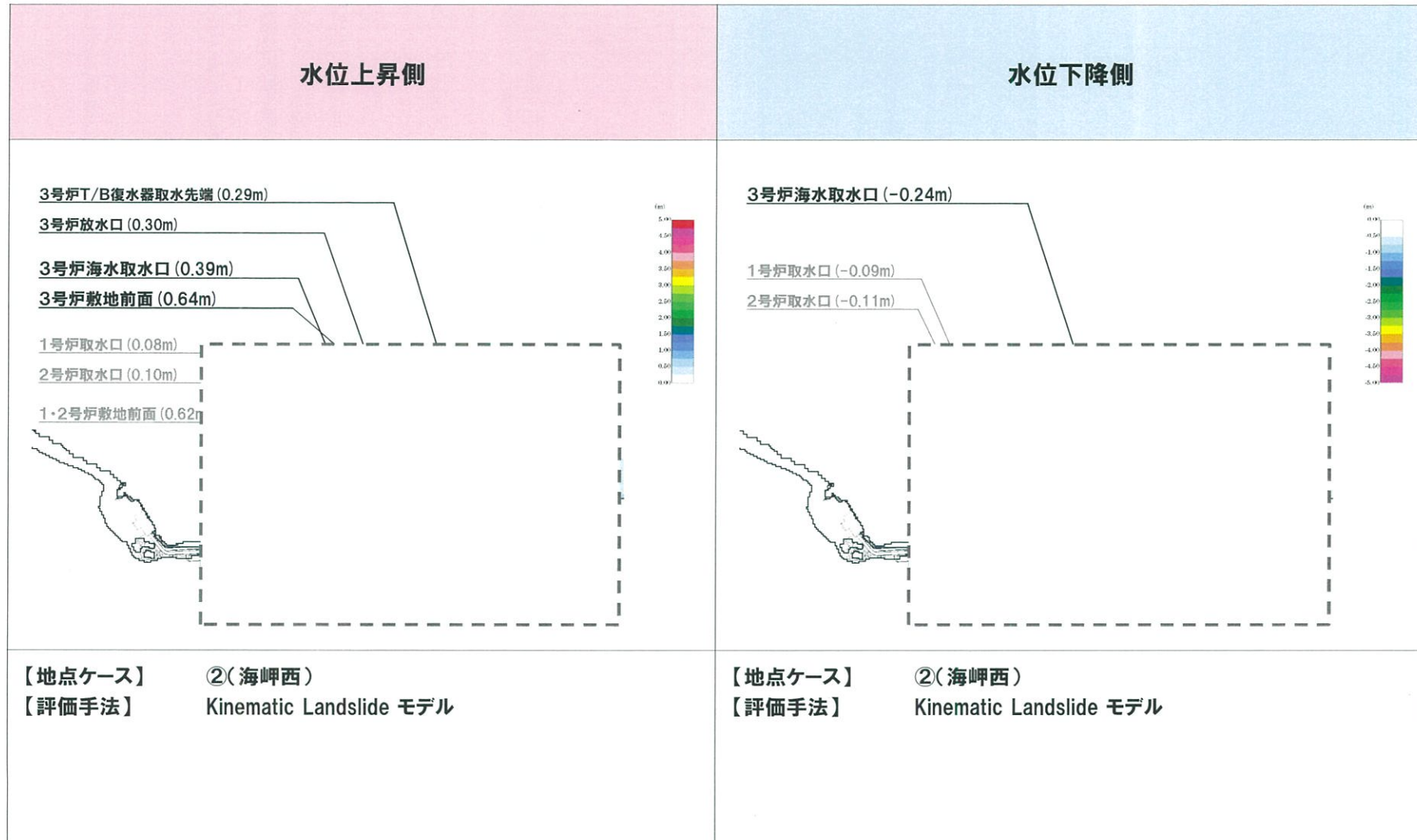


計算結果

平成27年6月3日
まとめ資料再掲

本資料のうち、枠囲み「」の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

○また、評価手法の差異による影響を確認するため、二層流モデルによる計算結果が最も厳しくなる地点については、Kinematic Landslideモデル(佐竹・加藤, 2002)による津波計算も実施し、既往の評価結果を下回ることを確認した。



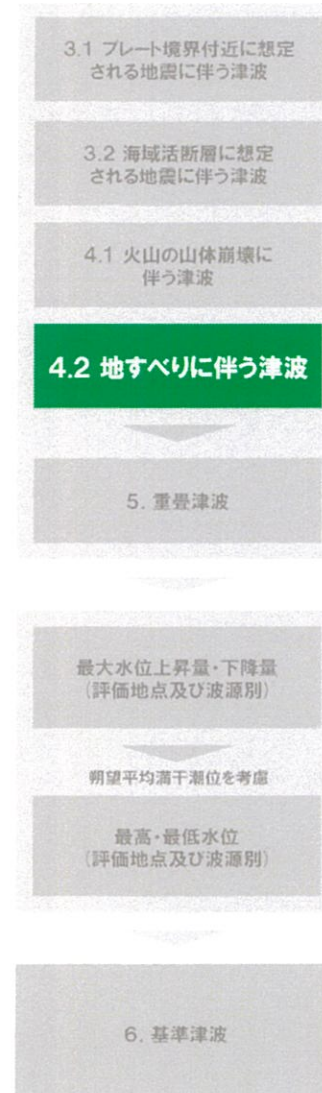
計算結果

○地すべりに伴う津波の計算結果(最大水位変動量)を下表に整理する。3号炉敷地前面における最大水位上昇量は約4.7m, 3号炉海水取水口における最大水位下降量は約1.7mであった。

○最も厳しいケースにおける時刻歴水位を添付資料に示す。 <添付資料> pp.105-106参照

検討ケース		一次評価地点				
		水位上昇側				水位下降側
		3号炉敷地前面	3号炉海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉海水取水口
① 小島	二層流モデル	+0.34m [±0.00m]	+0.28m [±0.00m]	+0.17m [±0.00m]	+0.16m [±0.00m]	-0.26m [±0.00m]
② 海岬西	二層流モデル	+4.73m [±0.00m]	+1.39m [±0.00m]	+1.09m [±0.00m]	+1.37m [±0.00m]	-1.15m [±0.00m]
	Kinematic Landslide モデル	+0.64m [±0.00m]	+0.39m [±0.00m]	+0.29m [±0.00m]	+0.30m [±0.00m]	-0.24m [±0.00m]
③ 海岬	二層流モデル	+4.21m [±0.00m]	+2.37m [±0.00m]	+1.24m [±0.00m]	+2.28m [±0.00m]	-1.67m [±0.00m]
④ 亀浦	二層流モデル	+4.20m [±0.00m]	+1.92m [±0.00m]	+1.64m [±0.00m]	+1.59m [±0.00m]	-1.10m [±0.00m]
⑤ 立神岩	二層流モデル	+0.54m [±0.00m]	+0.43m [±0.00m]	+0.39m [±0.00m]	+0.41m [±0.00m]	-0.29m [±0.00m]

下線:各一次評価地点における地盤変動量を考慮した最も厳しいケース
[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起、-が沈降)



5. 重畳の検討

全体構成

1. 既往津波に関する調査

2. 津波伝播計算手法及び計算条件

3. 地震に起因する津波

4. 地震以外に起因する津波

5. 重畳の検討

組み合わせの検討

「地震に起因する津波」と「地震以外に起因する津波」で設定したそれぞれの津波の重畳について敷地への影響を検討

重畳条件の設定・数値シミュレーション

「敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震に伴う津波」と「伊予灘沿岸部の地すべり津波」を重畳させた津波評価

6. 基準津波の策定及び検証

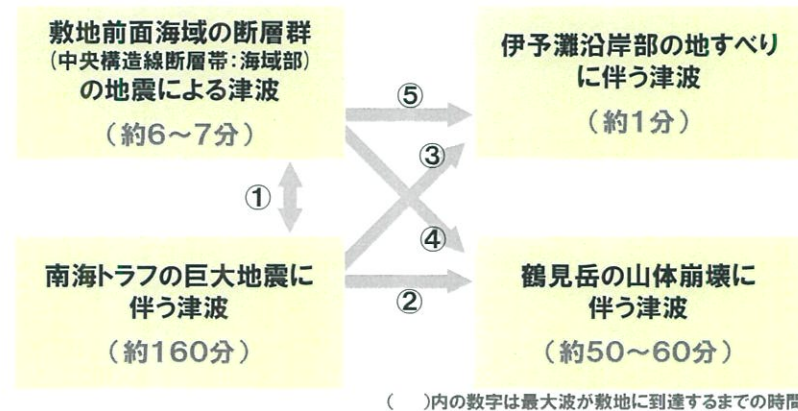
7. 基準津波に対する安全性

8. 超過確率の参照

5. 1 組み合わせの検討

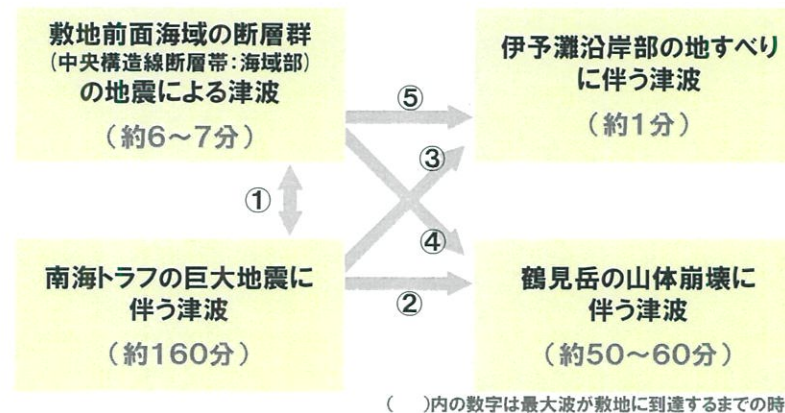
5. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

重畳に関する検討



- ① 南海トラフの巨大地震に伴う津波と敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯: 海域部) の地震による津波の重畳については、これらの震源域は互いに遠く離れており、過去の南海地震発生後に中央構造線断層帯の地震が誘発された事例もないことから関連性が低く、重畳する必要はないと評価される。
- ② 南海トラフの巨大地震に伴う津波と鶴見岳の山体崩壊に伴う津波の重畳については、鶴見岳は南海トラフの震源域から遠く離れているため揺れの影響は小さく、過去の南海地震発生時に鶴見岳が山体崩壊を生じていないことから関連性が低く、重畳する必要はないと評価される。
- ③ 南海トラフの巨大地震に伴う津波と伊予灘沿岸部の地すべり津波の重畳については、選定した地すべり地の中で敷地に比較的近い海岬西、海岬、亀浦のいずれも、地形の開析状況等から古い時代の形成で南海トラフの地震や中央構造線断層帯の地震による揺れを幾度となく被っていると考えられるものの滑動の痕跡が認められず、降雨地すべりと評価されるため、重畳する必要はないと評価される。
- ④ 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯: 海域部) の地震による津波と鶴見岳の山体崩壊に伴う津波の重畳については、敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯: 海域部) の地震による揺れで鶴見岳の一部が崩壊する可能性は考慮する必要があるものの、前者の津波の敷地到達が地震発生後の6~7分後であるのに対して後者の津波の敷地到達は50~60分後であるため、重畳しても影響はないと評価される。

重畳に関する検討



- ⑤敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震による津波と伊予灘沿岸部の地すべり津波の重畳については、前述のとおり選定した地すべり地は降雨地すべりと評価されるため関連性が低く、基本的には重畳する必要はないと評価される。なお、敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震によって、伊予灘沿岸でより小規模な地すべりあるいは斜面崩壊が発生する可能性については考慮する必要があるものの、その影響は選定した地すべり津波の影響に包含されると評価される。

(参考)地震による津波と地すべり津波との重ね合わせについては、地すべり津波の最大波到達時間が約1分と短く、敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震による津波の最大波到達時間も約6~7分であることから、これよりも遠く離れた地点の地震による津波は、さらに遅れて最大波が到達することため、重ね合わせへの影響はさらに小さい。

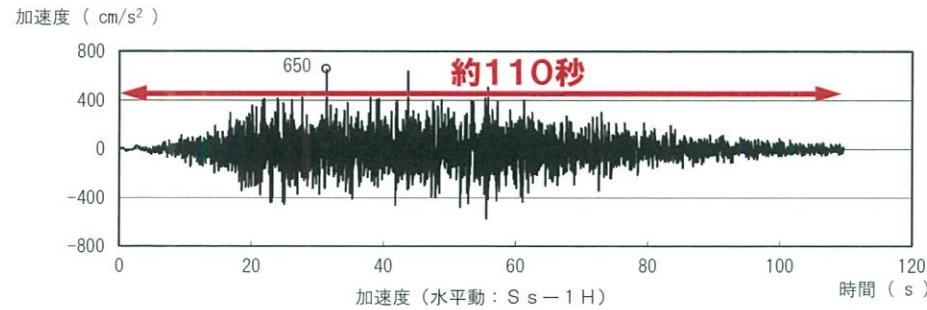
- ただし、前述の①~⑤とは別に、敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震によって、「4.2.3 地すべり地点の選定」で評価したものより小規模な地すべりまたは斜面崩壊が発生する可能性については考慮する必要があると考える。
- そこで、小規模な地すべりまたは斜面崩壊による津波の影響は既に検討した伊予灘沿岸部の地すべり津波の影響に包含されると評価されるため、ここでは保守的に伊予灘沿岸部の地すべり津波と敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯:海域部)の地震による津波を重畳させた津波の影響評価を行う。

5. 1 組み合わせの検討

5. 2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

検討用時間差の抽出方針

○基準地震動の主要動継続時間を踏まえ、地震性の地すべりが地震発生後約110秒間の任意の時刻で発生すると想定する。



基準地震動Ss-1

○次頁に示す抽出方法により「海域の活断層に想定される地震に伴う津波 (敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯: 海域部) に想定される地震に伴う津波)」と「地すべりに伴う津波 (伊予灘沿岸部の地すべりに伴う津波)」の検討用時間差を抽出し、重畳津波の一体計算を実施する。