

伊方発電所3号炉

津波評価について ＜添付資料＞

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。

令和5年2月28日

四国電力株式会社

目次

(地震に起因する津波に関する補足)

- 1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の評価手法の差異による影響検討 P2
 - 1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価 P2
 - 1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価 P44

(地震以外に起因する津波に関する補足)

- 2. 海底地すべりの評価 P58

(基準津波の策定及び検証に関する補足)

- 3. 基準津波の検証 P72

(基準津波に対する安全性評価に関する補足)

- 4. 水路の水理特性による水位変動(管路解析の詳細) P76
- 5. 砂移動に対する評価に関する補足 P86

(全体に共通する補足)

- 6. 計算結果一覧 P96

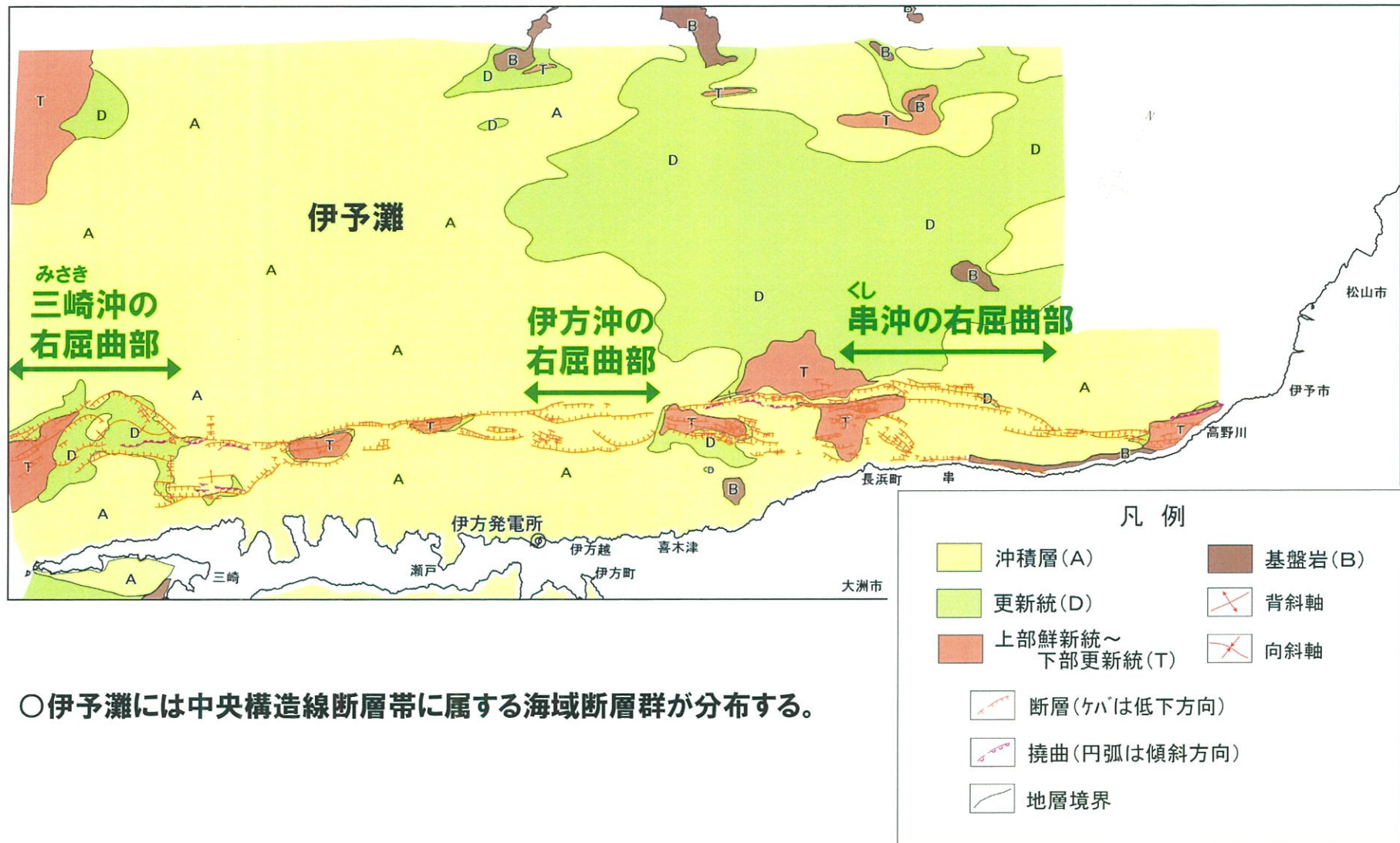
1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

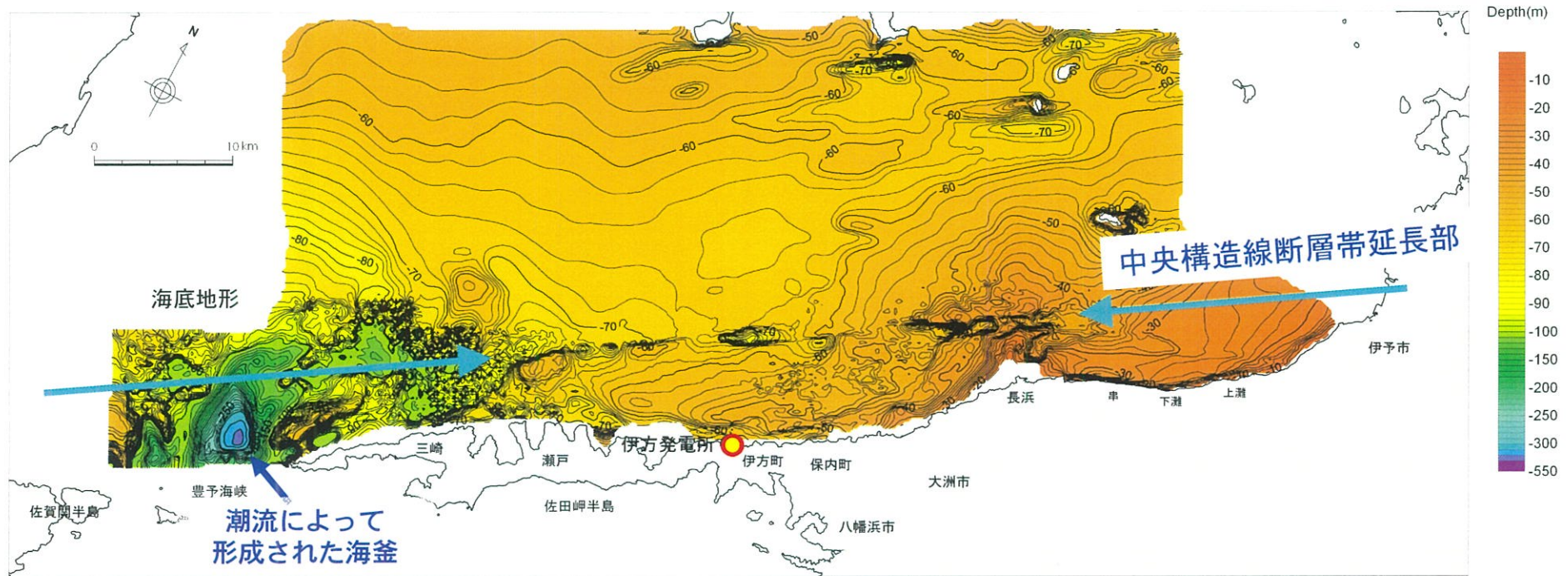
敷地前面海域の活断層分布



○伊予灘には中央構造線断層帯に属する海域断層群が分布する。

海底地形

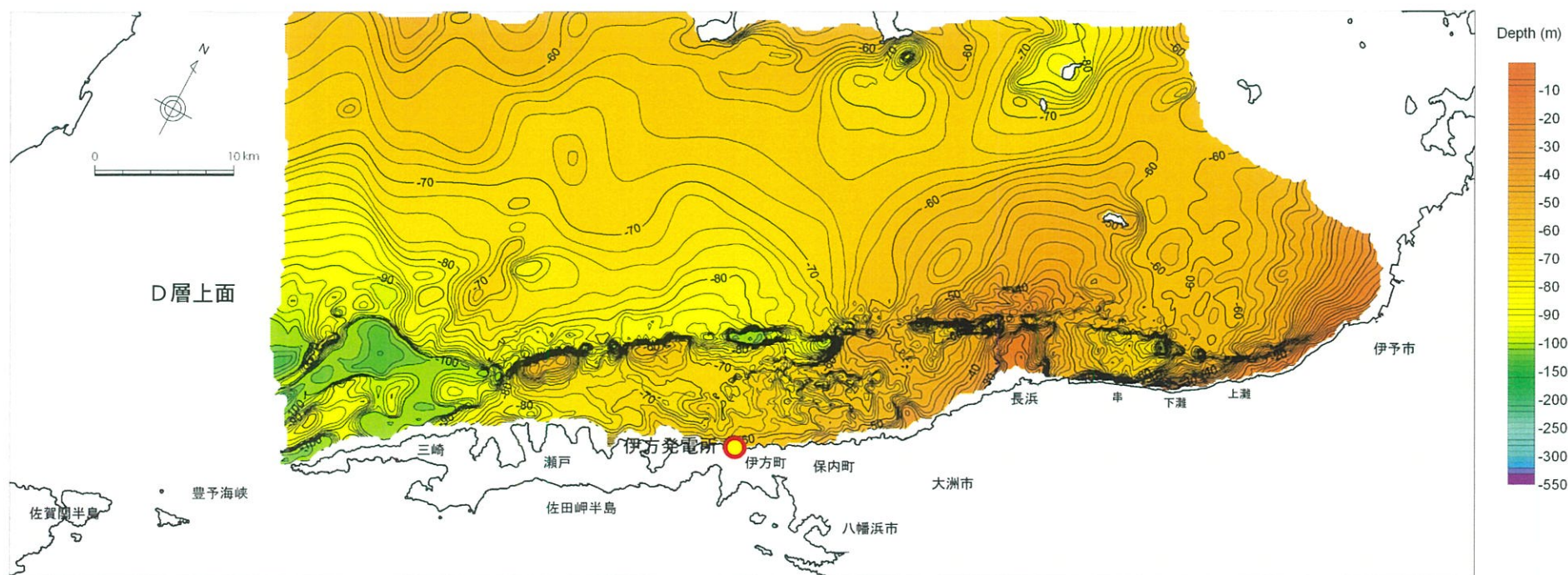
- 海底地形には、中央構造線断層帯の延長部に細長い凹みと高まりが直線状に配列する。
- 海域西部では、卓越する潮流によって起伏の著しい海底地形が形成されている。



海底下浅部の地層上面図(D層上面)

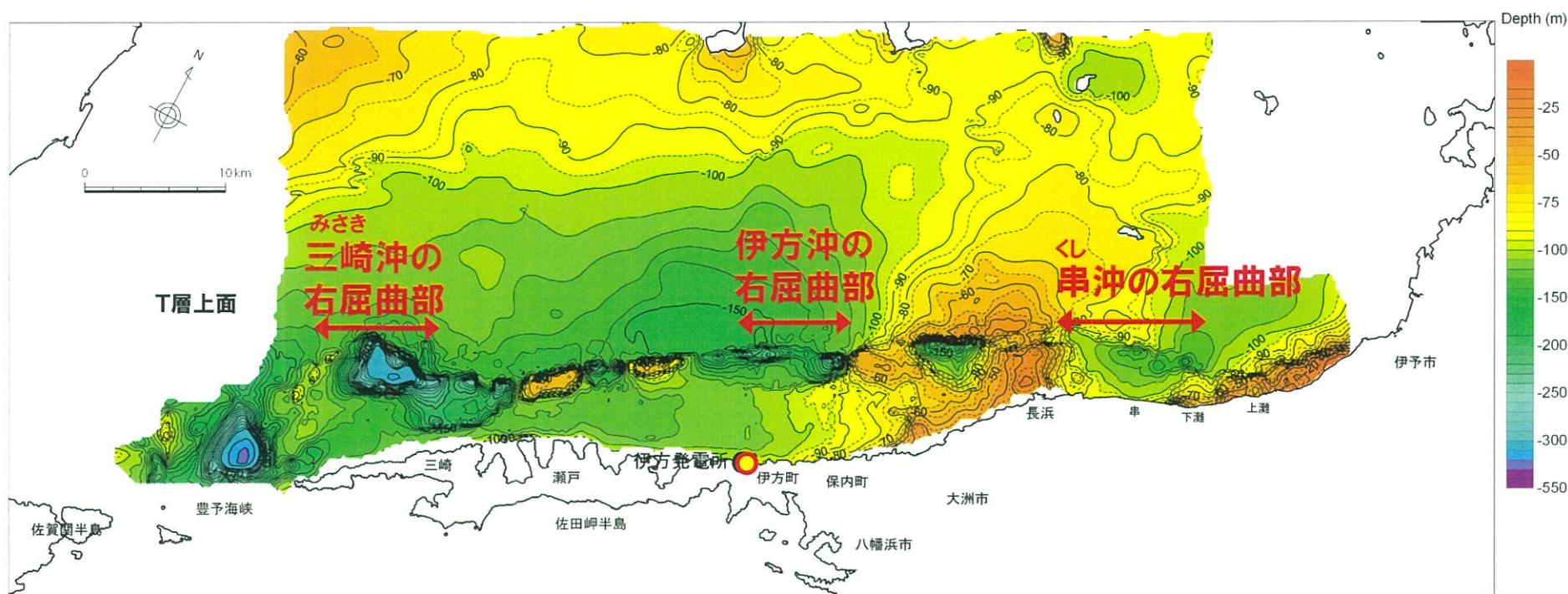
○D層上面では、中央構造線断層帯の延長部にみられる細長い凹みと高まりが海底面よりも比高を増しており、地層の変形の累積性が認められる。

○その他に累積性を示唆する構造は認められない。



海底下浅部の地層上面図(T層上面)

- T層上面では、地層の変形がさらに累積している。
- 活断層の右屈曲部に地溝・盆地状の凹みが認められ、活断層が直線的な区間では凹みと高まりが交互に配列する。中央構造線断層帯の右横ずれ運動に伴って形成された変動地形と考えられる。



検討方針

○以上を踏まえ、局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価として、土木学会(2002)による津波評価手法に加えて、以下の手法(1)~(3)を一括りとして検討を試みる。

手法(1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法



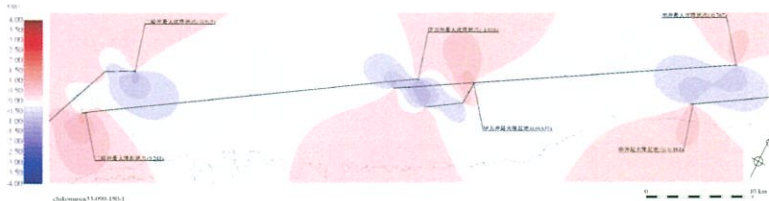
特徴:局地的な隆起・沈降量を考慮した津波評価を行うことができる。

手法(2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法



特徴:手法(1)では算定されない発電所地点での地盤変動量を算出することができる。

手法(3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法



特徴:手法(2)では一部実態と乖離したすべり量を与える必要が生じることから、すべり量等の断層パラメータ設定方法は従来どおり土木学会(2002)に基づくこととし、断層配置に関してのみ局地的な隆起・沈降を再現できる可能性のある配置で設定することで、発電所への影響を総合的に評価できる。

1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

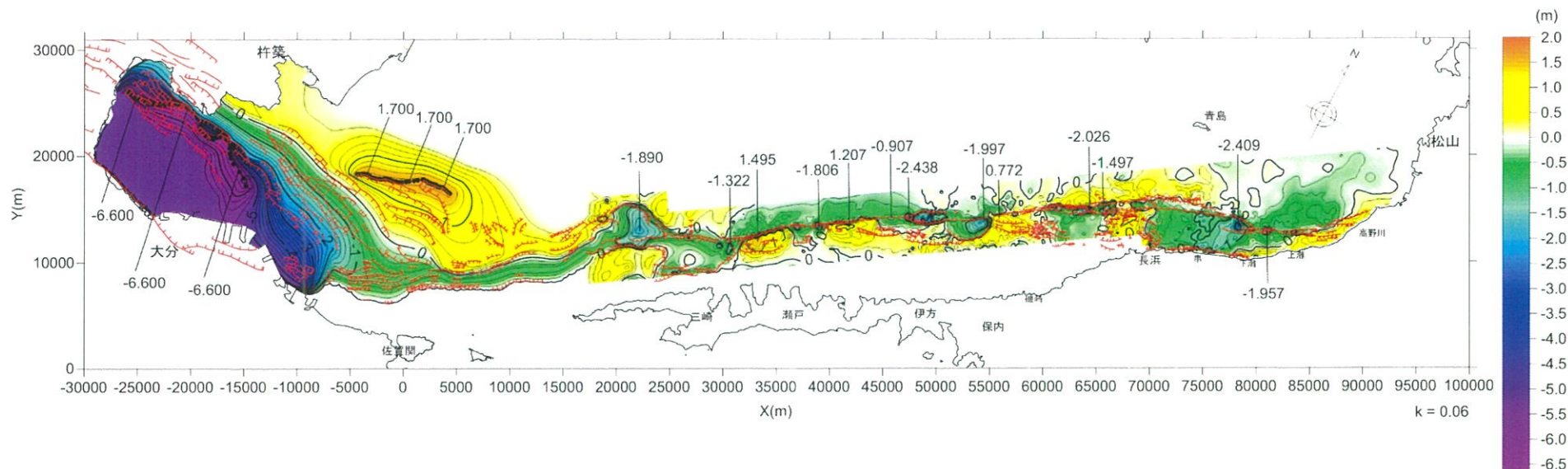
1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

検討方針 - 手法(1)

- 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価を行う。初期鉛直変位分布（隆起・沈降量）は、海域調査結果を基に次頁以降に示す計2ケースを設定した。

地盤変動量分布図① (検討ケース1)

○伊予灘では隆起量の大きいところで約1.5m、沈降量の大きいところで約2.4m、別府湾では最大6.6m沈降するモデルを構築



最小等深線間隔: 0.2 m

— 断層主軸の撓曲

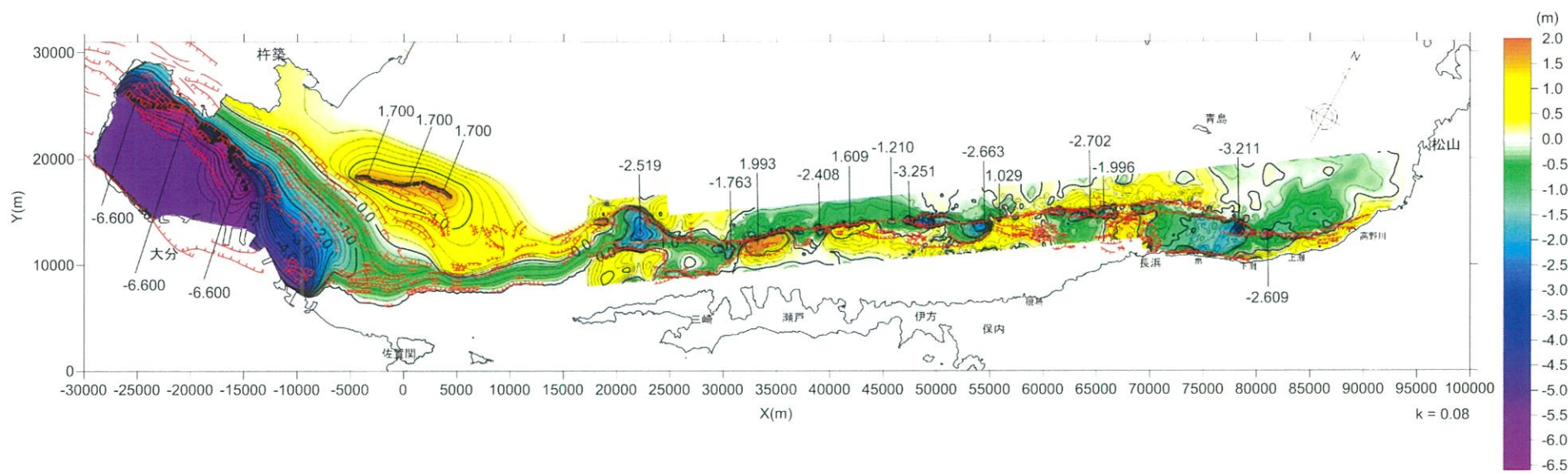
座標系: 平面直角座標第IV系(23x77, 原点座標 X = 27 km, Y = 150 km)とし、座標軸を原点を中心とし、反時計回りに27.5°回転させた任意座標系
動地系: 日本測地系

※短線は断層の落下方向を、田字は撓曲の撓み方向を、破線は推定部分を示す

地盤変動量分布図② (検討ケース2:安全側の評価)

○伊予灘では隆起量の大きいところで約2.0m、沈降量の大きいところで約3.3m、別府湾では最大6.6m沈降する安全側のモデルを構築

→ 最大2.4mの鉛直変位量(検討ケース1)が概ね妥当であり、最大3.3mの鉛直変位量(検討ケース2)はやや大きめである。



最小等深線間隔: 0.2m
 座標系: 平面直角座標系に基づいて、原点を
 X = 27 km, Y = 150 kmとし、座標軸を原点を中心として
 反時計回りに 27.5° 回転させた任意座標系
 測地系: 日本測地系
 断層は白抜曲
 中破線は断層の落下方向を、円弧は撓曲の撓み方向を、
 破線は撓定部分を示す。



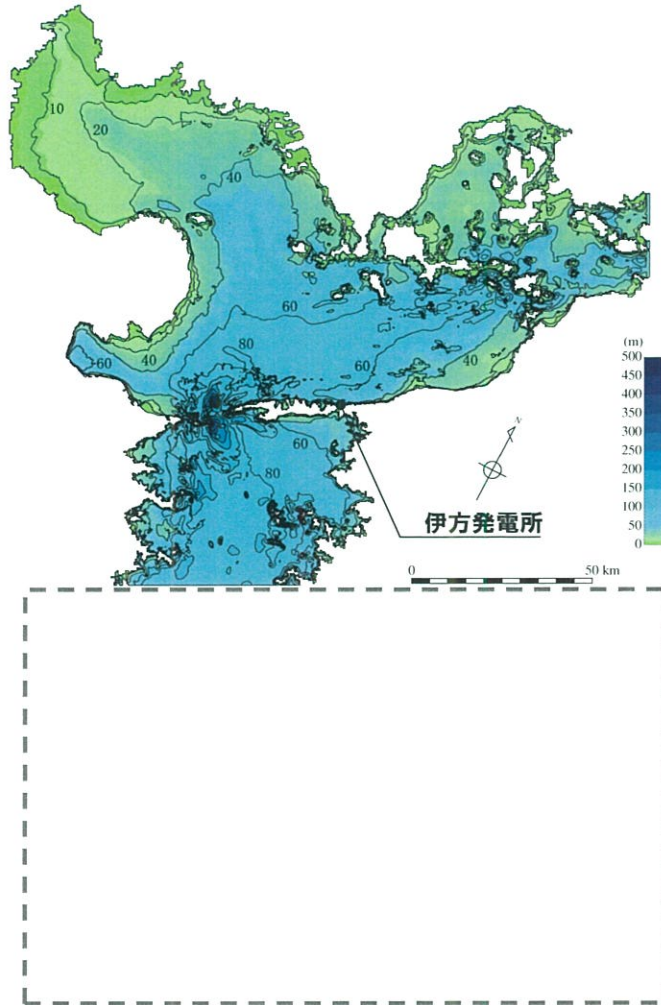
計算条件

項目	計算条件
計算領域	・伊予灘を中心として東西約180km, 南北160kmの領域
格子分割サイズ	・沖合いでの最大400mから200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・0.0625秒
基礎方程式	・非線形長波（浅水理論）の連続式および運動方程式
初期条件	・海域調査結果を基に設定
沖側境界条件	・自由透過条件。 ・ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・静水面より上昇する津波に対して完全反射条件 ・静水面より下降する津波に対して小谷（1998）の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦係数	・マンニングの粗度係数 $n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ （土木学会（2002）に準拠）
水平渦動粘性係数	・ $10\text{m}^2/\text{s}$
計算対象現象時間	・5時間

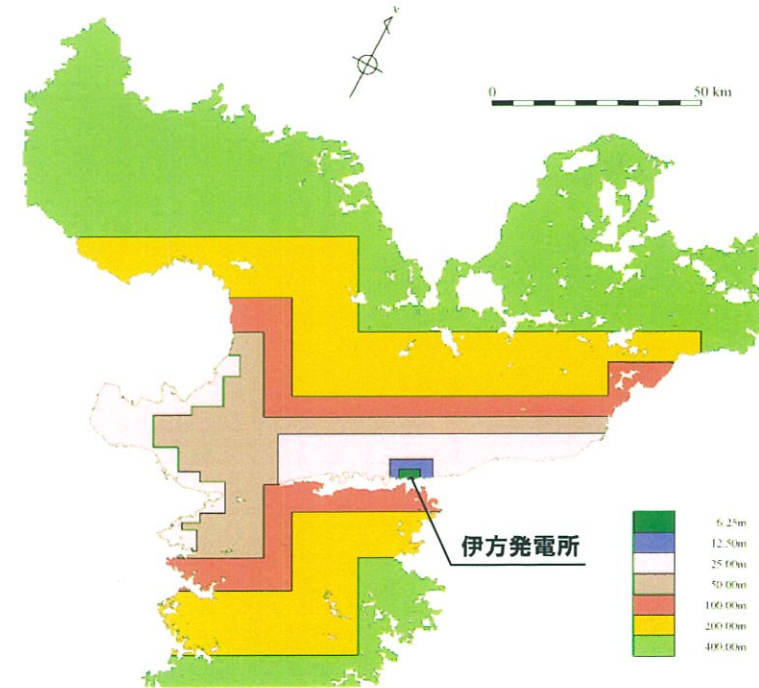
計算領域・水深および格子分割

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。

- 伊予灘を中心として東西約180km, 南北160kmの領域を対象とし, 格子分割は最大400mから200m, 100m, 50m, 25m, 12.5m, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定する。



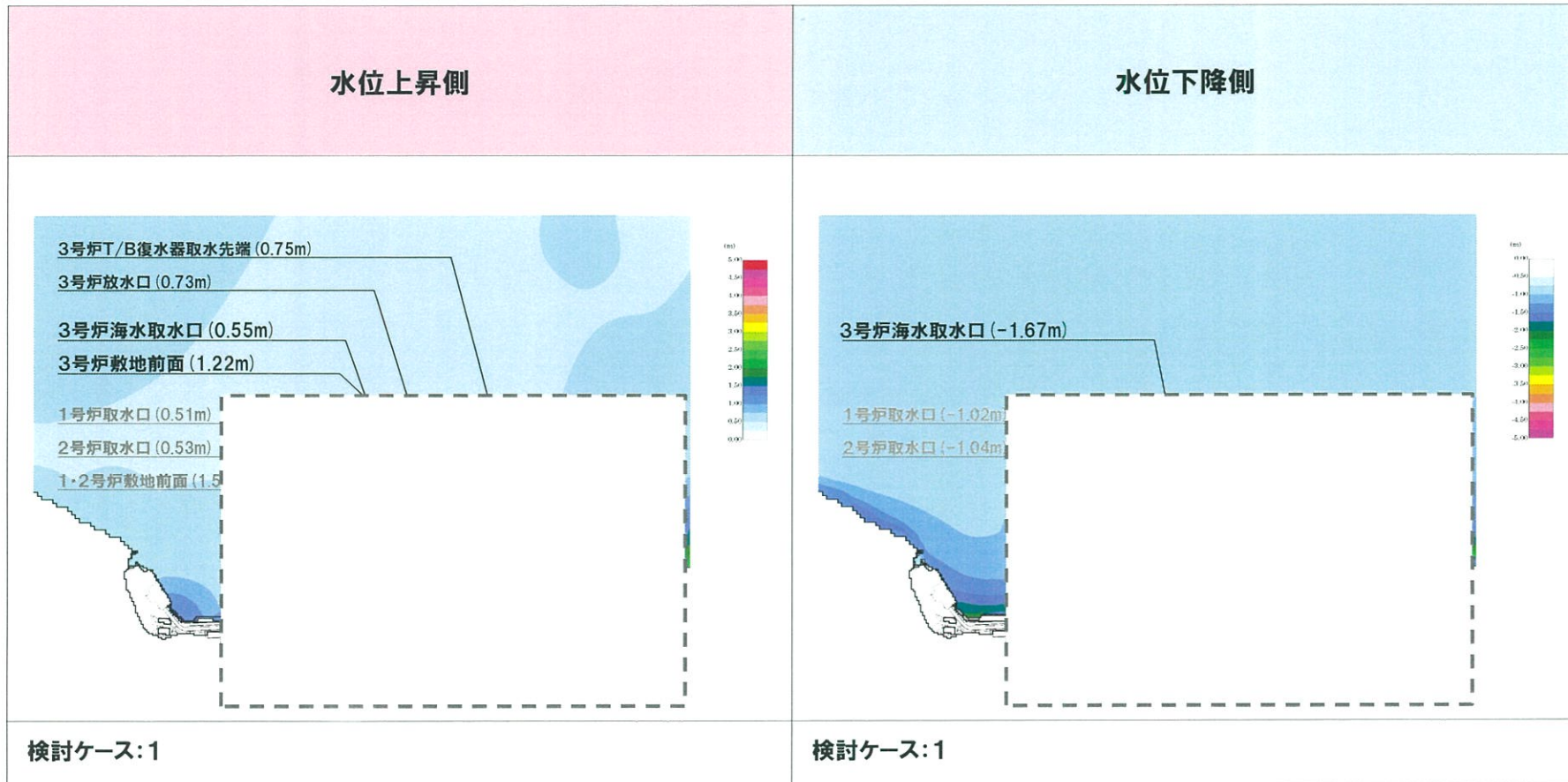
計算領域・水深



格子分割

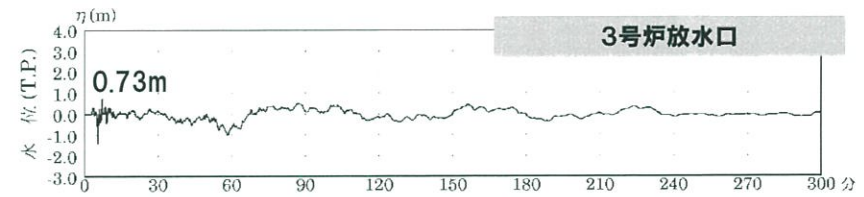
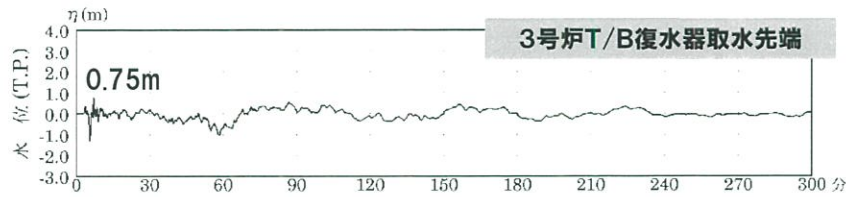
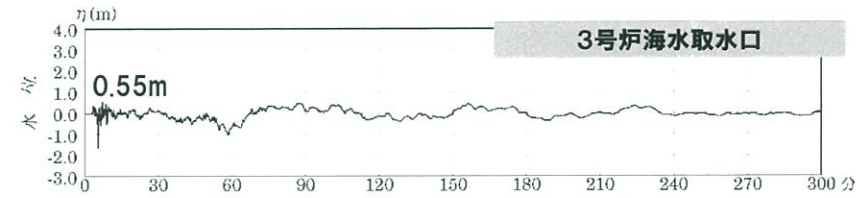
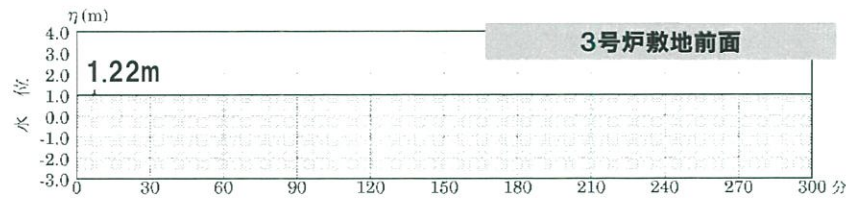
計算結果（検討ケース1）

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。

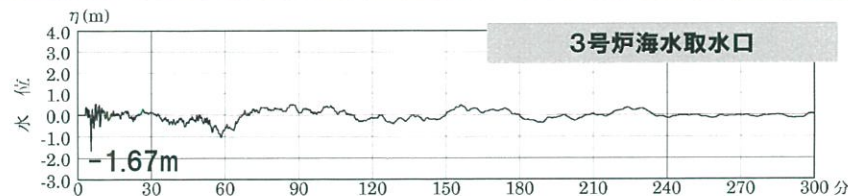


計算結果（検討ケース1）

水位上昇側

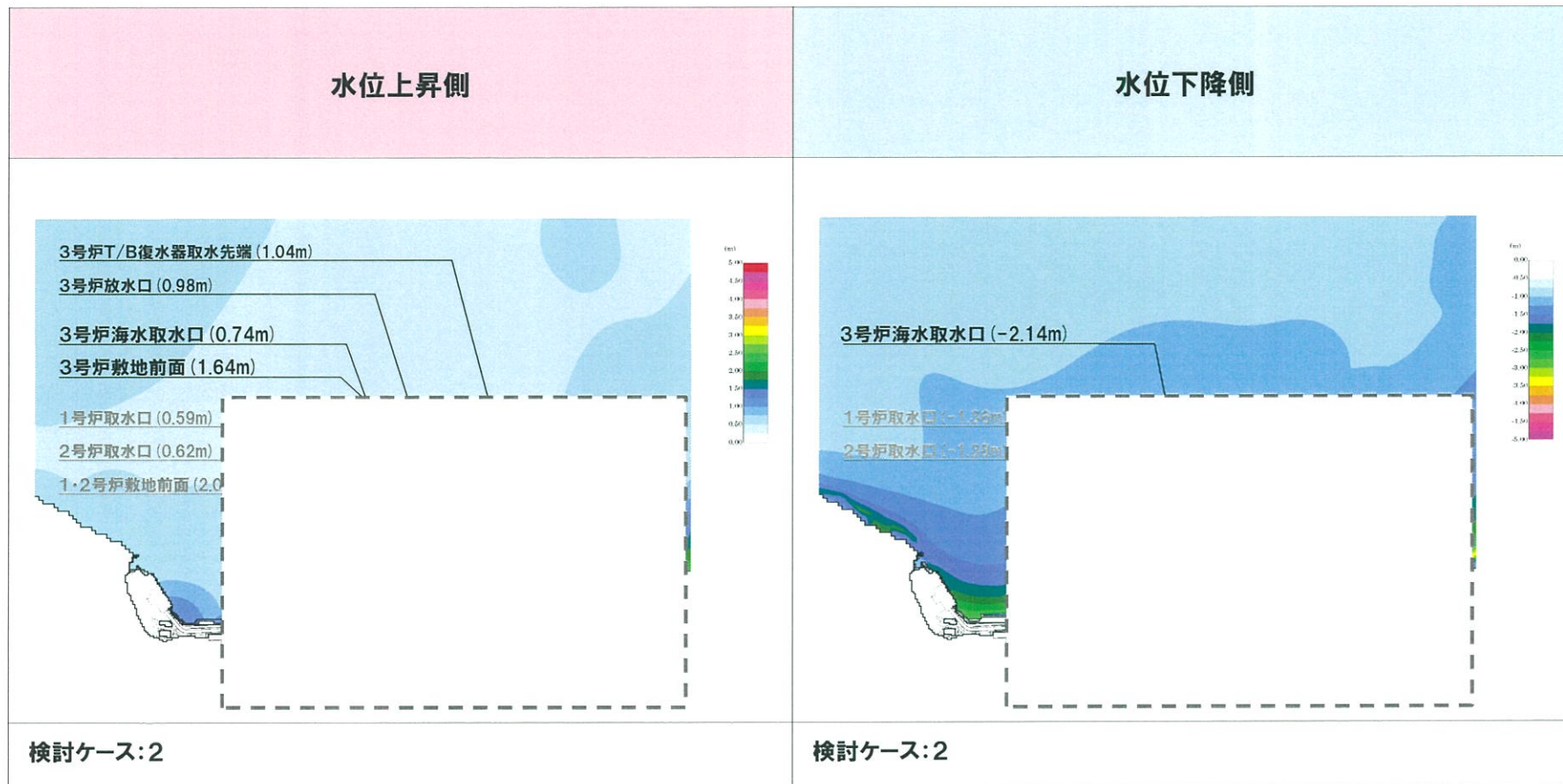


水位下降側



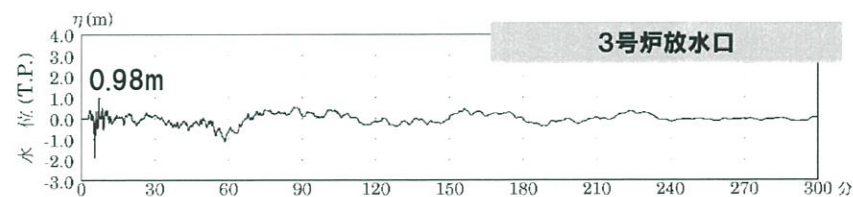
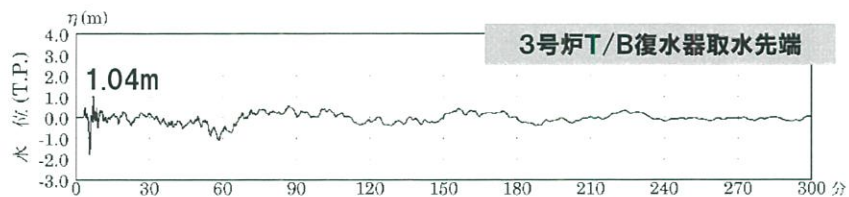
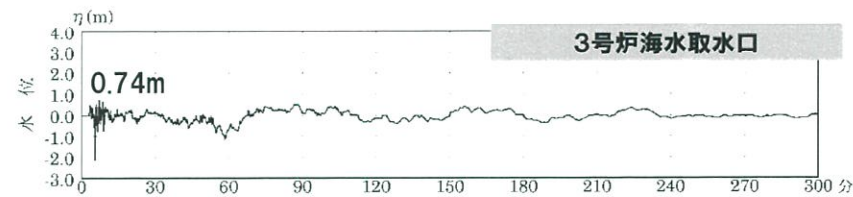
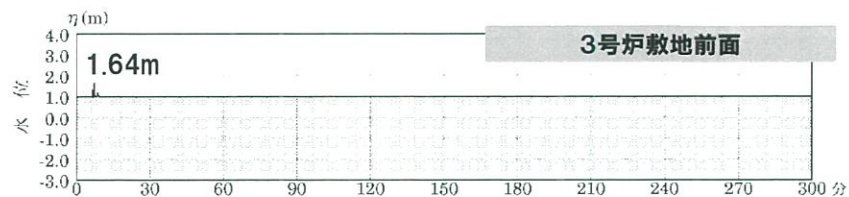
計算結果（検討ケース2）

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。

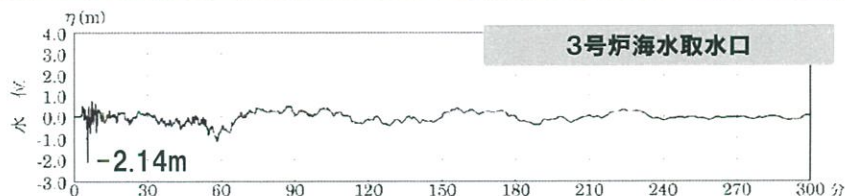


計算結果（検討ケース2）

水位上昇側



水位下降側



1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

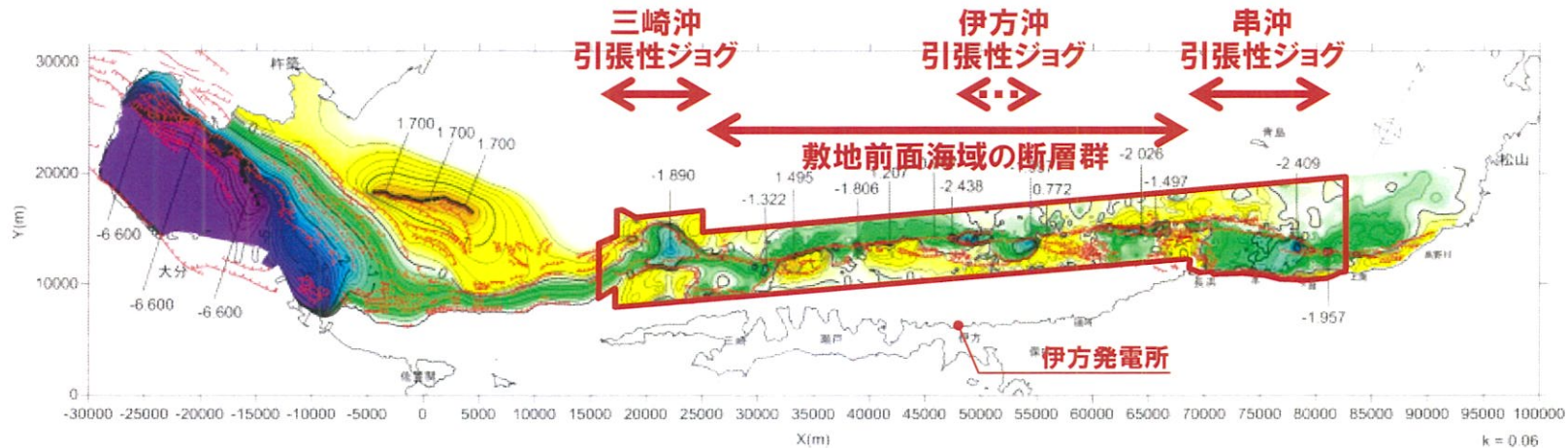
- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

検討方針 - 手法(2)

○前述の手法(1)では、発電所地点での地盤変動量を算出することができないため、海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971)の手法に基づき再現する津波評価手法を試みる。

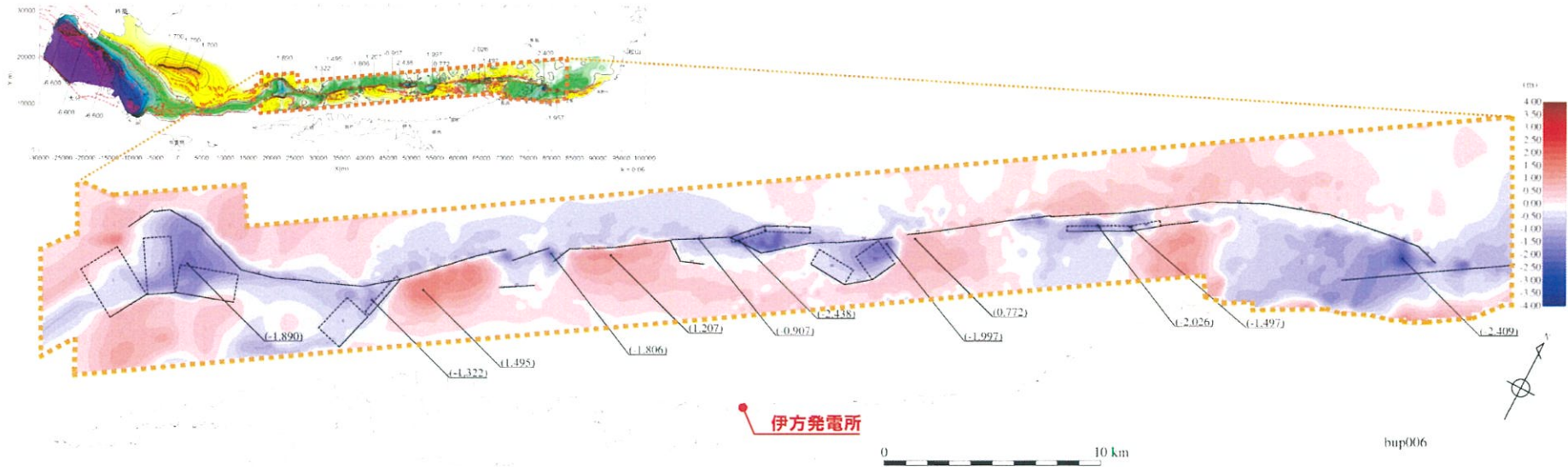
○局地的な隆起・沈降のうち、敷地の津波高さに対して支配的であると考えられる「伊方沖ジョグ」を含む敷地前面海域の断層群に着目し、局地的な隆起・沈降の再現を試みる。



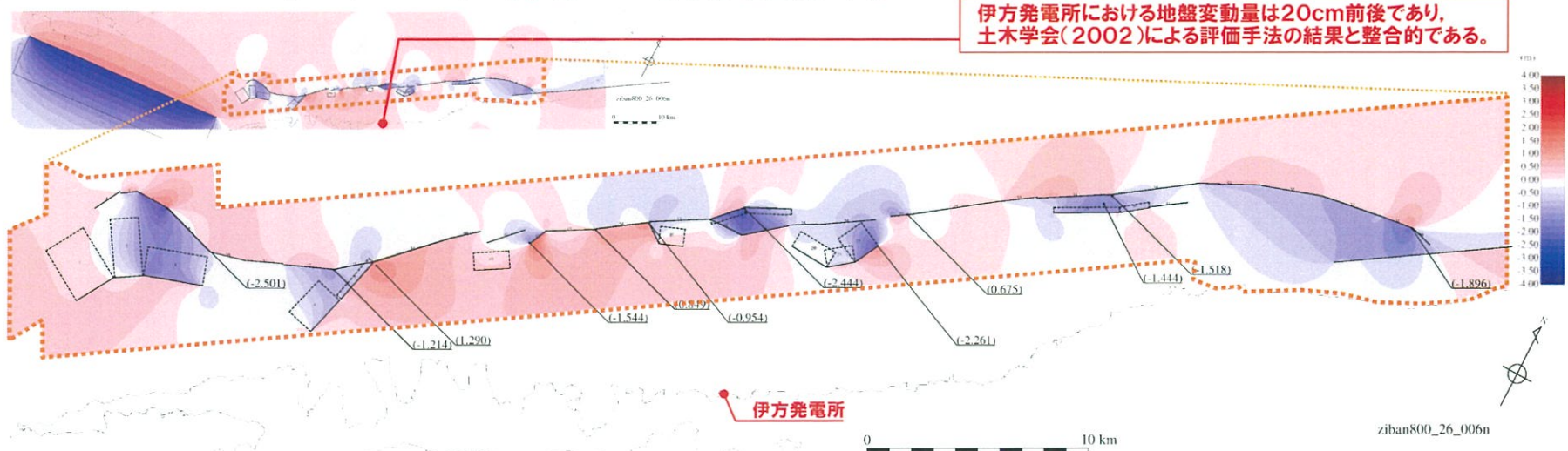
○再現した地表変位の分布、及び当該地表変位を与える各断層モデルのパラメータ表(傾斜角・すべり角・すべり量)を次頁以降に示す。

検討ケース1

【再現対象となる地溝の落ち込み量分布】



【Mansinha and Smylie(1971)で再現した地表変位分布】

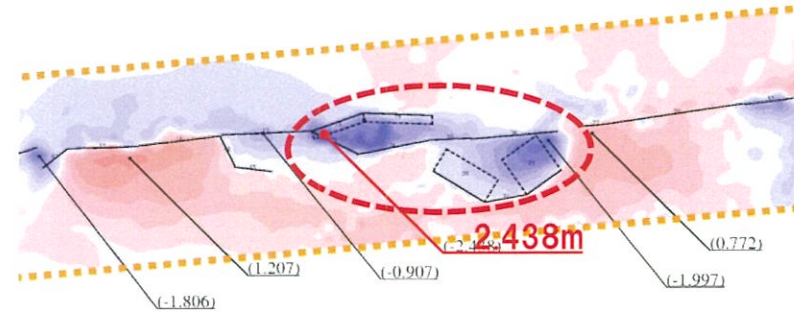


検討ケース1

No.	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (cm)	断層距離 (km)	断層幅 (km)	上縁深さ (km)
1	210.000	80	-165	67.50	1.9792	15.2314	0
2	237.222	80	-165	45.10	1.2669	15.2314	0
3	251.096	85	-165	707.40	2.7359	15.0573	0
4	194.677	85	-15	479.10	1.9275	15.0573	0
5	192.643	89	-15	564.20	2.1946	15.0023	0
6	207.128	90	165	79.60	1.3533	15.0000	0
7	234.344	90	165	760.10	0.7740	15.0000	0
8	271.562	90	165	1335.70	1.5420	15.0000	0
9	287.470	90	165	366.50	2.6620	15.0000	0
10	255.557	90	165	147.50	1.6578	15.0000	0
11	246.135	90	165	189.50	1.6144	15.0000	0
12	246.718	90	165	521.60	2.2869	15.0000	0
13	230.900	90	165	96.30	1.8408	15.0000	0
14	224.580	90	-165	348.20	3.6033	15.0000	0
15	239.828	90	-165	1.80	2.1557	15.0000	0
16	234.903	90	-165	435.70	2.4697	15.0000	0
17	239.177	90	180	259.70	2.6776	15.0000	0
18	222.590	91	165	1107.00	1.6526	15.0023	0
19	243.869	91	165	238.00	2.1062	15.0023	0
20	272.959	87	-15	29.20	1.8221	15.0206	0
21	231.668	87	-15	388.40	1.2582	15.0206	0
22	206.337	85	-15	1138.10	1.2782	15.0573	0
23	267.609	90	180	203.00	1.5950	15.0000	0
24	230.917	90	-165	947.00	2.2196	15.0000	0
25	239.570	90	180	416.30	1.2392	15.0000	0
26	236.970	90	180	413.20	2.6099	15.0000	0
27	236.171	90	-165	697.00	0.9955	15.0000	0
28	233.254	90	180	0.00	3.9577	15.0000	0
29	241.444	89	-15	505.90	2.9719	15.0023	0
30	232.298	89	-15	336.50	1.3313	15.0023	0
31	235.511	90	0	0.40	1.7694	15.0000	0
32	234.995	90	165	412.80	1.6465	15.0000	0
33	239.014	90	165	642.30	3.4220	15.0000	0
34	234.630	90	165	100.80	3.8949	15.0000	0
35	243.474	90	165	532.60	2.7994	15.0000	0
36	251.513	90	165	508.70	2.8376	15.0000	0
37	261.396	90	165	454.60	2.7570	15.0000	0
38	263.100	90	165	951.00	1.5131	15.0000	0
39	286.031	90	165	0.00	1.0333	15.0000	0
40	229.254	90	-165	316.90	1.3699	15.0000	0
41	223.355	90	-165	1.50	1.8012	15.0000	0
42	204.324	90	-165	1215.60	0.9361	15.0000	0
43	238.269	87	-165	0.90	1.6129	15.0206	0
44	305.258	90	-165	661.30	0.9968	15.0000	0
45	248.167	87	-165	1.30	1.1213	15.0206	0

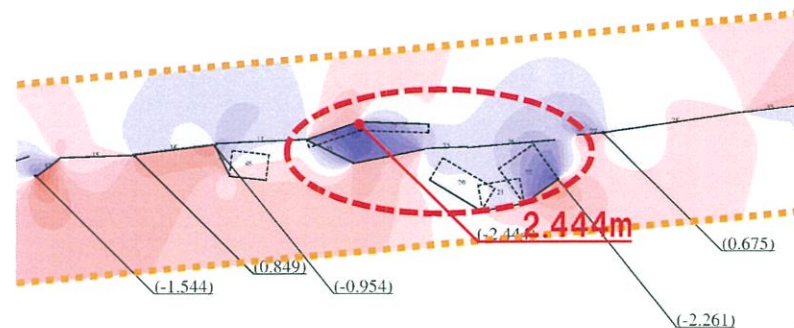
伊方沖引張性ジョグにおける落ち込み量の比較

【再現対象となる地溝の落ち込み量分布】



伊方発電所

【Mansinha and Smylie(1971)で再現した地表変位分布】

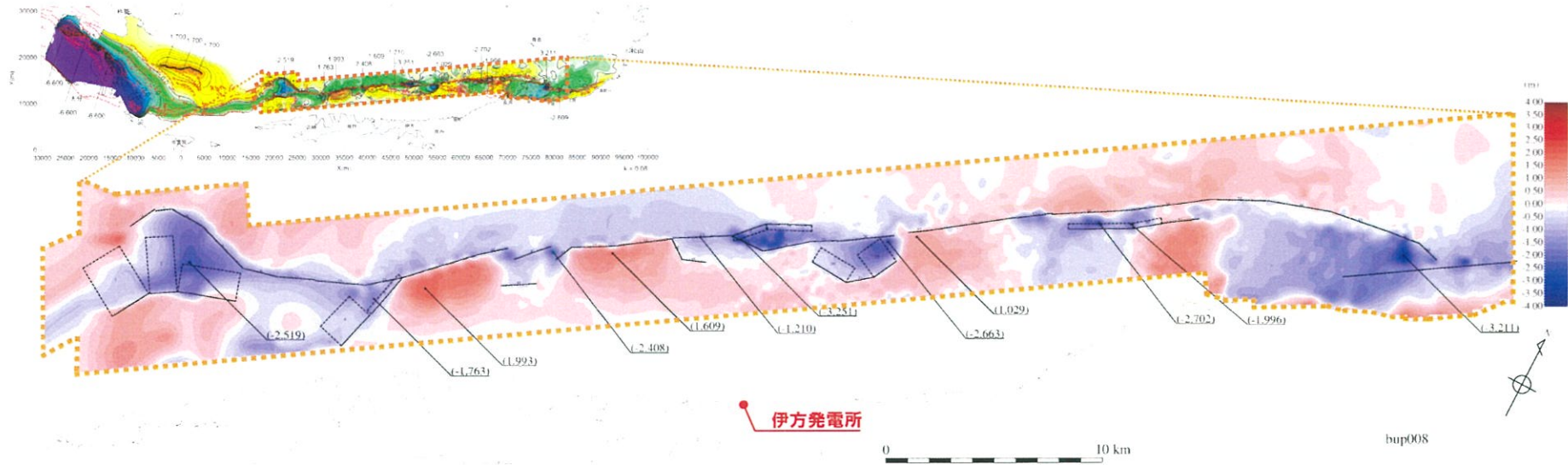


伊方発電所

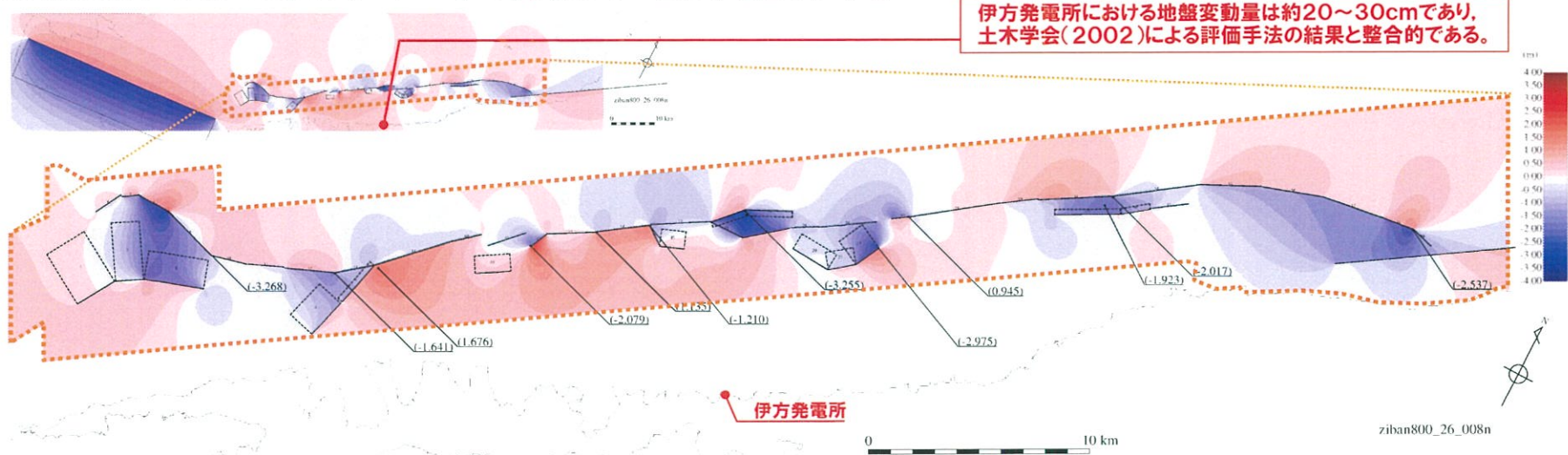
⇒ 両者の落ち込み量はほぼ等しい。

検討ケース2

【再現対象となる地溝の落ち込み量分布】



【Mansinha and Smylie(1971)で再現した地表変位分布】

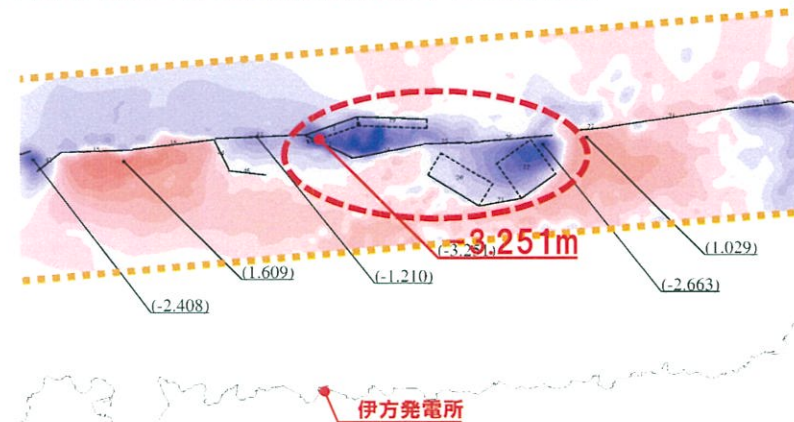


検討ケース2

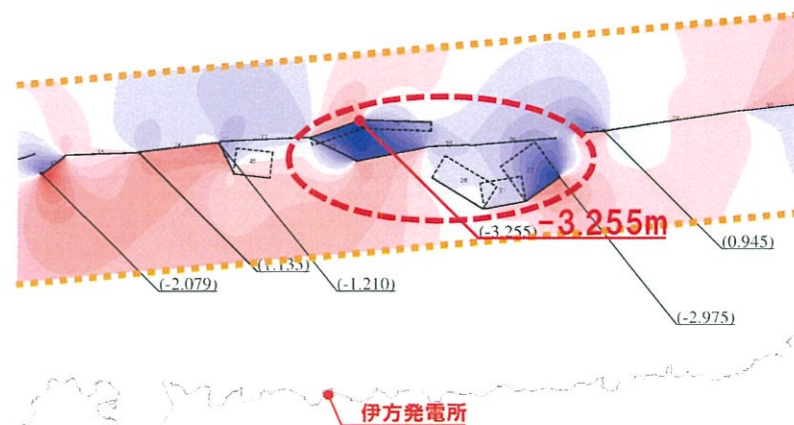
No.	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	すべり量 (cm)	断層距離 (km)	断層幅 (km)	上陸長さ (km)
1	210.000	80	-165	146.40	1.9792	15.2314	0
2	237.222	80	-165	63.10	1.2669	15.2314	0
3	251.096	85	-165	923.20	2.7359	15.0573	0
4	194.677	85	-15	522.00	1.9275	15.0573	0
5	192.643	89	-15	701.80	2.1946	15.0023	0
6	207.128	90	165	223.50	1.3533	15.0000	0
7	234.344	90	165	1006.30	0.7740	15.0000	0
8	271.562	90	165	1677.60	1.5420	15.0000	0
9	287.470	90	165	426.80	2.6620	15.0000	0
10	255.557	90	165	229.60	1.6578	15.0000	0
11	246.135	90	165	282.90	1.6144	15.0000	0
12	246.718	90	165	751.60	2.2869	15.0000	0
13	230.900	90	165	247.60	1.8408	15.0000	0
14	224.580	90	-165	590.00	3.6033	15.0000	0
15	239.828	90	-165	29.60	2.1557	15.0000	0
16	234.903	90	-165	606.70	2.4697	15.0000	0
17	239.177	90	180	391.30	2.6776	15.0000	0
18	222.590	91	165	1471.00	1.6526	15.0023	0
19	243.869	91	165	333.00	2.1062	15.0023	0
20	272.959	87	-15	81.00	1.8221	15.0206	0
21	231.668	87	-15	490.80	1.2582	15.0206	0
22	206.337	85	-15	1476.80	1.2782	15.0573	0
23	267.609	90	180	291.00	1.5950	15.0000	0
24	230.917	90	-165	1250.00	2.2196	15.0000	0
25	239.570	90	180	625.80	1.2392	15.0000	0
26	236.970	90	180	638.40	2.6099	15.0000	0
27	236.171	90	-165	968.30	0.9955	15.0000	0
28	233.254	90	180	69.60	3.9577	15.0000	0
29	241.444	89	-15	668.70	2.9719	15.0023	0
30	232.298	89	-15	422.10	1.3313	15.0023	0
31	235.511	90	0	3.00	1.7694	15.0000	0
32	234.995	90	165	540.80	1.6465	15.0000	0
33	239.014	90	165	851.20	3.4220	15.0000	0
34	234.630	90	165	136.10	3.8949	15.0000	0
35	243.474	90	165	711.60	2.7994	15.0000	0
36	251.513	90	165	678.60	2.8376	15.0000	0
37	261.396	90	165	599.60	2.7570	15.0000	0
38	263.100	90	165	1267.80	1.5131	15.0000	0
39	286.031	90	165	0.00	1.0333	15.0000	0
40	229.254	90	-165	491.40	1.3699	15.0000	0
41	223.355	90	-165	0.10	1.8012	15.0000	0
42	204.324	90	-165	1613.50	0.9361	15.0000	0
43	238.269	87	-165	0.20	1.6129	15.0206	0
44	305.258	90	-165	838.50	0.9968	15.0000	0
45	248.167	87	-165	16.20	1.1213	15.0206	0

伊方沖引張性ジョグにおける落ち込み量の比較

【再現対象となる地溝の落ち込み量分布】

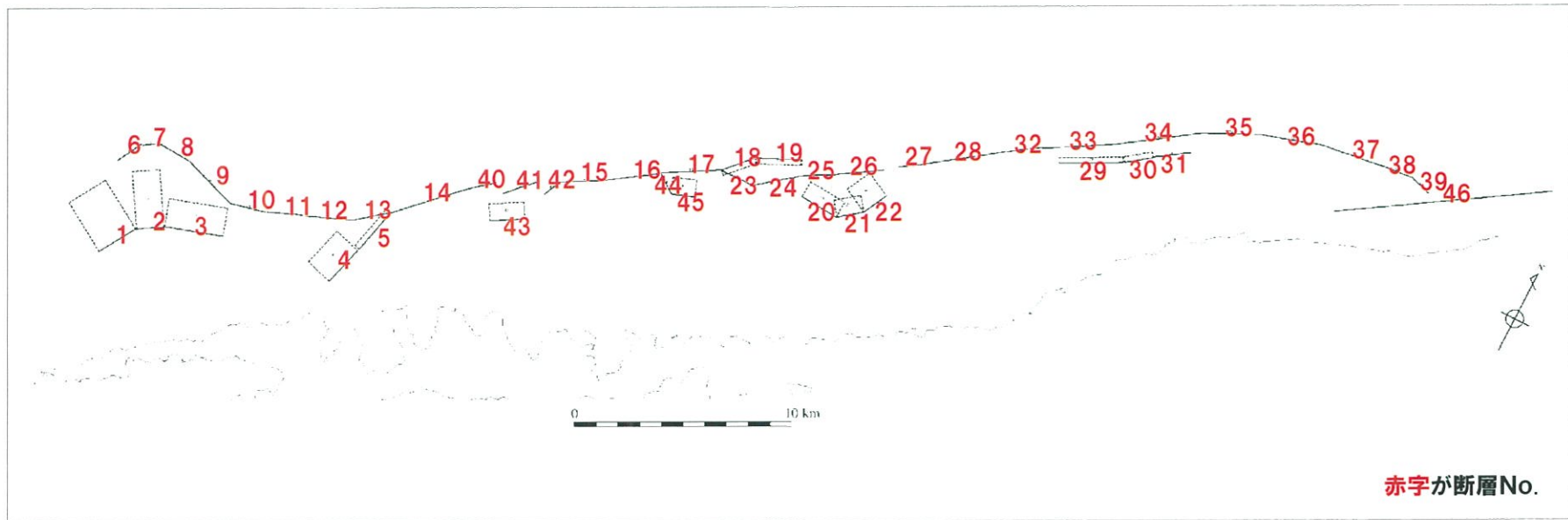


【Mansinha and Smylie(1971)で再現した地表変位分布】



⇒ 両者の落ち込み量はほぼ等しい。

断層配置図

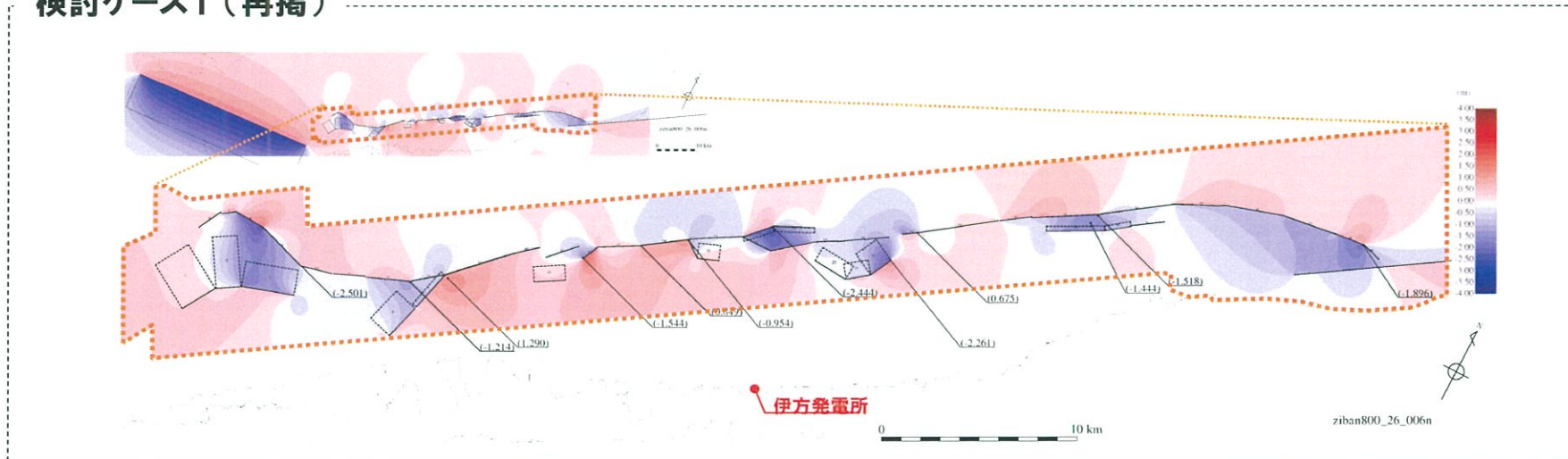


断層パラメータ表における断層No.の配置図

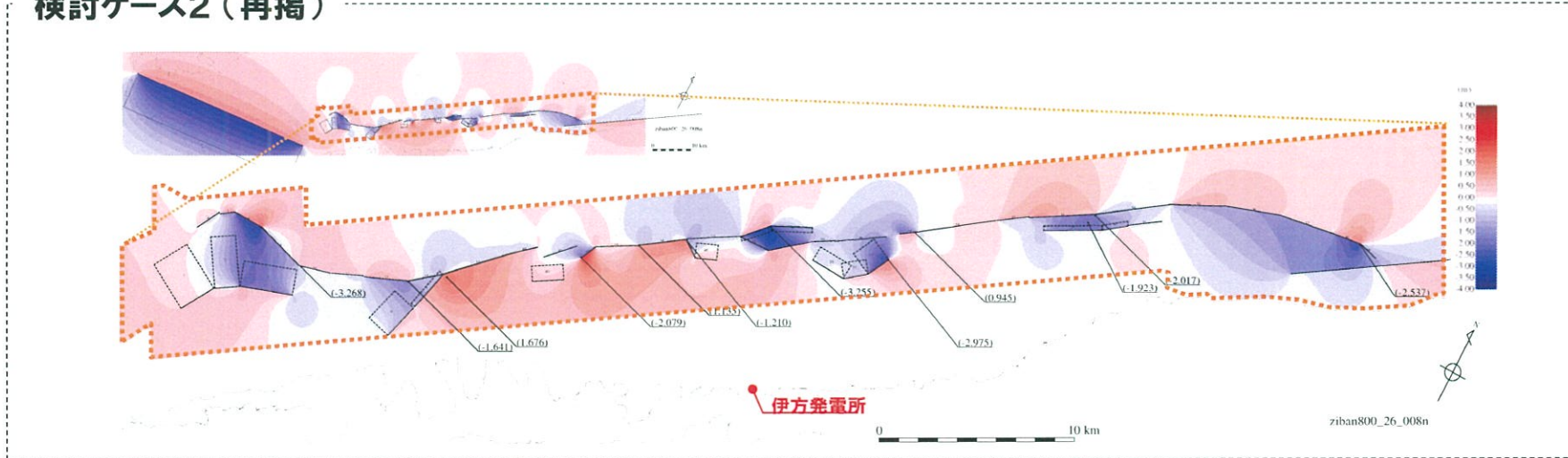
計算条件

- 下図(再掲)のとおり, 局地的な隆起・沈降をMansinha and Smylie (1971) の地表変位で再現した。再現した地表変位を初期鉛直変位分布とし, 津波計算を実施する。

検討ケース1 (再掲)



検討ケース2 (再掲)

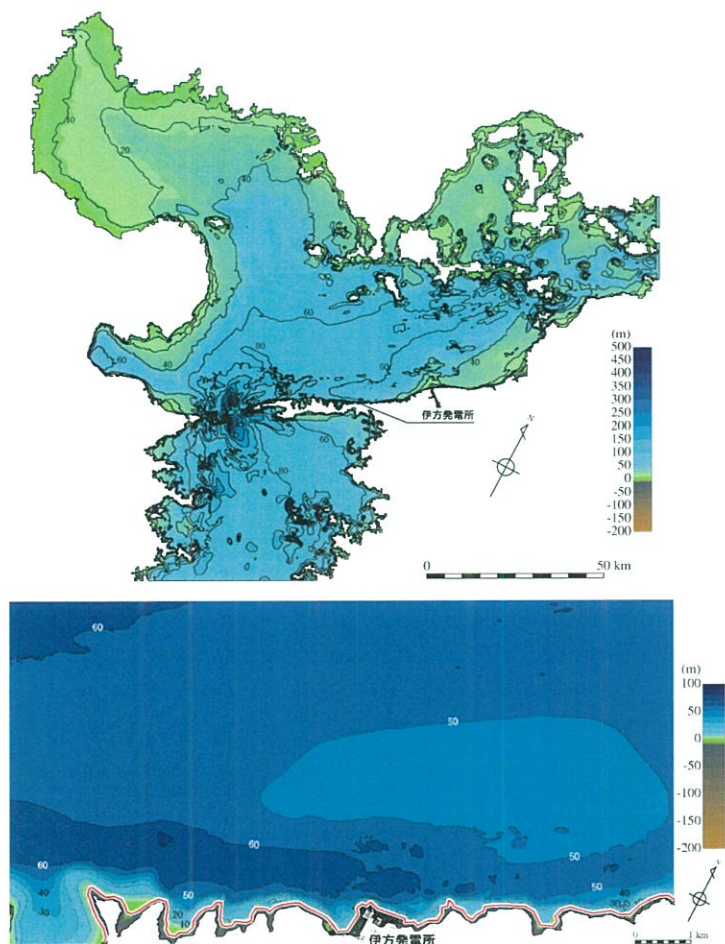


計算条件

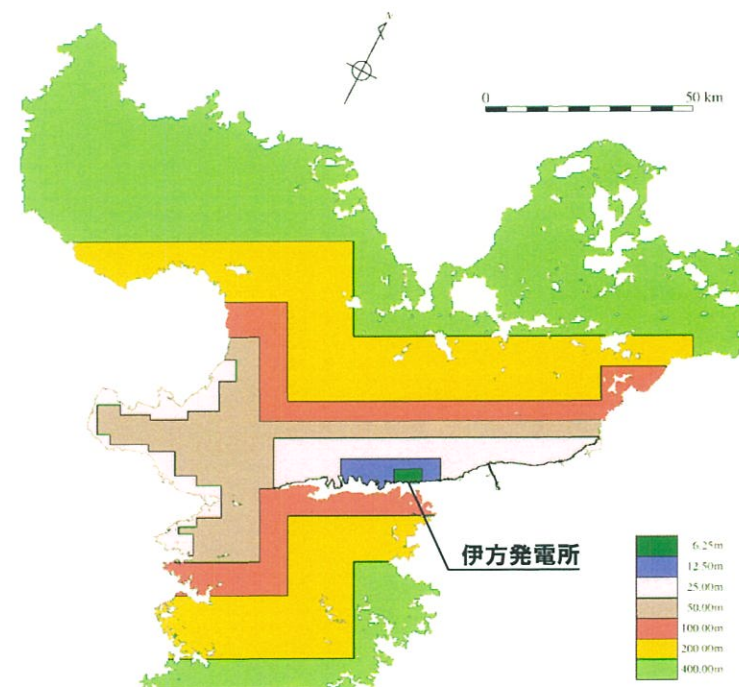
項目	計算条件
計算領域	・伊予灘を中心として東西約180km, 南北160kmの領域
格子分割サイズ	・沖合いでの最大400mから200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・0.0625秒
基礎方程式	・非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	・Mansinha and Smylie (1971)の方法により計算
沖側境界条件	・自由透過条件。 ・ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・伊方発電所敷地周囲は陸上遡上を考慮 ・上記以外の陸岸は、静水面より上昇する津波に対して完全反射条件 ・静水面より下降する津波に対して小谷(1998)の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦係数	・マンニングの粗度係数 $n=0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$
水平渦動粘性係数	・ $0\text{m}^2/\text{s}$
計算対象現象時間	・5時間

計算領域・水深および格子分割

- 伊予灘を中心として東西約180km, 南北160kmの領域を対象とし, 格子分割は最大400mから200m, 100m, 50m, 25m, 12.5m, 6.25mと1/2ずつ徐々に細かい格子を設定する。
- 水深データについては, データ拡充のために当社が実施した海底地形調査(2013年8月実施)の結果を踏まえて更新している。



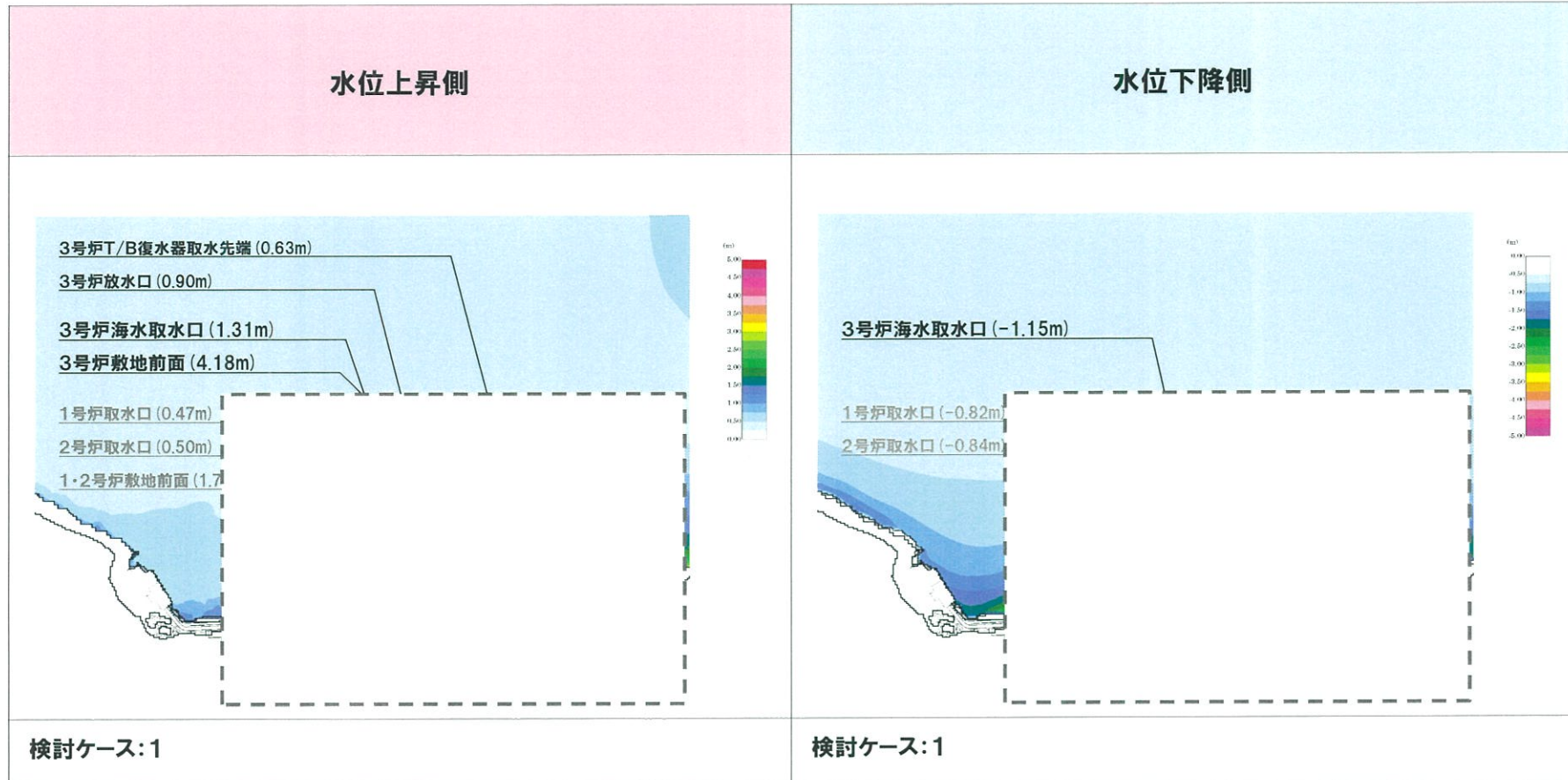
計算領域・水深



格子分割

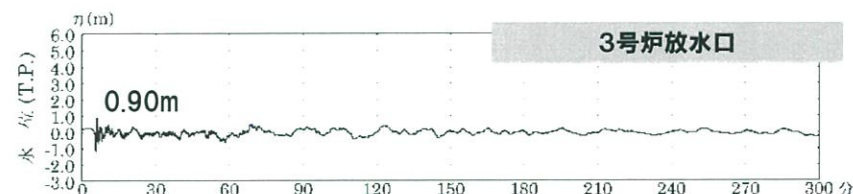
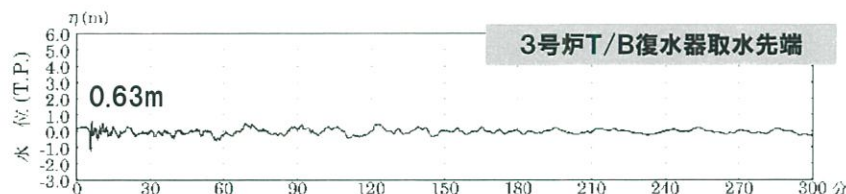
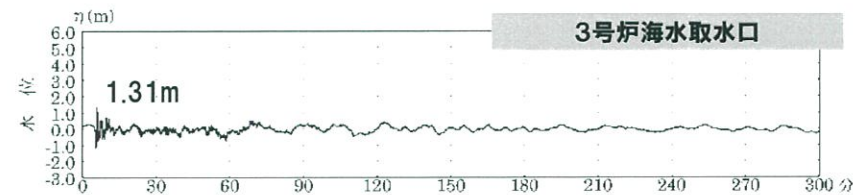
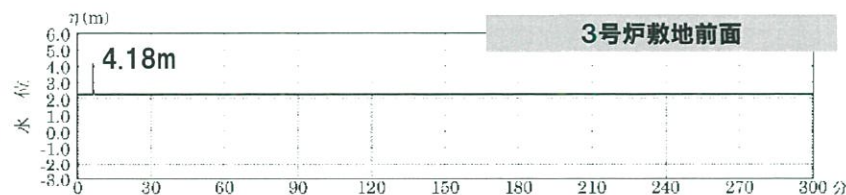
計算結果（検討ケース1）

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。

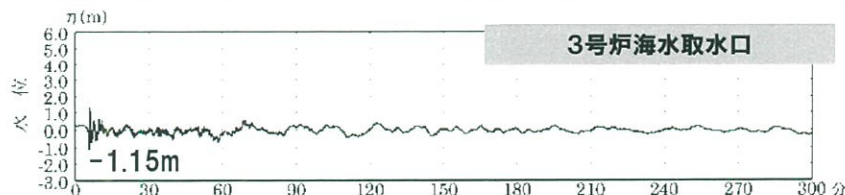


計算結果（検討ケース1）

水位上昇側

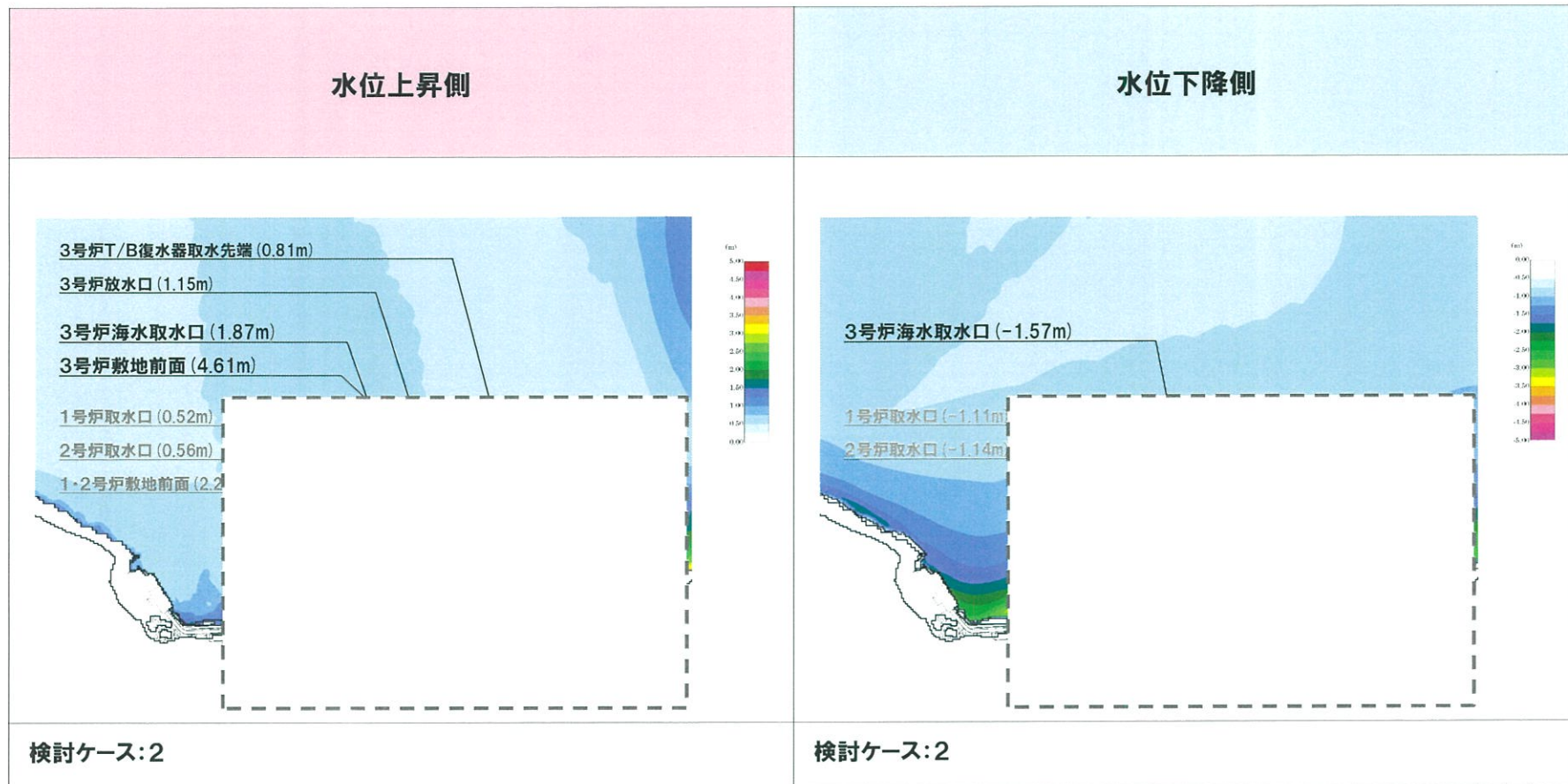


水位下降側



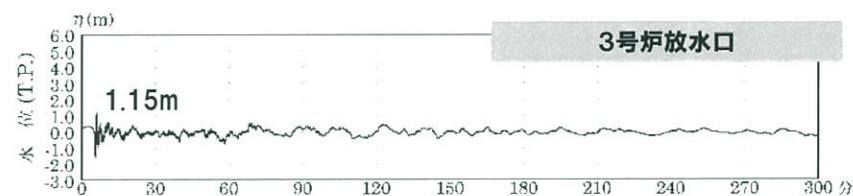
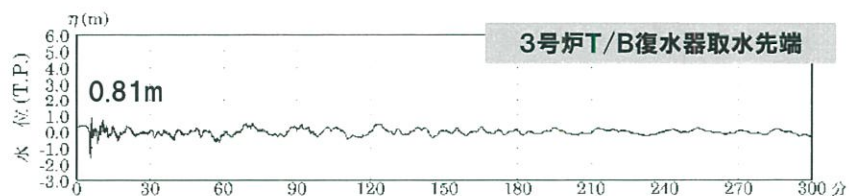
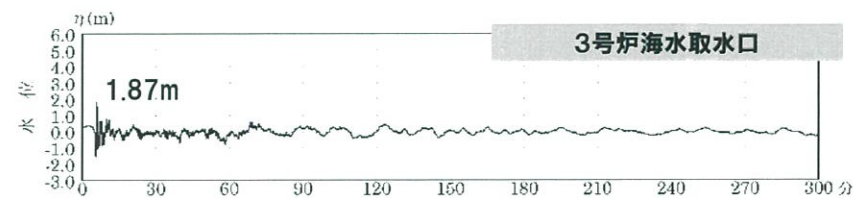
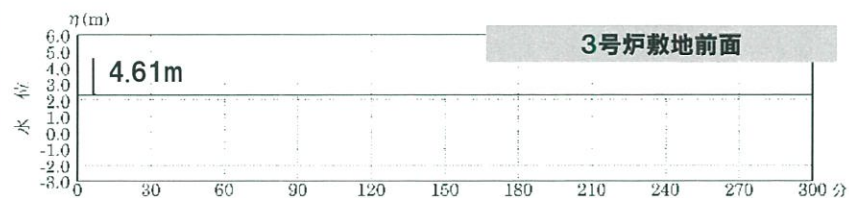
計算結果（検討ケース2）

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。

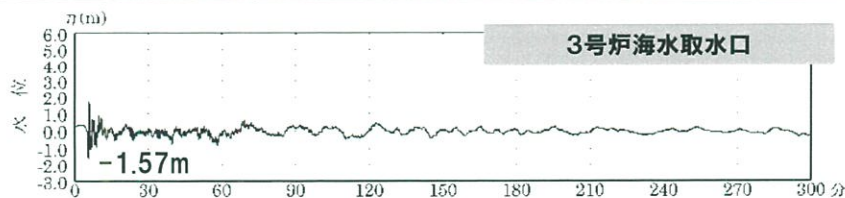


計算結果（検討ケース2）

水位上昇側



水位下降側



手法(2)のまとめ

- 前述の手法(1)では、発電所における地盤変動量が算出されないことから、本検討のとおり「海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971)の手法に基づき再現する津波評価手法」により津波評価を実施した。その結果、土木学会(2002)の手法による津波評価結果を下回ることを確認した。
- 合わせて、伊方発電所における地盤変動量は約20～30cmであり、土木学会(2002)による評価手法の結果と整合的であることも確認した。

1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971)の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971)の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

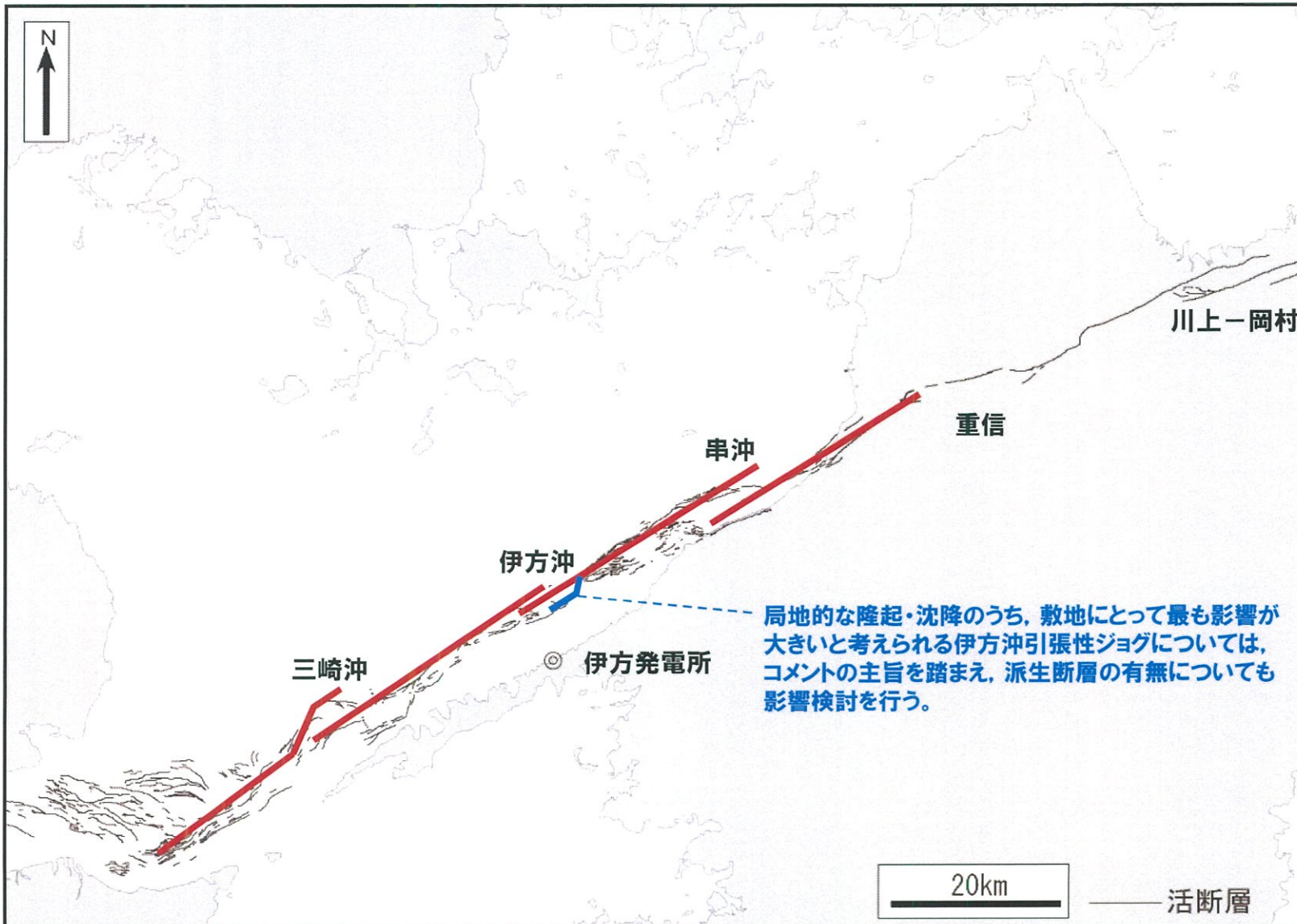
検討方針 - 手法(3)

- 前述の手法(2)では、一部実態と乖離したすべり量を与える必要が生じる((2)の断層パラメータ表参照)。
- そこで、すべり量等の断層パラメータ設定方法は従来どおり土木学会(2002)に基づくこととし、断層配置に関してのみ局地的な隆起・沈降を再現できる可能性のある配置で設定し、発電所への影響を総合的に評価することとする。



- 具体的には、断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルを次頁のとおり設定し、Mansinha and Smylie(1971)の手法に基づき地表変位を算出する。

検討方針

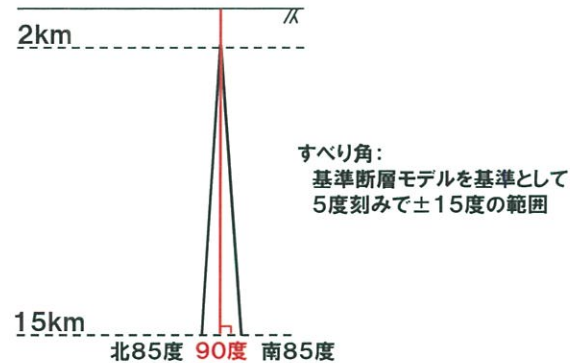


断層パラメータ

○傾斜角・すべり角は、以下の42ケース(断層傾斜角3ケース×すべり角7ケース×分岐断層の有無2ケース)を設定する。

断層傾斜角 (度)	すべり角 (度)	断層幅 (km)	すべり量 (m)
北傾斜85	165	15.0	7.57
90	170		
	175	15.0	7.59
	180		
南傾斜85	185	15.0	7.57
	190		
	195		

赤字: 基準断層モデル



計算結果(地表変位)

- 一部のケースでは地溝状の落ち込みが生じたものの、その規模は小さく、その他のケースでは地溝状の落ち込みが生じなかった。

【考察の概要】

地溝状の落ち込みが生じたか？

YES

- ① 地溝状の落ち込みが生じたケース
(傾斜角90度・すべり角180度のケース等)

落ち込みの規模は適切か？

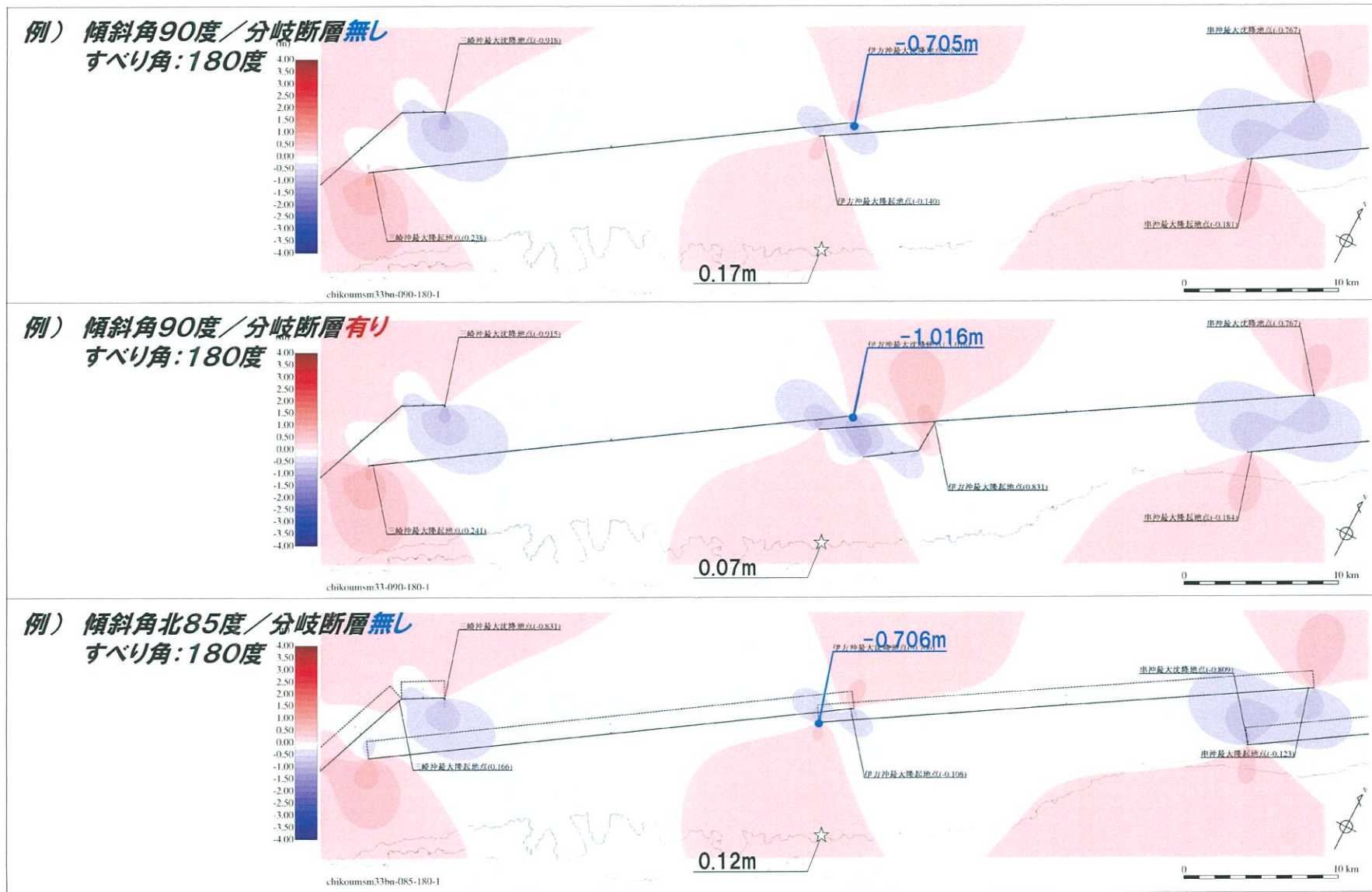
海域調査結果を基に設定した落ち込みの規模(津波計算済)等と比べて小さい

NO

- ② 地溝状の落ち込みが生じなかったケース
(上記以外のほぼすべてのケース)

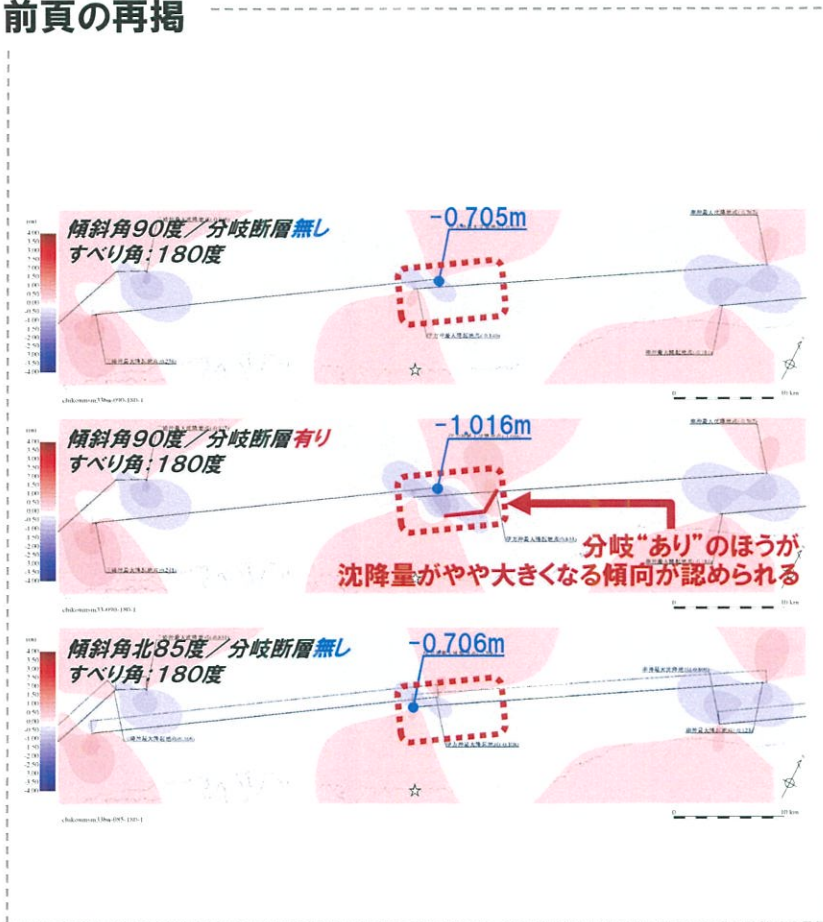
原因:ステップさせた断層間に挟まれる区間において、一方の断層運動による隆起と他方の断層運動による沈降が相殺される。

① 地溝状の落ち込みが生じたケース (落ち込みの有無)

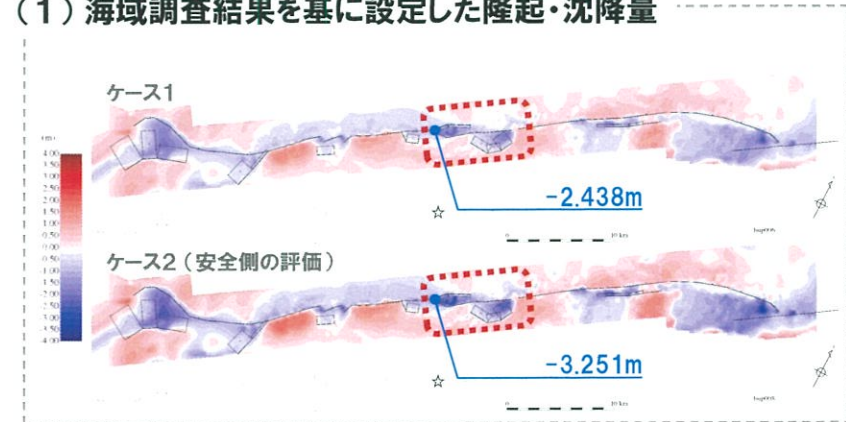


① 地溝状の落ち込みが生じたケース (落ち込みの規模)

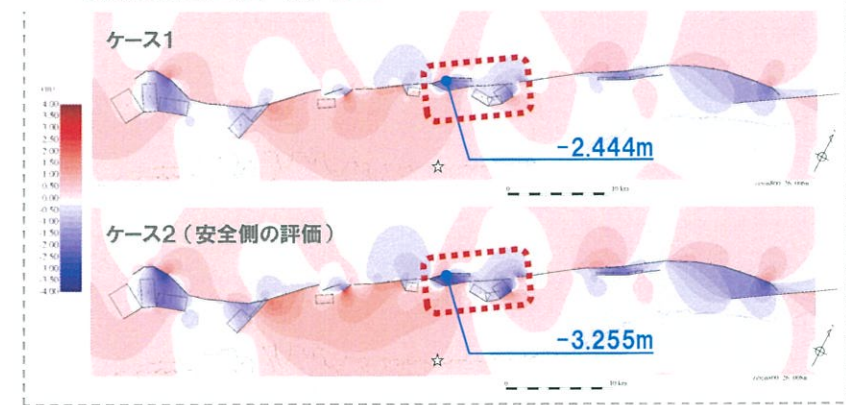
前頁の再掲



(1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量

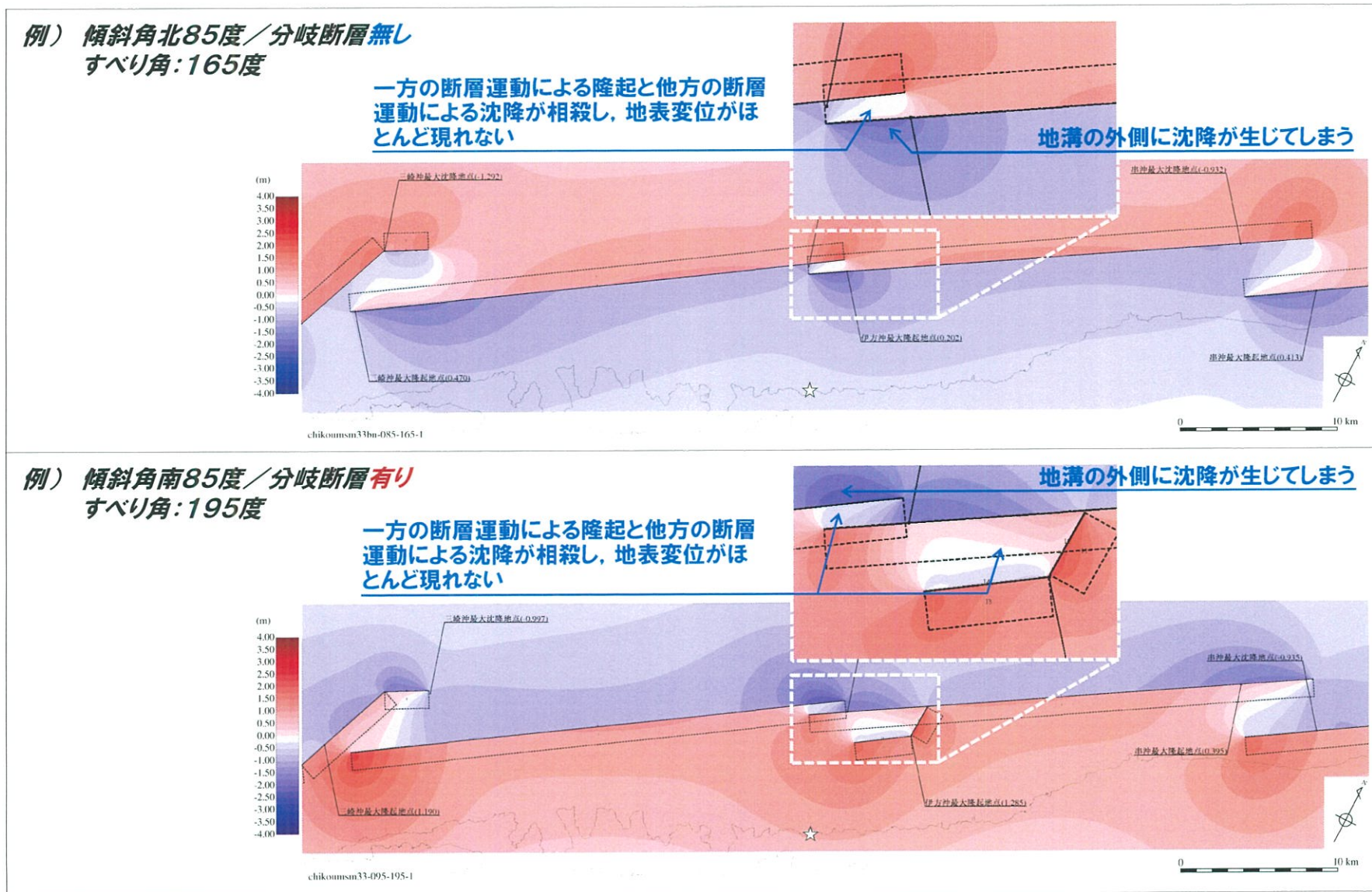


(2) 上記をMansinha and Smylie(1971)の手法に基づき再現した隆起・沈降量



○地溝状の落ち込みが生じているケースが幾つか認められたが、その隆起・沈降量は、海域調査結果を基に設定した実際の隆起・沈降量、及びこれらをMansinha and Smylie(1971)の手法に基づき再現した隆起・沈降量と比べて1/2~1/3程度と小さく、また、落ち込みが生じた範囲についても同等または小さい。

② 地溝状の落ち込みが生じなかったケース



○実態と乖離した結果を与え、局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価に適さない。

手法(3)のまとめ

- 純横ずれのケースでは地溝状の落ち込みが生じたが、その隆起・沈降量は、海域調査結果を基に設定した実際の隆起・沈降量(手法(1)参照)、及びこれらをMansinha and Smylie(1971)の手法に基づき再現した隆起・沈降量(手法(2)参照)と比べて1/2~1/3程度と小さく、また、落ち込みが生じた範囲についても同等または小さいことから、津波評価を実施したとしても手法(1)(2)の評価結果を上回ることはないと評価できる。
- 上記以外のケースでは、
 - ・ステップさせた断層間に挟まれる区間において一方の断層運動による隆起と他方の断層運動による沈降が相殺され、沈降がほとんど表れない。
 - ・地溝の外側に沈降が生じる。など、実態と乖離した結果を与え、局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価に適さない結果となった。

1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

まとめ -局地的な隆起沈降を考慮した津波評価-

○評価手法の差異による影響検討のうち、局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価として、前述のとおり手法(1)～(3)の検討を行った。



○手法(1)では、「海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法」により津波評価を実施した。

○次に、手法(1)では発電所における地盤変動量が算出されないことから、手法(2)として、「海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971)の手法に基づき再現する津波評価手法」により津波評価を実施した。その結果、土木学会(2002)の手法による津波評価結果を下回ることを確認した。

○さらに、手法(2)では一部実態と乖離したすべり量を与える必要が生じることから、手法(3)として、すべり量等の断層パラメータ設定方法は従来どおり土木学会(2002)に基づくこととし、断層配置に関してのみ局地的な隆起・沈降を再現できる可能性のある配置で設定し、発電所への影響を総合的に評価した結果、土木学会の手法による津波評価結果を下回ると判断した。



○局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価については、基準津波に影響を与えるものではないことを確認した。

○なお、敷地の地盤変動量に関して、手法(2)における地盤変動量は、土木学会(2002)の手法により求まる地盤変動量と整合的であり、手法(3)の地溝状の落ち込みが生じたケースにおける地盤変動量は、土木学会(2002)の手法により求まる地盤変動量と比べて小さい。したがって、耐津波設計において考慮する敷地の地盤変動量は、土木学会(2002)の手法により求まる基準津波に対応する地盤変動量を用いる。

1. 海域活断層に想定される地震に伴う津波の 評価手法の差異による影響検討

1. 1. 局地的な隆起沈降を考慮した津波評価

- (1) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量を初期鉛直変位分布として与える津波評価手法
- (2) 海域調査結果を基に設定した隆起・沈降量をMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (3) 断層を幾つかに分割し、ステップさせた断層モデルをMansinha and Smylie (1971) の手法に基づき再現する津波評価手法
- (4) まとめ

1. 2. 断層の不均質な破壊を考慮した津波評価

検討方針

- 地震動評価との整合性の観点、及び津波評価上厳しい結果を与えるパラメータ設定を行う観点から、以下に示す考え方で再計算を行うこととした。

断層パラメータの設定においては、内陸地殻内地震の地震動評価に係る審査会合（平成26年9月12日）において示した、長大断層である中央構造線断層帯に対して適用性の高い壇・他（2011）に基づいて設定する。

地震動モデル設定にあたって、以下の2点について安全側に考慮する。

- ① 大すべり領域（断層上部）におけるすべり量の不確かさの考慮
 - ・既往の検討では、大すべり領域を想定した断層上部のすべり量として、断層平均すべり量の2倍のすべり量（アスペリティと同程度のすべり量）を設定していた（ケース1）。
 - ・さらに、最新の知見を考慮し、壇ほか（2013）、松島ほか（2010）に基づき、断層上部のすべり量として断層平均すべり量の2～3倍のすべり量を設定したケース（ケース2）を追加する。
- ② 破壊伝播の考慮
 - ・地震動評価と同様、一括破壊に加えて破壊開始点の不確かさを考慮したケースを追加する。

津波波源の設定にあたっては、既往の審査会合で示した土木学会（2002）の手法により求めた敷地に対して最も厳しい波源モデルに対して、上記の地震動モデルを適用する。

- 以上のように、地震動モデル及び津波波源に対して安全側となるよう設定したモデルに対して、津波計算を実施する。検討ケースを次頁に示す。

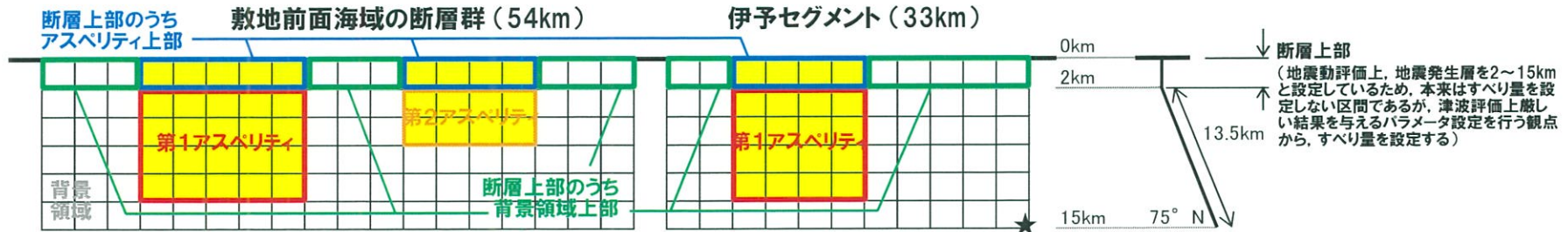
検討ケース

検討ケース		
地震動モデルの設定方針 (すべり量の設定方針)	波源モデルの設定方針 (断層傾斜角・すべり角の設定方針)	破壊 開始点
ケース0 【地震発生層(2~15km)のすべり量】 壇・他(2011)に基づき設定 【断層上部(2km以浅)のすべり量】 アスベリティ上部 : 断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定 背景領域上部 : 背景領域のすべり量を設定	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位上昇側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※1	一括破壊 西下端 東下端
	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位下降側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※2	一括破壊 西下端 東下端
ケース1 【地震発生層(2~15km)のすべり量】 壇・他(2011)に基づき設定 【断層上部(2km以浅)のすべり量】 アスベリティ上部 : 断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定 背景領域上部 : 断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位上昇側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※1	一括破壊 西下端 東下端
	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位下降側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※2	一括破壊 西下端 東下端
ケース2 【地震発生層(2~15km)のすべり量】 壇・他(2011)に基づき設定 【断層上部(2km以浅)のすべり量】 アスベリティ上部 : 断層平均すべり量の3倍のすべり量を設定 背景領域上部 : 断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位上昇側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※1	一括破壊 西下端 東下端
	土木学会(2002)の手法による既往評価の結果, 水位下降側 の最も厳しい結果を与える検討ケース※2	一括破壊 西下端 東下端

※1 水位上昇側【敷地前面海域の断層群+伊予セグメント】傾斜角:北75度, すべり角:165度 【豊予海峡】傾斜角:90度, すべり角:150度 【別府地溝南縁】傾斜角:北75度, すべり角:-90度 【別府湾断層帯】傾斜角:南75度, すべり角:-90度
 ※2 水位下降側【敷地前面海域の断層群+伊予セグメント】傾斜角:北75度, すべり角:195度 【豊予海峡】傾斜角:90度, すべり角:150度 【別府地溝南縁】傾斜角:北75度, すべり角:-90度 【別府湾断層帯】傾斜角:南75度, すべり角:-90度

ケース0

○ 断層モデル図及びパラメータを以下に示す。



・敷地前面海域の断層群＋伊予セグメント（P11のとおり壇・他（2011）に基づきパラメータを設定。下表は津波評価に関連するパラメータのみを抜粋したもの。）

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)	地震発生層				断層上部	
								平均すべり 量(m)	第1アスベリティ すべり量(m)	第2アスベリティ すべり量(m)	背景領域 すべり量(m)	アスベリティ上部 すべり量(m)	背景領域上部 すべり量(m)
敷地前面海域 の断層群	3.3E+10	北75	165* 195*	54	15.5	7.1	6.41E+19	2.67	5.96	3.65	1.64	5.33	1.64
伊予セグメント	3.3E+10	北75	165* 195*	33	15.5	7.0	3.92E+19	2.67	5.33	—	1.64	5.33	1.64

※ 165度：土木学会（2002）の手法による既往評価の結果、水位上昇側において最も厳しい結果を与えるすべり角 195度：同水位下降側において最も厳しい結果を与えるすべり角

・別府-万年山断層帯（基準断層モデルと同じ）

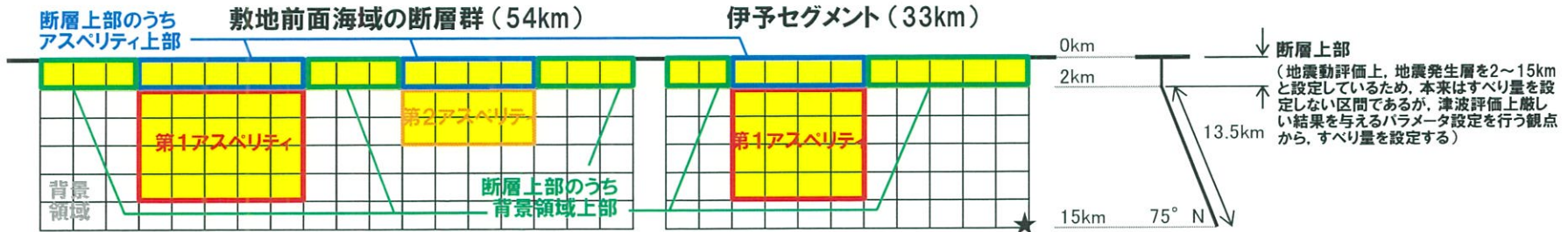
断層名	剛性率 (N/m ²)	傾斜角 (度)	すべり角 (度)	長さ (km)	幅 (km)	Mw	Mo (N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府 地溝 南縁	3.3E+10	北75	-90	9.5	15.53	7.15	6.67E+19	3.33
		北75	-90	16.8				
		北75	-90	12.8				
別府湾 断層帯	3.3E+10	南75	-90	22.5	15.53	7.29	7.34E+19	6.37
		南75	-90	20.5	15.53		3.34E+19	3.18

- Moの算出においては、地震動評価と同様、地震発生層（2～15km）を対象として行った。
- アスベリティ上部は断層平均すべり量の2倍のすべり量を、背景領域上部は背景領域のすべり量をそれぞれ設定した。
- 別府-万年山断層帯の断層パラメータは基準断層モデルに同じとした。ただし、Mo算出の際は安全側となるよう別府-万年山断層帯も考慮して計算した。



ケース1

○ 断層モデル図及びパラメータを以下に示す。



・敷地前面海域の断層群＋伊予セグメント（P11のとおり壇・他（2011）に基づきパラメータを設定。下表は津波評価に関連するパラメータのみを抜粋したもの。）

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)	地震発生層				断層上部	
								平均すべり量(m)	第1アスぺリティすべり量(m)	第2アスぺリティすべり量(m)	背景領域すべり量(m)	アスぺリティ上部すべり量(m)	背景領域上部すべり量(m)
敷地前面海域の断層群	3.3E+10	北75	165* 195*	54	15.5	7.1	6.41E+19	2.67	5.96	3.65	1.64	5.33	5.33
伊予セグメント	3.3E+10	北75	165* 195*	33	15.5	7.0	3.92E+19	2.67	5.33	—	1.64	5.33	5.33

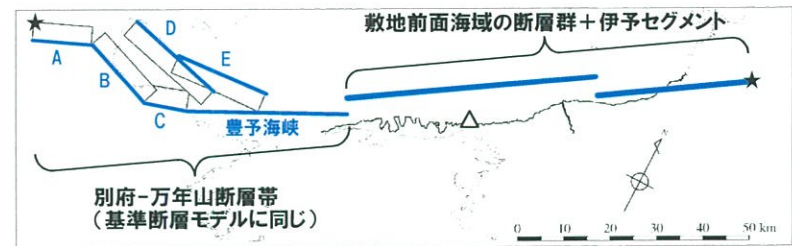
※ 165度：土木学会（2002）の手法による既往評価の結果、水位上昇側において最も厳しい結果を与えるすべり角 195度：同水位下降側において最も厳しい結果を与えるすべり角

ケース0との
相違点

・別府-万年山断層帯（基準断層モデルに同じ）

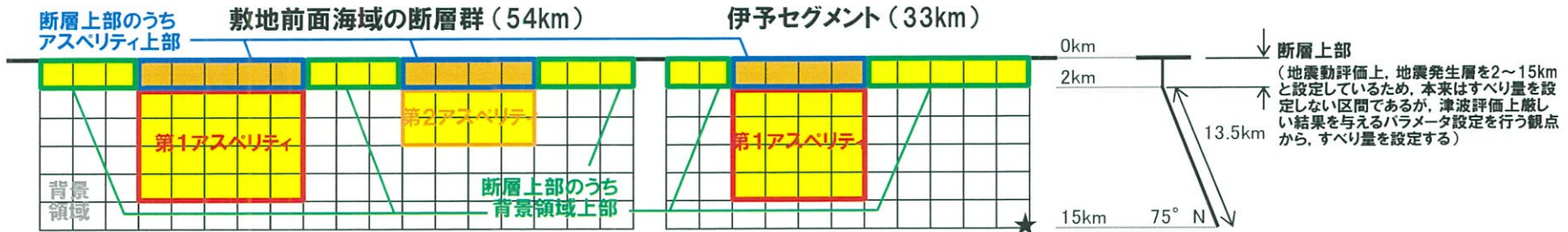
断層名	剛性率 (N/m ²)	傾斜角 (度)	すべり角 (度)	長さ (km)	幅 (km)	Mw	Mo (N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府地溝南縁	3.3E+10	C	北75	-90	9.5	7.15	6.67E+19	3.33
		B	北75	-90	16.8			
		A	北75	-90	12.8			
別府湾断層帯	3.3E+10	D	南75	-90	22.5	7.29	7.34E+19	6.37
		E	南75	-90	20.5		3.34E+19	3.18

- Moの算出においては、地震動評価と同様、地震発生層（2～15km）を対象として行った。
- アスぺリティ上部・背景領域上部のいずれについても、断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定した。
- 別府-万年山断層帯の断層パラメータは基準断層モデルに同じとした。ただし、Mo算出の際は安全側となるよう別府-万年山断層帯も考慮して計算した。



ケース2

○ 断層モデル図及びパラメータを以下に示す。



・救地前面海域の断層群 + 伊予セグメント (P11のとおり壇・他(2011)に基づきパラメータを設定。下表は津波評価に関連するパラメータのみを抜粋したもの。)

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)	地震発生層				断層上部	
								平均すべり量(m)	第1アスベリティすべり量(m)	第2アスベリティすべり量(m)	背景領域すべり量(m)	アスベリティ上部すべり量(m)	背景領域上部すべり量(m)
救地前面海域の断層群	3.3E+10	北75	165* 195*	54	15.5	7.1	6.41E+19	2.67	5.96	3.65	1.64	8.00	5.33
伊予セグメント	3.3E+10	北75	165* 195*	33	15.5	7.0	3.92E+19	2.67	5.33	—	1.64	8.00	5.33

※ 165度:土木学会(2002)の手法による既往評価の結果、水位上昇側において最も厳しい結果を与えるすべり角 195度:同水位下降側において最も厳しい結果を与えるすべり角

ケース1との
相違点

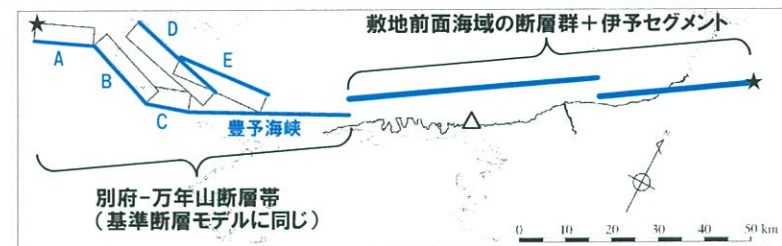
・別府-万年山断層帯 (基準断層モデルに同じ)

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	C	北75	-90	9.5	7.15	6.67E+19	3.33
		B	北75	-90	16.8			
		A	北75	-90	12.8			
別府湾断層帯	3.3E+10	D	南75	-90	22.5	7.29	7.34E+19	6.37
		E	南75	-90	20.5		3.34E+19	3.18

○ Moの算出においては、地震動評価と同様、地震発生層(2~15km)を対象として行った。

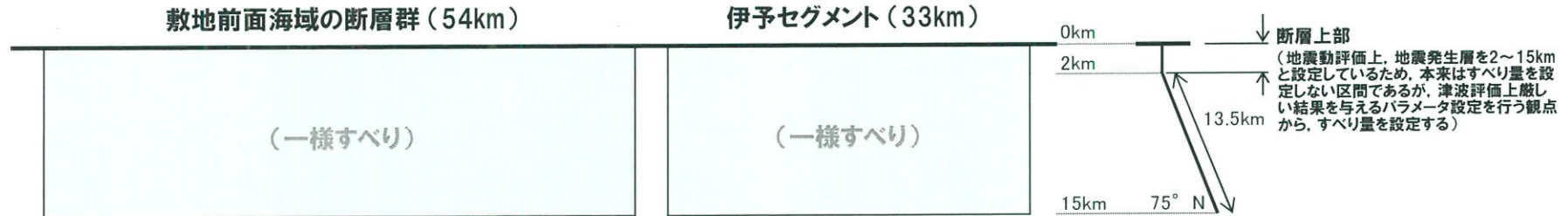
○ 壇・他(2013)では、プレート境界型地震における断層上部のすべり量として「平均すべり量の3倍程度」とされているが、本検討では内陸地殻内地震を対象としていることから、松島ほか(2010)における内陸地殻内地震の断層上部のすべり量を参考とし、断層上部のすべり量が「平均すべり量の2~3倍程度」となるよう、上図のとおりすべり量を設定した。すなわち、アスベリティ上部は断層平均すべり量の3倍のすべり量を、背景領域上部は断層平均すべり量の2倍のすべり量を設定した。

○ 別府-万年山断層帯の断層パラメータは基準断層モデルに同じとした。ただし、Mo算出の際は安全側となるよう別府-万年山断層帯も考慮して計算した。



【比較用】土木学会(2002)の手法による既往評価

○ 土木学会(2002)の手法による既往評価の結果、最も厳しい結果を与える検討ケースに対応する断層モデル図及びパラメータを以下に示す。



・敷地前面海域の断層群+伊予セグメント

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	3.3E+10	北75	165* 195*	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37 (一様すべり)

※ 165度:土木学会(2002)の手法による既往評価の結果、水位上昇側において最も厳しい結果を与えるすべり角 195度:同水位下降側において最も厳しい結果を与えるすべり角

・別府-万年山断層帯

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			3.34E+19	3.18

