

資料1

本資料は1月16日の委員からの意見を踏まえ、一部修正しています。

直轄高知海岸 地震対策検討委員会

(令和7年度第1回委員会の意見と対応)

令和8年1月16日

四国地方整備局 高知河川国道事務所

報告項目

令和7年度第1回委員会の審議を踏まえ、以下の項目について報告を行う。

1. 第1回委員会の意見と対応
2. 液状化パラメータの再設定

第1回委員会の意見と対応

番号	主な意見	対応（案）	参照
①	地震応答解析時の加速度時刻歴に大きく変動する箇所が見られ、解析の安定性への影響が懸念されるため、変形量にも影響を及ぼすレーレー減衰設定の慎重な確認が必要と考える。	レーレー減衰の設定について、複数の設定方法で算定を行い、考察を加えたうえで、再設定を実施した。	資料-1
②	南国工区との比較によると香南工区は地盤強度がやや良好である一方、岸本海岸においては、地震動ピークで大変形を確認したことから、液状化強度比や地盤構成の違い、地震動特性の違いが挙動に影響することを整理する。	岸本海岸において、地震動のピーク付近での挙動に影響がある液状化パラメータについて、試験結果を確認し、地震動ピーク付近での挙動が安定するように再設定を行った。	資料-1
③	景観や意匠設計については、まちづくりと連携し、別途協議の場を設ける可能性があること、工法選定の基本方針として津波対策機能（粘り強い化・連続性確保）や既存施設との調整による弱部解消が重要である。	<p>景観及び意匠設計については、選定した工法毎に過去に実施した高知海岸景観検討委員会の配慮事項を考慮するとともに香南市津波防災まちづくり協議会と協議して進める。</p> <p>津波対策機能の連続性の確保については、隣接する他の管理者と情報共有し対策に遅延が生じないよう対応する。</p>	資料-2（景観・意匠設計）

液状化パラメータの再設定(レーレー減衰)

- レーレー減衰パラメータ β の設定は「FLIP研究会14年間の成果まとめ」では3つの方法が記載されている。
 - ① 自由地盤部の固有周期と減衰定数に基づく方法(既往高知海岸での設定方法)
 - ② 地盤応答に影響を与えなくなる臨界点に基づく方法(最も多く採用されている設定方法)
 - ③ 等価線形解析結果との比較による方法(等価線形解析結果との比較を行い設定する方法)
- ①の手法でレーレー減衰を設定した結果、他の高知海岸の値と比較すると小さいものの、基盤面までの深さが浅い地盤であることから、最大値は $\beta = 0.001$ となる。

【香南工区のレーレー減衰 β の値】

海岸名	吉川海岸					赤岡海岸		岸本海岸			
ボーリング名	H30-No.1	R7-No.1	H29-Bor.吉川	R7-No.2	BP-7	BP-8	H29-Bor.赤岡	H29-Bor.岸本	R7-No.3	R7-No.5	R7-No.4
減衰定数h	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
走時合計(sec)	0.07	0.053	0.077	0.062	0.064	0.058	0.03	0.05	0.035	0.039	0.09
層厚(m)	19.0	17.9	19.0	19.0	15.2	12.0	10.0	9.7	10.1	8.8	16.3
平均Vs(m/s)	275	336	250	303	234	209	319	192	259	225	188
1次振動数(Hz)	3.62	4.69	3.29	3.99	3.86	4.35	7.96	4.95	6.44	6.40	2.90
β	0.00088	0.00068	0.00097	0.00080	0.00083	0.00073	0.00040	0.00064	0.00049	0.00050	0.00110
β の平均値	0.00083					0.00057		0.00068			

※地表面から工学的基盤面までのPS検層結果より、1次振動数を算出
 ※BP-6,R6-No.1,BP-9はPS検層未実施

【既往高知海岸でのレーレー減衰 β の設定値】

表 6-3-3 レーレー減衰

工区	南国工区	長浜工区	戸原工区	仁ノ工区	新居工区
減衰定数h	0.01				
走時合計(sec)	0.12	0.14	0.16	0.31	0.17
層厚(m)	26.0	31.0	32.2	68.0	34.0
平均Vs(m/s)	209	230	201	221	204
1次振動数(Hz)	2.01	1.85	1.56	0.81	1.50
β	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002

出典:平成23年度高知海岸堤防耐震設計業務

○ β の算定式

$$\beta = h \frac{f}{\pi}$$

なお、FLIP研究会14年間の成果まとめの記載よりhは1%に設定

液状化パラメータの再設定(レーレー減衰)

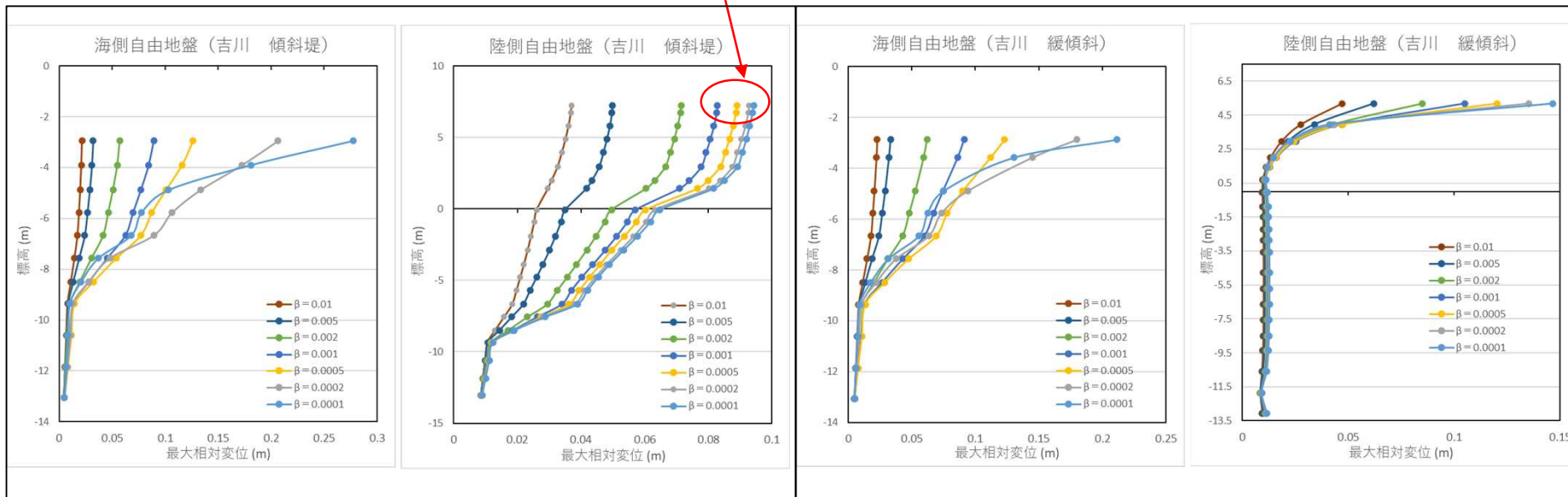
- ②の方法でレーレー減衰のパラメータ β を設定した結果、地盤応答に影響を与えなくなる臨界点は、①で算定した $\beta=0.001$ 付近である。
- 以上より、 $\beta=0.001$ が妥当と判断した。

② 地盤応答に影響を与えなくなる臨界点に基づく方法

$\beta=0.001$ 付近で地盤応答が減少しており妥当と判断

● 吉川海岸(傾斜堤)

● 吉川海岸(緩傾斜堤)

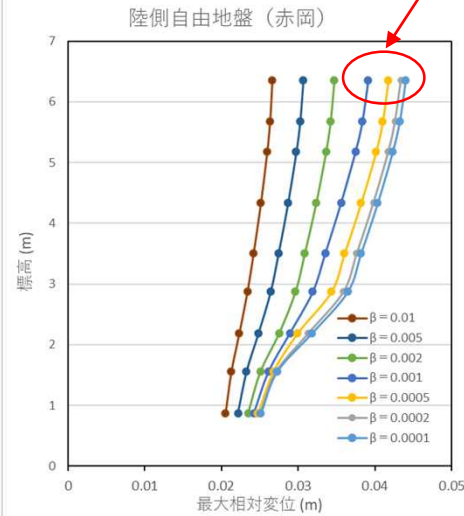
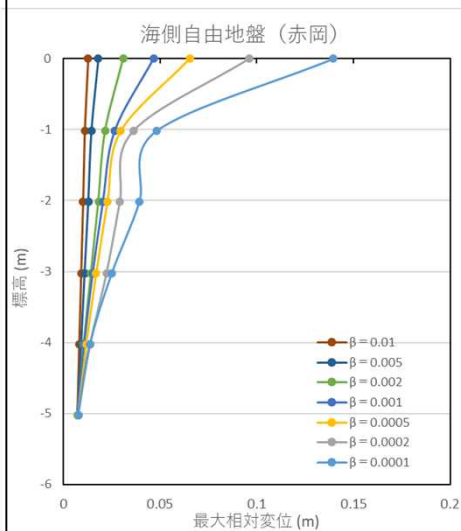


液状化パラメータの再設定(レーレー減衰)

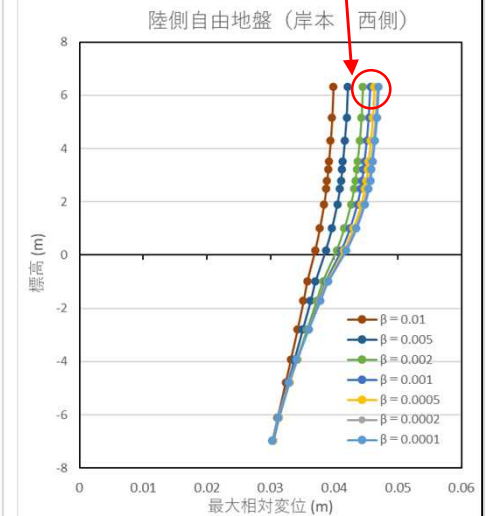
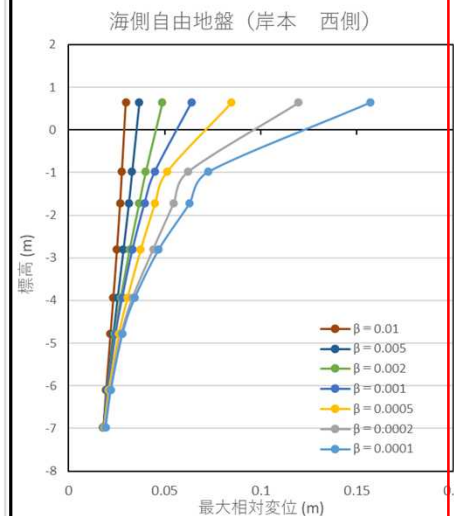
② 地盤応答に影響を与えなくなる臨界点に基づく方法

$\beta = 0.001$ 付近で地盤応答が減少しており妥当と判断

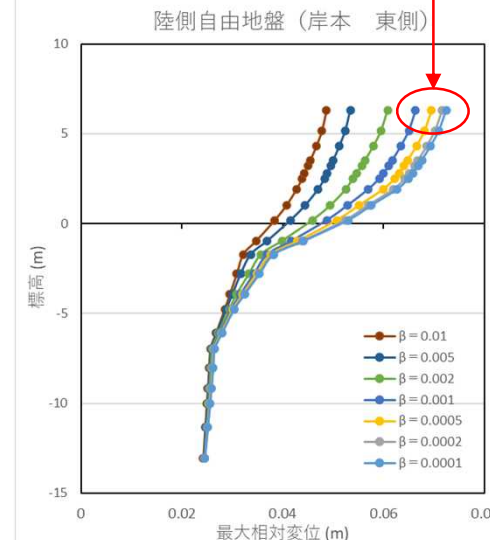
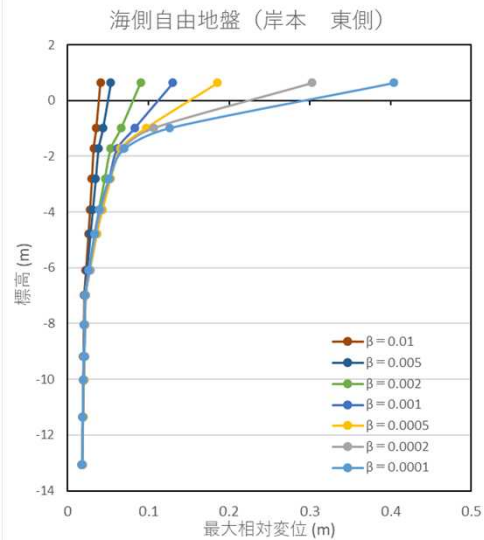
● 赤岡海岸



● 岸本海岸(西側)



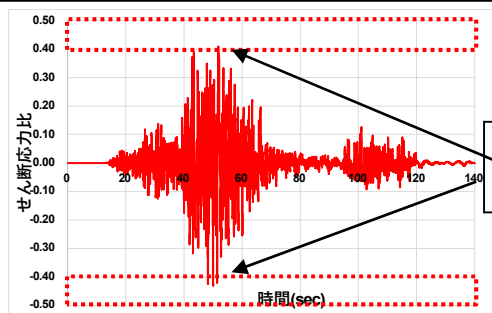
● 岸本海岸(東側)



液状化パラメータの再設定(液状化特性)

○ 岸本海岸においては、対象地震動のH15中央防災会議で示された地震動ピーク（せん断応力比0.40程度の範囲）付近で大変形を確認したことから、せん断応力比0.40程度の範囲で液状化強度が大きくなり解析が安定する液状化パラメータに調整を行った。

Ag1-2層中心のせん断応力比の時刻歴

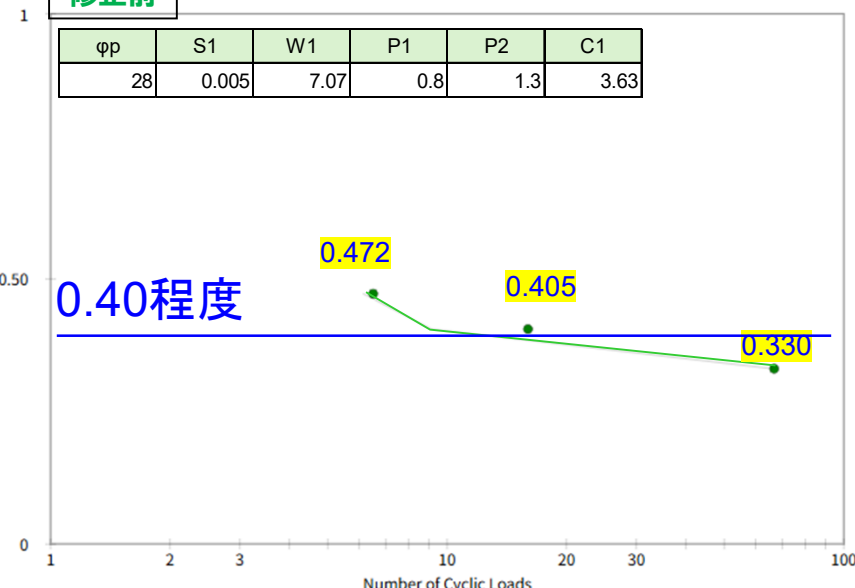


Ag1-2

修正前

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	7.07	0.8	1.3	3.63

Stress Ratio tau/sigma'
液状化強度比

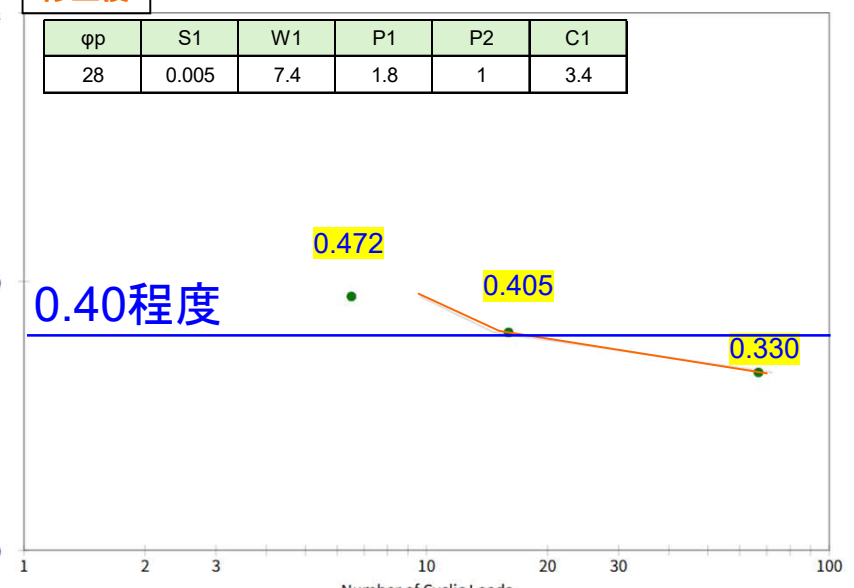


繰り返し回数

修正後

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	7.4	1.8	1	3.4

液状化強度比



繰り返し回数

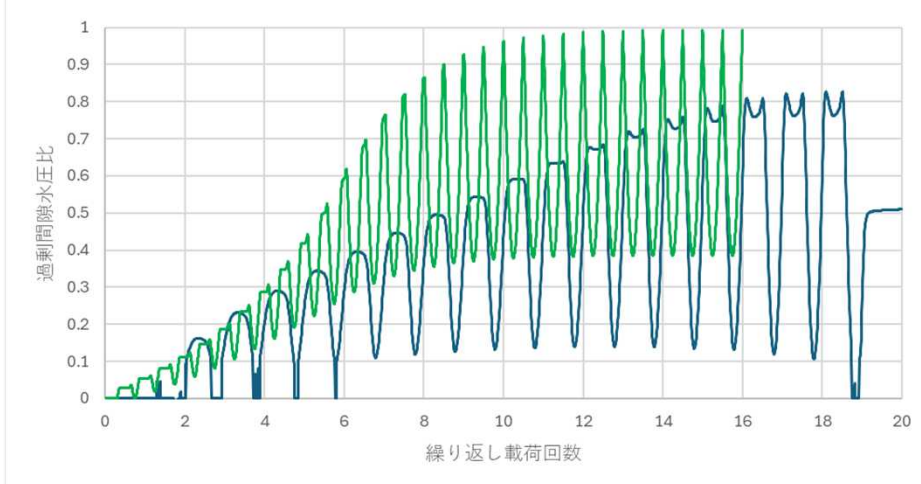
※要素シミュレーションは、軸対称応力条件下で実施される繰返し非排水三軸試験と異なり、単純せん断の条件下で実施しているため、ひずみが対称となっている。

液状化パラメータの再設定(液状化特性)

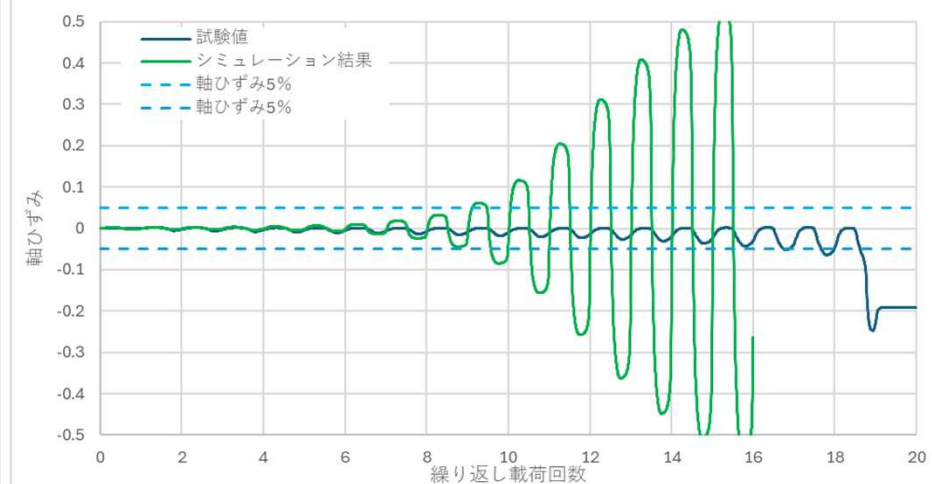
Ag1-2

修正前

過剰間隙水圧比時刻歴 ($\tau/\sigma_m = 0.405$)

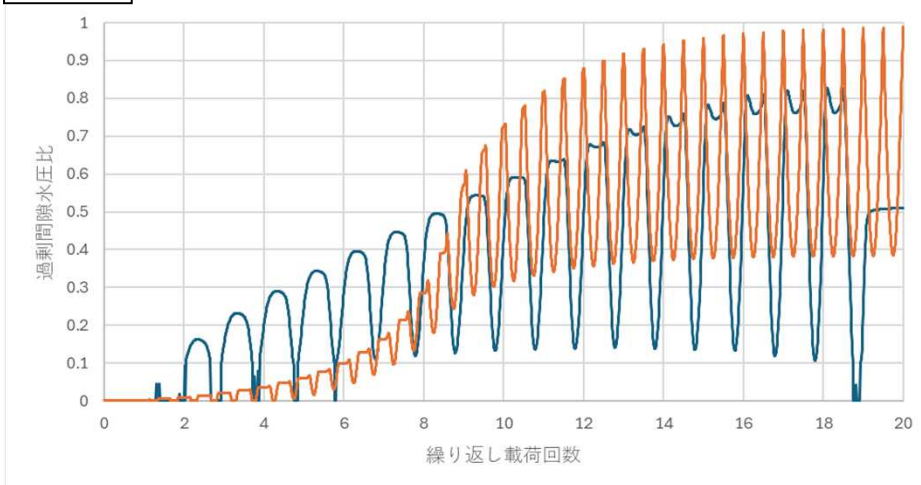


軸ひずみ時刻歴 ($\tau/\sigma_m = 0.405$)

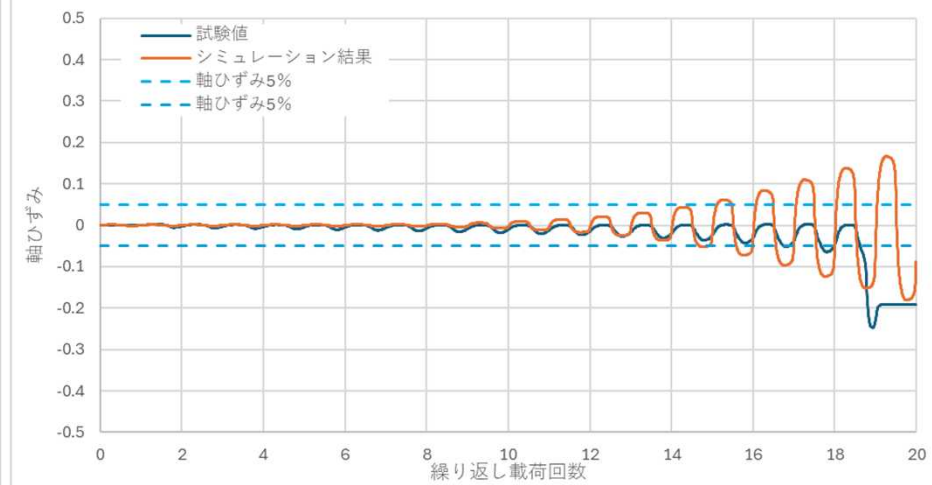


修正後

過剰間隙水圧比時刻歴 ($\tau/\sigma_m = 0.405$)



軸ひずみ時刻歴 ($\tau/\sigma_m = 0.405$)

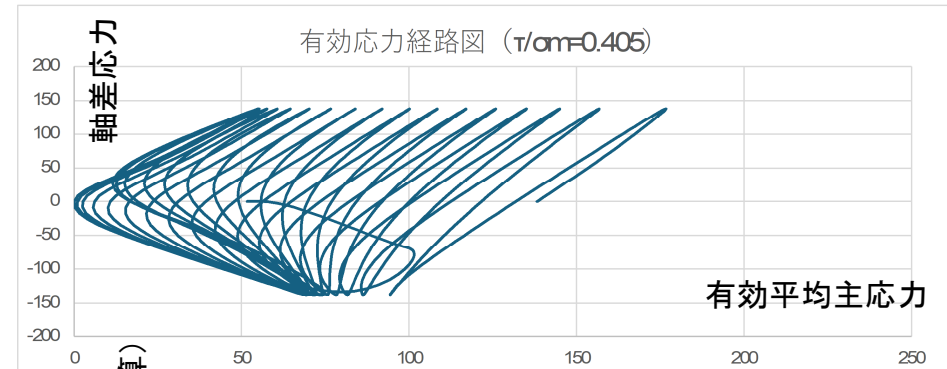
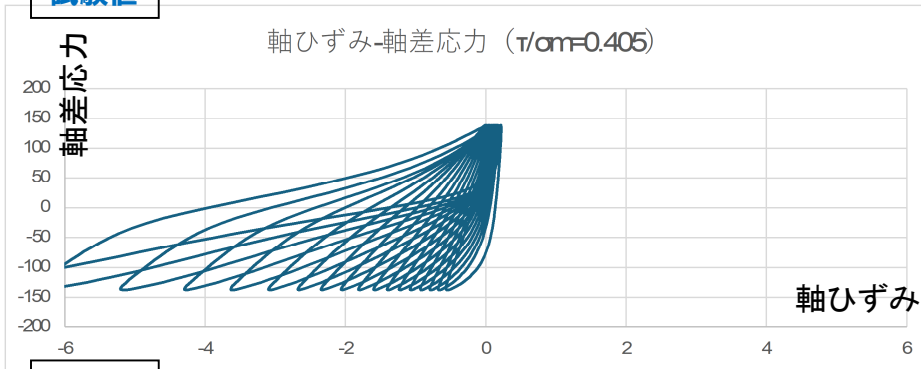


※要素シミュレーションは、軸対称応力条件下で実施される繰返し非排水三軸試験と異なり、単純せん断の条件下で実施しているため、ひずみが対称となっている。

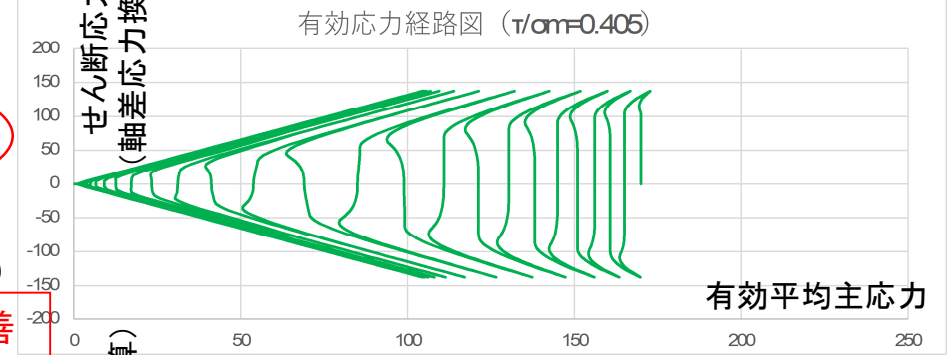
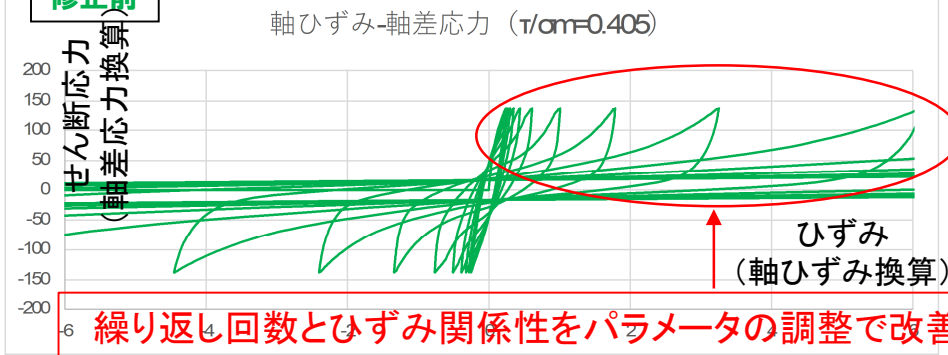
液状化パラメータの再設定(液状化特性)

Ag1-2

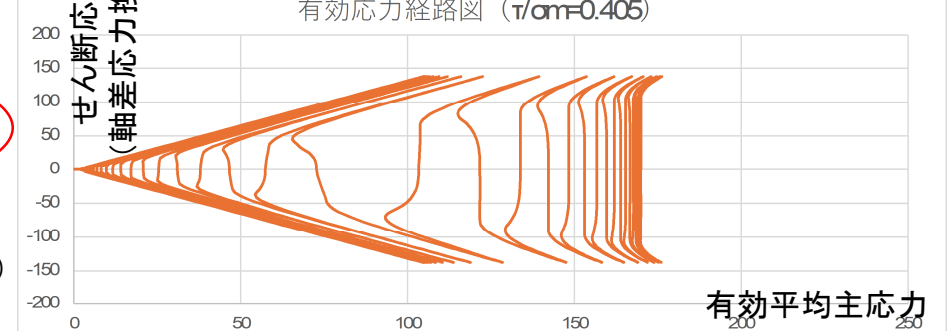
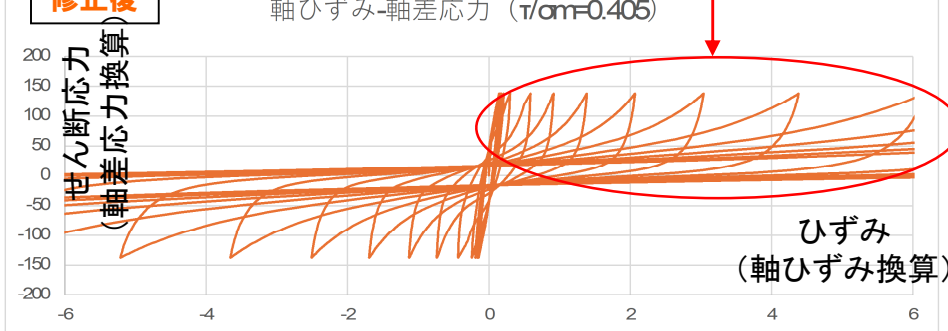
試験値



修正前



修正後



※要素シミュレーションは、軸対称応力条件下で実施される繰返し非排水三軸試験と異なり、単純せん断の条件下で実施しているため、ひずみが対称となっている。

○香南工区の耐震照査においては、既存工区の耐震対策以降の新たな知見（高知港湾海岸の照査基準）を踏まえて、水平変位の許容量を、護岸厚さの2倍に設定。

【参考】

○高知海岸では、東日本大震災の実情も踏まえ、高さの確保のみでなく、変形やひずみ等も考慮して堤防機能を確保する考えから、水平変位及び相対変位の基準（許容値の目安として護岸厚さ50cm（水平変位と同量））を設定。

○高知港湾海岸では、水平方向の照査基準は、重力式護岸において、個々のブロックのずれ（凹凸変位量）が、経験的に施設の最大水平変位の1/2以下であるという関係から導き出され、最大水平変位量が壁厚の2倍以下に設定。

高知海岸の耐震照査基準

高知海岸における堤防照査の考え方

- ① 地震後の堤防高が、設計津波の水位を上回っているかどうか（越流しない）
- ② 地震後に堤防としての機能が保たれているかどうか（堤防法線が連続している）

①、②のどちらかが満足しない場合、地震津波対策が必要

①地震後の堤防高と設計津波の水位との確認方法

沈下後堤防高 = 現況堤防高 - (液状化沈下量 + 地殻変動量)
 > 設計津波の水位

液状化沈下量 ($\delta d + \delta u$)
 ・液状化による変形量 (δd) = $(\delta Y_A + \delta Y_B + \delta Y_C) / 3$
 ・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量 (δu)

②堤防機能保持の確認方法

②-1 水平変位による確認 (堤体の連続的な健全性確保)

δX_1 または δX_2 の最大値
 (護岸の水平変位 (護岸における最大値)) $\leq 0.50m$

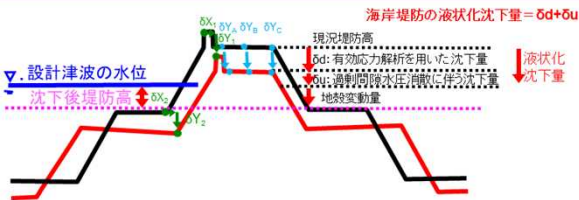
②-2 相対変位による確認 (堤防天端と法尻との変位差による護岸の転倒)

δX または δY (護岸の相対変位 (堤防天端と法尻の変位差)) $\leq 0.50m$

$$\delta X = |\delta X_1 - \delta X_2| \leq 0.50$$

$$\delta Y = |\delta Y_1 - \delta Y_2| \leq 0.50$$

※照査箇所として、確保すべき堤防機能等を各工区毎に確認



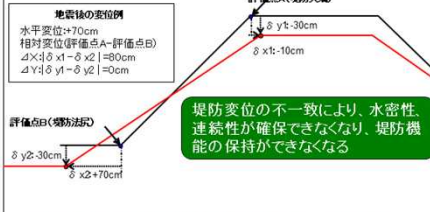
堤防機能保持のための許容変位量の設定根拠

②-1 水平変位の許容変位量 $\leq 0.50m$

○堤防天端又は堤防法尻の水平変位が海岸堤防の護岸厚である50cmを超えると、護岸目地部で護岸厚以上の目違いが発生し、一連堤防としての堤防機能が保持できなくなる

②-2 相対変位の許容変位量 (堤防天端と法尻の変位差) $\leq 0.50m$

○地震による堤防変位の挙動は一律でなく、スパン毎の連続性が堤防機能保持としては重要である。堤防天端と法尻との水平および鉛直方向の相対変位により、護岸の滑動状況を把握でき、堤体の安全性を評価できることから、許容値の目安として護岸厚さ（水平変位と同量）を設定。



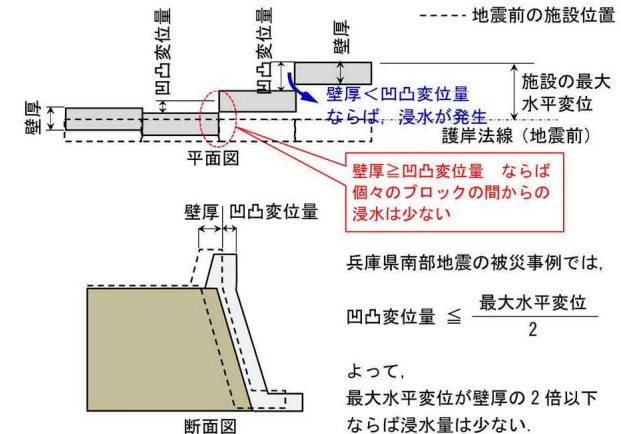
堤防変位の不一致により、水密性、連続性が確保できなくなり、堤防機能の保持ができなくなる

(モデルは剛体変形として扱う)

高知港湾海岸の耐震照査基準

表-2 地震に対する照査基準

鉛直変位に対する照査基準	
L1地震	地震後の施設天端高さが高潮の許容越波流量から決まる高さよりも低くならないこと
L2地震	地震後の天端高さが津波高よりも低くならないこと
水平変位に対する照査基準	
L2地震	最大水平変位量が壁厚の2倍以下



兵庫県南部地震の被災事例では、

$$\text{凹凸変位量} \leq \frac{\text{最大水平変位}}{2}$$

よって、
 最大水平変位が壁厚の2倍以下
 ならば浸水量は少ない。

図-7 水平変位に対する照査基準

※出典：第2回 直轄高知海岸地震対策検討委員会 説明資料
 (平成25年3月5日、高知河川国道事務所)

※出典：高知港における地震・津波対策の三重防護プロジェクト
 (土木学会論文集, Vol.81, No.8, 25-00011, 2025.)

液状化パラメータの再設定(再解析)

- パラメータの再設定・モデルの再調整を行った結果を以下に示す。
- 香南工区において、全区間で地震・津波対策は必要であるという結果に変わらない。

許容変位量

護岸の水平変位(護岸における最大値) $\leq 1.0\text{m}$ (既設護岸厚0.50mの2倍)
 護岸の相対変位(堤防天端と法尻の変位差) $\leq 0.50\text{m}$ (既設護岸厚0.50m)

項目	工区	①吉川海岸(傾斜堤部)	②吉川海岸(緩傾斜堤部)	③赤岡海岸	④岸本海岸(西側)	⑤岸本海岸(東側)
		L=1,014m	L=1,120m	L=1,290m	L=573m	
①現況天端高		T.P.+11.00m	T.P.+10.00m	T.P.+10.10m	T.P.+10.10m	T.P.+10.10m
沈下量	②液状化沈下量 = $\sigma_a + \sigma_b$	1.17m (1.91m)	1.99m (1.49m)	0.45m (2.58m)	0.63m (2.66m)	1.51m (4.33m)
	③地殻変動量	1.67m	1.67m	1.57m	1.51m	1.51m
	④計	2.84m	3.66m	2.02m	2.14m	3.02m
	④=②+③	3.58m	3.16m	4.15m	4.17m	5.84m
⑤沈下後堤防高(未対策)		8.16m	6.34m	8.08m	7.96m	7.08m
⑤=①-④		7.42m	7.84m	5.95m	5.93m	4.26m
⑥設計津波の水位		8.00m	8.00m	8.00m	8.00m	8.00m
沈下後堤防高に対する津波越流の有無						
⑥>⑤=越流あり		無	有	無	有	有
水平変位量(堤防天端と法尻の最大値) $\delta \times 1.2$		1.63m (2.56m)	—	1.35m (6.12m)	1.71m (5.69m)	2.52m (7.72m)
相対変位量 $\Delta \delta = \delta 1 - \delta 2$		0.80m (1.88m)	—	0.41m (4.39m)	0.38m (2.82m)	0.15m (3.71m)
相対変位量 $\Delta \delta = \delta 1 - \delta 2$		0.32m (0.73m)	—	0.16m (1.49m)	0.12m (0.96m)	0.06m (1.29m)
堤防機能を保つための対策の必要性		有	—	有	有	有

※吉川海岸(緩傾斜堤)は擁壁構造を有していない緩傾斜堤防であるため、既設構造物の性能規定を満足する必要は無い。そのため照査対象外としている。

※括弧内は第1回委員会時の耐震照査結果を示す。第1回委員会時には吉川海岸(緩傾斜堤)の現況天端高をT.P.+11.00mとしていたが、擁壁をモデル化していないため、現況天端T.P.+10.00mと設定している。

液状化パラメータの再設定(再解析)

- 鉛直変位($\delta d + \delta u +$ 地殻変動量) = $0.89 + 0.28 + 1.67 = 2.84m$
 - ・液状化による鉛直変位量(δd) = $0.89m$
 - ・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)
= $1.03m \times 3.4\% + 2.00m \times 2.4\% + 6.6m \times 1.8\% + 2.70m \times 2.8\% = 0.28m$
 - ・地殻変動量 $1.67m$

沈下後天端高 = 現況天端高(11.00m) - 2.84m = 8.16m > 8.00m OK

天端と法尻の水平変位の最大値: 1.63m > 1.00m NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : 0.80m > 0.50m NG

相対変位 ΔY : 0.32m \leq 0.50m OK

- 水平変位(堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 1.63m$

- 相対変位(ΔX 、 ΔY)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |0.83 - 1.63| = 0.80m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |0.89 - 0.57| = 0.32m$

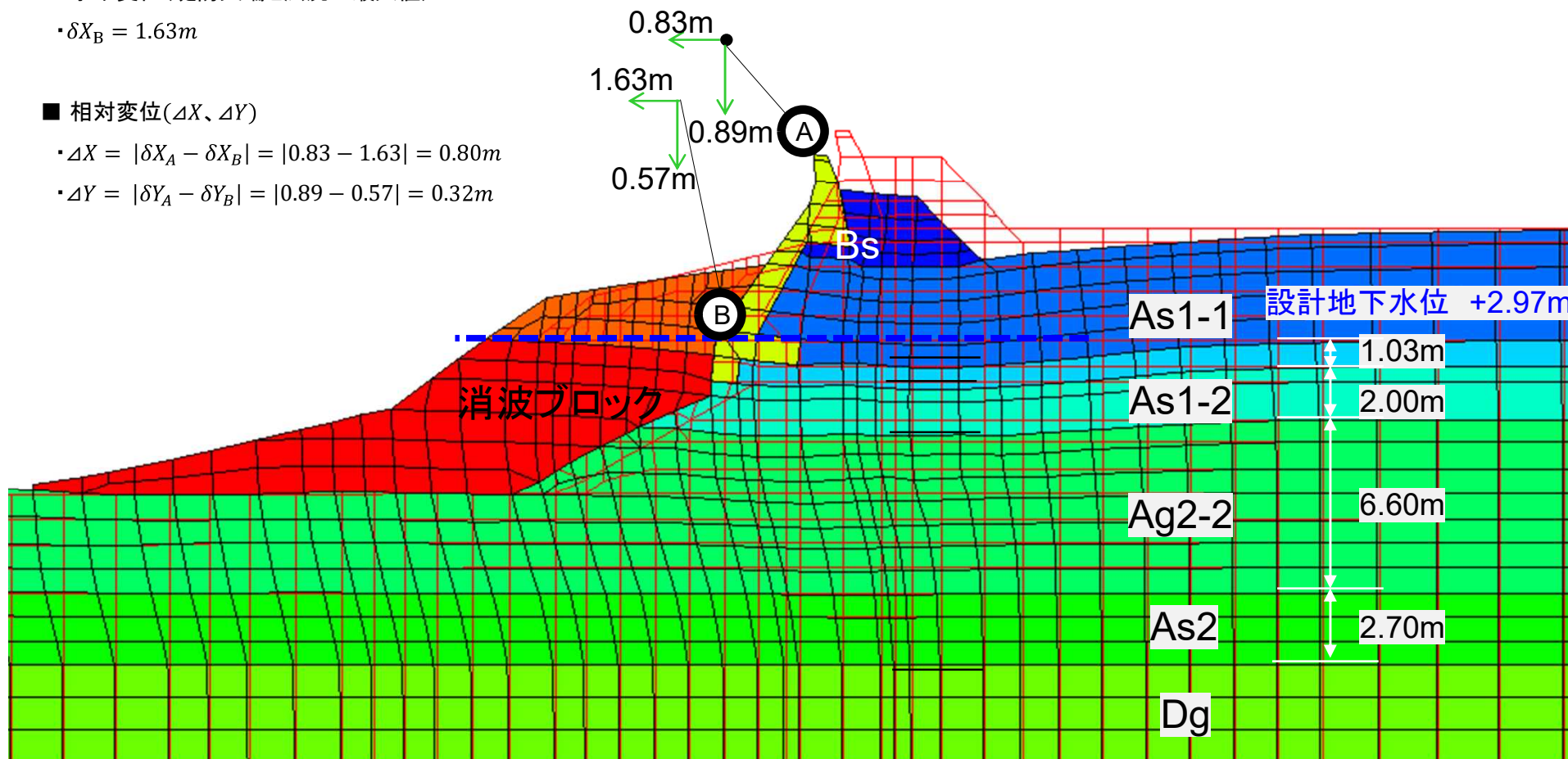


図 変形図(吉川海岸 傾斜堤部)

変位倍率1.0倍

液状化パラメータの再設定(再解析)

■ 鉛直変位 ($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $1.73 + 0.26 + 1.67 = 3.66\text{m}$

・液状化による鉛直変位量 (δd) = $\frac{1.88+1.78+1.72+1.53}{4} = 1.73\text{m}$

・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量 (δu)

$$= 1.03\text{m} \times 3.4\% + 2.00\text{m} \times 2.4\% + 6.6\text{m} \times 1.8\% + 2.70\text{m} \times 1.9\% = 0.26\text{m}$$

・地殻変動量 1.67m

沈下後天端高 = 現況天端高 (10.00m) - 3.66m = 6.34m < 8.00m NG

※沈下後パラ天端高 = 現況パラ天端高 (11.00m) - 3.66 = 7.34m < 8.00m となり、パラペット天端を照査位置としても設計津波高8.00mを下回る。

※緩傾斜堤防であり、擁壁構造を有していないため、既設構造物に対する性能規定は不要である。そのため、パラペット部および擁壁構造はモデル化せず、水平・相対変位の照査は対象外とする。

(参考)盛土による堤防を対象とした沈下後堤防高の算定方法

ない点に注意が必要である。また、堤防高を算定する際には、解析から得られた堤防の特定の位置における変形や高さに着目するのではなく、例えば、天端の高さを平均するなど、地震後の堤防の変形状態を適切に評価する必要がある。

出典:「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 - II 堤防編- 平成28年3月」p.17抜粋国土交通省水管理・国土保全局治水課

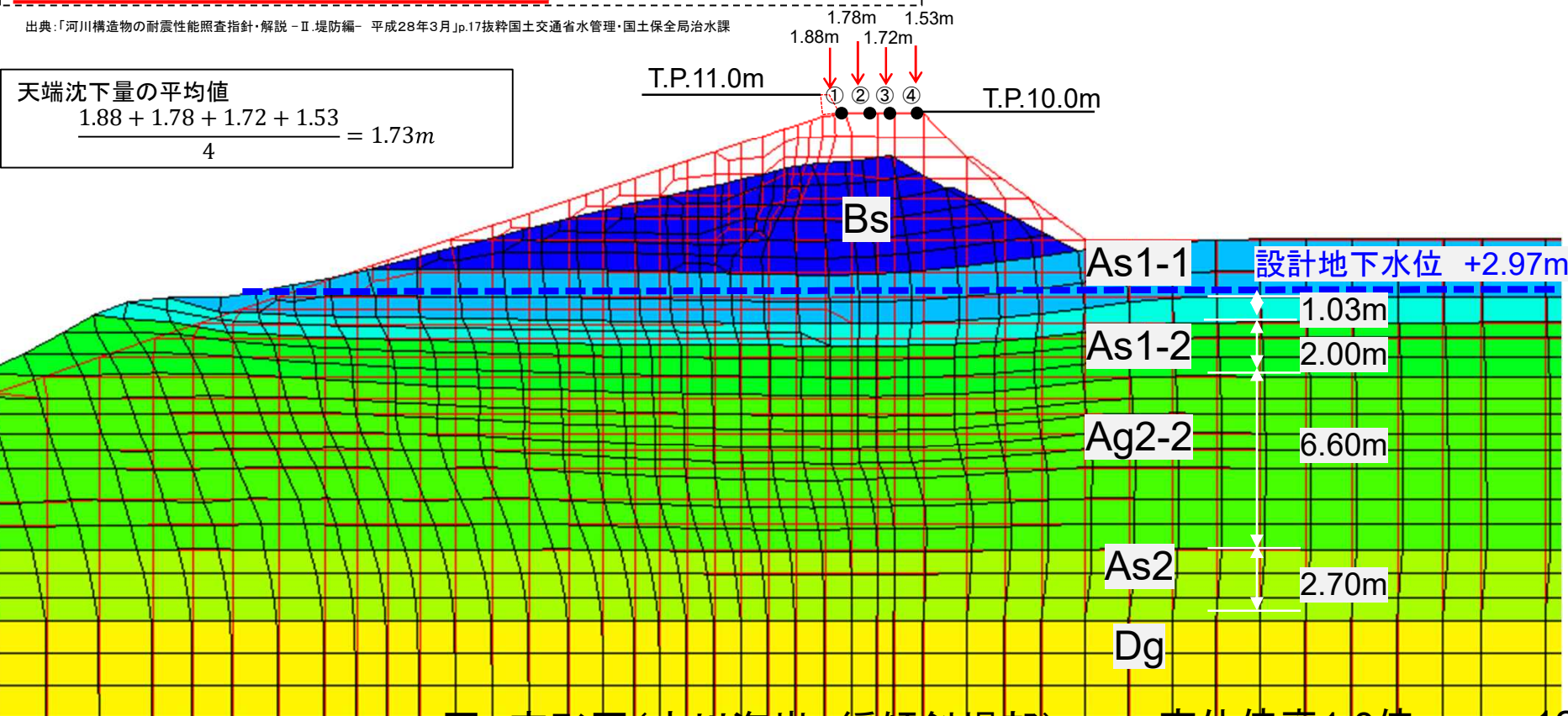


図 変形図(吉川海岸 緩傾斜堤部)

変位倍率1.0倍

液状化パラメータの再設定(再解析)

■ 鉛直変位 ($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $0.32 + 0.13 + 1.57 = 2.02m$

・液状化による鉛直変位量 (δd) = $0.32m$

・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量 (δu)

$$= 1.31m \times 4.3\% + 2.58m \times 2.6\% = 0.13m$$

・地殻変動量 $1.57m$

■ 水平変位 (堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 1.35m$

■ 相対変位 (ΔX 、 ΔY)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |0.94 - 1.35| = 0.41m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |0.32 - 0.18| = 0.16m$

沈下後天端高 = 現況天端高 (10.1m) - 2.02 = 8.08m > 8.00m OK

天端と法尻の水平変位の最大値: $1.35m > 1.00m$ NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : $0.41m \leq 0.50m$ OK

相対変位 ΔY : $0.16m \leq 0.50m$ OK

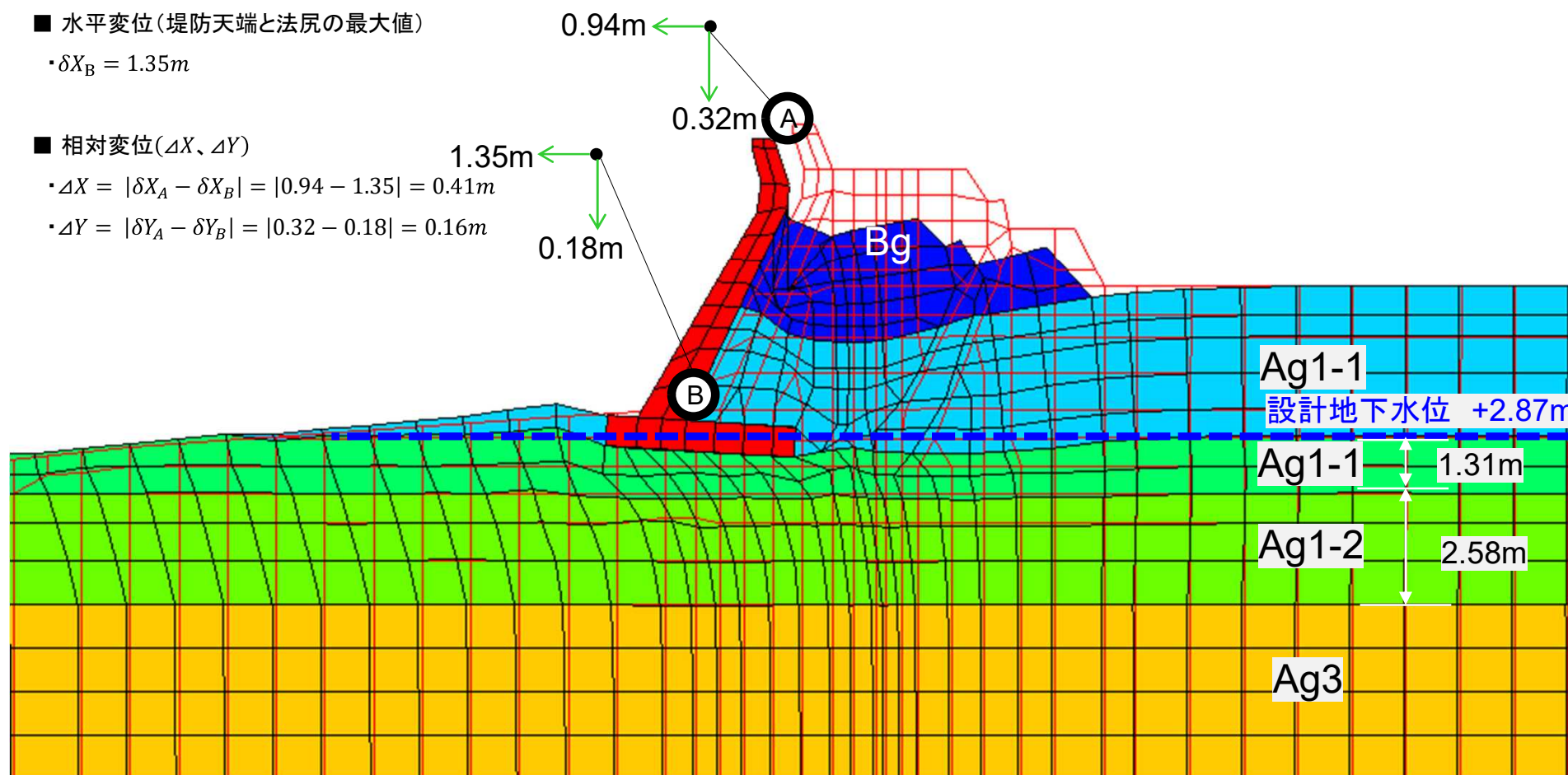


図 変形図(赤岡海岸)

変位倍率1.0倍

液状化パラメータの再設定(再解析)

■ 鉛直変位($\delta d + \delta u +$ 地殻変動量) = $0.55 + 0.08 + 1.51 = 2.14m$

- ・液状化による鉛直変位量(δd) = $0.55m$
- ・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)
= $3.79m \times 1.9\% = 0.08m$
- ・地殻変動量 $1.51m$

■ 水平変位(堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 1.71m$

■ 相対変位($\Delta X, \Delta Y$)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |1.71 - 1.33| = 0.38m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |0.55 - 0.43| = 0.12m$

沈下後天端高 = 現況天端高(10.1m) - 2.14m = 7.96m < 8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: 1.71m > 1.00m NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : 0.38m \leq 0.50m OK

相対変位 ΔY : 0.12m \leq 0.50m OK

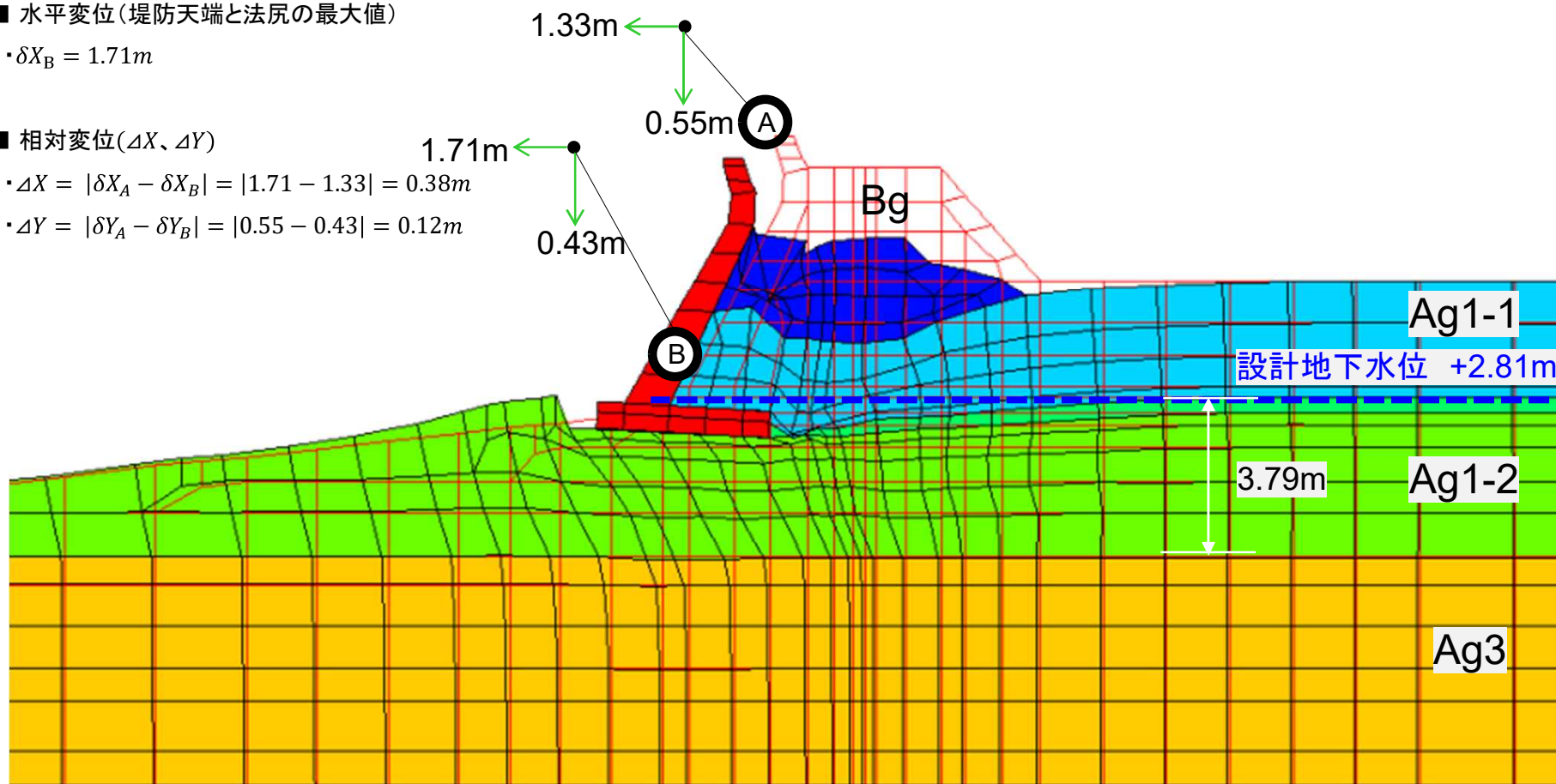


図 変形図(岸本海岸(西側))

変位倍率1.0倍

液状化パラメータの再設定(再解析)

■ 鉛直変位($\delta d + \delta u +$ 地殻変動量) = $1.32 + 0.19 + 1.51 = 3.02m$

・液状化による鉛直変位量(δd) = $1.32m$

・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)

= $4.57m \times 2.0\% + 5.25m \times 1.8\% = 0.19m$

・地殻変動量 $1.51m$

■ 水平変位(堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 2.52m$

■ 相対変位($\Delta X, \Delta Y$)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |2.52 - 2.37| = 0.15m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |1.32 - 1.26| = 0.06m$

沈下後天端高 = 現況天端高(10.1m) - 3.02m = 7.08m < 8.00m NG
 天端と法尻の水平変位の最大値: 2.52m > 1.00m NG
 護岸前面の
 相対変位 ΔX : 0.15m \leq 0.50m OK
 相対変位 ΔY : 0.06m \leq 0.50m OK

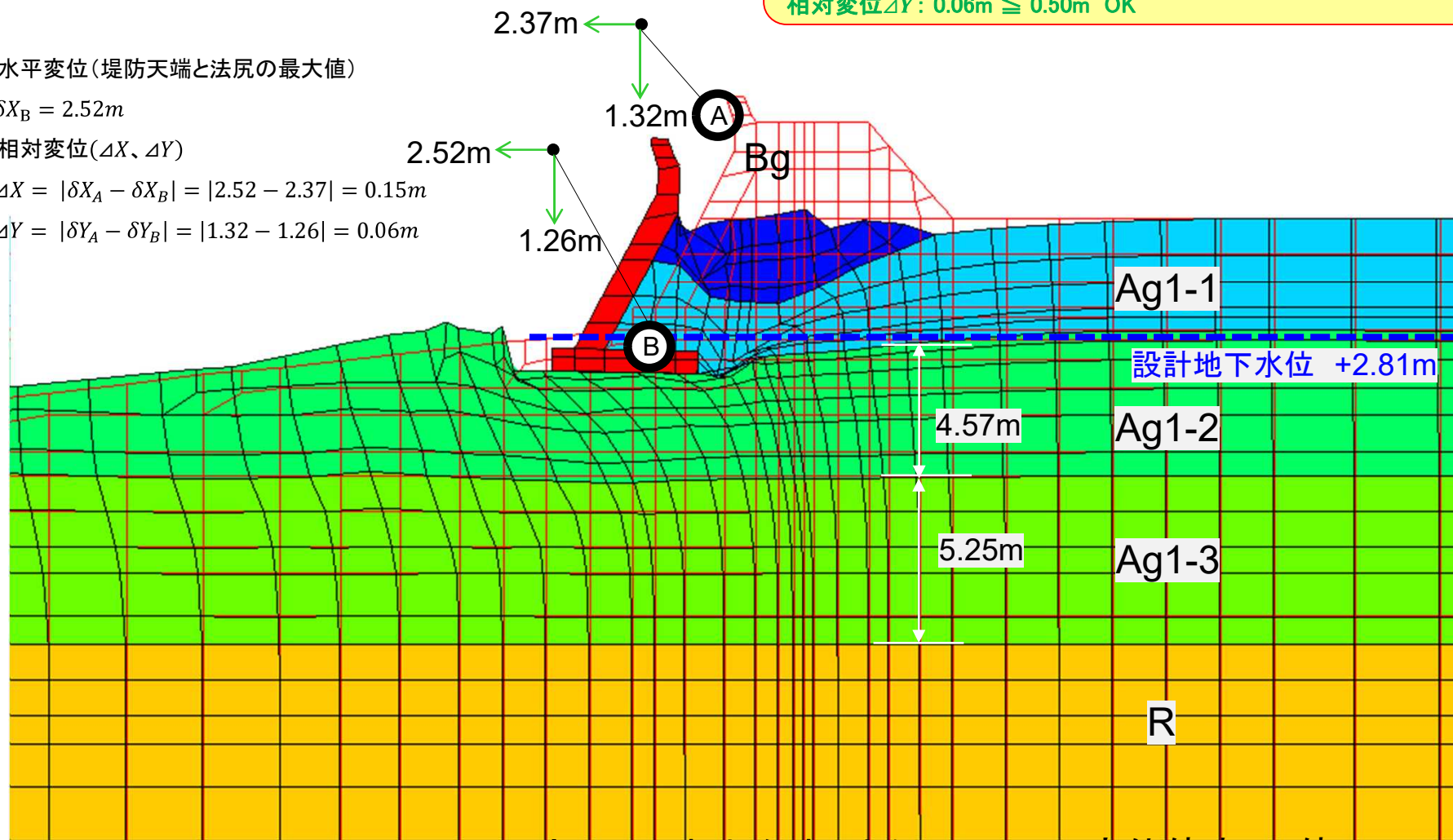


図 変形図(岸本海岸(東側)) 変位倍率1.0倍 15