

直轄高知海岸 地震対策検討委員会

(香南工区 令和7年度 第1回)

令和7年10月29日

四国地方整備局 高知河川国道事務所

審議項目

本委員会の中で主に以下に関する項目について、審議を行う。

1. 地震津波対策工の設計条件・設計方針の確認
2. 地質調査結果を踏まえた土質定数の確認

目次

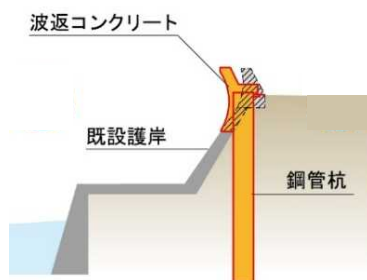
1. 高知海岸における地震・津波対策の概要	1
2. 香南工区の状況	4
3. 設計条件・設計方針	12
4. 地質特性	18
5. 検討対象断面・土質定数の設定	19
6. 香南工区の堤防耐震照査結果	27

1. 高知海岸における地震・津波対策の概要

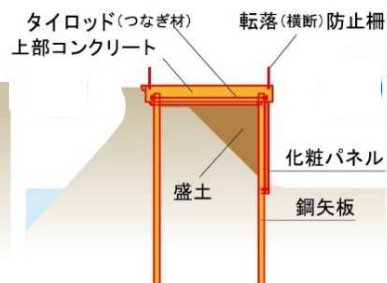
- 直轄高知海岸の地震・津波対策は、新居工区～十市前浜海岸(南国工区)において、鋼管杭工法、二重矢板工法、堤防補強工法にて、令和3年度に完成した。
- 香南工区(吉川海岸、赤岡海岸、岸本海岸)を令和7年度より新たに直轄海岸工事区域に指定し(L=3,997m)、地震・津波対策を実施する。



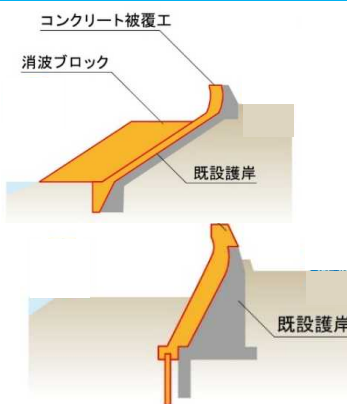
鋼管杭工法



二重矢板工法



堤防補強工法



1.高知海岸における地震・津波対策の概要 (これまでの経緯:地震・津波対策)

年代	概要
2011(H23)	<p>平成23年3月11日 東日本大震災 発災</p> <p>東日本大震災復興構想会議:災害時の被害最小化「減災」の考え方</p> <p>中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会:避難を柱(L2津波)、海岸保全施設で防御(L1津波)2段構えの津波対策</p> <p>L2津波に対して「津波防災地域づくり法」の制定・施行</p> <p>L1津波に対して「粘り強い構造」を考慮</p>
2011(H23)	海岸保全基本計画変更(高知県) 地震津波対策の追加
2011~2015 (H23~27)	<p>直轄高知海岸地震対策検討委員会の開催(計4回)</p> <p>→南国~新居工区の堤防照査・耐震対策について審議</p>
2018(H30)	<p>復興まちづくりのための事前準備ガイドライン策定(平成30年)</p> <p>事前復興まちづくり計画検討のためのガイドライン策定(令和5年度)</p>
2011~2021 (H23~R3)	地震・津波対策事業 完了(新居~南国工区)
2022(R4.9)	高知県事前復興まちづくり計画策定指針策定
2025(R7.4)~	<p>香南工区直轄工事区域指定(地震・津波対策)</p> <p>→香南工区(吉川・赤岡・岸本海岸)の耐震・津波対策に着手</p>

1.高知海岸における地震・津波対策の概要 (これまでの経緯:気候変動対策)

年代	概要
2013(H25.9)	気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による第5次評価報告書 →気候システムの温暖化には疑う余地がなく、大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇。RCP2.6では2℃上昇が予測。
2020(R2.7)	気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言 →海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換、「予測を重視した順応的砂浜管理」の必要性
2020(R2.11)	海岸保全基本方針変更 →「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」を踏まえ、海岸保全基本方針を変更
2023(R5)	気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次報告書
2024(R6.3)	気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会 とりまとめ (高知河川国道事務所・高知県) →気候変動による影響を考慮した設計外力を設定・必要堤防高を検討
2024(R6.10)	土佐湾沿岸海岸保全基本計画(土佐湾沿岸中央部:高知県)改定 →気候変動による影響を考慮した計画に変更

2.香南工区の状況（過去の災害履歴）

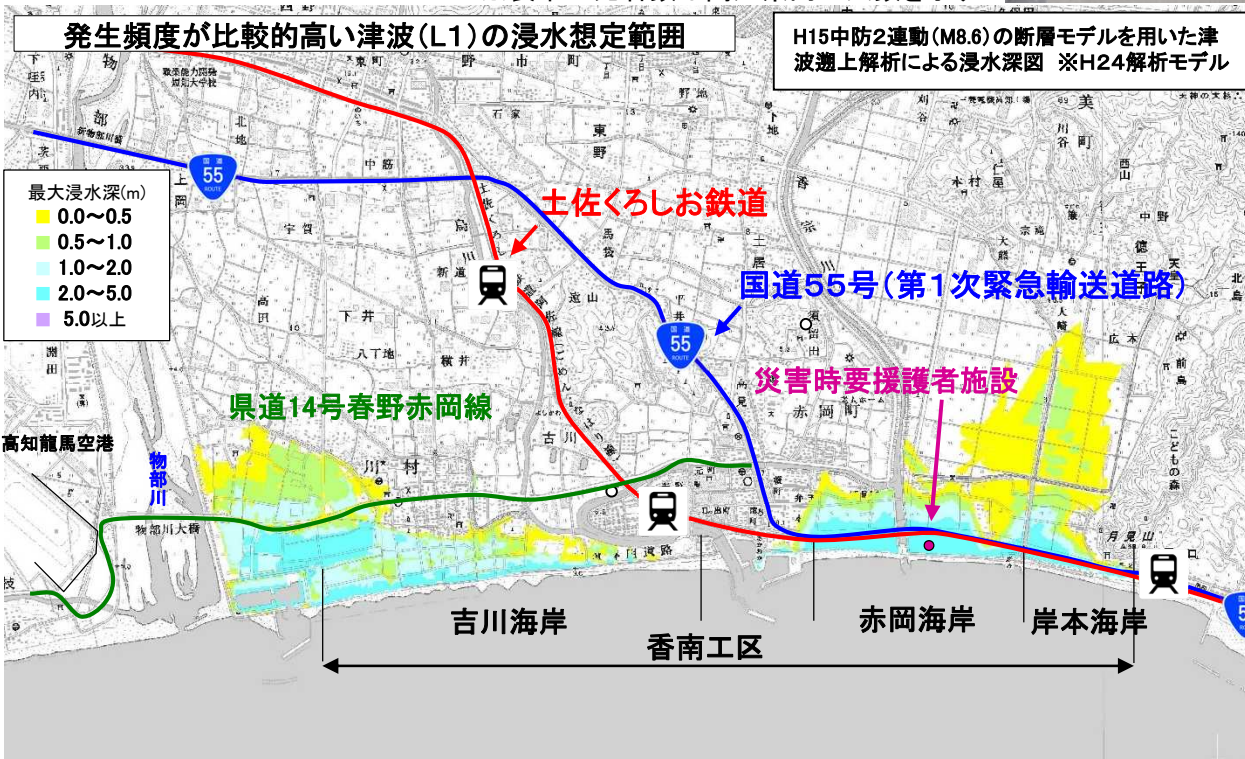
- 昭和21年（昭和南海地震）、昭和35年（チリ地震）には大規模地震に伴う津波被害が発生しており、切迫する南海トラフ地震に伴う地震・津波対策が重要課題である。
- 香南工区（吉川海岸、赤岡海岸、岸本海岸）では、最大クラスのL2津波による浸水想定区域内人口が約3,000人（L1津波の場合：約2,200人）、国道55号や土佐くろしお鉄道等の物流、人流の大動脈が、海岸堤防背後地に存在する。

■高知海岸 地震・津波による被災履歴

年月日	原因	被災状況
宝永4.10.4 (1707)	南海道沖大地震 (M8.4)	当時としては未曾有の震災であり、大規模な津波に襲われた。 死者1,844人
安政1.11.5 (1854)	南海道沖大地震 (M8.4)	津波の規模は宝永大地震をやや下回る程度。 死者372人
昭和21.12.21	南海道沖大地震 (M8.1)	地震による津波の被害は地震そのものによるものよりも大きかった。波高は高知県の沿岸で4～6mに達した。死者679人
昭和35.5.23	チリ沖地震	地震の翌日から津波が日本各地に押し寄せ、多大な被害を出した。

※表中の死者数は高知県内の人数を示す

香南市：地震による災害石碑



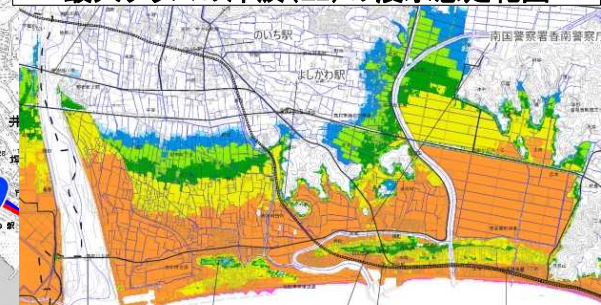
香南工区 被害想定(地震・津波 L1)

浸水面積	約320ha
被災人口	約2,200人
被害額	約1,030億円

◎香南工区の地震津波対策はレベル1相当の津波に対して実施。

◎最大クラスの津波(レベル2相当の津波)に対しては、現在の海岸堤防に比べ壊れにくくなるため、避難時間を稼ぐことができる。

最大クラスの津波(L2)の浸水想定範囲



2.香南工区の状況（海岸状況と背後地利用：吉川海岸）

○ 吉川海岸は、堤防構造の違いにより、「傾斜堤部」「緩傾斜堤部」に区分される。傾斜堤部は背後地に家屋が連担している区間があり、前浜は狭く、消波ブロックが設置されている。緩傾斜部は背後地に耕作地があり、前浜は広い。



堤防形状	背後地状況	海岸堤防状況	前浜状況
吉川海岸(傾斜堤部) 	写真1 		
吉川海岸(緩傾斜堤部) 	写真2 		

2.香南工区の状況（海岸状況と背後地利用：赤岡・岸本海岸）

○ 赤岡海岸、岸本海岸は、背後地に道路・鉄道が通り、家屋が連坦している。岸本海岸西側の前浜は広いが岸本海岸東側の前浜は狭い。



堤防形状	背後地状況	海岸堤防状況	前浜状況
<p>赤岡海岸(傾斜堤)</p> <p>砂浜広い</p>	<p>写真3</p> <p>家屋</p>	<p>道路</p>	<p>砂浜広い</p>
<p>岸本海岸(傾斜堤)</p> <p>西側の砂浜は広いが、東側は狭い(消波ブロックなし)</p>	<p>写真4</p> <p>土佐くろしお鉄道</p>	<p>写真5</p> <p>家屋 道路</p>	<p>写真4</p> <p>砂浜狭い</p>

2. 香南工区の状況（海岸堤防と隣接する施設）

○ 吉川漁港(市)、赤岡漁港(県)、香宗川放水路(県)、香宗川(県)が存在。また、周辺の付帯施設として、越波防護壁、陸閘等が多数存在する。



写真1



赤岡漁港

写真2



派川香宗川

写真3



赤岡海岸：陸閘

写真4



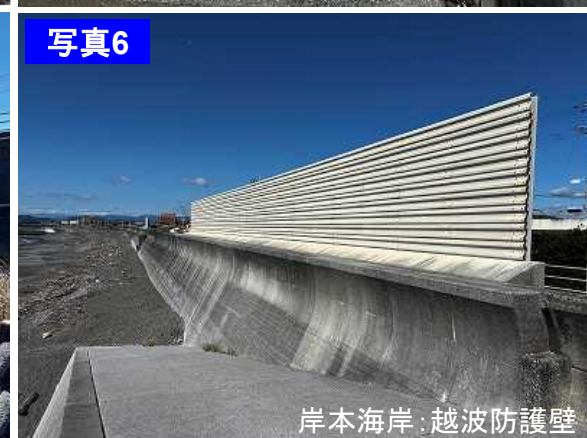
吉川漁港

写真5



岸本放水路

写真6



岸本海岸：越波防護壁

2.香南工区の状況（利用への配慮）

- 香南工区の海辺や砂浜は、地元の憩いの場として利用されており、吉川漁港の「みなこい祭り」、天然色劇場での各種イベント、赤岡海岸の「どろめ祭り」、赤岡海岸・岸本海岸の「観光地引き網」等の海辺にちなんだイベントが開催されている。
- 赤岡・岸本海岸の堤防天端はサイクリングロードとして整備・利用されている。

利用

吉川漁港周辺(みなこい港祭り)



天然色劇場イベント



赤岡海岸(どろめ祭り)



岸本海岸(観光地引き網)



赤岡海岸(海岸利用)



赤岡海岸・岸本海岸 サイクリングロード



2.香南工区の状況（景観・環境への配慮）

○ 赤岡海岸ではウミガメ足跡が確認されるなど、海岸に生息する動植物等の生息地となっている。

景観

赤岡海岸 砂浜景観



環境

赤岡海岸 ウミガメ足跡(R7.9.24)



吉川海岸:ハマゴウ群落



岸本海岸 海岸清掃活動



2.香南工区の状況（津波防災まちづくりとの連携）

- 現在、香南市では、津波防災地域づくりに関する法律「津波防災地域づくり法」に基づき、「香南市津波防災地域づくり推進計画策定協議会」が設置され、南海トラフ地震に対しハード・ソフトの多重防御による津波対策やまちづくりの観点を踏まえた中長期的な津波防災の総合計画を策定中である。
- 香南工区における地震・津波対策にあたっては、同協議会と連携し、最大クラスの津波（レベル2津波）に対し、防災・減災（避難時間の確保を含む）を図るため、ハード・ソフト施策による検討を行う必要がある。

高知河川国道事務所

直轄高知海岸地震対策検討委員会

- ・目的：直轄高知海岸での地震津波対策に関して、地質・構造など専門的な観点から、対策工の妥当性について、提言・助言することを目的とする。
- ・メンバー：国土交通省、専門家（学識者、国総研等）、高知県、香南市
- ・運営事務局：国土交通省高知河川国道事務所
- ・会議開始年度：平成23年度～

報告

高知海岸保全フォローアップ委員会

- ・目的：高知海岸直轄海岸保全施設整備事業の進捗に伴うヘッドランド、人工リーフの改良等の海岸保全施設の施設構造及び効果検証等について、技術的に分析、評価することを目的とする。
- ・メンバー：国土交通省、専門家（学識者、国総研等）、高知県
- ・運営事務局：国土交通省高知河川国道事務所
- ・会議開始年度：平成30年度～

相互連携

香南市津波防災地域づくり推進計画策定協議会

- ・目的：南海トラフ地震に対するハード・ソフトの多重防御による全ての津波対策及びまちづくりの観点を踏まえた中長期的な津波防災の総合計画である香南市津波地域づくり推進計画の策定にあたり、その検討を行うことを目的とする。
- ・メンバー：香南市、まちづくり評議会、自主防災組織、専門家（学識者）、高知県、国土交通省
- ・運営事務局：香南市
- ・会議開始年度：令和7年度～

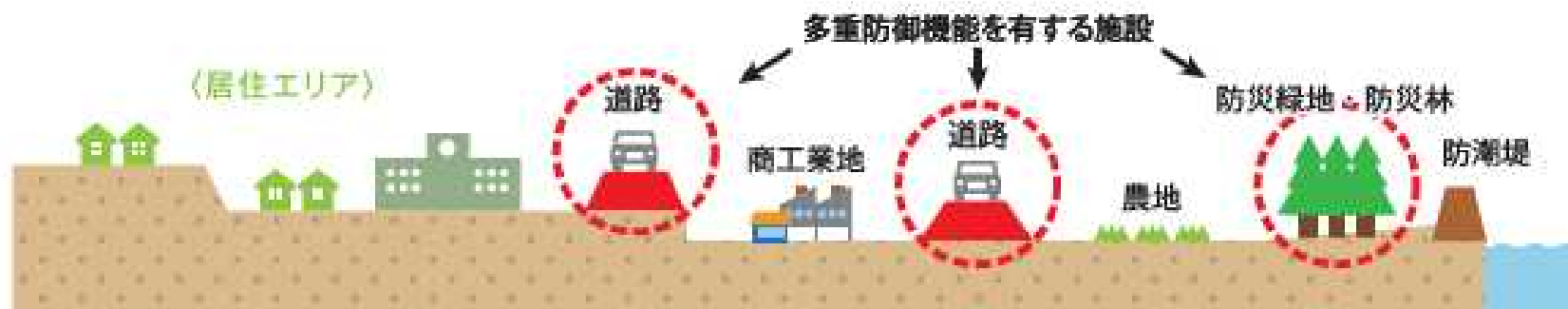
香南市

2.香南工区の状況（津波防災まちづくりとの連携）

○ 東日本大震災からの復興では減災対策として、「多重防御」や「高台移転」などが実施されている。

「多重防御」とは

一線堤として機能する防潮堤の背後に、嵩上げた道路や鉄道、防災緑地等の減災機能を有した施設配置により、居住地を多重に防御するという、東日本大震災以前の津波防災にはなかった「減災」の考え方。



「高台移転」とは

津波被害が想定される区域から安全な高台や内陸部へ居住地を移転させること。



3.設計条件・設計方針 (設計対象とする地震動、津波高、必要天端高)

- 対象とする地震動及び津波は、「高知県地震・津波防災技術検討委員会」において決定されており、設計津波の水位は、香南工区ではTP+8.0mに設定、対象地震動は、「H15 中防2連動(M8.6)」を用いて設定する。
- 気候変動後の津波水位(海岸毎の平均値)は、土佐湾沿岸海岸保全基本計画(R6.10)より、現行の設計津波水位を上回らないことから、現行水位とする。
- ただし、気候変動を踏まえた高潮・高波に対する必要天端高は不足するため、堤防嵩上げ等の施工が可能な構造であることが必要である。また、気候変動の不確実性を踏まえ、将来、堤防嵩上げが必要となった場合でも不安定構造物とならない構造であることが必要である。

項 目		設 計 条 件
1.	対象津波	<p>◎H15中防2連動 東南海・南海地震(マグニチュード8.6) (平成15年12月 中央防災会議公表(2連動))</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一定の頻度(数十年から百数十年に一度程度)で到達すると想定される津波 ・海岸管理者(高知県)が設定する施設設計に用いる津波(施設設計上の津波)
2.	対象地震動	<p>◎H15中防2連動 東南海・南海地震(マグニチュード8.6) (平成15年12月 中央防災会議公表(2連動))</p> <p>※ 施設設計上の津波と同じ断層モデルを適用</p>
3.	気候変動を踏まえた設計津波の水位	<p>◎T.P.+8.0(m) →1:2100年時点の朔望平均満潮位(T.P.+1.30m)に対する津波シミュレーションの結果を基に設定。</p> <p>※ 現行の設計津波水位から変更無し</p>

■ 気候変動を踏まえた高潮・高波に対する必要天端高 土佐湾沿岸海岸保全基本計画(R6.10)より

項 目		内 容
1.	必要天端高 (現況堤防高)	<p>吉川海岸T.P.+12.2(m) 赤岡海岸T.P.+10.5(m) 岸本海岸T.P.+10.5(m)</p> <p>(+11.0(m)) (+10.1(m)) (+10.1(m))</p>

3.設計条件・設計方針（地殻変動量と地下水位の設定）

- 高知海岸では地震により地殻変動が発生することが想定されており、地震動の発生と地殻変動は、共に断層の変位に起因するため、地震動が堤防地点に到達した時には、すでに地殻変動が発生しているものと考えられる。
- そのため、地下水位は見かけの上では上昇することから、FLIPにおける液状化対象層の地下水位は「朔望平均満潮位＋地殻変動量」とする。（H15中央防災会議2連動の地殻変動量を考慮）
- なお、解析結果としては、液状化対象層が増えることにより、液状化による沈下が発生しやすい状況となる。

表 各工区の地殻変動量

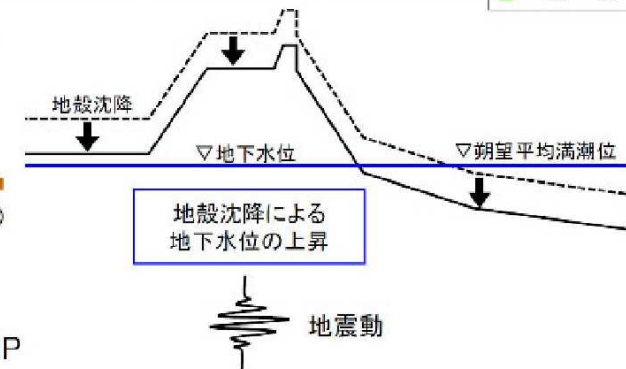
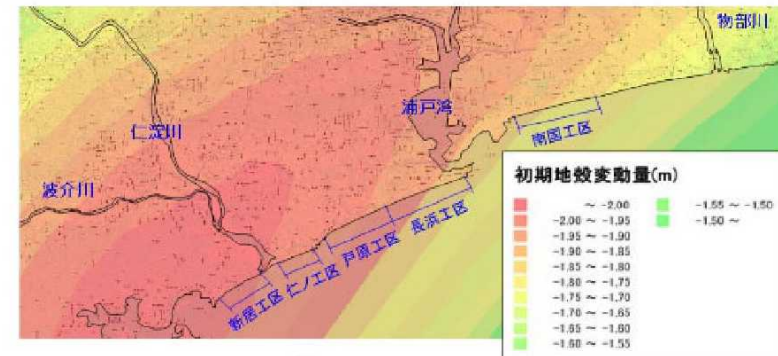
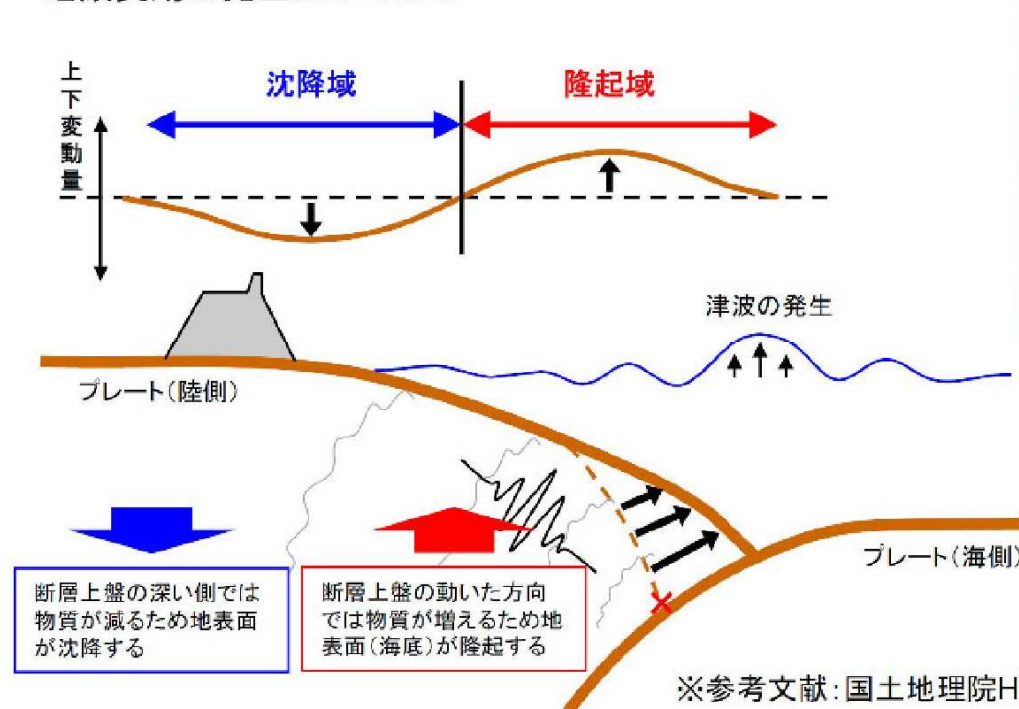
海岸名	津波評価地点	2 連動	3 連動	採用値
吉川海岸	吉川村物部川	-1.67m	-1.68m	-1.67m
赤岡漁港海岸	赤岡町赤岡	-1.57m	-1.58m	-1.57m
赤岡海岸				
岸本海岸	香我美町岸本	-1.51m	-1.52m	-1.51m

■高知海岸の朔望平均満潮位

T.P.+1.30m(気候変動後)

出典:「H15 中央防災会議 公表値」

地殻変動の発生メカニズム



3.設計条件・設計方針

(堤防の耐震性能評価手法【第2回H25.3.5委員会資料】)

■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)) $\leq 0.50m$

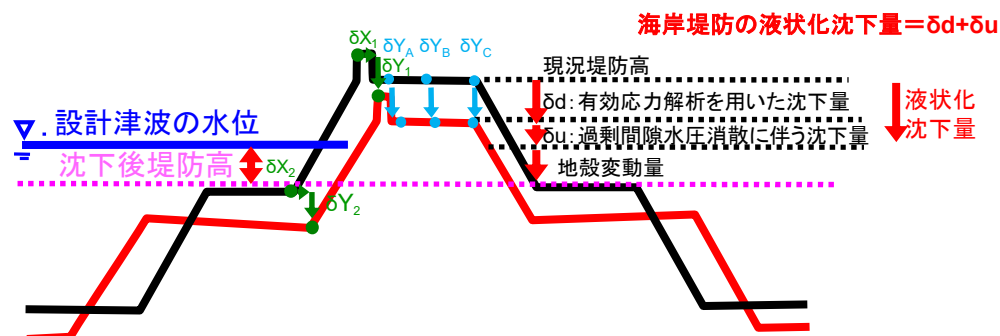
②-2 相対変位による確認 (堤防天端と法尻との変位差による護岸の転倒)

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



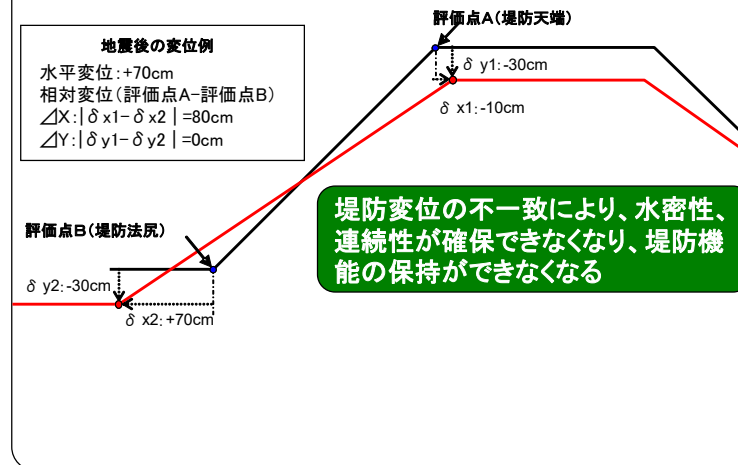
堤防機能保持のための許容変位量の設定根拠

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、護岸の滑動状況が把握でき、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。



3.設計条件・設計方針（気候変動を踏まえた設計方針）

- 気候変動に対する対策は「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（令和6年10月）に基づき対策工を検討する。
- 先行して実施する地震・津波対策の検討段階では、高潮・波浪対策の際に施工の手戻りが生じない対策工法を選定する。また、粘り強い構造を考慮する。

■今後の海岸事業保全について

6) 気候変動の影響を考慮した新たな海岸保全への転換

将来想定される気候変動への影響を考慮した新たな海岸保全へ転換していく必要がある。ただし、気候変動には不確実性があることに加え、海岸保全の対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから、対策の実施箇所の優先順位等について詳細に検討し、段階的な対策を推進していく。

「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（令和6年10月）抜粋

■防護水準について

高潮・波浪

■2℃上昇において、2100年時点で予測される計画高潮位と30年確率波浪を対象とし、越波、浸水の被害から背後地を守ることを基本的な目標とする。

■越波・浸水等の被害が予測される地域では、社会経済状況や背後地の人口、社会インフラの整備状況、土地の利用状況等の将来変化、被災歴、住民意見、環境や利用面を考慮しながら、ハード・ソフトを組み合わせた気候変動への適応策を進める。

浸食

■現状の汀線を保全、維持することを基本的な目標とする。

■汀線が後退し背後地への被害が予測される地域では、養浜等の順応的砂浜管理や総合土砂管理等も含めた面的防護を進める。

地震及び津波

■今後発生が予想される南海トラフ地震及び津波を対象とし、津波による浸水の被害から背後地を守ることを基本的な目標とする。

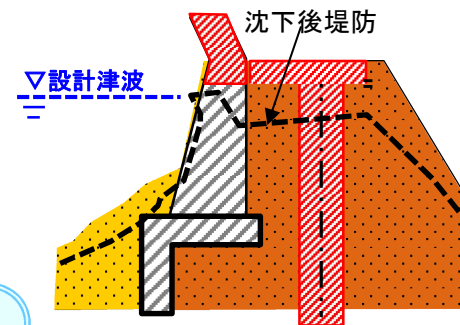
※高潮・波浪の防護水準は、背後地の状況や地域のニーズに応じて海岸管理者が適切に定めることとする。

「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（令和6年10月）抜粋

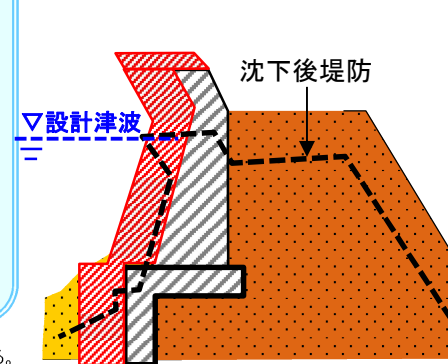
■段階的な対策イメージ（検討中）

①地震・津波対策

鋼管杭工法



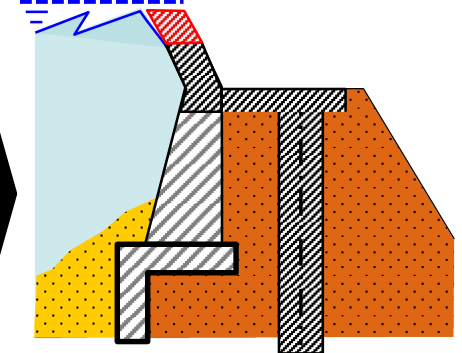
堤防腹付け工法



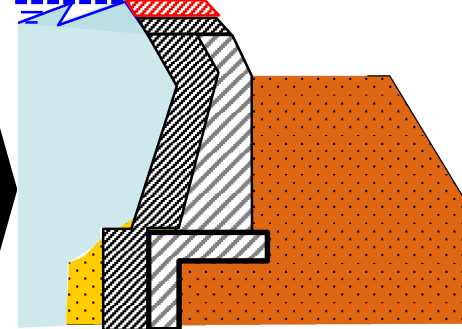
※耐震性能照査結果を踏まえ、嵩上げ高・腹付け幅を設定

②気候変動を考慮した高潮対策

▽波の打ち上げ高



▽波の打ち上げ高



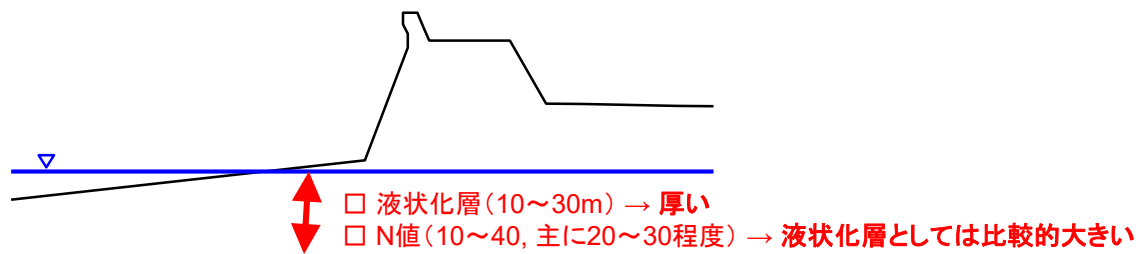
※安定計算・構造計算により対策形状を設定

①既設海岸堤防を生かした対策工法の洗い出し

※津波防災まちづくりとの連携、海岸の利用形態を考慮

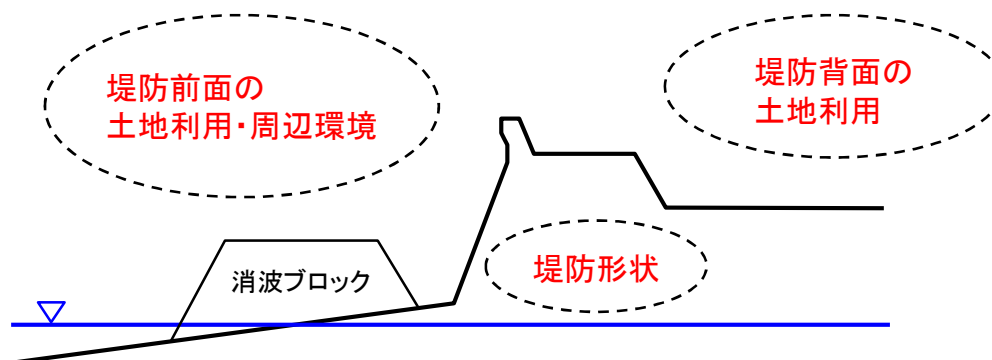
②一次選定【香南工区への適用性を検討】

液状化層に対する対策効果の期待度により選定



③二次選定【香南工区への適用性検討】

周辺状況・堤防形状の状況における対策工の施工性・機能保持・環境より選定



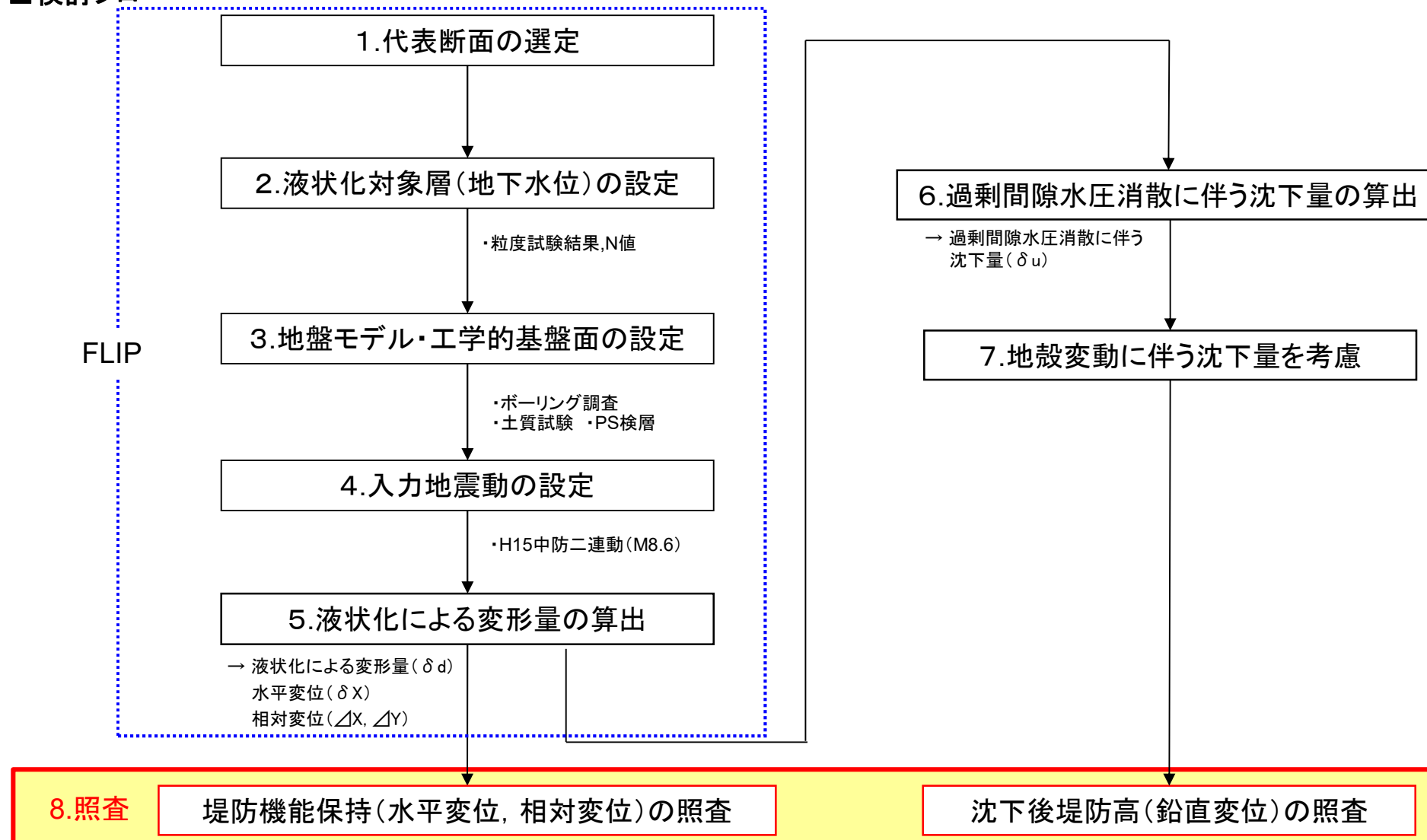
④FLIPによる対策効果の検証・総合評価

対策効果と、施工性・機能保持・環境・経済性を含めた総合評価により対策工を決定

3.設計条件・設計方針(地震津波対策における照査検討フロー)

○地震後の海岸堤防の挙動を精度良く確認できる手法として、実績の多いFLIP(有効応力解析)を用いて、液状化沈下による変形量を算出した上で、過剰間隙水圧消散に伴う沈下量、地殻変動量を考慮して照査を実施する。

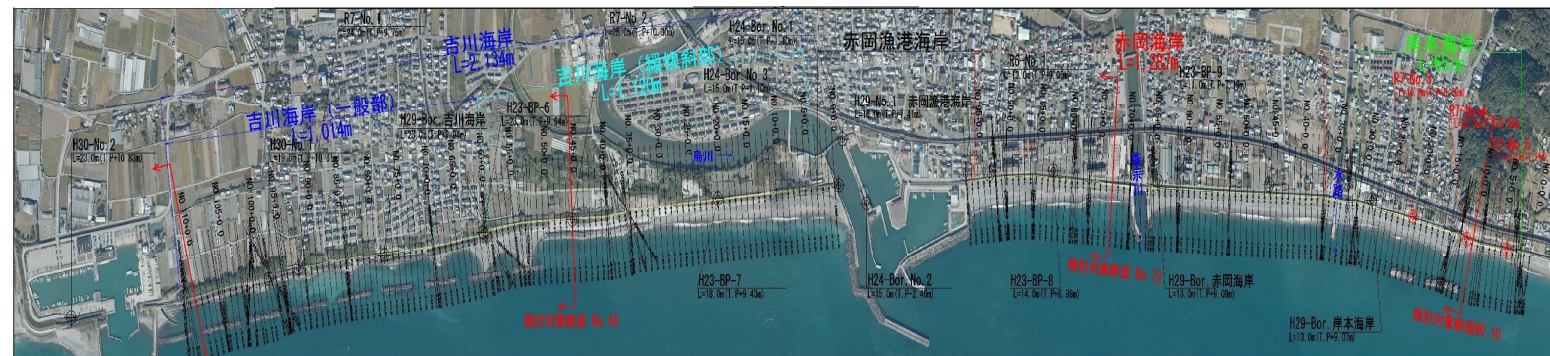
■検討フロー



4.地質特性

- 香南工区の基礎地盤は液状化の可能性が高い沖積砂質土(As)・礫質土(Ag)で構成されている。
- 吉川海岸の液状化層は、砂質土、礫質土が混在して分布し、層厚は約10m程度である。
- 赤岡・岸本海岸の液状化層は、礫質土が主体となり、層厚4m程度と吉川海岸と比べ薄く分布している傾向にある。
- 耐震設計上の基盤面は、確認されている洪積砂礫層・岩の上層($V_s=300\text{m/s}$ 程度)に設定する。

■地質特性

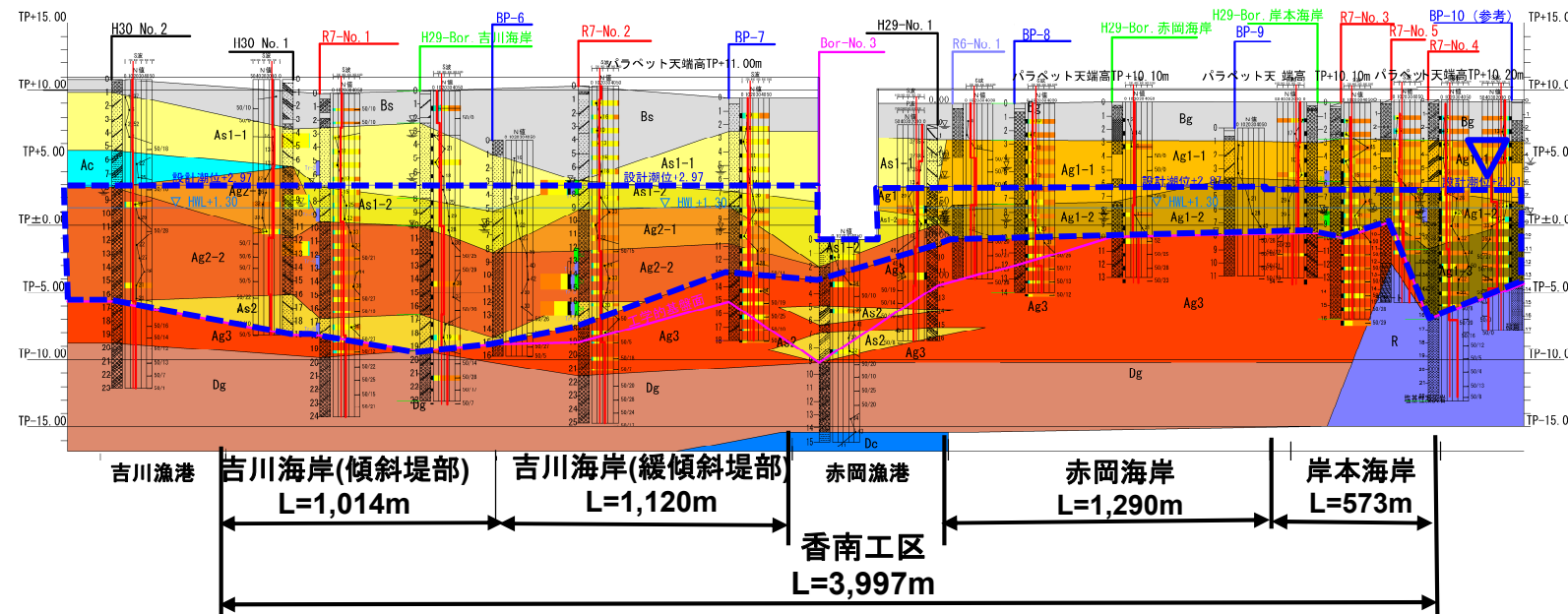


＜地質区分凡例＞

盛土層 Bs・Bg
沖積第1上部砂質土層 As1-1
沖積第1下部砂質土層 As1-2
沖積粘性土層 Ac
沖積第2砂質土層 As2
沖積第1上部礫質土層 Ag1-1
沖積第1中部礫質土層 Ag1-2
沖積第1下部礫質土層 Ag1-3
沖積第2上部礫質土層 Ag2-1
沖積第2下部礫質土層 Ag2-2
沖積第3礫質土層 Ag3
洪積礫質土層 Dg
洪積粘性土層 Dc
岩盤層 R

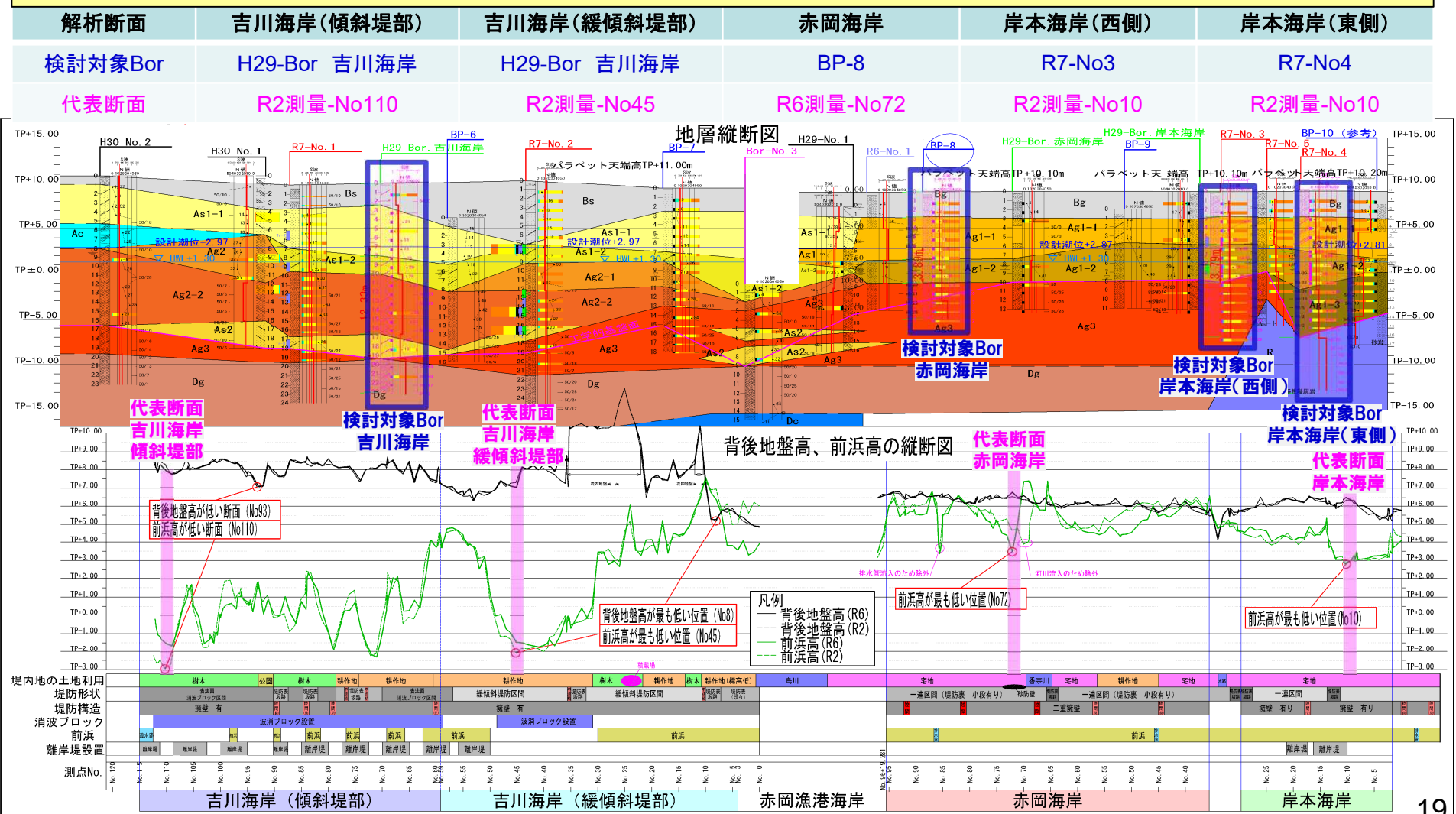
液状化層

気候変動 2°C 上昇後の
期望平均満潮位に
広域地盤沈降を加えた
水位



5. 検討対象断面・土質定数の設定(検討対象断面)

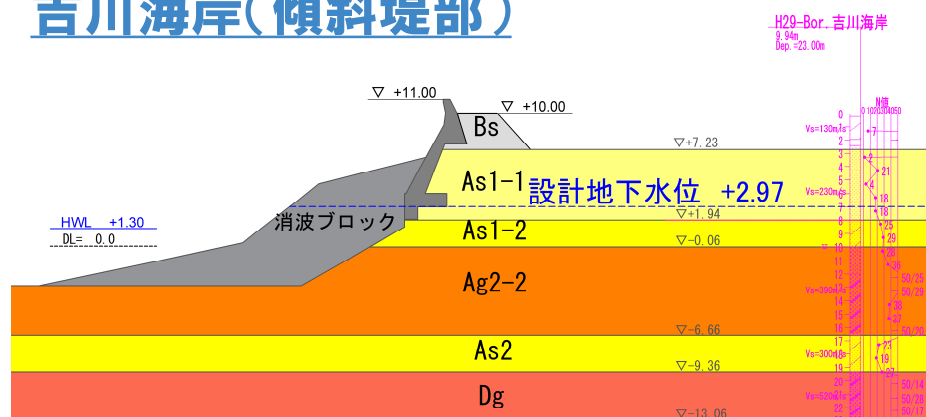
- 代表断面は、解析上不利となるように、海岸毎にR2・R6測量成果で前浜高が低い箇所を選定した。
- 吉川海岸は、背後地盤高の変化が大きいいため、背後地盤高は最も低い地盤高を適用した。
- 地盤モデルは、代表断面に対して液状化層厚が最も大きい断面に設定した。
- 岸本海岸は、地質調査の結果より東側の岩上部の砂礫層の組成が異なることから、1断面追加した。



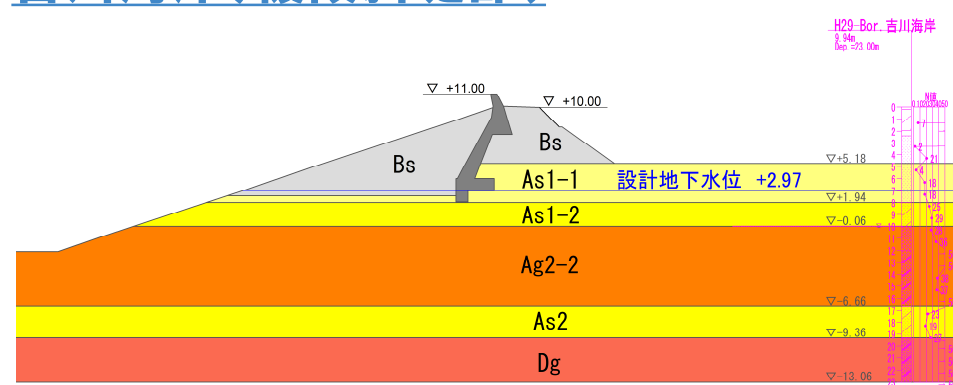
5.検討対象断面・土質定数の設定(検討対象断面)

- 既設堤防の構造は、台帳や現地で確認できる構造をモデル化した。
- 吉川海岸(緩傾斜堤部)に設置されている消波ブロックは、全区間で設置されていないため、未考慮とした。
- 赤岡・岸本海岸では、地質調査時に堤体内にコンクリートが確認されているが、既存図面では確認されておらず、不確実性が多いため、モデルには未考慮とした。

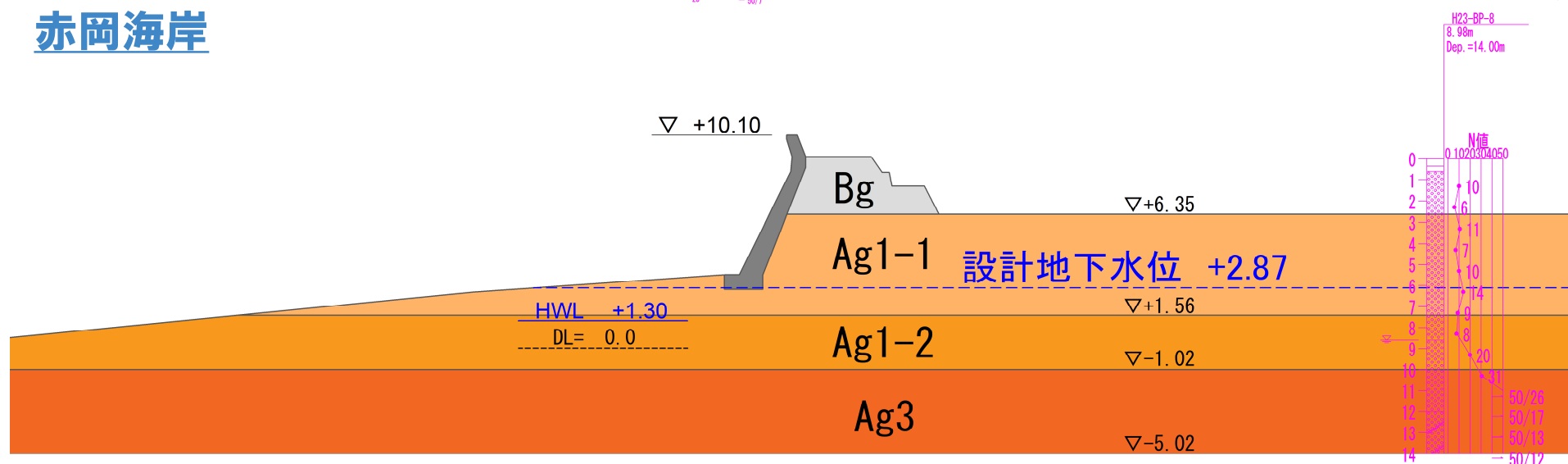
吉川海岸(傾斜堤部)



吉川海岸(緩傾斜堤部)



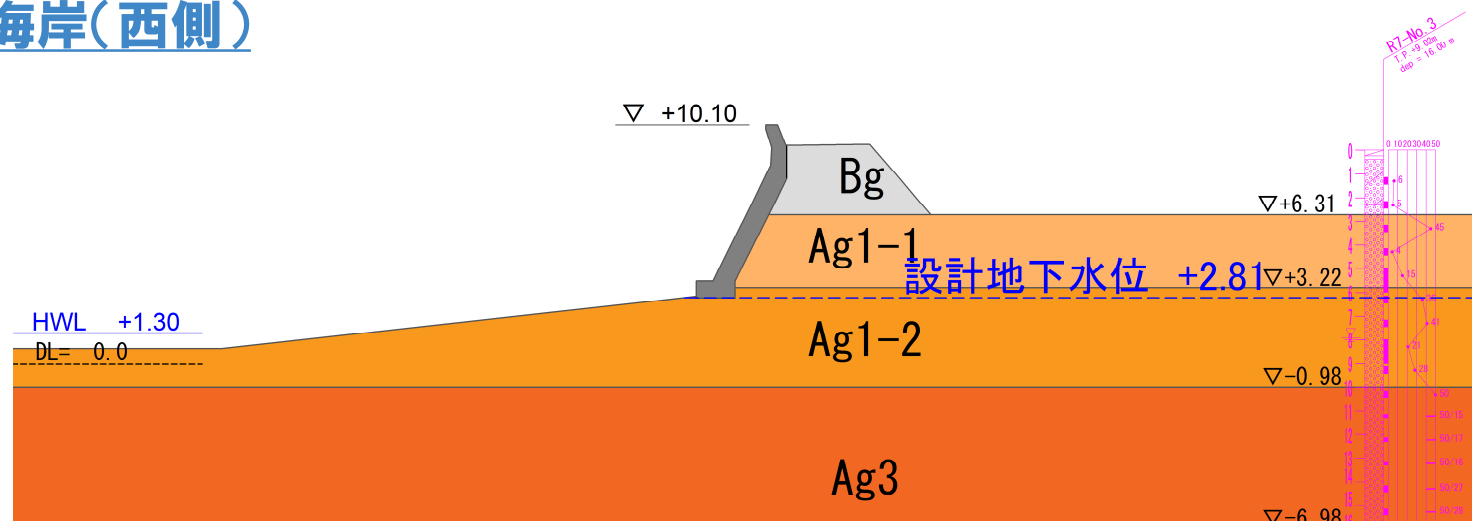
赤岡海岸



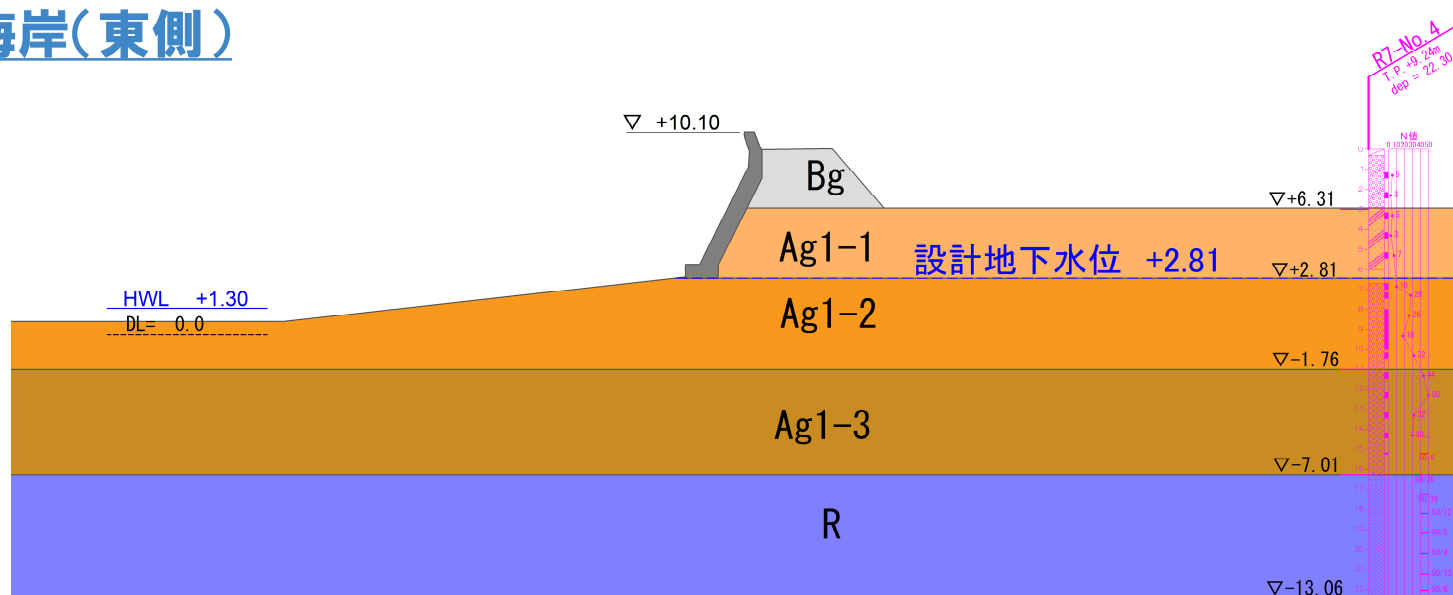
※設計地下水位=HWL+地殻変動量 20

5.検討対象断面・土質定数の設定(検討対象断面)

岸本海岸(西側)



岸本海岸(東側)



※設計地下水位=HWL+地殻変動量

5.検討対象断面・土質定数の設定(土質定数)

① 吉川海岸(傾斜堤部)

※土質定数については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある

- 吉川海岸(傾斜堤部)では、「R7-No2」で実施された繰り返し非排水三軸試験に基づき、フィッティングを実施した。
- 検討対象Borは、当該地区内で液状化層厚が最大となる「H29 BorNo.吉川海岸」に設定し、フィッティングに使用する土質定数(土の剛性・変形特性に関する値)を設定した。

表 土質定数一覧

地層種別	平均N値	質量密度	P波速度	S波速度	有効上載圧	初期せん断剛性	パラメータmG	パラメータmK	初期体積弾性係数	間隙水の体積弾性係数	内部摩擦角	相対密度	粘着力	履歴減衰の上限値	基準有効拘束圧	ポアソン比	間隙率
		ρ	Vp	Vs	σ'vp	Gma	mG	mK	Kma	Wkf	φf	Dr	c	hmax	σ'ma	v	n
		(-)	(t/m3)	(m/s)	(m/s)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(°)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(-)
As1-1	12.0	2.0	610	230	129.8	107310	0.5	0.5	279847	2200000	39.7	51.5	0.0	0.24	97.37	0.33	0.45
As1-2	21.0	2.0	1500	230	144.6	106771	0.5	0.5	278441	2200000	40.8	65.7	0.0	0.24	108.43	0.33	0.45
Ag2-2	34.0	2.2	1560	390	191.6	331798	0.5	0.5	865278	2200000	41.6	75.7	0.0	0.24	143.67	0.33	0.45
As2	25.0	2.0	1520	300	241.8	180734	0.5	0.5	471326	2200000	40.3	59.5	0.0	0.24	181.36	0.33	0.45

表 液状化パラメータ

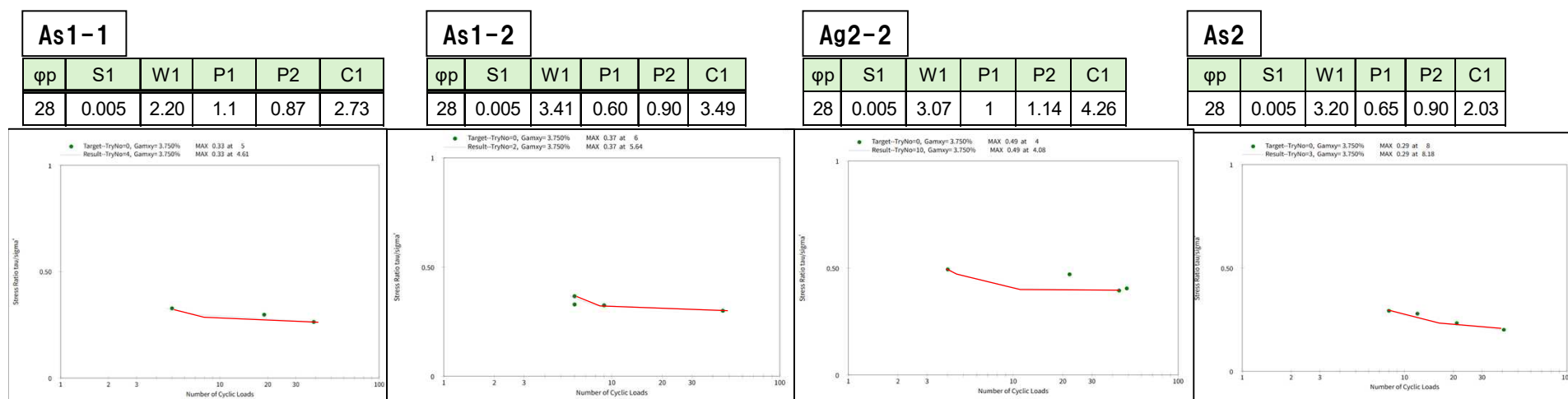


図 要素シミュレーション結果

5.検討対象断面・土質定数の設定(土質定数)

② 吉川海岸(緩傾斜堤部)

※土質定数については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある

- 吉川海岸(緩傾斜堤部)では、「R7-No2」で実施された繰り返し非排水三軸試験に基づき、フィッティングを実施した。
- 検討対象Borは、当該地区内で液状化層厚が最大となる「H29 BorNo.吉川海岸」に設定し、フィッティングに使用する土質定数(土の剛性・変形特性に関する値)を設定した。

表 土質定数一覧

地層種別	平均N値	質量密度	P波速度	S波速度	有効上載圧	初期せん断剛性	パラメータmG	パラメータmK	初期体積弾性係数	間隙水の体積弾性係数	内部摩擦角	相対密度	粘着力	履歴減衰の上限値	基準有効拘束圧	ポアソン比	間隙率
		ρ	V_p	V_s	$\sigma'v_p$	Gma	mG	mK	Kma	Wkf	ϕf	Dr	c	hmax	$\sigma'ma$	v	n
		(-)	(t/m3)	(m/s)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(°)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(-)
As1-1	12.0	2.0	610	230	129.8	107310	0.5	0.5	279847	2200000	39.7	51.5	0.0	0.24	97.37	0.33	0.45
As1-2	21.0	2.0	1500	230	144.6	106771	0.5	0.5	278441	2200000	40.8	65.7	0.0	0.24	108.43	0.33	0.45
Ag2-2	34.0	2.2	1560	390	191.6	331798	0.5	0.5	865278	2200000	41.6	75.7	0.0	0.24	143.67	0.33	0.45
As2	25.0	2.0	1520	300	241.8	180734	0.5	0.5	471326	2200000	40.3	59.5	0.0	0.24	181.36	0.33	0.45

表 液状化パラメータ

As1-1

ϕp	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	2.20	1.1	0.87	2.73

As1-2

ϕp	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	4.80	0.60	0.85	3.13

Ag2-2

ϕp	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	6.10	1.22	1.40	4.28

As2

ϕp	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	7.46	0.60	0.90	3.44

※液状化対象層As1-1では、繰り返し非排水三軸試験が実施されていないため、吉川海岸(傾斜堤部)の液状化パラメータを適用する。

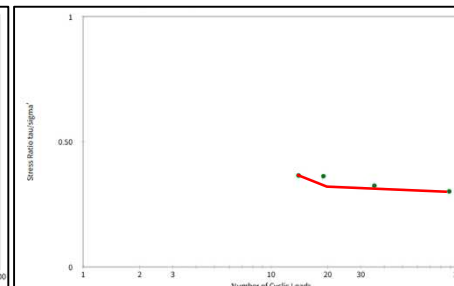
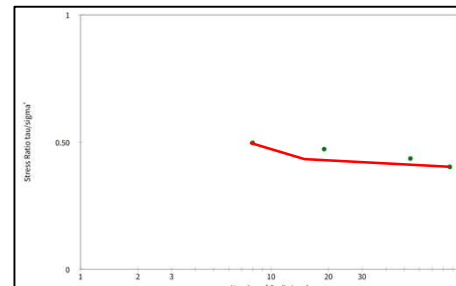
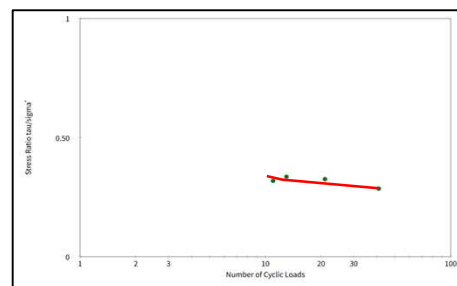


図 要素シミュレーション結果

5.検討対象断面・土質定数の設定(土質定数)

③ 赤岡海岸

※土質定数については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある

- 赤岡海岸では岸本海岸で実施された「R7-No3」「R7-No4」の繰返し非排水三軸試験に基づき、フィッティングを実施した。
- 検討対象Borは、当該地区内で液状化層厚が最大となる「H23-BP-8」に設定し、フィッティングに使用する土質定数(土の剛性・変形特性に関する値)を設定した。

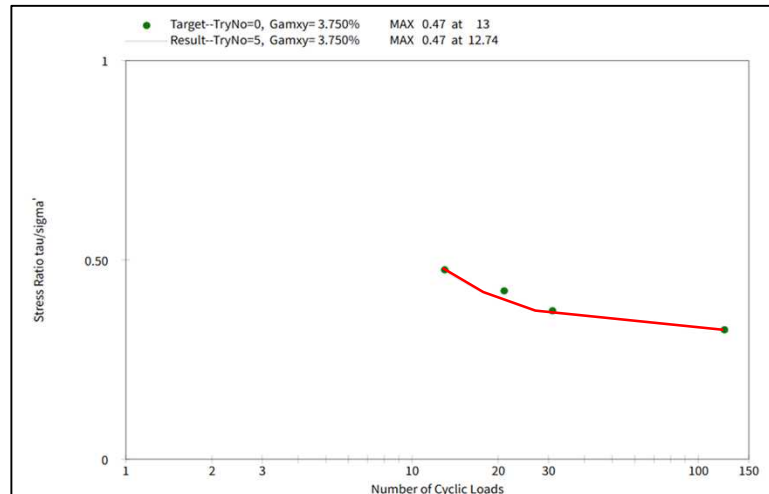
表 土質定数一覧

地層種別	平均N値	質量密度	P波速度	S波速度	有効上載圧	初期せん断剛性	パラメータmG	パラメータmK	初期体積弾性係数	間隙水の体積弾性係数	内部摩擦角	相対密度	粘着力	履歴減衰の上限值	基準有効拘束圧	ポアソン比	間隙率
		ρ	V_p	V_s	σ'_{vp}	G_{ma}	mG	mK	K_{ma}	W_{kf}	ϕ_f	Dr	c	hmax	σ'_{ma}	v	n
		(t/m^3)	(m/s)	(m/s)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	(-)	(-)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	($^{\circ}$)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(-)
Ag1-1	8.0	2.27	490	180	131.87	73651	0.5	0.5	192071	2200000	39.0	41.8	0.0	0.24	98.90	0.33	0.45
Ag1-2	19.0	2.29	970	230	155.86	121330	0.5	0.5	316410	2200000	40.4	60.9	0.0	0.24	116.89	0.33	0.45

表 液状化パラメータ

Ag1-1

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	17.2	0.9	1	3.79



Ag1-2

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	5.9	0.9	1	3.74

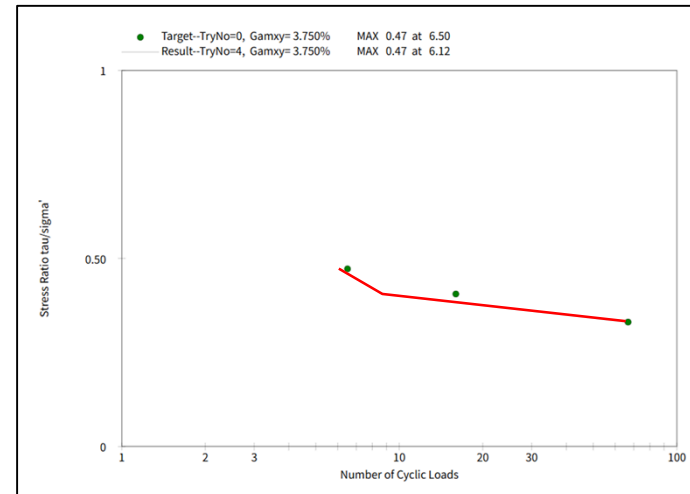


図 要素シミュレーション結果

5.検討対象断面・土質定数の設定(土質定数)

④ 岸本海岸（西側）

※土質定数については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある

- 岸本海岸では当海岸で実施された「R7-No3」「R7-No4」の繰返し非排水三軸試験に基づき、フィッティングを実施した。
- 検討対象Borは、当該地区内で液状化層厚が最大となる「R7-No3」に設定し、フィッティングに使用する土質定数（土の剛性・変形特性に関する値）を設定した。

表 土質定数一覧（岸本海岸(西側)）

地層種別	平均N値	質量密度	P波速度	S波速度	有効上載圧	初期せん断剛性	パラメータmG	パラメータmK	初期体積弾性係数	間隙水の体積弾性係数	内部摩擦角	相対密度	粘着力	履歴減衰の上限値	基準有効拘束圧	ポアソン比	間隙率
		ρ	V_p	V_s	σ'_{vp}	Gma	mG	mK	Kma	Wkf	ϕ_f	Dr	c	hmax	σ'_{ma}	v	n
		(t/m^3)	(m/s)	(m/s)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	(-)	(-)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	($^{\circ}$)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(-)
Ag1-2	28.0	2.29	975	266	149.63	162284	0.5	0.5	423212	2200000	41.6	75.0	0.0	0.24	112.22	0.33	0.45

表 液状化パラメータ

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	6.7	0.8	1.3	3.61

Ag1-2

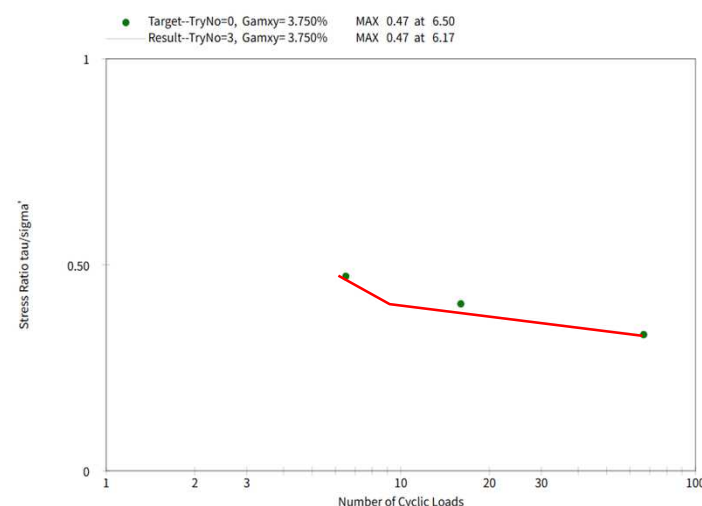


図 要素シミュレーション結果

5.検討対象断面・土質定数の設定(土質定数)

⑤ 岸本海岸（東側）

※土質定数については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある

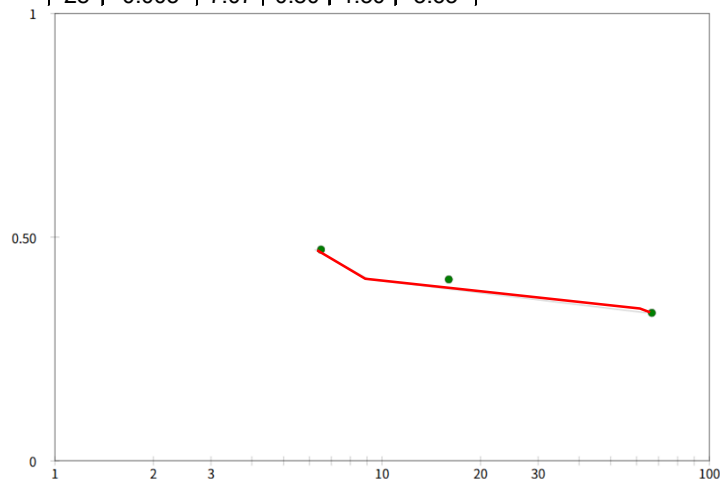
- 岸本海岸では当海岸で実施された「R7-No4」の繰り返し非排水三軸試験に基づき、フィッティングを実施した。
- 検討対象Borは、当該地区内で液状化層厚が最大となる「R7-No4」に設定し、フィッティングに使用する土質定数（土の剛性・変形特性に関する値）を設定した。
- Ag1-3層のフィッティングは、設計対象工区内でAg1-3層を対象にした非排水三軸試験が実施されていないため、同ボーリング内のAg1-2層で実施された試験結果を対象とした。

表 土質定数一覧（岸本海岸（東側））

地層種別	平均N値	質量密度	P波速度	S波速度	有効上載圧	初期せん断剛性	パラメータmG	パラメータmK	初期体積弾性係数	間隙水の体積弾性係数	内部摩擦角	相対密度	粘着力	履歴減衰の上限値	基準有効拘束圧	ポアソン比	間隙率
		ρ	V_p	V_s	σ'_p	Gma	mG	mK	Kma	Wkf	ϕ_f	Dr	c	hmax	σ'_{ma}	v	n
		(t/m ³)	(m/s)	(m/s)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(°)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(-)
Ag1-2	28.0	2.29	1481	243	160.27	135352	0.5	0.5	352977	2200000	41.4	73.2	0.0	0.24	120.20	0.33	0.45
Ag1-3	39.0	2.29	1507	280	219.48	179817	0.5	0.5	468933	2200000	41.7	77.1	0.0	0.24	164.61	0.33	0.45

Ag1-2

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	7.07	0.80	1.30	3.63



Ag1-3

ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
28	0.005	6.58	0.80	1.30	3.60

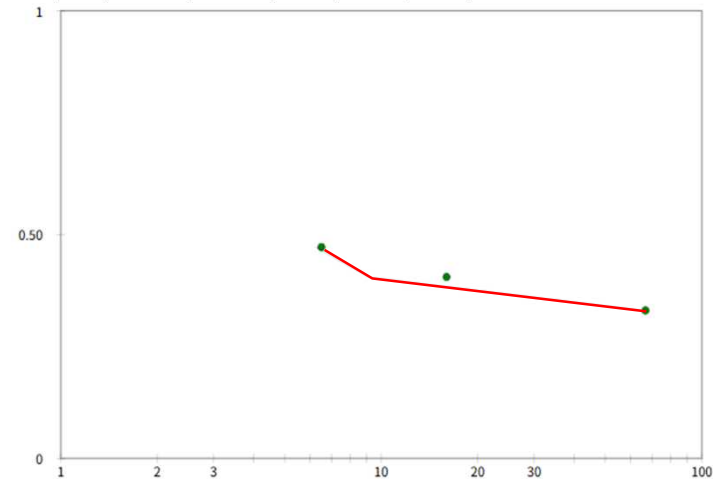


図 要素シミュレーション結果

6. 香南工区の堤防耐震照査結果(結果一覧表)

- 地震後堤防高は、吉川海岸、赤岡海岸、岸本海岸ともに設計津波水位を下回るため、津波は越流する。
- 堤防機能保持については、水平変位の許容変位量は満足しているが、相対変位は許容変位量を越える。
- 香南工区において地震・津波対策は必要である。

許容変動量

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

工 区 工区延長 項 目		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.+11.00m	T.P.+10.10m	T.P.+10.10m	T.P.+10.10m
沈 下 量	②液状化沈下量= $\sigma_0 + \sigma_1$	1.91m	1.49m	2.58m	2.66m	4.33m
	③地殻変動量	1.67m	1.67m	1.57m	1.51m	1.51m
	④計	3.58m	3.16m	4.15m	4.17m	5.84m
	④=②+③					
⑤沈下後堤防高 (未対策)		7.42m	7.84m	5.95m	5.93m	4.26m
⑤=①-④						
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		有	有	有	有	有
⑥>⑤=越流あり						
水平変位量 (堤防天端と法尻の最大値) $\propto 1.2$		2.56m	0.52m	6.12m	5.69m	7.72m
相対変位量 $\Delta = \delta 1 - \delta 2$		1.88m	0.47m	4.39m	2.82m	3.71m
相対変位量 $\Delta = \delta 1 - \delta 2$		0.73m	0.27m	1.49m	0.96	1.29m
堤防機能を保つための対策の必要性		有	有	有	有	有

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更となる場合がある 27

6.香南工区の堤防耐震照査結果(吉川海岸:傾斜堤部)

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合があります

FLIPを用いて、液状化による堤防天端と護岸における鉛直・水平変位、相対変位を算定する。

- 鉛直変位($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $1.63 + 0.28 + 1.67 = 3.58\text{m}$
 - ・液状化による変形量(δd) = 1.63m
 - ・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)
 $= 1.03\text{m} \times 3.4\% + 2.00\text{m} \times 2.4\% + 6.6\text{m} \times 1.8\% + 2.70\text{m} \times 2.8\% = 0.28\text{m}$
 - ・地殻変動量 1.67m

沈下後天端高=現況天端高(11.00m)-3.58m=7.42m<8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: $2.56\text{m} > 0.50\text{m}$ NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : $1.88\text{m} > 0.50\text{m}$ NG

相対変位 ΔY : $0.73\text{m} > 0.50\text{m}$ NG

- 水平変位(堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 2.56\text{m}$

- 相対変位(ΔX 、 ΔY)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |0.68 - 2.56| = 1.88\text{m}$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |1.63 - 0.90| = 0.73\text{m}$

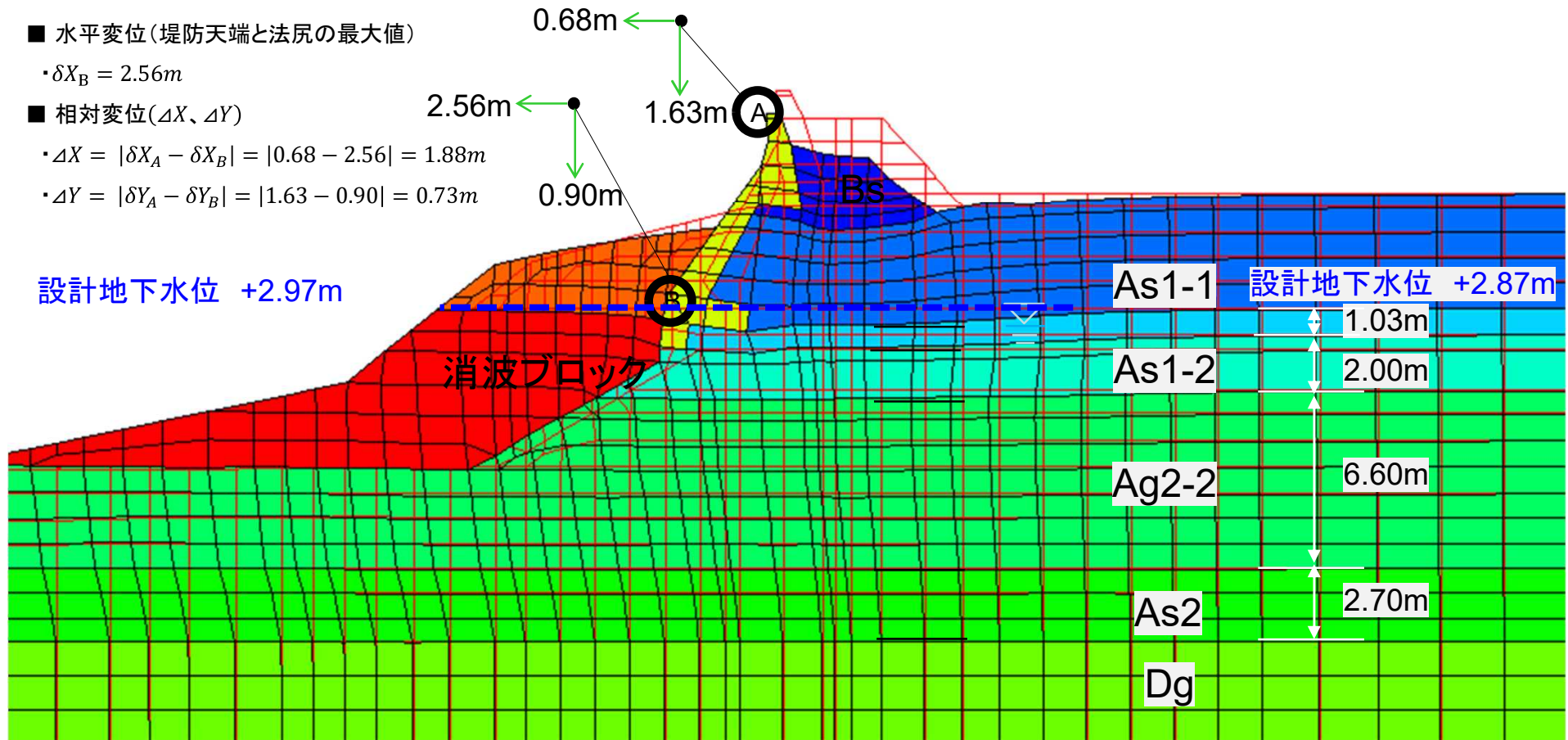


図 変形図(吉川海岸 傾斜堤部) 変位倍率0.5倍

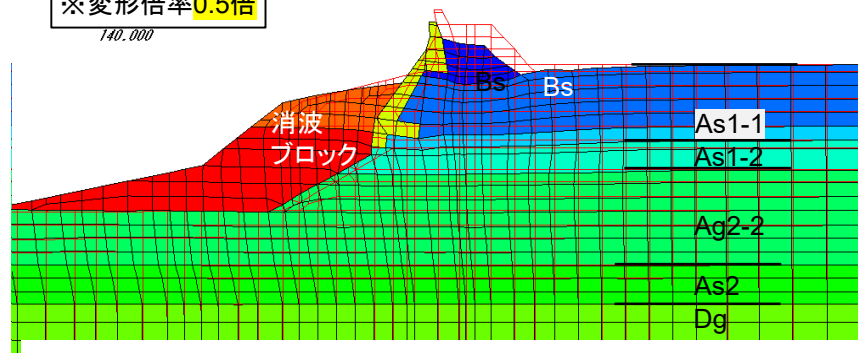
6.香南工区の堤防耐震照査結果(吉川海岸:傾斜堤部)

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

解析結果図

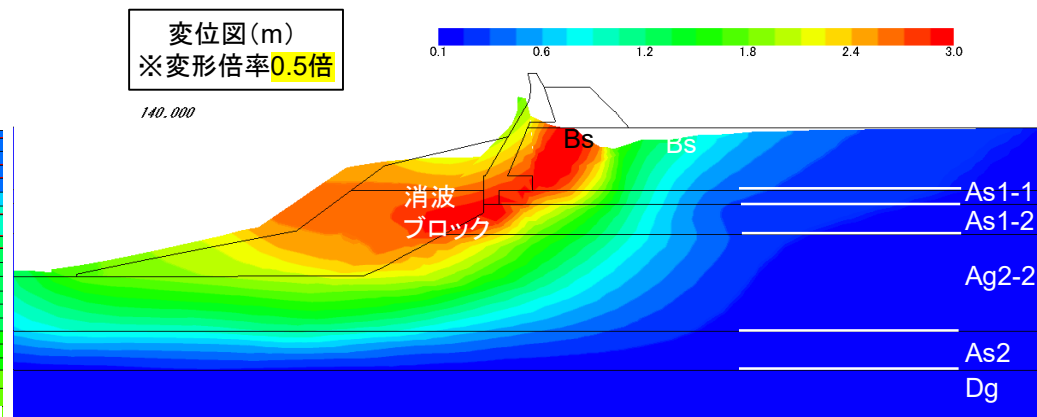
変位図(m)
※変形倍率0.5倍

140.000



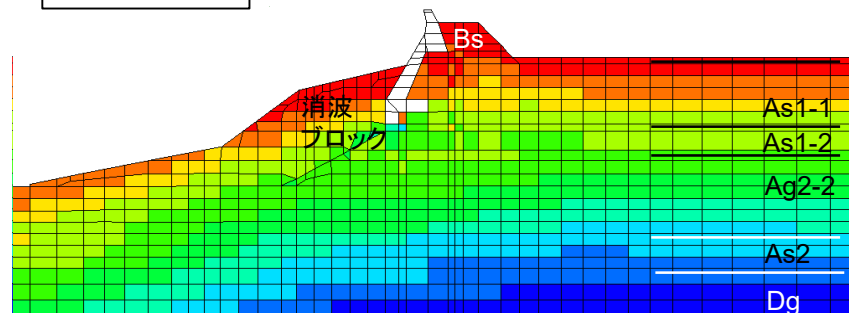
変位図(m)
※変形倍率0.5倍

140.000



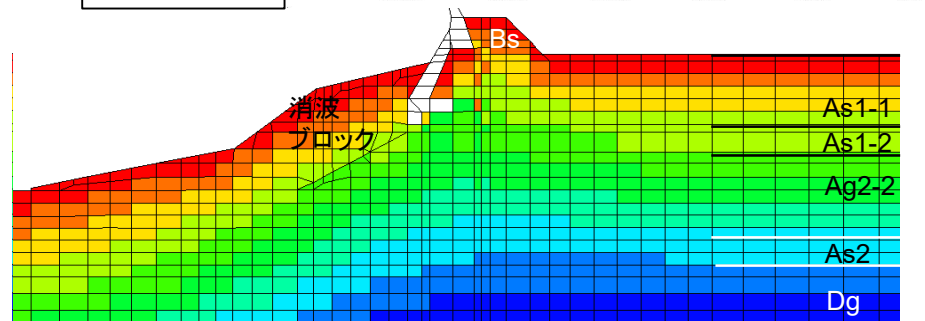
水平直応力(σ_x)

TIME-MAX
-120.0 -96.0 -72.0 -48.0 -24.0 0.0



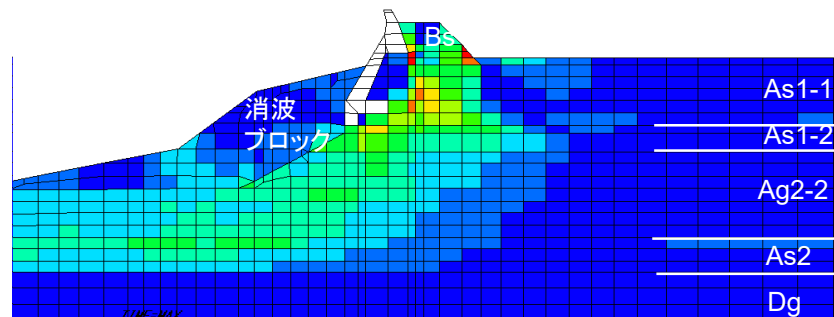
鉛直直応力(σ_y)

TIME-MAX
-240.0 -192.0 -144.0 -96.0 -48.0 0.0



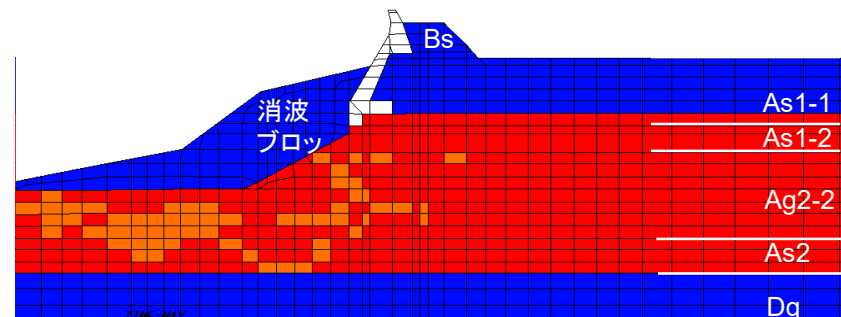
最大せん断ひずみの最大値分布

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0



過剰間隙水圧比の最大値分布

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0



6.香南工区の堤防耐震照査結果(吉川海岸:緩傾斜堤部)

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合があります

FLIPを用いて、液状化による堤防天端と護岸における鉛直・水平変位、相対変位を算定する。

- 鉛直変位($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $1.23 + 0.26 + 1.67 = 3.16m$
 - ・液状化による変形量(δd) = $1.23m$
 - ・過剰間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)
 $= 1.03m \times 3.4\% + 2.00m \times 2.4\% + 6.6m \times 1.8\% + 2.70m \times 1.9\% = 0.26m$
 - ・地殻変動量 $1.67m$

沈下後天端高 = 現況天端高(11.00m) - 3.16m = 7.84m < 8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: $0.52m < 0.50m$ NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : $0.47m < 0.50m$ OK

相対変位 ΔY : $0.27m < 0.50m$ OK

- 水平変位(堤防天端と法尻の最大値)

・ $\delta X_B = 0.52m$

- 相対変位(ΔX 、 ΔY)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |0.52 - 0.05| = 0.47m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |1.23 - 0.96| = 0.27m$

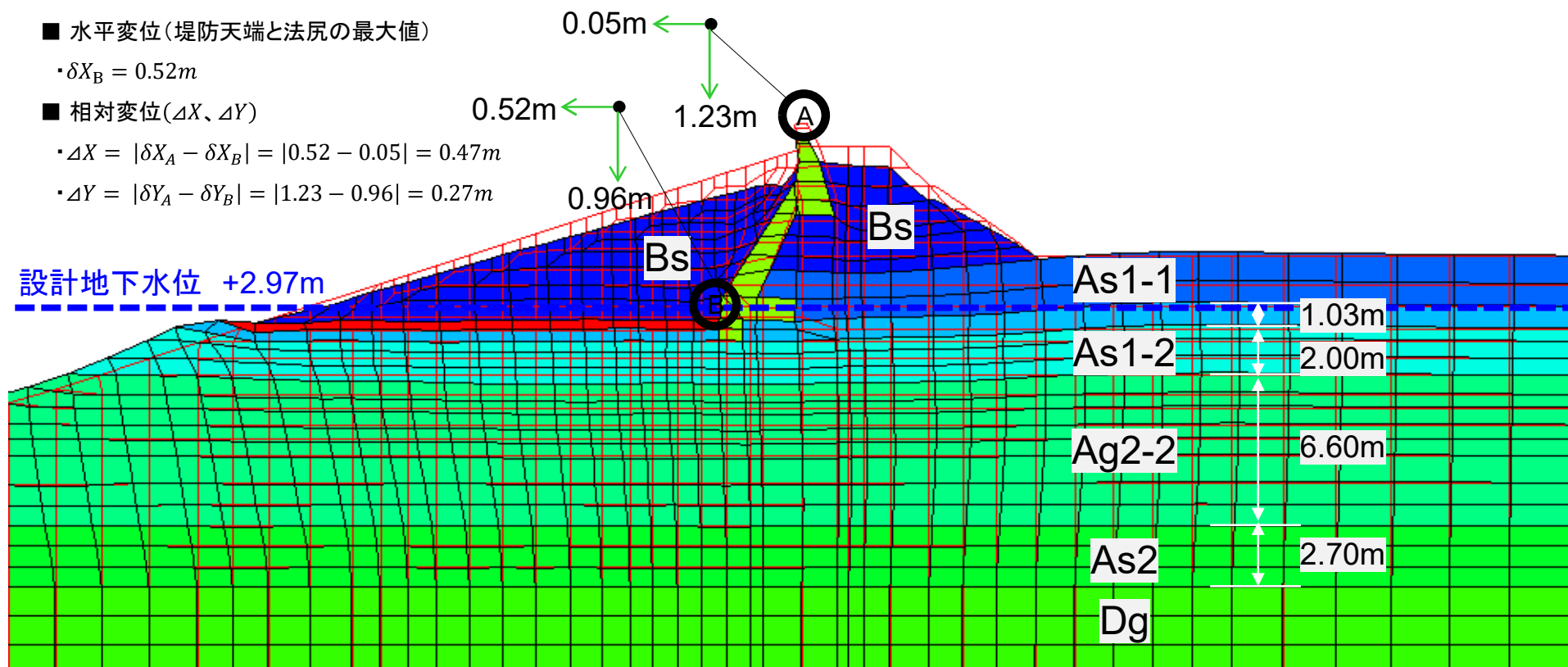


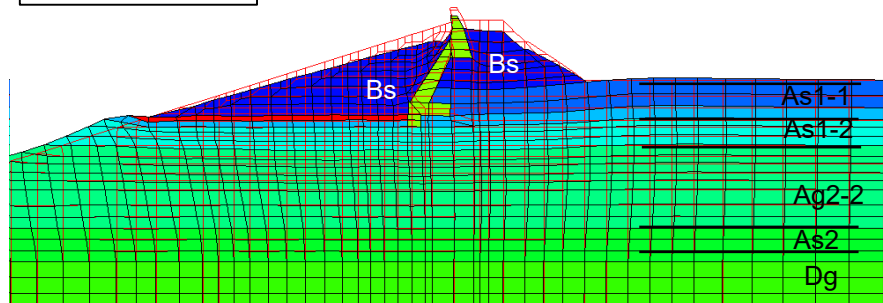
図 変形図(吉川海岸 緩傾斜堤部) 変位倍率0.5倍

6.香南工区の堤防耐震照査結果(吉川海岸:緩傾斜堤部)

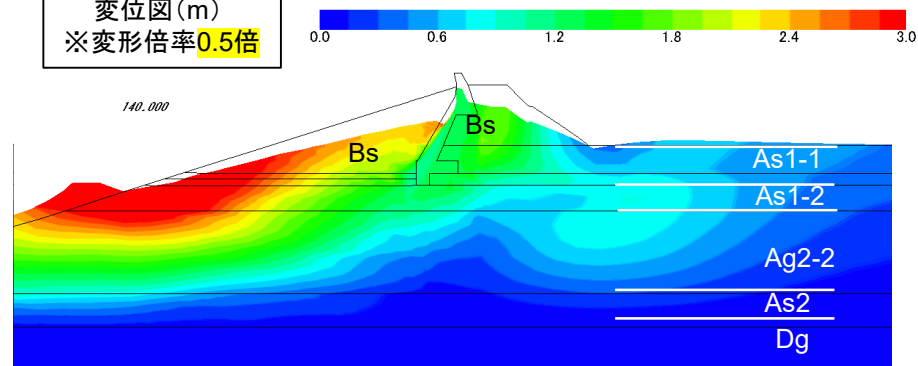
※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

解析結果図

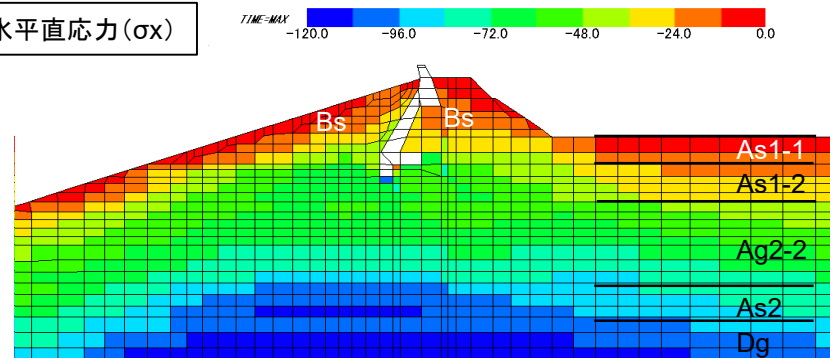
変位図(m)
※変形倍率0.5倍



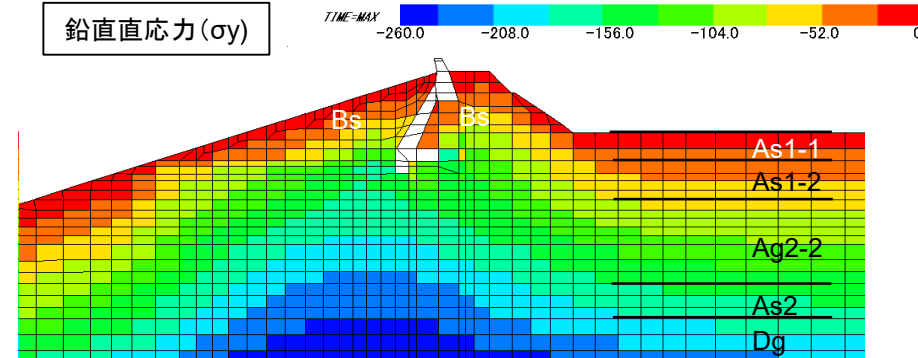
変位図(m)
※変形倍率0.5倍



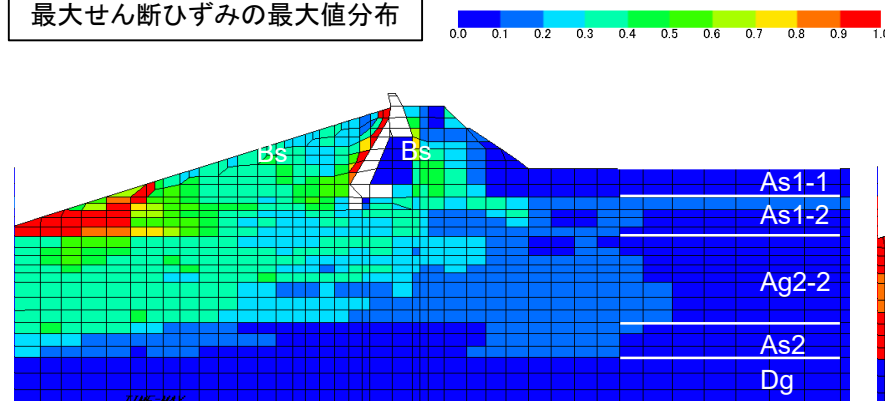
水平直応力(σ_x)



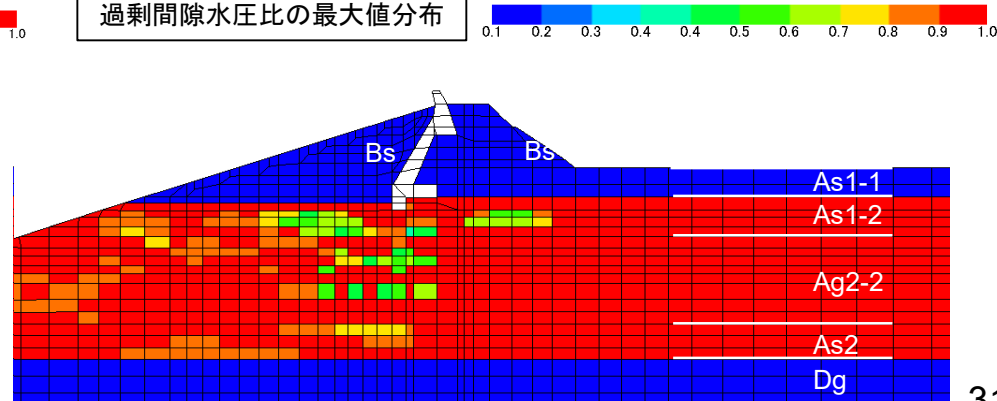
鉛直直応力(σ_y)



最大せん断ひずみの最大値分布



過剰間隙水圧比の最大値分布



6. 香南工区の堤防耐震照査結果(赤岡海岸)

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合があります

FLIPを用いて、液状化による堤防天端と護岸における鉛直・水平変位、相対変位を算定する。

■ 鉛直変位($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $2.45 + 0.13 + 1.57 = 4.15m$

・液状化による変形量(δd) = $2.45m$

・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)

・ $\delta X_B = 6.12m$

■ 相対変位(ΔX 、 ΔY)

・ $\Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |1.73 - 6.12| = 4.39m$

・ $\Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |2.45 - 0.96| = 1.49m$

沈下後天端高 = 現況天端高(10.10m) - 4.15m = 5.95m < 8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: 6.12m > 0.50m NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : 4.39m > 0.50m NG

相対変位 ΔY : 1.49m > 0.50m NG

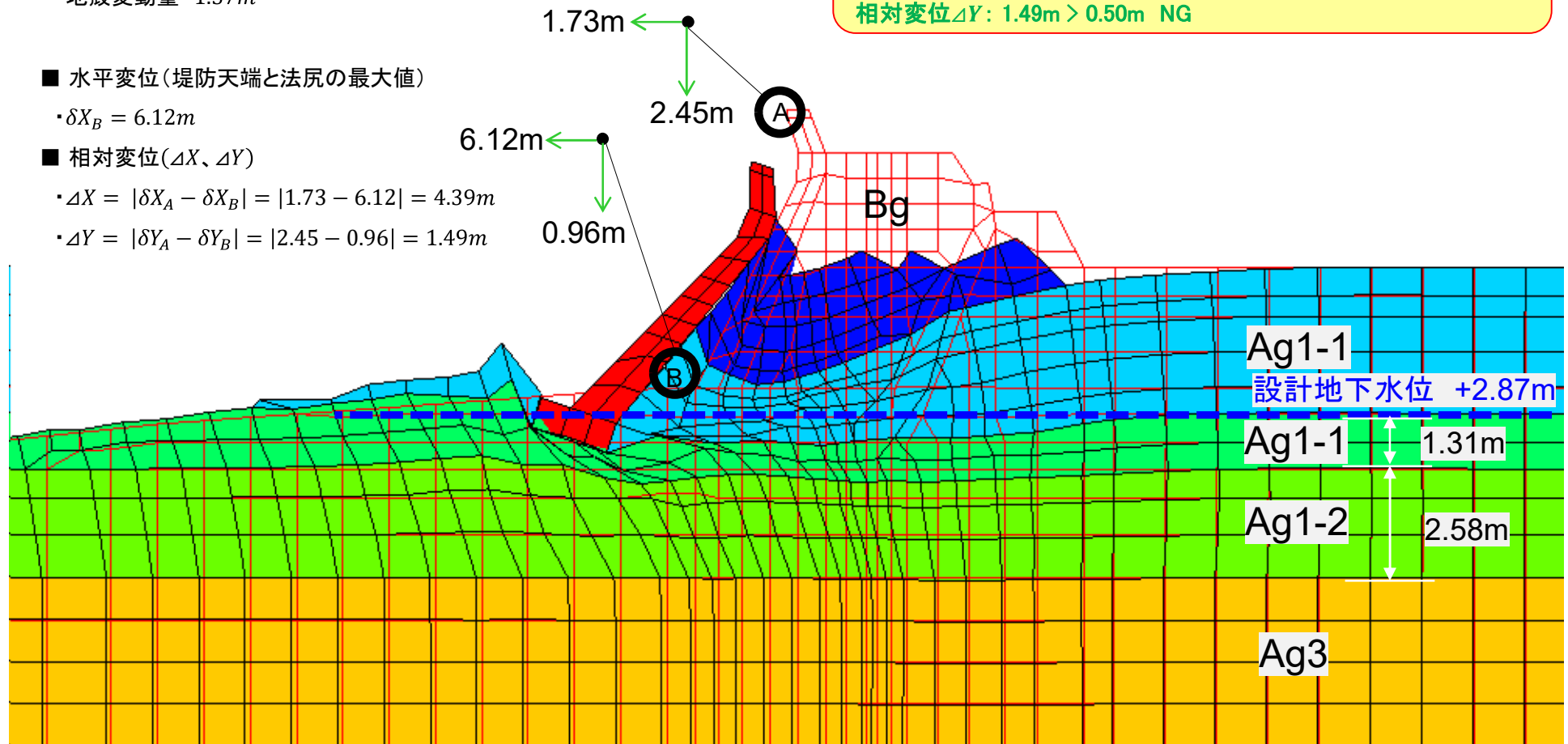


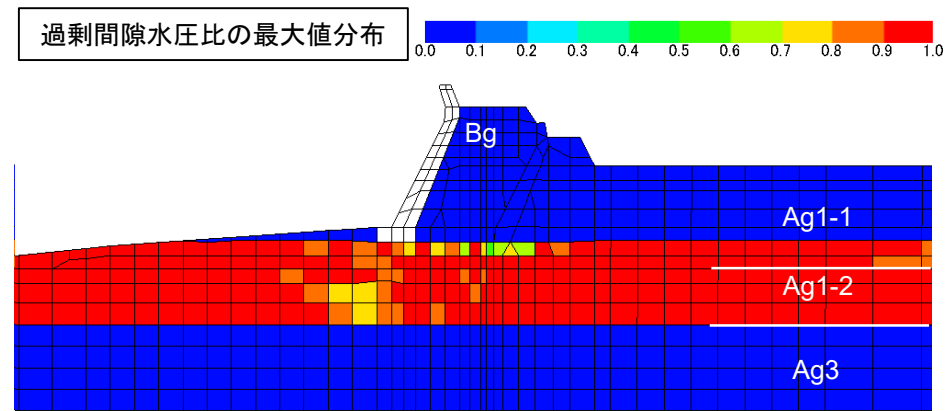
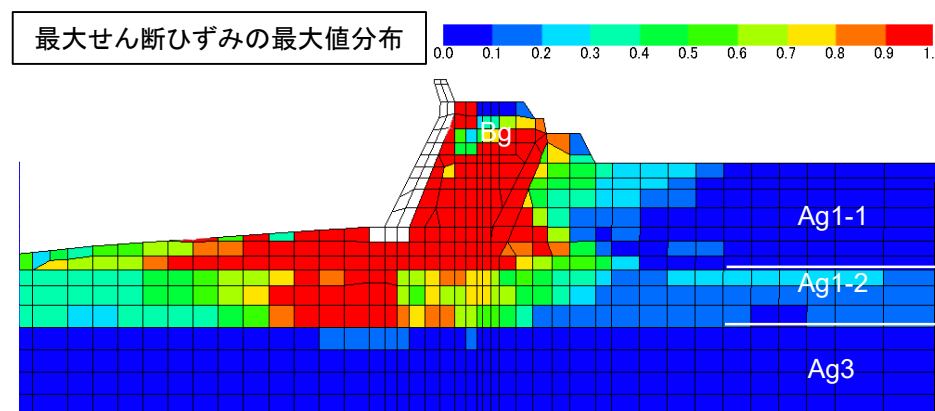
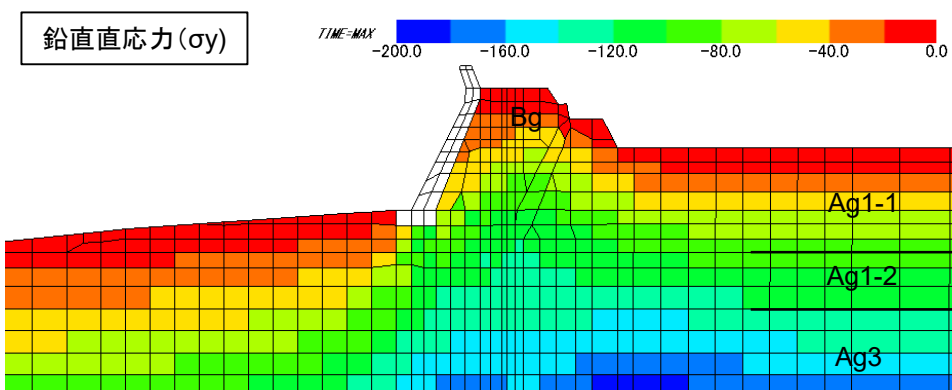
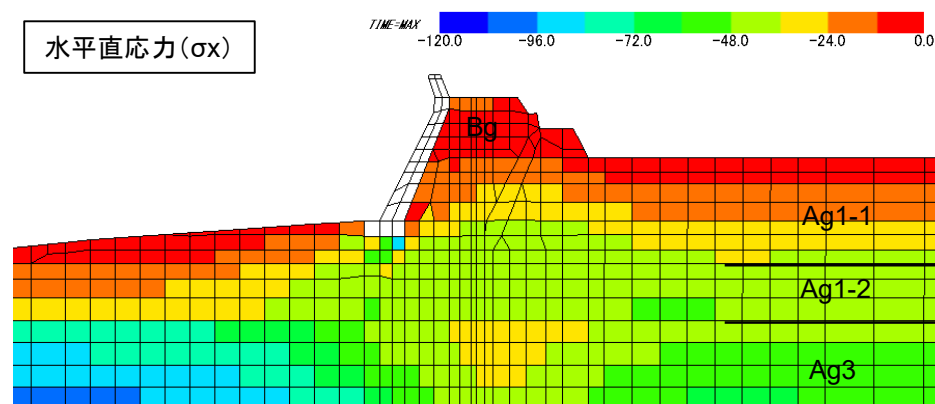
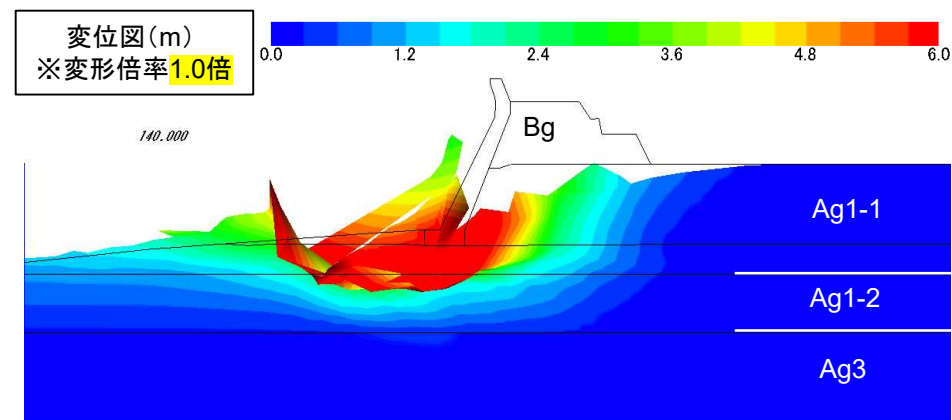
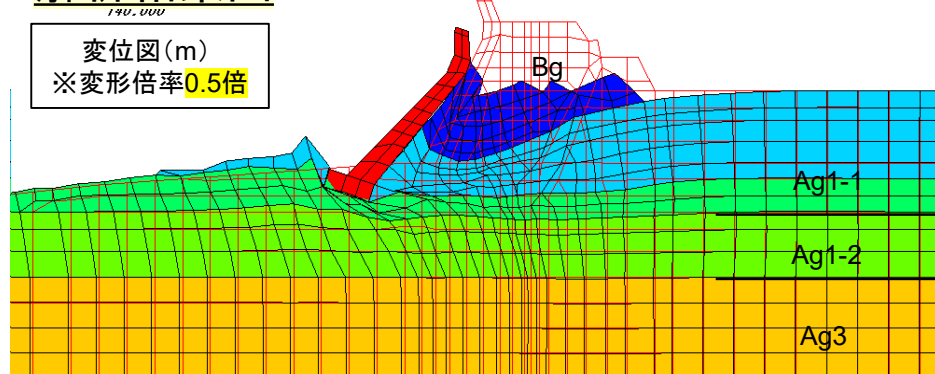
図 変形図(赤岡海岸)

変位(m)

6.香南工区の堤防耐震照査結果(赤岡海岸)

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

解析結果図



6. 香南工区の堤防耐震照査結果(岸本海岸(西側))

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合があります

FLIPを用いて、液状化による堤防天端と護岸における鉛直・水平変位、相対変位を算定する。

■ 鉛直変位($\delta d + \delta u +$ 地殻変動量) = $2.58 + 0.08 + 1.51 = 4.17m$

・液状化による変形量(δd) = $2.58m$

・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)

$$\cdot \delta X_B = 5.69m$$

■ 相対変位(ΔX 、 ΔY)

$$\cdot \Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |2.87 - 5.69| = 2.82m$$

$$\cdot \Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |2.58 - 1.62| = 0.96m$$

沈下後天端高 = 現況天端高(10.10m) - 4.17m = 5.93m < 8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: $5.69m > 0.50m$ NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : $2.82m > 0.50m$ NG

相対変位 ΔY : $0.96m > 0.50m$ NG

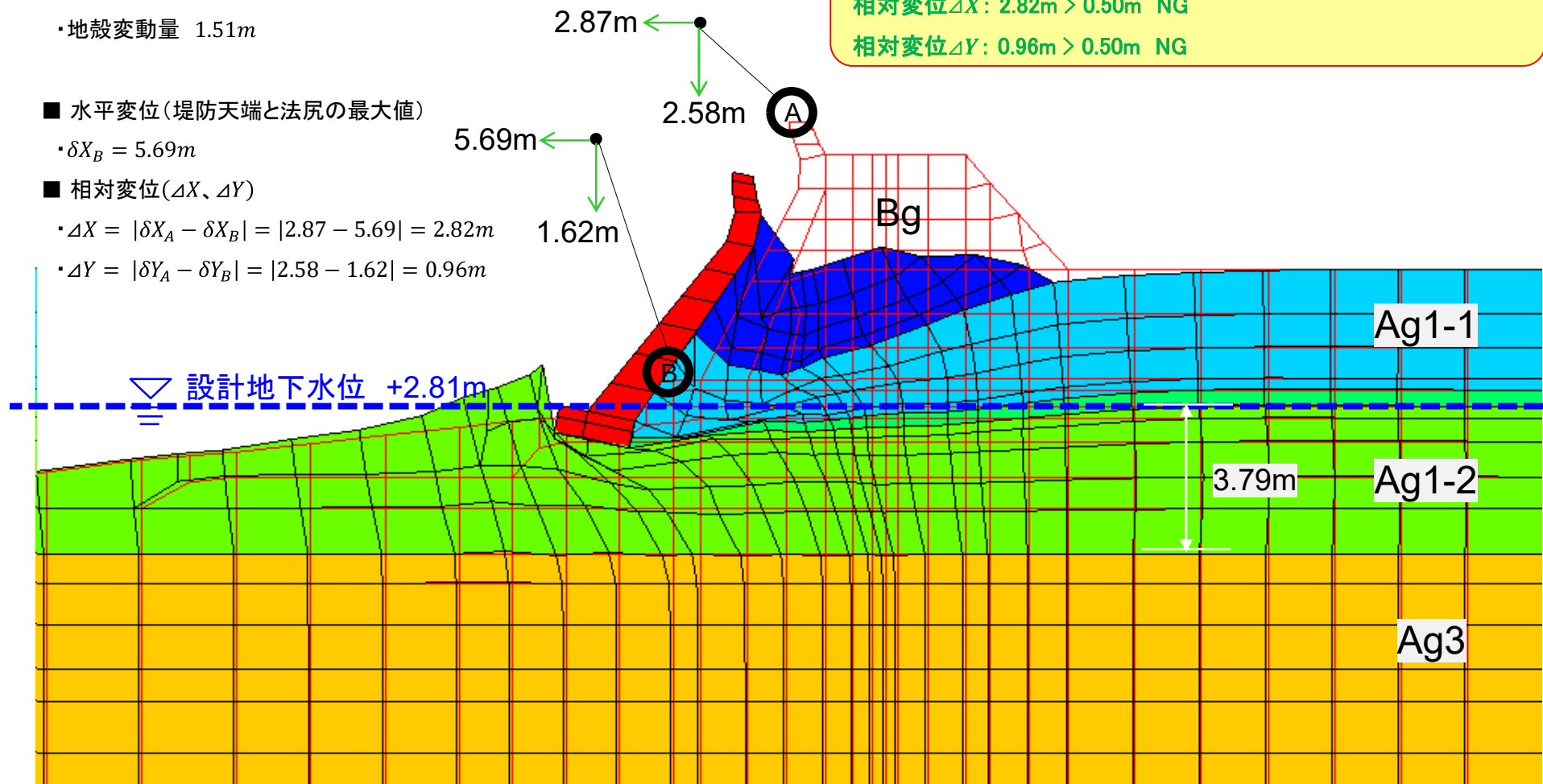


図 変形図(岸本海岸(西側))

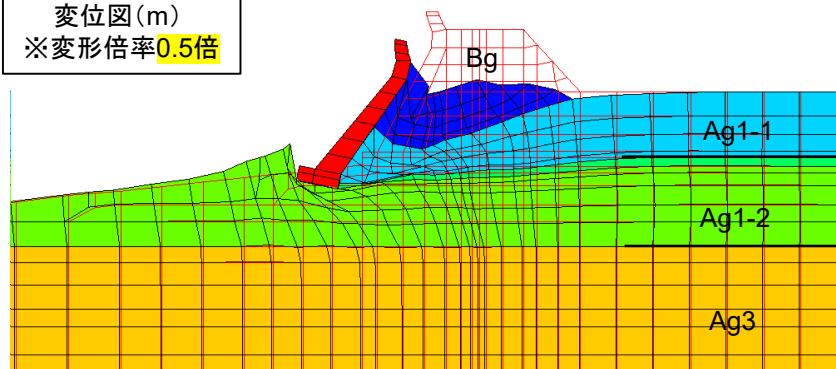
変位(m)

6.香南工区の堤防耐震照査結果(岸本海岸(西側))

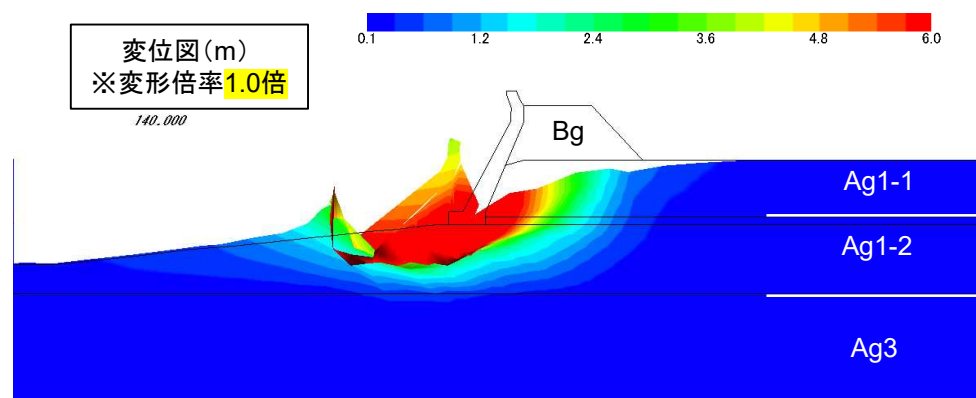
※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

解析結果図

変位図(m)
※変形倍率0.5倍

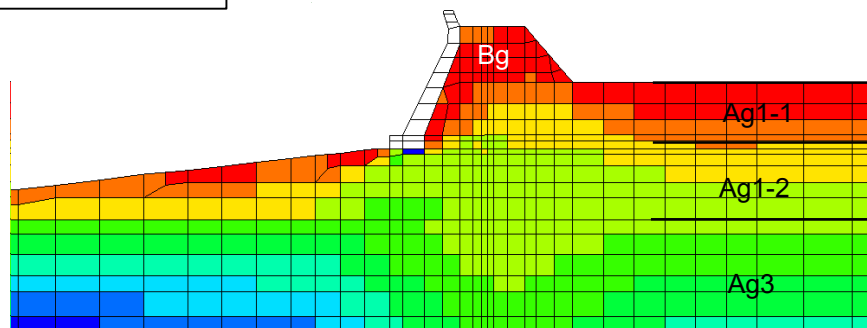


変位図(m)
※変形倍率1.0倍



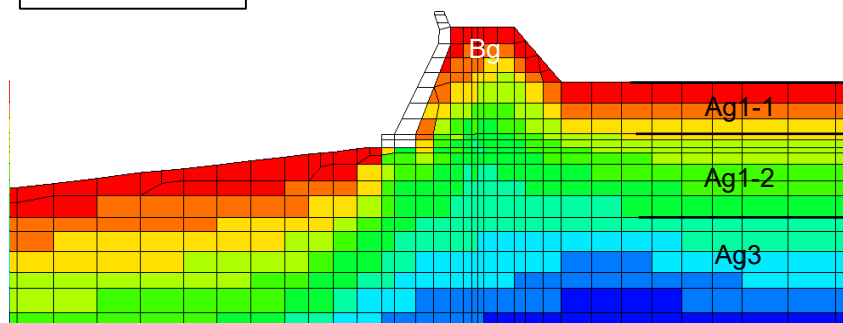
水平直応力(σ_x)

TIME=MAX
-120.0 -96.0 -72.0 -48.0 -24.0 0.0



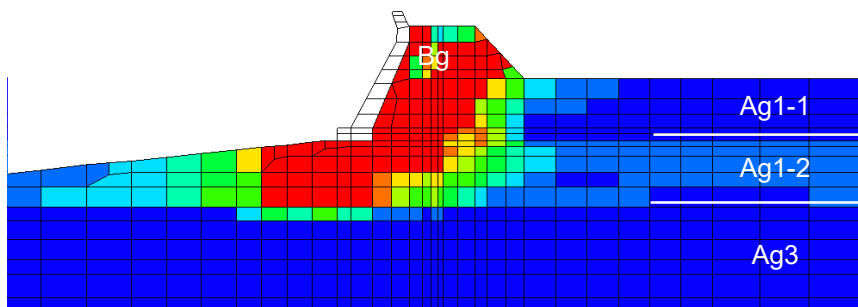
鉛直直応力(σ_y)

TIME=MAX
-200.0 -160.0 -120.0 -80.0 -40.0 0.0



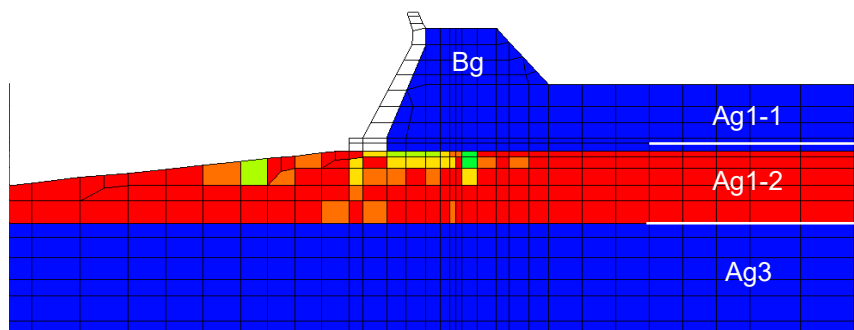
最大せん断ひずみの最大値分布

TIME=MAX
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0



過剰間隙水圧比の最大値分布

TIME=MAX
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0



6. 香南工区の堤防耐震照査結果(岸本海岸(東側))

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

FLIPを用いて、液状化による堤防天端と護岸における鉛直・水平変位、相対変位を算定する。

■ 鉛直変位($\delta d + \delta u + \text{地殻変動量}$) = $4.14 + 0.19 + 1.51 = 5.84m$

・液状化による変形量(δd) = $4.14m$

・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)

$$\cdot \delta X_B = 7.72m$$

■ 相対変位(ΔX 、 ΔY)

$$\cdot \Delta X = |\delta X_A - \delta X_B| = |4.01 - 7.72| = 3.71m$$

$$\cdot \Delta Y = |\delta Y_A - \delta Y_B| = |4.14 - 2.85| = 1.29m$$

沈下後天端高 = 現況天端高(10.10m) - 5.84m = 4.26m < 8.00m NG

天端と法尻の水平変位の最大値: 7.72m > 0.50m NG

護岸前面の

相対変位 ΔX : 3.71m > 0.50m NG

相対変位 ΔY : 1.29m > 0.50m NG

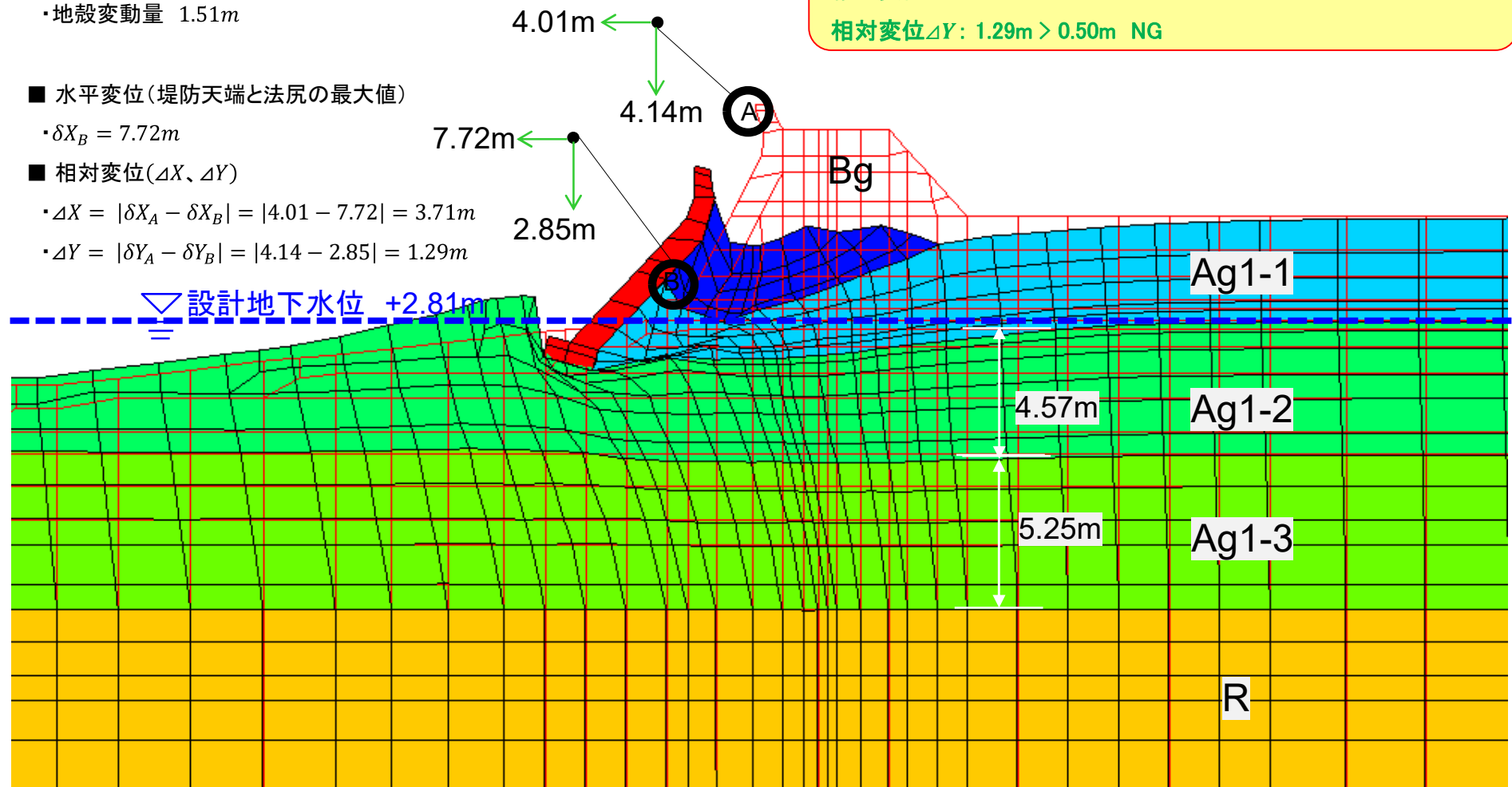


図 変形図(岸本海岸(東側))

変形倍率0.5倍

6.香南工区の堤防耐震照査結果(岸本海岸(東側))

※堤防耐震照査結果については、現時点のものであり、今後変更する場合がある

解析結果図

