

レベル2地震動における海岸堤防の耐震検討事例

(株)ダイヤコンサルタント ○蔵座 拓磨
北郷 鉄也
本田 伸太郎

1. はじめに

近年、発生が危惧されている南海トラフ地震では、地震力や液状化等で海岸堤防が崩壊・沈下を引き起こすこと、また、その直後に来襲する津波から背後地を守ることが課題となっている。

当海岸は、三河湾に位置する海岸である。漁業利用が盛んで堤防背後には集落および農地が広がっている。既設の海岸堤防は、昭和23年の13号台風に伴う災害復旧事業により整備された施設であり、建設から50年以上経過した現在、老朽化が著しく進行しており、地震時の被害が懸念されている。

本報告は、対策工の検討時に二次元動の変形解析（FLIP）を使用し、より経済的かつ効果的な対策工の検討を行ったものであり、その事例について報告する。

2. 地盤特性

(1) 地質概要

対象箇所の地盤構成は、概ね上位より盛土層、第四紀・完新世の沖積礫質土層、第四紀・更新世の洪積層（砂質土層、粘性土層、礫質土層）が分布している。

(2) 液状化判定

液状化抵抗率FLを用いた液状化判定の結果は、堤体の盛土層（B層）および沖積礫質土層（Ag層）の概ねN値20以下の箇所で部分的に液状化する。液状化層厚は5m以下であり、比較的薄い結果となった。

3. 現況（無対策）解析

検討断面において、現況（無対策）断面の解析を行った。解析は地震時において、レベル1地震動に対する安定性の照査を行うとともに、より効果的な対策工法の選定を行うために、レベル2地震動に対する変形の照査を行った。

(1) 照査方法

照査は、レベル1地震動時の円弧すべり解析における安全率が、所定の安全率（ $F_s \geq 1.0$ ）を満足するか確認した。

また、レベル2地震動のプレート境界型地震動（L2-1）および内陸直下型地震動（L2-2）に対し、二次元動の変形

解析（FLIP）により沈下後の残留堤防高さが照査外水位

L2-1：設計津波水位 TP+3.40m、L2-2：HWL+10年確率波高 TP+2.14m を下回らないか（所定の機能を満足するか）確認した。

(2) 解析結果

レベル1地震動に対しては、堤内、堤外側ともに安全率が1.0を下回る結果となった。

また、レベル2地震動に対しては、プレート境界型地震動（L2-1）では沈下量が大きく、所定の機能を満足しなかった（図-1）。一方、内陸直下型地震動（L2-2）では、所定の機能を満足する沈下量となった（図-2）。

以上の結果から対策工の検討が必要と判断した。

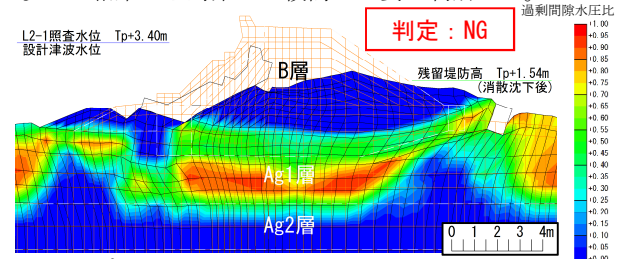


図-1 プレート境界型地震動における変形図（現況）

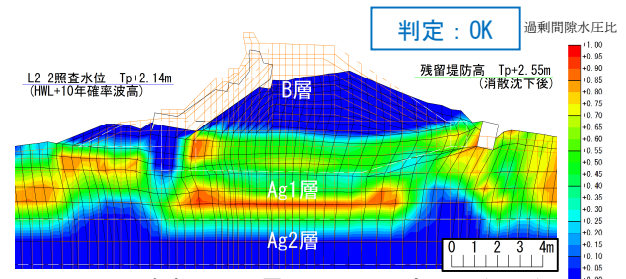


図-2 内陸直下型地震動における変形図（現況）

4. レベル1地震動における耐震対策工法

対策工法は、レベル1地震動の円弧すべりに対する安定が確保できる工法とした。適用可能な工法の比較検討の結果、経済性、施工性に優れる「静的締固め砂杭+押え盛土工法」（図-3）を選定した。

「静的締固め砂杭+押え盛土工法」は、堤外側に静的締固め砂杭を打設し、堤内側に押え盛土を施工し、液状化時に既設堤防の円弧すべりを抑制する工法である。

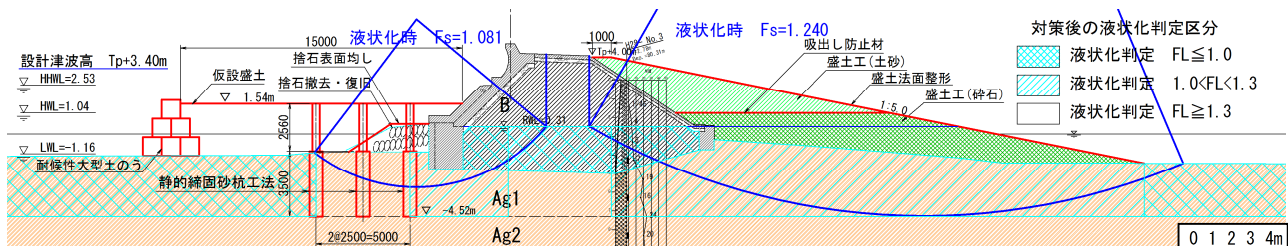


図-3 静的締固め砂杭+押え盛土（法勾配1:5）案

盛土形状は、安全率が1.0以上となるように天端幅1.0m, 法勾配1:5.0とした。HWL以下の盛土材は、液化化しない材料である砕石とした。

5. レベル2地震動に対する照査

(1) 照査方法

レベル1地震動に対して選定した「静的締固め砂杭+押え盛土工法」について、レベル2地震動に対し、二次元動的変形解析(FILIP)により残留堤防高を求め、3. 現況解析に示した方法と同様に照査を行った。

(2) 照査結果

レベル2地震動の照査結果は、現況(無対策)の解析結果と比較すると、堤内、堤外への変形量が抑制されている。

しかし、プレート境界型地震動(L2-1)では沈下量が大きく、所定の機能を満足しなかった(図-4)。一方、内陸直下型地震動(L2-2)では、所定の機能を満足した(図-5)。

以上の結果から、追加対策の検討を行った。

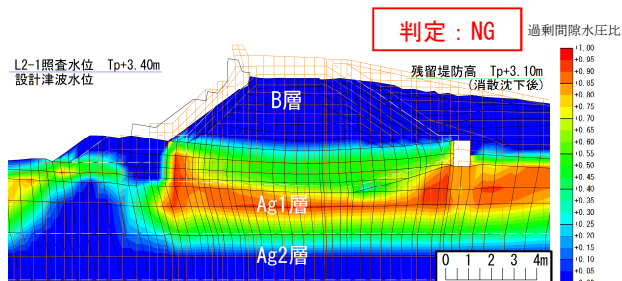


図-4 プレート境界型地震動における変形図(対策後)

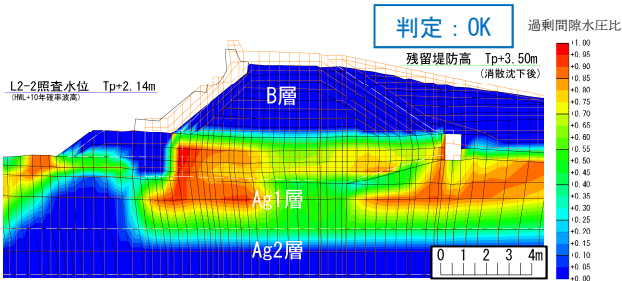


図-5 内陸直下型地震動における変形図(対策後)

6. 追加対策

(1) 追加対策の流れ

どの部分に追加対策を行えば効果があるかを確認するため、表-1, 図-6に示すように、各対策の対策範囲を変化させ、堤体の沈下がどの程度抑制されるかを確認した。

最終的な対策工法は、ステップごとに二次元動的変形解析(FILIP)のケーススタディを行い、所定の機能を満足する組合せの中から最も経済的な工法を選定した。

なお、堤体直下への改良は、効果が大きいが費用が増大するため採用しないこととした。

表-1 追加対策検討内容一覧

ステップ	追加対策検討箇所	L1決定断面	追加対策
①	押え盛土天端幅の変更	1.0m	→ 3.0m → 5.0m
②	静的締固め砂杭幅の変更	5.0m	→ 7.5m
③	捨石形状の拡大	天端幅2.0m 天端高TP+0.5m	天端幅3.8m 天端高TP+1.5m
④	堤防の嵩上げ	0.00m	→ 0.30m → 0.35m

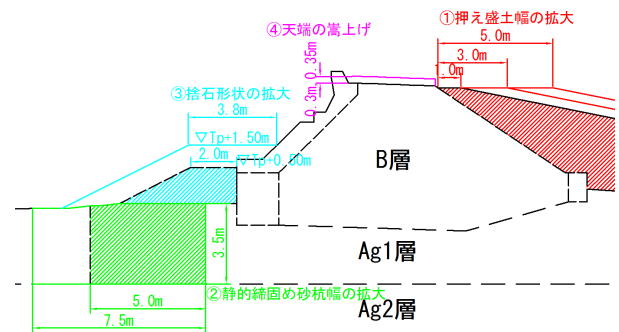


図-6 追加対策工の考え方

(2) 最終的な対策工法の仕様

押え盛土の追加対策は、天端幅3.0mで効果が増大したが、それ以上幅を拡げて明瞭な効果は見られなかった。

一方、静的締固め砂杭の効果は、幅を大きくしても沈下減少効果が少なかった。

また、捨石形状の拡大は、沈下減少効果は大きかったが、堤外側の砂浜が縮小してしまうこと、工費が大きいことを考慮し、現状より形状を大きくしないようにした。

最終的な対策工法は、表-2に示すように、ケース8「静的締固め砂杭(幅5.0m)+押え盛土(幅3.0m)+天端嵩上げ(0.35m)」が最も経済的に所定の機能を満足する対策工法となった。ケース8の変形図を図-7に示す。

表-2 追加対策検討結果

ステップ	ケース	押え盛土 天端幅(m)	静的締固め 砂杭幅(m)	捨石形状 天端幅(m) 天端高 TP(m)	嵩上げ高 (m)	沈下後残留 堤防高 TP(m)	判定	備考
①	1	1.0	5.0	2.0 0.5	0.00	3.10 < 3.40	NG	L1決定断面
	2	3.0	5.0	2.0 0.5	0.00	3.17 < 3.40	NG	
	3	5.0	5.0	2.0 0.5	0.00	3.21 < 3.40	NG	
②	4	3.0	5.0	2.0 0.5	0.00	3.17 < 3.40	NG	
	5	3.0	7.5	2.0 0.5	0.00	3.18 < 3.40	NG	
③	6	3.0	5.0	3.8 1.5	0.00	3.30 < 3.40	NG	
	7	3.0	7.5	3.8 1.5	0.00	3.30 < 3.40	NG	
④	8	3.0	5.0	2.0 0.5	0.35	3.41 > 3.40	OK	採用
	9	3.0	7.5	2.0 0.5	0.30	3.41 > 3.40	OK	

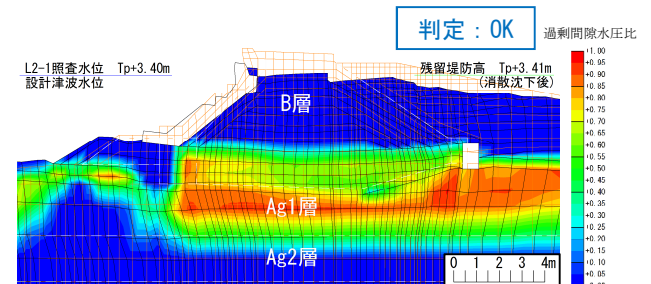


図-7 プレート境界型地震動における変形図(最終断面)

7. おわりに

レベル2地震動における対策の検討において、二次元動的変形解析(FILIP)を使用することにより、地盤条件を踏まえた最適な改良範囲や盛土幅を決定することができた。

動的変形解析のケーススタディを実施することにより、地震時の変形特性を把握することができ、どの場所に対策を行うのが効果的であるか確認できるため、最適な対策および範囲を選定することが可能であると考えられる。