

河川の海岸堤防区間における耐震対策検討事例

日本工営(株)名古屋支店 正会員 ○川畑 智 中村幸生

1. はじめに

本論文は、三重県四日市市を流れる二級河川朝明川河口部の海岸堤防区間において、堤防の耐震対策検討を行い対策工の実施設計を行った業務の内容を紹介するものである。対象地の周辺環境は、四日市の重工業地帯に位置しており、住居や工場、公共施設等が密集した地域である。検討した海岸堤防区間は、堤防背後地に工場や家屋等が近接して連担している区間である。当該地は、南海トラフの巨大地震による液状化や津波による浸水被害が想定されることから被害を最小限に抑制するための対策が求められた。

2. 検討区間の環境と課題

検討区間の標準断面図を図-1に示す。海岸堤防は、コンクリート三面張りの傾斜堤の構造形式で天端幅約5mの狭小な断面となっている。堤防の基礎地盤は、沖積層の砂質土層 Ts1,2(U-s)が層厚10m、粘性土層 Yc(U-c)が20m程度堆積している。地震時は、Ts1(U-s)層の液状化により、堤防の安定性を確保できないため耐震対策が必要となった。対策工の検討にあたり、検討区間の環境について課題を図-1a)～d)に示す。a)堤防前面は、コンクリート張りとは法留が設置されており、堤防前面を施工する場合は、構造物の撤去と復旧を検討する必要がある。また、川表の施工は、非出水期の10月～4月が施工可能な期間であった。b)堤防天端は兼用道路となっており、川裏法面を含めて狭小な施工ヤードであるため、小型機械による施工が可能な対策を選定する必要がある。c)堤内地は、建屋や工場が近接しているため、川裏法尻部までの対策範囲に限定された。d)堤防直下の礫質土 Ag 層は、φ10～40mmの垂角礫主体でφ100～120mmの玉石が確認されていた。このため Ag 層下位の Ts1(u-s)層の対策を行う場合は、Ag 層の貫通可能な工法を選定する必要がある。

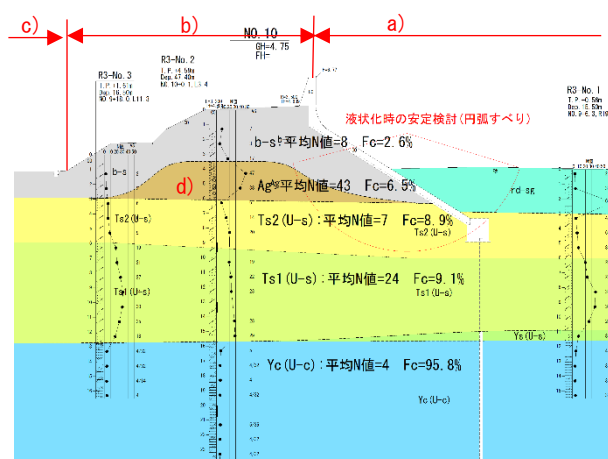


図-1 堤防標準断面図

3. 耐震対策検討手順

耐震対策検討手順を図-2に示す。検討は、まず、①現況耐震性評価において、 F_L 法による液状化判定を行ない、現況海岸堤防の地震時、液状化時の堤防の安定性照査を行った結果、安定を確保できないことから、対策工が必要と判断した。次に、②レベル1地震動に対する対策工法の選定は、堤防の安定性を確保するための対策工の比較検討を行い、最適となる対策工法を選定した。③レベル2地震動の対策工法の評価は、選定した対策工法をモデル化して地震応答解析による評価を行なった。①～③の検討の結果、耐震性能を満足する対策仕様で、④対策工法の設計を実施した。

4. 対策工法の特徴

耐震対策は、地震時の液状化対策で実績のある工法として、締固め工法、固化工法、鋼材を用いた工法から施工性、経済性、環境を比較検討の上、最適工法を選定した。締固め工法と固化工法は、法尻部の Ts2(U-s)層を地盤改良することにより地震時、液状化時の堤防のすべりに対する安定性を確保する対策である(図-3)。なお、沖積層の砂質土層 Ts1,2(U-s)は、液状化

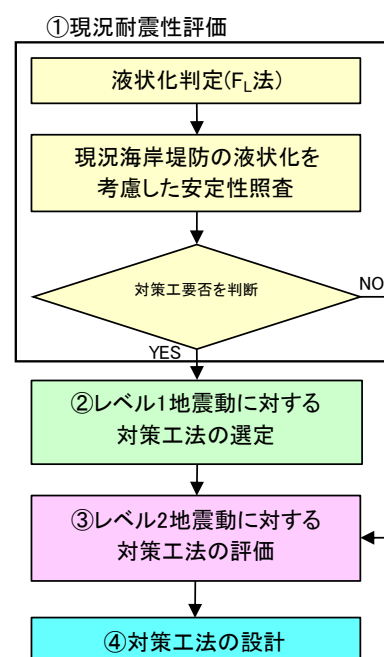


図-2 耐震対策検討手順

抵抗率 F_L 値により上下層に区分しており、上部層 Ts2(U-s) が $F_L \leq 1.0$ の液状化層、下部層 Ts1(U-s) が $F_L > 1.3$ の非液状化層である。地盤改良による対策は、川表、川裏の仮設や川表法面構造物の撤去・復旧が必要となりコスト高となった。また、川表は施工時期の制約があり、施工性、経済性、環境面から総合的に判断して、当該地での適用性が低い対策と判断した。鋼材を用いた工法は、堤防天端からの二重締切鋼矢板による対策を採用した。本工法の特徴は、2枚の鋼矢板を堤体内に打設し、タイロッドで結接して支持層に根入れすることにより、鋼矢板で挟まれた領域は、構造的に堅固なコアを形成する構造となることである。地震時は、コア部により堤防高さを保持し、重要箇所の破堤を防止する対策効果がある。本工法は、新たな用地確保が不要で、省スペースでの施工が可能であった。地盤改良の対策と比較して、経済的であり、施工時期の制約もないことから当該地への適用性が高い本工法を選定した。二重締切鋼矢板の設計は、鋼材を弾性梁、地盤反力を地盤バネでモデル化し、液状化時の土水圧を作用させることによって鋼材に生じる応力度を求めた。応力度が許容応力度より大きい場合は、鋼材の形式を上げ、それに応じた所定の根入れ長さを算定したモデルにて、再度鋼材に生じる応力度を求め、許容応力度より小さいことを確認した。応力度照査の結果、鋼矢板の仕様は、ハット型鋼矢板 SP-50H(SYW295)、矢板長 10m となり、下部層 Ts1(U-s) に根入れを行った。なお、堤防直下の玉石混じり砂礫層(Ag)の貫通は、硬質地盤対応型の施工機により施工が可能である。

5. レベル2地震動による対策工の評価

地震応答解析手法は、数多くの港湾の施設の変形照査や河川堤防への適用性において実績のある FLIP を用いた。

FLIP(Finite element analysis program for Liquefaction Process)は、「液状化による構造物被害予測プログラム」であり、地盤や構造物の詳細な挙動、特に液状化現象を伴う場合の残留変位、残留応力を精度よく解析することができる。照査に用いたレベル2地震動は、海溝型(L2地震動タイプI)の南海トラフ地震と直下型(L2地震動タイプII)のM6.5直下型地震(四日市港)とした。地震応答解析結果を図-4に示す。地震後は、鋼矢板の変形が小さく、二重締切鋼矢板のコア領域は、発生したせん断ひずみが小さく、残留変形も天端面が0.8m~1m程度沈下するものの概ねコア部を保持している結果となった。耐震性能照査結果を表-1に示す。耐震性能照査は、照査外水位(津波水位、1/5波高水位)と堤防天端高さの比較により照査するものであるが、残留変形後の堤防天端高さは、照査外水位より高く、耐震性能を満足する結果となった。

6. おわりに

本論文は、河川の海岸堤防区間において制約条件の多い区間での耐震対策を検討した事例を紹介した。本事例が類似する案件の検討において参考となれば幸いである。最後に本業務を遂行するにあたって、三重県四日市建設事務所に多大なるご指導をいただいた。ここに、謝辞を申し上げる。

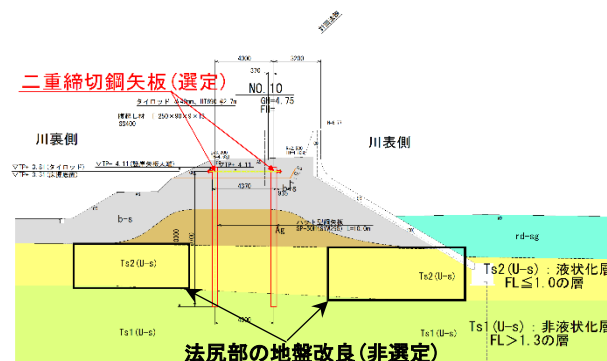
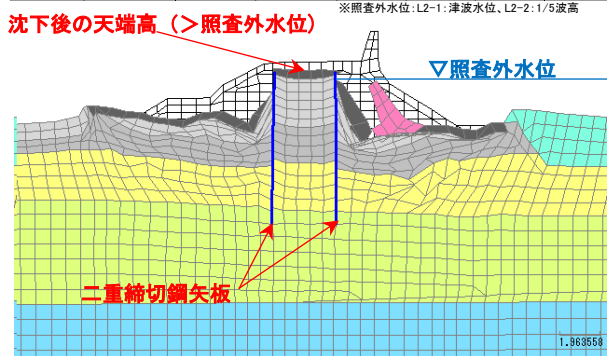


図-3 対策工法の選定

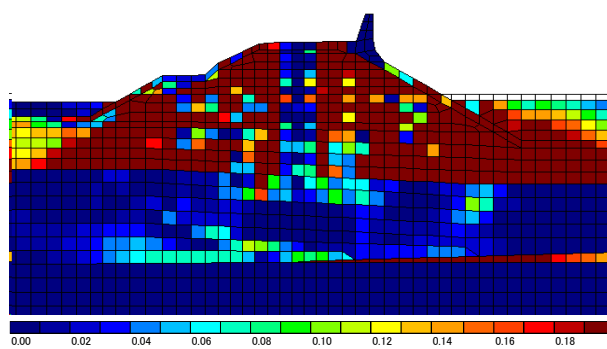
表-1 耐震性能照査結果

レベル2 地震動	①現況天端高 (T.P.m)	②残留沈下量 (m)	③排水沈下量 (m)	⑤沈下量= ②+③ (m)	⑥沈下後の 平均堤防高 (T.P.m)	⑦照査 外水位※ (T.P.m)	⑧照査結果 ⑤>⑦
南海トラフ	4.74	-0.52	-0.32	-0.84	3.90	3.70	OK
M6.5直下型	4.74	-0.68	-0.36	-1.04	3.70	2.44	OK

※照査外水位:L2-1:津波水位、L2-2:1/5波高



(1) 残留変形図



(2)せん断ひずみ分布図

図-4 地震応答解析結果