

海岸堤防の耐震対策として中層混合処理工法の適用

愛知県建設部河川課
株式会社加藤建設

鈴木正和
○棚瀬満昭
久保 博

1. はじめに

海岸堤防の耐震対策として堤体中央部へ地盤改良工（中層混合処理工法（トレンチャー式））を採用した経緯及び施工事例について報告する。

愛知県高浜市に位置する高浜海岸は、伊勢湾台風による被災後に築造された施設であり、伊勢湾等高潮対策協議会で定められた堤防高（T.P + 3.50m）により整備されている。しかし、現在では堤防に不等沈下や老朽化が見られ、海岸堤防としての機能低下が認められるとともに、地震時の液状化による堤防沈下も懸念されていた。



図-1 位置図

2. 高浜海岸の状況

平成7年の阪神淡路大震災を契機に、全国統一マニュアルに基づいた海岸堤防の耐震点検を実施し要対策区間の把握を行う。その後、東海地震及び東南海・南海地震による津波予測を受けて優先対策区間の設定を行い、一部が「第2次あいち地震対策アクションプラン（H19～H26）」の優先対策区間に位置づけられた。



写真-1 高浜市航空写真

【要対策区間】

背後地盤が朔望平均満潮位以下で、大地震が発生したときに、地盤の液状化や施設の老朽化により海岸施設が沈下・崩壊し背後への浸水被害が想定される区間。

【優先対策区間】

要対策区間のうち、背後地盤がゼロメートル地帯など大きな被害が想定される区間。

この対策区間背後には、北側に特別養護老人ホームや養鰻場、中央部に臨海鉄道が横断しており、南側には背後の洪水を排水する重要な排水機場が位置している。



写真-2 施工箇所航空写真

Application of Medium deep Mixing Method as Earthquake countermeasure for Coastal Dykes.

: Masakazu Suzuki (River Division, Construction Department, Aichi Prefecture)

Mitsuaki Tanase (Kato Construction Co., Ltd.), Kubo Hiroshi (Kato Construction Co., Ltd.)

3. 耐震対策工法

○堤防の耐震性能は、地震後（レベル2地震動）においても、「照査外水位」に対して耐震性能照査上の堤防としての機能を保持する性能とする。

→想定する照査外水位：T.P+2.0m（想定津波水位）+0.5m（地震による堤内地盤沈降深さ）=2.5m

○耐震性能上の堤防としての機能とは、「津波」の堤内地への越流を防止する機能とする。

→現況堤防高は、T.P+3.5mであることから、その天端高から照査外水位を差し引いた値（3.5m-2.5m=1.0m）が性能規定としての許容沈下量の1.0mとし、想定地震が発生した場合、堤防高がT.P+2.5m以上確保できるものとする。

照査外水位	=H.W.L+1.03+津波高：0.79+地盤変動量：0.50m≒2.50m
性能規定量(許容沈下量)	=現況天端高さ：T.P+3.50-照査外水位+2.50 = 1.00m

(1) 耐震対策について

現堤防は、レベル1耐震性能を有していない為、レベル1での耐震対策を、液状化時と津波時の各々で計算を行っている（図-2に液状化時の照査結果を示す）。対策深度は、等価N値・等価加速度法でレベル2地震動での液状化しない非液状化層までとしている。

対策を行った断面の耐震性能照査は、液状化による構造物被害予測プログラム（FLIP）による変形照査より沈下量が性能規定値（許容沈下量1.0m）を下回っていることを確認している。

検討項目	単位	計算値	許容値	照査・判定	
外的安定	滑動安全率	F_{sa}	2.300	1.0	O.K.
	転倒安全率	F_{so}	1.987	1.1	O.K.
	地盤反力	q_1	139.769	1,377	O.K.
		q_2	139.769	1,377	O.K.
地盤の許容支持力度	q_a	1,377.000	—	—	
	端趾圧	q_{max}	139.769	750	O.K.
内的安定	改良体全体の水平せん断	τ_1	13.897	375	O.K.
	鉛直せん断	τ_v	0.000	375	O.K.(※)
全系安定	円弧すべり(∠U法)	F_s	1.909	1.0	O.K.

※地盤反力が等分布なので鉛直応力は生じない。

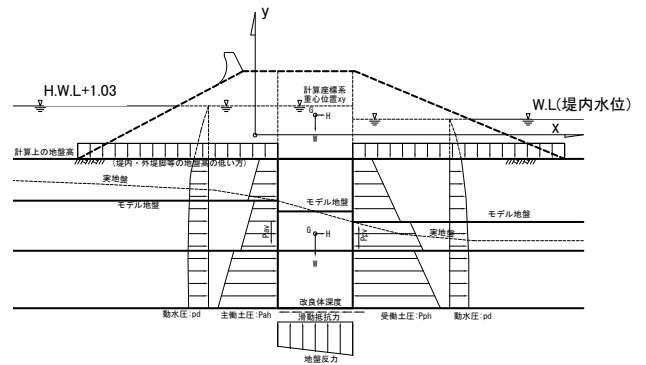
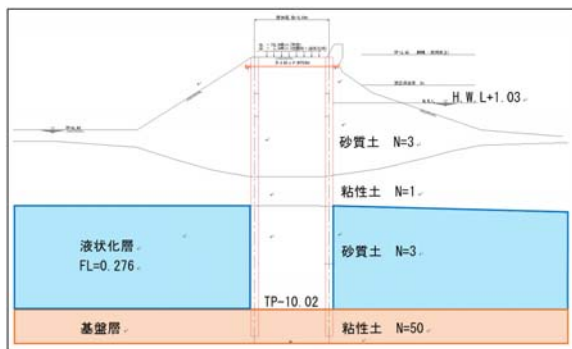


図-2 レベル1照査結果(液状化時)

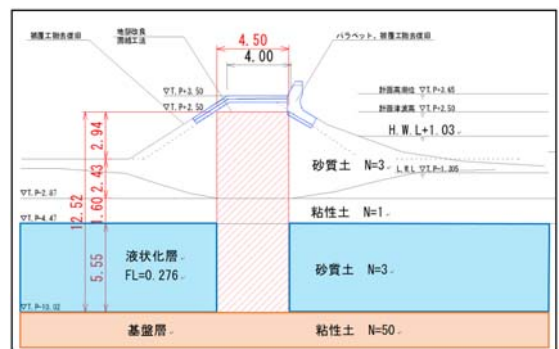
(2) 耐震対策工法について

これまで、愛知県の海岸堤防での耐震対策工事は、基本的に堤防前面のサンドコンパクションなどの地盤改良または、二重締切鋼矢板などで施工されている。高浜海岸においては、平成21年度に概略設計を行い二重締切鋼矢板工法で施工する計画であった（図-3）が、鋼矢板が基盤の固結シルト層（N>50）への根入れを伴い、工費・工期とも過大になることが予想された（硬質地盤対応圧入工法により3,960千円/10mコスト増）。そのため、早期効果発現及び事業コスト削減の観点から、事業計画（原設計）の見直し（設計VE）を平成22年に実施し、「堤体及び基礎地盤を混合処理工法にて固化する地盤改良工法」への変更を検討している（図-4）。



10m当たり 10,620 千円

図-3 当初設計（二重締切鋼矢板工法）



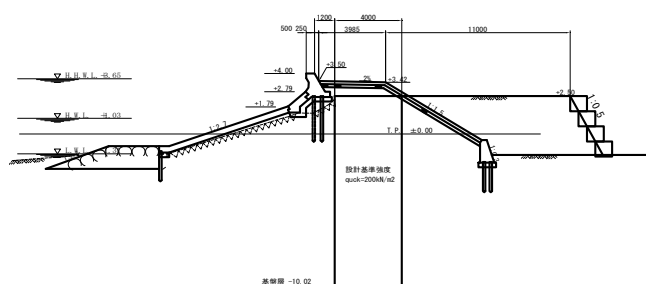
10m当たり 4,400 千円

図-4 設計VE（地盤改良工法）

4. 採用工法について

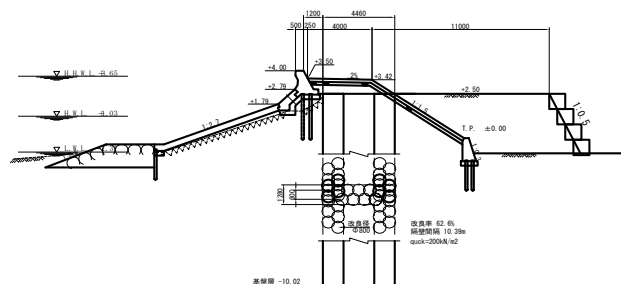
採用工法については、今回の設計最大深度は 12.9m であり、中層混合処理工法として施工可能な工法のうち、ブロック式改良のパワーブレンダー（登録商標）工法と格子式改良の MITS（登録商標）工法を比較検討した。

格子式改良は地震時で発生した液状化した土が改良体間をすり抜けることが懸念されるため、ラップ施工が必然となる。それに比べ、パワーブレンダー工法は MITS 工法に比べ日当たりの施工延長が約 1.8 倍であり、トータルコストが抑えられ、さらに連続一体施工が可能なことよりパワーブレンダー工法を採用した。



10m 当たり 3,010 千円

図-5 ブロック式改良パワーブレンダー工法



10m 当たり 5,260 千円

図-6 格子式改良 MITS 工法

5. パワーブレンダー工法（スラリー噴射方式）について

パワーブレンダー工法²⁾は、最大改良深度を 13m 程度としており、バックホウをベースマシンとしていることから機動性が良く狭隘地での施工、上空制限下での施工等、様々な現場条件に対応できる工法となる。当現場に於いても改良幅 4.0m（既設堤体天端幅）の限られたスペースでの施工となりその機動性が発揮された。さらに、トレンチャー式の攪拌形状の為、所定深度まで貫入すると水平移動の繰返し作業により連続一体施工が可能である。（液状化対策を目的とした地盤改良に於いて改良体間に未固結部がある場合、改良体間を液状化した土砂がすり抜ける現象が生じ地盤拘束効果が減少し、堤体崩壊の危険性が非常に高くなる。）

また、施工範囲近隣に隣接養鰻場作業小屋が位置している箇所があり、当初、投入するセメントミルクにより周辺地盤に変位を与える事が懸念された。しかし、パワーブレンダー工法は上端が解放されている攪拌形態を有する為、固化材投入に伴う体積増加は上方への変位のみであり、側方へ変位を及ぼす事無く施工完了する事が出来た。

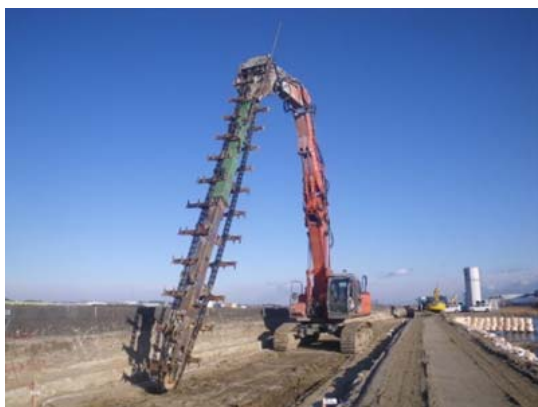


写真-3 パワーブレンダー工法

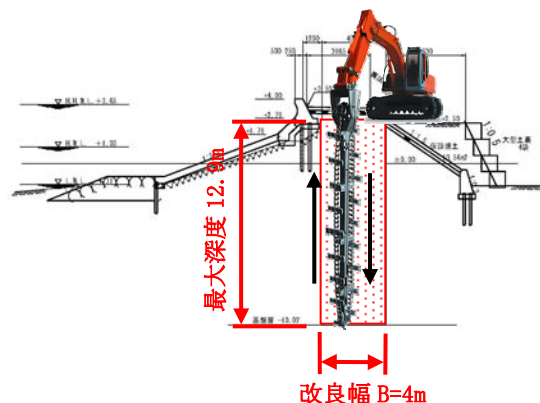


図-7 施工イメージ図

パワーブレンダー工法については、想定通りのコスト、施工効率にて工事が進捗でき、当初二重締切鋼矢板工法では、全体事業費 2,100 百万円、工期 5 年を想定していたが、実際には、全体事業費 740 百万円、工期 3 年にて、現地の対策工事を完了できた。

6. 当現場における環境対策

工事施工場所の近接箇所に養鰻場が位置しており、工事によって発生する騒音・振動により鰻の生育への影響が懸念された。そのため、工事の時間制限や騒音・振動調査を実施するなどの対策を実施し、周辺環境へ配慮した施工を行った。



写真-4 養鰻場位置

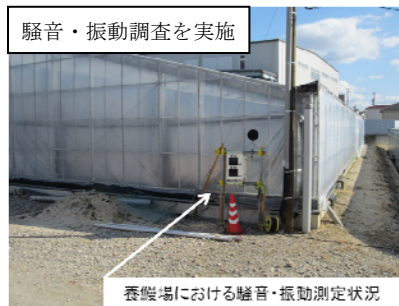


写真-5 騒音・振動調査状況



写真-6 騒音・振動調査状況近接撮影

7. 地域との連携

東日本大震災の津波被害を目の当たりにし、不安を抱いている地域住民の方々に少しでも不安解消して頂くため、地域行事等において事業内容及び工事説明を行いながら地域と連帯を図り事業を進めた。

平成25年には、地元の自然と生活の環境浄化に努めている渡し場かもめ会主催の「高浜の干潟生き物調査」において、液状化のメカニズムを示したチラシを配布し、高浜海岸の耐震対策工事についての説明及び液状化現象の実演（写真-7）を実施した。

当日は、親子ペア 80組以上（200名）の参加（図-8）があり、特に液状化現象の実演は好評であり児童だけではなく保護者も非常に高い関心を示し、当該地へ液状化対策工事を実施することにより、災害に対する不安を若干でも解消頂くと共に、工事への理解を得ることができた。



写真-7 液状化説明状況



図-8 報道記事（中日新聞より抜粋）

8. おわりに

海岸堤防で堤体中央部を地盤改良する耐震対策工法は、全国的にも珍しい事例となり、対象となる改良深度が約13mと他の海岸と比べ比較的小さい事より、パワーブレンダー工法の施工能力（13m）を最大限に活用できた。今後、海岸堤防等の耐震設計を実施する際、今回の事例を対策工法の1つとして検討頂ければ幸いである。

また、工事施工に際し環境配慮に対する指導及び管理、地元説明会の主催等、多岐に渡り御指導頂きました愛知県知立建設事務所さま、石橋建設興業株式会社さま、株式会社梶川建設さまにこの場を御借りし御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 海岸保全施設耐震点検マニュアル（平成7年4月）
- 2) パワーブレンダー工法 技術資料（平成28年7月）、標準積算資料（平成28年7月）：パワーブレンダー工法協会