

# 深層混合処理工法による防波堤基礎の検討

与儀 喜章、与那城 仁、新垣 健二、屋良 隆司

株式会社 沖縄建設技研 (〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号)

キーワード：深層混合処理工法、壁式改良地盤、外部安定、内部安定

## 1. はじめに

沖縄県の沿岸部は軟弱な沖積粘性土が厚く堆積する箇所が多く、このような場所での防波堤や護岸などの港湾構造物の建設に際しては、軟弱地盤対策が重要な課題となる場合が多い。

近年、軟弱地盤対策工法である置換工法等においては環境保全の立場から浚渫土砂の処分等が問題となっており、周辺環境への影響が少ない工法が検討される傾向にある。

ここでは、軟弱地盤における防波堤基礎を深層混合処理工法で検討した結果について報告する。

## 2. 地質概要

本設計箇所を確認された地層は、新生代第三紀中新世～第四紀洪積世(更新世)初期の島尻層群および沖積世(完新世)の沖積層で構成されている(図-1)。

島尻層群は、風化層(N値:5~29)と未風化層(N値:50以上)に区分される。

沖積層は、海浜砂礫層(N値:1未満)、沖積粘性土層(N値:モンケン自沈~1)および沖積砂層(N値:2~3)に区分され、沖積粘性土層が主体の軟弱地盤である。

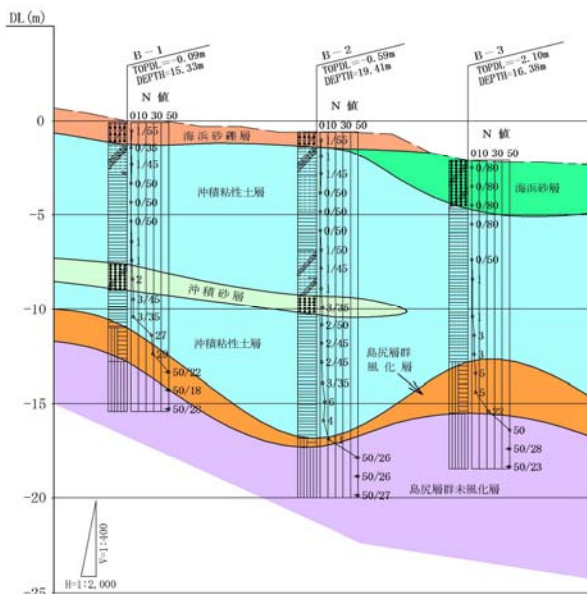


図-1. 推定土層断面図

## 3. 設計概要

本設計で検討した防波堤の本体工および改良地盤の標準断面図(図-2)を示す。

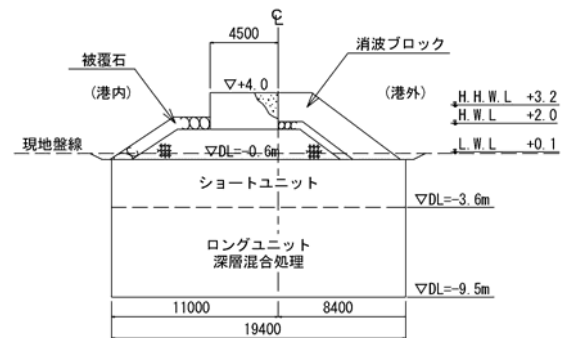


図-2. 標準断面図

本体工の断面については、波浪推算結果による設計波高(Hmax=2.9m)より決定した断面である。本体工における詳しい説明はここでは省略することにする。

深層混合処理工法による地盤改良の標準的な設計法を下記の設計フロー図(図-3)に示す。

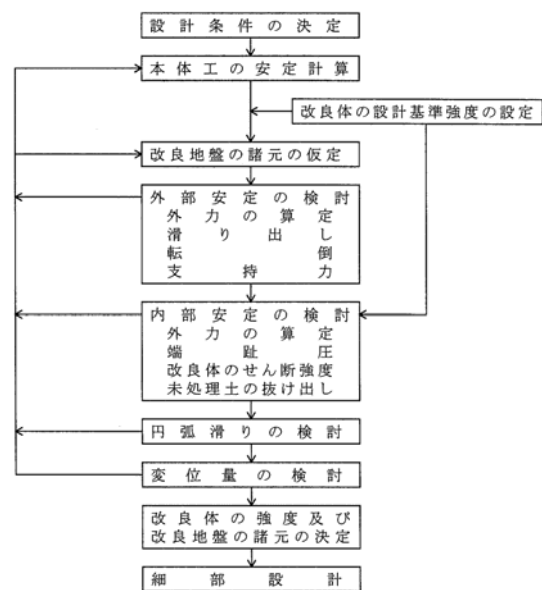


図-3. 設計フロー図

深層混合処理工法は、改良地盤の諸元を一度で決定する方法がないため、設計検討は安定条件を満足し、かつ最も経済的な断面が設定されるまで繰返し計算を行い、改良地盤の諸元を決定する。改良地盤は、原地盤の地層と比べて一般に強度が著しく大きく、一種の構造物とみなし得る。そのため、通常地盤の安定解析とは異なり、構造物全体としての安定（外部安定）の検討、構造物自体の耐力（内部安定）の検討、改良地盤の剛体としての沈下等の検討を行うことが標準とされている。

本設計を進めるにあたり、以下の条件で検討を行った。

- ①本設計箇所は、陸上部に近接し水深も浅いことから仮設覆土を施して、陸上施工で行うことを条件に設計を進めた。
- ②施工機械は三点支持杭打機を使用し、2連式による機械攪拌式セメント系深層混合処理工法により検討を行った。

#### 4. 深層混合処理工法

##### 4.1 改良パターンおよび改良形式

改良パターンには、図-4、図-5に示すパターンがある。

- ①ブロック式改良地盤
- ②壁式改良地盤
- ③格子式改良地盤
- ④杭式改良地盤

港湾における改良地盤のパターンは、実績のほとんどが①ブロック式改良地盤と②壁式改良地盤であり、この2つが代表的パターンとなっている。

本設計では、改良容積が小さく経済的な②壁式改良地盤で検討を行った（表-1）。

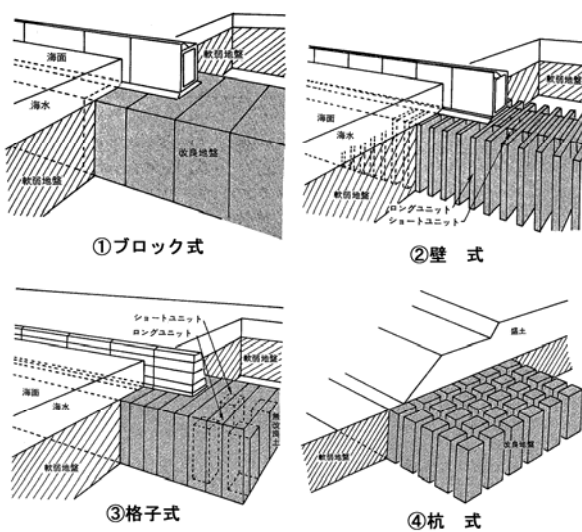


図-4. 改良パターン図

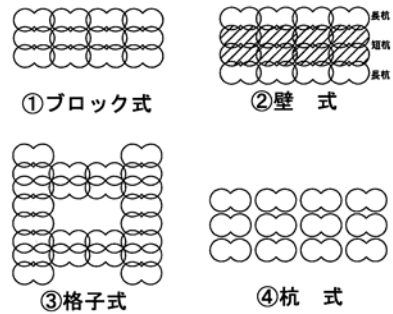


図-5. 改良パターンの概念図

表-1. 各改良パターンの特徴

	安定性	経済性	施工性	構造上の特徴
ブロック式	改良体が一体として外力に抵抗するため全体的にも内部的にも安定性が高い	他の改良様式に比べて改良容積が大である	全体の杭体を相互にラップさせるため工期が長くなる	重力式構造物と類似の設計手法で改良範囲を求める
壁式	各改良壁の結合がよく一体として抵抗する場合安定性が高い	ブロック式に比べ改良容積が少なく安価	ロングユニットとショートユニットのラップの精度良い管理が必要	壁間未処理土の考慮が必要 内部的安定により改良範囲が左右される場合が多い
格子式	全体の安定はブロック式に準じる	ブロック式と壁式の中間	格子状の改良となり施工手順が複雑	三次元的な内部応力の検討が必要な場合がある
杭式	水平力の大きい場合は安定	工期が短く改良容積も少ないため経済的	ラップ部の管理が不要	全体の安定検討に加え杭体の応力検討が必要

改良形式には、図-6に示す形式がある。

- ①着底型
- ②浮き型

本設計においては、土質調査結果より、軟弱層が厚いことから②浮き型形式にて検討を行った。

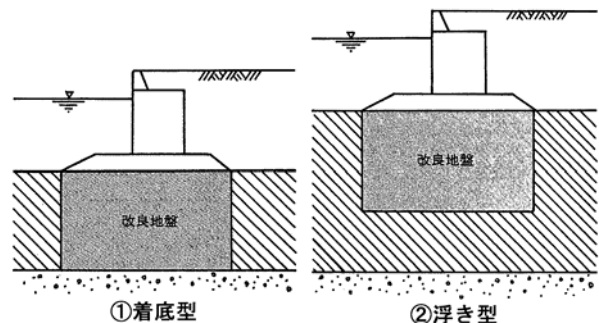


図-6. 改良形式図

##### 4.2 改良地盤の諸元

改良地盤の諸元として以下の項目を仮定し、繰返し計算により改良地盤の断面検討を行った。

- ①長壁（ロング杭）の鉛直長さ（改良深さ）

長壁の鉛直長さは、改良地盤の地盤反力と支持地盤の許容支持力との関係により決定した。

- ②短壁（ショート杭）の鉛直長さ

短壁の鉛直長さは、施工性より 3~4mの実績が多い。本設計ではL=3.0mを採用した。

- ③改良地盤の幅

改良地盤の幅は、通常、本体工の幅を最小とする。

本設計では、港外側の消波ブロック、港内側の被覆石設置までの幅とする。

④長壁および短壁の法線方向長さ

長壁および短壁の法線方向長さは下式のように定義される。

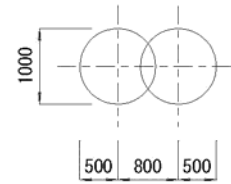
$$R_L = L_L / (L_L + L_S)$$

$$R_S = L_S / (L_L + L_S)$$

長壁の割合は、1/3 以上を用いるものとする。

(施工実績では、1/2 や 2/3 が多い)

本設計では、1/2 を採用する。



改良体仕様	
型式	φ1000×2軸
改良面積	1.5㎡
許容圧縮応力度	$\sigma_{ca}=160\text{kN/m}^2$
許容せん断応力度	$\tau_a=80\text{kN/m}^2$
セメント添加量	室内配合試験結果による
改良体の基本ラップ	20cm

図-8. 深層混合処理杭仕様

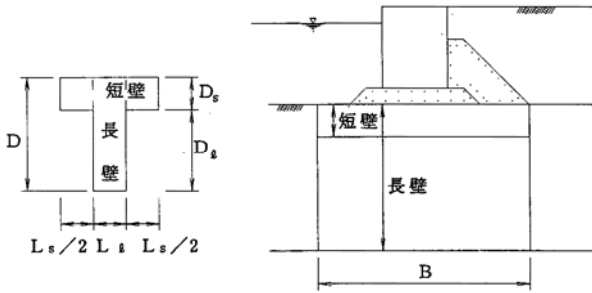


図-7. 壁式改良地盤の緒元

⑤改良地盤の許容応力度

許容応力度は、次式を基本とする。

$$\sigma_{ca} = 1 / F \times \alpha \times \beta \times q_{uck}$$

$$\tau_a = 1 / 2 \cdot \sigma_{ca}$$

$\sigma_{ca}$  : 許容圧縮応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_a$  : 許容せん断応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

F : 材料の安全率 = 3

$\alpha$  : 断面の有効係数

$\beta$  : オーバーラップ部の信頼度係数 ( $\alpha \times \beta = 0.8$ )

$q_{uck}$  : 設計基準強度 (kN/m<sup>2</sup>)

設計基準強度については、これまでの実績より目安として次の値がある。

ブロック式、壁式、格子式 (海上施工)

$$q_{uck} = 1500 \sim 2500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

杭式 (陸上施工)

$$q_{uck} = 500 \sim 1500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

本設計では、防波堤の規模が小さいことから、設計基準強度を次のように仮定した。

$$q_{uck} = 600 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

よって、

$$\sigma_{ca} = 1/3 \times 0.8 \times 600 = 160 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\tau_a = 1/2 \times 160 = 80 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

とする。

⑥深層混合処理工法仕様

改良地盤の仕様と施工ユニット (2 連式) の形状を図-8 に示す。

4.3 外部安定および内部安定の検討

外部安定の検討においては、改良地盤と本体工が一体化し、滑動、転倒、支持力に対して剛体としての安定計算を行う。

内部安定の検討においては、外力によって改良地盤に発生する応力について、端し圧、せん断応力、抜け出しの検討を行う。検討結果を、表-2 に示す。

外部安定および内部安定の検討における改良地盤は、常時の干潮時 (L. W. L.) の検討で断面が決定した。

表-2. 深層混合処理安定計算結果一覧表

		波圧時 (設計潮位 H. H. W. L.)	常時 (設計潮位 L. W. L.)
		長壁下端 DL-7.0m	長壁下端 DL-9.5m
外部	滑動	2.7 ≥ 1.2	3.9 ≥ 1.2
	転倒	15.5 ≥ 1.2	47.9 ≥ 1.2
	支持力 (kN/m <sup>2</sup> )	133.4 < 142.8	182.8 < 185.2
内部	端し圧 (kN/m <sup>2</sup> )	109 < 160	150 < 160
	鉛直せん断長壁 (kN/m <sup>2</sup> )	13 < 80	35 < 80
	鉛直せん断短壁 (kN/m <sup>2</sup> )	30 < 80	31 < 80
	抜け出し	24.0 ≥ 1.2	21.0 ≥ 1.2

4.4 円弧すべりの検討

改良地盤の強度が大きいことから改良地盤の外側を通過する円弧すべりの検討を行った。安全率は、十分満足する結果となった (図-9)。

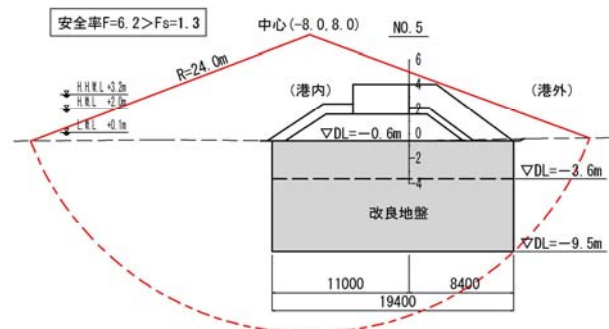


図-9. 円弧すべり結果

#### 4.5 変位量の検討

変位量については、浮き型の改良地盤で下部に軟弱層を残すことから圧密沈下量の検討を行った。

沈下量については、 $m_v$ 法による計算法で最大値 21cm、沈下年数 8.1 年の結果が出た。沈下に対する対策については、設計断面を完成断面として築造し、維持管理、点検等で対処する方法とした。

#### 4.6 検討結果による杭配置計画図

改良地盤の諸元を仮定し、繰返し計算結果による杭の基本配置図を図-10 に示す。

図-11 は現況地盤高にあわせて杭を配置した計画縦断面図である。

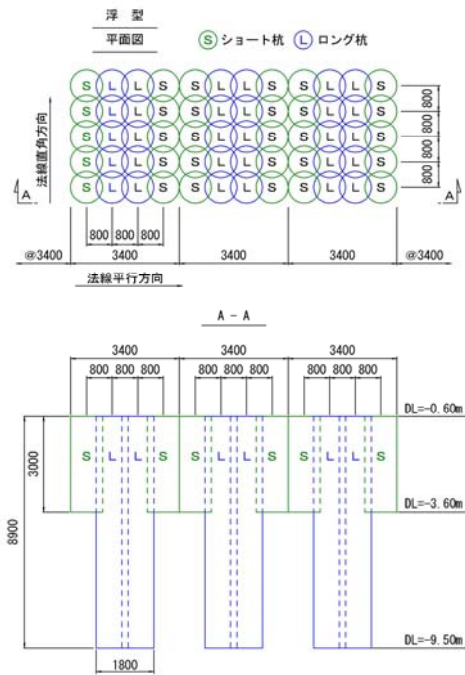


図-10. 深層混合処理工基本配置図

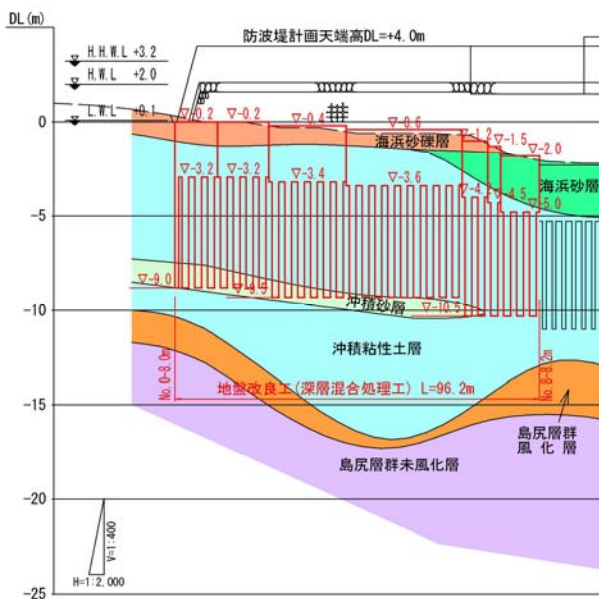


図-11. 計画縦断面図

#### 5. 留意点

本設計における留意点は以下のとおりである。

##### ① 支持力は干潮時の検討も必要

水深が浅い箇所での防波堤の支持力については、異常時の満潮時 (H. H. W. L.) のみだけでなく、常時の干潮時 (L. W. L.) の検討を行う必要がある。浮力が無いことから、常時の地盤反力が異常時の地盤反力より大きくなる場合がある。

##### ② 許容応力度から設計基準強度を逆算

改良地盤の許容応力度を決定するには、経済的な設計基準強度を設定する必要がある。内部安定計算の「端し圧」の計算結果を満足するように許容応力度を設定して、その値より逆算して設計基準強度を求める。

##### ③ 長壁 (ロング杭) の割合を変化させた検討の必要性

長壁の割合を大きくすると長壁底版において地盤反力が小さくなり、地盤条件によっては杭長が短くて支持力が得られる場合がある。経済性にも係ることから、長壁の割合を変化させた場合の確認が必要である。

#### 6. おわりに

改良地盤の断面は、外部安定、内部安定、円弧すべり、変位量等の検討結果より最適となる断面を決定した。

外部安定における滑動、転倒の安定計算結果 (表-2) および円弧すべりの検討結果 (図-9) では、許容値を十分満足する結果となっている。

沈下量については、同様な工法で施工した隣接する既存防波堤で沈下量 23.3cm を確認した。当時の設計で  $m_v$  法による計算結果が最大値 22cm、沈下年数 10 年となっていたことから、本設計においては  $m_v$  法による計算結果の最大値 21cm、沈下年数 8.1 年を許容値内と判断した。外部安定における支持力の検討において、改良地盤の地盤反力が原地盤から得られる許容支持力内に収まる改良地盤の底盤位置 (DL-9.5m) を決定している (表-2)。

よって、本設計における改良地盤は、外部安定における支持力の検討結果による断面を最適断面と決定した。

本設計箇所においては、地盤改良および防波堤本体工の施工が無事終了しており、浮き型として沈下を許容する設計であることから、5 年後、10 年後に防波堤天端高を測定し、計算値と測定値の沈下量を比較して、設計検証を行いたい。

工事発注直後に、地元住民から防波堤完成後における波の状況を求められた。できるだけわかりやすい資料を作成し、防波堤計画に理解が得られた。仮設道路 (借地) に関連する住民でもあり工期に大きな影響を及ぼすことから、事業を円滑に行うためには、アカウントビリティー (説明責任) の重要性を再認識した。

#### 参考文献

- 1) 財団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999。
- 2) 財団法人 沿岸開発技術研究センター：海岸工事における深層混合処理工法技術マニュアル，pp.15-66，1999。