

# 下新川海岸における堤防空洞化対策工の調査・設計・施工

吉田 和弘<sup>1</sup>・福濱 方哉<sup>2</sup>・堀内 崇志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>黒部河川事務所 入善海岸出張所 技術係長 (〒939-0642 富山県入善町12011-11)

<sup>2</sup>黒部河川事務所 事務所長 (〒938-0042 富山県黒部市天神新173)

<sup>3</sup>黒部河川事務所 入善海岸出張所 出張所長 (〒938-0042 富山県入善町12011-11)

下新川海岸は、日本海特有の季節風(冬期間)による波浪(越波や海岸侵食)により、堤防基礎部の土砂が吸い出され空洞化が発生し、堤防の一部が倒壊している。倒壊を未然に防ぐためには、空洞化が発生していない箇所の堤防強化対策が急務である。そこで、今回施工した空洞化対策工法(薬液注入)により実施した調査・設計・施工について報告する。

キーワード 堤防改良, 空洞化対策, 薬液注入

## 1. はじめに

富山県東部に位置する下新川海岸は、冬期間の継続時間の長い激しい波浪(越波や海岸侵食)により既設構造物が被災している。平成20年2月の高波災害では、堤体内の土砂が吸い出され空洞化が生じた結果、一部の海岸堤防が倒壊した。(図-1.2)今回は、堤体内(基礎部)に空洞化を生じさせない対策として地盤改良(薬液注入工法)の調査・設計・施工について報告する。



図-1 既設堤防の倒壊した状況

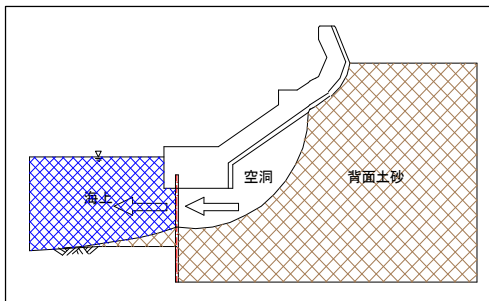


図-2 堤防空洞化のメカニズム

## 2. 空洞化対策

既設堤防基礎部の鋼矢板の損傷による、堤体土砂の吸い出しの発生の抑制対策である。恒久性グラウト材にて

薬液注入を実施し、地盤を固結・安定させる事により、堤防の長耐化を目的とした地盤改良工法(薬液注入)である。地盤改良工法の標準断面を示す(図-3)。

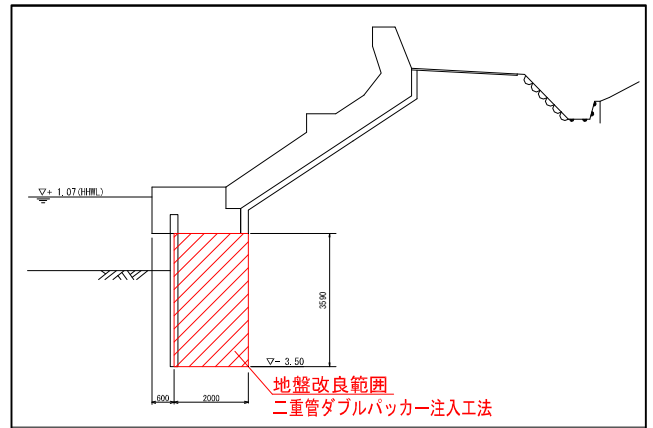


図-3 空洞化対策の標準横断面

### (1) 空洞化対策工事の全体のフロー

堤防(基礎部)の地盤改良工事を行うにあたり、事前調査～薬液注入～事後調査の手順を示す(図-4)。

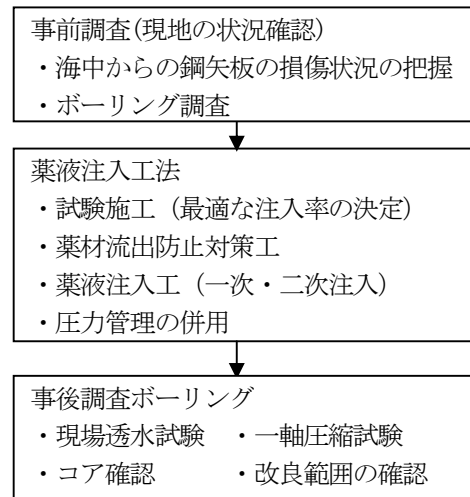


図-4 工事のフロー図

## (2) 調査 (被災堤防の確認)

調査内容は、直立堤基礎部の鋼矢板の損傷状況と、堤防内部の地質状況及び空洞化の有無を把握するため、以下の調査を実施した。

### 【調査内容】

- ①堤防基礎部の鋼矢板の損傷状況の把握(図-5)
  - ・ 損傷状況(大きさ)の把握、連続性の有無
  - ・ ボーリング実施箇所の選定
- ②ボーリング調査の実施(図-6)
  - ・ 堤防基礎部の地質及び空洞化の確認

### 【調査結果】

- ①堤防基礎部の鋼矢板の損傷状況
  - ・ 鋼矢板の破損は連続的に起こっているものではなく、局所的に起こっており前浜がない部分の損傷が激しい事が判明した。
- ②ボーリング調査
  - ・ 堤防基礎部の土質として砂質土・砂レキ質土の概ね2種類と判明した。また、空洞化は無く薬液注入による地盤改良工法を行なえる事を確認した。ボーリング調査結果(表-1)に示す。



図-5 鋼矢板の破損状況



図-6 ボーリング調査

表-1 ボーリング調査結果

工区		試験施工1工区	試験施工2工区	試験施工3工区
調査地点		NO.115	NO.126	NO.3
土質区分		粒径幅の広い	粘性土まじり	粒径幅の広い
		砂質レキ	砂	レキ質砂
			粒径幅の広い	粘性土まじり
			砂質レキ	砂質レキ
N値	最小値	42	18	13
	最大値	63	21	47
	平均値	53	20	30
透水係数(m/sec)		$1.75 \times 10^{-4}$	$1.46 \times 10^{-4}$	$1.09 \times 10^{-5}$
間隙率(%)	①N値	40	45	45
	②単位体積	37.7	36.6	35.7
	③相対密度	32.5	42.5	34

### (3-1) 設計 (薬液注入工法)

薬液注入工法の全体フロー(図-7)に示し、注入孔の標準配置図(図-8)に示す。



図-7 薬液流入工法フロー図

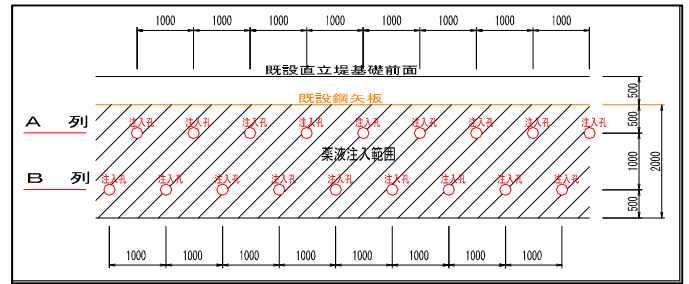


図-8 注入孔の配置図

### 【改良範囲】

薬液注入は堤防基礎部の土質を対象に行い、改良範囲(図-9)に示す。

- 1) 改良深 H = -3.5 m (標高)
  - ・ S35から現在の地盤高の差から将来50年後の地盤高の予測高より設定
- 2) 改良幅、B = 2.0 m
  - ・ 注入については1断面あたり複列 [2列] で行い、1本の改良幅がφ1mとなる事から2.0mとなる。

※複列(千鳥配置)で行う事で、1列目の欠損部分を2列目の注入でカバーする事ができるため一体化の施工が行える(図-10)。

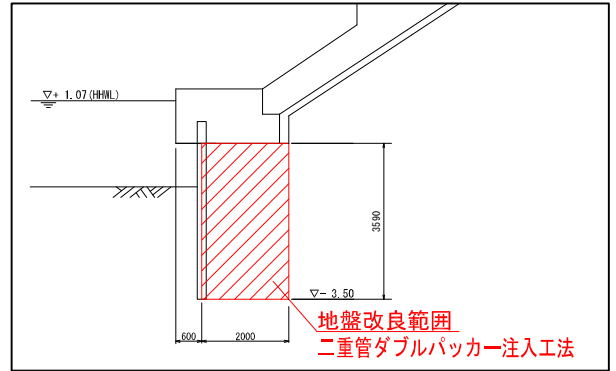


図-9 地盤改良範囲

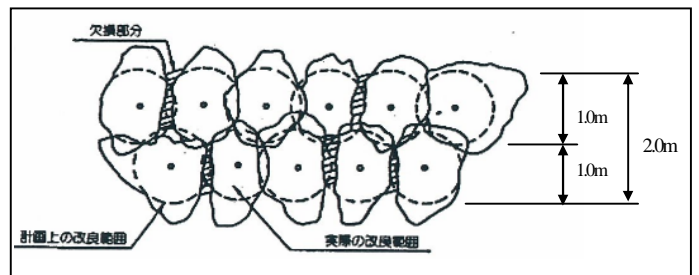


図-10 複列の注入状態

### 【施工順序】

- ① 注入孔の設置
 

注入孔を確保するため、スキッドタイプの削孔機にてφ10cmで削孔を行う。削孔完了後、注入用のマンシエットチューブを挿入し、ケーシングパイプの引き抜きを行う。
- ② 一次注入(割裂注入 図-11)
 

注入用のマンシエットチューブより、一次注入剤のCB(セメントベントナイト)の注入を行い、注入量の確認

を行う。なお、一次注入は注入孔を血管に例えると、動脈から毛細血管の入口までの大まかな注入となる。

③ 二次注入(浸透注入 図-11)

注入用のマンシエットチューブの清掃を行い、二次注入剤であるSKU(シラクソル、超微粒子系)の注入を行い、注入量の確認を行う。なお、二次注入は毛細血管の隅々まで注入を行いすべてに薬材を浸透させる。

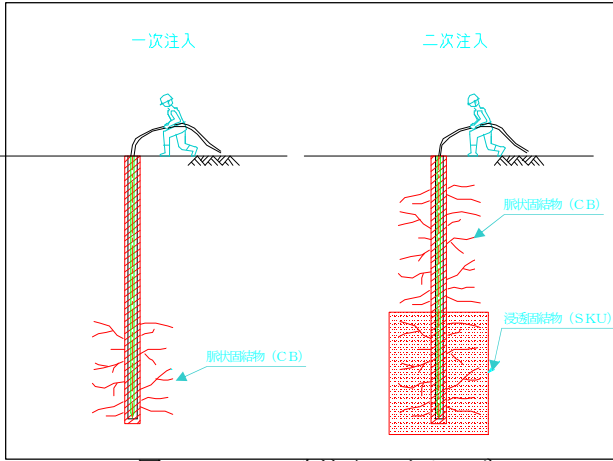


図-11 一、二次注入のイメージ

(3-2) 設計 (注入率の試験施工)

下新川海岸の堤防地盤(地質)による、最適な注入率の再確認を行うために施工条件、土質条件の違う3工区を対象に試験施工を行った。また、過去の地盤改良データから、最適な注入率は30~40%の範囲であることが予測されたため、今回は3種類、30%、35%、40%を実施する事とした。また、注入効果の評価方法は、現場透水試験とし、不透水層と見なせる基準値は( $k=1 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 以下)とした。

【試験施工の注入率の詳細】

3種類の注入率の詳細については、土質及び過去の改良データから以下のとおりとした。

- ・ 注入率30%(一次注入5% 二次注入25%)
- ・ 注入率35%(一次注入6% 二次注入29%)
- ・ 注入率40%(一次注入7% 二次注入33%)

【試験箇所の改良範囲と状況】

(図-12, 13 試験施工1・2・3工区の標準断面を示す)。

- ① 試験施工1工区
- ② 試験施工2工区

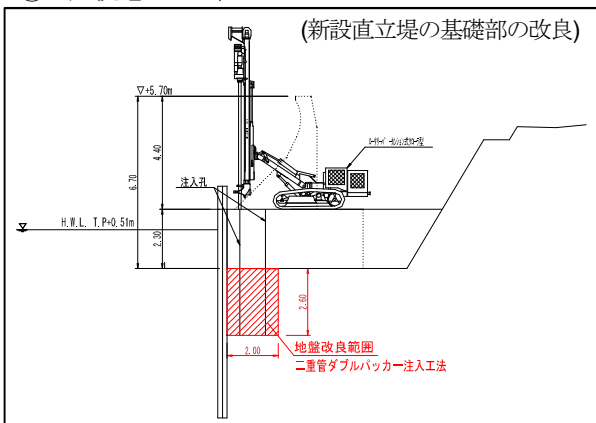


図-12 試験施工1.2工区の地盤改良の標準断面

新設の直立堤の施工となる事から、鋼矢板の打ち込み後、地盤改良を行う。改良地盤から薬液注入を行い、その後、直立堤の施工を行う。

③ 試験施工3工区

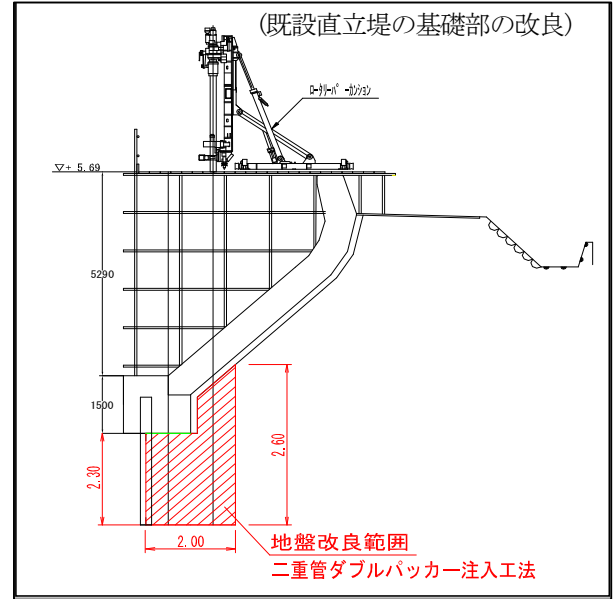


図-13 試験施工3工区の地盤改良の標準断面

既設の直立堤基礎部の地盤改良を行う。既設直立堤前面に足場を設置し、薬液注入を行う。

【土質状況】

- ① 試験施工1工区・・・レキ優勢
- ② 試験施工2工区・・・砂優勢
- ③ 試験施工3工区・・・砂レキ土  
(詳細なデータは、P2表-1 ボーリング調査結果に示す。)

【試験施工の結果】

試験施工結果(表-2)に示す。

表-2 試験施工結果

	試験施工1工区 (レキ優勢)	試験施工2工区 (砂優勢)	試験施工3工区 (砂レキ土)
注入率30% (深度中部)	$1.35 \times 10^{-6}$	$2.57 \times 10^{-6}$	$9.18 \times 10^{-6}$
注入率35% (深度中部)	$8.95 \times 10^{-7}$	$1.71 \times 10^{-6}$	$5.88 \times 10^{-6}$
注入率40% (深度中部)	$1.76 \times 10^{-7}$	$6.50 \times 10^{-7}$	$3.69 \times 10^{-6}$
注入率40% (深度上部)			$4.34 \times 10^{-6}$
注入率40% (深度下部)			$5.04 \times 10^{-7}$

(※赤書きは、基準値を満足している)。

- ① 試験施工1工区
  - ・ 注入率35%で規定の条件を満足できる。
- ② 試験施工2工区
  - ・ 注入率40%で規定の条件を満足できる。
- ③ 試験施工3工区
  - ・ 注入率40%でも規定の条件を満足できなかった。
 そのため、改良体の深度を3種類(上・中・下部)に分

け再度、詳細に調査を行った結果、上・中部では満足できなかったが、下部では満足できていることが判明した。

【試験結果と各箇所条件】

- ① 試験施工1工区
- ② 試験施工2工区

・今回は、新設直立堤の基礎部の改良を行うものであったため、土砂の吸い出しが無かった事と、改良地盤に機械を設置し施工を行ったため、施工機械による転圧等により間隙が少なくなった事から40%以下で規定を満足できたと考えられる。

- ③ 試験施工3工区

・既設堤防基礎部の改良を行うものであったため、堤防基礎直下の砂分が吸い出され間隙が大きい箇所である事と、改良体の上部は基礎部となることから、間隙が大きくなり薬材が多く流出したため、注入率40%でも、上～中部の改良効果が低下したと考えられる。

【注入率の決定】

・薬液注入率 40%

(本施工時 : 一次注入10% 二次注入30%)

(試験施工 : 一次注入7% 二次注入33%)

下新川海岸の堤体土質は、脆弱化した砂質土・砂レキ質土の層が多いため一次注入剤の割合を多くし、大きな間隙を埋める事で二次注入剤の効果の向上を図れると考え、試験施工の比率を変更した。また、一次注入時に圧力管理を行うことで、補足注入の必要性の判断を行う事ができる。

【コスト縮減】

一次注入剤と比較し、二次注入剤は高価なため、注入率(一次・二次)の割合を変更する事で、約4,000円/本(薬液注入)のコスト縮減を図る事ができた。

(4-1) 施工 (薬液流失対策工)

鋼矢板損傷による薬材の流出防止対策は、損傷程度を2種類(□100mm未満及び□100~300mm)に分類し、対策を行った。

①遮水シートによる対策(図-14)

・□100mm未満の比較的損傷が小さい部位では、簡易的な対策として鋼矢板前面に1.5mm厚の遮水シートを設置し、シートの固定のために土砂投入を行った。

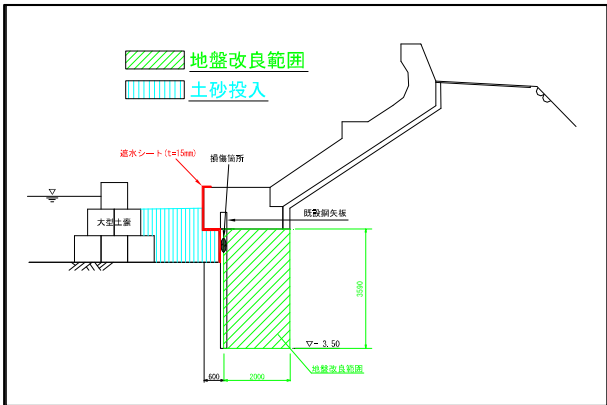


図-14 遮水シートによる対策

②コンクリートによる対策(図-15)

・□100~300mm未満の損傷が激しい箇所の対策は、簡易な方法では薬材の流出を阻止する事が難しいと判断し、海側に新設の矢板を打設し、隙間に水中コンクリートを充填する気密性に優れた強固な対策を実施した。

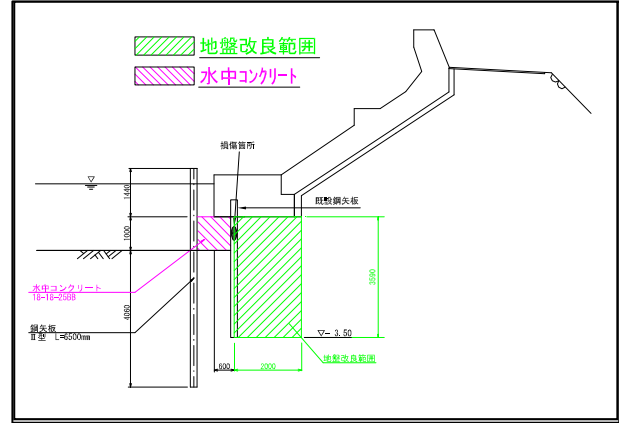


図-15 コンクリートによる対策

(4-2) 施工 (薬液注入工の圧力管理)

一次注入時の圧力の管理を行う事により、土砂吸い出しを受けた間隙の大きな箇所の注入薬材の充填が充分であるかを判断した。また、土砂吸い出しを受け脆弱化した地盤では、流入を行っても圧力が無反発(垂れ流し状態)となる事が多いため、圧力管理は重要である。

圧力管理値については、空洞化の穴埋めを行う場合に使用する、初期圧力+0.2MPaを採用した。

【一次注入の結果】

・一次注入時の圧力管理図(図-16)に示す。

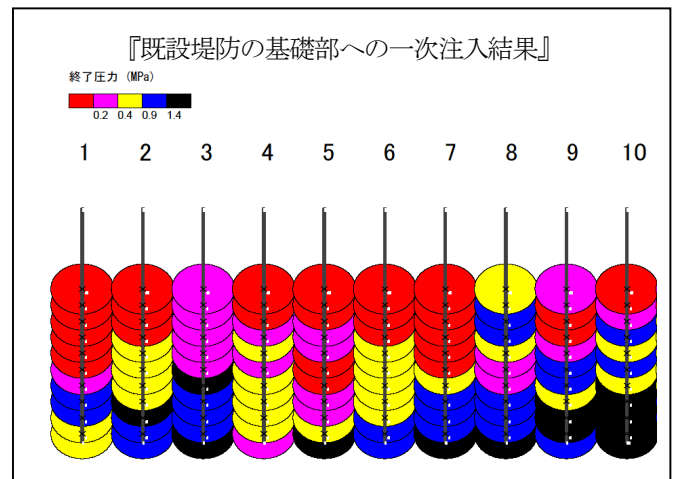


図-16 一次注入の圧力管理図

改良範囲の上部の方は、目標の圧力を満足できなかった。これは、試験施工を行った試験施工3工区と同じく、改良範囲の上部の間隙が大きかった事が管理図から判断できる。今回は、目標である圧力を確保できなかったため追加注入を行った。

【追加注入の結果】

・追加注入時の圧力管理図(図-17)に示す。

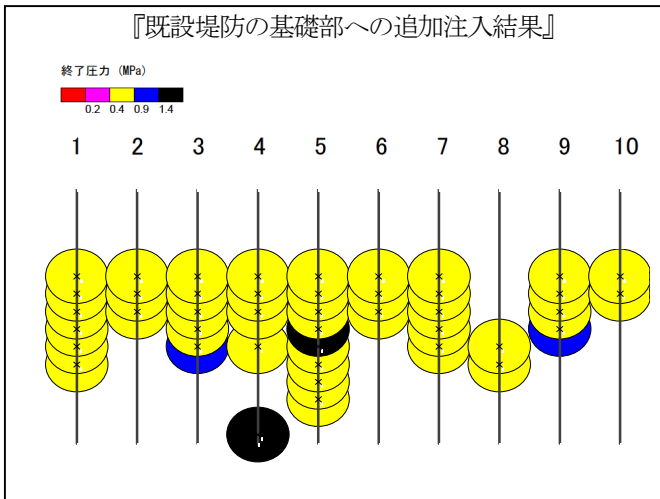


図-17 追加注入の圧力管理図

一次注入時の圧力不足箇所追加注入を行った結果の圧力管理図である。追加注入により、一次注入剤が充填された事が確認できる。この結果から、二次注入を実施する。

### (4-3) 施工 (事後調査ボーリング)

事後調査ボーリングは、事前調査同様に20mピッチにて行い、事前調査孔の近傍とした。

#### 【調査内容】

- ①現場透水試験
  - ・施工前後の現場透水係数の向上比較
- ②一軸圧縮試験
  - ・基準強度の確認
- ③ボーリングコアの確認
  - ・注入状況の確認
- ④改良範囲(幅・深さ)の確認
  - ・改良範囲の端部での調査ボーリングの実施

#### 【調査結果】

##### ①現場透水試験

全箇所にて目標とする透水係数( $k=1 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 以下)を達成した。また、施工前の数値と比較すると平均で「1/500程度」に透水性が低減した事を確認した。現場透水試験結果(図-18)に示す。

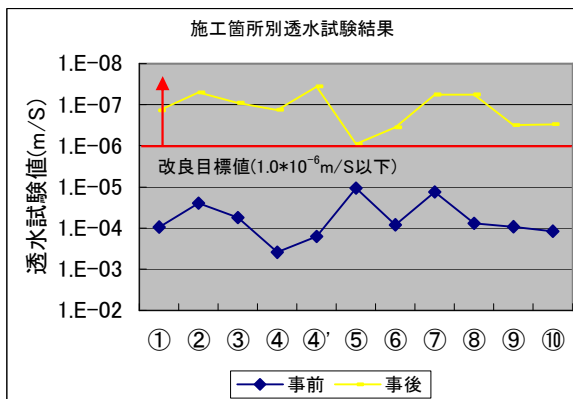


図-18 現場透水試験結果

##### ②一軸圧縮試験

全箇所にて目標値である(1.0N/mm<sup>2</sup>以上)を達成した。下新川海岸は、砂質土・砂レキ質土を多く含んでいるため強度が出やすいと思われる。一軸圧縮試験結果(図-19)に示す。

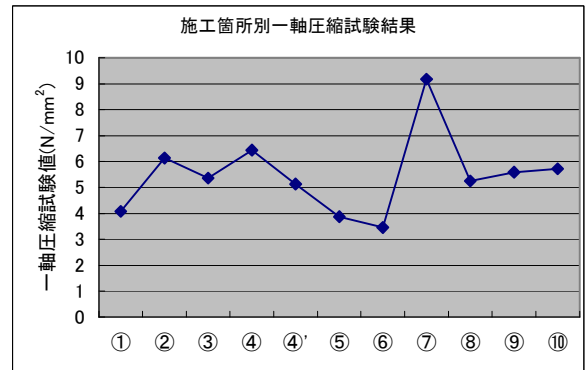


図-19 一軸圧縮試験結果

##### ③ボーリングコアの確認

試薬(フェノールフタレイン)を塗布したボーリングコアからも、薬液注入により地盤改良が確実に行われた(図-20)。

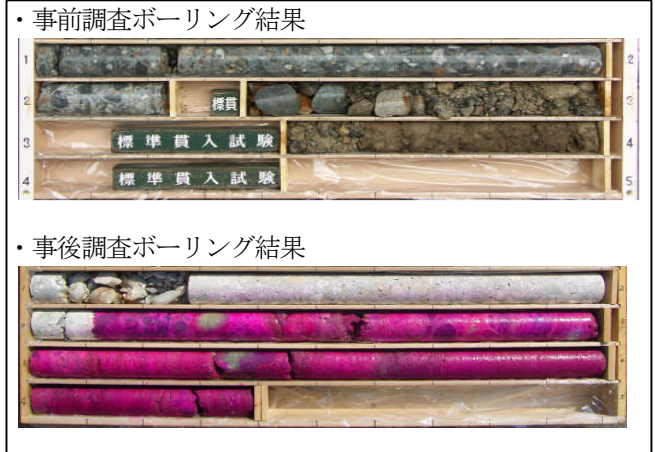


図-20 事前、事後調査ボーリング結果

##### 【一次注入】

上部の砂分が吸い出された大きな間隙部には、一次・追加注入剤(セメントベントナイト)が優勢に充填されている事が分かる(図-21)。



図-21 一次注入剤の充填状況

### 【二次注入】

下部の砂質分が多い小さな間隙部には、注入材(シラクソル、超微粒子系)である二次注入材が確実に充填し、強化されている事が確認できた。

### 【試験施工時からの注入率の変更】

本施工では、一次注入剤の注入率の変更により、確実に間隙の大きい箇所適切に注入できた結果、二次注入剤の効果も向上したものと考えられる。

### ④改良範囲(幅・高さ)の確認

端部ボーリング結果からも、改良範囲を満足できる事を確認した。

## 3.まとめ

下新川海岸における、今回行った空洞化対策の結果を以下に示す。

### (1) 空洞化のメカニズム

- ・堤防基礎部の土砂が、波浪(越波や海岸侵食)により吸い出され空洞化が生じた結果、海岸堤防が倒壊。

### (2) 堤防空洞化対策範囲

- ・改良深  $H = -3.5$  m (標高)
- ・改良幅  $B = 2.0$  m

### (3) 対策工法

- ・薬液注入による固結・安定、注入率 40%  
(一次注入10% 二次注入30%)

### (4) モニタリング

- ・堤防観測孔等からの定期的な観測を実施。

今後は、堤防の危険な箇所の調査を進めると共に、堤防の機能が損なわれないように、早期に対策を実施していくことが重要である。