

# 沖防波堤でのケーソン中詰砂固化工法について

- 沈下した既設ケーソン式混成堤のかさ上げに関して -

原田 智弘\* 明石 良一\*  
定利 朋彦\* 山之口 明\*  
木村 勇人\*

## 要 旨

沈下した既設防波堤の処置に関して、実施工物件を対象とした施工方法の検討を行いその検討結果に基づき防波堤のかさ上げ工事を行うこととなった。その際、既設ケーソンの底版が自重の増加に伴い設計応力を超過するために、ケーソン底版の補強策として平成 12 年度より沖防波堤にて超高压噴射攪拌工法（JSG 工法）を用いてケーソン中詰砂の固化処理にてその対策を行った。その結果、平成 13 年 3 月現在、一部完成部分では防波堤の機能を回復することができた。

本工事では、上部工の嵩上げによる自重の増加に伴い、ケーソン底版の強度が不足するため、薬液注入工法を用いた中詰め砂の固化による補強案が検討された。底版補強の実施にあたり、事前に現地の中詰め砂を用いた室内実験や現地試験施工が実施された。この結果、中詰め砂の固化方法が、当初予定されていた薬液注入工法から噴射攪拌工法に変更された。本報告は、これらの検討結果と底版補強の施工結果について取りまとめたものである。

## 1. はじめに

防波堤がその機能を発揮できなくなるということは、外海からの波のエネルギーを消散または反射それにより港内水域の静穏を維持し、船舶の航行、荷役の円滑化、停泊の安全および港内施設の保全を図るといふ防波堤本来の目的を満足できなくなることを意味する。

既設防波堤の天端が基礎地盤の沈下により水没した場合、既設構造物を撤去して建設をやり直したり、既設防波堤の基礎地盤を改良するという事は経済性等の観点から合理的とは言えない。

石巻漁港西防波堤 区では昭和 50～54 年にかけてケーソン式混成堤による沖防波堤が建設された。石巻漁港の概観を写真 - 1、平面図を図 - 1 に示す。基礎地盤には軟弱なシルト層の 20m 以上に及ぶ堆積が確認されていたが、圧密試験の結果、長期的な沈下に対しても機能を損なうほどの沈下は生じないと予想されたため、サンドコンパクションパイル工法等による基礎地盤の改良は行われなかった。しかしながら、施工直後より防波堤の沈下が始まり、その累計は最大で約 3.0m にも達し、防波堤天端は満潮時に水没し、漁船の航行の安全にも支障をきたしていた。

この結果、防波堤の沈下対策が検討され、防波堤天端のかさ上げを行うこととなった。しかしながら、かさ上げによるケーソン自重の増加に伴い、既設ケーソンの底版応力が設計応力を超過するため、補強策として薬液注入による中詰め砂の固化工法が採用された。本論文は、既設ケーソンの中詰め砂の固化工法に関する検討および施工方法について報告す



写真 - 1 沖防波堤における施工状況

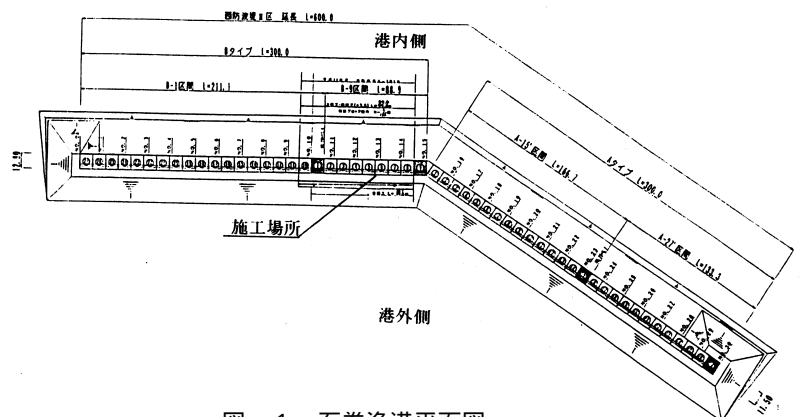


図 - 1 石巻漁港平面図

\*東北支店

るものである。

## 2. 既設ケーソン中詰砂の補強工法選定

### 2.1 室内浸透実験結果

事前検討では、ケーソン中詰砂の固化工法として、超微粒子セメントの注入材を用いた薬液注入工法が予定されていた。このため、事前検討として、現地で中詰砂を採取し、実際の固化薬液を使用した浸透試験を行った。表-1に実験条件を示す。注入材として4つの懸濁型薬液(「スーパーファイン」「ファインハード」「コロイダルスーパー」「シクラソル」と1つの溶液型薬液(「シリカライザー(参考)」)の5種類を対象として選定した。浸透実験では直径5cm、高さ100cmのモールドを使用した。

表-2に浸透試験結果を示す。浸透試験において必要な浸透長は75cmであるが、実験結果では、懸濁型、溶液型のいずれの薬液についても、必要浸透長を大きく下回り、施工不可能と判断された。懸濁型の薬液については図-2の中詰め砂の粒度試験結果より、シルト分以下の粒径の土粒子が10%程度存在するため浸透距離が不足したものと考えられる。また、溶液型に関しても十分な浸透長が得られなかった原因は、薬液のゲル化時間が不足したことが原因と考えられる。このため、施工方法の変更が余儀なくされた。

表-1 実験条件

使用モールド	5×100cm (上下5cmはフィルター層)
砂の密度	2.604g/cm <sup>3</sup>
浸透長	75cm
充填する砂の量	248.4g (注入率46%、充填率100%)
注入圧力	0.05～0.20MPa
配合	350kg/m <sup>3</sup>

表-2 超微粒子セメント浸透試験結果

注入材	浸透長	可否	摘要
スーパーファイン	5cm	NG	懸濁系
ファインハード	3cm	NG	懸濁系
コロイダルスーパー	3cm	NG	懸濁系
シクラソル	5cm	NG	懸濁系
シリカライザー(参考)	4cm	NG	水ガラス系

表-3 海上でのケーソン中詰砂固化工法の比較表(ケーソン1室あたり)

工法	機械攪拌工法 (拡翼式固化工法)	ジェット切削併用 薬液注入工法	超高压噴射攪拌工法 (JSG工法)
施工本数	20本	20本	6本
改良径	1,200mm	1,000mm	2,000mm
改良体強度	10kgf/cm <sup>2</sup>	20kgf/cm <sup>2</sup>	30kgf/cm <sup>2</sup>
工期	9日	14日	3日
特徴	・ゆるい砂質土、軟弱粘土に適用可 ・改良体強度が不足 ・施工機械の重量が大きい	・排泥量が少ない ・工期が長い	・改良体強度が高い ・工期が短い ・排泥量が多い
総合評価	×		

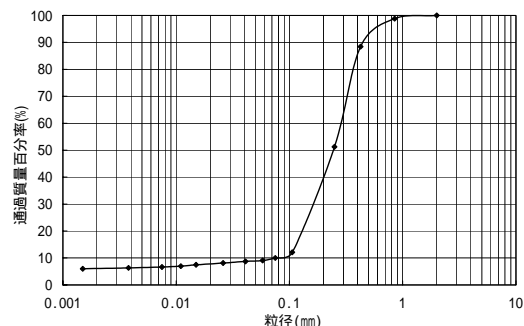


図-2 現地採取中詰砂の粒度試験結果

### 2.2 施工法の検討

薬液注入工法による中詰め砂の改良が不可能と判断されたため、その他の固化工法について施工法の検討を行った。検討を行ったのは、五洋建設で開発を行った拡翼式機械攪拌工法(OOPEN WING)、ジェット切削併用薬液注入工法および超高压噴射攪拌工法の3工法である。

表-3に海上での各工法の比較検討結果を示す。これらの工法では、改良径がそれぞれ異なっており、ジェット切削併用薬液注入工法<拡翼式機械攪拌工法(OOPEN WING)<超高压噴射攪拌工法の順で改良体直径は大きくなっている。また、排泥量で比較した場合、超高压噴射攪拌工法>ジェット切削併用薬液注入工法>拡翼式機械攪拌工法(OOPEN WING)の順で排泥量は少なくなり、排泥処理に関わる費用は少なくなる。

検討時はジェット切削を併用した薬液注入工法も有力な方法ではあった。しかしながら、海上の沖防波堤での施工を考えたとき、改良径が1m程度の工法では、防波堤の上部コンクリートの削孔本数が大きくなり、工期等、施工面で不利なため採用を見送った。

また、拡翼式固化工法では、3工法の中で1m<sup>3</sup>当たりの施工単価は最も安価であったが、以下の2点で採用を見合わせた。

- ・ 回転翼の強度が不足することから固化体のラップが出来ず、底版の補強するために必要な改良体の一体化が出来ない。
- ・ 3工法の中で最も施工機械が大きく、災害時の緊急避難のために比較的大型のクレーン船が常時必要である。

超高压喷射搅拌工法では注入するセメントミルクと中詰砂の砂分が置換されるため排泥が多く発生しその処理のために排泥を台船上の水槽にすべて回収し陸上で処理しなければならなかった。

しかしながら、以下に示す優位点が認められた。

- ・ 改良径が大きいので、削孔本数および削孔長がジェット併用薬液注入工法の1/4ですむ。
- ・ 改良体同士の一体化により十分な強度を得ることが出来る。
- ・ コンクリート削孔径が146mmと他工法に比べて小さい。
- ・ 中詰砂に細粒分を含む本工事での粒度分布でも施工の確実性が高い。



写真 - 2 沖防波堤における施工状況

これらのことを踏まえた上で、本工事では超高压喷射搅拌工法（JSG工法）が採用された。

### 2.3 JSG工法による試験施工結果について

本工事は、すべて海上のケーソンの上での施工となる。固化状況の確認、ケーソン隔壁の損傷、施工日数の短縮、施工費用の削減、排泥処理方法等を検討するために沖防波堤での試験施工を行った。試験施工における中詰砂改良区域図を図-3に示す。また、海上における施工状況を写真-2に示す。

ケーソンは既に蓋コンクリートと暫定上部コンクリートが施工されており、本工法での注入時に、ケーソン内の隔壁内部の圧力上昇が懸念された。このため、搅拌孔とは別途の空気孔の削項が検討されたが、試験施工では、JSG工法による圧縮空気や硬化剤の圧力は注入孔より排出され、ケーソン隔壁には影響を与えないことが確認された。この結果、空気孔の省略が可能となった。

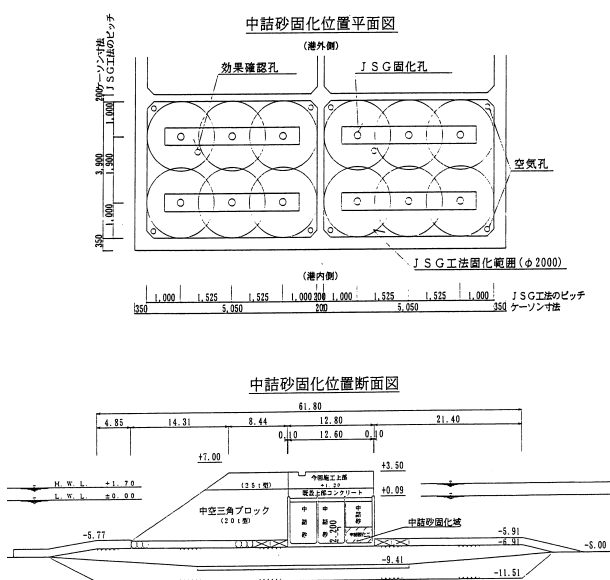


図 - 3 中詰砂固化位置図（平面図・断面図）

### 3. 施工結果と考察

#### 3.1 中詰砂固化後の一軸圧縮強度試験結果

試験施工の結果を踏まえ、本工事の施工計画が決定した。施工計画に基づきケーソン中詰め砂の改良が実施された。本工事における中詰め砂の改良体積は587m<sup>3</sup>、削孔長は817mであり、改良体の厚さは底版より2.2mであった。本工事着工後、約6ヶ月で全改良を終了した。

工事完了後、各隔壁においてボーリングにより供試体の採取を行い、一軸圧縮強度試験を行った。図-4に調査ボーリングコアを採取した位置を示す。写真-3に採取された供試体の代表的な形状を示す。底版より上部2.2mの設計改良厚さ内部で採取された供試体はすべて固結していることが確認された。ただし一部において供試体が崩れているところがあった。これは礫（小石）が混入しているため試料採取時にクラックが入っていたことが確認された。

改良土の目標改良強度は、底版の補強に必要な設計強度は20kgf/cm<sup>2</sup>であったが、安全性を考慮しJSG工法の目標配合強度は30kgf/cm<sup>2</sup>と設定した。

採取された試料の一軸圧縮試験結果を表-4に示す。試験総数は21本であり、改良体積28m<sup>3</sup>あたりに1本の供試体が採取された。

採取試料の一軸圧縮強度は最大で152kgf/cm<sup>2</sup>、最小で28.4kgf/cm<sup>2</sup>、平均強度は73.7kgf/cm<sup>2</sup>であった。ただし、30kgf/cm<sup>2</sup>を下回った供試体は1本のみであり、そのとき

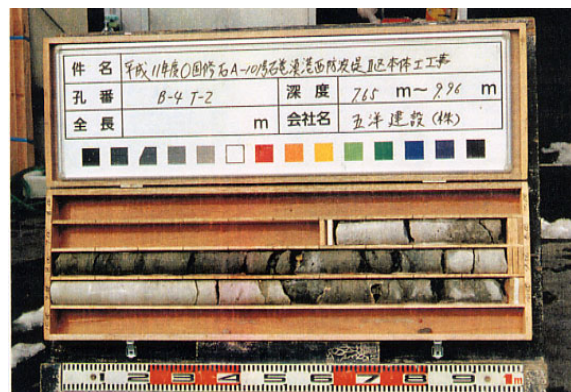


写真 - 3 供試体状況

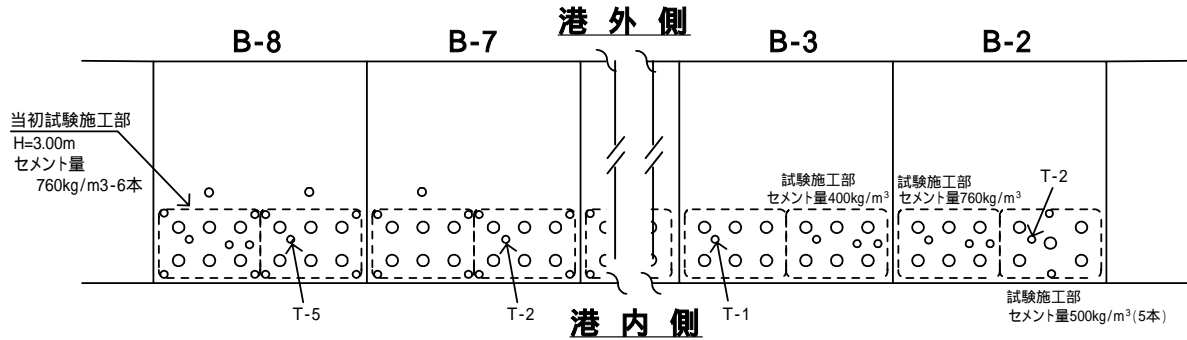


図 - 4 調査ボーリングコア採取位置

の供試体 3 本の平均強度は  $58.7\text{kgf/cm}^2 > 30\text{kgf/cm}^2$  であった。

上記の結果より、中詰砂の固化は改良高、一軸圧縮強度とも計画を上回る結果であることが確認された。

表 - 4 調査ボーリングコア採取強度および密度、造成長測定一覧表

採取場所	材令 (日)	強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	造成長 (m)	概要
B-8 T-5	上	55.7	1.812	2.28	2000.12.26 設計造成長2.20
	中	28.4	1.855		
	下	91.9	1.864		
	平均	58.7	1.844		
B-5 T-1	上	48.6	1.713	2.26	2001.1.5 設計造成長2.20
	中	56.6	1.721		
	下	60.6	1.776		
	平均	55.3	1.737		
B-6 T-2	上	125	1.762	2.26	2001.1.15 設計造成長2.20
	中	151	1.833		
	下	86.6	1.828		
	平均	120.9	1.808		
B-7 T-2	上	152	1.755	2.3	2001.1.17 設計造成長2.20
	中	49.2	1.718		
	下	69.5	1.736		
	平均	90.2	1.736		
B-4 T-2	上	38.2	1.789	2.31	2001.2.14 設計造成長2.24
	中	37.4	1.829		
	下	117	1.929		
	平均	64.2	1.849		
B-3 T-1	上	59.2	1.734	2.25	2001.2.16 設計造成長2.25
	中	82.2	1.931		
	下	58.5	1.891		
	平均	66.7	1.852		
B-2 T-2	上	56.1	1.9	2.33	2001.2.19 設計造成長2.26 試験施工部5本
	中	81.3	1.842		
	下	42.9	1.897		
	平均	60.1	1.88		
		平均73.7	平均1.815	平均2.28	



写真 - 5 施工完了後の堤体全景

### 3.2 かさ上げ工について

本工法を用いて中詰砂の改良を行った後、上部工のかさ上げを実施した。写真 - 4 は施工前の堤体全景、写真 - 5 は施工完了後の堤体全景を示したものである。

本工事では、既設防波堤のかさ上げ時に防波堤の基礎地盤の沈下対策は行わなかった。そのため、かさ上げした防波堤の沈下測量を継続的に行った。その結果、沈下量は上部コンクリート打設完了後約 200 日経過時で最大 31mm であった。基礎地盤の沈下現象は終息していないと思われるが、機能を損なうほどの大幅な沈下は認められなかった。これは事前に検討された沈下量の計算結果とほぼ一致した。これらのことから、本工事によるかさ上げによって、防波堤の機能を長期間にわたって維持できるとされる。

### 4. おわりに

本稿におけるまとめを以下にあげる。

超高圧噴射攪拌工法における既設ケーソンの中詰砂の土粒子分布は、細粒分が約 10% 程度含まれていた。このため原設計であった薬液入工法による中詰砂固化は施工が不可能であることが解った。この結果、超高圧噴射攪拌工法により中詰砂の固化を行った。

超高圧噴射攪拌工法の施工結果は、改良範囲、改良高、一軸圧縮強度結果とも計画を上回る結果を得ることができ、施工目的を達成できた。

### 謝 辞

本稿内の検討結果や記述については、宮城県石巻漁港事務所、本社土木設計部、技術研究所、東北支店土木部、ライト工業株式会社の皆様方より多大なる支援を受けました。この場を借りて深く感謝します。



写真 - 4 施工前の堤体全体