

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE  
OF  
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

**No.1351**      March 2019

ケーソンの穴あき損傷対策としての中詰改良工法の現地実験

川端 雄一郎  
黒木 賢一  
加藤 絵万  
森川 嘉之  
早川 哲史

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,  
Port and Aviation Technology, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. 背景および目的 .....	5
2. 穴あき損傷及び中詰改良に関する既往の検討 .....	5
2.1 中詰改良による対策効果 .....	5
2.2 消波ブロックの衝突による穴あき損傷箇所とその対策範囲 .....	5
3. ケーソンの中詰固化工法に適用可能性のある既存の地盤改良工法の検討 .....	6
4. 現地試験施工による施工性の検討 .....	7
4.1 検討概要 .....	7
4.2 試験施工方法 .....	10
4.3 試験施工結果 .....	10
4.4 試験施工結果まとめ .....	13
5. 施工上の留意点と対応策に関する考察 .....	17
6. まとめ .....	18
謝辞 .....	18
参考文献 .....	18

# **A field-experimental study on solidification of filling material in caisson toward enhanced resistance of caisson against repeated collision of concrete block**

**Yuichiro KAWABATA\***

**Kenichi KUROKI\*\***

**Ema KATO\*\*\***

**Yoshiyuki MORIKAWA\*\*\*\***

**Tetsushi HAYAKAWA\*\*\*\*\***

## **Synopsis**

In breakwaters covered with wave-dissipating blocks, outer RC walls of the caisson may show local failure due to the repeated collision of the blocks. The failure mode is attributable mainly to punching shear failure. Such local failure induces a large hole on the wall, resulting in flow-out of the filling in the caisson. One of the strengthening methods for outer RC walls may be solidification of filling materials in the caisson, which will contribute to the enhanced resistance of outer walls against repeated impact loads as well as anti-flowing-out of filling even in a case that the walls are failed. Execution of such solidification, however, remains unclear, especially in the field.

This paper reports the field experimental result of solidification of fillings in caisson with various solidification methods. Then, the field performance of these solidification methods was investigated through core boring test. The results showed that the performance of solidification strongly depends on the execution methods. The pre-investigation before the execution was also found to be quite important for leading the solidification to more certainty.

**Key Words:** caisson, damage, solidification of filling, field test

---

\* Senior Researcher, Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department  
\*\* Member, Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department  
\*\*\* Head of Group, Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department  
\*\*\*\* Director of Department, Geotechnical Engineering Department  
\*\*\*\*\* Head, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Kanto Regional Development Bureau, Kashima Port and Airport Construction Office  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:kawabata-y@p.mpat.go.jp

# ケーソンの穴あき損傷対策としての 中詰改良工法の現地実験

川端 雄一郎\*・黒木 賢一\*\*・加藤 絵万\*\*\*・森川 嘉之\*\*\*\*・早川 哲史\*\*\*\*\*

## 要 旨

消波ブロック被覆堤では、不安定な状態にある消波ブロックがケーソン側壁に衝突し、穴あき損傷が発生することがある。損傷が発生した場合にケーソン側壁の補強対策や中詰材の流出を防止する対策として中詰改良工法があるが、施工にあたっては、コンクリートの削孔を伴う点や改良状況の確認が困難な中での施工となるなど留意する必要があるものの、各種中詰改良工法の施工性、特に実構造物レベルでの検討はこれまでない。

本検討では、同一条件下における現地試験施工を実施し、施工確実性等の観点から中詰改良工法の施工性について検討を行った。本試験施工条件下においては、工法によって改良完成率が異なり、中詰改良の実施における留意点を確認した。

キーワード：ケーソン、穴あき損傷、中詰改良、現地試験施工

---

\* 構造研究領域 構造研究グループ主任研究官

\*\* 構造研究領域 構造研究グループ依頼研修員（株式会社日本港湾コンサルタント）

\*\*\* 構造研究領域 構造研究グループ長

\*\*\*\* 地盤研究領域長

\*\*\*\*\* 国土交通省 関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 e-mail:kawabata-y@p.mpat.go.jp



## 1. 背景および目的

消波ブロック被覆堤では、不安定な状態にある消波ブロックが波浪によって動揺してケーソン側壁に衝突し、穴あきが発生することがある<sup>1)</sup>。側壁が損傷した場合、穴あき部からケーソン柵内の中詰材が外部へ流出して堤体の自重が低下し、ひいては防波堤本体の安定性に影響を及ぼすことに繋がるため、防波堤としての安定性の観点から側壁の損傷に対する抵抗性の確保は重要となる。これまで防波堤設計で考慮されていなかったケーソン側壁に発生する消波ブロックの衝突力については、平成30年5月に発刊された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>2)</sup>において、「消波ブロック被覆堤では、消波ブロックがケーソン側壁に繰り返し衝突し、穴あきに至る局部破壊が発生する場合がある。文献12)<sup>3)</sup>では、ケーソン側壁の局部破壊に対する設計・照査方法が示されており、参考にすることができる。」という記述が追加された。

ケーソン側壁の耐衝撃性については、上記のとおり照査手法が提案されており、新設構造物では耐衝撃性に優れるケーソン側壁の設計も可能になっている。一方、既設構造物が照査を満足しない場合には、側壁の補強が必要となる場合もある。ケーソン側壁への消波ブロックの衝突に対する対策として、柵内の中詰材を原位置固化もしくは固化処理材に置き換える中詰改良工法が適用されつつある。

ここで、中詰改良工法としては、新設時または供用中の施設を損傷前に対策する予防保全、損傷後に補修または補強する事後保全がある。このうち事後保全については、既往文献<sup>4)</sup>でひび割れ注入工法や袋詰コンクリート工法といった損傷の程度に応じた対策工法の検討がなされているものの、予防保全に対しては検討が少ない。施工の観点では、事後保全は中詰材を改良して補強するだけでなく、損傷した側壁の鋼板や袋詰コンクリートなどによる補修・補強対策も実施する必要があるため、場合によっては消波工の撤去、据え直しを伴い、工期・コスト面からも大規模な工事となる可能性がある。一方、予防保全については、実施項目としては中詰材の改良がメインとなり、消波工の撤去等を伴わないため、原位置改良、置換改良ともに事後保全に比べて工種の少ない対策となる。しかしながら、予防保全による対策であっても、上部コンクリート及び蓋コンクリートの削孔などを伴い、また、中詰改良時には柵内部の改良状況の確認が困難な中での施工となるなど施工性については留意する必要がある。

このように、防波堤ケーソンの中詰改良については、

施工性の確保が重要となるものの、各種中詰改良工法の施工性についてはこれまで検討されていない。また、中詰改良による見掛け上の部材補強や中詰流出防止対策といった改良目的の考え方、改良範囲や改良強度などの各種条件の考え方は様々ある。設計手法については現時点で構築されていないものの、今後、中詰改良工法によるケーソン側壁の補強設計手法が確立された際には、施工が確実に実施されることが前提となるため、補強の対象とするケーソンの現場条件を踏まえてより確実な補強を実現できる工法選定がポイントとなる。

そこで本検討では、中詰改良に適用可能と考えられる工法について、同一条件下における現地試験施工を実施し、施工確実性等の観点から中詰改良工法としての施工性について検討を行った。

## 2. 穴あき損傷及び中詰改良に関する既往の検討

### 2.1 中詰改良による対策効果

中詰改良工法として適用可能な工法は種々考えられるが、過去に高圧噴射攪拌工法による中詰材の部分固化を想定した試験体を作製し、静的载荷及び動的载荷試験が実施されている<sup>5)</sup>。図-2.1に示す静的载荷試験における荷重と変位の関係によると、改良体ありの場合では、1.5倍以上の耐力向上が確認されており、図-2.2に示す動的载荷試験では、同一荷重における変位について、改良体があるものは小さく、破壊までの衝突回数が増加することが報告されている<sup>5)</sup>。一方、これらの効果を定量的に評価できる手法は確立されておらず、中詰改良による補強効果に対する設計法は十分に検討されていない。

### 2.2 消波ブロックの衝突による穴あき損傷箇所とその対策範囲

中詰改良を必要とするのは、消波ブロックの衝突によってケーソン側壁に穴あき損傷が発生する可能性のある施設である。ケーソン側壁に穴あきを発生させる消波ブロックの衝突パターンとしては、図-2.3に示すように消波ブロックが前後に繰り返し運動を行うロッキング衝突、隙間にブロックが転落する転落衝突、上段付近の消波ブロックが波力や流れにより水平に移動する水平移動衝突の3パターンに分類できるとされている<sup>4)</sup>。また、図-2.4に示すように消波ブロックの被覆範囲が変化する区間が存在する場合には、転落やロッキングなどによって海面付近でなくても消波ブロックの衝突が発生する可能性がある<sup>6)</sup>。このような防波堤ケーソン側壁の損傷については、突発的かつ点的に発生することが多く、損傷発生箇所や時期を想定することが難しい。したがっ

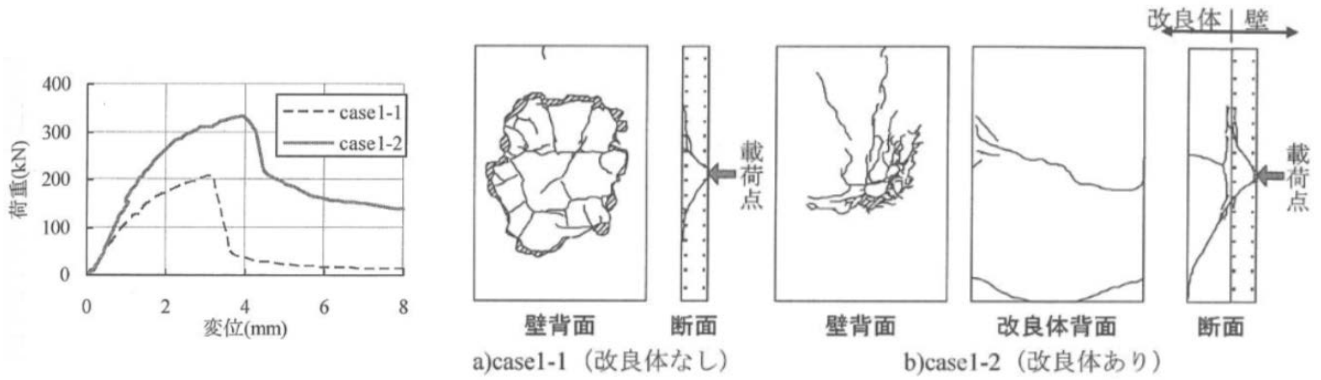


図-2.1 静的載荷試験結果（左：変位－荷重 右：背面及び断面のひび割れ状況）<sup>5)</sup>

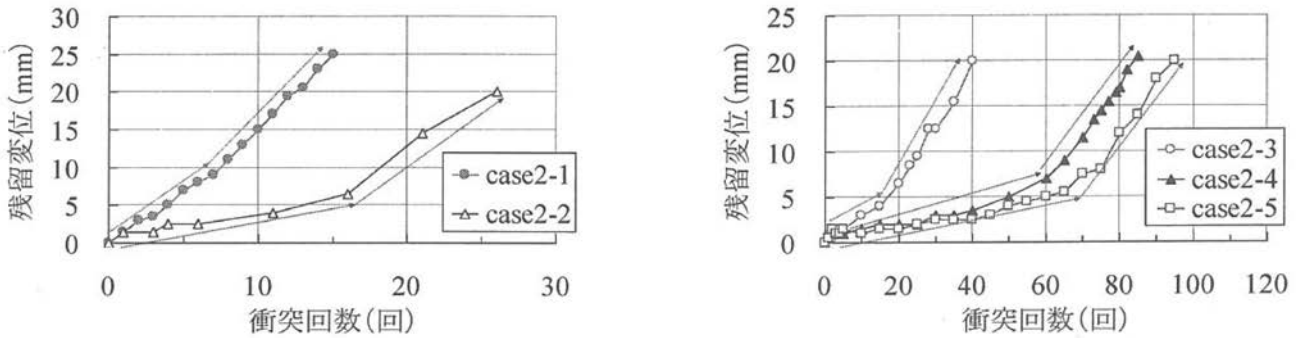


図-2.2 動的載荷試験結果（衝突回数－残留変位）<sup>5)</sup>

表-2.1 動的載荷試験ケース

ケース	衝突速度(m/s)	改良厚(mm)
case2-1	2.0	--
case2-2		200
case2-3	1.5	--
case2-4		200
case2-5		300

て、中詰改良工法はケーソン側壁の穴あき損傷が同一施工区間に多く発生している場合や、類似の防波堤で多く発生している場合など、過去の損傷事例から対象ケーソンにおいて施工中あるいは供用期間中に穴あき損傷が発生する可能性が高く、穴あき損傷が防波堤の性能に及ぼす影響は大きいと想定される場合に適用するとよいとされている<sup>7)</sup>。

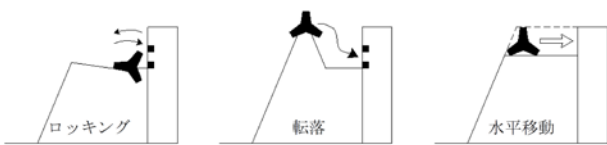


図-2.3 消波ブロックとケーソンの衝突パターン

### 3. ケーソンの中詰固化工法に適用可能性のある既存の地盤改良工法の検討

中詰改良工法には、港湾施設の地盤改良で実績のある工法が適用可能であると考えられる。一方、ケーソンの中詰改良を実施するに当たっては、以下の条件に見合う工法を選定する必要がある。

- 1) ケーソン部材（側壁や隔壁）に対して振動や機械の干渉などの影響が少ない工法であること。
- 2) 防波堤上の狭隘なスペースでも施工可能な工法であること。
- 3) 中詰材の強度を向上させる工法であること。

港湾施設で用いられている地盤改良工法としては、港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>8)</sup>に示されている工法が参考にできる（表-3.1）。これらは工法の基本原理別に6

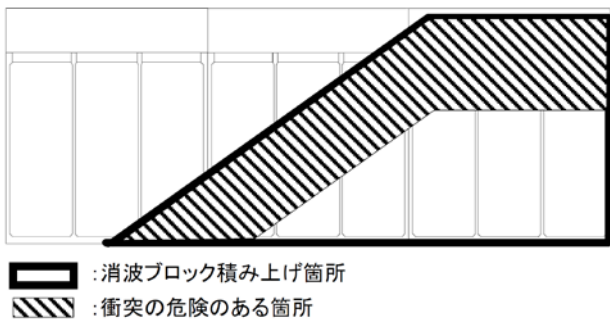


図-2.4 衝撃力が作用するおそれのある範囲

種類に分類されている。ここでは、それぞれの工法原理を基に、前述した条件への適用性を整理し、ケーソンの中詰固化工法に適用可能性のある既存の地盤改良工法を検討した。

(1) 置換

一般的には軟弱な粘性土を良質な砂質土に置き換える工法として用いられるが、本検討では、中詰材を撤去し強度の高い固化材に置き換える工法（中詰砂置換工法）として検討を実施する。

(2) 排水

バーチカルドレーン工法、グラベルドレーン工法などが挙げられるが、工法原理が改良目的と一致しないため、適用は難しいと考えた。

(3) 圧縮

SCP工法、CPG工法、静的締固めなどが挙げられるが、改良の際に側壁、隔壁に損傷を与える可能性があるため、適用は難しいと考えた。

(4) 化学的固化

深層混合処理工法、薬液注入工法などが挙げられる。深層混合処理工法では、機械攪拌工法は①側壁・隔壁への攪拌翼の干渉が懸念される、②比較的施工機械が大きいといった理由により現状では適用が難しいと考え、高圧噴射攪拌工法を選定した。

(5) 熱処理

熱処理として、凍結工法が挙げられる。凍土壁の造成により改良体強度の確保は期待できるが、施設の供用中に継続的な凍結管理を実施する必要があるため、適用は難しいと考えた。

(6) 補強

補強には補強土工法が挙げられるが、一般的にのり面や盛土直下の安定、堤体への土圧軽減を目的とした工法であるため、適用は難しいと考えた。

以上から、本検討では防波堤ケーソンの中詰改良工法として、中詰砂置換工法、高圧噴射攪拌工法、薬液注入工法が適用可能性のある工法と考えた。次章では、抽出したこれらの工法の施工性について、現地試験施工で確認した。

表-3.1 地盤改良工法一覧

基本原理	工法名	備考	
置換	置換工法	爆破置換・強制置換を含む	
排水	フルローディング工法・サーチャージ工法 バーチカルドレーン工法 真空圧密工法	主として粘性土の排水による圧密効果に期待	
	地下水位低下工法(ウエルポイント工法、ディープウエル工法)		主として砂質土の排水による水位低下に力点が置かれるが、圧密荷重の増大にも利用される
圧縮	間隙水圧消散工法	液状化対策	
	サントコンパクションバイブル工法 ロードコンパクション工法 パイプフロートーション工法 重錘落下締固め工法 静的締固め工法	砂質土、粘性土ともに適用される 砂質土の密度増大、転圧も含む	
化学的 固化	深層混合処理工法 浅層混合処理工法	路盤材料の改良を含む 路盤材料の改良を含む 土取り場から採取した土を良質な地盤材料に改良し、埋立材や裏埋材等に活用	
	事前混合処理工法 軽量混合処理工法 管中混合固化処理工法		
	高圧噴射攪拌工法 薬液注入工法 生石灰積工法		
	熱処理		杭体の固化を期待する場合 一時的な固化が主流
	凍結工法		凍結工法
補強	補強土工法(シート工法、ネット工法ほか)	敷そば、ロープネット等も含む	

4. 現地試験施工による施工性の検討

4.1 検討概要

(1) 施設概要

今回、中詰改良工法の現地試験施工を実施したのは、鹿島港外港地区南防波堤（総延長4,300 m）のEb区工区～G

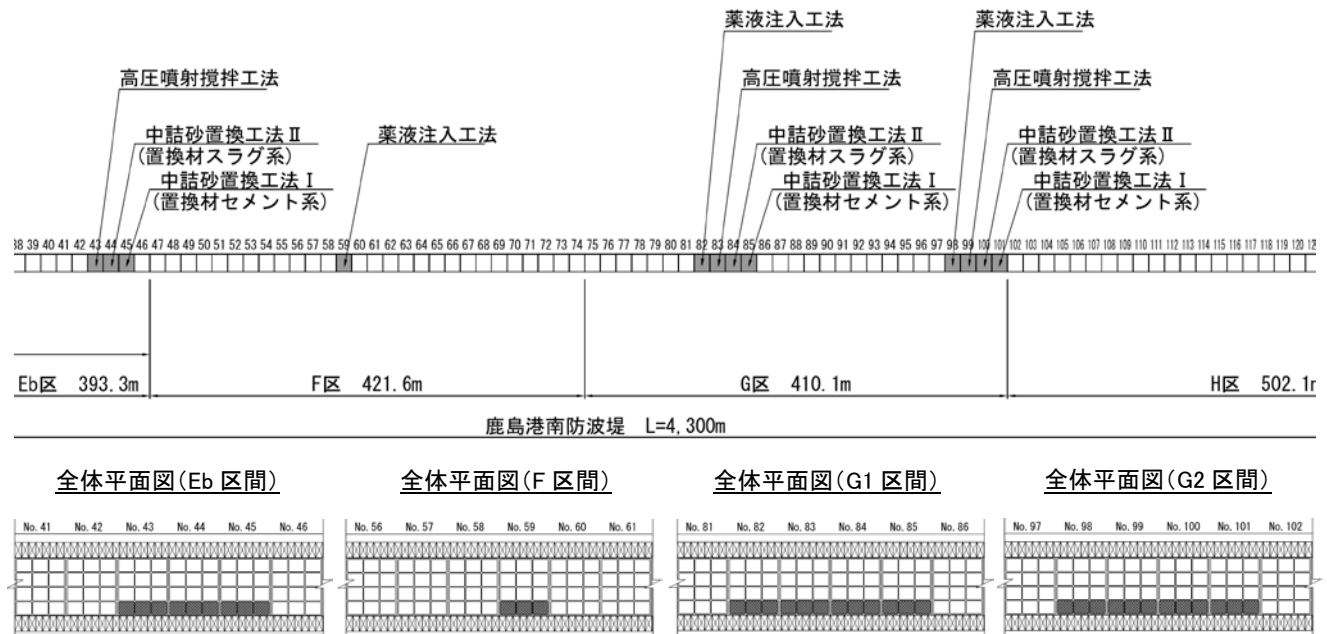


図-4.1 施工対象平面図



工区である。図-4.1に施工対象平面図を示す。

(2) 中詰材

図-4.2に中詰材の粒度試験結果を示す。対象施設のケーソン中詰材として使用されているのは浚渫土砂であるが、細粒分含有率は平均で2~3%程度、最大で5%程度であり、粗礫から細砂が多くを占めている土質条件であるため、砂質土として扱った。

(3) 目標改良強度

中詰改良体の目標強度は3.0 N/mm<sup>2</sup>とした。なお、中詰砂置換工法については、現地の改良体強度が室内配合試験強度よりも低下するため、「事前混合処理工法技術マニュアル」<sup>9)</sup>を参考に割増率を2.5と設定し、室内配合試験強度が7.5 N/mm<sup>2</sup>以上となる配合を選定した。また、薬液注入工法も同様に、「浸透固化処理工法技術マニュアル」<sup>10)</sup>を参考に割増率を2.0 (=η/κ)と設定し、室内配合試験強度が6.0 N/mm<sup>2</sup>以上となる配合を選定した。

表-4.1 改良体強度の割増率<sup>7)</sup>

目的	割増係数 α
液状化防止のみ	2.0
土圧軽減	2.5

$$q_{uL} = q_{uck} \frac{\eta}{\kappa} \quad \dots \text{式 (1)}$$

- q<sub>uL</sub> : 配合目標強度 (kN/m<sup>2</sup>)
- q<sub>uck</sub> : 設計基準強度の特性値 (kN/m<sup>2</sup>)
- κ : 強度発現率 (0.6)
- η : 現場割増係数 (1.2)

(4) 中詰改良想定図

各工法におけるケーソン中詰改良の想定断面図、想定平面図、配合表の一覧を表-4.2に示す。なお、中詰砂置換工法については、固化材の配合を変えた (I: 高炉セメント100%, II: 高炉セメント20%+高炉スラグ微粉末80%) 2ケースを実施するものとした。

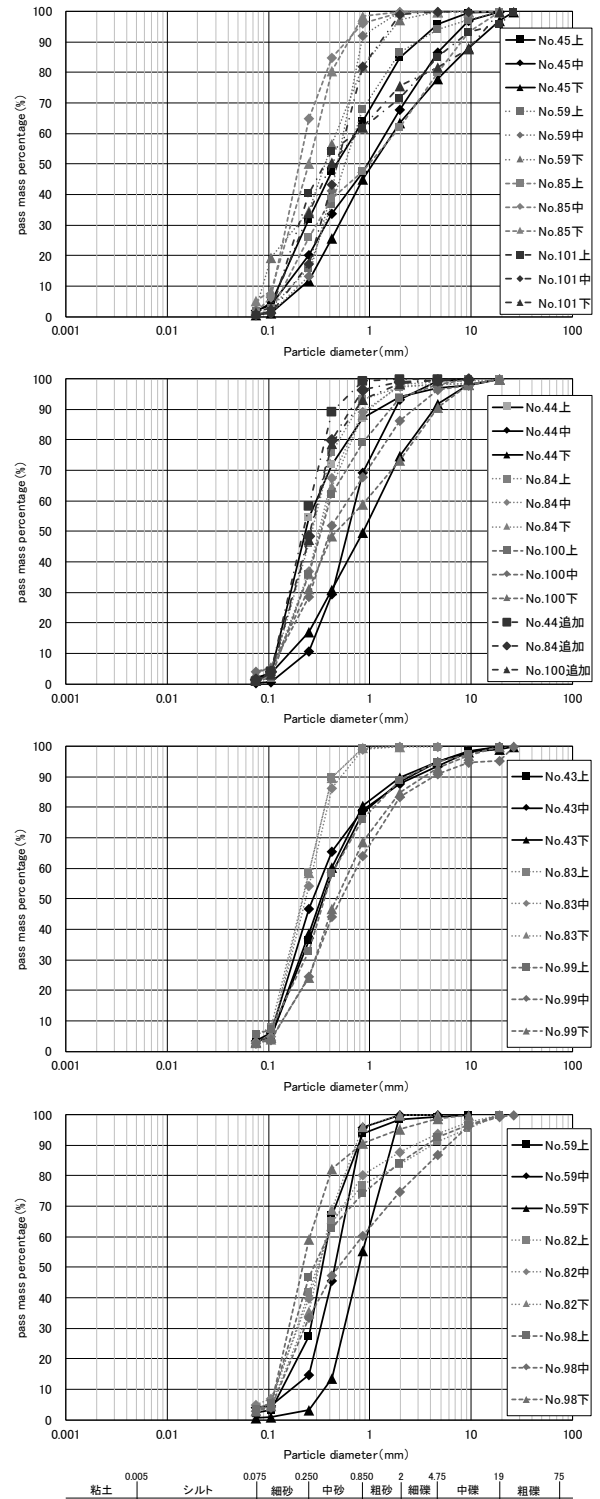


図-4.2 中詰砂粒度試験結果

表-4.2 改良断面図及び平面図，配合表一覧

工法	中詰置換工法 I				中詰置換工法 II																																						
断面図	港外側				港外側				港内側																																		
平面図																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">セメント 添加量 (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th rowspan="2">改良材 含水比 (%)</th> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>中詰砂 (kg)</th> <th>固化材 (高炉セメント) (kg)</th> <th>海水 (kg)</th> <th>流動化剤 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>550.0</td> <td>17.2</td> <td>1372.1</td> <td>550.0</td> <td>330.5</td> <td>2.75</td> </tr> </tbody> </table>				セメント 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				中詰砂 (kg)	固化材 (高炉セメント) (kg)	海水 (kg)	流動化剤 (kg)	550.0	17.2	1372.1	550.0	330.5	2.75	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">固化材 添加量 (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th rowspan="3">改良材 含水比 (%)</th> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">固化材</th> <th rowspan="2">中詰砂 (kg)</th> <th rowspan="2">海水 (kg)</th> <th rowspan="2">流動化剤 (kg)</th> </tr> <tr> <th>高炉スラグ微粉末 (kg)</th> <th>セメント アルカリ刺激剤 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>600.0</td> <td>17.4</td> <td>480.0</td> <td>120.0</td> <td>1300.4</td> <td>330.6</td> <td>3.00</td> </tr> </tbody> </table>				固化材 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				固化材		中詰砂 (kg)	海水 (kg)	流動化剤 (kg)	高炉スラグ微粉末 (kg)	セメント アルカリ刺激剤 (kg)	600.0	17.4	480.0	120.0	1300.4	330.6
セメント 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																									
		中詰砂 (kg)	固化材 (高炉セメント) (kg)	海水 (kg)	流動化剤 (kg)																																						
550.0	17.2	1372.1	550.0	330.5	2.75																																						
固化材 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																									
		固化材		中詰砂 (kg)	海水 (kg)	流動化剤 (kg)																																					
		高炉スラグ微粉末 (kg)	セメント アルカリ刺激剤 (kg)																																								
600.0	17.4	480.0	120.0	1300.4	330.6	3.00																																					
工法	高圧噴射攪拌工法				薬液注入工法																																						
断面図	港外側				港外側				港内側																																		
平面図																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>固化材 (高炉セメント) (kg)</th> <th>混和剤 (リゲニンスルホン酸塩系) (kg)</th> <th>海水 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>760.0</td> <td>12.0</td> <td>762.2</td> </tr> </tbody> </table>				配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)			固化材 (高炉セメント) (kg)	混和剤 (リゲニンスルホン酸塩系) (kg)	海水 (kg)	760.0	12.0	762.2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>主材 (kg)</th> <th>促進剤 (kg)</th> <th>混和剤 (ナフタリンスルホン酸塩系) (kg)</th> <th>海水 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>350.0</td> <td>40.0</td> <td>2.0</td> <td>885.8</td> </tr> </tbody> </table>				配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				主材 (kg)	促進剤 (kg)	混和剤 (ナフタリンスルホン酸塩系) (kg)	海水 (kg)	350.0	40.0	2.0	885.8														
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																											
固化材 (高炉セメント) (kg)	混和剤 (リゲニンスルホン酸塩系) (kg)	海水 (kg)																																									
760.0	12.0	762.2																																									
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																											
主材 (kg)	促進剤 (kg)	混和剤 (ナフタリンスルホン酸塩系) (kg)	海水 (kg)																																								
350.0	40.0	2.0	885.8																																								

## 4.2 試験施工方法

### (1) 施工手順

試験施工フローを図-4.3に示す。

中詰改良に先立って事前ボーリング、上部コンクリート及び蓋コンクリートの削孔を実施した。削孔径については、中詰砂置換工法I及びIIはサンドポンプ及びジェットノズル、コンクリートポンプを挿入するためφ1,000 mm、高圧噴射攪拌工法及び薬液注入工法はロッドの挿入のみであるため、それぞれφ200 mm、φ150 mmとした。中詰改良実施後は、事後ボーリングによって改良体の造成状況を確認し、最後に上部コンクリート及び蓋コンクリートを復旧した。なお、薬液注入工法については、海上及び陸上施工それぞれで試験施工を実施した。

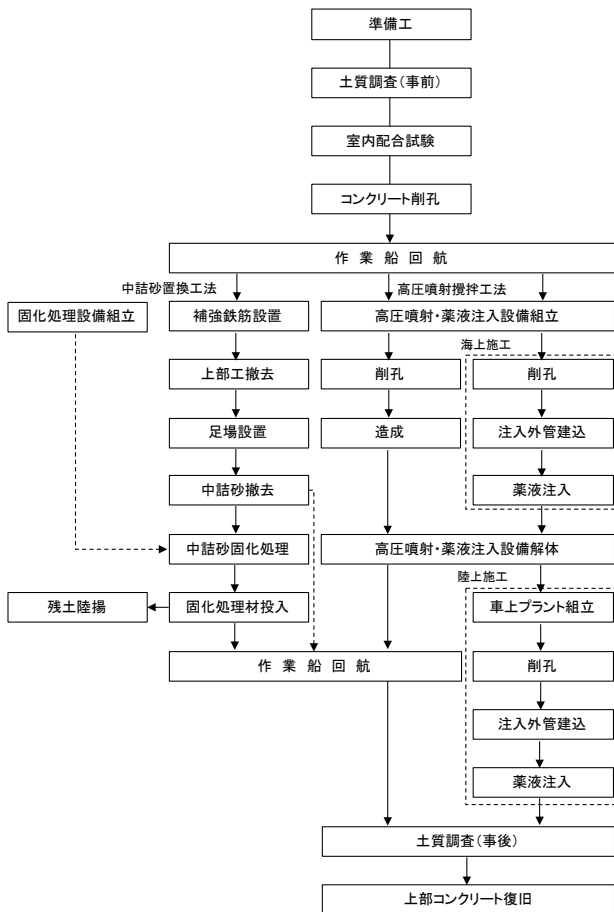


図-4.3 施工フロー図

### (2) 中詰改良方法

各工法の施工概要図を図-4.4に示す。

中詰砂置換工法I及びIIは、クレーン付き台船によってジェットノズル付水中ポンプを吊上げて開口部に挿入し、ジェットにて崩した中詰砂を吸引撤去した。撤去した中詰砂は、土運船に送り、バックホウを用いて台船上の土

砂ホッパーに取り込んで異物を除去し、ベルトコンベアで二軸強制練ミキサに供給した。固化材（セメント、高炉スラグ）は、セメントサイロから同様にミキサに供給し、練混ぜ水として水中ポンプでくみ上げた海水を使用し、これらを二軸強制練りミキサによって混練した。混練した固化処理材は、定置式のコンクリートポンプを用いて、ケーソン内へ底面より打設して改良体を造成した。

高圧噴射攪拌工法は、ロータリー式ボーリングマシンに多重管ロッド（φ60.5 mm）をジョイントしながら所定深度まで削孔し噴射テストを実施した。その後、所定の引上げ速度及びノズルの回転により改良体の造成を行った。

薬液注入工法は、注入外管内にダブルバッカーを装置した注入ロッド（注入内管）を建て込み、ステップアップ方式（1step=33 cm）にて注入を行い改良体を造成した。

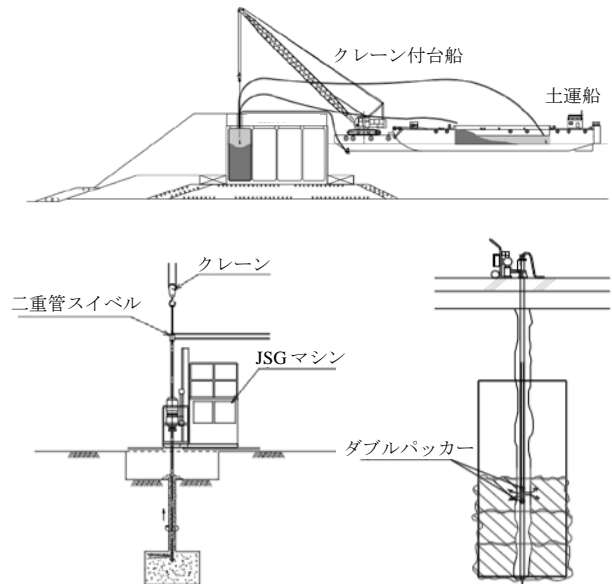


図-4.4 施工概要図

(上：中詰砂置換工法 I 及び II)

(左下：高圧噴射攪拌工法 右下：薬液注入工法)

### 4.3 試験施工結果

試験施工結果は、事後ボーリングにより確認した。なお、改良完成率(%)は「改良完成深度/改良計画深度×100」により算出した(図-4.5)。改良完成部とは、改良がまばら及び未改良部を除く固結良好部とし、改良計画深度は、事後ボーリング総掘進長から上部コンクリート厚さ及び蓋コンクリート厚さを減じた深度とした。

#### (1) 中詰砂置換工法 I

当工法は、中詰材を撤去して改良材へと置き換えるため、改良完成率は100%であり、施工確実性の高い工法で

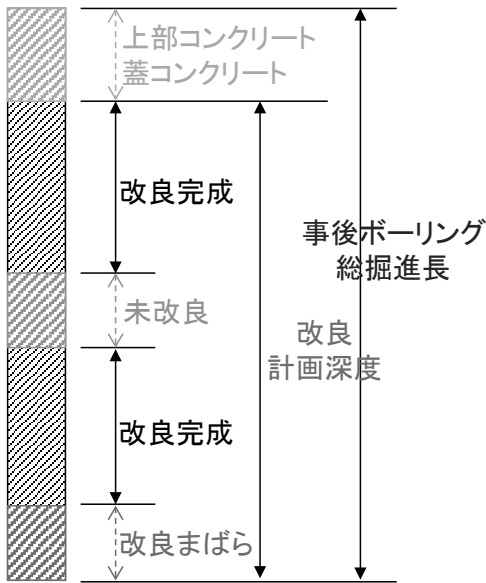


図-4.5 改良完成率の算出イメージ

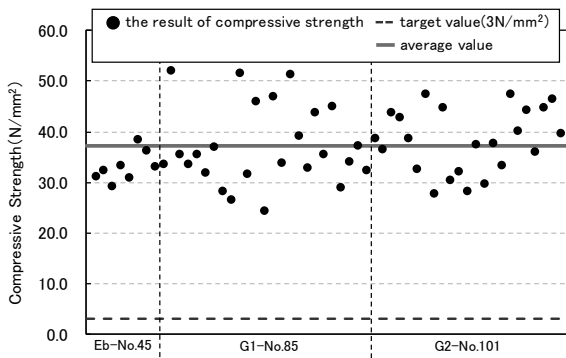


図-4.6 圧縮強度試験結果(中詰砂置換工法Ⅰ)

あった。図-4.6に示す事後ボーリングで採取した試料による圧縮強度試験結果については、平均値で34.5 N/mm<sup>2</sup> (上部), 39.8 N/mm<sup>2</sup> (下部) となり、圧縮強度の変動係数は、21.4% (上部), 19.6% (下部) となった。

(2) 中詰砂置換工Ⅱ

当工法についても、中詰砂置換工法Ⅰと同様、改良完成率は100%であった。図-4.7に示す圧縮強度試験結果については、平均値で12.7 N/mm<sup>2</sup> (上部), 14.4 N/mm<sup>2</sup> (下部) となった。また、圧縮強度の変動係数が30.2% (上部), 23.2% (下部) となり、中詰砂置換工法Ⅰに比べて若干ばらつきが大きい結果となった。中詰砂置換工法Ⅲは、供試体の湿潤密度が小さくなっていることから、海水の混入量が多くなった可能性があると考え、固化材の種類による影響ではないものと考えた。なお、下部が上部よりも変動係数が小さく、強度が大きい傾向を示しているが、これは投入した改良材の上載荷重による影響で下部の改良体が締まり、下部の改良体が均質になったためと考え

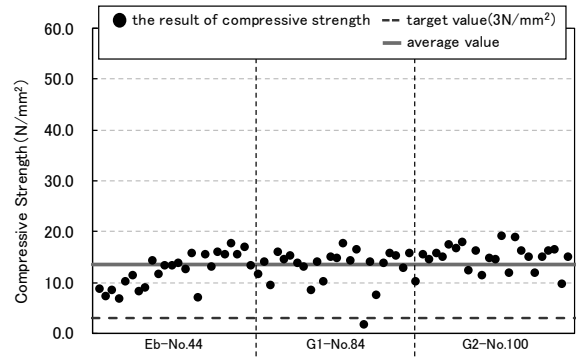


図-4.7 圧縮強度試験結果(中詰砂置換工法Ⅱ)

表-4.3 事後ボーリング供試体湿潤密度

工種	対象箇所	配合密度 (g/cm <sup>3</sup> )	供試体湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )
中詰砂置換工法Ⅰ	事後ボーリング上部	2.255	2.208
	事後ボーリング下部		2.215
	事後ボーリング平均		2.212
中詰砂置換工法Ⅱ	事後ボーリング上部	2.234	2.143
	事後ボーリング下部		2.183
	事後ボーリング平均		2.163

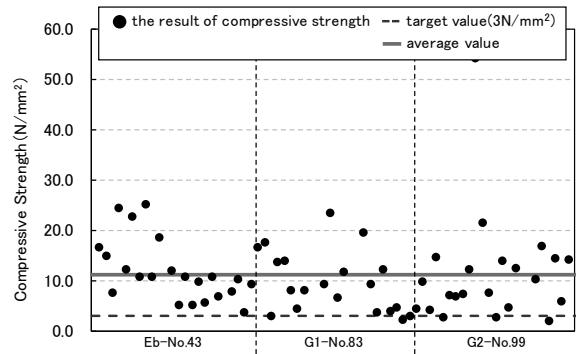


図-4.8 圧縮強度試験結果(高圧噴射攪拌工法)

られる。

(3) 高圧噴射攪拌工法

図-4.14に高圧噴射攪拌工法の試験施工結果を示す。

No.43ケーソンの改良完成率は65%であり、図-4.8に示す圧縮強度試験結果については、平均値として上部で8.0 N/mm<sup>2</sup>, 下部で14.2 N/mm<sup>2</sup>となった。また、圧縮強度の変動係数が71.0% (上部), 69.1% (下部) となった。高圧噴射攪拌工法については、事後ボーリングによって未改良部分が確認された(写真-1)。中詰砂が自立性の低い土質条件であったため、固化が認められなかった箇所では噴射切削が阻害されるとともに、ロッド周辺の孔壁の崩壊により、固化材の噴射も阻害されるジャミングが生じたものと考えられる(図-4.9)。このため、No.43ケーソンの試験施工を実施したNo.83及びNo.99ケーソンについては、施工性の改善を目的として表-4.4のように施工条件(Case1~Case4)を変更した。図-4.13のとおり、No.83

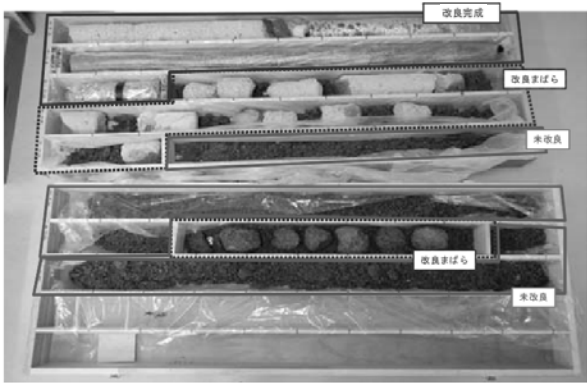
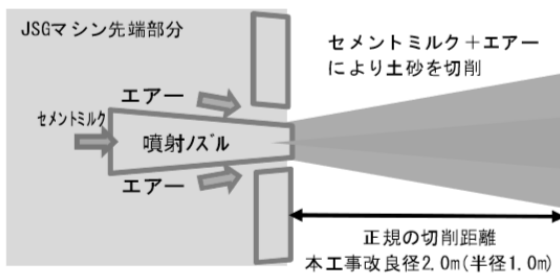


写真-1 No. 43 ケーソン C2 事後ボーリングコア

通常時の噴射ノズル先端部切削イメージ



本施工時の想定切削イメージ

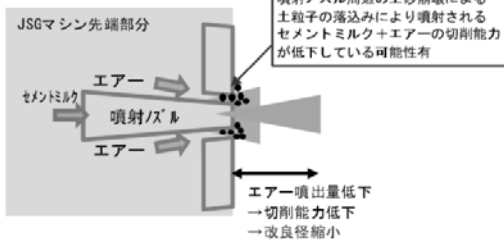


図-4.9 噴射ノズル先端部切削イメージ

ケーソンは、事後ボーリングB1・B4を除けば平均改良率は90%となった。ただし、施工条件を変更した場合であっても改良率の大幅な改善は見られず、回転数を落としたものについては改良率が下がる結果となった。ケーソン毎の改良率を比較すると、粒径が最も小さいNo.83ケーソンで改良率が高く、粗粒分の多いNo.99ケーソンにおいて改良率が低い。この結果より、粒径1mm未満の均一な砂であれば改良完成率は確保できるが、改良完成率を100%とすることは困難で、玉石・礫分等の混入によるジャミングを改善するには至らなかったと考えられる。

(4) 薬液注入工法

図-4.15に薬液注入工法の試験施工結果を示す。改良完成率については、他工法と比較して非常に小さい値（全体平均16%）であった。図-4.10に示す圧縮強度試験結果

表-4.4 高圧噴射攪拌工法 施工条件一覧

No.83ケーソン施工仕様		現仕様	CASE1	CASE2	CASE3
圧縮空気吐出量 (コンプレッサー)	50PS最大吐出5m <sup>3</sup> (実測2m <sup>3</sup> /分程度) (技術マニュアル仕様 1.5~3.0m <sup>3</sup> /分)	○		○	
	100PS最大吐出11m <sup>3</sup> (実測2.5m <sup>3</sup> /分程度) (技術マニュアル仕様 1.5~3.0m <sup>3</sup> /分)		○		○
回転数	5回転/分 (技術マニュアル仕様 10回転/分以下)	○	○		
	3回転/分(低回転) (技術マニュアル仕様 10回転/分以下)			○	○

No.99ケーソン施工仕様		現仕様	CASE1	CASE2	CASE4
圧縮空気吐出量 (コンプレッサー)	50PS最大吐出5m <sup>3</sup> (実測2m <sup>3</sup> /分程度) (技術マニュアル仕様 1.5~3.0m <sup>3</sup> /分)	○		○	
	100PS最大吐出11m <sup>3</sup> (実測2.5m <sup>3</sup> /分程度) (技術マニュアル仕様 1.5~3.0m <sup>3</sup> /分)		○		○
回転数	5回転/分 (技術マニュアル仕様 10回転/分以下)	○	○		
	3回転/分(低回転) (技術マニュアル仕様 10回転/分以下)			○	
	8回転/分(高回転) (技術マニュアル仕様 10回転/分以下)				○

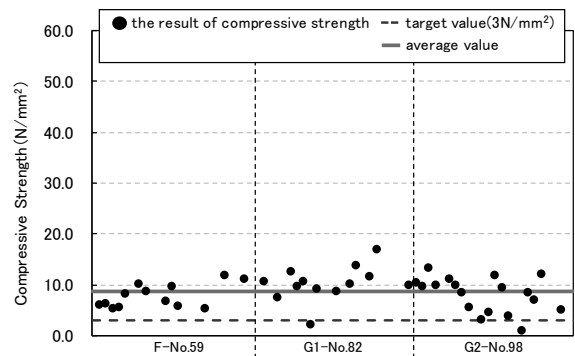


図-4.10 圧縮強度試験結果（薬液注入工法）

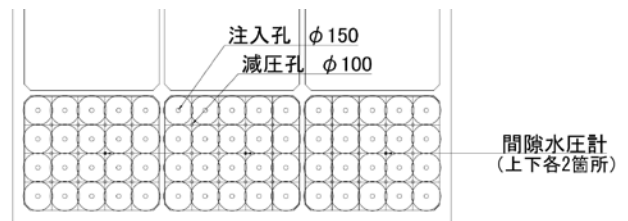


図-4.11 減圧孔、間隙水圧計設置位置

については、平均値で8.0N/mm<sup>2</sup>（上部）、9.7N/mm<sup>2</sup>（下部）となり、圧縮強度の変動係数が54.1%（上部）、28.5%（下部）となった。また、改良時の間隙水圧を測定するため、間隙水圧計を土被り厚4m（上）、土被り厚8m（下）の深度で各柵2箇所設置した（図-4.11）。対象施設の中詰砂の粒度試験結果からは、細粒分が少なく、計画段階では注入材料の浸透に適した土質と考えられていたが、試験施工において、間隙水圧の上昇が顕著であった。表-4.5に示す間隙水圧測定結果で上段と下段の測定位置の間隙水圧の測定値が異なっていることから、この深度間に間隙水圧の消散を妨げるような層が存在したものと考えた。この層については、図-4.12に示すように事後ボーリングによっても確認されており、No.59C-4コア試料の深度7m付近には粘性分の優勢な層（透水性の低い層）が見られ、No.59B-4コア試料においては板状のホモゲル（薬液のみ

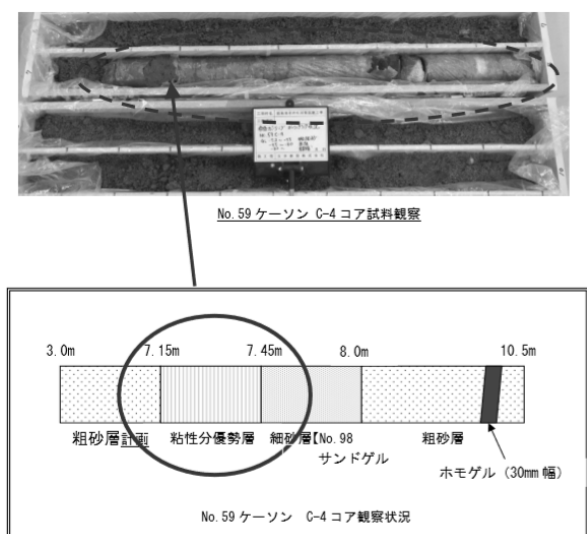


図-4.12 難透水層の確認 (No. 59C-4 コア試料)

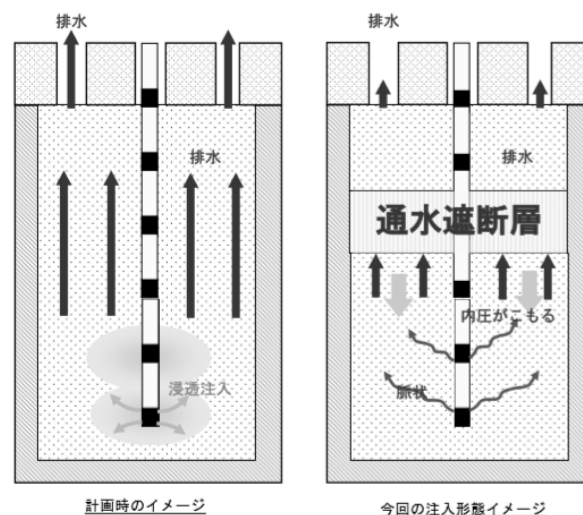


図-4.13 間隙水圧の上昇イメージ

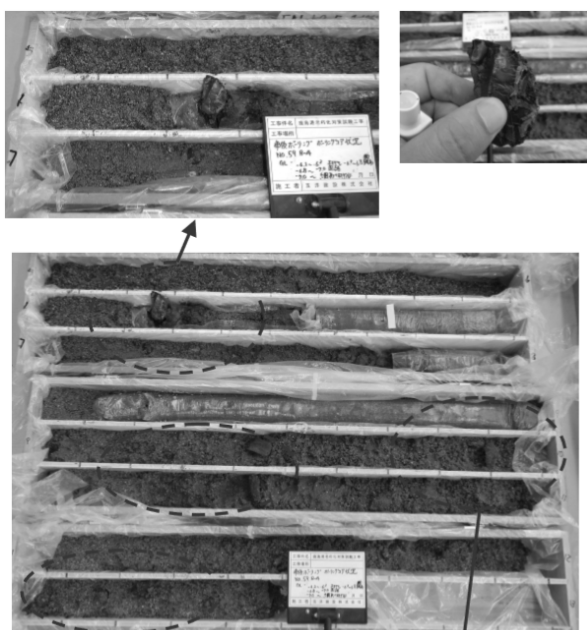


写真-2 ホモゲルの確認 (No. 59B-4 コア試料)

の固結箇所)が確認されていることから(写真-2),薬液が脈状に注入する割裂注入形態が支配的であったと判断できる。試験施工中は、図-4.11に示す位置に圧抜き孔を設けるとともに、中詰砂からの排水を促進することで水圧の消散対策を図ったが、有効な改善策とはならなかった。なお、薬液注入工法の品質管理については、注入量ではなく、注入圧力及び間隙水圧により実施している。

#### 4.4 試験施工結果まとめ

中詰改良工法の試験施工結果のまとめを表-4.6に示す。試験施工結果については、施工性、経済性、安全性及び施工確実性により評価を実施した。各評価項目について

表-4.5 間隙水圧計測定結果

■No.59ケーソン		※圧力の単位はkPa					
日付	A拵		B拵		C拵		
	上段	下段	上段	下段	上段	下段	
施工開始	--	70~90	40~70	80~110	20~40	70~90	
	50~70	70~100	20~60	70~130	20~40	60~110	
	60~80	--	40~70	--	20~40	80~110	
	30~100	--	20~70	--	20~50	--	
	--	--	30~60	--	20~50	--	
施工終了	--	--	30~70	--	30~70	--	
■No.82ケーソン							
日付	A拵		B拵		C拵		
	上段	下段	上段	下段	上段	下段	
施工開始	30~50	70~100	30~50	70~100	40~50	80~110	
	30~40	70~100	40~60	70~100	40~60	--	
	30~60	70~110	40	80~100	50~70	--	
	30~50	70~110	30~40	70~110	40~80	--	
	30~90	70~130	30~50	90~120	30~60	--	
	30~60	70~110	40~60	70~90	30~40	--	
	30~60	70~110	40~60	80~110	50~60	--	
	30~40	70~90	40~50	70~110	40~50	--	
	30~70	70~120	--	70~110	50	--	
	30~70	70~120	--	70~110	40~50	--	
	30	70	--	--	--	--	
	30~50	70~120	--	--	--	--	
	30~70	70~110	--	--	--	--	
	30~50	70~110	--	--	--	--	
	30~50	70~100	--	--	--	--	
	30~70	70~110	--	--	--	--	
	30~50	70~90	--	--	--	--	
	30	70~80	--	--	--	--	
	30~60	70~100	--	--	--	--	
	30~40	60~100	--	--	--	--	
施工終了	30~60	--	--	--	--	--	
■No.98ケーソン							
日付	A拵		B拵		C拵		
	上段	下段	上段	下段	上段	下段	
施工開始	40~50	80~110	50~60	80~120	40~50	80~120	
	40~50	80~100	50	80~130	40~50	70~110	
	40~60	90~110	10~20	50~100	40~50	80~120	
	50~80	90~120	40~50	80~130	--	--	
	20~50	80~130	30~50	90~120	30~40	80~130	
	50~70	90~110	40~50	90~130	--	--	
	50~90	90~110	40~50	100~130	--	--	
	50~80	60~100	40	--	--	80~130	
	30~90	70~120	40~60	--	--	--	
	60~90	80~110	--	60~100	--	60~120	
	40~90	90~120	30~70	60~110	30~40	--	
	50~70	--	60~70	--	30~60	--	
施工終了	50~70	--	70~90	--	40~60	--	

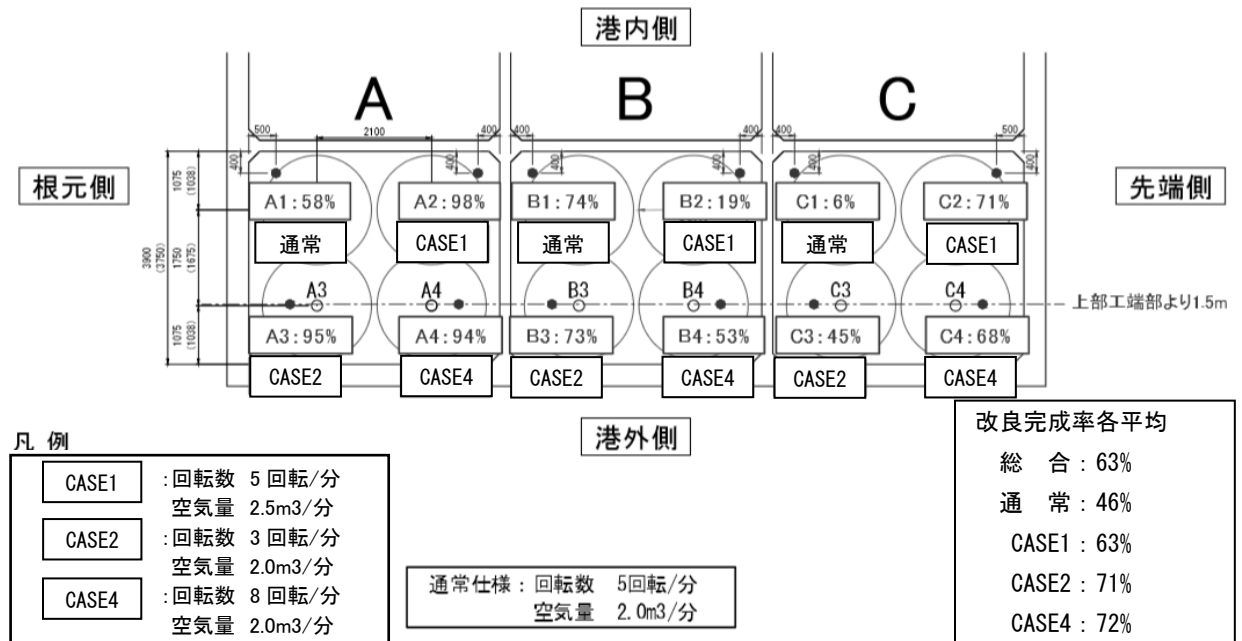
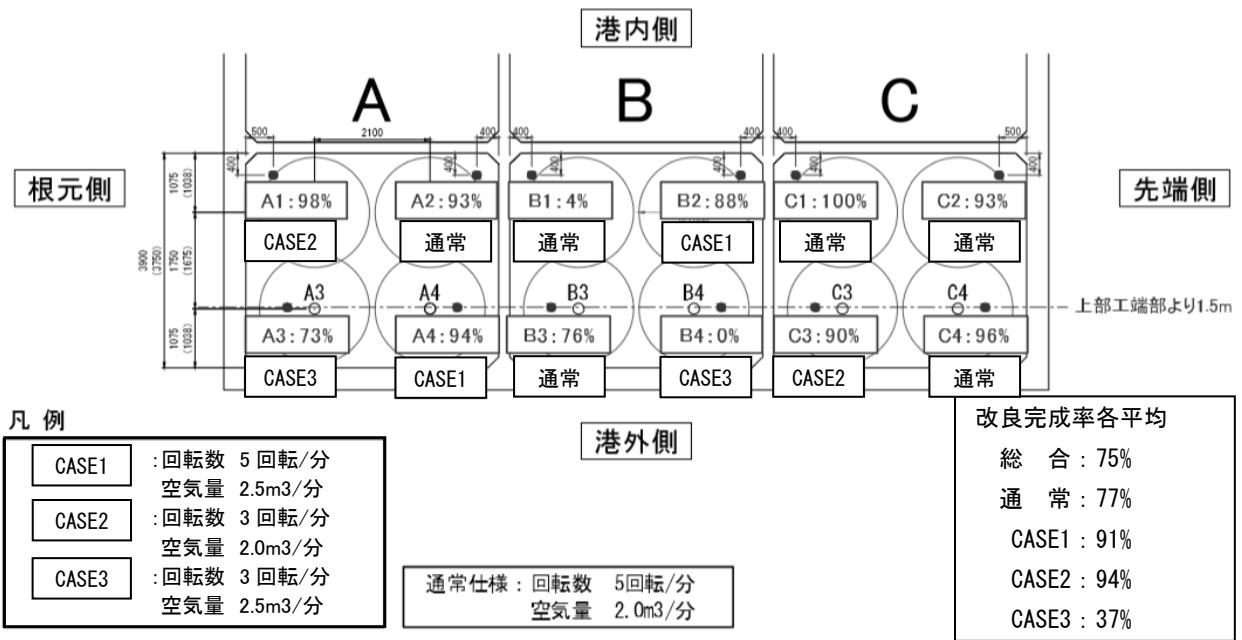
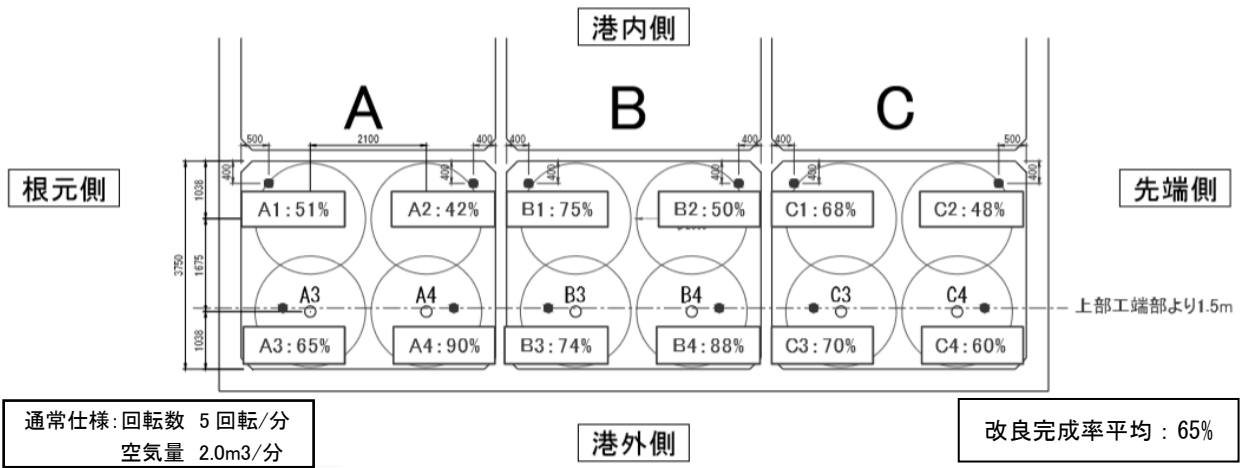


図-4.14 高压喷射搅拌工法 改良完成率 (上: No. 43 中: No. 83 下: No. 99)

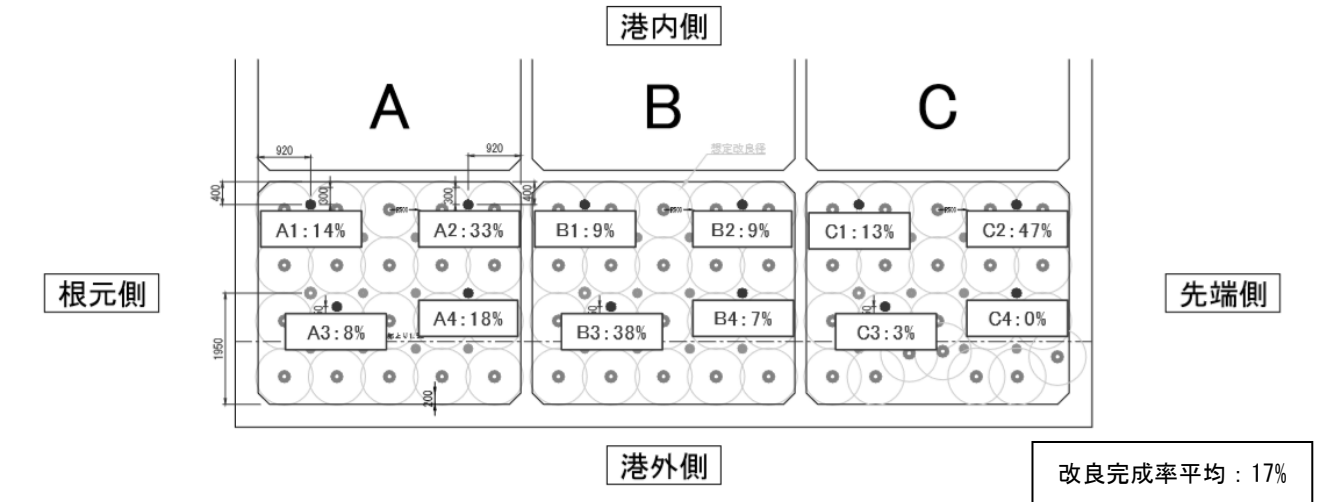
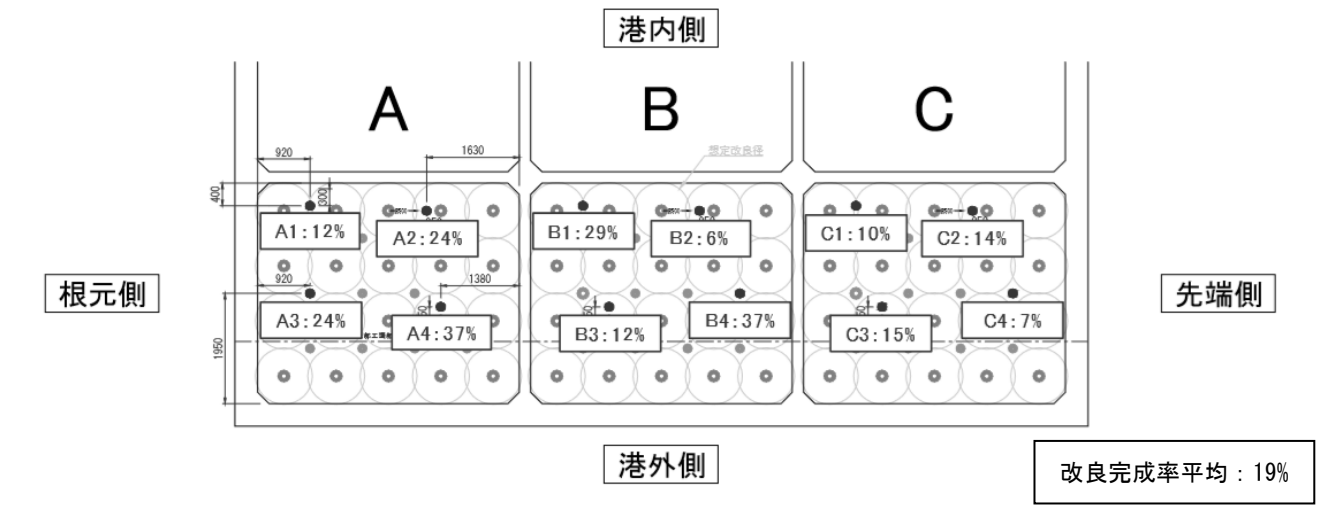
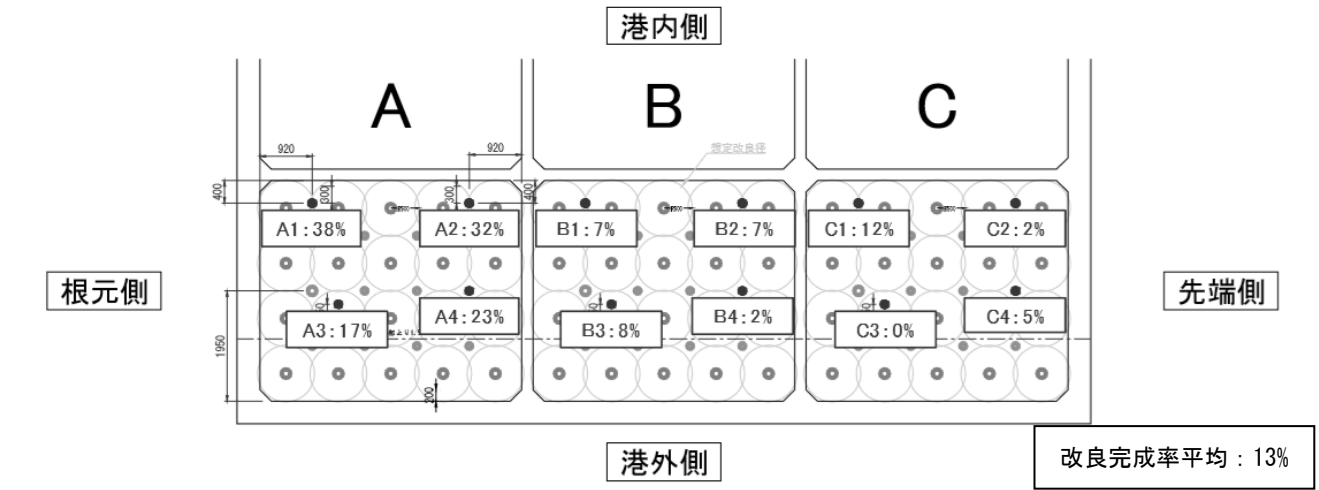
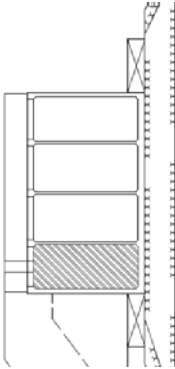
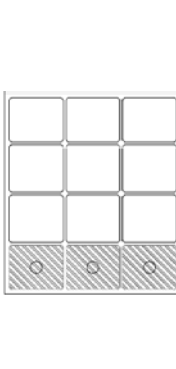
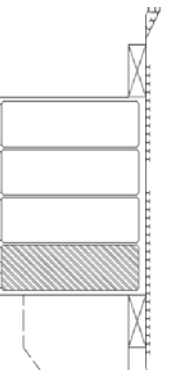
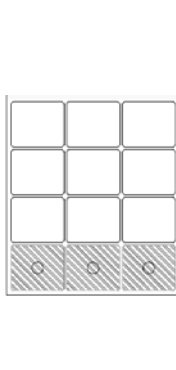
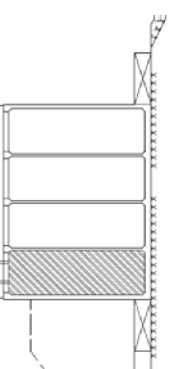
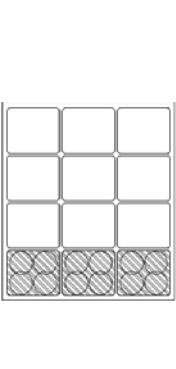
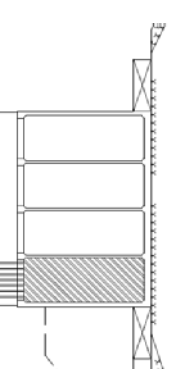
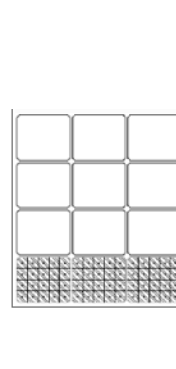


図-4.15 薬液注入工法 改良完成率 (上 : No. 59 中 : No. 82 下 : No. 98)



表-4.6 試験施工結果のまとめ

工法	中詰砂置換工法Ⅰ		中詰砂置換工法Ⅱ		高圧噴射機挿工法		薬液注入工法																																																									
	港外側	港内側	港外側	港内側	港外側	港内側	港外側	港内側																																																								
断面図 平面図 配合	  <table border="1" data-bbox="641 1496 742 1863"> <tr> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>セメント 添加量 (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th>改良材 含水比 (%)</th> <th>中詰砂 (kg)</th> <th>流動化剤 (kg)</th> </tr> <tr> <td>560.0</td> <td>17.2</td> <td>1372.1</td> <td>560.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>330.5</td> <td>2.75</td> </tr> </table>	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				セメント 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	中詰砂 (kg)	流動化剤 (kg)	560.0	17.2	1372.1	560.0			330.5	2.75	  <table border="1" data-bbox="641 1070 742 1438"> <tr> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>改良材 添加量 (kg/m<sup>3</sup>)</th> <th>改良材 含水比 (%)</th> <th>中詰砂 (kg)</th> <th>流動化剤 (kg)</th> </tr> <tr> <td>600.0</td> <td>17.4</td> <td>483.0</td> <td>1200.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1200.0</td> <td>230.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1200.4</td> <td>3.00</td> </tr> </table>	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				改良材 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	中詰砂 (kg)	流動化剤 (kg)	600.0	17.4	483.0	1200.0			1200.0	230.6			1200.4	3.00	  <table border="1" data-bbox="641 645 742 1012"> <tr> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>固化材 (高圧セメント) (kg)</th> <th>混和剤 (リニースルホネド触媒)</th> <th>海水</th> <th></th> </tr> <tr> <td>760.0</td> <td>12.0</td> <td></td> <td>762.2</td> </tr> </table>	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				固化材 (高圧セメント) (kg)	混和剤 (リニースルホネド触媒)	海水		760.0	12.0		762.2	  <table border="1" data-bbox="641 219 742 586"> <tr> <th colspan="4">配合表(改良材1m<sup>3</sup>あたり)</th> </tr> <tr> <th>主材 (kg)</th> <th>混和剤 (kg)</th> <th>海水</th> <th></th> </tr> <tr> <td>350.0</td> <td>40.0</td> <td>2.0</td> <td>865.8</td> </tr> </table>	配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)				主材 (kg)	混和剤 (kg)	海水		350.0	40.0	2.0	865.8
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																																																
セメント 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	中詰砂 (kg)	流動化剤 (kg)																																																													
560.0	17.2	1372.1	560.0																																																													
		330.5	2.75																																																													
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																																																
改良材 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良材 含水比 (%)	中詰砂 (kg)	流動化剤 (kg)																																																													
600.0	17.4	483.0	1200.0																																																													
		1200.0	230.6																																																													
		1200.4	3.00																																																													
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																																																
固化材 (高圧セメント) (kg)	混和剤 (リニースルホネド触媒)	海水																																																														
760.0	12.0		762.2																																																													
配合表(改良材1m <sup>3</sup> あたり)																																																																
主材 (kg)	混和剤 (kg)	海水																																																														
350.0	40.0	2.0	865.8																																																													
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>○【工程】78m<sup>3</sup>/日(2.2日/枙)で最も速い。</li> <li>△【工程】中詰砂撤去時に障害物が多い場合、施工速度が落ちる。</li> <li>△【設備】固化処理プラントが大きい・サイロ設置数が多い、設備が最も大型である。</li> <li>△【設備】固化剤が2種類のため、セメント系改良に比べサイロ必要数が多い。</li> <li>△【施工】下端の内、壁際に栗石・木片が残置となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○【工程】78m<sup>3</sup>/日(2.2日/枙)で最も速い。</li> <li>△【工程】中詰砂撤去時に障害物が多い場合、施工速度が落ちる。</li> <li>△【設備】固化処理プラントが大きい・サイロ設置数が多い、設備が最も大型である。</li> <li>△【設備】固化剤が2種類のため、セメント系改良に比べサイロ必要数が多い。</li> <li>△【施工】下端の内、壁際に栗石・木片が残置となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△【工程】43m<sup>3</sup>/日(4.2日/枙)で置換より速い。</li> <li>△【工程】ジャミングにより造成速度が遅くなる場合がある。</li> <li>△【設備】USGマシンの、ミキシングプラント・排泥回収槽・ミニクレーン等の設備が必要となる。</li> <li>△【施工】蓋コンクリート下端からバキュームポンプにより排泥強制排出・回収を行う必要がある。</li> <li>×【施工】排泥が固結する・プラットフォーム等で排泥を2回/日程度海上運搬を行い、陸揚げする必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×【工程】23m<sup>3</sup>/日(8.5日/枙)で最も速い。</li> <li>×【工程】間隙水圧値上昇により施工速度が遅くなる。</li> <li>○【設備】ドリリングマシン、注入ポンプ、ミキシングプラントを使用するが、最も設備が小型である。</li> <li>×【施工】間隙水圧計等の計器による圧力監視が不可欠である。間隙水圧計による内圧上昇傾向を把握することはできるが、側壁・隔壁へ作用する土圧を定量的に計測することは現時点では不可能である。</li> </ul>																																																												
経済性	<table border="1" data-bbox="1002 1496 1109 1863"> <tr> <th colspan="2">工種</th> <th>単価</th> </tr> <tr> <td>コンクリート削孔</td> <td>15,900円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>中詰砂撤去(足場含む)</td> <td>7,400円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>固化処理工</td> <td>21,100円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>44,400円</td> <td></td> </tr> </table>	工種		単価	コンクリート削孔	15,900円		中詰砂撤去(足場含む)	7,400円		固化処理工	21,100円		合計	44,400円		<table border="1" data-bbox="1002 1070 1109 1438"> <tr> <th colspan="2">工種</th> <th>単価</th> </tr> <tr> <td>コンクリート削孔</td> <td>15,900円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>中詰砂撤去(足場含む)</td> <td>7,400円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>固化処理工</td> <td>21,700円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>45,000円</td> <td></td> </tr> </table>	工種		単価	コンクリート削孔	15,900円		中詰砂撤去(足場含む)	7,400円		固化処理工	21,700円		合計	45,000円		<table border="1" data-bbox="1002 645 1109 1012"> <tr> <th colspan="2">工種</th> <th>単価</th> </tr> <tr> <td>コンクリート削孔</td> <td>5,100円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>固化処理工</td> <td>44,600円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>処理費</td> <td>12,900円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>62,600円</td> <td></td> </tr> </table>	工種		単価	コンクリート削孔	5,100円		固化処理工	44,600円		処理費	12,900円		合計	62,600円		<table border="1" data-bbox="1002 219 1109 586"> <tr> <th colspan="2">工種</th> <th>単価</th> </tr> <tr> <td>コンクリート削孔</td> <td>13,900円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>固化処理工</td> <td>80,400円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>処理費</td> <td>900円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>95,200円</td> <td></td> </tr> </table>	工種		単価	コンクリート削孔	13,900円		固化処理工	80,400円		処理費	900円		合計	95,200円	
工種		単価																																																														
コンクリート削孔	15,900円																																																															
中詰砂撤去(足場含む)	7,400円																																																															
固化処理工	21,100円																																																															
合計	44,400円																																																															
工種		単価																																																														
コンクリート削孔	15,900円																																																															
中詰砂撤去(足場含む)	7,400円																																																															
固化処理工	21,700円																																																															
合計	45,000円																																																															
工種		単価																																																														
コンクリート削孔	5,100円																																																															
固化処理工	44,600円																																																															
処理費	12,900円																																																															
合計	62,600円																																																															
工種		単価																																																														
コンクリート削孔	13,900円																																																															
固化処理工	80,400円																																																															
処理費	900円																																																															
合計	95,200円																																																															
長所 短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 金額的には最も安価である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 中詰砂置換工法(Ⅰ)と比較すると若干高いが、安価である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ 金額的には中位となっている。</li> <li>× 汚泥処理の金額が高く、全体の20%を占めている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>× 通常注入速度(80/分)に対して注入速度が遅く(60/分)なり施工単価上昇</li> </ul>																																																												
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ ケーン枙内が空となるため、上部・蓋コンクリートが一時的に不安定となる。上部・蓋コンクリートの劣化がある場合、補強・作業足場が必要となる。</li> <li>○ 中詰砂撤去時にケーン枙内の水位を保ち作業を行うことができればケーン枙壁損傷の可能性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ ケーン枙内が空となるため、上部・蓋コンクリートが一時的に不安定となる。上部・蓋コンクリートの劣化がある場合、補強・作業足場が必要となる。</li> <li>○ 中詰砂撤去時にケーン枙内の水位を保ち作業を行うことができればケーン枙壁損傷の可能性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 中詰砂を現位置にて改良可能である</li> <li>× ケーン枙内より排出される排泥・空気の逃げ道が閉塞すれば側壁・隔壁を損傷する可能性があるが、強制排出を行えば施工可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 中詰砂を現位置にて改良可能である</li> <li>× 間隙水圧計によりケーン枙内の水圧上昇傾向は把握可能であるが、側壁・隔壁へ作用する土圧を定量的に計測することは現時点では不可能である。</li> </ul>																																																												
施工確実性	<ul style="list-style-type: none"> <li>○(改良完成率100%・改良強度合格率100%)</li> <li>○ 砂撤去後に固化処理投入するため改良が確実である。</li> <li>○ 改良強度についても規格3N/mm<sup>2</sup>を大きく上回る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○(改良完成率100%・改良強度合格率99%)</li> <li>○ 砂撤去後に固化処理投入するため改良が確実である。</li> <li>△ セメント系に比べて事後ポーリング(上部)の圧縮強度の変動係数1.5倍以上はつきが大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×(改良完成率68%・改良強度合格率94%)</li> <li>× 中詰砂粒度分布により改良率が左右される。(粗粒が大きい(2mm以上)含有率高→改良率低)</li> <li>× ロット周囲の中詰砂崩落により未改良が発生する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×(改良完成率16%・改良強度合格率96%)</li> <li>× 改良完成率が最も小さい。</li> <li>× 砂の間を薬液が馴染んだ可能性が考えられる。</li> </ul>																																																												

ては、以下のとおりである。

**施工性** : 本試験施工において、実際に中詰改良に要した施工日数から算出した施工歩掛や試験施工で確認された各工法の施工に関する特徴をとりまとめた。

**経済性** : 上記施工歩掛を基に削孔や改良費用、排泥処理費用等について算出した。

**安全性** : 中詰改良における優位性や留意点についてとりまとめた。

**施工確実性** : 事後ボーリングによって確認した改良完成率や採取したコアの圧縮強度試験結果をとりまとめた。

施工性については、中詰砂置換工法I及びIIが最も優位であり、薬液注入工法が施工性の低い工法であった。高圧噴射攪拌工法及び薬液注入工法については、それぞれジャミングの発生、中詰材の一部に存在した難透水層の影響により改良体の造成が妨げられたものと考えられる。

経済性についても、優位な工法は中詰砂置換工法I及びIIとなり、薬液注入工法が低い工法であった。中詰砂置換工法I及びIIはコンクリート削孔径が大きい削孔費が高価であるものの、中詰改良費そのものは安価である。高圧噴射攪拌工法は、削孔費を削減可能な工法ではあるが、汚泥処理費が全体の約20%を占めており、経済性としては中位である。薬液注入工法は、固化処理費が最も高価であり、また、改良部のみならず圧抜き孔を確保するための削孔も必要となるため、削孔費は比較的高価となっている。

安全性については、ケーソン側壁・隔壁への影響が小さい高圧噴射攪拌工法が優位となり、中詰砂置換工法I及びIIは中詰撤去に伴うケーソンの安定性、薬液注入工法は間隙水圧上昇に伴う側壁・隔壁の安定性に留意する必要がある。

施工確実性については、中詰砂置換工法I及びIIは改良完成率100%であり、高圧噴射攪拌工法、薬液注入工法の順で小さくなる。高圧噴射攪拌工法及び薬液注入工法の改良実施における留意点、対策案については、5. 施工上の留意点と対応策に関する考察に整理する。

なお、表-4.6について、本検討はあくまでも限定的な条件での試験施工結果を整理したものである。したがって、実際に中詰改良工法による対策を実施する際には、施工条件や中詰砂の土質条件等を考慮した上で改良工法を選定する必要がある。

表-4.7 圧縮強度試験結果まとめ

工種	対象箇所	平均一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)
中詰砂置換工法 I	事後ボーリング上部	34.5	21.4
	事後ボーリング下部	39.8	19.6
	事後ボーリング平均	37.1	21.6
中詰砂置換工法 II	事後ボーリング上部	12.7	30.2
	事後ボーリング下部	14.4	23.2
	事後ボーリング平均	13.6	27.2
高圧噴射攪拌工法	事後ボーリング上部	8.0	71.0
	事後ボーリング下部	14.2	69.1
	事後ボーリング平均	11.1	77.3
薬液注入工法	事後ボーリング上部	8.0	54.1
	事後ボーリング下部	9.7	28.5
	事後ボーリング平均	8.8	43.1

## 5. 施工上の留意点と対応策に関する考察

中詰改良工法4工法について試験施工を実施したところ、高圧噴射攪拌工法及び薬液注入工法では改良完成率の低下といった施工上の課題が見られた。今後、各工法が中詰改良工法として採用された場合には、本試験施工と同様の事象が起こる可能性も考えられる。

本章では、試験施工の結果から考えられる各工法の施工上の留意点とそれに対する対策案を整理する。

### (1) 中詰砂置換工法 I 及び II

施工確実性が高い工法ではあるが、撤去した中詰砂は土運船に一度排出し、その後、台船上に設置したプラントで固化材と混練する必要があるため、施工設備は比較的大きくなる。

### (2) 高圧噴射攪拌工法

中詰改良時に排泥処理設備を台船上に設置する必要があるため、施工設備は比較的大きくなる。

施工における留意点としては、本試験施工で発生したジャミングによる改良体の造成障害が挙げられる。対策案として、ケーシングによる先行削孔を行い、図-5.1に示すようにベントナイト等による孔壁の安定化を図ることで、中詰砂が崩落して閉塞するジャミング現象を抑制できる可能性がある。

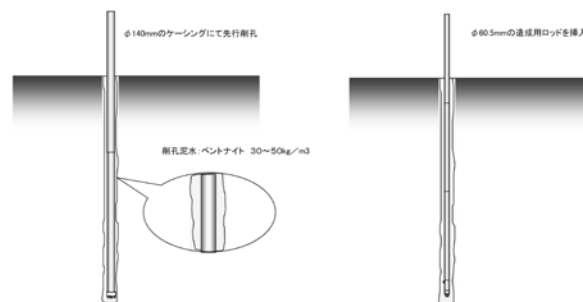


図-5.1 ジャミングの抑制対策案

### (3) 薬液注入工法

本試験施工では、中詰改良前の事前土質調査を各函1本ずつ実施した。中詰砂の粒度分布などをみると、各函、各柵で土質条件の大きな違いはないと考えられるが、事前の土質調査をより充実させることによって、詳細な土質性状の把握が可能となるため重要である。さらに、良好な改良を行うためには、適正な注入速度の設定が重要である。今回の試験施工では限界注入速度試験（qcr試験）は行わなかった。その理由としては、浸透固化処理工法にみられるような直径2～4 mの大型改良ではないことと、これまでの実績ではこの試験を行っていないことによる。割裂注入形態を避けるために、中詰改良前に限界注入速度試験を行い圧力と速度の関係から適した注入速度を設定することも有効と考えられる。

## 6. まとめ

本検討のまとめを以下に示す。

- 1) 中詰砂置換工法I及びIIは、改良完成率が100%と施工確実性が高く、目標改良強度を大きく超える強度が得られた。
- 2) 中詰砂置換工法IIの改良強度は、中詰砂置換工法Iよりも変動係数が若干大きくなった。これは、ケーソン内部へ固化材を投入する際に海水が多く混入したためと考えられる。
- 3) 高圧噴射攪拌工法は、改良完成率が68%であり、中詰砂置換工法に比べて小さい結果となった。中詰砂が崩壊してジャミングが発生したことが要因と考えられ、孔壁の安定化や施工条件の見直しといった対策案によってジャミングは解消され、改良完成率が向上する可能性がある。
- 4) 薬液注入工法の改良完成率は16%であり、本試験施工の条件下においては、最も改良完成率が小さい結果となったが、割裂注入形態が支配的となったことが原因と考えられる。事前土質調査による中詰砂の性状の把握が特に重要であり、土質性状に合わせた施工条件・方法の設定といった対策案によって改良完成率が向上する可能性がある。

## 謝辞

本成果は、国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所が実施した「鹿島港老朽化対策試験工事」をとりまとめたものです。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 平山克也，南靖彦，奥野光洋，峯村浩治，河合弘泰，平石哲也：2004年来襲した台風による波浪災害事例，港湾空港技術研究所資料，No.1101，2005。
- 2) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.633，2018。
- 3) 川端雄一郎，加藤絵万，岩波光保：維持管理を考慮した防波堤ケーソン側壁の耐衝撃設計に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1279，2013。
- 4) 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所：防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル(案)－消波ブロック衝突による側壁損傷対策－，2007。
- 5) 水谷征治，佐野清史，松林卓，岩波光保，川端雄一郎：既設防波堤ケーソンの側壁補強工法の実験的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第12巻，pp.389-394，2012。
- 6) 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所，独立行政法人港湾空港技術研究所：耐衝撃性に優れた防波堤ケーソンの設計マニュアル（案）ver.3，2013。
- 7) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，沿岸技術ライブラリー，No.50，2018。
- 8) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.756，2018。
- 9) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル（改訂版），沿岸技術ライブラリーNo.34，2008。
- 10) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル（2010年版），沿岸技術ライブラリーNo.36，2010。

港湾空港技術研究所資料 No.1351

2019. 3

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2019) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。