

# 中詰固化工法によるケーソンの補強設計・施工の手引き(案)

## 目 次

第 1 章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 ケーソンの補強の基本	2
1.3 用語の定義	4
第 2 章 調査	5
2.1 調査の流れ	5
2.2 机上調査	5
2.3 現地調査	6
第 3 章 補強工法の選定	11
3.1 工法選定の基本	11
3.2 中詰固化工法の基本	12
第 4 章 補強の設計	17
4.1 ケーソン及びケーソン部材の補強後の目標性能	17
4.2 中詰固化工法の設計の基本	17
4.3 作用	18
4.4 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化	18
第 5 章 補強の施工	20
5.1 一般	20
5.2 中詰コンクリート工法	20
5.3 中詰固結工法（高圧噴射攪拌）	28
5.4 中詰固結工法（薬液注入）	38
5.5 中詰置換工法（固化材添加）	47
付録 1 中詰固化工法によるケーソンの補強事例	55
付録 2 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化	70

本手引き（案）は、平成30年7月から令和2年3月までに実施した共同研究「既設防波堤ケーソンの補強技術の開発」の成果をとりまとめたものである。

共同研究メンバー

日本埋立浚渫協会

調査役	鈴木 勝	※平成30年度
調査役	佐々木 宏	※令和元年度
技術副委員長	井上 博士	(東亜建設工業)
技術部会長	梯 浩一郎	(五洋建設)
技術部会副部会長	大西 将之	(東亜建設工業)
技術部会副部会長	泉 照久	(東洋建設)
部会員	濱野 政光	(あおみ建設)
部会員	植田 智幸	(あおみ建設)
部会員	小滝 勝美	(大本組)
部会員	藤田 芳樹	(株木建設)
部会員	田中 謙一	(株木建設)
部会員	山崎 真史	(不動テトラ)
部会員	嘉納 政行	(不動テトラ)
部会員	菅原 禎	(本間組)
部会員	田中 良典	(みらい建設工業)
部会員	爲廣 哲也	(りんかい日産建設)
部会員	川端 利和	(若築建設)
部会員	中野 清士	(若築建設)
部会員	竹内 信夫	(ヤマト工業)
事務局	仁井 克明	(五洋建設)
事務局	奥田 一弘	(五洋建設)
事務局	若松 宏知	(東亜建設工業)
事務局	傳 亮司	(東洋建設)

港湾空港技術研究所ライフサイクルマネジメント支援センター

センター長	福手 勤	
副センター長	山路 徹	
上席研究官	加藤 絵万	
主任研究官	川端 雄一郎	
主任研究官	野上 周嗣	
研究官	田中 豊	
研究官	染谷 望	※平成30年度
研究員	黒木 賢一	(日本港湾コンサルタント) ※平成30年度
研究員	平川 恭奨	(日本港湾コンサルタント) ※令和元年度

(役職・所属は共同研究当時)

# 第1章 総則

## 1.1 適用の範囲

本手引き（案）は，既存の鉄筋コンクリート製ケーソンの性能の向上を目的として実施する，中詰固化工法によるケーソンの補強の設計および施工に適用する。

【解説】

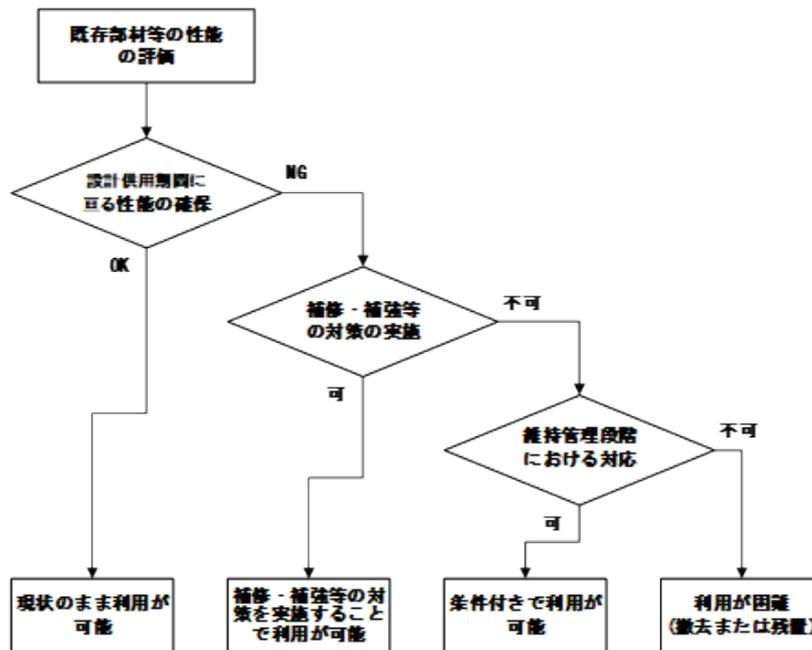


図-1.1.1 利用可否の判断フロー<sup>1,1)</sup>

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年）」では，既存の港湾の施設の一部または全部を利用して，施設の用途変更，性能変更，あるいは供用期間の延長を図ることを「改良」と定義し，改良時の設計の基本事項や全体手順等が明確化された。また，改良の対象とする施設には，改良時点における基準省令，基準告示および施工告示への適合が求められることが明記された。

港湾施設の改良に関する既往の検討<sup>1,1)</sup>において提案された，既存部材の利用可否判断の基本フローを図-1.1.1に示す。過去に設計・施工された，鉄筋コンクリート（RC）製ケーソンを利用して施設の改良を行う場合，底版，フーチング，側壁，隔壁といった各ケーソン部材に対して，新たに設定された設計供用期間中，その性能が要求される水準を満足することを，現行の設計法に基づいて確認することが求められる。しかし，過去の設計法に基づいて設計されたケーソン部材は照査を満足しないことがあり<sup>1,2)</sup>，図-1.1.1に示すフローで『設計供用期間に亘る性能の確保』はNGとなる。この場合，『補修・補強等の対策の実施』に移行することとなる。ケーソンの安全性や使用性等の所要の性能を設計供用期間に亘って確保するために補修・補強を実施するに当たっては，適用する工法に応じた耐久性あるいは力学的性能の向上の程度や，適用する工法の施工条件等を踏まえて，適切な工法を選定しなければならない。しかし，海中に位置するケーソンに適用できる補修・補強工法は限られており，

特に底版，フーチング，隔壁については，それ単体を対象とした補修・補強工法は現状では存在しない。

本手引き（案）は，中詰材をコンクリートに置き換えたり，中詰材を固化したりすることで，側壁および底版の補強またはケーソン構造全体の補強を兼ねる工法を対象として，補強の設計の考え方および施工の留意点について述べるものである。本手引き（案）での記述は，RC ケーソンの側壁および底版の補強となる一隔室の中詰固化工法，およびケーソン構造全体の補強となる全隔室の中詰固化工法を対象とするが，セルラーブロックなど類似の RC 構造物についてもその特性を考慮した上で適用することができる。

## 1.2 ケーソンの補強の基本

- (1) ケーソンの補強の設計および施工は，補強により向上させる性能を明確にした上で，所定の期間，補強後のケーソンが性能を満足するように実施する。
- (2) ケーソンの補強に当たっては，調査，工法の選定，設計，施工，および補強後の維持管理を適切に行わなければならない。

### 【解説】

#### (1)および(2)について

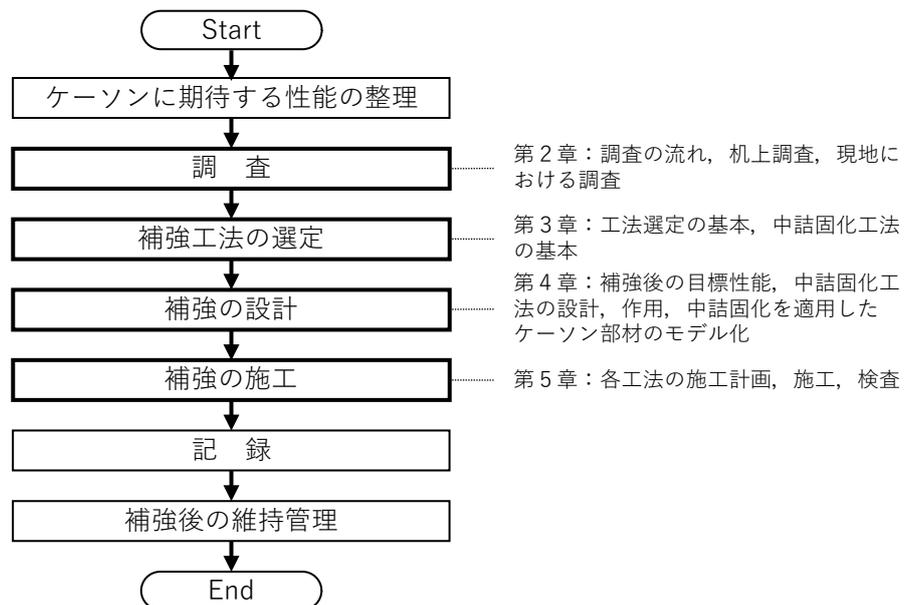


図-1.2.1 ケーソンの補強のフローと本手引き（案）の構成

図-1.2.1 に，ケーソンの補強のフローと本手引き（案）の構成を示す。

ケーソンの補強は，ケーソンおよびそれを主要な構造体とする施設が所定の期間にわたって要求性能を満足するために実施するものである。このためには，まず，補強の対象とするケーソンについて，補強後の設計供用期間，補強後の利用条件，補強後のケーソンに期待する安全性や使用性等の前提条件を整理する必要がある。

調査は、ケーソンの形状・寸法、材料の特性値、変状の有無や程度、また中詰材の材料特性を把握するために行うものであり、机上調査および現地調査により行う。一般に、防波堤や岸壁の整備は長期間に及ぶため、製作時期に応じてケーソンの施工方法や使用材料等が異なる場合がある。このため、補強の対象とするすべてのケーソンおよび中詰材を調査することが望ましい。また、適切な工法選定や円滑な施工に向けては、海象条件等の施工環境を調査しておく必要がある。ケーソンの補強の施工における課題を把握し、その解決の方策について検討するための調査の方法について第 2 章に示す。

ケーソンの補強では、調査の結果や補強の施工における課題を踏まえた上で、施工性や経済性の観点から適切な工法を選定することが重要である。第 3 章では、①中詰コンクリート工法、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）、③中詰固結工法（薬液注入）、④中詰置換工法（固化材添加）を対象として、それぞれの工法の概要と留意点を述べるとともに、施工時や施工後のケーソンの重量の変化が堤体の安定性に与える影響等、工法の選定時に検討すべき事項について述べる。

ケーソンの補強は、補強後の目標性能を明確にしたうえで、要求性能を満足するように実施しなければならない。第 4 章では、中詰固化工法によるケーソンの補強について、設計の前提条件や、作用の設定、及び中詰固化を行ったケーソン部材のモデル化の基本的な考え方について述べる。

ケーソンの補強の施工に当たっては、選定された中詰固化工法の種類に応じて、適切に施工を行うための配慮事項や確認項目、品質管理あるいは出来形管理基準等が異なる。このため、第 5 章では、上記の①～④の各工法を適用した場合の施工計画の立案や施工前・中・後の検査方法について述べる。

ケーソンの補強の実施および補強後の維持管理で得られる情報は、用いられた設計法や施工法が実情をきちんと反映したものであったのかどうかの検証に有用であり、今後の同種の構造物の設計・施工・維持管理の実施に活用できる。したがって、選択した補強工法やその施工状況、供用期間中の点検診断の結果ならびに施設の性能低下度の評価などのデータは、一定の様式にしたがって記録することが重要である。また、これらの記録は、原則として、当該施設を供用している期間保存することが求められる。

なお、港湾の施設の適切な維持管理の実施には、専門的な知識・経験、技術、技能が必要となる。このため、対象ケーソンの調査、工法の選定、補強の設計、施工、補強後の維持管理計画の策定等にあたっては、当該施設の維持管理に関する専門的知識及び技術又は技能を有する専門技術者を活用することが望ましい。専門技術者としては、海洋・港湾構造物維持管理士や海洋・港湾構造物設計士の資格を有する者が該当する。

本手引き（案）は、図-1.2.1 に示すように、第 2 章 ケーソンの調査、第 3 章 補強工法の選定、第 4 章 補強の設計、第 5 章 補強の施工からなる。また、付録 1 中詰固化工法によるケーソンの補強事例として、これまでに適用された①～④の各工法による事例を取りまとめた。また、付録 2 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化として、第 4 章に示す補強の設計におけるケーソン部材のモデル化の詳細を掲載している。

### 1.3 用語の定義

本手引き（案）で用いる用語を，以下の通り定義する．

#### ケーソン部材

ケーソンを構成する部材の総称．一般に，側壁，底版，隔壁，フーチング．ただし，本手引き（案）では，フーチングは対象外とする．

#### 中詰固化工法

ケーソンの中詰材を固化する工法の総称．本手引き（案）では，中詰コンクリート工法，高圧噴射攪拌または薬液注入による中詰固結工法，中詰置換工法を対象とする．

#### 補強

ケーソン部材あるいはケーソン構造全体が当初に保有していた水準を超える力学的性能を付与する行為．

#### 【参考文献】

- 1.1) 高野向後，宮田正史，藤井敦，井山繁，加藤絵万，山路徹，坂田憲治：既存の港湾施設の改良における設計上の留意事項に関する検討～外郭施設および係留施設を対象として～，国土技術政策総合研究所資料，No.944，pp.16-21，2017.
- 1.2) 加藤絵万，川端雄一郎，宇野健司，宮田正史，福手勤：既存ケーソンの有効活用に向けた技術的課題の整理，土木学会論文集 B3（海洋開発） Vol.74，No.2，第 43 回海洋開発シンポジウム，p. I\_384-I\_389，2018.

## 第2章 調査

### 2.1 調査の流れ

- (1) ケーソンの補強のための調査は、ケーソンおよび中詰材を対象として、机上調査および現地調査により行うものとする。
- (2) 上記のほか、ケーソンの構造条件や設置状況等を踏まえて、補強の施工に関する調査を行うものとする。

#### 【解説】

#### (1)および(2)について

調査は、ケーソンの形状・寸法、材料の特性値、変状の有無や程度、中詰材の土質条件等を把握するために行うものであり、建設当時の設計図書や施工記録などを確認する机上調査と、補強の対象とするケーソンの保有性能評価のための現地調査、および中詰材のボーリング調査に加えて、現地の環境条件や施工条件等に関する留意事項を確認する。

なお、本手引き（案）では、中詰固化工法として、①中詰コンクリート工法、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）、③中詰固結工法（薬液注入）、④中詰置換工法（固化材添加）を対象としているが、いずれの工法についても、中詰材の打設あるいは固化剤注入時の液圧がケーソン部材に影響を及ぼす可能性があることに留意する必要がある。

### 2.2 机上調査

補強の対象とするケーソンおよび施設基本断面について、設計図書、施工記録および維持管理記録を確認する。

#### 【解説】

補強の対象とするケーソンに対して、設計図書、施工記録および維持管理記録を確認する。ここで、整備期間が長期及んだ既存施設の場合、整備期間中に設計の変更やケーソンの仕様の変更等が生じることがあるため、施設の工区、設計時期、建設時期等を踏まえて、補強の対象とするすべてのケーソンおよび施設構成全体について、以下に示す項目を確認する。

- ・ 設計図書…適用基準、設計図面、設計外力、設計強度、使用材料、配筋図 等
- ・ 施工記録…コンクリート等の品質管理結果、施工時の欠陥と補修の有無、設計変更の有無および内容、施工精度 等
- ・ 維持管理記録…維持管理計画および内容、点検診断の記録、補修および補強の記録 等

## 2.3 現地調査

### 2.3.1 ケーソンの調査

- (1) 補強の対象とするすべてのケーソンについて、目視調査を行うことを基本とする。
- (2) 側壁については、コンクリートの物性値や配筋調査を実施することが望ましい。また、必要に応じて、ケーソンの保有性能評価のための調査項目を追加するとよい。

#### 【解説】

#### (1)および(2)について

現地におけるケーソンの調査は、机上調査と同様の理由により、補強の対象とするすべてのケーソンに対して行うことを基本とする。ただし、補強の対象とするすべてのケーソンについて、同一の設計であること、すべてが同一の材料・工法により施工されていること、供用環境が大きく変わらないこと等が机上調査により明らかである場合は、代表的なケーソンのみを後述する詳細調査（機器等を用いる調査）の対象としてもよい。なお、この場合についても、補強の対象とするすべてのケーソンについて、目視調査を行うことが基本となる。

ここで、ケーソンの保有性能を評価するためには、側壁、底版、隔壁、フーチングといったすべてのケーソン部材に対して調査を行い、個々の部材の現状を把握する必要がある。しかし、例えば、隔壁や底版の調査を行うためには、中詰材の撤去やケーソンの再浮上あるいは陸揚げが必要となる。また、RC部材の鉄筋探査やコア採取等の詳細調査は、ケーソン部材の変状が軽微な場合のみ適用可能であり、部材の位置や形状によっては実施が困難な場合も多い。したがって、現状では、調査の実施が可能な部材、例えば、側壁に対して適用できる調査方法のみからケーソンの保有性能を判断することが多い。

表-2.3.1.1に、現地において実施するケーソンの調査項目と確認すべき事項を示す。また、以降に、調査項目 a)～e)について、その方法と留意点を述べる。

表-2.3.1.1 ケーソンの調査項目と確認すべき事項

	調査項目	確認すべき事項	調査の対象（案）
必ず実施する項目	a) 目視調査	ひび割れ・損傷等の変状の把握	全函
実施することが望ましい項目	b) コアによるコンクリートの圧縮強度、弾性係数の測定	物性値の把握	全函 または、代表函
	c) 鉄筋探査	配筋状況（配筋図との整合）、かぶり厚さの確認	全函 または、代表函
必要に応じて行う項目	d) はつり調査	鉄筋の状態の確認、かぶり厚さの把握	—
	e) コンクリートの劣化調査・塩害/ASRによる劣化	耐久性の評価 劣化要因の推定	—

#### a) 目視調査

ケーソンの海上部および海中部の目視により、コンクリートのひび割れ、剥離、損傷、欠損、鉄筋

露出等の変状を把握する。多くの場合、防波堤では港外側および港内側の側壁が、護岸・岸壁では海側の側壁のみが調査の対象となるが、可能な場合は、フーチングや法線直角方向側壁についても調査を実施する。また、ケーソン部材表面に生物付着が見られる場合は、付着物をケレン等で除去した上で調査を行うことが望ましい。

変状の状況は、「港湾の施設の点検診断ガイドライン（平成26年7月、令和2年3月 一部変更）」に示される表-2.3.2にしたがって劣化度 a, b, c, dとして判定するほか、ひび割れ、剥離、損傷、欠損、鉄筋露出等の状況について、写真撮影または変状図として記録する。なお、錆汁の滲出やひび割れが見られる箇所や鉄筋が露出している箇所については、はつり調査を行い、鉄筋に付着した腐食生成物を除去した後、ノギス等を用いて鉄筋径を測定しておけば、ケーソン部材の構造性能を評価する際の有用な情報となる。

なお、劣化度 a または b と判定される側壁を有するケーソンに中詰固化工法による補強を適用する場合は、中詰材および固化剤等の流出を避けるためにも、補強工法の施工前に側壁のひび割れ注入や断面修復を実施する必要があることに留意する必要がある。

表-2.3.1.2 ケーソン（側壁）の劣化度判定基準

点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	
コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷、欠損 ・鉄筋露出 ・劣化の兆候 等	a	<input type="checkbox"/> 中詰材が流出するような穴あき、ひび割れ、欠損がある。 <input type="checkbox"/> 広範囲に亘り鉄筋が露出している。
		b	<input type="checkbox"/> 複数方向に幅 3mm 程度のひび割れがある。
		c	<input type="checkbox"/> 1 方向に幅 3mm 程度のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 局所的に鉄筋が露出している。
		d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

#### b) コアによるコンクリートの圧縮強度および弾性係数の測定

ケーソンの各打設ロットで使用材料や施工状況等が異なる可能性があること、また打設時の材料分離の影響を考慮して、各打設ロット上部からコアを採取し試験に供することが望ましい。コアの採取本数は各打設ロットで3本以上が望ましいが、各打設ロットにおける配筋状況やコンクリートの外観から判断される変状等を考慮して、適切な数量を設定する。なお、側壁からコアを採取することを基本とするが、コアの採取が可能なすべてのケーソン部材を対象とするのが望ましい。

コアの採取および圧縮強度試験（弾性係数の測定含む）については、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準じて行う。なお、ケーソン部材の圧縮強度については、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」により推定する事例も見られている。しかし、水中あるいは海上における同手法による圧縮強度の推定精度については明らかにされていない。また、その測定原理を踏まえれば、調査水深やコンクリートの表面状態が測定結果に与える影響は大きいことが容易に予測されるため、同手法のみによる圧縮強度の推定は避けることが望ましい。

#### c) 鉄筋探査

ケーソン側壁を対象として、電磁波レーダー法や電磁誘導法によりコンクリート中の鉄筋を探査するとともに、かぶり厚さを測定する。机上調査で事前に配筋図を把握しておけば、設計時と現状との鉄筋配置を比較できる。ただし、電磁波レーダー法による測定は水分の影響を受けるため、海中部の鉄筋探査に用いることができない。一方、電磁誘導法は海中部でも適用可能であるが、機器が直接海水と触れないようにカバー等による保護が必要である。

#### d) はつり調査

はつり調査は、ケーソン側壁に錆汁の滲出や腐食ひび割れ等の変状が生じている場合に実施する。錆汁の滲出や腐食ひび割れ等の変状が生じている箇所を対象とすることで、腐食が生じた鉄筋の状態を目視で把握できる。このとき、鉄筋径を測定しておけば、部材耐力等の構造性能を評価する際の有用な情報となる。はつり調査に当たっては、事前に配筋図や電磁波レーダー等で鉄筋位置を確認し、代表的なはつり範囲を決めるとよい。

#### e) コンクリートの劣化調査

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月）【施】第2章2.2.4 性能照査」によれば、1) 鉄筋のかぶりが標準値以上確保されていること、2) コンクリートの品質（水メント比が上限値以下であること）が確保されていること、3) 入念な施工が行われていること、すべての条件を満足することが確認できる場合、ケーソン部材の性能の経時変化に関する検討を省略することができる。しかし、これまでに当該構造物または近隣に建設された類似のコンクリート構造物において、コンクリートの劣化により性能が低下した事例が認められている場合は、コンクリートの劣化の発生と進展に関する検討が必要となる。ここでは、コンクリートの劣化として、(i) 塩害と(ii) ASR（アルカリシリカ反応）について述べる。

なお、これまでのケーソンの調査事例によれば、劣化調査の項目のひとつとしてコンクリートの中性化深さの測定が挙げられていることが多い。しかし、ケーソンは一般に海中に没した構造物であることから、中性化の進行によって性能が低下したケーソンは見られていない。また、ケーソンの設置環境を考慮すれば中性化の進行は極めて遅い。したがって、本手引き（案）では、ケーソン部材の中性化に関する検討は不要と判断した。

#### (i) 塩害による劣化

塩害による劣化の発生と進展を検討するにあたっては、JSCE-G573「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法」によるコンクリート中の塩化物イオン濃度と、鉄筋腐食の状態について調査する。ここで、海中部に位置するコンクリート部材は、外部からの酸素の供給が少なく、塩害による劣化（鉄筋腐食）の進行が遅くなる傾向にあることが知られている。また、干満帯においても、コンクリートの飽水率が高く酸素がコンクリート中を拡散しにくい環境にあるため、塩害

による劣化の進行は遅くなる傾向にある。一方、飛沫帯では、塩化物イオンおよび酸素の供給が十分にあるため、塩害による劣化の進行は速くなる。一般に、ケーソンはその大部分が海中部～干満帯に位置するため、塩害による劣化の進行が設計供用期間中のケーソン部材の性能低下に及ぼす影響は小さい。しかし、これまでに当該構造物または近隣に建設された類似のケーソンにおいて、塩害によりケーソン部材の性能が低下した事例が認められている場合、また海水位に対するケーソン天端高が一般的なものよりも高い場合には、コンクリート中の塩化物イオン濃度と鉄筋の腐食速度について調査することが望ましい。

## (ii) ASR による劣化

ASR の進行は、目視調査により確認されたアルカリシリカゲルの滲出、ひび割れの進展、ひび割れ幅の拡大を指標として評価することができる。ただし、現状では、ASR による影響を受けた構造物の劣化予測は難しい。このため、ASR による性能低下が生じる可能性が考えられる場合は、ASR に関する専門家に相談するのがよい。

ASR による劣化の発生の可能性を確認するための簡易な方法としては、採取したコアの観察による方法<sup>2.1)</sup>、採取したコアの力学的性質（圧縮強度、ヤング係数など）の測定による方法がある。

### 2.3.2 中詰材の調査

補強の対象とするすべての隔室について、中詰材の粒度試験を実施する。

#### 【解説】

中詰固化工法の適用にあたっては、ケーソンの中詰材の状況を確認の上、適用の可否の判断や施工法を検討する必要がある。

現地における中詰材の調査は、机上調査と同様の理由により、補強の対象とするすべてのケーソンの隔室について行うことが望ましい。ただし、補強の対象とするすべてのケーソンの隔室について、同一の材料・工法により中詰材が充填されていることが机上調査により明らかである場合は、代表的なケーソンおよび隔室を選出して調査を行うとよい。

中詰材の調査は、上部工コンクリート上からのボーリングにより試料を採取することで行う。採取した試料の粒度試験により中詰材の土質条件や細粒分含有率を把握することで、補強の対象とするケーソンに適した中詰固化工法を選定することが可能となる。

②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）および③中詰固結工法（薬液注入）の場合、中詰材に大粒径の石などが混入していると固化材または固化剤が固化予定範囲に十分に浸透しないことがある。

④中詰置換工法（固化材添加）の場合、中詰材の排出は隔室内にサンドポンプを挿入して吸い出す方法が一般的である。この際、大粒径の石や木片などの異物が混入していると、中詰材が十分に排出できないことがある。また、この工法では、事前の配合試験が必要となる（後述 5.5.1）。例えば、文献 2.3)では、中詰材の粒度試験を踏まえた配合設定方法（この場合、セメント混合量）について検討しており、参考にするるとよい。

なお、通常は、ケーソンの各函、各隔室で中詰材の土質条件に大きな違いはないと考えられるが、確実な中詰固化の実施のためには、事前の試料採取や土質調査を充実させることが極めて重要となる。

### 2.3.3 施工環境の調査

適切な工法選定と円滑な施工の実施に向けて、現地の施工環境を調査する。

#### 【解説】

補強の対象とするケーソンの現地海象条件のほか、現地における施工の資機材の調達状況、施工スペース（プラントの設置含む）等についても調査する必要がある。施工環境の調査において必要な調査項目の設定に当たっては、3.1 工法選定の基本、及び5.1 一般を参照するとよい。

#### 【参考文献】

- 2.1) 鳥居和之監修，山田一夫編集：コンクリート診断 ASR の的確な診断/抑制対策/岩石学的評価，森北出版株式会社，2017.
- 2.2) 国土交通省港湾局監修：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，補修設計例 2，2018.
- 2.3) 森田一之，森下倫明：粘り強く効果を発揮する「高潮防波堤」の改良工事～南海トラフ巨大地震に備える～，国土交通省国土技術研究会論文集，pp.209-212，2014.

## 第3章 補強工法の選定

### 3.1 工法選定の基本

中詰固化工法の選定に当たっては、施工条件および施工時に要求される性能を考慮しなければならない。主たる施工条件としては下記の6項目が挙げられ、それぞれの項目の検討結果を総合的に判断した上で、工法を選定しなければならない。

- 1) 現地海象条件
- 2) 補強の対象とするケーソンの規模
- 3) 上部工の撤去
- 4) 中詰材の材質
- 5) 施工の確実性
- 6) 補強範囲

#### 【解説】

中詰固化工法は、各々の工法で特徴があり、施工条件および施工時に要求される性能を考慮して工法選定を行う必要がある。ここでは、下記に示す施工条件6項目について留意点を述べる。なお、これらの施工条件はそれぞれに影響を及ぼすことから、すべての条件を考慮して総合的に工法を選定する。

#### 1) 現地海象条件

補強の対象とするケーソンの立地地域、使用目的（防波堤、岸壁等）、地形・周辺構造物（主波向に対する遮蔽の有無）、季節特性（台風、冬季波浪等）により、施工期間中に対象ケーソンに作用する波力は様々である。施工期間中においてもケーソン堤体の安全性は確保されなければならないことから、補強工事の実施時期等を踏まえて工法を選定する必要がある。

#### 2) 補強の対象とするケーソンの規模

ケーソンの規模（高さ、隔室数等）により、固化を行う中詰材の数量が変わる。これに伴い、要求される施工期間に応じた施工機械の配置等を検討する必要がある。こうした施工機械の配置には、他の条件から制約が設けられることも考えられる。

#### 3) 上部工の撤去

本手引き（案）では①中詰コンクリート工法、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）、③中詰固結工法（薬液注入）、④中詰置換工法（固化材添加）を対象としているが、いずれの工法を選定した場合でも上部工を部分的に、或いは全部を撤去する必要がある。上部工の形状（厚さ、幅等）によっては、施工機械が制約されることもあり、工費・工期に及ぼす影響が大きくなると考えられる。

#### 4) 中詰材の材質

既存中詰材の材質（砂質土、礫質土等）によって中詰材撤去の容易さが異なるほか、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）、③中詰固結工法（薬液注入）、④中詰置換工法（固化材添加）の場合は、中詰材の固化後の強度のばらつきが懸念される。また、スラグ材等が使用されている場合は、中詰材が固結している可能性があり、破碎措置が必要となるなど、施工性に及ぼす影響が大きいと考えられる。

#### 5) 施工の確実性

中詰材を固化するにあたり、固化後の中詰材の強度にばらつきが生じたり、未固化部分が発生したりすることが懸念される。こうした施工に起因するばらつきが、補強後のケーソンの性能に影響を及ぼすことが考えられるため、中詰材が適切に固化できるよう、工法選定においては十分に考慮する必要がある。

#### 6) 補強範囲

本手引き（案）に示す補強工法は、ケーソンの一隔室内の中詰材をすべて固化することを基本とする。

### 3.2 中詰固化工法の基本

- (1) ケーソンの補強を目的とした中詰固化工法は、①中詰コンクリート工法、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）、③中詰固結工法（薬液注入）、④中詰置換工法（固化材添加）から選定することを基本とする。
- (2) 机上調査および現地調査の結果を踏まえて、補強の施工時および施工後のケーソンの安定性や、補強の施工がケーソン部材に及ぼす影響について検討する。

#### 【解説】

##### (1)について

ケーソンの補強を目的とした中詰固化工法の選定にあたっては、既往の補強工事・実験工事等の事例を参考に、下記に示す4つの工法から選定することを基本とする。

- ①中詰コンクリート工法：隔室内の中詰土砂を撤去し、その後にコンクリートを打ち込む方法。
- ②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）：隔室内の中詰土砂を高圧噴射攪拌工法で固結する方法。
- ③中詰固結工法（薬液注入）：隔室内の中詰土砂を薬液注入工法で固結する方法。
- ④中詰置換工法：隔室内の中詰土砂を一時的に撤去し、セメント混合等の固化材を混合した後に埋め戻す方法。

各工法の特徴比較を表-3.2.1（1）（2）に示す。

表-3.2.1 中詰固化工法比較表（1）

工法	①中詰コンクリート工法	②中詰固結工法(高圧噴射攪拌)		
目的	ケーソン部材の補強	ケーソン部材の補強		
工法のイメージ				
施工手順 (※)はケーソン不安定化要因	1)上部工部分撤去 (コンクリート削孔、ワイヤーソーイング工法) 2)水中サンドポンプ等により中詰材を排出(※) 3)コンクリート打設 4)上部工復旧	1)上部工コンクリート削孔 2)高圧噴射攪拌により固化処理 3)上部工復旧		
特徴	・補修工法としての実績が多く、確実性が高い。 ・単純な施工内容で、難易度が低い。 ・上部工の撤去は部分的だが、中詰材を一旦全撤去するため、ケーソンの安定性に影響を与える。	・補修工法としての実績は少ないが、実験レベルでは効果が確かめられている。 ・施工設備が簡便であり、施工性が良い。 ・上部工の撤去は孔あけのみで、中詰材の撤去も無いことから、ケーソンの安定性に影響を与えない。		
強度の目安	18 N/mm <sup>2</sup>	3 N/mm <sup>2</sup>		
適用性	(1) 現地海象条件	△中詰コンクリートの打設は、上部工及び中詰材を撤去した後行う必要があるため、施工場所の海象条件が厳しい場合は、ケーソンが不安定化する期間を考慮して、施工時期等を検討する必要がある。	○ケーソンが不安定化することなく施工が可能であり、かつ施工機械をケーソン上に設置して施工を行うことから、海象条件の影響を受けずに施工が可能である。	
	(2) 補強対象ケーソンの規模	△中詰材の撤去は、隔壁に大きな側圧が作用しないように、各室ほぼ同時に行う必要があるため、ケーソン規模が大きくなる(もしくは室数が多くなる)と、水中サンドポンプ等の設備が大規模となる。また、中詰材の撤去は、短期間で行うことが望ましいため、ケーソン形状が大きくなると対応が困難となる。	○ケーソン規模の大小については、配杭により対応可能であり、ケーソン形状の影響をあまり受けずに施工が可能である。	
	(3) 上部工撤去	△中詰材撤去及び中詰コンクリート打設のため、各室口1.5m程度の範囲で上部工を撤去する必要がある。このため、上部工が厚いと工期・工費に及ぼす影響が大きくなる。	○施工位置にロッドを挿入するため、φ200mm/箇所にて上部工を削孔する必要があるが、上部工厚の影響は小さい。	
	(4) 既存中詰材材質	砂	○特に支障なし	○特に支障なし
		礫	△水中サンドポンプが使用できない可能性が高く、撤去に時間がかかる。	△砂に比べて改良率が低下
		スラグ	×固結している可能性が高く、破砕措置等が必要になる。	×固結している可能性が高く、破砕措置等が必要になる。
(5) 施工の確実性	○中詰材をコンクリートで置き換えるため、確実に施工でき強度のばらつきも小さい。	△中詰砂に玉石や礫が含まれている場合は、ロッド周囲の中詰砂崩落により噴射ノズルが閉塞されて切削能力が低下し、未固化部が発生する可能性がある。		
(6) 補強範囲	中詰材を一旦全撤去することで隔壁間の土圧差が生じるため、全隔壁の中詰材の固化が原則である。	消波ブロックと接触する港外側の隔壁のみを固化する等、対象隔壁選択の自由度は高い。		
工法採用に関する留意点等	最も確実な効果が得られる工法であるが、工期とコストがかかる。中詰材撤去時に堤体が空になるため海象条件厳しい場所では留意する必要がある。中詰材をすべて処分する必要がある。	隔壁内の部分固化が可能な工法である。中詰材が砂で、玉石や礫が含まれていない場合はほぼ確実に施工できる。排泥処理が必要となるため留意が必要。		

○：適用可，△：適用可だが注意点あり，×：別途検討が必要

表-3.2.1 中詰固化工法比較表（2）

工法	③中詰固結工法(薬液注入)	④中詰置換工法(固化材添加)		
目的	ケーソン部材の補強	ケーソン部材の補強		
工法のイメージ				
施工手順 (※)はケーソン不安定化要因	1)上部工コンクリート削孔 2)薬液注入により固化処理 3)上部工復旧	1)上部工部分撤去 (コンクリート削孔、ワイヤーソーイング工法) 2)水中サンドポンプ等により中詰材を排出(※) 3)中詰材にセメント混合 4)送泥ポンプにて混合処理材を戻す 5)上部工復旧		
特徴	・補修工法としての実績は少ないが、実験レベルでは効果が確かめられている。 ・施工設備が簡便であり、施工性が良い。 ・上部工の撤去は孔あけのみで、中詰材の撤去も無いことから、ケーソンの安定性に影響を与えない。	・予防工法として実績があり、確実性が高い。 ・上部工の撤去は部分的だが、中詰材を一旦全撤去するため、ケーソンの安定性に影響を与える。		
強度の目安	0.1～0.3 N/mm <sup>2</sup>	18 N/mm <sup>2</sup>		
適用性	(1) 現地海象条件	○ケーソンが不安定化することなく施工が可能であり、かつ施工機械をケーソン上に設置して施工を行うことから、海象条件の影響を受けずに施工が可能である。	△中詰材の置換は、上部工及び中詰材を撤去した後行う必要があるため、施工場所の海象条件が厳しい場合は、ケーソンが不安定化する期間を考慮して、施工時期等を検討する必要がある。	
	(2) 補強対象ケーソンの規模	○ケーソン規模の大小については、配杭により対応可能であり、ケーソン形状の影響をあまり受けずに施工が可能である。	△中詰材の撤去は、隔壁に大きな側圧が作用しないように、各室ほぼ同時に行う必要があるため、ケーソン規模が大きくなる(もしくは室数が多くなる)と、水中サンドポンプ等の設備が大規模となる。また、中詰置換は、一日で行うことが望ましいため、ケーソン形状が大きくなると対応が困難となる。	
	(3) 上部工撤去	○施工位置にロッドを挿入するため、φ150mm/箇所にて上部工を削孔する必要があるが、上部工厚の影響は小さい。削孔箇所は高圧噴攪拌工法に比べて多くなる。	△中詰材撤去及び中詰コンクリート打設のため、各室□1.5m程度の範囲で上部工を撤去する必要がある。このため、上部工が厚いと工期・工費に及ぼす影響が大きくなる。	
	(4) 既存中詰材材質	砂	○特に支障なし	○特に支障なし
		礫	○適正な薬液を選定すれば可能。	△水中サンドポンプが使用できない可能性が高く、撤去に時間がかかる。
		スラグ	×固結している可能性が高く、破砕措置等が必要になる。	×固結している可能性が高く、破砕措置等が必要になる。
(5) 施工の確実性	△中詰材の土質性状により割裂注入が卓越する場合には改良率が低下する。	○原位置ではなく土運船等に集積して施工するため、確実に施工でき強度のばらつきも小さい。ただし、圧送時の分離抵抗性を確保するため、富配合となる場合は強度過大となる。		
(6) 補強範囲	消波ブロックと接触する港外側の隔壁のみを固化する等、対象隔壁選択の自由度は高い。	中詰材を一旦全撤去することで隔壁間の土圧差が生じるため、全隔壁の中詰材の固化が原則である。		
工法採用に関する留意点等	隔室内の部分固化が可能な工法である。 礫質の中詰材においても施工が可能。薬液注入時は隔壁を損傷させないための圧力管理が必要となる。 薬液の種類によっては恒久的な効果は望めない。	中詰材を一旦撤去するため確実に施工できるが、中詰材撤去時に堤体が空になるため海象条件厳しい場所では留意する必要がある。		

○：適用可，△：適用可だが注意点あり，×：別途検討が必要

(2)について

①中詰コンクリート工法と④中詰置換工法については、上部工や中詰材撤去の際に堤体重量が減少するため施工中にケーソンの安定性が低下する。施工後は、堤体重量が増加するため基礎地盤の支持力や底版およびフーチングの安全性に影響を及ぼす可能性がある。また、複数の隔室で中詰材を排出する場合は、隔壁に大きな偏土圧が作用することとなる。さらに、②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）および③中詰固結工法（薬液注入）も含めたいずれの工法についても、中詰材の打設あるいは薬液等注入時の液圧等がケーソン部材に及ぼす影響について事前に検討しておく必要がある。

以下に、a) 上部工および中詰材撤去時、b) 施工時のケーソン部材の安全性、c) 補強後の堤体の安定性（滑動、転倒、基礎地盤の支持力）、d) 補強後のケーソン部材の安全性に関して、検討すべき事項を述べる。

a) 上部工および中詰材撤去時

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年）【施】第2章 2.2.3 作用(7)」には、ケーソンの据付時の照査に用いる作用の設定に関して下記の記述がある。

(7) ケーソン据付時の性能照査に用いる作用は以下の通りに設定することができる。

①隔壁について、施工条件を考慮して、各室間の水筒差に起因する水圧を作用として設定する。

②ケーソン沈設にはサイホンあるいはポンプで水を入れる方法、バルブで水を入れる方法などがあるが、バルブ出入れる場合は、1.0mの水頭差をみておけば十分である。サイホン或いはポンプで水を入れる場合にも、こまめにホースを移動させるなどの施工管理をして、水頭差を1.0m以内にすることが望ましい。

③ケーソンの据付けは、まず注水しながら沈設し、ケーソンの全室の天端まで水が一杯になったのち中詰材を投入する。中詰材の投入に当たっては、土圧差が生じないように施工に配慮する必要がある。なお、中詰材は浮力を受けているから、据付け時の中詰材による隔壁に対する作用としては、中詰材による水頭差が注水時の水頭差のほぼ1.6倍以内であれば考慮する必要はない。

中詰材撤去時はこれと逆の手順となることが考えられるため、上記の①②③の考え方をそのまま流用すればよい。複数の隔室で中詰材を同時に排出する場合は、隔壁に大きな偏土圧が作用するおそれがあるため、隔壁の保有性能に応じて適切な水位および中詰材天端管理が必要である。ただし、撤去の各段階において、表-3.2.3に示すとおりケーソン部材に影響を及ぼす可能性があることに留意する。

表-3.2.3 各段階において配慮すべき事項（案）

施工段階	配慮すべき部材	配慮すべき変状	施工中にケーソン部材に影響を及ぼす要因
上部工部分撤去	側壁，隔壁	コンクリートの剥離，損傷，ひび割れ	・削孔時の振動 ←コンクリートの剥離，損傷，ひび割れの発生や損傷範囲の拡大を招くおそれがある
中詰材撤去	側壁，隔壁	コンクリートの剥離，損傷，ひび割れ	・水頭差、中詰め土圧差 ・施工機材（ウォータージェット等）による損傷 ←いずれもコンクリートの剥離，損傷，ひび割れの発生や損傷範囲拡大を招くおそれがある

#### b) 施工時のケーソン部材の安全性

①中詰コンクリート工法と④中詰置換工法については、隔室から中詰材を撤去した後に、隔室にコンクリートまたは固化材を混入した中詰材を打設する。このため、側壁については波圧、隔室内の残留水の水圧、コンクリートまたは固化材を混入した中詰材の側圧に対して、隔壁については隔室内の水圧とコンクリートまたは固化材を混入した中詰材の側圧に対して、十分な部材耐力を有することを予め検討する必要がある。

②中詰固結工法（高圧噴射攪拌）および③中詰固結工法（薬液注入）については、薬液等の噴射・注入時、側壁や隔壁に作用する側圧に注意する必要がある。なお、ケーソン側壁にひび割れ等の損傷が見られる場合には、薬液等の流出を避けるために、中詰固結工法の適用前に側壁のひび割れ注入や断面修復を実施する必要がある。

#### c) 施工後の堤体の安定性（滑動，転倒，基礎地盤の支持力）

補強後の中詰材の単位体積重量が当初建設時よりも大きくなることが懸念される場合、予め、施工後の堤体重量の増加による堤体の安定性を確認しておくことよい。また、例えば、最外隔室のみの中詰を固化するなど、ケーソン構造全体の重心が当初建設時と変わる可能性がある場合は、偏心傾斜荷重に対する支持力についても確認する必要がある。

#### d) 施工後のケーソン部材の安全性

上記 c) に関連して、端趾圧の増加が底版およびフーチングの耐力に及ぼす影響についても確認する必要がある。また、底版の隔壁からの抜け出しについても確認する必要がある。なお、底版の照査に当たっては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 5 月）」【施】第 2 章 2.2.3 作用 (9)」を参照すること。

## 第4章 補強の設計

### 4.1 ケーソン及びケーソン部材の補強後の目標性能

ケーソンまたはケーソン部材の補強は、補強後の目標性能を明確にしたうえで、要求性能を満足するように実施しなければならない。

#### 【解説】

ケーソンの補強の主な目的としては、1) ケーソン堤体の安定性を確保することを目的とする場合と、2) ケーソン部材の耐力を向上させることを目的とする場合がある。前者では、主に消波ブロック被覆堤の側壁への消波ブロックの繰返し衝突が挙げられる。この場合、側壁が損傷し隔室内の中詰材が流出することで、ケーソン堤体の安定性が失われる可能性があるため、中詰材の流出防止による自重の確保が求められる。一方、後者では、ケーソンの転用等における改良設計におけるケーソン部材の要求性能の変化、またはケーソンへの作用が変化することによるケーソン部材の耐力不足が挙げられる。この場合、部材を直接または間接的に補強する必要がある。

本手引き（案）が対象とする中詰固化工法は上記のいずれの目的にも適用し得るが、目標とする性能によって補強工法の種類や適用範囲等が異なる点に注意を要する。特に、消波ブロック被覆堤での消波ブロックの繰返し衝突に対する側壁の補強については、中詰材を固化することで、側壁が損傷したとしてもケーソン堤体の安定性を確保することができる。このような観点から、消波ブロック被覆堤におけるケーソン堤体の安定性の確保を目的とした補強では、隔室内部の中詰材が十分な強度で確実に固化していることを前提として、部材の照査は不要と判断してもよい。

### 4.2 中詰固化工法の設計の基本

- (1) 中詰固化工法の適用にあたっては、補強の対象となる部材と隣接する隔室内の中詰材をすべて固化することを前提とする。
- (2) ケーソンまたはケーソン部材の補強にあたっては、材料特性値や配筋について、机上調査および現地調査の結果を踏まえて適切に設定するものとする。

#### 【解説】

##### (1)について

中詰固化工法をケーソンまたはケーソン部材の補強に適用する場合、工法を問わず、基本的に補強の対象となる部材と隣接する隔室内のすべての中詰材を固化することを前提とする。既往の研究<sup>4.1)</sup>によれば、ケーソン模型試験体の静的な載荷実験では、隔室内の中詰材の部分的な固化であっても側壁の耐荷力が向上することが確認されたが、これは側壁背面と中詰固化部間の付着の影響であると判断された。実際のケーソンでは、その大半が水中に没していることから、このような付着を期待することは難しい。また、側壁への消波ブロックの繰返し衝突を模擬した載荷実験では、中詰材の部分的な固化による側壁の補強効果は十分でないと判断された<sup>4.2)</sup>。したがって、補強の対象とするケーソン部材と接する隔室について、その内部をすべて固化することを前提とした。

## (2)について

ケーソンまたはケーソン部材の机上調査および現地調査は、第2章による。

### 4.3 作用

ケーソンおよびケーソン部材への作用は、施工中および設計供用期間中に想定されるものを適切に考慮する必要がある。

#### 【解説】

作用の設定にあたっては、ケーソンの施工および供用条件を十分に考慮した上で設定する。例えば、ケーソンを転用する場合は、転用先におけるケーソンへの作用を適切に設定しなければならない。ただし、中詰固化工法を適用した場合の側壁については、中詰材が十分に固化した後、内部土圧は作用しないと考えるよい。

なお、消波ブロック被覆堤においては、消波ブロックの側壁への衝突を作用として適切に考慮する必要がある。このような作用を考慮するにあたっては、「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）」が参考になる。

### 4.4 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化

- (1) 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化にあたっては、中詰材を固化した隔壁と接する面にバネを有する版部材としてモデル化してよい。
- (2) 堤体の安定性の確保を目的とした補強を行う消波ブロック被覆堤の側壁は、隔壁内部の中詰材が十分な強度で確実に固化していることを前提として、剛体とみなしてよい。

#### 【解説】

#### (1)について

一般に、側壁および隔壁は三辺固定版（蓋コンクリートが十分に負担できる場合は四辺固定版）としてモデル化される。また、底版は一般に四辺固定版でモデル化される。中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化にあたっては、部材が固化対象の隔壁側に変形する内曲げに対しては、部材の変形を中詰材が面的に支持する構造として、面バネを配置した版部材としてモデル化してよい。一方、中詰材が抵抗しない方向に部材が変形する外曲げには、面バネはゼロと設定する。面バネの設定にあたっては、付録2 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化を参考にすることができる。

#### (2)について

側壁への消波ブロックの繰返し衝突を模擬した載荷実験によれば、側壁表面に一部損傷は生じるものの、側壁と中詰材はほぼ一体的に挙動していたことが確認されている<sup>4.2)</sup>。したがって、消波ブロック被覆堤の側壁は、隔壁内部の中詰材がすべて十分な強度で確実に固化していれば、側壁は隔壁内部の固化部と一体化されており、ほぼ剛体として挙動するとみなしてよい。ただし、載荷実験では、中詰材の固化後の圧縮強度は 3.0MPa 以上であり、これ以下の強度範囲の中詰固化工法を適用する場合

には実験等による確認が必要である.

【参考文献】

- 4.1) 田中豊, 黒木賢一, 川端雄一郎, 加藤絵万, 染谷望: 中詰材の固化による既設ケーソンの補強に関する実験的検討: 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.75, No.2, pp.I\_833-I\_838, 2019.
- 4.2) Yutaka Tanaka, Kenichi Kuroki, Yuichiro Kawabata and Ema Kato: The Effect of Solidification of Filling Materials Inside a Caisson on Structural Response Against Repeated Impact Load, Proceedings of the Sixth International Conference on Construction Materials (ConMat'20), 2020.

## 第5章 補強の施工

### 5.1 一般

施工を円滑に進めるため、現地の状況を把握し、必要に応じて対策を講じる。

#### 【解説】

適切に施工を行うための配慮事項や確認項目等は、中詰固化工法の種類に応じて異なる。本章では、各工法を適用した場合の施工計画や施工方法等について述べる。

いずれの工法を選定した場合においても、施工時期や作業時間、作業空間などの制約、ならびに使用する材料の特徴を十分に理解して実施可能な施工計画を策定し、適切に施工管理を実施するものとする。とくに、足場や資機材置場などの仮設計画は施工の品質や補修コストに大きな影響を及ぼすため、十分に検討する必要がある。

施設を供用しながらの施工となる場合も少なくない。そのため、施工を円滑に進めるには、資機材置場および施工時の作業ヤードを適切に確保することが重要となる。なお、施工箇所と資機材置場や作業ヤードは近いことが望ましいが、現場の条件によっては施工箇所近辺に確保できないこともある。また、適用する工法や材料によっては作業ヤードと施工箇所との距離に制約がある場合もある。様々な条件を鑑みて、作業ヤードや資機材置場を確保できるように、計画を検討しておくことが重要である。なお、資機材置場や作業ヤードの確保が困難な場合、台船などを使用することもある。台船を利用する場合には、台船の寸法などによって仮置き可能な材料などの数量が制限されるので、施工サイクルや資材積み込み用クレーンの手配など、入念な計画と調整が必要になる。また、撤去したコンクリート殻の仮置場の確保とともに、資機材置場の使用状況に応じて場外搬出時期の検討も必要となる。

### 5.2 中詰コンクリート工法

#### 5.2.1 施工計画

中詰コンクリート工法により所要の性能を満たす補強が実施できるよう、施工条件および設計条件を十分考慮して施工計画を策定するものとする。

#### 【解説】

##### (1) 中詰材の排出

中詰材の排出は隔室内に水中サンドポンプを挿入して吸い出す方法が一般的である。水中サンドポンプは、中詰材の粒径や揚程など施工条件に合わせたポンプを選定する必要がある。この場合、大粒径の石や木片などの異物が混入していると、中詰材の排出が十分に行えないことがある。ケーソンの中詰材の状況を確認の上、適用の可否の判断や施工方法を検討する必要がある。水中サンドポンプによる中詰材撤去中に残留した大粒径の石や木片などの異物は、クラムシェルなどを使用して撤去する。

##### (2) 中詰コンクリートの選定

打ち込む中詰コンクリートは、水中コンクリートもしくは水中不分離性コンクリートを使用する。

中詰コンクリートを打ち込む際は、隔室内は海水が滞留した状態であり、水中にコンクリートを打ち込むことになるため、所要の強度が得られる水中コンクリートもしくは水中不分離性コンクリートを使用する。なお、コンクリートの配合などについては、「コンクリート標準示方書【施工編】（公益社団法人 土木学会）」や「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）（公益社団法人 土木学会）」に準じて決定する。隔室内の海水を排水でき、ドライな環境でコンクリートを打設することが可能な場合には、排水を行って普通コンクリートを使用してもよい。ただし、この場合には、所定の範囲にコンクリートが確実に充填できる施工方法および配合を検討する必要がある。

### (3) 中詰コンクリートの打込み

中詰コンクリートの打込みに当たっては、隔室内全域に材料分離することなく確実に充填できる施工方法を検討しておく必要がある。コンクリートの打込みは、コンクリートミキサー船、コンクリートポンプ車などを用いて行うが、一般には水中への打込みとなるため、「コンクリート標準示方書【施工編】」や「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）」の施工方法に関する記述内容を参考にする。とよい。

## 5.2.2 施工

中詰コンクリート工法の施工は、施工計画で定めた施工手順に従うものとする。

### 【解説】

標準的な施工手順を、図-5.2.1 に示す。

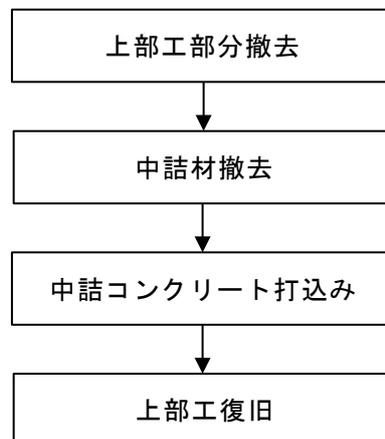


図-5.2.1 施工手順

### (1) 上部工（上部コンクリートおよび蓋コンクリート）部分撤去

上部工を部分撤去し、中詰材撤去および中詰コンクリート打込み用の開口部を設ける。撤去方法は、コアボーリングによる削孔とワイヤーソーイング工法による切断の併用により行う。

#### ① コンクリート削孔

削孔位置をマーキングし、コアボーリングマシンでワイヤーソーイングの切断誘導孔を削孔する。

削孔は、隔室毎に行い、削孔したコンクリートコアを引き抜く。

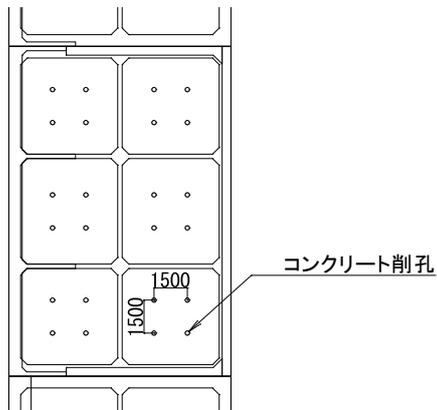


図-5.2.2 削孔位置平面図(例)



図-5.2.3 コンクリート削孔状況

## ② ワイヤソーイング設置準備

撤去する上部工底面へ、ワイヤソーイングのダイヤモンドワイヤーを通線できるように、切断誘導孔から水中サンドポンプを挿入し、加水しながら中詰砂を通線可能となるまで吸引除去し、空洞を確保する。

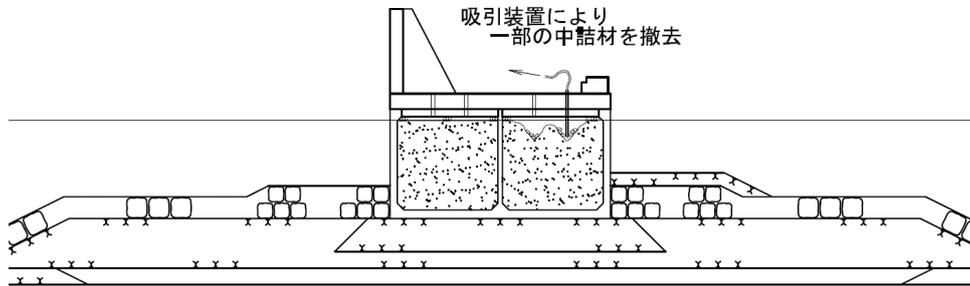


図-5.2.4 中詰材吸引状況図



図-5.2.5 中詰材吸引状況

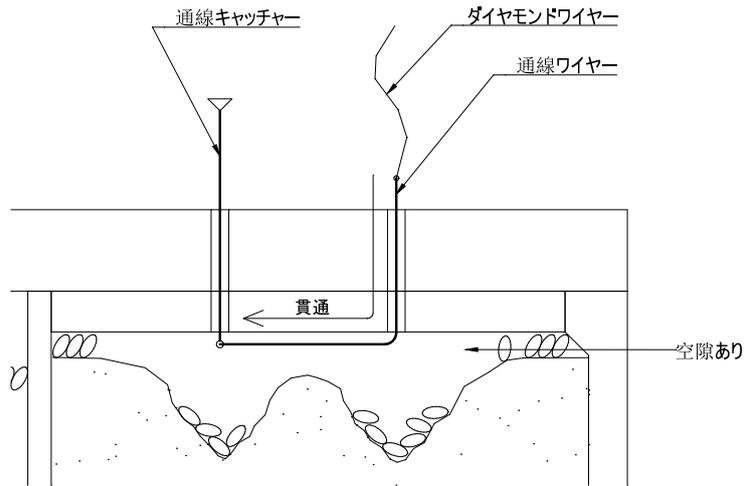


図-5.2.6 ダイヤモンドワイヤー引き込み要領図

③ ワイヤソーイング切断

ダイヤモンドワイヤーを切断誘導孔に通して切断箇所に巻き付け、ワイヤソーマシンにより切断を行う。切断は、平行した2面を先行する。平行した2面の切断終了後、吊り治具を取り付け、切断時のブロック落ち込みを防止する。吊り治具を取り付けた後、残りの2面の切断を行う。

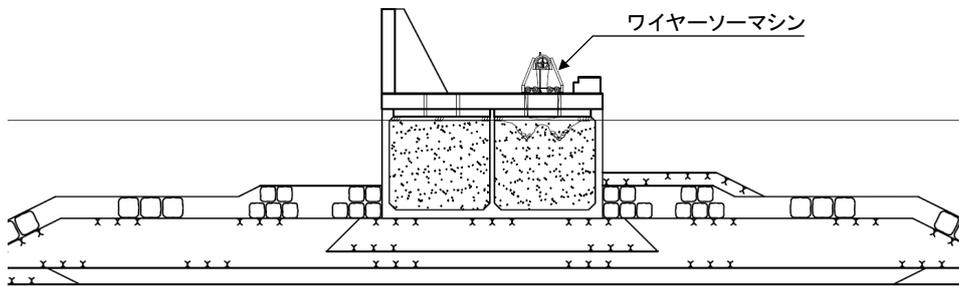


図-5.2.7 ワイヤソーイング切断状況図



図-5.2.8 ワイヤソーイング切断状況

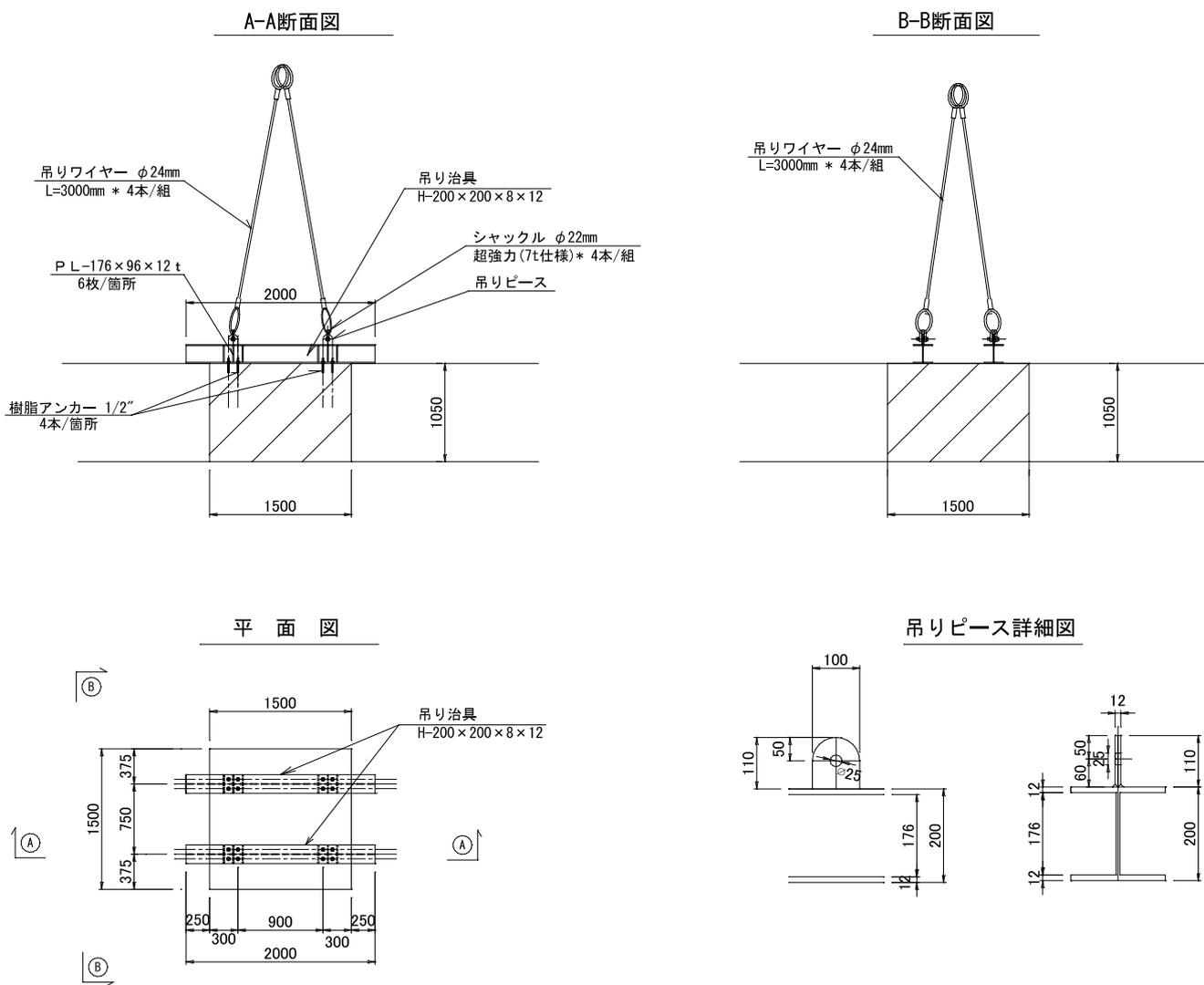


図-5.2.9 吊り治具詳細図(例)

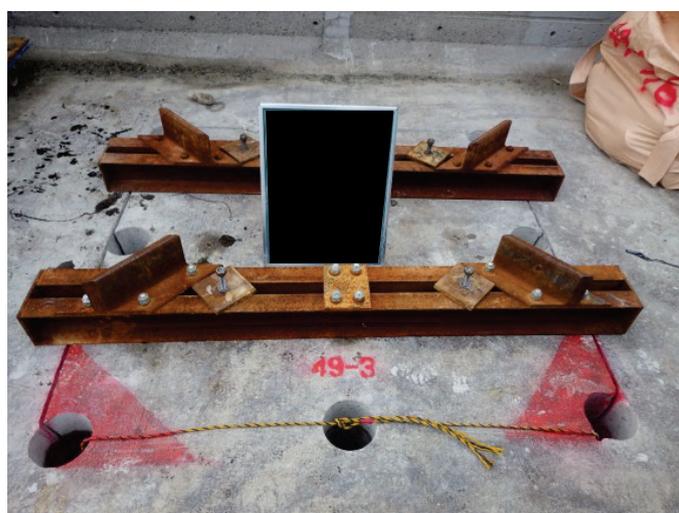


図-5.2.10 吊り治具設置状況

④ 切断ブロック撤去

切断したブロックはクレーン付台船で吊り上げ撤去する。

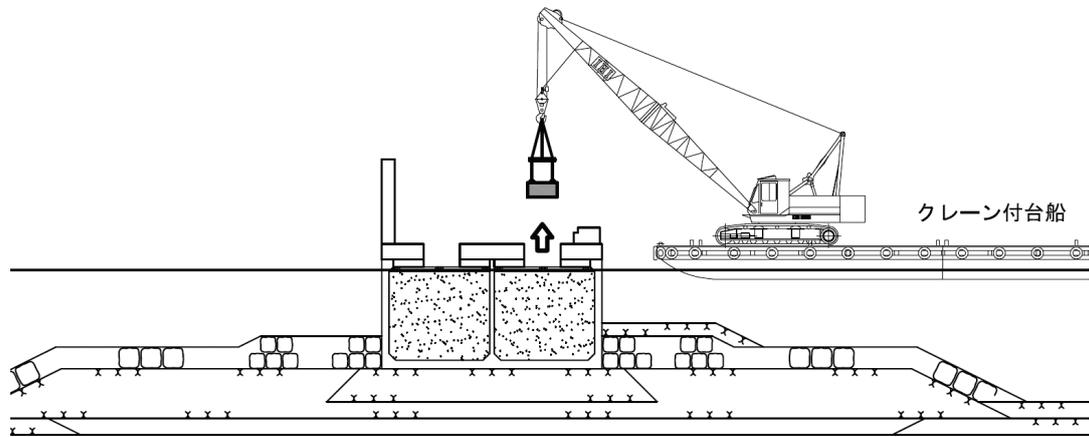


図-5.2.11 切断ブロック撤去状況図

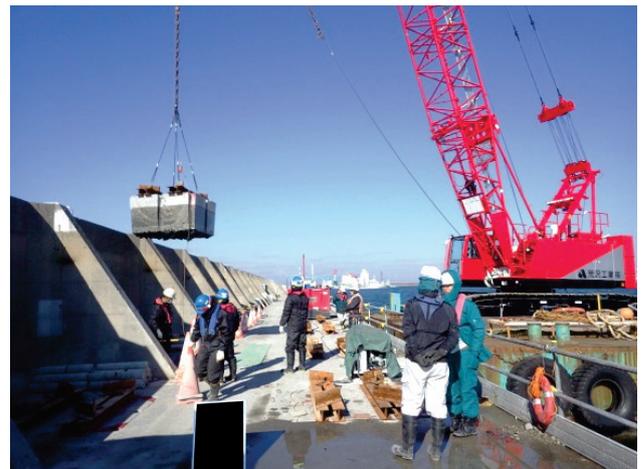


図-5.2.12 切断ブロック撤去状況

## (2) 中詰材撤去

中詰材撤去は、全隔室同時に吸引除去する。

### ① 中詰材撤去

クレーン付台船に水中サンドポンプを設置し、高圧ノズル散水で中詰材をほぐしながら中詰材の撤去を行う。なお、撤去にあたり、レッド等で各隔室の中詰材高さを確認する。

### ② 注水置換

中詰材を撤去する隔室は、バラスト水で置換する。開口部に吐出管を設置し、水中ポンプで注水する。注水時にオーバーフローによる濁水が海上に流出しないように管理する。

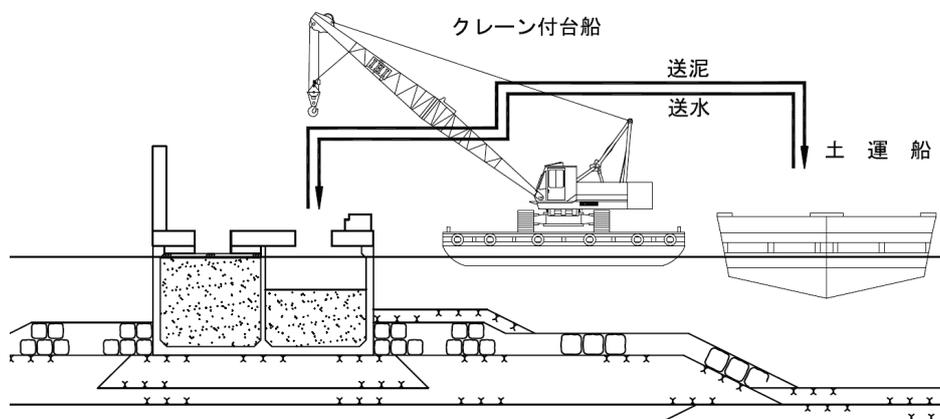


図-5.2.13 中詰材撤去状況図



図-5.2.14 中詰材撤去状況

### (3) 中詰コンクリート打込み

バラスト排水用の水中ポンプを設置し、バラスト水を排水しながら中詰コンクリートを打ち込む。打ち込む中詰コンクリートは、水中コンクリートもしくは水中不分離性コンクリートを使用し、トレーもしくはコンクリートポンプを用いて、バラスト水で満たされた隔室内に底面から打ち込む。なお、打込みにあたり、各隔室の中詰コンクリート高さおよびバラスト水位をレッド等で計測する。

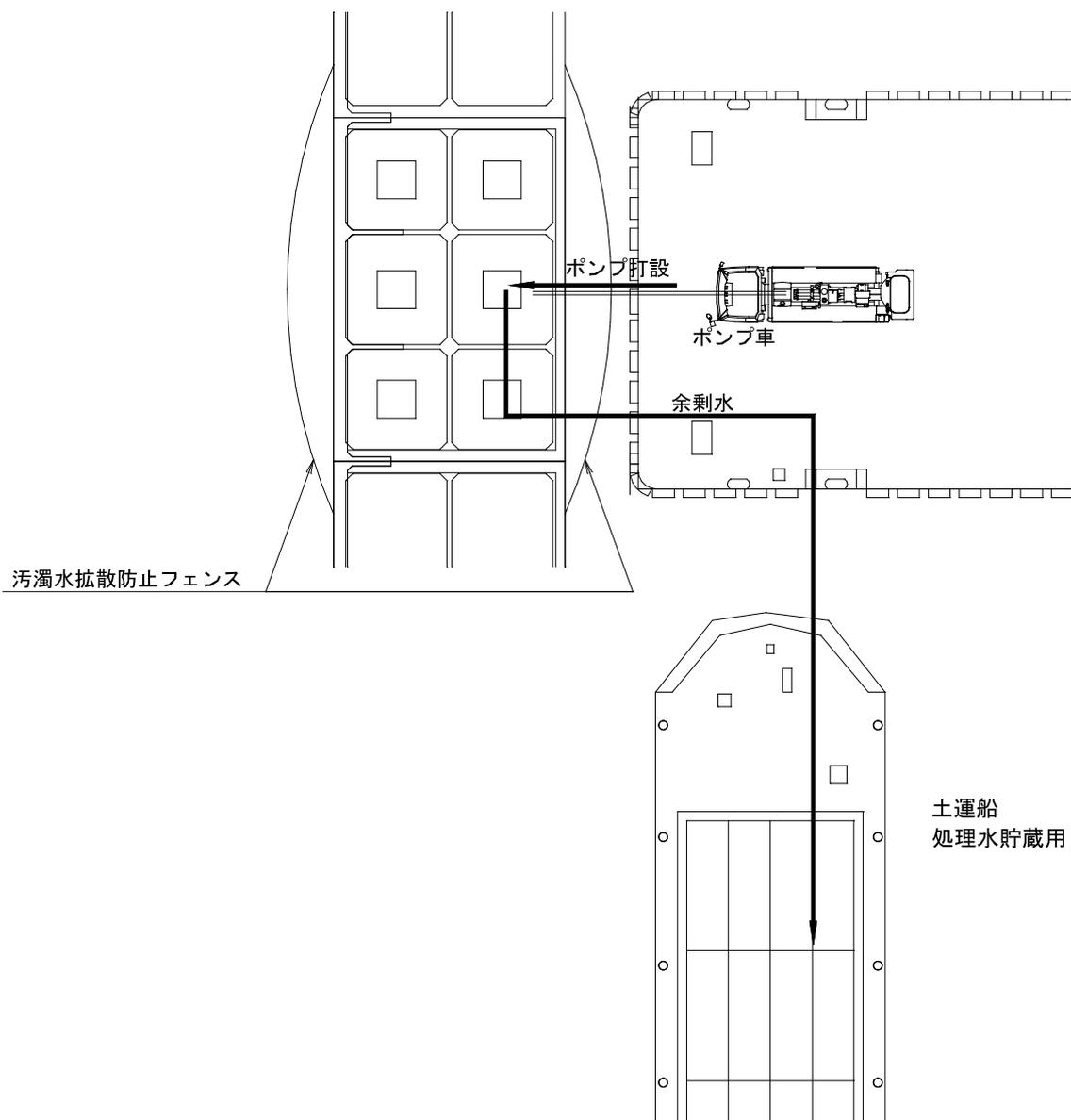


図-5.2.15 中詰コンクリート打込み状況図

### (4) 上部工（上部コンクリートおよび蓋コンクリート）復旧

隔室内の中詰コンクリートの打込みが完了した後、開口部に滞留する水があれば水中ポンプにより排水し、普通コンクリートで蓋コンクリートおよび上部コンクリートを復旧する。

### 5.2.3 検査

設計図書と施工計画に基づき、検査計画を策定する。

#### 【解説】

#### (1) レディーミクストコンクリートの受入れ検査

「コンクリート標準示方書【施工編】」や「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）」によることを標準とする。

#### (2) 中詰コンクリートの位置および形状寸法の検査

発注者があらかじめ定めた形状寸法の許容誤差を満足しなければならない。

#### (3) 検査結果

検査記録として整理し保管することを標準とする。

## 5.3 中詰固結工法（高圧噴射攪拌）

### 5.3.1 施工計画

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）により所要の性能を満たす補強が実施できるよう、施工条件および設計条件を十分考慮して施工計画を策定するものとする。

#### 【解説】

#### (1) 海象条件

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）による施工は、港湾ランクや施工海域の気象・海象条件等を考慮して工法や使用機械の選定を行う必要がある。

施工時期は比較的海象条件の良い時期となるよう計画することを基本とするが、やむを得ず海象条件が悪い条件下で施工を行う場合は、一時的に施工機械や機材を撤去しやすい施工方法を計画しておくことが望ましい。

#### (2) 施工機械

施工機械は削孔設備・造成設備に大別される。図-5.3.1に、代表的な施工プラントの一例を示す。

##### ① 削孔設備

削孔設備は、削孔機械（ボーリングマシン）、削孔ポンプ、削孔器具により構成される。削孔機械は注入孔の削孔および造成ロッドの設置をするための機械であり、回転式（ロータリーボーリング）で行うことが一般的である。削孔径は各工法により決められており、その径は $\phi 40\sim 250\text{mm}$ 程度である。

## ② 造成設備

造成設備は、造成機械、超高压ポンプ、セメントスラリープラント、グラウトポンプ、注入器具により構成される。造成機械は削孔機械と兼用となる場合もあり、その移動のためにラフタークレーンが施工位置に配置されるのが一般的である。超高压ポンプは各工法の施工仕様を満足する必要がある、工法によっては2台使用する場合もある。ポンプの形式はプランジャー式が一般的であり、吐出の脈動を抑えるため複筒複動タイプのものが多い。セメントスラリープラントは硬化材の各材料を練り混ぜ調合するものである。プラントの形式は攪拌槽および攪拌翼からなる機械攪拌式が一般的であり、施工セット数により選定する必要がある。なお、ノズル位置によってはケーソン底版天端付近に未固化部が生じる場合があるため、その影響に配慮した設計方法や施工の手順を検討する必要がある。

## (3) 施工プラントの機材配置

プラント設備は、注入材料・貯水槽・計量装置等の材料関係設備、セメントスラリープラント・流量計・超高压ポンプ等の各種機械設備、排水・排泥処理設備、工事用水・電力設備等から構成される。プラントの必要面積は、各材料の貯蔵量や種類、各工法での使用機械の設備数によって異なるが、概ね100~200m<sup>2</sup>の面積が必要である。プラントから施工位置までは、工法によるが50~100m以内である。これは、主に超高压流体の吐出圧力を確保するためである。施工機材のプラント機材配置例を、**図-5.3.1**に示す。

施工条件や施工場所に適合した機材配置検討を行う必要がある、特に施工プラントの機材配置場所が台船上となった場合、発生した泥水の処理・運搬方法が問題となる場合が多いため、ストック用の排泥容器を別途設ける等の対応が必要となることもある。台船上へのプラント配置例を、**図-5.3.2**に示す。

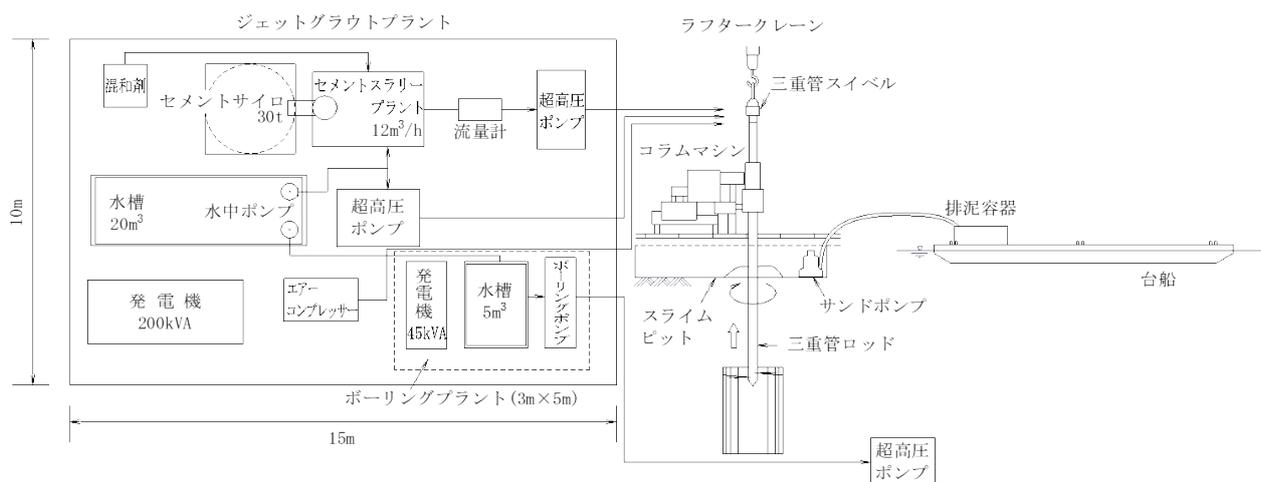


図-5.3.1 標準施工プラント図(ジェットグラウト工法の例)



図-5.3.2 プラント配置例

(4) 中詰材

ケーソンの中詰材には、砂、碎石、スラグ等様々な種類の材料が使用されているため、中詰材の種類や性状、施工深度等を考慮し、工法や使用機械の選定、硬化材の種類、改良径等の計画を行う必要がある。

中詰材に玉石や礫が多く含まれている場合、ロッド周囲の中詰砂崩落により噴射ノズルが閉塞されて切削能力が低下し、未固化部が発生する可能性がある等、砂に比べて改良率が低下するおそれがあるため、計画の際に留意する必要がある。また、中詰材にスラグが使用されている場合、スラグが水和して固結している可能性が高く、破碎措置等が必要になることもある。

(5) 採用工法の特性

① 改良径

改良径は中詰材の土質や適用する工法により異なるため、既往事例や各工法の技術資料を参考に設定する。

改良径の一例として、「一般社団法人日本ジェットグラウト協会 技術資料（平成29年9月）」に示されている標準的な改良有効径を表-5.3.1と表-5.3.2に示す。

表-5.3.1 JSG 工法での標準有効径

項目	土質名	砂 質 土					砂 礫 ※	
	N 値	$N \leq 10$	$10 < N \leq 20$	$20 < N \leq 30$	$30 < N \leq 35$	$35 < N \leq 40$		$40 < N \leq 50$
標準有効径 (m) 深度 ( $0\text{ m} < Z \leq 25\text{ m}$ )		2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	—

※砂礫については、十分検討の上決定する必要がある。

表-5.3.2 コラムジェットグラウト工法での標準有効径

N 値	砂 礫	注1)					
	砂 質 土	$N \leq 30$	$30 < N \leq 50$	$50 < N \leq 100$	$100 < N \leq 150$	$150 < N \leq 175$	$175 < N \leq 200$
有効径 (m) 深度 Z (m) で区分	$0 < Z \leq 30$ m	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
	$30 < Z \leq 40$ m	1.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

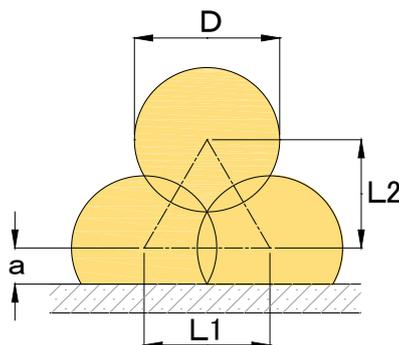
注1) 砂礫については、砂質土有効径の10%減を基本とする。

なお砂礫については、原則として試験施工等することが望ましい。

### ② 配杭計画

配杭計画（改良間隔）については上部工の削孔本数にも影響するため、中詰材の土質と適用する工法により決まる改良径や改良率、ケーソン隔室の大きさを勘案して適切な配置を計画する必要がある。

中詰材の改良率を100%とした場合の改良間隔（ラップ）の考え方を図-5.3.3に示す。



D : 改良径

$$L1 = \sqrt{3} / 2 \times D$$

$$L2 = 3 / 4 \times D$$

$$a = \sqrt{\{(D^2 - L1^2) / 4\}}$$

図-5.3.3 100%改良時の改良間隔

### ③ 日施工量

日施工量は中詰材の土質や適用する工法によりそれぞれ異なるため、試験施工や陸上工事における既往実績を踏まえ設定する。また、必要施工日数を設定する際は、高圧噴射攪拌の施工時間に加え、上部工の削孔時間や日々のプラント待避の必要性の有無等を踏まえ適切に設定する必要がある。

日施工量の一例として、「国土交通省土木工事積算基準」に示された陸上における二重管工法の標準施工能力算定式が参考になる。なお、この算定式には上部工の削孔時間や退避に必要な時間は含まれていないため、留意する必要がある。

#### ④ 排泥処理

高圧噴射攪拌に伴う排泥や上部工を削孔する際に発生する排泥は、産業廃棄物に該当することから産業廃棄物としての適切な処理が必要となる。高圧噴射攪拌に伴い発生する排泥量は選定工法によりそれぞれ異なるが、固化する中詰材の体積以上になることも多く、処理量を含め適切な処理計画を立案する必要がある。

高圧噴射攪拌工法では高圧で硬化材が吐出され隔室内に圧力が作用することから、ケーソンと上部工との境目や上部工の打ち継ぎ目から排泥が流出して海洋汚染を引き起こす懸念がある。そのため、排泥の吸引については蓋コンクリートの下端からバキュームポンプにより排泥を強制回収する必要がある。施工事例では、バキュームポンプのホースを直接蓋コンクリート下端まで入れられるよう、上部工に開ける削孔径をホース径にあわせて大きくしたり、専用の治具を製作して吸引を行った例がある。ホースを挿入して直接排泥した事例を図-5.3.4に、治具を用いて排泥を吸引した事例を図-5.3.5に示す。

回収した排泥の処理方法については、直接吸引してそのまま産業廃棄物として処理を行う方法や、排泥の自硬性を勘案して一次仮置きして固化させた後、産業廃棄物として処理を行う方法がある。排泥液発生量は、採用する工法により異なり、各工法の技術資料等に記載の排泥液量の算出基準を参考に算定することができる。



図-5.3.4 ホースを挿入して直接排泥した事例



図-5.3.5 治具を用いて排泥を吸引した事例

#### (6) ケーソンの現状調査の必要性

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）は超高压硬化材＋空気または超高压水＋空気＋硬化材を吐出し、ケーソン内の中詰材を切削・攪拌して中詰材の固化を行うもので、ケーソンの側壁に対して一定の圧力が作用することとなる。「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試験（港湾空港技術研究所資料 No.1351）」によれば、ケーソン隔室内から排泥・空気の逃げ道を確保すれば、中詰置換工法や中詰固結工法（薬液注入）に比べてケーソンの側壁や隔壁への影響は小さいと評価されているが、ケーソンにひび割れ等の損傷が有る場合、ひび割れ箇所からの排泥漏洩による海洋汚染が懸念される。

そのため、事前にケーソンのひび割れ等の状況を確認し、損傷が有る場合は事前に補修等の措置を取る必要がある。

また、上部工にパラペットが設置されている場合、上部工を削孔する際や中詰材の固化を行う際に足場の設置が必要となる。配杭計画を行う際の必要資料にもなることから、施行前の上部工形状の確認も重要な確認事項となる。

### 5.3.2 施工

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）による施工は、以下の施工手順にて行う。

**【解説】**

標準的な施工手順（施工フロー）を図-5.3.6 に示す。

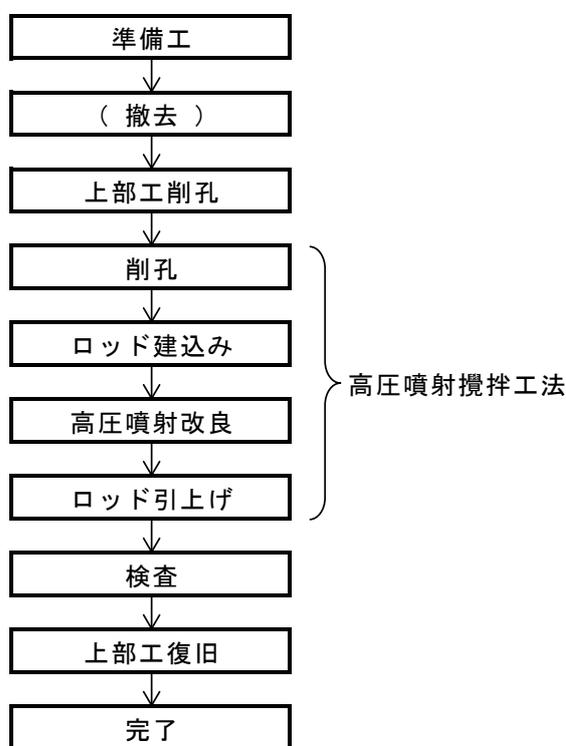


図-5.3.6 施工フロー

#### (1) 準備工

高圧噴射時には、一時的に緩みにより中詰材の地耐力が低下するため、上部コンクリート上での作業安全性を確認する必要がある。

高圧噴射工法は排泥を伴うため濁水流出に留意する。

#### (2) 撤去

上部工削孔や高圧噴射の施工の際、上部工に設置されているパラペットが支障となる場合は、必要に応じて撤去する必要がある。

### (3) 上部工削孔

上部工には、高圧噴射ロッド挿入や排泥回収および検査用などに必要な削孔を行う。

穿孔する箇所的位置出しを行い、マシンを固定するためのグリップアンカーをセットする。アンカーに合わせて、コアドリルを固定する支柱本体を固定する。穿孔で発生する切削水で周囲を汚さないように、水処理パッドをセットする。

削孔機セット状況を図-5.3.7に、削孔状況を図-5.3.8に示す。

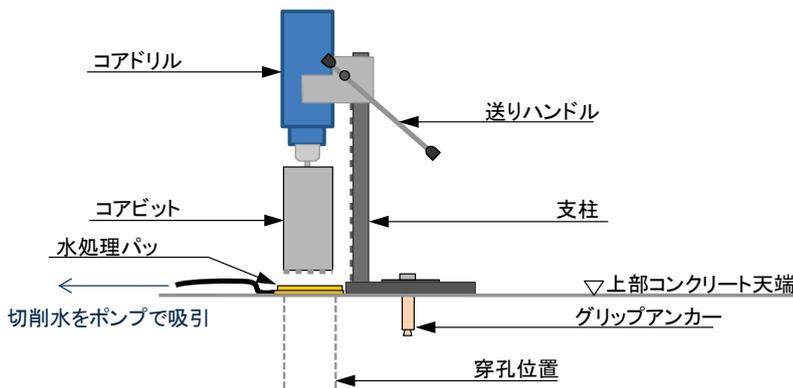


図-5.3.7 削孔機セット状況



図-5.3.8 上部工削孔状況

削孔機セット後、コアドリルを作動させ、送りハンドルを回しながらコンクリートを切り込む。切削水が発生するため、水処理パッドのポンプも作動する。コアドリルが所定の深さの穿孔に達した段階でスイッチを止め、送りハンドルを戻し、ドリルを上げる。コアビットを引上げた後、穿孔した隙間にくさびを打ち、コアを折り、引き抜く。折ったコアを引き抜いた後、コアビットに延長チューブを取付け、引き続き削孔およびコアの引抜きを繰り返す。コアの引抜き方法を図-5.3.9に示す。

削孔により生じるコンクリートコアは、産業廃棄物として処理する。

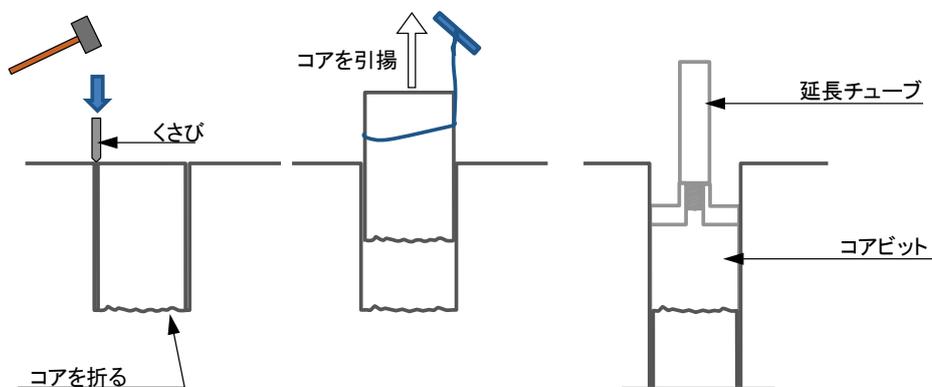


図-5.3.9 コンクリートコア引抜き方法

#### (4) 高圧噴射攪拌工法の施工

高圧噴射攪拌工法の施工順序図を図-5.3.10 に、施工状況を図-5.3.11 に示す。

高圧噴射は、コンクリートに閉塞された空間に施工することから、吐出圧力が上がり構造物や施工機械に不具合が発生しないよう、排泥計画に留意する必要がある。

高圧噴射ロッドを挿入する孔周辺からは多くの排泥が発生するため、高圧噴射ロッド位置の削孔径はロッド径より一回り大きくするなどして排泥回収が円滑に進むようにする。また、排泥回収用の孔は余裕を持った孔数を配置し、排泥排出を常に確保して吐出圧力の上昇を抑えるよう留意する。

二重管ロッドや三重管ロッド工法のように空気を伴った工法は、空気のリフト作用により排泥が比較的円滑に進むため、吐出圧力の低減に有効である。

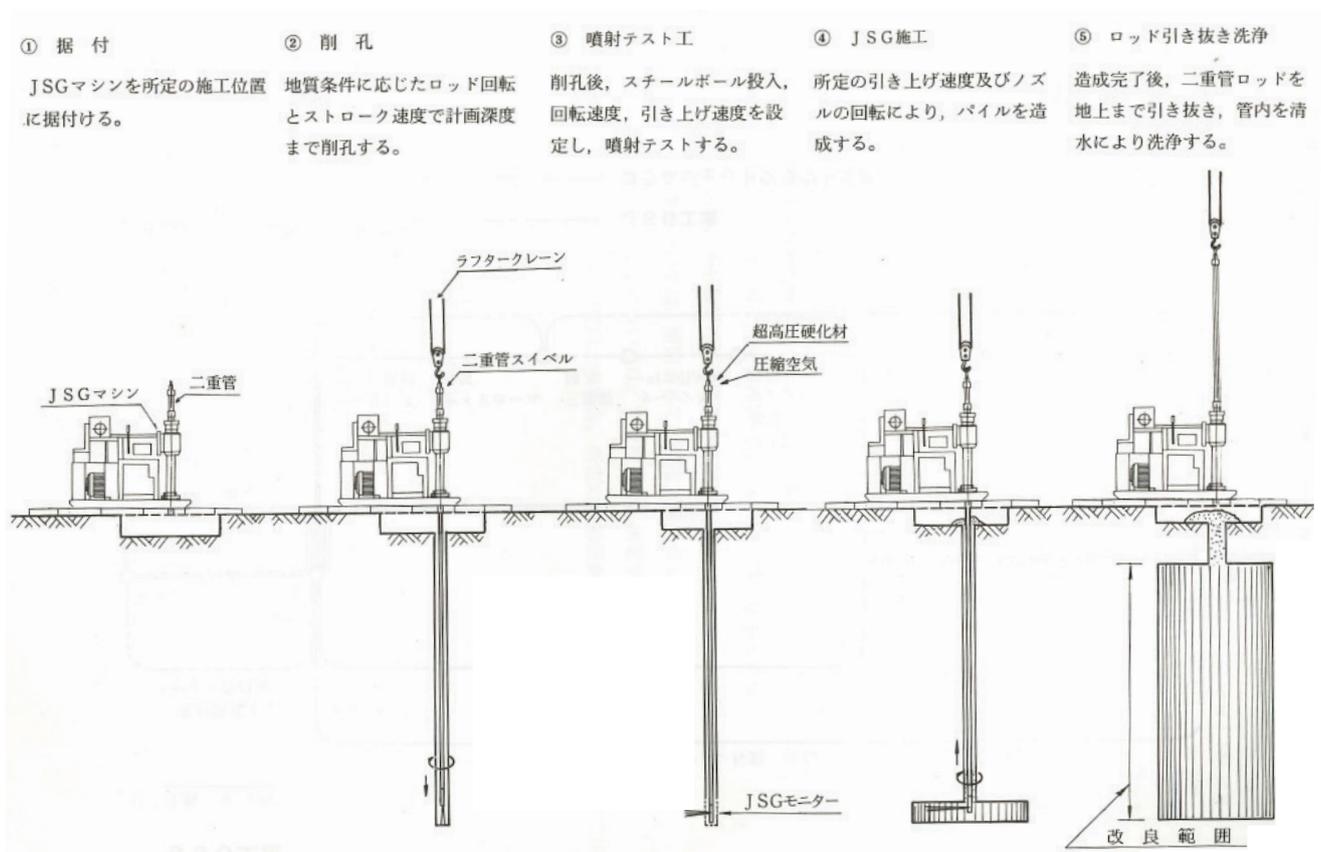


図-5.3.10 高圧噴射攪拌工法の施工順序図

(ジェットグラウト工法技術資料 (日本ジェットグラウト協会編), 平成 23 年 9 月)



図-5.3.11 施工状況

#### (5) 上部工復旧

高圧噴射ロッド挿入や検査等のために削孔した上部工に対して、コンクリートプラント船（CP 船）等を用いてコンクリートを打設する。コンクリート打設前に、固化によって発生した隔室内の排泥液を適切に処理する必要がある。

#### 5.3.3 検査

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）の検査は、材料検査及び出来形検査を行うことを標準とする。

##### 【解説】

##### (1) 標準管理基準

標準的な管理基準については、「ジェットグラウト工法技術資料（日本ジェットグラウト協会編）」に準ずる。プロセスチャートに沿って、管理項目、管理基準及び管理方法の一例を示せば表-5.3.3 の通りとなる。

表-5.3.3 標準管理基準 (ジェットグラウト工法技術資料 平成 23 年 9 月)

プロセスチャート	管理項目	管理基準	管理方法	頻度
JSG ←→ コラムジェット [ 杭芯出し ]	位置 埋設物	±10cm以内 管理者立会	スケール(マーキング) 目視(マーキング)	各孔 ー
← [ GH設置 ]	削孔角度 々 深度	±0.5°以内 設計値以上	水準計, スラントルール ケーシング長・テープ	各孔 々
← [ 三重管挿入 ]	深 度	設計値以上	ロッド長・テープ	各孔
← [ ケーシング引抜 ]	深 度	設計値以上	ケーシング長・テープ	各孔
[ マシン設置 ]	角 度	±0.5°以内	水準計, スラントルール	各孔
[ 削 孔 ]	削孔角度 々 深度	±0.5°以内 設計値以上	水準計, スラントルール ロッド長・テープ	各孔 々
[ 噴射テスト ]	回 転 数 引上時間	JSG 10rpm以内 コラムジェット 6rpm以内 設 定 値	ストップウォッチ 々	各孔 々
← [ 超 高 圧 水 ]	圧 力 流 量	35MPa以上 70ℓ/分	圧 力 計	常 時
[ 圧 縮 空 気 ]	圧 力 流 量	0.6~0.7MPa 1.5Nm <sup>3</sup> /分以上	圧 力 計	常 時
[ 硬 化 材 ]	配 合 力 流 量	比重±0.05以内 JSG 18MPa以上 コラムジェット 2MPa以上 JSG 60ℓ/分以上 コラムジェット 140,180ℓ/分以上	比 重 計 圧 力 計 流 量 計	1回/日 常 時
[ 回 転 引 上 ]	回 転 数 引上時間	JSG 10rpm以内 コラムジェット 6rpm以内 設 定 値	ストップウォッチ 々	各孔 々
[ 排 泥 処 理 ]	スライム状況 処 分 地	常 時 噴 泥 許可車輛・処分地	目 視 許 可 証	常 時 随 時
[ 引 抜 き ]	ロッド本数		ロッド本数・テープ	各孔
[ 穴埋め, 洗浄 ]	点 検 確 認		目 視	各孔

  共通   
  JSG   
  コラムジェット

(2) 検査

中詰固結工法（高圧噴射攪拌）を用いる場合は、通常ロッド位置など限られた場所のみ上部工を削孔するため、原位置載荷試験など固化天端を利用する効果確認は困難であることが多い。このため、検査は別途上部工に確認孔を削孔のうえチェックボーリングを行うのがよい。

## 5.4 中詰固結工法（薬液注入）

### 5.4.1 施工計画

中詰固結工法（薬液注入）により所要の性能を満たす補強が実施できるよう、施工条件および設計条件を十分考慮して施工計画を策定するものとする。

#### 【解説】

#### (1) 現場責任者の専任

薬液注入の施工に当たり、薬液注入工法の適切な使用に関して技術的知見と経験を有する現場責任者を専任する必要がある。

#### (2) 中詰材の把握

薬液注入による中詰固結は、高圧噴射攪拌工法等と比較して中詰材の特性（密度、間隙率、細粒分含有率）の影響を大きく受けるため、調査により中詰材の特性を明確にする必要がある。

#### (3) 工法および注入材の選定

ケーソン部材に損傷がなく隔室が密閉されている場合とケーソン部材が損傷している場合とでは、採用可能な施工方法や、強度の必要性等が違ってくことに留意する必要がある。特に、ケーソン部材の損傷箇所から漏洩が生じる可能性がある場合は、漏洩防止対策を講じる。

また、中詰材の特性に加えて、現地において清水の調達が困難な場合は海水仕様の配合となる場合があるため、これらを勘案して採用可能な注入材を選定する必要がある。

#### (4) 注入量・注入率の設定

注入量の算定において、注入率に影響する間隙率は、中詰材の土質調査の結果から定めるものとする。

#### (5) 薬液の管理

薬液の配合は、所定の配合設計にもとづき正確に計量を行い、ミキサにより確実に混合させる。配合時には、次の点に留意する。

##### ① 注入材の取り扱い

取り扱う注入材に応じ、保護用具の着用・換気その他の労働環境の保全に努める。

##### ② 材料の保管

材料保管は、水ガラスなどの液体はタンク類で、硬化材などの袋物は保管小屋または屋根囲いを設け、直射日光、雨、湿気に影響されないような状態に保ち、かつ飛散、漏えい、流出、浸水火災、盗難などの恐れのないように保管する必要がある。注入材料として使用されるものは、ほとんどが法的規制を受けない。ただし、表-5.4.1 に示すとおり、溶液型中性・酸性反応材に使用する硫酸は、消防法・毒物及び劇物取締法・労働安全衛生法〈特定化学物質障害予防規則〉により届け出、保管などの

規制がある。

表-5.4.1 注入材の法的規制

対象法	対象	内容
消防法	硫酸（硫酸 60%以下を除く）を 200 kg 以上貯蔵または取り扱う者	・所轄消防署への届け出
毒物及び劇物取締法	硫酸（濃度 10%を超えるもの）	・貯蔵設備の設備基準 ・取り扱い方法明示
労働安全衛生法（特定化学物質障害予防規則）	硫酸（1%を超えるもの）で 100l 以上取り扱う場所	・特定化学物質作業主任者の選任 ・取り扱い方法明示

#### (6) チャート紙

流量圧力の記録紙（チャート紙）は一般社団法人日本グラウト協会統一チャート紙を使用する。チャート紙の取り扱いは次の通りとする。

- ① 使用前に発注者の検印を受ける。
- ② 切断しないことを原則とし、1 ロールごとに使用する。
- ③ 1 ロールの使用が完了したら監督員等に提出する。
- ④ 監督員等の立ち会いを受けたら確認のサインをもらう。
- ⑤ 注入記録が判然としない場合や、切断してしまうなどの諸問題が発生した場合は、監督員等に協議を申し入れ、対応処置を講じる。

#### (7) 海域内などの水域内で注入する場合

海域内で注入施工を行う場合には、削孔時の排泥が流出して水域の汚濁を生じる恐れがあるため、汚濁防止対策が必要である。

施工に際し薬液の流出が懸念されるときは、締切り等により薬液の流出を防止する必要がある。

#### (8) 既設構造物などの監視

薬液注入工事では注入圧力により、側壁や隔壁の変状などの影響が出る可能性がある。これらを防止するためには、事前に構造物などの状態を十分調査しておくことが必要である。また、施工中は、ケーソンの変状の有無等を少なくとも目視により監視する。場合によっては、測量による監視や計器を用いた管理体制をとることも検討する必要がある。

#### (9) 施工プラント

防波堤での施工では、資機材を防波堤上に常設した場合、荒天予報の度に資機材の撤収・再設置が

必要となり非効率となるケースもあるため、船上プラント等も含めて検討する必要がある。船上プラントの事例を図-5.4.1に示す。



図-5.4.1 船上プラント事例

#### 5.4.2 施工

中詰固結工法（薬液注入）による施工では、所要の性能を満たすよう施工計画に基づき施工する。

##### 【解説】

中詰固結工法（薬液注入）の施工工程は、上部工等の削孔または撤去と、ケーソン中詰材への薬液注入である。

##### (1) 上部工の削孔

中詰固結工法（薬液注入）では、施工上の障害となる上部工を取り除く必要があるが、主にコンクリート削孔で対応可能である。コンクリート削孔に必要な資機材は、陸送可能な場合はトラックにより搬入し、陸送が不可能な場合は起重機船もしくは交通船にて海上輸送を行う。

上部工の削孔の具体的方法については、中詰固結工法（高圧噴射攪拌）と同様である。

##### (2) 薬液注入工

薬液注入工に先立ち、注入管を挿入する必要がある。注入管設置のための削孔は、ロータリーパーカッション等を用いて蓋コンクリートや中詰材を削孔し、シールグラウト充填等を経てパイプを建て込む。

施工フローの例を図-5.4.4に示す。

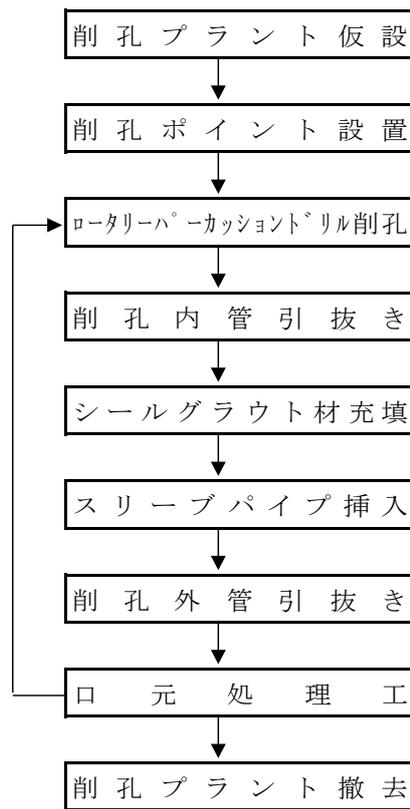


図-5.4.4 注入管建込みフロー例

薬液注入工は、主に二重管ストレナ工法、ダブルパッカ工法とその他の工法に分類されるが、前者の2つの工法が主として使われている。二重管ストレナ工法とダブルパッカ工法の一般的な施工手順を図-5.4.5 および図-5.4.6 に示す。

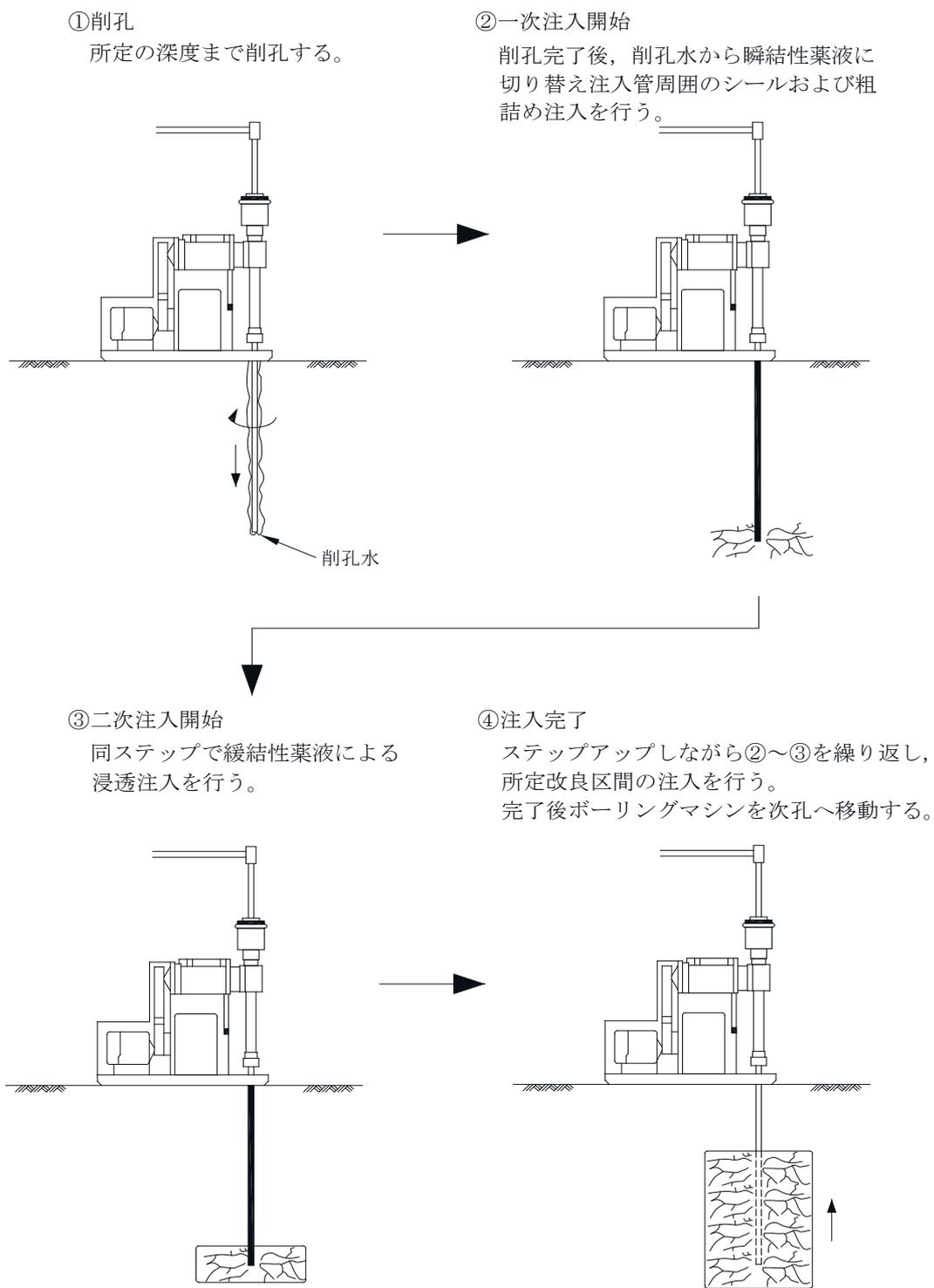


図-5.4.5 二重管ストレーナ工法施工手順図

(薬液注入工設計資料 (令和元年度版 一般社団法人日本グラウト協会) を参考に作図)

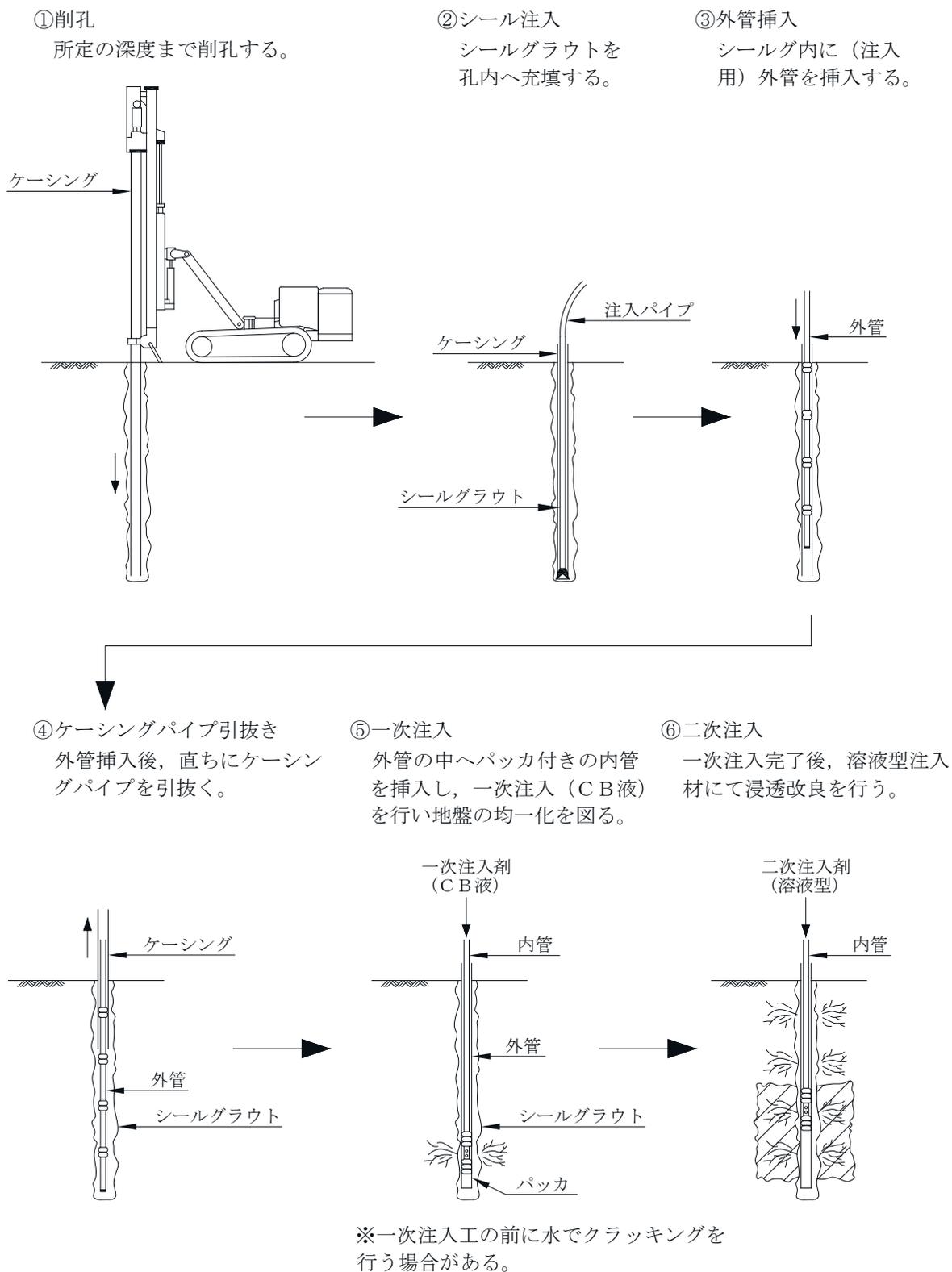


図-5.4.6 ダブルパッカ工法施工手順図

(薬液注入工設計資料（令和元年度版 一般社団法人日本グラウト協会）を参考に作図)

### (3) 施工事例

防波堤でのダブルパッカ工法による施工例を示す。

#### ① 削孔

パーカッションドリル（削孔マシン）を薬液注入位置に合わせ、移動、セットし、ケーシングロッドを送水しながら打撃力と回転力で所定の深さまで削孔する。施工状況を図-5.4.7 および図-5.4.8 に示す。

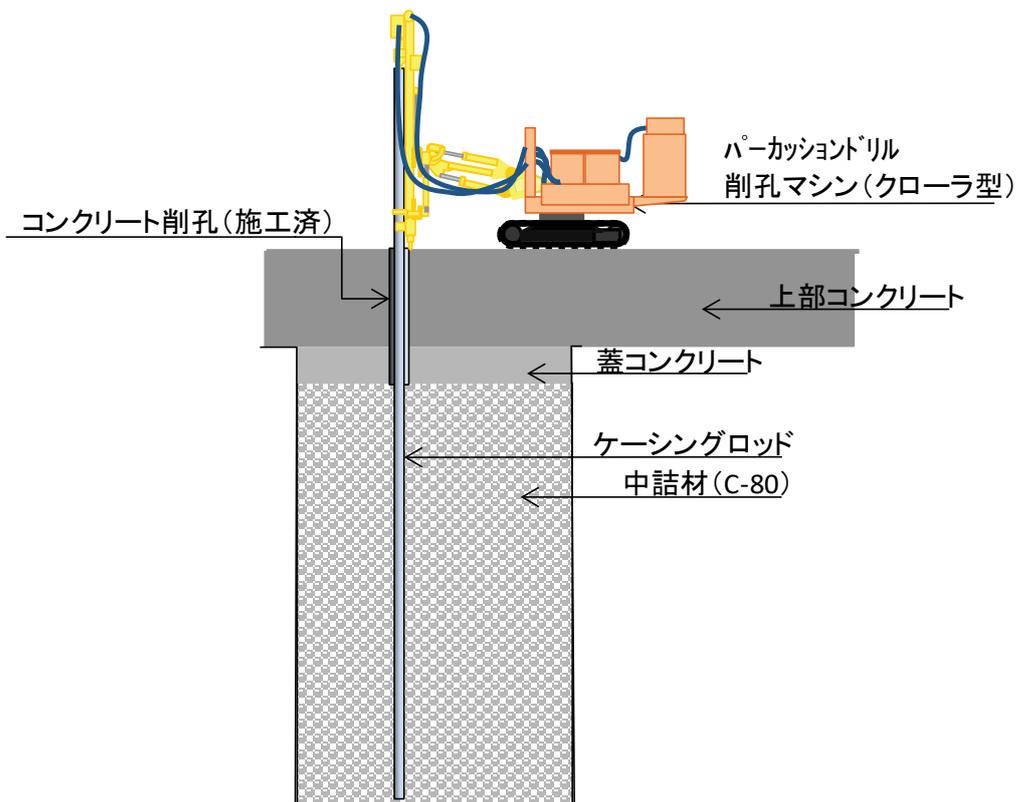


図-5.4.7 ケーシングロッド挿入



図-5.4.8 パーカッションドリル設置および削孔

② シールグラウト材注入

シールグラウト材を注入し、ケーシングロッドの中に薬液注入用外管を挿入し、ケーシングを引抜く。施工状況を図-5.4.9 および図-5.4.10 に示す。

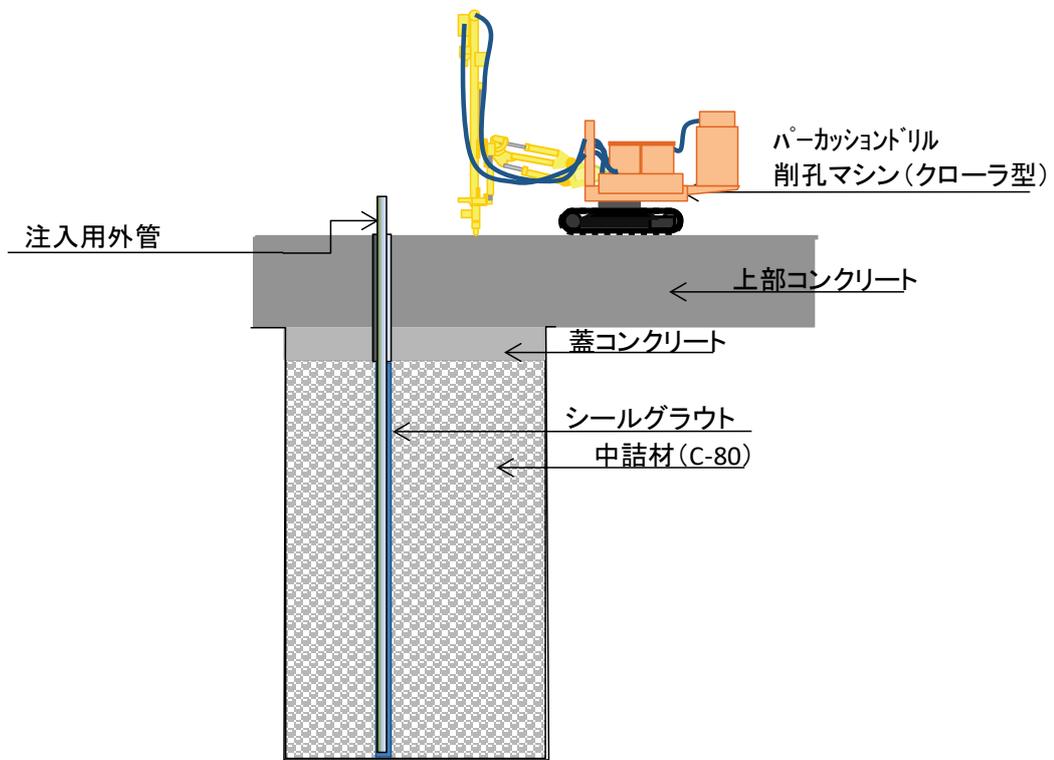


図-5.4.9 シールグラウト材注入

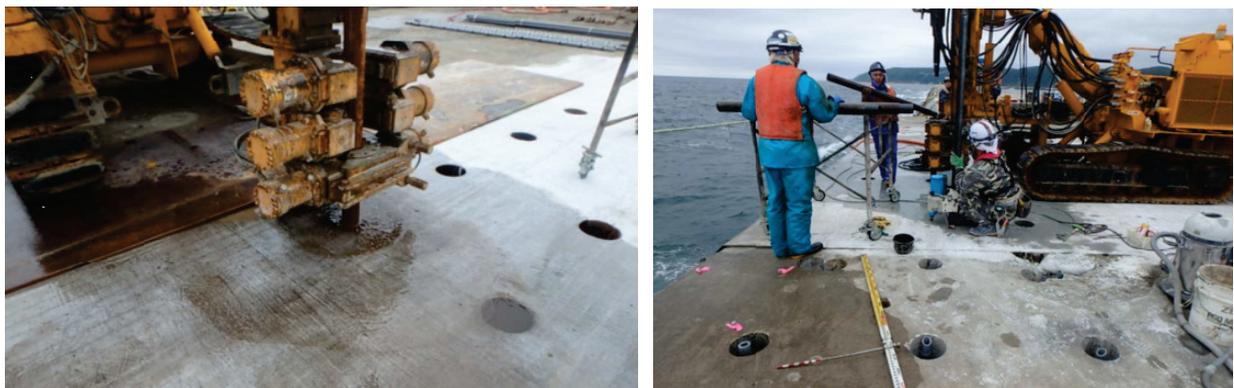


図-5.4.10 シールグラウト材注入およびケーシング引抜き

### ③ 薬液注入

注入用外管の中にパッカ付き内管を挿入し、一次注入を行い中詰の均一化を図る。一次注入完了後、二次注入にて浸透改良を行う。注入の施工イメージを図-5.4.11 に、施工状況を図-5.4.12 および図-5.4.13 に示す。

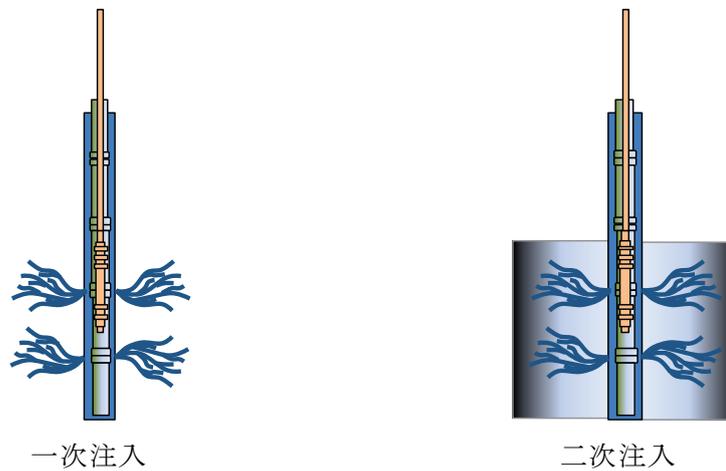


図-5.4.11 注入施工イメージ図



図-5.4.12 内管挿入および一次注入（CB注入）

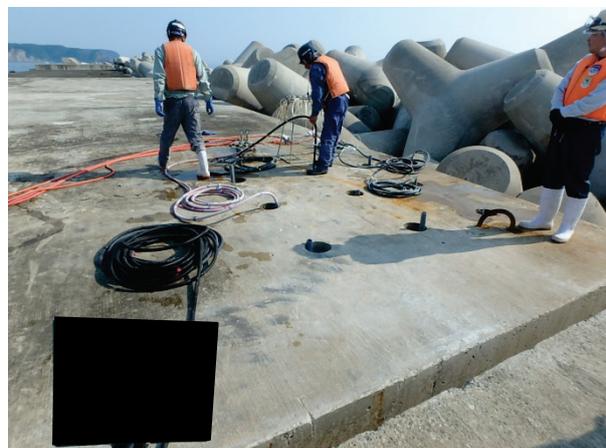


図-5.4.13 外管洗浄および二次注入（溶液注入）

### 5.4.3 検査

中詰固結工法（薬液注入）の所要の品質や出来形を満足するように、適切な項目と方法を用いて施工中の管理を行う。薬液注入工の検査は、必要に応じて注入量、注入圧等について行う。

#### 【解説】

薬液注入工の施工管理や検査等については、適用する工法に応じて以下の文献等を参考に設定する。

- ・薬液注入工法による地盤改良工事に係る適切な施工管理等について（平成 29 年 8 月 1 日付け国港技第 27 号・国空空技第 111 号）
- ・薬液注入工法の理論・設計・施工（公益社団法人 地盤工学会）
- ・薬液注入工 設計資料（一般社団法人 日本グラウト協会）
- ・薬液注入工 施工資料（一般社団法人 日本グラウト協会）
- ・薬液注入工 積算資料（一般社団法人 日本グラウト協会）
- ・耐久グラウト注入工法施工指針（一般社団法人 日本グラウト協会）
- ・恒久グラウト注入工法技術マニュアル（地盤注入開発機構 恒久グラウト・本設注入協会）

なお、ケーソン中詰固化の性能達成のために求められる管理基準値は、各工法の管理基準の上乗せ基準とする。

## 5.5 中詰置換工法（固化材添加）

### 5.5.1 施工計画

中詰置換工法（固化材添加）により所要の性能を満たす補強が実施できるよう、施工条件および設計条件を十分考慮して施工計画を策定するものとする。

#### 【解説】

#### (1) 事前配合試験

中詰置換工法の中詰材改質の配合設定では下記を確保する必要がある。

- ① 要求される現場強度（一軸圧縮強度）
- ② ポンプ圧送可能で材料分離を生じない流動性

配合試験に用いる試料は、現地のケーソンから採取した中詰材を用いることを原則とする。ただし、試料の作成においては、中詰材に含まれる細粒分が採取時に比べて減少することを考慮する必要がある。これは、細粒分が少ないと材料分離抵抗性に悪影響を及ぼすためである。

また、中詰置換工法は、ケーソンの安定性確保の観点から、隔室内に水を入れた状態で改質した中詰材を投入することが考えられるため、配合試験において材料分離が生じないことが必要である。一般にポンプ圧送に必要なテーブルフロー値は 150 以上であるが、事例では材料分離しないテーブルフロー値が 210 以下となっており参考にできる。なお、混練時やスランプ試験時において材料分離が確認された場合、(i) セメント量を増やす、(ii) 細粒分を補充する、(iii) 水分を少なくするなどの方法がある。

なお、材料分離抵抗性から求まるセメント添加量は、発現強度が設計強度を大幅に超える可能性が

あるが、材料分離せずポンプ圧送可能な流動性を確保することが必要である。

(2) 施工時のケーソンの安定性確保

上部工や中詰材撤去による堤体重量の低下を想定し、施工期間に来襲が想定される波浪等に対して、ケーソンの安定性を確保できるように、撤去方法を計画する必要がある。

(3) 施工時のケーソン部材の安全性確保

複数の隔室で中詰材を同時に排出する場合は、隔壁に大きな偏土圧が作用するおそれがあるため、隔壁の保有性能に応じて適切な水位および中詰材天端管理を計画する必要がある。

5.5.2 施工

中詰置換工法（固化材添加）の施工は、所要の品質、施工条件、施工規模などを考慮し、適切な施工方法と施工管理をもとに行う。

【解説】

中詰置換工法の標準的な施工フロー図と施工事例の断面図を図-5.5.1～5.5.2に示す。

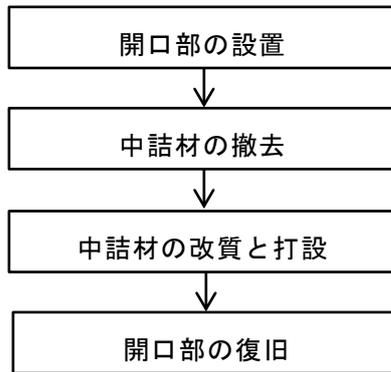


図-5.5.1 中詰置換工法の施工フロー

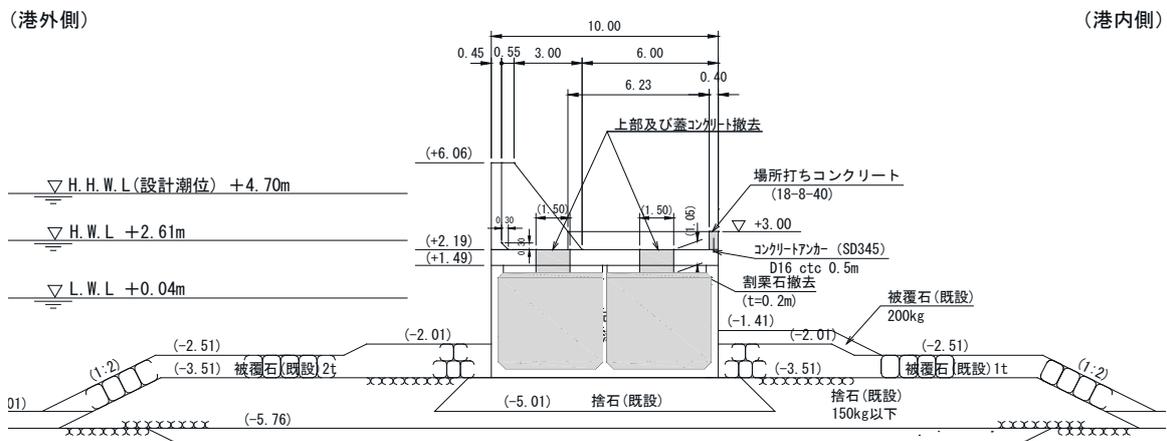


図-5.5.2 施工事例の断面図

中詰置換工法は、図-5.5.2 の施工断面図に示す中詰材を流用して固化するものであり、上部工に開口部を設けて中詰材を撤去し、セメント等の固化材を混合後に再度、中詰材として投入、上部工を復旧するものである。

主な船舶・機械構成例を表-5.5.1 に示す。

表-5.5.1 主な船舶・機械構成例

名称	能力	数量	単位	備考
油圧式クローラドリル		1	台	上部・蓋コンクリート撤去
ワイヤーソーイング工法		6	台	上部・蓋コンクリート撤去
クレーン付台船	100t 吊	1	隻	上部・蓋コンクリート撤去及び復旧
起重機船	130t 吊	1	隻	中詰材の撤去
土運船	1,000m <sup>3</sup> 積	3	隻	中詰材の撤去
水中サンドポンプ	8 インチ	6	台	中詰材の撤去
吊り架台		1	基	水中サンドポンプの吊り上げ
水中ポンプ	8 インチ	6	台	バラスト水の注水
プレミックス船	500m <sup>3</sup> /h	1	隻	中詰材の改質および打設

開口部の設置のために上部工や蓋コンクリートの撤去を行うが、表-5.5.1 ではワイヤーソーイング工法を用いて上部工を切断撤去後に、クローラドリルによる削孔によって蓋コンクリートを撤去する方法を用いた場合である。上部工や隔室の形状によっては適用できない場合があり、別途検討する必要がある。

施工フローに示す各段階の施工方法を以降に示す。

#### (1) 開口部の設置

中詰材の撤去のためにケーソンの各隔室上の上部工（上部コンクリートと蓋コンクリート）に開口部を設ける。開口部の大きさは、隔室の大きさや中詰撤去・投入方法に用いる施工機械に応じて定めるものとする。水中サンドポンプによる撤去とコンクリートポンプによる打設の場合、□1.5m×1.5mの開口部とした事例がある。

以下に、削孔とワイヤーソーイング工法を用いた撤去事例の手順を示す。

① 油圧式クローラドリルを用いてパイロット孔を上部工に穿孔する。



図-5.5.3 開口部設置状況

② 吸引装置を用いてパイロット孔から中詰材を除去してワイヤーを通す。

ワイヤーソーイング工法引込み線の通線は、塩ビ管の先端に曲がり管を取り付けたガイドパイプをパイロット孔に挿入し、ガイドパイプ内に引込み線を送り込み、隣のパイロット孔から挿入したケーブルキャッチャーで引込み線を引き上げて行う。

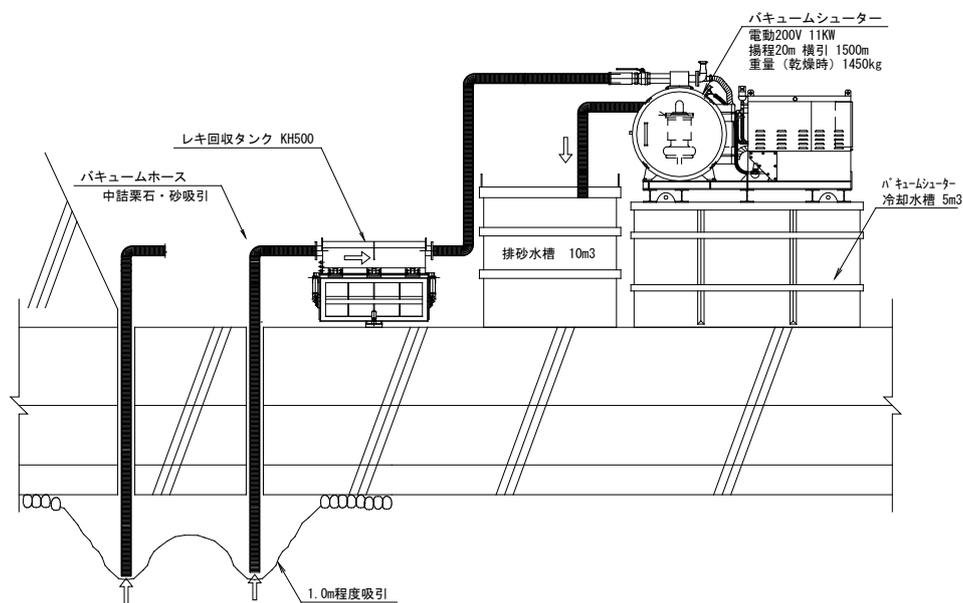


図-5.5.4 吸引装置による中詰材の除去（参考）

③ 上部工をワイヤーソーイング工法により切断する。

法線直角方向の2面をワイヤーソーイング工法で切断し、その後、上部エブロックの落下防止を兼ねて吊り治具を設置した上で残り2面を切断する。なお、ワイヤーソーイング工法による切断におい

て、テーパー金具を用いてブロック形状が逆台形になるように切断することでブロック吊り上げが容易となる。



図-5.5.5 上部工切断，撤去状況

また，撤去した上部工ブロックを中詰改質後の蓋として再利用する場合，復旧位置がわかるようにマーキングすることで復旧が容易となる。

④ クレーン付台船により吊り上げ撤去する。

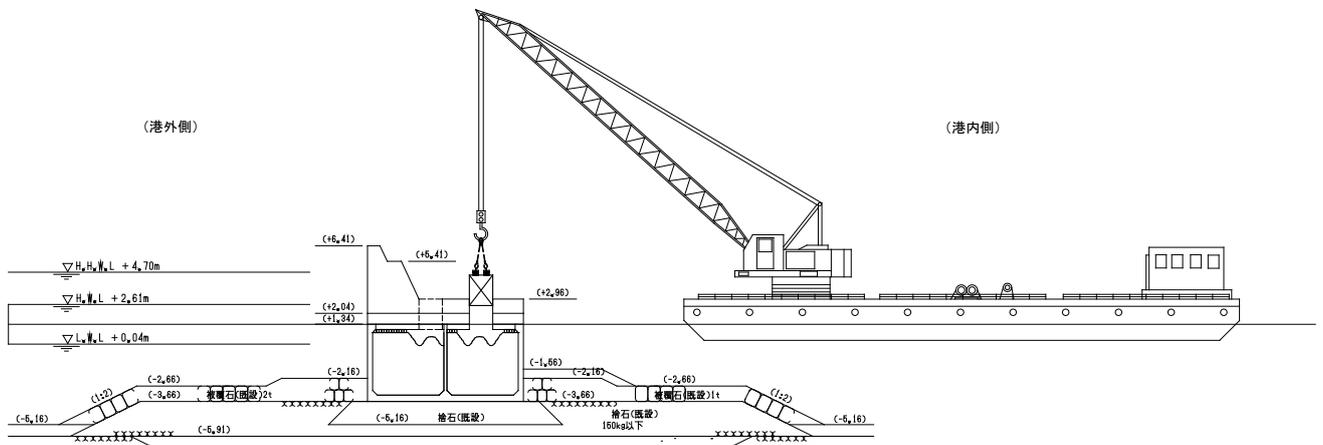


図-5.5.6 上部工撤去状況例（参考）

(2) 中詰材の撤去

中詰材撤去は，ケーソンの各隔室に水中サンドポンプを吊り架台を使用して吊り下ろし，海水を高圧噴射により攪拌しながら抜き取り，土運船内に排送する。

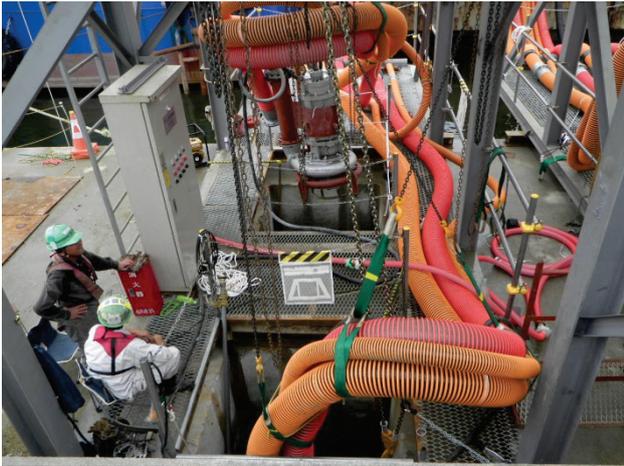


図-5.5.7 中詰材の撤去状況

中詰材の撤去中は、隔壁の損傷防止のために隣接する隔壁における中詰材の許容高低差以内に維持する必要がある。また、中詰材を撤去することでケーソンの安定性が損なわれるため、撤去と同時に各隔壁に別途水中ポンプを用いて海水（バラスト水）を注水し、ケーソンの安定性を確保する必要がある。

土運船の船倉内に送られた中詰材と海水は、中詰材は改質して再利用、海水は高圧噴射水やバラスト水として循環利用するため、船倉に艀装した隔壁板（余水越流堰）を介して余水槽へ流入することにより中詰材と分離させる（図-5.5.8 参照）。



図-5.5.8 中詰砂と海水の分離状況

中詰材撤去後は、隔壁への転落防止措置および足場を設置する。

### (3) 中詰材の改質と打設

中詰材の改質と打設は、求められる改質中詰材の性能や中詰材の種類、固化材の種類、施工条件に応じてプレミックス船工法や事前混合処理工法、流動化処理工法、カルシウム改質土など様々な工法が考えられ、各工法の技術マニュアルに準じて施工を行う。

図-5.5.9 は、プレミックス船工法を用い、事前配合試験結果より決定した配合に基づいて混練、中詰材を改質した後、コンクリートポンプにより隔室内に打設している状況である。



図-5.5.9 改質中詰材の打設状況（プレミックス船）

改質された中詰材は、バラスト水で満たされた隔室に底面から打設し、筒先は既に打設された改質中詰材中に 30～50cm 挿入させる。改質中詰材の打設は、隣接する隔室との中詰改質材の高低差に留意するとともに、余剰水回収用の水中サンドポンプを吊り下げることによりバラスト水の水位を維持する。バラスト水位より下方は水中打設、上方は気中打設となるが、気中打設前には、打設された改質中詰材の表面の不純物を除去する。

改質中詰材の充填性を確保するため、エア抜きやバイブレーターによる締め固めを行い、また充填確認のため、図-5.5.10 に示すように各隔室の上部工にφ150 程度の削孔を実施する。

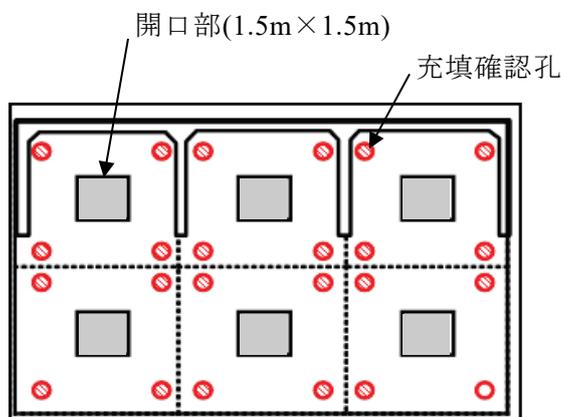


図-5.5.10 充填確認孔の設置例

#### (4) 開口部の復旧

改質中詰材の打設完了後、仮置きしていた上部工の切断ブロックをマーキングしておいた復旧位置に設置する。また、設置後、開口部上面やパイロット孔にコンクリートを打設し、固定、閉塞する。

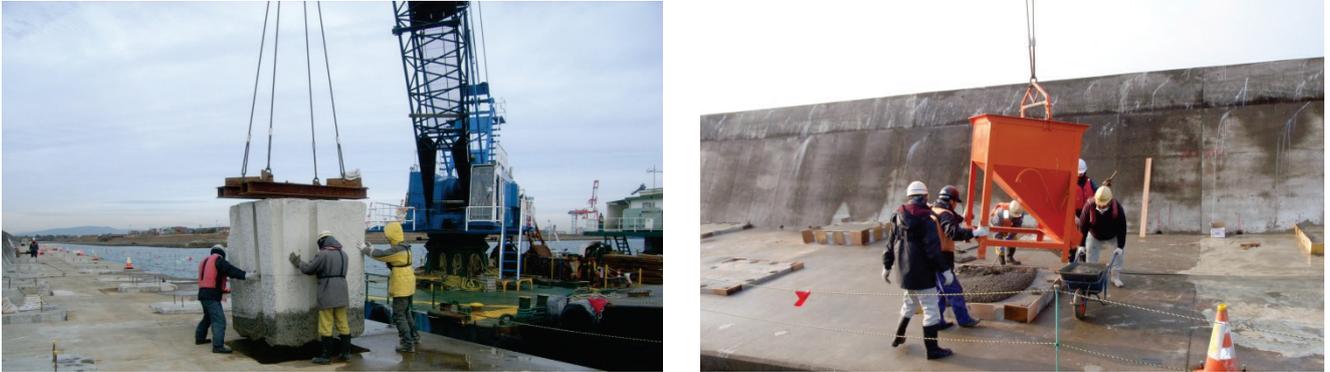


図-5.5.11 開口部復旧状況

#### 5.5.3 検査

中詰置換工法（固化材添加）の所要の品質や出来形を満足するように、適切な項目と方法を用いて施工中の管理を行う。

##### 【解説】

本工法の主な施工管理項目は、改質した中詰材の強度等の品質と中詰材の充填状況の出来形管理等であり、施工条件等に適した方法を用いて行うものとする。

また、中詰材の改質や打設方法は、プレミックス船や事前混合処理工法、流動化処理工法、カルシウム改質土など様々な工法の適用が考えられ、施工中や施工後の管理方法は各工法の技術マニュアル等に準拠する。

なお、ケーソン中詰固化の性能達成のために求められる管理基準値は、各工法の管理基準の上乗せ基準とする。

##### 【謝 辞】

本章に掲載した写真・図面等は、東北地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局からご提供頂いた。ここに謝意を表する。

付録 1 中詰固化工法によるケーソンの補強事例

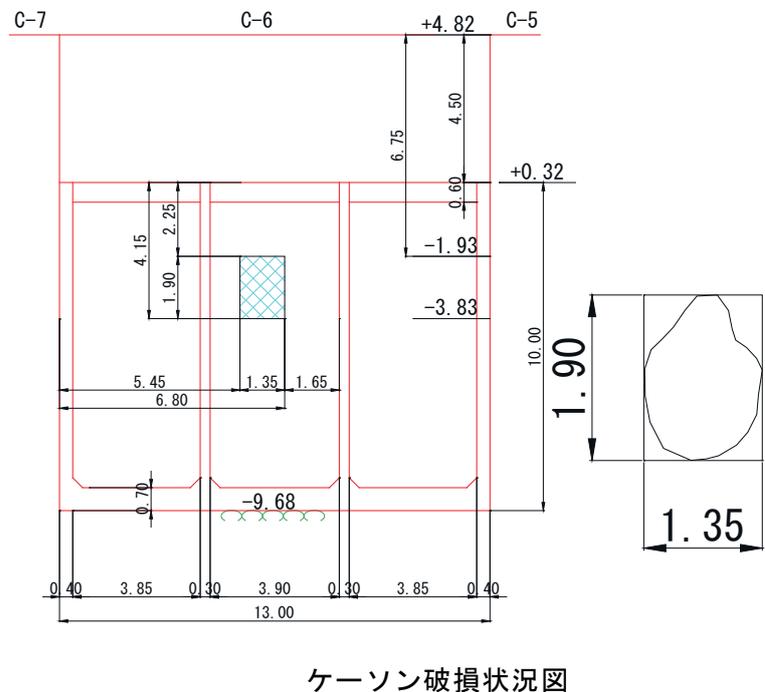
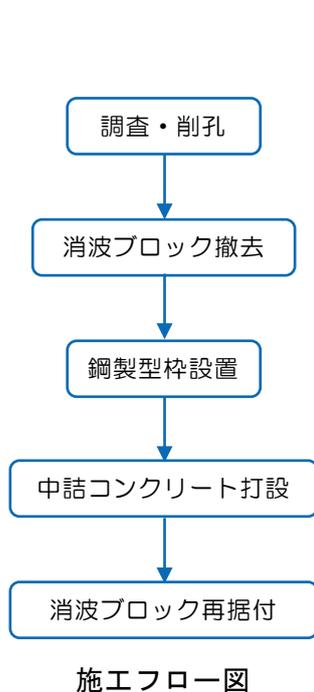
番号	工事名	採用工法
1	平成 27 年度 酒田港北港地区防波堤（北）（第二）外築造工事	中詰コンクリート工法
2	H24 年度新潟港（東港地区）西防波堤改良工事	中詰固結工法 （高圧噴射攪拌）
3	平成 28 年度 久慈港湾口築防波堤（災害復旧）（北堤）築造工事	中詰固結工法 （薬液注入）
4	名古屋港外港地区防波堤（鍋田堤）改良工事	中詰置換工法
5	鹿島港老朽化対策試験工事（中詰コンクリート工法）	中詰コンクリート工法
6	鹿島港老朽化対策試験工事（高圧噴射攪拌工法）	中詰固結工法 （高圧噴射攪拌）
7	鹿島港老朽化対策試験工事（薬液注入工法）	中詰固結工法 （薬液注入）
8	鹿島港老朽化対策試験工事（中詰置換工法）	中詰置換工法

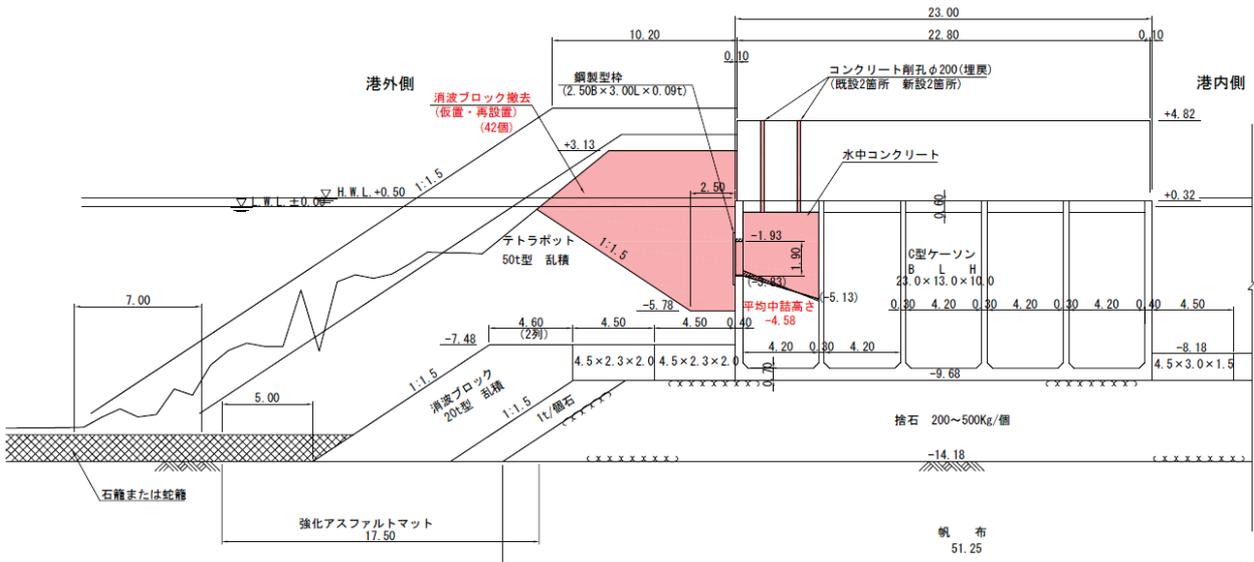
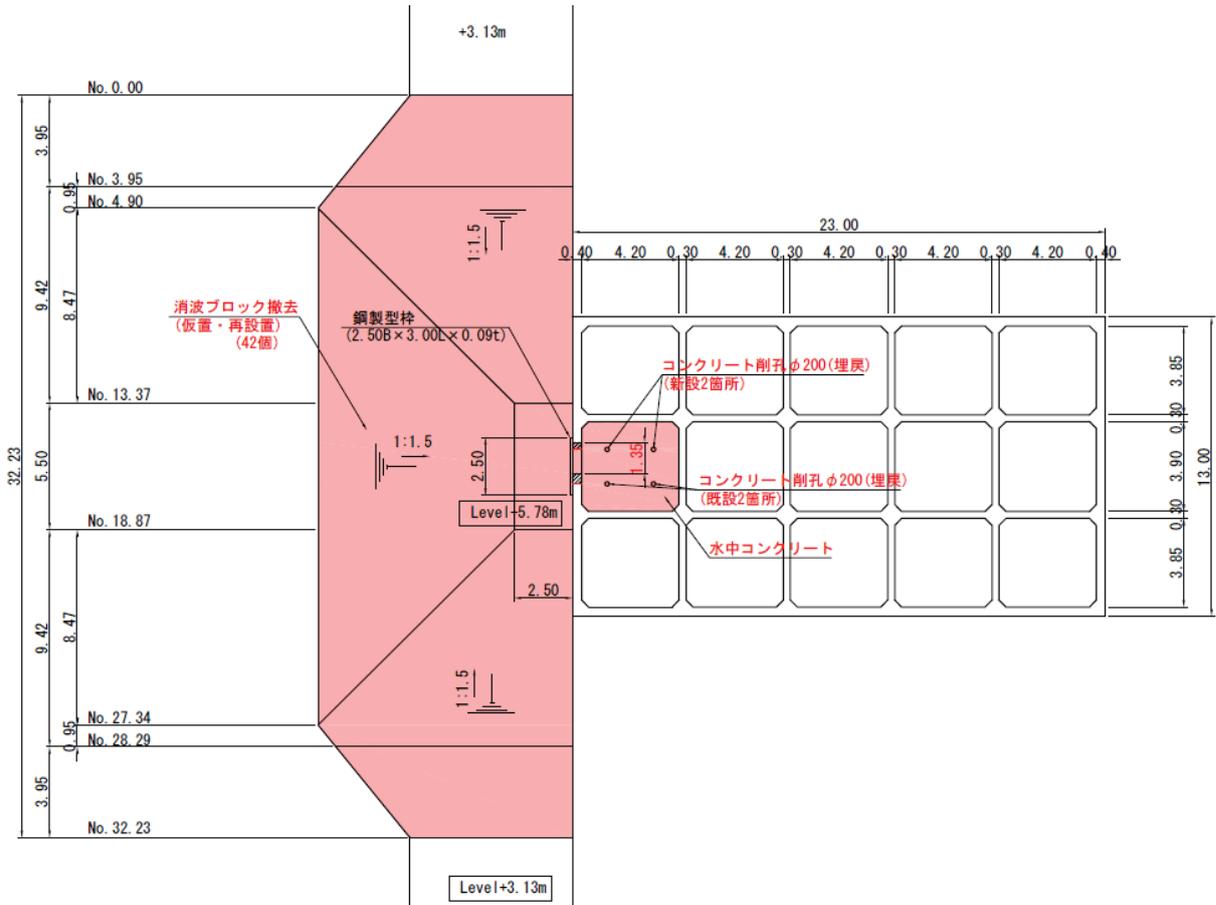
1. 平成 27 年度 酒田港北港地区防波堤（北）（第二）外築造工事

工事概要	
目的	ケーソン穴あき箇所の中詰材流出対策
採用工法	中詰コンクリート工法（水中コンクリート）
対象	防波堤，隔室内に部分適用
海象条件(港湾ランク)	H. W. L +0.5m L. W. L ±0.0m （ランク 4）
水深	-14.2m
上部工厚さ	上部コンクリート t=4.5m 蓋コンクリート t=0.6m
中詰材の材質	砂
陸からのアクセス可否	不可
消波ブロックの有無	有
要求性能(確実性)	水中コンクリート 設計基準強度 18N/mm <sup>2</sup> 以上

施工概要図

ケーソン穴あき箇所の中詰材流出対策として，ケーソンの外側から鋼製型枠を設置し，中詰コンクリートをケーソン隔室内に打設した。





断面図



潜水調査



上部コンクリート削孔



消波ブロック撤去



鋼製型枠設置



中詰コンクリート打設



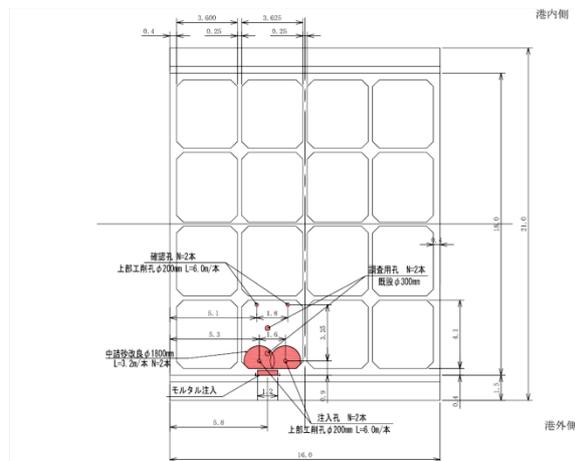
消波ブロック再据付完了

## 2. H24 年度新潟港（東港地区）西防波堤改良工事

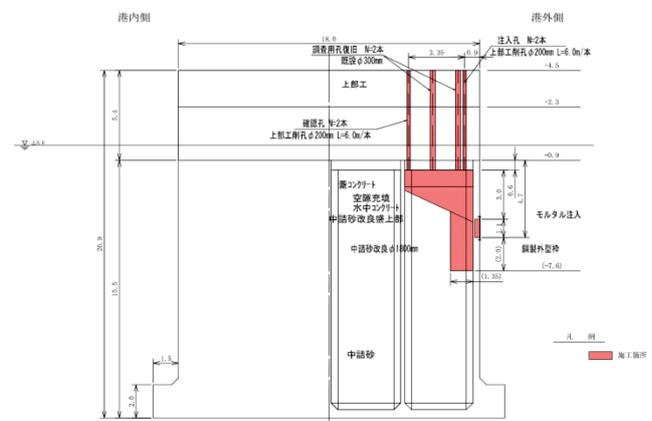
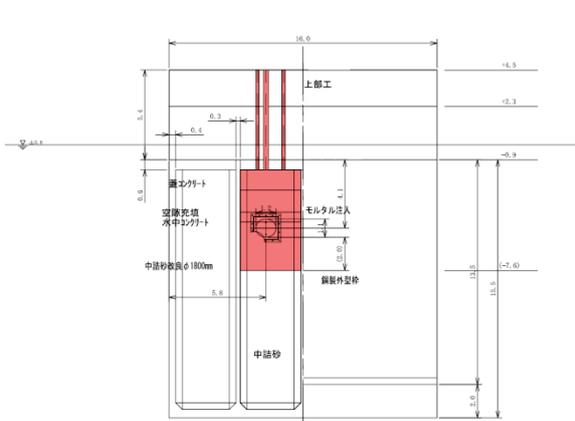
工事概要	
目的	ケーソン穴あき箇所の中詰材流出対策
採用工法	中詰砂の改良：高圧噴射攪拌工 改良上部の空隙充填：水中コンクリート
対象	防波堤。隔室内に部分適用
海象条件(港湾ランク)	H. W. L+0.5m、L. W. L±0.0m、 $H_{1/3}=8.8\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}=15.8\text{m}$ （ランク 3）
水深	-22.0m
上部工厚さ	t=5.4m
中詰材の材質	砂
陸からのアクセス可否	可
消波ブロックの有無	有
要求性能(確実性)	中詰砂の改良： $q_u=3\text{MN/m}^2$ 以上 ( $\sigma 28$ ) 水中コンクリート： $q_u=30\text{N/mm}^2$ 以上 ( $\sigma 28$ )

### 施工概要図

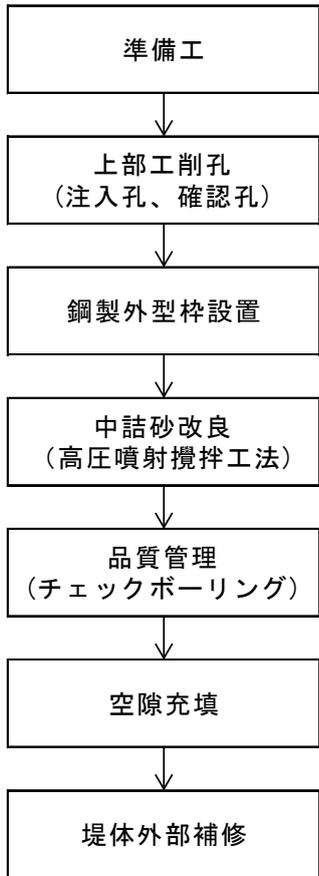
#### 【ケーソン詳細図】



諸元	コンクリート	J 型
幅×長さ×高さ	上幅 180	下幅 21.0×16.0×15.5
吃水	8.71m	
重心	5.98m	
浮心	4.23m	
傾心	FG=0.70 > 0.05 D=0.44 よって安定	
コンクリート量	1,096.037m <sup>3</sup>	
鉄筋量	89,095kg	
空中重量	2,685.32t	
中詰容積	3,324.54m <sup>3</sup>	
蓋コンクリート	140.892m <sup>3</sup>	



【施工フロー】



【施工状況】



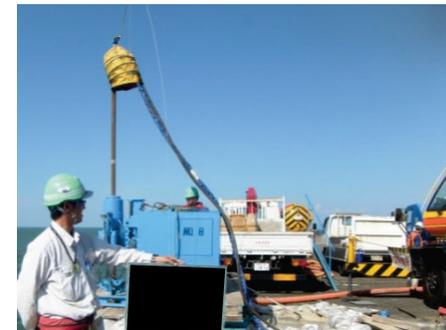
上部工削孔



車上プラント



中詰材削孔



中詰材改良



排泥液処理



チェックボーリング



空隙充填



復旧完了

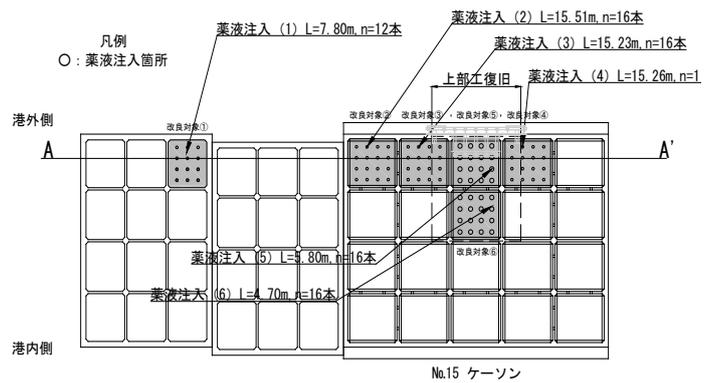
3. 平成 28 年度 久慈港湾口築防波堤（災害復旧）（北堤）築造工事

工事概要	
目的	損傷したケーソンの中詰流出防止（事後対応）
採用工法	薬液注入工法（ダブルパッカ工法）
対象	防波堤、隔室内のすべてに適用
海象条件（港湾ランク）	設計波 $H_{1/3}=8.20\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}=14.70\text{m}$ 、 $T=13.0\text{s}$ 、ランク 8
水深	-15.0m（捨石天端）
上部工厚さ	1.5m
中詰材の材質	砕石 RC-80 および割石（30～500kg/個）
陸からのアクセス可否	不可
消波ブロックの有無	有
要求性能（確実性）	中詰流出防止

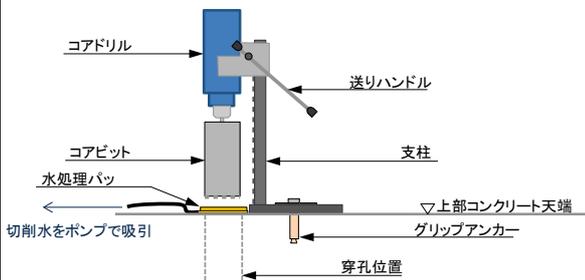
施工概要図



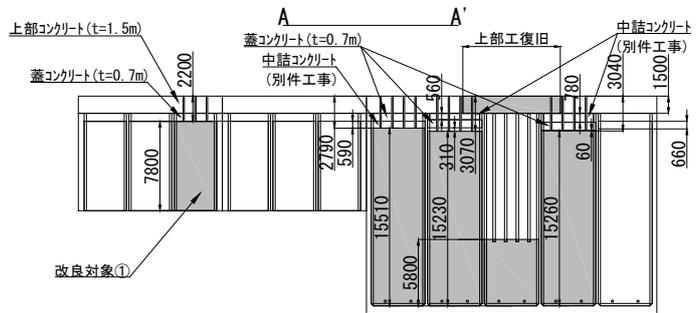
船上プラント



平面図

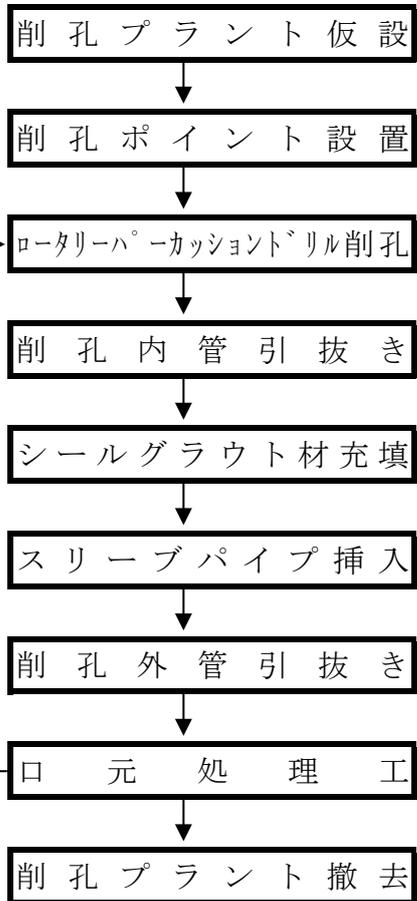


上部工削孔工

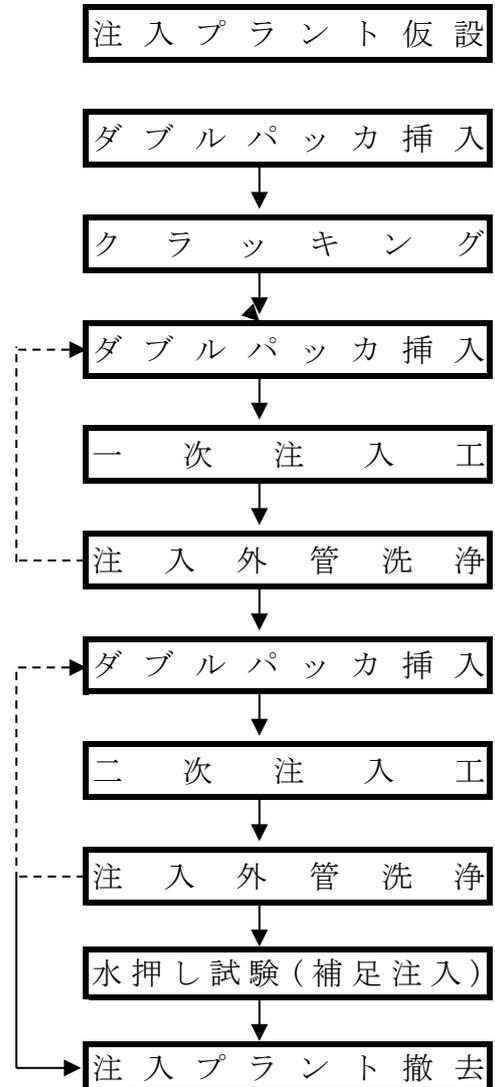


断面図

① 削孔工程



② 注入工程



施工フロー図

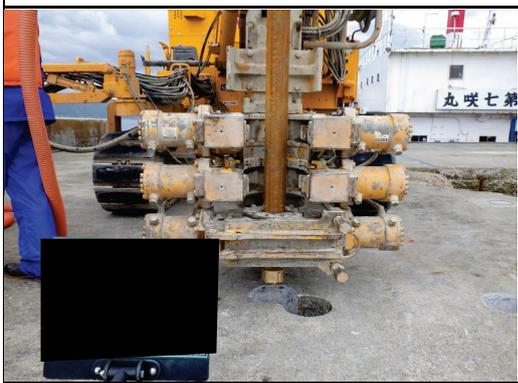
施工順序及び状況写真

①削孔工程

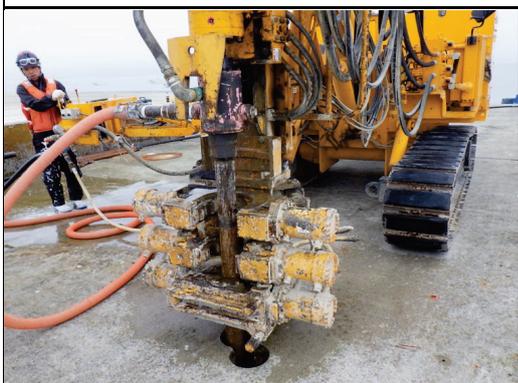
削孔プラント仮設



削孔ポイント設置



ロータリーパーカッションドリル削孔



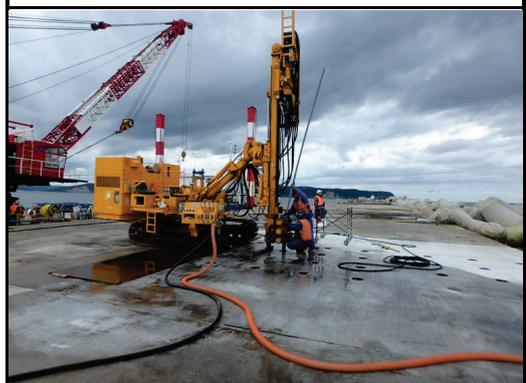
削孔内管引き抜き



シールグラウト材充填



スリーブパイプ挿入



次のページへ

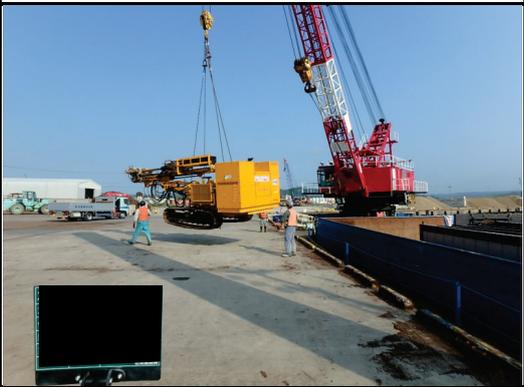
削孔外管引き抜き



口元処理工



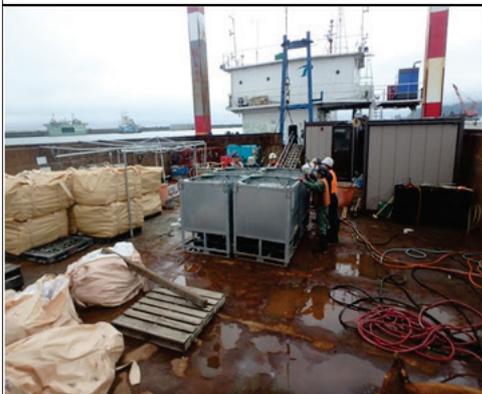
削孔プラント撤去



施工順序及び状況写真

②注入工程

注入プラント仮設



ダブルパッカ挿入



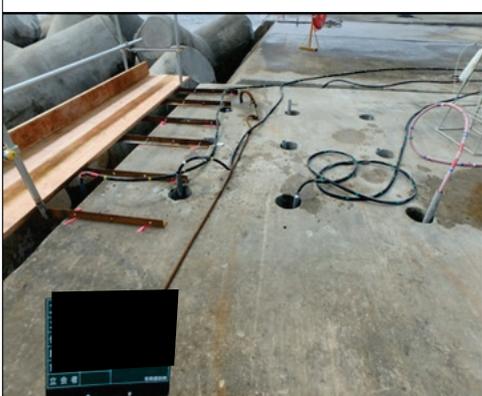
ダブルパッカ挿入



一次注入工



クラッキング



注入外管洗浄



次のページへ

施工順序及び状況写真

①削孔工程

ダブルパッカ挿入



二次注入工



注入外管洗浄



水押し試験(補足注入)



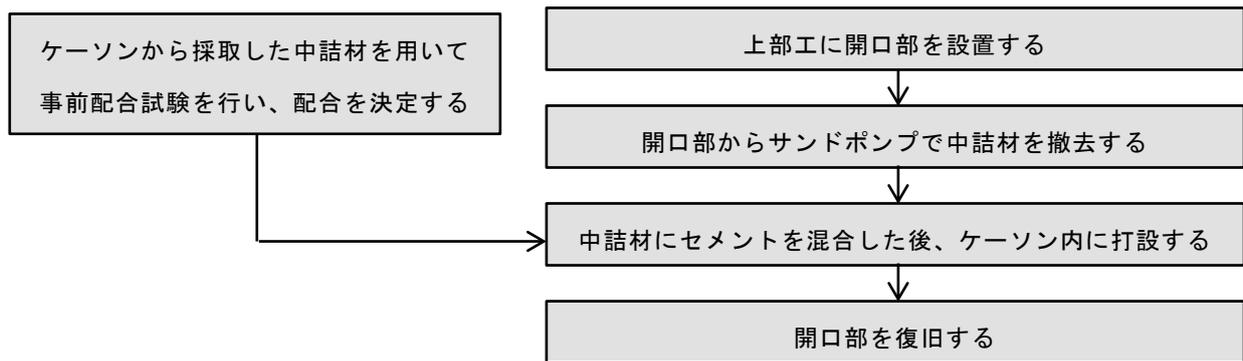
注入プラント撤去



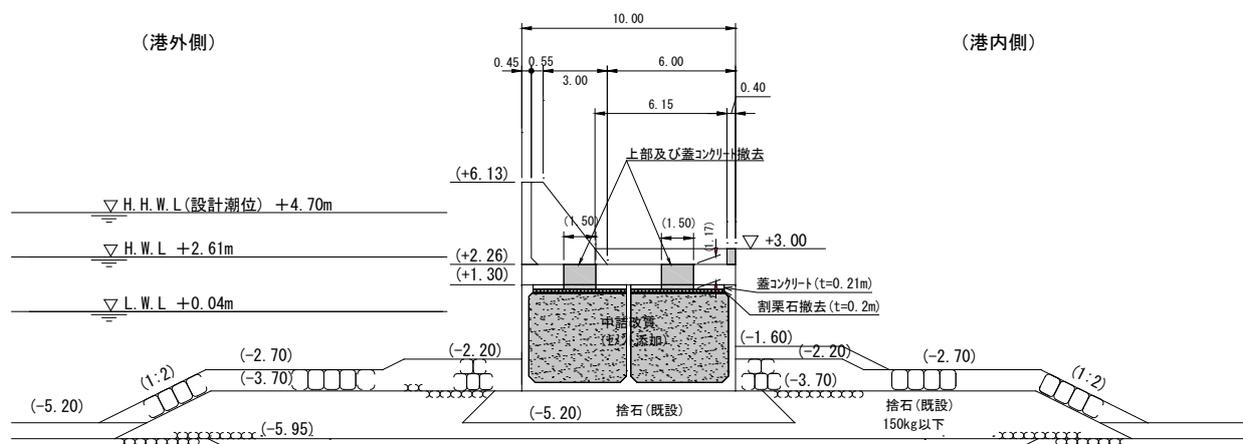
#### 4. 名古屋港外港地区防波堤（鍋田堤）改良工事

工事概要	
目的	予防保全のための補強
採用工法	中詰置換工法
対象	防波堤. すべての隔室に適用
海象条件(港湾ランク)	ランク 1
水深	被覆石天端：-2.2m、捨石天端：-3.7m
上部工厚さ	1.0m~2.0m
中詰材の材質	砂
陸からのアクセス可否	可
消波ブロックの有無	無
要求性能(確実性)	一軸圧縮強さ 気中打設部：5N/mm <sup>2</sup> 以上、水中打設部：10N/mm <sup>2</sup> 以上

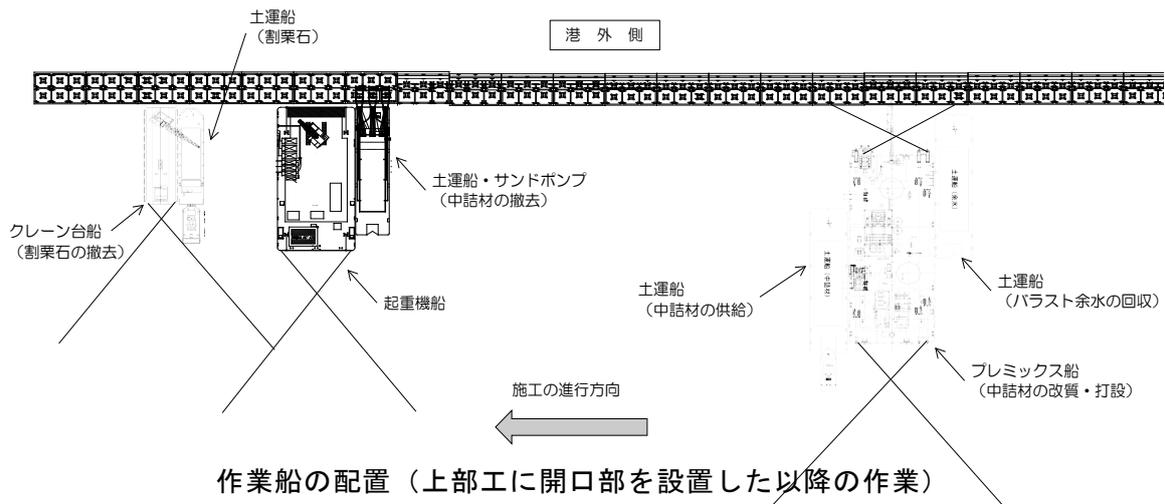
#### 施工概要図



主な施工フロー図



防波堤の標準断面図



クローラドリルによる穿孔



ワイヤー引込み線の挿入



ワイヤーソーによる上部工の切断



切断した上部工の撤去



上部工の開口部



サンドポンプによる中詰材の撤去



サンドポンプによる中詰材の撤去



土運船へ撤去中の中詰材



撤去後の中詰材 (水切り後)



プレミックス船による中詰材とセメントの混合および打設



中詰材の打設



切断した上部ブロックの復旧



復旧完了

## 付録2 中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化

ここでは、中詰固化工法を適用したケーソン部材のモデル化の参考として、中詰材を固化した隔壁と接する面に設定するバネ値について設定例を示す。

付表-2.1 のバネ定数の設定例（モルタルおよびコンクリート）は、文献 付 2.1) に示す中詰固化したケーソン模型試験体の静的載荷試験の再現解析を行い、前壁の耐荷力および剛性が最も一致した値を示している。なお、再現解析は、ケーソン模型試験体の隔壁がモルタルまたはコンクリートで 100% 固化されていることを前提としており、ケーソン模型試験体と固化体（モルタルおよびコンクリート）の付着は考慮していない。薬液注入の場合は、上記の再現計算と同様の解析モデルにおいて、固化体の物性値を変更した数値解析を実施し、その解析結果と一致するようなバネ定数を設定した。なお、バネ定数 A は初期剛性と、バネ定数 B は最大荷重を通る割線剛性と等価となるように設定した。

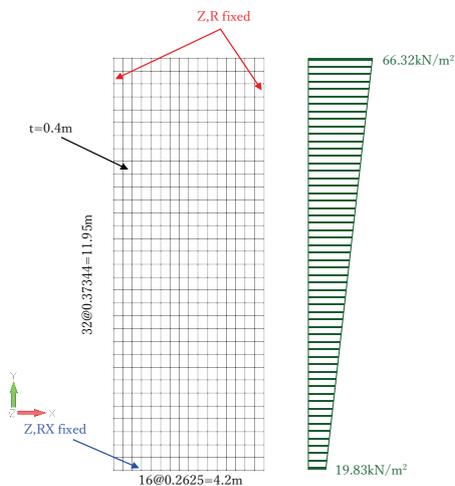
付表-2.1 想定中詰固化工法と面バネのバネ定数

ケース	想定工法	バネ定数 A	バネ定数 B	備考
ケース 1	中詰固化無し	—	—	面バネ設定無し
ケース 2	中詰固結工法 (薬液注入, 水ガラス系)	0.032 N/mm <sup>3</sup>	—	一軸圧縮強さ $q_u=0.1\text{N/mm}^2$ , 変形係数 $E_{50}=7.0\text{ N/mm}^2$ , 粘着力 $C_D=0.029\text{ N/mm}^2$ 程度の薬液注入（水ガラス系）による中詰固化を想定してバネ値を設定。
ケース 2'	中詰固結工法 (薬液注入, セメント系)	0.16 N/mm <sup>3</sup>	—	一軸圧縮強さ $q_u=0.1\text{N/mm}^2$ , 変形係数 $E_{50}=70\text{ N/mm}^2$ , 粘着力 $C_D=0.029\text{ N/mm}^2$ 程度の薬液注入（セメント系）による中詰固化を想定してバネ値を設定。
ケース 3	中詰置換工法 (固化剤添加) 中詰固結工法 (高圧噴射攪拌)	20.9 N/mm <sup>3</sup>	17.1 N/mm <sup>3</sup>	圧縮強度 $6.3\text{ N/mm}^2$ のモルタルで中詰材を固化した実験に対する解析結果に基づいてバネ値を設定。
ケース 4	中詰コンクリート 工法	60.6 N/mm <sup>3</sup>	66.3 N/mm <sup>3</sup>	圧縮強度 $32.3\text{ N/mm}^2$ のコンクリートで中詰材を固化した実験に対する解析結果に基づいてバネ値を設定。

中詰固化工法を適用したケーソン部材の補強効果の試算例を以下に示す。

「港湾構造物設計事例集（平成 30 年度改訂版） 第 14 章 ケーソン式混成堤」（以下、設計事例集と称する。）に示されるケーソン前壁の計算例を対象に、弾性シェル要素を使用した 2 次元数値解析を実施した。解析ケースは付表-2.1 に示す 5 ケース×2 種類のバネ定数とした。

付図-2.1 に解析モデルを示す。ケーソン前壁（ $B=4.2\text{ m}$ 、 $H=11.95\text{ m}$ 、 $t=0.4\text{ m}$ ）を、3 辺固定版としてシェル要素でモデル化した。弾性係数は  $28.0\text{ kN/mm}^2$ 、ポアソン比は  $0.2$  とした。作用は、付図-2.2 に示す安全性（断面破壊）・H.W.L.時とし、上端  $66.32\text{ kN/m}^2$ 、下端  $19.83\text{ kN/m}^2$  の台形分布とした。なお中詰材を固化することで、内部土圧の作用は無視できると考えられるが、中詰固化による補強効果を比較することを目的とするため、各ケースで同じ作用を与えることとした。



付図-2.1 解析モデル

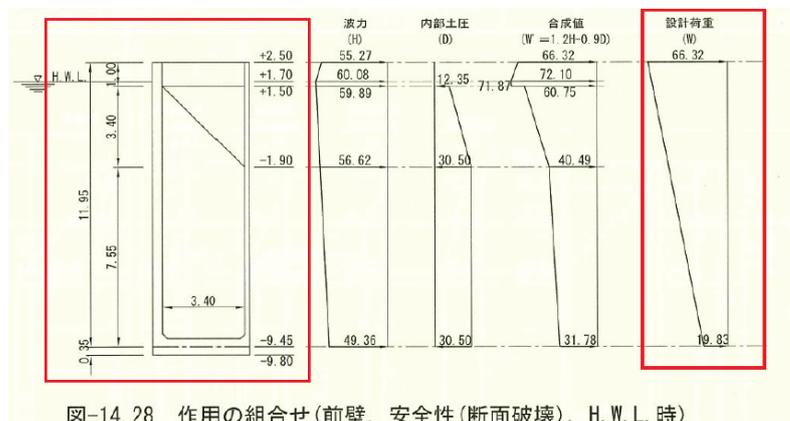


図-14.28 作用の組合せ(前壁, 安全性(断面破壊), H.W.L.時)

付図-2.2 作用の組合せ

各ケースの幅方向の曲げモーメント ( $M_x$ ) および高さ方向の曲げモーメント ( $M_y$ ) の最大値および最小値を付表-2.2 および付表-2.3 に示す。また、各ケースの曲げモーメント分布図を付図-2.3~2.9 に示す。幅方向および高さ方向ともに面バネを設置した場合に曲げモーメントが低減し、バネ定数が大きいほど低減効果が大きいことが確認された。特に固化体の強度および弾性係数が高く、バネ定数の大きいケース 2 およびケース 3 では、幅方向および高さ方向の曲げモーメントがケース 1 よりも 1~2 オーダー程度低減した。

付表-2.2 バネ定数 A での Mx および My の最大値・最小値の試算結果（単位：kNm/m）

ケース	想定工法	バネ定数 A	幅方向 Mx		高さ方向 My	
			最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1	中詰固化無し	バネなし	8.19	-18.43	46.19	-77.5
ケース 2	中詰固結工法 (薬液注入, 水ガラス系)	0.032 N/mm <sup>3</sup>	7.14	-16.87	40.11	-68.64
ケース 2'	中詰固結工法 (薬液注入, セメント系)	0.16 N/mm <sup>3</sup>	6.32	-15.61	35.36	-61.72
ケース 3	中詰置換工法 (固化剤添加)	20.9 N/mm <sup>3</sup>	0.23	-0.54	0.74	-1.94
ケース 4	中詰固結工法 (高圧噴射攪拌)	60.6 N/mm <sup>3</sup>	0.13	-0.20	0.30	-0.76

付表-2.3 バネ定数 B での Mx および My の最大値・最小値の試算結果（単位：kNm/m）

ケース	想定工法	バネ定数 B	幅方向 Mx		高さ方向 My	
			最大値	最小値	最大値	最小値
ケース 1	中詰固化無し	バネなし	8.19	-18.43	46.19	-77.5
ケース 2	中詰固結工法 (薬液注入, 水ガラス系)	—	—	—	—	—
ケース 2'	中詰固結工法 (薬液注入, セメント系)	—	—	—	—	—
ケース 3	中詰置換工法 (固化剤添加)	17.1 N/mm <sup>3</sup>	0.25	-0.64	0.84	-2.29
ケース 4	中詰固結工法 (高圧噴射攪拌)	66.3 N/mm <sup>3</sup>	0.12	-0.18	0.28	-0.70

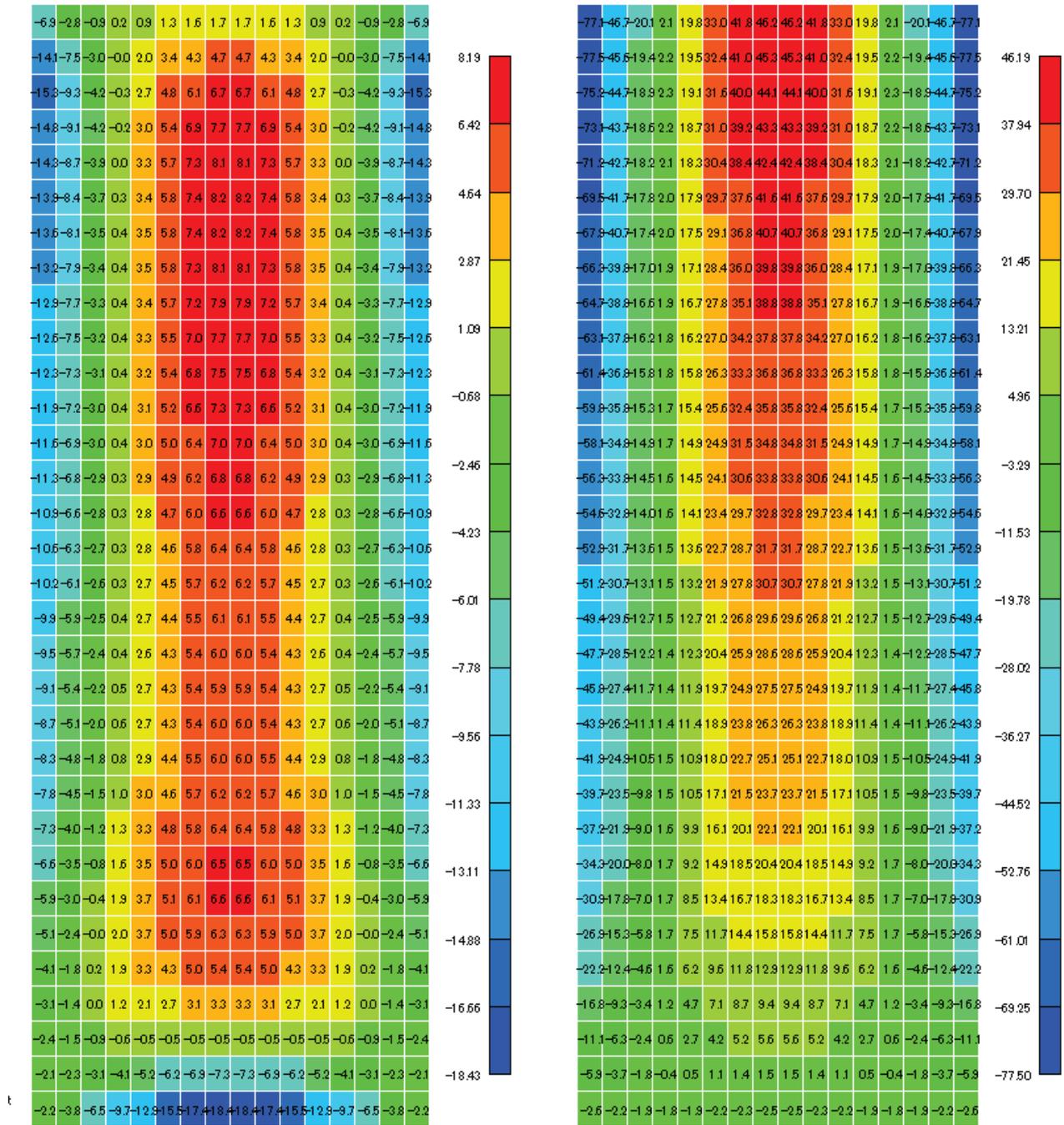
以上から、ケーソン隔室内の中詰材をすべて固化することで、ケーソン前壁に作用するモーメントを大幅に低減できる可能性が示された。

なお、本検討に用いた面バネのバネ定数はあくまで参考値であることに留意が必要である。

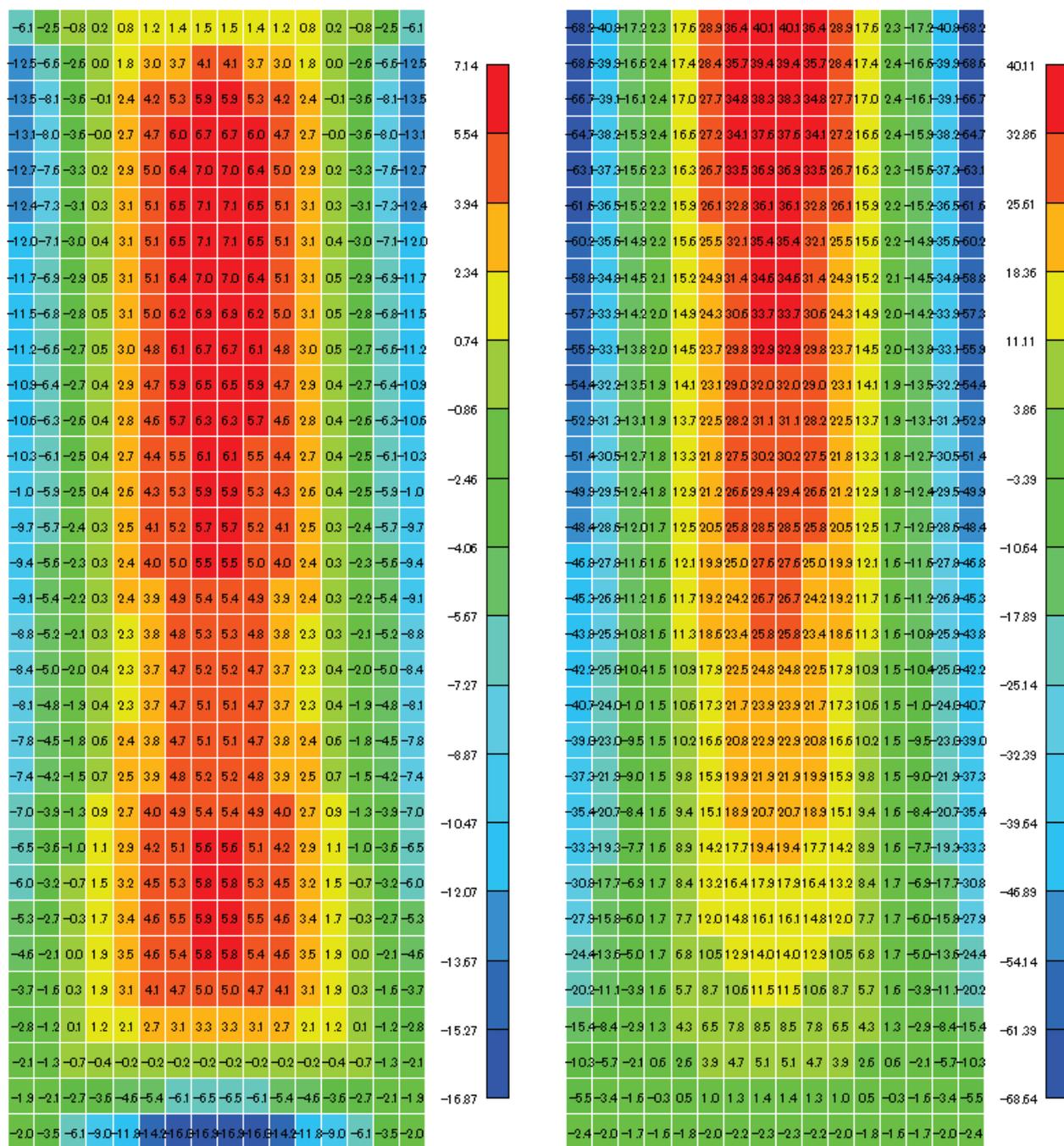
【参考文献】

付 2.1) 田中豊, 川端雄一郎, 加藤絵万, 大矢陽介: 中詰材の固化によるケーソンの補強効果に関する検討, 土木学会 論文集 B3 (海洋開発) <投稿中>.

付 2.2) 川端雄一郎, 田中豊, 加藤絵万, 大矢陽介, 森川嘉之: 中詰固化によるケーソン部材の補強効果に関する解析的検討, 港湾空港技術研究所資料 No. 1378, 2020.



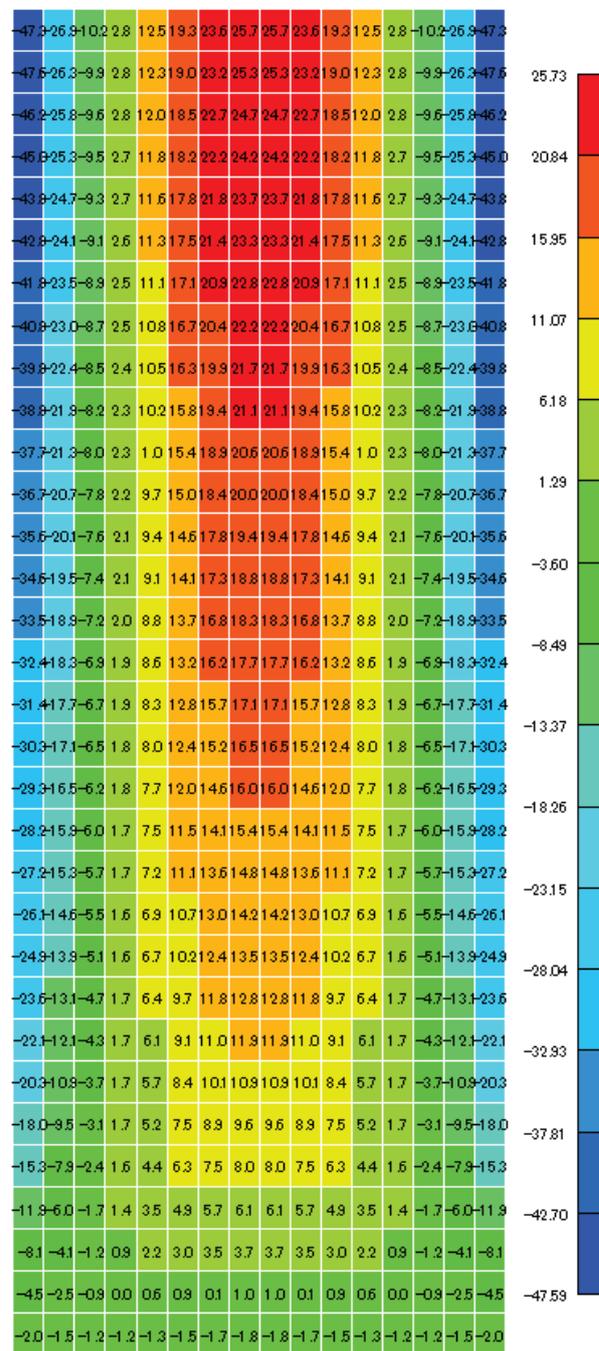
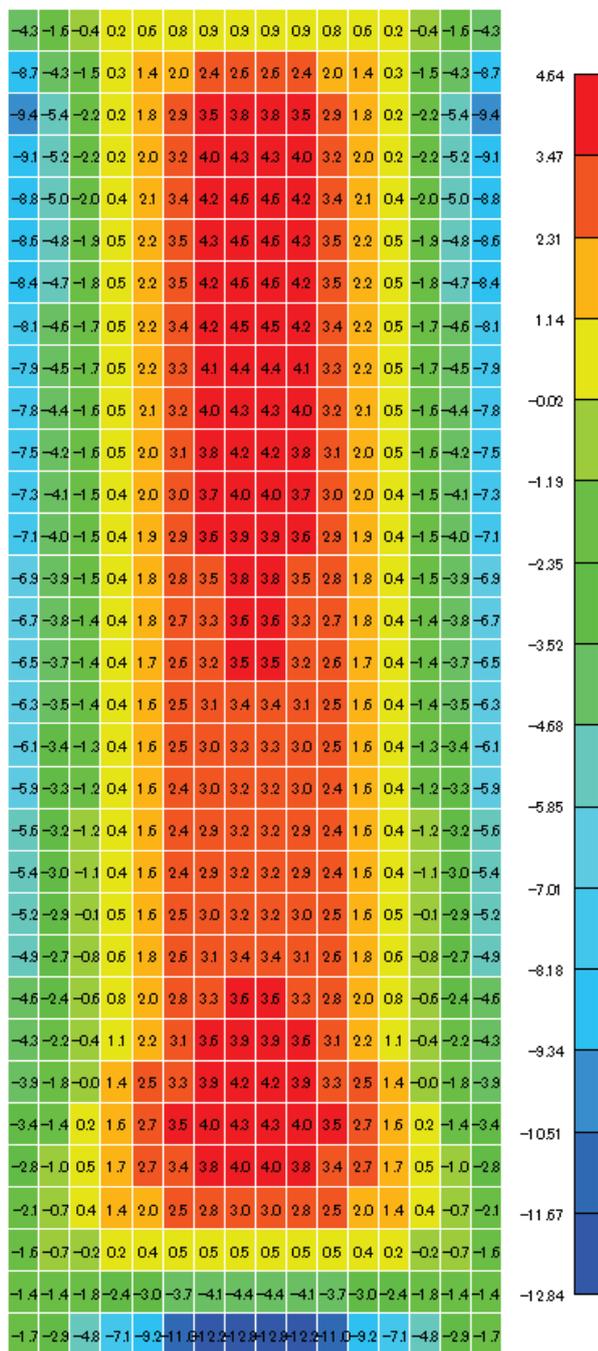
付図-2.3 曲げモーメント分布 (ケース 1)



(a)  $M_x$  (kNm/m)

(b)  $M_y$  (kNm/m)

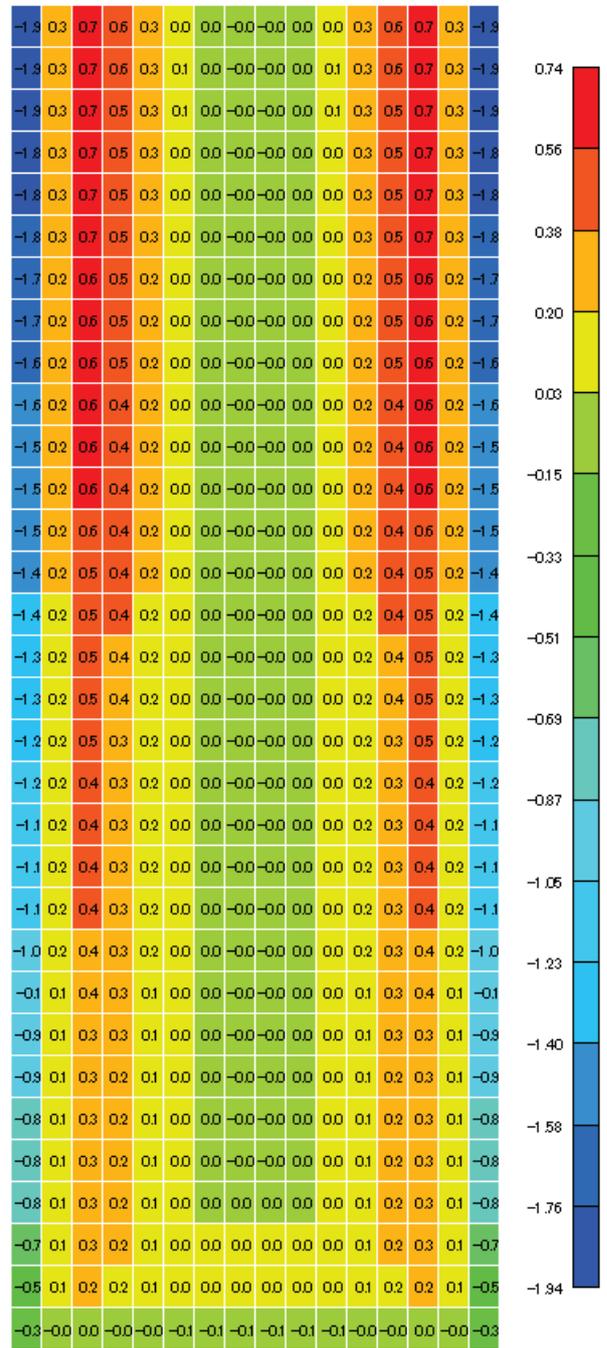
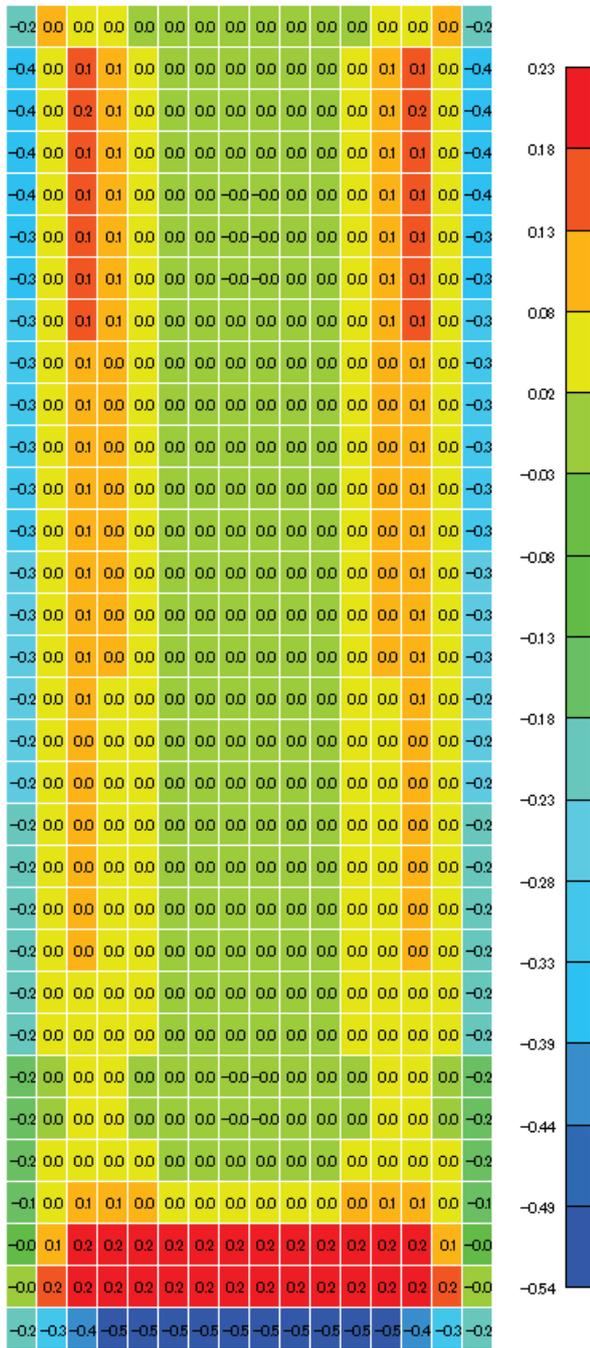
付図-2.4 曲げモーメント分布 (ケース 2)



(a)  $M_x$  (kNm/m)

(b)  $M_y$  (kNm/m)

付図-2.5 曲げモーメント分布 (ケース 2')



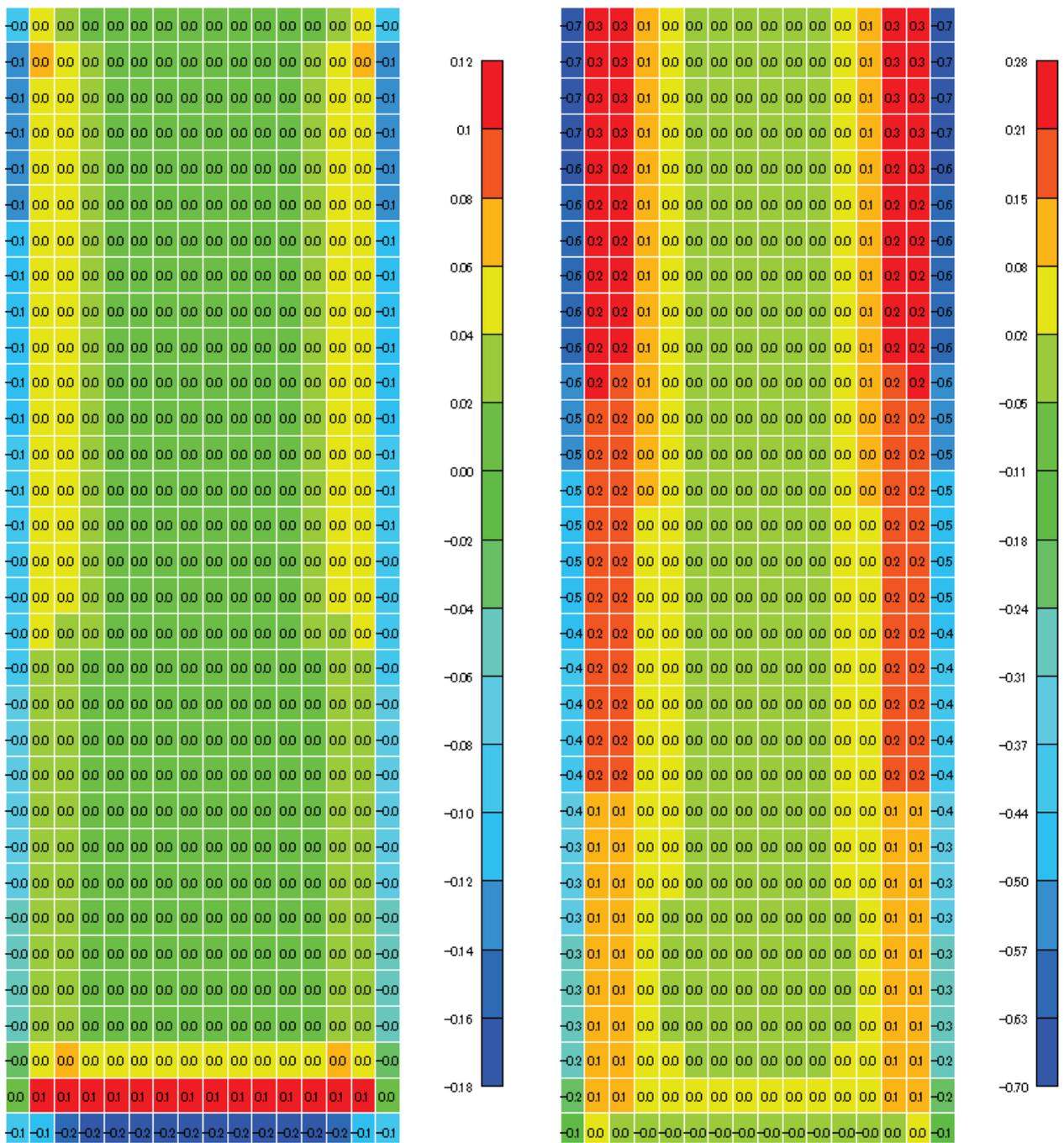
(a)  $M_x$  (kNm/m)

(b)  $M_y$  (kNm/m)

付図-2.6 曲げモーメント分布 (ケース 3・バネ定数 A)







付図-2.9 曲げモーメント分布 (ケース 4・バネ定数 B)