

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 —

平成 19 年 1 月

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

<目 次>

第 1 編 総則	1
1. 1 作成の目的	1
1. 2 適用範囲	1
1. 3 用語の定義	1
1. 4 検討フロー図	3
1. 5 参考文献	4
第 2 編 ケーソン式防波堤の損傷と点検システム	6
2. 1 ケーソン式防波堤の損傷について	6
2. 2 損傷事例	8
2. 3 点検および評価	10
2. 4 非破壊検査技術	11
2.4.1 非破壊検査の定義	11
2.4.2 非破壊検査の種類と現状技術レベル	11
2. 5 ケーソン損傷に関する知見について	13
2.5.1 波の動きとその音	13
2.5.2 消波ブロックの変色	14
2.5.3 消波ブロックの積み重なり状態	14
2.5.4 知見の取りまとめ	15
2. 6 点検および評価の実施例	16
第 3 編 ケーソン式防波堤の損傷に関する補修・補強・予防の概念	17
3. 1 ケーソン損傷に対する補修, 補強, 予防の考え方	17
3. 2 補修の概念	18
3.2.1 ケーソンの損傷段階レベルについて	18
3.2.2 ケーソン損傷段階レベル別の補修の考え方	19
3. 3 補強の概念	20
3. 4 予防の概念	21
第 4 編 ケーソン損傷現象の解説	26
4. 1 総説	26
4. 2 発生メカニズム	26
4. 3 消波ブロックの運動	28
4. 4 消波ブロックによる衝突力	29
4.4.1 一般	29
4.4.2 衝突力に影響する要因	29
4.4.3 衝突力算定式	31
4. 5 衝突力の断面力算定方法	37

4.5.1 一般	37
4.5.2 設計断面力の算定	37
4.6 ケーソン耐力算定方法	39
4.6.1 一般	39
4.6.2 消波ブロックの衝突に対するケーソンの押し抜きせん断耐力照査	39
4.6.3 消波ブロックの衝突に対するケーソンの曲げ耐力照査	40
第5編 ケーソン損傷対策	42
5.1 総説	42
5.1.1 適用範囲	42
5.2 補修工法(既設ケーソンに対する補修)	44
5.2.1 一般	44
5.2.2 補修対策調査	44
5.2.3 損傷段階別補修工法の選定	44
5.2.4 損傷 Step1 に対する対策工法	45
5.2.5 損傷 Step2 に対する対策工法	52
5.2.6 損傷 Step3 に対する対策工法	61
5.3 補強工法(既設ケーソンに対する補強)	93
5.3.1 一般	93
5.3.2 補強対策調査	93
5.3.3 補強工法の選定	93
5.4 予防工法(新設ケーソンに対する予防)	96
5.4.1 一般	96
5.4.2 全体的な予防対策工法	96
5.4.3 ケーソン前壁を対象とした予防工法	97
第6編 今後の残された課題	98
6.1 損傷の発見	98
6.2 増厚工法による補強工法	98
6.3 予防工法の設計法	103
6.4 全体的な予防工法	103

添付資料 1	
損傷段階(Step1～3)・損傷経緯(原因)別損傷事例	資 1-1
添付資料 2	
補修工法の事例一覧表	資 2-1
添付資料 3	
点検および評価の実施例と非破壊検査技術	資 3-1
1. 八戸港における事例	資 3-1
2. 日高港における事例	資 3-30
3. 非破壊検査技術	資 3-39
添付資料 4	
模型実験の概要	資 4-1
添付資料 5	
予防工法設計例	資 5-1

第1編 総則

1.1 作成の目的

既存ストックの有効活用を目指し、外力により損傷を受けたケーソン式防波堤の補修および、損傷に対する補強、予防等に資することを目的とする。

1.2 適用範囲

本マニュアルは、消波ブロックの衝突による外力により損傷を受けた防波堤ケーソン側壁の補修および、損傷に対する補強や損傷を予防する工法の選定、設計、施工および点検を行う場合に適用する。

- (1) 本マニュアルにおける補修、補強や予防の検討に用いる外力は、消波ブロックの衝突による外力とする。衝撃砕波力による損傷や消波ブロックによる被覆がない場合の船舶による損傷は、ケーソンが移動してマウンドから滑落したり側壁部が大きな損傷を受けるなどの大規模な損傷の場合が多く、本マニュアルにおける補強や予防の検討に用いる外力からは外すこととした。
- (2) 消波ブロックの衝突以外の損傷事例として、衝撃砕波力や船舶、流木の衝突等によるものも確認されている。しかし、補修に関しては、損傷を与えた外力の種類にかかわらず同様の損傷段階レベルであれば、消波ブロックの衝突の場合と同様の方法で対応できる場合が多い。

1.3 用語の定義

点検(Inspection)：構造物の現状を把握する行為の総称。目視点検から、機器を用いた詳細な試験までを包含した意味を持つ。

評価(Evaluation)：点検結果に基づき施設の健全性を判定する行為。

損傷(Damage)：地震や台風、衝突のような過大な外力が構造物に作用したときに発生する変状。構造物としては、沈下・陥没、法線の凹凸など、コンクリートではひび割れ、剥離・剥落、穴あきなど、鋼部材では変形や亀裂などがある。本マニュアルにおいては、消波ブロックの衝突により、防波堤ケーソンの側壁にひび割れ、剥離・剥落、穴あきが生ずることをいう。

対策(Countermeasure)：構造物の供用期間中、何らかの変状により機能、性能、安全性が期待される限界値を下回ることが予想される場合に、補修や補強、更新、あるいは予防によって、機能、性能、安全性を維持、回復、向上させる行為。本マニュアルにおいては補修、補強、予防対策を対象としている。

補修(Repair)：一般には、変状が生じた部材、構造物に対し、今後の変状進行を抑制し、耐久性の維持、回復、向上を目的として行う対策行為をいう。本マニュアルにおいては、消波ブロックの衝突によって防波堤ケーソンの側壁に生じたひび割れ、剥離・剥落、穴あき、中詰材の流出等の損傷に対して、損傷状況を改善し、二次災害を防止する観点から行う対策行為をいう。流出した中詰部にコンクリートを打設して補修した場合のように、強度の面から見ると結果的に補強となるような場合もある。

補強(Strengthening)：部材、あるいは構造物の耐荷力を、当初設計された水準まで回復、あるいはその水準以上に向上させることを目的として行う対策行為。

予防(Prevention)：当初設計の段階で、予測された水準まで部材、あるいは構造物の耐荷力を向上させることを目的として行う対策行為。

1. 4 検討フロー図

ケーソンの損傷対策を行う場合の検討フロー図を 図-1.4.1 に示す。検討フロー図には、フロー図中の検討項目に対し、本マニュアルのどの項目が対応するか(どこを見れば良いか) がわかるように、対応するマニュアル目次を参考のために引出し線で付記している。

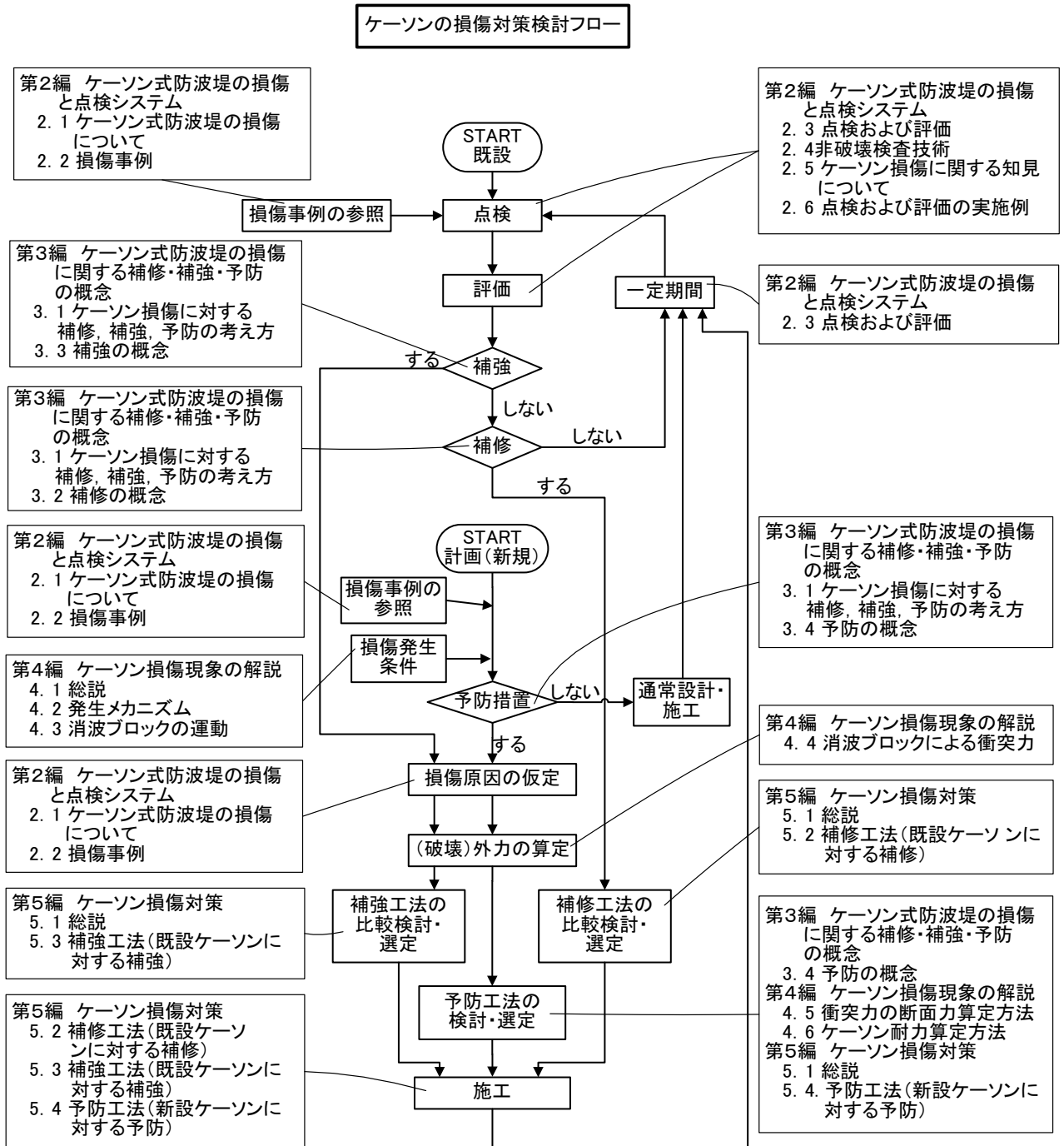


図-1.4.1 ケーソン損傷対策検討フローと本マニュアルとの関係

1. 5 参考文献

本マニュアルを執筆するに当たり、以下の文献資料を参考にした。

参考文献

- 1) 高橋重雄：ケーソン防波堤の被災形態について－変形を考慮した新しい耐波設計に向けて－，平成 11 年度港湾技術研究所講演会講演集
- 2) 高橋重雄，木村克俊，下迫健一郎，鈴木高二朗，五明美智男：ケーソン式混成堤の主要な被災パターンについて，海岸工学論文集 第 46 巻(2)，pp816-820，1999
- 3) 「平成 14 年度防波堤検査装置技術開発調査報告書」平成 15 年 2 月
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
財団法人 港湾空港建設技術サービスセンター
- 4) 低圧樹脂注入工法協議会：自動式低圧樹脂注入工法ガイドブック，2003 年度版
- 5) 日本接着剤工業会・建設用接着剤協議会：建築接着工法ハンドブック第 3 版
- 6) コンクリート補修・補強マニュアル編集委員会：コンクリート補修・補強マニュアル，2003.5
- 7) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2003-
- 8) 岸徳光，川瀬良司，今野久志，岡田慎哉：落石防護擁壁用途二層緩衝構造の伝達衝撃力算定式の定式化，土木学会 構造工学論文集 Vol.49A(2003 年 3 月)
- 9) 発泡スチロール土工法開発機構：E P S 工法設計・施工基準書(案)(2002 年 5 月)
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕，2002
- 11) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999.4
- 12) 日本港湾協会：港湾の施設に関する技術上の基準・同解説付属書，2006.7 発刊予定
- 13) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物設計事例集，1999.4
- 14) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物の維持・補修マニュアル，1999.6
- 15) 有川太郎・池辺将光・大寄菜々子・黒田豊和・織田朋哉・下迫健一郎：消波ブロックによるケーソン壁面押し抜きせん断破壊に関する研究，港湾空港技術研究所報告 第 44 巻 第 1 号，2005.3
- 16) 有川太郎・織田朋哉・黒田豊和・下迫健一郎：消波工によるケーソン壁面衝突力に関する大規模実験，海岸工学論文集 第 50 巻，pp806-810，2003
- 17) 滑川伸孝・志賀正夫・長尾憲彦・菊池傑・山口貴之・大野友則・市村正春・宮脇周作：ケーソン式防波堤に対する消波ブロック衝突時の衝突力評価，海岸工学論文集 第 52 巻，pp806-810，2005
- 18) 松富英夫：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集 No.612/II-47，pp111-127，1999.5
- 19) 山口貴之・別府万寿博・大野友則：衝撃砕波を受ける消波ブロックの直立壁への衝突現象に関する実験的研究，海岸工学論文集 第 50 巻，pp711-715，2003
- 20) 土木学会：ロックシェッドの耐衝撃設計，平成 11 年 6 月

- 21) 土木学会：構造工学シリーズ 9-A 鋼・コンクリート複合構造の理論と設計(1)基礎編：理論編，平成 11 年 4 月
- 22) 有川太郎・池辺将光・大寄菜々子・下迫健一郎：消波工衝突によるケーソン壁面破壊に関する実験的研究，海岸工学論文集 第 51 卷，pp741-745，2004
- 23) 有川太郎・大寄菜々子・池辺将光・下迫健一郎：ケーソン壁面の押し抜きせん断破壊に対する設計手法の提案および対策の検討，海岸工学論文集 第 51 卷，pp866-870，2004
- 24) 土木学会：土木技術者のための振動便覧 第 2 版，pp514-520，昭和 60 年
- 25) 土木学会：コンクリートライブラリー67 水中不分離性コンクリート設計・施工指針(案)
- 26) 沿岸技術研究センター，漁港漁場漁村技術研究所：水中不分離性コンクリート・マニュアル
- 27) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2002

第2編 ケーソン式防波堤の損傷と点検システム

2.1 ケーソン式防波堤の損傷について

本マニュアルにおけるケーソン式防波堤の損傷とは、消波ブロックの衝突によるケーソン側壁の損傷のことである。構造形式としては消波ブロック被覆堤を対象にしている。

消波ブロックの衝突は施工直後にかみ合わせの不十分なブロックが動いて発生している。また、設計波以上の波が作用して消波ブロックが移動(散乱)して発生している。ただし、消波ブロックの散乱には、波高の大きさだけでなく、いくつかの原因があり、その知見を以下に述べる。

なお、消波ブロックの散乱は不完全消波状態となって衝撃的な波力を発生させ、この衝撃波力によってケーソン側壁が損傷することもある。また、この波力によってブロックが動いてケーソン側壁に衝突することもある。

ケーソン側壁の損傷を発見した場合や予防を考える場合には、消波ブロックの散乱の原因を十分検討し、その対策を考えることが最も基本的なことである。

(1) リーフや急勾配海底における消波ブロックの散乱

消波ブロック被覆堤のブロックの安定性については、被害率を考慮した新しい安定数が提案されており、耐用年数間の期待被害率なども計算できる。

しかしながら、急勾配海底の場合は被災場所が法先に集中するなど、通常とかなり異なっており、ある程度の検討は進んでいるが一般的な算定式を提案するまでには至っていない。

(2) 堤頭部や消波工端部における消波ブロックの散乱と不完全消波による衝撃波力の発生

防波堤堤頭部では消波ブロックが不安定になり易い。また消波ブロック天端が下がった場合には、そこで巻き波状の碎波が発生し、直立部の波力増大が生じケーソンが滑動することがある。

消波ブロック被覆堤から通常の混成堤に断面形状が変化する区間(消波工端部)でも消波ブロックは散乱しやすく、また不完全消波状態となって直立部に衝撃波力が作用する危険性がある。

(3) 消波工施工時における消波ブロックの散乱と不完全消波による衝撃波力の発生

消波工施工時については、消波工端部だけでなく、静水面付近までしか被覆していなかった場合にも被災が発生している。

消波工施工時に被災が多いことは、古くから指摘されているが、施工時の消波工の巻き止めなどの対策は、工費や時間がかかるためあまり行われておらず、最近でも被災が少なくない。

(4) 消波ブロックの洗掘や吸い出しによる沈下

写真-2.1.1は、前年度に施工した80tの消波ブロックが大きく沈下した状態を示している。来襲波高は設計波高に比べて半分程度とかなり小さく、重量不足による散乱とは考えにくい。ブロックや捨石マウンド下からの砂の吸い出しが、沈下の原因として重要なファクターと考えられる。

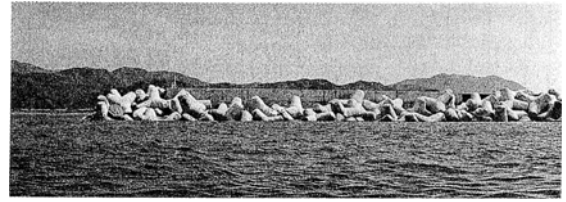
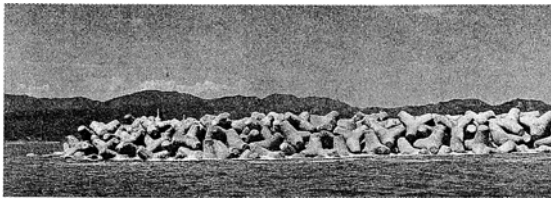


写真-2.1.1 消波ブロックの沈下前と沈下後

図-2.1.1 は、ケーソン側壁にあいた穴を示すもので、消波ブロックが衝突して穴があいたと思われる。こうした穴があいた理由としてよく考えられるのがブロックの重量不足による散乱（移動・動揺とそれにとまう衝突）であるが、必ずしもそればかりではなく、消波ブロックの沈下が原因となることも考えられる。すなわち、沈下に伴ってブロックのかみ合わせが悪くなりブロックが動き易くなって、ケーソン側壁に衝突し、ケーソン側壁の損傷に至ることも考えられるのである。

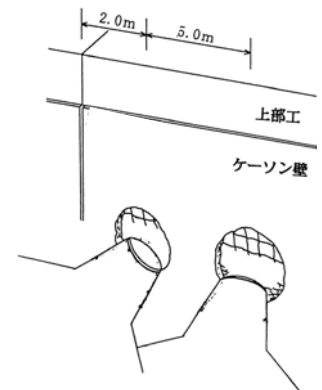


図-2.1.1 ブロックの衝突によるケーソン側壁の穴

特に、図-2.1.2 に示すようにブロックが上部工付近まであればブロックが動いても上部工に当たるだけであり問題がないが、沈下して上層のブロックがケーソン側壁に接触する場合には、ブロックの移動・動揺によってケーソン側壁を突き破ることがあると考えられる。

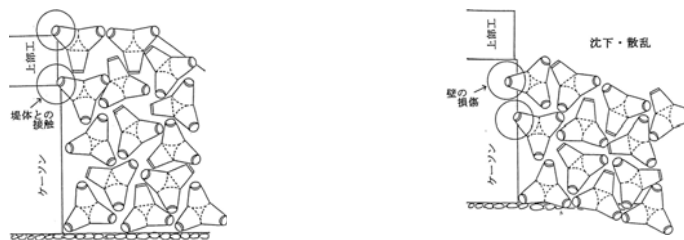


図-2.1.2 ブロックの接触とケーソン側壁の損傷

こうしたブロックの衝突による側壁の破壊が認められるのは、図-2.1.2 で示したように、上層のブロックがケーソン側壁に接触しているところであり、ブロックが沈下した場合や消波工端部（施工時も含めて）の場合と考えられる。

(5) 消波工設置前の幅広(高)マウンドによる衝撃波力

消波ブロック被覆堤は、消波ブロック設置前には、幅の広い捨石基礎マウンドを持つ。最近では、将来的に消波ブロック被覆堤にする予定があっても、予算の関係でかなりの年月、消波ブロックを設置しないままにしておく場合があり、マウンドが高い場合には、マウンド上で波が砕け衝撃波力の発生の危険性がある。

(6) 消波ブロックの波力減殺効果の過大評価

波高に比して水深が大きく、重複波圧が作用しており、いわゆる消波ブロックによる波力減殺効果を大きく期待できない条件であったため、設計有義波の85%程度の波高でケーソンが滑動（マウンドから転落）し、その結果消波ブロックが散乱してしまっただけの事例がある。

2.2 損傷事例

消波ブロック被覆堤の損傷事例として、台風により、消波ブロックとケーソン側壁(前壁)に損傷を受けた場合を以下に示す。

平成16年8月29日～30日にかけて、台風16号に伴う高波浪が長時間に亘り作用した。そのため、消波ブロック(テトラポッド80t)が動揺してケーソンに衝突し、側壁部に穴あき損傷が生じて中詰砂が流出した。流出高さは約5mであった。また、消波ブロックの沈下も発生していた。

被災部の状況を図-2.2.1に示すが、施工途中の暫定断面であったこと、消波ブロック不連続部であったこと、消波ブロックが据付後間もなかったため噛み合せが十分でなく動きやすい状態であったことなどが被災原因として考えられる。

復旧方針は原形復旧とし、消波ブロック撤去後、側壁開口部に型枠を設置し、水中不分離性コンクリートを打設した。また、消波ブロック沈下部はブロックを増積みした。

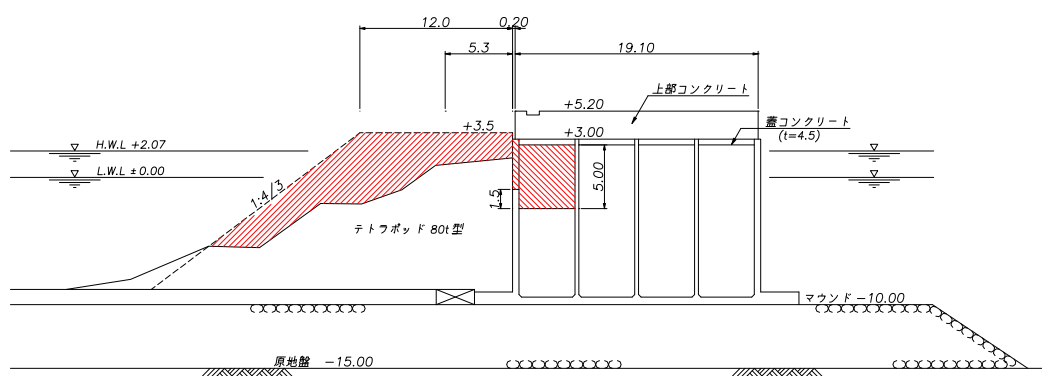


図-2.2.1 消波ブロック被覆堤(ケーソン NO.104) 被災状況断面図(暫定断面)

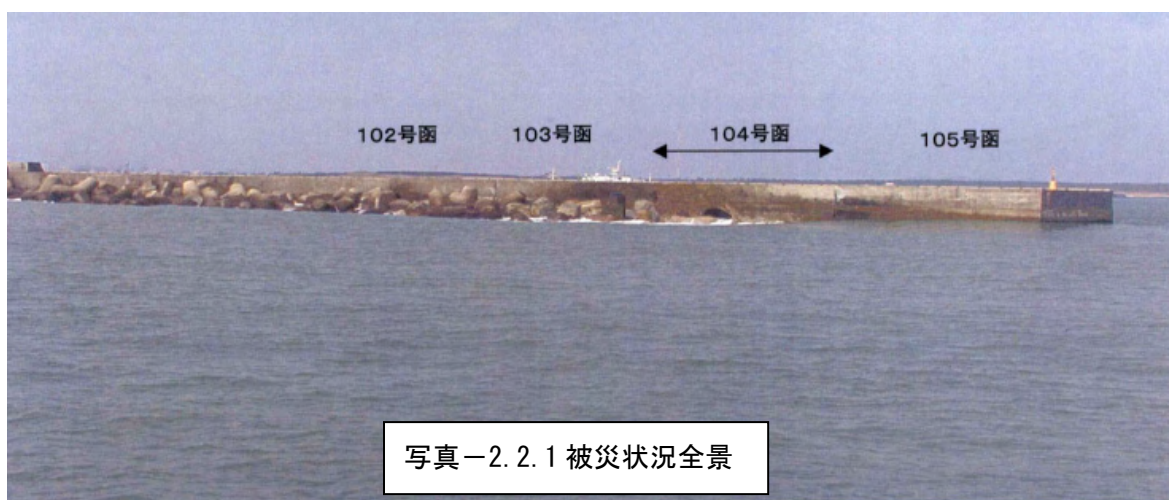
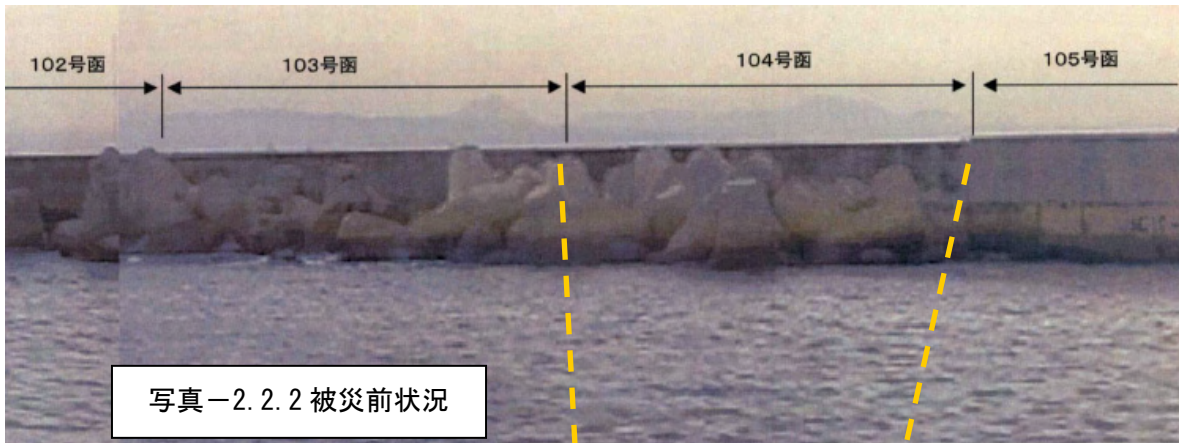
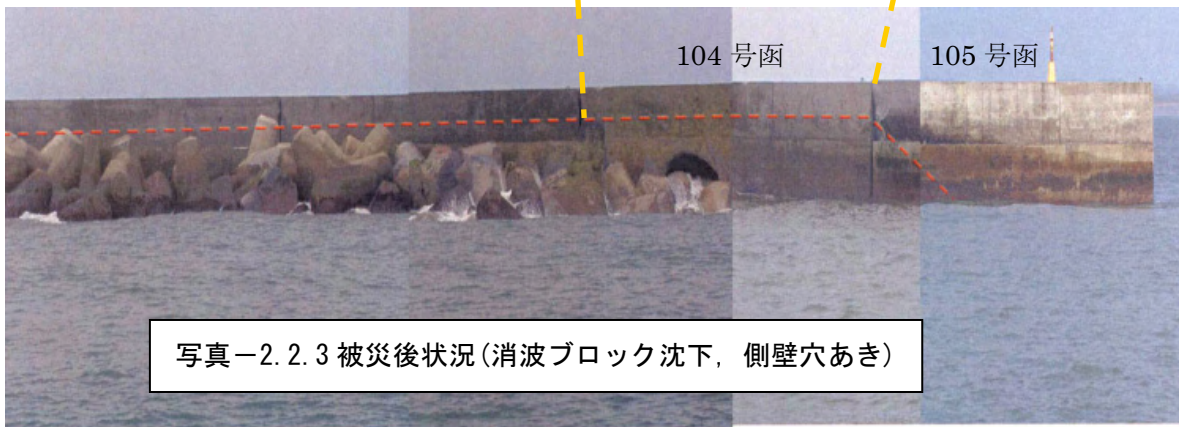


写真-2.2.1 被災状況全景

撮影日:H16.8.31



撮影：H16.6



撮影日:H16.8.31

----- 消波工 計画天端



2.3 点検および評価

ケーソン式防波堤の変状に対する点検および評価は、「港湾施設の維持管理技術マニュアル」による。

- (1) 点検において最も重要な箇所はケーソン側壁である。ひび割れや剥離状態の Step1～Step2（後掲 図-3.2.1）の時点で損傷を発見し、補修することができれば補修コストも安価となり、また穴あきの発生により中詰砂が抜けてケーソンの滑動・転倒に至る災害を未然に防止することもできる。そのためには、点検時の気象・海象条件に十分留意し、できる限り損傷の早期発見に努めることが肝要である。
- (2) 「港湾施設の維持管理技術マニュアル」による評価は、構造体としての技術的な評価までを対象としており、補修、補強に向けて進めるには、ケーソン式防波堤の機能あるいは行政評価（施設の重要度、利用頻度、費用の投資効果、放置した場合の二次災害のおそれ等）を十分に勘案して、適切に判断する必要がある。

2.4 非破壊検査技術

2.4.1 非破壊検査の定義

非破壊検査とは、材料・機器・構造物などの形状・寸法及び機能を変化させることなく、それらの性質・状態・内部欠陥・内部構造などを調査（非破壊試験）し、規格などによる基準に従って合否を判定する方法をいう。

非破壊試験は、素材や製品を破壊せずに、傷の有無、その存在位置、大きさ、形状、分布状態あるいは劣化状況などを調べるものである。

2.4.2 非破壊検査の種類と現状技術レベル

非破壊検査の種類は、測定可能な対象に応じて、概ね表-2.4.1 に示すような分類ができる。

表-2.4.1 検査法と測定対象

分類	検査法	測定可能な対象
弾性波法	打音法※	内部欠陥・剥離の存在
	超音波法※	内部欠陥の位置、表面ひび割れ深さ、弾性係数
	共振法	弾性係数
	衝撃弾性波法	内部欠陥・剥離の位置
	A E 法	ひび割れの発生と進展、損傷度
電磁波法	レーダー法※	内部欠陥・剥離の位置、鉄筋位置
	赤外線法※	内部欠陥・剥離の存在
	光学的方法	表面ひび割れ、劣化度
	放射線法※	内部欠陥・剥離の位置、鉄筋位置と径
	電磁誘導法	鉄筋位置及び径
電気化学的方法	自然電位法	鉄筋の腐食程度
	分極抵抗法	鉄筋の腐食速度

※：コンクリート構造物に用いられる非破壊試験法

また、これらの検査法のうち、コンクリート構造物に用いられている非破壊検査法の概要について、表-2.4.2 非破壊検査法とその特徴に示す。この表からも明らかなように、現状の非破壊検査技術では、ケーソンの上部コンクリート面から隔室内の中詰砂の抜け出しを確認したり、消波ブロックに覆われた側壁の損傷を把握するのは難しいと考えられる。

非破壊検査技術に関する参考資料として、各種団体、民間企業、学会などで公表されている非破壊検査技術に関する情報を、巻末の添付資料3 点検診断の実施例と非破壊検査技術に示す。

表一2.4.2 非破壊検査法とその特徴

非破壊試験名	測定対象	測定原理	測定方法	特徴		備考
				長所	短所	
●弾性波法						
打音法	打撃波 (打撃音)	欠陥部で打撃波の反響音が異なる性質を利用	ハンマー等により表面を打撃し、その反響音を判定する。	・測定が容易 ・直感的である	・測定結果の判定に熟練を要する	・剥離調査でも一般的な方法である。 ・反響音をマイクや振動センサーで測定解析する方法もある。
	超音波法	欠陥部で超音波が反射する性質を利用	発振子から超音波パルスを入射させ、その反射波を測定する。	・測定結果 (伝播時間、波形など) が記録できる	・発振子を対象表面に密着させる必要がある。 ・減衰の影響が大き。 ・鉄筋が存在すると精度が低下する	・ひび割れ深さや部材厚さ測定に使用されつつある。
●電磁波法						
レーザー法	電磁波	電磁波がコンクリートと欠陥部の界面で反射する性質を利用	発信アンテナから周波数400MHz～1.5GHz程度の電磁波を発信し、反射波を測定する。	・アンテナが非接触で連続的な測定が可能である。 ・深さ方向の内部欠陥の位置を捉えることが可能である。	・周波数を低くすれば減衰は減るが、指向性は悪くなる ・鋼材からの反射が大き、測定に影響を受ける。	・トンネル掘工裏の空洞調査、舗装下の空洞調査に使用されている。
	赤外線法	表面部の欠陥の存在で熱伝達が異なることで表面温度分布が変化する性質を利用	赤外線カメラによって表面温度分布を測定する。	・赤外線カメラと対象の距離を離して広い範囲の測定が可能である。	・表面温度の変化が生じるため、熟断が必要である。 ・測定結果が気象条件に影響される。	・建築物外壁や吹付法面の剥離調査に使用されている。
放射線法	X線	物質によりX線の透過度が異なる性質を利用	放射線を用いて部材の透過画像を撮影する。	・コンクリート内部状況を撮影画像により直接観察ができる。	・透過背面にフィルムを設置しなければならない。 ・測定厚さの限界は40cm程度。	・法規制を受ける。 ・コンクリート中の鋼材の位置やグラウト状況の確認に用いられている。

2.5 ケーソン損傷に関する知見について

一般に、消波ブロック被覆堤におけるケーソン側壁のひび割れ、剥離、穴あき損傷を点検により確認することは損傷部位が海面上で目視により確認できる箇所以外は非常に困難である。

これらの課題を解決するために、各種非破壊点検機器などが開発されてはいるが、実用性という面からは今一步の感を拭えない。そのため、現実的な対応として、上部コンクリートにケーソン隔室まで達する調査孔を削孔し、中詰砂の下がり具合を確認したり、ケーソン側壁と消波ブロックの隙間に水中カメラを挿入して損傷状況を撮影するなどの方法が実施されている。しかし、これらの点検方法は時間と労力とコストがかかり、損傷の有無を確認することが目的の一次点検の際には有効な方法とはいえない。

これらの状況に対し、実際に一次点検を行う際には、現場に携わる機会の多い施工業者や作業員等による事象の見極め経験が有効な場合が多い。例えば、「側壁に穴があいている箇所からは波の流出入に併せて隔室内空気の出入り音が発生する」などの知見が点検時に有効に活用され成果が得られたこともある。また、「穴あき部付近の消波ブロックがピンク色になる」という報告もある。このような事象に関する知見は工学的な解明がなされておらず、また、どのような事象が知見として存在しているかも調査されていない。しかし、現状の調査点検機器のレベルから鑑み、点検の前にはこれらの知見に対する十分なヒアリングを実施し、少しでも効果的な点検となる努力をすることが肝要であろう。

以下に、これまでに得られているケーソン穴あき損傷時に確認されている事象について、可能な限り具体的に取りまとめたものを示す。

2.5.1 波の動きとその音

消波ブロック間に入り込んだ波はケーソン側壁により反射されるが、その波の動きと音に健全な場所との違いが微妙にある。また、ケーソン隔室内に海水が出入りしている場合は、波の流出入に併せて隔室内空気の「ボコボコ」という出入り音が発生するのでこの音を聞き分けることができる。また、完全水中部の穴あきであってもその分だけ余計な水量が側壁面近くで出入りするので界面に吹き出しのような症状(……イメージとしては、水の中にホースを入れ、水面を向けて水を出すと水面が盛り上がる、という感じ)が現れる。これらは波の動きによって現れる症状なので、波高が1m程度の時に観察するのが最も良いといわれている。(風状態ではこれらの症状が顕著に現れないこと、これより高波浪の時は観察作業の安全性と波の音が多すぎて穴あき変状音を聞き分けられない。)

2.5.2 消波ブロックの変色

水面付近の穴あき変状に至近の消波ブロックにピンク色に変色している箇所が見受けられ、目視観察の目安のひとつとなる。ただし、穴あき部のみがピンク色に変色するわけではなく、穴がない所でもピンク色になっているところもある。

流速変化なのかプランクトン等の影響によるものなのか、今のところ原因は不明である。

ピンク色への変色は一つの港に限ったような現象ではなく多くの港で確認されている。



写真-2.5.1 消波ブロック

2.5.3 消波ブロックの積み重なり状態

防波堤ケーソンの消波ブロックによる穴あきについて、鹿島港南防波堤・小名浜港・八戸港中央・第二中央・北防波堤等多数の状況を目視により観察した結果より、下記のような知見が得られた。

- (1) 消波ブロックが整積みされている場合は、穴あき及び穴あきが懸念されるような状態が見受けられない。

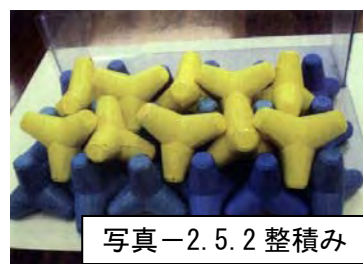


写真-2.5.2 整積み

- (2) 穴あきに至っているケースの多くは、乱積みで消波ブロックの脚部の1本がケーソン側壁面に接触し、その脚に他の消波ブロックが乗っている状態のようである。



黒色のブロックが穴あきを引き起こすブロック

写真-2.5.3 穴あきに至る状態

- (3) これらを踏まえると、乱積みであってもケーソン側壁面の上から2段目以上のブロックを2脚以上でケーソンに接触するような積み方をすれば穴あきに至らせる可能性を少なくできるのではないかと考えられる。

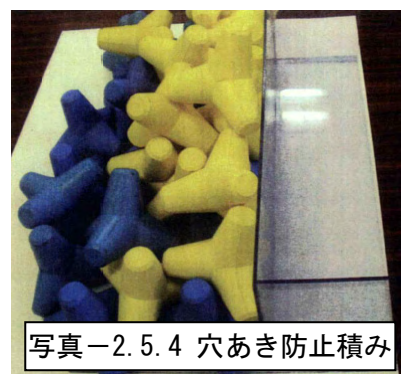


写真-2.5.4 穴あき防止積み

2.5.4 知見の取りまとめ

表-2.5.1 に、前記の経験的知見について取りまとめたものを一覧にして示す。

表-2.5.1 ケーソン損傷の確認に関する経験的知見一覧表

着目点		確認されている経験的知見
1	波の動きとその音	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーソン隔室内に海水が出入りしている場合は、波の流出入に併せて隔室内空気の「ポコポコ」という出入り音が発生するのでこの音を聞き分ける。 ・完全水中部の穴あきであってもその分だけ余計な水量が側壁面近くで出入りするので界面に吹き出しのような症状が現れる。……イメージとしては、水の中にホースを入れ、水面を向けて水を出すと水面が盛り上がる、という感じ。 ・これらは波の動きによって現れる症状なので、波高が 1m 程度の時に観察するのが最も良い。(凧状態ではこれらの症状が顕著に現れないこと、これより高波浪の時は観察作業の安全性と波の音が多すぎて穴あき変状音を聞き分けられない。)
2	消波ブロックの変色	<ul style="list-style-type: none"> ・穴あき損傷位置に至近の消波ブロックにピンク色に変色している箇所が見受けられている。 ・穴あき部のみがピンク色に変色するわけではない。(穴がない所でもピンク色になっているところもある) ・変色の原因は不明。流水面付近なので、目視観察の目安のひとつである。 ・ピンク色への変色は多くの港で確認されている。
3	消波ブロックの積み重なり状態	<ul style="list-style-type: none"> ・乱積みで消波ブロックの脚部の 1 本がケーソン側壁面に接触し、その脚に他の消波ブロックが乗っているような状態の場合に穴あき損傷に至るケースが多い。

2.6 点検および評価の実施例

防波堤等で実績のある既存の点検システムについて、GPS+ナローマルチビーム、GPS+3Dレーザーミラースキャナーによる防波堤全体の損傷やケーソン内部の隔室に対する目視観測を行った八戸港での実施例と、水中カメラをケーソンと消波ブロックの隙間に挿入して目視観測を行ったことに特徴のある日高港での実施例を、巻末の**添付資料3**に示す。

第3編 ケーソン式防波堤の損傷に関する補修・補強・予防の概念

3.1 ケーソン損傷に対する補修, 補強, 予防の考え方

ケーソンの損傷に対して対策を施す場合の考え方を, 図-3.1.1 ケーソン損傷に対する補修, 補強, 予防のイメージに示す.

補修は損傷を受けた既設ケーソンに対する対策であり, 補強は同じく損傷を受けた既設ケーソンに対する場合と, 損傷を受ける前の既設ケーソンに施す補強があり, 本マニュアルでは後者を対象とする. 予防は新設のケーソン建造時にあらかじめ損傷を予防する措置を講じておくことを言う.

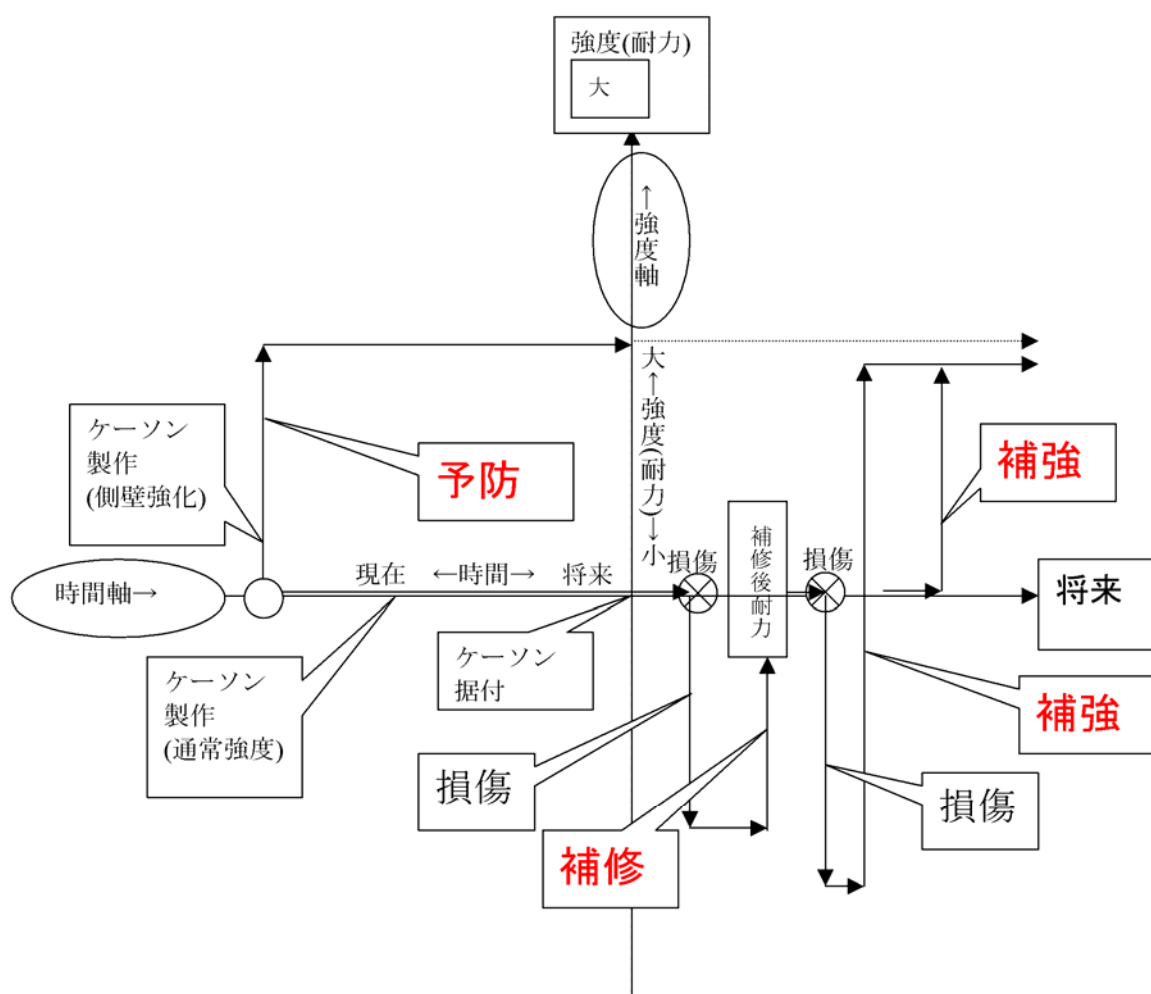


図-3.1.1 ケーソン損傷に対する補修, 補強, 予防のイメージ

3.2 補修の概念

既設防波堤ケーソンが損傷を受け、補修が必要と判断された場合には、必要とする補修の強度、補修の範囲、施工性、施工の安全性、耐久性、コスト等について十分検討し、その損傷段階に応じた適切な方法でケーソン側壁の補修を行う。

3.2.1 ケーソンの損傷段階レベルについて

消波ブロック被覆型ケーソン式混成堤が損傷を受ける要因としては、堤頭部や消波工端部、施工時の仮端部等の洗掘、吸い出しなどにより消波ブロックが移動・沈下することによるケーソン側壁への衝突、不完全消波による衝撃波力などが考えられており、いまだ未解明な部分がある。

本マニュアルにおけるケーソン側壁の損傷は、消波ブロックのケーソン側壁(前壁)への衝突によるものを対象とし、その損傷段階は、**図-3.2.1**に示す Step1～Step3 の段階レベルとする。

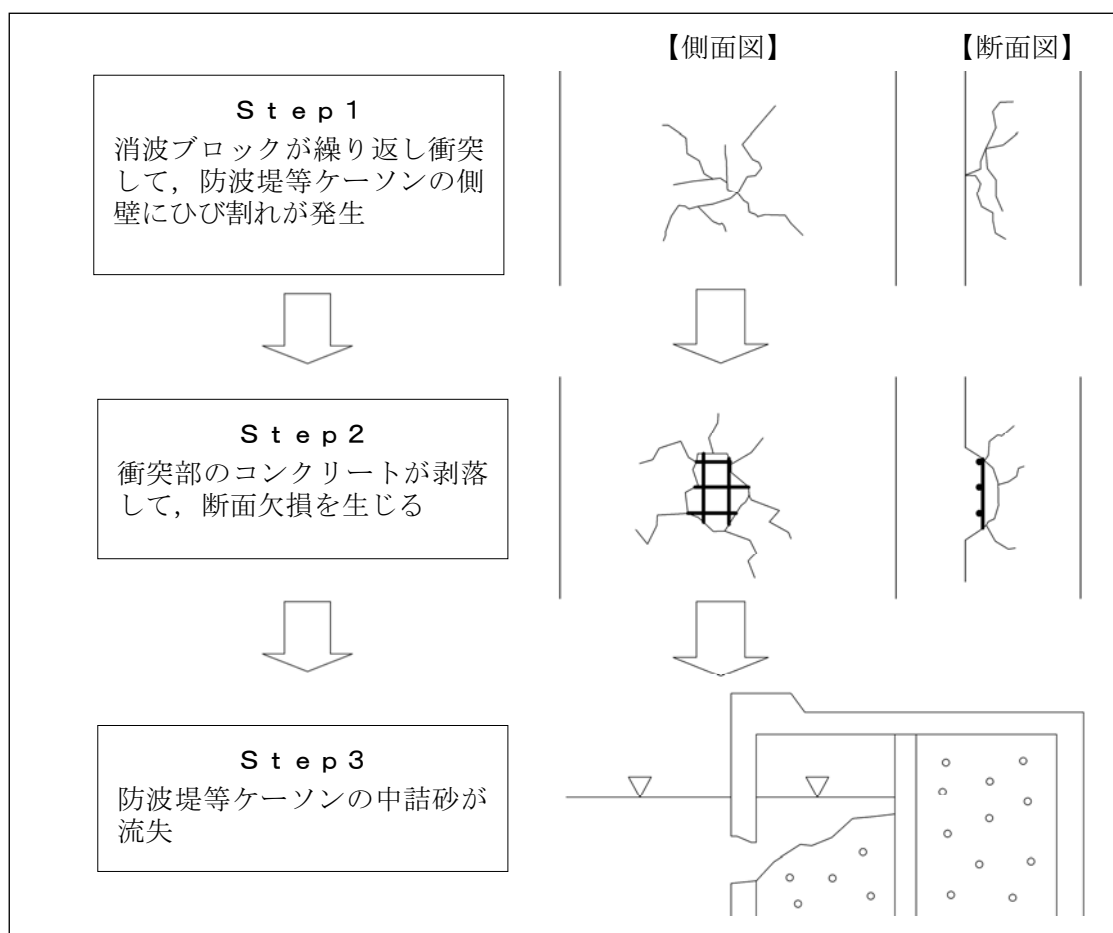


図-3.2.1 防波堤の損傷メカニズムとケーソン側壁の損傷段階

3.2.2 ケーソン損傷段階レベル別の補修の考え方

(1) 補修工法のパターン

表-3.2.1 ケーソン側壁の損傷段階別補修工法のパターン

損傷段階	損傷モデル図	代表的補修方法 施工フロー
Step 1	ひび割れ 	<p>中詰砂の抜け出し予防対策 中詰コン.打設 or 中詰固化</p> <p>ひび割れ補修が必要</p> <p>Yes → ひび割れ部にエポキシ系接着剤を注入 </p> <p>No → END</p>
Step 2	コンクリートの剥離、剥落、鉄筋露出、鉄筋破断 	<p>ケレン、ハツリ、鉄筋補強等</p> <p>鋼板(型枠)取り付け → グラウト、エポキシ樹脂材等の補修材を充填</p> <p></p> <p>END</p>
Step 3	穴あき 	<p>鋼板(型枠)取り付け → 上部工削孔 → 隔壁に中詰コンクリート等を充填</p> <p></p> <p>END</p>
		<p>上部工削孔 → 中詰コンクリートと袋詰コンクリートで中詰工を修復</p> <p></p> <p>END</p>

(2) 損傷段階ごとの補修実施例

損傷段階(Step1~3)・損傷経緯(原因)別損傷事例と採用した補修方法の一覧表、および補修状況概要図を巻末の「添付資料1」に示す。

また、補修工法の実施例を、巻末の「添付資料2」に示す。

3.3 補強の概念

既設防波堤ケーソン側壁に対する補強が必要と判断された場合には、必要とする補強強度、補強の範囲、施工性、施工の安全性、耐久性、コスト等について十分検討し、適切な方法でケーソン側壁の補強を行う。

- (1) 一般に既設ケーソンの補強工法には、
- ・ 穴あき損傷等の損傷を受けた後、補修の一環として、例えば流出した中詰部にコンクリートを打設するなどして補強した場合(事後補強)
 - ・ 既設のケーソン側壁が損傷を受ける前に、事前に側壁が損傷を受けないように補強を行うもの(事前補強)

がある。

- (2) 本マニュアルで扱う補強とは、既設ケーソンの側壁が損傷を受ける前に事前に行うものをいう。既設ケーソンの補強工法については、損傷を受けた後、補修の一環として行う中詰コンクリート工法以外特にこれといった実施例は見当たらない。しかし、今後は、中詰砂の流出によるケーソン堤の滑動被災等に対する「防災」という観点から、既設ケーソンに対する事前補強が重要になってくることが考えられる。

- (3) 補強を検討する際に留意しなければならないのは、対象となる外力が静荷重でなく衝突力であるという点である。「第4編」で詳しく述べられているが、側壁の厚さを増加すると壁の剛性が上り、その結果としてかえって衝突力が増えることになる。「増厚工法」等により側壁の厚さを増加すると壁の剛性が上がり、その結果としてかえって衝突力が増える危険性もあるので注意が必要である。

- (4) 本マニュアルでは、港湾における実績はないが、道路橋床版の補強に用いられて実績も多い「上面増厚工法」をケーソン側壁に適用した、「海側増厚工法」を主たる補強工法として位置付ける。

以下に参考として、港湾に実績はないが、適用の可能性の高い工法の比較一覧を示す。

表-3.3.1 適用の可能性が高い工法の比較一覧

対象工法	施工性	補強効果		剛性増大防止	港湾における新工法としての評価		
		押抜	曲げ		特長	問題点	
補強工法	① 海側増厚工法	○	○	△	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上部工、蓋コン、中詰砂の撤去が不要 ・ 補強部をケーソン天端から5m程度とすると、撤去する消波ブロックも少なく済む ・ プレキャスト版を用いることで、波浪による施工時の影響を小さくできる ・ 補強部が衝突側にあるため、剛性をなるべく上げないように、既設部と一体化しないで設置しても補強効果が得られる 	○
	② 隔室側増厚工法	△	○	○	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ 前面の消波ブロックを撤去しなければならないため補強部が広いと経済的に不利 ・ 消波ブロックを撤去するため増厚部の施工時に波浪を直接受ける ・ 補強後にブロックを据えなおすことによりブロックの噛み合わせが落ち着くまで不安定状態となる可能性がある ・ 曲げ補強効果はあまり期待できない ・ 増厚部を既設の側壁と一体化すると剛性が上がり、衝突力が増加する 	△
	③ 隔室側鋼板接着工法	×	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼板接着による補強のため、剛性の増加が少なく、じん性が高まり、衝突力が増加しにくい ・ 曲げ補強効果も期待できる ・ 陸上では最も実績が多く、エポキシ樹脂の接着性には問題はないと考えられる。 ・ 鋼板の腐食は、蓋コン、上部工により酸素が遮断されるため進行しにくく、エポキシ樹脂も隔室内のため紫外線の影響を受けない 	△
						<ul style="list-style-type: none"> ・ 上部工、蓋コン、中詰砂の撤去が必要 ・ 隔室内に側壁、隔壁の補強のための切梁等が必要なため、鋼板搬入等の作業の支障となる ・ 鋼板の搬入のため、大きな開口部が必要となる。 ・ 隔室内での既設側壁の研掃、鋼板建込み、エポキシ樹脂注入等の作業が発生 	

3.4 予防の概念

新設防波堤ケーソン側壁に対する補強が必要と判断された場合には、側壁の強度、予防措置の範囲、施工性、施工の安全性、耐久性、コスト等について十分検討し、適切な方法でケーソン側壁の損傷に対する予防措置を行う。

- (1) 本項で扱う予防とは、新設ケーソンの側壁を、消波ブロックの衝突力等の外力に配慮した構造にすることをいう。
- (2) 補強の場合と同様に、予防工法を検討する際に留意しなければならないのは、対象となる外力が静荷重でなく衝突力であるという点である。「第4編」で詳しく述べられているが、同じ消波ブロックが同じ速度で衝突した場合で、壁厚を厚くすると衝突力も大きくなるという実験結果が得られている。壁厚を増加したりコンクリートの強度を上げたり側壁のスパンを小さくしたりすることによって側壁の剛性が上がり、その結果として衝突力が増えることになる。
- (3) 予防対策として考えられる工法には、緩衝材を側壁前面に取り付ける工法、中詰部をコンクリートで置換える工法などがある。

現時点において考えられる、適用の可能性が高い予防工法として、

- (1) 壁厚を増加する工法
- (2) 鉄筋を増加する工法
- (3) コンクリート強度を増加する工法

が考えられる。

参考として、H港防波堤の2,000t級ケーソンをモデルに検討した結果を表-3.4.1に示す。結果的には、上記の3工法を併用しないと衝突力を上回る耐力が得られない。

予防する範囲として、この検討事例においては、打設ロットや消波ブロックの大きさ等を考慮して、ケーソン天端から下方7.0mとし、壁厚の増厚および側壁の端部を勾配が1:3となる異形ハンチにより増厚した。鉄筋は重ね継手により配筋できるD25までとし、コンクリート強度については 30N/mm^2 として検討を行った。

尚、参考として表-3.4.1の右上方に「壁厚・鉄筋・コンクリート強度増加 相関図」を示す。この図からモデルケーソンにおいて必要な耐力が得られる壁厚、鉄筋、コンクリート強度および異形ハンチの組み合わせを読み取ることができる。

表-3.4.1 予防工法の検討結果

工 法 名	壁厚・鉄筋・コンクリート強度増加併用工法			
ケーン形状図				
予 防 工 法 検 討 結 果 概 略 図				
要 概	全体	壁厚増加	鉄筋増加	コンクリート強度増加
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> 壁厚・鉄筋・コンクリート強度増加の単独採用では予防対策として不足なため、3つを併用して耐力の増加を図る。 施工法は、従来実施していたケーン・コンクリート壁頂部のハチ巻の施工と同様であり、問題は無い。 	<ul style="list-style-type: none"> 側壁端部の壁厚増加を目的として、端部の厚さ300mm、傾斜1:3の異形ハンチにより押し抜きせん断耐力の増加を図る。 必要に応じて、側壁中央部の壁厚を増加する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋径をD2.5までとしているため、加工や組立て問題は無い。 重ね継ぎ手による施工可能。 側壁端部の壁厚増加を目的とした異形ハンチのハンチ筋による押し抜きせん断耐力増強効果が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度の増加は、押し抜きせん断強度の増強策として効果的。 ケーン・天端から7m(3ロット)のみコンクリート強度増加。 同一ロットは全て同一のコンクリートを打設する。 異なる強度のコンクリート打継に問題はない。
問 題 点	<ul style="list-style-type: none"> 海側の側壁厚が増えるため、浮上時のバランス上、バランスが増加する。 消波ブロックによる擦り減りには、側壁全体の増厚となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工上の問題点はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工法は、従来工法と変わらない。 	<ul style="list-style-type: none"> 高強度コンクリートは、通常強度のコンクリートとの打継目部にクラック等が発生しないよう、収縮特性等、配合に留意する必要がある。
重 工 費 比 較 性	<ul style="list-style-type: none"> 1面当りの増加コスト 24+78+19=121 121万円/面 (+3.3%) 			
適 用 性	<ul style="list-style-type: none"> 1面当りの増加コスト 約24万円/面 1面当りの増加コスト 約78万円/面 1面当たりの増加コスト 約119万円/面 <p>技術的な開発要素はない。 設計手法的にも問題はない。 コスト的にも適用性が高い。</p>			

(4) 表-3.4.2 に、その他の予防工法の概略イメージと評価を一覧で示す。

ここで示した以外の工法としては、繊維補強コンクリート工法や、繊維シート貼付工法なども考えられる。

但し、これらの予防工法の実施に当たっては、別途詳細な検討が必要である。

表-3.4.2 予防対策工法の検討(1/2)

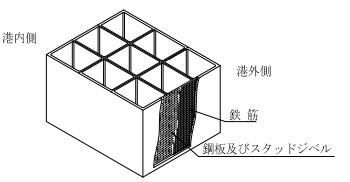
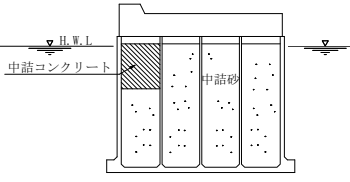
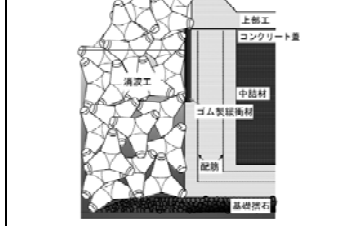
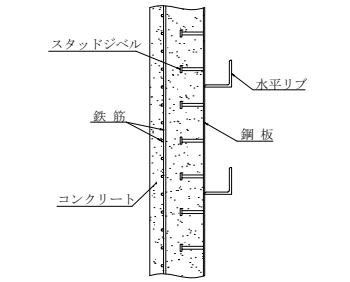
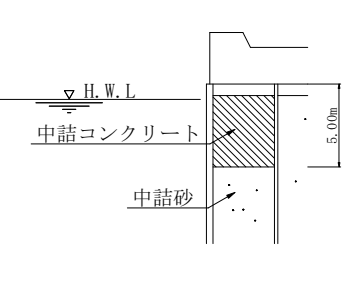
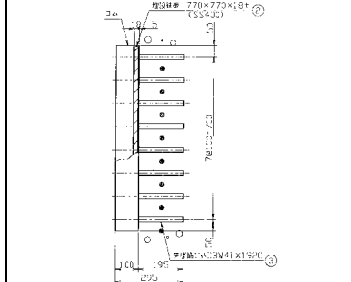
予 防 対 策 工 法 の 検 討			
工法名	鋼コンクリート合成構造 (側壁のみ)	中詰コンクリート	ゴム・鉄複合材による壁面防護材
概略図			
詳細図			
概要	<ul style="list-style-type: none"> ケーソン製作時に、海側側壁部のみを鋼コンクリート合成構造化する 	<ul style="list-style-type: none"> ケーソンを所定の位置に据付け、中詰砂を投入後、水中コンクリートを投入。 	<ul style="list-style-type: none"> 海側側壁のコンクリート打設時に型枠に取付け、スタッドジベルで固定。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 鋼板を内型枠として兼用。 鋼板のコンクリート側にリブ等を追加することで、補強効果をさらに向上できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 補修工法として実績多く、ケーソン損傷が予想される範囲が明確であれば、衝突力が大きくても対策工として有効確実である。 	<ul style="list-style-type: none"> ゴムの持つ緩衝効果および摩擦防止効果により、防護機能が得られる。 衝撃吸収効果の定量的把握には至っていない
問題点	<ul style="list-style-type: none"> 合成構造部の型枠としての鋼板と、RC部の型枠との接合部や、RC部の前ロットとの打継目部に工夫を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 中詰砂投入時における天端の管理に難点。中詰均しが必要。 中詰砂が飽和状態で緩い場合、投入したコンクリートが砂中に食込む恐れがある。その場合は、中詰材を砂利・砕石等とすることが考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 取付け部アンカーが弱点となりやすい。 消波ブロックの衝突によるゴム材の切り傷や剥離等の損傷が発生する。
経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 海側隔室の側壁上部5mを、鋼コンクリート合成構造化する。 1函当りの増加コスト 鋼殻(3.14t×3室×35万円/t) + 海上運搬費(100万円/3函) = 363万円/函 	<ul style="list-style-type: none"> 据え付け時に、海側隔室の上部5mに水中コンクリートを打設。 1函当りの増加コスト 水中コンクリート(201.756m³×5.1万円/m³ - 中詰砂減少分(201.756m³×0.198万円/m³) = 990万円/函 	<ul style="list-style-type: none"> 上部5mを防護。 ゴム・鉄複合材による壁面防護材1函当りの増加コスト 5m×15m×(保護材10万円/m² + 取付材工5万円/m²) = 1,125万円/函
適用性	技術的に大きな問題はない。多少コストはかかるが、大きな耐力が必要な場合は有利か。	技術的な開発要素はない。コスト面ではやや不利。	既の実証実験レベルであり、ある程度問題点も把握されている。コスト面では不利。

表-3.4.2 予防対策工法の検討(2/2)

予 防 対 策 工 法 の 検 討			
工法名	超高分子量ポリエチレン緩衝材	海側隔室の中央に隔壁を設けて側壁の スパンを半分にした場合	側壁に H 鋼を挿入し強度増加 をはかった場合
概 略 図			
詳 細 図			
概 要	・ヤード上でのケーソン製作時に、アンカーボルトで固定する。	海側隔壁の間隔を半分にし、海側側壁のスパンを半分にする事で曲げ補強効果を得る。増設隔壁は、上部 5 m でなく、底版部から天端まで増設する。	残 2 ロット目の海側側壁の鉄筋建込み時に、パネル状に組んだ H 鋼を建込み、その周囲に鉄筋を取付ける。
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> 耐衝撃性、耐摩耗性、潤滑性、無毒性、加工性に優れ、衝撃変形による破壊は無い。 V 型防舷材状に加工することで、緩衝効果が付加され、より高い防護機能が得られる。 摩擦係数が 0.07~0.22 と小さいため、取付けボルトにかかるせん断力は小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ補強効果は見込めるが、押し抜きせん断対策とはならない。 施工上、上部 5 m のみの補強は、支保工対策等、問題が多いため、全高補強となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 押し抜きせん断補強効果だけでなく、曲げ補強効果も大きい。 衝突力が大きくても対策工として有効である。
問 題 点	<ul style="list-style-type: none"> 軽荷重に対する耐摩耗性は大きいですが、大荷重には弱い。30kgf/cm² 程度から潰れ発生。 V 型防舷材形状加工に難点。溶接(接着)不能、金型は高価。数千万オーダー。 耐候性(紫外線)に難点。 鋼板との接着性なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工法は、従来工法と同様である。 	<ul style="list-style-type: none"> H 鋼周囲へのコンクリートの回り込みに問題がある。打設管理上、高流動コンクリートによる施工が必要となると、コストアップとなる。
経 済 性 の 比 較	<ul style="list-style-type: none"> 上部 5 m を防護。 1 函当りの増加コスト 超高分子量ポリエチレン緩衝材(6.25 m³/函×208 万円/m³)+取付費(60 万円/函) =1,360 万円/函 	<ul style="list-style-type: none"> 海側隔室に隔壁を各 1 枚、計 3 枚増設。 増設隔壁は、施工上底版部から天端まで全高増設。 1 函当たりの増加コスト コンクリート工 (30.636m³ × (1.27+0.27)万円) + 型枠工(306.36m²×0.37 万円) + 鉄筋工(4.6t×(6.2+4.5)万円) =210 万円/函 	<ul style="list-style-type: none"> SRC 部の鉄筋量変化無しとした。 1 函当り増加コスト H 鋼(10.47t)×15 万円 =160 万円/函
適 用 性	実施には技術的な問題が多い。コスト的にも問題多い。	技術的な開発要素はない。設計手法的にも問題はない。曲げ対策としては適用性が高い。全高補強としてはコスト的に割安か。壁厚増加等の他の押し抜きせん断対策との併用が必要。	部分 SRC 構造となるため、設計・施工面で多少の技術的な開発要素があると思われる。部分ハイブリッド構造よりは割安。大きな耐力を必要とする場合は有利。

(5) 新設ケーソンの(損傷) 予防工法については、これまで、日高港(ゴム・鉄板複合材+中詰コンクリート)、細島港(壁厚増大, 押し抜きせん断対策鉄筋) 等の実施例がある。予防対策の具体的事例として、日高港における実施例について以下に示す。

平成12年度に「ゴム・鉄板複合材(ラバーsteel)」による壁面防護材を取付けたケーソン3函を製作し、13年度に据付た。また、隔室上部4.5mには中詰にコンクリートを打設した。設計波高は $H_{1/3}=10.2\text{m}$ (50年確率波)、設計潮位 H.H.W.L.+3.0m と、消波ブロックの安定に対して厳しい条件である。(添付資料3.2 参照)

ここで注意しなければならないのは、この予防工法においては当初から中詰にコンクリートを投入して壁面が穴あき損傷を受けないようになっているという点であり、壁面防護材による緩衝効果でなく、壁面防護材の消波ブロック等による摩耗等損傷に対する抵抗性について実証的に調査検討したものである。

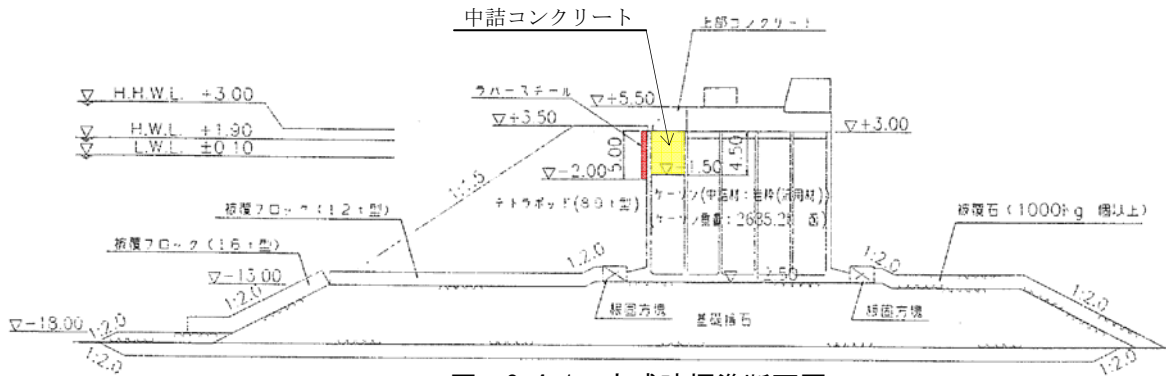


図-3.4.1 完成時標準断面図

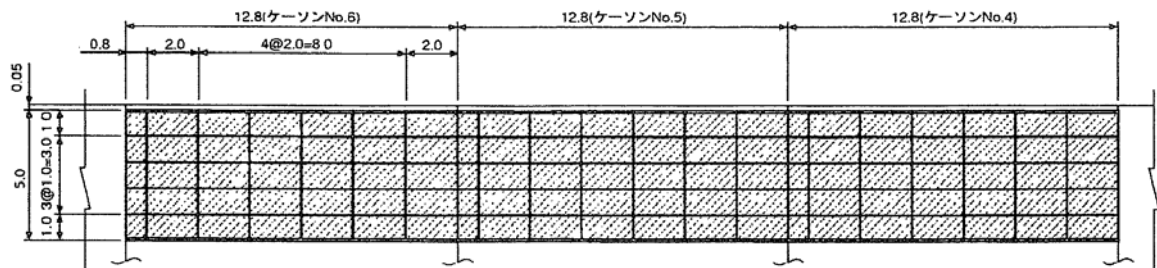


図-3.4.2 壁面防護材取り付け正面

(Unit: m)

第4編 ケーソン損傷現象の解説

4.1 総説

本編は、消波ブロック被覆防波堤において消波ブロックが動くことで生じる衝突力による穴あき等のケーソン損傷現象について適用する。

- (1) 衝撃波力の作用のみによるケーソン損傷はここでは解説の対象にしない。
- (2) 消波ブロックの衝突力に類似した作用として漂流物、船舶の衝突がある。

4.2 発生メカニズム

ケーソン損傷現象は、消波ブロックの沈下や波浪等の外力により消波ブロックが移動して、ケーソンに衝突することにより発生する。

- (1) 消波ブロックの衝突力によるケーソン穴あき現象の発生要因とその発生メカニズム
消波ブロックによるケーソン損傷現象は以下の要因により発生することが多い。
 - ① 消波ブロックが移動する損傷空間の形成
消波ブロック据付時には、消波ブロックが移動しやすい空隙空間が形成されることが多い。
 - ② 消波ブロックの沈下による表層ブロックとケーソン側壁の隣接
波浪の作用により基礎マウンドに洗掘や吸い出しにより、消波ブロックが沈下して、上部コンクリートに隣接していた表層のブロックがケーソン側壁に隣接することで損傷を受けやすい位置関係になる。
 - ③ 消波ブロックが動きやすい状態
消波ブロックの重量不足や消波ブロック間のかみあい不足から、消波工の表層部分や消波工施工途中の仮端部等で消波ブロックが動きやすい不安定な状態になる。
 - ④ 波浪と流れの作用
砕波帯において、高波浪の波力と流れが作用し、表層や移動しやすい空間の消波ブロックがケーソン前壁に衝突することで損傷現象が生じる。

以上に述べた消波ブロックの衝突を発生させる直接的な原因とその状況を作り出す間接的な原因を含めて、その概要を図-4.2.1に示す。ただし、主たる間接的な原因については、2.1ですでに説明している。

4.3 消波ブロックの運動

消波ブロックの運動は、水平移動、ロッキング、転落の運動形態がある。

(1) 消波ブロックとケーソンの衝突パターン

消波ブロックが単体で衝突する場合は、消波ブロックが前後に繰り返し回転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。

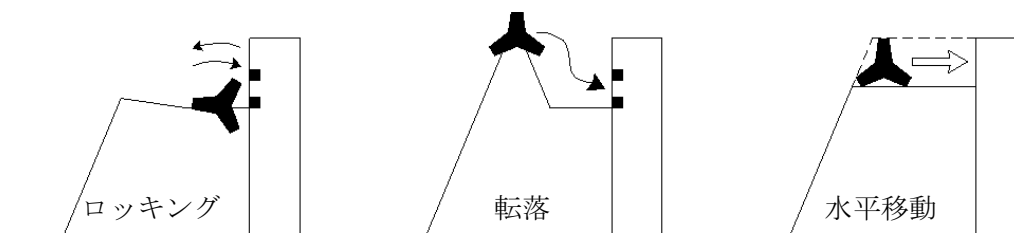


図-4.3.1 消波ブロックとケーソンの衝突パターン

(2) 消波ブロックの衝突速度

表-4.3.1 に示す消波ブロックの運動形態別(水平移動、ロッキング、転落)衝突速度は、実験の観察から得られたものである。波速をCで表示すると水平衝突に用いる衝突速度として、平均値の上限に相当する0.08Cから最大0.15Cの範囲が考えられる。消波ブロックによるケーソン側壁の被災事例が比較的少ないことから、水平衝突速度として0.08Cを用いることを標準とする。ロッキングの衝突点における速度も同程度であるが、重心位置の衝突速度は衝突点との関係から水平衝突の $1/\sqrt{6}$ 倍になる。

なお、砕波時においてはロッキングが繰り返し生じる危険性は少ないため考慮しない。

また、転落速度に係る落下距離を設定する明確な根拠がないことから、ここでは転落のパターンを検討対象から除くことにする。

表-4.3.1 消波ブロックの衝突速度

パターン		防衛大学校における実験 ¹⁾		港湾空港研における実験 ²⁾ 提案値(最大値)	設計に用いる値(案)
		最大値	平均値		
水平衝突	砕波時	0.12C	(1/20~1/13)C	0.15C(0.12C)	0.08C
	非砕波時	—	—	0.15C	
ロッキング	砕波時	—	—	$0.1C/\sqrt{6}$	0.04C
	非砕波時	—	—	$4H/\sqrt{6}T$	$4H/\sqrt{6}T$
転落	—	—	—	自由落下速度の0.4倍	—

C ; 波速, T ; 周期, H ; 波高 (消波ブロックの高さの半分を上限とする)

4.4 消波ブロックによる衝突力

4.4.1 一般

消波ブロックによる衝突力は、消波ブロックが衝突するケーソン前壁等の部材設計に適用する。

- (1) 消波ブロックによる衝突力は、ケーソンの局部破壊をもたらすが、ケーソン全体の安定には影響を及ぼさない。

4.4.2 衝突力に影響する要因

消波ブロックによる衝突力は、消波ブロックの質量、衝突速度、衝突部の形状(脚長、脚径、衝突面積)、ケーソン前壁の諸元(版厚、縦長、横長)、衝突位置、コンクリート強度(ヤング係数)、ポアソン比等の要因に影響を受ける。

水中衝突と空中衝突の衝突力の差は小さく無視できる。

- (1) 巻末資料に示す既往の実験*により、衝突力と衝突速度、衝突面積、壁厚(RC版厚)、コンクリート強度およびヤング係数の衝突力に及ぼす影響は表-4.4.1のように評価される。図-4.4.1に衝突力と衝突速度、コンクリート強度、ヤング係数、壁厚(RC版厚)および接触面半径の関係を示す。

衝突力は衝突速度に比例し、コンクリート強度(ヤング係数)や壁厚の増加に伴い増加している。また、衝突面積(接触面半径)による影響は小さい。

表-4.4.1 各種要因が衝突力に及ぼす影響

要 因		衝突力に及ぼす影響
消波 ブロック	衝突速度	衝突速度に比例
	衝突面積	影響は小さい
ケーソン 前壁	壁厚	壁厚の増加に伴い増加
	コンクリート強度	強度の増加に伴い増加
	ヤング係数	ヤング係数の平方根にほぼ比例

- (2) 水中衝突と空中の衝突では同一条件でも衝突力が異なるが、その差は小さい。
松富(1999)の水中実験による衝突力式の値は空中実験の衝突力算定式より4%だけ小さい。

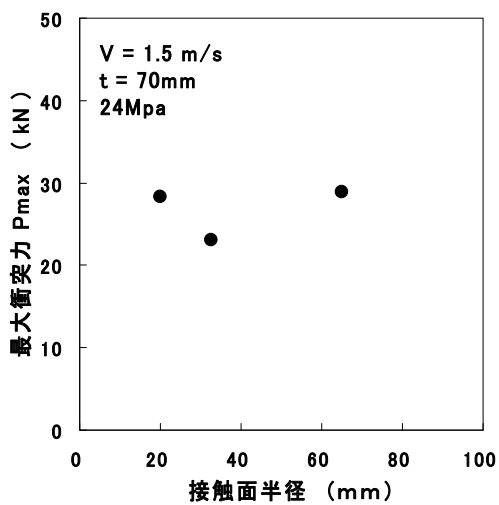
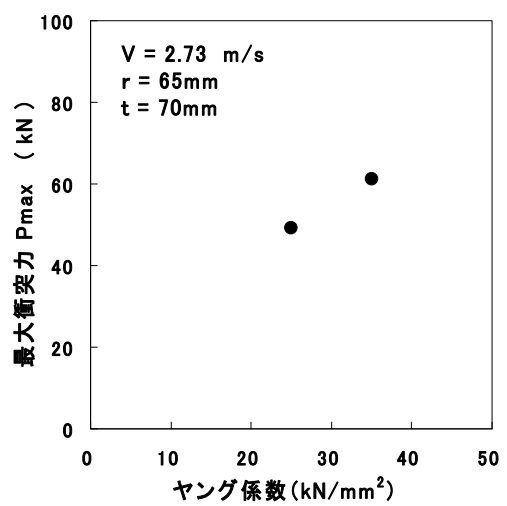
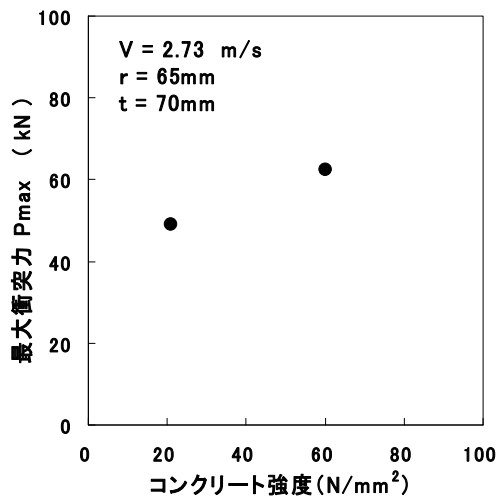
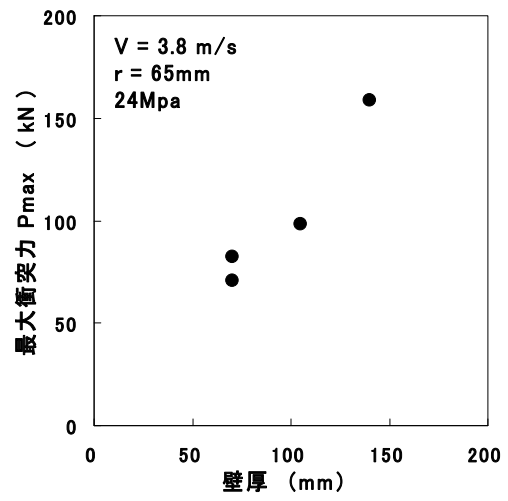
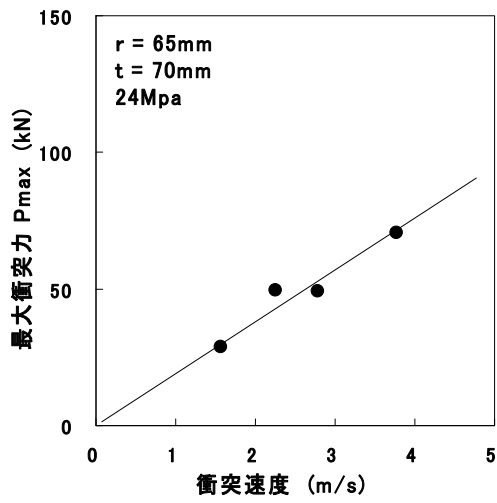


図-4.4.1 実験による衝突力と各種要因の関係

4.4.3 衝突力算定式

消波ブロックによる衝突力は、実験にもとづく適切な算定式を用いる。

(1) ここに示す衝突力算定式は、1個の消波ブロックの衝突力を対象にして実験により裏付けられたものであるが、消波ブロックによる衝突力算定式に関する研究の歴史がまだ浅く未解明な点が多いため、新たな実験や損傷現象等のデータの追加による修正の余地が残されている。

(2) 隔壁・側壁・底版の境界条件を考慮した3辺固定版の衝突力算定式

消波ブロックによる衝突力Pは、4.2に示す衝突力に影響する要因、定数を適切に設定して、式(4.4.1)で示すことができる。

質量Mの消波ブロックが速度Vでケーソンに衝突する時、衝突力PはRC版の局部に圧縮ひずみ、RC版全体に曲げひずみを発生させる。また、消波ブロック衝突部に圧縮ひずみを発生させる。式(4.4.1)は滑川・志賀等(2005)が消波ブロックの運動エネルギーがひずみエネルギーに変換されることに着目して導いた式である。(図-4.4.2参照)

$$P = C_0 \cdot \frac{\sqrt{\pi} \cdot M^{1/2} \cdot V}{\lambda \sqrt{\frac{L_1}{E_1 r_1^2} + \frac{L_2}{E_2 r^2 (1 + (L_2/r) \cdot \tan \alpha)} + U_3^*}} \quad (4.4.1)$$

ここで、

C_0 ; エネルギーロスによる衝突力低減係数

λ ; 衝突現象の特性による衝突力低減係数

M ; 消波ブロックの質量

M ; 消波ブロックの質量, V ; 衝突速度, L_1 ; 消波ブロックの脚長, L_2 ; RC版厚,

r_1 ; 消波ブロックの脚の半径, r ; 衝突面の半径, E_1 ; 消波ブロックのヤング係数,

E_2 ; RC版のヤング係数, α ; 荷重分散角(一般には 45° を用いる)

U_3^* ; 三辺固定RC版の曲げひずみエネルギーのであり、式(4.4.2), 式(4.4.3)より求められる

$$U_3^* = 2\pi U_3 / P^2 \quad (4.4.2)$$

$$U_3 = \frac{P^2}{4D\pi^4 ab} \sum_{m=1,2,\dots} \sum_{n=1,2,\dots} \frac{\left(1 - \cos \frac{(2m-1)\pi\xi}{2a}\right)^2 \left(1 - \cos \frac{2m\pi\eta}{b}\right)^2}{\frac{3}{8} \left(\frac{2m-1}{2a}\right)^4 + \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4} - \frac{2}{(2m-1)\pi} \sin \frac{(2m-1)\pi}{2} \right) \left(\frac{2n}{b}\right)^4 + \left(\frac{1}{4} - \frac{\nu}{(2m-1)\pi} \sin \frac{(2m-1)\pi}{2} \right) \left(\frac{(2m-1)n}{ab}\right)^2} \quad (4.4.3)$$

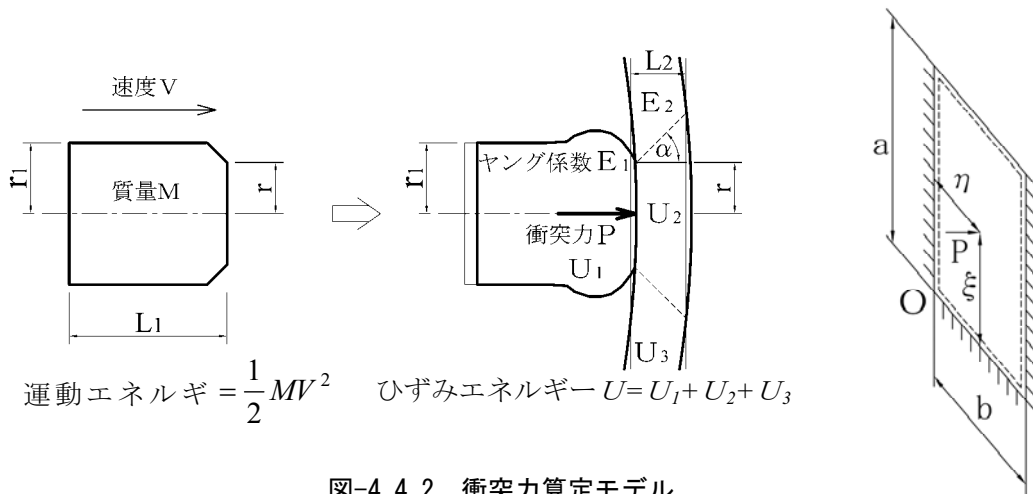


図-4.4.2 衝突力算定モデル

(3) エネルギーロスによる衝突力低減係数 C_0

式(4.4.1)の定数 C_0 を除き級数項を 20 次まで計算した衝突力の値と実験値の衝突力を比較したものが図-4.4.3 である。衝突現象では熱の発生等によるエネルギー放出を伴うため、運動エネルギーの一部が衝突力による歪みエネルギーに変化する。運動エネルギーのエネルギーロスによる衝突力への低減係数 C_0 を同図より $1/2.7$ と定める。なお、級数項の数を 1 次として概略の衝突力を求める場合の定数 C_0 は $1/6$ である。後述する衝突力の特性による耐力に対する荷重の低減を評価する係数でないことに注意する必要がある。

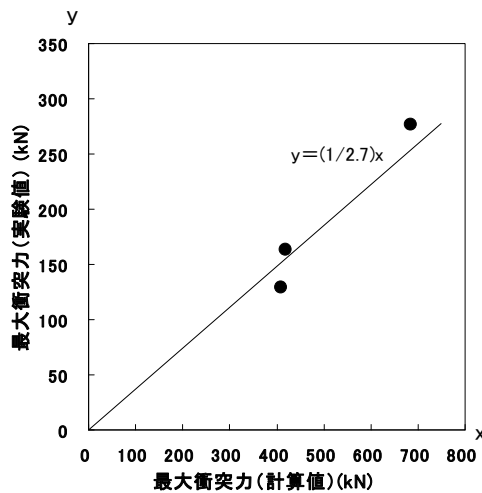
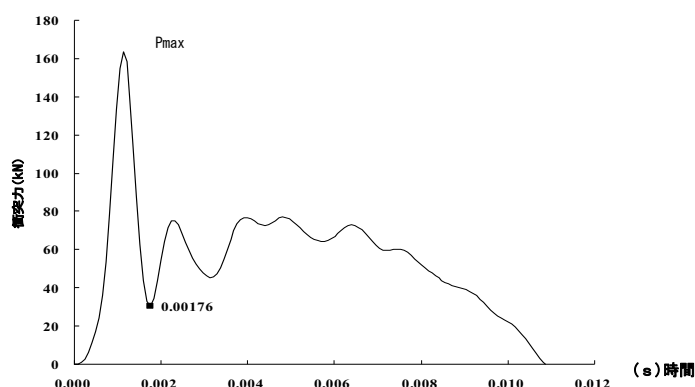


図-4.4.3 実験による衝突力低減係数

(4) 衝突現象の特性による衝突力低減係数 λ

1) 消波ブロック衝突力模型実験時刻歴波形例

図-4.4.4 は、衝突力の時間波形の例である。ここに示す衝突力のピーク波形の周期は 0.0018 s であり、現地ケーソンの幾何学的スケール比が 6 倍程度であることから現地の作用時間に換算すると 0.01 s のオーダーになる。コンクリート標準示方書に示されている押し抜きせん断耐力式は作用時間が長い荷重に対して検証されていることから、作用時間がきわめて短い消波ブロックの衝突力を低減して評価する。



消波ブロック模型 (1/6.4) の衝突力波形

図-4.4.4 衝突力波形

2) 模型実験の最大衝突力・陥没量と押し抜きせん断耐力

消波ブロックが 3 辺固定ケーソンの前壁に繰り返し衝突する模型実験の最大衝突力と衝突回数との関係を図-4.4.5 に、衝突位置の陥没量を図-4.4.6 に示す。実験条件はコンクリート強度 24N/mm^2 、壁厚 $t = 70\text{mm}$ 、有効高 $d = 55\text{mm}$ 、鉄筋比 $p = 0.00585$ 、衝突速度 $V = 2.73\text{m/s}$ で一定としている。模型形状と衝突位置を変え、同一の模型形状と衝突位置の実験結果を同じマークでプロットしている。

図-4.4.5 に示す最大衝突力と衝突回数を見ると、衝突回数 1 回目の最大衝突力はコンクリート標準示方書による押し抜きせん断耐力の 3~6 倍と大きく、特に△印（固定端部への衝突ケース）はコンクリート標準示方書による押し抜きせん断耐力の 6 倍に相当する最大衝突力が発生している。

図-4.4.6 の陥没量と衝突回数との関係では、1 回目の衝突における陥没量はほぼゼロであり、△印以外の 3 回目までの陥没量も壁厚の 4% 以内であり、明瞭な押し抜きせん断による破壊現象はみられない。

さらに、図-4.4.5 から、衝突回数 1 回目から 3 回目までの最大衝突力は、少なくともコンクリート標準示方書による押し抜きせん断耐力の 2.5 倍以上の値が発生していることがわかる。しかし、図-4.4.6 の陥没量を見ると、衝突回数 1 回目から 3 回目までは△印を除いて、穴あき破壊発生に十分な余裕があると考えられる壁厚の 10% (7mm) の陥没量に至っていない。

このことから、消波ブロックの最大衝突力を 1/2.5 程度に低減させないと、コンクリート標準示方書による押し抜きせん断耐力式はコンクリート壁の破壊の発生を過大に評価することがわかる。

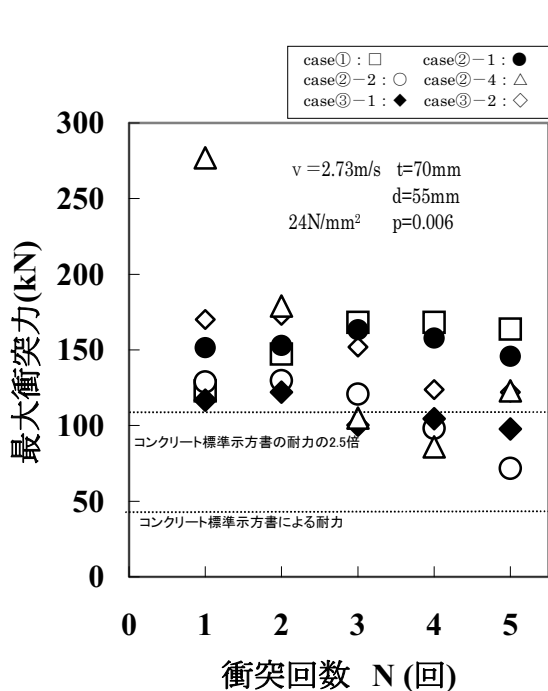


図-4.4.5 最大衝突力と衝突回数

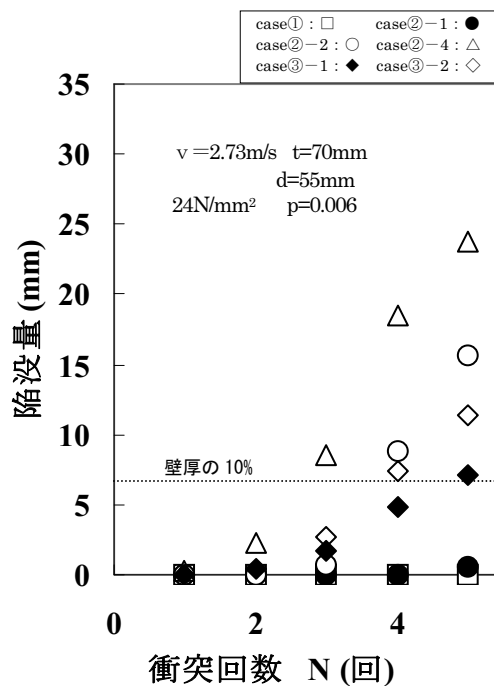


図-4.4.6 陥没量と衝突回数

衝突実験では、通常、最初に圧縮波が伝わったときに出るピーク値が、次いでたわみ応答に対応すると思われる波形が観測されている。しかし、ひび割れが発生する時期、曲げとせん断力の割合は現時点では解明されていない。

防衛大学校の実験で、衝突回数が増えるに従い、衝突力が低減し、最終的には押し抜きせん断耐力の問題になるという実現象は、曲げひびが入り、裏面が剥離し、中立軸が移動して破壊したものである。

今回の結論で衝突力を 2.5 分の 1 に低減して評価しているが、こうした現象を踏まえて、2.5 分の 1 としていることに注意を払う必要がある。

3) 衝突現象の特性による衝突力低減係数

衝突力算定式は、最大衝突力を対象としたものである。最大衝突力の作用時間が短く、破壊時の最大衝突力とコンクリート標準示方書の耐力との差が大きいという 2) の実験結果から、実際に破壊が生じる最大衝突力の実験値は、コンクリート標準示方書の押し抜きせん断耐力式から算定される耐力より 2 倍以上大きくなっていることが解った。最大衝突力相当の作用時間が極めて短いという衝突現象の特性による影響と考えられる。

耐力と衝突力を比較して合理的な設計をするためには、両者の関係が実際の現象に対応するようにしておく必要がある。

すなわち、衝突力算定式が最大衝突力を対象としていることから、断面力を算定する場合、衝突力算定式の衝突力 P を P/λ まで低減させて、設計に用いるものとする。

衝突現象の特性による衝突力低減係数 λ は、式(4.4.4)により表される。

$$\lambda = \frac{\text{破壊許容限界の衝突力}}{\text{押し抜きせん断耐力式から算定される衝突力}} \quad (4.4.4)$$

3 辺固定版の衝突力算定式を用いる場合、偶発的に稀に発生する転落や水平衝突に対しては、模型実験結果より λ として 2.5 を用いる。ロッキングについては、衝突が繰り返し発生することに対してと、防大実験での衝突回数が少ないことを考慮して、一般に衝突力の低減（スリット柱に対する流木衝突力の計算等）に用いられる 1.5 を含む 1.5～2 の範囲の低減係数を用いることにする。ただし、表 4.3.1 消波ブロックの衝突速度 に示すように、ロッキングにおける移動速度は小さく、水平移動の衝突力より大きくなることは少ない。

表－4.4.2 衝突現象の特性による衝突力低減係数

衝突パターン	衝突力低減係数
水平移動, 転落	2.5
ロッキング	1.5～2

(5) 隔壁・側壁・底版の境界条件を考慮しないヘルツの衝突力算定式

衝突位置や隔壁・側壁・底版等の諸元が未決定の段階で、消波ブロックによる衝突力を算定する場合、Hertzの接触理論による式(4.4.5)を用いることができる。同式は消波ブロックの形状を球、ケーソン版を半無限空間と仮定して有川等(2004)が導いた衝突力算定式に、(独法)港湾空港技術研究所の衝突模型実験で得られた定数を用いたものである。この係数 γ_p は衝突部の円の半径 r を消波ブロック脚先端端面の半径の半分と仮定して算出した式(4.4.5)の衝突力と実験値の衝突力から導かれたものである。

但し、式(4.4.5)は壁厚40cmとして実験から求められたものであり、壁厚が異なる場合の適用に当たっては注意を要する。

$$F_{\max} = \gamma_p \chi^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5M}{4} \right)^{\frac{3}{5}} V^{\frac{6}{5}} \quad (4.4.5)$$

$$\chi = \frac{4}{3} \sqrt{r} \frac{E}{1-\nu^2} \quad (4.4.6)$$

ここで、

M ; 衝突体の質量, V ; 衝突速度, γ_p ; *実験より0.25とする,

E ; コンクリートのヤング係数, r ; 衝突部の円の半径, ν ; ポアソン比

(6) 3辺固定版の衝突力算定式とヘルツの式による衝突力の比較

3辺固定版の衝突力算定式(式(4.4.1))とヘルツの接触理論による式(式(4.4.5))を用いて、ケーソン側壁(40cm厚)に消波ブロック(50t型)が速度($V=1.0\text{m/s}$)で水平衝突した場合の衝突力を算定し図-4.4.7に示す。ヘルツの理論式による衝突力は、3辺固定版の衝突力算定式における端部の値と同程度になる。

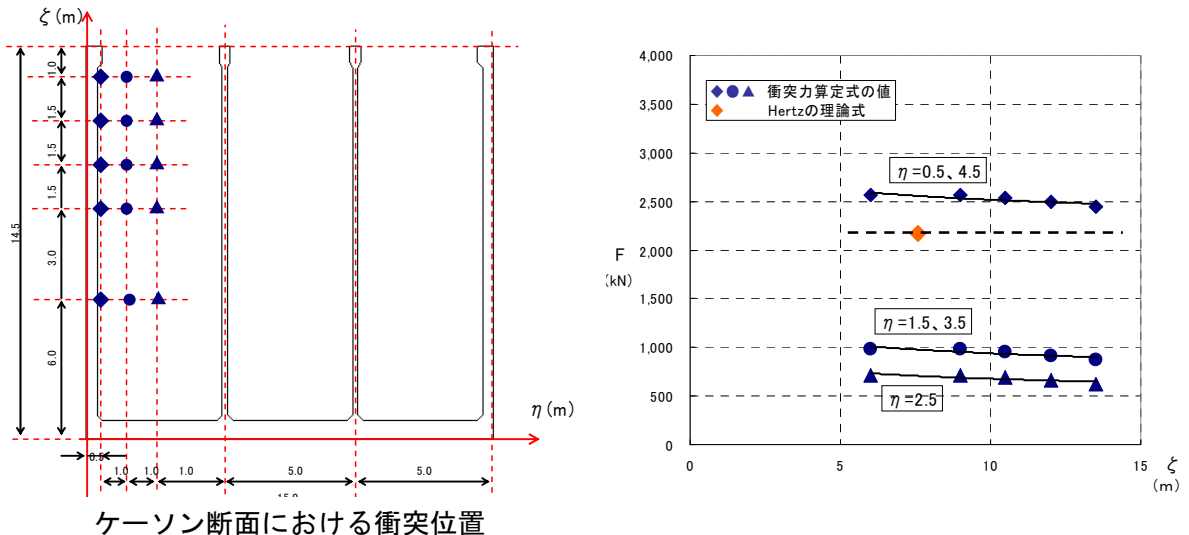


図-4.4.7 3辺固定版の衝突力とヘルツの式による衝突力の比較

4.5 衝突力の断面力算定方法

4.5.1 一般

消波ブロックによる衝突力は 4.4.3 に示す衝突力算定式に式(4.4.4)の衝突力低減係数を考慮して算定する。

- (1) 消波ブロックによる衝突力は図-4.2.1 に示す各種要因が重ならないと発生しないことから、偶発状態として取り扱う。

4.5.2 設計断面力の算定

消波ブロックの衝突力による設計断面力は、衝突位置の押し抜きせん断力と曲げモーメントを対象とする。

- (1) 衝突力による穴あき現象は衝突位置の押し抜きせん断破壊によるものである。版の曲げ破壊では穴あきが発生しないが、押し抜きせん断耐力を低減させる副次的な効果をもたらす。また実験により、主なる破壊部分は衝突部周辺であることが確認されている。

(2) 衝突面の仮定

衝突力による押し抜きせん断力の算定は衝突面を円形と仮定して、適切な半径 r を衝突力算定式(4.4.1), (4.4.5)に与えて算定する。式(4.4.5)においては衝突部の円の半径 r を消波ブロック脚先端端面の半径の半分と仮定している。式(4.4.1)においては衝突部の円の半径 r による影響が小さいので、同様な仮定を設けても良い。

(3) 衝突力による曲げモーメントの解法

衝突力による曲げモーメントは集中荷重が作用した 3 辺固定版として解く。解法としてシエル構造の FEM 解析で解く方法と級数解の近似式(4.5.1), (4.5.2)による方法がある。

$$M_x = D\pi^2 \sum_m \sum_n a_{mn} \left\{ \left[\left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 + \nu \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \right] \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} \cos \frac{2n\pi y}{b} - \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} - \nu \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \cos \frac{2n\pi y}{b} \right\} \quad (4.5.1)$$

$$M_y = D\pi^2 \sum_m \sum_n a_{mn} \left\{ \left[\nu \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 + \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \right] \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} \cos \frac{2n\pi y}{b} - \nu \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} - \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \cos \frac{2n\pi y}{b} \right\} \quad (4.5.2)$$

ここで $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, E : ヤング係数 , h : 版厚

$$a_{mn} = \frac{P \left(1 - \cos \frac{2m-1\pi\xi}{2a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi\eta}{b} \right)}{D\pi^4 ab \left\{ \frac{3}{4} \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^4 + \left(\frac{3}{4} - \frac{2}{2m-1\pi} \sin \frac{2m-1\pi}{2} \right) \left(\frac{2n}{b} \right)^4 + \left(\frac{1}{2} - \frac{2\nu}{2m-1\pi} \sin \frac{2m-1\pi}{2} \right) \left(\frac{2m-1n}{ab} \right)^2 \right\}} \quad (4.5.3)$$

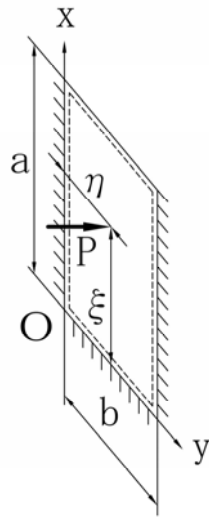


図-4.5.1 曲げモーメントの座標系

4.6 ケーソン耐力算定方法

4.6.1 一般

消波ブロックの衝突力に対するケーソン耐力照査は、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)6章構造物の安全性照査を基礎として行う。

- (1) 消波ブロックの衝突力を対象とした押し抜きせん断耐力についての照査方法は確立されたものがないので、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)6.3.4 面部材の設計押し抜きせん断耐力式を用いる。
- (2) 一般に、固定端部は押し抜きせん断により決定され、中央部は曲げにより決定される場合が多い。

4.6.2 消波ブロックの衝突に対するケーソンの押し抜きせん断耐力照査

消波ブロックの衝突力に対するケーソンの押し抜きせん断耐力照査は、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)6章構造物の安全性照査 6.3 せん断力に対する安全性の検討 6.3.4 面部材の設計押し抜きせん断耐力式を用いて行う。

- (1) 消波ブロックの衝突力を対象としたRC構造の押し抜きせん断耐力式として、式(4.6.1)を用いる。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (4.6.1)$$

ここに、

$$f'_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{ただし、} f'_{pcd} \leq 1.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \text{ (} d \text{ ; m)} \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする。}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする。}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

f'_{cd} ; コンクリートの設計圧縮強度で、単位は N/mm^2 である。

$$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$$

γ_c ; コンクリートの材料係数(1.3)

u ; 載荷面の周長

消波ブロック脚先天端面の円の半径を 0.5 倍にした円を式(4.4.4)の載荷面とする。式(4.4.1)の r もこの値を用いてよいものとする

u_p ; 設計断面の周長で、載荷面から $2/d$ 離れた位置で算定するものとする

d および p ; 有効高さおよび鉄筋比で、二方向の鉄筋に対する平均値とする

γ_b ; 部材係数で一般に 1.3 としてよい

- (2) 消波ブロックの衝突力を対象としたSRC構造の押し抜きせん断耐力はRC構造の押し抜きせん断耐力式(4.6.1)の V_{ped} に、式(4.6.2)に示す鉄骨(ウエブ)のせん断耐力 V_{ssd} を加えて算定する。フランジ部の鉄骨は同面積の鉄筋として式(4.6.2)の鉄筋に加える。

$$V_{ssd} = f_{vyd} \cdot z_w \cdot t_w / \gamma_b \quad (4.6.2)$$

ここに、

f_{vyd} ; 鋼材の設計せん断降伏強度

z_w ; ウエブの高さ

t_w ; ウエブの厚さ

4.6.3 消波ブロックの衝突に対するケーソンの曲げ耐力照査

消波ブロックの衝突力に対するケーソンの曲げモーメントの耐力照査は、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)6. 構造物の安全性照査 6.2 曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討、「港湾の技術上の基準・同解説・付属書」第4編施設編から導かれる曲げ耐力に消波ブロックの衝突現象の特性を考慮して行う。

- (1) 消波ブロックの衝突力に対するケーソンの曲げ耐力は式(4.6.3)で示すことができる。

$$M_{ud} = A_s f_{yd} d \left\{ 1 - \frac{P_w}{1.7} \cdot \frac{f_{yd}}{f'_{cd}} \right\} / \gamma_b \quad (4.6.3)$$

ここに、

A_s ; 引張鉄筋量

P_w ; $A_s / (b_w \cdot d)$

f'_{cd} ; コンクリートの設計圧縮強度

$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

f_{yd} ; 引張鉄筋の設計引張降伏強度

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

d ; 有効高さ

b_w ; 単位幅

γ_b ; 部材係数(1.1)

γ_c ; コンクリートの材料係数(1.3)

γ_s ; 鉄筋の材料係数(1.0)

- (3) 本章 4.5.2 設計断面力の算定により算定される曲げモーメントの設計用値を M_k とすると、消波ブロックの衝突力に対するケーソンの曲げ耐力は式(4.6.4)により照査することができる。

$$\gamma_i M_d / M_{ud} \leq 1.0 \quad (4.6.4)$$

γ_i ; 構造物係数(1.0)

$$M_d = \gamma_f M_k$$

γ_f ; 荷重係数(1.0)

第5編 ケーソン損傷対策

5.1 総説

5.1.1 適用範囲

本編は、防波堤用鉄筋コンクリート製ケーソンの側壁が、消波ブロックの衝突により損傷を受けた場合の補修あるいは既設ケーソンの未損傷部の補強を行う場合に適用する。また、新設ケーソンの損傷予防を行う場合にも適用する。

(1) 消波ブロックの安定対策

消波ブロックがケーソンの側壁(前壁)に衝突し、損傷を与える原因として消波ブロックの安定不足が第一に考えられる。その原因としてマウンドの液状化、洗掘、吸出し、等によるブロックの沈下、ブロックの重量不足や積み方の不具合、さらには高(幅広)マウンドや不完全消波による衝撃砕波力などがその原因といわれている。ただし、消波ブロックの移動が全くないようにすることは非常に難しく、特に施工直後はブロックのかみ合わせが十分でなく移動しやすい。また、消波ブロック据付未完了時の施工端部の消波ブロックも安定性に問題があり、ケーソン損傷被災の原因として指摘されることが多い。

(2) ケーソン側壁(前壁)への対策

これらの問題点に対し、消波ブロック天端の幅をブロック2個並びから4個並びにして衝撃砕波力を小さくすることや、表面2層分を整積みにしてブロックの安定性を良くするなどの対策が提起されているが、現実問題として施工が難しいことや、コストがかさむなどの理由もあり実施されていない。以上のことから、本編では消波ブロックに対してでなく、ケーソン側壁(前壁)への対策を前提として補修、補強、予防対策を施すものである。

(3) 損傷対策の選択順位と補強工法の問題点

消波ブロックによるケーソン前壁の損傷対策に対する考え方を整理すると以下のような概念を導くことができる。まず、最も根本的な対策といえる消波ブロックの安定性を向上させる予防対策(以下、巨視的な予防対策工法)をできる限りの範囲で行い、損傷を未然に防止するように努めることが第一義であろう。そして、万一損傷を受けてしまった場合は、本マニュアルで述べるような補修工法を検討すべきであろう。損傷を受けたケーソン前壁の補修は2次的な災害を防止するという観点からも必須の対策である。次いで、新設ケーソン前壁に対する予防処置を施し、消波ブロックの衝突による損傷を予防することが必要となる。

なお、本編5.3で述べる損傷を受けていない既設ケーソン前壁に対する補強工法の実施は、増厚工法による施工を行う場合に一時的に前面の消波ブロックを撤去する必要がある。このことは、いまだ損傷を受けていないケーソン前壁に対し、長い間の波浪等による沈下やかみ合い向上効果で損傷を与えにくい状態になっている可能性の高いブロックの状態を、初期の状態に戻してしまうという問題が生じることになる。また、隔室側からの補強工法は、前述のように上部工のほぼ全面撤去や中詰砂の撤去による重量不

足の危険性や、水中施工の問題がある。これらのことから同一施設の損傷頻度が相当程度に高いなどの場合を除くと、未損傷という現状を考えた場合、損傷を受けていない既設ケーソン前壁に対する補強工法の実施は最終的な選択肢であろうと考えられる。さらに、増厚工法には、構造的な問題として、増厚による壁面の剛性増加により衝突力が増大する(4.4.2 衝突力に影響する要因 参照)という問題も持っており、補強工法を採用するに当たっては事前の検討を十分に行う必要がある。

5.2 補修工法(既設ケーソンに対する補修)

5.2.1 一般

点検の結果、損傷が認められ、補修対策が必要と判断された場合、補修対策調査およびその損傷段階に応じた補修設計を実施し、それに基づき適切な補修を行わなければならない。

5.2.2 補修対策調査

補修対策調査は、補修工法の選定および補修設計を行うために実施する。

- (1) 点検の結果、損傷が認められ、補修対策が必要と判断された場合、工法の選定および補修設計・施工のために補修対策調査を行う。
- (2) 詳細点検等において補修対策調査の内容を満足している場合には、この結果を用いてよい。

5.2.3 損傷段階別補修工法の選定

補修を実施する際には、ケーソン側壁の損傷段階に応じた補修工法を選定する。

(1) 標準的な工法

表-5.2.1に、損傷段階(Step1～Step3)の定義と、各損傷段階に応じた補修工法を示す。補修工法の選定は、必ずしもこの工法による必要はないが、実績も多いため標準的な工法として例示した。

表-5.2.1 損傷段階の定義と補修工法

損傷段階	定義	補修工法
Step1	ケーソン側壁にひび割れが発生	・ひび割れ注入工法
Step2	コンクリートが剥落し、断面欠損が生じる	・断面修復工法
Step3	穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出	・袋詰コンクリート工法 ・外型枠(鋼板)中詰コンクリート工法

(2) 消波ブロックの撤去・再据付け

補修を行う際には前面の消波ブロックを一時的に撤去し、補修後に消波ブロックの据直しが生ずるのが一般的である。消波ブロックは大型の場合、通常乱積み施工で据付られる。乱積みされたブロックはかみ合いが安定するまでに沈下等が発生し、徐々に落ち着いてくる。被災事例からも据付間もないときの場合が多い。よって、据直しは特に慎重な施工が望まれる。

(3) 中詰コンクリート打設に係る検討

損傷 Step3 において、流出した中詰砂の部分には通常、コンクリートを打設することになる。その際、中詰の重量が増加するため底版の抜け出しや基礎の支持力等に対する検討が必要となる。

5.2.4 損傷 Step1 に対する対策工法

(1) ひび割れ注入工法

ケーソン前壁に消波ブロックが衝突し損傷を受けた場合、ひび割れのみ状態で発見される場合はまれなケースである。通常は欠損や穴あき等の Step2～3 の状態で発見される場合が大半である。

しかし、その場合でも大きな損傷部の周囲にはひび割れ等が多く発生しており、穴あき補修の際に周囲のひび割れの補修も行なわれることが多い。

また、ひび割れ部の位置は防波堤という性質上、水中部の場合が多く、気中部であっても潮間帯であったり波浪により飛沫がかかる湿潤状態の場合が通常である。

ひび割れ補修に用いられる工法としては、微細なひび割れの表面を塗膜で被覆する「表面被覆工法」、ひび割れ幅 0.2mm 程度以上から 1mm 程度を施工の目安とした「注入工法」、主として 0.5mm 以上の大きなひび割れに用いられる「充てん工法」に大別される。港湾におけるひび割れ補修工法の実績の多くは、エポキシ樹脂を用いた注入工法により施工されており、本マニュアルにおいても実績の多いエポキシ樹脂による注入工法について以下に述べる。

① ひび割れ注入材の材料特性

エポキシ樹脂注入材はコンクリートとの接着性に優れ、粘度が 10,000MPa・s 以下の低粘度から、ひび割れ幅が 1～5mm でも流下しないよう揺変性を付与したもの、伸び率 50% 以上の可とう性を有するものなど種類が豊富である。また、品質は JIS A6024 に規定され、耐久性は実建造物の補修 30 年後の追跡調査結果で確認されているなどの特徴をもつ。

留意点としては、低温時の硬化が著しく遅くなること、高温時の可使時間が短いこと、注入箇所が湿潤状態であったり、水中での使用の際には接着不良を起こす場合があるので、湿潤面や水中での施工に適した製品を選択する必要がある。

表-5.2.2 にコンクリートのひび割れ補修用エポキシ樹脂等について水中部や湿潤面に対する施工の可否や材料、施工法、適用可能なひび割れ幅等について特性を一覧にして示す。

表-5.2.2 コンクリートのひび割れ補修材料特性

製品名	施工の可否			材料	用途	施工法	適用可能なひび割れ幅	メーカー名	連絡先
	乾燥面	湿潤面	水中部						
WBグラウト	○	○	○	エポキシ樹脂	注入用	注入ポンプ	5mm以下	ショーボンド建設株	03-3292-8104
DDグラウト	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	低圧注入	1mm～0.2mm		
BLグラウト	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	低圧注入	0.5mm以下		
Wフィルグラウト	○	○	○	可塑性モルタル	注入用	圧送ポンプ	空洞部充填		
WBシール	○	○	△	エポキシ樹脂	シール用	コテ、ヘラ	—		
ペンギンセメント1130L	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	注入ガン	0.5mm以下	サンスター技研株	03-3457-1990
ペンギンセメント1134	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	注入ガン	0.5mm～1mm		
ペンギンセメント1138M	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	注入ガン	1mm以上		
ペンギンセメント1138	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	注入ガン	アンカーピン固定		
アサヒボンド551	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	低圧注入	0.5mm未満	アサヒボンド工業株	03-3972-4929
アサヒボンド573	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	低圧注入	0.5mm以上		
アサヒボンド505	○	—	×	エポキシ樹脂	シール用	コテ	—		
EP-2000L	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	手動式	0.2-0.5mm	株タイラメント	052-412-7321
EP-2001	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	グリースポンプ	1.0mm以上		
G-50	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	自動式低圧注入	0.25mm以下	日米レジン株	03-3563-2405
G-250	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	手動式注入	0.25-0.6mm		
G-2030	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	手動式注入	2.0-5.0mm		
GS-52	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	自動式低圧注入	0.25-0.6mm		
GS-53	○	○	×	エポキシ樹脂	注入用	手動式注入	2.0-5.0mm		
W-201	○	○	○	エポキシ樹脂	注入用	手動式注入	0.25-0.6mm		
W-202	○	○	○	エポキシ樹脂	注入用	手動式注入	0.25-0.6mm		
W-221	○	○	○	エポキシ樹脂	注入用	手押し、足踏式注入	0.6-2.0mm		

資料提供：建設用接着剤協議会 注入補修分科会

JIS A6024:1998「建築補修用注入エポキシ樹脂」では、エポキシ樹脂を以下のように分類している。

・種類による区分

種類	記号	区分内容
硬質形	I	引張破壊伸びが10%以下のもの
軟質形	II	引張破壊伸びが50%以上のもの

・粘性による区分

種類	記号	区分内容
低粘度形	L	主としてひび割れの補修に用いる低粘度のもの。
中粘度形	M	主としてひび割れ、浮きの補修に用い、中粘度で揺変性を付与したもの。
高粘度形	H	主として大きなひび割れ、浮き補修に用い、高揺変性を付与したもの。 アンカーピンの固定には硬質形を用いる。

・施工時期による区分

種類	記号	区分内容
一般用	R	主として春季、夏季及び秋季に用いるもの。
冬用	W	主として冬季に用いるもの。

② ひび割れ注入工法の施工(気中部, 湿潤面)

ひび割れ注入工法の施工は, 自動式低圧樹脂注入工法(Low Pressure Injection System(LPIS:エルピス)), 手動式樹脂注入工法, 機械式樹脂注入工法に大別される。

現状において, 自動式低圧樹脂注入工法が施工性や施工管理の面で優位であるため, 水中部での注入の場合を除き, 主体的な工法として位置付けられている。

自動式低圧樹脂注入工法は, いずれもゴムの復元力やバネ圧などを利用した専用器具を用い, 注入圧力 0.4MPa(N/mm²)以下の低圧かつ低速で注入する工法である。図-5.2.1に, 各社の自動式低圧樹脂注入工法(LPIS:エルピス))に用いられる専用器具の例を一覧で示す。

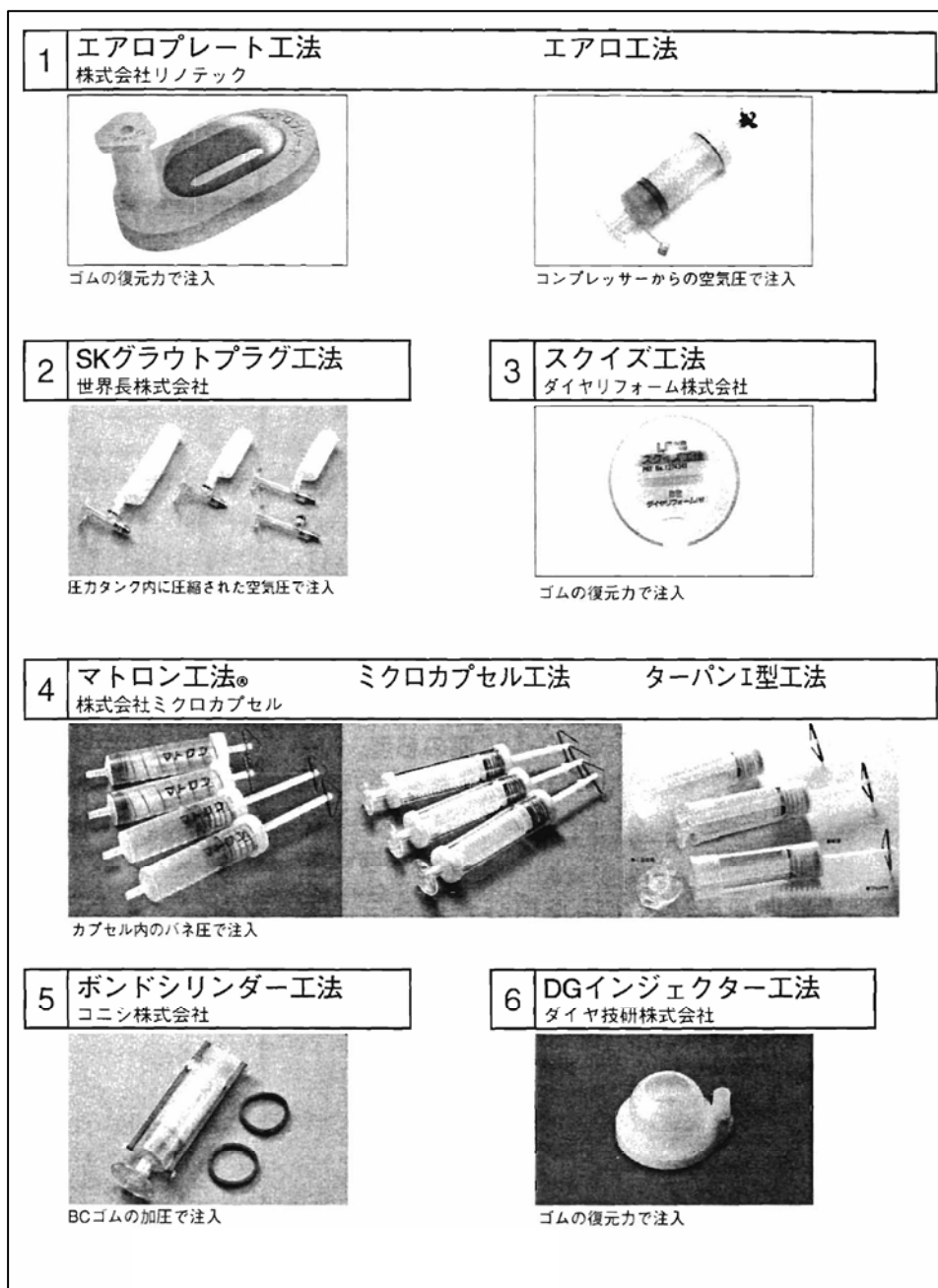
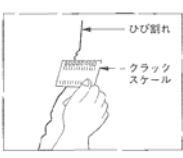
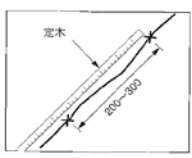

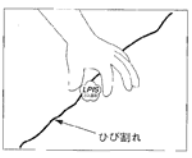
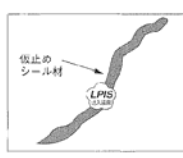
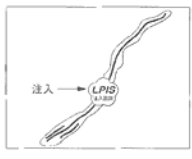
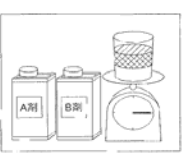
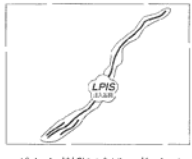




図-5.2.1 LPISの専用器具の例

自動式低圧樹脂注入工法の施工は、上記専用器具や注入するエポキシ樹脂の性質が各社ごとに異なってはいるが、さほど大きな違いはない。

以下に、LPISの標準工法の施工手順、施工要領等について示す。

表-5.2.3 標準工法の施工手順、施工要領等

工程・手順	要領	関連知識	工程・手順	要領	関連知識																									
1.準備 1)事前の打合せ 2)資材の手配	ひび割れの状態について確認して、補修範囲・工程などを協議する。 調査結果に基づき必要材料・専用器具などを取り揃える。  ひび割れの調査を行い、記録する。	気象条件などによる工程の変更を考慮しておく。 材料が不足して工事の進行に悪影響を与えないように充分確保しておく。	2)専用器具貼付位置の決定	ひび割れ幅によって専用器具の貼付位置を決定し、チョークなどでマークする。  専用器具の貼付位置を決定する。	専用器具の貼付間隔 <table border="1"> <thead> <tr> <th>修補材</th> <th>ひび割れ幅</th> <th colspan="3">専用器具の設置間隔(mm)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>最小</th> <th>標準</th> <th>最大</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>エポキシ樹脂</td> <td>0.2mm未満</td> <td>150</td> <td>200</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.2mm以上</td> <td>250</td> <td>300</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>無機系注入材</td> <td>0.2mm以上</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>200</td> </tr> </tbody> </table>	修補材	ひび割れ幅	専用器具の設置間隔(mm)					最小	標準	最大	エポキシ樹脂	0.2mm未満	150	200	250		0.2mm以上	250	300	350	無機系注入材	0.2mm以上	100	150	200
修補材	ひび割れ幅	専用器具の設置間隔(mm)																												
		最小	標準	最大																										
エポキシ樹脂	0.2mm未満	150	200	250																										
	0.2mm以上	250	300	350																										
無機系注入材	0.2mm以上	100	150	200																										
2.準備作業 1)ひび割れ部の清掃	ひび割れ部に沿って、幅50mm程度にワイヤブラシなどを用いて汚れ、付着物、脆弱部などを除去する。ひび割れ部が濡れている場合は、エアードライヤーなどで乾燥するか、自然に乾燥するまで作業を中止する。注入口となる部分に目詰まりがある場合は、ディスクサンダーまたはドリルなどを用いて注入口を確保する(目出し作業)。  ひび割れ部を清掃する。	汚れ、付着物、脆弱部などがあると仮止めシール材の接着が悪くなり、注入材の漏れの原因となる。ひび割れ部が濡れていると仮止めシール材の接着が悪くなり、注入材の漏れの原因となる。注入口に目詰まりがあると注入不良になる。	3)専用器具または台座の貼付	専用器具または台座の注入口を塞がないように接着剤で固定する。  専用器具を接着させる。	専用器具または台座を接着剤で固定しないと注入材が漏れる。																									
4)ひび割れ部の仮止めシール	メーカーの仕様に基づき、仮止めシール材を施工する。 仮止めシール材が硬化するまでできるだけ振動を与えないように注意する。  仮止めのシールを行う。	仮止めシール材はひび割れ面の状態に適合したものを選定する。養生時の気温を考慮する。	2)エポキシ樹脂の注入	専用器具にエポキシ樹脂を充填し、注入を開始する。注入状態(台座部や仮止めシール部からの漏れ、器具内のエポキシ樹脂の減量状態など)を確認する。必要に応じてエポキシ樹脂を専用器具内に補充する。  専用器具に樹脂を満たし、注入する。	低圧樹脂注入工法協議会指定の注入工法 ①エアロ工法 ②SKグラウトプラグ工法 ③スイス工法 ④ボンドシリンダー工法 ⑤マイクロカプセル工法 マトロン工法 ターバンI型工法 ⑥DGインジェクター工法																									
3.注入作業 1)エポキシ樹脂の計量・混合	主剤と硬化剤を規定量になるよう台秤などで正確に計量し、色むらなくなるまで充分に混合する。  エポキシ樹脂は正確に計量する。	可使時間に注意し、1回の計量は可使時間内に使いきる量とする(可使時間は、高温時は短くなり、低温時は長くなる)。	4.養生 1)注入作業完了後のエポキシ樹脂の硬化養生	注入作業完了後も専用器具を設置したままの状態での硬化養生。12時間以上放置養生。  エポキシ樹脂がゲル化するまで注入状況を確認する。	注入作業終了後も圧力のかかった状態(専用器具にエポキシ樹脂が残った状態)で硬化させ、ひび割れ内にエポキシ樹脂の未充填部が残るのを防止する。また、5℃以下での施工は原則として中止する。																									

工程・手順	要領	関連知識
5.仕上げ 1)専用器具および仮止めシール材の除去	<p>皮スキ、ディスクサンダー、ホットエアガンなどを用いて、専用器具および仮止めシール材を除去し、下地面を平滑に仕上げる。</p>  <p>専用器具を除去し、表面を仕上げる。</p>	<p>下地を傷つけたり、汚さないように注意する。</p> <p>新規に塗り仕上げを行う場合は、その仕様に応じて仕上げる。</p>
6.検査・確認 1)注入充填性の確認	<p>エポキシ樹脂の使用量および専用器具内の残量から注入量を確認する。</p>  <p>残量の樹脂を計量し、注入量を算出する。</p>	<p>必要に応じてコアを採取し、注入状況を確認する。</p>

エポキシ樹脂の選択	
(1) ひび割れ幅の伸縮による選択	
ひび割れ幅が伸縮する可能性がない場合	硬質形
ひび割れ幅が伸縮する可能性がある場合	軟質形
(2) 粘性による選択	
ひび割れ幅	粘度
0.5mm 未満	低粘度形
0.5mm 以上	中粘度形
1.0mm 以上	高粘度形
(3) 施工時期による選択	
主として春秋および夏季	一般用
主として冬季	冬用

③ ひび割れ注入工法の施工(水中部)

水中部におけるひび割れ注入工法の施工は、その施工条件から上述した自動式低圧樹脂注入工法の適用は難しい。そのため、従来工法である手動式樹脂注入工法、機械式樹脂注入工法により施工されるのが通常である。

また、使用するエポキシ樹脂も、前記、表-5.2.2 コンクリートのひび割れ補修材料特性において、水中部施工可と表示されている材料もしくは同等品を用いなければならない。

従来工法である手動式樹脂注入工法、機械式樹脂注入工法と自動式低圧樹脂注入工法の相違点としては、エポキシ樹脂の注入に専用器具でなくアルミパイプを用いることと、その設置間隔が挙げられる。自動式低圧樹脂注入工法の場合、専用器具の設置間隔は標準で200~300mm程度であるに対し、下表に示すように従来工法では50~300mmとなる。ひび割れ幅0.3mm程度の場合、水中部の注入の場合は自動式低圧樹脂注入工法における専用器具の3倍程度の注入用アルミパイプを設置する必要がある。

表-5.2.4 注入用器具の設置

ひび割れ幅 (mm)	手動式・機械式注入工法 (アルミパイプ)	自動式低圧樹脂注入工法 (専用器具)
0.3	50~100mm	150~250mm
0.3~0.5	100~200mm	250~350mm
0.5~1.0	150~250mm	
1.0	200~300mm	

以下に、水中部での施工が可能なエポキシ樹脂系注入材の施工に関する参考資料として、WBグラウトの例を、表-5.2.5に示す。

表-5.2.5 水中用エポキシ樹脂注入材の特長・使用方法・施工法・規格値
(WBグラウトの場合)

特 長	
①	水中で水と置換して硬化し、コンクリート・モルタル・鋼材などに強力に接着します。
②	低粘度のため、湿潤したひびわれの細部まで注入が可能で、強力に接着します。
③	耐久性・耐水性に優れています。

使用 方法	
①	ショーボンドWBグラウトは、主剤と硬化剤に別れており、使用時に混ぜ合わせます。
②	主剤と硬化剤の配合は、2:1の重量比割合です。少量使用する時は必ずハカリで計量してください。
③	主剤と硬化剤は、電動攪拌機を用いて1分以上十分に攪拌してください。
④	混合すると徐々に硬化を始めます。可使用時間(表参照)を確認のうえ、時間内に使用してください。



主剤 硬化剤



施 工 法				
①	表面処理	十分な接着効果をあげるため、施工前に必ず接着面の表面処理を行ってください。 コンクリート、モルタルなどのレイトンス、エフロ、塵埃、油脂分は充分に取り除いてください。		
②	注入	樹脂の注入は電動ポンプまたは足踏みポンプなどで、可使用時間内に行ってください。 可使用時間を過ぎたものは使用できません。		
.....				
■外観性状 主剤：無色透明液状、硬化剤：淡黄色透明液状				
■可使用時間				
温度(℃)	5	10	20	30
可使用時間(分)	120	90	60	20
■荷姿 10kgセット (主剤：6.67kg、硬化剤：3.33kg)				
■規格値				
試験項目	試験方法	単位	規格値	
比重	JIS K 7112	-	1.15 ± 0.05	
粘度	JIS K 6833	mPa·s	5000以下	
可使用時間	温度上昇法	分	30以上	
硬化時間	ガードナー式	時間	16以内	
圧縮降伏強さ	JIS K 7208	N/mm ²	60以上	
圧縮弾性率	JIS K 7208	N/mm ²	(1.5~4.0) × 10 ⁴	
曲げ強さ	JIS K 7203	N/mm ²	50以上	
引張強さ	JIS K 7113	N/mm ²	30以上	
衝撃強さ	JIS K 7111	kJ/m ²	3.0以上	
硬さ	JIS K 7215	HDD	80以上	
引張りせん断接着強さ	JIS K 6850	N/mm ²	10以上	
付着強さ	建研式	N/mm ²	1以上または コンクリート破壊	
■備考：試験条件は20℃、7日間です。 付着強さの試験条件は、水中、7日間です。				

④ 留意事項

硬化したエポキシ樹脂は、ビール缶などの内側のライニング材としても使用されており、安全性は高い。しかし、硬化する前のエポキシ樹脂は、取り扱いを誤ると薬害を起こす可能性がある。アレルギー体質の人は、エポキシ樹脂の化学成分(グリシジル類、アミン類)によってカブレなどが起こることがある。また、エポキシ樹脂の希釈剤にも刺激性の強いものがあるので、施工するときは正しい保護具を着用し、換気をよくして作業する必要がある。その他、引火性等についても十分留意し、あらかじめ製品安全データシート(MSDS)や施工マニュアルを入手し、使用上の注意点を十分理解することが大切である。

■注意事項

- 1) アレルギー体質の人は、エポキシ樹脂の取り扱いには予め予防対策を講じる必要がある。
- 2) 取り扱い中に誤って皮膚などに付いたときは、大量の水と石鹼で洗い落とす。シンナーなどで拭くことは絶対に避ける。
- 3) 症状がひどくなる前に医師の診断を受ける。

5.2.5 損傷 Step2 に対する対策工法

(1) 断面修復工法

一般に、コンクリートの断面欠損部に対する補修工法は、左官工法、モルタル注入工法、吹付け工法に大別される。しかし、防波堤ケーソンという施工環境、ならびに消波ブロックの衝突によるという損傷形態から、海水に暴露された比較的大きな面積の損傷である場合が想定されるため、左官工法や吹付け工法は現実的ではなく、モルタル注入工法で施工されるのが通常である。

ここでは、モルタル注入工法に用いられる充てん材の材料特性について、防波堤という施工環境に配慮して、気中部・湿潤面と水中部の2つにわけて解説する。

① 気中部・湿潤面用充てん材の材料特性

1) セメントモルタル

注入モルタルの標準的な配合の一例を以下に示す。しかし、施工現場の気温等により水量等の配合が変わるので、試し練りを必ず行う必要がある。

表-5.2.6 気中部湿潤面充てんモルタルの例(kg/m³)

セメント	水	砂	混和剤	起泡剤
400	200	800	0.3	4

※水セメント比・各種混和剤添加量は目安であり、必要性能にあわせて適宜調整のこと

上記配合例において、混和剤は高性能減水剤などで、花王社のマイティなど、起泡剤は、PC グラウト用起泡剤(発泡剤)で、ポゾリス社 GF-630などが考えられる。

セメントについては普通ポルトランド、高炉Bどちらでもかまわない。

細部については、プラントの技術者と詳細を決定する必要がある。

2) 既調合の無収縮グラウト材(プレミックスタイプ)

乾燥収縮によるひび割れが特に懸念される場合、また流動性や高い接着性などの高性能が要求される場合には、十分な施工性と品質が確保されたプレミックスタイプのモルタル材を使用する場合がある。プレミックスタイプは現場で所定量の練り混ぜ水を加えるだけで、品質の良いセメントモルタル(無収縮グラウト材)が得られる為、現場省力型の製品として需要が伸びている。

大断面の欠損用には、温度ひびわれに対応した水和熱抑制型が適している。無収縮グラウト材はグラウト能(水量過多)と強度満足という相反要素を満たすために、セメント量が一般に多くなっているため温度的には不利である。温度ひびわれ対策は、用途が部材断面が小さい場合や間隙注入がほとんどの頃はあまり問題ではなかったが、最近は建築耐震壁や橋脚断面、栈橋断面など大きな断面への修復用注入材として多く使用されてきており、セメント量の多い汎用品では、大断面の場合、硬

化時に部材内外で温度差が大きくなり、温度ひびわれの危険が高くなる。そのため、材料的な対策として、水和熱抑制型やさらに熱の低い低発熱タイプのものが出てきている。

しかし、プレミックスタイプはいずれもモルタル 1m³当りの材料費が高価であること。また、汎用品や水和熱抑制型に比べ低発熱・大断面用は更に高価であることから、使用量が多くなる大断面の欠損部への適用には注意が必要である。

プレミックス製品の概要を以下に記す。

表-5.2.7 プレミックス製品の概要

・汎用品

品名	フィルコンR	プレユーロックス	プレタスコン T-1	マスターフロー870
製造	住友大阪セメント(株)	太平洋マテリアル(株)	電気化学工業(株)	デグサ CS
m ³ 使用量	1,875kg	1,875kg	1,875kg	1,875kg

・水和熱抑制型

品名	フィルコン TF	プレユーロックス M	プレタスコン T-M	マスターフロー540
製造	住友大阪セメント(株)	太平洋マテリアル(株)	電気化学工業(株)	デグサ CS
m ³ 使用量	1,975kg	1,925kg	1,900kg	2,000kg

・低発熱・大断面用(水和熱抑制型よりさらに低い)

品名	フィルコン LL	エマグラウト 120
製造	住友大阪セメント(株)	デグサ CS
m ³ 使用量	2,100kg	2,000kg

プレミックス製品のほとんどは、「日本道路公団規格 5-2-3 無収縮モルタル」に準拠した製品となっている。

3) ポリマーセメントモルタル

ポリマーセメントモルタルの特徴は、ポリマーの種類や樹脂固形分(P)とセメント(C)の重量比(ポリマーセメント比P/C)の大小によって異なるが、普通セメントモルタルに比較して、以下の長所が挙げられる。

- i 乾燥収縮が少ない。
- ii 接着性に優れる。
- iii 引張、曲げ強度が向上する。
- iv 変形性能が大きくなる。
- v 防水性、遮塩性が向上する。
- vi 耐中性化、耐凍害性が向上する。

vii熱膨張係数が普通セメントコンクリート(モルタル) とほぼ同等である。

短所としては、W/Cや空気量の管理が難しい、硬化が遅い、コテ切れが悪い、価格が高い、などが挙げられる。

ポリマーセメントモルタルは、一般にプレミックスタイプで市販されている。上記に示す防水性、遮塩性等に優れた特徴から塩害等による劣化補修に使われる場合が多く、ほとんどの製品がコテによる左官工法用である。また、モルタル 1m³ 当りの材料費が、高価なプレミックスタイプの無収縮グラウト材よりもさらに高価な為、大断面の欠損部に対する補修に適用されることはほとんど無い。

ポリマーセメントモルタル(プレミックス) 製品の概要を以下に記す。

表-5.2.8 ポリマーセメントモルタル(プレミックス)製品の概要

品名	フィルコン TF-E	スプリード GV	RNT-694
製造	住友大阪セメント(株)	電気化学工業(株)	デグサ CS
m ³ 使用量	A材 1888kg・B材 146 kg	1,778kg	A材 1680kg・B材 101kg
備考	二材混合	一材型	二材混合

4) 軽量エポキシ樹脂モルタル

軽量エポキシ樹脂モルタルは、通常、エポキシ樹脂に変性ポリアミンやポリアミドアミンなどの硬化剤と珪砂や無機質軽量細骨材(バルーン：ガラス質微小中空球体)などで構成されている。そのため比重は 0.7~1.3 程度と軽量である。また、ポリマーセメントモルタルに比べて高強度、無収縮で、耐水性、耐薬品性に優れ、接着力が大きく硬化が早い特徴をもつ。そのため、鉄筋の保護効果、厚付け施工に優れ、深い損傷の補修に効果を発揮する。

しかし、通常のセメントモルタルに比べて 1 桁高価なポリマーセメントモルタルより、さらに 1 桁高価なため、ここで補修対象としている消波ブロックの衝突による大断面の欠損部に対する補修に適用されることは現実的には考えられず、コテによる左官工法に用いる補修材として位置付けられる。

② 水中部用充てん材の材料特性

1) 水中不分離性モルタル

欠損部が水中の場合、通常、水中不分離材をセメントモルタルに添加し、水中での施工に適応できるように配合設計を行う。

水中不分離材が添加されたプレミックスタイプのセメントモルタルは、現在、製品が市販されておらず、適用することは出来ない。また、プレミック製品は補修用モルタルとしての性能を高める為、多くの添加剤が配合されており、むやみに水中不分離材を添加すると、性質が変化して、補修用モルタルとしての性能を損ねる恐れがあるため、そのような使い方をすべきではない。

注入モルタルの標準的な配合の一例を以下に示す。しかし、施工現場の気温等により水量等の配合が変わるので、試し練りを必ず行う必要がある。

表-5.2.9 注入モルタルの標準的な配合

・水中不分離性モルタルの例 (kg/m³)

セメント	水	砂	流動化剤	水中不分離性混和剤
400	200	800	0.9	2.5

※水セメント比・各種混和剤添加量は目安であり、必要性能にあわせて適宜調整のこと

港湾工事等実績の多い水中不分離性混和材としては、水溶性セルロースエーテルを主成分としたアスカクリーン(信越化学工業㈱)などがある。

③ モルタル注入による充てん工法の施工

ケーソン前壁の欠損をモルタル充てんにより補修する場合、通常 図-5.2.2 の要領で実施される。

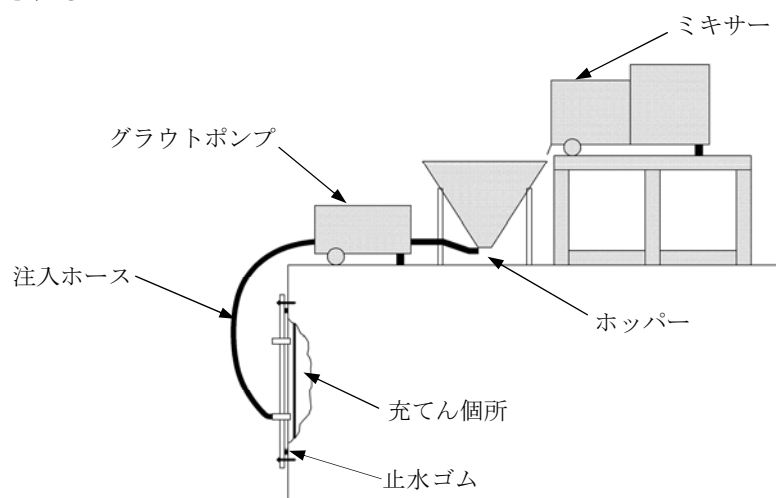


図-5.2.2 モルタル注入方法全体要領図

1) 下地処理

- ・欠損部の表面をワイヤブラシやブラスト等により処理し，レイタンスや脆弱部，付着生物，油類などを取り除き付着を確保する。

2) 型枠の確認

- ・型枠は，防波堤ケーソン前壁の補修という施工条件から，損傷面積に対応した大きさの専用鋼製型枠を製作して用いることとする。
- ・型枠の強度および型枠を固定するアンカーボルトは，注入モルタルの側圧，注入圧，波圧等に対し安全を確保する。注入モルタルの側圧は，コンクリート標準示方書[施工編]型枠および支保工(土木学会)，水中不分離性コンクリート・マニュアル(沿岸技術研究センター，漁港漁場漁村技術研究所)による。一般に注入モルタルは流動性を高めているため，注入モルタルの圧力は液圧となる場合が多いことに注意を要する。
- ・ケーソン前壁と型枠の間に隙間が発生して注入モルタルが漏れることのないように，型枠の周囲に止水ゴムを取付ける。
- ・注入時に型枠内に空気が残ることのないように，注入管を下部に設け，空気抜きを上部に設ける。上部の空気抜きはそこから所定の品質のモルタルが流出することで注入作業完了の確認を行う。(図-5.2.3 参照)

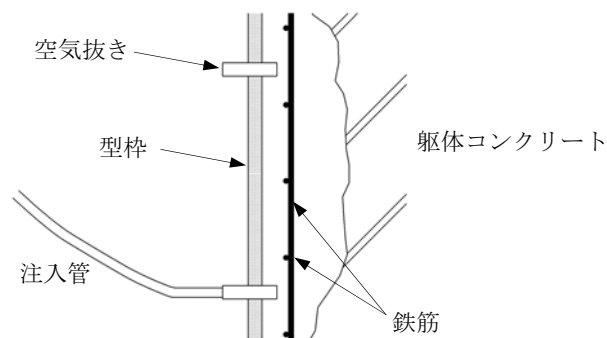


図-5.2.3 注入管, 空気抜き設置状況

3) 施工箇所の湿潤化

- ・気中部における注入施工の場合，施工箇所の表面が湿潤状態に保たれていないと，グラウト材の水分が吸収されることによる施工性の低下や施工後のひび割れなどの不具合が発生する。湿潤状態を保つことが難しい場合は，エマルジョン系のプライマーなどの吸水防止剤の使用が効果的である。
- ・余剰水が施工箇所にあると充填材が薄められ，界面剥離の原因になるためウエスや圧搾空気などにより取り除く必要がある。型枠内に波浪等による余剰水が残ってしまう場合は，水中不分離性モルタルを用いるなどの対策が必要となる。
- ・水中部での施工においては，水中不分離性モルタルを用いるのが通常であるためこの限りではない。

4) 注入施工

- ・注入モルタルは一般に、気温の高い夏場は可使時間が短いため注入不良やポンプの詰まりに注意が必要である。逆に冬場は、可使時間が長くなり、必要以上に長いと振動や表面の乾燥によりひび割れが発生しやすくなるので注意が必要である。
- ・モルタルは振動、落下等により材料分離が起きないように十分注意する必要がある。

5) 養生

- ・施工後一定期間は、硬化に必要な温度・湿度に保ち、また、過度の振動等の影響を受けないように養生する。
- ・硬化前のモルタルは氷点下にさらされると容易に凍結、膨張して初期凍害を受ける。気温 0℃以下になる場合は、給熱により、5℃以下になる場合は、保温などの処置を施す必要がある。

6) その他

- ・プレミックス材は製品により配合や物性に大きな違いが有り、使用する場合は、メーカーの技術資料等によりその性能や取り扱い方法に十分配慮して施工しなければならない。

以下に、プレミックスタイプの無収縮モルタルの施工に関する参考資料として、フイルコンRの例を、表-5.2.10に示す。

表-5.2.10 プレミックスタイプ無収縮モルタルの特長・施工法・性能
(フィルコンRの場合)

無収縮モルタル フィルコンR

無収縮モルタル フィルコンRの特長

- ▶ 流動性に優れ、複雑な形状の空隙も隅々まで充填することができます。
- ▶ 1～数日で実用強度を発現する無収縮モルタルです。
- ▶ 材齢1週以降も安定して強度増進し、構造的に十分な高強度が得られます。
- ▶ プリーディング・沈下が無いため、充填後空隙を残さず、確実な荷重伝達を期待することができます。
- ▶ 砂を既調合したプレミックスタイプと砂を含まないセメントタイプをご用意しており、コスト・施工に応じた多彩な配合設計が可能です。

フィルコンRの施工要領概要

前準備

- ▶ 混練水：酸・油・有機不純物等を含まない清水。
- ▶ 混練機：ハンドミキサー・グラウトミキサー等の高速回転型をご用意下さい。手練りによる混練はできませんのでご注意下さい。
- ▶ その他：必要に応じ、モルタルポンプ・計量器・バケツ・コテ等。
- ▶ 清掃：打設箇所表面のレイトンス・油分・塵芥等を除去し、必要に応じてチッピング・ブライマ処理等を行って下さい。
- ▶ 打ち水：清掃後の打設箇所表面には十分な散水を行い、湿潤状態を保って打設して下さい。余剰水は拭き取って下さい。

施工

- ▶ 混練：混練は右図に従い、十分な攪拌を行って下さい。
- ▶ 注入：注入条件によって自重圧・ポンプ注入等選択します。注入は打設箇所全体で計画レベルを確保できるよう連続的に行います。また、パイプレータ等による振動締めめは不適切です。
- ▶ 仕上げ：一般的には木ゴテ・金ゴテ仕上げを行います。
- ▶ 養生：表面を濡れた布等で被い、2～3日間は湿潤状態を保って初期の乾燥を防いで下さい。寒中施工では保温養生等により初期凍害を防止して下さい。

保管

- ▶ 開封後：開封後は密封して保管できますが、袋単位で使い切るようにして下さい。
- ▶ 積置き：屋内保管を原則とし、降雨・湿気等からなるべく遮断して下さい。



荷姿は製造の都合等により予告無く変更する場合がありますので、予めご了承下さい。

プレミックスタイプ(砂は調合済み)の配合例

配合	水材料比 (%)	単用量 (kg)		練上り量 (ℓ)
		フィルコンR プレミックスタイプ	水	
示方	18.0	1875(75袋)	338	1000
袋		25(1袋)	4.5	約13.5

注1) 気温等により水量は多少変動(4.1～4.8kg/袋程度)します。使用前には必要に応じて試験練りを行い、水量・流動性・強度等を確認して下さい。

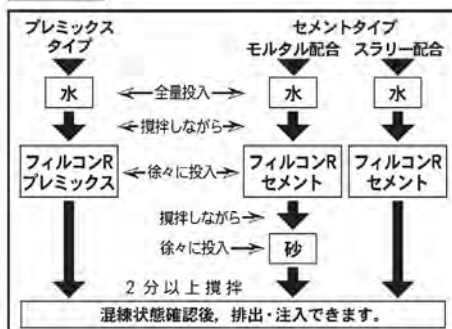
セメントタイプの配合例

配合	水材料比 (%)	単用量 (kg)			練上り量 (ℓ)
		フィルコンR セメントタイプ	砂	水	
示方	36.0	1440(72袋)	0	518	約1000
袋		20(1袋)	0	7.2	約14
示方	18.0	938(47袋)	938	338	約1000
袋		20(1袋)	20	7.2	約21

注1) 気温等により水量は多少変動(6.8～7.4kg/袋程度)します。また、モルタル配合では使用する砂の粒度や含水状態、気温等の条件によって水量は変動します。使用前には必要に応じて試験練りを行い、水量・流動性・強度等を確認して下さい。

注2) モルタル配合の砂は別途調達してください。

混練手順



混練状況



フィルコンRの性能一例

準拠した規格等

- 規格等：日本工業規格 (JIS)
- ：日本道路公団規格 (JHS)
- ：土木学会基準 (JSCE)
- ：首都高速道路公団、土木材料共通仕様書
- ：阪神高速道路公団、土木補修工事共通仕様書
- ：公共建築協会・評価基準

流動性

- 試験：J14ロート
- 管理値：練上り直後において 8 ± 2 秒
- 測定値：右グラフを参照 →

ブリーディング

- 管理値：練上り2時間後において2%以下
- 測定値：練上り2時間後およびこれ以降もブリーディングは発生しません。

膨張収縮

- 管理値：材齢7日で収縮を示してはならない。
- 測定値：材齢7日において膨張側にあり、収縮は認められない。

凝結

- 管理値：始発1時間以上・終結10時間以内
- 測定値：始発約4~6時間・終結7~9時間程度

圧縮強度

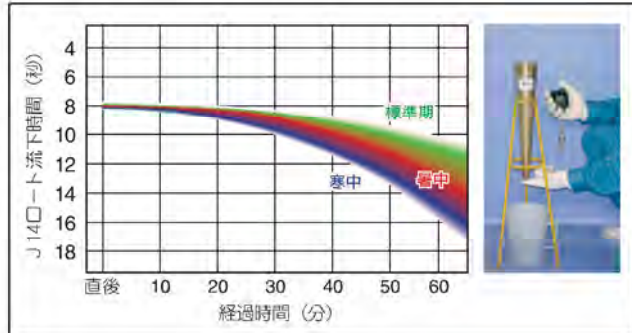
- 管理値：材齢3日で 25 N/mm^2 以上
- 材齢28日で 45 N/mm^2 以上
- 測定値：右グラフを参照 →

付着強度

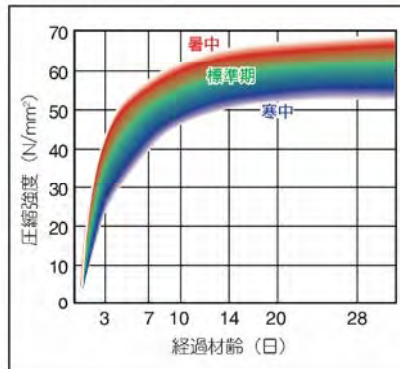
- 試験：普通丸鋼 $\phi 19$ の引き抜き試験
- 管理値：材齢28日で 3 N/mm^2 以上
- 測定値： 3.5 N/mm^2 程度

プレミックスタイプの試験例

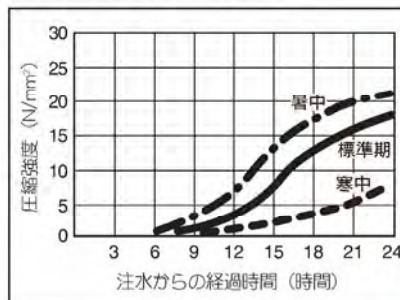
流動性の測定例



圧縮強度の測定例



材齢24時間以内の圧縮強度発現



逆打ちモルタル工事



④ 留意事項

断面欠損部に注入するモルタルは、現場で混合攪拌されるのが通常である。そのため現場における材料の取り扱いには十分配慮する必要がある。特にセメントやプレミックス材は強いアルカリ性を持つため、作業員の安全に留意して実施しなければならない。具体的には以下の項目を遵守する必要がある。

- ・作業時には保護手袋，防塵マスク，防塵メガネ等を必ず着用する。
- ・目に入った場合は，きれいな水で十分に洗い流し，直ちに専門医の診察を受ける。
- ・皮膚に付着した場合は，きれいな水で十分に洗い流す。

5.2.6 損傷 Step3 に対する対策工法

(1) 対策工法の概要

損傷 Step3 に対する対策工法は、ケーソン側壁に穴あき損傷を受け、そこから中詰砂が流出した状態に対する対策工法である。中詰砂の流出量によっては、ケーソンの耐波浪安定性に即支障を来たすおそれがあり、緊急を要する場合がある。

この工法は、穴あき部をどのような方法で塞ぐかによって、(鋼製) 外型枠工法もしくは、袋詰コンクリート工法が採用されるのが通常で、実績も多い。

また、中詰砂の流出に対しては、通常、隔室空隙部にコンクリートを中詰材として投入するのが一般的である。

中詰材にコンクリートを投入した場合、中詰重量が当初設計より大きくなり、地盤支持力の問題や、ケーソン底版の抜け落ち等が問題となる。これらについては事前に十分検討を行うことが必要である。

表-5.2.11 に穴あき部対策工法の特徴と評価を一覧にして示す。

表-5.2.11 穴あき部対策工法の特徴と評価

	(鋼製) 外型枠工法	袋詰コンクリート工法
上部工撤去	<ul style="list-style-type: none"> 上部工の削孔は検査孔，コンクリート注入孔程度で十分。 	<ul style="list-style-type: none"> 隔室内部での潜水土によるコンクリートバッグの設置等に必要なφ2m程度の開口が必要。
	◎	○
消波工撤去	<ul style="list-style-type: none"> 穴あき部に海側から鋼製型枠を取付ける為，消波ブロックの撤去が必要。 穴あき部が下部にある場合，撤去費大。 	<ul style="list-style-type: none"> 消波ブロックの撤去不要。
	▲	◎
安全性	<ul style="list-style-type: none"> 隔室内人力作業なく，安全性は高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 隔室内での潜水土によるバッグの設置，コンクリート注入工が必要。 函内流速大きい場合，施工は難しい。
	◎	△
優劣条件	優 穴あき部上部の場合 静穏時に施工可能な場合	優 穴あき部が下部の場合 静穏時に施工可能な場合
	劣 穴あき部が下部の場合 静穏時が少ない場合	劣 静穏時が少ない場合

(2) (鋼製)外型枠工法

一般に、消波ブロックによる側壁の穴あき損傷位置は、天端から5m程度以浅の場合が多い。また、比較的静穏な状態での作業条件を確保することが可能な場合が多く、困難な場所は比較的まれである。

そのため、上記の条件での施工性に優れた(鋼製) 外型枠工法が適用される場合が多い。

① 工法の概要

(鋼製) 外型枠工法は、穴のあいた側壁の海側前面に鋼製の型枠(止水版、止水蓋などと表現する場合もある)をアンカーボルト等で取付け固定して、上部工から鉛直に削孔した打設口からコンクリートを打設して中詰砂の欠損を修復する工法である。

施工フロー図と施工状況概要図を以下に示す。

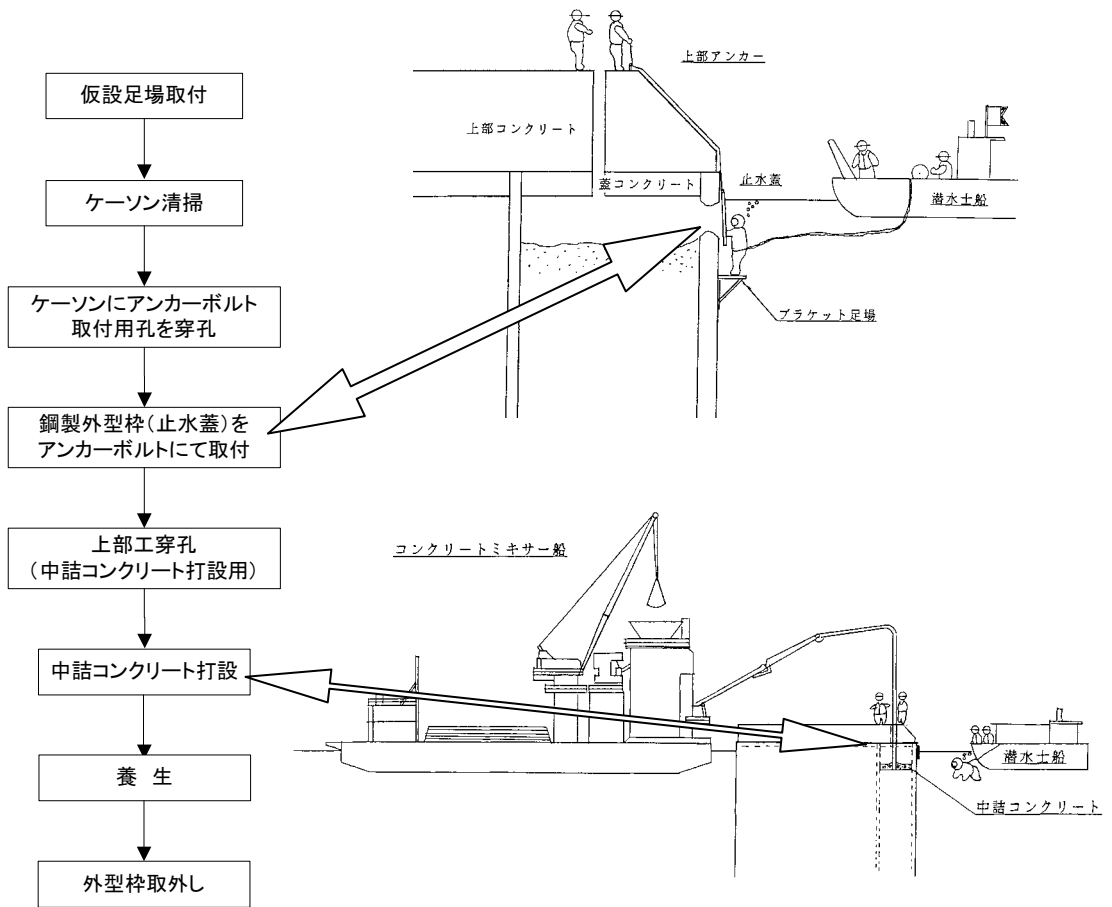


図-5.2.4 施工フロー

図-5.2.5 施工状況概要図

② 鋼製外型枠の設計法および留意点

鋼製外型枠は以下の点に留意して設計を行う。

- ・コンクリートの充填圧，波圧等に対し十分な強度を有すること
- ・コンクリート充填の際，漏れ等が無い様十分な止水性能を有すること

1) 鋼製外型枠に作用するコンクリート側圧

鋼製外型枠は中詰コンクリートの側圧に対し，十分な強度を持ち，尚且つ，鋼製外型枠をケーソン側壁に固定するアンカーボルトも十分な定着性能を持つ必要がある。

中詰コンクリートの側圧は，コンクリート標準示方書[施工編]型枠および支保工(土木学会)，コンクリート・ライブラリー67 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)(土木学会)，水中不分離性コンクリート・マニュアル(沿岸技術研究センター，漁港漁場漁村技術研究所)等による。

一般に水中では締固めが不可能である為，中詰コンクリートには水中コンクリートあるいは水中不分離性コンクリートが用いられる。その特徴として，どちらも高い流動性を有しており，打設時の側圧は液圧として検討する場合が多い。

また，隔室内の残留水による水圧についても留意する必要がある。

2) 鋼製外型枠に作用する波圧

側壁が穴あき損傷を受けた場合，ケーソン隔室には押し波，引き波により海水が流出入し，やがて中詰砂が吸い出されることになる。そのような状況に対し，安全に取付けること，過剰な外力がかからないこと等に配慮して，鋼製外型枠はなるべく静穏なときに取付けることが肝心である。

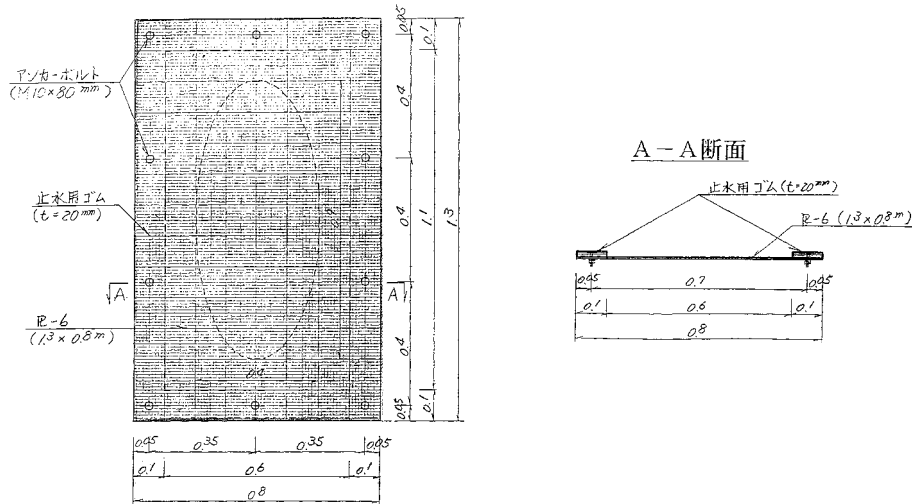
鋼製外型枠に作用する波圧および静水圧は，鋼製外型枠取付け時の潮位により隔室内の水位が決定され，それに対するケーソン外側の潮位変動による静水圧と波圧(押し波，引き波)により決定される。しかし，潮位変動は，一般に中詰コンクリートが鋼製外型枠の取付け後，連続して打設されるため，その影響は小さい。また，波の影響は，工事が静穏時に行なわれる事を考えると，生コンクリートの側圧に対して安全な型枠構造ならば押し波に対する検討は省略しても問題は少ないであろう。ただし，引き波については生コンクリートの側圧に対して抵抗する水圧が小さくなるので考慮する必要がある。しかし，鋼製外型枠が仮設構造物であることを考えると，あまりシビアな設計をすることに必要性はなく，前面の水圧を無視し，コンクリートの側圧と隔室内の水圧に対する設計でも問題はないと考えられる。

上記の考えは，比較的静穏な状況での迅速な施工を前提としており，そうでない場合に対しては，波浪や潮位変動等に対する十分な検討が必要であろう。

3) 止水機能

側壁と型枠との間に隙間が生じ、漏れ等が発生しないように、厚さ 20 mm 程度のゴム製のパッキンを取付けることが通常実施されている。

以下に鋼製外型枠の例を示す。



③ 中詰コンクリート

隔室内に打設される中詰コンクリートは、通常、隔室内に海水が滞留しているため、水中コンクリート(一般の水中コンクリートまたは、水中不分離性コンクリート)により施工される。

その際、中詰の重量が増加するため底版の抜け出しや基礎の支持力等に対する検討が必要となる。

1) 水中コンクリートの選定

水質汚濁防止等の厳しい施工条件の場合は水中不分離性コンクリートを用いる必要があるが、通常の施工条件の場合には一般の水中コンクリートを用いる。

2) 水中コンクリートの指針等

水中コンクリートは種類によって性能に差異があるので、それぞれの水中コンクリートについて、材料、配合、適用箇所、打込み、施工機械等に十分配慮して、材料分離が出来るだけ少なくなるように施工しなければならない。

一般の水中コンクリートおよび水中不分離性コンクリートの配合、施工、検査等についてはコンクリート標準示方書[施工編]に準じて実施する必要がある。また、水中不分離性コンクリートについて上記示方書に記述されていない詳細事項はコンクリート・ライブラリー67 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案) によるものとする。

④ 施工上の留意点

1) 中詰コンクリート

中詰コンクリートは、前述のように、一般に水中施工となるが、水中コンクリートはコストや施工性の面で不利となることが多い。

そのため、できるだけ水中コンクリートで施工する部分を少なくすることが大切である。具体的には、

- ・穴あき部が上部の場合は、仮設の止水工等の必要がなくなる程度の高さまでを水中コンクリートで施工し、それより上部は余剰水を排除して、普通コンクリートを打設する。
- ・穴あき部が下部の場合は、水中コンクリート打設後の余剰水を排除してもケーソンの安定・側壁、隔壁の耐力が保てる事を確認して、上部に普通コンクリートを打設する。

等について事前に検討をおこなうべきである。

また、穴あき部が下部の場合においても、一気に打設せず、仮設の(鋼製)外型枠にかかるコンクリートの側圧が過大とならないように、所定の高さまでの段打ち施工とすることが肝要である。

2) 鋼製外型枠

鋼製外型枠の施工は、通常、潜水士により取付け施工が行なわれる。施工に当たっての主な留意点を以下に示す。

- ・施工は、なるべく低潮位の静穏な時に実施する。
- ・後付けアンカーボルト孔の位置決めは、鋼製外型枠のアンカー孔からコンパネ等にバカ孔を明け、そのコンパネを型紙として側壁を穿孔すると施工性が良い。
- ・鋼製外型枠の取付け時に、落下防止のためのロープを用いる。

(3) 袋詰コンクリート工法

側壁の穴あき損傷位置が下方にあり、海側前面から型枠を取付けるなどの作業のための消波ブロック撤去が難しい場合、用いられる頻度の高い工法である。

① 工法の概要

袋詰コンクリート工法とは、ケーソン側壁に穴あき損傷を受け、中詰材が流出したケーソンを復旧するために、コンクリートバッグを用いてケーソン側壁に生じた穴を塞ぐ工法である。隔室空隙部には中詰コンクリートを打設するのが一般的である。中詰コンクリートについては(鋼製) 外型枠工法と同様に、中詰の重量が増加するため底版の抜け出しや基礎の支持力等に対する検討が必要となる。

コンクリートバッグは、その中にコンクリートを充填するための帆布でできた布型枠である。コンクリートの充填後コンクリートバッグは破損箇所を覆うことができ、破損部からの中詰材の流出を止めることが期待できる。

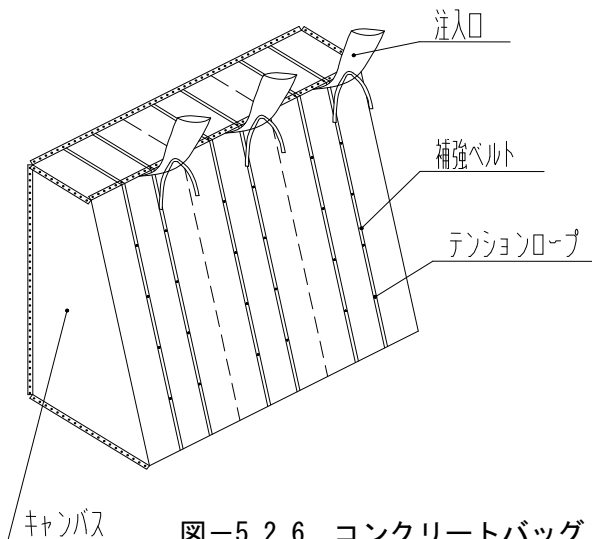


図-5.2.6 コンクリートバッグ

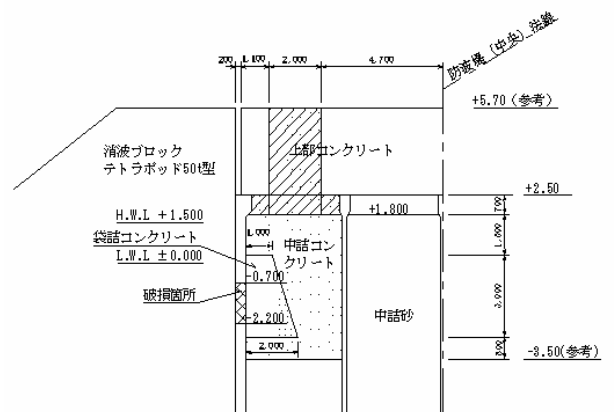


図-5.2.7 袋詰コンクリート工法断面図例

② 設計法および設計上の留意点

コンクリートバッグは以下の点に留意して設計を行う。

- ・コンクリートの充填の際に破損しない強度の素材で製作されていること
- ・コンクリートの充填後、設置位置で安定していること

1) コンクリートバッグに作用するコンクリート側圧

コンクリートバッグに作用するコンクリートの側圧は、型枠設計用に用いるコンクリートの側圧算定式(JASS5より)を用いて算定する。

$$p = W_0 \cdot H \quad (1)$$

ここに, p : 型枠に作用するコンクリート側圧(kN/m²)

W_0 : コンクリートの単位体積重量(kN/m³)

W_0 は水中打設の場合, 水中単位体積重量,

$W_0' = 22.6\text{kN/m}^3 - 10.1\text{kN/m}^3 = 12.5\text{kN/m}^3$ とする.

H : コンクリートのヘッド(m)

2) コンクリートバッグのキャンバスに発生する張力

コンクリートバッグがコンクリート側圧: p により図-5.2.8のような形状となるものとする, キャンバスに発生する張力: T は次式で算定される.

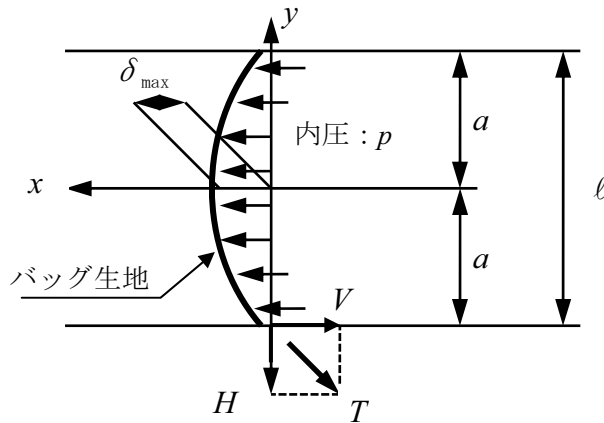


図-5.2.8 検討モデル

$$T = \frac{p \cdot a}{2 \cdot \delta_{\max}} \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot \delta_{\max}^2} \quad (2)$$

ここに, T : キャンバスに発生する張力(kN/m)

p : キャンバス内圧(kN/m²)

a : 支持スパン; ℓ の 1/2(m)

δ_{\max} : キャンバスのたわみ量(m)

コンクリートバッグには, 変形を拘束するために補強ベルトを配置することがある. このような場合には, キャンバスに発生する張力は補強ベルト間のコンクリート側圧に対して算定する.



補強ベルトをつけたコンクリートバッグの例

下図に示すように、キャンバスの伸びを補強ベルトが拘束する構造の場合、キャンバスに発生する張力は補強ベルトのピッチ間で検討する。

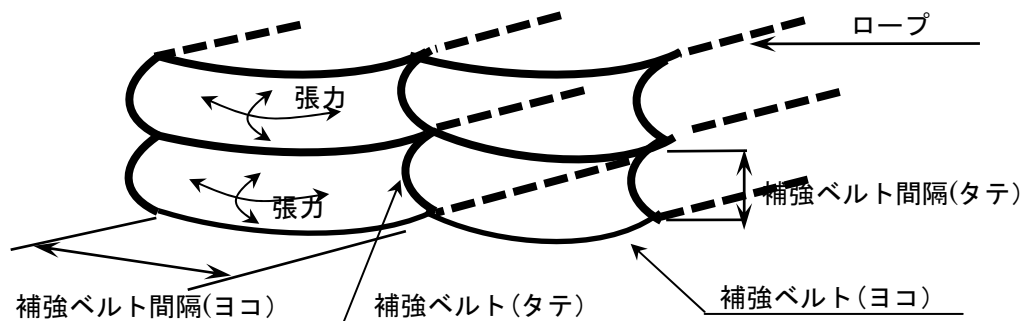


図-5.2.9 コンクリートバッグの強度検討モデル

これを、前記の式(2) に適用する場合、

- ・支持スパン λ : 補強ベルト間隔(タテ) or(ヨコ) のどちらか大きい方.
- ・キャンバスのたわみ量 $\delta \max$: 補強ベルト間隔の 10%程度.

とする。

一般的に、キャンバスのたわみ量 $\delta \max$ はベルト間隔(スパン間) の 10%程度に押さえることを標準としている。10%に対する根拠は特にないが、この値を大きくすると変形を許容してしまうことになり、逆に小さくし過ぎるとキャンバスへの強度負担が大きくなる。過去の事例においても 10%で設計・施工をおこなっており、特に問題は生じていない。具体的には、50cmのスパンであれば、たわみ量は5cm程度となる。

3) キャンバスの必要強度

コンクリートバッグに用いるキャンバスの必要引張強度: T' は、縫合部の強度低下に対する安全率: $F_s=2.0$ を考え、次式にて算定する。

$$T' = F_s \cdot T \quad (3)$$

- ここに、
- T' : キャンバスの必要引張強度(kN/m)
 - T : キャンバスに発生する張力(kN/m)
 - F_s : 安全率(=2.0)

4) 使用するキャンバスの選定

i キャンバスの素材について

コンクリートバッグに用いる素材として要求される項目は次の通りである。

- イ) コンクリートからの余剰水を速やかに排水できること
- ロ) 側圧等の外力に対する引張強度に優れている事

- ハ) 適当な伸びを有する事(過大な伸び変形を許容する素材は、変形を許容しやすいため不適)
- ニ) 耐久性，耐候性に優れる事
- ホ) 縫製加工が行いやすい事
- ヘ) 仕上がり後の重量が軽量で施工性が良い事
- ト) 耐薬品性に優れる事
- チ) 経済性に優れる事

一般的に土木用途で使用される繊維素材として、ポリエステル、ナイロン、ビニロン、ポリプロピレンの素材が用いられている。

コンクリートバッグに用いるキャンバスの素材に関する比較を表-5.2.12 に示す。

表-5.2.12 よりポリエステルが全般的に優れることからコンクリートバッグに用いるキャンバスとしてポリエステル素材の使用が望ましい。

表-5.2.12 コンクリートバッグキャンバスの素材比較表

項目	ポリエステル	ナイロン	ビニロン	ポリプロピレン	評価基準
引張強度 (g/d)	乾	6.3~9.0	6.4~10.0	4.5~6.5	大きい程良
	湿	6.3~9.0	5.9~8.5	3.2~5.2	
乾湿強力比 (%)		100	84~92	72~85	差がない程良
		○	×	×	
伸度 (%)	乾	7~17	16~25	12~26	伸びすぎるものは不適
	湿	7~17	20~30	12~26	
吸湿性 (%)		0.4~0.5	3.5~5.0	4.5~5.0	0に近い程良
		○	×	×	
耐候性 (屋外暴露の影響)	強度は殆ど低下しない	強力はやや低下し、わずかに黄変する場合がある	強度は殆ど低下しない	強度は殆ど低下しない	
	○	△	○	○	
酸の影響	強度は殆ど低下しない	農(塩、硫、硝)酸で一部溶解する	農(塩、硫、硝)酸で膨潤もしくは分解する	強度は殆ど低下しない	
	○	△	×	○	
アルカリの影響	強度は殆ど低下しない	強度は殆ど低下しない	強度は殆ど低下しない	強度は殆ど低下しない	海水の比重 (1.025~1.03)より大きいものが良い
	○	○	○	○	
比重		1.38	1.14	1.26~1.30	
		○	○	○	
総合評価	◎	○	×	△	

ii キャンバスの選定について

コンクリートバッグに用いる素材として全般的に優れた特性を示すポリエステル製の、土木用途に使用されているキャンバス製品とその諸元の例を表-5.2.13に示す。

表-5.2.13 コンクリートバッグに用いるポリエステルキャンバスの諸元例

項目	単位	TSF #300	TSF #500	TSF #800
厚さ	mm	0.50	0.90	1.20
重さ	g/m ²	300	550	860
引張強度	N/5cm	4900	8983	13230
伸度	%	15	13	14

通常、キャンバスは必要引張強度 T' に応じて選定する。しかし、損傷状況によってはケーソン側壁損傷部位の鉄筋が破断して隔室側に折れ曲がっていて、鉄筋の先端によりキャンバスが裂けてしまう恐れがある。

よって、ケーソン破損部の鉄筋がコンクリートバッグ本体に干渉しないように処理を施すとともに、ケーソン破損部からの波浪の影響にも配慮して、コンクリートバッグの本体キャンバスの外側に、緩衝材として不織布を取り付けた二重構造とすることが望ましい。緩衝材の不織布としては、厚み 5.0mm 程度の材料を用いることが多い。

緩衝用不織布の諸元(参考値)

項目	規格
材質	ポリエステル スパンボンド不織布
厚さ	t=5mm
質量	500 g/m ²
引張強度	タテ×ヨコ 1765×1471 N/5cm
伸度	タテ×ヨコ 60×60 %

コンクリートバッグは二重シートで構成する。

- 1) 本体シート
- 2) 緩衝用不織布

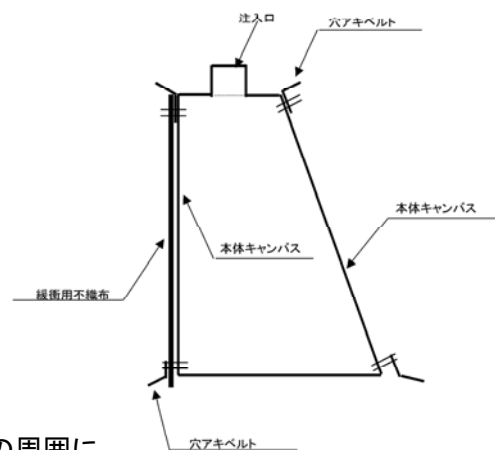
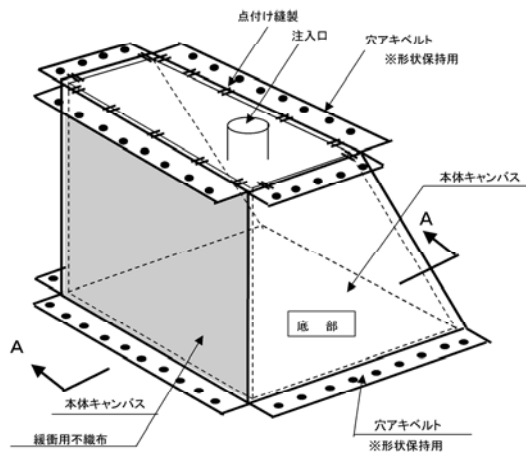
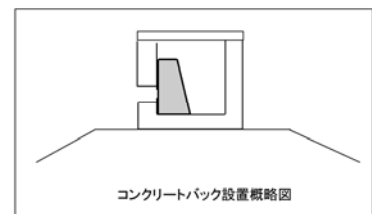
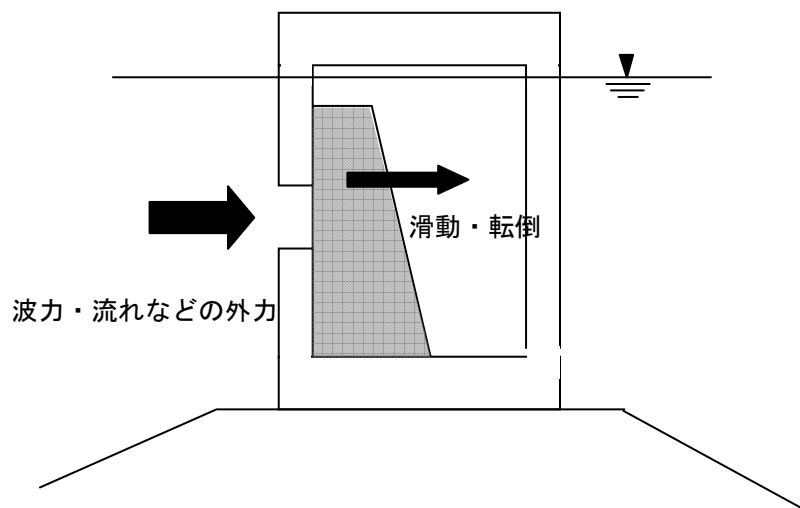


図-5.2.10 ポリエステルキャンバスの周囲に緩衝用不織布を設置した場合のイメージ

A-A 断面図

5) コンクリートバッグの安定性について

コンクリートバッグの安定性についての検討は、擁壁の安定性についての検討と同様に外力(波力・流体力等) について安定であることを確認する.



③ 施工および施工上の留意点

1) 施工法の概要

施工フローの概要を以下の①から⑥に記す。

- i 対象となる側壁に穴のあいた隔室において潜水作業が可能であることを確認する。
- ii 上部工にφ2.0m程度の作業孔を設置する。
- iii 必要に応じ、袋詰コンクリートのベース部に水中コンクリートを打設する。
- iv 袋詰コンクリート用のコンクリートバッグを所定の位置に取り付ける。
- v 袋詰コンクリートを打設し、順次中詰コンクリート、上部コンクリートを打設する。

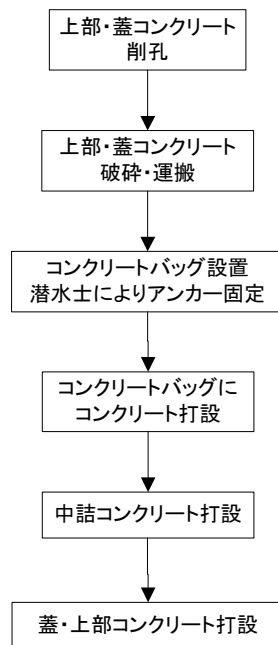


図-5.2.11 袋詰コンクリート工法全体フロー図

2) 施工条件

本工法の施工条件としては、

- ・ 函内での潜水作業および、材料搬入を必要とする為、上部工に出入用のφ2.0m程度の穴を開ける必要がある。
- ・ 側壁開口部の形状がコンクリートバッグでふさぎやすい形状であることが必要。
- ・ 前面の消波ブロック等を撤去する必要はない。

などが挙げられる。

また、施工上の留意点として、

- ・ 側壁開口部からの海水の流出入により、函内の潜水作業に対する安全性の

確認が大切.

- コンクリートバッグは、アンカーにより、仮固定されるが、開口部からの海水の流出入により、形状が維持できないことや、アンカー固定が外れる可能性等の問題がある為、事前に十分な検討が必要である.
 - バッグの生布は、開口部の凹凸や、鉄筋等により、破損しにくい厚手のものを選定する必要がある.
- 等に注意する必要がある.

3) コンクリートバッグの施工法

コンクリートバッグの施工フローを図-5.2.11 に、必要資材・機材一覧を表-5.2.14 に示す.

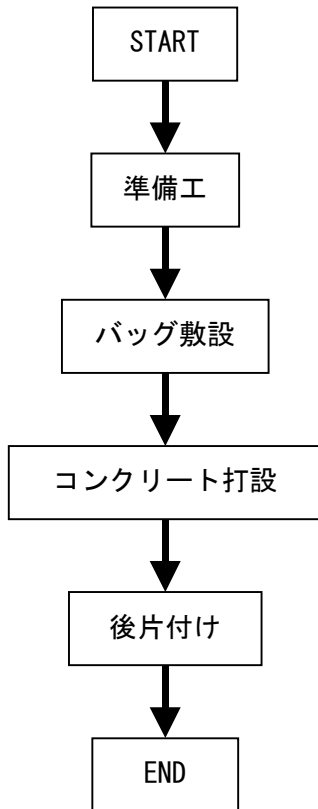


表-5.2.14 必要資材・機材一覧

必要資材・機材	備考
コンクリートバック	
注入材料 (モルタル・コンクリート)	標準配合表参照
コンクリートポンプ車	スクイーズ式ポンプ車
単管パイプ	必要に応じて準備する
ロープ	必要に応じて準備する
番線	必要に応じて準備する

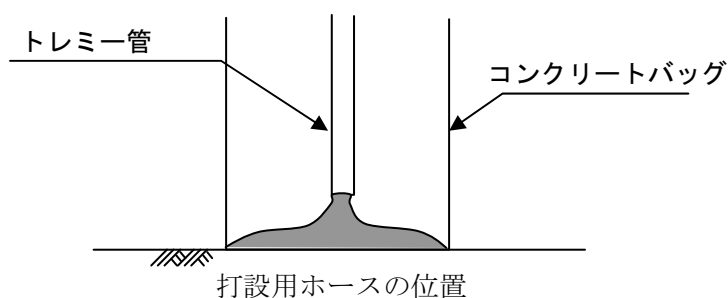
図-5.2.11 コンクリートバッグ施工フロー

i コンクリートバッグの敷設

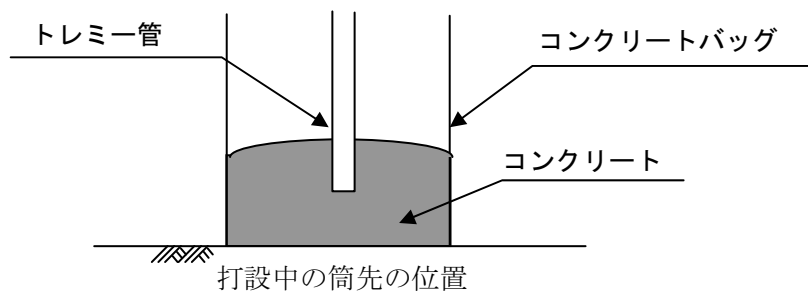
コンクリートバッグを敷設する際には、ケーソン内部の流れに注意し潜水作業を行う。また、ケーソン内部の流れが速く、コンクリートバッグが所定の位置に敷設できない場合にはコンクリートバッグの下部に錘を付けるなどして所定の位置に適切に敷設する。

ii コンクリートの打設

イ) 打設用ホースをセットする。この時筒先は、極力底版部の近くまで下げ、コンクリートの分離がないようにする。



ロ) 打設中は、コンクリート内に筒先を入れた状態にしておく。



iii 注入材料について

注入材量の配合はコンクリートバッグの施工に対して多大な影響を与えるものであり、注入材料は表-5.2.15 に示すような配合のモルタルまたはコンクリートを用いることが一般的である。

表-5.2.15 注入材料標準配合

	1m ³ 当たりの材料使用量 (kg)				水セメント比	フロー値 (モルタル) スランプ値 (コンクリート)	備考
	セメント	水	細骨材	粗骨材			
モルタル	600	360	1200	—	60%	20±2秒	フロー値はPポートによる
コンクリート	370	237	964	645	64%	23±2cm	G _{max} 25mm δ ₂₈ ≥ 18 N/mm ²

※コンクリートの配合には混和剤を用いて適切な空気量を確保することが望ましい

なお、注入材料については、現場骨材等により若干の変化があるため施工前

に必ず試験練りを行い、ワーカビリティの確認を行って、これに近い配合に決定すべきである。

表-5.2.15 注入材料標準配合によると極めて流動性の高い注入材料を得ることができる。ただし、この配合は型枠メーカーの施工経験に基づく標準配合であり、公的なマニュアル等で定められているようなものではない。型枠メーカーが持つ推奨配合として扱うべきである。

コンクリートバッグはキャンバス製であることから、固練りの注入材料を用いた場合バッグの隅々まで注入材料が行き渡らなかつたり、固練り注入材料の山ができ、キャンバスに不均等な張力が発生することが懸念される。したがって、コンクリートバッグに注入する注入材料は、流動性の高い注入材料を用いることが望ましい。

参考として配合のポイントを以下に記す。

【コンクリートの配合のポイント】

- イ) 水中施工ができる配合・・・セメント量 370kg 以上
 - ロ) 適切な流動性を確保していること・・・スランブが大きい(23±2cm)
 - ハ) 型枠内にある、糸・ロープに骨材が引っかからないように、粗骨材の大きさを制限する。一般的には 20mm 以下
- ニ) ハ) と同様にして 細骨材率 $S/a > 60\%$ とする

【モルタルの配合のポイント】

- イ) 適切な流動性を確保していること・・・フロー値 20±3 秒
※フロー値はPロートによる
- ロ) 1:2 のモルタルにして流動性を確保することが必要

(4) 共通工法

① ドリルとブレイカーによる上部コンクリート削孔工法

上部コンクリートの削孔工法は、削孔の大きさ(径)によって異なってくる。中詰砂のレベル確認程度の場合はボーリングマシン等によるφ40～50 mm程度の孔で良く、前述した外型枠工法では隔室内での作業がないため、中詰コンクリートを充てんするためのコア cutter 等によるφ300 mm程度の孔で十分である。

袋詰コンクリート工法のように隔室内に作業員(潜水士)が入り出りをしたり、資材を搬入・搬出したりするためには、クローラドリルとブレイカーによりφ2m程度の作業孔をあける必要がある。以下、施工法や資材・機材等について実施例をもとに示す。

1) 概要

上部コンクリートの削孔工法の概要について、八戸港における実施例から施工フロー図、および参考図を示す。

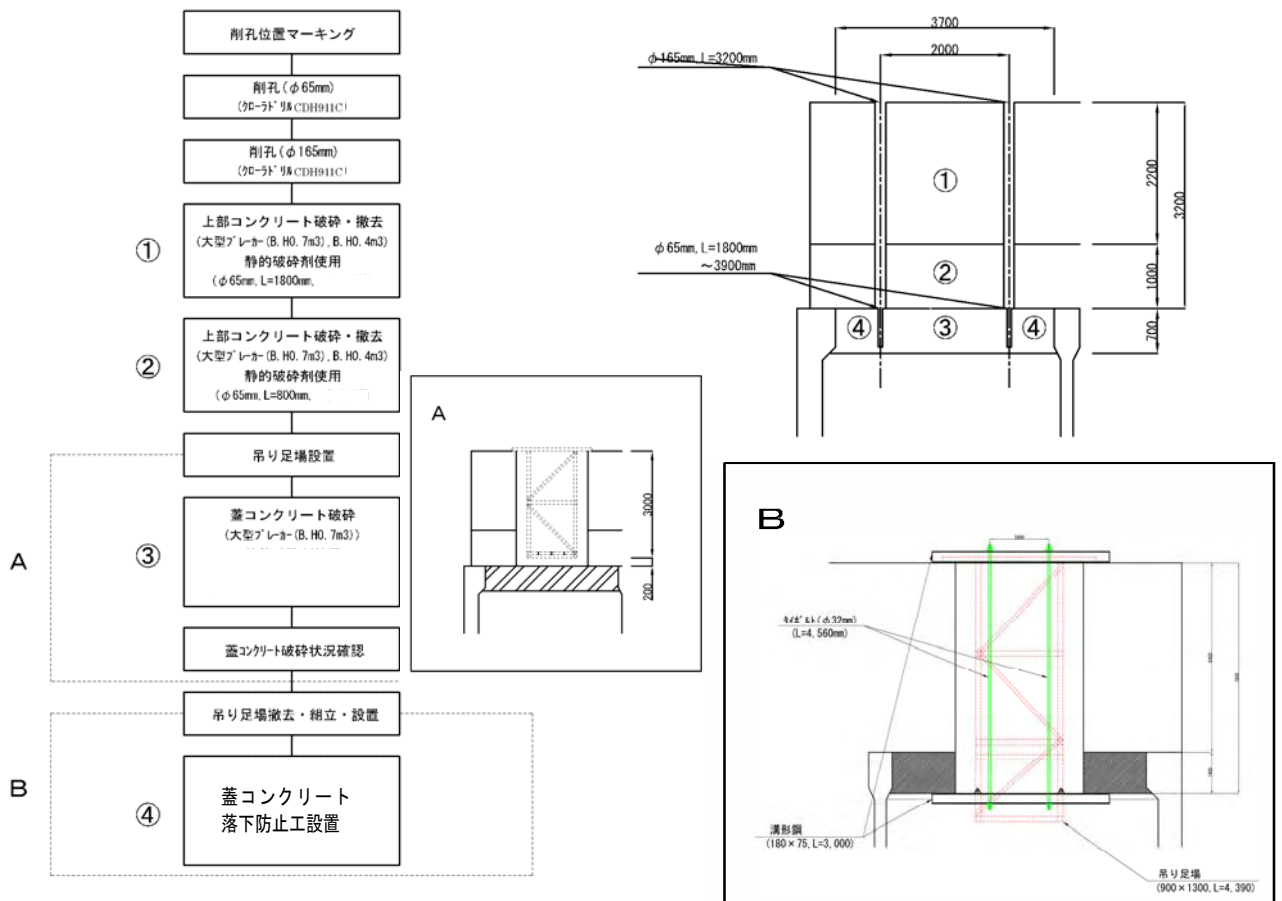


図-5.2.12 上部工削孔工法 施工フロー，参考図

2) 削孔

上部工の削孔は、

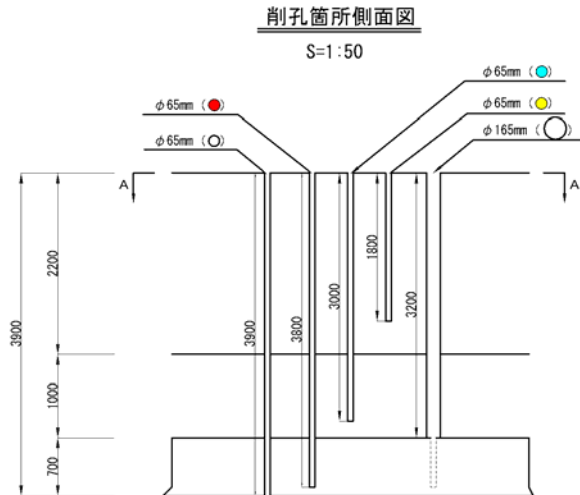
- ・削孔位置のマーキング
- ・クローラドリルによる削孔

の順で行なわれる。

削孔の順序等の詳細については下図を参照。

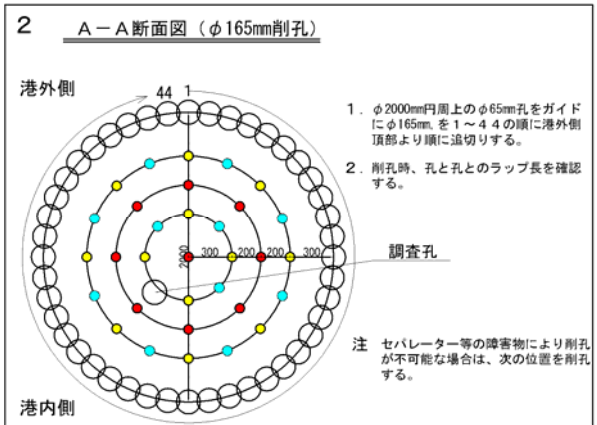
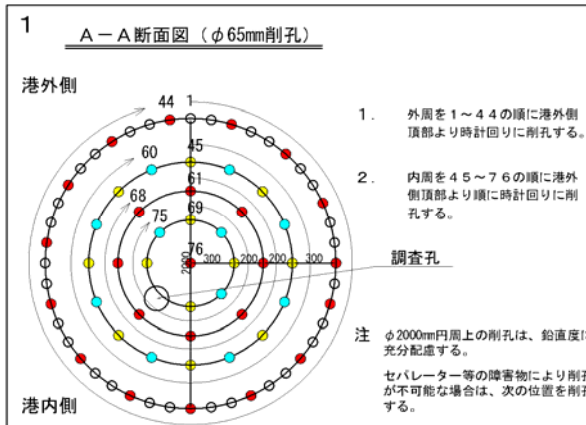


削孔完了状況



削孔諸元一覧表

マーク	削孔径	削孔長	削孔数	総削孔長	備考
○	φ165mm	3.2m	44孔	140.8m	φ2000mm円周上のφ65mmの孔をガイドに削孔
●	φ65mm	1.8m	12孔	21.6m	静的破砕剤使用孔
●	φ65mm	3.0m	11孔	33.0m	静的破砕剤使用孔
●	φ65mm	3.8m	24孔	91.2m	ガイド孔 兼自由面
○	φ65mm	3.9m	29孔	113.1m	ガイド孔
合計	-	-	120孔	399.7m	φ165mm(44孔) φ65mm(76孔)



クローラドリル全景
アトラスコプコ(株)製
油圧式, CDH-911C/01.
ドリフタ重量, 210(kg 級)



削孔状況

図-5.2.13 削孔の順序等の詳細

削孔にあたり注意しなければならないのは、上部コンクリートを打設する際に用いた、型枠の支保工用の仮設のアンカー筋やセパレーターなどである。これらの棒鋼は削孔時の障害物となり、削孔の工程に影響を与えるだけでなく、場合によっては削孔が不能になることがある。よって、事前にこれらの鋼材、特に大型の鋼材の有無を事前に確認しておくことが肝心である。これら障害物により削孔が不能となった場合は、監督員との協議により、障害物の影響がないと思われる近隣箇所を再削孔するか、そのまま次の箇所の削孔に移るなどの対応が必要である。

本事例において、削孔時に障害物がヒットした数を一覧にして表-5.2.16 に示す。

表-5.2.16 障害物ヒット数一覧

障害物	削孔箇所(φ65mm)	削孔箇所(φ165mm)	備考
ケミカルアンカー(φ19mm)	ヒット数2箇所	ヒット数6箇所	
丸セパレーター(φ16mm)	ヒット数9箇所	ヒット数15箇所	
アンカー鉄筋(φ12mm)	ヒット数0箇所	ヒット数2箇所	
丸セパレーター(φ12mm)	ヒット数2箇所	ヒット数3箇所	
合計	ヒット数13箇所	ヒット数26箇所	総削孔数103箇所 総ヒット数39箇所

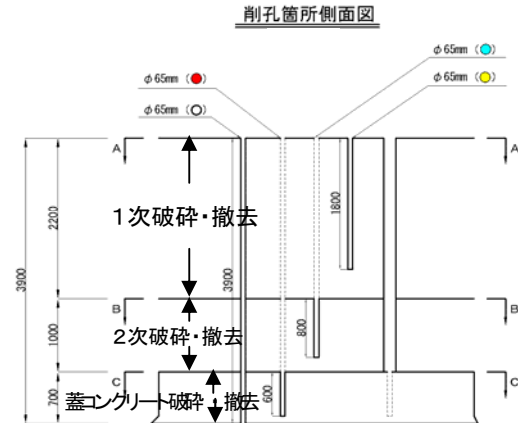
※ ヒット数：削孔箇所と障害物が交わる回数。

3) 上部コンクリート撤去工

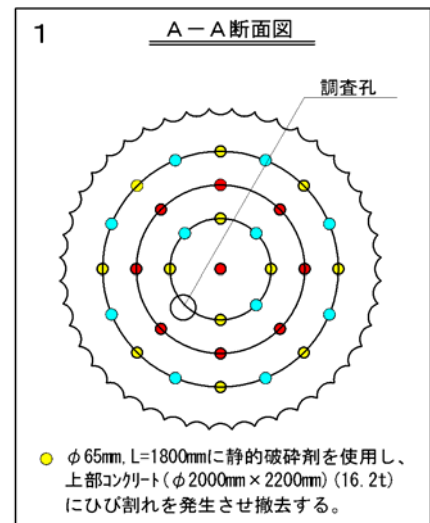
静的破砕材と大型ブレイカーの併用で破砕・撤去する

i 上部工 1次破砕・撤去

説明図中の黄丸の孔 12 箇所に静的破砕材を充てんし、上部コンクリートにひび割れを発生させて、大型ブレイカーにより更に小割りにして撤去する。



①静的破砕材充てん(黄丸部)



②静的破砕材充てん後、注水し、直ちにシート養生



③静的破砕材によるひび割れ



④大型ブレイカーによる小割
B.H.0.7m³級



⑤バックホウによる撤去
B.H.0.25m³級

図-5.2.14 上部工 1次破砕・撤去 参考図

使用した静的破碎材の諸元を以下に示す。

表-5.2.17 静的破碎材の諸元

静的破碎剤諸元一覧表

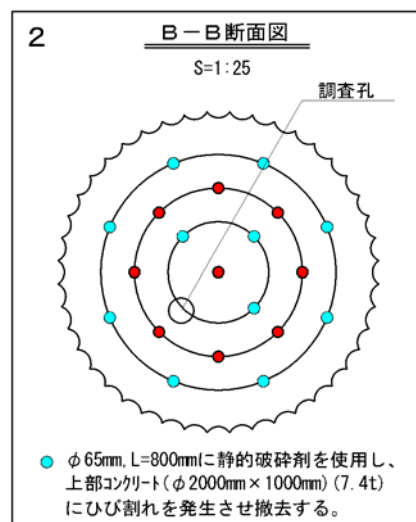
マーク	削孔径	削孔長	削孔数	静的破碎剤 使用長	静的破碎剤 総使用長	静的破碎剤 m当り使用量	静的破碎剤 総使用量	静的破碎剤名
●	φ 65mm	1.8m	12個	1.8m	21.6m	5.4kg/m	116.6kg	HPロックトーンSL
●	φ 65mm	3.0m	11個	0.8m	8.8m	5.4kg/m	47.5kg	HPロックトーンSL

ii 上部工 2次破碎・撤去

右の説明図中の青丸の孔に静的破碎材を充てんし、ひび割れを発生させて、大型ブレイカーにより更に小割りにして撤去する。



①静的破碎材充てん(青丸部)



②大型ブレイカーによる小割
B.H.0.7m³級



③バックホウによる撤去
人力併用, B.H.0.25m³級

図-5.2.15 上部工 2次破碎・撤去 参考図

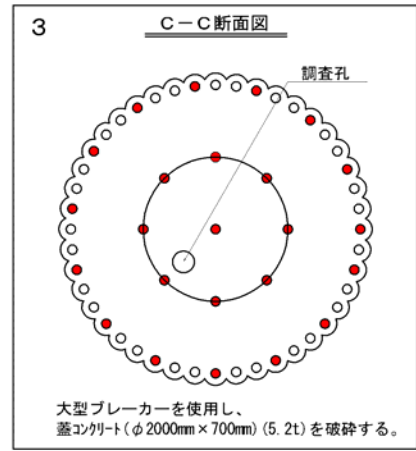
本事例の2次破碎は、静的破碎材によるひび割れ効果が少ししか得られなかった。その理由としては、外周のφ135mm孔による削孔が「写真①静的破碎材充てん(青丸部)」のように大型ブレイカーの破碎屑により埋没したことが考えられる。

iii 蓋コンクリート破砕

上部工の撤去完了後，蓋コンクリートを大型ブレーカーにより破砕する。



①上部工撤去完了



②大型ブレーカーによる破砕
0.7m³級バックホウ



③蓋コンクリート破砕完了

図-5.2.16 蓋コンクリート破砕 参考図

この実施例では，当初，右上の C-C 断面図の赤丸で示す削孔部に静的破砕材を用いてひび割れを発生させてから，大型ブレーカーにより破砕する併用工法で行う予定であった。しかし，「写真①上部工撤去完了」のように，蓋コンクリート天端部は，上部コンクリート撤去時に大型ブレーカーで破砕したため不陸を伴い，さらに静的破砕材使用予定の孔のほぼ全てが，破壊もしくは詰まった状態となっていた。そのため，計画を変更して直接大型ブレーカーにより破砕する方法に変更したものである。

iv 静的破碎材について

イ)概要

静的破碎材には、速効タイプと遅効タイプがあり、速効タイプは養生時間が30分～3時間程度、遅効タイプは12時間から24時間程度と大きく異なっている。通常は、それぞれ施工の工程や数量等によって使い分けている。

本事例のような単一の孔では、施工数量が少なく、遅効タイプでは待機時間が長すぎて工事の遅延を来す為、即効タイプを用いるのが通常である。

静的破碎材の施工は、通常以下の要領で実施される。

1. 充てん用の孔に静的破碎材(速効タイプ)を充てん
2. 所定の水量を注水
3. 直ちに養生シートを掛け、亀裂の発生まで立ち入り禁止措置をとる

しかし、上記の実施要領は製品により違いがあるため、製品ごとに仕様を十分に確認して行うべきである。

ロ)安全上の留意点

静的破碎材は火薬類ではなく、取り扱い資格は不要で法的規制も受けない。しかし、石灰と水の化学反応による膨張圧により破碎を行うものである為、施工は簡単であるが安全上において注意を要する点がある。

安全上のポイントについて以下に列記する。

a. 噴出(鉄砲)現象：

静的破碎材と水との反応によって発生する反応熱の蓄積により、孔内温度が上昇し、孔内の水が急激に気化して、充てんされた孔内の静的破碎材が勢い良く孔口より噴出する現象である。

噴出物は高温かつ強アルカリ性であるため、顔を直撃した場合、失明、火傷等の重症を負う場合があるので十分な注意が必要である。

噴出しやすい条件としては、

- ・荷が重い破碎対象物
- ・破碎剤の充てん密度が小さい
- ・適用温度の誤り

などが考えられる。

b. 安全作業上の留意事項

- ・保護メガネ(ガラスレンズ不可)、ゴム手袋、防塵マスク、ヘルメットの着用
- ・亀裂の発生までは充てん孔を絶対に覗かない
- ・目に入った場合には、直ちに清浄な多量の水で(15分以上)洗い流し、眼科医



写真-5.2.1 噴出(鉄砲)現象

の診察を受ける

- ・皮膚に付着した場合，直ちに洗い流す

ハ)製品概要

静的破碎材の速効タイプの製品概要を以下に一覧で示す.

表-5.2.18 静的破碎材の速効タイプの製品概要

製品名	HP(ハイパー)ロックトーンSL	太平洋パワーブライスター大孔径用
タイプ	速効タイプ	速効タイプ
適用実孔径	φ 50~75 mm	φ 60~67 mm
破碎時間の目安	30分	3時間
荷姿	粉末 20 kg袋	粉末 10 kg袋
適用温度	-5~10℃,10~20℃,20~30℃	-5~5℃,5~15℃,15~25℃,25~35℃
水との反応手順	ハンド注水 孔に破碎材粉末を直接投入し、そこに直接注水する。	練混ぜ容器 水 2ℓを入れた練混ぜ容器に、破碎材粉末を1袋(10 kg)入れ練混ぜる。 練混ぜ容器から直接孔に流し込む。
養生	防護シート養生 トラロープ等による立入り禁止処置	防護シート養生 トラロープ等による立入り禁止処置
メーカー	製造：河合石灰工業㈱ TEL 0584-71-1121 http://www.kawai-lime.co.jp 販売：㈱ロックスジャパン TEL 03-3863-0748	太平洋マテリアル㈱ 営業本部 高機能建材営業部 TEL 03-3278-5319 http://www.taiheiyo-m.co.jp

② ワイヤソーによる切断工法

1) 概要

ワイヤソーにより上部工を切断し，撤去する方法について施工フローおよび撤去状況の写真を示す。

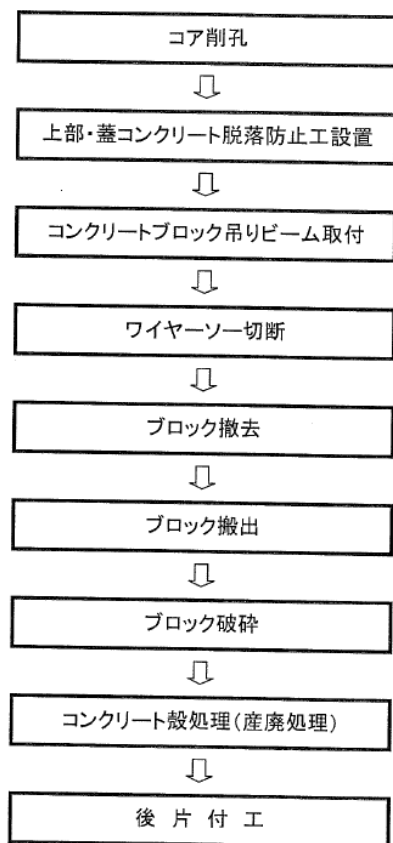


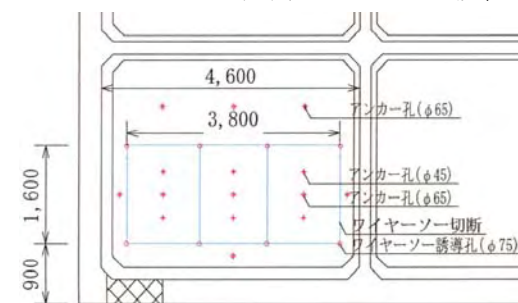
写真-5.2.2 撤去状況

図-5.2.17 ワイヤソーによる上部工切断施工フロー

2) コア削孔

コアボーリングマシンにより以下に示す3種類の孔を削孔する。

- ・ワイヤソーの切断誘導孔(φ75mm)
- ・撤去時の吊りアンカー設置孔(φ65mm)
- ・蓋コンクリート落下防止アンカー設置孔(φ65mm)



3

図-5.2.18 コア削孔位置平面図



写真-5.2.3 削孔状況

3) 蓋コンクリート落下防止工設置

蓋コンクリートの落下防止用に削孔した孔(φ65 mm)にゲビンデスターブ(φ32 mm)を挿入し、グラウト材を注入することで蓋コンクリートの脱落を防止する。

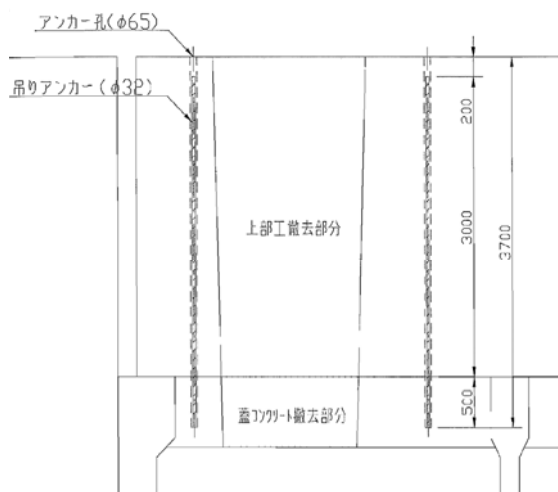


図-5.2.19 脱落防止用工設置要領

4) ワイヤソーによる切断

ダイヤモンドワイヤーを切断誘導孔(φ75 mm)を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。

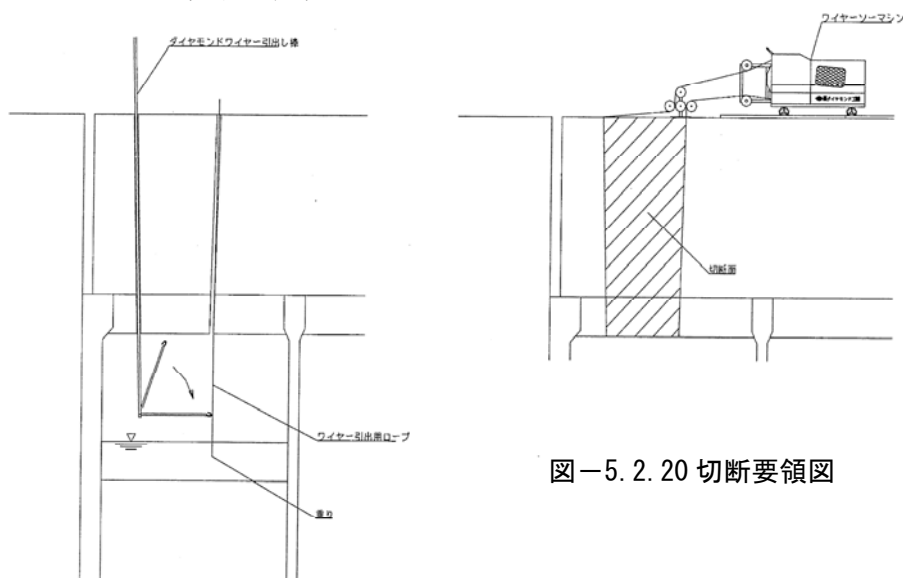


図-5.2.20 切断要領図

2面の切断後、撤去用の吊りアンカーを設置して吊りビームを取付ける。吊りビームの取付け後、残りの2面を同様の方法で切断する。

5) 上部エブロック撤去

吊りビームに取付けたジャッキにより上部エブロックを 150 mm程度持ち上げて、切断完了の確認と引っかかり等の障害がないことを確認する。

確認後、クレーンにて上部エブロックを吊上げ撤去する。このとき、アンカーにより一体化された蓋コンクリートも同時に吊り上げ撤去する。

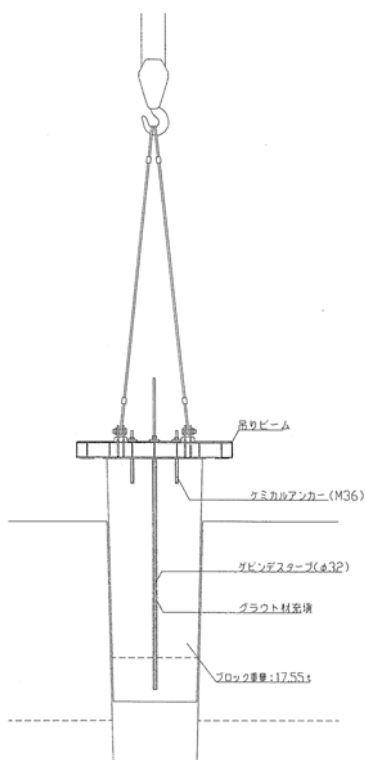
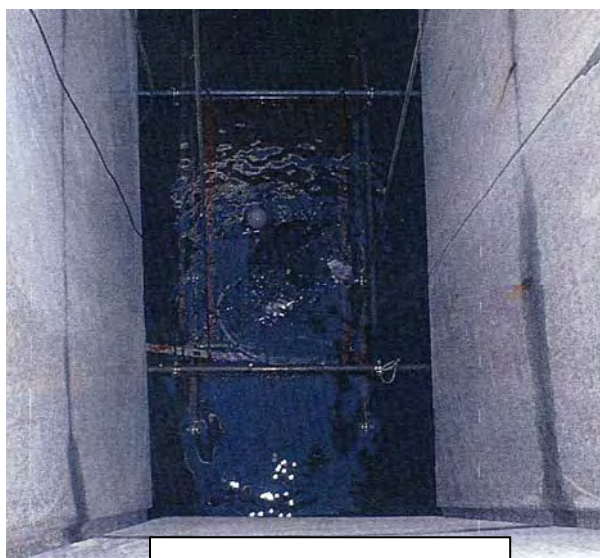


図-5.2.21 上部エブロック撤去要領図



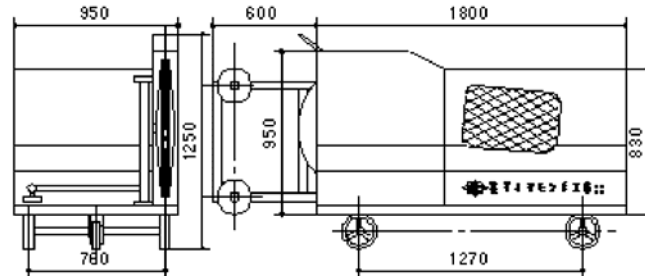
上から見た開口部の状況

写真-5.2.4 開口部の状況

6) 使用機器

本工法において使用した、最も特徴的な機器であるワイヤーソーマシンについて以下に概要を示す。

寸法図(ワイヤーソーマシン・K-WAC-03)



特長

- ・操作盤は、625gの小型送信機により、手元にて操作できるため、ワイヤー切断事故等の危険な場所から離れて、操作できます。
- ・ガソリンエンジン直結タイプであるため、発電機等を使用せず、本体ユニットのみで作業が可能で、2t車1台で、現場に搬送できます。
- ・軽量かつコンパクトで、油圧横移動装置、自走回送装置を内蔵しておりますので、現場のセッティング、格納時の方向転換、移動が用意にできます。
- ・駆動系に、コルクコンバーター(特許申請中)を使用しているため、遠隔操作にて、エンジンの始動、停止、エンジン回転のアップダウンができます。
- ・2段変速ミッションを搭載しておりますので、広いワイヤー速度がえられます。(0~30m/s)
- ・トルクコンバーター、バンパープーリの使用により、エンジンのトルク変動を吸収するために緩やかに起動でき、ワイヤー振動を吸収するために、ワイヤーの切断を防止できます。
- ・妨害電波が入った場合、全機能停止の安全装置を内蔵しております。
- ・無線機周波数は6バンドあり、同じ現場で同時に6台まで操作可能です。

仕様

形式	K-WAC-03	
全長	格納時	2300mm
	作業時	2740mm
全幅	1080mm	
全高	1100mm	
重量	900kg	
エンジン	EW180-2DL	
型式	水冷水平対向4サイクル4気筒16バルブ	
排気量	1820cc	
機関出力	50PS/3600rpm	
燃料タンク	36l(ステンレス製)	
駆動ホイール	800mm	
ワイヤー速度	0~30m/s	
ワイヤー張力	0~230kgf	
走行方式	無段変速、回送付	
操作方式	無線コントロール(手元操作可、切替式)	
送信機	625g(単三電池×4を含まず)	
送信機周波数	44MHz~46MHzの一波	
操作範囲	0~20m(使用温度範囲・10℃~+50℃)	

図-5.2.22 ワイヤーソーマシン概要

③ 蓋コンクリート処理工法

1) 概要

蓋コンクリート処理工法は、袋詰コンクリート工法等で隔壁内部に潜水土等の作業員が入って作業を行う際に、蓋コンクリートが落下して事故等が発生しないように事前に防止する工法である。

蓋コンクリートは、中詰砂の上にケーソン天端もしくはケーソン天端の数センチ下までコンクリートを打設したもので、その上には上部コンクリートが打設される。蓋コンクリートと上部コンクリートの水平打継目には特に何の処理も施されておらず、中詰砂が無い状況では蓋コンクリートが自重により落下する可能性は非常に高いといえる。

特に、図-5.2.23に示すような袋詰コンクリート工法等において、施工用に $\phi 2\text{m}$ 程度の作業孔を明けた場合、削孔時の衝撃によりさらに落下しやすい状態になると考えられる。しかし、蓋コンクリートは周囲で側壁上部ともある程度の付着を維持しており、また、その厚さも通常 $50\text{cm}\sim 70\text{cm}$ 程度あるため、破碎し、落下させようとした場合、逆になかなか破碎、落下させるのが難しいという側面も持っている。

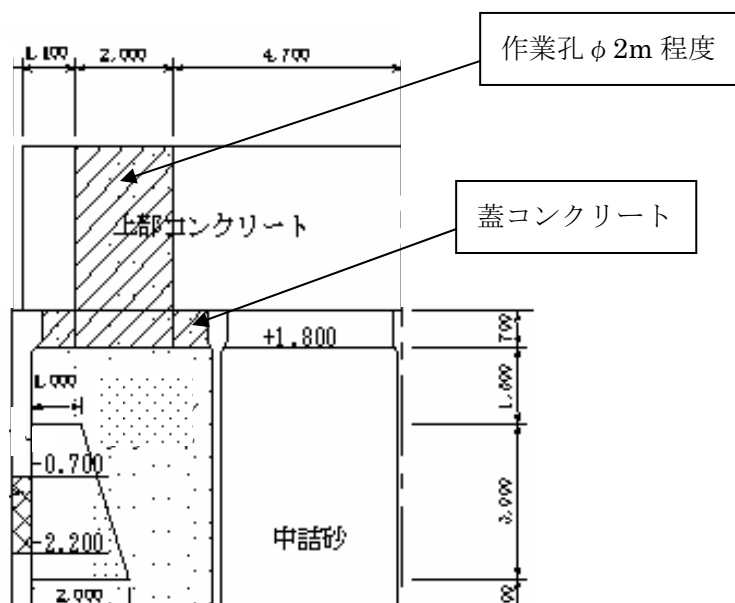


図-5.2.23 蓋コンクリート状況図

2) 蓋コンクリート処理工法

蓋コンクリート処理工法は以下の方法に大別される。

- ・ 蓋コンクリートを撤去する
- ・ 蓋コンクリートの落下を防止する

i 蓋コンクリート撤去工法

蓋コンクリートの撤去は上部工開口部の蓋コンクリート撤去と、開口部以外の蓋コンクリートの撤去に分類される。

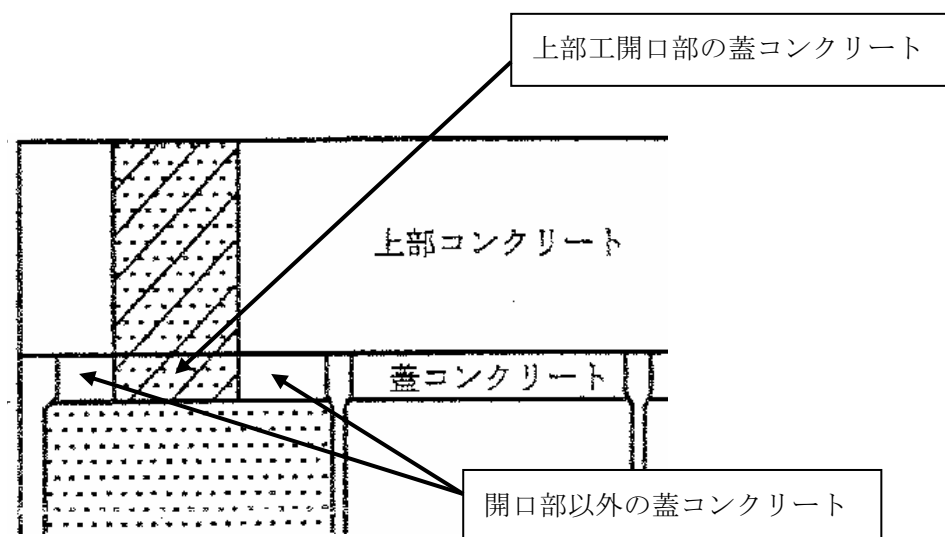


図-5.2.24 蓋コンクリート撤去工法

イ) 開口部の蓋コンクリート撤去(大型ブレイカーによる)

上部工開口部下の蓋コンクリートを大型ブレイカーで直接破碎する。破碎の衝撃が周囲の側壁や隔壁に影響があると考えられる場合は、静的破碎材の併用で破碎を行う場合もある。



写真-5.2.5 蓋コンクリート撤去

ロ) 開口部の蓋コンクリート撤去(上部コンクリートとの一体化による)

図-5.2.25 の例は、上部工から蓋コンクリートに貫通するアンカーを設置して、周囲をワイヤーソーで切断して上部工と蓋コンクリートを一体化して吊り上げ撤去する方法である。(前出：② ワイヤーソーによる切断工法 5 上部工ブロック撤去 参照)

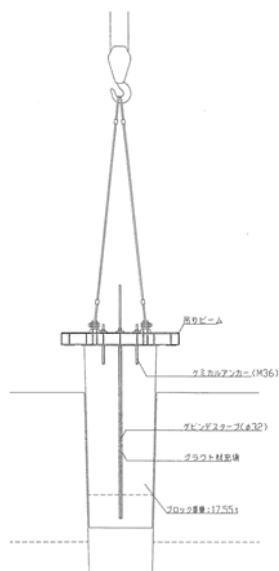


図-5.2.25 上部工・蓋コンクリート一体化撤去要領図

ハ) 開口部以外の蓋コンクリートの撤去

残った周囲の蓋コンクリートは、コンクリートブレーカーを用いて人力でハツリ撤去する

この作業は上部工天端から吊り足場を取付け、人力で行うのであるが、作業の安全性や落下したガラ撤去作業に問題がある。隔室内の作業性や蓋コンクリートの状況等を十分に検討して工法を選択することが肝要である。

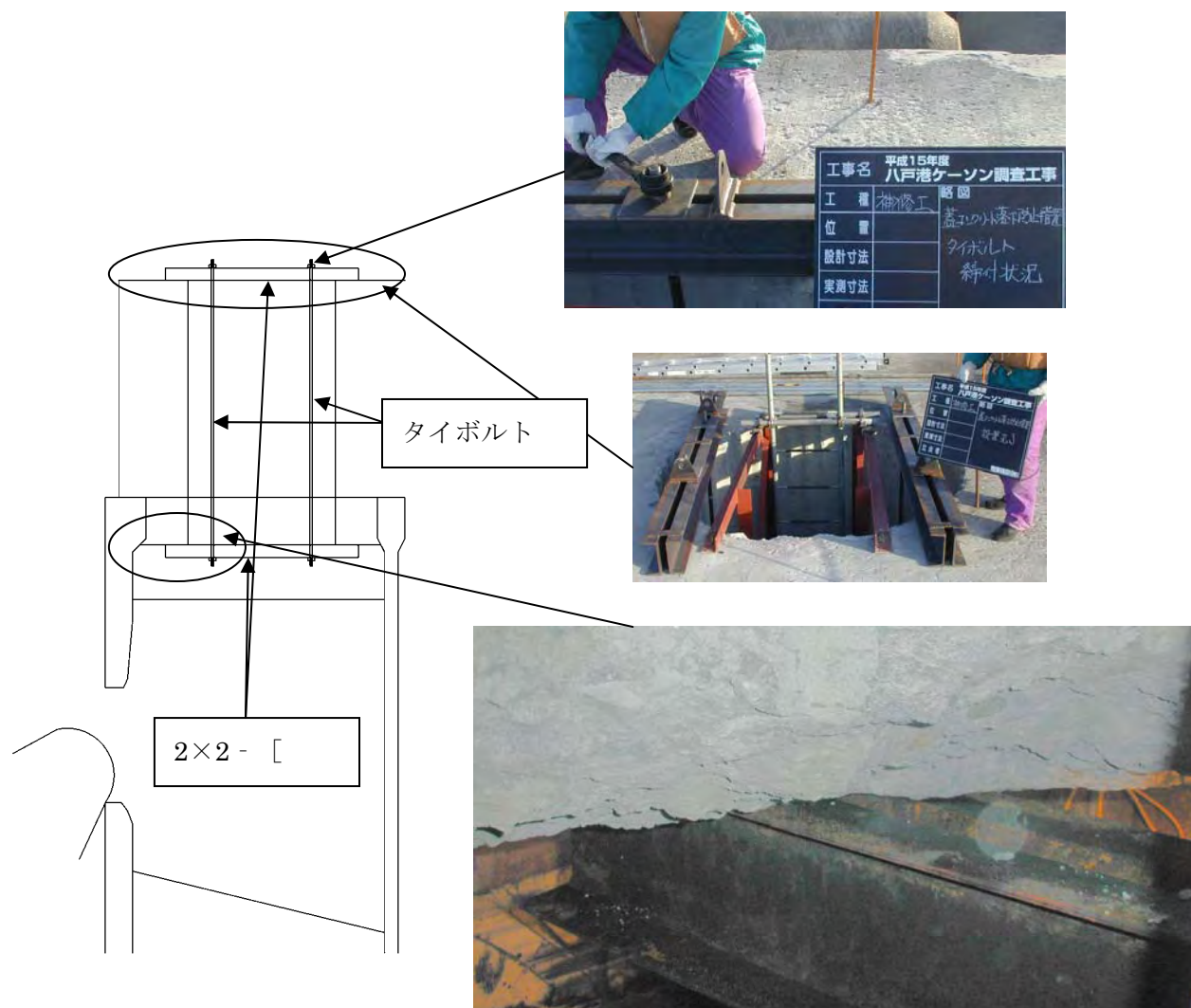
ii 開口部以外の蓋コンクリート落下防止工法

開口部以外の蓋コンクリートを撤去せずに残置した状態で、隔室内での作業を安全に行なえるように処置する方法を、実施例をもとに以下に示す。

蓋コンクリートを残置することで、コンクリートガラ処理数量の軽減および、埋め戻し材の軽減を図ることができる。

イ)吊り支保工による落下防止工法

吊り支保工の設置には足場が必要であるため、つり足場を取り付けて行う。



図ー5.2.26 吊り支保工による落下防止工法 実施例

ロ) ワイヤロープによる落下防止工法

蓋コンクリートが落下しないように、隔室の四隅に孔を明け、ワイヤロープを大回しして保持する。

ワイヤロープは隅の孔から通し、中央部の孔から先端にフックを付けた棒で取り込んで緊結する。

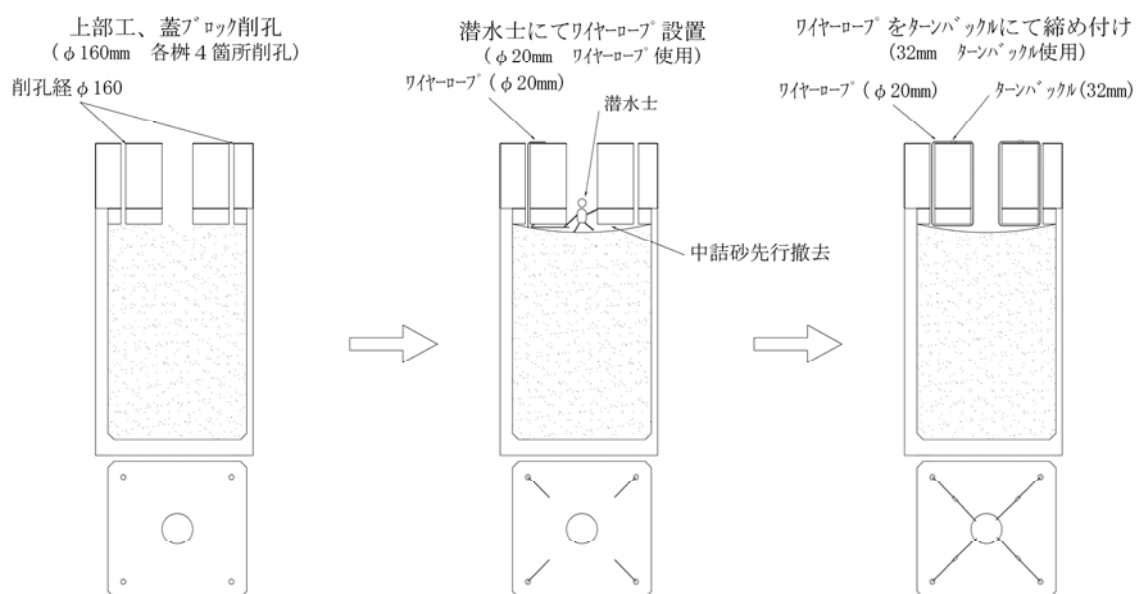


図-5.2.27 ワイヤロープによる落下防止工法

ハ) アンカーによる落下防止工法

蓋コンクリートをアンカーにより、上部コンクリートと一体化して保持する。

図-5.2.28 に蓋コンクリート落下防止用アンカーとして、削孔(φ65mm)にゲビスタープ(φ32mm)を挿入し、グラウト材を注入した場合を示す。

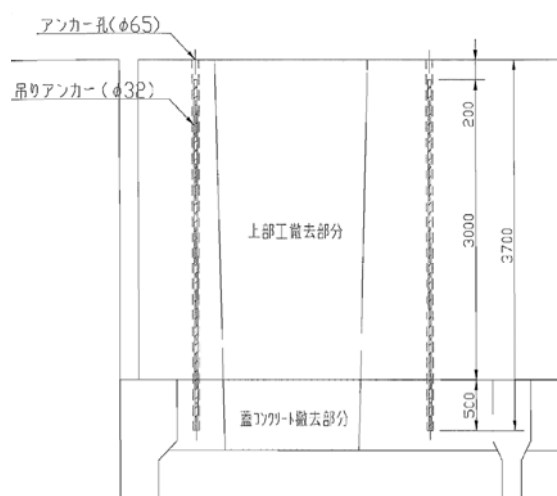


図-5.2.28 アンカーによる落下防止用工設置例

5.3 補強工法(既設ケーソンに対する補強)

5.3.1 一般

既設のケーソン式防波堤において、同一施設区間内で消波ブロックの衝突による損傷が多く発生していたり、今後の損傷が予測される場合、ケーソン側壁を消波ブロックの衝突による損傷から未然に防ぐための補強について検討を行う。

5.3.2 補強対策調査

補強対策調査は、既設のケーソン式防波堤の補強工法の選定および補強設計を行うために実施する。

- (1) 補強対策調査は、補強工法選定および補強設計を行うため、同一施設区間内における過去の補強工事あるいは他の施設での補強の実施状況やその結果を調査して工法選定の参考にするのがよい。
- (2) 新しい考え方に基づいた補強工法を検討する場合には、設計および施工法に関する実験等の調査を行うのがよい。

5.3.3 補強工法の選定

消波ブロックの衝突に対する既設ケーソン前壁の補強工法は、海側から行う増厚工法を標準とする。

- (1) 増厚工法で所定の性能が得られない場合の対応

既設ケーソンの消波ブロック衝突に対する補強は、既設部の前面に補強(防護)の為の壁体を構築して増厚し、その耐力によりケーソン本体前壁の破壊を防止する増厚工法を基本的な考え方とする。消波ブロックの衝突力が大きく、増厚工法による補強では所定の性能が得られない場合は、隔室内の中詰砂を抜き出してコンクリートに置換える中詰コンクリート工法により補強する。その際、中詰の重量が増加するため底版の抜け出しや基礎の支持力等に対する検討が必要となる。

- (2) 補強範囲の設定

補強する範囲は、これまでの被災事例や補強コストを考慮して、なるべく効果的な範囲の補強を行うこととする。具体的には、大波浪による移動・動揺に伴う衝突が起これやすい消波ブロックの上層2層分、静水面以下のブロック1層分、およびブロックの沈下により上層のブロックがケーソン側壁に接触する場合などの衝突パターンを想定して決定する必要がある。一般に、上記の考え方をもとにすると、補強の範囲は少なくともケーソン天端から下方5m程度は必要と考えられる。また、参考となるケーソンの穴あき損傷記録がある場合には、その結果も考慮に入れるべきである。また、参考となるケーソンの穴あき損傷記録がある場合には、その結果も考慮に入れるべきである。

- (3) 隔室側からの施工の問題点

隔室側からの補強工法は、上部工をほぼ全面撤去しなければならない。また、施工の

ために隔室内の中詰砂や残留水を撤去することによりケーソン重量が不足する危険性、隣接する他の隔室から隔壁にかかる荷重の問題などがある。さらに、越波によって函内へ流入する海水の問題もあり、施工の難易度や危険性が高いと考えられる。よって、補強は前述の如く、海側から既設の消波ブロックを撤去して施工をおこなうことを基本とする。

(4) 海側からの施工の留意点

海側からの施工にも以下のような問題がある。まず第一に、一時的に前面の消波ブロックを撤去する必要が生ずることである。このことは、長期間の波浪による沈下やブロック同士のかみ合い向上効果で損傷を与えにくい状態になっている可能性の高い状態を、撤去・再据付によって初期の状態に戻してしまうという問題を発生させることになる。また、その他の問題としては、施工中の波浪対策という防波堤という性質上避けられない問題がある。

(5) 壁厚増加による剛性増加の問題

増厚補強を検討する際に留意しなければならないのは、対象となる外力が静荷重でなく衝突力であるという点である。「第4編」に詳しく述べられているが、側壁の厚さを増加すると壁の剛性が上がり、その結果としてかえって衝突力が増えることになる。よって、既設の側壁を補強するための増厚壁にはじん性の高い構造が望まれる。じん性に配慮した構造としては、SRC構造、コンクリート強度の増加、繊維補強コンクリート、鋼・コンクリートのハイブリッド構造などがあるが、ハイブリッド構造は海水環境における腐食の問題がある。また、既設の前壁と増厚部は一体化しないほうが剛性が低くなるため、既設の前壁の前面にプレキャストのコンクリート版を一体化しない方法で取付けることが有効と考えられる。さらに、今後の課題として衝突力を低減させる緩衝材を用いることなども検討する必要がある。

(6) 補強工法の実施

これらのことから、損傷を受けていない既設ケーソンの前壁に対する予防的な観点からの補強工法実施は、同一施設区間内の損傷頻度が相当程度に高いなどの場合を除くと、最終的な選択肢であろうと考えられる。

(7) 補強工法の設計

補強工法の設計に当たっては、「5.4.3 ケーソン前壁に限定した予防工法」に準ずるものとする。

(8) 実施例

補強工法の実施例としては、例えば

- ①補修工法としての中詰コンクリート工法(実施例多数あり)
- ②予防工法としての中詰コンクリート工法(日高港)
- ③予防工法としての「ゴム・鉄板複合材(ラバースチール)」による壁面防護材
- ④予防工法としての壁厚増大、押し抜きせん断対策鉄筋(細島港)

などがある。

③の「ゴム・鉄板複合材(ラバースチール)」による壁面防護は、緩衝効果についての調査が実施されておらず、またコストの面でも高価であり、補強工法への採用については別途詳細な検討が必要である。

④の細島港における「壁厚増大、押し抜きせん断対策鉄筋」による新規ケーソンに対する予防工法は、壁厚増大による壁面の剛性が大きくなることによる衝突力の増加に対する検討を行っておらず、本マニュアルによる設計方法に対応していない点に注意が必要である。

5. 4. 予防工法(新設ケーソンに対する予防)

5.4.1 一般

新設のケーソン式防波堤において消波ブロックの衝突による損傷が予測される場合、ケーソン側壁を消波ブロックの衝突による損傷から未然に防ぐ予防工法を検討する。予防工法には巨視的な予防対策工法とケーソン前壁に限定した予防工法がある。

(1) 消波ブロック被覆堤のケーソン損傷事例が同一施工区間内に生じていたり、損傷事例と類似した条件においては予防工法を検討する。

5.4.2 全体的な予防対策工法

全体的な予防対策工法にはケーソン穴あき現象の発生要因を取り除く対策工法とケーソン前壁の補強を対象とした工法があり、第4編4.2を参考に、基本設計や施工段階で検討する。

(1) 全体的な予防対策工法

本マニュアルにおいては、ケーソン前壁を対象とした部材補強による予防対策を主に検討しているが、第4編4.2の図-4.2.1に示されたケーソン損傷現象の要因を取り除く予防対策を施すことが有効になることがあるので、下記に示す予防対策工法を併せて検討することが望ましい。なお③、⑤、⑥は今後の技術開発を要するものである。

- ① 洗掘防止マットや帆布を配置する基礎マウンドおよび消波ブロックの沈下対策
- ② 消波ブロック被覆を基礎捨石の沈下が落ち着いた段階で施工し、施工時の消波ブロックの沈下量を少なくする。
- ③ 消波ブロック重量を重くしたり、噛み合せの良いブロック形状を開発して消波ブロックを安定させ、消波ブロックの移動を少なくする。
- ④ 波力によりケーソンが滑動した後は、消波ブロックが動いてケーソン前壁が破損することがあるので、ケーソン本体を安定化する。
- ⑤ 消波ブロックの動きが少なくなるようにブロックの積み方(整積み等)を工夫する。
- ⑥ 消波ブロックの衝突部分を柔らかい材料や構造にして衝突力を低減させる。
- ⑦ 消波ブロックが安定しない条件では消波ブロックを用いない消波構造形式を検討する。

5.4.3 ケーソン前壁を対象とした予防工法

ケーソン前壁を対象とした予防工法は、ケーソン前壁部材の強化や保護を行うことにより消波ブロックの衝突による損傷を防ぐ工法であり、第4編4.3, 4.4, 4.5, 4.6を参考に、新設ケーソンの部材設計段階で検討する。

- (1) 消波ブロック被覆堤のケーソン損傷事例が同一施工区間に数多く生じていたり、損傷事例と類似した条件においてはケーソン前壁を対象とした予防工法を十分に検討する。特に、消波工不連続部が長期間にわたって同一箇所に存続したり、消波ブロックが動きやすい構造においてはケーソン前壁部材を強化する。
- (2) 新設ケーソンの消波ブロック衝突力に対する予防工法の検討フローを図-5.4.1に示す。ケーソン前壁の損傷現象は局部破壊によるものであり、局部破壊による有効高の減少が部材耐力を低下させるので、かぶりに余裕をもたせることも有効な対策となることがある。予防工法の設計例を添付資料5に示す。

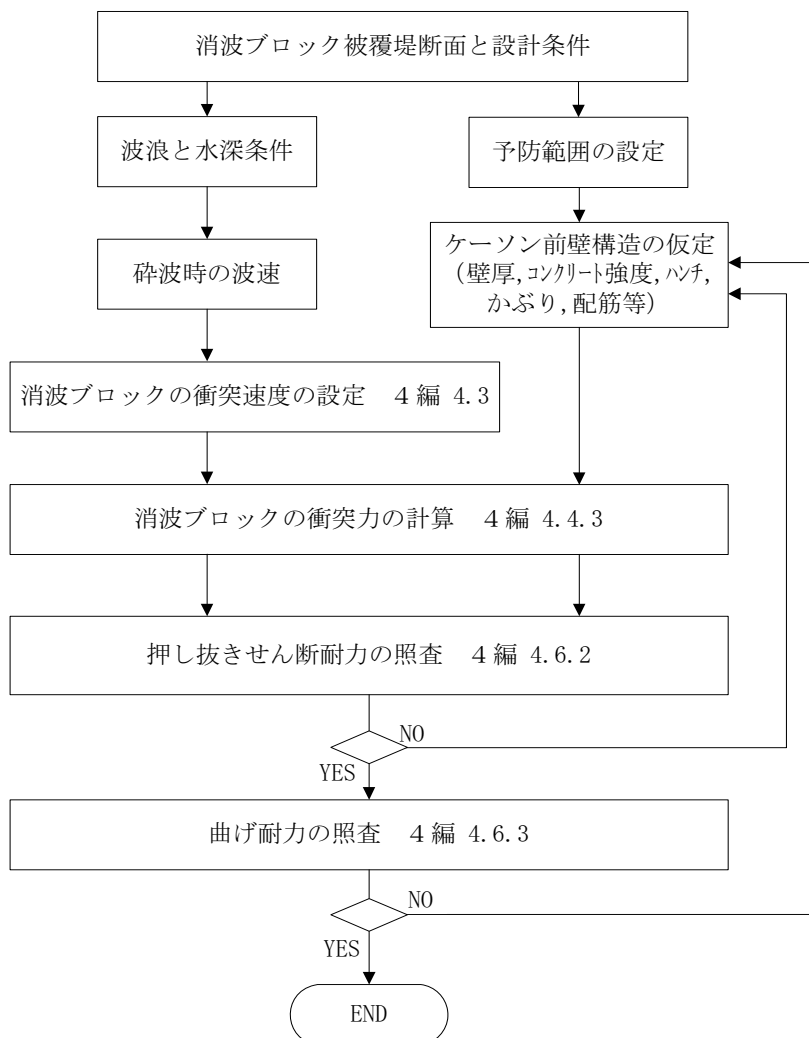


図-5.4.1 予防工法の検討フロー

第6編 今後の残された課題

本編では、本マニュアルにより防波堤ケーソンの補修・補強・予防等を実施するにおいて、いまだ問題点として今後の検討課題となっている項目を抽出するとともに、その現状について具体的に記述する。

6.1 損傷の発見

消波ブロック被覆堤におけるケーソン前壁のひび割れ、剥離、穴あき損傷を点検により確認することは非常に困難である。

現在実用レベルで実施されている点検手法を以下に列記する。

ひび割れ、剥離：

- ①防波堤上，船上からの目視点検。
- ②水中VTRカメラ等を調査対象側壁前面に防波堤上から挿入し撮影する。

穴あき損傷：

- ①防波堤上，船上からの目視点検。
- ②水中VTRカメラ等を調査対象側壁前面に防波堤上から挿入し撮影する。
- ③本マニュアル表-2.5.1 ケーソン損傷の確認に関する経験的知見一覧表を参考に穴あき損傷を受けている可能性の高い箇所を絞り込む。
- ④上記①②③の結果をもとに，上部コンクリートにケーソン隔室まで達する調査孔を削孔し，突き棒やCCDカメラ等により中詰砂の下がり具合を確認。

ひび割れや剥離の補修については、穴あき等のステップ3以上の損傷に伴ったひび割れや剥離の場合と、ひび割れた剥離のみの場合とでは補修の実施に対する判断が異なってくるであろう。また、ひび割れや剥離のみの状態は海生物等の付着により上記のVTR等による点検では発見が難しいといえる。

穴あき損傷については、特にケーソン下部における穴あき損傷の発見が難しく、中詰砂が下部から大量に抜け出すことで重量不足にもなりやすい。滑動や転倒などの被災を受けることのないようになるべく早期の発見が重要である。それにより補修コストの低減をはかることにもなる。

以上のことから、特にケーソン下部の穴あき損傷の早期発見が重要な課題と考えられる。具体的には、本マニュアル巻末の添付資料3 点検および評価の実施例と非破壊検査技術に示す検査技術の改善改良、あるいは新しい検査技術の開発が望まれる。

6.2 増厚工法による補強工法

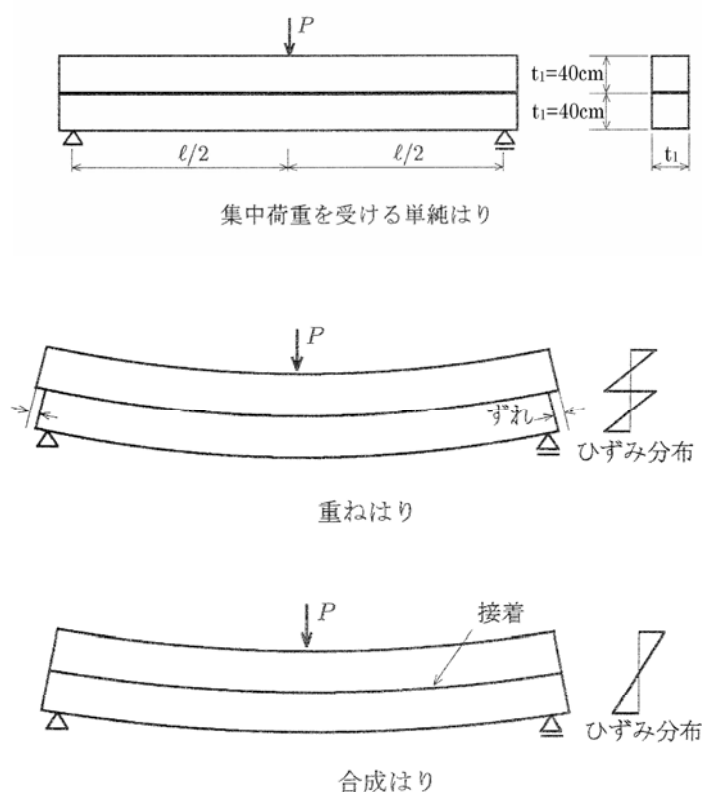
(1) 補強壁の剛性と押し抜きせん断対策

ケーソン側壁にかかる消波ブロック衝突力は、4.4 消波ブロックによる衝突力に関する記述でも明らかのように、壁の剛性が上がると衝突力もそれにつれて大きくなるという特性をもっている。そのため、既設ケーソンの前面に施す補強壁は、できるだけ剛性が上

がらないようにするのが得策である。また、消波ブロック衝突による側壁の損傷は、押し抜きせん断破壊が卓越する現象であり、曲げ破壊は押し抜きせん断耐力を低減させる副次的な影響をもたらすことが実験等で確認されている。よって、打継面の一体化による剛性向上はいたずらに衝突力を大きくする補強となり、得策とはいえない。よって、増厚工法による補強工法は、押し抜きせん断補強を主とし、副次的に曲げ補強効果を得るような工法が望ましいといえる。

(2) 完全合成構造と重ね構造

ここで、ケーソン前壁の厚さを $t_1=40\text{cm}$ 、補強壁の厚さ $t_1=40\text{cm}$ とし、補強構造を完全一体化した合成構造の場合と、部材を重ねただけの重ね構造の2通りを設定する。



どちらも単純はりとして中央部に集中荷重 P を载荷した場合のたわみ量 δ を比較すると、

$$\text{重ね構造の場合： } \delta_p = \frac{P\ell^3}{8E(t_1 = 40\text{cm})^4}$$

$$\text{合成構造の場合： } \delta_c = \frac{P\ell^3}{32E(t_1 = 40\text{cm})^4}$$

となり、重ね構造は合成構造に比べ、たわみ量が4倍になることがわかる。

さらに、重ね構造と合成構造のたわみ量を等しいとすると、合成構造の部材厚 $2t_1$ は、

$$32E t_1^4 = 8E(0.4\text{m})^4 \text{より}$$

$$2t_1 = 2 \times 0.28\text{m} = 56\text{cm} \text{となる.}$$

以上の結果、40cmのケーソン前壁の前面に、40cmの補強壁を取付けた場合、上記のようにどちらも単純ばりとして考えると、衝突力算出用の換算厚さ T' を56cmとすれば良いことがわかる。また、押し抜きせん断力および曲げモーメントを算出するには、既設版と補強版にかかる衝突力の配分を仮に1/2ずつ分担すると考えれば計算が可能になる。実際の設計時には、単純ばりでなく3辺固定版の上に版が乗った状態を有限要素法等によりシミュレートして、衝突力算出用の換算厚さ T' と、衝突力の仮想分担比を算定することにより、より精度の高い設計が可能になると考えられる。

(3) 増厚工法の施工

増厚工法によるケーソン側壁(前壁)の補強として、前面にコンクリート版を増厚施工する場合、場所打ちコンクリートによる方法とプレキャスト版による方法が考えられる。

一般に、施工時における波浪条件等が厳しく場所打ちコンクリートの施工が難しいと考えられる場合はプレキャストコンクリートを用いることにより型枠工、生コンクリート打設時の波浪による危険等を回避し、工期短縮を図るのが得策である。また、生コンクリート等の資材の調達や施工時の波浪条件等に問題がない場合は、コスト面を考慮して場所打ちコンクリートによる方法を選択する場合もある。

どちらの方法においても既設の側壁(前壁)との打継目の処理を、完全一体化した合成構造とせずに、増厚部を一体化させずに重ね構造とすることを考えると、

- ① 場所打ちコンクリートによる方法では、一体化しないように、打継目にはく離材等の塗布による縁切り処置を施してコンクリートを打設する。
- ② プレキャストコンクリートを用いる場合は、接合面のプレキャストコンクリート側は目荒し処理を、既設側にははく離材等を塗布する。さらにプレキャスト版の周囲にゴムパッキンを取付け、接合面の空隙に充てんモルタルを注入する。

という方法が考えられる。

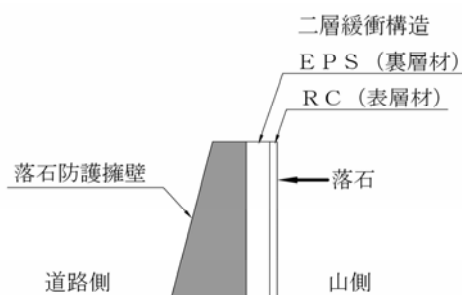
ここで問題となるのは、増厚部のコンクリート版をどのように固定するかという問題である。通常は後付けアンカーによる施工が一般的であるが、1スパン幅で数十トン、1函幅で100トンクラスの重量と消波ブロックの衝突力に対し、アンカーが長期間耐えられるかどうかは大きな問題である。また、他の取付け方法についても十分検討するべきであると考えられる。

(4) 緩衝構造による衝撃力の緩和

ケーソン前壁に伝達される衝撃力を緩和し、かつ分散させる目的で、緩衝材を用いることが考えられる。港湾に用いられている緩衝材としては防舷材として良く用いられている「ゴム」がある。本マニュアル3.4に予防対策の実施例として「ゴム・鉄板複合材」による事例が掲載されているが、コストの面で相当高価な材料であり、大きな面積の防

護に用いるには問題が多い。また、これまで衝突力の低減に対する力学的な検証も十分に行なわれているとは言いがたい。

その他の緩衝材としては、山岳道路等の落石防護擁壁の耐衝撃性向上策として、コンクリートと発泡スチロール(以下、EPS)による2重緩衝構造が検討されている。その構造は、外側の落石が衝突する面をRC版とし、その裏側にEPS緩衝材を取付けた2層緩衝構造の版を、RC製の落石防護擁壁の前面に取り付けるもの



である。この工法は、実大規模での衝突実験が実施されており、衝突力の軽減効果が確認されているとともに、設計法も提示されているものである。この方法は、緩衝材としてのEPSのコストも m^3 あたり2万円弱と十分実用的な範疇にあり、施工的にもさしたる問題はないと思われる。問題点としては、現状の設計法が実験結果をもとにした係数を用いており、防波堤ケーソン側壁の防護工に用いる大きさに対する実験が行なわれていないため、衝突力の算定ができないことである。しかし、その問題を解決すれば設計が可能となり、採用することによるメリットは大きいと考えられる。以下に2層緩衝構造を防波堤ケーソン側壁の防護工に用いる場合の現時点における問題点を列記する。

- ① 衝突力の算定にHertzの接触理論に基づく振動便覧式を用いる場合の、2層緩衝構造(表層+裏層EPS)の剛性特性を考慮した見掛けのラーメの定数 λ を実規模衝突実験の結果から導く必要がある。実験結果例では $\lambda = 2,000\text{KN}/\text{m}^2$ (RC版厚10cm, EPS版厚25cm), $6,000\text{KN}/\text{m}^2$ (RC版厚15cm, EPS版厚50cm)が得られている。
- ② 落石防護擁壁と異なり、防波堤ケーソン前面には消波ブロックの衝突力以外に、波圧力、消波ブロックがケーソンに寄りかかる水平荷重などがかかる。これらの外力に対してEPSの許容圧縮力(弾性領域)を超えないことが求められ、またRC版もそれらの外力に対する押し抜きせん断のみならず曲げに対しても安全である必要がある。ちなみに最も強度の大きいEPSは、圧縮弾性領域での許容圧縮応力は $200\text{KN}/\text{m}^2$ である。
- ③ EPSを港湾施設に用いるに際し、上記の点以外では以下のことが考えられる。

- ・水中部となる部分により発生する浮力に対し安全なように配慮する必要がある。
- ・一般的にはEPSは紫外線で表面が劣化し、大部分の油に溶ける。その為、よく使われる養殖場の浮き用途(添付写真)ではプラスチックシートに入れて保護して



使っている。今回の場合は、小口の狭い所だけが問題になるため、そこにEPSに影響を及ぼさない専用の塗料で塗装するか、またはプラスチックシートで包むことが考えられる。もっとも海上の油分は非常に薄いため、そこまでの対策が必要かどうかは今後の課題と考えられる。

6.3 予防工法の設計法

本マニュアルの第4編で示したように、ケーソン前壁は壁厚や強度を増加させると剛性が上がるため、衝突力も大きくなるという特性を持つ。このことは、添付資料5 予防工法設計例の衝突力の算定結果にも表れている。このような衝突現象の特性を踏まえ、壁面の強度を増加させる工法以外にも、壁面のじん性の増加や消波ブロックの衝突力の低減といった多様な視点での予防工法の開発を進めていく必要がある。

また、衝突現象は動的な荷重が壁面に作用し、曲げ破壊や押し抜きせん断破壊等が複合的に発生する複雑な現象である。これらを踏まえ、本マニュアルでは、第4編ケーソン損傷現象の解説に示すように、衝突現象の特性による衝突力低減係数 λ を設定している。

しかし、衝突現象の特性による衝突力低減係数 λ の値は、防大実験データのみを根拠として設定されたものであり、十分な実験的検証が行われているとは言い切れない。また、予防工法についても実際に設計・施工された実績はまだ無い。

そのため、さらなる実験データの蓄積と予防工法の実施により、その効果の検証を進めていく必要がある。

6.4 全体的な予防工法

本マニュアルにおいては、主としてケーソン前壁を対象とした部材補強による予防対策を検討しているが、第4編4.2の図-4.2.1に示されたケーソン損傷現象の要因を取り除く予防対策を開発することも必要と考えられる。


現時点で、今後の技術開発が望まれる全体的な予防工法として次のような工法が挙げられる。

- ① 消波ブロック重量を重くしたり、噛み合せの良いブロック形状を開発して消波ブロックを安定させ、消波ブロックの移動を少なくする。
- ② 消波ブロックの動きが少なくなるような施工性の良いブロックの積み方(整積み等)を開発する。
- ③ 消波ブロックの衝突部分を柔らかい材料や構造にして衝突力を低減させる。


添付資料 1

損傷段階(Step1～3)・損傷経緯(原因)別損傷事例
(採用した補修方法の一覧表・補修状況概要図)

表一資.1.1 損傷段階 (Step1~3) ・ 損傷経緯 (原因) 別損傷事例 (1/3)

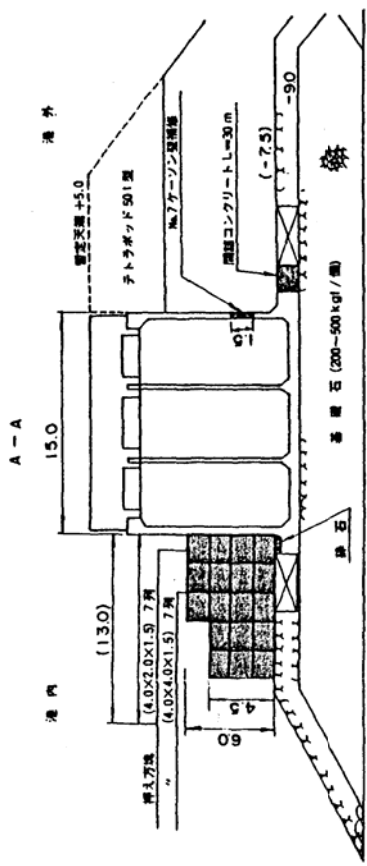
損傷段階	モデル図	危険度	損傷の経緯		港名	地区名 施設名	施設 区分	補修 時期	補修方法			図面 番号	
			消波ブロック	波浪による船衝突 の移動					中詰コンクリート打設	中詰に薬注 固化	側壁に水中 エポキシ系 接着剤を注 入		
Step 1		LEVEL 1	○		八戸港	河原木 東防波堤	既設	-	○			①	
			○		久慈港	港口地区防 波堤(北堤)		H14.9-12		○	○		②
			○	○	八戸港	中央第一防 波堤No.38 39号函		H5.2-3			○	○	

表一資.1.1 損傷段階 (Step1~3) ・ 損傷経緯 (原因) 別損傷事例 (2/3)

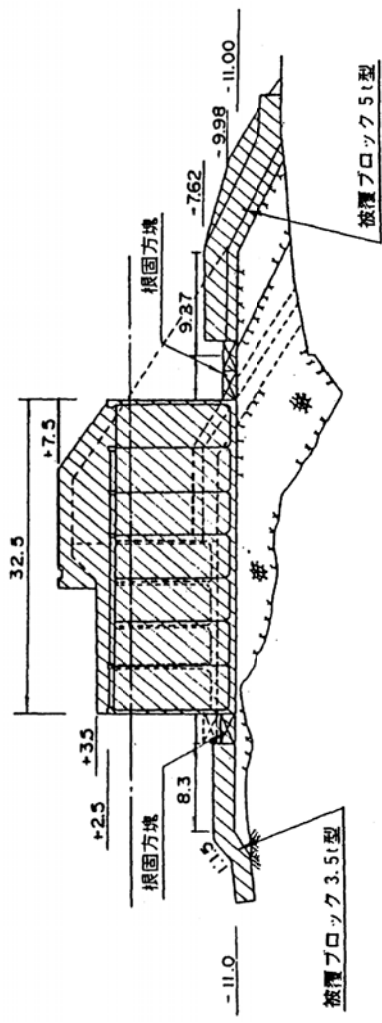
損傷 段階	モデル図	危険 度	損傷の経緯		港名	地区名 施設名	施設 区分	補修 時期	ハリ	ケレン	鉄筋 補強	鋼板 取付 (型枠)	グラウト 充填	水中コンクリート 打設	ポリマーセメントモルタル	水中硬化型エポキシ樹脂材	エポキシ樹脂塗布	水中用 接着剤	他の構 造形式 で再構 築	図面 番号				
			消波ブロックによる波浪の移動	船舶衝突 不明																				
Step 2		LEVEL 2	○		秋田港	飯島地区防波 堤(北)	既設	H11.9													③			
			○		御前崎港	防波堤(東)		-															④	
				○	片泊港	防波堤		-																⑤
				○	小本港	小本浜地区沖 防波堤		-																工
				○	八戸港	中央第一防波 堤No.38,39号 函		H5.2- 3				○						○						工
				○	長崎漁港	南防波堤 No.51ケーソン		S62																工
				○	白島 国家石油備蓄 基地	北防波堤		S62.5 - S63													○			工
				○	久慈港	港口地区防波 堤(北堤)		H12.9 - 10														○		工
				○	広島港	広島 理立護岸スリ ットケーソン		H14.7					○											工

表一資.1.1 損傷段階 (Step1~3) ・ 損傷経緯 (原因) 別損傷事例 (3/3)

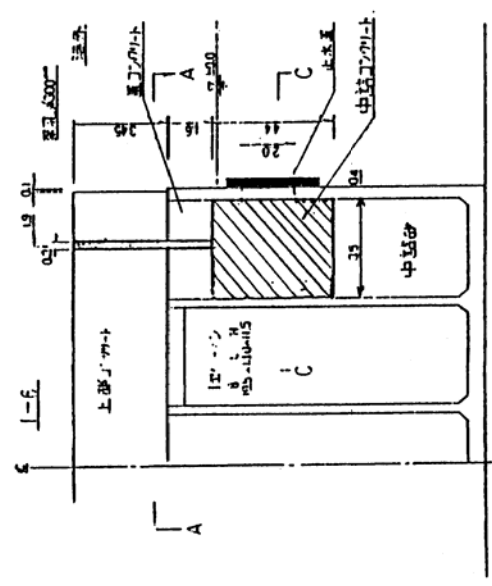
損傷段階	モデル図	危険度	損傷の経緯			施設区分	補修時期	補修方法									図面番号					
			消波ブロック	波浪によるケーソン移動	船舶衝突			不明	鋼板取付(型枠)	上部工削孔	上部工撤去	中詰コンクリート充填	中詰コンクリート(水中)	中詰コンクリート(高流動)	中詰コンクリート(袋詰)	側壁補強コンクリート		ケーソン上部全体の復旧(型枠工・コンクリート工)	中詰砂棄注固化	中詰グラウト		
Step 3	穴あき 中詰砂流出	LEVEL 3	○				H4.7-8	○											⑥			
			○				H6.7-8	○												⑦		
						○	H6.7-9	○													②⑥	
			○			○													○		⑧	
			○				H5					○									⑨	
			○				H9												○		⑩	
			○				H3.9-11														⑪	
			○				H4.1-2														⑫	
			○				H9.11															⑬
			○				H10.2-H11.4															⑭
			○				H10.4															⑮
			○				H12.5-7															⑯
			○				H14.7-8															⑰
			○				H14.9-12															⑱
																						⑳
																						㉑
																						㉒
																						㉓



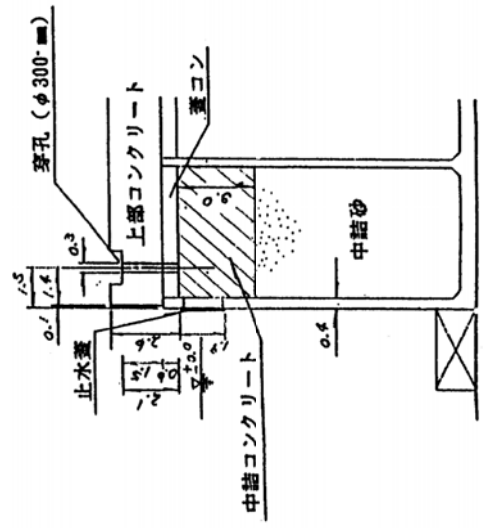
No.④ 御前崎港



No.⑤ 片泊港

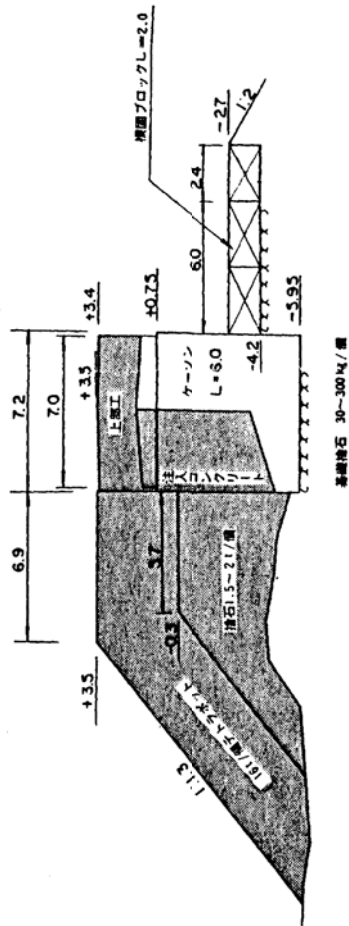


No.⑥ 酒田港

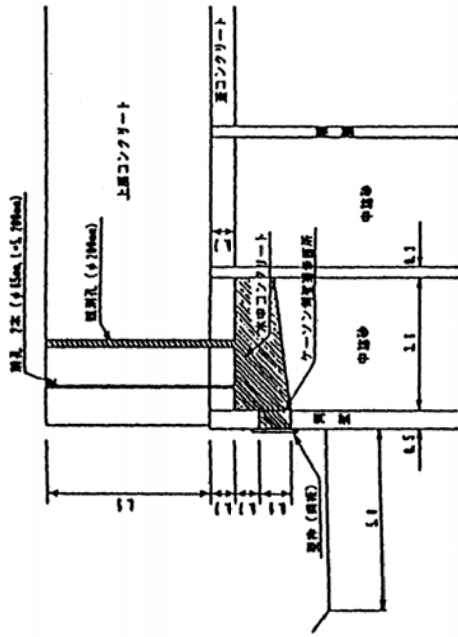


No.⑦ 酒田港

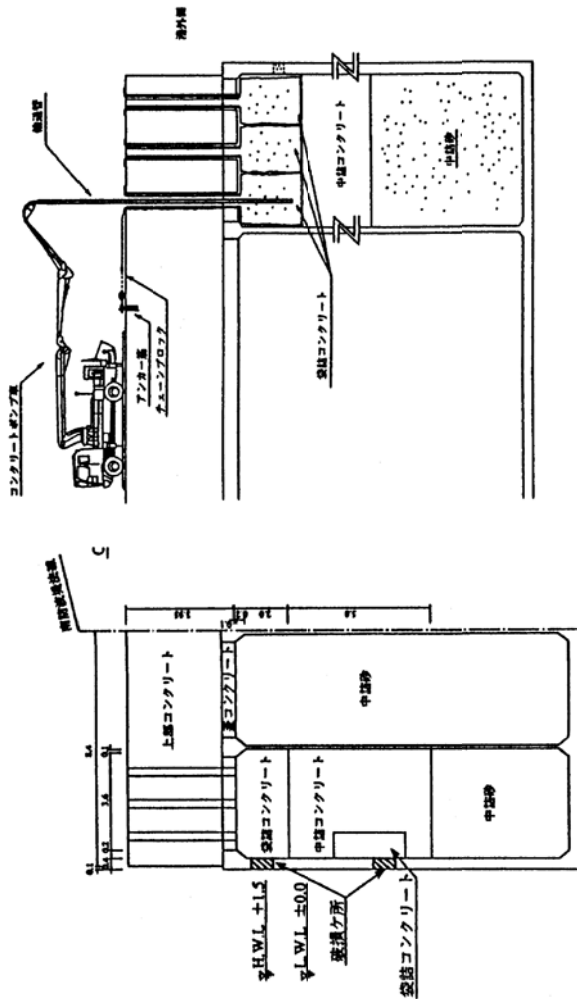
図一資.1.1 ケーソン前壁の損傷段階別(ひび割れ、鉄筋露出、穴あき、中詰砂流出)補修方法【実績一図面集】 (2/9)



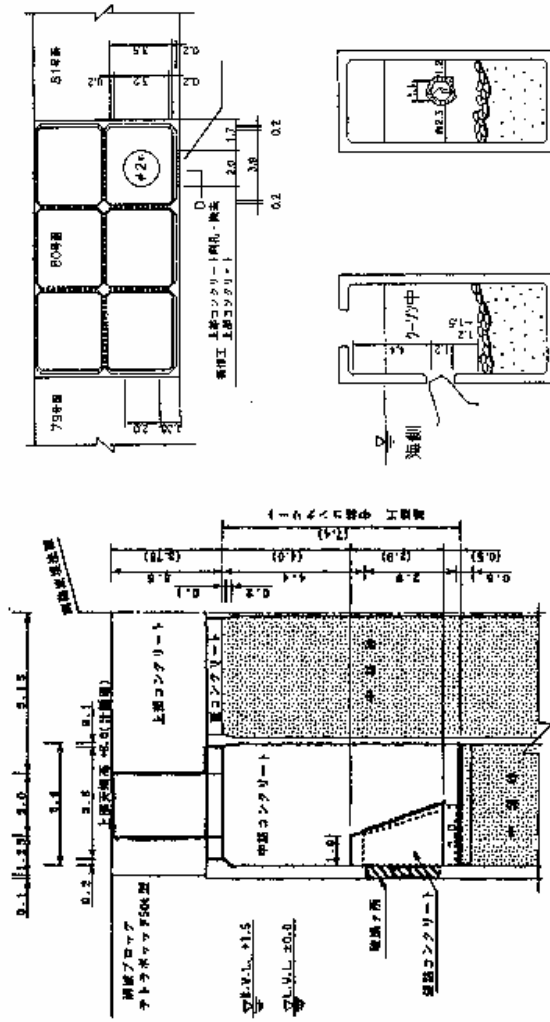
No.⑧ 岩内港



No.⑨ 室津港

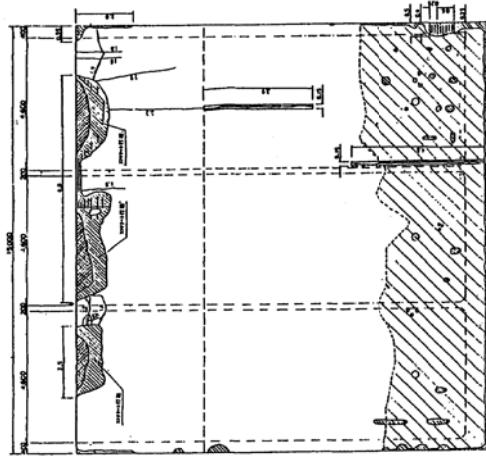


No.⑩ 鹿島港



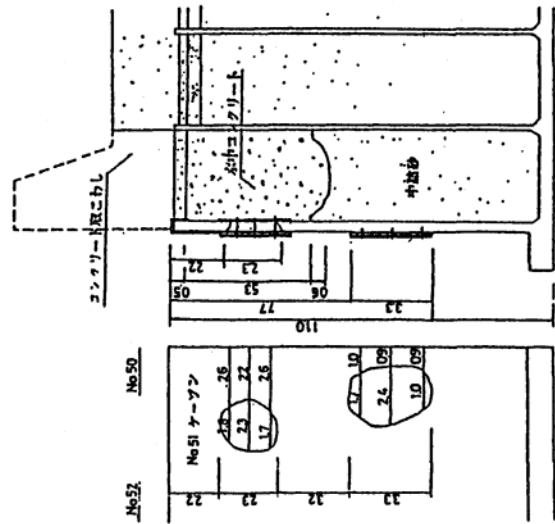
No.⑪ 鹿島港

図一資. 1.1 ケーソン前壁の損傷段階別(ひび割れ、鉄筋露出、穴あき、中詰砂流出)補修方法【実績一図面集】 (3/9)

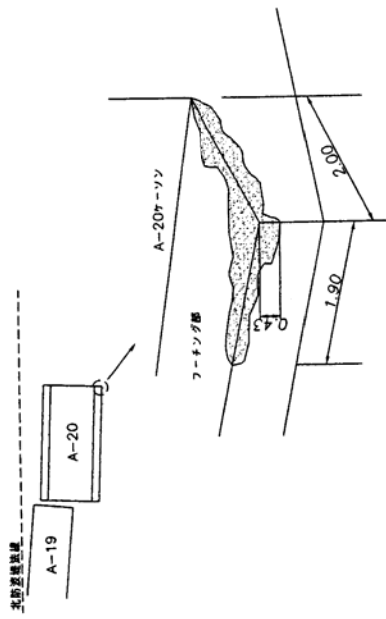


電装補修箇所(海中) 電装補修箇所(水中)
鉄筋露出部補修箇所(海中) 鉄筋露出部補修箇所(水中)

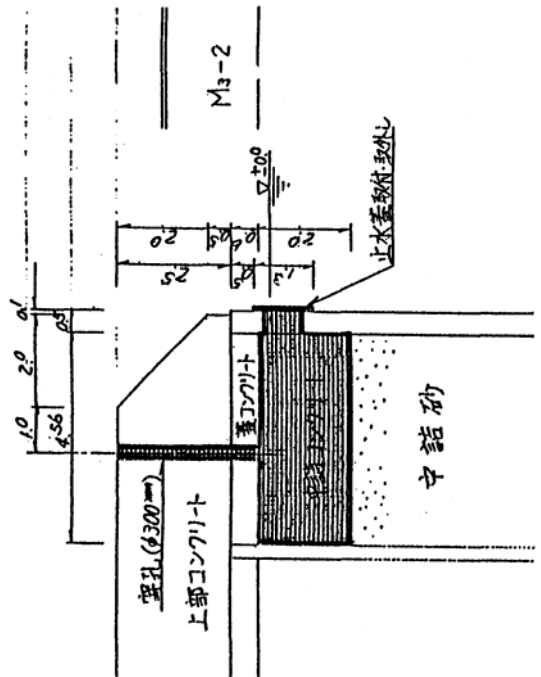
No. 23 八戸港



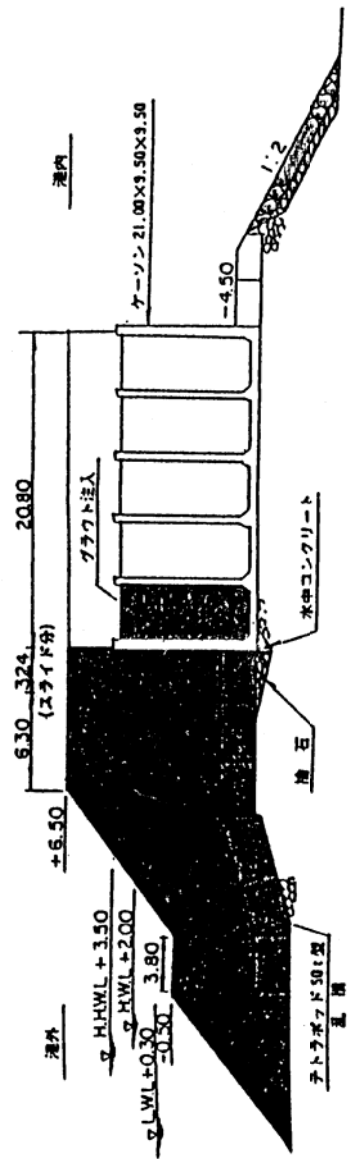
No. 24 長崎漁港



No. 25 白島国家石油備蓄基地

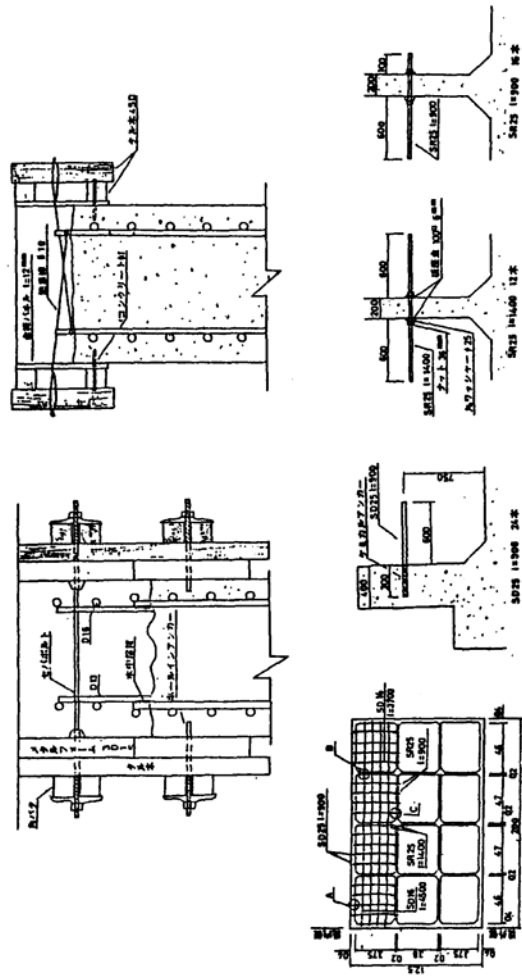


No. 26 酒田港

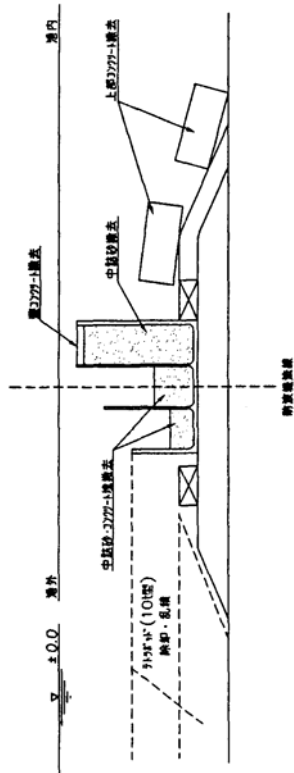


No. 27 新宮港

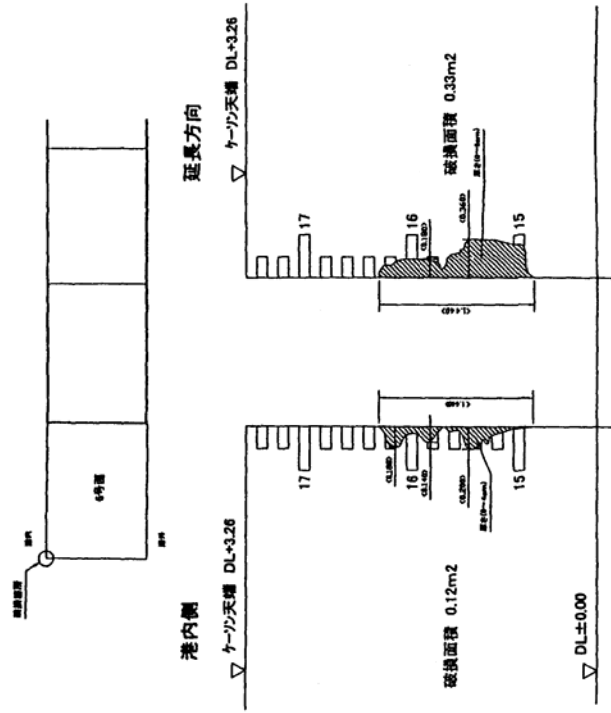
図一資.1.1 ケーソン前壁の損傷段階別(ひび割れ、鉄筋露出、穴あき、中詰砂流出)補修方法【実績一図面集】 (7/9)



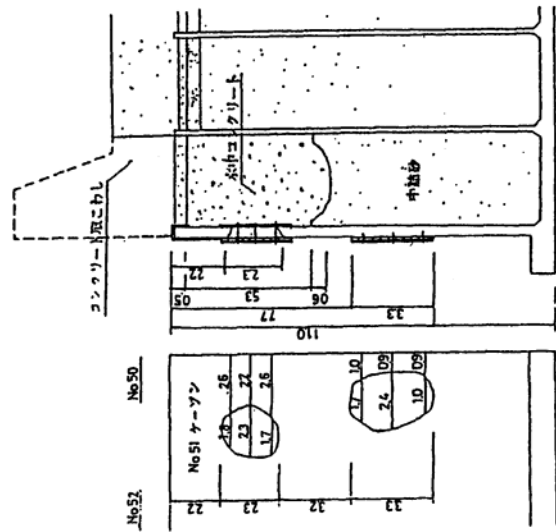
No. 29 長崎漁港



No. 28 金沢港



No. 30 長崎漁港



No. 31 久慈港

図一資. 1.1 ケーソン前壁の損傷段階別(ひび割れ、鉄筋露出、穴あき、中詰め砂流出)補修方法【実績一図面集】 (8/9)


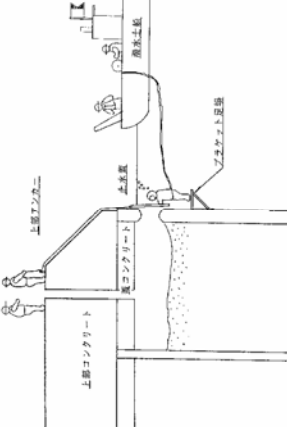
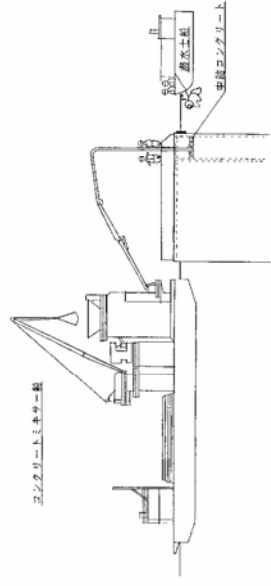
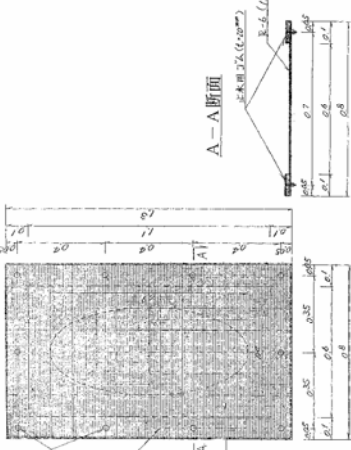
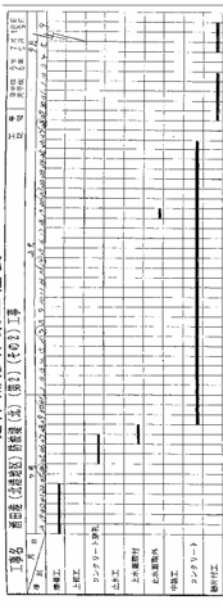
添付資料 2

補修工法の事例一覧表

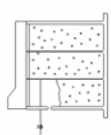
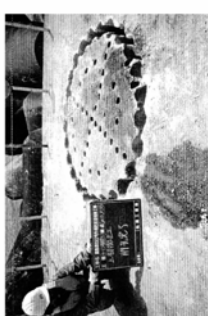
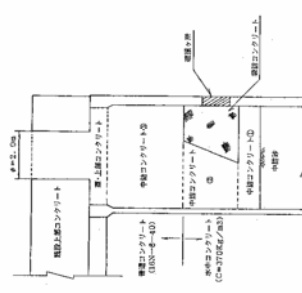
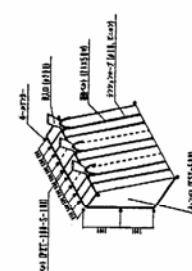
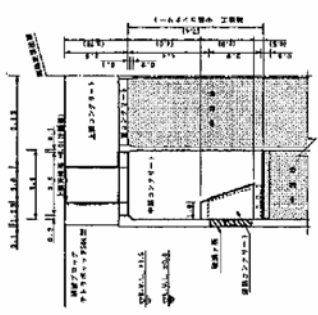
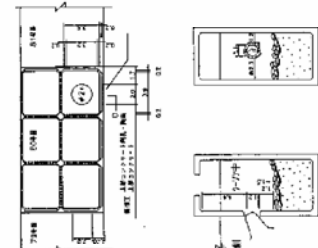
表一資 2.1 ケーソン前壁の損傷段階別 (STEP1~3) の補修事例 (1/5)

<p>八戸港中央第1防波堤ケーソン(NO.39.39号函) 補修時期:平成5年2月~3月</p> <p>施工方法の詳細</p>																																					
<p>損傷段階</p>	<p>Step 1</p> <p>ケーソンの前壁にひび割れが発生</p>																																				
<p>損傷イメージ図</p> <p>ひび割れ</p> <p>補修工法の概要</p> <p>気中部亀裂箇所 ・表面の清掃、シーリング後、エポキシ樹脂系接着剤を注入。</p> <p>水中部亀裂箇所 (ケーソン天端より4.5m以深) ・コンクリート表面を清掃後、ひび割れに沿って、水中硬化型エポキシ樹脂系塗布材をへらおよびフリーハンドで押しながら塗布する。</p> <p>主要施工数量 補修対象ケーソン:2函</p>	<p>概要</p> <p>本ケーソンは、異常波浪によりケーソンがマウンドから滑落し、亀裂、剥落、鉄筋露出等の損傷を受けたものである。施工は、補修に先立ち、ケーソンの浮上・曳航・仮置を行い、海上施工にて実施した。</p> <p>1. ケーソン仮置工</p> <p>ケーソン浮上 ・作業艇設置 ・水中ポンプ8in設置・排水</p> <p>ケーソン曳航 ・大回しワイヤ取付 ・曳船1,200Psと350Psにて曳航</p> <p>ケーソン仮置 ・仮置き場付近から自航式旋回起重機船(120t吊)にて仮置き位置まで移動 ・水中ポンプ8in、6台にて注水</p>																																				
<p>II. 気中部ひびわれ補修(天端より4.5mまで)</p> <p>1. 表面処理</p> <p>ひび割れに沿って幅5cm程度ワイヤーブラシにて粉塵・レイタンス等を除去。油脂類は、シンナーを含ませたウエスで除去。</p> <p>2. 取付けパイプ、シーリング</p> <p>ひび割れの上に25cm間隔で、取付けパイプを、シーリング材(ポリエステル樹脂系接着剤)により接着する。 つぎに、ひび割れに沿って幅3cm程度、厚さ2mm程度にへらを用いてシーリングする。</p> <p>(参考写真)</p>	<p>III. 水中部ひびわれ補修(天端から4.5m以深)</p> <p>1. 表面処理</p> <p>ワイヤーブラシおよびケレン棒で貝殻・海藻類を除去する。</p> <p>2. 樹脂材混合</p> <p>樹脂材は防食用水中硬化型エポキシ樹脂系塗布材で、主材と硬化材を1:1の重量比で混合色が均一になるまで手で混合する。</p> <p>3. 樹脂材塗布</p> <p>水中部のひび割れ箇所への塗布は、へらおよびフリーハンドで押しながら塗布する。 塗布幅15cm以上、塗布厚5mm程度に仕上げる。塗布圧の確認は、シツクネスゲージで行う。</p> <p>注)この工法は、本事例における水中部の鉄筋露出箇所の補修にも用いられている。</p>																																				
<p>3. 注入</p> <p>シーリング硬化(24hr程度)後、取付けパイプに注入器具(インジェクター)をねじ込み、注入材(エポキシ樹脂系)を注入ポンプにて注入する。 注入器具(インジェクター)のゴムチューブが注入量制限(43g/340kPa)箇の内面いっぱい膨らんだら注入を止める。</p> <p>(参考写真)</p> <p>4. 養生、仕上げ</p> <p>硬化の程度をゴムチューブに触れて確認しつつ、48時間程度の養生後、取付けパイプを取り除く。 その後、シーリング部をディスクサンダーで平坦に仕上げる。</p>	<p>III. 水中部ひびわれ補修(天端から4.5m以深)</p> <p>1. 表面処理</p> <p>ワイヤーブラシおよびケレン棒で貝殻・海藻類を除去する。</p> <p>2. 樹脂材混合</p> <p>樹脂材は防食用水中硬化型エポキシ樹脂系塗布材で、主材と硬化材を1:1の重量比で混合色が均一になるまで手で混合する。</p> <p>3. 樹脂材塗布</p> <p>水中部のひび割れ箇所への塗布は、へらおよびフリーハンドで押しながら塗布する。 塗布幅15cm以上、塗布厚5mm程度に仕上げる。塗布圧の確認は、シツクネスゲージで行う。</p> <p>注)この工法は、本事例における水中部の鉄筋露出箇所の補修にも用いられている。</p>																																				
<p>参考図</p>	<p>堤体補修作業工程表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工程</th> <th>内容</th> <th>所要時間</th> <th>作業人数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ケーソン浮上</td> <td>10分</td> <td>2名</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ケーソン曳航</td> <td>15分</td> <td>3名</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>ケーソン仮置</td> <td>20分</td> <td>4名</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>表面処理</td> <td>30分</td> <td>2名</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>樹脂材塗布</td> <td>45分</td> <td>2名</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>注入</td> <td>60分</td> <td>2名</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>養生</td> <td>48時間</td> <td>0名</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>仕上げ</td> <td>30分</td> <td>2名</td> </tr> </tbody> </table> <p>補修内容の分析(問題点等)</p> <p>1. 水中部ひびわれ補修(天端から4.5m以深)をパテ状の防食用水中硬化型エポキシ樹脂系塗布材の塗布により実施している。当時(平成4年度)は水中で使用できるエポキシ系注入材が無かったと思われる。現在では水中用の材料での注入施工が採用される可能性が高い。</p>	工程	内容	所要時間	作業人数	1	ケーソン浮上	10分	2名	2	ケーソン曳航	15分	3名	3	ケーソン仮置	20分	4名	4	表面処理	30分	2名	5	樹脂材塗布	45分	2名	6	注入	60分	2名	7	養生	48時間	0名	8	仕上げ	30分	2名
工程	内容	所要時間	作業人数																																		
1	ケーソン浮上	10分	2名																																		
2	ケーソン曳航	15分	3名																																		
3	ケーソン仮置	20分	4名																																		
4	表面処理	30分	2名																																		
5	樹脂材塗布	45分	2名																																		
6	注入	60分	2名																																		
7	養生	48時間	0名																																		
8	仕上げ	30分	2名																																		

表一資.2.1 ケーソン前壁の損傷段階別 (STEP1~3) の補修事例 (3/5)

補修時期:平成6年7月 酒田港(北港地区)防波堤(北)(第2)その2	
施工方法の詳細	
損傷イメージ図 穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出 	1. 仮設足場取付、ケーソン清掃 フラケット足場を穴明き損傷部の下部に、アンカーボルトにて取り付け、作業足場とする。 2. 潜水土により、止水蓋取付面全面をスクレーパーによりケレンする。 3. ケーソン穿孔 ① ケーソン面にコンパネ製の型紙通りにアンカーボルトの穿孔を行う。潜水土にて削岩機により実施。
補修工法の概要 堤体補修工 フラケット足場工→止水蓋取り付け→上部工削孔→中詰コンクリート充填→止水蓋撤去	4. 上部コンクリート穿孔 上部工の所定位置に、コンクリートコアカッターで300mmφ×3.16mの孔を2ヶ所削孔する。 5. コンクリート打設 ① ミキサー船にて行う。上部コンクリートに開けた孔に、ミキサー船のポンプのゴムパイプを直接差し込み、コンクリートを打設する。尚、コンクリートの分離を避けるため、パイプの先端はコンクリートの立ち上がり面より上げないように行う。また、止水蓋に異常が無いが確認しながら打設する。 6. 止水蓋取外し 3週間の養生後、防波堤上部よりロープにて抑えながら、潜水土により取外す。
Step3 穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出	止水蓋取付状況 
主要施工数量 穿孔:300mmφ×3.16m 2ヶ所 止水蓋:1.3m×0.8m×6mm t 中詰 Conc.(270-40-15):33m ³ 普通ホルトランドセメント 主要船舶機械 潜水土船 :7.9t 100PS クレーン付台船:500t積 40t吊 交通船 :110PS 作業船 :70PS ミキサー船 :90m ³ 曳船 :100.2t 1400PS コアカッター :上部工穿孔1台 削岩機 :アンカーボルト孔用1台 参考図	中詰コンクリート打設状況 
穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出	止水蓋詳細図 
	堤体補修作業工程表 
	補修内容の分析(問題点等) 1. ケーソンの所定の位置に、止水蓋固定用の孔を穿孔する際、コンパネを型紙として用いたことは、作業性の面からも評価できる。 2. 止水ゴムの肉厚がt=20mmであったため、秋田港(蔵島地区)防波堤(北)その4の事例における止水ゴム(t=9mm)の場合であったと考えられる。 3. 中詰コンクリートの分離を避けるため、打設パイプの先端をコンクリートの立ち上がり面より上げないよう施工しているが、近年は水中不分離性コンクリートを用い、施工性を向上させている例が多い。

表一資-2.1 ケーソン前壁の損傷段階別 (STEP1~3) の補修事例 (4/5)

<p>損傷段階</p> <p>損傷イメージ図</p> <p>穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出</p>		<p>補修工法の概要</p> <p>堤体補修工</p> <p>・消波工撤去不要</p> <p>・上部・蓋コンクリートの削孔(φ2.0m)</p> <p>→中詰コンクリート、袋詰コンクリート充填→蓋・上部コンクリートの打設</p>		<p>施工方法の詳細</p> <p>1. 上部・蓋コンクリート削孔</p> <p>①油圧式クローラードリルにて行う。</p> <p>φ100 mm、ピッチ 125 mmで先行削孔後、φ200 mmにて追切。</p> <p>又、φ200 mmの削孔は、上部工厚 2m 部では 1m 毎に、3m 部では 1.5m 毎に 2 段階にて行う。</p>		<p>2. 上部コンクリート破砕・運搬</p> <p>①削孔縁切されたコンクリートは大型ブレーカーにて小割された後、ダンブトラックにより搬出する。作業終了時は転落防止のため鋼製養生蓋を設置し、アンカーボルトにて固定する。</p> <p>3. 蓋コンクリート破砕</p> <p>①コンクリートブレーカーにより破砕し、殻はケーソン中詰材として使用する。作業は吊足場を設置して行う。</p> <p>4. 図内調査</p> <p>①潜水士により</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中詰砂天端調査(レット測量) ・破損部の確認(目視、計測、写真、VTR) ・隔壁の状況(〃) <p>を行い、この結果を踏まえてコンクリートバッグの形状寸法を決定する。</p>		<p>5. 袋詰コンクリート設置・打設</p> <p>①バッグは形状寸法を確認後、図内の所定の位置にセットします。セットは事前に潜水士により削孔された孔にオールアンカー(φ10 mm)を打込み、バッグの留め穴とボルトで固定する。</p>		<p>6. 中詰コンクリート打設</p> <p>①打設はポンプ車による。打設管理はコンクリート打設量、レット及び潜水士により行う。打設は、既存中詰砂天端から袋詰コンクリートの天端までを水中コンクリート(C=370 kg/m³)にて、それより上部は普通コンクリート(16N-8-40)で行う。</p>																																						
<p>Step3</p> <p>穴あき部からケーソン内部の中詰砂が流出</p>	<p>主要施工数量</p> <p>穿孔 : φ2.0m × (2m, 3m) 19ヶ所</p> <p>中詰 Conc.: 1,285m³</p> <p>袋詰 Conc.: 316m³</p> <p>上部・蓋 Conc.: 320m³</p>				<p>7. 蓋・上部コンクリート打設</p> <p>①中詰コンクリート打設後、1週強度を確認し、ポンプ車により打設する。既存コンクリートの清掃と接着剤の塗布を行い施工する。</p>		<p>②バッグに水中コンクリート(C=370 kg/m³)をポンプ車にて打設。打設管理は潜水士 3 名。1回の打上高さは 1.0m 以内とし、打設完了後、潜水士により、補修部及び周囲の異常の有無を確認する。</p>																																									
<p>参考図</p> 	<p>参考図</p> 	<p>堤体補修作業工程表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>工種</th> <th>項目</th> <th>数量</th> <th>単位</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>中詰コンクリート</td> <td>打設</td> <td>1,285</td> <td>m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>普通コンクリート</td> <td>打設</td> <td>320</td> <td>m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>袋詰コンクリート</td> <td>設置</td> <td>316</td> <td>m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>削孔</td> <td>削孔</td> <td>19</td> <td>ヶ所</td> <td></td> </tr> <tr> <td>破砕</td> <td>破砕</td> <td>19</td> <td>ヶ所</td> <td></td> </tr> <tr> <td>調査</td> <td>調査</td> <td>19</td> <td>ヶ所</td> <td></td> </tr> <tr> <td>養生</td> <td>養生</td> <td>19</td> <td>ヶ所</td> <td></td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>その他</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	工種	項目	数量	単位	備考	中詰コンクリート	打設	1,285	m ³		普通コンクリート	打設	320	m ³		袋詰コンクリート	設置	316	m ³		削孔	削孔	19	ヶ所		破砕	破砕	19	ヶ所		調査	調査	19	ヶ所		養生	養生	19	ヶ所		その他	その他				<p>補修内容の分析(問題点等)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 前面の消波ブロックの撤去が不要となるため、FC 等による撤去が難しい場合は効果的な方法と思われる。 2. 隔壁内での潜水作業が必須となり安全性の確認が重要な要素となる。 3. 補修対象室内に波等による流れが発生し、潜水作業の容易性・安全性、コンクリートの取付け保持等に十分な検討が必要。
工種	項目	数量	単位	備考																																												
中詰コンクリート	打設	1,285	m ³																																													
普通コンクリート	打設	320	m ³																																													
袋詰コンクリート	設置	316	m ³																																													
削孔	削孔	19	ヶ所																																													
破砕	破砕	19	ヶ所																																													
調査	調査	19	ヶ所																																													
養生	養生	19	ヶ所																																													
その他	その他																																															

添付資料 3

点検および評価の実施例と非破壊検査技術

1. 八戸港における事例
2. 日高港における事例
3. 非破壊検査技術

点検および評価の実施例

防波堤等で実績のある既存の点検システムについて、GPS+ナローマルチビーム、GPS+3Dレーザーミラースキャナーによる防波堤全体の損傷やケーソン内部の隔室に対する目視観測を行った八戸港での事例と、水中カメラをケーソンと消波ブロックの隙間に挿入して目視観測を行ったことに特徴のある日高港での事例を以下に示す。

1. 八戸港における事例

八戸港における調査事例は、平成16年度に外港地区中央防波堤を対象に実施したものである。

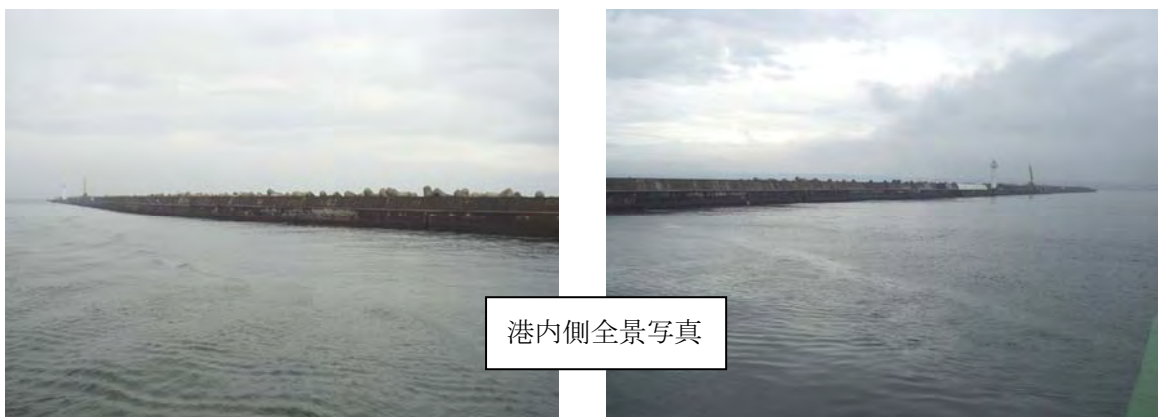
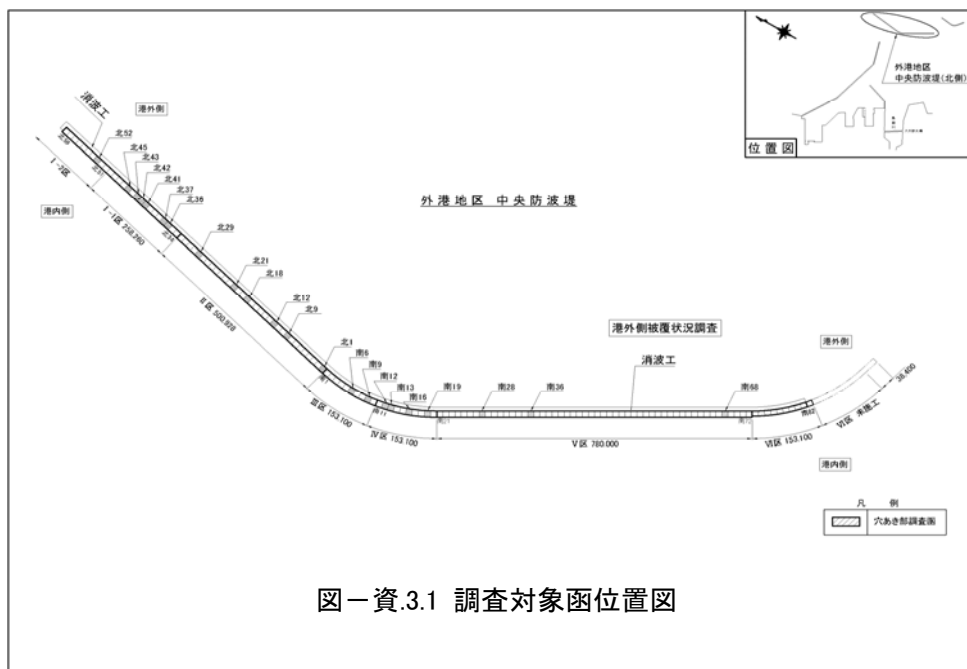
調査項目は、

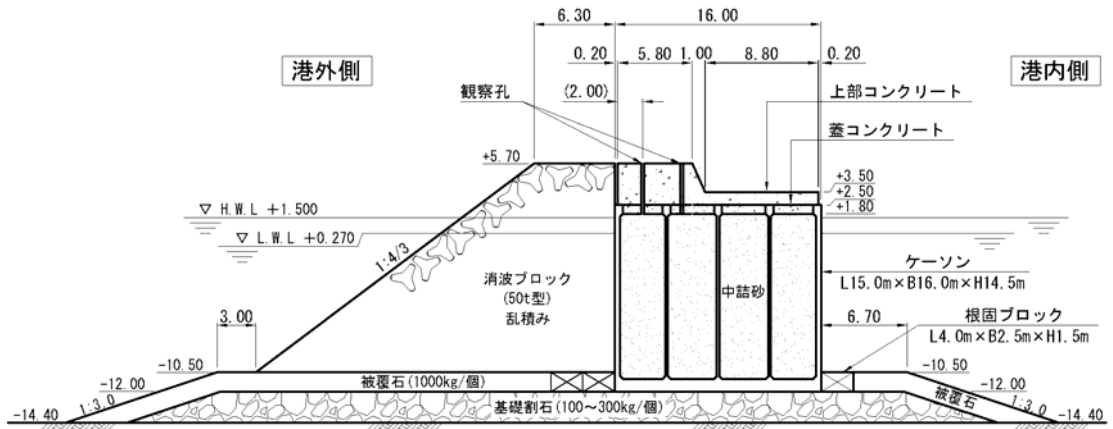
- ① 港外側被覆状況調査
- ② 穴あき部調査

である。

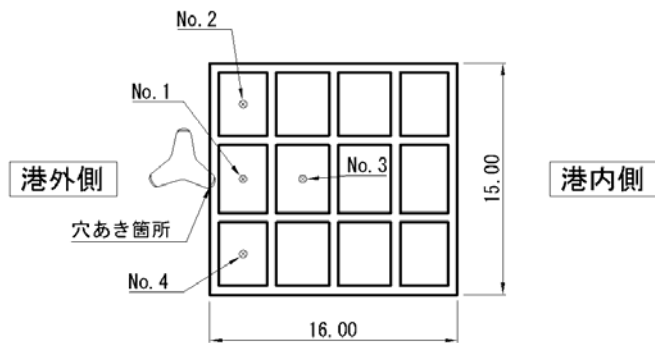
1.1 構造概要

調査対象の八戸港外港地区中央防波堤の調査対象函位置図、全景写真、標準断面図、削孔および詳細観察位置図を以下に示す。





図一資.3.2 標準断面図



穴あき箇所が中央部の場合
 破損部を中心にその両隣と背後の4点削孔
 穴あき箇所が左右どちらかにある場合
 破損部を中心にその横隣と背後の3点削孔

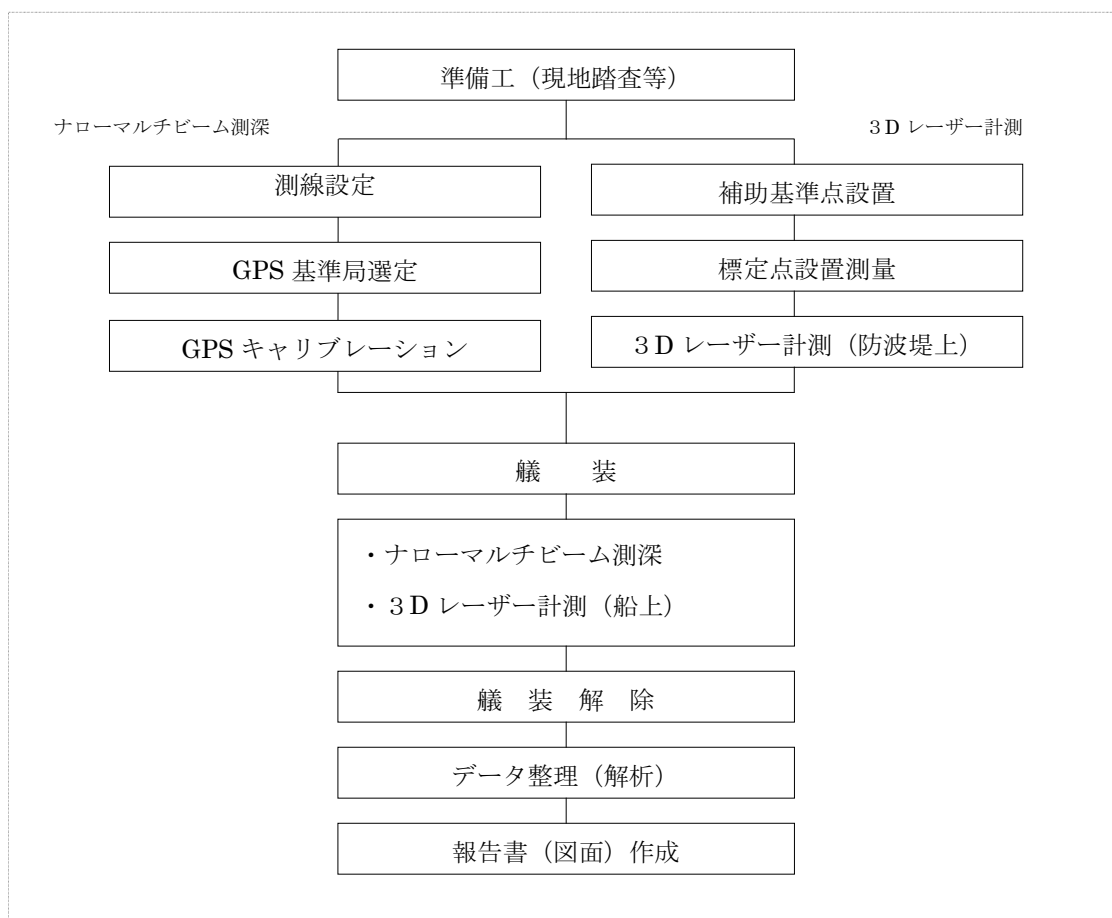
図一資.3.3 削孔および詳細観察位置図

1. 2点検手法

1.2.1 港外側被覆工状況調査

港外側被覆工状況調査は、防波堤港外側被覆工の状況を把握する事を目的としている。調査は、水中部と海水面上とに分けて行った。水中部の状況は、RTK-GPSによる測位とナローマルチビーム音響測深機 SEABAT8125 を用いた深淺測量により実施し、海水面上の状況は、3Dレーザーミラースキャナによる3次元計測により実施した。

(1) 調査フロー



図－資.3.4 調査フロー図

(2) 準備工

RTK-GPS 測位システムによるリアルタイム測位を行う為に、既設基準点を調査し、上空視界の確保等 GPS の基準局に適した場所であることを確認し、業務に着手した。

RTK-GPS 測位システムの基準局設置後、防波堤上の既設基準点(No. 104)にてキャリブレーション計測を実施した。キャリブレーションの結果を以下に示す。

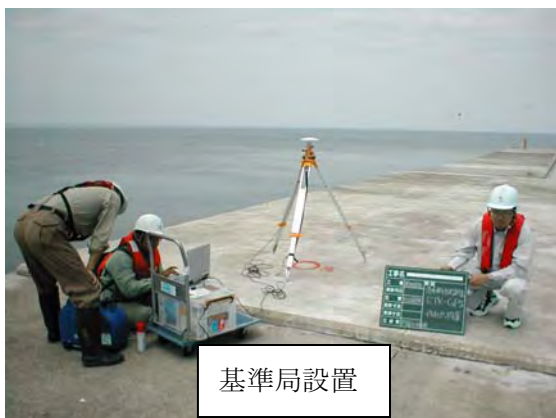
キャリブレーション結果

点名 104

	設計値	計測値	差	標準偏差
x	61,315.794	61,315.806	-0.012	0.007
y	60,086.832	60,086.825	0.007	0.006

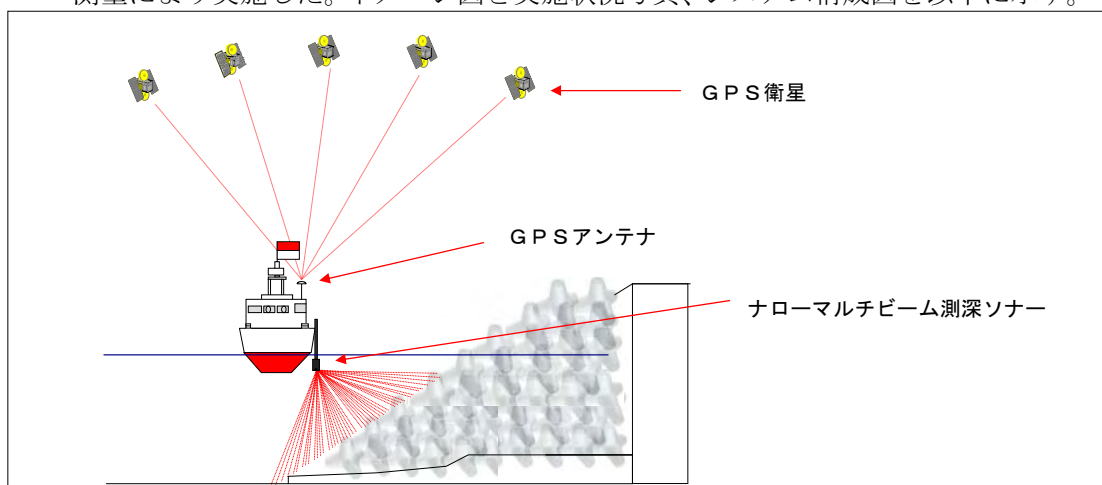
データ総数 1,722

計測時間 9:40:17~9:47:49



(3) 水中部被覆工状況調査

RTK-GPS による測位とナローマルチビーム音響測深機 SEABAT8125 を用いた深浅測量により実施した。イメージ図と実施状況写真、システム構成図を以下に示す。



図一資.3.5 ナローマルチビーム測深イメージ図



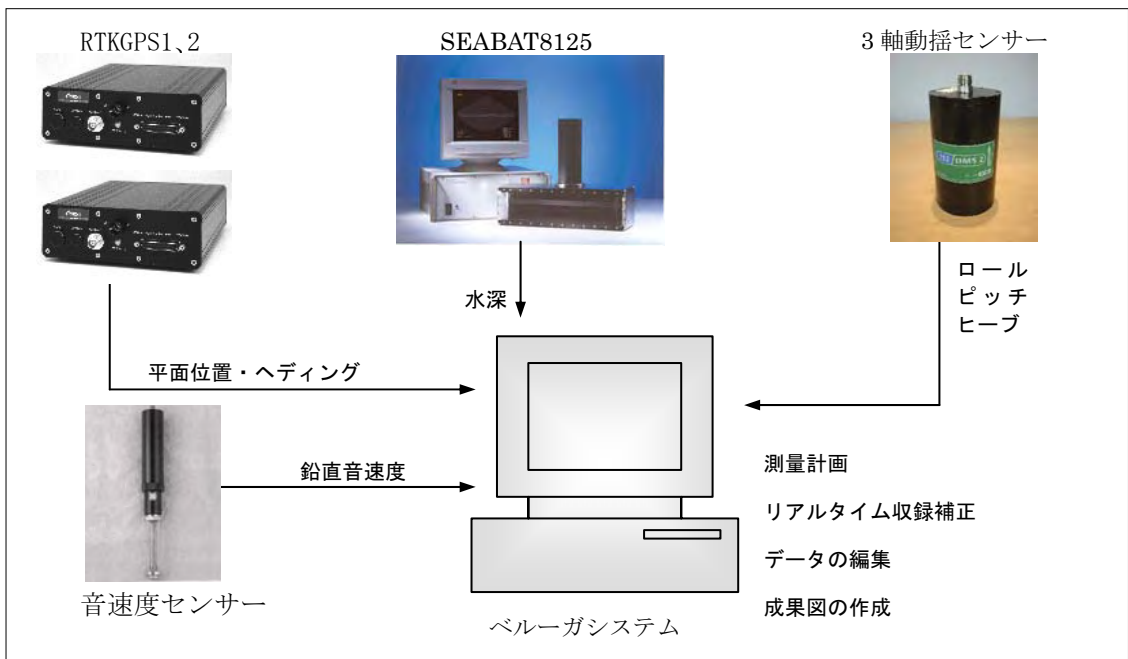
港外側被覆工調査状況



RTK-GPS 移動局



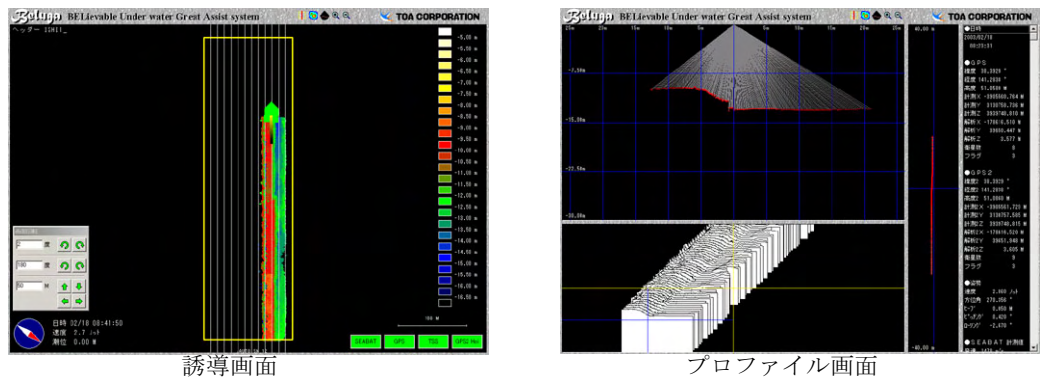
ナローマルチビーム



図一資.3.6 ナローマルチビーム測深システム構成図



測深データの収集および結果の表示は、「バレーガシステム」を使用した。バレーガシステムの画面表示例を以下に示す。



図一資.3.7 バレーガシステム画面表示例

表一資.3.1 ナローマルチビーム測深主要構成機器仕様

機器名称	型式	台数	規格・性能
ナローマルチビーム測深システム	測深ソナー 「SEABAT 8125 型」	1	周波数 : 455KHz 最大レンジ : 120m 水深分解能 : 6mm スワップ幅 : 120° ビーム数 : 240 ビーム幅 : 水平1.0° × 垂直0.5° 精度 : IHOクラス1に準拠
	マリンモーションセンサ 「TSS-DMS 型」	1	ロール・ピッチ精度 : ±0.1° ヒープ精度 : 5% (波高10mの場合5cm)
	デジタル音速度計 「SVPS 型」	1	音速分解能 : 0.015m/s 音速計測精度 : 0.060m/s 音速計測精度 : 0.060m/s
RTK-GPS測位システム ×3	GPS測量機	3	周波 : 2周波 チャンネル数 : 12チャンネル 水平精度 : 1cm+1ppm×基線長 鉛直精度 : 2cm+1ppm×基線長
データ収録装置	データ収録装置 「DOS/V PC」	1	処理メッシュ幅 : 10cm〜∞ 最大処理可能エリア : 1000メッシュ×1000メッシュ ※必要PCスペック CPU : PentiumIII 600MHz以上 メモリ : 128MB以上 (推奨 : 256MB) HDD : 20GB以上 OS : Windows98
測量船	第十三観光丸	1	総トン数 9.1 t

(4) 海水面上被覆工状況調査

海水面上の被覆工の状況は、3Dレーザーミラースキャナーを用いて、3次元計測を行った。

計測は、①防波堤上からの静止計測

と、②船上からの移動計測(RTK-GPSによる測位を併用)

を行い、静止計測結果と移動計測結果を合成した。

尚、船上からの計測は、ナローマルチビームによる水中部被覆状況調査と同時に行った。

①防波堤上からの静止計測

防波堤上からの静止計測は、1回の計測範囲を50mとし、事前に測量済の「標定点」を消波ブロック上に5点以上設置して、3Dレーザーミラースキャナーによる3次元計測を行った。

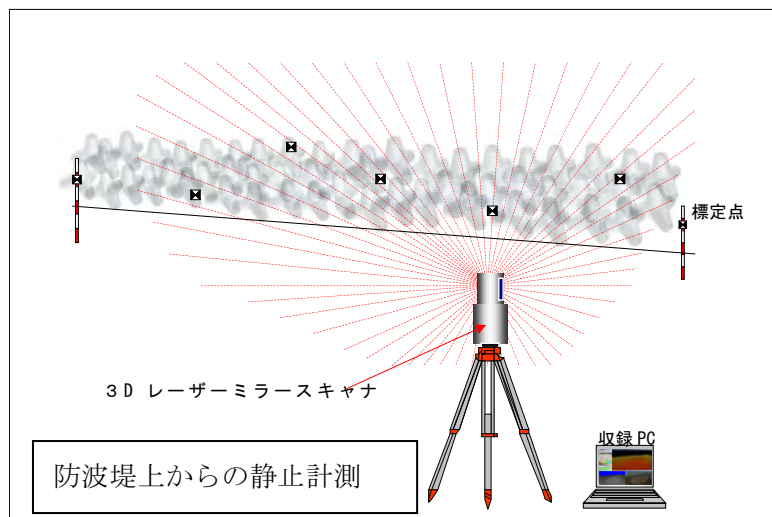


図-資.3.8 防波堤上 3Dレーザー測量イメージ図

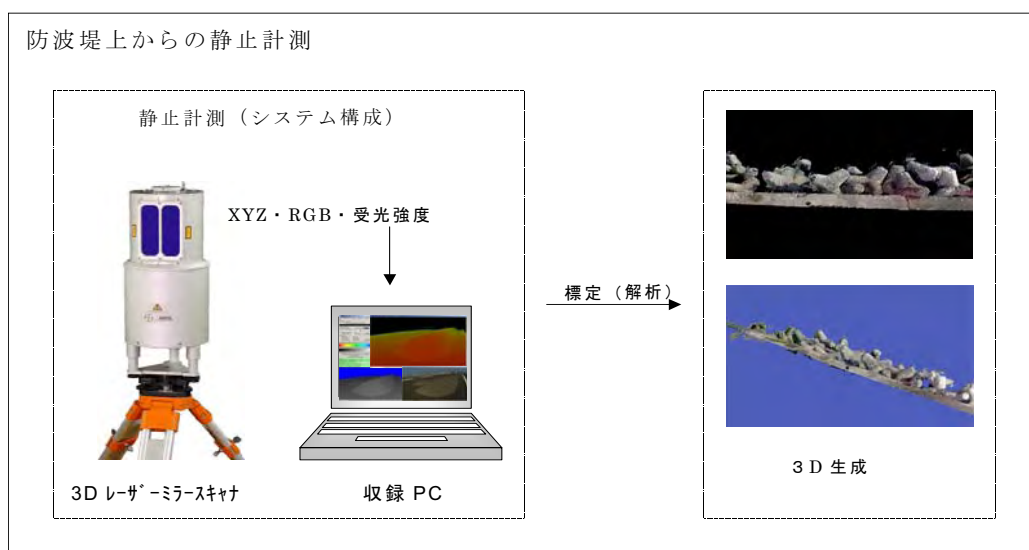


図-資.3.9 3Dレーザーミラースキャナーによる
防波堤上測量システム構成図



標定点設置状況



ブロック上 標定点設置状況



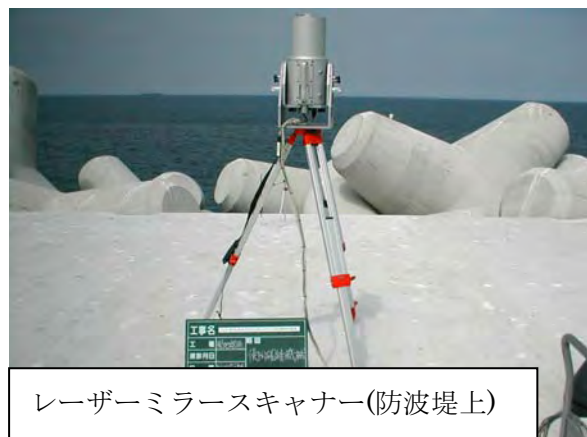
レーザーミラーレスキャナー防波堤上測量状況



レーザーミラーレスキャナー防波堤上測量状況



トータルステーション

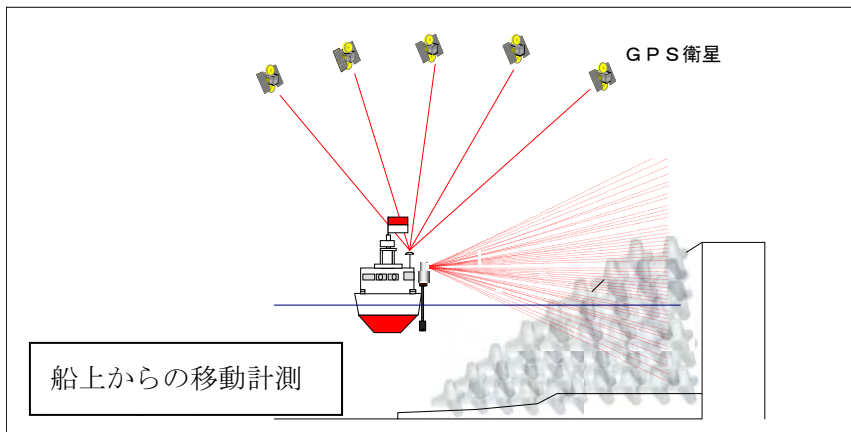


レーザーミラーレスキャナー(防波堤上)

②船上からの移動計測 (RTK-GPS による測位を併用)

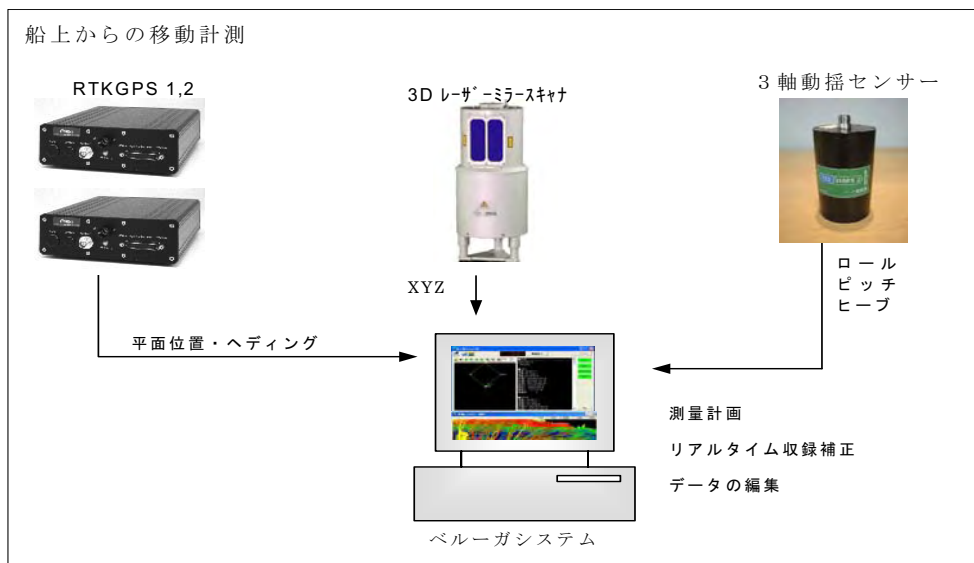
船上から 3D レーザーミラースキャナーを用いて、移動計測による 3 次元計測を行った。

計測は RTK-GPS による測位を併用して、ナローマルチビームによる水中部被覆状況調査と同時に行った。



図一資.3.10 海面上 3Dレーザー測量イメージ図





図一資.3.11 3Dレーザーミラースキャナーによる
海面上測量システム構成図

③静止計測結果と移動計測結果の合成

各々の 3D 計測データ (X, Y, Z) は、異なる処理方法にて絶対座標に変換し、合成を施した上、全域の面データを生成した。

表一資.3.2 3D レーザー計測主要構成機器仕様

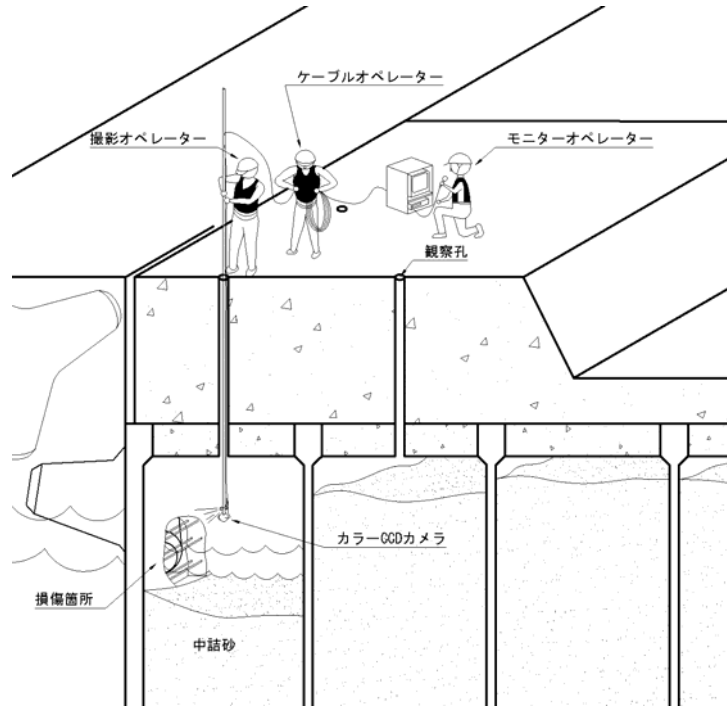
機器名称	型式	台数	規格・性能
レーザーミラースキャナー	リーグル社 「LMS Z-210」	1	測定範囲 : 2~350m スキャニング角 : 上下=80° 水平=330° 測定精度 : 測距=±2.5cm 測角=0.04° レーザークラス : クラス1準拠
動揺補正装置	マリンモーションセンサ 「TSS-DMS 型」	1	ロール・ピッチ精度 : ±0.1° ヒーブ精度 : 5% (波高10mの場合5cm)
RTK-GPS 測位システム ×3	GPS 測量機	3	周波 : 2周波 チャンネル数 : 12チャンネル 水平精度 : 1cm+1ppm×基線長 鉛直精度 : 2cm+1ppm×基線長
データ収録装置	データ収録装置 「DOS/V PC」	1	処理メッシュ幅 : 10cm~∞ 最大処理可能エリア : 1000メッシュ×1000メッシュ ※必要PCスペック CPU : PentiumIII 600MHz以上 メモリ : 128MB以上 (推奨 : 256MB) HDD : 20GB以上 OS : Windows98

1.2.2 穴あき部調査

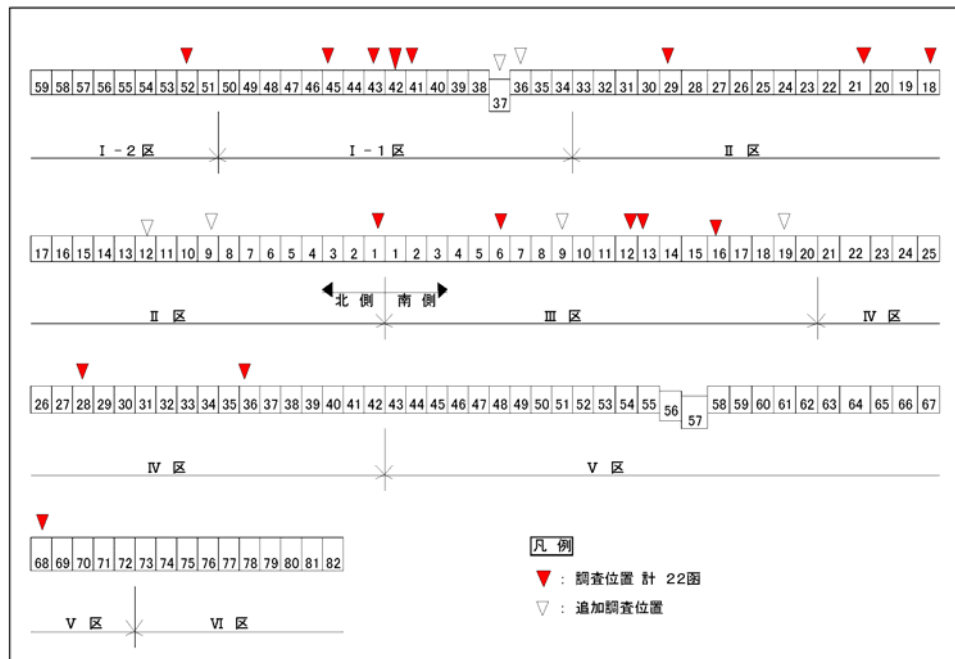
(1) 概要

穴あき部の調査は、観測孔からカラーCCDカメラを挿入して観察し、VTRに録画した。観察孔は、上部工コンクリートをクローラドリルにより削孔した。

穴あき部の調査状況のイメージを図一資.3.12 に、穴あき部調査位置を図一資.3.13 に示す。

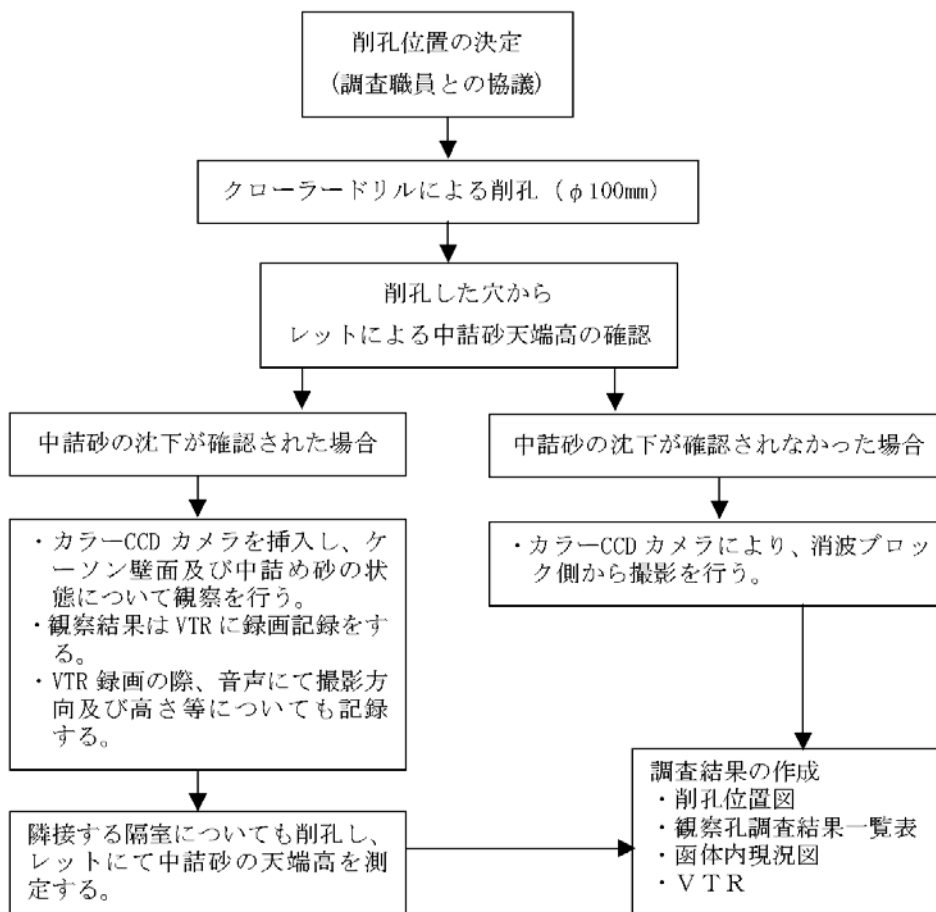


図一資.3.12 穴あき部調査状況イメージ図



図一資.3.13 穴あき部調査位置図

(2) 調査フロー



図一資.3.14 穴あき部調査フロー

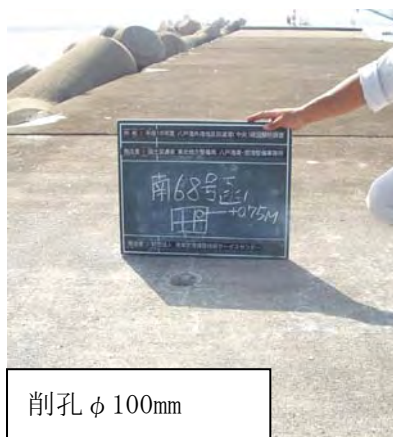
(3) 削孔工

ケーソンの上部工に、クローラードリルにより観察穴を削孔した。穴の径はレットおよびCCDカメラの挿入に配慮しφ100mmとした。

削孔後、木栓にて仮蓋を行った。



クローラードリルによる削孔



削孔φ100mm



木栓

(4) 詳細観察

前項により削孔した観察穴を用いて、レットにより中詰砂の天端高を測定する。

① 中詰砂の沈下が確認された場合

削孔した穴に、カラーCCDカメラを挿入し、ケーソン壁面及び中詰め砂の状態について観察を行う。観察結果はVTRに録画記録をする。なお、VTR録画の際、音声にて撮影方向及び高さ等についても記録する。

また、隣接する隔壁についても削孔し、レットにて中詰砂の天端高を測定する。



ビデオ撮影状況



ホールカメラ
(カラーCCDカメラ)



ビデオ撮影機材

② 中詰砂の沈下が確認されなかった場合

カラーCCDカメラにより、消波ブロック側から撮影を行う。

1. 3 調査結果のまとめ

1. 3. 1 港外側被覆状況

(1) 計測データの整理

水中部および海面上において取得された計測データは、ベルーガ解析システムにより図-資.3.15に示すような解析処理を行った。

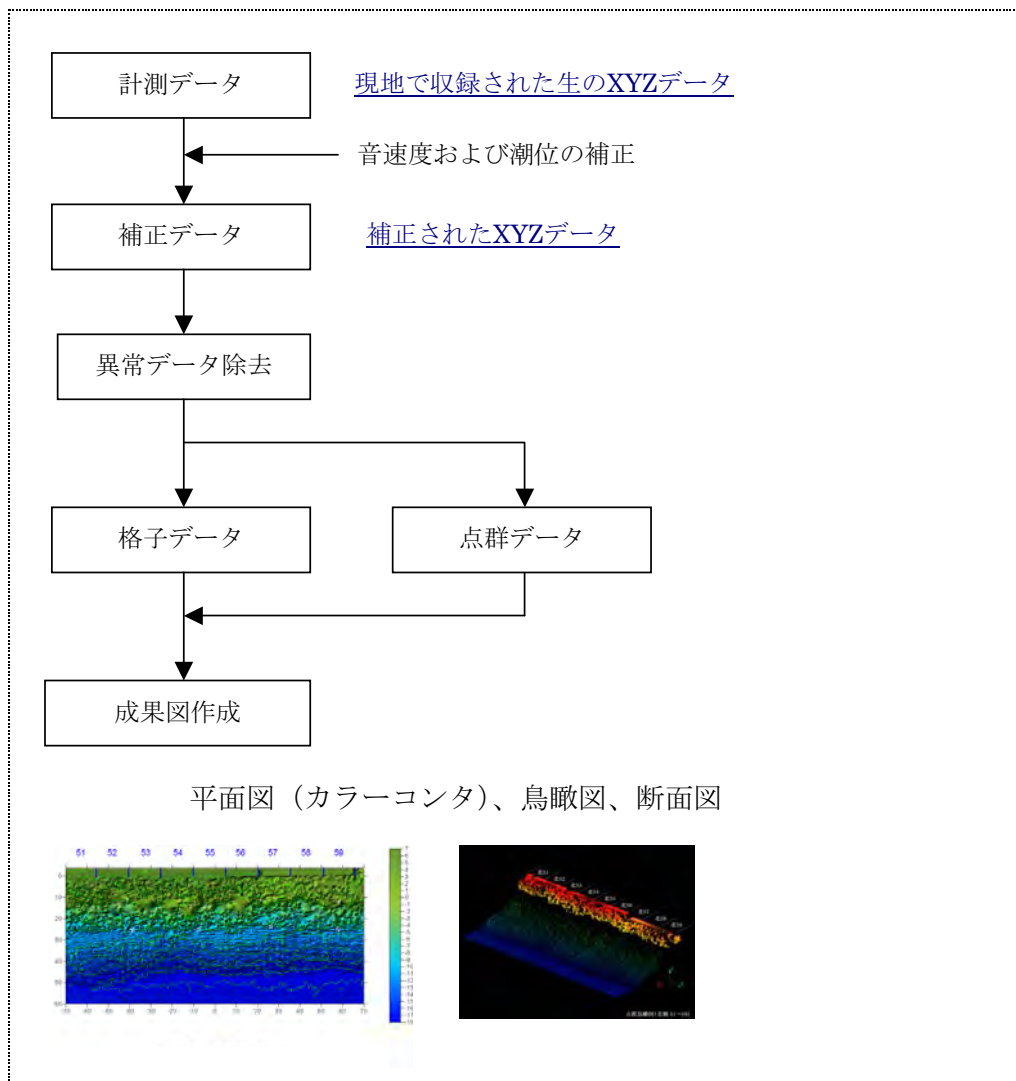


図-資.3.15 解析作業フロー図

解析処理は、

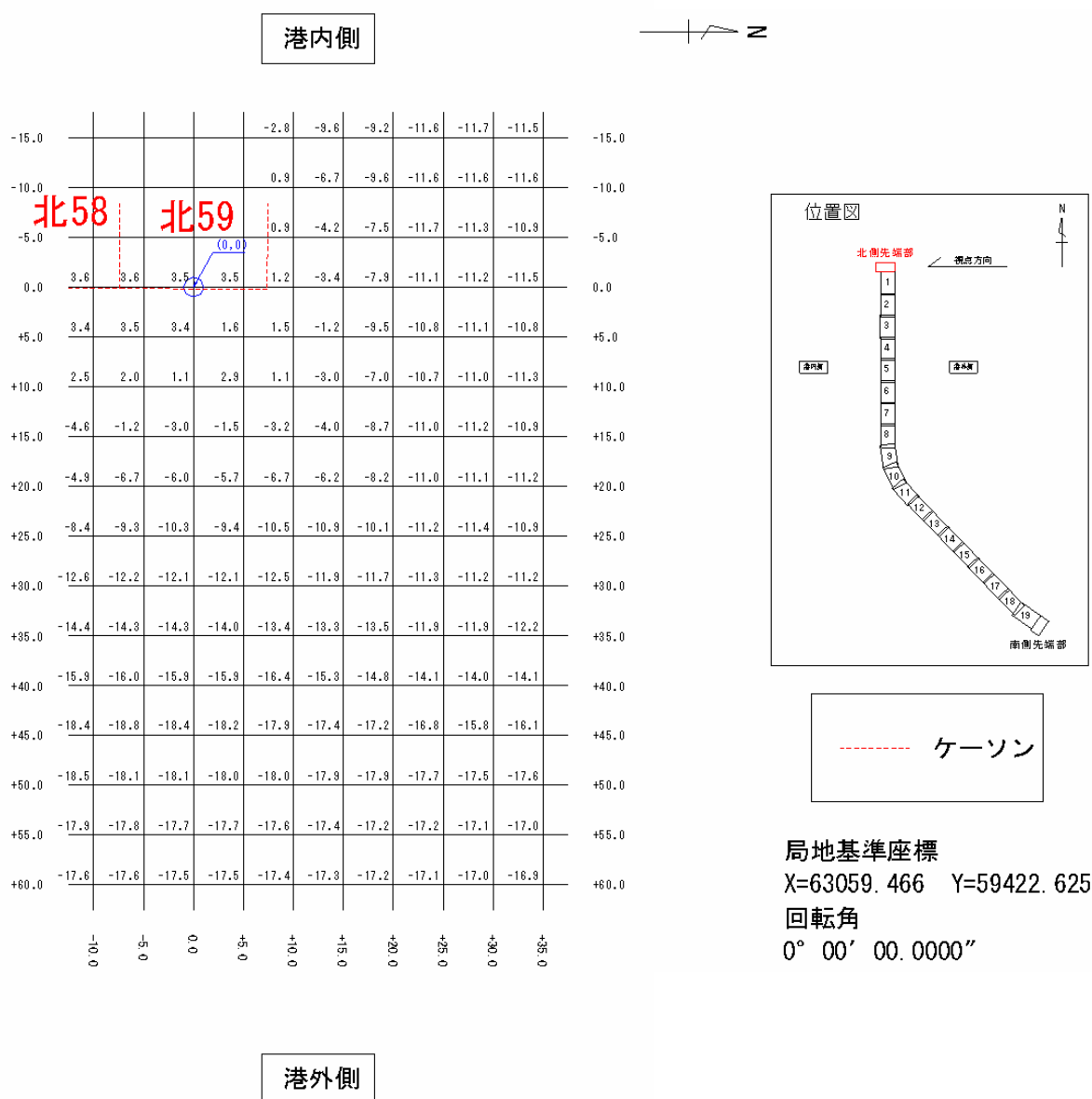
- ①海底地形は、0.1m×0.1mのメッシュデータで管理
- ②より細かな海底地形を表現する為、計測データそのものを表示する処理(点群データ)も行った
- ③解析されたデータをもとに平面図、鳥瞰図、断面図を出力した。

①水深図

水深図は、調査エリア全体を約 100m ピッチに 21 のエリアに分けて示した。
調査エリアには曲線部が含まれるため、各々のエリアの真中にあるケーソンの沖側
前面の方向を基本としてローカル座標を設定し 5m ピッチの水深値を示した。

なお、各々のエリアの中心座標(公共座標)と回転角は、図中に示している。また、
ケーソン番号についてはレーザーミラースキャナによる測量結果からケーソン端部
をもとめたもので若干の誤差(10cm 程度)を含んでいると考えられる。

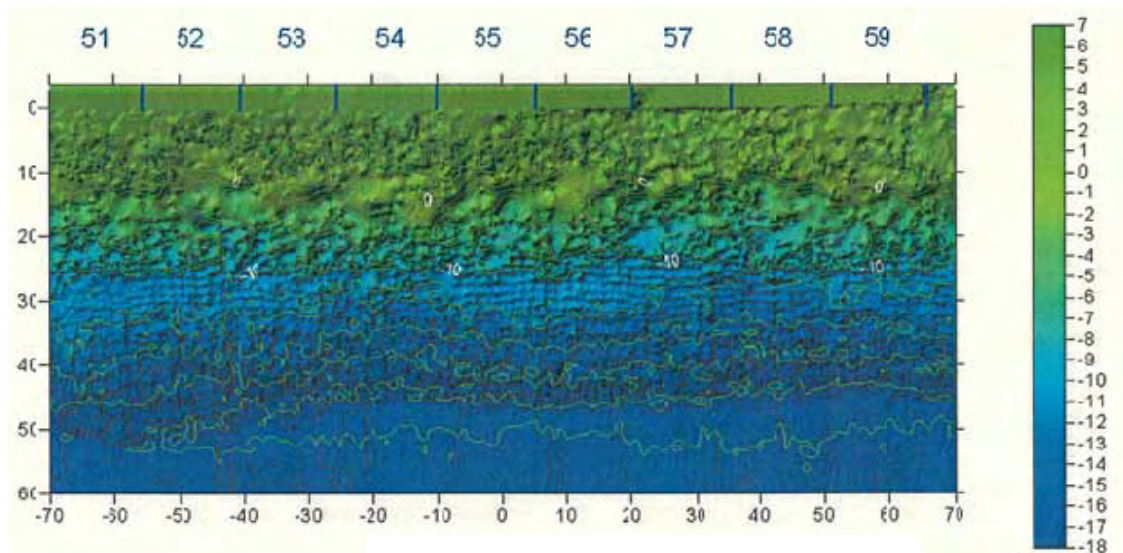
例として、図一資.3.16 に北側防波堤 58～59 の水深図を示す。



図一資.3.16 北側防波堤 58～59 水深

②コンタ図

コンタは、各々のエリアを 10cm×10cm メッシュに区切り、そのメッシュ内に含まれる計測データを平均した値をそのメッシュの代表値として扱いコンタラインは、2m 間隔で表現している。



図一資.3.17 コンタ図例(北 51~59)

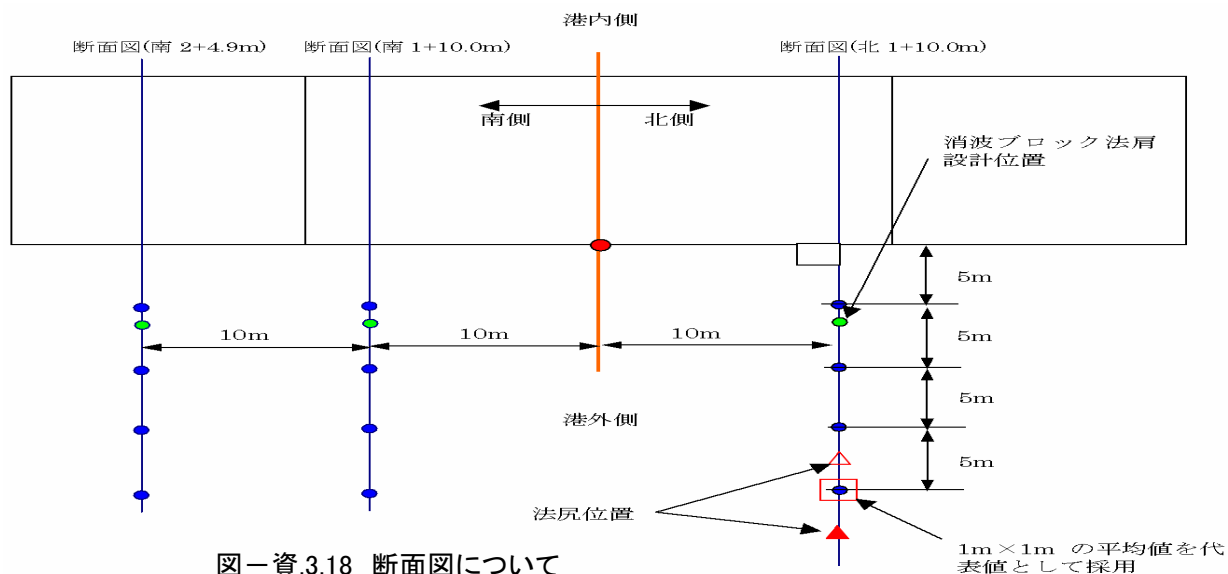
③断面図

断面図は、Ⅱ区とⅢ区の境目を中心として各々10m ピッチで各々のケーソンの港外側前面に対し直角方向の断面を示す。

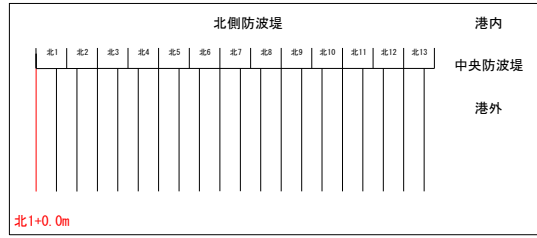
断面図の標高は、5m 間隔で描いており、消波ブロックの設計法肩位置を●マークで、消波ブロックの法尻と被覆石マウンドの法尻を点群鳥瞰図より求め△マークで示す。

また基準として消波ブロック 1 層の厚さを緑のラインで示している。

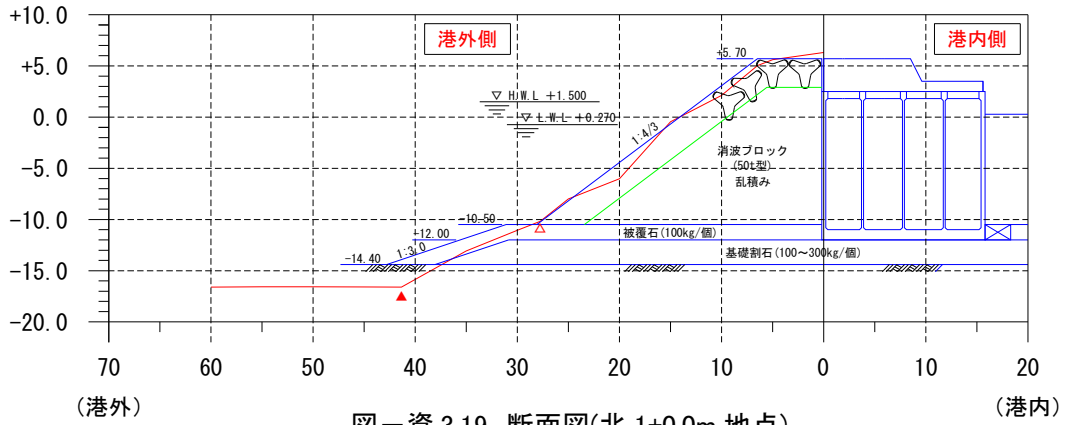
なお、点群鳥瞰図より求めた点以外の各々の点の高さは、1m 周辺の平均値を採用している。



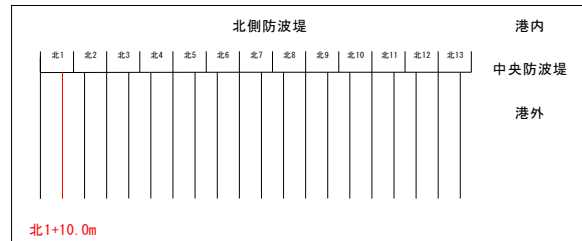
図一資.3.18 断面図について



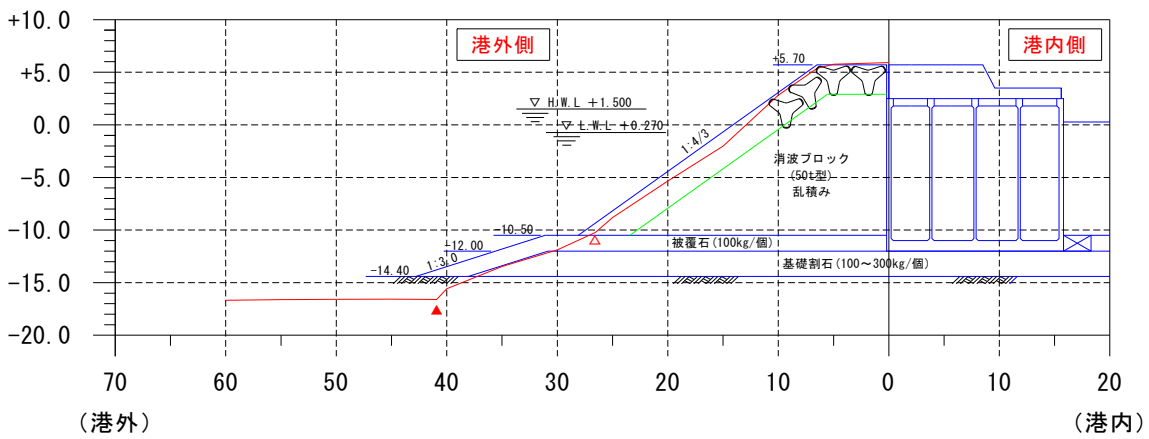
北1+0.0m



図一資.3.19 断面図(北 1+0.0m 地点)



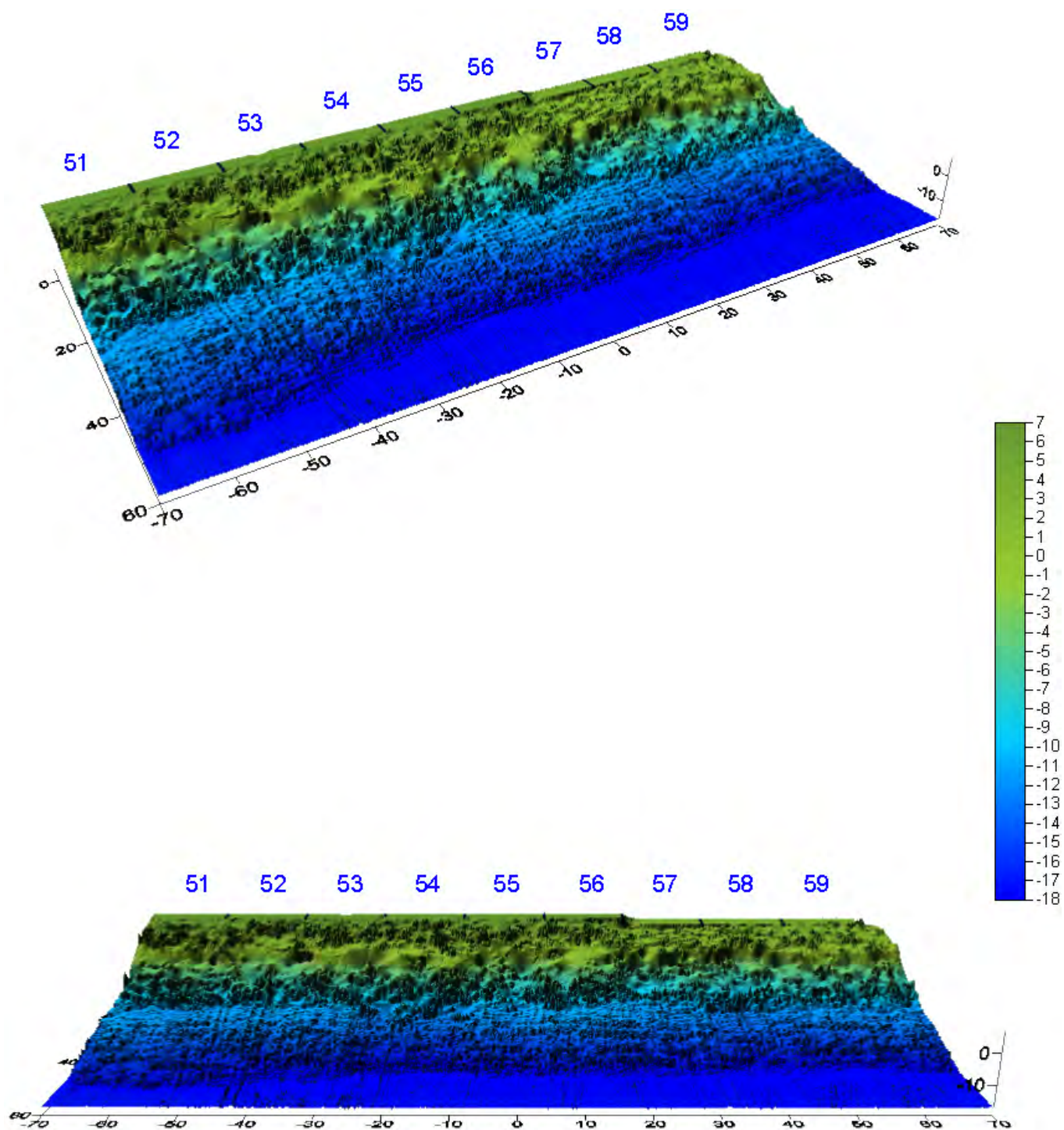
北1+10.0m



図一資.3.20 断面図(北 1+10.0m 地点)

④鳥瞰図

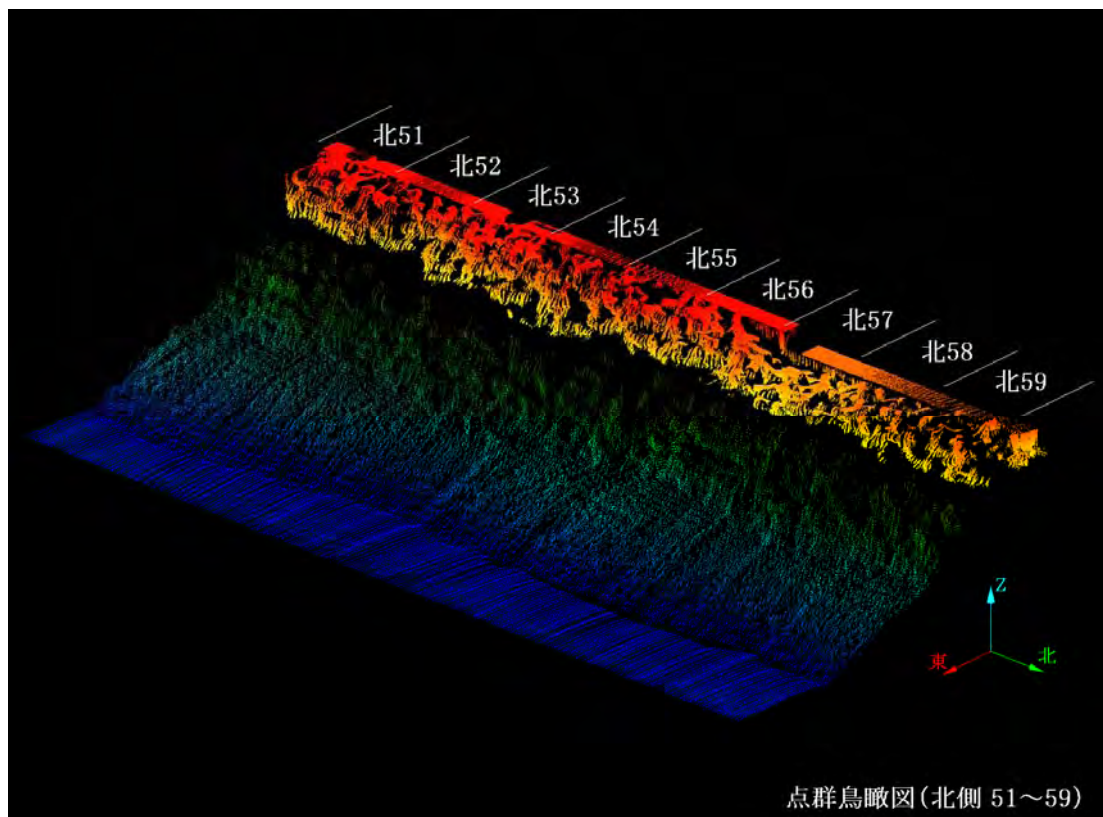
鳥瞰図は、エリアを 10cm×10cm メッシュに区切り、そのメッシュ内に含まれる計測データを平均した値をそのメッシュの代表値として扱い表現している。



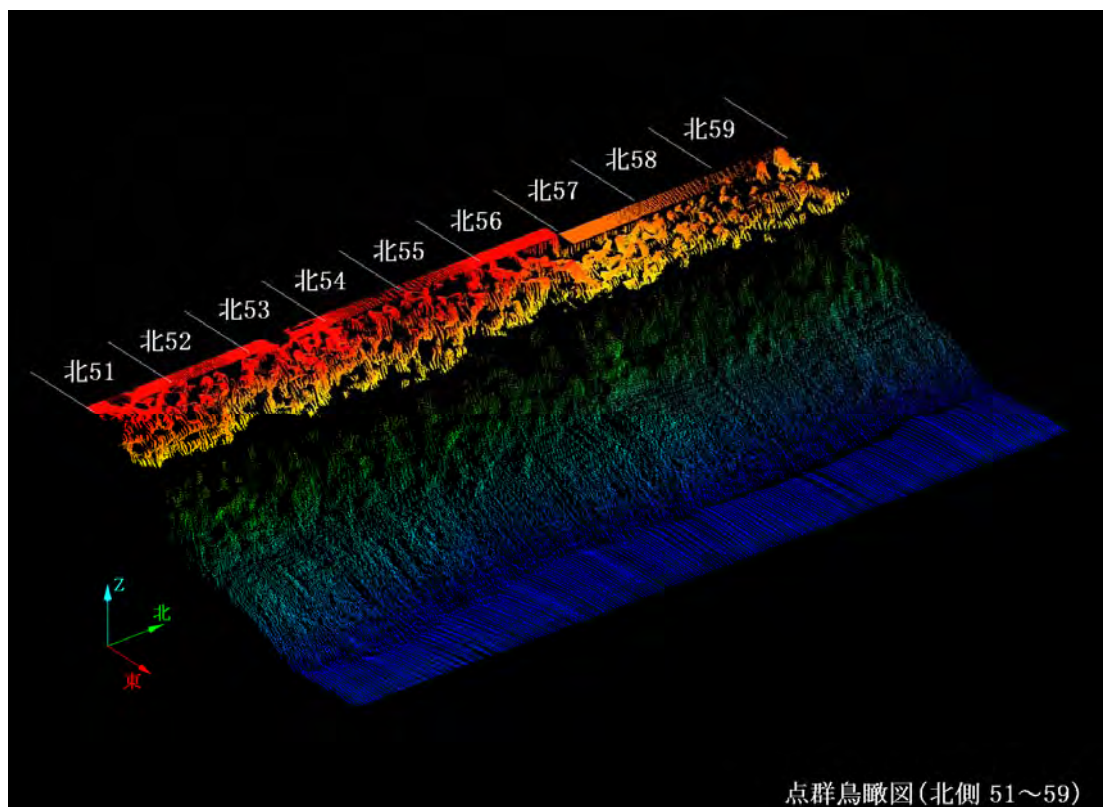
図一資.3.21 鳥瞰図(北側 51~59)

⑤点群鳥瞰図

点群鳥瞰図は、計測データそのものを用いて表現している。



図一資.3.22 点群鳥瞰図(視点右、北側 51~59)

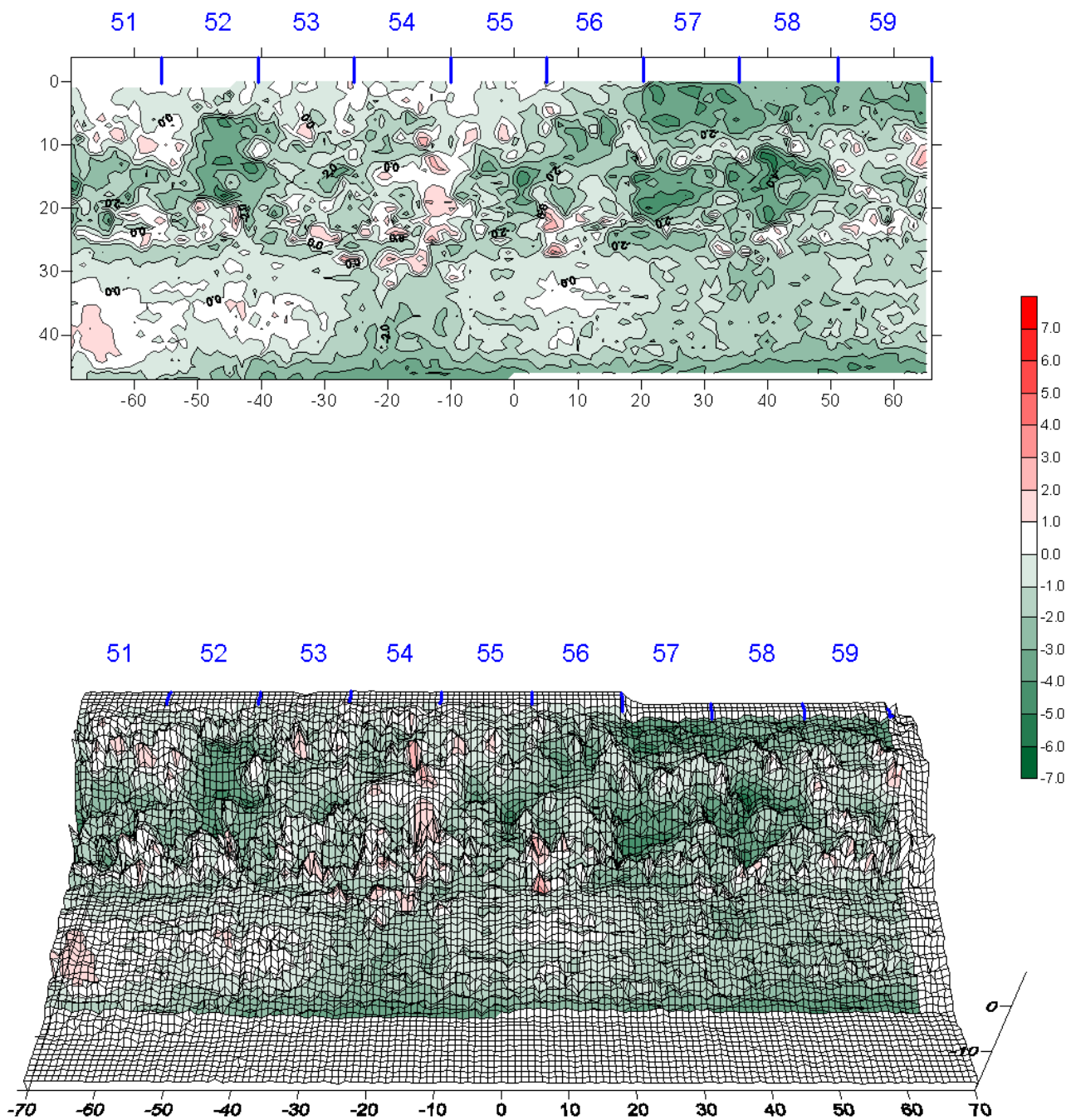


図一資.3.23 点群鳥瞰図(視点左、北側 51~59)

⑥層厚図

層厚図は、各々のエリアの標準断面図から設計三次元データを作り、今回測量した結果(現状三次元データ)との差分を表している。また、設計に対する過不足を立体的に捉えるために層厚図を鳥瞰図(ワイヤースケルトン)に貼り付けた。

なお、現状三次元データは、各々のエリアを1mメッシュで区切り、そのメッシュ内の最浅値(最も高い値)をそのメッシュの代表値としている。



図一資.3.24 層厚図(北側防波堤 51~59)

(2) 調査結果の整理

前項、計測データの整理をもとに、被覆状況の調査結果を取りまとめた例を表一資.3.3 に示す。

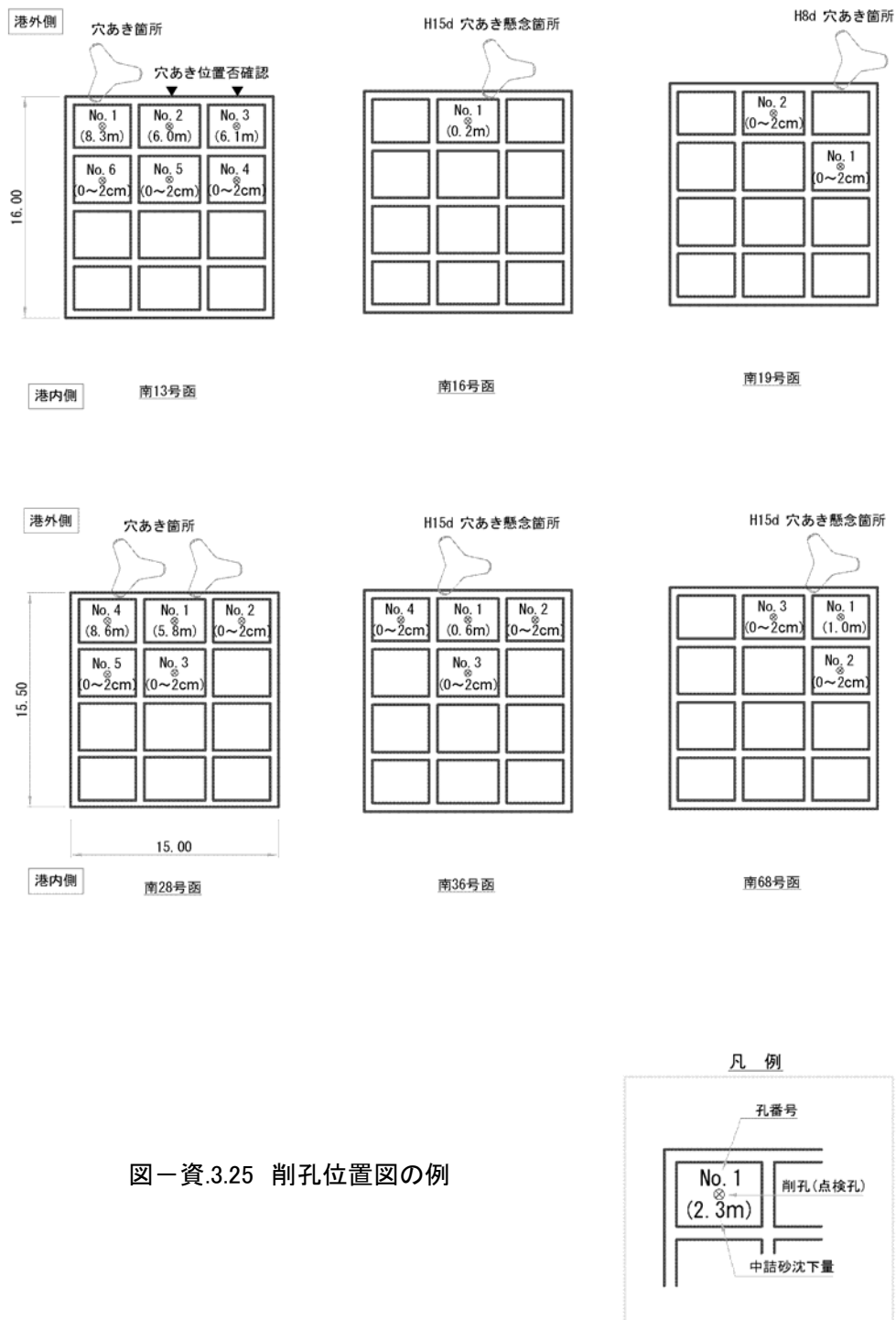
表一資.3.3 港外側被覆状況調査結果 例

ケーソン NO	工 区	断 面 構 成	鳥瞰図所見	各部位の兆候		備 考	
				消波工状況 (取得データと計画断面との対比)	被覆工 洗掘傾向の 有無		
北-59	I 2 区	上部工 テトラ 40t重 バラクロス 8t 被覆石 本土工 基礎工		暫定施工			
北-58			被覆工法面に洗掘傾向が認められる	暫定施工	△	凡例(被覆工)	
北-57				暫定施工	△	×:洗掘がある	
北-56						△:洗掘傾向がある	
北-55			56・55にかけて法肩から法尻に約1層分の痩せ	△		空欄:異常なし	
北-54			被覆工法面に洗掘傾向が認められる	×			
北-53				△			
北-52				△			
北-51			法全体に1/2層の痩せ	△			
北-50				△			
北-49	I 1 区	上部工 テトラ 50t 被覆石 本土工 基礎工					
北-48							
北-47			被覆石の上にテトラポッド1個が移動	△			
北-46			法部に約1層分の痩せ	△			
北-45			法部に約3/4層分の痩せ	△			
北-44			法下部に約1層分の痩せ	△			
北-43			法面に1/2層分の痩せ	△			
北-42							
北-41			法面に1/2層分の痩せ				
北-40							
北-39	洗掘は認められないがテトラ法面に崩れが伺える	法面下部に3/4層ほどの痩せ					
北-38		同じ					
北-37							
北-36	被覆石法尻部がやや洗掘傾向か	法面少しの痩せ、被覆石の上にテトラポッド1個が移動					
北-35		同じ					
北-34		同じ					
北-33	II 区	上部工 テトラ 50t 被覆石 本土工 基礎工	この間被覆石の洗掘傾向が見られ特に29 および33、34号図では被覆石が天端、法 面の不陸が認められテトラ法面部までその 影響と思われるテトラの崩れがうかがえる。 25号図全面の沈下が大きい				
北-32				法面部に1/2層ほどの痩せ			
北-31				同じ	△		
北-30				法上部に1層ほどの空隙および痩せ有り	△		
北-29				法下部に約1層分の痩せ	△		
北-28				法中間部に3/4層ほどの痩せ	△		
北-27				法下部に約1層分の痩せ	△		
北-26				同じ	△		
北-25				法面部1/2層ほどの痩せ	△		
北-24				法中間部に1層ほどの空隙	△		
北-23							

1.3.2 穴あき部調査結果

(1) 削孔位置

図一資.3.25 に削孔位置図の例を示す。



図一資.3.25 削孔位置図の例

(2) 観察孔調査結果

表一資.3.4 に観察孔調査結果一覧表の例を示す。

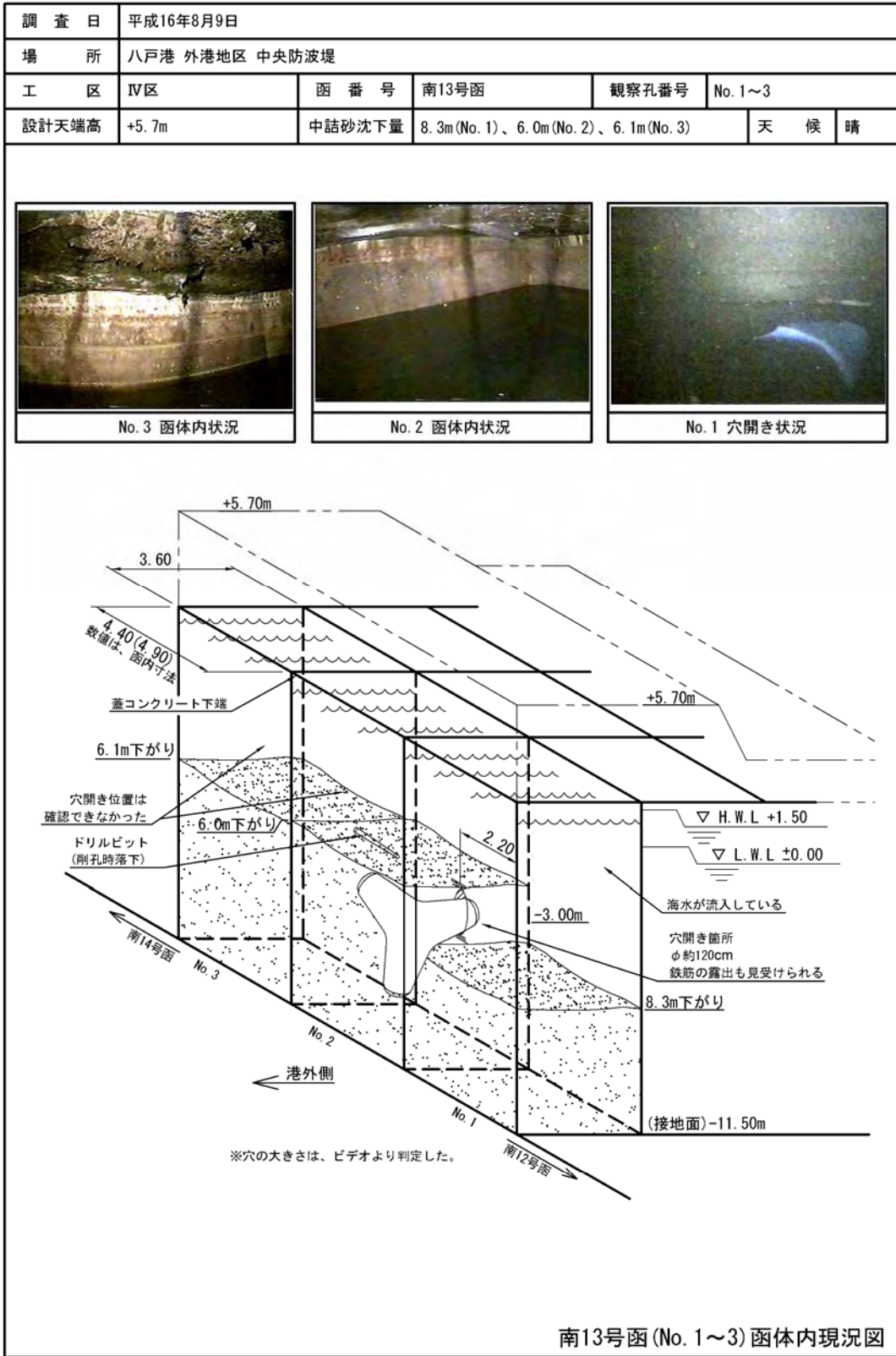
観察日：平成16年8月9～10日 表一資.3.4 観察孔調査結果一覧表の
場 所：八戸港 外港地区 中央防波堤 (設計蓋コンクリート下端高：+1.80m)

函体番号	孔番号	設計 天端高(m)	中詰砂 沈下量	現 況	摘 要
南6号函	No. 2	-	0～2cm	異常なし	
	No. 3	-	0～2cm	異常なし	
	No. 4	-	0～2cm	異常なし	
南9号函	No. 1	-	0～2cm	異常なし	
	No. 2	-	0～2cm	異常なし	
南12号函	No. 1	-	1.0m	中詰砂流出ありだが、穴位置は確認出来きていない。 現在流出中で、中詰砂天端は破損深度まで至っていないものと思われる。	VTR撮影
	No. 2	-	0～2cm	異常なし	
	No. 3	-	0～2cm	異常なし	
南13号函	No. 1	-	8.3m	中詰砂流出あり、-3.0m付近にφ約120cm穴空き確認。	VTR撮影 通気有(大)
	No. 2	-	6.0m	中詰砂流出あり、濁り等にて穴位置は確認出来ず。	VTR撮影 通気有
	No. 3	-	6.1m	中詰砂流出あり、濁り等にて穴位置は確認出来ず。	VTR撮影 通気有
	No. 4	-	0～2cm	異常なし	
	No. 5	-	0～2cm	異常なし	
	No. 6	-	0～2cm	異常なし	
南16号函	No. 1	-	0.2m	函体内に溜り水あり。沈下隙間は10～20cm。 穴は確認出来ないがクラック等があると思われる。	VTR撮影
南19号函	No. 1	-	0～2cm	異常なし	
	No. 2	-	0～2cm	異常なし	
南28号函	No. 1	-	5.8m	中詰砂流出あり、-2.0m付近にφ約60cm穴空き確認。	VTR撮影 通気有(大)
	No. 2	-	0～2cm	異常なし	

※異常なし（沈下量0～2cm）は、カメラ観察にてほとんど隙間無し状態で問題は見受けられない。

(3) 函体内の現況

図一資.3.26 に函体内現況図の例を示す。



図一資.3.26 函体内現況図の

1. 4 調査工程

調査工程表を以下に示す。

表一資.3.5 調査工程表

実施業務工程表

業務名称:平成16年度 八戸港外港地区防波場(中央) 現況解析調査 履行期間:平成16年7月23日～平成16年11月30日

工 種	数量	7 月		8 月			9 月			(10 月)		11 月		摘 要
		20	31	10	20	31	10	20	30	10	20	30		
準備工	準備	1式	23 <u>23</u> 27 27											— 計画 — 実績
現地調査	削孔工	1式		3 <u>4</u> 8 8										
	穴あき部調査 (詳細観察)	1式		8 <u>9</u> 12 10										
	港外側被覆状況調査 (マルチビーム観察)	1式	28 <u>28</u> 4 4											
解析	解析診断	1式			18					30			30 30	
記事欄			打合せ 打合せ			打合せ					打合せ			業務完了報告

1. 5 総合評価

1. 5. 1 防波堤の現状

3D レーザーミラースキャナ、ナローマルチビーム測深により取得したデータから作成した画像、深浅値、各断面の状況、およびケーソンの中詰状況を、各工区別・工種別にケーソン1函毎に所見を付けて一覧表に示す。

一覧表の作成例を、表一資.3.6 防波堤の現状一覧表の例に示す。

表一資.3.6 防波堤の現状一覧表の例

ケーソン NO	工 区	断 面 構 成	鳥瞰図所見	各部位の兆候		ケーソン 中詰状況	備 考		
				消波工状況 (取得データと計画断面との対比)	被覆工 洗濯傾向の有 無				
北-22	II 区	上部工 テトラ 50t 被覆石 本土工 基礎工	この間被覆石の洗濯傾向が見られ特に19. 20. 15から17号函では、被覆石の天端、法面で不陸が認められテトラ法面部までその影響と思われるテトラの崩れがうかがえる。	法面部に1/2層ほどの痩せ	△	10.8m下がり	穴確認		
北-21				同じ	△				
北-20				法下部に約1/2層分の痩せ	△				
北-19					△				
北-18				法下部に1/2層ほどの痩せ	△			6.8m下がり	穴確認
北-17					△				
北-16					△				
北-15				法中間部に3/4層ほどの痩せ	△				
北-14					△				
北-13					△			異常なし	
北-12					△				
北-11					△				
北-10					△			異常なし	
北-9					△				
北-8					△				
北-7		法下部に1/2層ほどの痩せ	△						
北-6		法中間部に3/4層ほどの空隙	△						
北-5		被覆石の洗濯による沈下が見られる。	△						
北-4			△						
北-3			△						
北-2			法下部に3/4層の空隙有り	△	1.3m下がり	穴確認			
北-1				△					
南-1	III 区	上部工 テトラ 50t 被覆石 本土工 基礎工	被覆石の洗濯による沈下が見られる。特に4. 7号函の乱れが大きくブロックが崩れたように見受けられる。	法下部に3/4層の空隙有り	△	80cm下がり	穴確認出来ず		
南-2					△				
南-3				法下部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-4				法下部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-5				法中間部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-6				法下部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-7				法下部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-8				法面部に1/2層ほどの痩せ	△				
南-9				法下部に1層分の痩せ有り	△			異常なし	
南-10				法部に1層分ほどの痩せ有り	△				
南-11	IV 区	上部工 テトラ 50t 被覆石 本土工 基礎工	被覆石の洗濯による沈下が見られるが均等に沈下している。12. 14号函はブロックの崩れも見られる。	法部に1/2層分の痩せ有り	△	1m下がり	穴確認出来ず		
南-12				法部に1/2層分の痩せ有り	△				
南-13					△			8.3m下がり	外2桁有り計20.4m/3桁
南-14					△				
南-15				法中間部に1層ほどの空隙	△				

1. 5. 2 個別評価

調査に基づいて評価を行うに当たり、設計の面からの検討も実施した。

以下に、評価判定基準の『a』に関する、消波工と本土工の設計面からの考え方を記す。

項 目	設計面からの検討内容
消波工	評価判定基準の『a』として、消波ブロックの補充が出来る1層分の沈下、減少または、静水面で最小被覆幅($b_0=7.7\text{m}$)を満足できなくなるケースの場合を設定した。
本土工 ケーソン空洞化	1函合計で4.5mの中詰砂の減少が発生すると $F_s \approx 1.0$ となり、安全性に問題が出てくる。このため、ケーソンの空洞化については、1函の合計下がり量が4.5m以上の場合を評価判定基準の『a』とした。

防波堤の個別評価判定基準を表一資.3.7に、個別評価一覧の例を表一資.3.8に示す。

表一資.3.7 防波堤の個別評価判定基準

	点検項目	判定基準	
		a	b
本体内 (側壁、 スリット部)	ケーソンの 空洞化	a	□中詰砂が流出している。合計4.5m以上の空洞がある。
		b	□中詰砂が流出している。合計4.5m未満の空洞がある。穴あきがある。
		c	□----
		d	□中詰砂の流出はない。
被覆工 ・ 根固工	移動、 散乱、 沈下	a	□石、ブロックが大規模又は広範囲に移動、散乱又は沈下している。目地部に大きなずれ、段差がある
		b	□石、ブロックが沈下、移動又は散乱している。目地部に小さなずれ、段差がある。
		c	□部分的にごく小さな移動(ずれ)が見られる
		d	□変状なし
消波工	移動、 散乱、 沈下	a	□ケーソン1函分に亘り、消波工断面がブロック1層分以上減少している。静水面で最小被覆幅を確保できない。
		b	□ケーソン1函分に亘り、消波工断面が減少している。(ブロック1層未満)
		c	□消波ブロックの一部が移動(散乱・沈下)している。またはブロックの減少1/2層未満
		d	□変状なし
	損傷、 亀裂	a	□欠損しているブロックが1/4以上見られる。
		b	□-----
		c	□欠損や部分的な変状があるブロックが複数個見られる。
		d	□変状なし。
海底地盤	洗掘、 土砂の堆積	a	□広範囲で浸食があり、かつ捨石マウンド法尻前面で深さ1m以上の洗掘がある。洗掘に伴うマウンド等への影響が見られる。
		b	□広範囲で浸食があり、かつ捨石マウンド法尻前面で深さ0.5m以上1m未満の洗掘がある
		c	□深さ0.5m未満の洗掘がある
		d	□変状なし。

表一資.3.8 個別評価一覧の例

ケーソン NO	工区	鳥瞰図所見	各部位の兆候			中詰 評価	個別 総合評価	備考
			消波工状況 (取得データと計画断面との対比)	消波工 評価	被覆工 洗掘 評価			
北-22	II 区	この間被覆石の洗掘傾向が見られ特に19、20、15から17号函では、被覆石の天端、法面で不陸が認められテトラ法面部までその影響と思われるテトラの崩れがうかがえる。	法面部に1/2層ほどの瘦せ	c	c		c	
北-21			同じ	c	c	a	a	
北-20			法下部に約1/2層分の瘦せ	c	b		c	
北-19					b		c	
北-18			法下部に1/2層ほどの瘦せ	c	c	a	a	
北-17					b		c	
北-16					b		c	
北-15			法中間部に3/4層ほどの瘦せ	b	b		c	
北-14					c		c	
北-13					c		c	
北-12					c		c	
北-11					c		c	
北-10					c		c	
北-9					c		c	
北-8					c		c	
北-7			法下部に1/2層ほどの瘦せ	c			c	
北-6			法中間部に3/4層ほどの空隙	b			c	
北-5	被覆石の洗掘による沈下が見られる。			c			c	
北-4				c			c	
北-3								
北-2			法下部に3/4層の空隙有り	b				c
北-1				c	b	b		
南-1	III 区	被覆石の洗掘による沈下が見られる。特に4、7号函の乱れが大きくブロックが崩れたように見受けられる。	法下部に3/4層の空隙有り	b	c		c	
南-2					c			c
南-3					c			c
南-4			法下部に1/2層ほどの瘦せ	c	b		c	
南-5			法下部に1/2層ほどの瘦せ	c	c		c	
南-6			法中間部に1/2層ほどの瘦せ	c	c	b	b	
南-7			法下部に1/2層ほどの瘦せ	c	b		c	
南-8	被覆石の洗掘による沈下が見られるが等々に沈下している。12、14号函はブロックの崩れも見られる。	法面部に1/2層ほどの瘦せ	c	c		c		
南-9		法下部に1層分の瘦せ有り	b	c		c		
南-10		法部に1層分ほどの瘦せ有り	a	c		c		
南-11	IV 区		法部に1/2層分の瘦せ有り	c	c		c	
南-12			法部に1/2層分の瘦せ有り	c	b	b	b	
南-13						a	a	
南-14			法中間部に1層ほどの空隙	b	b		c	
南-15								

1.5.3 総合評価

上記の(2)個別評価をもとに総合評価を行う。

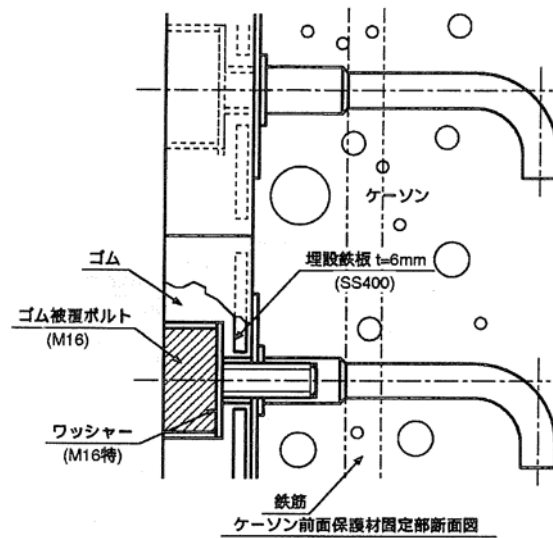
総合評価の基準を表一資.3.9 に、総合評価の結果一覧を表一資.3.10 に示す。

表一資.3.9 防波堤の評価判定基準

総合評価	診断内容	判定
A	施設の機能・安全性がそこなわれており、緊急に対策の必要があると判断される場合	「緊急に」 概ね5年以内に補修、改良工事の必要がある場合。 放置することにより状況が悪化することが予想される場合、または安全確保の観点より好ましくない場合は早急に。
B	放置した場合、施設の機能・安全性が損なわれるおそれがあり、計画的な対策を実施する必要があると判断される場合。	「計画的に」 概ね10年以内に改良工事を行う必要がある場合。
C	施設の機能・安全性に関わる異常は認められず、現状では対策の必要はないが、継続して観察の必要があると判断される場合。	
D	異常がみられず、十分な機能・安全性を保有していると判断される場合。	

表一資.3.10 総合評価の結果一覧

ケースNo.	工区	スキームⅡ		スキームⅠ		個別総合評価	評価根拠
		消波工評価	被覆工洗掘評価	本土工	中詰評価		
北-47	I-1	a	c			c	北-47の消波工が「a」であるが消波工の機能は損なわれておらず、工区としての評価は「C」と判定する。だが、北-45の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
北-46		b	c			c	
北-45		b	c	b	b	b	
北-30	II	c	c			c	I-1区と同様に「b」評価だが、北-29の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
北-29		b	c	b	b	b	
北-28		b	c			c	
北-21	II	c	c	a	a	a	スキームⅠに「a」評価がある。消波工とは重複しておらないが工区としては「a」評価である。北-21、北-18の穴あき損傷は重大で、また近いこともあり早急に補修の必要がある。
北-20		c	b			c	
北-19		c	b			c	
北-18		c	c	a	a	a	
北-17		c	b			c	
北-2	II	b				c	I-1区と同様に「b」評価だが、北-1の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
北-1			c	b	b	b	
南-6	III	c	c	b	b	b	I-1区と同様に「b」評価だが、南-6の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
南-7		c	b			c	
南-9	III	b	c			c	II区の北-21~18付近と同様である。ただし南-12、13と2箇連続して穴あき損傷がみられる。この2箇は早急に補修の必要がある。特に南-13は重大で3樹とも砂が流出している。南-10の消波工の機能は損なわれてはいない。
南-10		a	c			c	
南-11		c	c			c	
南-12		c	b	b	b	b	
南-13		a	a	a	a	a	
南-14	b	b			c		
南-27	V	c	b			c	II区と同様である。南-28の穴あき部の補修は早急にしておく必要がある。
南-28				a	a	a	
南-35	V	c	c			c	I-1区と同様に「b」評価だが、南-36の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
南-36				b	b	b	
南-67	V					c	上と同様に「b」評価だが、南-68の穴あき部は速やかに補修する必要がある。
南-68				b	b	b	
南-74	VI	a				c	消波工が30m程度1層分痩せているが消波工の機能は損なわれていない。工区全体としては「C」評価である。
南-75		a	b			c	
南-76		c	b			c	
総合評価		B		A		防波堤全体評価「A」	



図一資.3.29 ケーソン壁面防護材(厚さ 30 mm) (断面構造図)

2.1.2 調査の概要

(1) 初期調査(消波ブロック据付時)

①接点位置の確認

以下の要領で、消波ブロックの脚が壁面防護材およびケーソン側壁に接する位置を確認した。

1) 水上部

接点を目視で確認し、上部工からメジャーにて位置を測定した。

2) 水中部

ケーソン側壁に沿って鉛直に鉄筋棒を挿入し、当たる位置を接点とし、ケーソン天端からの鉄筋長を測定した。

②ブロック高さの測定

次回調査までのブロックの動きを把握する為、天端部のブロックを対象に、光波測距儀によりブロックの高さを測定した。

③壁面防護材およびケーソン側壁の状況確認

目視のみによる水上部の状況確認。

壁面防護材、取付けボルトおよびケーソン側壁の損傷を確認し、その位置や規模を測定した。

(2) 台風来襲後調査

台風来襲後の年 1 回実施した。以下の項目以外は初期調査と同様である。

①接点位置の確認：水中ビデオカメラによる撮影調査を追加

②壁面防護材およびケーソン側壁の状況確認：同上

2.1.3 調査工程

平成 13 年度に消波ブロック (80 t 型テトラポッド) を据付した後、初期調査を実施し、台風来襲後調査を行った。台風来襲後調査は平成 14 年度、15 年度の計 3 回実施した。工程表を表一資.3.11 に示す。

表一資.3.11 調査工程表

項 目	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	備 考
壁面防護材等準備	—				
ケーソン製作	—				7カ-埋設
壁面防護材取付	●				ケーソン3函
ケーソン据付		●			
消波ブロック据付		—			
初期調査		●			
台風来襲後調査		●	●	●	年1回
室内実験		-----			
結果の整理		—	—	—	
まとめ				—	

2.2 点検手法

2.2.1 調査時期

(1) 初期調査

- ・調査年月日：平成13年8月8日
- ・状態：消波ブロック据付直後であり台風来襲前

(2) 台風来襲後調査(年1回調査)

- ①平成13年8月30日
- ②平成14年10月23日
- ③平成15年10月29日

2.2.2 調査項目・方法

下記の方法は、上記各回の調査とも共通である。

但し、初期調査のみ水中ビデオカメラによる撮影調査は行っていない。

(1) ケーソン位置：調査対象ケーソンの相対的位置関係

- ①測定方法：ケーソン天端端点位置を光波測距儀を用いて測定
- ②測定精度：光波測距儀の精度に依存

(2) 接点座標：ケーソン壁とブロック端点の相対的な位置関係

①測定方法

1) 水上部：メジャー(スタッフ、リボンテープ等)

- ・延長方向(X)：リボンテープ、鋼巻尺
- ・沖岸方向(Y)：スタッフ、コンベックス
- ・鉛直方向(Z)：スタッフ、コンベックス



写真一資.3.1 接点 NO.15 測定状況

2) 水中部：鉄筋棒，水中カメラ

鉄筋棒には、事前に 50cm 間隔でテープを巻いて使用した。テープ間の長さは、メジャーを用いて測定した。(水中ビデオカメラのロッドにも同様なマーキングを施した。)

②測定精度

各メジャーは 1cm 以下の目盛りであるため、現場での測定は 1cm 単位とした。

③数値表記：物体の大きさ，接点状態等を考慮し，5cm に丸めた。

(3) 消波工天端付近のブロックの状態

①測定方法：テトラポッドの既定点 3 点以上を光波測距儀を用いて測定



写真一資.3.2 光波測距儀による測定状況

②測定精度：光波測距儀の精度に依存

③数値表記：1mm に丸めた。

注) 本調査の物理的意味合いとしては 1cm 程度の丸めで充分であると考えられるが、最終的に計り得た mm 単位の数値をそのまま表記した。

(4) 壁面防護材及びケーソン壁面の状態：損傷の位置と状態

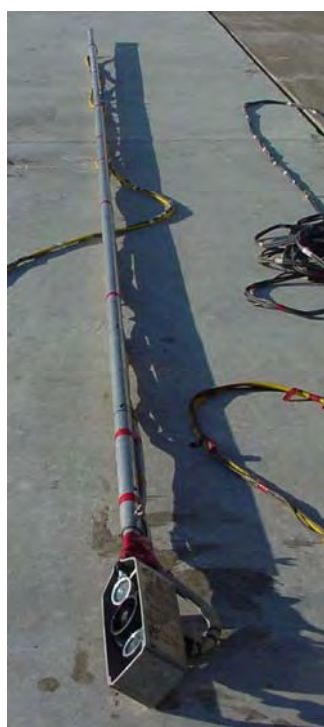
① 位置測定

1) 水上部：メジャー(X, Z)及び水中ビデオカメラ(Z)

2) 水中部：メジャー(X)及び水中ビデオカメラ(Z)



写真一資.3.3 水中ビデオカメラによる測定



写真一資.3.4 水中カメラ、ロッド



写真一資.3.5 モニター、ビデオ機器

②状態把握

- 1) 水上部：目視，スチルカメラ撮影記録
- 2) 水中部：水中ビデオカメラ撮影記録→静止画化处理(後日)



写真一資.3.6 ラバースチール水中VTR静止画像

③その他

- 1) 水中部の照明：水中ビデオカメラレンズの横に装着(写真参照)



写真一資.3.7 水中カメラ、水中ランプ

2) 海生生物付着の影響

- i) 大型海藻は付着していなかった。
- ii) ゴム材部分は、コンクリート壁面に比して付着物が少なく、損傷状態の把握(撮影)の支障にはならなかった。
- iii) コンクリート壁面は、結果的に水上部におけるすり傷，天端角部の剥がれが生じていたのみで、生物の影響はなかった。
- iv) 台風来襲後調査では、台風来襲後の短期間後に調査を行った。このため、接点付近での付着生物の剥がれは、接点移動が生じたか否かの視覚的判断の一助となった。

注) 台風来襲後、長期間の後の調査では、このような効果は期待できな

いと考えられる。

2.2.3 調査日数・時間・人数等

(1) 調査日数

各調査とも、下記の日程とした。

- ①第一日目：現地入場，調査機器等準備(陸上作業)
- ②第二日目：当該防波堤上における調査測量
- ③第三日目：予備日(第二日目に調査不可の場合)

(2) 調査時間

各調査日とも、8：00～17：00であった。

(3) 調査人数

- ①測量調査(ケーソン位置，接点座標，ブロック状態，水上部写真撮影)：5名
- ②水中ビデオ撮影調査(水上～水中)：5名

2.2.4 データシート等

野帳記入とした。

2.2.5 準備機材一覧

種別	機器名	単位	数量	摘要
調査会社	光波測距儀	式	1	本体, 三脚, ミラー, ペン, 充電器
	スタッフ	本	2	5m : 1本, 3m : 1本
	ポール	本	3	2m
	ピンポール	本	2	60cm
	巻き尺	本	2	50m
	リボンテープ	本	1	50m
	折尺	組	1	1m × 2
	コンベックス	本	2	5m, 3m
	黒板	枚	1	
	デジタルカメラ	台	1	充電器込み
	スチルカメラ	台	1	
	救命浮輪	個	1	
	鉄筋棒	本	2	D 13, 6 m
	数字型板	式	2	
	ビニールテープ		適宜	白, 赤
	チョーク		適宜	普通, 雨用
	スプレー		適宜	黒
	マーカー		適宜	
	画板		適宜	
	ビニール袋		適宜	
	軍手		適宜	
その他	式	1		
水中ビデオ撮影調査会社	撮影機器	式	1	
	発電器	式	1	
	救命浮輪	個	1	
	はしご	基	2	5 m
	その他	式	1	
各自	作業服			
	ヘルメット			
	救命胴衣			
	雨具			
	安全帯			
	筆記具・野帳			
	昼食・飲料水			
	その他			

水中カメラ基本性能	
最大使用水深	40m
有効画素数	約 25 万画素 512(H) × 492(V)
電源	AC100V 50Hz / 60Hz
消費電力	2A 以下
水中ケーブル	φ 8mm × 50m
水中ランプ	100V / 150W ハロゲン球

参考文献:「日高港(御坊地区)防波堤西実海域実験報告書 平成 16 年 3 月 株式会社テトラ」

3. 非破壊検査技術

非破壊検査技術に関する参考資料として、各種団体、民間企業、学会などで公表されている非破壊検査技術に関する情報を収集・整理し、適用の可能性について調査した。尚、情報の収集・整理および調査は平成 14 年度に実施した成果を用いた。

3.1 適用の可能性

収集整理した技術について、適用条件、検査技術がケーソン式防波堤の損傷段階におけるどのステップで適用できるかについて表一資.3.12 に整理した。

判断基準を表一資.3.11 に示す。

表一資.3.11 損傷段階ごとの判断基準

損傷段階	判断基準
Step1	ひび割れの有無を検知することが可能であること。
Step2	ひび割れの進行状況を踏まえて、欠損した部位の特定が可能であること。
Step3	コンクリート構造物が介存することを前提に、空洞の検知が可能であること。

また、表一資.3.12 には、さらに以下の点について適用の可否を判定し整理した。

- ・適用可否について

- (1) 鉄筋 ; 鉄筋の有無による調査が可能であるか
- (2) 水の影響 ; 調査によって、水の影響をうけるか否か
- (3) 装置の形状 ; 現装置の形状が小型・軽量化であるか

- ・評価について

適用可否の項目で一つでも 適用の可能性が低い(△) と判定した場合、評価において適用の可能性が低い(△) と判断した。

表一資.3.12 (a) 非破壊検査技術に関する適用損傷ステップと適用の可否

原理	工法	企業名	適用条件	適用深度 (m)	適用STEP			適用可否		③装置の形状	評定		
					STEP1	STEP2	STEP3	②水の影響	①コアポート内の鉄筋				
弾性波法	HTECS-3	東海大学、(株) 大本組、伊藤建設、(株) 伊藤建設、(株) 計測リサーチテクノロジー	コンクリート厚、コーールドジョイント、空層、割離、適用厚さ：10cm～5m (1mを超える十分な分解能力が得られないことがある。)	約0.1～5m	●	●	●	△	△	装置が小型化されており、実用面において適用事例がある(約5kg)	◎	△	
			(株) 東京インテリサーチ	杭長の推定、クラックや断面欠損の有無と位置の推定、前面形状の推定	約60m	●	●	●	◎	◎	装置が小型化されており、実用面において適用事例がある(約1kg)	◎	○
			フジ地中情報 (株)	レイリー波を利用して、地盤の固さや電磁波などの調査、地中レーダー等で北極圏から深い3m以上の地質の調査。	3m以深				△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(約35kg)	△	△
			ビック (株)	3m以深				△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(約300kg)	△	△	
			(株) アーステクト	地盤の強度・観みの把握、地層構造の推測。適用深度：10m	約10m				△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(約300kg)	△	△
			熊本大学、(株) ビー・エス	在在のPC梁でのクラウト赤現度評価について推測	約0.4m	●			◎	◎	装置が小型化されており、実用面において適用事例がある(約12～13kg)	◎	○
			(株) 青木建設	人工構造物、自然構造物の根入れ、長さや傾斜など内部変位位置のおおよその他の探知が可能	コアポート 65m 鋼管杭 140m	●	●	●	◎	◎	装置が小型化されており、実用面において適用事例がある(約6kg)	◎	○
			川崎地質 (株)	超音波を用いて水面下の地層及び堆積層を調査	約40m				△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(約120kg)	△	△
			川崎地質 (株)	地中深さ 3m (コア) では4mまでの狭帯域可、鋼表直下の空洞の検出	約3～5m				○	○	装置が小型化されており、実用面において適用の可能性が低いと思われる(約30kg)	○	○
			川崎地質 (株)	地中深さ 4～15m (軟弱層、風化層)。地層の構造を断面図として表示。地層の変化や地中に埋設した異物、地下空洞の検出。	約4～15m				○	○	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(約15kg)	○	△
電磁波法	ラビダス (トンネル掘削工務車)	トンネル内のコンクリート覆工厚、覆工裏の空洞調査。	約0.6～1.0m	●	●	●	△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(車道込み約6500kg)	△	△		
		堤防護岸下空洞調査。	約0.1～5.0m	●	●	●	◎	◎	装置が小型化されており、実用面において適用の可能性が低いと思われる(約25kg)	◎	○		
		地下埋設物の位置調査、地層や地質状況の調査、地下空洞の調査、遺跡調査等。	約15m	●	●	●	○	○	装置が小型化されており、実用面において適用の可能性が低いと思われる(約36kg)	○	○		
		老朽トンネル調査	トンネル孔壁 (2～3m) 背後の空洞及び地質等の調査	約2～3m	●	●	●	△	△	装置の小型・軽量化が図られて適用の可能性が低いと思われる(車道込み約6300kg)	△	△	

適用可否①～③：◎＝適用可能性あり、○＝適用可能性低

表一資 3.12 (b) 非破壊検査技術に関する適用損傷ステップと適用の可否

原理	工法	企業名	適用条件	適用深度 (m)	STEP1 STEP2 STEP3	適用可否		③装置の形状	評価
						①コアポート内の鉄筋	②水の影響		
電磁波法 レーダー法	地中レーダー探査	興亜開発 (株)	道路やトンネルなどの空洞調査。 適用深度：5m程度	約5m	● ● ○	鉄筋を考慮した探査の適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約50~60kg)	△
	レーダーローケーター	大阪ガスエンジニアリング (株)	埋設管調査、空洞調査。 適用深度：1.4m	約1.4m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約60kg)	△
	レーダー・ミニ	大阪ガスエンジニアリング (株)	埋設管調査。 適用深度：0~0.6m	約0.6m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置が小型・軽量化されておらず、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約20kg)	○
	地中レーダー (トンネル掘削工事空洞調査)	フジ地中情報 (株)	トンネルやボックスカルパルトなどの掘削工事の空洞調査。埋設管調査。地中の空洞調査。	約1.0~1.5m 最大10m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約60kg)	△
	RCラファイター	近畿コンクリート工業 (株)	裏面下の空洞調査。 探査可能小空洞：幅50cm角、厚さ10cm 測定可能深度：1.5m	約1.5m	●	舗装面下の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約75kg)	△
	トンネル掘削工レーダー調査	近畿コンクリート工業 (株)	トンネルの掘削工、覆工背面空洞厚の測定。	約1.0~1.5m	●	舗装面下の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約75kg)	△
	地中探査工法 (PCB)	常盤工業 (株)	地下の空洞調査、埋設文化財等の調査。	約3m	● ●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置が小型化されておらず、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約4kg)	△
	地表走査型地下探査レーダー	日本調管 (株)	トンネル背面の空洞調査、舗装道路下の埋設管、空洞調査。	約1~3m	● ●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約56kg)	△
	地中レーダー映像探査	(株) シーケイ・テック	地中の埋設管、空洞の探査。	約1~3m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約60kg)	△
	地下レーダー探査 (トンネル掘削工事背面調査)	ビリック (株)	トンネル背面の空洞、変状調査。 掘削下の探査調査、護岸工事調査。 適用深度：1~3m	約1~3m	●	開発の前条件において鉄筋は除外されており、探査への適用の可能性は低い	水の介在に対して探査実績があり、適用可能と思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約50kg)	△
	地下レーダー探査	(株) アーステクト	地中の埋設物、空洞の探査。	約2~3m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約75kg)	△
	地中レーダー調査 (トンネル掘削工事背面調査)	(株) ウォーナルナット	トンネル等の掘削工事、地山状況などの背面状況の調査。	約1m	●	鉄筋を考慮した探査実績があり、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して探査実績があり、適用可能と思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約150kg)	△
	物理計測車による調査	(株) ウォーナルナット	道路下の埋設管、構成、空洞の調査。	約1.5~2.0m	●	埋設管等の探査が可能であるため、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して適用の可能性が低いと思われる	装置の小型・軽量化が困難であり、実用面において適用の可能性が低いと思われる (約80kg)	△
	地中レーダー探査	(株) ジオテック	地中の埋設管位置や空洞の有無の把握。	約1~15m	●	鉄筋を考慮した探査実績があり、適用の可能性が低いと思われる	水の介在に対して探査実績があり、適用可能と思われる	装置が小型化されており、実用面において事例がある (約15kg)	◎

適用可否①~④：◎=適用事例あり、○=適用可能性あり、△=適用可能性低い

表一資.3.12(c) 非破壊検査技術に関する適用損傷ステップと適用の可否

原理	工法	企業名	適用条件	適用深度 (m)	適用STEP		適用可否		評価
					STEP1 STEP2 STEP3	①コックレートの取替	②水の影響	③装置の形状	
電磁波法	トンネルレーダ探査	(株) ジオテック	覆工コンクリートの巻き厚や内部不良箇所の検出、背面空洞の有無やその規模の把握、コンクリート内部の鉄筋や支保工、背後の空洞等の調査	約1~2m	●	●	◎	◎	◎
	水域レーダ探査	(株) ジオテック	水中レーダは地盤やコンクリートだけでなく、水中(真水)にも調査可能	約5~10m	●		△	◎	△
	地中レーダ(エスパー)	(株) エヌ・ティ・ティ ネットワーク東中国	埋設物探査、路面下の空洞探査、建物の基礎探査、地盤状況調査構築物の青筋・配管探査。 適用深度：2.5m	約2.5m	●		◎	◎	△
	センシオン	(株) コス	地中の埋設物、空洞等 適用深度：1.5m	約1.5m	●		◎	◎	◎
	バイブアライナダー	GSSI社(米国)	埋設管・空洞探査。 適用深度：10cm~250cm	約0.1~2.5m	●		◎	◎	△
	SIR-2000	GSSI社(米国)	トンネル覆工調査、地層構造調査・空洞探査・埋設管理埋設物探査等	約0.5~7.0m	●		◎	◎	◎
	センシオン・ベータ	(株) パーナム	トンネル覆工背面空洞調査、埋設/護岸空洞調査等。 適用深度：比較的浅い深度	約1.0~1.2m	●		◎	◎	◎
	KC ラディート	(株) 地質情報サービス	トンネル覆工背面空洞探査。	約1.0~1.5m	●		△	◎	△
	KC ラディートR	(株) 地質情報サービス	道路面下空洞探査。	約1.5m	●		△	◎	△
	マルチバスリニアアレイレーダ探査	三井造船(株)	コンクリート中のひび割れ、コンクリート中のジャンキー、覆工コンクリート厚、背面空洞探査。	約0.4m	●		△	◎	◎
	路面下空洞探査車	ジオ・サーチ(株)	路面下空洞探査。 適用深度：1.2m程度	約1.2m	●		△	◎	△
	地中探査レーダ	日本測量工事(株)	埋設物、道路下の空洞、遺跡探査。	約1.5~2.0m	●		◎	◎	△
	空洞探査システム	(株) 興和	道路の橋脚箇所、河川堤防の空洞箇所の予知、湧き水の背面状態。	約0.5m	●		△	◎	◎
	コンクリート表面劣化調査	近畿コンクリート工業(株)	天候と湿度対象物の日射の影響にもよるが、コックレート表面から5~10cm程度の厚みや割れを検出	約0.1m	●		△	◎	◎

適用可否①~③：◎=適用事例あり、○=適用可能性あり、△=適用可能性低い

3.2 ケーソン中詰状況の検査技術

ケーソン損傷に関する点検の主たる目的である中詰材の状況を把握する検査技術について、前掲の表一資.3.12において「適用の可能性がある(○)」と判定したものから、実用化に当たっての課題等を検討した結果を表一資.3.13に示す。

表一資.3.13に示す調査結果から、前掲の表一資.3.12において「適用の可能性がある(○)」と判定された技術においてもいまだ実用に際しては課題が多くあることがわかる。よって、実用化に向けて今後の更なる技術開発が望まれるところである。

表一資.3.13 適用の可能性がある中詰材検査技術の適用課題

原 理	工 法	企 業 名	実 用 化 (改 良) の 課 題
弾性波法	IT system	(株) 東京ソイルリサーチ	○探査深度の確認 ○損傷状況の明瞭化
	SIBIE法(インパ外エコー法)	熊本大学、 (株) ビー・エス	○探査深度の向上 ○損傷状況の明瞭化
	オーリス	(株) 青木建設	○探査深度の確認 ○損傷状況の明瞭化
電磁波法	パルス波地中レーダ探査法	川崎地質 (株)	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良 ○損傷状況の明瞭化
	地下レーダ (護岸下空洞探査)	応用地質 (株)	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良
	地中レーダ調査	大和探査技術 (株)	○探査深度の確認 ○小型・軽量化の改良
	レーダー・ミニ	大阪ガスエンジニアリング (株)	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良
	レーダー 地中レーダ探査	(株) ジオテック	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良
	トンネルレーダ探査	(株) ジオテック	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良
	センシオン	(株) コス	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良 ○損傷状況の明瞭化
	SIR-2000	GSSI社(米国)	○探査深度の向上 ○損傷状況の明瞭化
	センシオン・ペータ	バーナム (株)	○探査深度の向上 ○小型・軽量化の改良 ○損傷状況の明瞭化

添付資料 4

模型実験の概要

模型実験の概要

平成 15 年度既存施設(防波堤等)改良技術開発調査, および平成 16 年度既存施設(防波堤等)補修技術開発調査において実施された模型実験(以下 H.15 年度実験, H.16 年度実験と称す)の概要を以下に示す。

1. H. 15 年度実験

1.1 実験の目的

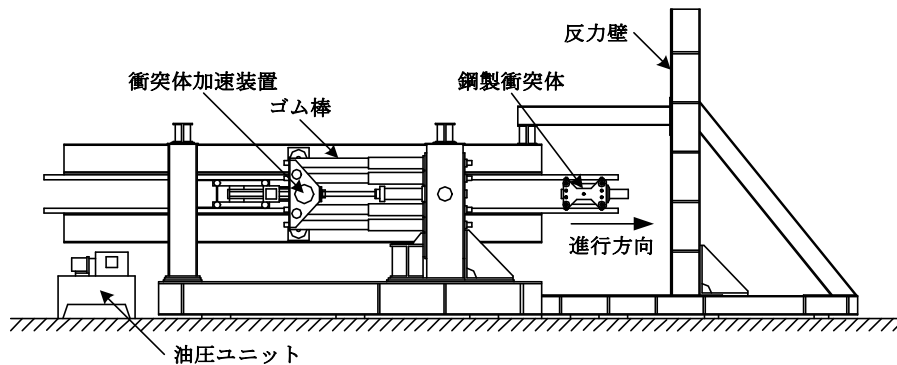
本実験の目的は, 水平衝撃荷重装置を使用して, 消波ブロック模型の衝突速度および衝突面積, ケーソン前壁模型(以下 RC 板と称す)の壁厚およびコンクリート強度などをパラメータとした衝突模型実験を行い, 消波ブロックとケーソンに関する衝突力算定式を確立するための基礎データを得ることである。

1.2 実験装置

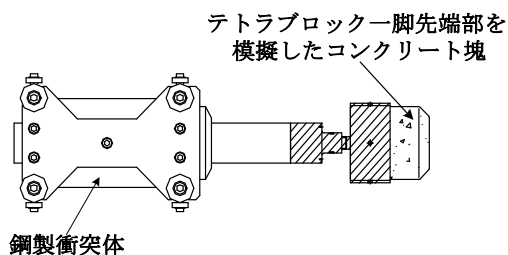
実験装置の概略を図一資. 4.1 に示す。本装置は, 本体フレーム, ゴム棒, 油圧ジャッキ, 反力壁および重錘等から構成されている。衝撃力の荷重方法は, 衝突体をチャックでつかみ油圧ジャッキでゴム棒を伸長し, その弾性エネルギーを利用して衝突体を加速させるものである。

衝突体は, ガイドレールに沿って走行するので, 衝突体を被衝突体の所定の位置に正確に衝突させることができ, ゴムの伸長量を調節することで任意の衝突速度に設定することができる。本実験で用いた衝突体は, 図一資. 4.2 に示すように, 鋼製衝突体の先端に異形ブロックの 1 つであるテトラブロックの一脚先端部を模擬したコンクリート塊(重量: 98N~112.7N, 消波ブロック模型と称す)を取り付けたものであり, 全重量は約 1.74kN である。

RC 板の取り付けは, 写真一資. 4.1 に示すように試験対支持具に 4 辺を万力で固定した(4 辺単純支持条件)。また, 実現象と実験条件を整合させるため, RC 板と試験体支持具の間に中詰め砂を投入した。



図一資. 4.1 水平衝撃荷重装置



図一資. 4.2 衝突体



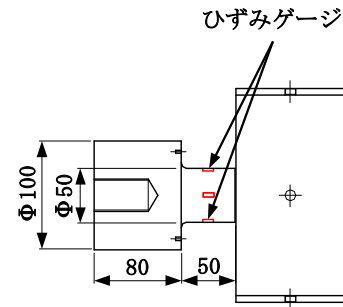
写真一資. 4.1 RC 板取り付け状況

1.3 計測項目

計測項目は、衝突体の衝撃力と衝突速度および RC 板の載荷面の陥没量と板のたわみである。衝撃力の計測は、鋼製衝突体の先端部(図一資. 4. 3)に取り付けた鋼製の円柱起歪部(直径; 50 mm, 長さ; 50 mm, 材質; SS400)にひずみゲージ 4 枚を貼付し、衝突によって円柱起歪部に生じるひずみ量を 4 ゲージ法により計測した後、衝撃力へ換算した。

衝突体の衝突速度は、衝突体の前輪が 2 組のレーザー光線を横切る時間間隔を計測して速度を検出する光電式速度検出器を用いた。さらに、可視光レーザー式変位センサを用いて RC 板試験体からはね返る衝突体の速度を測定した。

RC 板の載荷面の陥没量は、ノギスとダイヤルゲージを用いて 45 度の間隔で円周上の 8 点を計測し、その平均値とした。載荷面中央部のたわみは、鋼尺とノギスを用いて計測した。



図一資. 4. 3 ロードセル

1.4 試験体

ケーソン壁が実際に被災した事例によると、ケーソン前壁厚は 40cm~50cm, テトラブロックは 32t 型~64t 型の範囲である。そこで、実験の基本条件として、壁厚 45cm の RC 板および重量 50t 型のテトラブロックにレプリカ則を適用し、1/6.4 縮尺で模擬した RC 板に対して実験を行った。

1.4.1 RC 板

RC 板の形状は図一資. 4. 4 に示すように縦横 110cm とした。板厚は、実際のケーソンの前壁厚 45cm を縮尺 $S=1/6.4$ で縮小した 7cm を基本とし、壁厚が衝突力に及ぼす影響を調べるため 10.5cm, 14cm の 3 種類を用いた。

コンクリート強度は、実際のケーソンに使用されている 24N/mm^2 を基本とし、コンクリート強度が衝突力に及ぼす影響を調べるため、 $24\text{N/mm}^2, 60\text{N/mm}^2$ の 2 種類とした。

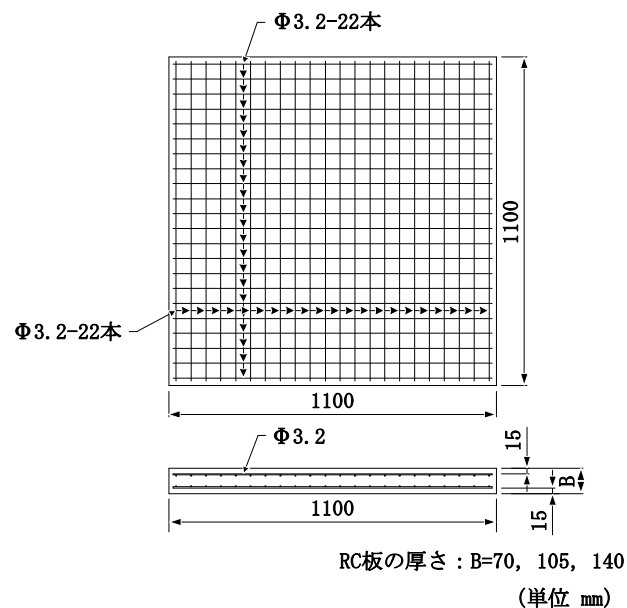
使用した鉄筋は、普通鉄線($\phi 3.2\text{ mm}$)を用いたメッシュ筋であり、格子間隔は 50 mm とした。

1.4.2 消波ブロック模型

消波ブロック模型の形状は、図一資. 4. 5 に示すようにテトラブロックの先端部を模擬した 4 種類とした。各形状については、以下の状態を模擬して決定した。

- (1) 載荷面 $\phi 130\text{ mm}$ は、50t 型テトラブロック 4 脚の 1 つの面が全面で衝突すると考えた形状。
- (2) 載荷面 $\phi 65\text{ mm}$ は、テトラブロック 4 脚の 1 つの面がケーソンに斜めに衝突したと考え、 $\phi 130\text{ mm}/2$ の $\phi 65\text{ mm}$ とした形状。
- (3) 載荷面 $\phi 40\text{ mm}$ は、テトラブロック 4 脚の 1 つの面がケーソンに斜めに衝突したと考え、 $\phi 130\text{ mm}/3 \approx \phi 40\text{ mm}$ とした形状。
- (4) 載荷面 $r90\text{ mm}$ の半球形状(以下半球体)は、テトラブロック 4 脚の 1 つの面がケーソンに斜めに衝突したときの最小径を半球体とした形状。

消波ブロック模型は、繰り返し衝突実験による損傷・破壊を防止するために、普通鉄線($\phi 3.2\text{ mm}$)をらせん状に埋設して補強を行ったもの、実際のテトラブロックと同様に補強しないものの 2 種類とし、衝突面積の影響をみる実験に関しては、実際のテトラブロックと同様に補強の無いものを用いた。



図一資. 4. 4 RC 板試験体

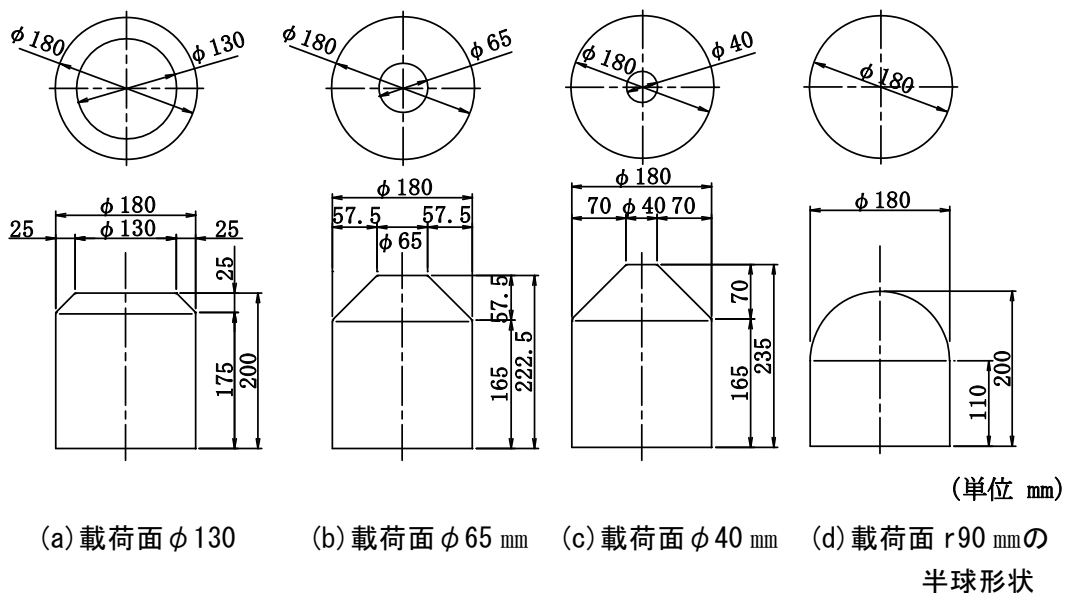


図-資. 4.5 消波ブロック模型

1.5 実験ケース

表-資. 4.1 に示すように、コンクリート強度、消波ブロック模型の接触面積、RC 板厚および衝突速度などをパラメータとして実験ケースを決定した。

衝突速度については、平成14年度に防衛大学にて実施した実験と比較するため、以下の4種類の衝突速度を基本とし、漸増載荷についてもこの4ケースを基本として考えた。

- ・ 衝突速度 1.5, 2.25, 2.73, 3.8 (m/s)

表一資. 4.1 実験ケース

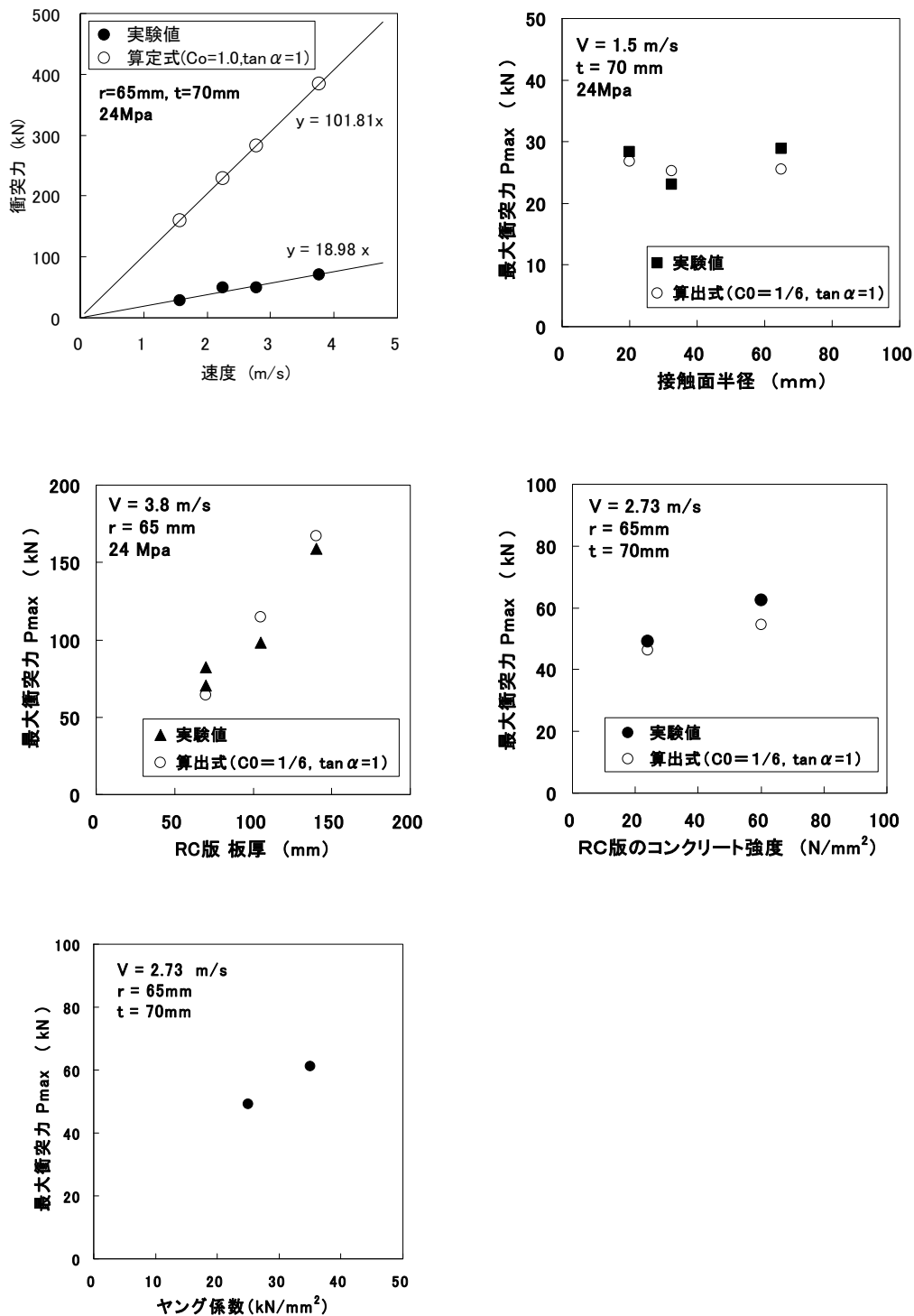
項目	壁厚 (mm)	接触面積	衝突速度 (m/s)	消波ブロック模型		RC板 強度 (N/mm ²)	実験 回数	ケース 番号
				補強 鉄筋	強度 (N/mm ²)			
コンクリート強度 衝突速度	70	φ = 130mm	1.5	有	21	24	1	①
	70	φ = 130mm	2.25	有	21	24	1	②
	70	φ = 130mm	2.73	有	21	24	1	③
					21	60	1	④
					60	60	1	⑤
	70	φ = 130mm	3.8	有	21	24	1	⑥
					21	60	1	⑦
	70	φ = 130mm	1.5, 2.25, 2.73, 3.8	有	21	24	1	⑧
	70	φ = 130mm	2.73	有	21	24	1	⑨
接触面積 形状	70	φ = 130mm	3.8	無	21	24	1	⑩
	70	φ = 65mm	1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0	無	21	24	1	⑪
	70	φ = 65mm	2.5	無	21	24	1	⑫
	70	φ = 40mm	1.5, 2.25, 2.73, 3.8	無	21	24	1	⑬
	70	φ = 40mm	1.5	無	21	24	1	⑭
	70	半球形状	1.5, 2.25, 2.73, 3.8	無	21	24	1	⑮
	70	半球形状	2.73	無	21	24	1	⑯
板厚	105	φ = 130mm	1.5, 2.25, 2.73, 3.8	有	21	24	1	⑰
	105	φ = 130mm	3.8	有	21	24	1	⑱
	140	φ = 130mm	1.5, 2.25, 2.73, 3.8	有	21	24	1	⑲
	140	φ = 130mm	2.73	有	21	24	1	⑳

1.6 実験結果と考察

1.6.1 各要因が衝突力に及ぼす影響の評価

図一資. 4.6 に消波ブロックの衝突速度，衝突面積，および RC 板厚，コンクリート強度と衝突力の関係を示す．同図より，衝突力は消波ブロックの衝突速度に比例するが，衝突面積の変化による影響は小さいことがわかった．また，RC 板厚，コンクリート強度を増加させることにより衝突力も増加することがわかった．これは，RC 板厚，コンクリート強度の増加に伴い RC 板の耐力も増加したためと考えられる．

以上の結果を整理して表一資. 4.2 に示す．



図一資. 4.6 各要因が衝突力に及ぼす影響

表-資. 4.2 各要因が衝突力に及ぼす影響

要 因		衝突力に及ぼす影響
消波 ブロック	衝突速度	衝突速度に比例
	衝突面積	影響は小さい
ケソン 前壁	壁厚	壁厚の増加に伴い増加
	コンクリート強度	強度の増加に伴い増加
	ヤング係数	ヤング係数の平方根にほぼ比例

1.6.2 RC板の耐力の評価

(1) コンクリート強度がRC板の耐力に及ぼす影響の評価

コンクリート強度がRC板の耐力に及ぼす影響を評価するため、ケース③(コンクリート強度 24Mpa)とケース④(コンクリート強度 60Mpa)の最大衝突力、および衝突位置の陥没量を比較し図-資.4.7, 図-資.4.8に示す。図-資.4.7には、コンクリート標準示方書¹⁾記載の押し抜きせん断耐力算定式による値も併記している。

コンクリート強度の増加に伴い最大衝突力が大きくなっているが、陥没量は減少している。コンクリート強度の増加により耐力も増加したためと考えられる。

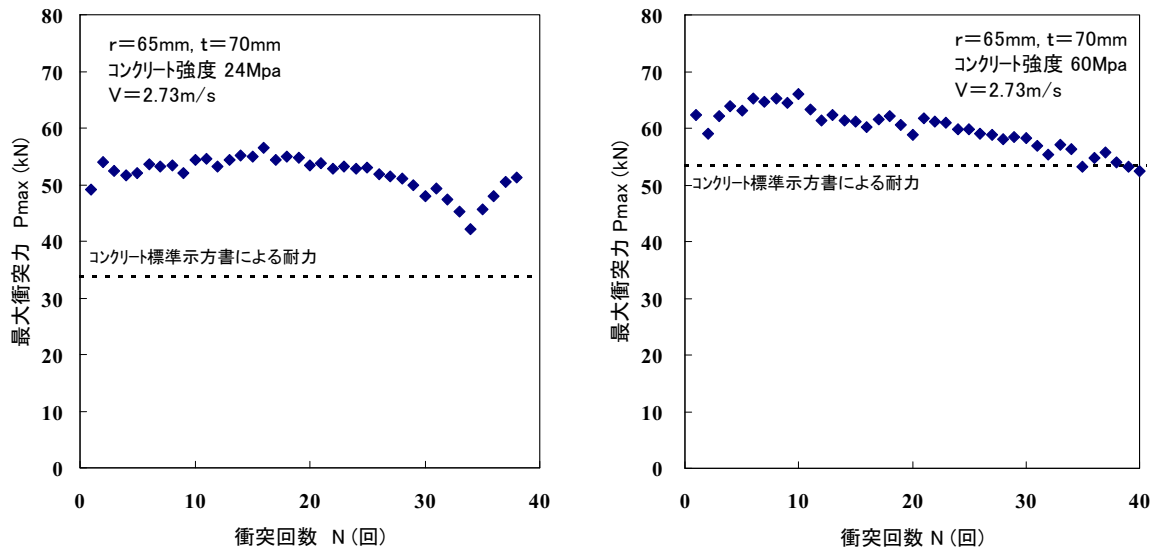


図-資.4.7 コンクリート強度の違いによる最大衝突力の比較

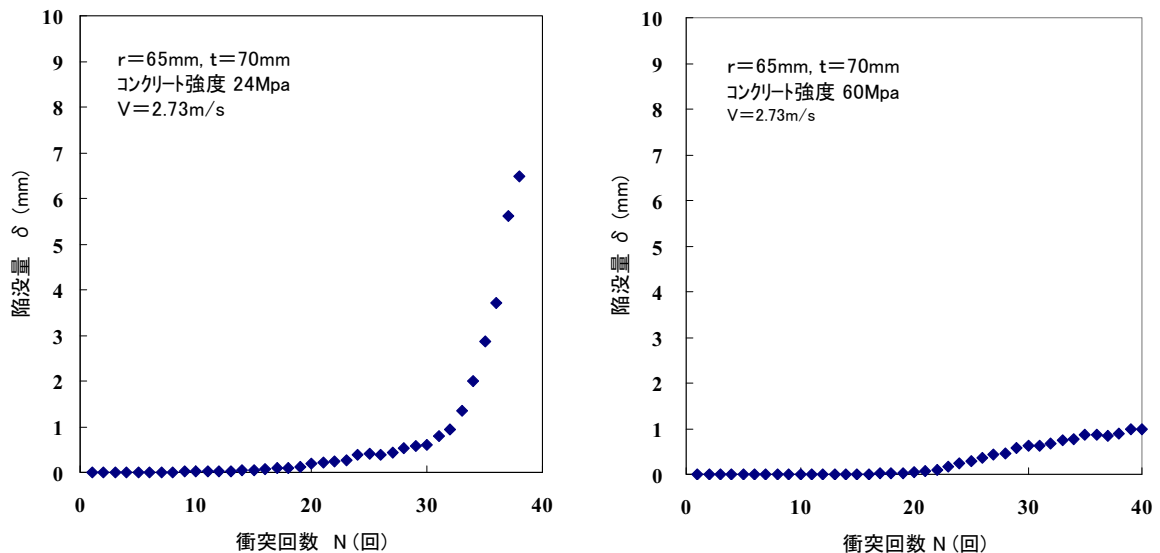
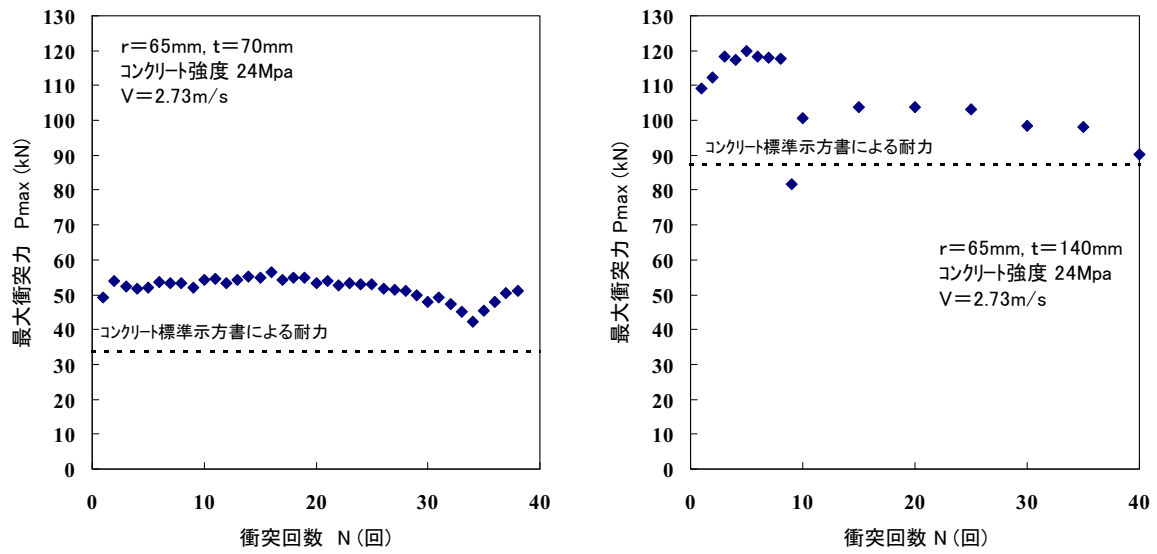


図-資.4.8 コンクリート強度の違いによる陥没量の比較

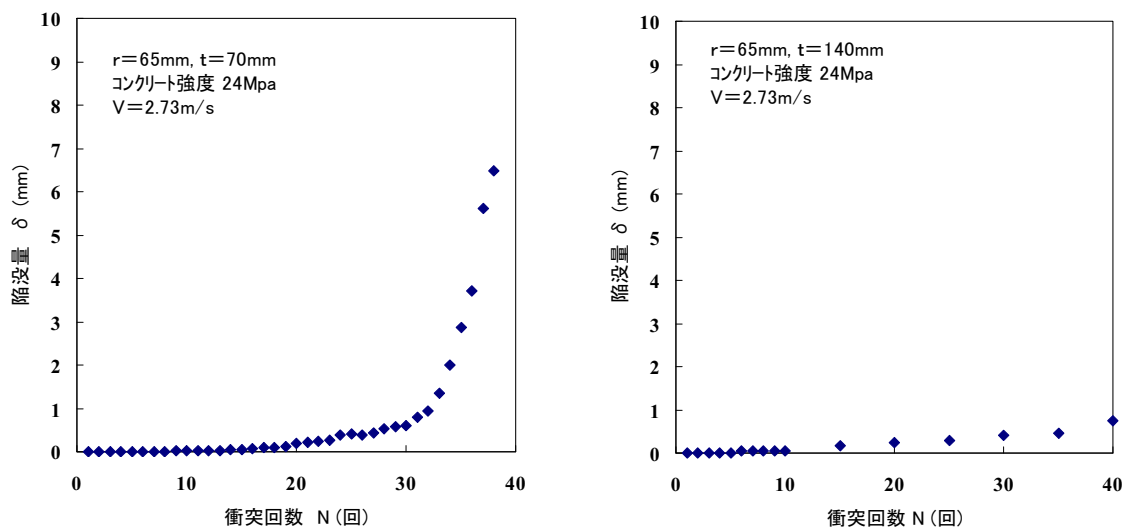
(2) RC 板厚が RC 板の耐力に及ぼす影響の評価

RC 板厚が RC 板の耐力に及ぼす影響を評価するため、ケース⑥(RC 板厚 70 mm)とケース⑩(RC 板厚 140 mm)の最大衝突力、および衝突位置の陥没量を比較し図一資. 4. 9, 図一資. 4. 10 に示す. 図一資. 4. 9 には、コンクリート標準示方書¹⁾記載の押し抜きせん断耐力算定式による値も併記している。

RC 板厚の増加に伴い最大衝突力が大きくなっているが、陥没量は減少している。RC 板厚の増加による耐力増強効果のほうが衝突力の増大効果より大きいと考えられる。なお、RC 板の鉄筋量は両ケースとも同一であり、板厚が大きいケースの鉄筋比は小さい。



図一資. 4. 9 RC 板厚の違いによる最大衝突力の比較



図一資. 4. 10 RC 板厚の違いによる陥没量の比較

2. H.16 年度実験

2.1 実験の目的

本実験の目的は、境界条件、衝突位置が衝突力に及ぼす影響を確認するために、H.15 年度実験から RC 板形状、RC 板の固定条件(4 辺単純支持 → 3 辺固定)および消波ブロック模型の衝突位置を変化させて実験を行い、平成 15 年度調査で求めた衝突力算定式を見直す(境界条件、衝突位置の影響を考慮できるようにし、現地ケーソンの設計に適用可能な算定式とする)ための基礎データを得ることである。

2.2 実験装置

H.15 年度実験と同様の実験装置を用いるが、RC 板の固定方法は、反力壁に取り付けられた H 鋼に固定境界部分をボルトで固定した(写真一資. 4. 2)。なお、H.15 年度実験において中詰め砂の有無が衝突力に及ぼす影響が小さいことがわかっているため、H.16 年度実験においては中詰め砂無しとして実験を行った。



写真一資. 4. 2 RC 板取り付け状況(模型②)

2.3 計測項目

H.15 年度実験と同様である。

2.4 試験体

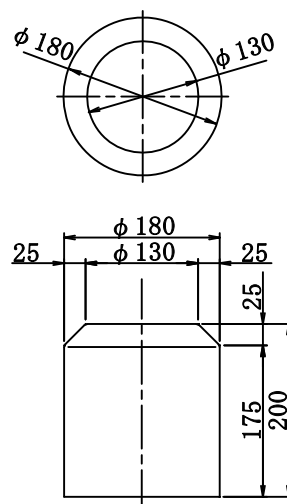
2.4.1 RC 板

板厚は、実ケーソンの前壁厚 45cm を、縮尺 $S=1/6.4$ で縮小し 7cm とした。RC 板形状は、境界条件と衝突位置の影響を調べるため図一資. 4. 11 に示す 3 種類を用いた。

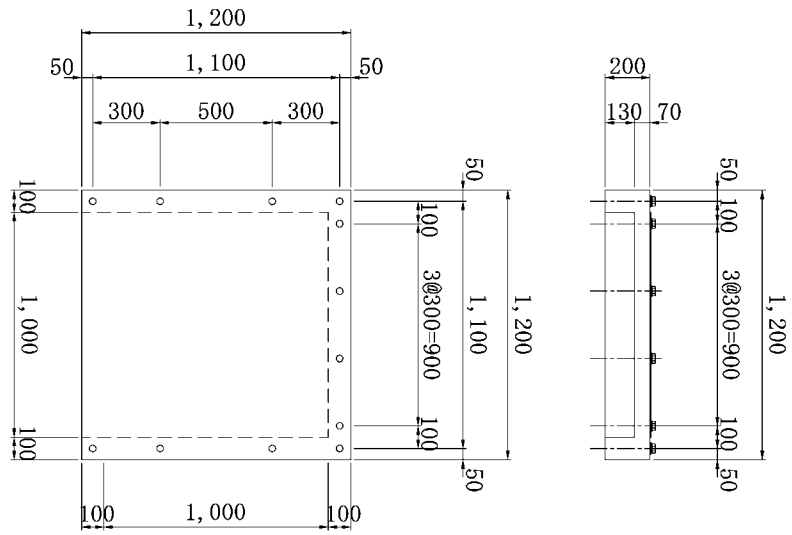
コンクリート強度は、実ケーソンに使用されている 24N/mm^2 とした。使用鉄筋は、普通鉄線($\phi 3.2\text{mm}$)を用いたメッシュ筋であり、格子間隔は 50 mm とした。

2.4.2 消波ブロック模型

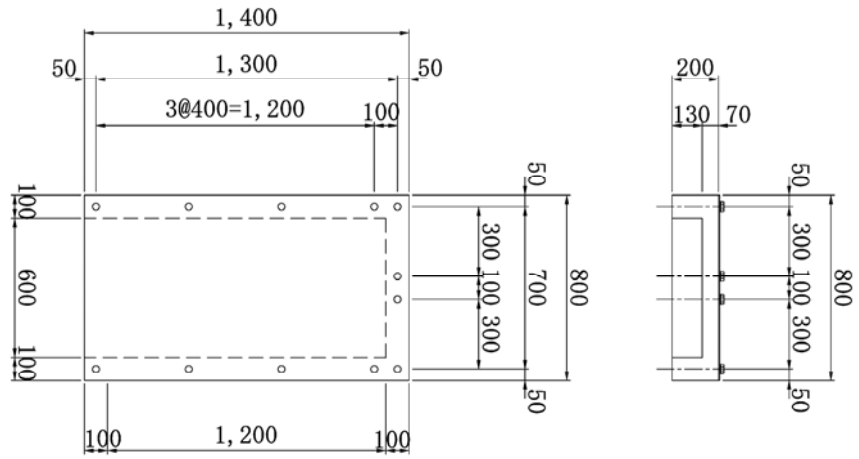
H.15 年度実験と同様に、50t 型テトラブロックの先端部を模擬したブロック模型を用いて実験を行った(図一資. 4. 12)。消波ブロック模型は、繰り返し衝突実験によるコンクリート塊の損傷・破壊を防止するために、普通鉄線($\phi 3.2\text{mm}$)をらせん状に埋設して補強されている。



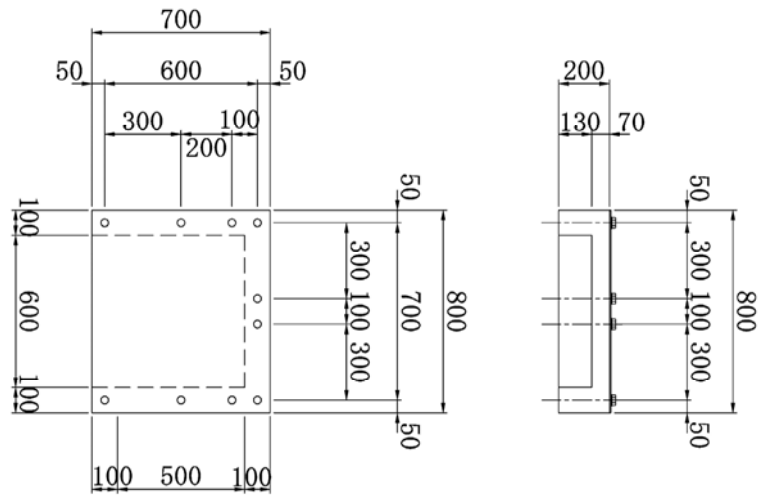
図一資. 4. 12 消波ブロック模型



• 模型①



• 模型②



• 模型③

圖一資. 4. 11 RC 板試驗體

2.5 実験ケース

表-資.4.3 に示すように、コンクリート強度、衝突体の接触面積、RC 板厚および衝突速度などをパラメータとして実験ケースを決定した。

表-資.4.3 実験ケース

ケース番号	接触面積	衝突速度 (m/s)	衝突位置	ケーソン前壁模型			消波ブロック模型	
				模型形状	板厚 (mm)	強度 (N/m ²)	補強鉄筋	強度 (N/m ²)
①	Φ=130mm	2.7	図-資.4.13 参照	①	70	24	有	21
②-1	〃	〃		②	〃	〃	〃	〃
②-2	〃	〃			〃	〃	〃	〃
②-3	〃	〃			〃	〃	〃	〃
②-4	〃	〃			〃	〃	〃	〃
③-1	〃	〃		③	〃	〃	〃	〃
③-2	〃	〃			〃	〃	〃	〃
③-3	〃	〃			〃	〃	〃	〃

■ 実験パラメータ

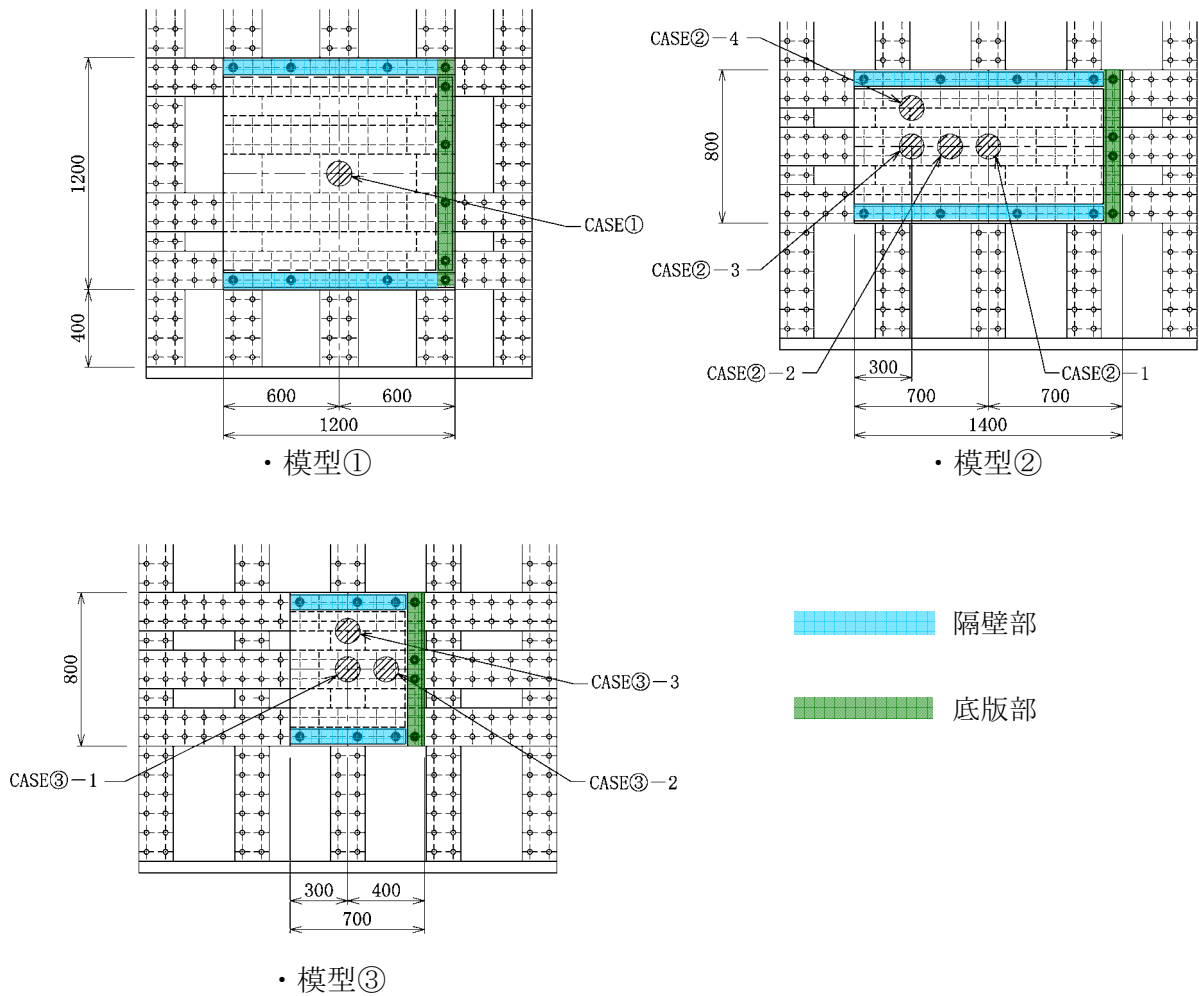
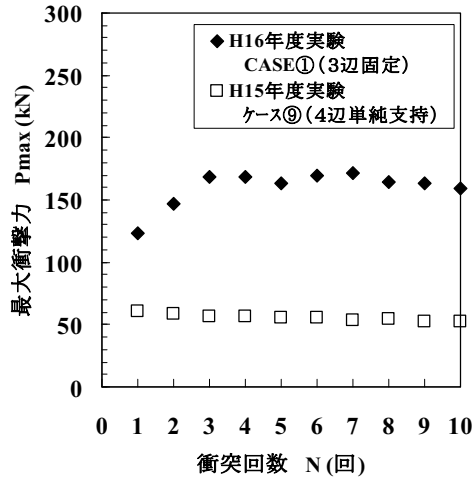


図-資.4.13 衝突位置図

2.6 実験結果と考察

2.6.1 境界条件の違いによる最大衝突力の比較

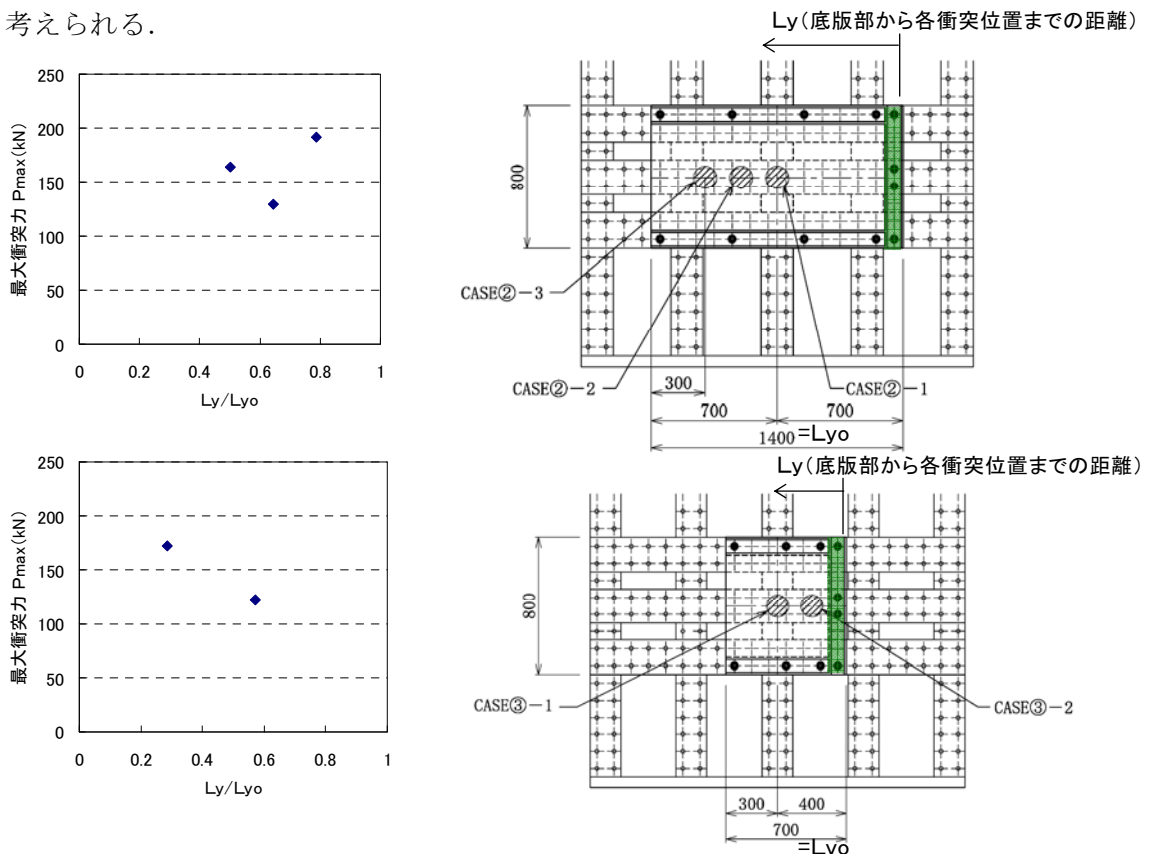
境界条件の違いが最大衝突力に及ぼす影響を評価するため、H.15 年度実験のケース③(4 辺単純支持条件)と H.16 年度実験の case①(3 辺固定条件)の最大衝突力を比較し図一資. 4. 14 に示す。現地ケーソンの条件に対応する 3 辺固定下での最大衝突力は、4 辺単純支持条件の場合の最大衝突力の 2~3 倍に増大している。つまり、衝突力の大きさは境界条件の影響を大きく受けると言える。



図一資. 4. 14 境界条件の違いによる最大衝突力の比較

2.6.2 底版部からの距離による比較

底版部から衝突位置までの距離が最大衝突力に及ぼす影響を評価するため、case②-1 と case②-2 の最大衝突力、および case③-1 と case③-2 の最大衝突力を比較し図一資. 4. 15 に示す。いずれの場合も衝突位置が底版部に近づくほど最大衝突力が大きくなっている。これは、底版部によって板のたわみが抑制されるため、たわみで吸収されない分のエネルギーによって衝突力が増大したものと考えられる。



図一資. 4. 15 底版部からの距離による最大衝突力の比較

2.6.3 隔壁部からの距離による比較

隔壁部から衝突位置までの距離が最大衝突力に及ぼす影響を評価するため、case②-4 と case②-3、および case③-1 と case③-3 の最大衝突力を比較し図-資.4.16 に示す。いずれの場合も衝突位置が隔壁部に近づくほど最大衝突力が大きくなっている。これは、底版部による影響と同様に、固定境界による板のたわみ抑制効果によるものと考えられる。

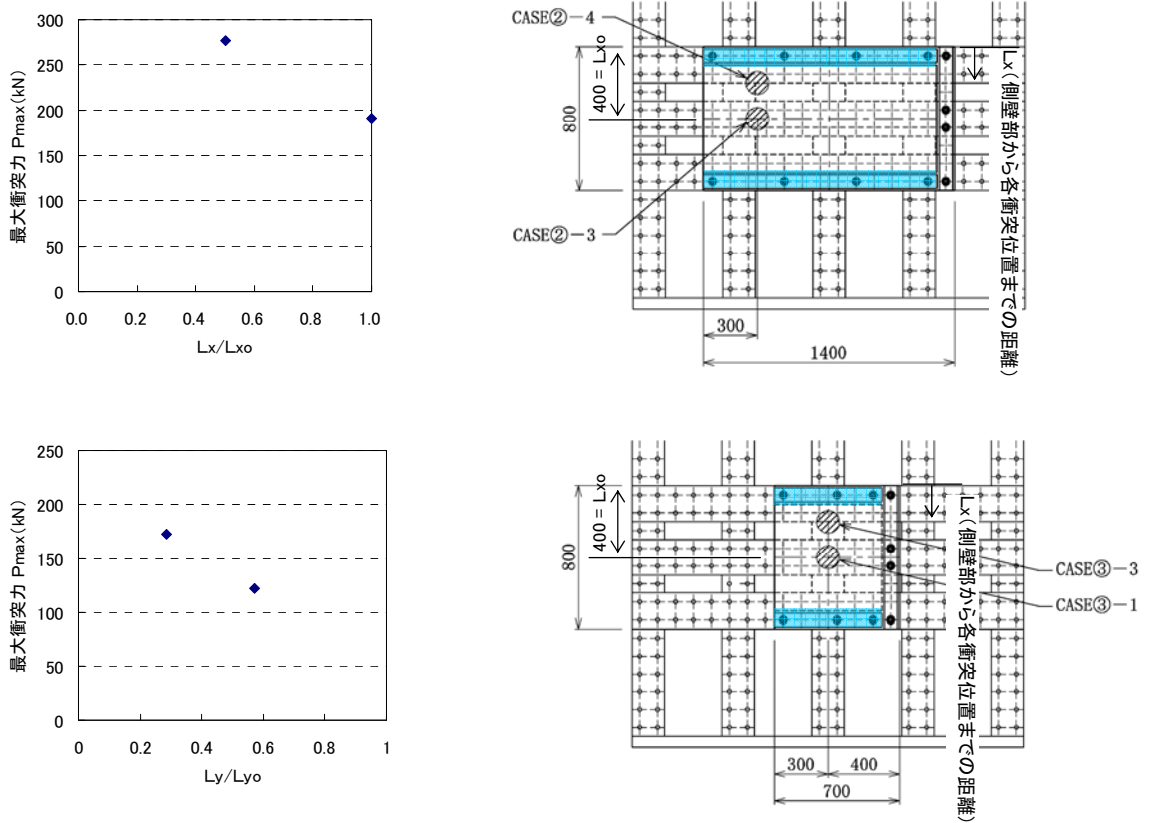
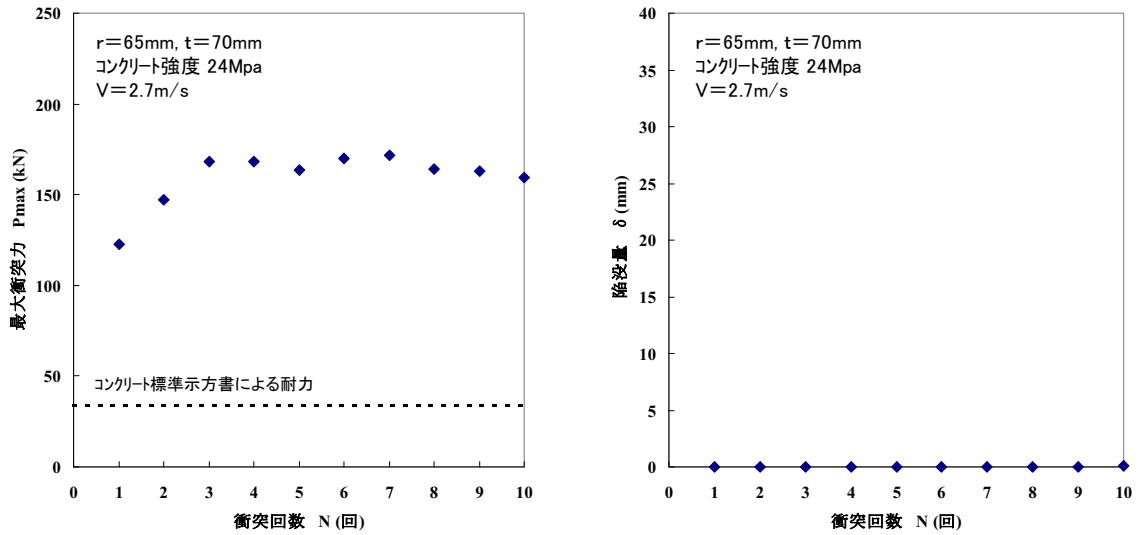


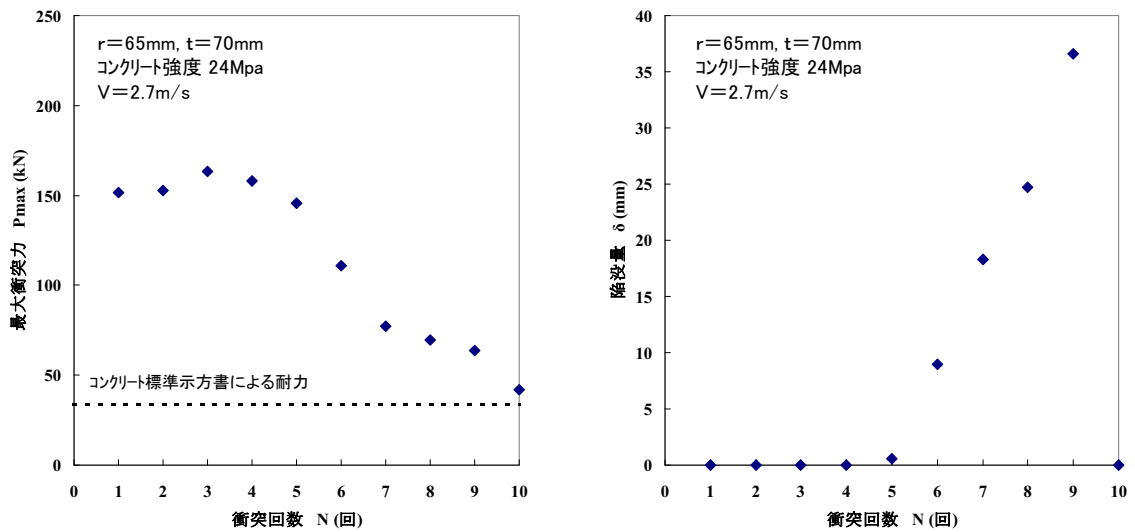
図-資.4.16 隔壁部からの距離による最大衝突力の比較

2.6.4 各実験ケースの最大衝突力と陥没量

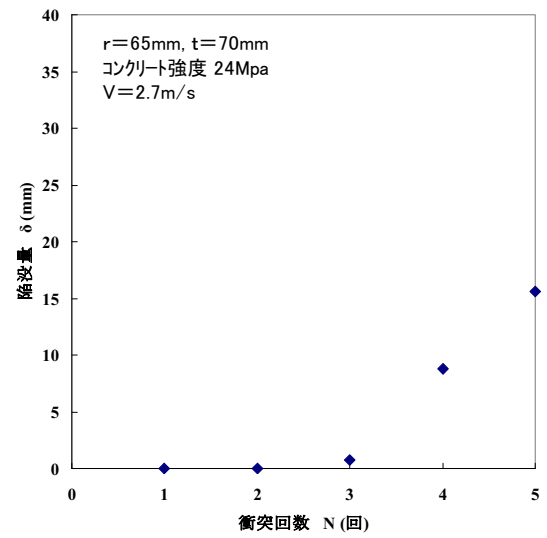
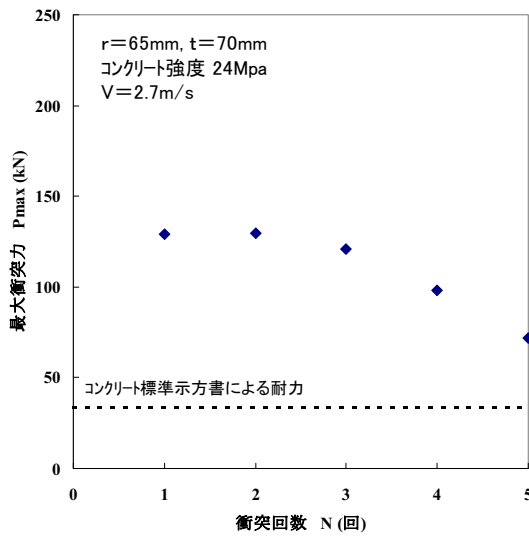
各実験ケースの最大衝突力と陥没量を整理して図-資. 4. 17～図-資. 4. 24 に示す。最大衝突力の図には、コンクリート標準示方書¹⁾記載の押し抜きせん断耐力算定式による値も併記している。



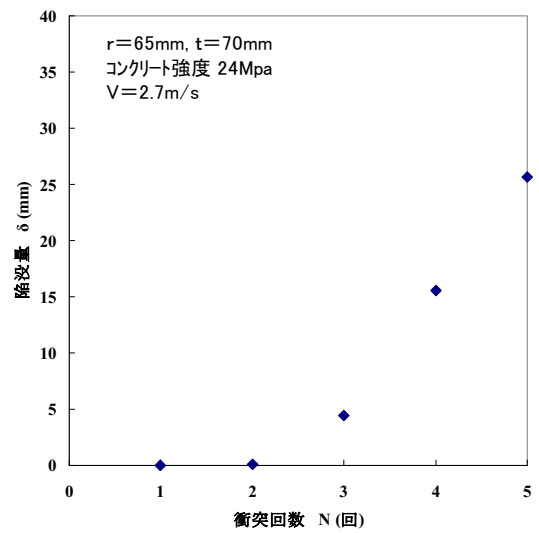
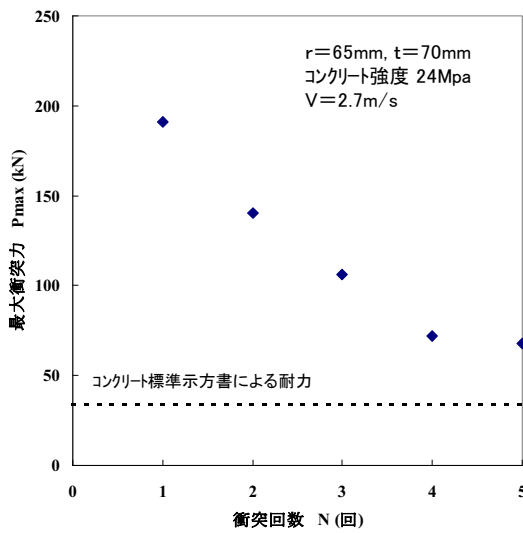
図一資. 4. 17 最大衝突力と陥没量 (CASE①)



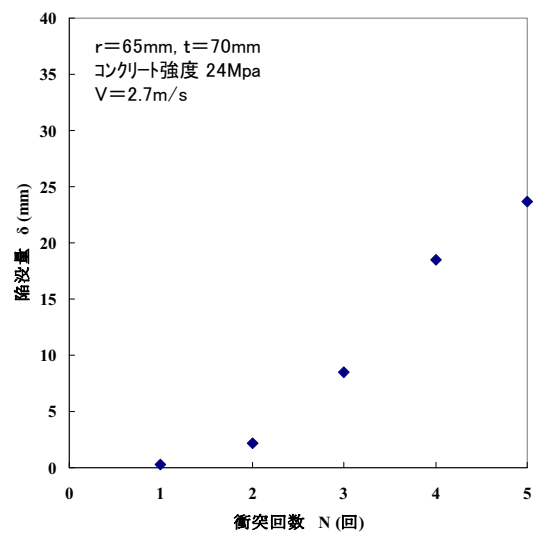
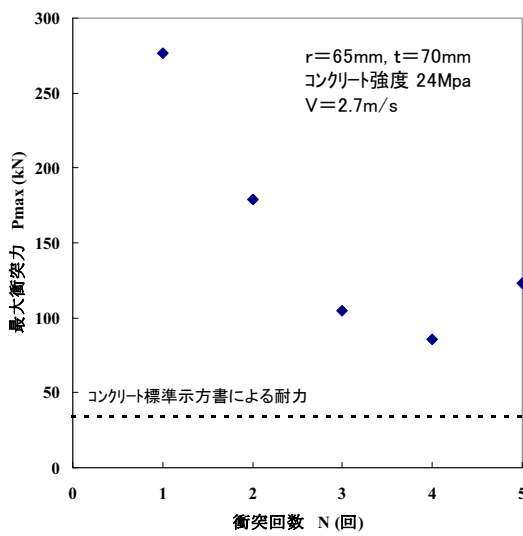
図一資. 4. 18 最大衝突力と陥没量 (CASE②-1)



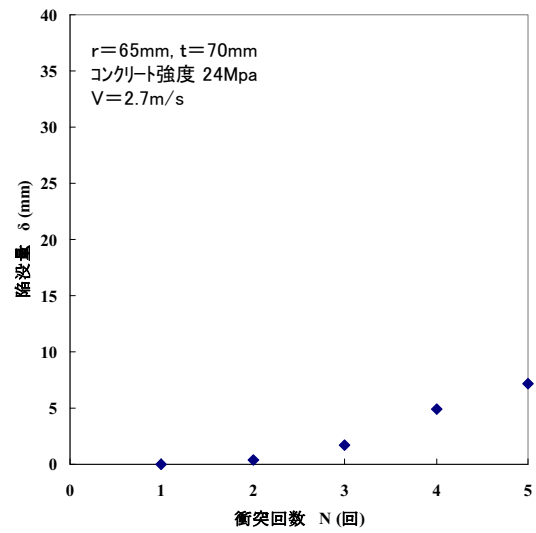
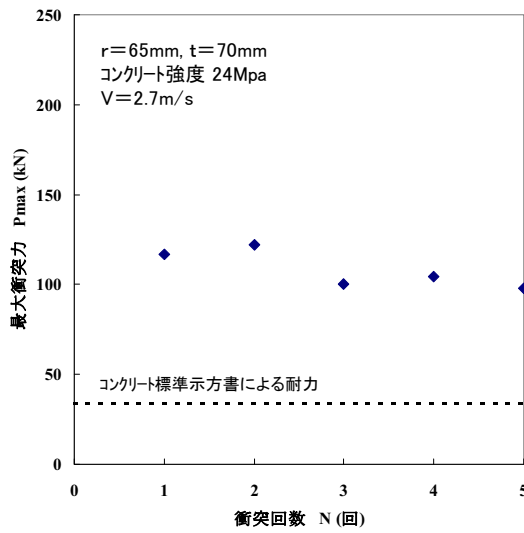
図一資. 4.19 最大衝突力と陥没量 (CASE②-2)



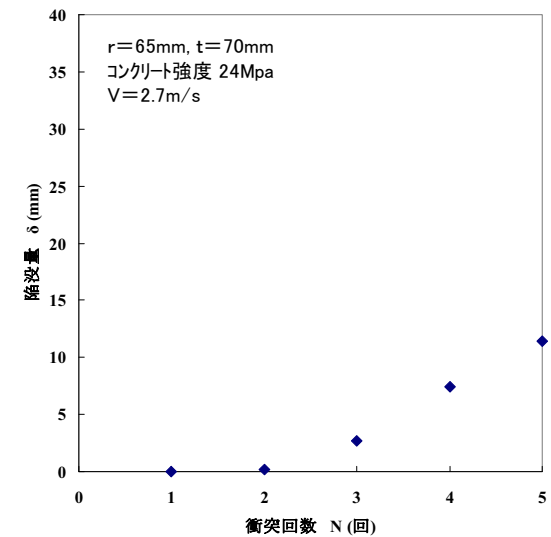
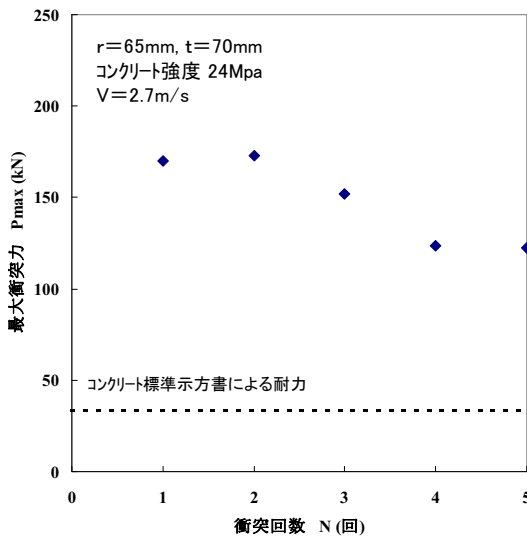
図一資. 4.20 最大衝突力と陥没量 (CASE②-3)



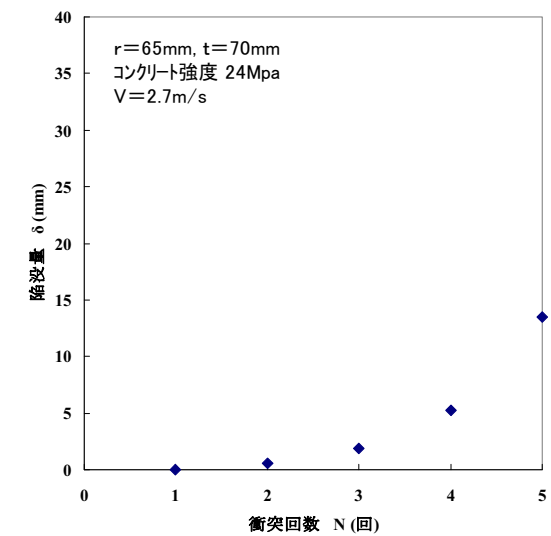
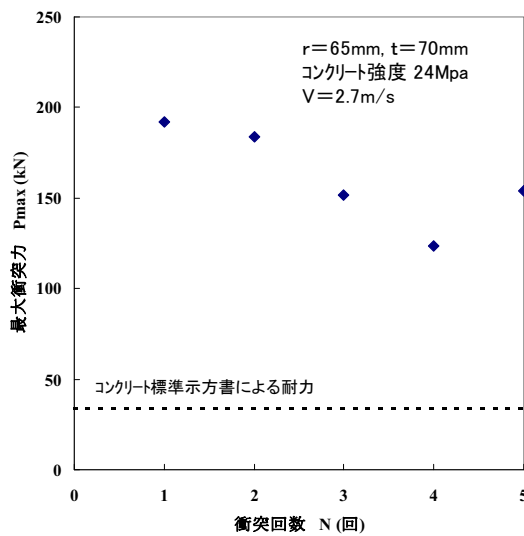
図一資. 4.21 最大衝突力と陥没量 (CASE②-4)



図一資. 4. 22 最大衝突力と陥没量 (CASE③-1)



図一資. 4. 23 最大衝突力と陥没量 (CASE③-2)



図一資. 4. 24 最大衝突力と陥没量 (CASE③-3)

2.6.5 実験写真

CASE②-1とCASE②-4における模型の取付け状況，およびRC板の損傷状況を写真-資.4.4，写真-資.4.5に示す.

・模型取付け状況



衝突回数5回

衝突面



背面



衝突回数6回

衝突面



背面



写真-資.4.4 実験状況 (CASE②-1)

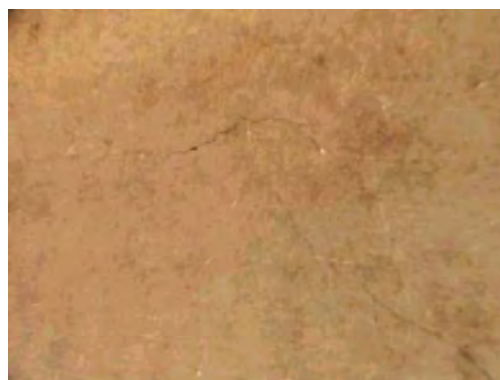
・模型取付け状況



衝突回数1回

衝突面

背面



衝突回数2回

衝突面

背面



写真-資. 4.5 実験状況 (CASE②-4)

添付資料 5

予防工法設計例

添付資料 5

<目次>

1 予防工法設計例	資 5-1
1. 1 設計条件	資 5-1
1. 1. 1 自然条件	資 5-1
1. 1. 2 上部工と既存ケーソン前壁の構造	資 5-1
1. 1. 3 消波ブロック	資 5-2
1. 1. 4 消波ブロックの移動速度	資 5-3
1. 2 衝突力と曲げモーメントの計算	資 5-3
1. 2. 1 計算位置	資 5-3
1. 2. 2 衝突力の算定	資 5-4
1. 2. 3 曲げモーメントの算定	資 5-7
1. 3 既存ケーソン耐力の評価	資 5-11
1. 3. 1 衝突速度ごとの衝突力と曲げモーメント	資 5-11
1. 3. 2 既存ケーソン前壁の耐力の算定	資 5-12
1. 3. 3 既存ケーソン前壁の衝突速度ごとの照査	資 5-13
1. 4 予防範囲の設定	資 5-14
1. 4. 1 予防範囲	資 5-14
1. 4. 2 設計例に用いる予防範囲	資 5-15
1. 5 壁厚・コンクリート強度・最大鉄筋径等の組合せに対する設計例	資 5-16
1. 5. 1 概要	資 5-16
1. 5. 2 壁厚・コンクリート強度・最大鉄筋径等の組合せに対する設計例	資 5-16
1. 5. 3 消波ブロックと前壁の接触による摩耗対策	資 5-18
1. 6 選定した組合せ工法の設計例計算内容の詳細	資 5-19
1. 6. 1 設計方針	資 5-19
1. 6. 2 予防断面における衝突力と曲げモーメント	資 5-21
1. 6. 3 押し抜きせん断耐力の計算	資 5-21
1. 6. 4 曲げ耐力の計算	資 5-23
1. 6. 5 押し抜きせん断に対する照査	資 5-25
1. 6. 6 曲げに対する照査	資 5-26
予防工法設計例の概要	資 5-27

1. 予防工法設計例

予防工法についてはモデル港を選定し、対象とする防波堤について以下に示す条件で検討を行うものとする。

1.1 設計条件

1.1.1 自然条件

H. W. L +1.5m

L. W. L +0.27m

海底高 D. L. -14.4m

完成時の設計波

$$H_{1/3} = 7.0\text{m}$$

$$H_{\max} = 11.1\text{m (碎波)}$$

$$T = 13.0\text{s} \rightarrow \text{波速 } C = 11.2 \sim 11.7\text{m/s}$$

施工時の設計波

$$H_{1/3} = 5.2\text{m}$$

$$H_{\max} = 9.3\text{m (非碎波)}$$

$$T = 11.0\text{s} \rightarrow \text{波速 } C = 11.0 \sim 11.4\text{m/s}$$

碎波限界有義波高 ($H_{1/3}$) $b = 11.1/1.8 \doteq 6.2\text{m}$

$$\begin{aligned} \text{碎波時の波速 } C &= \sqrt{gh} = \sqrt{9.8 \times 14.67} \sim \sqrt{9.8 \times 15.9} \\ &= 12.0 \sim 12.5\text{m/s} \end{aligned}$$

1.1.2 上部工と既存ケーソン前壁の構造

上部工天端高 (完成時) ; +5.7m

暫定天端高 ; +4.2m ~ +3.5m

ケーソン据付水深 ; -12.0m

ケーソン天端高 ; +2.5m

ケーソン高 ; a = 14.5m

ケーソン隔室幅 ; b \doteq 5.0m

前壁厚 ; $L_2 = 0.40\text{m}$

外側かぶり ; 8cm 内側かぶり ; 6cm

コンクリートの設計基準強度 ; $f'_{ck} = 24\text{N/mm}^2$ (既存)

コンクリートのヤング係数 ; $E_2 = 25 \times 10^6\text{kN/m}^2$ (既存)

鉄筋の設計基準強度 ; $f'_{yk} = 345\text{N/mm}^2$

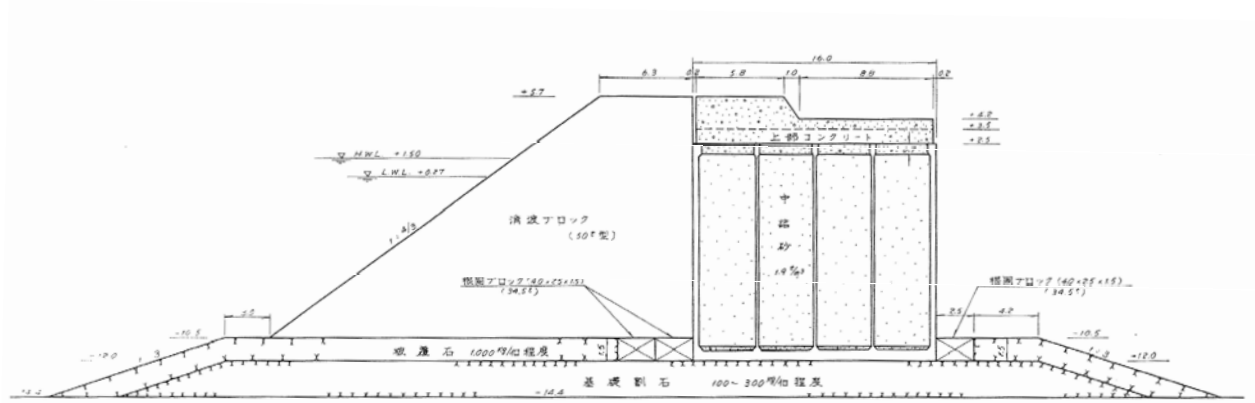


図-資 5.1 防波堤断面

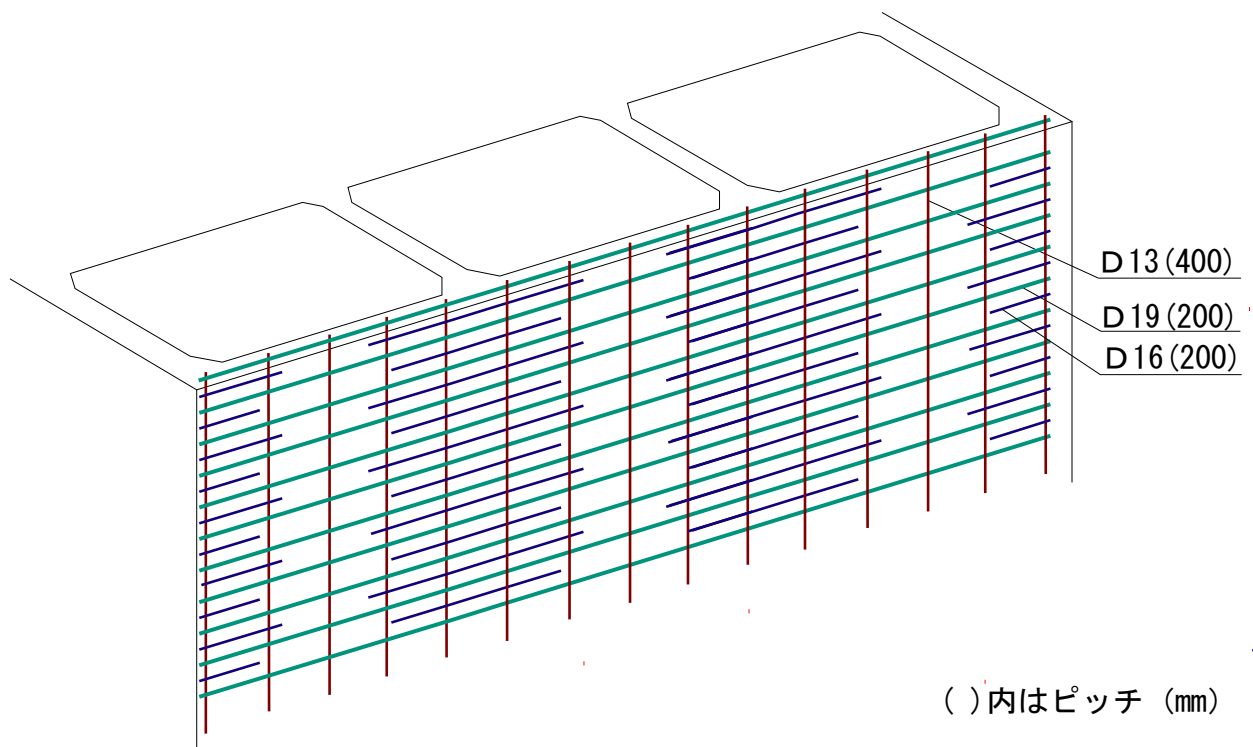


図-資 5.2 ケーソン前壁内側(既存・上部) 配筋図(イメージ)

1.1.3 消波ブロック

50t 型テトラ

ブロック高 ; $H_B = 4.155\text{m}$

体積 ; $V = 20.0\text{m}^3$

実重量 ; $M = 46.0\text{t}$

脚の先端半径 ; $r = 0.455\text{m}$

脚の平均半径 ; $r_1 = 0.80\text{m}$

脚長 ; $L_1 = 2.0\text{m}$

ヤング係数 ; $E_1 = 23.5 \times 10^6 \text{kN/m}^2$

1.1.4 消波ブロックの移動速度

消波ブロック転落パターンの衝突速度を一義的に設定するのは困難であるので、ここでは水平衝突パターンについて、衝突速度を検討する。

消波ブロックの衝突速度については、砕波時における水平移動速度の平均値が波速 C の $1/20 \sim 1/13$ であることから、ここでは平均速度の上限にほぼ相当する $0.08C$ を用いる。

今回の対象事例では、水平移動の衝突速度は $V = 0.08 \times \text{砕波時の波速} = 0.08 \times 12.5 = 1\text{m/s}$ として衝突力を算定する。

消波ブロックの衝突速度（マニュアル「4.3 消波ブロックの運動」より）

パターン		防衛大学校における実験 ¹⁾		港湾空港研における実験 ²⁾ 提案値(最大値)	設計に用いる値(案)
		最大値	平均値		
水平衝突	砕波時	$0.12C$	$(1/20 \sim 1/13)C$	$0.15C(0.12C)$	$0.08C$
	非砕波時	—	—	$0.15C$	
ロッキング	砕波時	—	—	$0.1C/\sqrt{6}$	$0.04C$
	非砕波時	—	—	$4H/\sqrt{6}T$	$4H/\sqrt{6}T$
転落	—	—	—	自由落下速度の0.4倍	—

C ; 波速, T ; 周期, H ; 波高 (消波ブロックの高さの半分を上限とする)

1.2 衝突力と曲げモーメントの計算

1.2.1 計算位置

ケーソン前壁における衝突力と曲げモーメントの計算位置を図-資 5.3 に示す。

既往の被害事例を考慮し、主に消波ブロックの衝突が危惧される壁の上部 ($\xi = 6\text{m} \sim$) について検討を行う。

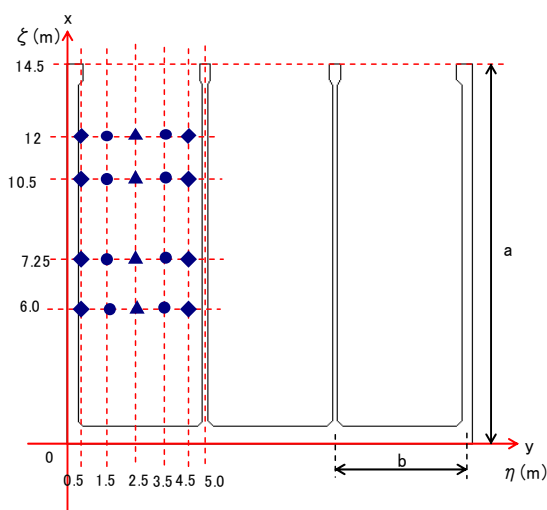


図-資 5.3 ケーソン前壁計算衝突位置の分布

1.2.2 衝突力の算定

①算定方法

消波ブロックの図-資 5.3 に示す各衝突位置の衝突力を算出する。

衝突力の算定は、マニュアルより衝突力算定式 (4.4.1) を用いる。

なお、曲げひずみエネルギーは m, n が 20 次の算定値を用いた。

$$P = C_0 \cdot \frac{\sqrt{\pi} \cdot M^{1/2} \cdot V}{\lambda \sqrt{\frac{L_1}{E_1 r_1^2} + \frac{L_2}{E_2 r^2 (1 + (L_2/r) \cdot \tan \alpha)} + U_3^*}} \quad (4.4.1)$$

ここで、

C_0 ; エネルギーロスによる衝突力低減係数 (1/2.7)

λ ; 衝突現象の特性による衝突力低減係数 (水平衝突であるので 2.5)

M ; 消波ブロックの質量

M ; 消波ブロックの質量, V ; 衝突速度, L_1 ; 消波ブロックの脚長, L_2 ; RC版厚,

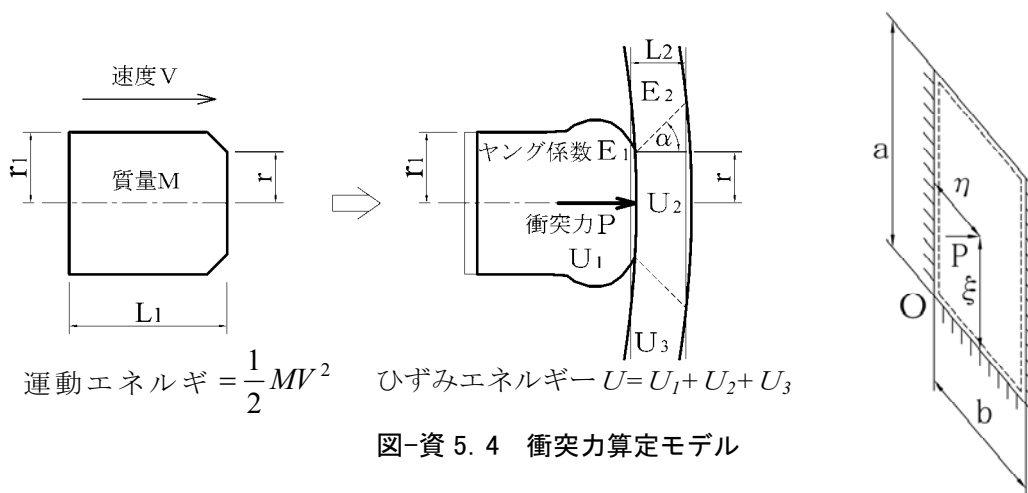
r_1 ; 消波ブロックの脚の半径, r ; 衝突面の半径, E_1 ; 消波ブロックのヤング係数,

E_2 ; RC版のヤング係数, α ; 荷重分散角(一般には 45°)を用いる)

U_3^* ; 三辺固定RC版の曲げひずみエネルギーのであり、式(4.4.2)、式(4.4.3)より求められる

$$U_3^* = 2\pi U_3 / P^2 \quad (4.4.2)$$

$$U_3 = \frac{P^2}{4D\pi^4 ab} \sum_{m=1,2,\dots} \sum_{n=1,2,\dots} \frac{\left(1 - \cos \frac{(2m-1)\pi\xi}{2a}\right) \left(1 - \cos \frac{2m\pi\eta}{b}\right)}{\frac{3}{8} \left(\frac{2m-1}{2a}\right)^4 + \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4} - \frac{2}{(2m-1)\pi} \sin \frac{(2m-1)\pi}{2} \left(\frac{2n}{b}\right)\right)^4 + \left(\frac{1}{4} - \frac{\nu}{(2m-1)\pi} \sin \frac{(2m-1)\pi}{2} \left(\frac{2m-1}{ab}\right)\right)^2} \quad (4.4.3)$$



②算定結果

水平移動による既存の前壁衝突力の分布を図-資 5. 5, 図-資 5. 6 示す.

衝突力は壁中央部よりも横端部で大きくなっている. また, 縦方向の衝突力を見ると, 底板部周辺を除けば壁の上部よりも中心部の衝突力がやや大きくなる傾向がみられるが, その差は小さい.

消波ブロックによる損傷はケーソン上半分に多く起きていることから, 縦方向中央部 $\xi/a=0.5$ (ここでは $\xi=7.25\text{m}$ 地点) の衝突力を代表値として押し抜きせん断耐力に対する照査を行う.

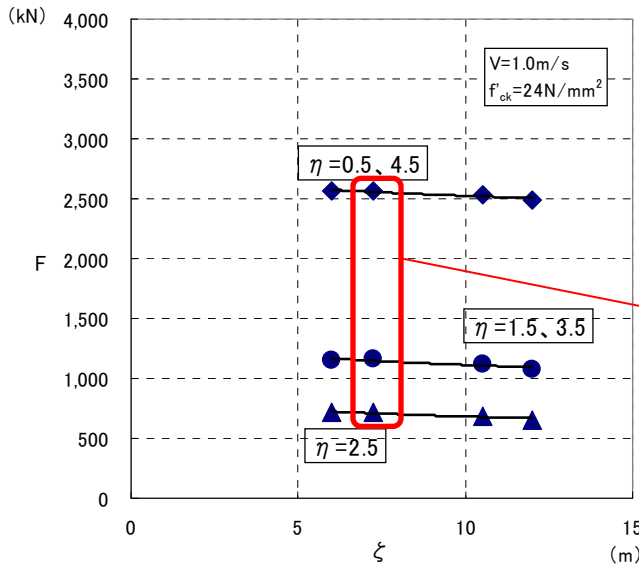


図-資 5. 5 水平移動 ($V=1\text{m/s}$) による既存の前壁 (壁厚 40cm, $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$) の衝突力分布

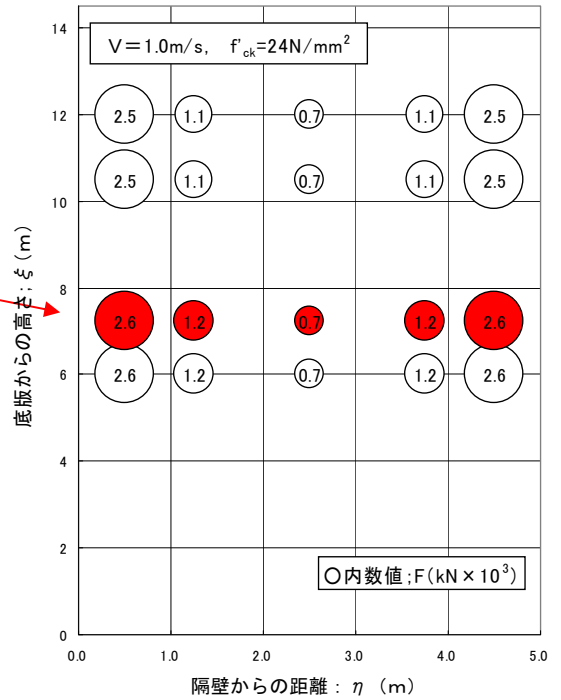


図-資 5. 6 衝突位置と水平衝突力(既存)

③断面の改良に伴う衝突力の変化

予防工法検討にあたって, 既存断面のコンクリート設計基準強度および壁厚を増強させた場合の衝突力と版横方向の相対位置との関係を図-資 5. 7 に示す.

改良後の衝突力においてもケーソン中心部よりも横方向端部での衝突力が大きくなっている. また, コンクリート強度を増加させた場合よりも, 壁厚を増加させた場合の方が衝突力が増大していることが分かる.

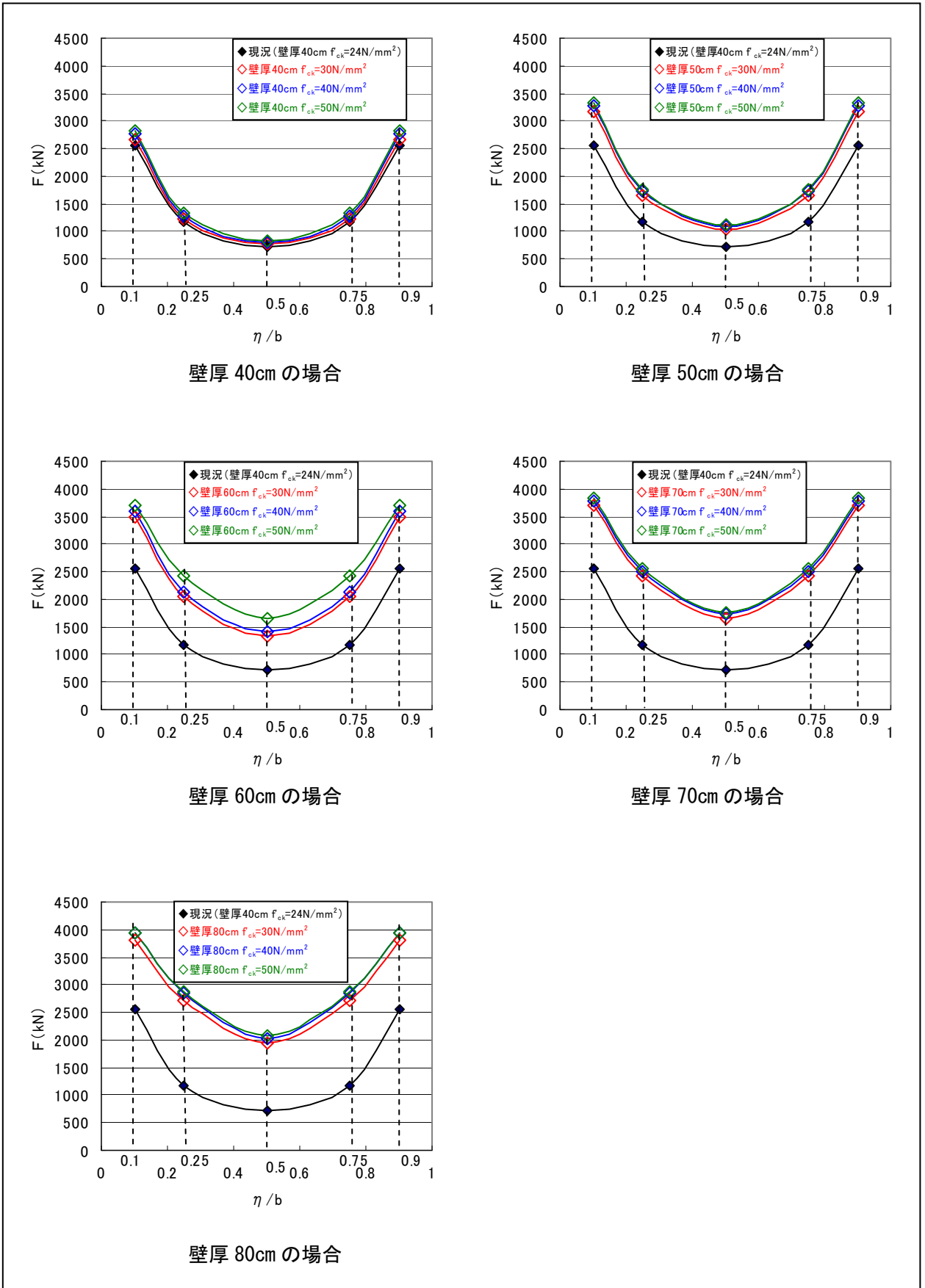


図-資 5.7 照査用水平移動衝突力の横方向分布 (V=1m/s)

1. 2. 3 曲げモーメントの算定

①算定方法

消波ブロック水平移動衝突 (V=1m/s) 位置における曲げモーメントを算出する。

曲げモーメントは、**図-資 5.5** の衝突力を用いてマニュアル 4. 5. 2 設計断面力の算定式 (4. 5. 1) (4. 5. 2) により算出する。

$$M_x = D\pi^2 \sum_m \sum_n \alpha_{mn} \left\{ \left[\left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 + \nu \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \right] \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} \cos \frac{2n\pi y}{b} - \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} - \nu \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \cos \frac{2n\pi y}{b} \right\} \quad (4. 5. 1)$$

$$M_y = D\pi^2 \sum_m \sum_n \alpha_{mn} \left\{ \left[\nu \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 + \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \right] \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} \cos \frac{2n\pi y}{b} - \nu \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^2 \cos \frac{(2m-1)\pi x}{2a} - \left(\frac{2n}{b} \right)^2 \cos \frac{2n\pi y}{b} \right\} \quad (4. 5. 2)$$

ここで $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, E : ヤング係数 , h : 版厚

$$\alpha_{mn} = \frac{P \left(1 - \cos \frac{2m-1\pi\xi}{2a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi\eta}{b} \right)}{D\pi^4 ab \left\{ \frac{3}{4} \left(\frac{2m-1}{2a} \right)^4 + \left(\frac{3}{4} - \frac{2}{2m-1\pi} \sin \frac{2m-1\pi}{2} \right) \left(\frac{2n}{b} \right)^4 + \left(\frac{1}{2} - \frac{2\nu}{2m-1\pi} \sin \frac{2m-1\pi}{2} \right) \left(\frac{2m-1n}{ab} \right)^2 \right\}} \quad (4. 5. 3)$$

※なお、曲げモーメントは m, n が 500 次の算定値を用いている。

②算定結果

水平衝突時の計算位置における曲げモーメント M_x を **図-資 5. 8** , 曲げモーメント M_y を **図-資 5. 9** に示す。

図-資 5. 8 を見ると、 M_x (縦方向モーメント) は、底版部から離れた高さの範囲においては縦 (ξ) 方向の大きな変化は見られないが、ケーソン上端部でやや小さくなっている。

図-資 5. 9 を見ると、 M_y (横方向モーメント) についても、縦 (ξ) 方向ではほぼ同様の大きさである。

したがって、モーメントについても衝突力と同様に縦方向中心部 $\xi/a=0.5$ (ここでは $\xi=7.25m$ 地点) を代表値として曲げに対する照査を行うものとする。

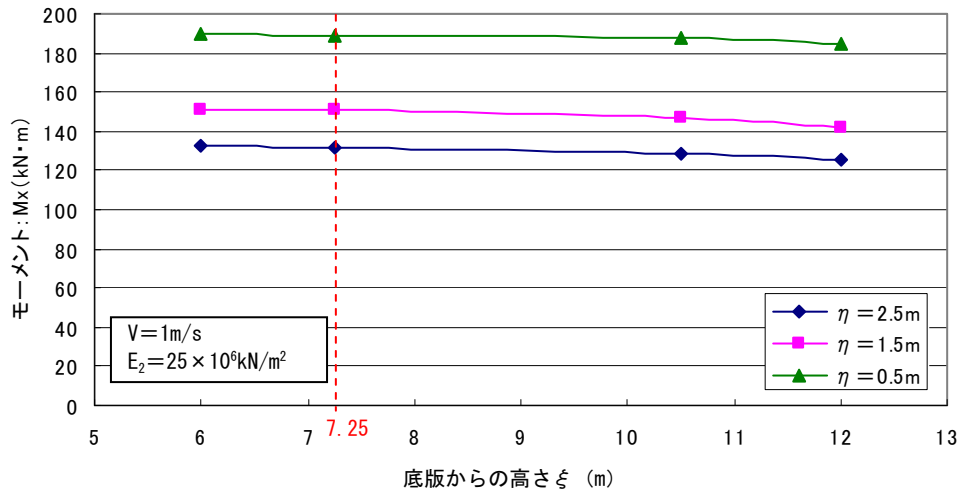


図-資 5.8 水平移動衝突位置と縦方向曲げモーメント M_x
 ($V=1\text{m/s}$, $E_2=25 \times 10^6\text{kN/mm}^2$)

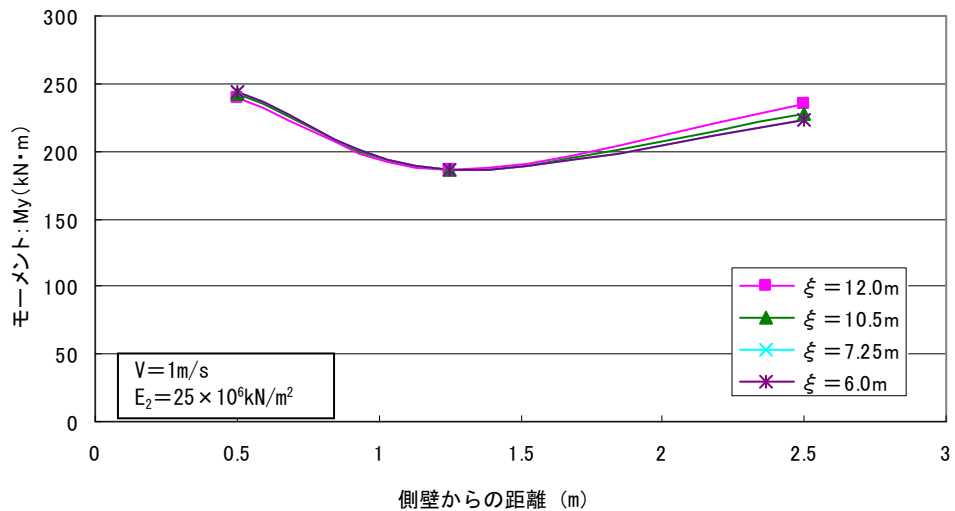


図-資 5.9 水平移動衝突位置と横方向曲げモーメント M_y
 ($V=1\text{m/s}$, $E_2=25 \times 10^6\text{kN/mm}^2$)

③断面の改良に伴う曲げモーメントの変化

予防工法検討にあたって、既存断面のコンクリート設計基準強度および壁厚を増強させた場合の曲げモーメントと版横方向の相対位置との関係を図-資 5.10、図-資 5.11 に示す。

改良後の曲げモーメントにおいても、衝突力と同様に、コンクリート強度を増加させた場合よりも壁厚を増加させた場合の方が曲げモーメントが増大していることが分かる。

また、壁厚が 40cm~50cm では前壁中央部よりも横端部の曲げモーメントが大きいのに対して、壁厚 60cm~80cm では、衝突力の増大に伴い、横端部の曲げモーメントよりも中央部の曲げモーメントの方が大きくなっている。

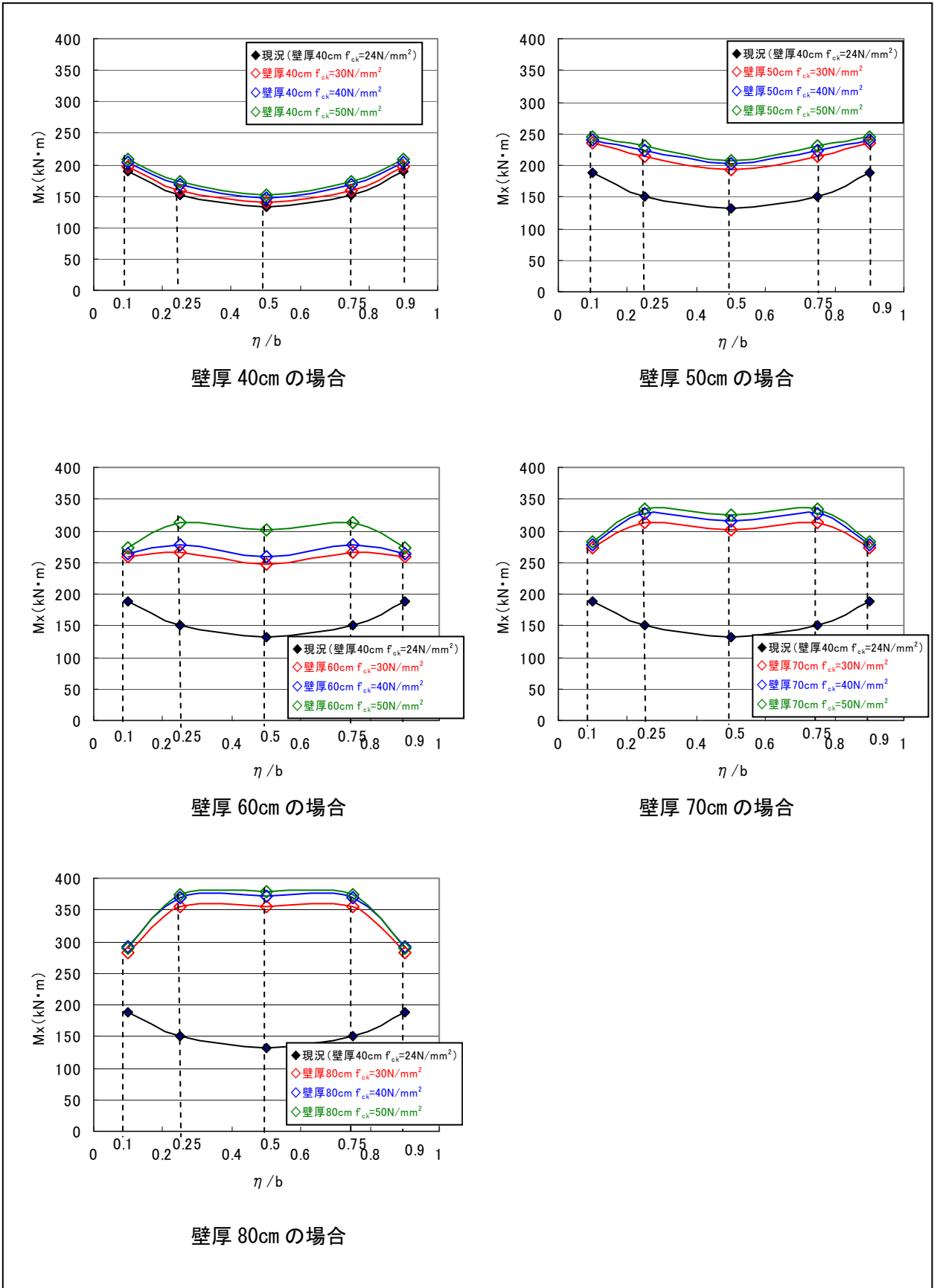


図-資 5. 10 水平移動衝突照査用曲げモーメント(M_x)の横方向分布($V=1m/s$)

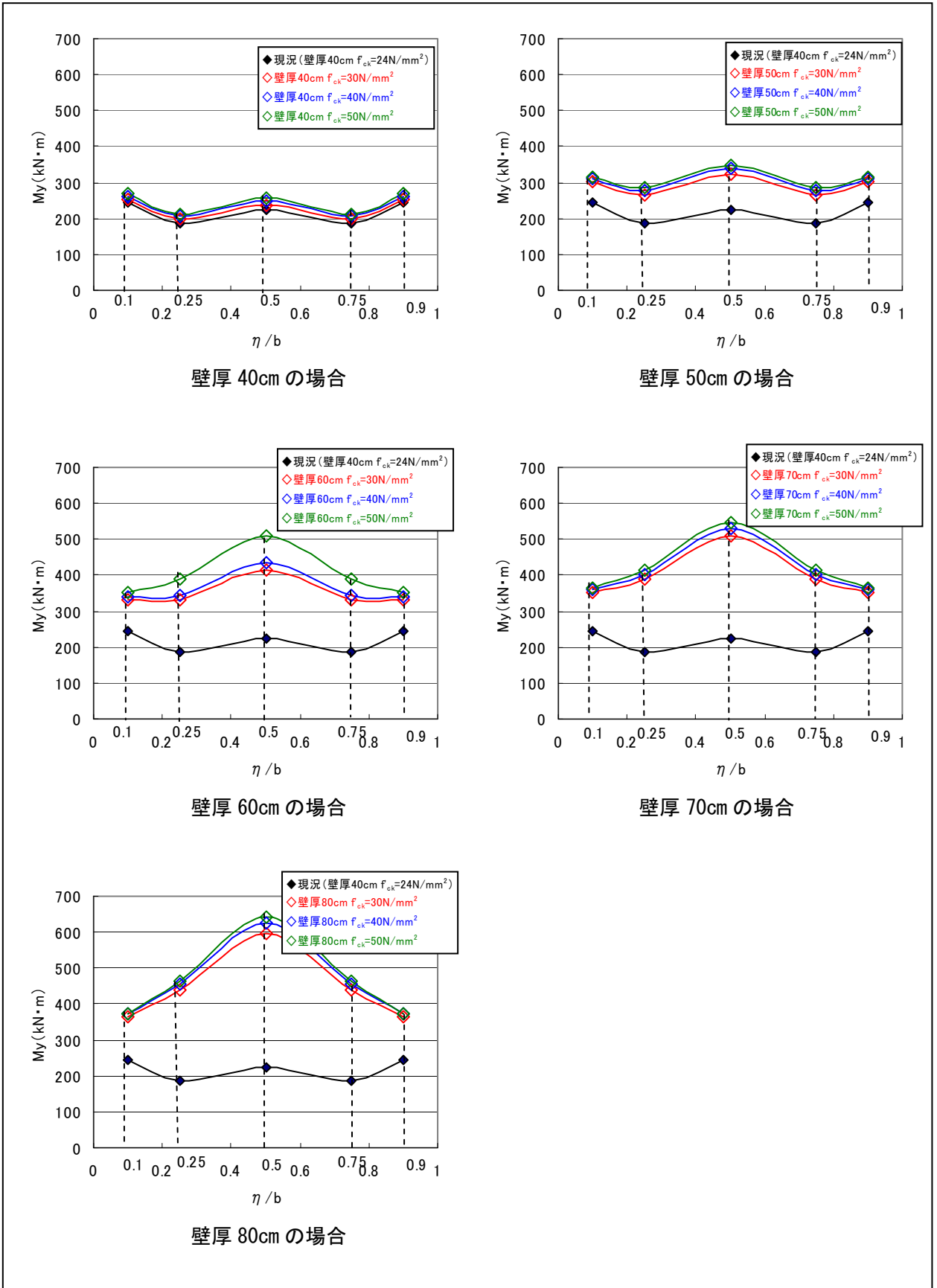


図-資 5.11 水平移動衝突照査用曲げモーメント (M_y) の横方向分布 ($V=1\text{m/s}$)

1.3 既存ケーソン耐力の評価

既存ケーソンが消波ブロックの水平衝突力に対してどれだけの耐力を有しているか評価を行なう。

1.3.1 衝突速度ごとの衝突力と曲げモーメント

衝突速度ごとの衝突力を表-資 5. 1, 衝突速度ごとの曲げモーメントを表-資 5. 2, 表-資 5. 3 に示す。

表-資 5. 1 衝突速度と既存ケーソン前壁における衝突力の関係

単位 ; kN

衝突速度	η / b				
	0. 1	0. 25	0. 5	0. 75	0. 9
V = 1. 0m/s	2, 563. 026	1, 160. 535	719. 012	1, 160. 535	2, 563. 026
V = 0. 5m/s	1, 281. 513	580. 268	359. 506	580. 268	1, 281. 513
V = 0. 2m/s	512. 605	232. 107	143. 802	232. 107	512. 605
V = 0. 1m/s	256. 302	116. 054	71. 901	116. 054	256. 302

表-資 5. 2 衝突速度と既存ケーソン前壁における曲げモーメント (M_x) の関係

単位 ; kN・m

衝突速度	η / b				
	0. 1	0. 25	0. 5	0. 75	0. 9
V = 1. 0m/s	189. 191	150. 907	131. 883	150. 907	189. 191
V = 0. 5m/s	94. 596	75. 454	65. 941	75. 454	94. 596
V = 0. 2m/s	37. 838	30. 181	26. 376	30. 181	37. 838
V = 0. 1m/s	18. 919	15. 091	13. 188	15. 091	18. 919

表-資 5. 3 衝突速度と既存ケーソン前壁における曲げモーメント (M_y) の関係

単位 ; kN・m

衝突速度	η / b				
	0. 1	0. 25	0. 5	0. 75	0. 9
V = 1. 0m/s	243. 367	186. 604	222. 512	186. 604	243. 367
V = 0. 5m/s	121. 684	93. 302	111. 256	93. 302	121. 684
V = 0. 2m/s	48. 674	37. 321	44. 502	37. 321	48. 674
V = 0. 1m/s	24. 337	18. 660	22. 251	18. 660	24. 337

1.3.2 既存ケーソン前壁の耐力の算定

既存ケーソン前壁の押し抜きせん断耐力を表-資 5. 4, 曲げ耐力を表-資 5. 5 に示す.

なお, 耐力の算定にあたっては, コンクリート示方書 (構造性能照査偏) に記載されている押し抜きせん断耐力式と曲げ耐力式を用いた.

① 押し抜きせん断耐力

表-資 5. 4 既存ケーソン前壁の押し抜きせん断耐力

単位 ; kN

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
押し抜きせん断耐力	790.421	739.495	680.081	739.495	790.421

② 曲げ耐力

表-資 5. 5 既存ケーソン前壁の曲げ耐力

単位 ; kN・m

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
縦方向 (M_x)	32.161	32.161	32.161	32.161	32.161
横方向 (M_y)	238.525	192.262	145.799	192.262	238.525

1.3.3 既存のケーソン前壁の衝突速度ごとの照査

各速度ごとに耐力作用比を求め、照査を行った結果、表-資 5.6～表-資 5.9 のようになった。

これより、既存のケーソン前壁では、消波ブロックの衝突速度が 0.1m/s を超えるあたりから被害が発生することが起こることが分かる。

表-資 5.6 既存ケーソン前面における押し抜きせん断および曲げ照査 (V=1.0m/s 時)

		η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
押し抜きせん断 (耐力作用比)		0.30	0.63	0.94	0.93	0.30
曲げ ($\gamma_i \gamma_f M_x / M_{x_{ud}}$)	Mx 方向	5.89	4.70	4.10	4.70	5.89
	My 方向	1.02	0.97	1.53	0.97	1.02
照 査 結 果		NG	NG	NG	NG	NG

表-資 5.7 既存ケーソン前面における押し抜きせん断および曲げ照査 (V=0.5m/s 時)

		η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
押し抜きせん断 (耐力作用比)		0.61	1.27	1.89	1.27	0.61
曲げ ($\gamma_i \gamma_f M_x / M_{x_{ud}}$)	Mx 方向	2.95	2.35	2.06	2.35	2.95
	My 方向	0.52	0.49	0.77	0.49	0.52
照 査 結 果		NG	NG	NG	NG	NG

表-資 5.8 既存ケーソン前面における押し抜きせん断および曲げ照査 (V=0.2m/s 時)

		η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
押し抜きせん断 (耐力作用比)		1.54	3.18	4.72	3.18	1.54
曲げ ($\gamma_i \gamma_f M_x / M_{x_{ud}}$)	Mx 方向	1.18	0.94	0.83	0.94	1.18
	My 方向	0.21	0.20	0.31	0.20	0.21
照 査 結 果		NG	OK	OK	OK	NG

表-資 5.9 既存ケーソン前面における押し抜きせん断および曲げ照査 (V=0.1m/s 時)

		η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
押し抜きせん断 (耐力作用比)		3.08	6.37	9.45	6.37	3.08
曲げ ($\gamma_i \gamma_f M_x / M_{x_{ud}}$)	Mx 方向	0.59	0.47	0.42	0.47	0.59
	My 方向	0.11	0.10	0.16	0.10	0.11
照 査 結 果		OK	OK	OK	OK	OK

1.4 予防範囲の設定

モデル港におけるケーソンの前壁の消波ブロック衝突による損傷予防範囲の設定の考え方について、**図-資 5. 12** をモデルとして、具体的な考え方の 1 例について説明する。

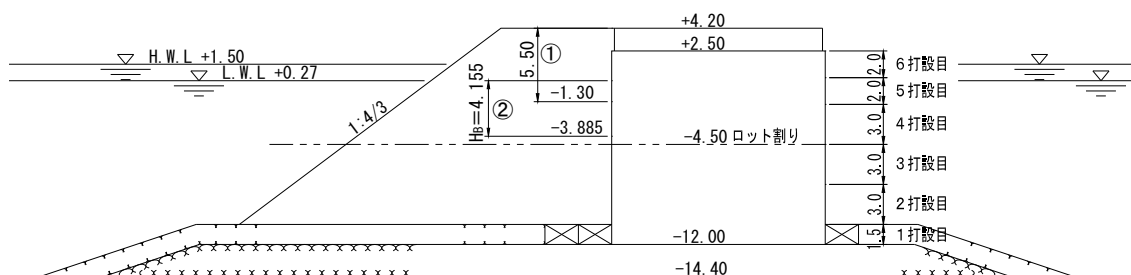


図-資 5. 12 予防範囲の設定にあたっての概略断面

1.4.1 予防範囲

ケーソンの前壁の消波ブロック衝突による損傷予防範囲として、どの範囲のブロックが動揺しやすいのかという観点から、ケーソン天端から下方にどの部分まで予防対策を行うか設定する。

- ① 移動しやすい表層 2 層の消波ブロックの層厚 (2 層厚) ($=4/3H_b$) をカバーする範囲。
(ブロックメーカー設計要領にブロックが波により移動しやすい範囲として記述されている.)

消波ブロックの据付暫定天端高+4.2m, 50 t 型消波ブロックの場合の 2 層厚が 5.5m であることから, 移動しやすい 2 層厚に対する予防範囲は, ケーソン天端から D. L-1.3m 迄となる.

- ② 水面付近の消波ブロックが動きやすいことを配慮して, ケーソン天端から下方に静水面以下ブロック 1 個分の高さをカバーする範囲。
(穴あき被災の発生位置の調査結果から, 静水面付近で穴あき被災が発生しやすいことが明らかになっている.)

静水面 (L. W. L+0.27m) から下方に消波ブロック 1 個分の高さ ($H_b=4.155\text{m}$) が被災しやすい範囲とすると, ケーソン天端から D. L-3.885m 迄となる.

上記①, ②から求まる予防範囲を, 次頁の**図-資 5. 13** に黄色で示す。

なお, 対象となる防波堤や近傍の防波堤において, 過去にケーソンの穴あき損傷の記録がある場合には, その結果も考慮して予防範囲を決めることが望ましい。

1.4.2 設計例に用いる予防範囲

本設計例に用いる予防範囲は、1.4.1の①、②を考慮して、D.L.-3.885mまでとする。ただし、ロット割りを考慮した施工範囲はD.L.-4.5mとなる。また、この施工範囲と過去の損傷記録を重ね合わせた図を以下に示す。

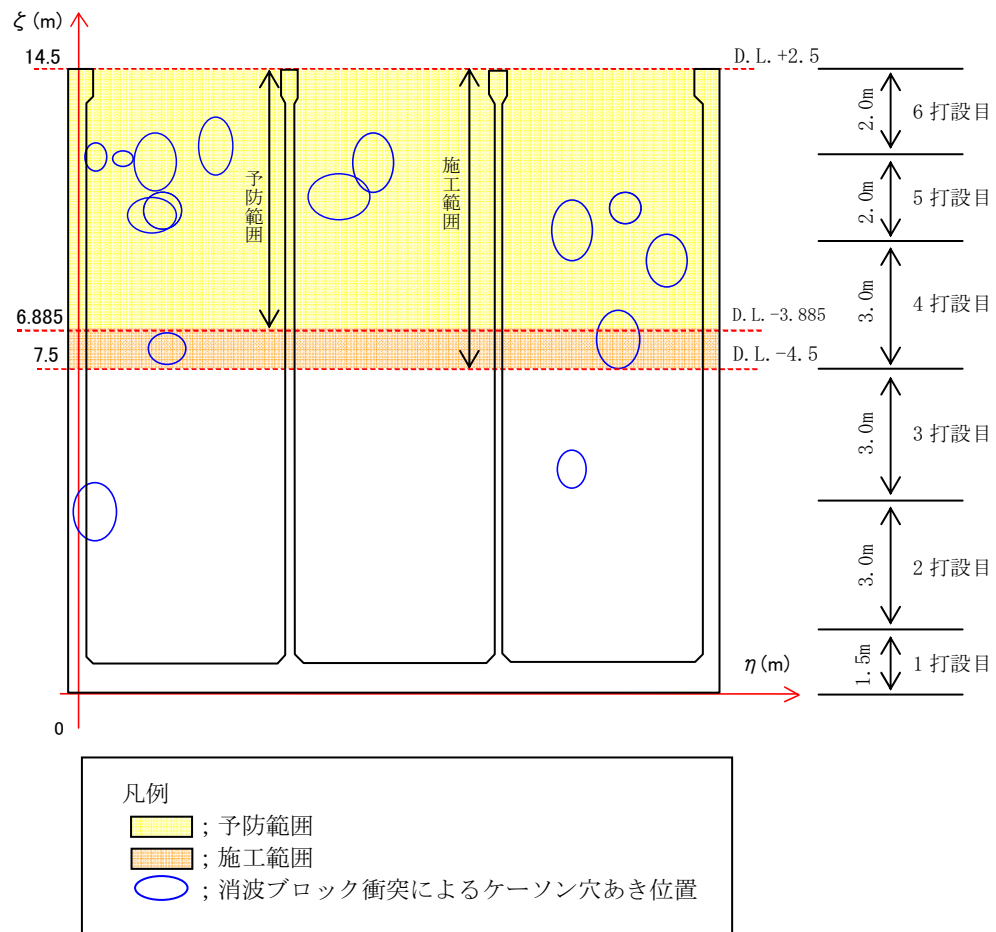


図-資 5. 13 モデル港の消波ブロック衝突によるケーソン前壁被災箇所とロット割り及び予防範囲

1.5 壁厚・コンクリート強度・最大鉄筋径等の組合せに対する設計例

1.5.1 概要

ケーソンの隔壁端部は衝突力が非常に大きくなるため、ケーソンのコンクリート強度の増強、ケーソン前壁の壁厚の増大に加え、中央部よりも太径の鉄筋を配置する等の予防対策を施すことで、押し抜きせん断に対する抵抗力を確保する必要がある。また、隔壁端部における鉄筋の有効高の確保や鉄筋を配置する目的で、ハンチ厚も大きくとるといった予防対策も考えられる。

ただし、**図-資 5.7**に示すように、壁厚を大きく取ると衝突力が増大する傾向があるため、設計方針を決定する際には十分注意する必要がある。

1.5.2 壁厚・コンクリート強度・最大鉄筋径等の組合せに対する設計例

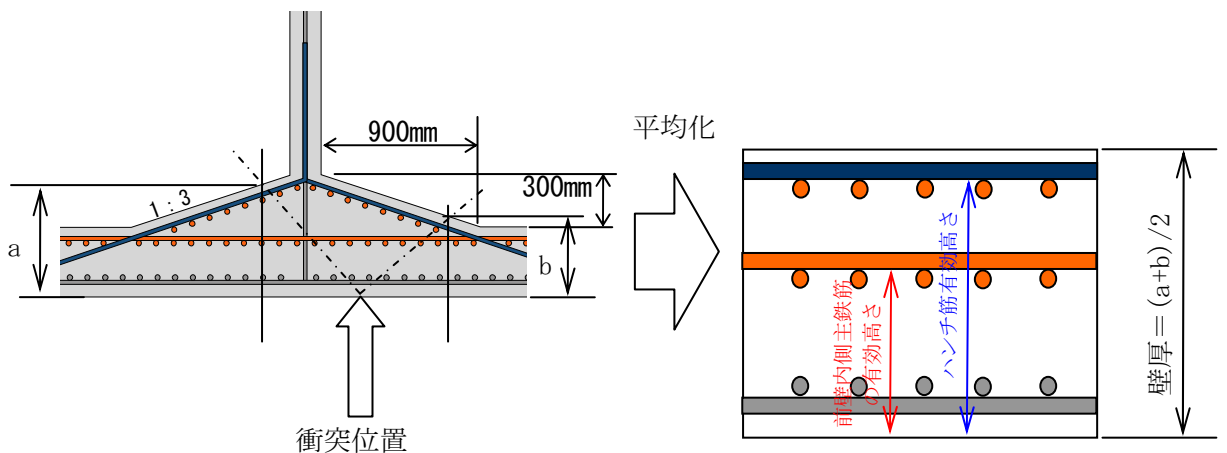
水平衝突に対する予防工法について、壁厚（40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm）、コンクリート強度（30N/mm², 40N/mm², 50N/mm²）、異形ハンチの有無をそれぞれ変化させた30ケースについて、検討し、最大使用鉄筋との関係を23ケースについて整理した。検討結果を**図-資 5.15**、**図-資 5.16**に示す。

なお、異形ハンチ部分については、縦方向にも鉄筋を配置している。また、異形ハンチ部分の壁厚と有効高さについては、以下のように設定した。

※異形ハンチ部分の壁厚と有効高さについて

異形ハンチはハンチ内に配置される鉄筋により押し抜きせん断耐力の増加が図られると同時に、壁厚の増加により衝突力も増加する。異形ハンチを採用する場合には、壁厚および鉄筋の増加を考慮する必要がある。

衝突位置における異形ハンチ部分の壁厚および有効高さは、押し抜きせん断力が影響する範囲の断面を以下のようにモデル化（平均化）することで算出し、衝突力および押し抜きせん断耐力の算定を行うものとする。



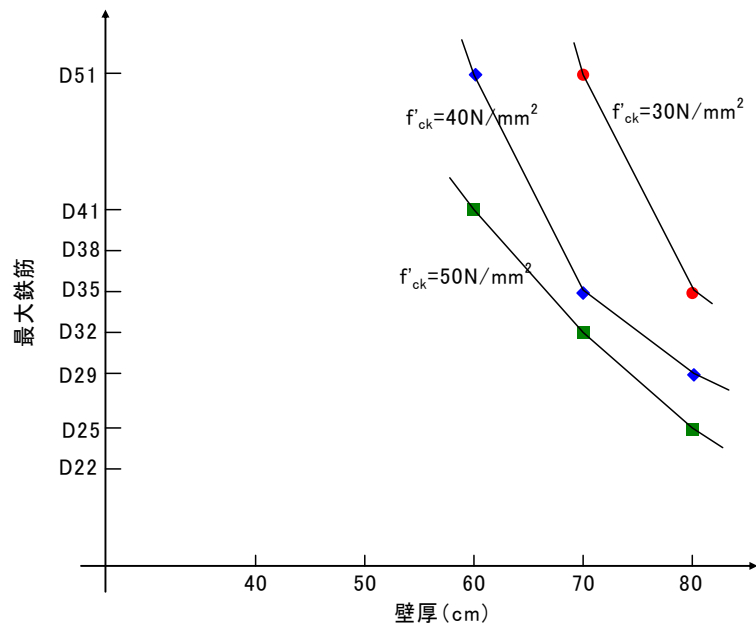


図-資 5. 15 水平衝突予防断面における壁厚, コンクリート強度, 最大鉄筋との関係 (通常ハンチ)

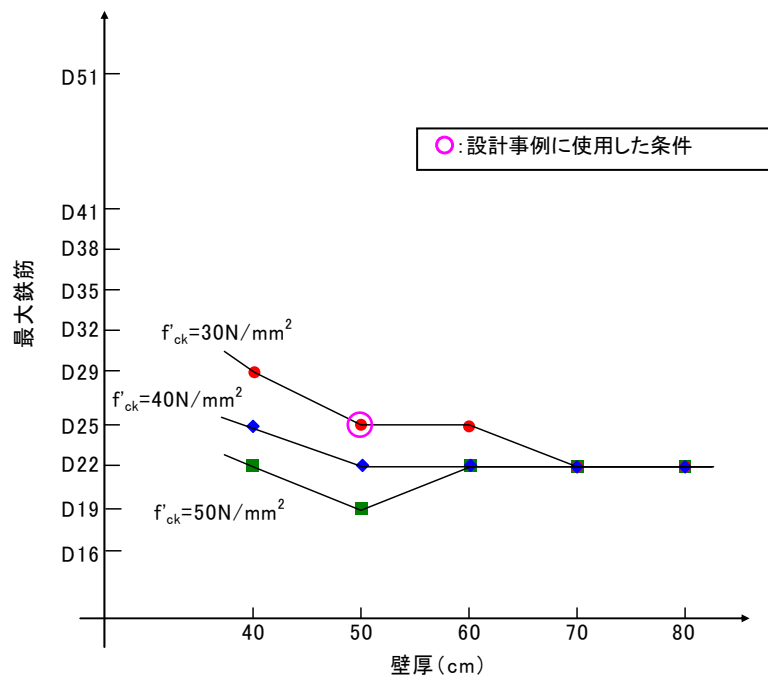


図-資 5. 16 水平衝突予防断面における壁厚, コンクリート強度, 最大鉄筋との関係 (異形ハンチ)

本事例においては, 経済性を考慮し, ガス圧接が不要 (重ね継手を採用できる) な D25 鉄筋を使用する壁厚 50cm, $f'_{ck} = 30\text{N/mm}^2$, 異形ハンチ設置の条件が予防工法として適切と判断し, 設計事例に設定した.

この条件による予防工法の計算内容の詳細は, 1.6 選定した組合せ工法の設計例計算内容の詳細に示す.

1.5.3 消波ブロックと前壁の接触による摩耗対策

消波ブロックと前壁が接触することにより、前壁が摩耗し、コンクリートのかぶりが減少して強度が低下することが考えられる。

このような現象に対して、久慈港湾口防波堤や石巻港雲雀野地区南防波堤（C区）等の半没水上部斜面ケーソン堤では、消波ブロックが動きやすい斜面部コンクリートのかぶりに5cmの余裕を確保することで、強度低下を防いでいる。

実際に多くの事例において、穴あき部周囲が消波ブロックによると思われる前壁部のすり減り現象が見られることから、必要に応じて5cm程度のかぶり厚の増加を行うことも考慮すべきと思われる。

ただし、壁厚が大きくなることにより衝突力が増大するため、設計時に配慮する必要がある。

1.6 選定した組合せ工法の設計例計算内容の詳細

1.5.2 で採用した条件の設計例について、計算内容の詳細を以下に示す。

1.6.1 設計方針

- ・コンクリート強度の増強を行う. ; $f'_{ck} = 24\text{N/mm}^2 \rightarrow 30\text{N/mm}^2$
- ・ケーソン前壁厚の増大を行う. ; $L_2 = 40\text{cm} \rightarrow 50\text{cm}$
- ・前壁部の垂直ハンチ部は異形ハンチ (900×300 mm) とし、ハンチ部分に鉄筋を配置する。
(前壁厚 50cm に異形ハンチを採用した場合の端部衝突位置における壁厚は 62.5cm)

以上の予防工法について、標準断面図とケーソン形状図を図-資 5.17、図-資 5.18 に示す。

また、このときの鉄筋の配置 (イメージ) を図-資 5.19 に示す。

この断面について、押し抜きせん断に対する照査および、曲げの照査を行った。

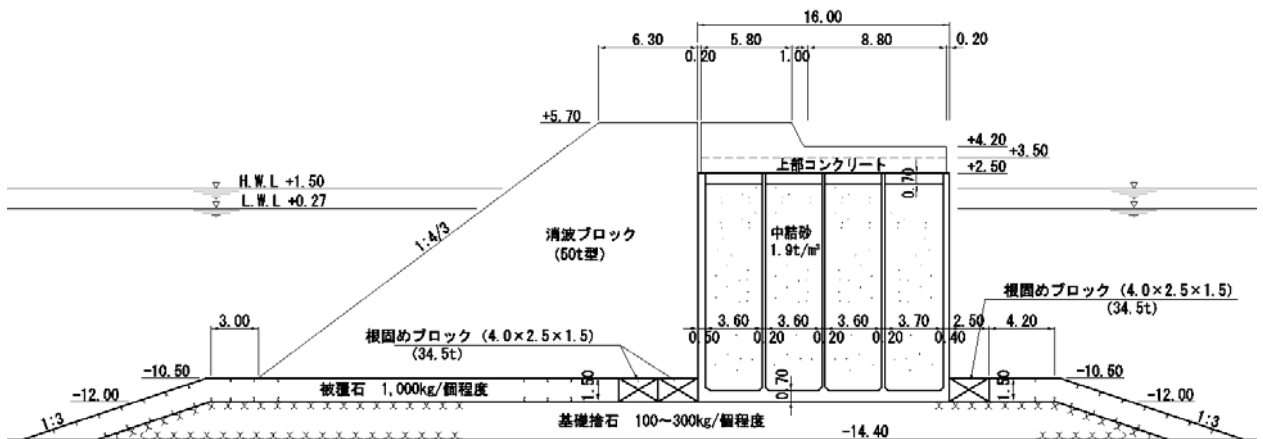


図-資 5.17 予防工法 防波堤断面例

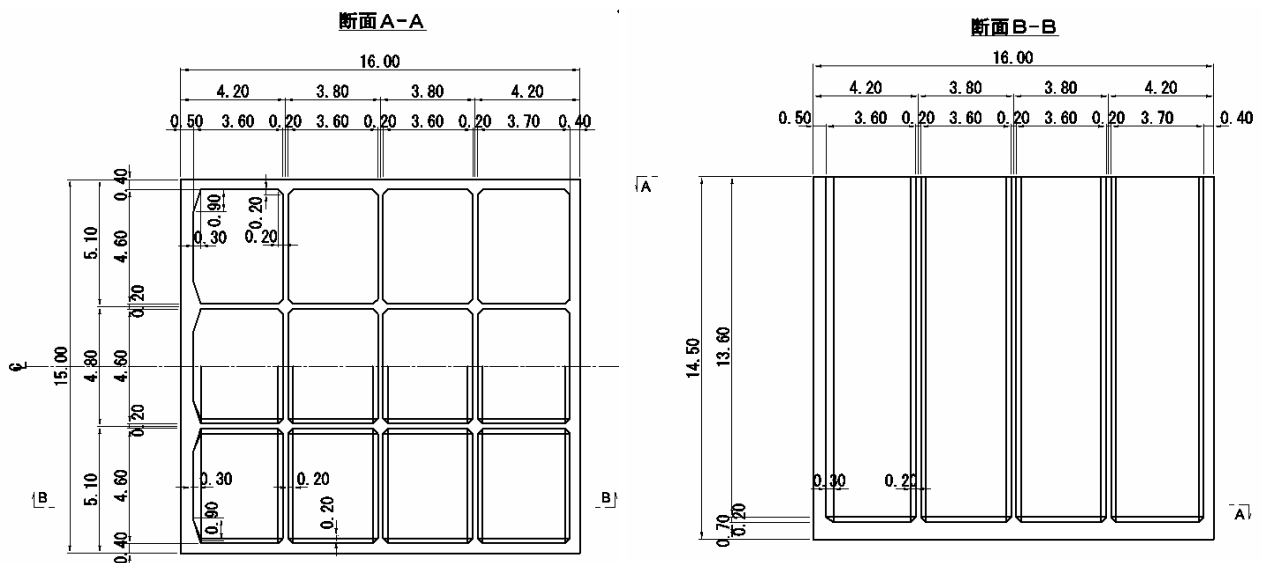


図-資 5.18 水平移動衝突に対する予防工法 防波堤ケーソン形状図

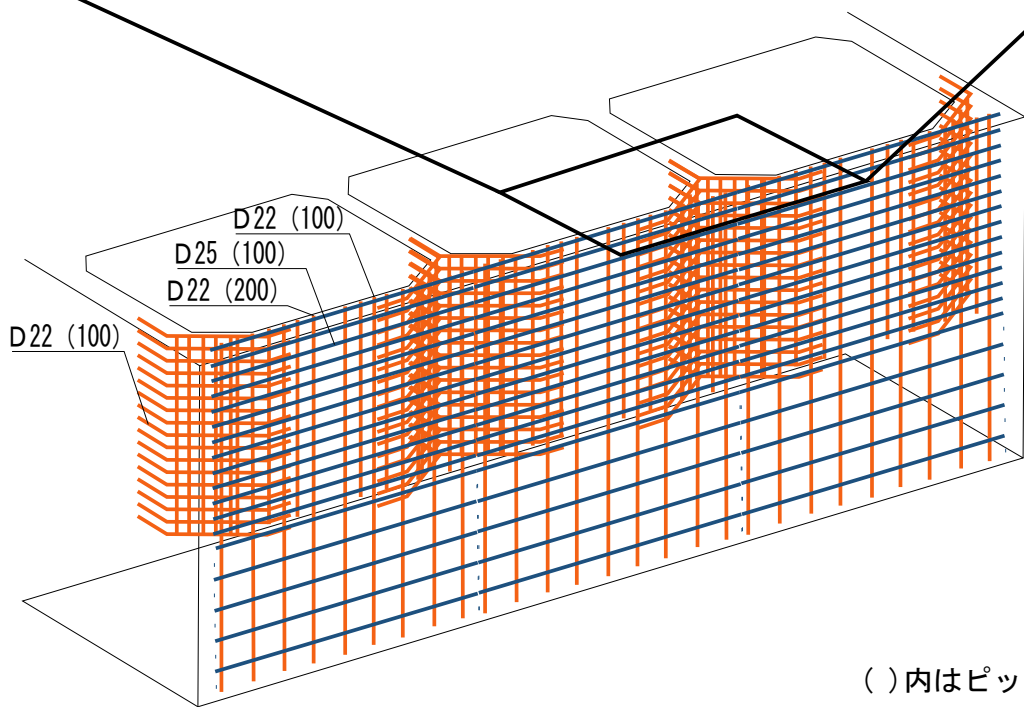
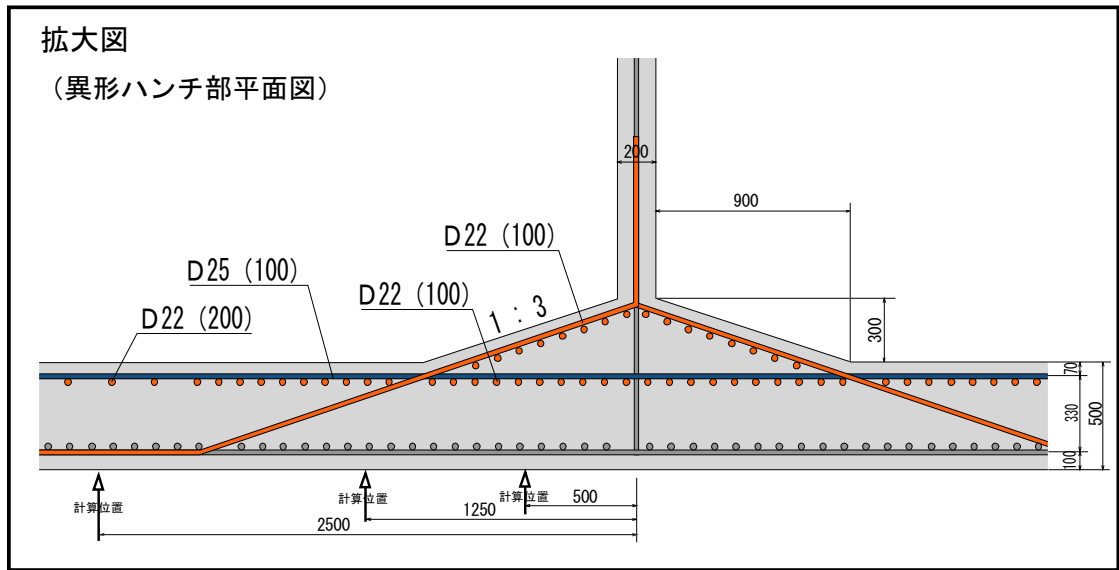


図-資 5.19 水平移動衝突に対する予防工法 前壁内側配筋イメージ図

なお、壁厚の壁厚は上部 500mm、下部 400 mm と、壁厚の不連続部が生じる。その部分の配筋については、従来から行われている「ハチ巻部」の配筋の考え方が適用できる。

1.6.2 予防断面における衝突力と曲げモーメント

1.2.2, 1.2.3 の式より, 衝突力および曲げモーメントは表-資 5. 10, 表-資 5. 11 のように算定される.

表-資 5. 10 水平移動衝突に対する予防断面の衝突力

単位 ; kN

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
衝突力 P (壁厚 50cm $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 異形ハンチ採用)	3,557.182	1,645.754	1,045.962	1,645.754	3,557.182

表-資 5. 11 水平移動衝突に対する予防断面の曲げモーメント

単位 ; kN・m

	曲げ方向	η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント (壁厚 50cm $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 異形ハンチ採用)	縦方向 (M_x)	262.576	214.001	191.852	214.001	262.576
	横方向 (M_y)	337.766	264.623	323.692	264.623	337.766

1.6.3 押し抜きせん断耐力の計算

消波ブロックの衝突力に対するケーソンの押し抜きせん断耐力照査は, コンクリート標準示方書 (構造性能照査編) に記載されている押し抜きせん断耐力式を用いて行う.

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$

ここに,

$$f'_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{ただし, } f'_{pcd} \leq 1.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d; \text{m}) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

f'_{cd} ; コンクリートの設計圧縮強度で, 単位は N/mm^2 である.

$$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$$

γ_c ; コンクリートの材料係数 (1.3)

u ; 載荷面の周長 ($u = 2\pi r$)

r ; 消波ブロック脚先端面半径の 1/2

u_p ; 設計断面の周長で, 載荷面から $2/d$ 離れた位置で算定するものとする

d および p ; 有効高さおよび鉄筋比で, 二方向の鉄筋に対する平均値とする

γ_b ; 部材係数で一般に 1.3 としてよい

(1) 予防工法断面の押し抜きせん断耐力の計算

計算例を以下に示す.

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$
$$f'_{pcd} = 0.20 \sqrt{f'_{cd}} = 0.20 \sqrt{f'_{ck} / \gamma_c} = 0.20 \sqrt{30 / 1.3} = 961.249 \leq 1.2 \text{ N/mm}^2$$

よって, $f'_{pcd} = 961.249 \text{ kN/m}^2$

$$\gamma_b = 1.3$$

①-i $\eta/b=0.1(0.9)$ の位置 (前壁の引張側鉄筋による押し抜きせん断耐力)

$$\beta_d = \sqrt[3]{1/d} = \sqrt[3]{1/0.418} = 1.244$$
$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} = \sqrt[3]{100(As/(d \cdot b_w))} = \sqrt[3]{100(0.004469/(0.418 \times 1))} = 1.022$$
$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d) = 1 + 1/(1 + 0.25 \times 1.433/0.418) = 1.538$$
$$u_p = 2\pi(r+d/2) = 2\pi(0.228 + 0.418/2) = 2.746 \text{ m}$$
$$V_{pcd} = 1.244 \times 1.022 \times 1.538 \times 961.249 \times 2.746 \times 0.418 / 1.3$$
$$= 1,659.575 \text{ kN}$$

①-ii $\eta/b=0.1(0.9)$ の位置 (ハンチ筋による押し抜きせん断耐力)

$$\beta_d = \sqrt[3]{1/d} = \sqrt[3]{1/0.544} = 1.164$$
$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} = \sqrt[3]{100(As/(d \cdot b_w))} = \sqrt[3]{100(0.003871/(0.544 \times 1))} = 0.893$$
$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d) = 1 + 1/(1 + 0.25 \times 1.433/0.544) = 1.603$$
$$u_p = 2\pi(r+d/2) = 2\pi(0.228 + 0.544/2) = 3.142 \text{ m}$$
$$V_{pcd} = 1.164 \times 0.893 \times 1.603 \times 961.249 \times 3.142 \times 0.544 / 1.3$$
$$= 2,105.890 \text{ kN}$$

よって, $\eta/b=0.1(0.9)$ の位置での押し抜きせん断耐力は

$$1,659.575 + 2,105.890 = 3,765.465 \text{ kN}$$

② $\eta/b=0.25(0.75)$ の位置

$$d=0.418 \text{ m}, \quad As=0.004469 \text{ m}^2$$

であるので,

$$V_{pcd} = 1.244 \times 1.022 \times 1.538 \times 961.249 \times 2.746 \times 0.418 / 1.3$$
$$= 1,659.575 \text{ kN}$$

③ $\eta/b=0.5$ の位置

$$d=0.418 \text{ m}, \quad As=0.003501 \text{ m}^2$$

であるので,

$$V_{pcd} = 1.244 \times 0.943 \times 1.538 \times 961.249 \times 2.746 \times 0.418 / 1.3$$
$$= 1,531.291 \text{ kN}$$

(2) 水平移動衝突に対する予防断面の押し抜きせん断耐力

各位置における水平衝突に対する予防断面の押し抜きせん断耐力は、表-資 5. 12 のようになる。

表-資 5. 12 水平移動衝突に対する予防断面の押し抜きせん断耐力

単位 ; kN

	η / b				
	0. 1	0. 25	0. 5	0. 75	0. 9
押し抜きせん断耐力 : V_{ped} (壁厚 50cm $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 異形ハンチ採用)	3, 765. 465	1, 659. 575	1, 531. 291	1, 659. 575	3, 765. 465

1. 6. 4 曲げ耐力の計算

消波ブロックの衝突力に対するケーソンの曲げ耐力は、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)および「港湾の技術上の基準・同解説・付属書」第4編施設編から導かれる曲げ耐力式を用いて算定する。

$$M_{ud} = A_s f_{yd} d \left\{ 1 - \frac{P_w}{1.7} \cdot \frac{f_{yd}}{f'_{cd}} \right\} / \gamma_b$$

ここに、

A_s ; 引張鉄筋量

P_w ; $A_s / (b_w \cdot d)$

f'_{cd} ; コンクリートの設計圧縮強度

$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

f_{yd} ; 引張鉄筋の設計引張降伏強度

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

d ; 有効高さ

b_w ; 単位幅

γ_b ; 部材係数(1.1)

γ_c ; コンクリートの材料係数(1.3)

γ_s ; 鉄筋の材料係数(1.0)

(1) 予防工法断面の曲げ耐力の計算

計算例を以下に示す。

$$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c = 30 / 1.3 = 23.1 \text{N/mm}^2 = 23,100 \text{kN/m}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 345 / 1.0 = 345 \text{N/mm}^2 = 345,000 \text{kN/m}^2$$

$$\gamma_b = 1.1$$

①- i $\eta/b=0.1$ (0.9) の位置 (前壁の引張側鉄筋による曲げ耐力)

・縦方向曲げ耐力 (M_x 方向)

鉄筋の配置 ; D22 (100)

$d=0.406\text{m}$, $A_s=0.00387\text{ m}^2$ であるので,

$$P_w = A_s / (b_w \cdot d) = 0.00387 / (1 \times 0.406) = 0.010$$

$$M_{x_{ud}} = A_s f_{yd} d \left\{ 1 - \frac{P_w \cdot f_{yd}}{1.7 f'_{cd}} \right\} / \gamma_b$$

$$= 0.00387 \times 345,000 \times 0.406 (1 - (0.010/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$= 449.498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・横方向曲げ耐力 (M_y 方向)

鉄筋の配置 ; D25 (100)

$d=0.430\text{m}$, $A_s=0.00507\text{ m}^2$ であるので,

$$P_w = A_s / (b_w \cdot d) = 0.00507 / (1 \times 0.430) = 0.012$$

$$M_{y_{ud}} = 0.00507 \times 345,000 \times 0.430 (1 - (0.012/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$= 611.674 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

①- ii $\eta/b=0.1$ (0.9) の位置 (ハンチ筋による曲げ耐力)

・縦方向曲げ耐力 (M_x 方向)

鉄筋の配置 ; D22 (100)

$d=0.533\text{m}$, $A_s=0.00387\text{ m}^2$ であるので,

$$M_{x_{ud}} = 0.00387 \times 345,000 \times 0.533 (1 - (0.007/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$= 607.156 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・横方向曲げ耐力 (M_y 方向)

鉄筋の配置 ; D22 (100)

$d=0.555\text{m}$, $A_s=0.00387\text{ m}^2$ であるので,

$$M_{y_{ud}} = 0.00387 \times 345,000 \times 0.555 (1 - (0.007/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$= 632.217 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

よって, $\eta/b=0.1$ (0.9) の位置での曲げ耐力は

$$449.498 + 607.156 = 1,056.654 \text{ kN} \quad (\text{Mx 方向})$$

$$611.674 + 632.217 = 1,243.891 \text{ kN} \quad (\text{My 方向})$$

② $\eta/b=0.25$ (0.75) の位置

・縦方向曲げ耐力 (M_x 方向)

鉄筋の配置 ; D22 (100)

$d=0.406\text{m}$, $A_s=0.00387\text{ m}^2$ であるので,

$$M_{x_{ud}} = 0.00387 \times 345,000 \times 0.406 (1 - (0.010/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$= 449.498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・横方向曲げ耐力 (M_y 方向)

鉄筋の配置 ; D25 (100)

$d=0.430\text{m}$, $A_s=0.00507\text{ m}^2$ であるので,

$$M_{y_{ud}} = 0.00507 \times 345,000 \times 0.430 (1 - (0.012/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$=611.674 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ $\eta/b=0.5$ の位置

・縦方向曲げ耐力 (M_x 方向)

鉄筋の配置 ; D22 (200)

$d=0.406 \text{ m}$, $A_s=0.00194 \text{ m}^2$ であるので,

$$M_{x_{ud}}=0.00194 \times 345,000 \times 0.406 (1 - (0.005/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$=236.181 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・横方向曲げ耐力 (M_y 方向)

鉄筋の配置 ; D25 (100)

$d=0.430 \text{ m}$, $A_s=0.00507 \text{ m}^2$ であるので

$$M_{y_{ud}}=0.00507 \times 345,000 \times 0.430 (1 - (0.012/1.7) \times (345,000/23,100)) / 1.1$$

$$=611.674 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 水平移動衝突に対する予防断面の押し抜きせん断耐力

各位置における水平移動衝突に対する予防断面の曲げ耐力は表-資 5. 13 のようになる。

表-資 5. 13 水平移動衝突に対する予防断面の曲げ耐力

単位 ; $\text{kN} \cdot \text{m}$

	曲げ方向	η / b				
		0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げ耐力 (壁厚 50cm $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$ 異形ハンチ採用)	縦方向(M_x) : $M_{x_{ud}}$	1,056.654	449.498	236.181	449.498	1,056.654
	横方向(M_y) : $M_{y_{ud}}$	1,243.891	611.674	611.674	611.674	1,243.891

1.6.5 押抜せん断に対する照査

予防工法を実施した場合の押抜せん断に対する照査を行う。

照査結果を表-資 5. 14 に示す。予防断面では、押抜せん断破壊は生じないという結果となった。

表-資 5. 14 水平衝突に対する予防断面の押し抜きせん断に対する照査

単位 ; kN

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
衝突力 : P	3,557.182	1,645.754	1,045.962	1,645.754	3,557.182
押し抜きせん断耐力 : V_{ped}	3,765.465	1,659.575	1,531.291	1,659.575	3,765.465
照査結果 (耐力/衝突力)	1.06 >1.00 OK	1.01 >1.00 OK	1.46 >1.00 OK	1.01 >1.00 OK	1.06 >1.00 OK

1.6.6 曲げに対する照査

予防工法を実施した場合の曲げに対する照査を行う。

照査結果を表-資 5. 15, 表-資 5. 16 に示す。

予防断面では、縦方向、横方向ともに、曲げ破壊は生じないという結果となった。

表-資 5. 15 水平衝突に対する予防断面の縦方向(M_x 方向)曲げに対する照査

単位 ; $\text{kN} \cdot \text{m}$

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント : M_x	262.576	214.001	191.852	214.001	262.576
曲げ耐力 : $M_{x_{ud}}$	1,056.654	449.498	236.181	449.498	1,056.654
照査結果	0.25	0.48	0.81	0.48	0.25
($\gamma_i \gamma_f M_x / M_{x_{ud}}$)	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK

※ここに、 γ_i ; 構造物係数(1.0), γ_f ; 荷重係数(1.0)

表-資 5. 16 水平衝突に対する予防断面の横方向(M_y 方向)曲げに対する照査

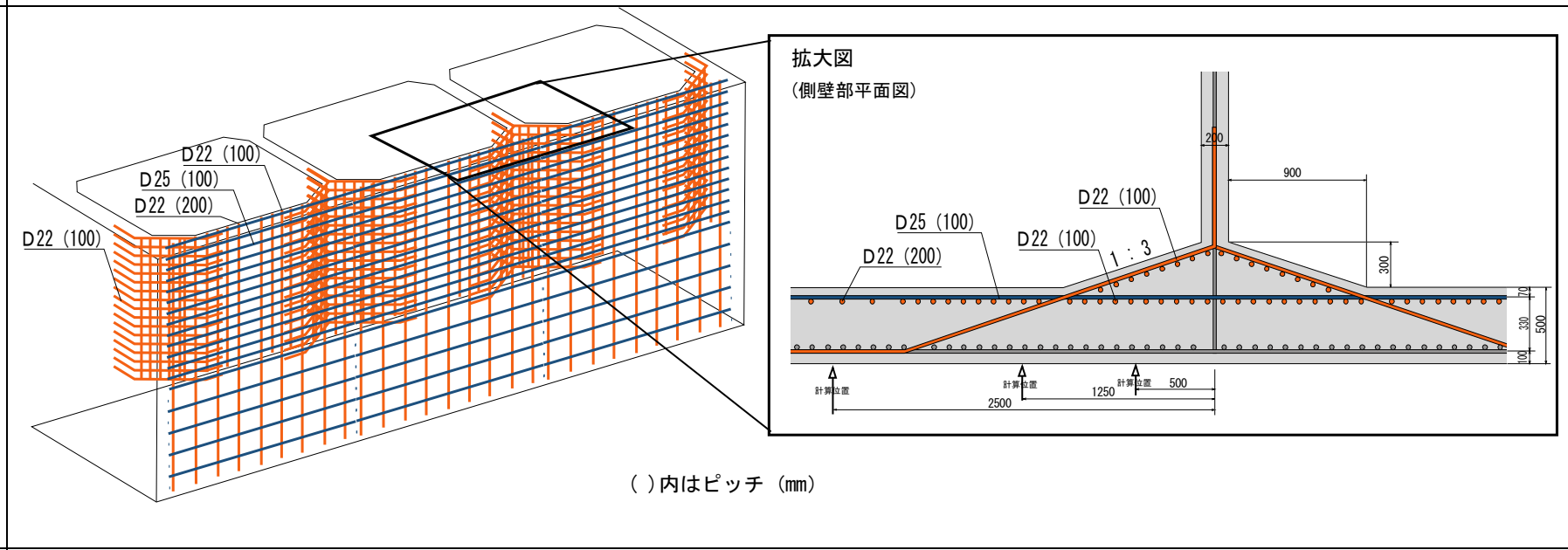
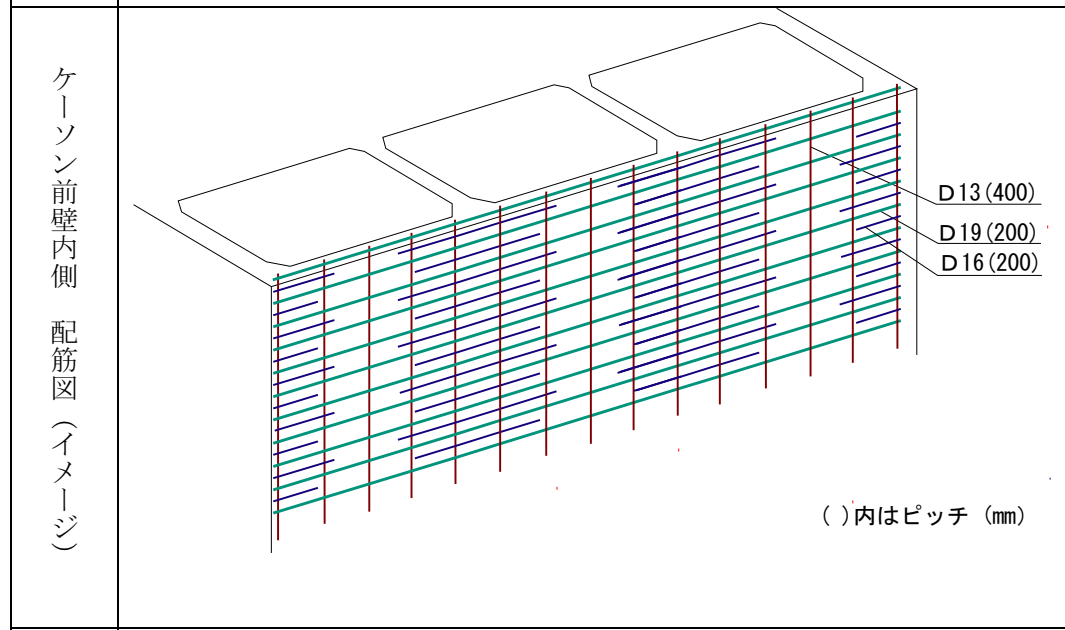
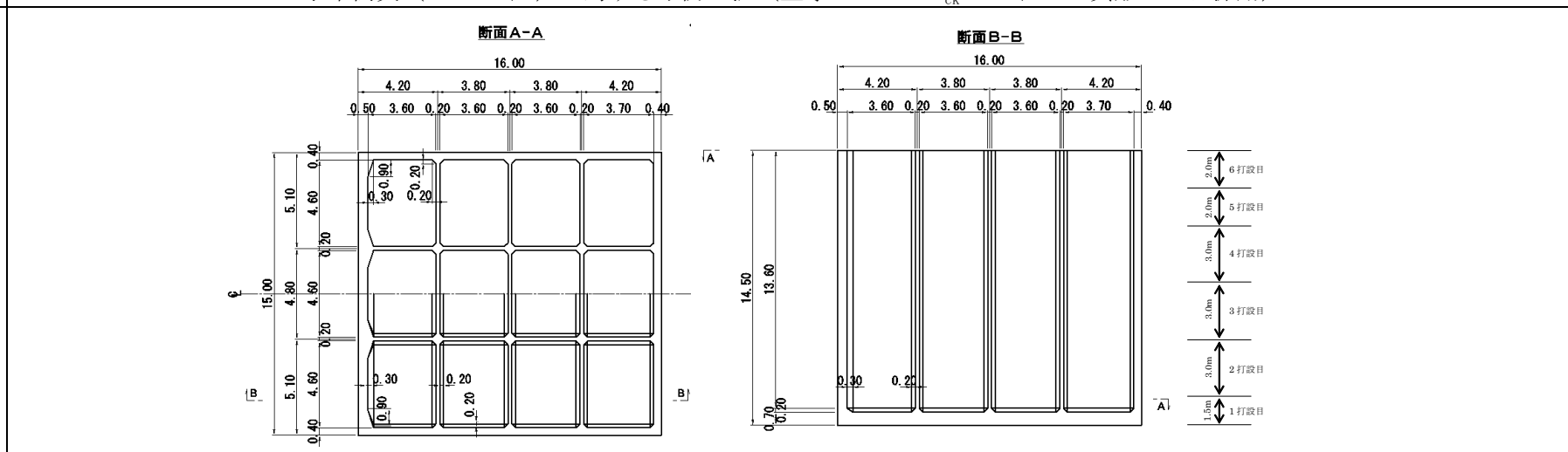
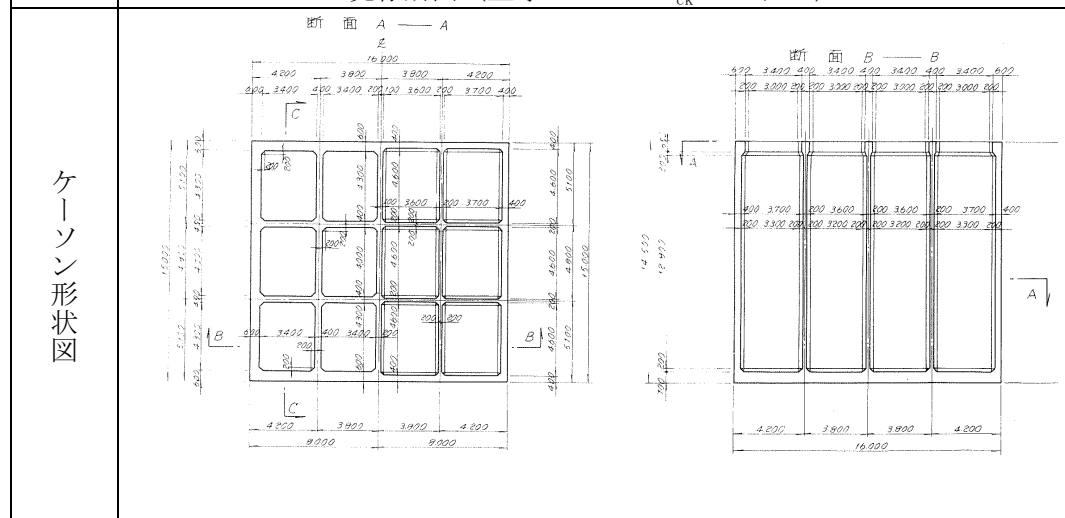
単位 ; $\text{kN} \cdot \text{m}$

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント : M_y	337.766	264.623	323.692	264.623	337.766
曲げ耐力 : $M_{y_{ud}}$	1,243.891	611.674	611.674	611.674	1,243.891
照査結果	0.27	0.43	0.53	0.43	0.27
($\gamma_i \gamma_f M_y / M_{y_{ud}}$)	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK

※ここに、 γ_i ; 構造物係数(1.0), γ_f ; 荷重係数(1.0)

予防工法設計例の概要

既存断面 (壁厚 40cm $f'_{ck} = 24\text{N/mm}^2$) 水平衝突 ($V = 1.0\text{m/s}$) に対する予防工法 (壁厚 50cm $f'_{ck} = 30\text{N/mm}^2$ 異形ハンチ採用)



押し抜きせん断に対する照査

消波ブロックの水平衝突速度 ; $V = 1.0\text{m/s}$

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
衝突力	2,563.026	1,160.535	719.012	1,160.535	2,563.026
押し抜きせん断耐力	790.421	739.495	680.081	739.495	790.421
耐力作用比 (耐力/衝突力)	0.30	0.63	0.94	0.63	0.30
	<1.00 NG	<1.00 NG	<1.00 NG	<1.00 NG	<1.00 NG

押し抜きせん断に対する照査

消波ブロックの水平衝突速度 ; $V = 1.0\text{m/s}$ (異形ハンチの壁厚考慮)

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
衝突力	3,443.083	1,283.648	798.584	1,283.648	3,443.083
押し抜きせん断耐力	3,547.464	1,384.202	1,258.248	1,384.202	3,547.464
耐力作用比 (耐力/衝突力)	1.03	1.08	1.58	1.08	1.03
	>1.00 OK	>1.00 OK	>1.00 OK	>1.00 OK	>1.00 OK

曲げに対する照査

縦方向

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント	189.191	150.907	131.883	150.907	189.191
曲げ耐力 (Mx)	32.161	32.161	32.161	32.161	32.161
$\gamma_i \gamma_r M_x / M_{x,ud}$	5.89	4.70	4.10	4.70	5.89
	>1.00 NG	>1.00 NG	>1.00 NG	>1.00 NG	>1.00 NG

横方向

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント	243.367	186.604	222.512	186.604	243.367
曲げ耐力 (My)	238.525	192.262	145.799	192.262	238.525
$\gamma_i \gamma_r M_x / M_{x,ud}$	1.02	0.97	1.53	0.97	1.02
	>1.00 NG	<1.00 OK	>1.00 NG	<1.00 OK	>1.00 NG

曲げに対する照査

縦方向

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント	254.153	166.915	146.478	166.915	254.153
曲げ耐力 (Mx)	866.125	341.820	179.995	341.820	866.125
$\gamma_i \gamma_r M_x / M_{x,ud}$	0.29	0.49	0.81	0.49	0.29
	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK

横方向

	η / b				
	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
曲げモーメント	326.932	206.4	247.137	206.4	326.932
曲げ耐力 (My)	1,076.820	368.875	368.875	368.875	1,076.820
$\gamma_i \gamma_r M_x / M_{x,ud}$	0.30	0.56	0.67	0.56	0.30
	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK	<1.00 OK