

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

**No.1279**      December 2013

維持管理を考慮した防波堤ケーソン側壁の  
耐衝撃設計に関する検討

川端雄一郎  
加藤 絵万  
岩波 光保

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. 緒言 .....	4
2. 検討概要 .....	5
2.1 対象施設 .....	5
2.2 予防対策費用の算定方法 .....	5
2.3 被災後補修費用の算定方法 .....	5
2.4 LCC縮減の観点からの予防対策の検討方針 .....	8
3. ケーソン側壁の予防対策の比較 .....	8
3.1 予防対策の内容 .....	8
3.2 予防対策費用の比較 .....	11
4. 防波堤ケーソンの被災後補修 .....	11
5. LCC縮減の観点からの予防対策の有効性の検討 .....	12
6. 結言 .....	12
謝辞 .....	14
参考文献 .....	14
付録 .....	14

# **A Study on the Design Method of RC Caissons for Breakwaters Against Impact Loads Considering Maintenance Strategy**

**Yuichiro KAWABATA\***

**Ema KATO \*\***

**Mitsuyasu IWANAMI \*\*\***

## **Synopsis**

In breakwaters covered with wave-dissipating blocks, outer walls of the caisson may show local failure in repeated collision of the blocks. Local failure induces drainage of the filling in the caisson so that the self-weight of the caisson would be reduced. This failure of the outer wall decreases stability of the caisson against sliding and harbor calmness. Therefore the design and verification method of the caisson and the preventive measures against such accidental impact loads is necessary to be developed while it has not been established so far. When the preventive measures are implemented, it is important that the life-cycle cost (LCC) would be considered from the viewpoint of strategic maintenance. This paper investigated the advantageous conditions of the preventive measures from the viewpoint of LCC reduction, by comparing the cost for the preventive measures, the cost for post-failure repair and event probability. In addition, the manual for the design method of caissons against accidental impact loads due to repeated collision of the blocks was provided.

**Key Words:** caisson, local failure, preventive measures, life-cycle cost (LCC), event probability

---

\* Senior Researcher, Structural Mechanics Division

\*\* Head, Structural Mechanics Division

\*\*\* Professor, Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail: kawabata-y@pari.go.jp

# 維持管理を考慮した防波堤ケーソン側壁の 耐衝撃設計に関する検討

川端 雄一郎\*・加藤 絵万\*\*・岩波 光保\*\*\*

## 要 旨

消波ブロック被覆堤では、消波ブロックがケーソン側壁に繰り返し衝突し、穴あきに至る局部破壊が発生する場合がある。ケーソン壁の穴あき損傷は中詰材の流出を招き、ケーソン本体の重量を減少させるため、滑動に対する安定性が低下し、防波堤の機能低下に至るケースもある。現行の港湾の施設の技術上の基準・同解説では、ケーソン側壁の局部破壊については考慮されておらず、耐衝撃設計・照査方法、また新設時における適切な予防対策の確立が不可欠である。また、防波堤新設時において、ケーソンの耐衝撃性を向上させることを目的とした予防対策を実施する上では、戦略的維持管理の観点からライフサイクルコスト（LCC）を検討することが肝要である。

そこで、本研究では、新設の防波堤ケーソンにおいて、予防対策がLCC縮減の観点から有利となる条件を明らかにすることを目的とした。具体的には、穴あき被災を受けた防波堤ケーソンを対象として、数種類の被災後補修シナリオに対して被災後補修費用を試算するとともに、予防対策を講じた場合の予防対策費用を試算し、それらの比較により、LCCの観点から予防対策が有利となる被災率を算定した。また、これまでの検討結果を基に、耐衝撃性に優れる防波堤ケーソンの設計マニュアル（案）として取りまとめた。

キーワード：ケーソン，局部破壊，予防対策，ライフサイクルコスト（LCC），被災率

---

\* 構造研究チーム主任研究官

\*\* 構造研究チームリーダー

\*\*\* 東京工業大学大学院理工学研究科教授（ライフサイクルマネジメント支援センター 客員研究員）

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

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

# 1. 緒言

港湾構造物では、設計荷重以上の波力や、消波ブロック、船舶、漂流物の衝突のような衝撃力が作用する場合があります。これらによって損傷に至る事例がある<sup>1)</sup>。このうち、消波ブロック被覆堤では、消波ブロックがケーソン側壁に繰り返し衝突し、穴あきに至る局部破壊が発生する場合があります(写真-1.1)。ケーソン壁の穴あき損傷は中詰材の流出を招き、ケーソン本体の重量を減少させるため、滑動に対する安定性も低下し、防波堤の機能低下に至るケースもある。現行の港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>2)</sup>では、ケーソン側壁の局部破壊については考慮されておらず、耐衝撃設計・照査方法の確立、また新設時における適切な予防対策の確立が不可欠である。

ここで、消波ブロック被覆堤の設計段階において、ケーソン側壁の耐衝撃性を向上するための対策実施の可否を判断するためには、被災した防波堤ケーソンの補修費用と新設時の予防対策費用を比較し、ライフサイクルコスト(LCC)最小化の観点から検討することが肝要である。しかし、予防対策が有利であるか否かについては、穴あき被災の被災率(対象函数に対する被災函数の割合)に大きく影響される。一方、被災部位は、検討の対象とする防波堤の設置環境や外力の作用条件等に大きく影響される。穴あき被災が生じやすい防波堤として、①消波

ブロックで被覆されている防波堤、②外洋に面している防波堤(第一線防波堤)が挙げられる。また③過去に被災事例のある防波堤や過去に被災した防波堤が比較的近辺にある防波堤においても穴あき被災が生じやすいと考えられる。また、穴あき被災が生じる部位として、主に④防波堤の断面変化部、⑤防波堤の隅角部、⑥防波堤の堤頭部、⑦消波ブロックの被覆範囲が変化する区間、が過去に被災事例として報告されている(図-1.1)。したがって、LCC縮減の観点から、被災の可能性のある部位や被災率に応じた予防対策の要否の判断が必要である。

そこで、本研究では、ケーソン新設時における予防対策の要否の判断に資するため、新設の防波堤ケーソンにおいて、予防対策がLCCの観点から有利となる条件を明らかにすることを目的とした検討を行った。具体的には、穴あき被災を受けた防波堤ケーソンを対象として、数種類の被災後補修シナリオに対して被災後補修費用を試算するとともに、予防対策を講じた場合の予防対策費用を試算し、それらの比較により、LCCの観点から予防対策が有利となる被災率を算定した。

なお、筆者らは、これまで、鉄筋コンクリート版の繰返し衝撃載荷実験などの結果を基に、耐衝撃設計・照査方法を提案しており<sup>3)</sup>、これらの成果は「耐衝撃性に優れた防波堤ケーソンの設計マニュアル(案)」(以下、耐衝撃設計マニュアル(案)、付録A)として公表されてい

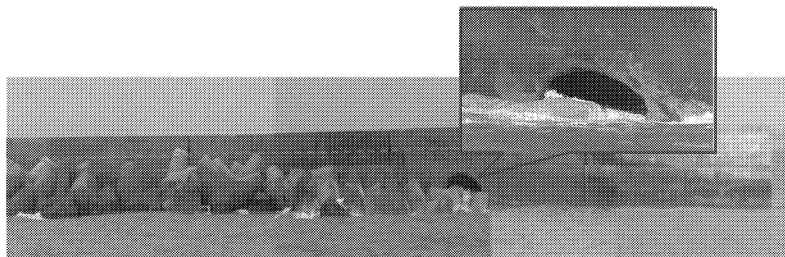


写真-1.1 穴あき被災事例

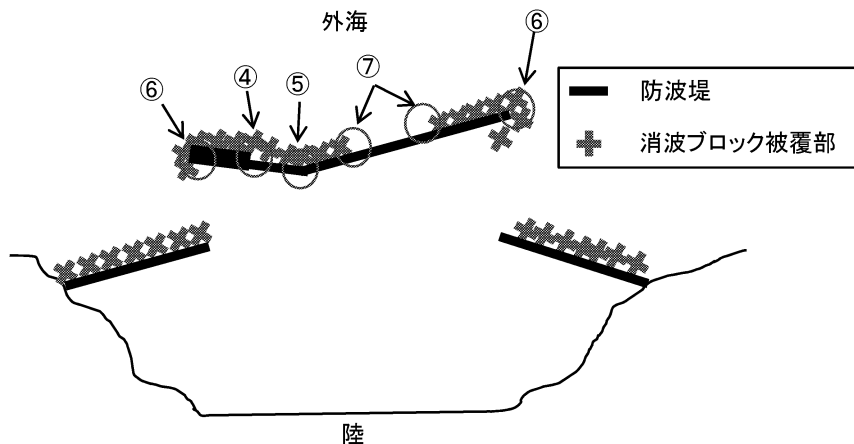


図-1.1 ケーソンの穴あき被災が生じやすい部位

る<sup>4)</sup>。本研究におけるケーソン側壁の予防対策の選定とその設計方法は、耐衝撃設計マニュアル（案）に基づいたものであることを付記する。

## 2. 検討概要

新設の防波堤ケーソンにおいて、耐衝撃性向上のための予防対策がLCCの観点から有利となる条件を明らかにするため、穴あき被災を受けた防波堤ケーソンを対象にして、耐衝撃設計マニュアル（案）を基に予防対策を講じた場合の予防対策費用を算定した。また設定した被災後補修シナリオに対して被災後補修費用を算定した。以下に、検討の方法を示す。

### 2.1 対象施設

対象施設として、実際に穴あき被災を受けた防波堤を2施設（防波堤I、防波堤II）選定した。防波堤Iについて、図-2.1に標準断面図を、表-2.1に設計条件を示す。また、防波堤IIについて、図-2.2に標準断面図を、表-2.2に設計条件を示す。防波堤I、IIいずれも $H_{max}$ が13.0 m以上であり、防波堤Iにおいて80 t型、防波堤IIにおいて64 t型、と大型の消波ブロックが使用されている。また、ケーソン側壁の構造に着目すると、壁厚約0.5 m、支間長約5.0 mであり、一般的なケーソン構造である。

耐衝撃設計マニュアル（案）を基に、防波堤I、IIのケーソン側壁について、消波ブロックの繰返し衝突による局部破壊に対する照査を実施した。照査結果については、付録Bに示す。なお、本論では対象としていないが、付録Bには穴あき被災を受けたその他2施設（防波堤III、IV）についての照査結果もあわせて示した。

表-2.3に対象とした防波堤2施設における照査結果を示す。防波堤I、IIともに、設計衝突回数( $N_c=150$ 回)に対して、破壊衝突回数( $N_d$ )が数回となり、照査を満足しない結果となった。

### 2.2 予防対策費用の算定方法

#### (1) 予防対策の選定

これまでの研究成果から、防波堤ケーソン側壁の耐衝撃性向上のためには、短繊維補強コンクリートの使用、鉄筋比の増加、版厚の増加、の3つの予防対策が有効であることが示されている<sup>3)</sup>。そこで本論では表-2.4に示す予防対策ケースについて、防波堤I、IIについて照査を満足するよう対策を選定した。すなわち、予防対策として、短繊維補強コンクリート（予防対策ケース1）を選定す

る場合には短繊維混入率を、鉄筋比の増加（予防対策ケース2）を選定する場合には鉄筋比を、版厚の増加（予防対策ケース3）を選定する場合には版厚を、それぞれパラメータとして、照査を満足する条件を求めた。なお、対策は耐衝撃設計マニュアル（案）に基づき、ケーソン側壁のみを想定している。

ここで、通常ケーソンの配筋設計を行う際には、D13～D25の範囲のものが使用される。通常、D25よりも大きな径の鉄筋を用いる場合には、鉄筋の曲げ加工が煩雑になり、ガス圧接も必要となる。以上のような施工上の観点から、本論では、鉄筋の配筋の上限について、D25を100 mmピッチと設定した。

#### (2) 予防対策費用の算定

上述したそれぞれの予防対策について、予防対策の実施によってケーソン1函の製作に加算される費用 $C_{pc}$ を算定した。

### 2.3 被災後補修費用の算定方法

#### (1) 被災後補修シナリオの設定

防波堤I、IIについて、穴あき被災が生じたケーソンの補修シナリオを以下の3ケース設定した。被災後補修ケースA、Bでは、ケーソン側壁に穴あきが発生しているものの、堤体滑動は生じていない場合を、被災後補修ケースCでは、ケーソンの穴あき発生によって堤体滑動が生じた場合を想定している。

被災後補修ケースAでは、消波ブロックを撤去した後にケーソン側壁の穴あきを型枠で塞ぎ、上部コンクリートに削孔した穴から隔室に水中コンクリートを打設するシナリオを想定した。施工手順は、①消波ブロックの撤去、②上部コンクリートの削孔、③港外側の隔室1室中の中詰材を全て撤去、④ケーソン側壁に前面から型枠を設置、⑤水中コンクリートの打設、⑥型枠の除去、⑦上部工削孔部の埋戻し、⑧消波ブロックの復旧、である。消波ブロックによるケーソン側壁の穴あきは、ケーソン1函あたり1箇所、港外側の隔室1室のみに生じたものとした。また、穴あき発生箇所は、L.W.L.から消波ブロック1個分の高さとした。補修時の消波ブロックの撤去範囲は、港外側から型枠を設置するための作業スペースを考慮して設定し、穴あき発生箇所の下側では側壁厚分、穴あき発生箇所の防波堤延長方向両側では1個分の消波ブロックを撤去するものとした。撤去勾配は、消波工の法勾配、断面方向は直切りを想定した(図-2.3、図-2.4)。上部コンクリートの削孔径は $\phi 400$  mmとし、中詰材の撤去は $\phi 200$  mmのサンドポンプにより行うものとした。

被災後補修ケースBでは、上部工および蓋コンクリート

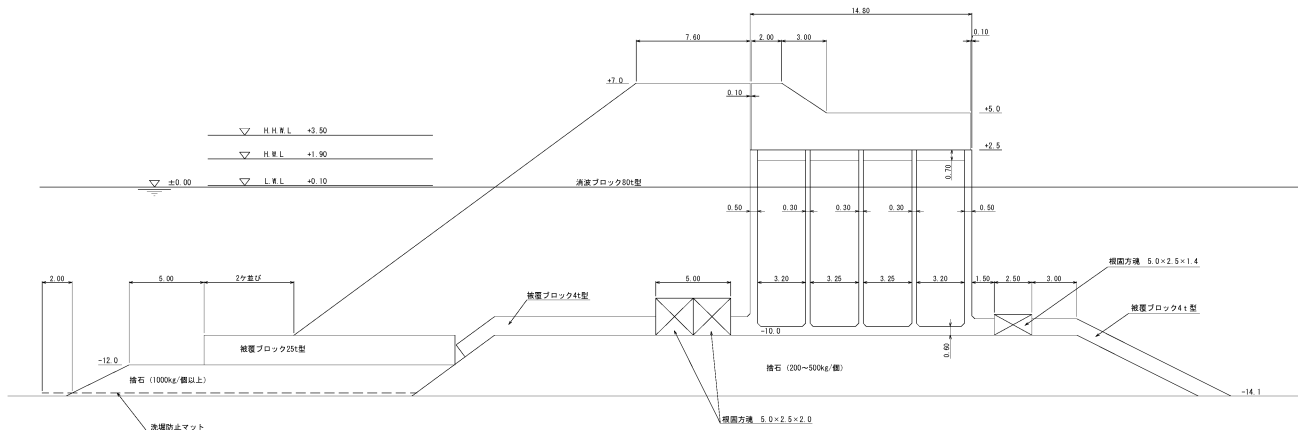


図-2.1 標準断面図 (防波堤 I, 単位 : m)

表-2.1 設計条件 (防波堤 I)

自然条件	H.H.W.L.	D.L.+3.50m
	H.W.L.	D.L.+1.90m
	L.W.L.	D.L.+0.10m
	前面水深	D.L.-14.1m
	$H_{max}$ (50年確率)	13.1m
	周期 T	16.7s
	波長 $L(=1.56T^2)$	435m
	砕波時の波速 $C(=\sqrt{gh})$	13.14 m/s
ケーソン側壁の構造	支間長 $l$	4.83 m
	壁厚 $h$	0.50m
	芯かぶり	外側 8 cm, 内側 6 cm
	コンクリートの設計基準強度 $f'_{ck}$	30 N/mm <sup>2</sup>
	コンクリートのヤング係数 $E_c$	28kN/mm <sup>2</sup>
	粗骨材の最大寸法 $G_{max}$	20 mm
	PVA 短繊維混入率 $r_f$	0.00%
	鉄筋の引張降伏強度の特性値 $f_{yk}$	345 N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋のヤング係数 $E_s$	200 kN/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数比 $n(=E_s / E_c)$	7.14
消波ブロック (80t 型)	消波ブロック質量 $M$	80,500 kg
	脚の先端半径 $r$	0.55 m
	消波ブロック高さ $H$	5.0 m

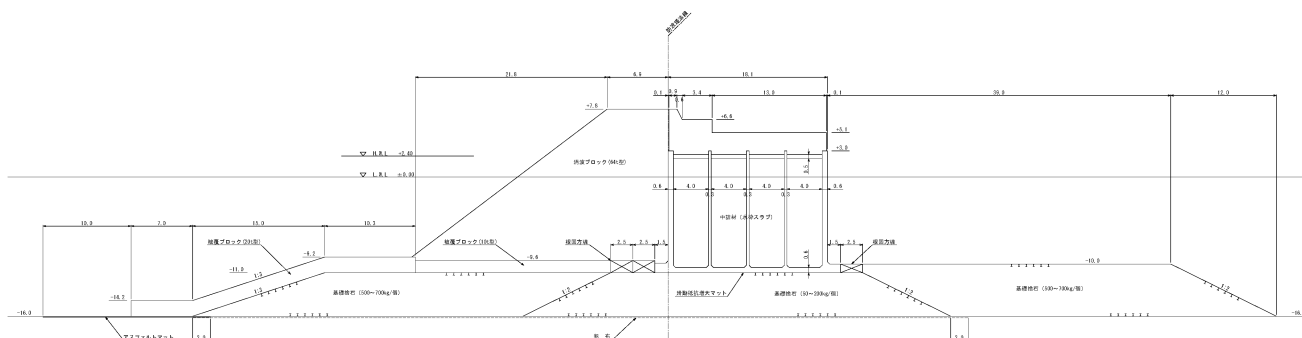


図-2.2 標準断面図 (防波堤 II, 単位 : m)

表-2.2 設計条件 (防波堤 II)

自然条件	H.W.L.	D.L.+2.40m
	L.W.L.	D.L.±0.00m
	前面水深	D.L.-16.0m
	$H_{max}$ (50年確率)	13.3m
	周期 T	14.6s
	波長 $L(=1.56T^2)$	333m
	砕波時の波速 $C(=\sqrt{gh})$	13.44 m/s
ケーソン側壁の構造	支間長 $l$	5.30 m
	壁厚 $h$	0.50m
	芯かぶり	外側 8 cm, 内側 6 cm
	コンクリートの設計基準強度 $f'_{ck}$	24 N/mm <sup>2</sup>
	コンクリートのヤング係数 $E_c$	25kN/mm <sup>2</sup>
	粗骨材の最大寸法 $G_{max}$	20 mm
	PVA 短繊維混入率 $r_f$	0.00%
	鉄筋の引張降伏強度の特性値 $f_{yk}$	345 N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋のヤング係数 $E_s$	200 kN/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数比 $n(=E_s / E_c)$	8.0
消波ブロック (64t 型)	消波ブロック質量 $M$	58,880 kg
	脚の先端半径 $r$	0.495 m
	消波ブロック高さ $H$	4.505 m



を撤去した後に、隔室内部から型枠を設置し、港外側の隔室に水中コンクリートを打設するシナリオを想定した。施工手順は、①上部工および蓋コンクリートの撤去、②穴あきが発生した隔室内の全ての中詰材をグラブにより撤去、③隔室内部に型枠を設置、④隔室に水中コンクリートを充填、⑤蓋コンクリートおよび上部工の復旧、である。消波ブロックによる破損箇所は被災後補修ケース A と同様とした。また、上部工および蓋コンクリートの撤去範囲は隔室 1 室分 (図-2.5) とした。

被災後補修ケース C では、穴あき発生によりケーソンの自重が小さくなり、それによってケーソンが滑動し、さらに一部の消波ブロックが散乱した状況とした。したがって、ケーソンを据え直し、港外側の隔室に水中コンクリートを打設するシナリオを想定した。施工手順は、①消波ブロックの撤去、②上部工の全撤去、③中詰材の全撤去、④ケーソンの据え直し、⑤港外側の隔室に水中コンクリートを充填、⑥その他の隔室に中詰材を充填、⑦蓋コンクリートおよび上部工の復旧、である。滑動したケーソンは基礎マウンド上に残存しており、転倒はしていないものと想定した。また、ケーソンの滑動量は消波工 1 個分とした。消波ブロックの撤去範囲は図-2.6 に示す通りとした。

#### (2) 被災後補修費用の算定

設定した被災後補修シナリオに要する費用  $C_{cc}$  を算定した。この時、被災後補修費用はケーソン 1 函に対する費用とした。

### 2.4 LCC 縮減の観点からの予防対策の検討方針

本研究では、被災後補修シナリオ A, B, C の被災後補修費用と、予防対策を講じた場合の予防対策費用を比較し、LCC 縮減の観点から予防対策が有利となる被災率を算定した。ここで、被災率の設定においては、本来波浪等の作用条件を考慮した上で設定すべきであるが、現状としてその設定法は構築されていない。したがって、実際の検討においては、当該防波堤の過去の被災事例や類似の防波堤の事例を基に、被災率の設定を行うことが望ましい。

対象施設の対象部位のケーソン  $n$  函のうち、防波堤の穴あき被災を生じる関数は、 $n$  函に被災率  $P_i$  を乗じることで求めることができる。すなわち、対象施設の被災関数は  $nP_i$  である。また、補修後は隔室にコンクリートが充填されているため、防波堤は被災しないものと仮定する。これらの仮定の下、被災関数に被災後補修費用  $C_{cc}$  を乗じることで、被災によって対象施設に生じる補修費用は  $nP_iC_{cc}$  となる。したがって、供用期間中において、

被災率を考慮した防波堤の総補修費用を期待補修費用と定義すると、期待補修費用は  $C_e = nP_iC_{cc}$  で求めることができる。なお、本研究においては、穴あきによる補修費用のみを算定したものであり、その他の経年劣化に伴う補修等については考慮していない。

対象施設の耐衝撃性向上のための予防対策費用については、対象部位のケーソン  $n$  函全てに対して予防対策を講じることを前提とした。また、予防対策を行うことで、防波堤は供用期間中被災しないものとする。したがって、対象部位のケーソン関数と予防対策費用  $C_{pc}$  から、対象施設の予防対策費用  $C_p = nC_{pc}$  が求められる。

対象施設にある被災率  $P_i$  を与えたとき、予防対策費用が期待補修費用を下回る場合には、LCC 縮減の観点から、新設時の予防対策が有利になると判断することができる。したがって、予防対策費用が期待補修費用を下回る被災率  $P_i$  を求め、予防対策が LCC 縮減の観点から有利となる条件について検討した。

## 3. ケーソン側壁の予防対策の比較

本章では、耐衝撃設計マニュアル (案) を基に、ケーソン側壁の局部破壊に対する照査を満足する予防対策の内容と対策を実施する上での留意点等について考察し、各対策のコストを比較した。

### 3.1 予防対策の内容

表-3.1 に防波堤 I および II におけるケーソン側壁の局部破壊に対する照査を満足する予防対策内容を示す。

予防対策ケース 1 について、短繊維補強コンクリートの短繊維混入率を 1.0 % 強とすることで照査を満足した。短繊維補強コンクリートでは、短繊維混入率が高い場合には施工性の悪化が懸念される。既往の研究によれば、短繊維混入率 1.0 % までは通常のコンクリートと同等の施工性を有する<sup>5)</sup>とされているが、現状では、1.0 % 以上の短繊維混入率については十分な知見がない。また、本論においては、ケーソン側壁のみに短繊維補強コンクリートを使用することを想定しているが、施工性の観点からは困難な可能性もある。したがって、短繊維補強コンクリートを使用するにあたっては施工性の検討を十分に行う必要がある。

予防対策ケース 2 について、防波堤 I において、平均引張鉄筋比を 1.19 % としても照査を満足しない結果となった。これは、本論において、施工性の観点から D25 以下の鉄筋を 100 mm ピッチで使用することを想定したた

表-2.3 局部破壊に対する照査結果

施設名	局部破壊に対する照査		
	$N_u$ (回)	$N_e$ (回)	結果
防波堤 I	2	< 150	N.G.
防波堤 II	6	< 150	N.G.

表-2.4 ケーソン側壁の予防対策ケース

予防対策ケース 1	短繊維補強コンクリートの使用
予防対策ケース 2	鉄筋比の増加
予防対策ケース 3	版厚の増加

表-2.5 被災後補修ケース

被災後補修ケース A	消波ブロック撤去後隔室に中詰コンクリート充填
被災後補修ケース B	上部コンクリート撤去後隔室に中詰コンクリート充填
被災後補修ケース C	中詰材を除去して再度据付後隔室に中詰コンクリート充填

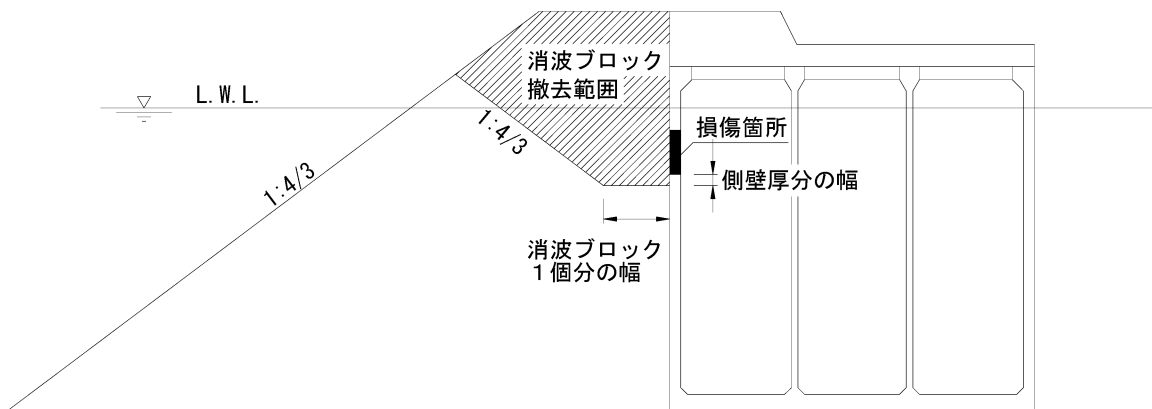


図-2.3 被災後補修ケース A の消波ブロック撤去範囲（断面図）

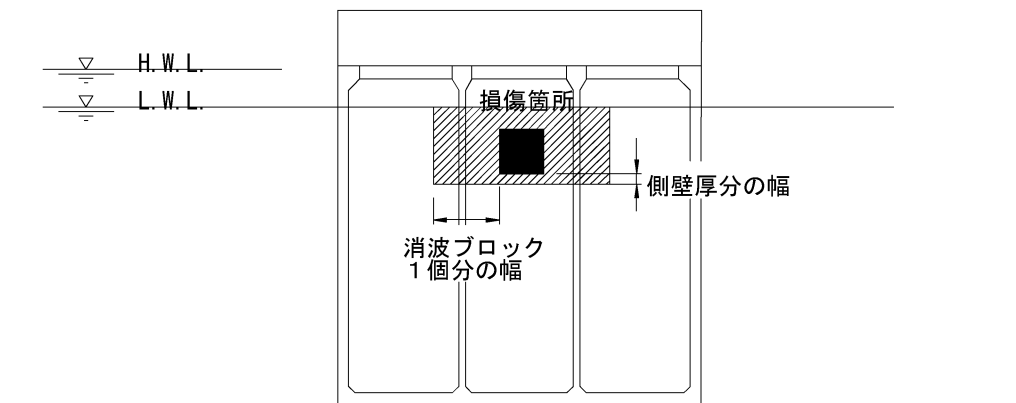


図-2.4 被災後補修ケース A の消波ブロック撤去範囲（正面図）

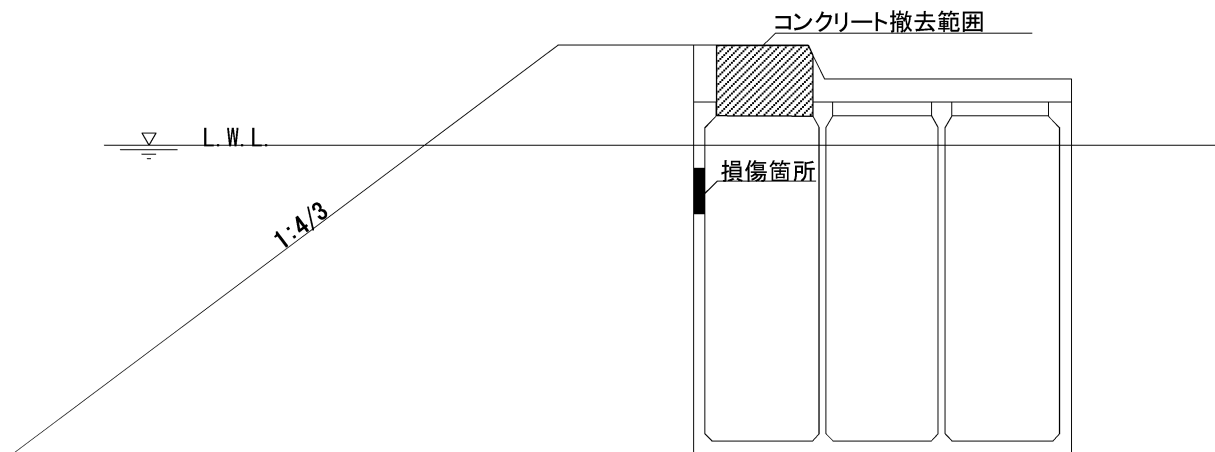


図-2.5 被災後補修ケース B の上部コンクリート撤去範囲（断面図）

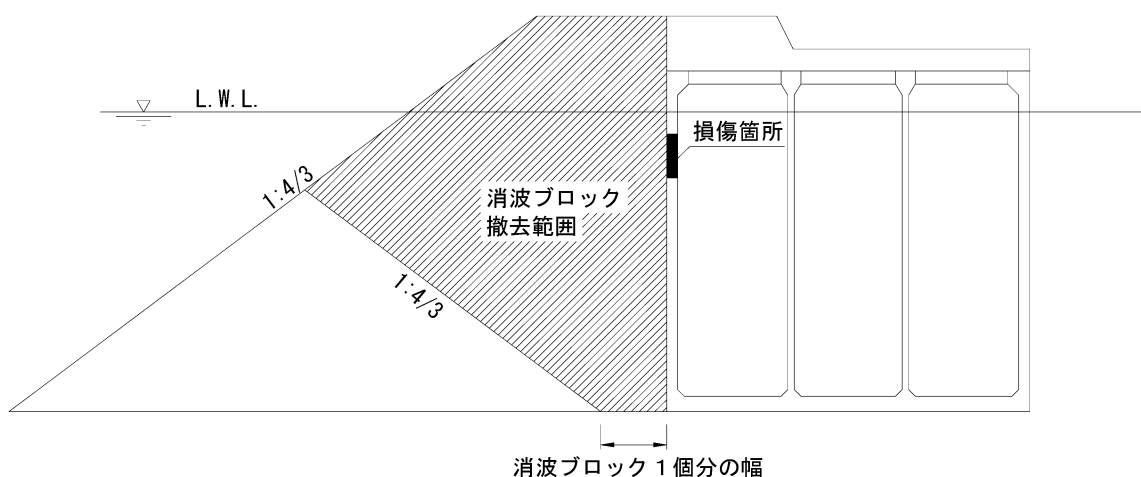


図-2.6 被災後補修ケース C の消波ブロック撤去範囲（断面図）

表-3.1 ケーソン側壁の局部破壊に対する照査を満足する予防対策内容

	無対策			予防対策ケース 1	予防対策ケース 2	予防対策ケース 3
	短繊維混入率 (%)	平均引張鉄筋比 (%)	版厚 (m)	短繊維混入率 (%)	平均引張鉄筋比 (%)	版厚 (m)
防波堤 I	0	0.19	0.5	1.25	×(1.19)	2.30
防波堤 II	0	0.15	0.5	1.03	0.63	1.85

×：照査を満足しないデータ（括弧内は鉄筋比の上限）

めである。したがって、その他の対策と併用することで照査を満足させる必要がある。防波堤Iにおいては、平均引張鉄筋比を1.19%とすることに加えて、版厚を0.6mとすることで、照査を満足した。また、防波堤IIでは、版厚を当初設計の通り0.6mとして、鉄筋比0.63%まで増加させることで照査を満足した。しかしながら、鉄筋比の増加によって接合部等が過密配筋となるため、施工上の制約が大きくなる。

予防対策ケース3について、防波堤Iにおいては2.30m、防波堤IIにおいては1.85mの版厚とすることで照査を満足した。一般的なケーソンの版厚約0.5mと比較すると相当に大きな版厚である。この場合、ケーソンの浮遊が困難となることが推測されるため、施工性の観点からは版厚の増加のみによる対策の実施は困難と思われる。

以上の検討結果から、いずれの対策においても、設計時に想定される作用条件に大きく影響されるが、単独の

表-3.2 予防対策費用

予防対策ケース		防波堤 I (万円/函)	防波堤 II (万円/函)
ケース 1	短繊維補強コンクリートの使用	473	572
ケース 2	鉄筋比の増加	× (129)	152
ケース 3	版厚の増加	584	514
ケース 2+3	鉄筋比の増加, 版厚の増加	172	-

表-4.1 被災後補修費用

被災後補修ケース		防波堤 I (万円/函)	防波堤 II (万円/函)
ケース A	消波ブロック撤去後隔室に中詰コンクリート充填	1,084	1,076
ケース B	上部コンクリート撤去後隔室に中詰コンクリート充填	1,316	1,966
ケース C	中詰材を除去して再度据付後隔室に中詰コンクリート充填	9,608	11,543

予防対策で耐衝撃性を向上させることは、施工の観点から困難な場合がある。したがって、これらの対策を併用し、合理的な断面を決定する必要がある。

### 3.2 予防対策費用の比較

表-3.2に防波堤I, IIの予防対策費用を示す。費用算定における工種や数量等については、付録Dに示す。なお、短繊維補強コンクリートにかかる費用の算定にあたっては、材料費のみを算定したものであり、短繊維使用に伴って発生するアジテータ車の洗浄費等の工費については考慮していない。

防波堤IIに着目すると、予防対策ケース2が最も安価であり、他2ケースの1/3以下であった。ケース1とケース3はほぼ同等の費用と考えられたが、ケース1においては材料費のみ計上しているため、ケース1が最も高価な対策と判断することができる。

防波堤Iでは、ケース2において照査を満足できなかったため、費用を算定できなかった。なお、鉄筋比の上限値1.19%における予防対策費用は129万円/函であった。この時、上述した通り、版厚を0.6 mとして照査を満足した場合、約172万円/函となり、他2ケースよりも安価であった。ケース1とケース3を比較すると、材料費のみの計上ではあるものの、ケース1の方が安価になった。

これらの結果から、ケーソン側壁の耐衝撃性を向上させる際、施工性を悪化させない範囲での鉄筋比の増加のみで照査を満足しない場合には、他の予防対策を併用することが、予防対策費用の低減に有効であると考えられる。また、短繊維補強コンクリートの使用もしくは版厚の増加を選択する場合には、構造条件や作用条件によ

て施工費用の観点からの優劣が異なるため、事前に費用低減が可能な工法を検討することが望まれる。特に、版厚の増加を選択する場合については、版厚の増加に伴ってケーソン自重が大きく変化するため、基本設計での再検討が必要になるなど、設計の手戻りが生じる可能性がある。したがって、施工上の制約条件を十分に考慮した上で予防対策を選択することが重要である。

## 4. 防波堤ケーソンの被災後補修

本章では、設定した被災後補修シナリオについて、被災後補修費用を算定した結果を示し、各被災後補修シナリオの留意点について示す。

表-4.1に防波堤 I, II の被災後補修費用を示す。費用算定における工種・数量等については、付録Eに示す。被災後における補修工法として、ケース A が最も安価となり、次いでケース B となった。これらはケーソンが滑動していないことを想定しているため、比較的安価に補修が可能であった。一方、ケーソンの滑動が発生することを想定したケース C では、ケース A, ケース B よりも5~10倍近くの費用となった。つまり、被災後補修費用の比較から、側壁に穴あきの発生を確認した場合、堤体滑動が生じる以前に補修を講じることが LCC の観点から有利であるといえる。なお、このケース C の被災後補修費用は補修に要する費用のみを算定したものであり、港内の静穏度の確保が困難になることによる間接的な損失については考慮していない。

各ケースにおける施工上の課題について考察する。ケース A については、中詰材が流出した際に蓋コンクリー

トが落下している可能性があり、その撤去が困難なことが予測される。また、全てのケースに共通する事項として、側壁が損傷した隔室には隣り合う隔室からの内部土圧が作用するため、中詰材を撤去する際に隔室の部材照査が必要であり、中詰コンクリートを打設する際にはコンクリートの側圧による側壁の部材照査が必要である。

## 5. LCC縮減の観点からの予防対策の有効性の検討

前章までに算定した予防対策費用、被災後補修費用を基に、LCCの観点から予防対策が有利になる被災率を算定した。

図-5.1～図-5.6に被災率(対象函数のうち被災する函数の割合)と予防対策費用/期待補修費用の関係を示す。図の縦軸である予防対策費用/期待補修費用が1.0より小さくなると、予防対策の方がLCC縮減の観点から有利になることを示している。また、期待補修費用よりも予防対策費用の方がLCC縮減の観点から有利となる被災率を整理した結果を表-5.1、表-5.2に示す。

図より、被災率が大きくなるほど予防対策が経済的に有利となることがわかる。また、防波堤I、IIにおいて、予防対策費用の方が経済的に有利となる被災率は概ね同様の値を示した。

被災後補修ケースA、Bに対して、予防対策ケース2(鉄筋比の増加)は対象ケーソン函数のうち12%以上が被災する可能性があるため、予防対策がLCC縮減の観点から有利になる。また、予防対策ケース1(短繊維補強コンクリートの使用)では対象ケーソン函数のうち45%以上が被災する可能性がある場合に予防対策の方が有利となる。予防対策ケース3(版厚の増加)では、対象ケーソン函数のうち55%以上が被災する可能性がある場合に予防対策の方が有利となる。

被災後補修ケースCに対して、いずれの予防対策ケースも、対象ケーソン函数のうち1.3～5%以上が被災する可能性がある場合に経済的に有利になった。すなわち、20函に1函でも穴あきに伴う滑動の被災を受けた履歴のある防波堤、もしくはそれに類似するような作用条件の防波堤においては、新設時において予防対策を講じることが有効であると考えられる。

上述した通り、予防対策がLCC縮減の観点から有利となる条件は、穴あきの被災率に大きく影響されることが示された。特に、堤体滑動の発生の有無によって被災後補修費用は大きく変化する。

一方、穴あき被災が生じた場合、堤体が滑動する可能

性は非常に高い。穴あき被災発生直後に台風や大型低気圧が襲来した場合には堤体滑動の可能性が高まるとともに、堤体滑動によって消波ブロックの不安定部が発生し、衝撃砕波の発生や、隣接するケーソンの連鎖的な被災の発生可能性がある。また、港内側の安全性の確保がなされず、二次災害の発生の恐れもある。これらは被災後補修費用や便益損失に大きく影響するものである。したがって、穴あき被災そのものの発生は許容すべきではないと考えられる。以上より、LCC縮減の観点から予防対策が有利となる被災率は、被災後補修ケースCと比較することが望ましいと考える。

これらの結果から、本論の検討範囲では、少なくとも1.3～5%以上の被災率が想定される施設においては、予防対策を実施することでLCC縮減の観点から有利になるといえる。また、それ以下の被災率であっても、本研究で想定したシナリオと異なる被害状況では、予防対策費用の方が有利になる。想定される被災後補修費用は施設の諸元等によって変化するため、被災率について明確な数値を提示することは不可能であるが、本論で示した考え方により、穴あきの被災率を考慮した期待補修費用と予防対策費用を比較することで、LCC縮減の観点から予防対策が有利となる被災率を求めることができる。

## 6. 結言

本論は、新設の防波堤ケーソンにおいて、予防対策がLCCの観点から有利となる条件を明らかにすることを目的とし、穴あき被災を受けた実構造物を対象とした検討を行った。新設時に予防対策を講じた場合の予防対策費用を、また無対策の場合に被災した時の補修費用を算定し、予防対策がLCC縮減の観点から有利となる被災率を求めた。以下に本論により得られた知見を示す。

- (1) ケーソン側壁の耐衝撃性を向上させる予防対策として、構造物の諸元によっては鉄筋比の増加のみで照査を満足できない施設があった。また、短繊維補強コンクリートの使用および版厚の増加についても施工上の制約が大きいことから、これらの対策を併用することで合理的な断面を決定することが必要であることを示した。
- (2) ケーソン側壁の耐衝撃性を向上させる予防対策として、鉄筋比の増加が最も安価であり、短繊維補強コンクリートの使用および版厚の増加はほぼ同等の費用であった。
- (3) 側壁に穴あきの発生を確認した場合、堤体滑動が生

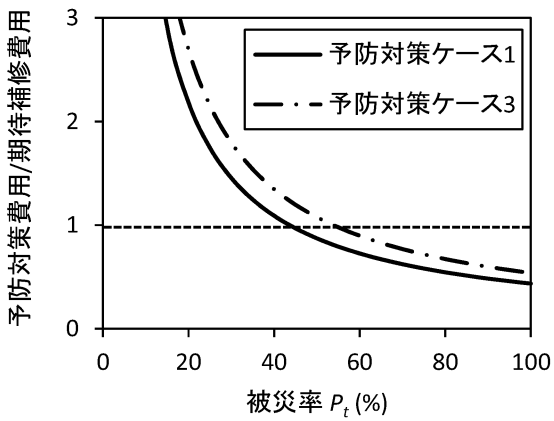


図-5.1 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 I, 被災後補修ケース A)

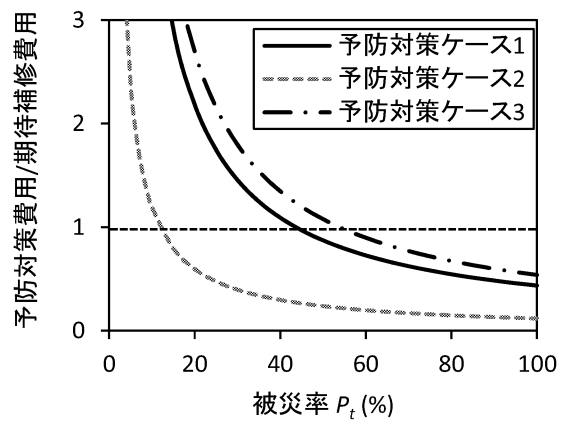


図-5.4 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 II, 被災後補修ケース A)

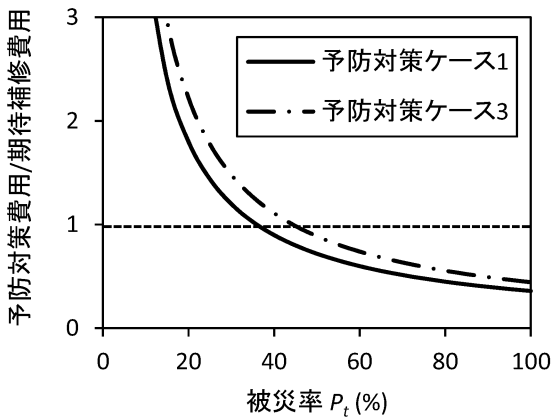


図-5.2 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 I, 被災後補修ケース B)

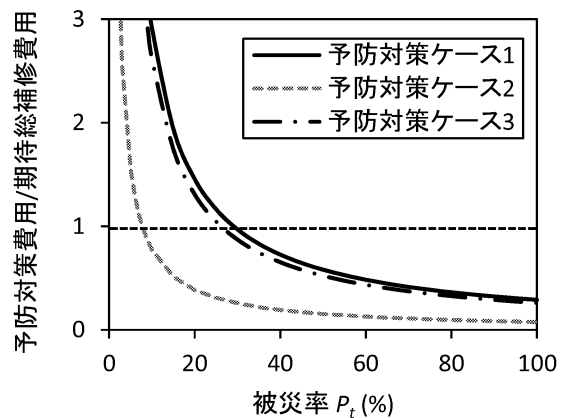


図-5.5 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 II, 被災後補修ケース B)

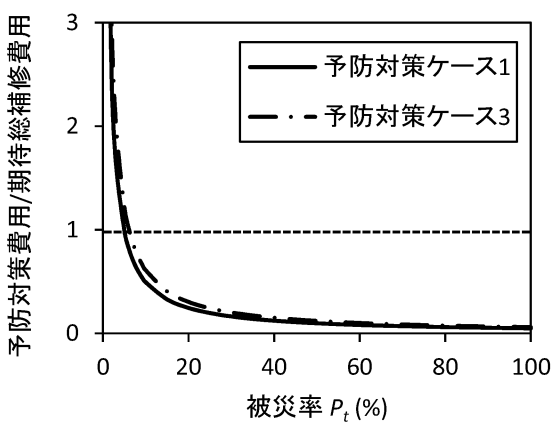


図-5.3 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 I, 被災後補修ケース C)

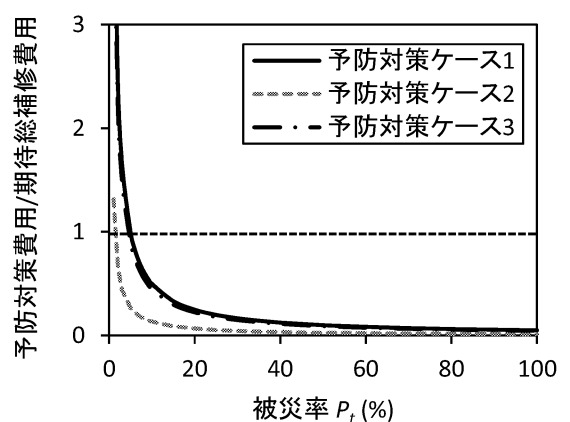


図-5.6 被災率と予防対策費用/期待補修費用の関係  
(防波堤 II, 被災後補修ケース C)

表-5.1 LCC 縮減の観点から予防対策が有利となる被災率（防波堤 I, 単位：％）

	予防対策ケース 1	予防対策ケース 2	予防対策ケース 3
被災後補修ケース A	45	×	55
被災後補修ケース B	35	×	45
被災後補修ケース C	5	×	5

表-5.2 LCC 縮減の観点から予防対策が有利となる被災率（防波堤 II, 単位：％）

	予防対策ケース 1	予防対策ケース 2	予防対策ケース 3
被災後補修ケース A	45	12	55
被災後補修ケース B	30	8	25
被災後補修ケース C	5	1.3	5

じる以前に補修を講じることがLCCの観点から有利である。

- (4) 対象ケーソン函数のうち1.3～5 %以上が被災することが想定される施設においては、予防対策を実施することでLCC縮減の観点から有利になる。

#### 謝辞

本成果の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)：23360192）によって実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

(2013年8月2日受付)

#### 参考文献

- 1) 平山克也, 南靖彦, 奥野光洋, 峰村浩治, 河合弘泰, 平石哲也：2004年に来襲した台風による波浪災害事例, 港湾空港技術研究所資料, No.1101, 2005年
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 2007年
- 3) 川端雄一郎, 岩波光保, 松林卓：繰返し衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の残存押抜きせん断耐荷

性能, 港湾空港技術研究所報告, Vol.50, No.3, pp.3-24, 2011年

- 4) <http://www.pa.thr.mlit.go.jp/sendaiigicho/technology/technology01.html>
- 5) 伊藤始, 岩波光保, 横田弘：短繊維補強コンクリートの施工性に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1087, 2004年

#### 付録

付録-A 耐衝撃性に優れた防波堤ケーソンの設計マニュアル（案）

付録-B 耐衝撃性設計マニュアル（案）による無対策断面の照査

付録-C 耐衝撃性設計マニュアル（案）に関する補足資料

付録-D 予防対策費用算定における数量

付録-E 被災後補修費用算定における数量

耐衝撃性に優れる防波堤ケーソンの  
設計マニュアル  
(案)  
ver. 3.1

平成 25 年 4 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  
独立行政法人 港湾空港技術研究所



# 耐衝撃性に優れた防波堤ケーソンの設計マニュアル（案）

## 目 次

第1章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 耐衝撃設計の要否	1
1.3 性能照査全体の中における耐衝撃設計の位置づけ	2
1.4 用語の定義	4
第2章 設計条件の設定	5
2.1 耐衝撃設計断面の範囲の設定	5
2.2 ケーソン側壁のモデル化	7
2.3 消波ブロックのモデル化	8
第3章 耐衝撃設計	10
3.1 設計の基本方針	10
3.2 局部破壊に対する安全性の照査	11
第4章 その他配慮事項	16
4.1 耐衝撃設計断面と通常設計断面の接合部	16
4.2 PVA 短繊維補強コンクリートの打設範囲	17
【参考文献】	17

# 第1章 総則

## 1.1 適用の範囲

本マニュアル（案）は、ケーソン式混成堤の設計において、消波ブロックの衝突に対して耐衝撃性に優れたケーソン側壁を設計する場合に適用する。本マニュアル（案）に記述されていない事項については、港湾の施設の技術上の基準・同解説に従うものとする。

### 【解説】

本マニュアル（案）の適用の範囲を明らかにしたものである。

## 1.2 耐衝撃設計の要否

耐衝撃性に優れたケーソン側壁の設計の要否は、過去の被災の有無および被災率、施設の立地条件、施設の維持管理レベル、重要度、供用期間、施設の利用状況と将来計画、予想される発生コストなどを総合的に評価して決定する。

### 【解説】

同じケーソン側壁の穴あき被災であっても、施設の維持管理レベル、重要度、供用期間、施設の利用状況と将来計画、被災した場合に予想される復旧コストや経済損失などにより予防的耐衝撃対策の必要性は異なる。したがって、各港湾施設の置かれた条件を総合的に評価して対策の要否を決定することとした。なお、これまで穴あき被災を生じた港湾施設においては、復旧するまでの間に、例えば表-1.1に示す項目について費用が発生しており、被災が生じた場合の発生コストを検討する際には考慮する必要がある。さらに、被災箇所や被災率（対象函数に対する被災函数の割合）、あるいは補修工事の実施にともない、供用中の施設利用に制限が生じることが予想される場合、これらによる経済的損失も考慮することが望ましい。

表-1.1 被災を生じた港湾施設における主な費用発生項目

費用発生項目
<ul style="list-style-type: none"><li>・同一港湾施設内の点検費用 (他に同様の被災が発生していないか把握)</li><li>・被災箇所の調査費用 (対策を検討するための被災状況の正確な把握)</li><li>・被災箇所の補修対策検討費用 (有識者への検討依頼、解析的な検討の実施など)</li><li>・補修工事費用 (消波ブロックの撤去や上部コンクリートの撤去など、ケーソン側壁の補修以外の工事費用も含む)</li></ul>

### 1.3 性能照査全体の中における耐衝撃設計の位置づけ

本マニュアル（案）による耐衝撃設計は、ケーソンの構造部材に関する照査において、永続状態、波浪およびレベル1地震動に関する変動状態に対して性能を満足したものに対して追加的に行うものとする。

#### 【解説】

ケーソン式混成堤の一般的な性能照査の順序は図-1.1に示すとおりである<sup>1)</sup>。この中における構造部材に関する照査は、一般的に図-1.2に示す順序で行われる。本マニュアル（案）による耐衝撃設計は、ケーソンの構造部材に関する照査において、永続状態、波浪およびレベル1地震動に関する変動状態に対して性能を満足したものに対して追加的に行う、すなわち、図-1.3に示す順序により行うものとする。また、本マニュアル（案）による耐衝撃設計は、鉄筋比の増加、PVA短繊維補強コンクリートの使用、あるいは版厚の増加によって耐衝撃性を確保することを標準としている。ただし、版厚の増加を行った場合には、ケーソン全体の安定性に対する基本設計段階に戻らなければならない可能性がある点に注意を要する。なお、第3章で示すケーソン側壁の耐衝撃設計では、特性値を用いて照査することを基本としていることから、部分係数はすべて1.0としている。しかし、耐衝撃設計に至るまでの設計・照査の手順は通常の場合と同一であることから、堤体の滑動、転倒等を検討する基本設計で用いる部分係数、ならびに、限界状態設計法に基づくコンクリート部材の設計で用いる部分係数は、一般的な防波堤の場合と同一としてよい。

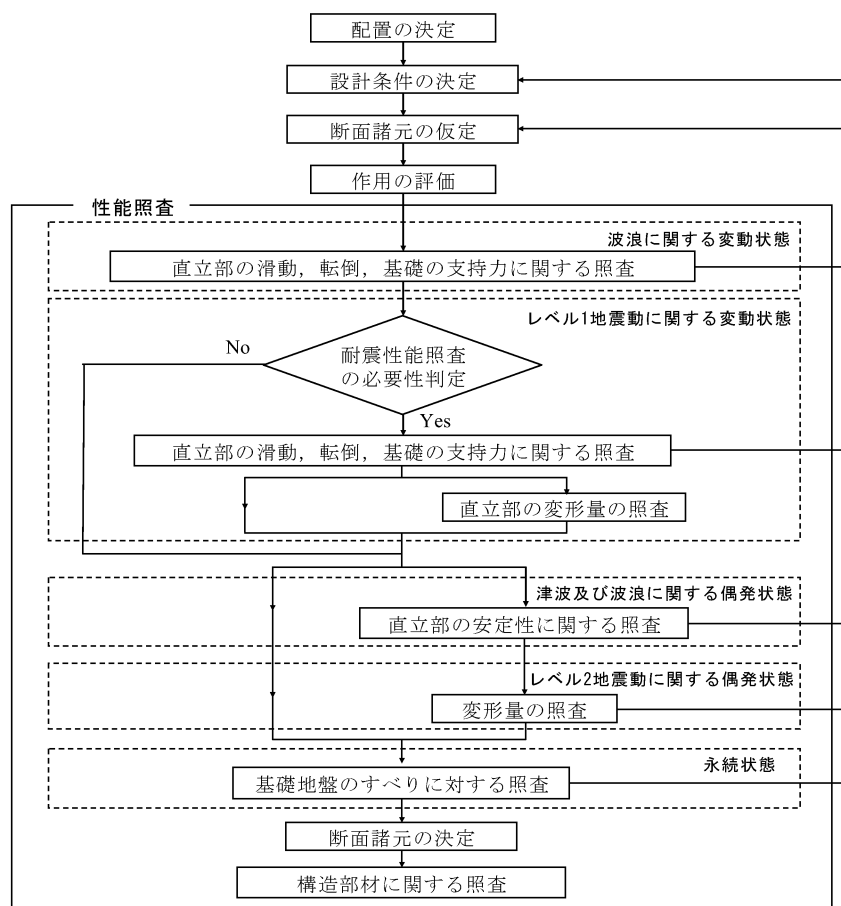


図-1.1 混成堤の性能照査順序の例

(港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）p.825)

また、本マニュアル（案）で対象とした作用の衝撃荷重は消波ブロック単独によるものを想定しており、波力等との相互作用を考慮したものではない。これを考慮する必要がある場合には別途検討が必要である。

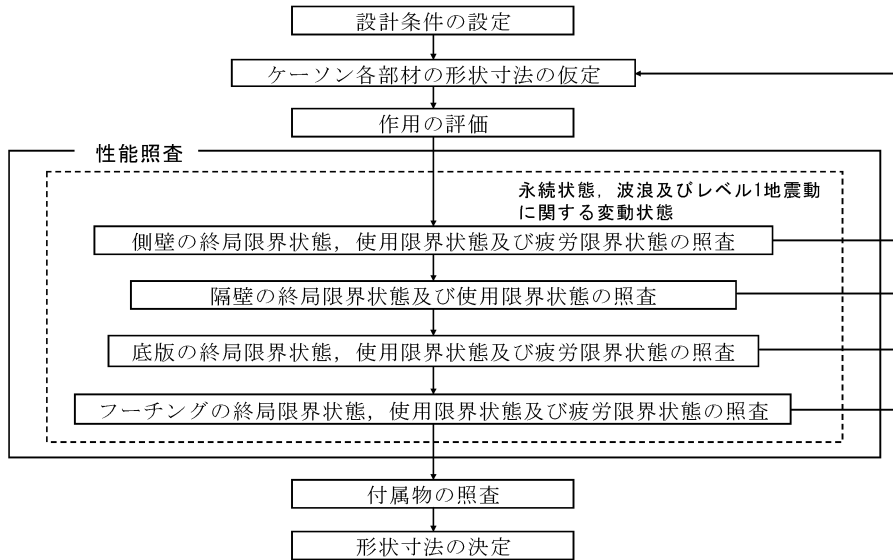


図-1.2 ケーソンの性能照査の順序の例  
(港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）p.495)

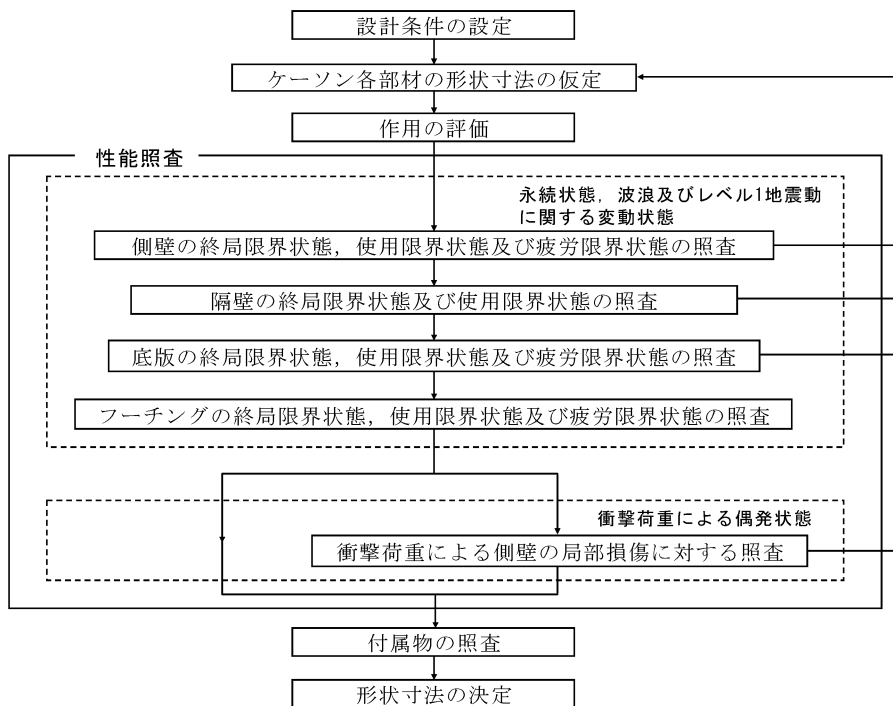


図-1.3 衝撃力に対する照査を含めたケーソンの性能照査の順序

## 1.4 用語の定義

本マニュアル（案）では、次のように用語を定義する。

耐衝撃設計断面	: 衝撃荷重による局部破壊に対する安全性を考慮したケーソン壁の断面。
通常設計断面	: 衝撃荷重による局部破壊に対する安全性を考慮していないケーソン壁の断面。
支間	: 衝撃荷重を受ける側壁を支持する、隣り合う隔壁の壁厚の中心から中心までの間。 ケーソン端部においては、隔壁の壁厚の中心から側壁の壁厚の中心までの間。
支間方向	: ケーソン壁に対して水平方向。
支間直角方向	: ケーソン壁に対して鉛直方向。
主鉄筋	: 支間方向と平行に配置される鉄筋。
配力筋	: 支間直角方向と平行に配置される鉄筋。

### 【解説】

本マニュアル（案）では、衝撃荷重を受けるケーソン側壁を、隔壁によって支持された RC 版部材にモデル化して照査を行う。そのような観点から、図-1.4 に示すような部材の方向および鉄筋の呼び方を用いている。

#### 正面図

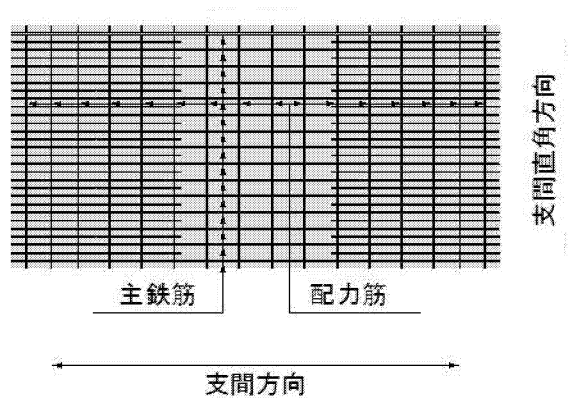


図-1.4 用語の定義

## 第2章 設計条件の設定

### 2.1 耐衝撃設計断面の範囲の設定

#### (1) 耐衝撃性が必要とされる範囲

対象とするケーソンの側壁において耐衝撃性が必要とされる範囲は、消波ブロックの衝突が想定される範囲を考慮して適切に設定する。

#### (2) 耐衝撃設計断面の範囲

耐衝撃設計断面の範囲は、耐衝撃性が必要とされる範囲を設定する。

#### 【解説】

(1) 穴あき被災が生じやすい防波堤として、①消波ブロックで被覆されている防波堤、②外面に面している防波堤（第一線防波堤）が挙げられる。また③過去に被災事例のある防波堤や過去に被災した防波堤が比較的近辺にある防波堤においても穴あき被災が生じやすいと考えられる。また、穴あき被災が生じる部位として、主に④防波堤の断面変化部、⑤防波堤の隅角部、⑥防波堤の堤頭部、⑦消波ブロックの被覆範囲が変化する区間、が過去に被災事例として報告されている（図-2.1）。したがって、上記に該当する防波堤およびケーソン側壁については、耐衝撃性が必要とされると考えてよい。

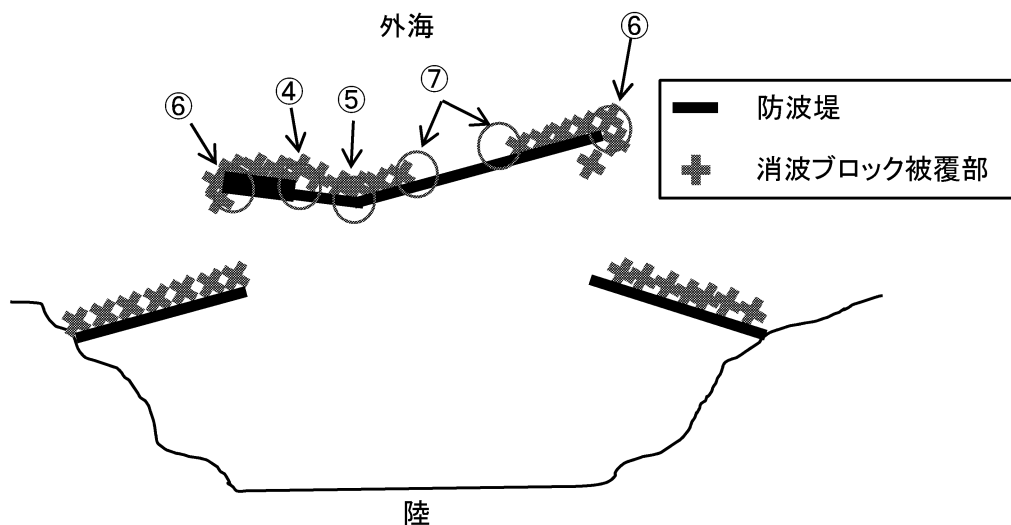


図-2.1 ケーソンの穴あき被災が生じやすい防波堤および部位

耐衝撃性が必要とされる範囲は、消波ブロックの衝突による被災が予想される範囲を考慮した上で設定することが、経済的な設計を行う上で望ましい。例えば、既往の研究成果<sup>2)</sup>の防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル（案）によれば、耐衝撃性が必要とされる範囲について、ケーソン天端から下方に静水面（L.W.L.）以下消波ブロック1個分の高さまでと設定されている。ただし、静水面（L.W.L.）以下消波ブロック1個分の高さよりも深部において穴あきが発生した事例もある（図-2.2）。また、図-2.3に示すように、消波ブロックの被覆範囲が変化する区間が存在する場合には、転落やロッキングなどによって海面付近でなくても消波ブロックの衝突が発生する可能性がある。したがって、基本的には、耐衝撃性が必要とされる範囲はケーソン側壁全面とすることが望ましい。

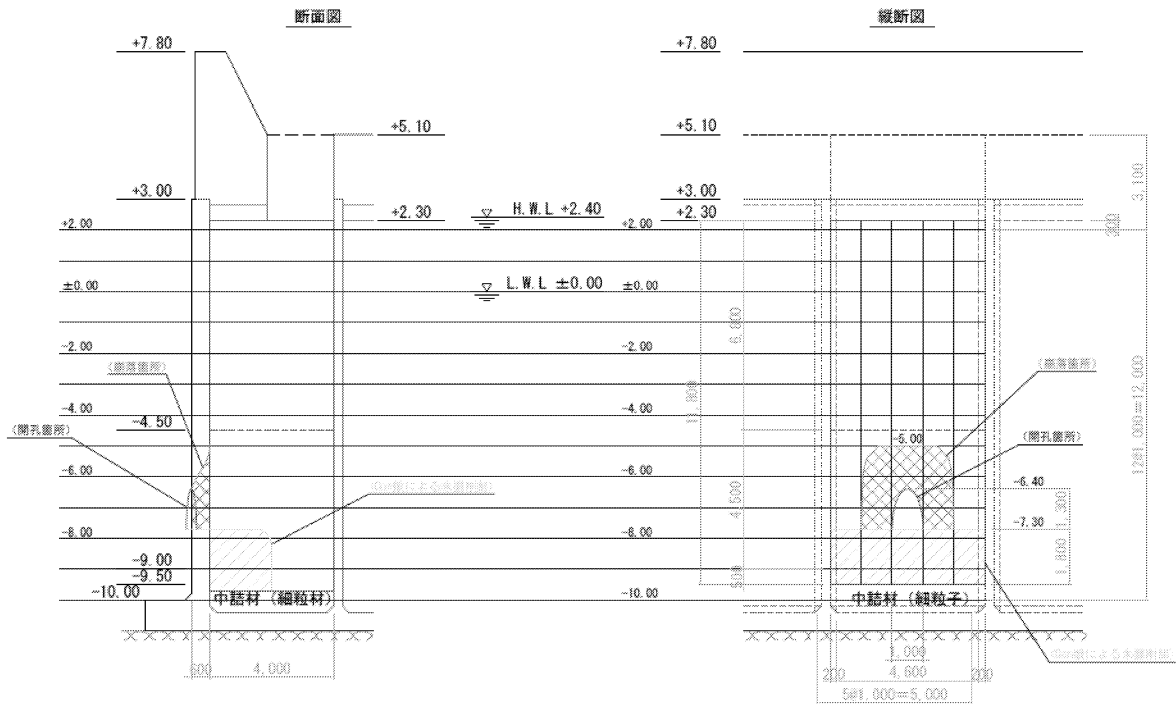
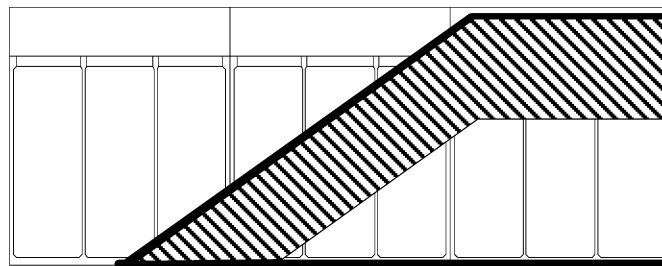


図-2.2 ケーソンの穴あき被災箇所の一例





-  : 消波ブロック積み上げ箇所
-  : 衝突の危険のある箇所

図-2.3 消波ブロックの被覆範囲の変化区間のイメージ

## 2.2 ケーソン側壁のモデル化

照査に用いるケーソン側壁の条件は次の通り設定するものとする。

### (1) ケーソン側壁のモデル化

支間長と側壁の高さの比が 4:3 の二辺支持された RC 版にモデル化する。また、RC 版の配筋は側壁の断面のうち最も鉄筋比の小さい断面を考えることとする。

### (2) 中詰材の存在

中詰材の存在は無視して良いものとする。

### 【解説】

(1) 一般的な防波堤ケーソンの側壁は、隣接する側壁、隔壁や底版によって三辺支持された部材であるが、辺長比が大きいため底版による拘束の影響は小さいものと考え、**図-2.4**に示すように二辺単純支持された RC 版としてモデル化を行うこととした。また、モデル化する RC 版の辺長比は、実験により挙動を確認した実績<sup>3), 4)</sup>を考慮し、4:3 とした。配筋は、実際のケーソンではハンチ部や底版部の鉄筋が側壁部に定着されるが、これらの鉄筋の影響は無視し、最も鉄筋比が小さい部分の部材断面を用いて設計を行うこととした。

(2) 中詰材が存在している場合は、これが存在しない場合と比べて曲げ変形量が小さくなるとともに押抜きせん断破壊に至るまでの破壊衝突回数が多くなることが、中詰材の存在を模擬した RC 版の繰返し衝撃実験より明らかとなっている。しかし、同実験データは限られた衝突条件でのみ行われたものであり、中詰材の影響を定量評価することは現状では困難である。そこで、本マニュアル(案)では、安全側の設計とするため、中詰材の影響を無視して設計することとした。

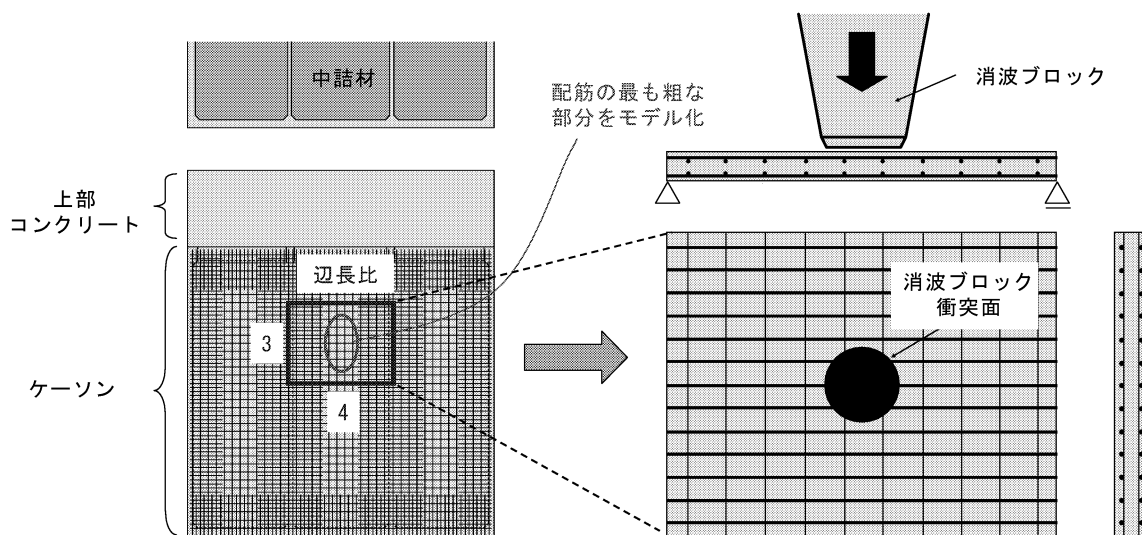


図-2.4 ケーソン側壁のモデル化のイメージ



## 2.3 消波ブロックのモデル化

照査に用いる消波ブロックの条件は次の通り設定するものとする。

(1) 消波ブロックの質量  $M$

使用する消波ブロックの質量を用いる。

(2) 消波ブロックの運動形態

水平移動するものと仮定する。

(3) 消波ブロックの衝突速度  $V$

砕波時の波速  $C \times 0.08$  (m/s) とする。

(4) 消波ブロック衝突面

消波ブロックの衝突面の形状は円形と仮定する。また、その寸法は、想定した消波ブロックの寸法を考慮した上で適切に設定するものとする。

### 【解説】

(2) (3) 消波ブロックの運動形態および衝突速度については、既往の研究成果を参考に設定した。有川らは、消波ブロックの衝突パターンを水平移動、ロッキング、転落の3種類に分類し、大型水路を用いた消波ブロックの衝突実験結果から、それぞれの衝突パターンによる衝突速度を定式化している<sup>5)</sup>。また、山口らは、衝撃砕波力が作用した消波ブロック被覆堤を模擬した水理模型実験を行い、消波ブロックは波の流体力によって一脚だけが少し浮いたような状態で滑るように衝突するケースが多いこと、その時の衝突速度は波速の1/20～1/13であることを確認している<sup>6)</sup>。表-2.1に有川らおよび山口らにより提案された衝突速度の提案値を示す。これらの実験値を基に、防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル(案)<sup>2)</sup>では、0.08Cを用いることを標準としている。したがって、本マニュアル(案)では、防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル(案)と同様に、波速の0.08倍の衝突速度で水平衝突すると考えることとした。

ケーソンの穴あきが発生する波浪条件や消波ブロックの沈下など、衝突条件に関するメカニズムは十分に明らかにされていない。したがって、本マニュアル(案)においては、最大波高時に消波ブロックが上述した速度で衝突し、その消波ブロックが同一箇所を繰り返し衝突すると仮定することとした。

表-2.1 消波ブロックの衝突パターンおよび衝突速度

衝突パターン		衝突速度	
		有川らによる提案値 <sup>5)</sup>	山口らによる提案値 <sup>6)</sup>
ロッキング	砕波時	0.04C	—
	非砕波時	$4H / \sqrt{6T}$	—
転落		$(0.1C + \text{自由落下速度}) / 4$	—
水平移動		0.15C	(0.05～0.08)C

C; 波速、T; 周期、H; 波高 (消波ブロックの半分を上限とする)

(4) 消波ブロックの衝突面の形状は、消波ブロックの種類や衝突角度によってさまざまである。しかし、過去の穴あき被災事例によれば、穴の形状は円形のものが多い。また、押抜きせん断破壊に対する安全性の照査を行う際、衝突面を円形と仮定することにより、押抜きせん断破壊面の面積を容易に算定することが可能となる。そこで、衝突面の形状は円形を仮定した。また、その寸法については、想定した消波ブロックの寸法を考慮した上で適切に設定する必要があるが、例えば、消波ブロックの脚先端における円形断面を衝突面とみなすといった方法が考えられる。表-2.2に、一般的に用いられている消波ブロックの一つであるテトラポッドについて、脚先端における円形断面の直径を示す。

表-2.2 消波ブロックの脚先端における円形断面の直径の一例（テトラポッド）

種別 (トン型)	脚先端における 円形断面の直径 (mm)
0.5	198
1	248
2	312
3.2	362
4	392
5	424
6.3	456
8	496
10	534
12.5	576
16	622
20	672
25	726
32	780
40	848
50	914
64	990
80	1100

### 第3章 耐衝撃設計

#### 3.1 設計の基本方針

耐衝撃設計は、第2章で設定したRC版に対し、局部破壊に対する安全性を照査することを基本とする。

##### 【解説】

一般に、穴あきによる被災事例では、ケーソン側壁に曲げによる変形やひび割れはほとんど生じておらず、穴あきによる局部破壊に伴って穴あきが発生しているものと考えられる。この局部破壊について、メカニズムは十分に明らかになっていないが、押抜きせん断破壊と類似した破壊形態を示しており、押抜きせん断破壊とみなすことができると考えられるが、本マニュアル（案）において区別するものとする。したがって、繰り返し衝撃荷重が作用するRC版の耐衝撃抵抗性を満足させるためには、局部破壊に対する抵抗性を確保することが必要である。一部の被災事例ではコンクリートの圧壊のような局部破壊と推測された事例もあるが、現状の技術ではコンクリートの局所的な圧壊を照査することは難しい。したがって、コンクリートの局所的な圧壊に対する照査技術の構築は今後の課題であるが、本マニュアル（案）による耐衝撃設計の基本方針は、局部破壊に対する安全性について照査を行うこととした。図-3.1に、本マニュアル（案）における耐衝撃設計の流れを示す。なお、本照査方法においては特性値を用いて照査を行う、すなわち通常の部材設計で用いられる部分係数はすべて1.0と考えることとしている。よって、以降の照査方法の中で部分係数は記載していない。

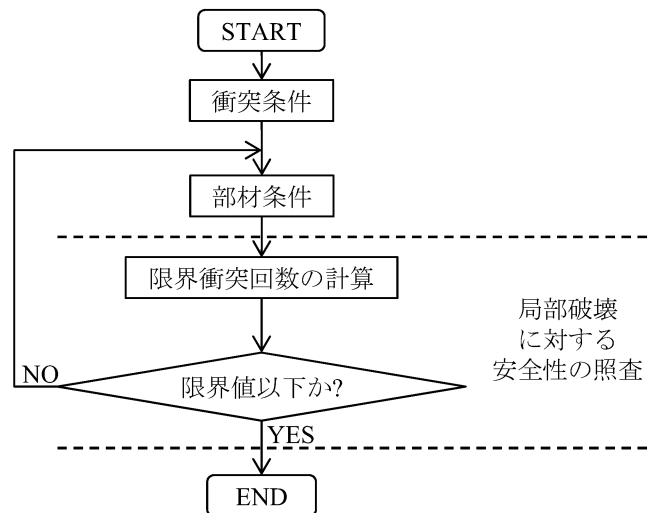


図-3.1 耐衝撃設計の流れ

### 3.2 局部破壊に対する安全性の照査

#### (1) 照査の流れ

局部破壊に対する安全性の照査は、RC版が局部破壊を生じるまでの破壊衝突回数を算出し、破壊衝突回数の限界値と比較することにより行う。

#### (2) エネルギー比 $R$ の算出

衝突エネルギー  $E_i$  および局部破壊面のコンクリートの破壊エネルギー  $E_p$  をそれぞれ式(2)および式(3)から算出し、エネルギー比  $R$  を式(1)より算出する。

$$R = E_i / E_p \quad (1)$$

$$E_i = \frac{1}{2} MV^2 \quad (2)$$

$$E_p = A_p \times G_F \quad (3)$$

ここに、

$A_p$  : 局部破壊面の面積 (m<sup>2</sup>)

$$A_p = \pi \left( \frac{r}{\cos \theta} + \frac{\bar{d}}{\sin \theta} \right) \left( r + \frac{\bar{d}}{\tan \theta} \right) - \pi \frac{r^2}{\cos \theta}$$

$r$  : 衝突面の半径 (m)

$\bar{d}$  : 二方向の鉄筋に対する有効高さの平均値 (m)

$\theta$  : 局部破壊面がRC版となす角度 (rad)

(45° = 0.785rad と仮定してよい)

$G_F$  : 単位面積あたりのコンクリートの破壊エネルギー (N/m)

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f_{ck}^{1/3}$$

$d_{\max}$  : 粗骨材の最大寸法 (mm)

#### (3) 引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数 $\alpha$ の算出

引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数  $\alpha$  を式(4)により算出する。

$$\alpha = \left\{ 1 - \left( 1 - 10^{-3} \cdot k_1 \right) \cdot \frac{n \cdot p_w}{(n-1) + p_w} \right\} \times K_f \quad (4)$$

$$n = 10^{-4} \cdot k_2 \cdot \left( 1 + 10^{-3} \cdot k_1 \right) + 1$$

ここに、

$p_w$  : 二方向の引張鉄筋比の平均値 (%)

$k_1, k_2$  : 実験により定めた係数で、 $k_1=2, k_2=6$  とする。

$K_f$  : PVA 短繊維による補強効果を考慮する係数で、式(5)による。

$$K_f = 0.63r_f \cdot p_w + (1 - 0.64r_f) \quad (5)$$

$r_f$  : PVA 短繊維混入率 (%) ただし、 $0 \leq r_f \leq 1.0$  とする。

(4) 破壊衝突回数  $N_u$  の算出

破壊衝突回数  $N_u$  を、式(6)により算出する。

$$N_u = \frac{1}{(\alpha \cdot R)^4} \quad (6)$$

(5) 照査

破壊衝突回数を式(7)により照査する。

$$\frac{N_u}{N_e} \geq 1.0 \quad (7)$$

ここに、

$N_e$  : 設計衝突回数 (回)

### 【解 説】

(1) 局部破壊に対する安全性の照査は、RC 版が局部破壊を生じるまでの破壊衝突回数を算出し、破壊衝突回数の限界値と比較することにより行うこととした。図-3.2 に、局部破壊に対する安全性の照査の流れを示す。

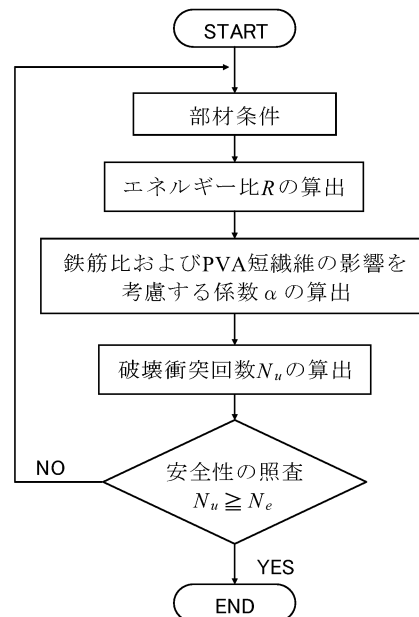
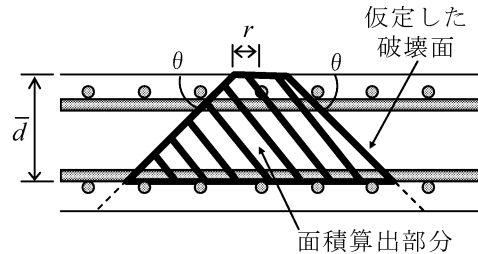


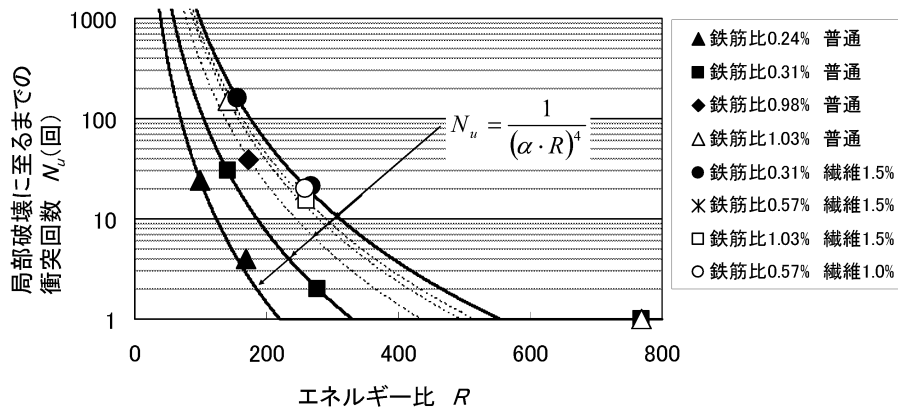
図-3.2 局部破壊に対する安全性の照査の流れ

(2) 局部破壊面のコンクリートの破壊エネルギー $E_p$ の算出にあたっては、局部破壊面の形状を、RC版と一定の角度をなすコーン状と仮定し、**図-3.3**に示すように、コンクリート上縁から有効高さの範囲のコンクリートを破壊エネルギーの算定に用いることとした。ここで、単位面積あたりのコンクリートの破壊エネルギー $G_F$ については、土木学会コンクリート標準示方書<sup>7)</sup>に示されている破壊エネルギーを用いている。

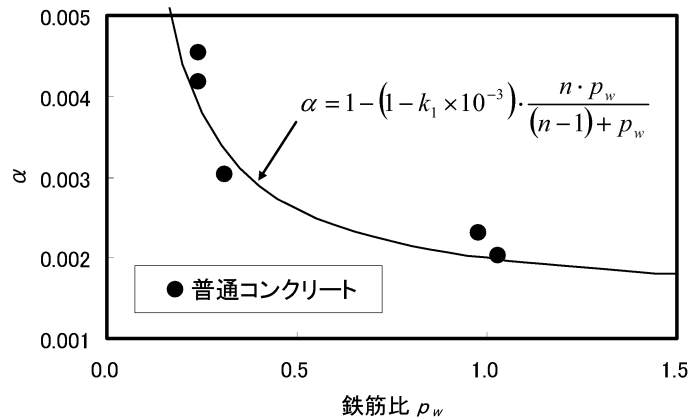


**図-3.3** 破壊エネルギーの算出に用いる局部破壊面のモデル

(3) (4) 二辺支持RC版の衝撃実験結果より、局部破壊面が明確に形成されるまでの衝突回数とエネルギー比の間には式(6)に示す関係があり(**図-3.4**)、係数 $\alpha$ は引張鉄筋比およびPVA短繊維補強の影響を受けることがわかった。そこで、まず、普通コンクリートを用いた場合の係数 $\alpha$ と鉄筋比の関係を**図-3.5**のように定式化し、これを基本としてPVA短繊維補強が $\alpha$ に与える影響を係数 $K_f$ により考慮した。



**図-3.4** エネルギー比  $R$  と局部破壊に至るまでの衝突回数  $N_u$  の関係



**図-3.5**  $\alpha$  と引張鉄筋比  $p_w$  の関係

なお、係数  $K_f$  を表す式(5)は、図-3.6 に示すように、普通コンクリートを用いた場合の  $\alpha$  ( $\alpha_n$  とする) に対する PVA 短繊維補強コンクリートを用いた場合の  $\alpha$  ( $\alpha_f$  とする) の比である  $\alpha_f / \alpha_n$  と、引張鉄筋比  $p_w$  の関係から構築したものである。混入率をパラメータとした衝撃実験の結果、混入率の増加に対して補強効果が頭打ちとなる現象を踏まえ、式(5)には PVA 短繊維混入率の影響が含まれている。ここで混入率とは、コンクリートに対する外割りの体積比である。具体的には図-3.7 に示すように、混入率が 1.0% に達するまでは補強効果が直線的に増加し、1.0% 以上では一定であると仮定している。

コンクリート補強用の短繊維にはさまざまなものがあるが、海洋環境における耐食性や美観、コンクリートとの付着性、耐アルカリ性に優れたものとして PVA 短繊維を想定している。なお、実験により性能を確認した PVA 短繊維の物性は、表-3.1 のとおりであり、物性の異なる PVA 短繊維を使用する際は、別途実験等により性能を確認する必要がある。

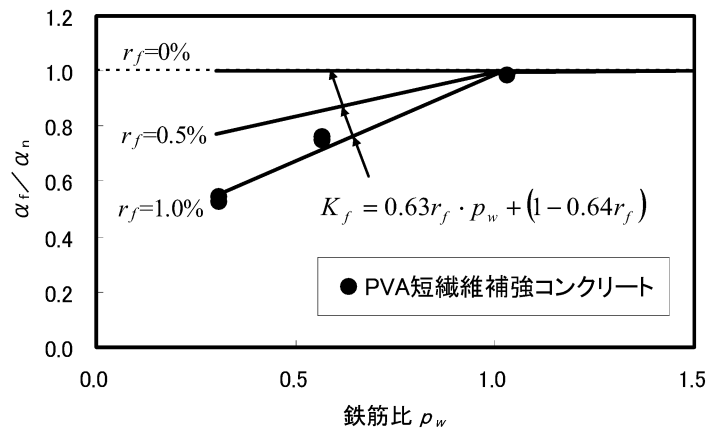


図-3.6  $\alpha_f / \alpha_n$  と引張鉄筋比  $p_w$  の関係

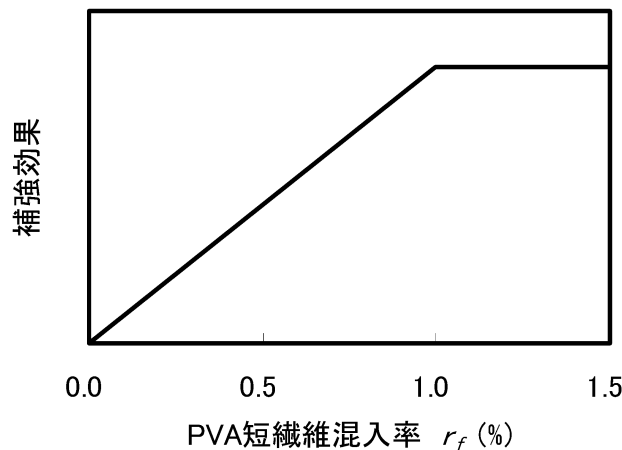


図-3.7 補強効果と PVA 短繊維混入率  $r_f$  の関係

表-3.1 実験に用いた PVA 短繊維の物性

直径 (mm)	標準長 (mm)	アスペクト比	比重	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張伸度 (%)	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )
0.66	30	45.5	1.3	900	9	23

(5) 本マニュアルにおいては、RC 版が局部破壊に至るまでの衝突回数 ( $N_u$ ) が RC 版に消波ブロックが作用する衝突回数 (設計衝突回数:  $N_e$ ) よりも多いことを照査することとした。ただし、上述した通り、消波ブロックのケーソンへの衝突条件については十分に明らかにされていないため、設計衝突回数に理論的根拠をもって提案することは困難である。そこで、実際に穴あき被災を生じた施設 (4 施設) について、本マニュアルを用いて照査した結果、3 施設においては  $N_e$  が 10 回未満でも照査を満足しない結果となった。一方、1 施設においては  $N_e$  が 150 回とした場合に照査を満足しない結果となった。これらの結果から、現状の知見の範囲においては、設計衝突回数を 150 回と設定することが妥当と判断した。設計衝突回数については、消波ブロックが移動する波浪条件や衝突条件等を把握した上で設定する必要がある、今後の課題である。



## 第4章 その他配慮事項

### 4.1 耐衝撃設計断面と通常設計断面の接合部

耐衝撃設計断面と通常設計断面が接合する箇所においては、耐衝撃設計断面の配力筋を通常設計断面の中に定着させるものとする。定着の方法については、土木学会コンクリート標準示方書<sup>7)</sup>に準拠するものとする。

#### 【解説】

耐衝撃設計断面と通常設計断面が接合する箇所においては、双方の鉄筋量が異なり、配力筋が不連続となる可能性がある。通常、耐衝撃設計断面の方が通常設計断面よりも配力筋量が多くなるため、耐衝撃設計断面の配力筋を通常設計断面の中に定着させることにより、両方の断面の一体性を確保することとした。定着のイメージを図-4.1に示す。

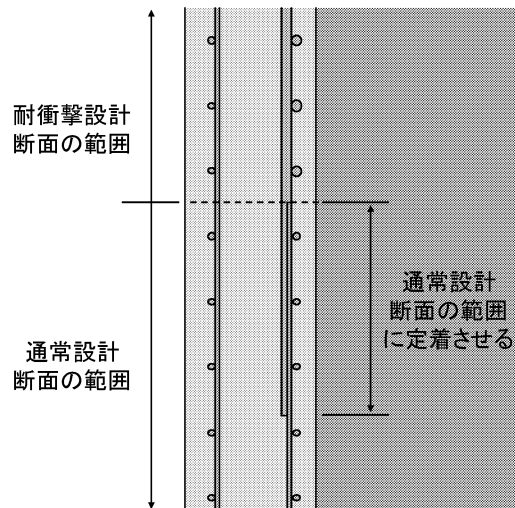


図-4.1 耐衝撃設計断面と通常設計断面の接合部における配力筋の定着イメージ

## 4.2 PVA短繊維補強コンクリートの打設範囲

耐衝撃設計断面にPVA短繊維補強コンクリートを用いる場合、耐衝撃設計断面内に普通コンクリートが混入しないように、コンクリートの打設範囲を適切に設定するものとする。

### 【解説】

耐衝撃設計断面に短繊維補強コンクリートを用いる場合、耐衝撃設計断面内に普通コンクリートが混入すると、所定の性能を満足しなくなるおそれがある。したがって、例えば、側壁の引張側の端面から側壁厚分だけ余裕を見込んだ範囲まで短繊維補強コンクリートを打設するなど、適切に打設範囲を設定する必要がある。PVA短繊維補強コンクリートの打設範囲のイメージを図-4.2に示す。

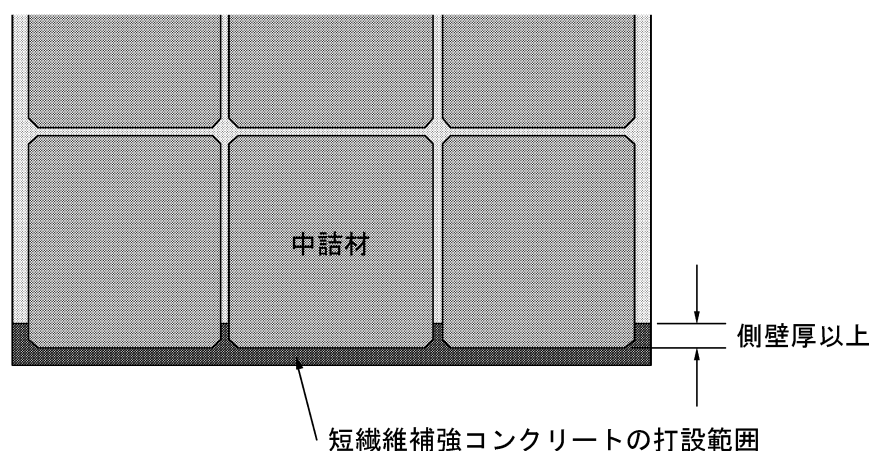


図-4.2 短繊維補強コンクリートの打設範囲のイメージ（平面図）

### 【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、2007.7
- 2) 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所：防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル（案）－消波ブロック衝突による側壁損傷対策－、2007.1
- 3) 岩波光保、松林卓、横田弘、小野寺美昭：繰返し衝撃荷重を受ける二辺支持鉄筋コンクリート版の破壊挙動、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.2、pp.799-804、2009.7
- 4) 松林卓、岩波光保、山田岳史、竹鼻直人：二辺支持鉄筋コンクリート版の耐衝撃性評価に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.2、pp.805-810、2009.7
- 5) 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、Vol.44、No.1、2005.3
- 6) 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、Vol.50、pp.711-715、2003
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編、2007

付録-B 耐衝撃性設計マニュアル（案）による無対策断面の照査

【防波堤1】

1) ケーソン側壁のモデル化

辺長比 4:3 の二辺単純支持の RC 版にモデル化する。図-B.1 にモデル化した二辺支持 RC 版を示す。

支間長  $l$  : 4.83 m

RC 版の幅  $b$  :  $4.83 \times 3/4 = 3.622 \text{ m} = 362.2 \text{ cm}$

RC 版の質量  $m$  :  $4.83 \times 3.622 \times 0.5 \times 2.4 \times 1000 = 20,993 \text{ kg}$

主鉄筋本数 : 圧縮側, 引張側ともに  $3.622 / 0.2 = 18.11$  本 (200mm ピッチ)

圧縮側主鉄筋量  $A'_s$  :  $3.871 \text{ cm}^2 \times 18.11 \text{ 本} = 70.104 \text{ cm}^2$  (D22)

引張側主鉄筋量  $A_s$  :  $1.986 \text{ cm}^2 \times 18.11 \text{ 本} = 35.966 \text{ cm}^2$  (D16)

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d'$  : 8.0cm

RC 版の圧縮縁から引張側主鉄筋の中心までの距離  $d$  : 44.0cm

配力筋 : D13 200mm ピッチで配筋

使用コンクリート : 普通コンクリート

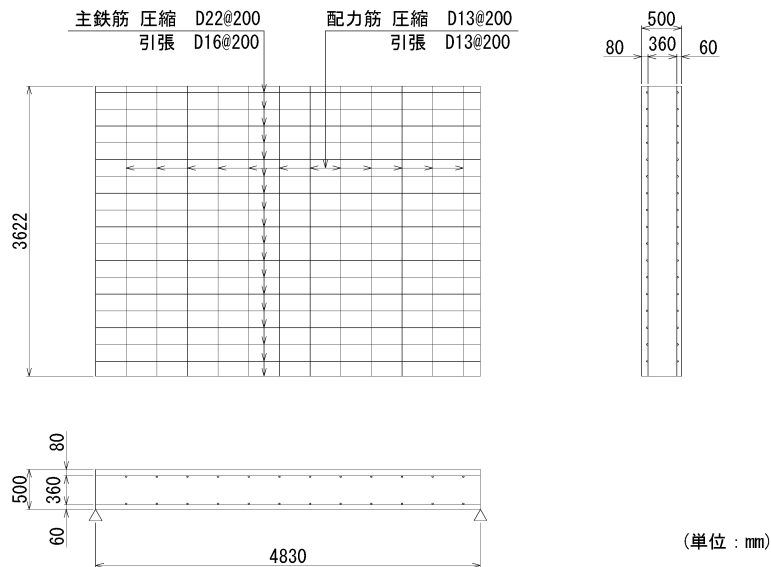


図-B.1 モデル化した二辺支持 RC 版

2) 消波ブロックのモデル化

- 消波ブロックの質量  $M$  : 80,500 kg
- 消波ブロックの運動形態 : 水平移動
- 消波ブロックの衝突速度  $V$  : 砕波時の波速  $C \times 0.08 = 1.05 \text{ m/s}$
- 消波ブロックの衝突面 : 半径  $r = 0.55 \text{ m}$  の円形と仮定

(3) 押抜きせん断に対する照査（通常設計断面）

1) エネルギー比  $R$  の算定

衝突エネルギー  $E_i$  の算定

$$E_i = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \times 80,500 \times 1.05^2 = 44,375.6 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})^2$$

押抜きせん断破壊面における破壊エネルギー  $E_p$  の算出

破壊面の面積  $A_p$

$$\bar{d} = (44 + 42.55) \times 0.5 = 43.28 \text{ cm}$$

$$A_p = \pi \left( \frac{r}{\cos \theta} + \frac{\bar{d}}{\sin \theta} \right) \left( r + \frac{\bar{d}}{\tan \theta} \right) - \pi \frac{r^2}{\cos \theta} = \pi \left( \frac{0.55}{\cos 45^\circ} + \frac{0.4328}{\sin 45^\circ} \right) \left( 0.55 + \frac{0.4328}{\tan 45^\circ} \right) - \pi \frac{0.55^2}{\cos 45^\circ}$$

$$= 2.947 \text{ m}^2$$

単位面積あたりの破壊エネルギー  $G_F$

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f'_{ck}{}^{1/3} = 10 \times (20)^{1/3} \times 30^{1/3}$$

$$= 84.3 \text{ N/m}$$

$$E_p = A_p \times G_F = 2.947 \times 84.3 = 248.6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\therefore \text{エネルギー比 } R = E_i / E_p = 44,376 / 248.6 = 178.5$$

2) 引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数  $\alpha$  の算定

平均引張鉄筋比  $\bar{p}_w$  の算定

$$\text{支間方向断面の鉄筋比} \quad 198.6 / (200 \times 440) = 0.0026 = 0.23\%$$

$$\text{支間直角方向断面の鉄筋比} \quad 126.7 / (200 \times 425.5) = 0.00149 = 0.15\%$$

$$\bar{p}_w = (0.23 + 0.15) / 2 = 0.19\%$$

鉄筋比の影響を考慮する係数

$$\alpha = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \cdot k_1) \cdot \frac{n \cdot p_w}{(n-1) + p_w} \right\} \times K_f = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \times 2) \cdot \frac{1.0006 \times 0.19}{(1.0006 - 1) + 0.19} \right\} \times 1$$

$$= 0.00459$$

ここに,

$$n = 10^4 \cdot k_2 \cdot (1 + 10^3 \cdot k_1) + 1 = 10^4 \times 2 \times (1 + 10^3 \times 2) + 1$$

$$= 1.0006$$

$$(k_1 = 2, k_2 = 6)$$

$$K_f = 0.63r_f \cdot p_w + (1 - 0.64r_f) = 0.63 \times 0 \times 0.19 + (1 - 0.64 \times 0)$$

$$= 1$$

$$r_f = 0(\%) \text{ (PVA 短繊維混入率)}$$

3) 破壊衝突回数  $N_u$  の算定

$$N_u = \frac{1}{(\alpha \cdot R)^4} = \frac{1}{(0.0049 \times 178.5)^4}$$

$$= 2.2 \text{ 回}$$

4 破壊衝突回数の照査

破壊衝突回数  $N_u = 2 \text{ 回} < 150 \text{ 回} = N_e$  (設計衝突回数) . . . . . N.G

【防波堤Ⅱ】

1) ケーソン側壁のモデル化

辺長比 4:3 の二辺単純支持の RC 版にモデル化する。図-B.2 にモデル化した二辺支持 RC 版を示す。

支間長  $l$  : 5.30 m

RC 版の幅  $b$  :  $5.30 \times 3/4 = 3.975 \text{ m} = 397.5 \text{ cm}$

RC 版の質量  $m$  :  $5.30 \times 3.975 \times 0.6 \times 2.4 \times 1000 = 30,337 \text{ kg}$

主鉄筋本数 : 圧縮側  $3.975 / 0.2 = 19.88$  本 (200mm ピッチ)

引張側  $3.975 / 0.2 = 19.88$  本 (200mm ピッチ)

圧縮側主鉄筋量  $A'_s$  :  $2.865 \text{ cm}^2 \times 19.88$  本 =  $56.942 \text{ cm}^2$  (D19)

引張側主鉄筋量  $A_s$  :  $1.986 \text{ cm}^2 \times 19.88$  本 =  $39.482 \text{ cm}^2$  (D16)

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d'$  : 8.0cm

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d$  : 54.0cm

配力筋 : 圧縮側 D19 200mm ピッチで配筋

圧縮側 D16 200mm ピッチで配筋

引張側 D13 200mm ピッチで配筋

使用コンクリート : 普通コンクリート

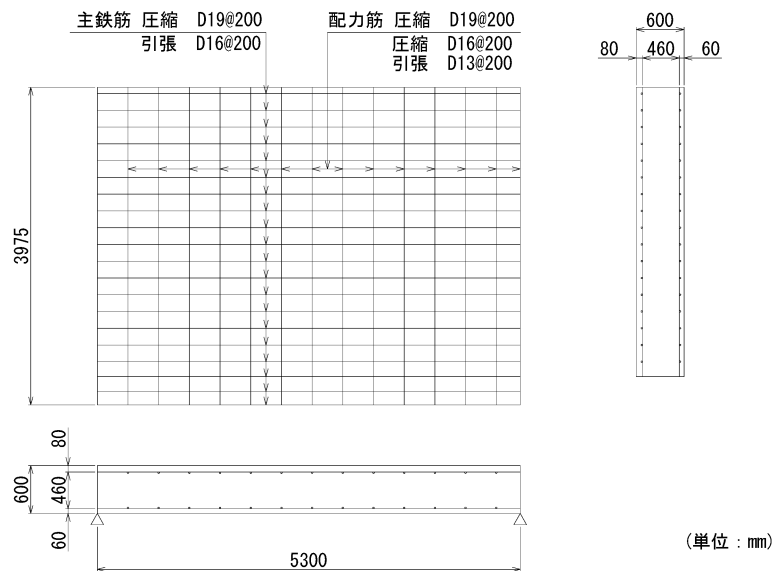


図-B.2 モデル化した二辺支持 RC 版

2) 消波ブロックのモデル化

消波ブロックの質量  $M$  : 58,880 kg

消波ブロックの運動形態 : 水平移動

消波ブロックの衝突速度  $V$  : 碎波時の波速  $C \times 0.08 = 1.08 \text{ m/s}$

消波ブロックの衝突面 : 半径  $r = 0.495 \text{ m}$  の円形と仮定

(2) 押抜きせん断に対する照査

1) エネルギー比  $R$  の算定

衝突エネルギー  $E_i$  の算定

$$E_i = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \times 58,880 \times 1.08^2 = 34,338.8 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})^2$$

押抜きせん断破壊面における破壊エネルギー $E_p$ の算出

破壊面の面積 $A_p$

$$\bar{d} = (54 + 52.55) \times 0.5 = 53.28 \text{ cm}$$

$$A_p = \pi \left( \frac{r}{\cos \theta} + \frac{\bar{d}}{\sin \theta} \right) \left( r + \frac{\bar{d}}{\tan \theta} \right) - \pi \frac{r^2}{\cos \theta} = \pi \left( \frac{0.495}{\cos 45^\circ} + \frac{0.5328}{\sin 45^\circ} \right) \left( 0.495 + \frac{0.5328}{\tan 45^\circ} \right) - \pi \frac{0.495^2}{\cos 45^\circ}$$

$$= 3.604 \text{ m}^2$$

単位面積あたりの破壊エネルギー $G_F$

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f_{ck}^{1/3} = 10 \times (20)^{1/3} \times 24^{1/3}$$

$$= 78.3 \text{ N/m}$$

$$E_p = A_p \times G_F = 3.604 \times 78.3 = 282.2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\therefore \text{エネルギー比 } R = E_i / E_p = 34,338.8 / 282.2 = 121.7$$

2) 引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数 $\alpha$ の算定

平均引張鉄筋比 $\bar{p}_w$ の算定

$$\text{支間方向断面の鉄筋比} \quad 198.6 / (200 \times 540) = 0.00184 = 0.18\%$$

$$\text{支間直角方向断面の鉄筋比} \quad 126.7 / (200 \times 525.5) = 0.00121 = 0.12\%$$

$$\bar{p}_w = (0.18 + 0.12) / 2 = 0.15 \%$$

鉄筋比の影響を考慮する係数

$$\alpha = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \cdot k_1) \cdot \frac{n \cdot p_w}{(n-1) + p_w} \right\} \times K_f = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \times 2) \cdot \frac{1.0006 \times 0.15}{(1.0006 - 1) + 0.15} \right\} \times 1$$

$$= 0.00533$$

ここに,

$$n = 10^4 \cdot k_2 \cdot (1 + 10^3 \cdot k_1) + 1 = 10^4 \times 2 \times (1 + 10^3 \times 2) + 1$$

$$= 1.0006$$

$$(k_1 = 2, k_2 = 6)$$

$$K_f = 0.63r_f \cdot p_w + (1 - 0.64r_f) = 0.63 \times 0 \times 0.15 + (1 - 0.64 \times 0)$$

$$= 1$$

$$r_f = 0(\%) \quad (\text{PVA 短繊維混入率})$$

3) 破壊衝突回数 $N_u$ の算定

$$N_u = \frac{1}{(\alpha \cdot R)^4} = \frac{1}{(0.00533 \times 121.7)^4}$$

$$= 5.6 \text{ 回}$$

4) 破壊衝突回数の照査

$$\text{破壊衝突回数 } N_u = 6 \text{ 回} < 150 \text{ 回} = N_e \text{ (設計衝突回数)} \dots \dots \dots \text{N.G}$$

【防波堤Ⅲ】

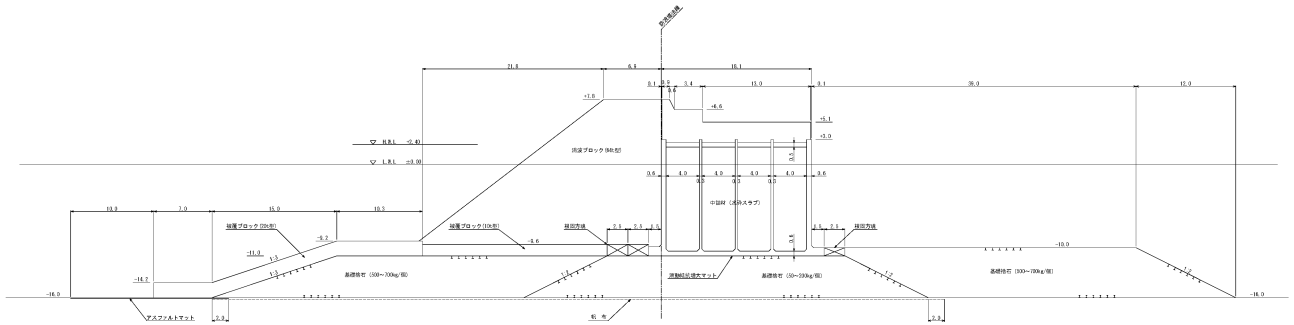


図-2.2 標準断面図（防波堤Ⅲ，単位：m）

表-2.2 設計条件（防波堤Ⅲ）

自然条件	H.W.L.	D.L.+1.50m
	L.W.L.	D.L.+0.27m
	前面水深	D.L.-14.4m
	$H_{max}$ (50年確率)	+11.1m
	周期 T	13.0s
	波長 $L(=1.56T^2)$	264m
	碎波時の波速 $C(=\sqrt{gh})$	12.5 m/s
ケーソン側壁の構造	支間長 $l$	4.80 m
	壁厚 $h$	0.40 m
	芯かぶり	外側 8 cm, 内側 6 cm
	コンクリートの設計基準強度 $f'_{ck}$	24 N/mm <sup>2</sup>
	コンクリートのヤング係数 $E_c$	25kN/mm <sup>2</sup>
	粗骨材の最大寸法 $G_{max}$	20 mm
	PVA 短繊維混入率 $r_f$	0.00%
	鉄筋の引張降伏強度の特性値 $f_{yk}$	295 N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋のヤング係数 $E_s$	200 kN/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数比 $n(=E_s / E_c)$	8.0
消波ブロック (50t 型)	消波ブロック質量 $M$	46,000 kg
	脚の先端半径 $r$	0.457 m
	消波ブロック高さ $H$	4.155 m

1) ケーソン側壁のモデル化

辺長比 4:3 の二辺単純支持の RC 版にモデル化する。図-B.3 にモデル化した二辺支持 RC 版を示す。

支間長  $l$ : 4.80 m

RC 版の幅  $b$ :  $4.80 \times 3/4 = 3.60 \text{ m} = 360 \text{ cm}$

RC 版の質量  $m$ :  $4.80 \times 3.60 \times 0.4 \times 2.4 \times 1000 = 16,589 \text{ kg}$

主鉄筋本数: 圧縮側, 引張側ともに  $3.60 / 0.2 = 18$  本 (200mm ピッチ)

圧縮側主鉄筋量  $A'_s$ :  $2.865 \text{ cm}^2 \times 18 \text{ 本} = 51.57 \text{ cm}^2$  (D19)

引張側主鉄筋量  $A_s$ :  $2.865 \text{ cm}^2 \times 18 \text{ 本} = 51.57 \text{ cm}^2$  (D19)

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d'$ : 8.0cm

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d$ : 34.0cm

配力筋: D13 400mm ピッチで配筋

使用コンクリート: 普通コンクリート

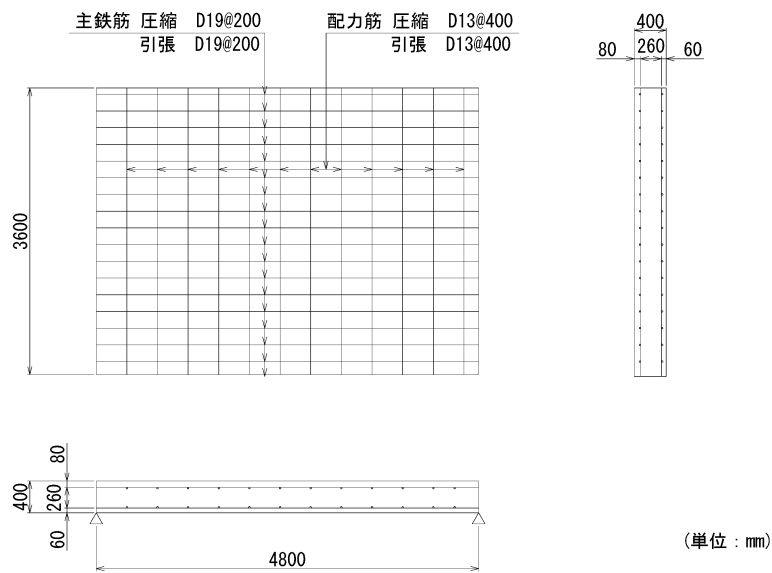


図-B.3 モデル化した二辺支持 RC 版

2) 消波ブロックのモデル化

消波ブロックの質量  $M$ : 46,000 kg

消波ブロックの運動形態: 水平移動

消波ブロックの衝突速度  $V$ : 碎波時の波速  $C \times 0.08 = 1.0 \text{ m/s}$

消波ブロックの衝突面: 半径  $r = 0.455 \text{ m}$  の円形と仮定

(2) 押抜きせん断に対する照査 (通常設計断面)

1) エネルギー比  $R$  の算定

衝突エネルギー  $E_i$  の算定

$$E_i = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} \times 46,000 \times 1.0^2 = 23,000 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})^2$$

押抜きせん断破壊面における破壊エネルギー  $E_p$  の算出

破壊面の面積  $A_p$

$$\bar{d} = (34 + 32.4) \times 0.5 = 33.2 \text{ cm}$$



$$A_p = \pi \left( \frac{r}{\cos \theta} + \frac{\bar{d}}{\sin \theta} \right) \left( r + \frac{\bar{d}}{\tan \theta} \right) - \pi \frac{r^2}{\cos \theta} = \pi \left( \frac{0.455}{\cos 45^\circ} + \frac{0.332}{\sin 45^\circ} \right) \left( 0.455 + \frac{0.332}{\tan 45^\circ} \right) - \pi \frac{0.455^2}{\cos 45^\circ}$$

$$= 1.832 \text{ m}^2$$

単位面積あたりの破壊エネルギー  $G_F$

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f_{ck}'^{1/3} = 10 \times (20)^{1/3} \times 24^{1/3}$$

$$= 78.3 \text{ N/m}$$

$$E_p = A_p \times G_F = 1.832 \times 78.3 = 143.5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$\therefore$  エネルギー比  $R = E_i / E_p = 23,000 / 143.5 = 160.3$

2) 引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数  $\alpha$  の算定

平均引張鉄筋比  $\bar{p}_w$  の算定

支間方向断面の鉄筋比  $286.5 / (200 \times 340) = 0.0042 = 0.42\%$

支間直角方向断面の鉄筋比  $126.7 / (200 \times 356) = 0.0009 = 0.09\%$

$$\bar{p}_w = (0.42 + 0.09) / 2 = 0.26 \%$$

鉄筋比の影響を考慮する係数

$$\alpha = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \cdot k_1) \cdot \frac{n \cdot p_w}{(n-1) + p_w} \right\} \times K_f = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \times 2) \cdot \frac{1.0006 \times 0.26}{(1.0006 - 1) + 0.26} \right\} \times 1$$

$$= 0.00375$$

ここに,

$$n = 10^4 \cdot k_2 \cdot (1 + 10^3 \cdot k_1) + 1 = 10^4 \times 2 \times (1 + 10^3 \times 2) + 1$$

$$= 1.0006$$

$$(k_1 = 2, k_2 = 6)$$

$$K_f = 0.63 r_f \cdot p_w + (1 - 0.64 r_f) = 0.63 \times 0 \times 0.19 + (1 - 0.64 \times 0)$$

$$= 1$$

$$r_f = 0(\%) \text{ (PVA 短繊維混入率)}$$

3) 破壊衝突回数  $N_u$  の算定

$$N_u = \frac{1}{(\alpha \cdot R)^4} = \frac{1}{(0.00375 \times 160.3)^4}$$

$$= 7.7 \text{ 回}$$

4) 破壊衝突回数の照査

破壊衝突回数  $N_u = 7 \text{ 回} < 150 \text{ 回} = N_e \text{ (設計衝突回数)} \dots \dots \dots \cdot \text{N.G}$

【防波堤Ⅳ】

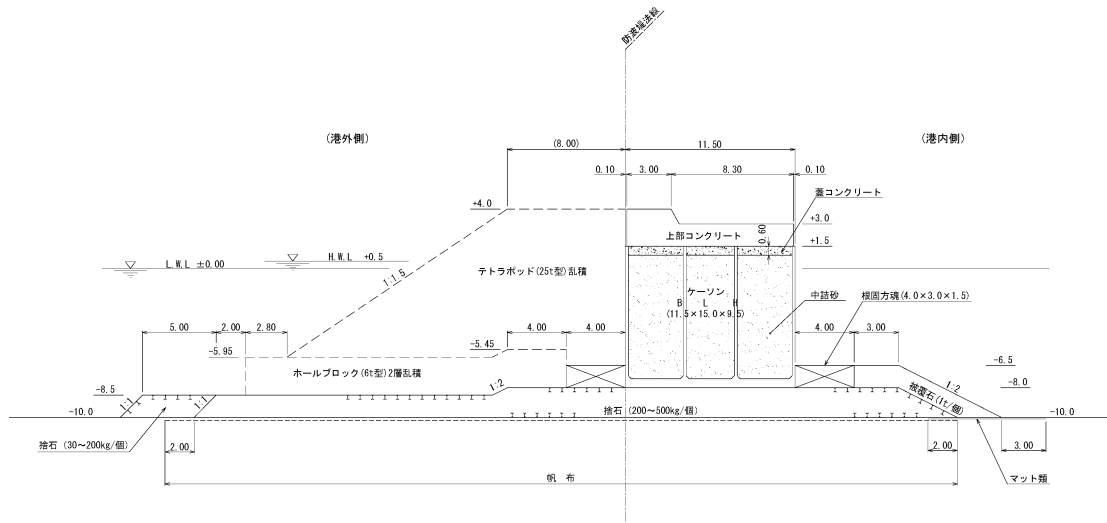


図-2.2 標準断面図 (防波堤Ⅳ, 単位: m)

表-2.2 設計条件 (防波堤Ⅳ)

自然条件	H.W.L.	D.L.+0.50m
	L.W.L.	D.L.±0.00m
	前面水深	D.L.-10.5m
	$H_{max}$ (50年確率)	+8.684m
	周期 T	12.0s
	波長 $L(=1.56T^2)$	225m
	砕波時の波速 $C(=\sqrt{gh})$	10.39 m/s
ケーソン側壁の構造	支間長 $l$	3.575 m
	壁厚 $h$	0.40 m
	芯かぶり	外側 8 cm, 内側 6 cm
	コンクリートの設計基準強度 $f'_{ck}$	24 N/mm <sup>2</sup>
	コンクリートのヤング係数 $E_c$	25kN/mm <sup>2</sup> ( $2.5 \times 10^{10}$ N/m)
	粗骨材の最大寸法 $G_{max}$	20 mm
	PVA 短繊維混入率 $r_f$	0.00%
	鉄筋の引張降伏強度の特性値 $f_{yk}$	295 N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋のヤング係数 $E_s$	200 kN/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数比 $n(=E_s / E_c)$	8.0
消波ブロック (25t型)	消波ブロック質量 $M$	23,000 kg
	脚の先端半径 $r$	0.363 m
	消波ブロック高さ $H$	3.300 m

1) ケーソン側壁のモデル化

辺長比 4:3 の二辺単純支持の RC 版にモデル化する。図-B.4 にモデル化した二辺支持 RC 版を示す。

支間長  $l$ : 3.575 m

RC 版の幅  $b$ :  $3.575 \times 3/4 = 2.68 \text{ m} = 268 \text{ cm}$

RC 版の質量  $m$ :  $3.575 \times 2.68 \times 0.4 \times 2.4 \times 1000 = 9,201 \text{ kg}$

主鉄筋本数: 圧縮側, 引張側ともに  $2.68 / 0.2 = 13.41$  本 (200mm ピッチ)

圧縮側主鉄筋量  $A'_s$ :  $1.986 \text{ cm}^2 \times 13.41 \text{ 本} = 26.622 \text{ cm}^2$  (D16)

引張側主鉄筋量  $A_s$ :  $1.986 \text{ cm}^2 \times 13.41 \text{ 本} = 26.622 \text{ cm}^2$  (D16)

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d'$ : 8.0cm

RC 版の圧縮縁から圧縮側主鉄筋の中心までの距離  $d$ : 34.0cm

配力筋: 圧縮側 D13 200mm ピッチで配筋

引張側 D13 400mm ピッチで配筋

使用コンクリート: 普通コンクリート

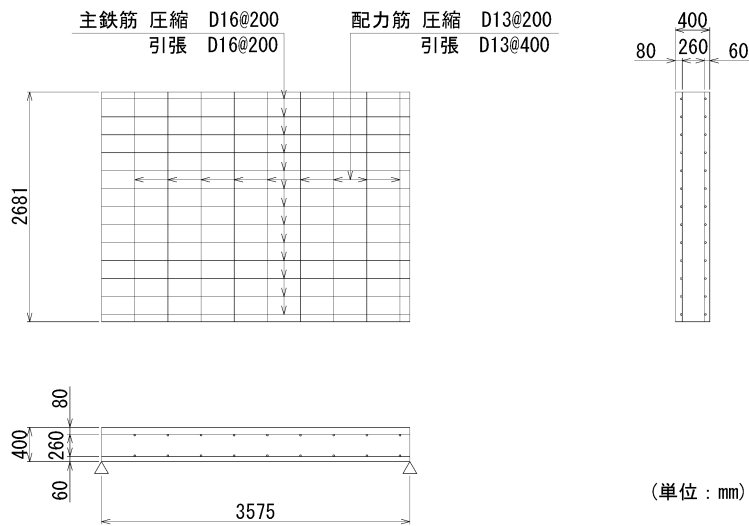


図-B.4 モデル化した二辺支持 RC 版

2) 消波ブロックのモデル化

消波ブロックの質量  $M$ : 23,000 kg

消波ブロックの運動形態: 水平移動

消波ブロックの衝突速度  $V$ : 碎波時の波速  $C \times 0.08 = 0.83 \text{ m/s}$

消波ブロックの衝突面: 半径  $r = 0.363 \text{ m}$  の円形と仮定

(2) 押抜きせん断に対する照査 (通常設計断面)

1) エネルギー比  $R$  の算定

衝突エネルギー  $E_i$  の算定

$$E_i = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} \times 23,000 \times 0.83^2 = 7,922.4 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})^2$$

押抜きせん断破壊面における破壊エネルギー  $E_p$  の算出

破壊面の面積  $A_p$

$$\bar{d} = (34 + 32.55) \times 0.5 = 33.28 \text{ cm}$$

$$A_p = \pi \left( \frac{r}{\cos \theta} + \frac{\bar{d}}{\sin \theta} \right) \left( r + \frac{\bar{d}}{\tan \theta} \right) - \pi \frac{r^2}{\cos \theta} = \pi \left( \frac{0.363}{\cos 45^\circ} + \frac{0.3328}{\sin 45^\circ} \right) \left( 0.363 + \frac{0.3328}{\tan 45^\circ} \right) - \pi \frac{0.363^2}{\cos 45^\circ}$$

$$= 1.565 \text{ m}^2$$

単位面積あたりの破壊エネルギー  $G_F$

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f_{ck}'^{1/3} = 10 \times (20)^{1/3} \times 24^{1/3}$$

$$= 78.3 \text{ N/m}$$

$$E_p = A_p \times G_F = 1.565 \times 78.3 = 122.5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$\therefore$  エネルギー比  $R = E_i / E_p = 7,922 / 122.5 = 64.7$

2) 引張鉄筋比および短繊維補強の影響を考慮する係数  $\alpha$  の算定

平均引張鉄筋比  $\bar{p}_w$  の算定

$$\text{支間方向断面の鉄筋比} \quad 198.6 / (200 \times 340) = 0.0029 = 0.29\%$$

$$\text{支間直角方向断面の鉄筋比} \quad 126.7 / (400 \times 325.5) = 0.00097 = 0.10\%$$

$$\bar{p}_w = (0.29 + 0.10) / 2 = 0.19\%$$

鉄筋比の影響を考慮する係数

$$\alpha = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \cdot k_1) \cdot \frac{n \cdot p_w}{(n-1) + p_w} \right\} \times K_f = \left\{ 1 - (1 - 10^{-3} \times 2) \cdot \frac{1.0006 \times 0.19}{(1.0006 - 1) + 0.19} \right\} \times 1$$

$$= 0.00447$$

ここに,

$$n = 10^4 \cdot k_2 \cdot (1 + 10^3 \cdot k_1) + 1 = 10^4 \times 2 \times (1 + 10^3 \times 2) + 1$$

$$= 1.0006$$

$$(k_1 = 2, k_2 = 6)$$

$$K_f = 0.63 r_f \cdot p_w + (1 - 0.64 r_f) = 0.63 \times 0 \times 0.19 + (1 - 0.64 \times 0)$$

$$= 1$$

$$r_f = 0(\%) \quad (\text{PVA 短繊維混入率})$$

3) 破壊衝突回数  $N_u$  の算定

$$N_u = \frac{1}{(\alpha \cdot R)^4} = \frac{1}{(0.00447 \times 64.7)^4}$$

$$= 142.9 \text{ 回}$$

4) 破壊衝突回数の照査

破壊衝突回数  $N_u = 143 \text{ 回} < 150 \text{ 回} = N_e$  (設計衝突回数)  $\dots \dots \dots$  N.G

## 付録-C 耐衝撃設計マニュアル（案）に関する補足資料

著者らは、これまでに耐衝撃設計に関する検討を実施し、既報（港空研報告，Vol.50，No.3）<sup>1)</sup>において、消波ブロックの繰返し衝突によるケーソン側壁の局部破壊に対する照査方法を提案した。

耐衝撃設計マニュアル（案）ver.3.1は、既報を一部修正したものである。以下に、主な変更点を示す。なお、耐衝撃設計マニュアル（案）は穴あき被災の実例やこれまでの知見を基に、現状で考えられる設計・照査方法を提案したものである。今後、現場におけるデータを蓄積し、また、実験もしくは解析などの検討を行い、より確度の高いマニュアルとして改訂・更新する必要があることから、今後の課題についても記載した。

### ① 曲げ破壊に対する安全性の照査の省略

既報<sup>1)</sup>においては、曲げ破壊に対する安全性の照査を基本としたが、これまでの穴あき被災の実績から、曲げ破壊が生じた例はない。現状の設計体系の中では考慮されていないが、実際のケーソン側壁の挙動として、中詰砂が側壁の曲げ変形を大幅に抑制する。したがって、消波ブロックの繰返し衝突によるケーソン側壁の破壊モードとして、局部破壊が卓越すると考えるのが断面決定においても合理的と考えた。

これらの理由を基に、曲げ破壊に対する安全性の照査について省略することとした。

### ② 耐衝撃設計断面の範囲の修正

耐衝撃設計を行うにあたっては、対象構造物全体の中における耐衝撃設計の対象範囲を定める必要がある。既報<sup>1)</sup>においては、耐衝撃設計断面の範囲について、ケーソン天端から下方に静水面（L.W.L）以下消波ブロック1個分の高さまでと設定した。これは、東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所の既往の成果<sup>2)</sup>を参考にしたものである。

一方、実際に穴あき被災を受けたケーソンの損傷状況を全国的に調査したところ、底板付近で穴あき損傷を生じたものも少なくない。したがって、穴あき損傷はケーソン側壁の全面で発生すると考えることが妥当である。

これらの理由から、耐衝撃設計断面の範囲について、ケーソン側壁全面とすることが望ましいとした。

### ③ 設計衝突回数の設定

本耐衝撃設計マニュアル（案）においては、RC版が局部破壊に至るまでの衝突回数（ $N_u$ ）がRC版に消波ブロックが作用する衝突回数（設計衝突回数： $N_e$ ）よりも多いことを照査することとした。ただし、上述した通り、消波ブロックのケーソンへの衝突条件については十分に明らかにされておらず、設計衝突回数に理論的根拠をもって提案することは困難である。そこで、実際に穴あき被災を生じた施設（4施設、防波堤A～D）について、本マニュアルを用いて照査した結果、3施設においては $N_e$ が10回未満でも照査を満足しない結果となった。一方、1施設においては $N_e$ が150回とした場合に照査を満足しない結果となった。これらは穴あき損傷のメカニズムが異なる可能性が考えられるが、現状として十分な知見がないため、統一的に扱うこととした。

これらの結果から、現状の知見の範囲においては、設計衝突回数を150回と設定することが妥当と判断した。設計衝突回数については、消波ブロックが移動する波浪条件や衝突条件等を把握した上で設定する必要がある、今後の課題である。

### ④ 局部破壊の定義

既報<sup>1)</sup>においては、穴あき損傷について、RC版の押抜きせん断破壊と定義した。しかしながら、実際に穴あき被災を受けたケーソンでは、局部的な圧壊や破壊モードの同定が困難な事例も認められた。しかしながら、現状として、これらを詳細に分類することは困難であり、作用条件等も含めたメカニズムが十分に明らかにされていない現状においては、これら異なる破壊モードの損傷について、統一的に扱うことが合理的と判断した。したがって、耐衝撃設計マニュアル（案）においてはケーソン側壁の穴あき損傷を局部破壊と定義し、局部破壊に対する照査を実施することとした。今後、作用条件や構造諸元を基に破壊モード等を分類し、より合理的な設計・照査を行うことが望まれる。

### 【参考文献】

- 1) 川端雄一郎，岩波光保，松林卓：繰返し衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の残存押抜きせん断耐荷性能，港湾空港技術研究所報告，Vol.50，No.3，pp.3-24，2011年
- 2) 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所：防波堤ケーソンの損傷対策に関する技術マニュアル（案）—消波ブロック衝突による側壁損傷対策—，2007年

付録-D 予防対策費用算定における数量

【防波堤I, 予防対策ケース1】

短繊維補強コンクリートの打設量は以下の通りとなる（対策範囲は下図参照）。

名称	計算式	V(m <sup>3</sup> )
法線平行方向側壁(港外側)	$0.50 \times 24.85 \times 10.80$	134.19
法線直角方向側壁	$0.50 \times 0.50 \times 10.80 \times 2$	5.40
法線直角方向隔壁	$0.30 \times 0.30 \times 10.80 \times 4$	3.89
鉛直ハンチ	$0.50 \times 0.20 \times 0.20 \times 10.80 \times 10$	2.16
合計		145.64

以上より、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下の通りとなる。

①PVA短繊維混入率	1.25%
②コンクリート打設量	145.64 m <sup>3</sup> /函
③PVA短繊維混入量(比重1.3)	1.82 m <sup>3</sup> /函
	2366.65 kg/函
④PVA短繊維単価	2,000 円/kg
⑤対策費用(=③×④)	4,733,300 円/函

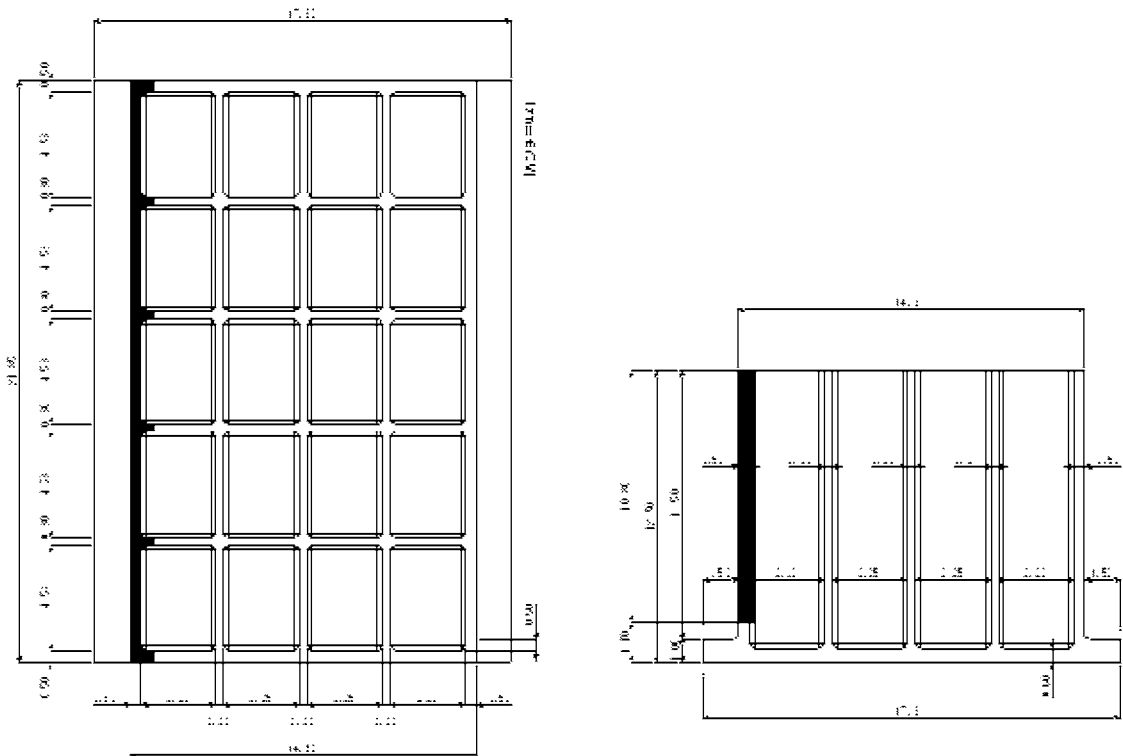


図-D.1 対策範囲

【防波堤II, 予防対策ケース1】

短繊維補強コンクリートの打設量は以下の通りとなる（対策範囲は下図参照）。

名称	計算式	V(m <sup>3</sup> )
法線平行方向側壁(港外側)	$0.60 \times 27.35 \times 12.00$	196.92
法線直角方向側壁	$0.60 \times 0.60 \times 12.00 \times 2$	8.64
法線直角方向隔壁	$0.30 \times 0.30 \times 12.00 \times 4$	4.32
鉛直ハンチ	$0.50 \times 0.25 \times 0.25 \times 12.00 \times 10$	3.75
合計		213.63

以上より、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下の通りとなる。

①PVA短繊維混入率	1.03 %
②コンクリート打設量	213.63 m <sup>3</sup> /函
③PVA短繊維混入量(比重1.3)	2.20 m <sup>3</sup> /函
	2860.51 kg/函
④PVA短繊維単価	2,000 円/kg
⑤対策費用(=③×④)	5,721,011 円/函

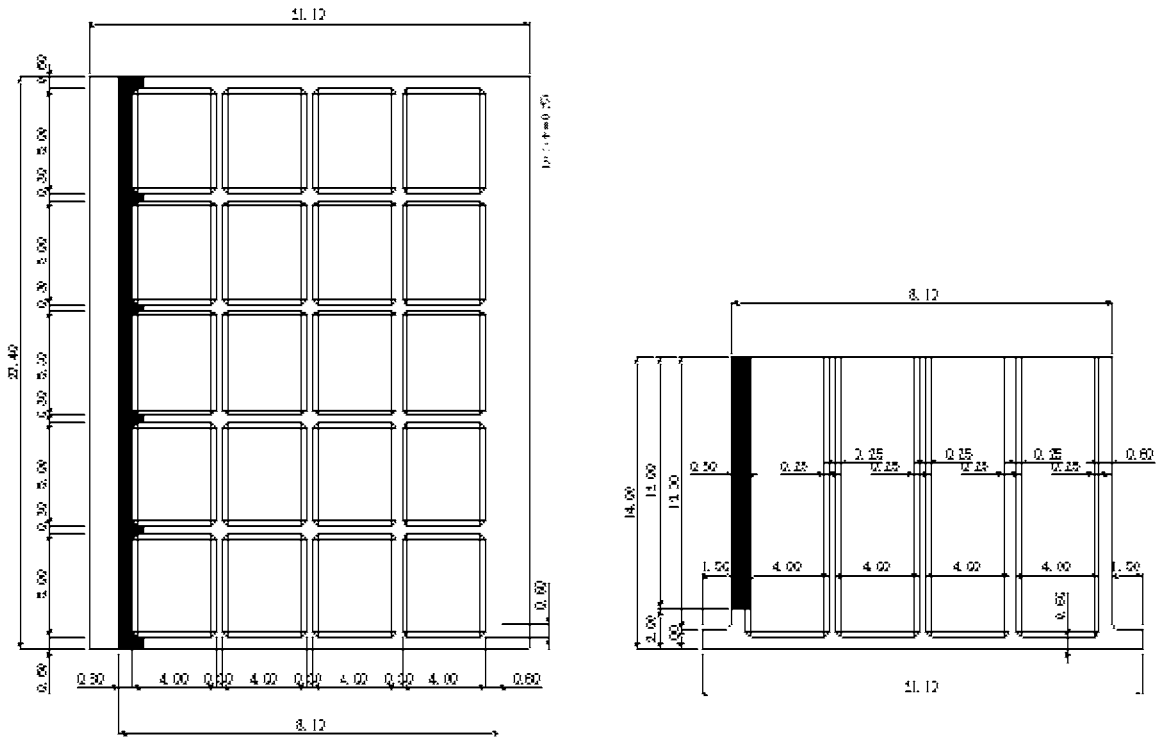


図-D.2 対策範囲

【防波堤I, 予防対策ケース2】

予防対策による鉄筋の増加量を整理して示す。

鉄筋量	当初断面	14,760 (kg/函)
	対策断面	25,490 (kg/函)
	増加量	10,730 (kg/函)

よって、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下の通りとなる。

- ・鉄筋増加量：10,730 (kg/函)
- ・鉄筋加工組立て費（材料費含む）：120 (円/kg)

$$10,730 \text{ (kg/函)} \times 120 \text{ (円/kg)} \div 1000 = 129 \text{ (万円/函)}$$

【防波堤II, 予防対策ケース2】

予防対策による鉄筋の増加量を整理して示す。

鉄筋量	当初断面	19,620 (kg/函)
	対策断面	32,266 (kg/函)
	増加量	12,646 (kg/函)

よって、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下の通りとなる。

- ・鉄筋増加量：12,646 (kg/函)
- ・鉄筋加工組立て費（材料費含む）：120 (円/kg)

$$12,646 \text{ (kg/函)} \times 120 \text{ (円/kg)} \div 1000 = 152 \text{ (万円/函)}$$



【防波堤I, 予防対策ケース3】

側壁増厚（0.5m→2.3m, 1.8m増厚）によるコンクリートの増加量および鋼製型枠の減少量は以下の通りとなる。

- ・コンクリート増加量

名称	計算式	V(m <sup>3</sup> )
法線平行方向側壁(港外側)	$24.85 \times 1.8 \times (12.5 - 0.6)$	532.29
側壁(法直方向)、隔壁部控除	$(0.5 \times 2 + 0.3 \times 4) \times 1.8 \times (12.5 - 0.6)$	-47.12
合計		485.17

- ・鋼製型枠減少量

$$1.8 \times (12.5 - 0.6) \times 10 \text{箇所} = 214.2 \text{ (m}^2\text{/函)}$$

以上より、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下のとおりとなる。

- ・コンクリート打設量：485.17 (m<sup>3</sup>/函)
- ・コンクリート打設費（材料費含む）：13,900 (円/m<sup>3</sup>)
- ・鋼製型枠減少量：214.2 (m<sup>2</sup>/函)
- ・鋼製型枠組立組外し費：4,200 (円/m<sup>2</sup>)

$$485.17 \text{ (m}^3\text{/函)} \times 13,900 \text{ (円/m}^3\text{)} - 214.2 \text{ (m}^2\text{/函)} \times 4,200 \text{ (円/m}^2\text{)} \approx 584 \text{ (万円/函)}$$

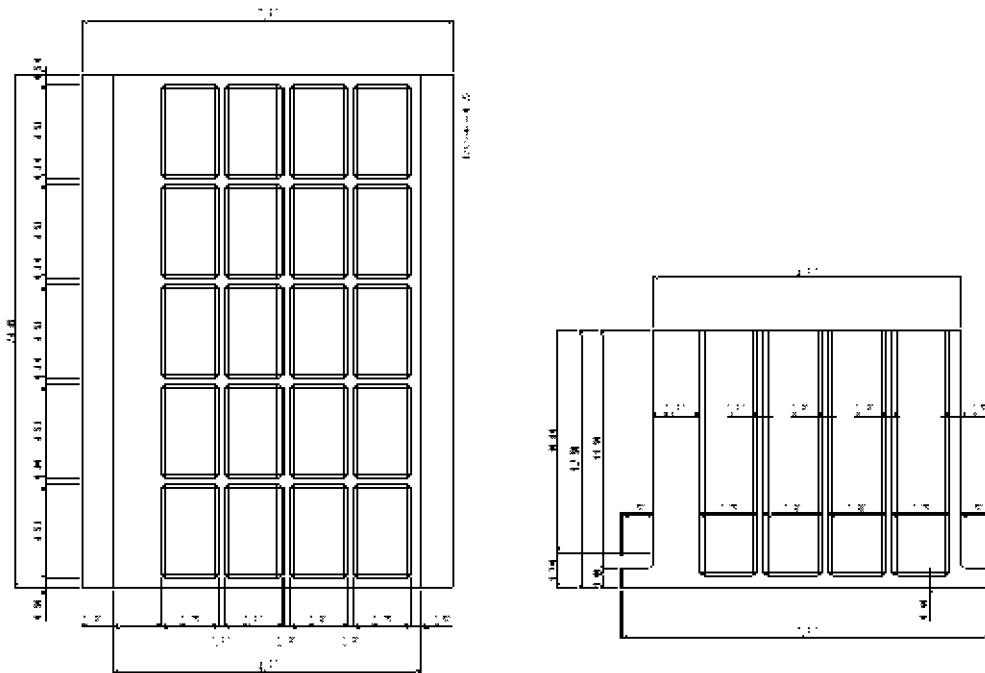


図-D.3 対策断面図

【防波堤II, 予防対策ケース3】

側壁増厚（0.6m→1.85m, 1.25m増厚）によるコンクリートの増加量および鋼製型枠の減少量は以下のとおりとなる。

- ・コンクリート増加量

名称	計算式	V(m <sup>3</sup> )
法線平行方向側壁(港外側)	$27.40 \times 1.25 \times (14.0 - 0.6)$	458.95
側壁(法直方向)、隔壁部控除	$(0.6 \times 2 + 0.3 \times 4) \times 1.25 \times (14.0 - 0.6)$	-38.53
合計		420.42

- ・鋼製型枠減少量

$$1.25 \times (14.0 - 0.6) \times 10 \text{ 箇所} = 167.5 \text{ (m}^2\text{/函)}$$

以上より、予防対策に要する工事費用（直工費）は以下のとおりとなる。

- ・コンクリート打設量：420.42 (m<sup>3</sup>/函)
- ・コンクリート打設費（材料費含む）：13,900 (円/m<sup>3</sup>)
- ・鋼製型枠減少量：167.5 (m<sup>2</sup>/函)
- ・鋼製型枠組立組外し費：4,200 (円/m<sup>2</sup>)

$$420.42 \text{ (m}^3\text{/函)} \times 13,900 \text{ (円/m}^3\text{)} - 167.5 \text{ (m}^2\text{/函)} \times 4,200 \text{ (円/m}^2\text{)} \approx 514 \text{ (万円/函)}$$

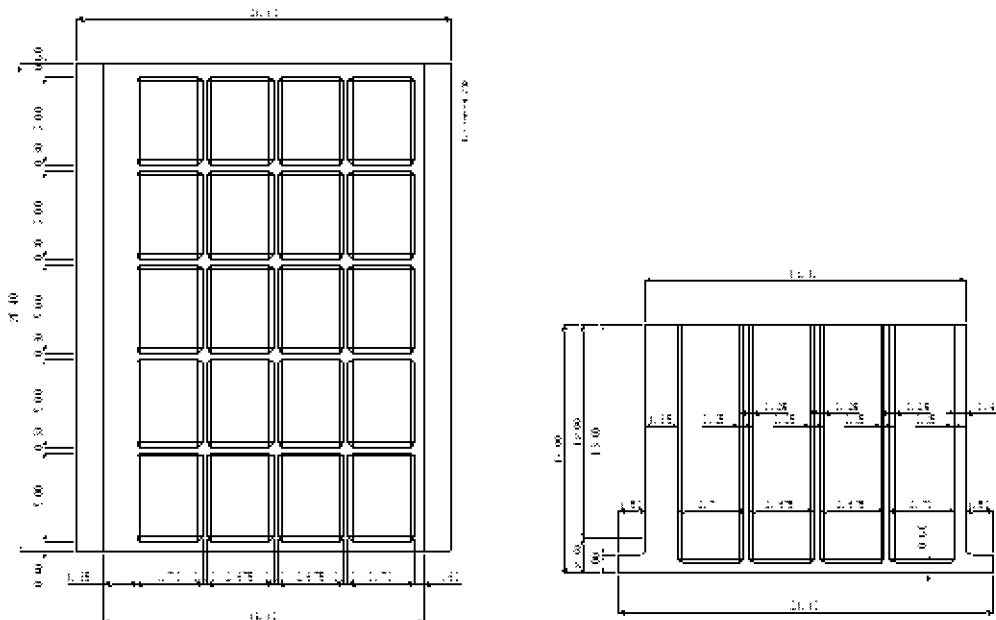


図-D.4 対策断面図

付録-E 被災後補修費用算定における数量表

【防波堤I, 被災後補修ケースA】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	18	個	80t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水上～水中, 起重機船 250t 吊
	水中	19	個	80t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水中～水中, 起重機船 250t 吊
ブロック復旧	水上	18	個	80t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 250t 吊
	水中	19	個	80t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 250t 吊
補強用型枠	L:5.1m× B:5.1m	26.0	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 15t/枚）, 100t 起重機船据付, （削孔, アンカー未計上）
中詰砂撤去		43.0	m <sup>3</sup>	サンドポン プ	サンドポンプ 8 インチ, 給水ポンプ, クレーン台船 35～40t 吊, 引船 300PS
上部工削孔	φ400× L5.2m	1	本		大口径ボーリング
上部工復旧		2.1	m <sup>3</sup>		ミキサー船
中詰コンクリート		169.6	m <sup>3</sup>		ミキサー船

【防波堤II, 被災後補修ケースA】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	26	個	64t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水上～水中, 起重機船 200t 吊
	水中	24	個	64t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水中～水中, 起重機船 200t 吊
ブロック復旧	水上	26	個	64t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 200t 吊
	水中	24	個	64t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 200t 吊
補強用型枠	L:5.79m×B: 5.79m	33.5	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 20t/枚）, 100t 起重機船据付, （削孔, アンカー未計上）
中詰材撤去		85.9	m <sup>3</sup>	サンドポン プ	サンドポンプ 8 インチ, 給水ポンプ, クレーン台船 35～40t 吊, 引船 300PS
上部工削孔	φ400× L4.5m	1	本		大口径ボーリング
上部工復旧		1.8	m <sup>3</sup>		台船バケツ, 70t 起重機船
中詰コンクリート		276.1	m <sup>3</sup>		台船バケツ, 70t 起重機船

【防波堤I, 被災後補修ケースB】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	9	個	80t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水上～水中, 起重機船 250t 吊
ブロック復旧	水上	9	個	80t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 250t 吊
上部工撤去		197.1	m <sup>3</sup>		取り壊し, ガット船で海上運搬, 陸揚げまで
上部工復旧		197.1	m <sup>3</sup>		ミキサー船, 型枠 48m <sup>2</sup> , 支保 9.1m
蓋コン撤去		10.1	m <sup>3</sup>		取り壊し, ガット船で海上運搬, 陸揚げまで
補強用型枠	L:5.1m× B:5.1m	26.0	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 15t/枚）, 100t 起重機船据付,（削孔, アンカー未計上）
中詰砂撤去		43.0	m <sup>3</sup>	ガット船	ガット船 1.8m <sup>3</sup> にて撤去, 運搬, 岸壁に排出
中詰コンクリート		171.3	m <sup>3</sup>		ミキサー船

【防波堤II, 被災後補修ケースB】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	12	個	64t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング, ウインチ移動無）水上～水中, 起重機船 200t 吊
ブロック復旧	水上	12	個	64t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング, ウインチ移動無）水中～水上, 起重機船 200t 吊
上部工撤去		264.0	m <sup>3</sup>		取り壊し, ガット船で海上運搬, 陸揚げまで
上部工復旧		264.0	m <sup>3</sup>		台船バケット, 型枠 48.7m <sup>2</sup> , 支保 10m
蓋コン撤去		10.0	m <sup>3</sup>		取り壊し, ガット船で海上運搬, 陸揚げまで
補強用型枠	L:5.79m× B:5.79m	33.5	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 20t/枚）, 100t 起重機船据付,（削孔, アンカー未計上）
中詰材撤去		85.9	m <sup>3</sup>	ガット船	ガット船 1.8m <sup>3</sup> にて撤去, 運搬, 岸壁に排出
中詰コンクリート		258.4	m <sup>3</sup>		台船バケット, 70t 起重機船

【防波堤I, 被災後補修ケースC】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	18	個	80t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング，ウインチ移動無）水上～水中，起重機船 250t 吊
	水中	31	個	80t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング，ウインチ移動無）水中～水中，起重機船 250t 吊
ブロック復旧	水上	18	個	80t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング，ウインチ移動無）水中～水上，起重機船 250t 吊
	水中	31	個	80t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング，ウインチ移動無）水中～水上，起重機船 250t 吊
補強用型枠	L:5.1m× B:5.1m	26.0	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 15t/枚），100t 起重機船据付，（削孔，アッカー未計上）
中詰砂撤去		3,131.0	m <sup>3</sup>	ガット船	ガット船 1.8m <sup>3</sup> にて撤去，運搬，岸壁に排出
上部工撤去		1,081.0	m <sup>3</sup>		取り壊し，ガット船で海上運搬，陸揚げまで
上部工復旧		1,081.0	m <sup>3</sup>		ミキサー船，型枠 263m <sup>2</sup> ，支保 50m
蓋コン撤去		201.8	m <sup>3</sup>		取り壊し，ガット船で海上運搬，陸揚げまで
中詰砂		3,088.0	m <sup>3</sup>		岸壁積み込み運搬投入
中詰砂均し		171.3	m <sup>2</sup>		砂均し
中詰コンクリート		161.2	m <sup>3</sup>		ミキサー船
蓋コン復旧		191.7	m <sup>3</sup>		ミキサー船
捨石本均し	±5cm 水中	516.9	m <sup>2</sup>		10m～15m
捨石荒均し	±30cm 水中	62.1	m <sup>2</sup>		10m～15m

【防波堤II, 被災後補修ケースC】

名 称	規格・寸法	数 量		備 考	
消波ブロック撤去・仮置	水上	26	個	64t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング，ウインチ移動無）水上～水中，起重機船 200t 吊
	水中	43	個	64t型 空隙率 50%	構造物撤去・仮置（1スイング，ウインチ移動無）水中～水中，起重機船 200t 吊
ブロック復旧	水上	26	個	64t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング，ウインチ移動無）水中～水上，起重機船 200t 吊
	水中	43	個	64t型 空隙率 50%	消波ブロック据付（1スイング，ウインチ移動無）水中～水上，起重機船 200t 吊
補強用型枠	L:5.79m× B:5.79m	33.5	m <sup>2</sup>		実績より（鋼材 20t/枚），100t 起重機船据付，（削孔，アッカー未計上）
中詰材撤去		5,101.7	m <sup>3</sup>	ガット船	ガット船 1.8m <sup>3</sup> にて撤去，運搬，岸壁に排出
上部工撤去		1,444.1	m <sup>3</sup>		取り壊し，ガット船で海上運搬，陸揚げまで
上部工復旧		1,444.1	m <sup>3</sup>		台船バケット，70t 起重機船，型枠 266m <sup>2</sup> ，支保 54.7m
蓋コン撤去		210.8	m <sup>3</sup>		取り壊し，ガット船で海上運搬，陸揚げまで
中詰材		5,015.8	m <sup>3</sup>		岸壁積み込み運搬投入
中詰材均し		922.6	m <sup>2</sup>		砂均し
中詰コンクリート		274.0	m <sup>3</sup>		台船バケット，70t 起重機船
蓋コン復旧		200.2	m <sup>3</sup>		台船バケット，70t 起重機船
捨石本均し	±5cm 水中	659.1	m <sup>2</sup>		10m～15m
捨石荒均し	±50cm 水中	136.8	m <sup>2</sup>		10m～15m

港湾空港技術研究所資料 No.1279

2013. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

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

印刷所 株式会社ワコー

Copyright © (2013) by PARI

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

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



古紙配合率70%再生紙を使用しています