

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

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	2
1.1 適用の範囲	2
1.2 耐衝撃設計の要否	2
1.3 性能照査全体の中における耐衝撃設計の位置づけ	3
1.4 用語の定義	6
第2章 設計条件の設定	6
2.1 耐衝撃設計断面の範囲の設定	6
2.2 ケーソン側壁のモデル化	8
2.3 消波ブロックのモデル化	9
第3章 耐衝撃設計	11
3.1 設計の基本方針	11
3.2 押抜きせん断破壊に対する安全性の照査	11
第4章 その他配慮事項	18
4.1 耐衝撃設計断面と通常設計断面の接合部	18
4.2 PVA 短繊維補強コンクリートの打設範囲	19
【参考文献】	20

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る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¹⁾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

耐衝撃性に優れるケーソン側壁の設計の要否は、過去の被災の有無、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】

同じケーソン前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、被災箇所や被災の程度、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
・ 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）
・ 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）
・ 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）
・ 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）

1.3 性能照査全体の中における耐衝撃設計の位置づけ

(1) 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。

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¹⁾。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

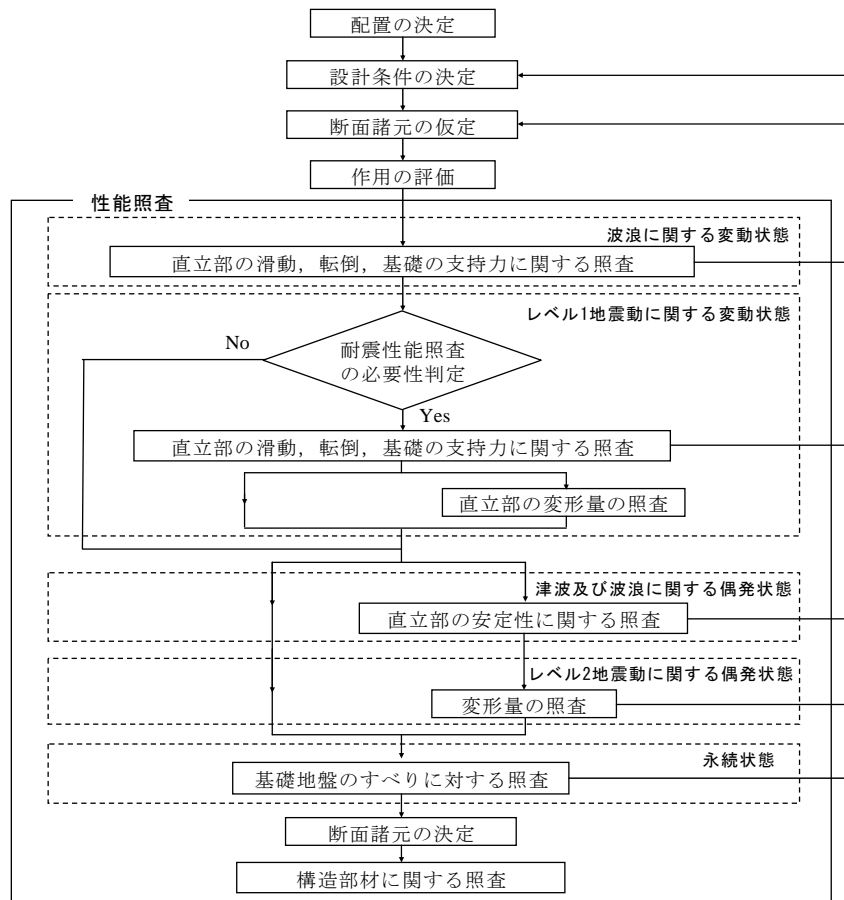


図-1.1 混成堤の性能照査順序の例

(港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) p.825)

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。
 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。

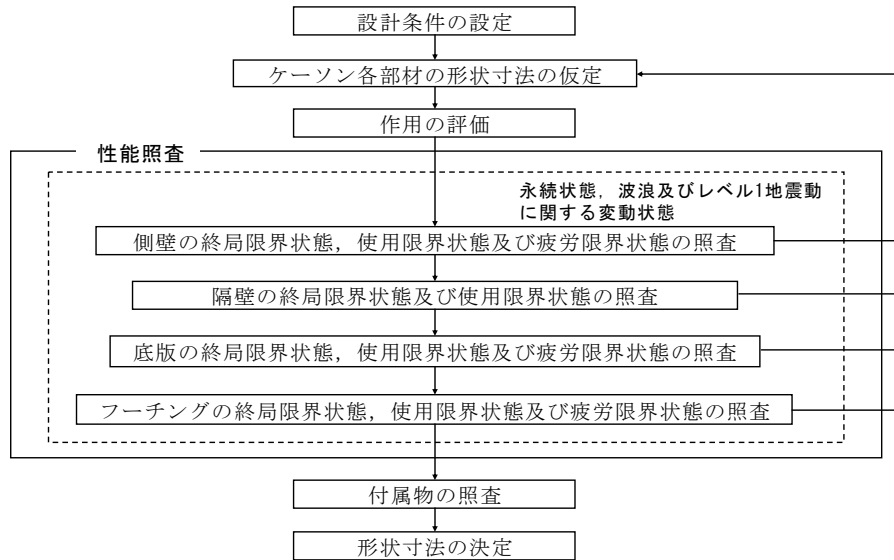


図-1.2 ケーソンの性能照査の順序の例
 (港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）p.495)

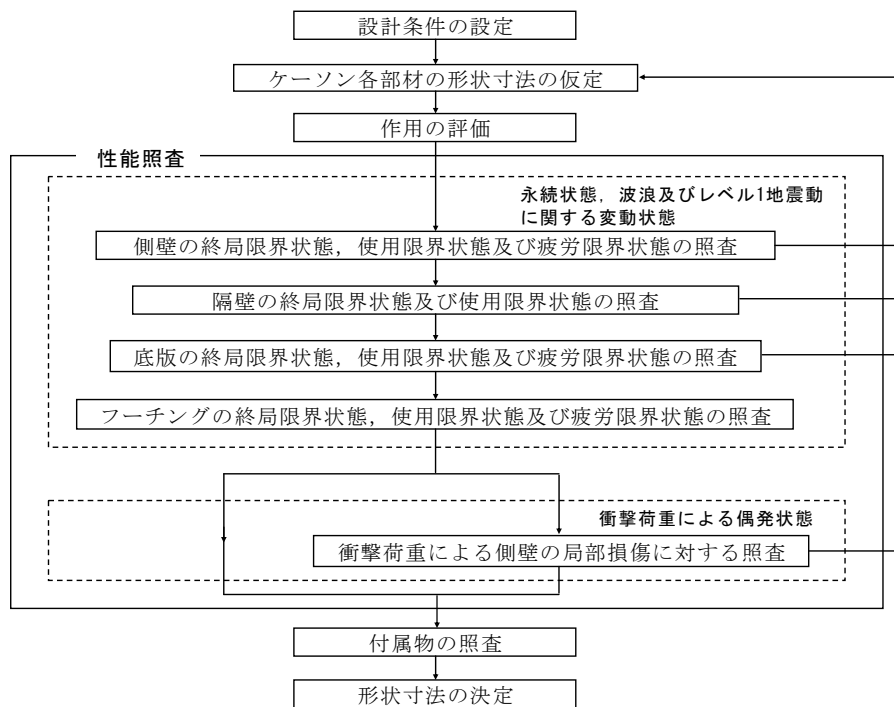


図-1.3 衝撃力に対する照査を含めたケーソンの性能照査の順序

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損傷に対して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損傷に対して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。
圧 縮 側	: ケーソン壁が外部から衝撃荷重を受けて曲げ変形する時に圧縮応力が発生する側。
引 張 側	: ケーソン壁が外部から衝撃荷重を受けて曲げ変形する時に引張応力が発生する側。

【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。

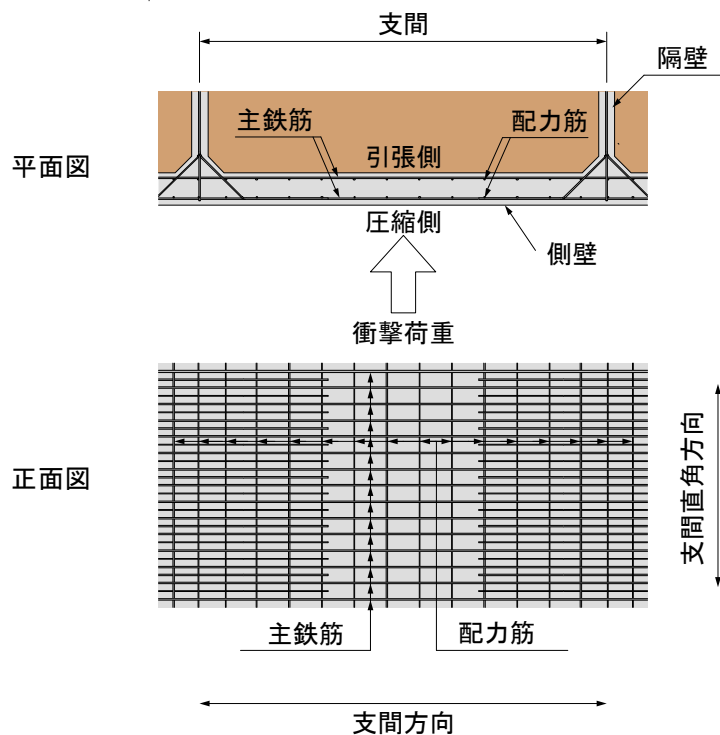


図-1.4 用語の定義

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。

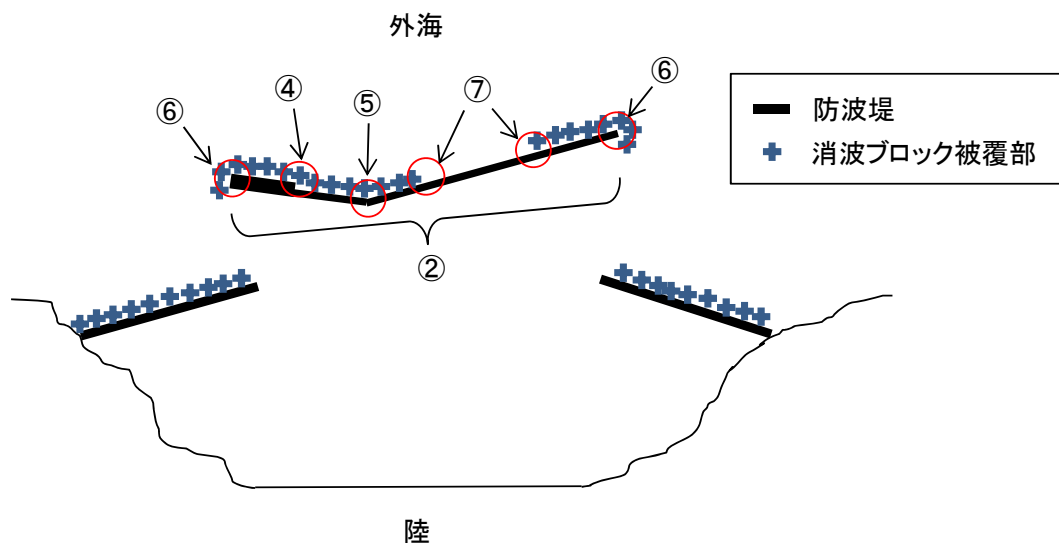


図-2.1 ケーソンの穴あき被災が生じやすい防波堤および部位

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²⁾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をケーソン前壁全面とすることが望ましい。

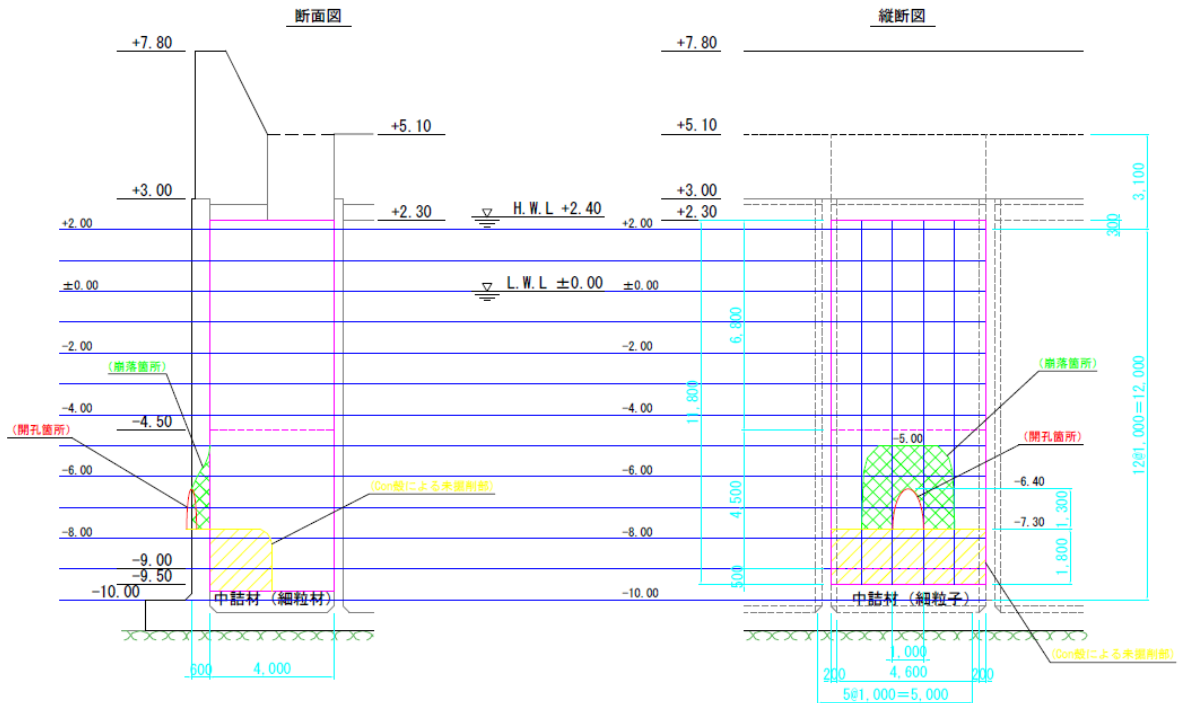
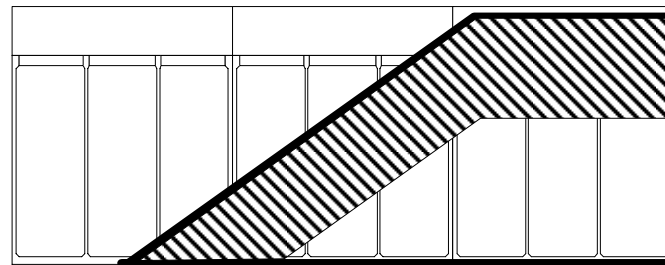


図-2.2 ケーソンの穴あき被災箇所の一例



- : 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^{3), 4)}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繰返し衝撃回数が増えることが、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。

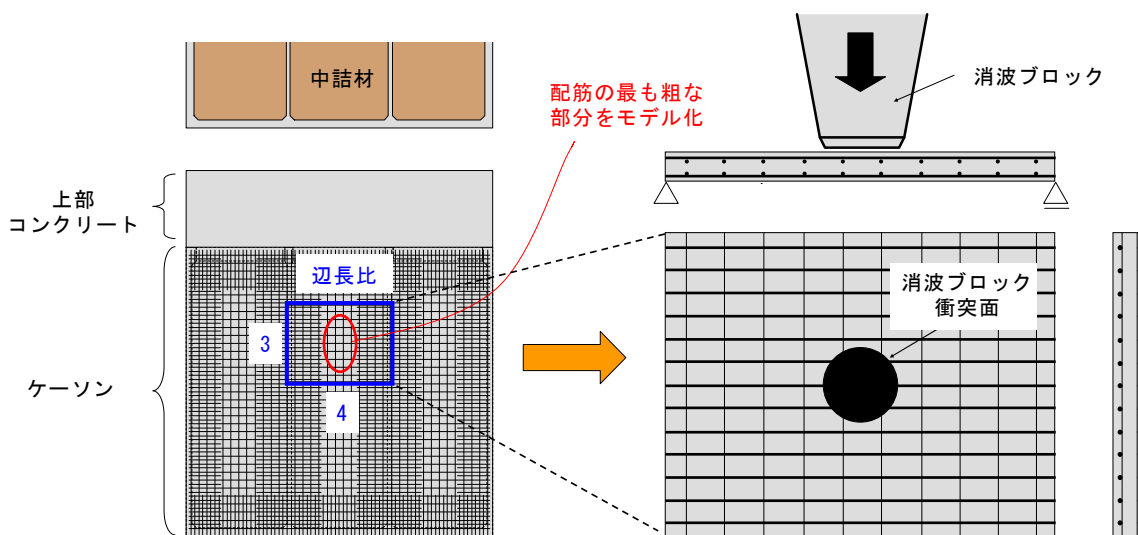


図-2.4 ケーソン側壁のモデル化のイメージ

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移動速度については、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⁵⁾。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⁶⁾。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)²⁾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に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 ⁵⁾	山口らによる提案値 ⁶⁾
ロッキング	砕波時	$0.04C$	—
	非砕波時	$4H/\sqrt{6T}$	—
転落		$(0.1C+$ 自由落下速度) $/4$	—
水平移動		$0.15C$	$(0.05\sim 0.08)C$

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、押抜きせん断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、押抜きせん断破壊に伴って穴あきが発生しているものと考えられる。したがって、繰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、押抜きせん断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所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、押抜きせん断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。

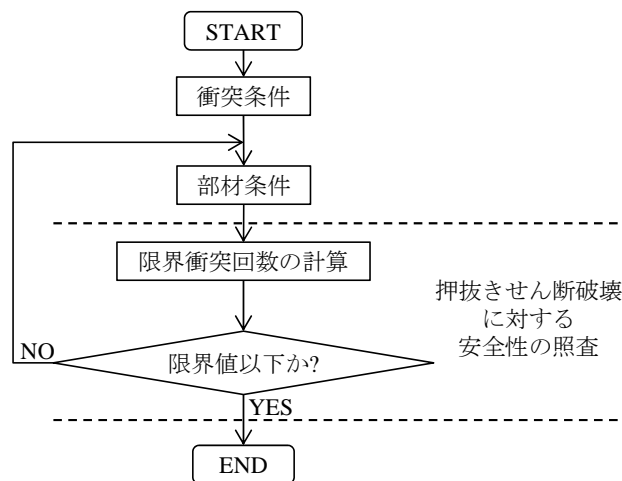


図-3.1 耐衝撃設計の流れ

3.2 押抜きせん断破壊に対する安全性の照査

(1) 照査の流れ

押抜きせん断破壊に対する安全性の照査は、RC版が押抜きせん断破壊するまでの繰返し衝突回数を算出し、繰返し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 および押抜きせん断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 : 押抜きせん断破壊面の面積 (m²)

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

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)

θ : 押抜きせん断破壊面が 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 α 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 α を式(4)により算出する。

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

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

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) 設計限界回数の照査

繰返し衝突回数を式(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) 押抜きせん断破壊に対する安全性の照査は、RC 版が押抜きせん断破壊するまでの繰返し衝突回数を算出し、繰返し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、押抜きせん断破壊に対する安全性の照査の流れを示す。

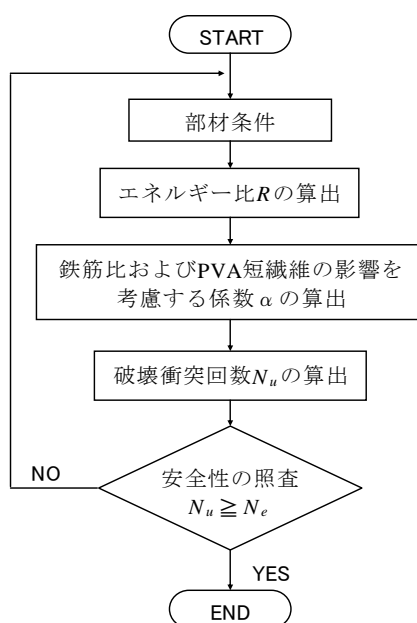


図-3.2 押抜きせん断破壊に対する安全性の照査の流れ

(2) 押抜きせん断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、押抜きせん断破壊面の形状を、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⁷⁾に示されている破壊エネルギーを用いている。

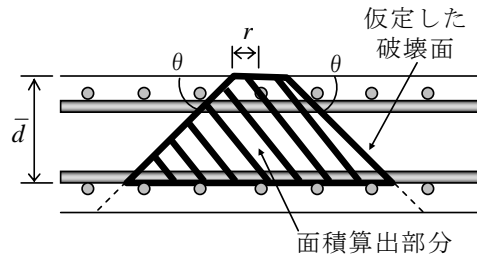


図-3.3 破壊エネルギーの算出に用いる押抜きせん断破壊面のモデル

(3) (4) 二辺支持RC版の衝撃実験結果より、押抜きせん断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 α 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 α 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 α

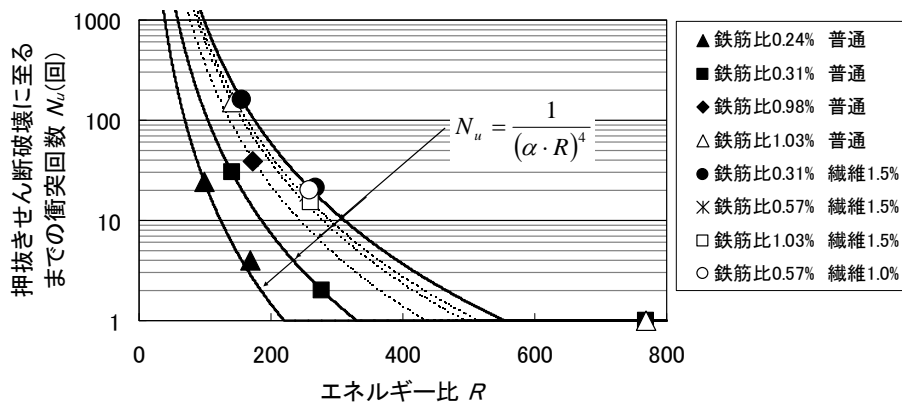


図-3.4 押抜きせん断破壊に至るまでの衝突回数 N_u とエネルギー比 R の関係

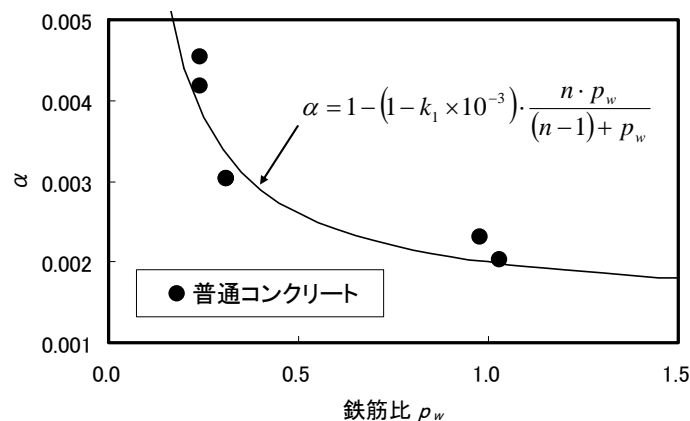


図-3.5 α と引張鉄筋比 p_w の関係

に与える影響を係数 K_f により考慮した。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 α (α_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 α (α_f とする) の比である α_f / α_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。

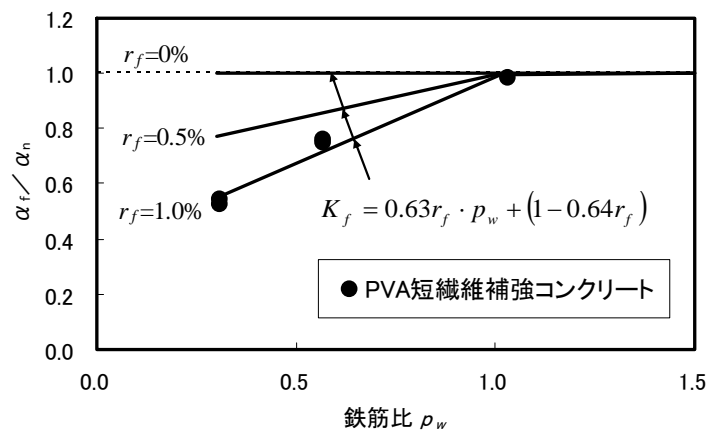


図-3.6 α_f / α_n と引張鉄筋比 p_w の関係

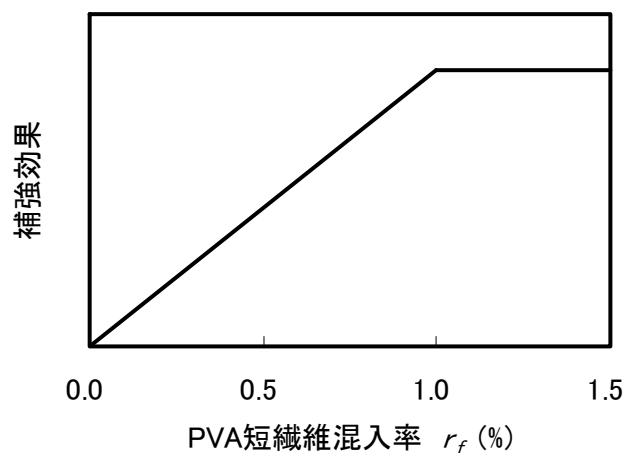


図-3.7 補強効果と PVA 短繊維混入率 r_f の関係

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 ²)	引張伸度 (%)	ヤング率 (kN/mm ²)
0.66	30	45.5	1.3	900	9	23

(5) 本マニュアルにおいては、RC 版が押抜きせん断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⁷⁾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。

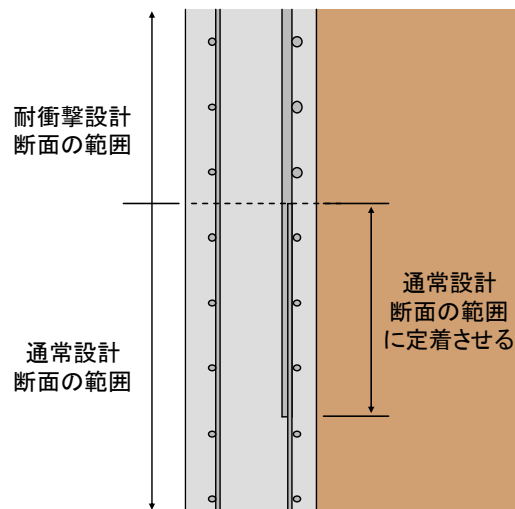


図-4.1 耐衝撃設計断面と通常設計断面の接合部における配力筋の定着イメージ

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。

施工では、アジテータ車へ PVA 短繊維を投入しながら打設となるため PVA 短繊維補強コンクリートの打設範囲の確保が最小となるよう打設計画を作成する必要がある。

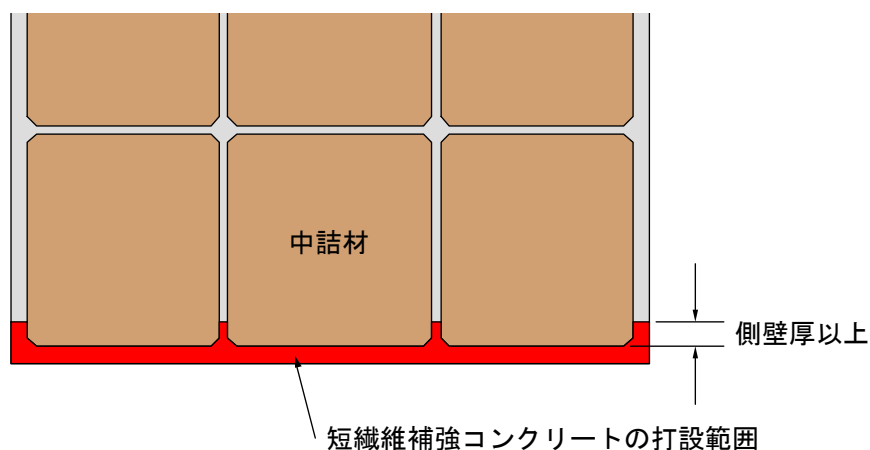


図-4.2 短繊維補強コンクリートの打設範囲のイメージ（平面図）

【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)ー消波ブロック衝突による側壁損傷対策ー、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