

(論文)

新型防波護岸(フレア護岸)の天端高さ設計手法

Designing a New Flare-shaped Seawall



竹鼻直人*
Naoto Takehana



濱崎義弘*
Yoshihiro Hamazaki



市川靖生*
Yasuo Ichikawa



橋野藤彦*
Fujihiko Hashino



片岡保人***(工博)
Dr. Yasuto Kataoka



埴 洋二**
Yoji Hanawa

A new type seawall with a deep re-curved parapet, called a Flare-shaped Seawall (FSS), was developed. Previous studies have proven that FSS, compared with conventional seawalls, decrease wave overtopping. The FSS crest can also be effectively used for sidewalk and driveway construction. This paper introduces an FSS design method that incorporates a mound. Trial design and subsequent tests proved the superiority of this new FSS design.

まえがき = 海岸線領域において、台風などによる高波・高潮で越波が起り、背後の人家への被害や、臨海道路が通行止めになるといったことが頻発している。国土交通省による「港湾の技術開発長期政策」の中にも「良好な沿岸域環境の継承と創造」、「安全で安心な暮らしを支える港湾」が掲げられている。このような要求に対応すべく、筆者らはこれまで水理特性、景観性に優れた新型防波護岸(以下、フレア護岸)^{1)~4)}を提案してきた。フレア護岸は、護岸前面が大きく張出した独特の形状により、波を滑らかに沖側に返すことができるため、低天端でありながら越波を大幅に低減できる特長を有している。また、機能面では、堤体上部を遊歩道や公園、道路拡幅などに利用することが可能である。さらに、前面水域の消失を少なくし、親水性領域を確保できるといった利点も有している。写真1に、フレア護岸を試験施工した例を示す⁴⁾。この例では、図1に示すように、主構造に鋼・コンクリートハイブリッド構造によるプレファブ工法を適用し、経済性に加え、施工の容易性・安全性、

品質向上などを図っている。

護岸の設計における重要な項目の一つとして、天端高さの設定を行う必要がある。従来工法(直立護岸、消波ブロック被覆護岸)では、一般に、港湾の技術上の基準・同解説⁵⁾に示されている越波流量線図を用いて天端高さ



写真1 フレア護岸の試験設置例

Photo 1 Example of installation test of flare-shaped seawall

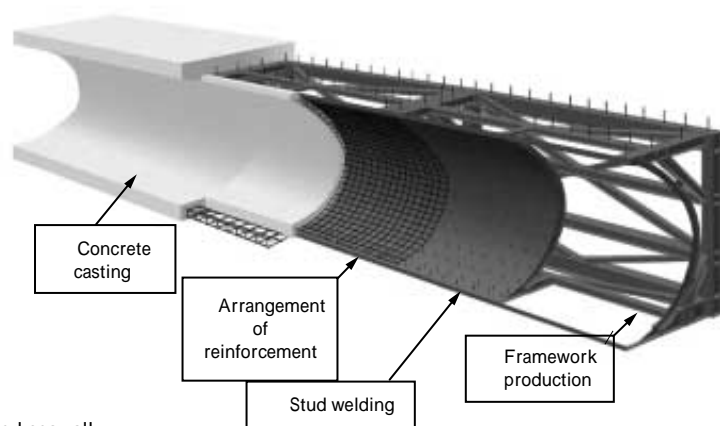


図1 フレア護岸の構造概要

Fig. 1 Structural outline of flare-shaped seawall

を決定している。そこで、筆者らは、フレア護岸について、捨石マウンドがない場合には、従来工法の手法に準じて水槽実験から越波流量線図を示し、必要天端高さを求める方法を提案してきた³⁾。しかしながら、捨石マウンド上に設置される場合については、これまで十分な検討がなされていない。

本研究では捨石マウンド上に設置されるフレア護岸の天端高さの設定法について検討を行う。実設計の容易さを考慮し、マウンド無しの場合の設計法を拡張した手法を立案し、水槽実験により検証した。また、これらの結果を踏まえ、設計フローを取りまとめ、試設計により従来工法との比較を行った。

1. 捨石マウンドが無い場合の天端高設計法³⁾

従来工法の設計法と同様に越波流量線図を作成し、その図から天端高を算出する手順を説明する。以下に、実験による越波流量線図の算出及び天端高の設計方法を示す。

1.1 越波流量線図

水槽実験は、2次元吸収制御式造波水槽（長さ30m、高さ1.2m、幅0.6m）中に海底勾配を模擬した不透過斜面を設置し、その斜面上に塩化ビニル製のフレア護岸モデルを設置して行った。水槽実験の概要を図2に示す。フレア護岸の前面フレア部の奥行き深さ D と護岸高さ B との比は $D/B = 0.52$ とした。実験条件を表1に示す。不規則波は、修正 Bretschneider - 光易型の周波数スペクトルを基準とし、作成した波の入射波スペクトルがこれとほぼ一致するようにした。越波流量は、フレア護岸モデル上に30cm幅の水路を設け、岸側容器に越波水を回収し、単位時間、単位幅あたりの水量を算出した。越波流量は、それぞれの設計条件に対して数回計測し、平均値を求めている。

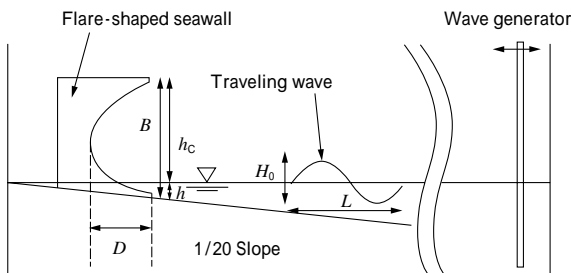


図2 水槽実験の概要
Fig. 2 Equipment of experiment

表1 実験条件
Table 1 Condition of experiment

Slope	Wave steepness H_0/L_0	Height of seawall B (cm)	Installation depth h (cm)	Significant wave height H_0' (cm)
1/10	0.036	24	9 ~ 17	5.2 ~ 10.8
		16	3 ~ 7	5.2 ~ 10.8
	0.012	24	9 ~ 17	5.2 ~ 10.8
		16	3 ~ 7	5.2 ~ 10.8
1/30	0.036	24	9 ~ 17	5.2 ~ 10.8
		16	3 ~ 7	5.2 ~ 10.8
	0.012	24	9 ~ 17	5.2 ~ 10.8
		16	3 ~ 7	5.2 ~ 10.8

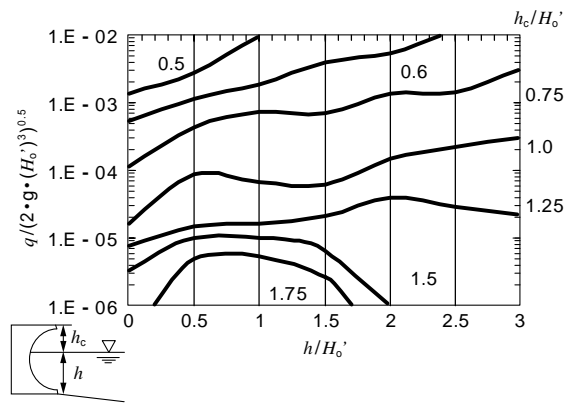


図3 越波流量推定線図（海底勾配 1/10、波形勾配 0.036）
Fig. 3 Estimated chart diagram of wave overtopping rate (bottom slope : 1/10, wave steepness : 0.036)

図3に、越波流量線図の例として、海底勾配 1/10、波形勾配 $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合の結果を示す。グラフ中の各記号は以下のとおりである。

- H_0' : 換算沖波波高 (m)
- L_0 : 沖波波長 (m)
- h : 前面水深 (m)
- h_c : 静水面からの天端高さ (m)
- q : 越波流量 ($m^3/m/sec$)
- g : 重力加速度 (m^2/sec)

1.2 天端高の算出法

図3の越波流量推定線図を用いた天端高の設計手順は次のとおりである。

1) 基本設計条件の設定

許容越波流量 q , 設計潮位 S.W.L., 設計波高 H_0' , 設計波長 L_0 , 前面水深 h , 海底勾配

2) 波形勾配 H_0'/L_0 , 無次元越波流量 $q/2g(H_0')^3$, 水深波高比 h/H_0' の計算

3) 越波流量線図による h_c/H_0' の算出

4) 必要最低天端高: 設計潮位 + h_c の算出

このようにして、従来工法（直立護岸、消波ブロック被覆護岸）と同じ手法で、捨石マウンドが無い場合のフレア護岸の天端高さを求めることができる。

2. 捨石マウンドが有る場合の天端高設計法

2.1 フレア護岸の天端高設計における考え方

直立護岸や消波ブロック被覆護岸の断面計画において、護岸や地盤の安定性、経済性などの観点から、捨石マウンド上に設置されるケースがある。直立護岸の場合、

マウンドの有無やマウンド高さに関わらず、越波特性に影響の大きい上部形状は常に直立構造となるため、マウンドの影響は小さい。また、消波ブロック被覆護岸の場合、マウンドも含め前面が消波ブロックに覆われるため、越波特性に与えるマウンドの影響はほとんどない。したがって、従来工法ではマウンドの高さによらず、水深をマウンド法先的水深(堤脚水深)で定義することにより、マウンド無しの場合の越波流量線図から天端高が求められる。

一方、フレア護岸の場合、図4に示すようにマウンド高によってフレア部の形状が変化するため、マウンド高が越波特性に与える影響が大きくなるものと推測される。この影響を天端高設計に反映するための一つの方法として、マウンド高のパラメータを増やした越波流量線図の作成が考えられる。しかしながら、越波流量線図の作成や実設計は、非常に煩雑な作業となる。そこで、前述のマウンド無しの場合の越波流量線図を利用し、マウンド高の影響を考慮し、天端高を簡易に算出できる方法を検討する。

捨石マウンド上のフレア護岸の天端高さを算出するにあたり、次の仮定をおいた。図5のように海底勾配が陸側に続いているものと仮定し、設置マウンド上水深 d の場合とマウンドが無い場合の前面水深 h が同じ場合、換算沖波波高 H_0' が同じであれば、マウンド上の波高と、勾配を延長した位置での波高がほぼ等しいものとする。この考え方が適用できれば、マウンド無しの越波流量線図を用いて、マウンド高の影響を考慮した天端高の算出が可能となる。そこで、この考え方の妥当性検証のために次の水槽実験を行った。

2.2 水槽実験概要

水槽実験は図2と同じ要領で、石でマウンドを作製した上にフレア護岸モデルを設置して行った。護岸モデル

の高さ B は16cmとし、前面フレア部の奥行き深さ D と護岸高さ B の比は $D/B=0.52$ とした。実験で用いた入射波は不規則波で波形勾配 $H_0'/L_0=0.012, 0.024$ の2種類とし、換算沖波波高 $H_0'=5.5 \sim 7\text{cm}$ 、捨石マウンド上水深 $d=5 \sim 12\text{cm}$ の範囲とした。実験に用いたモデルを図6に、実験条件のまとめを表2に記す。

2.3 実験結果

図7に越波流量試験結果を示す。横軸は護岸天端高さ h_c を換算沖波波高 H_0' で除した h_c/H_0' を、縦軸は無次元越波流量 $q/2g(H_0')^3$ を示している。いずれも右肩下がりほぼ同じ分布であり、越波流量の少ないケースで値のばらつきが大きくなるものの、それを除けばどちらの波形勾配においても捨石マウンドの有無によらず、ほぼ同等の越波流量である。これは、フレア護岸の水理特性が静水面上の懐部分の形状及び大きさに大きく依存しているためと思われる。

この結果、越波流量に関しては、提案した設計手法が

表2 実験条件
Table 2 Condition of experiment

		Experiment	Real scale
Slope		1/10	
Wave steepness H_0'/L_0		0.012, 0.024	
Seawall height B		16cm	3.5 ~ 4.5m
Scale		-	1/22 ~ 1/27
Significant wave height H_0'		5.5 ~ 7.0cm	1.2 ~ 1.9m
Depth of water on mound d		5.0 ~ 12.0cm	1.1 ~ 3.2m
Mound height	Low	4.0cm	0.9 ~ 1.1m
	High	8.5cm	1.9 ~ 2.3m
Width of mound		16cm	3.5 ~ 4.5m

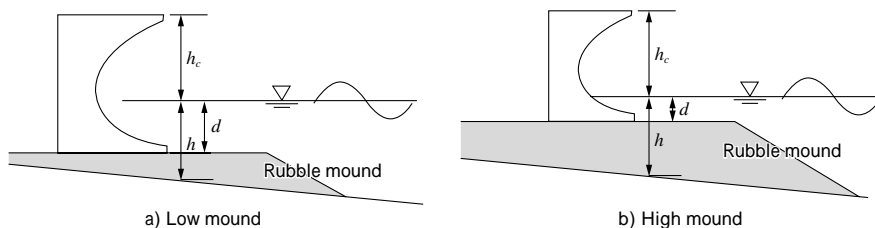


図4 マウンド高によるフレア形状の違い
Fig. 4 Cross section of flare-shaped seawall with mound

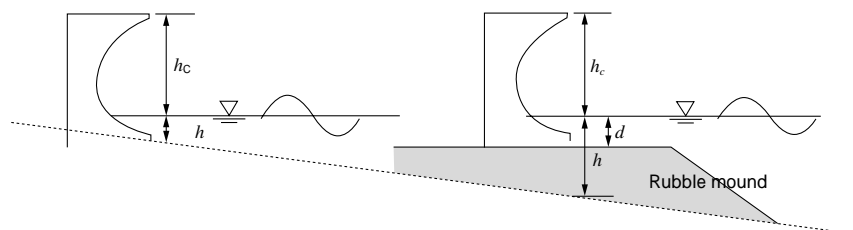


図5 海底勾配の延長
Fig. 5 Extension of bottom line

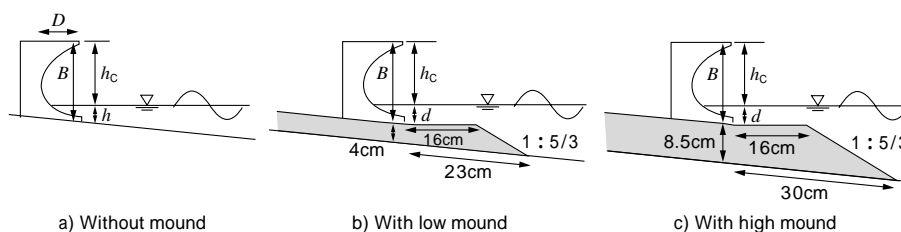


図6 実験に用いたモデル
Fig. 6 Models of experiment

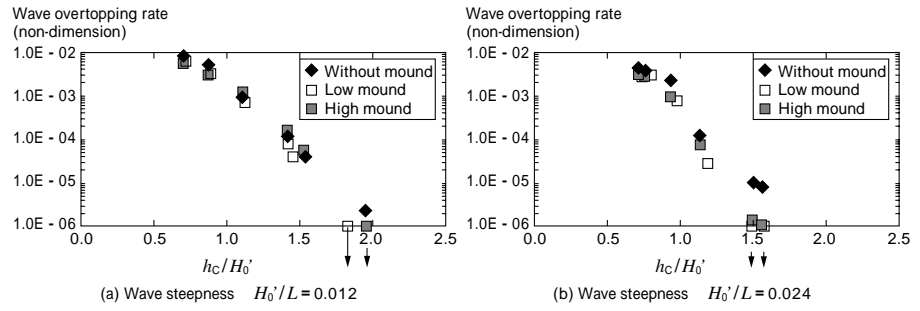


図7 越波流量試験結果
Fig. 7 Result of wave overtopping rate

適用でき、換算沖波波高 H_0' と捨石マウンド上水深 d を図3などの越波流量推定線図の前面水深 h に置換えることによって、フレア護岸の天端高さや断面形状を決めることができることが分かった。

3. 設計フロー

以上の検討結果を基に、フレア護岸、従来工法（消波ブロック被覆護岸、直立護岸）の設計フローをまとめると図8のようになる。従来工法とほぼ同じ流れで設計が

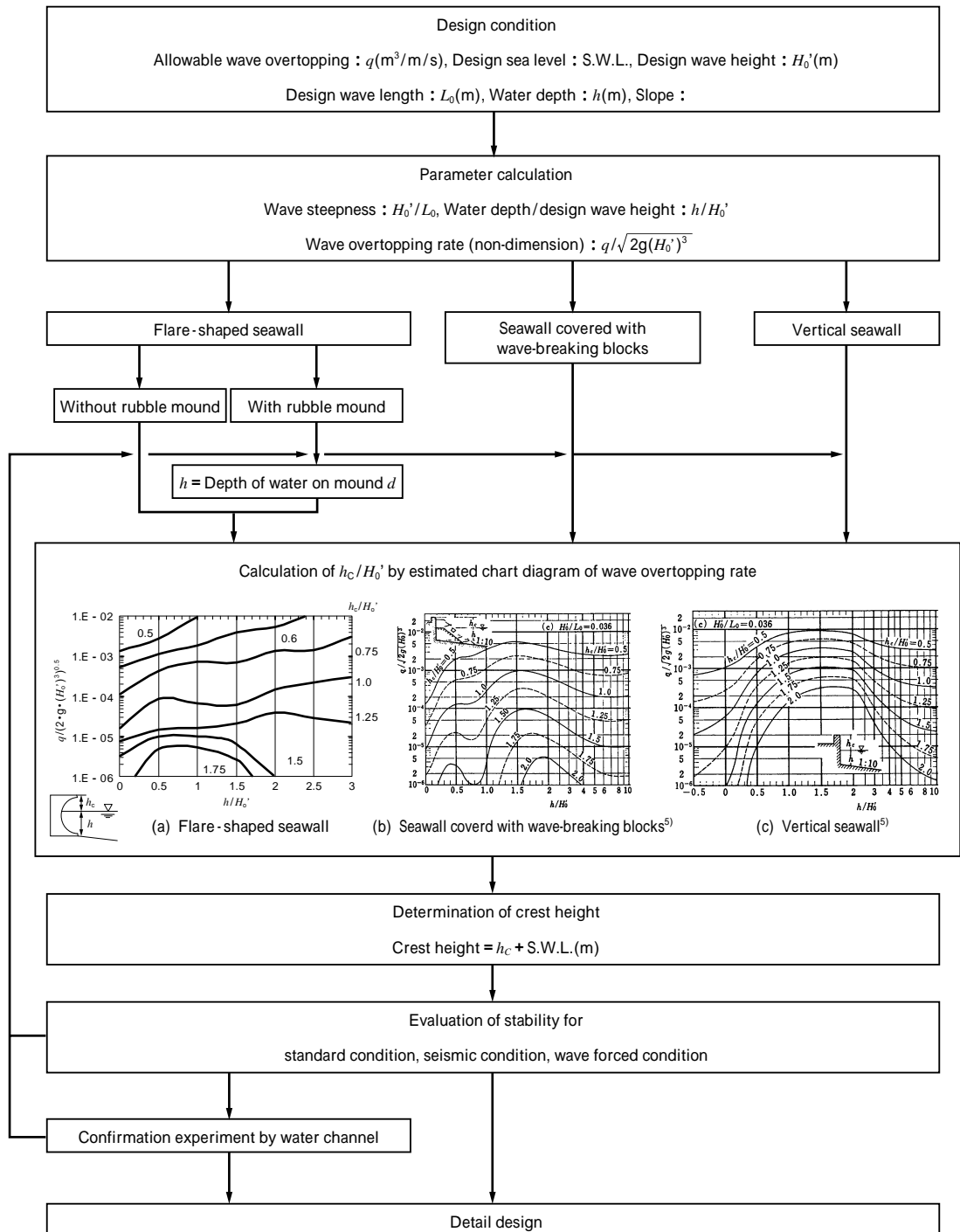


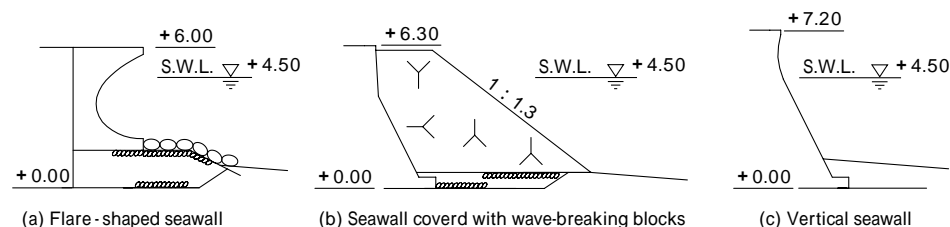
図8 設計フロー
Fig. 8 Design flow chart

表3 試設計
Table 3 Trial design

	Flare - shaped seawall	Seawall covered with wave-breaking blocks	Vertical seawall
Allowable wave overtopping rate	0.01m ³ /m/sec		
Disign sea level	+ 4.5m		
Design wave height	1.95m		
Design wave length	43.3m		
Water depth	4.5m		
Slope	1/10		
Depth of water on mound	2.9m	-	-
Crest height	+ 6.0m	+ 6.3m	+ 7.2m

図9 各工法の断面比較

Fig. 9 Comparison of various cross sections



できることが分かる。ただし、最終的に断面形状を決定する際には、水槽実験により性能確認を行うことが望ましい。

次に、天端高に着目した試設計を行い、各工法の比較を行う。設計条件及び天端高の算出結果を表3に示す。また、各工法の概略断面を図9に示す。この結果、今回の設計条件においては、他の工法に比べフレア護岸の天端高を低減できることが分かる。

むすび=本研究では、新型防波護岸（フレア護岸）の越波流量推定線図を作成し、捨石マウンドの影響を考慮した基本設計手法を提案した。得られた知見は次のとおりである。

- 1) 捨石マウンドがない場合のフレア護岸について、従来の直立護岸・消波ブロック被覆護岸と同じ手法で天端高さを求めることができる越波流量推定線図を示した。
- 2) フレア護岸を捨石マウンド上に設置した場合でも、捨石上設置水深を堤脚水深に置換えることによって、

上記で求めた越波流量推定線図を用いて設計できることを見出した。

- 3) 設計手順をまとめ、試設計により従来工法と比較の結果、フレア護岸の天端高低減の優位性が検証された。最後に、本論文をまとめるにあたり九州大学入江功教授、宮崎大学村上啓介助教授、港湾空港技術研究所海洋・水工部下迫健一郎室長には多くの貴重なご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村上啓介ほか：海岸工学論文集，Vol.43（1996），p.776.
- 2) 市川靖生ほか：海洋開発論文集，Vol.16（2000），p.251.
- 3) 片岡保人ほか：海洋開発論文集，Vol.17（2001），p.61.
- 4) 三田村浩ほか：土木学会第56回年次学術講演会，（2001），p.594.
- 5) 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，（1999）.