

別府港海岸における透水性二重護岸の越波特性の検討

長澤大次郎*・岸良安治**・高山知司***
梅崎康浩****・久米英輝*****

* 前(財)沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
** (財)沿岸技術研究センター 調査役
*** (財)沿岸技術研究センター 参与
**** 国土交通省 九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所長
***** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所長

別府港海岸上人ヶ浜地区南部において整備を検討している透水性二重護岸について、CADMAS-SURF(数値波動水路)による数値解析を実施し、水理模型実験との比較を行ってその精度の検証を行った。さらに、護岸透水部の構造を変化させた場合について数値解析を行い、透水性二重護岸の構造による越波特性の変化を明らかにした。
キーワード: CADMAS-SURF, 数値波動水路, 二重護岸, 透水性, 透過, 越波, 潜堤, 別府港海岸

1. はじめに

本論文は、平成21年度別府港海岸(上人ヶ浜地区)技術検討業務¹⁾において、上人ヶ浜地区南部の整備案として検討している透水性二重護岸の越波特性について、CADMAS-SURF(数値波動水路)^{3), 4)}による検討を行ったものである。別途実施の越波に関する水理模型実験(平成21年度 別府港海岸水理特性調査²⁾)と比較を行うことによってCADMAS-SURFによる解析の妥当性を検証した。さらに、透水性二重護岸の構造を変化させた場合について、数値解析によって越波特性の変化を調べた。

2. 別府港海岸上人ヶ浜地区の海岸整備

2.1 上人ヶ浜地区の現況

上人ヶ浜地区は別府港海岸の北側に位置し、その南側には自然海岸の上人ヶ浜公園が隣接している。上人ヶ浜地区の海岸は、消波ブロック被覆護岸になっているが、海岸が遠浅であるために干潮時には自然海浜が現れ、隣接する上人ヶ浜公園とともに市民が海と接することができる自然豊かな海岸である(写真-1)。

特に南部の円形テラスがあるエリアは、市民が自由に



写真-1 上人ヶ浜地区周辺¹⁾

アクセスでき、公園とも隣接しており、海とのつながりが深い場所になっている(写真-2)。



写真-2 南部円形テラス¹⁾

2.2 海岸整備計画の概要

上人ヶ浜地区の海岸整備計画は、高潮時の護岸背後への越波流量を $0.01\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ 以下に抑える整備であり、地元関係者および専門家による検討会に加え、ワークショップ等による住民の意向も踏まえて整備案が検討された。その結果、護岸は現況のまま新たに潜堤を設けることを基本とするが、南部円形テラスエリアについては波浪状況、環境、景観、利用および施工を考慮し、潜堤および二重護岸を併用する整備案が選定された。

なお、二重護岸の水たたき部の構造は、平成21年度に実施した実験によって透水性とすることが優位であると判明した²⁾。しかし、水たたき部を全面透水性にするとパラペットの安定性が保てないため、図-1に示すように水たたき部の一部をパラペットと一体化した¹⁾。

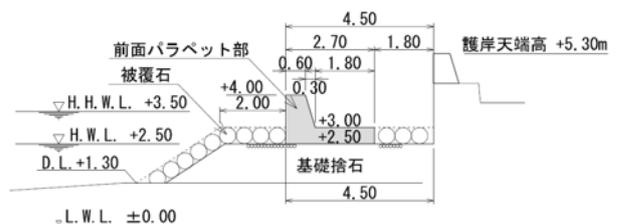


図-1 透水性二重護岸の構造¹⁾

3. 透水性二重護岸の越波特性の検討

現況護岸と二重護岸の基本断面に関して水理模型実験を実施し、波浪変形と越波量の特性を調べた。そして、水理模型実験と同じ構造条件に関して CADMAS-SURF によって越波量を計算し、実験値と比較して数値計算の精度を検証したのち、護岸構造を変えた場合の計算を行い、越波量の変化特性を調べた。

3.1 水理模型実験の概要

(1) 実験水路および縮尺

実験に用いた水路は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所が所有する長さ 50.0m×幅 1.0m×高さ 1.5m の造波二次元水路で、縮尺は 1/20 とした。

(2) 実験条件 (<>内は模型値)

実験条件としては、越波に対して最も厳しくなる以下の設計条件を用いた。

- ・波高 : $H_0' = 3.3 \text{ m} < 16.5 \text{ cm}$
- ・周期 : $T_0 = 7.2 \text{ s} < 1.61 \text{ s}$
- ・潮位 : H. H. W. L. = D. L. + 3.50 m

(4) 検討断面

海底地形は、上人ヶ浜南部を模擬した海底勾配(1/75 および 1/20)とした(図-2)。

潜堤および護岸構造は、潜堤なしで消波ブロック護岸の現況護岸(写真-3)、潜堤(天端高 DL-1.0m, 天端幅 30m)と水たたき部が不透水の二重護岸の併用(写真-4)、更に潜堤と水たたき部が透水性の二重護岸併用(写真-5)の3ケースを検討の対象とした。

なお、実験ケースは他にもあるが、本論文において CADMAS-SURF と比較するケースのみ記述した。

(4) 計測項目、計測時間および実験回数

- ・計測項目 : 越波量と波高(4箇所)
- ・計測時間(波数) : 不規則波 1,500 秒(約 1,000 波)
- ・実験回数 : 異なる 3 波群/ケース

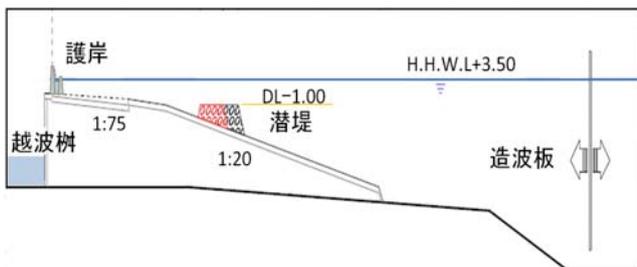


図-2 造波二次元水路断面図²⁾



写真-3 消波ブロック護岸(現況)の模型²⁾

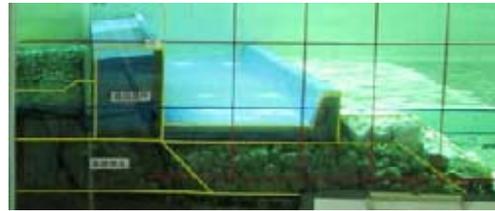


写真-4 二重護岸(透水性なし)の模型²⁾

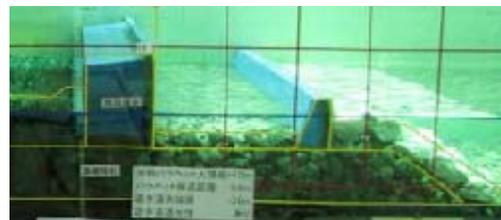


写真-5 二重護岸(透水性あり)の模型²⁾

3.2 CADMAS-SURF による数値解析

(1) 解析条件

- ・使用プログラム : CADMAS-SURF V5.1
- ・解析モデル : 水理模型実験と同じ縮尺(1/20)で造波二次元水路全体のモデルを作成した。解析モデルでは適切に造波位置を設定し、護岸背後に越波枒を設けて越波量を計測できるようにした。解析に用いた主な設定値を表-1 に示す。
- ・波浪条件および潮位 : 模型実験と同じ条件とした。ただし、解析回数は1回とした(不規則波1種)。
- ・解析時間 : 372 秒(検討では水路内の波が安定するまでの最初の 50 秒をカットして、50~372 秒の 322 秒(200 波)を使用した)。

表-1 解析モデルの設定値

項目	設定値	
格子間隔	X方向	0.04~0.01 m
	Z方向	0.04~0.01~0.0075 m
時間間隔	AUTO	下限値 10^{-5} s
ポーラス	空隙率	0.4(潜堤沖側) 0.5(潜堤岸側, 消波ブロック, 護岸透水部)
	Cd	0.9
	Cm	1.5
水位計測	計測間隔	0.1 s
	計測箇所	波高計21箇所および越波枒内の全格子

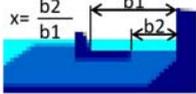
(2) 解析ケース

解析ケースは、実験と同じ構造条件のケースとして現況①、二重護岸の水たたき部が全面不透過⑧-1と全面透過⑧-3の3ケースおよび実験を補間するケースとして水たたき部の透過性を変化させた5ケース⑧(1/16)、⑧(1/8)、⑧(1/4)、⑧(1/2)、⑧(3/4)の合計8ケースとした(表-2)。

表-2 解析ケース

No.	潜堤(*1)	護岸	x (*2)	実験
①	なし(現況)	消波ブロック(現況)	—	○
⑧-1	30m	二重護岸(不透過)	0.0000	○
⑧(1/16)	30m	二重護岸(1/16透過)	0.0625	—
⑧(1/8)	30m	二重護岸(1/8透過)	0.1250	—
⑧(1/4)	30m	二重護岸(1/4透過)	0.2500	—
⑧(1/2)	30m	二重護岸(1/2透過)	0.5000	—
⑧(3/4)	30m	二重護岸(3/4透過)	0.7500	—
⑧-3	30m	二重護岸(透過)	1.0000	○

*1: 潜堤の数値は岸沖方向の天端幅.
*2: x は二重護岸水たたき部の平面開口率(右図).



(3) 解析結果(波浪変形状況)

CADMAS-SURF は、計算結果を得るだけでなく波浪変形や流速等を視覚的に確認することができるため、結果の妥当性や最適構造の選定を行う上で参考にした。

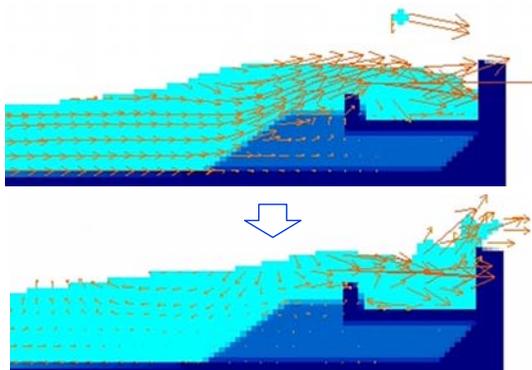


図-3 護岸部の越波状況(不透過,⑧-1)

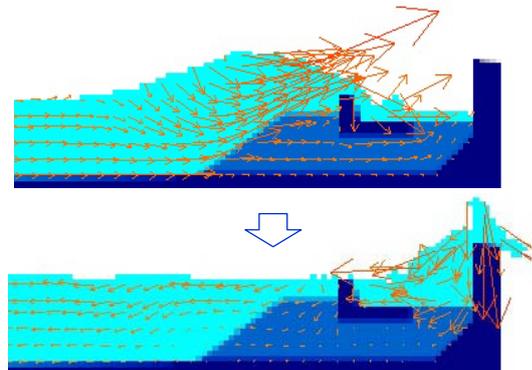


図-4 護岸部の越波状況(透過あり,⑧(1/2))

図-3 および図-4 に護岸部の越波状況の例を示す(護岸の濃淡は透水性の有無, 黄色矢印は流速ベクトルを示す)。

二重護岸の水たたき部が不透過の場合は、引き波時も水たたき部に水が溜まっているため、前面パラペットを超えてくる波が溜まっていた水の上に乗り上げて、護岸を越波するようになる(ケース⑧-1, 図-3)。

水たたき部に透水性がある場合は、引き波時に水たたき部の水位が下がるため、前面パラペットを超えた波は水たたき部に溜まった後に後部護岸を越波することになるために、越波量は少なくなると推測される(ケース⑧(1/2), 図-4)。

水たたき部が不透過の場合と透過である場合の越波量を比較すると、透過がある場合の越波量は半減する結果となった(次項3.3参照)。これは、護岸断面内(基礎捨石部)の流れによる波のエネルギーの減衰と、水たたき部の水の滞留の違いによると考えられる。

(4) 越波量の算定

越波量は越波桝に溜まった水量から求めた。図-5 にケース⑧-3 の時刻 136~176 秒における護岸前面(護岸手前1m(現地20m))の水位および越波量の時間変化を示す。これを見ると、越波は図-5において↑印で示す箇所のように長周期の水位上昇(サーフビート)を伴う場合に生じていることが分かる。

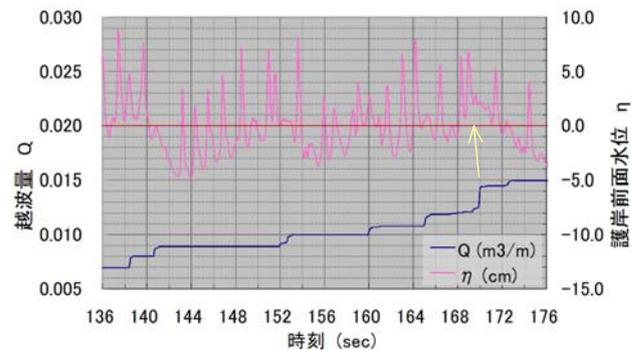


図-5 護岸前面水位および越波量(⑧-3)

3.3 越波流量の算定

越波流量は、越波量(越波桝に溜まった水量)を計測時間で除して、単位幅・単位時間当たりの値として求めている。計測時間および回数は、実験では1500秒(約1000波)で異なる波群について3回、数値解析では50~372秒の322秒(200波)の1回とした。

図-6 に実験(3回の平均値)および数値解析において求めた越波流量を現地換算値にして整理したものを示す。これを見ると、実験値と計算値は両者の誤差が±10%程度と、概ね一致しており、今回の数値解析は妥当であると考えられる。また、同様に計算した実験を補間する解析ケースにおいても妥当な計算結果が得られていると考えている。

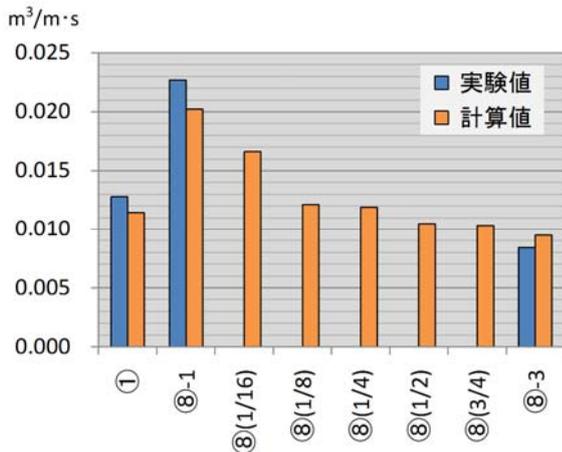


図-6 越波流量(現地換算値)

3.4 透水性二重護岸の越波特性の検討

二重護岸の場合、越波流量の低減から判断すると、実験と数値計算によって水たたき部を透水性にすることの妥当性が明らかとなった。さらに、透水性の水たたき部の長さを変化させた越波計算を行って、越波流量に対する透水部の影響を調べた。

図-7 に縦軸を越波流量(現地換算値)、横軸を水たたき部の長さに対する透水部の長さの比を平面開口率 x として整理している。これを見ると、 $x=0.5$ 程度までは越波流量は指数関数的に低減しているが、 $x>0.5$ では線形的に低減している。言い換えると、水たたき部の透過性を必要以上に大きくしても越波量の低減効果は小さいといえる。

また、越波流量と x との関係は図中に示すような指数

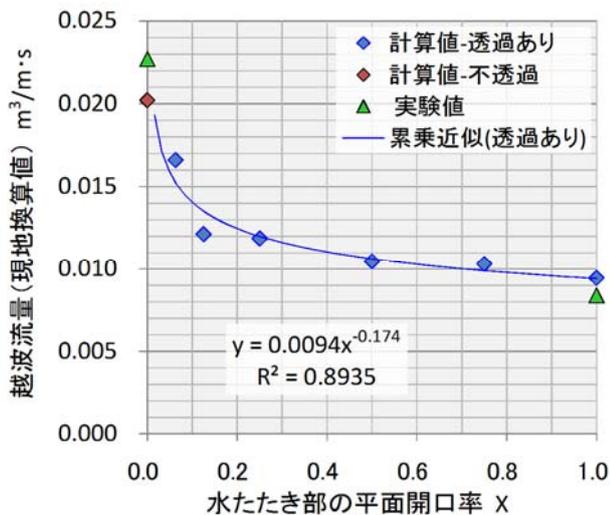


図-7 二重護岸の透過と越波流量

関数になっている (図-7 実線)。

透水性二重護岸における越波量の低減を考える場合、越波する水の流れを考慮すると、後面パラペットに波返しを設けることが有効であると推測される。

これは、図-4 に示したように、前面パラペットを超えた水流が後面パラペットに当たり上下方向に分流し、この上方向の水流の一部がその落下時に越流し越波になる特徴があるためである。そのため、波返しの構造は小さなものでも越波低減に効果があると思われる。図-8 に後

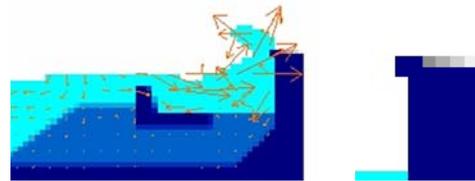


図-8 透水性二重護岸の波返し構造の例

面パラペット上部に矩形突起を設けた例を示す。

4. おわりに(まとめ)

- ・二重護岸の水たたき部を透水性にすることによって越波流量は大きく低減する。これは、水たたき部の水が基礎捨石を通して沖合に流出する効果によって水たたき部の水位が低下することによると考えられる。
- ・越波流量の低減は透水性の幅に対して指数関数的であるため、透水性幅がある程度以上になるとその効果が低減する。
- ・本検討における CADMAS-SURF による数値解析は、実験結果との整合性は確認できたが、ポラス値の設定や解析の安定性等の検証が十分ではない。今後はそれらの課題を検証し、精度向上を図る必要がある。

5. 補足

- ・透水性二重護岸の波返し構造の具体的な効果については別途検討する。
- ・平成 22 年度から行う平面実験により、水たたき部の不透過と透過および 3 次元の影響について確認することとしている。

本論文の作成に当っては別府港海岸に関する調査業務の資料を参照させていただいた。これに係った諸氏に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 別府港湾・空港整備事務所:平成 21 年度 別府港海岸(上人ヶ浜地区)技術検討業務報告書:2010
- 2) 下関港湾空港技術調査事務所:平成 21 年度 別府港海岸水理特性調査報告書:2010
- 3) (財)沿岸技術研究センター:CADMAS-SURF 実務計算事例集, 沿岸技術ライブラリーNo. 30:2008
- 4) (財)沿岸技術研究センター:数値波動水路の研究・開発 (CADMAS-SURF), 沿岸技術ライブラリーNo12:2001