

横スリット型曲面護岸の越波に関する基礎的研究

河野 二夫*・高野 重利**・河野 文俊***・宮下 充****

1. はじめに

近年，ウォーターフロント構想が実現されつつある中で海岸の景観や利用の面から低天端親水護岸方式が要請される傾向にあるが防災上は越波や護岸による波の打上げ高さ，およびその飛散分布による背後地の被災が大きな社会問題になっている．宮崎空港では滑走路を海上に600m 延伸したが台風やうねりによる波の打上げ高さは護岸天端上 20～30m にもなることから航空機の運航に支障をきたしていた（運輸省宮崎港工事々務所，1989）．これらの問題に関連して1963年頃から各種消波護岸の研究がなされている．谷本ら（1979，1987，1988）は景観面と堤体自体の耐波安定性に注目した曲面形式（半円形）の防波堤や護岸を提案し，これらに作用する波力や反射率に関する研究を行っている．本研究で提案するモデルは谷本らのものと同様の四分円形断面護岸であるが，研究目的は景観上優れているモデルの波の打上げ高さに対する水理的な有利性を明らかにすることと，曲面護岸の場合に予想される越波量の増加量を低減するために護岸曲面に横スリットを設けた場合の越波量低減効果に関して主に実験的に検討することである．本文は以上の研究結果を明らかにしている．

2. 実験装置と実験内容

実験は宮崎港マリーナ護岸設置計画に関連して行なったもので，図-1 に示す現地海底斜面（ $S=61$ と 110 の2種類）の模型をコンクリート二次元造波水槽（長さ30m，高さ1m，幅1.2m）の中に製作し，その斜面水路上で造波板から約23mの位置に上記護岸モデルを固定し規則波を作用した場合の護岸による波の打上げ高さや越波量を計測すると同時に，直立壁を固定した場合の同様の実験を行って結果を比較検討した．

次に写真-1 に示すように護岸の曲面上に長さ10cm，幅1.5cmの横スリットを5cm 間隔に設けた場合の越波量の低減効果と波の打上げ高さについて実験を行ない

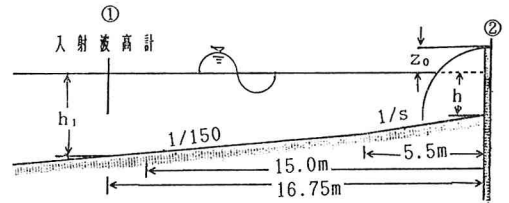


図-1 海底断面形状と四分円形護岸断面形状

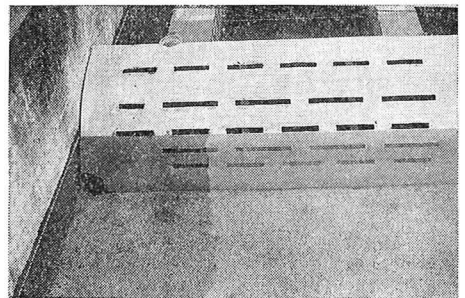


写真-1 護岸表面のスリット形状

表-1 実験の諸元

模 型		A	B	C	D
天 端 水 深	Z_0 (cm)	11.75	9.35	11.75	9.35
護岸前面水深	h (cm)	19.25	21.65	23.25	25.65
護岸前面海底勾配	$1/S$	1/61	1/61	1/110	1/110
入射波計測点水深	h_i (cm)	35.75	38.18	35.75	38.15
天 端 水 深 比	Z_0/h	0.61	0.43	0.51	0.36

横スリットの効果について検討を行なった．越波量は護岸背後に設けた採水装置（幅 50cm，深さ 15cm）に造波後4～5波目から越流させた3～4波の流入水量をメスシリンダーに移しかえて計量し1周期の波に対する平均越波量を求めた．なお，採水装置は上部に幅60cmの厚みの薄い蓋が置いてあって採水時だけは取り外すようになっている．図-1の中の見号で①と②は入射波および護岸による波の打上げ高さを計測するための容量式波高計である．表-1に実験の諸元を示した．

3. 無次元越波量の提案式

無次元越波量はせきの越流公式を適用した吉川・椎貝・

* 正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 宮崎大学教官 工学部土木工学科

*** 宮崎大学学生 工学部土木工学科

**** 宮崎大学大学院 工学研究科

河野の算定式 (1967) を応用した。この式に用いている波高 (H_0) は入射波の計測点での波高であるので、これを碎波の場合も考慮して堤前波高 (護岸を仮想した場所での波高) H で置き換え、その H の値を換算沖波波高 (H_0') で無次元化した値に合田の碎波指標 (1970) と佐々木・佐伯の碎波後の波高算定図 (1974) から読み取った値を用いることにより堤前波が碎波している場合の越波量も考慮した算定式を提案した。

(1) 非碎波の場合の堤前波高

図-1 に示すように、堤前水深を h 、波数を k とすると浅水変形だけを考えた場合の波高変化率 (H/H_0) は次式で与えられる。

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{2}{2kh + \sinh 2kh}} \cdot \cosh kh \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$kh \cdot \tanh kh = 2\pi \frac{h}{H_0'} \cdot \frac{H_0'}{L_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 L_0 は沖波波長である。

(2) 碎波後の堤前波高

合田の碎波指標により (H_0'/L_0) の値に対応する碎波水深比 (h_b/H_0') と碎波波高比 (H_b/H_0') の値を海底勾配 (1/S) ごとに読み取った。ここで、 h_b と H_b は碎波水深と碎波波高である。他方、碎波後の波と碎波との関係は佐々木らの実験結果から碎波水深比 (h/h_b) と碎波波高比 (H/H_b) を海底勾配ごとに読み取った。

これらの読み取った数値は表に示してある (1992)。以上の結果を組み合わせると (H/H_0') と (h/H_0') の関係が相当沖波波形勾配 (H_0'/L_0) をパラメーターとして図-2 のように得られる。ただし、図-2 には浅水変形の場合も示めされてある。

(3) 無次元越波量

吉川・椎貝・河野による無次元越波量 ($\bar{Q}$) は波高として堤前波高 (H) を用いると式 (3), (4) に変換され

る。この式で、 T : 周期、 B : 護岸の幅 (法線方向の長さ)、 g : 重力の加速度、 m : 越流係数 (0.5)、 k : 実験的比例定数、 z_0 : 静水面よりの護岸天端高さ、 Q : 護岸の長さ B に対する 1 周期当りの越波量である。

$$\bar{Q} = \frac{Q}{TBH_0'\sqrt{2gH_0'}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{2}{15} m \left(k \cdot \frac{H}{H_0'} \right)^{3/2} \left\{ 1 - \frac{z_0/h \cdot h/H_0'}{k \cdot H/H_0'} \right\}^{5/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

碎波や非碎波にかかわらず、天端水深比 (z_0/h) の与えられた条件に対し (H_0'/L_0) と (h/H_0') の値が与えられると図-2 から (H/H_0') の値が得られるので、これらの値を式 (4) の右辺に代入すると比例係数 k を適当に選択することで無次元越波量 ($\bar{Q}$) の理論値が算定できる。式 (3) は実験値に対応する。

4. 実験結果と考察

(1) 波の打上げ高さ

図-3~図-7 には四分円形断面護岸の波の打上げ高さ (R) に対する実験結果を示した。図中に示した A, B, C, D は表-1 に示した模型の条件に対応する。図-3~図-5 は護岸法面の条件を同一にした場合である。図によると模型 B, D の場合が A, C の模型の場合の波の打上げ高より大きい。このことは護岸天端水深比 (z_0/h) が小さいと打上げ高は増大することを示している。また、護岸曲面にスリットを設けない場合は波形勾配が 0.02~0.03 付近で打上げ高さは最大になるが、スリットを設けた場合は波形勾配の減少に伴って若干増大する。スリットを設けた場合はスリット部からの流出水が越流水に何らの影響を及ぼしていると推測される。

図-6~図-7 はスリットによる打上げ高の影響を示したものである。全体的には横スリットを設けると、前述の様に波形勾配が 0.03 付近から減少するのに伴って打上げ高さは若干増加する傾向にある。以上の実験結果によると、四分円形護岸による波の打上げ高さは相当沖波波高 (H_0') の約 0.4~0.5 倍以下にしかないこと

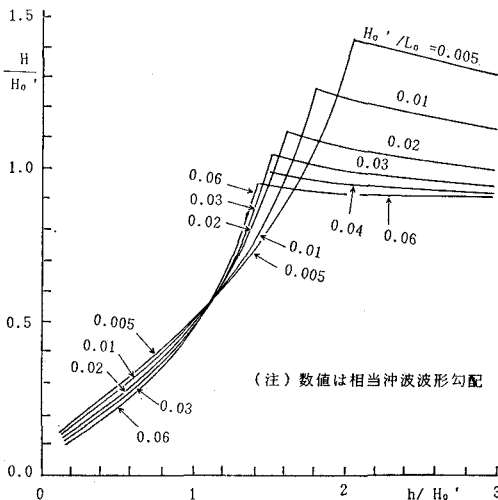


図-2 護岸堤前波高 (海底勾配 1/50)

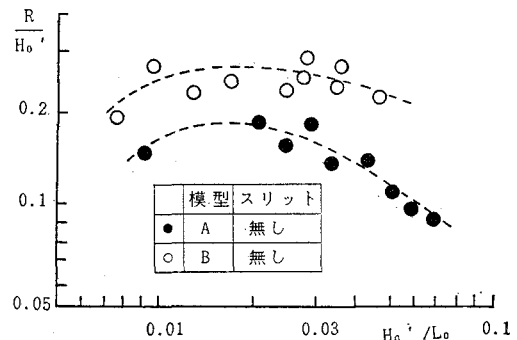


図-3 四分円形護岸の波の打上げ高さ

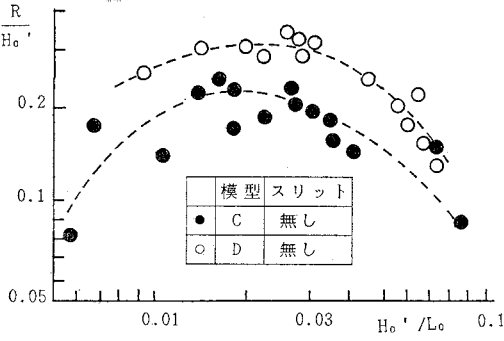


図-4 四分円形護岸の波の打上げ高さ

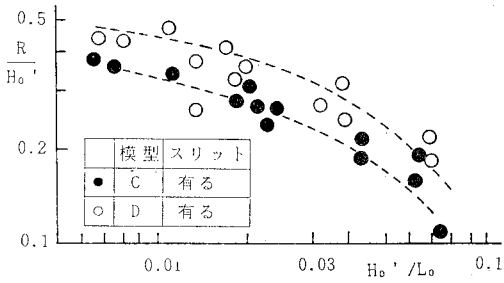


図-5 四分円形護岸の波の打上げ高さ

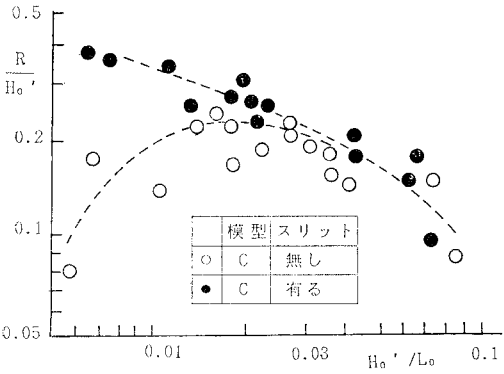


図-6 四分円形護岸の波の打上げ高さ

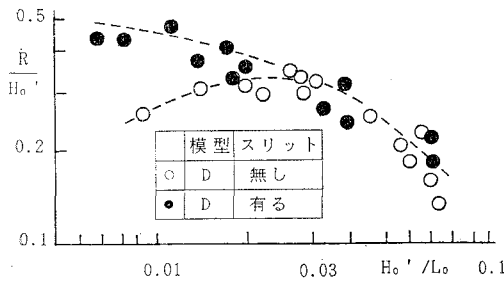


図-7 四分円形護岸の波の打上げ高さ

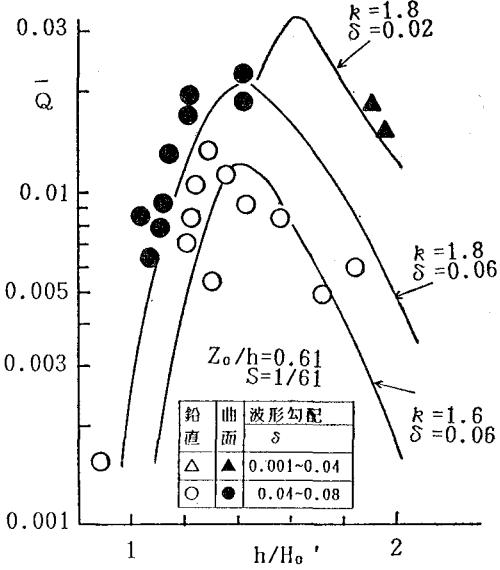


図-8 越波量の比較 (模型: A)

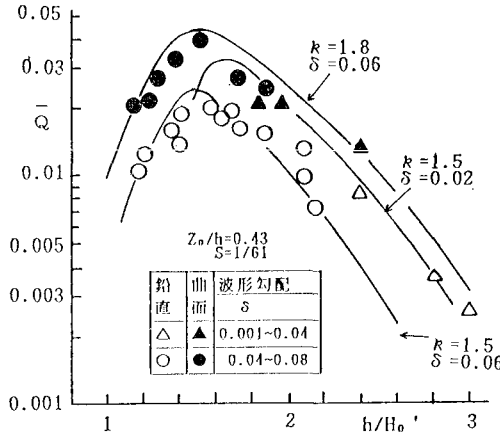


図-9 越波量の比較 (模型: B)

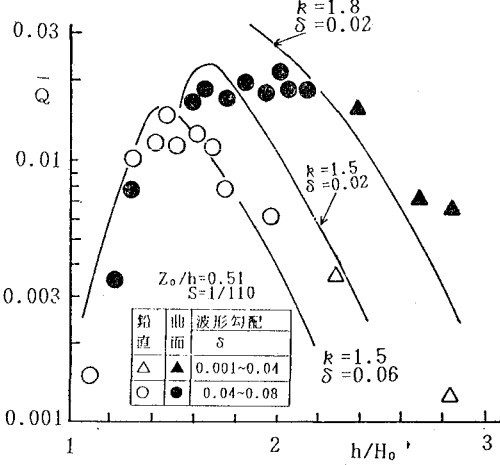


図-10 越波量の比較 (模型: C)

が認められる。この事実は目視観測でも確認されるが、鉛直型の場合は相当な打上げ現象が認められる場合でも同一条件で四分円形断面にすると波の打上げよりは越流と云った言葉が適切と云える状況になる。なお、図中の H_0' の値は計測点の入射波高に対し式 (1) に対応する関係式を用いて逆算して求めたものである。

(2) 越波量

図-8～図-10 には式 (4) による越波量の計算値と式 (3) によって実測値を整理した無次元越波量の比較が示してある。また、図-11 には鉛直護岸と四分円形護岸(スリットのある場合と無い場合)による無次元越波量の比較を示してある。図-12～図-13 には四分円形護岸でスリットの有無による越波量の比較を示してある。図-8～図-10 による鉛直護岸の場合は計算値と実測値は比較的良好に一致しているが、四分円形護岸の場合は (h/H_0') の値が増加するに従って実験的比例係数 k の値が一定値にならず大きな値になる。とくに、海底勾配 $(1/S)$ が小さい程上記の傾向は大きい。図-8～図-10 はスリットを設けない場合であるので k の値の変動は堤前波の特性に基因する部分が大きいと推測される。すなわ

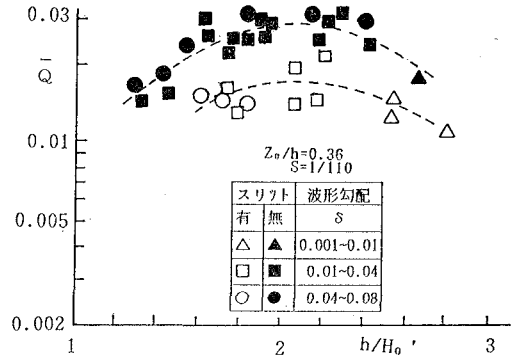


図-13 越波量の比較 (スリットの影響)

ち、越波量算定に用いた堤前波高は海底勾配が $1/50$ の場合であるが、実験で海底勾配を $1/61$ とした場合の越波量は海底勾配を $1/110$ とした場合 (図-10) に比較して計算値と一致している。

図-11 によると鉛直堤の場合に比較して四分円形護岸の場合はスリットがなければ越波量は相当に増加するけれども、スリットを設けると鉛直堤の場合と同程度かまたは若干小さい値になる。図-12～図-13 はスリットが越波量に及ぼす効果について調べたものであるが、最大越波量付近でスリットの効果が大きいことが認められる。また、天端水深比 (z_0/h) による差はほとんど認められない。

5. 結 び

以上の研究結果から四分円形護岸の波の打上げ高さや越波量について次のことが結論される。

- 1) 四分円形断面護岸の波の打上げ高さは相当沖波波高の約 $0.4 \sim 0.5$ 倍以下である。
- 2) 四分円形断面護岸でスリットのない場合の波の打上げ高さは相当沖波波形状配が $0.02 \sim 0.03$ 付近に最大値が存在するが、スリットを設けると波形状配の減少に伴って波の打上げ高さは若干増加する。
- 3) 天端水深比 (z_0/h) の小さい方が波の打上げ高さは大きい。
- 4) 計算に用いた海底勾配が実験の海底勾配にほぼ一致する場合の堤前波高を用いて計算した越波量は実験値と比較的一致する。
- 5) 四分円形断面護岸でスリットのない場合の越波量は鉛直堤の場合に比較してかなり大きいですが、四分円形断面の表面に横 (水平) スリットを設けると鉛直堤の場合の越波量と同程度かそれ以下に減少する。

参 考 文 献

岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫 (1963): 由比海岸堤防の越波に関する模型実験, 第10 海岸工学講演会講演集, pp. 132-137.

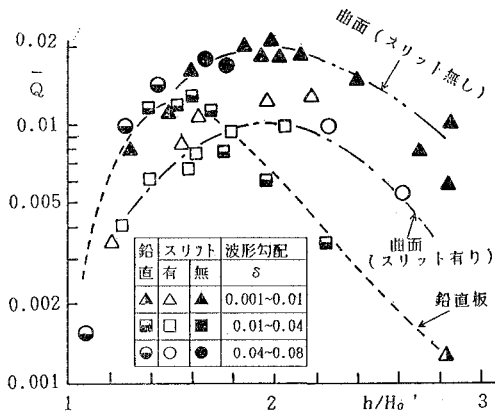


図-11 越波量の比較 (鉛直護岸と四分円護岸)

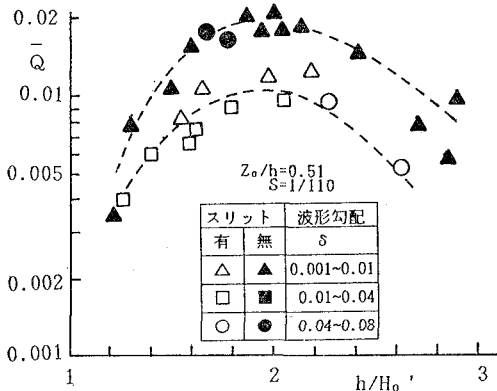


図-12 越波量の比較 (スリットの影響)

- 運輸省第四港湾建設局宮崎港工事々務所 (1989): 宮崎空港の越波対策について, pp. 1-11.
- 河野二夫・高野重利・宮下 充 (1992): 宮崎港マリーナ護岸の越波特性, 自然災害科学研究西部地区部会報, 第15号 (印刷中).
- 合田良実 (1970): 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第180号, pp. 39-49.
- 佐々木幹夫・佐伯 浩 (1974): 砕波後の波の変形に関する研究, 第21回海岸工学講演会講演集, pp. 39-44.
- 谷本勝利・原中祐人・大里達男 (1979): 曲面スリット堤の反射特性について, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 323-327.
- 谷本勝利・吉本晴俊・滑川伸孝・石丸敬純 (1987): 半円形ケーソン堤の水理特性と設計波力, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 551-555.
- 谷本勝利・滑川伸孝・関本恒浩 (1988): 半円形ケーソン堤の水理特性と設計波力 (その2), 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 662-666.
- 吉川秀夫・椎貝博美・河野二夫 (1967): 海岸堤防の越波に関する基礎的研究, 第14回海岸工学講演会講演集, pp. 118-122.
-