

海岸堤防・護岸の断面形状と越波量との関係

高田 彰*・吉田吉治**・藤川浩生***

1. ま え が き

海岸堤防・護岸の防災機能と安全性はその断面形状と密接な関係がある。越波を防止することあるいは同一越波量・許容越波流量に対して天端高を低くできるような断面形状を見出すことが今日の強い社会的要請の一つであり、設計者の重要な目標の一つでもあろう。

海岸堤防・護岸の断面形状は一般に複合断面が多いが、堤脚水深が砕波水深より浅い領域の複合断面のうちあげ特性は Saville の仮想勾配法 (1958) で代表され^{1),2)}、砕波水深より深い領域の複合断面については Hunt の平均勾配法 (1959)³⁾ で代表される。しかし、越波量と複合断面との関係については事例的な研究が多く、いまだ十分体系づけられていないようである。

そこで、本研究は海岸堤防・護岸の断面形状に着目し、越波量との関係を実験的に明らかにしようとしたものであり、昨年の海講論文集 (1978) の発表⁴⁾ の続報である。

今回の発表は重複波水深領域の越波に対して消波効果の期待できる berm 形状と berm 幅を見出すことを目的としている。

2. 海岸堤防・護岸の基本断面

複合断面として図-1の形状が基本的に考えられる。

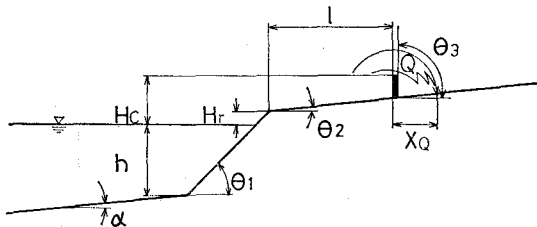


図-1 海岸堤防・護岸の基本断面

この基本断面の一周期・単位幅当りの越波量 Q は次元解析より次のような無次元量で示される。

$$\frac{2\pi Q}{HL} = f_1 \left\{ \frac{H}{L}, \frac{h}{L}, \frac{l}{L}, \frac{H_c}{H}, \alpha, \theta_1, \theta_2, \theta_3 \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 H および L : 堤脚水深 h における進行波の波高および波長、 l : berm 幅、 H_r : berm の高さ、 H_c : パラペットの天端高、 α : 海底傾斜角、 θ_1 : berm の前肩傾斜角、 θ_2 : berm の傾斜角、 θ_3 : パラペットの傾斜角、である。

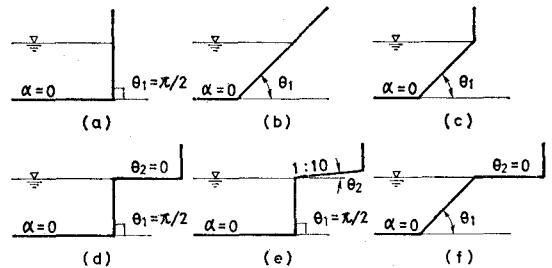


図-2 実験断面

本研究では、図-1において、 $\alpha=0$ 、 $\theta_3=\pi/2$ とし、代表的な基本断面として図-2のタイプ (a)~(f) の6種類の断面をそれぞれ比較検討する。

3. 実験方法

実験条件は、図-1において、 $h=32.3$ cm、 $H=7.8$ cm、 $\alpha=0$ 、 $\theta_3=\pi/2$ と一定にし、実験波は周期 $T=1.2$ sec、 $H=7.5$ cm、 $L=180.9$ cm、とそれぞれ一定にした。したがって $H/L=0.041$ 、 $h/L=0.177$ 、 $h/H=4.28$ 、 $H_c/H=1.04$ となり、実験対象の変化する無次元量は式 (1) より次式のようにになる。

$$\frac{2\pi Q}{HL} = f_2 \left\{ \frac{H_r}{H}, \frac{l}{L}, \theta_1, \theta_2 \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

なお、式 (2) で変化させた物理量は、 $H_r=0, \pm 2, \pm 4$ cm、(－は水面下)、 $\cot \theta_1=0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ および 10 、 $\cot \theta_2=0$ および 10 、 $l=0\sim 80$ cm の間で約 20 種類であり、 $H_r/H=-0.535\sim 0.535$ (－は水面下)、 $l/L=0\sim 0.44$ の範囲の実験である。模型の製作は合板を使用し、表面はラッカーで塗付した滑面である。

* 正 会 員 工博 中部工業大学教授 工学部土木工学科

** 学生会員 工修 中部工業大学大学院 建設工学専攻

*** 工修 (株)熊谷組 海外工事部

4. 実験結果とその考察

(1) 鉛直壁および一様斜面の越波量

著者は、図-2のタイプ(a)および(b)について、すでに図-3のような実験結果を得ている³⁾。これより、重複波水深領域における越波は surging wave と breaking wave の限界付近で最大越波を生じ、その勾配は Miche の値 {碎波を生じる最急勾配の条件式⁶⁾, $H_0/L_0 = (2\theta/\pi)^{1/2} \times (\sin^2 \theta/\pi)$ と Iribarren-Nogales の値 {反射率 0.5 の条件式⁷⁾, $\tan \theta = (8/T)(H/2g)^{1/2}$ } の間に存在することがわかる。

(2) 鉛直 berm (図-2(d) タイプ) の越波量

図-1において、 $\theta_1 = \pi/2$, $\theta_2 = 0$ とした図-2(d) タイプの断面について、 l および H_r と Q との関係が図-4に示される。これより、berm の有効性は H_r と l によって非常に変化し、 H_r が大きいほど Q が小さい。また、berm が効果的な l は $H_r \geq 0$ の場合には $l/L \geq 1/8$, $H_r < 0$ では $l/L \geq 1/5$ を必要とする。しかし、 $H_r \geq 0$ の場合には $l/L = 0 \sim 1/9$, $H_r < 0$ の場合には $l/L = 0 \sim 1/6$ の範囲に逆効果となるような悪い断面の存在が確認できる。

図-5は越波の水平到達距離 X_Q (●印の破線) および越波量 Q (○印の実線) と l との関係を示す。これより、 X_Q と l との関係は Q と l との関係とよく似た傾向を示していることがわかる。

(3) 図-2(e) タイプの越波量

図-6の●印の破線は図-2(e) タイプの実験結果を示しており、図-2(d) タイプ(○印の実線)と比較したものである。これより、 $l/L \leq 1/4$ では berm が水平 ($\theta_2 = 0$) に比べ berm が傾斜 ($\cot \theta_2 = 10$) の方が越波量が多く、berm ($\cot \theta_2$) に勾配をつけることが逆効果であることを示している。しかし、 $l/L > 1/4$ では、berm が傾斜している方が越波量の減少効果の大きいことがわかる。このことは、berm 幅が長くなると θ_2 が傾斜している場合が戻り流れの影響が強くなり、寄せ波の流れを berm 上で抑制するためと考えられる⁸⁾。

(4) 傾斜 berm (図-2(f) タイプ) の越波量

図-7(a) は $\cot \theta_1 = 0 \sim 3$ について、

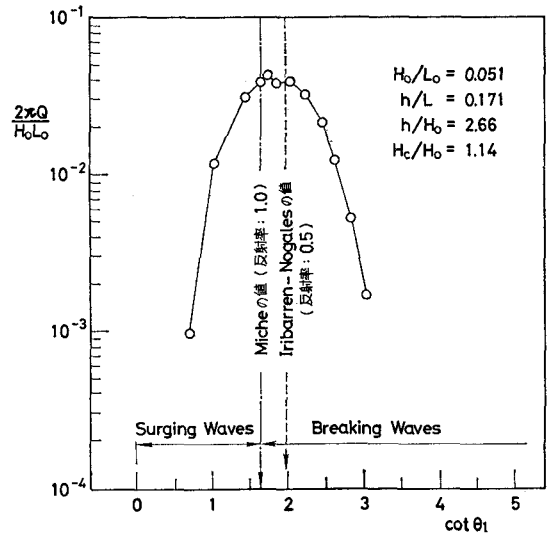


図-3 一様断面 (図-2(a) および (b) タイプ) の越波量

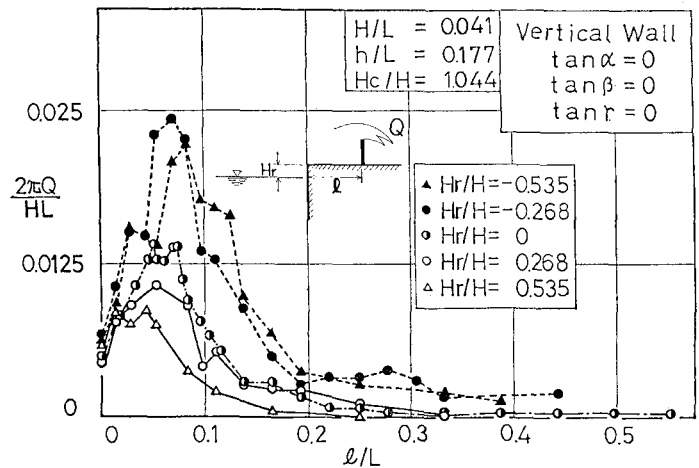


図-4 鉛直 berm (図-2(d) タイプ) の越波量

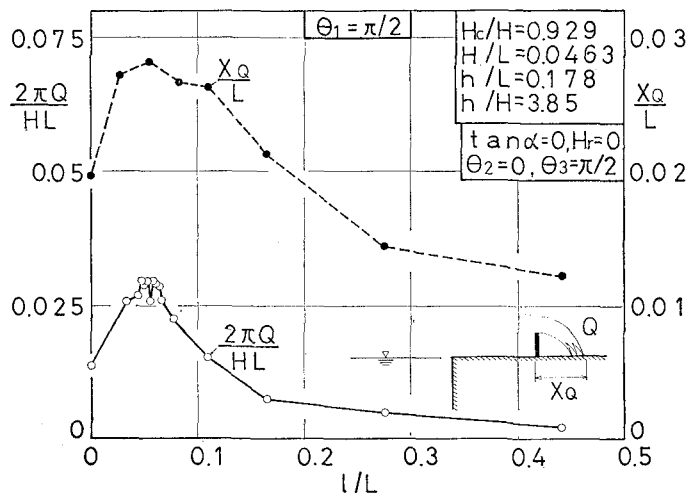


図-5 越波の飛散距離と l/L との関係 (図-2(d) タイプ)

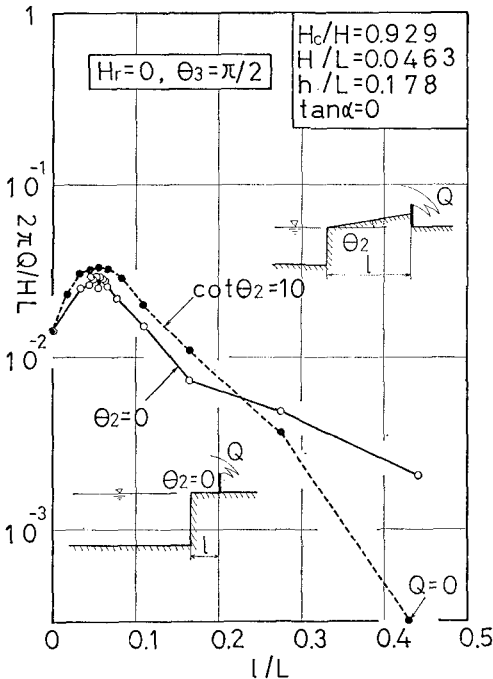
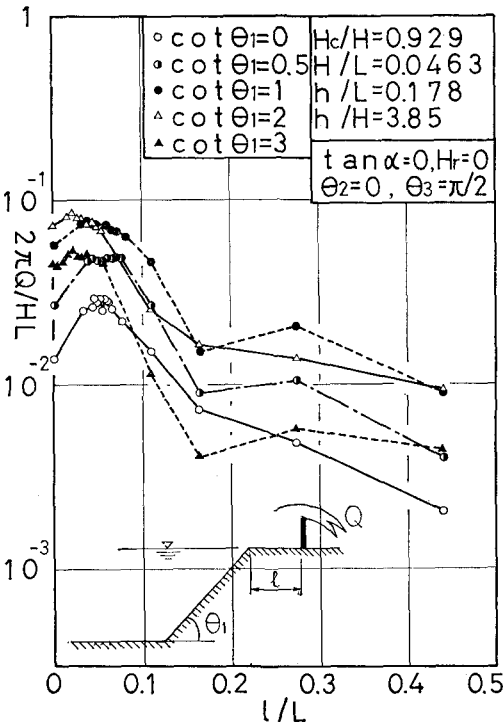

 図-6 $\cot \theta_2$ の影響 (図-2(d) および (e) タイプ)

 (a) $\cot \theta_1 = 0 \sim 3$

図-7 傾斜 berm (図-2(f) タイプ) の越波量

図-7(b) は $\cot \theta_1 = 3 \sim 10$ について l と Q との関係を示す。これらより、比較的急勾配 (ここでは $\cot \theta_1 = 0 \sim 3$) では逆効果となる l が存在するが、比較的緩勾配 (ここでは、 $\cot \theta_1 = 4 \sim 10$) では、berm の存在がすべて

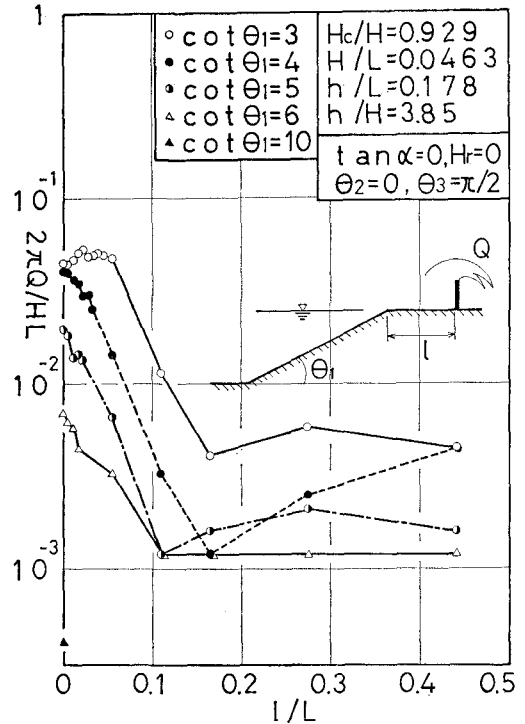

 (b) $\cot \theta_1 = 3 \sim 10$

図-7 傾斜 berm (図-2(f) タイプ) の越波量

有効であることがわかる。また、 $\cot \theta_1 = 0$ の場合に $l/L \geq 1/8$ では l が大きいほど Q の減少効果が大きい、 $\cot \theta_1 > 0$ では $1/2 > l/L \geq 1/6$ において l を長くすることの効果がほとんど現れない傾向にあり、とくに、 θ_1 が小さいほどその傾向にあるといえる。

(5) $Q_{\max}$ および $(l_q)_{\max}$ ($Q_{\max}$ を生じる berm 幅) と $\cot \theta_1$ との関係

図-8 は 図-2(f) タイプの実験結果を示す。これより、 $Q_{\max}$ は $\cot \theta_1 \div 2$ で極大値をとり、 $\cot \theta_1 \geq 4.5$ でないと、 $\cot \theta_1 = 0$ (鉛直壁) の越波量以下にならない。また、 $(l_q)_{\max}$ は $\cot \theta_1 \div 0.5$ で l が極大 ($l/L \div 0.07$) となり、 $\cot \theta_1 \geq 4$ で $(l_q)_{\max} = 0$ となる。

(6) 図-2(c) タイプの越波量 $Q_{l=0}$ および 図-2(f) タイプの最大越波量 $Q_{\max}$ と $\cot \theta_1$ との関係

図-9 は 図-2(c) タイプの $Q_{l=0}$ と $\cot \theta_1$ (●印破線) および 図-2(f) タイプの $Q_{\max}$ と $\cot \theta_1$ (○印実線) の関係を示す。これより、いずれの極大値の場合も発生するのり勾配 (θ_1) が surging wave と breaking wave の境界を理論的に示した Miche の値 (θ_c) とほぼ一致することがわかる。また、 $0 < \cot \theta_1 < 4$ では、 $Q_{\max}$ が $Q_{l=0}$ より大きく、berm タイプの断面に逆効果となるような特異点の存在を指摘できる。一方、 $\cot \theta_1 \geq 4$ では、 $Q_{\max} = Q_{l=0}$ となり、berm の存在が有効であることが

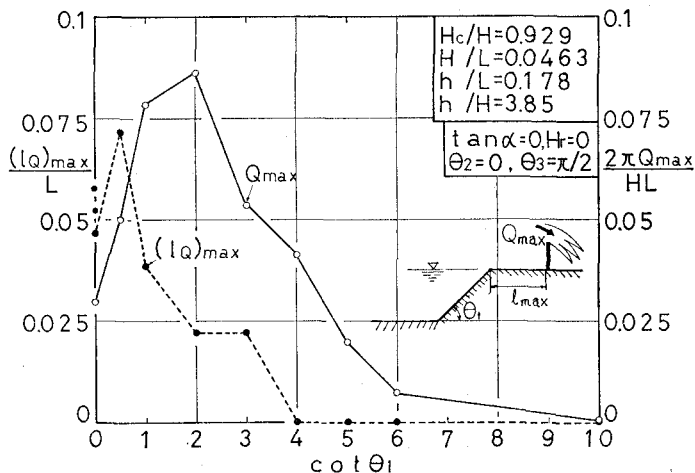


図-8 $Q_{\max}$ および $(lq)_{\max}$ と $\cot \theta_1$ との関係 (図-2(d) および (f) タイプ)

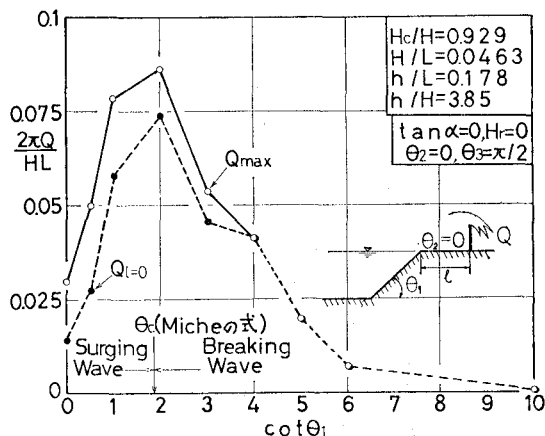


図-9 $Q_{\max}$ および $Q_{l=0}$ と $\cot \theta_1$ との関係 (図-2(c), (d) および (f) タイプ)

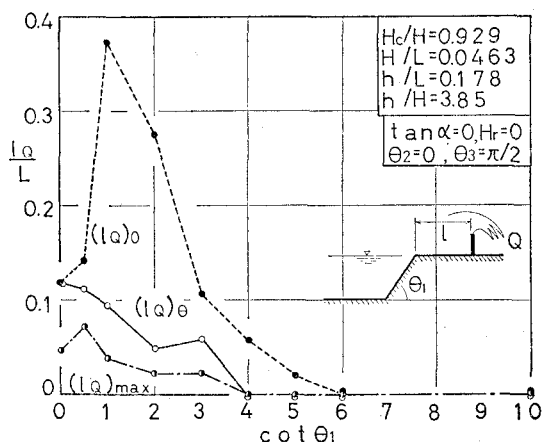


図-10 $(lq)_0$, $(lq)_\theta$ および $(lq)_{\max}$ と $\cot \theta_1$ との関係 (図-2(c), (d) および (f) タイプ)

わかる。

(7) 逆効果の l と $\cot \theta_1$ との関係

図-2(f) タイプにおいて $Q_{\max}$ を生じる l の値を $(lq)_{\max}$ 、鉛直 (図-2(a) タイプ) の越波量と同一の越波量を生じるための l の値を $(lq)_0$ 、berm なし ($l=0$) の図-2(c) タイプの越波量と同一の越波量を生じるための l の値を $(lq)_\theta$ とすれば、 $(lq)_{\max}$, $(lq)_0$ および $(lq)_\theta$ と $\cot \theta_1$ との関係は図-10 に示される。

これより、 $(lq)_0$ は $\cot \theta_1 \div 1$ に極大値 ($(lq)_0/L \div 0.38$) があり、 $\cot \theta_1 \geq 6$ では $(lq)_0=0$ となる。一方、 $(lq)_\theta$ および $(lq)_{\max}$ は $\cot \theta_1$ が大きいほど一般に l の値は小さくなり、 $\cot \theta_1 \geq 4$

では $(lq)_0=0$ となる。以上のことから、 $0 < \cot \theta_1 < 4$ の berm 形状は避けるべきであり、越波防止に効果的な berm 形状は、 $\cot \theta_1=0$ (鉛直) で $l/L \geq 1/6$ あるいは $\cot \theta_1 \geq 6$ (緩勾配) で $l/L > 0$ である。

5. あとがき

重複波水深領域における海岸堤防・護岸の断面形状は越波に大きな影響をおよぼすが、構造物に衝突する波を激しないような断面が望ましい。とくに、パラペット直前で碎波させて流れに変えるような断面は避けるべきである。

本研究のおもな成果は次のとおりである。

- (1) 越波の防止に効果的な berm 形状は $\cot \theta_1=0$ (鉛直) か $\cot \theta_1 \geq 6$ の緩勾配であり、berm 幅は $\cot \theta_1=0$ では $l/L \geq 1/6$, $\cot \theta_1 \geq 6$ では $l/L > 0$ が望ましい。
- (2) berm 上の勾配 ($\cot \theta_2$) は berm 幅 l が比較的小さい ($l/L \leq 1/4$) 場合には水平がよく、長い ($l/L > 1/4$) 場合には傾斜をつけた方が効果的である。
- (3) Surging wave と breaking wave の境界を与えるようなり勾配 {Miche の条件式⁹⁾, $H_0/L_0 = (2\theta/\pi)^{1/2} \cdot \sin^2 \theta/\pi$ 付近あるいは反射率 0.5 前後の値を与えるのり勾配 [たとえば, Iribarren-Nogales の条件式¹⁰⁾, $\tan \theta = (S/T)(H/2g)^{1/2}$ 付近を避けるべきである。
- (4) berm の存在が逆効果となるような berm 形状は、 $0 < \cot \theta_1 < 4$ であり、そのときの l は $\cot \theta_1$ が大きいほど小さいが $l/L < 0.12$ の範囲にある。

謝辞: この研究における実験の大部分は本学の昭和53年度卒業研究学生、浅井茂 (現在、中央電気工事(株)), 大塚勇介 (安田(株)), 金森好成 (徳田建設(株)) の諸氏が熱心に行ったものである。また、図面の作成や清書などに、榊原郁子さん (本学事務職員) の助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Saville, T. Jr.: Wave run-up on shore structures, Trans. ASCE, Vol. 123, pp. 139~150, 1958.
 - 2) 中村 充・佐々木泰雄・山田譲二: 複合断面における波の打ち上げに関する研究, 第19回海講講演集, pp. 309~312, 1972.
 - 3) Hunt, I. A.: Design of seawalls and breakwaters, Proc. ASCE, Vol. 85, No. WW3, pp. 123~152, 1959.
 - 4) 高田 彰・藤川浩生: パラベット後退型護岸のうちあげ, 越波および波圧の特性, 第25回海講論文集, pp. 283~287, 1978.
 - 5) 高田 彰: 波の遡上, 越波および反射の関連性について, 土木学会論文報告集, Vol. 182, pp. 19~30, 1970.
 - 6) 前出 3).
 - 7) 前出 3).
 - 8) 細井正延・石田 昭: 汀線より陸側にある堤防への波のうちあげ, (I), (II): 第12回海講講演集, pp. 168~175, 1965, 土木学会第21回年講集, pp. 76-1~76-2, 1966.
 - 9) 前出 3)
 - 10) 前出 3)
-