

海岸堤防の越波におよぼす消波堤の効果

永井 莊七郎*・高田 彰**

1. 緒 言

海岸堤防および防波護岸の越波量を推定することはそれらの天端高を合理的に設計するうえで重要な事であるが、さらにその越波を防止する工法を考案することは、より一層重要なことと考えられる。例えば、海岸堤防あるいは防波護岸の前面の水深が設計潮位時にはほぼ 2 m 以上であるような場合には、波が大きなエネルギーを持って直接堤防に衝突し、非常に大きな跳波を生ずるので堤防あるいは護岸の天端を設計潮位上相当高くしても多量の越波を防ぐことは一般には困難である。したがって、堤防あるいは防波護岸が陸岸にあるか、または水深が非常に浅い海岸に築造される場合を除いては、堤防天端からの越波を防ぐためには、堤防前面に消波堤を設置して、消波堤によって波のエネルギーの大部分を吸収することが必要である。このことは風洞水槽を用いて行なった多数の実験および最近数年間における現地におけるいくつかの経験によって実証されている^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。

それゆえ、消波用コンクリート ブロックで表面を被覆した消波堤断面の大きさと堤防天端の高さとの関係を波の特性、のり先水深、海底勾配および風などを考慮して定量的に示す目的で種々な実験を行なった。

2. 実験設備および実験方法

実験に使用した風洞付波浪水槽は長さ 23.2 m、幅 1.0 m、高さ 1.0 m の片面ガラス張り水槽で、一端に周期 $T=1.4\sim 3.0$ sec、波高 $H=3\sim 22$ cm を起こしうるフラッター式の造波装置を取り付け、他端に海岸堤防の模型（実物の 1/20）を設置した。水槽の上部は円弧でおおひ、造波装置の上部にある送風機（15 HP）から $V=4.5$ m/sec（現地で $V_p=20$ m/sec）の風を水面に平行に送るようにした。

海岸堤防の模型は図-1 および図-2 に示すように海底勾配 $i=1/40$ と $i=1/10$ で、 $i=1/40$ では海岸堤防を 4 種類、消波堤を 3 種類にして、それらを組み合わせ 6

図-1 海底勾配 $i=1/40$ の実験水路の断面図

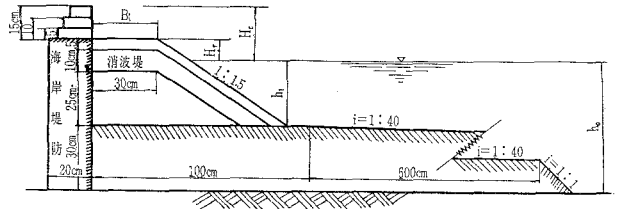
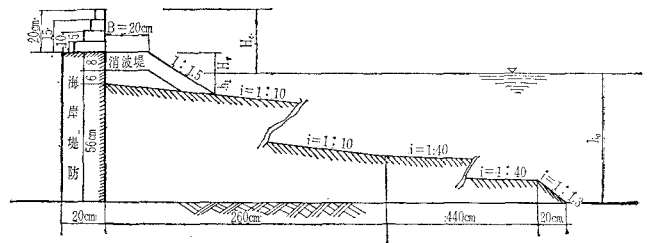


図-2 海底勾配 $i=1/10$ の実験水路の断面図



種類の模型を造った。 $i=1/10$ では海岸堤防を 5 種類、消波堤を 2 種類にして、それらを組み合わせ 7 種類の模型を造った。

実験に用いた波は周期 $T_m=1.4\sim 3.0$ sec（現地で $T_p=6.3\sim 13.4$ sec）、波高 $H_m=3\sim 22$ cm ($H_p=0.6\sim 4.4$ m) に変え、広範囲の H/L および h_i/L が得られるよう組み合わせた。

消波堤ののり先水深 h_i は $i=1/40$ では $(h_i)_m=4\sim 33$ cm, $((h_i)_p=0.8\sim 6.6$ m), $i=1/10$ では $(h_i)_m=2\sim 11$ cm, $((h_i)_p=0.4\sim 2.2$ m) の間で行なった。

越波量の測定は、多いときは 3～5 波の平均、少ないときは 10 波の平均をとって 1 周期の越波量 q_i とした。

風速は $V_m=4.5$ m/sec ($V_p=20$ m/sec) = 一定で、 $\frac{V}{\sqrt{gH}}=3.2\sim 5.8$ の範囲である。

なお、消波堤の勾配は 1:1.5 とし、中空 4 脚ブロック（1 個の重量 250 g、（現地で 2.0 t））を 2 層積にし、中詰捨石は平均粒径 $d_m=2$ cm（現地で $d_p=40$ cm）を用いた。

3. 越波に関係する要素

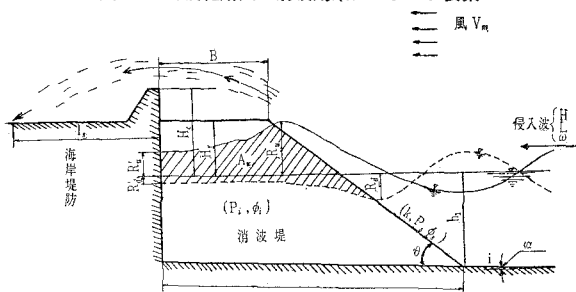
(1) 越波量の無次元表示

海岸堤防および防波護岸の前面に消波堤を築造した場合の越波量 q_i は多くの要素が関係するが、図-3 にも

* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部

** 正会員 大阪市立大学大学院学生

図-3 消波堤断面の消波効果におよぼす要素



示すようにつぎのような要素が考えられる。

a) 風と波の特性

- | | |
|------------------------|-------------------|
| ① V : 風速 | ⑤ ω : 伝播速度 |
| ② H : 侵入波高 | ⑥ g : 重力加速度 |
| ③ L : 波長 | ⑦ ρ : 水の密度 |
| ④ q_0 : 岸側への1周期の移動水量 | ⑧ μ : 水の粘性係数 |

b) 消波堤築造位置の特性

- | |
|--|
| ① h_1 : 消波堤のり先水深 |
| ② i : 海底勾配 (= $\tan \alpha$) |
| ③ l_b : 消波堤のり先から砕波点までの水平距離 (h_b : 砕波水深) |

c) 海岸堤防の特性

- | |
|----------------------------|
| ① H_c : 潮位からパラベット天端までの高さ |
| ② パラベットの形状 |

d) 消波堤の特性

- | |
|--------------------------------------|
| ① H_r : 潮位から消波堤天端までの高さ |
| ② B : 消波堤の天端幅 |
| ③ A_w : 1周期の間に空けきを満たす水量 |
| ④ $\cot \theta$: 消波堤ののり勾配 |
| ⑤ k : 消波堤の表面粗度 |
| ⑥ p_s : 消波堤表面の間げき率 |
| ⑦ ϕ_s : 消波堤表面の間げきの大きさ (間げきの分散度) |
| ⑧ p_i : 消波堤内の空けき率 |
| ⑨ ϕ_i : 消波堤内の空けきの大きさ (空けきの分散度) |
- 以上より1周期の越波量 q_i は次式で示される。

$$q_i = f(V, H, L, q_0, \omega, g, \rho, \mu, h_1, i, l_b, H_c, \text{パラベットの形状}, H_r, B, A_w, \cot \theta, k, p_s, \phi_s, p_i, \phi_i, \text{etc.}) \quad (1)$$

消波堤ののり勾配, 中詰捨石の大きさ, および粗粒率を一定にし, 消波ブロックを特定のブロック (ここでは中空4脚ブロック) に限定すれば $\cot \theta, k, p_s, \phi_s, p_i$ および ϕ_i はある範囲の波では省略できる。またパラベットを直立とすればパラベットの形状の影響も省略できる。したがって, 式(1)は

$$q_i = f(V, H, q_0, \omega, g, \rho, \mu, h_1, i, l_b, H_c, H_r, B, A_w) \quad (2)$$

となり, 無次元で表わすと次式のようなになる。

$$\frac{q_i}{q_0} = f\left(\frac{V}{\sqrt{gH}}, \frac{H}{L}, \frac{H\omega\rho}{\mu}, \frac{h_1}{H}, \frac{h_1}{L}, \frac{H_c}{H}, \frac{H_r}{H}, \frac{B}{H}, \frac{A_w}{HL}, i, \frac{h_1 - h_b}{L \tan \alpha}\right) \quad (3)$$

Reynolds 数の形をもつ $\frac{H\omega\rho}{\mu}$ の影響は他の要素に

くらべて小さいとして省略できる。また, $\frac{A_w}{HL}$ は消波堤内の波の挙動を示す一指標であるが H_r および B に従属するので, 近似的に $\frac{H_r}{H}$ と $\frac{B}{H}$ で代表できると考えれば式(3)は

$$\frac{q_i}{q_0} = f\left(\frac{V}{\sqrt{gH}}, \frac{H}{L}, \frac{h_1}{H}, \frac{h_1}{L}, \frac{H_c}{H}, \frac{H_r}{H}, \frac{B}{H}, i, \frac{h_1 - h_b}{L \tan \alpha}\right) \quad (4)$$

となる。

1周期の岸側への移動水量 q_0 は微小振幅波理論を用いると

$$q_0 = \int_0^{T/2} \int_{-h_1}^0 u dz dt = \int_0^{T/2} \int_{-h_1}^0 a n \frac{\cosh m(h_1 + z)}{\sinh mh_1} \sin(mx - nt) dz dt = \frac{2a}{m} = \frac{HL}{2\pi} \quad (5)$$

(2) 越波状況の分類

消波堤の効果はいり高さ, 越波量, 波圧および反射率などのそれぞれの減少効果の総合評価によって分類しなければならないが, 海岸堤防および防波護岸を対象にした場合は一般に越波量をもって代表させることができる。しかし許容越波量をいかにすべきかは背後の経済性, 使用目的, 排水路の規模および堤体の安全性などによって種々異なるので一律には決めることはむずかしいが, いま仮にしぶきが入る場合, 水塊が飛び込む場合, および波そのものが越波する場合に分け, それらの場合に対する相対越波量 q_i/q_0 との関係を求めた。その結果は表-1に示すようである。厳密には越波状況の相似性に多少の疑問もあるが, この表の結果によってだいたいのことを知ることができるであろう。

表-1によると波そのものが越波する場合は q_i/q_0 がほぼ 5×10^{-3} より大きい場合, 多量に越波する場合は $q_i/q_0 = 10^{-2} \sim 10^{-1}$ である。また水塊が飛び込む場合はだいたい $q_i/q_0 = 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3}$ の範囲である。

したがって消波堤を設計する場合の許容越波量は排水路の規模および背後の利用などによって異なるが, 水塊が飛び込む程度までを許容すれば $q_i/q_0 < 5 \times 10^{-3}$ でなければならない。また, しぶきが入る程度を許容限界にとると $q_i/q_0 < 10^{-4}$ である。白石・遠藤⁹⁾は飛沫が越える程度, またはわずかに越波する程度は $q_i/q_0 \approx 1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ であるとしている。

表-1 越波状況の分類

適 否	分 類		越 波 状 況	相 対 越 波 量 q_i/q_0
消波堤として 適する	Ⅰ	Ⅰ-1	しづきが入る場合（消波効果良好）	$0 \sim 10^{-4}$
		Ⅰ-2		
	Ⅱ	Ⅱ-1	水塊が飛び込む場合（消波限界）	$10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3}$
		Ⅱ-2		
消波堤として 不適	Ⅲ	Ⅲ-1	パラペット天端を越流して波そのものが越波する場合 （消波効果不完全）	$5 \times 10^{-3} \sim 10^{-2}$
		Ⅲ-2		
	Ⅳ	激しくパラペットに衝突し、波そのものが越流して多量に越波 （消波無効）	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	

(3) 越波の軌跡および飛散距離

越波量のパラペットからの水平方向の分布を知ることが背後の舗装および排水路の設計に役立つ。それには越波のパラペット天端からの軌跡および飛散距離を知る必要がある。

パラペット天端を原点とし、 x 軸を水平方向沖向きに、 y 軸を鉛直上向きにとると

a) 水塊を球 (半径 r) とする場合

$$x = \frac{-3}{16} \zeta_r \frac{\rho_a}{\rho} \frac{V^2}{r} t^2 + v_0 t \cos \beta \dots \dots \dots (6)$$

$$y = v_0 t \sin \beta + \frac{1}{2} \left(-g + \frac{1}{24} \zeta_r \frac{\rho_a}{\rho} \frac{V^2}{r} \right) t^2 \dots \dots \dots (7)$$

b) 水の壁 (厚さ b) と考える場合

$$x = \frac{-1}{4} \zeta_b \frac{\rho_a}{\rho} \frac{V^2}{b} t^2 - v_0 t \sin \beta \dots \dots \dots (8)$$

$$y = v_0 t \sin \beta + \frac{1}{2} \left(-g + \frac{1}{12} \zeta_b \frac{\rho_a}{\rho} \frac{v^2}{b} \right) t^2 \dots \dots \dots (9)$$

ただし ζ_r : 水塊の抵抗係数

ζ_b : 水の壁の抵抗係数

v_0 : 原点 (パラペット天端) を離れる速度

β : v_0 の x 軸に対する方向角

V : 風速

ρ_a : 空気密度

ρ : 水の密度

から軌跡および飛散距離を推定できる。

4. 実験結果

風速は $V=4.5$ m/sec, 消波堤の天端幅は $B=20 \sim 30$ cm と一定にした。しかし $\frac{V}{\sqrt{gH}} = 3.2 \sim 5.8$, $\frac{B}{H} \div 1.0 \sim 4.0$ に変化するが q_i/q_0 におよぼす影響が無視できるほどであったので、今回の実験では $\frac{V}{\sqrt{gH}}$ および $\frac{B}{H}$ の影響は近似的に一定として考察した。

(1) 波の特性とのり先水深の影響

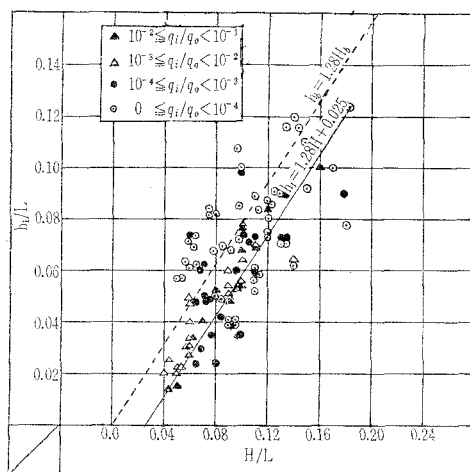
侵入波が消波堤に対してどの位置で砕波するかによって越波量がいちじるしく異なる。すなわち砕波点が消波堤よりかなり沖側にあるか、のり先付近にあるか、あるいはのり面にあるかによって q_i/q_0 が異なる。越波量は波の特性とのり先水深の関係からつぎの3つの領域に大

別される。

- ① 消波堤ののり先よりかなり沖側で砕波して衝突する場合 (沖側砕波の領域)
- ② 消波堤ののり先付近で砕波する場合あるいは砕波直前の状態で衝突する場合 (のり先砕波の領域)
- ③ 消波堤ののり面上で砕波する場合 (のり面砕波の領域)

図-4 H/L と h_1/L の影響

(a) $1.0 \leq H_c/H < 1.3$
 $0.25 \leq H_r/H < 0.45$



(b) $1.0 \leq H_c/H < 1.3$
 $0.45 \leq H_r/H < 0.65$

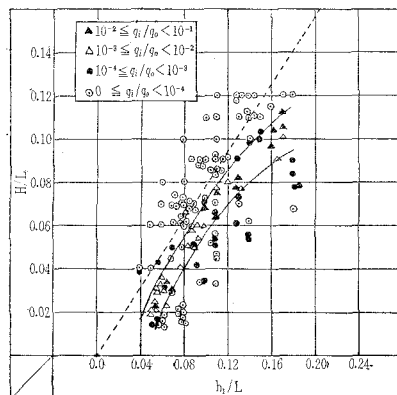


図-4 (a), (b) および図-5 は $i=1/40$ の場合に H_c/H と H_r/H を一定にして H/L と h_1/L および H/L と h_1/H の関係を q_i/q_0 のパラメーターで表わしたものである。図-4 (a) によれば消波堤(海岸堤防をふくむ)が

図-5 H/L と h_1/H との影響
 $1.0 \leq H_c/H < 1.3$ $0.45 \leq H_r/H < 0.65$
 $V_p=20 \text{ m/sec}$ ($V_m=45 \text{ m/sec}$) $i=1/40$

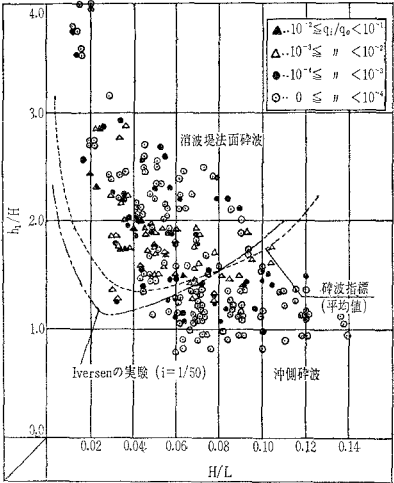
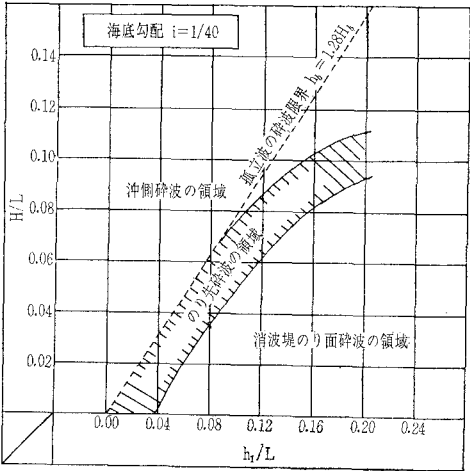
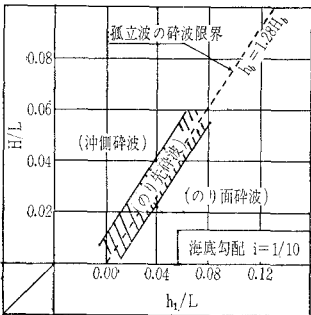


図-6 H/L と h_1/L による分類
(a) $i=1/40$ の場合



(b) $i=1/10$ の場合



ない場合の砕波水深 $h_b=1.28 H_b$ (孤立波の砕波水深) およびその水深よりやや深い場所に消波堤がある場合に越波量をもっとも大きく、この領域においては一般に $q_i/q_0 \geq 10^{-3}$ である。無堤時の砕波水深よりやや深い場合にも越波量が多いのは、消波堤の存在によって砕波水深がやや沖側に移ったためで、直線 $h_b=1.28 H_b$ と $h_1=1.28 H+0.025 L$ との間にはさまれた領域は消波堤ののり先付近で砕波した領域である。図-4 (b) においては q_i/q_0 の領域が $h_b=1.28 H_b$ よりさらに右側にずれるのは、消波堤の天端が高くなったので、消波堤ののり先水深が小さいときは、砕波しても波のはい上りが小さいので越波量が少なくなるためである。

図-6 (a), (b) は $i=1/40$ と $i=1/10$ の場合に3つの領域にほぼわけることができたことを示す。

図-7 は H/L を一定にして h_1/L を変えたとき、図-8 は h_1/L を一定にして H/L を変えたときの q_i/q_0 と

図-7 h_1/L の影響

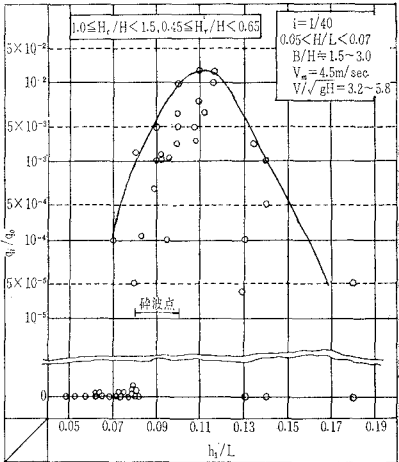
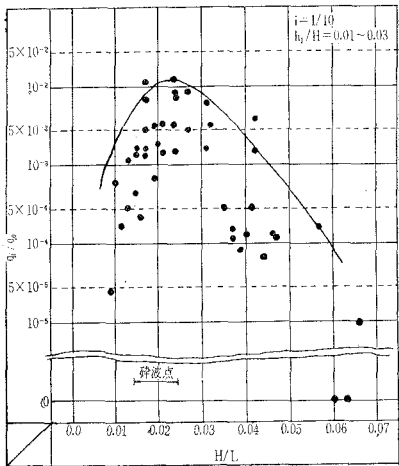


図-8 H/L の影響

$1.0 \leq H_c/H < 1.5$, $0.45 \leq H_r/H < 0.65$



の関係を示すが、のり先砕波の領域が越波量をもっとも多く、その領域を離れるにしたがい q_i/q_0 はいちじるしく減少している。またのり先砕波の領域であっても、砕波直後よりも砕波直前に衝突する場合が一般に q_i/q_0 が大きくなることを示している。

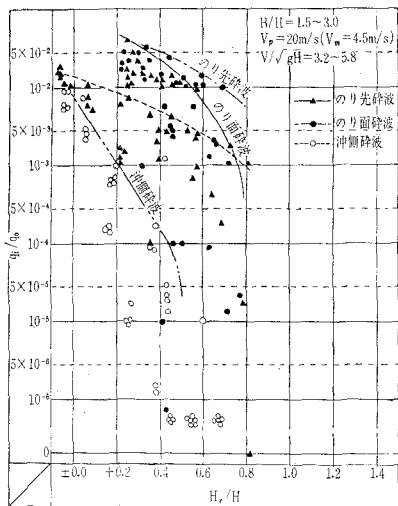
(2) 消波堤の高さ (H_r/H) の影響

海岸堤防の相対天端高 (H_c/H) を一定にして、消波堤の相対天端高 (H_r/H) の影響を考察する。

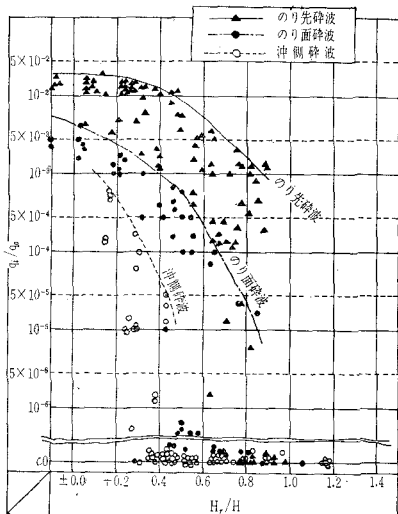
図-9 (a), (b) は $i=1/40$ の場合であるが、 $H_r/H \geq 0.4$ でいずれの領域も q_i/q_0 の減少がいちじるしい。 $1.0 \leq H_c/H < 1.3$ において $q_i/q_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ (消波限界) になるには一般にのり先砕波の領域では $H_r/H \geq 0.7$, のり面砕波では $H_r/H \geq 0.2$, および沖側砕波では H_r/H

図-9 消波堤の高さ (H_r/H) の影響

(a) $0.7 \leq H_c/H < 1.0$, $i=1/40$



(b) $1.0 \leq H_c/H < 1.3$, $i=1/40$
 $V_p = 20 \text{ m/sec}$ ($V_m = 4.5 \text{ m/sec}$)
 $B/H = 1.5 \sim 3.0$



(c) $1.0 \leq H_c/H < 1.3$, $i=1/10$
 $B/H = 1.5 \sim 3.0$, $V_p = 20 \text{ m/sec}$
 $\frac{V}{\sqrt{gH}} = 3.2 \sim 5.8$

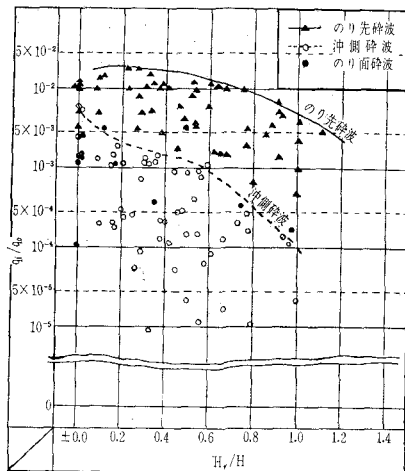
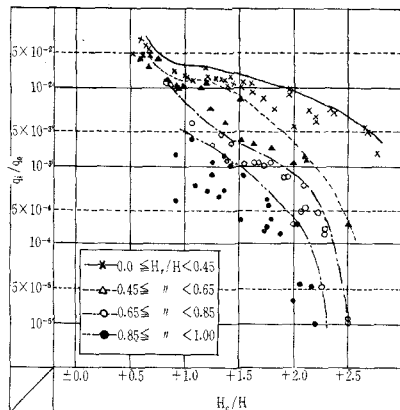


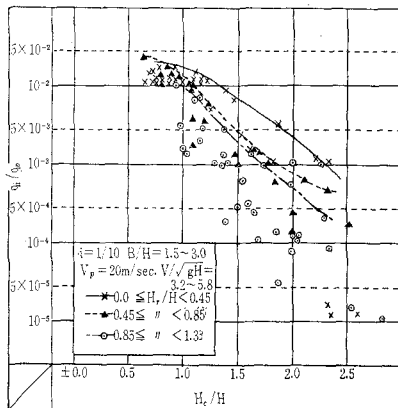
図-10 海岸堤防の高さ (H_c/H) の影響

(a) $i=1/40$ の場合



$i=1/40$, $B/H = 1.5 \sim 3.0$, $V/\sqrt{gH} = 3.2 \sim 5.8$

(b) $i=1/10$ の場合



$H > 0.0$ である。 $q_i/q_0 \leq 10^{-3}$ (水塊が飛び込む場合) には一般に、のり先砕波の領域では $H_r/H \geq 0.9$ 、のり面砕波では $H_r/H \geq 0.4$ 、および沖側砕波では $H_r/H \geq 0.2$ である。 $q_i/q_0 \neq 0$ (しぶきが入る場合) では一般に、のり先砕波の領域では $H_r/H \neq 1.0$ 、のり面砕波では $H_r/H \neq 0.8$ 、および沖側砕波では $H_r/H \neq 0.5$ である。

図-9(c) は $i=1/10$ の場合であるが一般に $i=1/40$ の場合より越波量が多い。 $q_i/q_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ になるには、のり先砕波の領域では $H_r/H \geq 1.0$ 、沖側砕波では $H_r/H \geq 0.2$ である。 $q_i/q_0 \leq 10^{-3}$ にするには沖側砕波の領域では $H_r/H \geq 0.6$ である。

(3) 海岸堤防の高さ (H_c/H) の影響

H_r/H を一定にして H_c/H の影響を調べる。図-10(a), (b) は越波量の多いのり先砕波の領域を対象にしたもので、 H_r/H をパラメーターで示した。図-10(a) は $i=1/40$ であるが $0.0 \leq H_r/H < 0.45$ では H_c/H の影響は小さく、 $H_c/H=1.0 \sim 1.5$ ではその影響があまり認められないが $H_r/H \geq 0.65$ では H_c/H の効果がいちじるしく現われる。 $q_i/q_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ するには、 $H_r/H=0.65 \sim 0.85$ では $H_c/H \geq 1.3$ 、 $H_r/H=0.85 \sim 1.0$ では $H_c/H \geq 1.0$ である。

図-10(b) は $i=1/10$ の場合であるが、 $H_c/H=0.7 \sim 1.0$ では H_c/H の影響はあまり認められないが、 $H_c/H > 1.0$ ではその効果がいちじるしく、ほぼ直線的に q_i/q_0 が減少している。 $q_i/q_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ するには一般に、 $H_r/H=0.0 \sim 0.45$ では $H_c/H \geq 1.9$ 、 $H_r/H=0.45 \sim 0.85$ では $H_c/H \geq 1.5$ 、および $H_r/H=0.85 \sim 1.3$ では $H_c/H \geq 1.4$ である。

(4) H_c/H と H_r/H の関係

図-11(a), (b) および (c) は $i=1/40$ で、図-6(a) から求まる沖側砕波、のり先砕波およびのり面砕波の3つの領域について q_i/q_0 をパラメーターとして H_c/H と H_r/H との関係を表わしたものである。図中に引かれた実線は△印の消える所、すなわち実線より上の領域は $q_i/q_0 \leq 10^{-3}$ である。これらの図から越波を防止するに必要な H_c/H および H_r/H はのり先砕波がもっとも大きく、ついでのり面砕波、沖側砕波の順である。

図-12(a), (b) および (c) は $i=1/10$ の場合で図-6(b) から求まる3つの領域について調べたもので、必要な H_c/H および H_r/H はのり先砕波が最大で、ついでのり面砕波、沖側砕波の順である。いずれの領域も $i=1/40$ の場合より一般に H_c/H および H_r/H が大きくなるのがわかる。

(5) 海底勾配の影響

各要素の影響を海底勾配が $i=1/40$ と $i=1/10$ について考察してきたが、補足の意味で図-13(a), (b) に

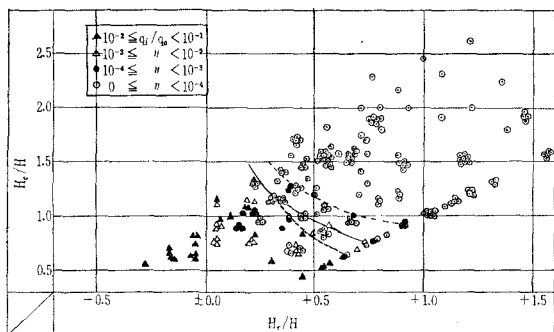
図-11 H_c/H と H_r/H の関係

(a) 沖側砕波の越波量

$V_p=20\text{m/sec}$ ($V_m=4.5\text{m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} \div 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H_0 \div 1.5 \sim 3.0, i=1/40$$

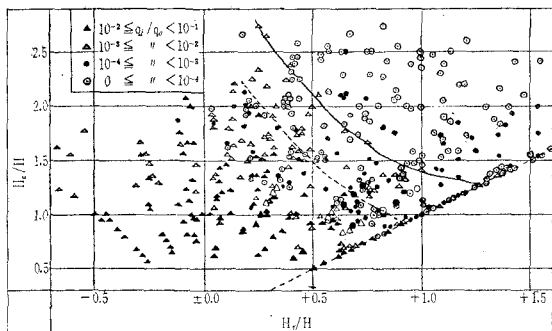


(b) のり先砕波の越波量

$V_p=20\text{m/sec}$ ($V_m=4.5\text{m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} \div 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H \div 1.5 \sim 3, i=1/40$$



(c) のり面砕波の越波量

$i=1/40, V_p=20\text{m/sec}$ ($V_m=4.5\text{m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} \div 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H \div 1.5 \sim 3$$

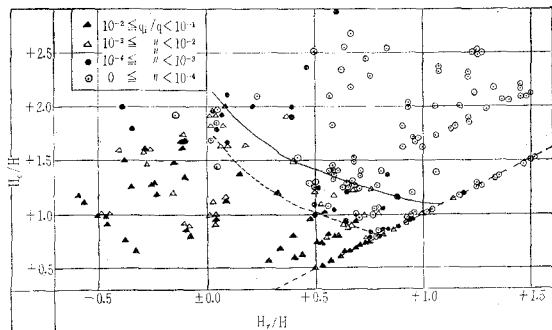


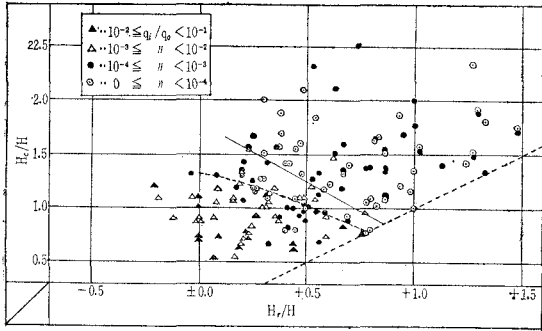
図-12 H_c/H と H_r/H の関係

(a) 沖側碎波の越波量

$V_p=20 \text{ m/sec}$ ($V_m=4.5 \text{ m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} = 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H \div 1.5 \sim 3, i=1/10$$

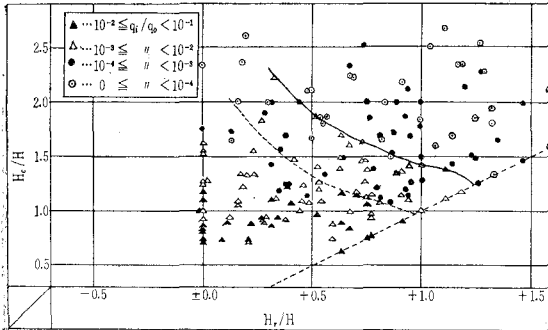


(b) のり先碎波の越波量

$V_p=20 \text{ m/sec}$ ($V_m=4.5 \text{ m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} = 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H \div 1.5 \sim 3, i=1/10$$



(c) のり面碎波の越波量

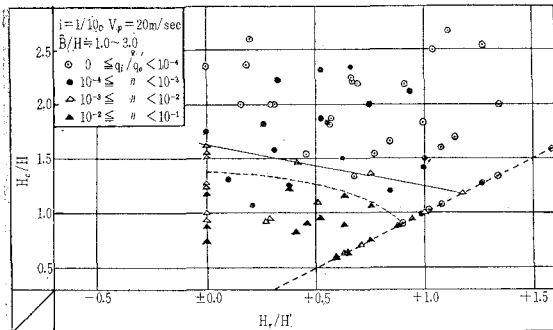


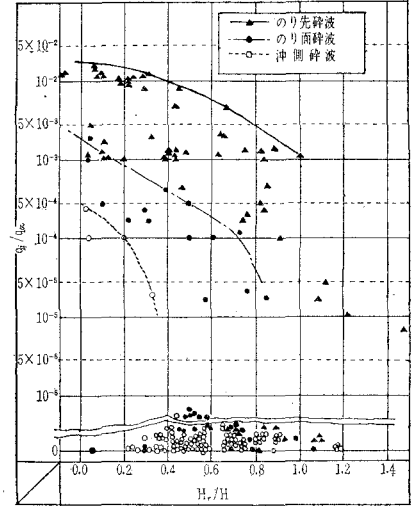
図-13 海底勾配の影響

(a) $i=1/40$ の場合

$$1.3 \leq H_c/H < 1.6$$

$V_p=20 \text{ m/sec}$ ($V_m=4.5 \text{ m/sec}$)

$$B/H \div 1.5 \sim 3$$



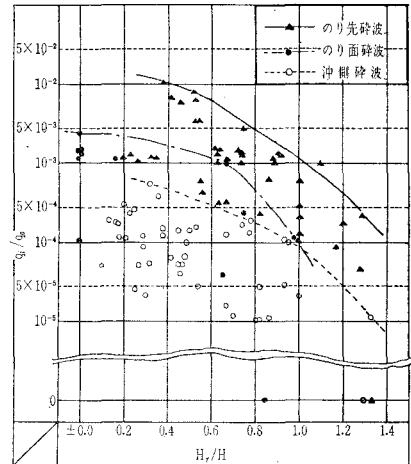
(b) $i=1/10$ の場合

$$1.3 \leq H_c/H < 1.6$$

$V_p=20 \text{ m/sec}$ ($V_m=4.5 \text{ m/sec}$)

$$\frac{V}{\sqrt{gH}} = 3.2 \sim 5.8$$

$$B/H \div 1.5 \sim 3$$



側碎波では $i=1/40$ は $H_r/H \geq 0.4$ で $q_i/q_0 \div 0$ となり, $i=1/10$ では $H_r/H=0.8 \sim 1.0$ としても $q_i/q_0 \div 10^{-4}$ である。

海底勾配の影響は結局は碎波現象の相違と碎波点の問題に帰着する。海底勾配が大きいと碎波水深は海底勾配の小さい場合よりも一般に陸側になる。

5. 実験結果の現地への適用

(1) 越波量の推定

和歌山北港の住友金属工業KKの北部埋立地は水深

ついでのとべる。

のり先碎波の領域では $i=1/40$ と $i=1/10$ はほとんど同一の q_i/q_0 を示すが, のり面碎波と沖側碎波の領域では $i=1/10$ のほうが越波量が多い。のり先碎波では $q_i/q_0 \leq 5 \times 10^{-3}$ になるには $H_r/H \geq 0.8$ であるが, 沖

表-2 和歌山北港埋立護岸の模型実験

潮位 D.L. (m)	T_p (sec)	H_p (m)	L_p (m)	H/L	h_1/L	H_c/H	H_r/H	B/H	実験越波量			推定越波量	
									$(q_i)e$ (m^3/sec)	$2\pi(q_i)e$ HL	越波状況 の分類	波の領域	$2\pi(q_i)e$ HL
+2.24	9.0	5.15	80	0.065	0.108	0.92	0.72	1.18	0.219 (0.073)	3.24×10^{-3} (1.11×10^{-3})	II-2 (II-1)	のり先砕波	$\leq 3 \times 10^{-3}$
"	"	3.95	"	0.049	"	1.20	0.95	1.54	0.001 (0.0)	3×10^{-5} (0.0)	I-2 (I-1)	のり面砕波	$\leq 10^{-5}$
"	10.0	4.80	90	0.053	0.096	0.99	0.78	1.27	0.002 (0.0)	3×10^{-5} (0.0)	I-2 (I-1)	のり先砕波	$\leq 5 \times 10^{-4}$ 平均 5×10^{-5}
"	11.0	4.55	103	0.044	0.085	1.04	0.82	1.34	0.005 (0.0)	8×10^{-5} (0.0)	I-2 (I-1)	"	$\leq 2 \times 10^{-3}$ 平均 5×10^{-4}
"	12.0	4.25	113	0.038	0.077	1.12	0.88	1.44	0.026 (0.0)	3.4×10^{-4} (0.0)	I-2 (I-1)	"	$\leq 2 \times 10^{-3}$ 平均 5×10^{-4}
"	13.0	3.83	123	0.031	0.071	1.24	0.98	1.59	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	I-1 (I-1)	"	0
+1.75	9.0	5.25	78	0.068	0.101	1.00	0.81	1.02	0.073 (0.036)	1.13×10^{-3} 5.6×10^{-4}	II-1 (II-1)	"	$\leq 2 \times 10^{-3}$

(カッコ内は $V_p=0m/sec$ の場合の値)

$h_1=4.5\sim 6.5m$ の海面まで埋立られ、その防波護岸は当研究室における実験結果にもとづいて図-14 に示すような断面のものが築造されている。この護岸は防波堤外にあって紀伊水道に直面して、その設計波浪は $H_p=5m$, $T_p=9\sim 13sec$ である。図-9(a), (b) を用いて越波量を推定するとつぎのようである。

$T_p=9.0sec$, $H_p=4.5\sim 5.0m$ とすると $H/L=0.056\sim 0.063$, $h_1/L=0.11$, $T_p=13.0sec$, $H_p=4.0\sim 5.0m$ とすると $H/L=0.033\sim 0.041$, $h_1/L=0.071$ 。図-6(a) からのり先砕波の領域に入るのので図-9(a) から推定越波量は $q_i/q_0 \leq 3 \times 10^{-3}$ となる。

$H_p=4.5m$ とすると $H_c/H=1.06$, $H_r/H=0.84$ となり図-9(b) より $q_i/q_0 \leq 2 \times 10^{-3}$ と推定できる。他の場合の推定越波量は表-2 に示した。

(2) 実験結果との比較

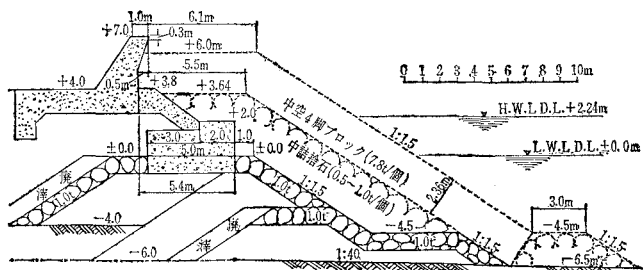
模型縮尺は縦横とも現地の $1/25$ であった。実験結果は表-2 に示されるが、風速は $V_p=20m/sec$ —一定として実験した。参考までに $V_p=0$ の場合も実験を行なったが、これは実用上にはあまり意味のないものである。

表-2 によれば推定越波量は実験値とかなり良く合っている。設計に必要な最大越波量は実験値が $q_i/q_0=3.24 \times 10^{-3}$ に対し推定越波量は $q_i/q_0 \leq 3 \times 10^{-3}$ とほぼ一致している。

6. 結 論

海底堤防および防波護岸の前面水深がほぼ $2m$ 以上である場合には、天端からの越波を防ぐためには堤防および護岸前面に消波堤を設置して消波堤によって波のエネルギーの大部分を吸収することが必要である。消波堤を合理的に設計するには消波堤の構造による越波量の変化を的確に知ることが重要である。

図-14 和歌山北港埋立護岸の消波堤



実験の結果を要約すると

- ① しぶきが入るのは q_i/q_0 が 10^{-4} 以下であり、水塊が飛び込むのはほぼ $10^{-4}\sim 5 \times 10^{-3}$ の範囲にある。波の実質部分が越波する場合は q_i/q_0 がほぼ 5×10^{-3} より大きい場合であり、多量に越波するのは $10^{-2}\sim 10^{-1}$ である。
- ② 許容越波量は水塊が飛び込むことを限界にとれば $q_i/q_0=5 \times 10^{-3}$, しぶきが入る程度を限界にとれば $q_i/q_0=10^{-4}$ を用いるのが適当であろう。
- ③ H/L と h_1/L によって相対越波量 q_i/q_0 は3つの領域に大別され、一般にのり先砕波の領域がもっとも多く、ついでにのり面砕波、沖側砕波の順序である。
- 各領域における相対越波量 q_i/q_0 は 図-9, 13 および 図-11, 12 から推定できる。
- ④ 海底勾配の影響は $i=1/10$ のほうが $i=1/40$ より一般に消波効果が悪く、越波量がやや多い。

参 考 文 献

- 1) 永井・上田：風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究，第7回海岸工学講演会講演集，(昭和35年11月)
- 2) 永井：和歌山港防波堤の消波に関する研究，運輸省第3港湾建設局報告書，(昭和36年4月)
- 3) 永井：和歌山北港埋立護岸の越波に関する模型実験，(未発表)
- 4) 岩垣・土屋・井上：由比海岸堤防の越波に関する模型実験，第10回海岸工学講演会講演集，(昭和38年11月)
- 5) 岩垣・土屋・井上：海岸堤防の越波防止に関する二，三の問題，京都大学防災研究所年報第7号，(昭和39年3月)
- 6) 白石・遠藤：消波工に関する二，三の問題，第10回海岸工学講演会講演集，(昭和38年11月)