

(2) 実験方法

実験は、堤脚水深を重複水深(砕波以深)領域、砕波以浅領域および汀線領域の3種類に大別して行なう。

重複水深領域の実験

図-2に示すように、一様水深から直接斜面($\cot \theta = 0 \sim 4$)の始まる場合を対象にして一様水深 $h = 21$ cm または 32 cm, $h_1/H_0 = 2.66 \sim 4.05$ とし、汀線および砕波以浅領域の実験は、海底勾配 $\tan \alpha = 1/10$, 堤脚水深 $h_1 = 0, 3$ および 6 cm, $h_1/H_0 = 0 \sim 0.83$ とする。

実験波は、I の波 ($T = 1.0$ sec., $H = 7.2$ cm, $h = 21$ cm, $H_0/L_0 = 0.051$), II の波 ($T = 1.2$ sec., $H = 6.7$ cm, $h = 21$ cm, $H_0/L_0 = 0.032$), III の波 ($T = 1.6$ sec., $H = 7.7$ cm, $h = 21$ cm, $H_0/L_0 = 0.019$), および IV の波 ($T = 1.6$ sec., $H = 7.6$ cm, $h = 32$ cm, $H_0/L_0 = 0.020$) とし、実験条件は、堤脚水深および天端高の組合せから、表-1に示される。

遡上高および越波水量の測定方法は、第1報¹⁾と同様であるが、遡上高については、算定式の適合性とその適用限界を検討し、越波水量については、最大越波量を生ずるのり勾配が堤脚水深によってどのように異なるかを調べる。

反射率は、Miche の算定式²⁾を適用するため実験を省略し、室田らの実験値^{3), 4)} および石原・岩垣・鈴木の実験値⁵⁾と比較して、Miche の算定式の適合性検討する。

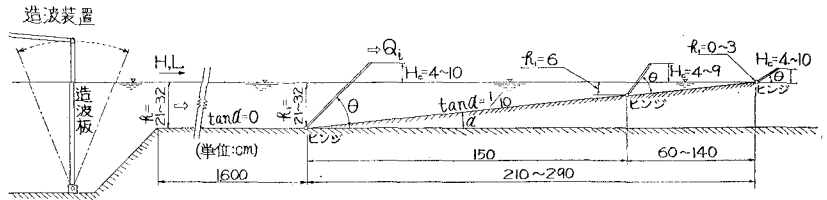


図-2 実験断面

さらに、以上のことがらを総合的に検討して、波の遡上、越波および反射の相互の関連性が、堤脚水深によってどのように異なるかを明らかにする。

4. 実験結果とその考察

4.1 波の遡上高

(1) 算定式の適合性

著者は、第1報¹⁾において、重複水深(砕波以深)領域の遡上高の算定式をのり勾配の大小により、surging waves 領域と breaking waves 領域に分けて、次のように提案した。

$$i) \text{ surging waves 領域 } (H_0/L_0 \leq \sqrt{\frac{2\theta}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi})$$

$$\frac{R}{H_0} = \left\{ \sqrt{\frac{\pi}{2\theta}} + \pi \frac{H_1}{L_1} \phi \left(\frac{h_1}{L_1} \right) \right\} \cdot \frac{H_1}{H_0} \dots \dots \dots (7)$$

$$ii) \text{ breaking waves 領域 } (H_0/L_0 > \sqrt{\frac{2\theta}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi})$$

$$\frac{R}{H_0} = \left\{ \sqrt{\frac{\pi}{2\theta_c}} + \pi \frac{H_1}{L_1} \phi \left(\frac{h_1}{L_1} \right) \right\} \cdot \frac{H_1}{H_0} \cdot \left(\frac{\cot \theta_c}{\cot \theta} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (8)$$

表-1 実験条件

Run No.	I			II			III			IV		
一様水深 h (cm)	21			21			21			32		
周期 T (sec)	1.0			1.2			1.6			1.6		
波高 H (cm)	7.2			6.7			7.7			7.6		
波長 L (cm)	122.8			154.5			216.1			266		
水深 h_0 (cm)	7.9			7.2			7.6			7.9		
波長 L_0 (cm)	156.0			224.7			399.4			399.5		
波高比 H/L	0.059			0.043			0.036			0.029		
波高比 H/L_0	0.051			0.032			0.019			0.020		
水深比 h/L	0.171			0.136			0.097			0.120		
水深比 h/L_0	0.135			0.093			0.053			0.080		
相対水深 h/H	2.92			3.13			2.73			4.21		
相対水深 h/H_0	2.66			2.92			2.76			4.05		
細目分類	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A	B	
海底勾配 $\tan \alpha$	1/10	1/10	0	1/10	1/10	0	1/10	1/10	0	1/10	0	
堤脚水深 h_1 (cm)	0	6	21	0	6	21	0	6	21	3	32	
堤脚 R/L	0	0.049	0.171	0	0.039	0.136	0	0.028	0.097	0.0113	0.120	
堤脚 R/L_0	0	0.038	0.135	0	0.027	0.093	0	0.015	0.053	0.0075	0.080	
堤脚 R/h_1	0	0.833	2.92	0	0.846	3.13	0	0.779	2.73	0.394	4.21	
堤脚 R/h_0	0	0.759	2.66	0	0.833	2.92	0	0.789	2.76	0.380	4.05	
静水面以上天端高 H_c (cm)	4	9	9	4	9	9	6	9	9	4	7	10
相対天端高 H_c/H	0.556	1.25	1.25	0.597	1.34	1.34	0.779	1.17	1.17	0.526	0.921	1.316
相対天端高 H_c/H_0	0.506	1.14	1.14	0.556	1.27	1.27	0.781	1.18	1.18	0.506	0.886	1.266

ここで、 $\phi(h_1/L_1)$ は、Sainflou の重複波の水面波形を用いれば、次式で表わされる関数である。

$$\phi(h_1/L_1) = \coth \frac{2\pi h_1}{L_1} \dots\dots\dots (9)$$

Miche の重複波の水面波形を用いれば、次式で表わされる関数である。

$$\phi(h_1/L_1) = \coth \frac{2\pi h_1}{L_1} \left\{ 1 + \frac{3}{4 \left(\sinh \frac{2\pi h_1}{L_1} \right)^2} - \frac{1}{4 \left(\cosh \frac{2\pi h_1}{L_1} \right)^2} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

式(8)の θ_c は、breaking waves を生ずる最急傾斜角度、または surging waves を生ずる最緩傾斜角度であり、次式で表わされる。

$$\sqrt{\frac{2\theta_c}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta_c}{\pi} = \frac{H_0}{L_0} \dots\dots\dots (11)$$

H_1/H_0 および H_1/L_1 は、Airy の微小振幅波理論の成り立つ範囲において、次のようにあらわされる⁹⁾。

ただし、波の屈折、回折およびエネルギー損失を無視している。

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{\sinh(4\pi h_1/L_1) \cdot \coth(2\pi h_1/L_1)}{(\sinh 4\pi h_1/L_1) + (4\pi h_1/L_1)}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{H_1}{L_1} &= \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{H_1}{H_0} \cdot \coth \frac{2\pi h_1}{L_1} \\ &= \frac{H_0}{L_0} \cdot \sqrt{\frac{\sinh(4\pi h_1/L_1)}{(\sinh 4\pi h_1/L_1) + (4\pi h_1/L_1)}} \\ &\quad \times \left(\coth \frac{2\pi h_1}{L_1} \right)^{3/2} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

式中、 H_0, L_0 : 波水波の波高および波長、 H_1, L_1 : 堤脚水深 h_1 における入射波の波高および波長。

Iversen⁷⁾ あるいは岸⁹⁾によれば、式(12)は $h_1/L_1 < 0.13$ において、実測値より小さくなり、砕波点で10%の誤差がある。また、三井^{9), 10)}によれば、 $h_1/H_0 < 3.5$ において、実験値よりやや小さいとしている。

それゆえ、 $h_1/L_1 < 0.13$ あるいは $h_1/H_0 < 3.5$ において、式(12)を適用すれば、 R/H_0 を実際よりも小さく見積ることになるので、この範囲では、ストークス波またはクノイド波の理論が適当と考えられる。

なお、式(13)は、進行波の砕波点まで、比較的良好一致するとしている^{7), 9)}。

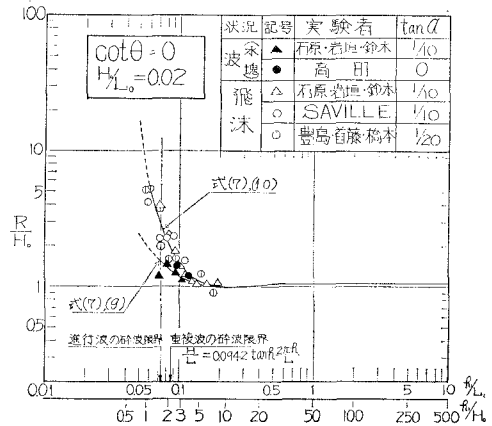
第1報¹⁾では、 $h_1/H_0 < 3$ における遡上高を調べ、算定式(7)および(8)は、実験値とかなりよく一致することを明らかにした。

しかし、式(7)および(8)の $\phi(h_1/L_1)$ は、重複波の水面波形の表わし方によって異なる。

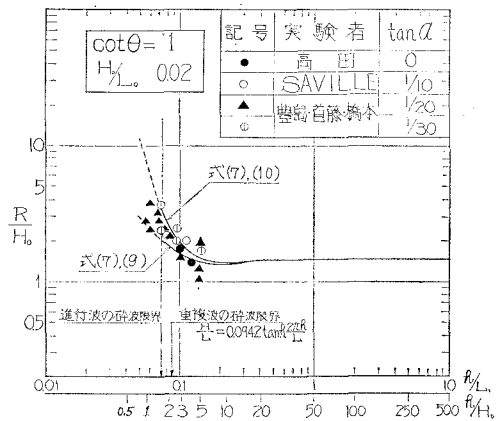
すなわち、Sainflou の重複波水面波形より導かれる式(9)を用いれば、一般に実験値にほぼ等しいか、小さい傾向にあり、Miche の重複波水面波形の式から導かれる式(10)を用いれば、一般に、実験値とほぼ等し

いか、大きい傾向にあることを明らかにした¹⁾。

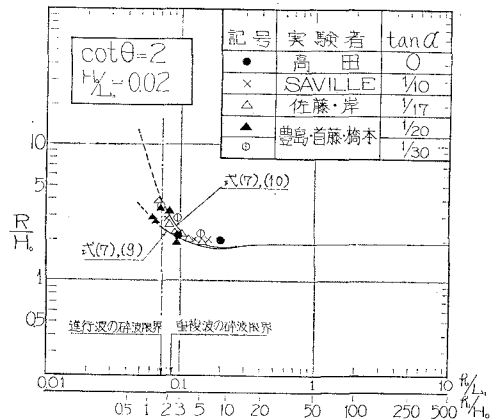
そこで、第2報では、 $h_1/H_0 \geq 3$ の実験値を追加して、重複波の水面波形に Sainflou 式と Miche 式のいずれを用いた場合に、 R/H_0 の算定式の適合性がよいかを検



(a) $\cot \theta = 0$ の場合



(b) $\cot \theta = 1$ の場合



(c) $\cot \theta = 2$ の場合

図-3 算定式の適合性とその適用限界 (surging waves 領域)

討し、さらに算定式の適用限界を明らかにする。

$H_0/L_0=0.02$ の波は、式(11)より、 $\cot \theta \leq \cot \theta_c = 2.592$ において surging waves 領域、 $\cot \theta > 2.592$ において breaking waves 領域となる。

図-3(a), (b) および (c) は、surging waves 領域の R/H_0 として、 $\cot \theta=0, 1$ および 2 について、算定式(7)より計算し、実験値と比較したものである。

なお、著者の実験値のほかに、石原・岩垣・鈴木⁹⁾、Saville¹²⁾、佐藤・岸¹³⁾ および豊島・富永・首藤・橋本^{14), 15), 16)} の実験値をプロットして、海底勾配 ($\tan \alpha = 1/10 \sim 1/30$) の影響も調べた。

これらより、 $\cot \theta=0$ では、式(10) [Miche 式] を用いた算定式(7)は、飛沫を含む波の打ち上げ高さの実験値とかなりよく一致しているが、式(9) [Sainflou 式] を用いた算定式(7)は、波の実質部分の遡上高の実験値と比較的よく一致している。

$\cot \theta=1$ および 2 では、式(9)を用いた場合は、実験値にほぼ等しいか、やや小さく、式(10)を用いた場合は、実験値にほぼ等しいか、やや大きいと考えられ

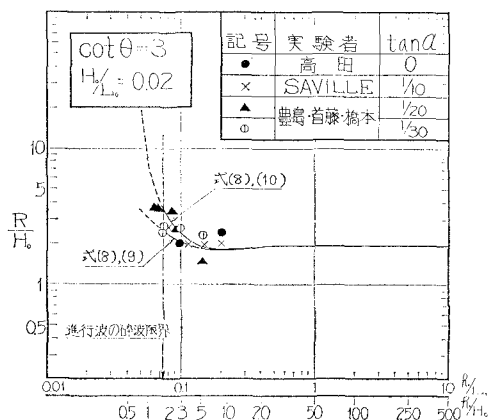
る。

以上より、海底勾配のある場合も含めて考えると、実験値は、かなり変動しているが、一般に海底勾配のある場合の方が、 R/H_0 の実験値が大きくなる。

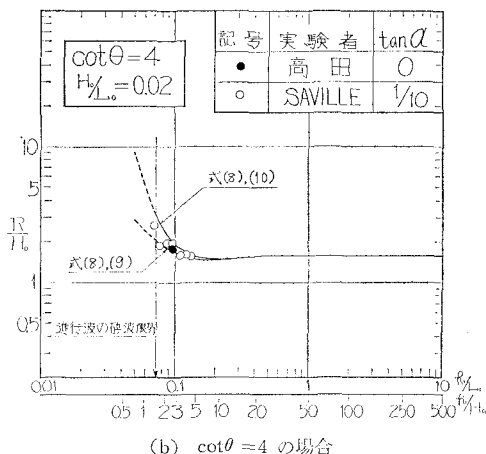
それゆえ、surging waves 領域の R/H_0 は、式(10) [Miche 式] を用いた算定式(7)が全体的に適合性がよく、かなりの精度が期待できるといえる。

図-4(a) および (b) は、breaking waves 領域の R/H_0 として、 $\cot \theta=3$ および 4 について、算定式(8)より計算し、実験値と比較したものである。

なお、著者の実験値のほかに、Saville¹²⁾ および豊島・富永・首藤・橋本^{14), 15), 16)} の実験値もプロットして、海底勾配の影響も調べた。

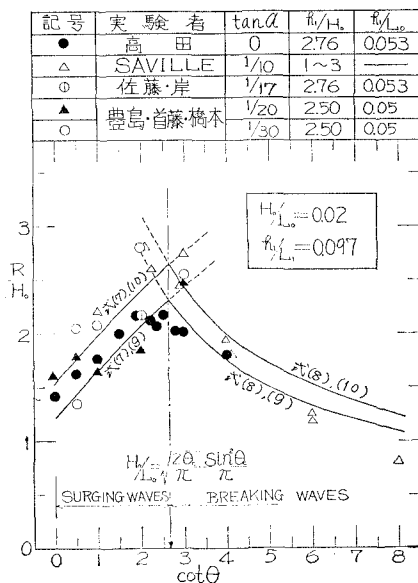


(a) $\cot \theta=3$ の場合

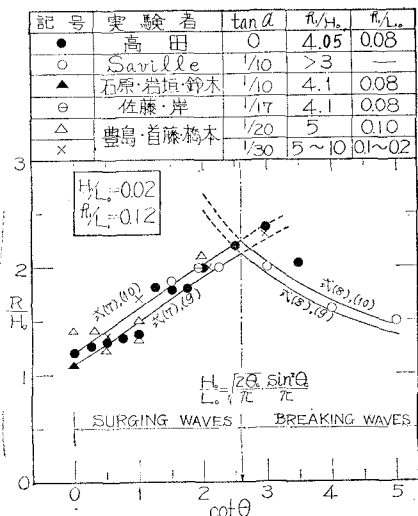


(b) $\cot \theta=4$ の場合

図-4 算定式の適合性とその適用限界
(breaking waves 領域)



(a) $h_1/H_0=2.76$ ($h_1/L_1=0.097$) の場合



(b) $h_1/H_0=4.05$ ($h_1/L_1=0.12$) の場合

図-5 R/H_0 と $\cot \theta$ の関係

これらより、実験値は、式(9)を用いた場合と式(10)を用いた場合の間にプロットされるが、一般に式(10)を用いた算定式(8)の適合性が、全般によいと考えられる。

さらに、図-5(a)および(b)は、 $H_0/L_0=0.02$ の波について、 $\cot \theta$ と R/H_0 の関係を実験値と比較したもので、(a)図は、 $h_1/H_0=2.76$ ($h_1/L_1=0.097$)、(b)図は、 $h_1/H_0=4.05$ ($h_1/L_1=0.12$)である。

これからも明かなように、式(10)を用いた算定式(7)および(8)は比較的良好に実験値の傾向を表わしており、適合性がよいといえる。また、一般に安全側の値を与えるので、実際の適用においても好都合である。

(2) 算定式の適用限界

R/H_0 の算定式(7)および(8)は、堤脚水深が重複波水深(碎波以深)領域にある場合を対象に導かれたので、その適用限界は、進行波の碎波点が一応の目安と考えられる。

首藤¹⁷⁾によれば、進行波の碎波限界を図-6(a)のように理論的に示しているが、U. S. Beach Erosion

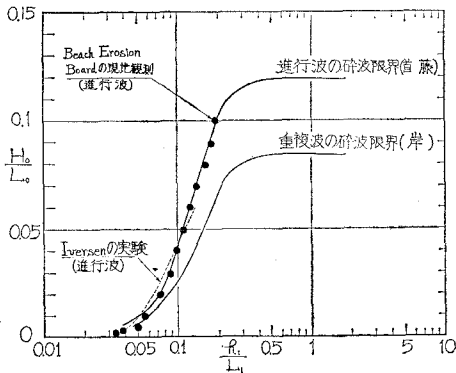


図-6(a) 進行波および重複波の碎波限界

Boardの現地観測値^{6), 18)}, Suquet-Walletの実験値¹⁹⁾およびIversenの実験値²⁰⁾とかなりよく一致することが明らかにされている。

そこで、首藤の導いた進行波の碎波限界を図-3(a), (b), (c)および図-4(a), (b)に記入したところ、 $\cot \theta=2, 3$ および4では算定式(7)および(8)の適用限界とほぼ一致しており、 $(R/H_0)_{\max}$ は、ほぼ碎波点で生じている。

しかし、 $\cot \theta=0$ および1では、 $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる堤脚水深は、碎波点よりやや浅いところにあるので、適用限界もその水深までと考えられる。

一方、遡上高を最大にする堤脚水深は、佐藤^{11), 24)}、石原・岩垣⁵⁾、佐藤・岸¹²⁾および豊島^{14), 16)}によれば、図-6(b)で示されるが、一般にのり勾配、波形勾配および海底勾配によって異なる。

図-6(b)より、 $\tan \theta$ の小さいほど、また、 H_0/L_0 の大きいほど、 $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる h_1/L_1 は、大きくなることがわかる。 $\tan \alpha=1/20 \sim 1/30$ では一般に $\tan \theta \approx 1$ を境にして、 $\tan \theta=1 \sim \infty$ では碎波後に、 $\tan \theta < 1$ では碎波前に $(R/H_0)_{\max}$ を生じている^{14), 15)}。

また、 $\tan \theta=1/3 \sim 1/2$ では、 $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる h_1/L_1 は H_0/L_0 の小さいほど碎波点に近接し、 H_0/L_0 が大きくなると碎波点より次第に離れ、碎波点より深いところで生ずる^{13), 14), 16)}。

これらのことは、比較点緩勾配の斜面では、斜面上に碎波点の存在することと関連づけて説明できる。

以上より、算定式(7)および(8)の適用限界は、のり勾配、波形勾配および海底勾配によって異なることになり、一応図-6(b)で示され、近似的に、碎波点または碎波点前後と考えられる。

なお、重複波の碎波限界は、岸²¹⁾により、理論的に次の式で求められる。

$$\frac{H_1}{L_1} = \frac{0.592}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h_1}{L_1} \dots \dots \dots (14)$$

式(14)は、 $\tan \alpha=0$ のsurging waves領域の算定式(7)の適用限界を表わしていると考えられるが、計算結果は、図-6(a)に示され、図-3(a), (b)および(c)にも記入している。

(3) 堤脚水深の影響

遡上高におよぼす堤脚水深の影響は、碎波および碎波以浅領域において特に著しい。重複波水深領域では、すでに算定式(7), (8), 図-3(a), (b), (c)および図-4(a), (b)において、堤脚水深の影響を明らかにしたので、ここでは、とくに、碎波以浅領域の遡上高におよぼす堤脚水深の影響を検討する。

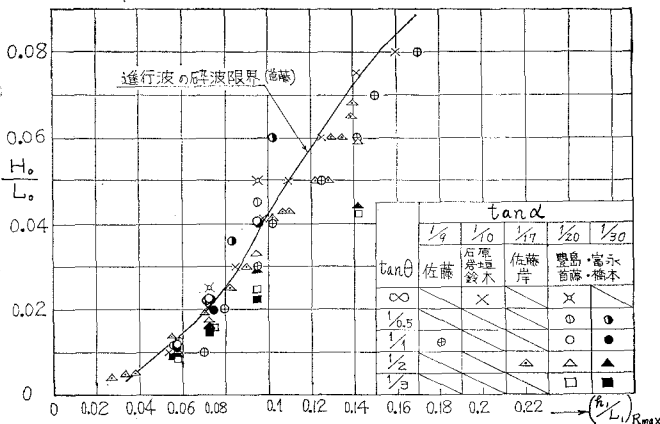


図-6(b) $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる堤脚水深(算定式の適用限界)

堤脚水深が砕波以浅にある場合は、海底勾配の影響が大きいので、一律に論ずることはできないが、従来の実験結果を集めて比較したのが、図-7 (a) および (b) に示される。

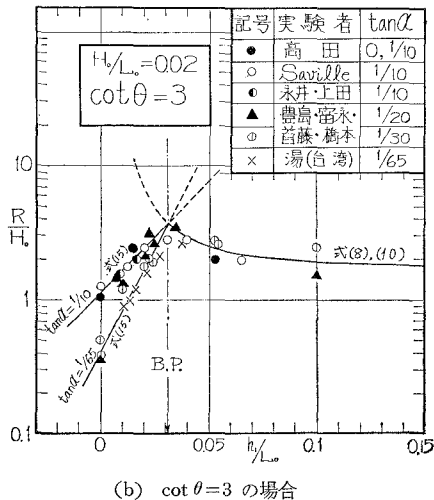
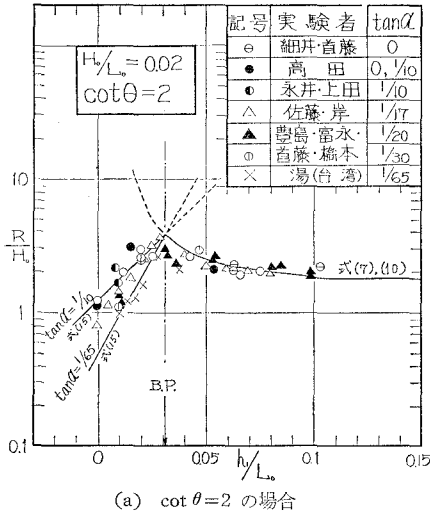


図-7 遡上高におよぼす堤脚水深の影響

これらの結果を総合すると、堤脚水深が砕波以浅から汀線の間にある場合は、一般式を近似的に次の式で表わすことができる。

$$\frac{R}{H_0} = \left(\frac{R}{H_0} \right)_{h_1=0} \cdot \left[\frac{(R/H_0)_{\max}}{(R/H_0)_{h_1=0}} \right] \dots\dots\dots (15)$$

ここで、 $(R/H_0)_{h_1=0}$ ：堤脚水深 $h_1=0$ における遡上高。 $\tan \alpha=1/10$ については、Saville の実験値⁽¹¹⁾⁽¹²⁾， $\tan \alpha=1/20$ および $1/30$ については、豊島らの実験値⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾がある。

h_b' ：対象とする H_0/L_0 および $\tan \theta$ において、最大遡上高を生ずる堤脚水深。図-6 (b) で示されるが、

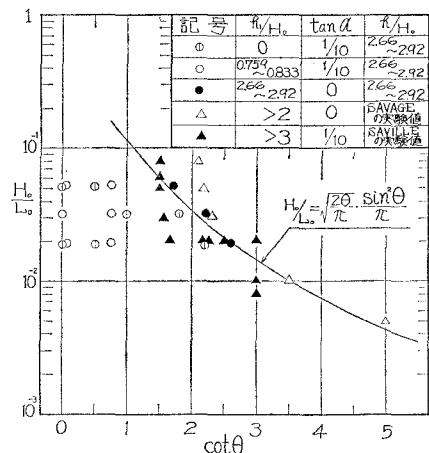
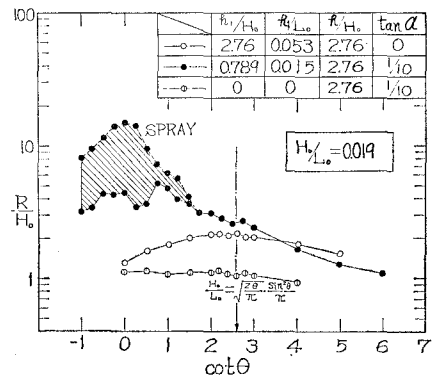
$\tan \alpha$ ， H_0/L_0 および $\tan \theta$ によってかなり変化する。なお、 $\tan \alpha=1/9$ ， $\tan \theta=1$ について、佐藤⁽¹¹⁾⁽²⁴⁾ の実験値， $\tan \alpha=1/10$ ， $\tan \theta=\infty$ について石原・岩垣⁽⁵⁾ の実験値， $\tan \alpha=1/17$ ， $\tan \theta=1/2$ について、佐藤・岸⁽¹³⁾ の実験値および $\tan \alpha=1/20 \sim 1/30$ について、豊島ら⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾ の実験値がプロットされている。近似的に、首藤⁽¹⁷⁾ の進行波の砕波限界の水深が適用できる。

$(R/H_0)_{\max}$ ：対象とする H_0/L_0 および $\tan \theta$ における最大遡上高。 h_b' を式 (7) および (8) に代入して求める。

(3) 最大遡上高を生ずるのり勾配

図-8 は R/H_0 と $\cot \theta$ の関係を 3 種類の堤脚水深 (重複波水深，砕波以浅および汀線領域) について検討したものであるが、砕波以浅および汀線領域では、 $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる $\cot \theta$ は一般に 0~1 の間にあり、重複波水深領域の場合より小さい。

図-9 は $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる $\cot \theta$ が H_0/L_0 および h_1/H_0 によってどのように変化するかを調べ、式 (11)



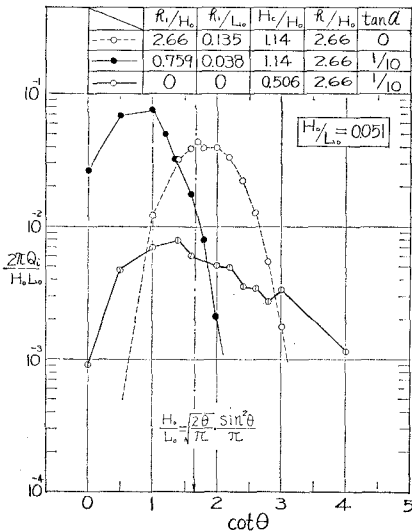
の値と比較したものである。

これらより、式(11)は、重複波水深領域の $(R/H_0)_{\max}$ を生ずる条件とほぼ一致しているが、砕波以浅および汀線領域では一般に式(11)と一致せず、 $\cot \theta = 0 \sim 1$ の間にプロットされる。

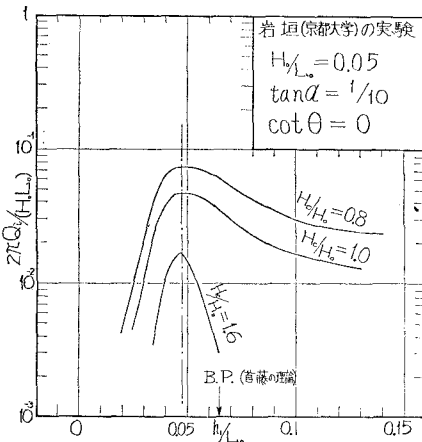
このように、砕波以浅および汀線領域では、重複波水深領域の場合より急な勾配で最大遡上高を生ずるが、その理由として、①砕波後の波が急な勾配に衝突すると、大小の水塊および飛沫が生じ、鉛直方向に飛散しやすい。②砕波後の波の変形およびエネルギー損失が勾配および海底勾配によって著しく影響される、などの原因があげられる。

4.2 越波水量

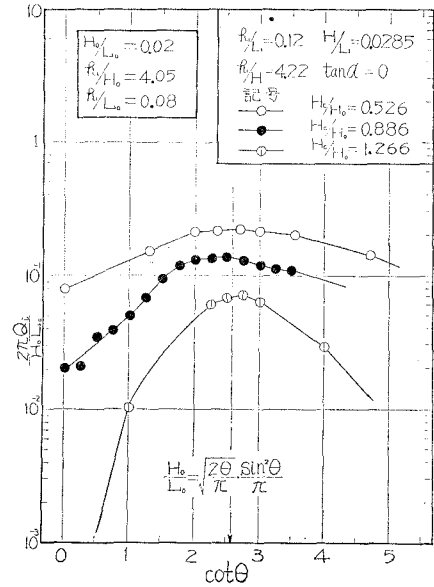
(1) 堤脚水深の影響



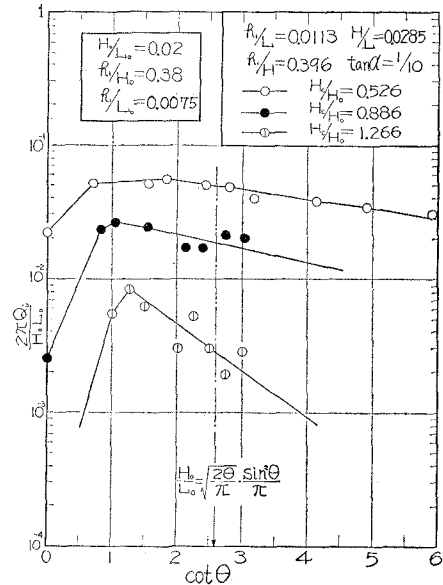
図一10 越波水量におよぼす堤脚水深の影響
($H_0/L_0 = 0.051$ の波)



図一11 越波水量におよぼす堤脚水深の影響
($\cot \theta = 0$ の場合)



(a) 重複波水深領域の場合



(b) 砕波以浅領域の場合

図一12 越波水量におよぼす天端高の影響

図一10は3種類の堤脚水深（重複波水深、砕波以浅および汀線領域）について、 $2\pi Q_i / (H_0 L_0)$ と $\cot \theta$ の関係を調べたものである。

これより、堤脚水深によって越波の傾向がかなり変化しており、とくに、越波を最大にする $\cot \theta$ がかなり異なることがわかる。砕波以浅および汀線領域では、一般に重複波水深領域の場合よりやや急な勾配において越波の最大を生ずる。

図一11は岩垣が、鉛直堤について越波水量と堤脚水

深の関係を調べたものである²²⁾。

これより、越波を最大にする堤脚水深は碎波点よりやや浅いところで生ずるが、波の迎上高の場合と同様、のり勾配、波形勾配および海底勾配などによって変化すると考えられる。詳細については、今後の研究に待たねばならないが、図-6(b)の $(R/H_0)_{max}$ を生ずる条件とほぼ一致すると推測される。

(2) 天端高の影響

越波を最大にするのり勾配が、天端高によって異なるかどうか。また、越波水量とのり勾配の関係が天端高によってどのように変化するかを調べる。

重複波水深領域の実験結果は、図-12(a)、碎波以浅領域の実験結果は、図-12(b)に示される。

これらより、天端高が高くなると、のり勾配の変化による越波水量の増減の割合が著しく大きくなる。また、越波水量を最大にするのり勾配は、天端高が変化してもほぼ無関係であるので、堤脚水深と波形勾配の条件によって決まると考えられる。

(3) 最大越波水量を生ずるのり勾配

図-13は越波を最大にするのり勾配が、波形勾配および堤脚水深によってどのように変化するかを調べ、式(11)と比較したものである。

これより、式(11)を重複波水深領域の最大越波を生ずる条件式とみなしてよいと考えられる。

しかし、碎波以浅および汀線領域では、一般に、式(11)の条件と一致しないで、曲線の内側にプロットされる。

このように、碎波以浅および汀線領域では、重複波水深領域の場合よりやや急な勾配で最大越波を生ずる理由として、碎波後の波の変形およびエネルギー損失が、のり勾配および海底勾配によって著しく影響される

ことと飛沫を生じやすいためと考えられる。

4.3 波の反射率

堤体に衝突する波の反射率は、のり勾配、波形勾配、堤脚水深および海底勾配などによって著しく変化する。

Miche²³⁾は、重複波水深領域における堤体の反射率を次のように提案している。

$$i) H_0/L_0 > \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi} \quad (\text{breaking waves 領域})$$

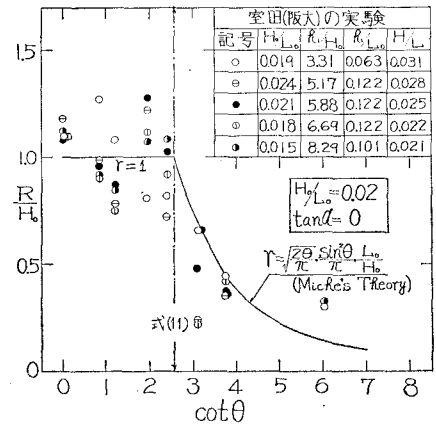
$$\frac{r}{\zeta} = \sqrt{\frac{2\theta}{\pi}} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi} \cdot \frac{1}{H_0/L_0} \quad (16)$$

$$ii) H_0/L_0 \leq \sqrt{2\theta/\pi} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\pi} \quad (\text{surging waves 領域})$$

$$\frac{r}{\zeta} = 1 \quad (17)$$

ζ : 反射係数 (≤ 1)

室田は、図-14(a)に示すように、式(16)および(17)が反射率の傾向をかなりの確に表わしていること



(a) 重複波水深領域
(室田の実験値と Miche 式の比較)

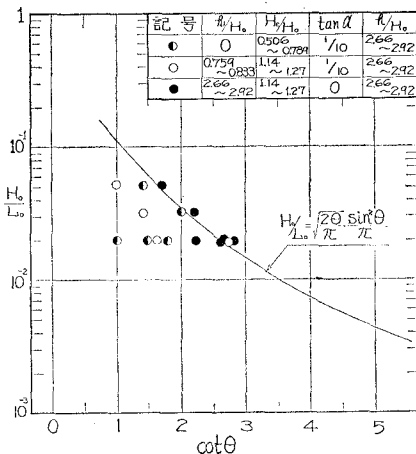
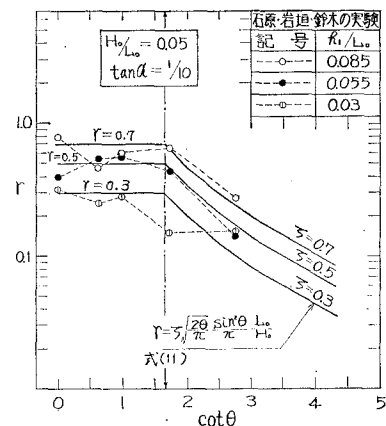


図-13 最大越波水量を生ずるのり勾配
(堤脚水深の影響)



(b) 碎波以浅領域
(石原・岩垣・鈴木の実験値と Miche の式の比較)

図-14 反射率とのり勾配の関係

を明らかにしている^{3), 4)}。

一方、砕波以浅および汀線領域では、石原・岩垣・鈴木の実験⁵⁾があるが、式 (16) および (17) と比較すれば、図-14 (b) のように示される。

これより、反射係数を適当に与えれば、実験の傾向をかなりの確に説明できるので、砕波以浅領域においても式 (16) および (17) が近似的に適用できると考えられる。

さらに、図-16 (a) および (b) に併記した反射率 r は、堤脚水深 h_1 との関係を調べたものであるが、これらより、砕波以浅領域の一般式は近似的に次の式で表わすことができる。

$$r = r_{h=10} \cdot (r_{\max}/r_{h=10})^{h_1/h_b} \dots\dots\dots (18)$$

ここで、 $r_{\max}$: 重複波水深領域における H_0/L_0 および θ の反射率。式 (16) および (17) より求まる。あるいは、Greslon-Mahe の実験値^{11), 23)} が適当であろう。

h_1 : 堤脚水深、 $r_{h=10}$: $h_1=0$ における反射率、石原・岩垣・鈴木の実験値^{5), 22)} が適当であろう。

h_b : 砕波水深。

4.4 遡上高、越波水量および反射率の関連性

波の遡上、越波および反射に関する従来の研究は、それぞれ、独立して取り扱われてきたので、相互の関連性

が十分明らかにされていないようである。

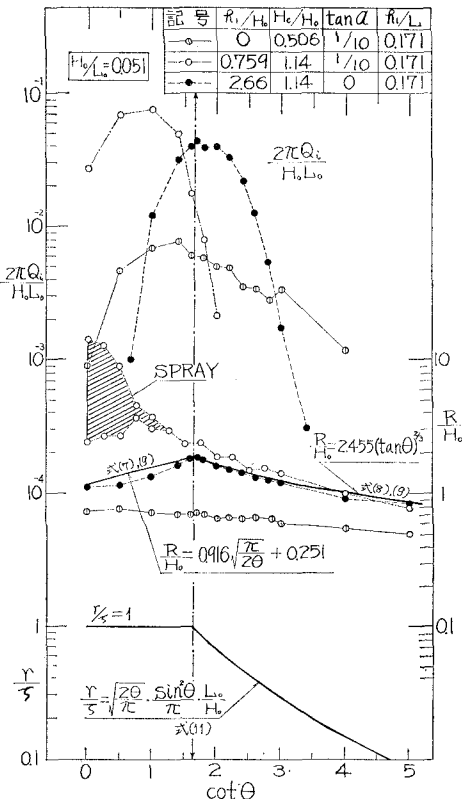
ここでは、それらの観点より、同一波形勾配の波について、遡上高、越波水量および反射率の相互の関連性が堤脚水深によってどのように変化するかを明らかにして、それぞれの現象の位置づけを定量的に示すことを目的としている。

そこで、3種類の堤脚水深 (重複波水深、砕波以浅および汀線領域) を対象にして、3種類の波形勾配について調べた結果が、図-15 (a), (b) および (c) に示される。(a) 図は $H_0/L_0=0.051$ の波、(b) 図は $H_0/L_0=0.032$ の波、(c) 図は $H_0/L_0=0.019$ の波である。

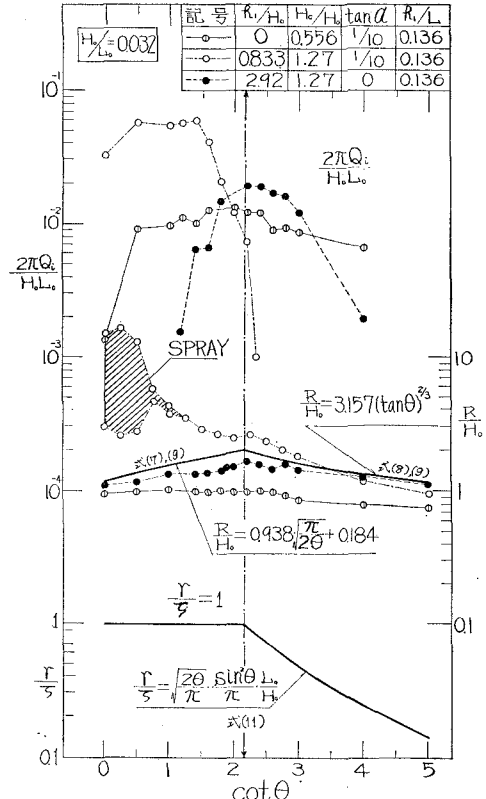
これらは、遡上高、越波水量および反射率とのり勾配の関係を同一の図上で比較して、相互の関連性を検討したものである。

これらの図より明らかなことは、重複波水深領域では、遡上高および越波水量を最大にするのり勾配は一致し、そののり勾配は、全反射する最緩のり勾配とも一致するので、その条件は、式 (11) より求められる。

また、breaking waves 領域では、遡上高、越波水量および反射率はのり勾配 $\tan \theta$ の増加関数となり、surging waves 領域では、遡上高および越波水量は $\tan \theta$ の減少関数となり、反射率は一定となる。



(a) $H_0/L_0=0.051$ の波



(b) $H_0/L_0=0.032$ の波

図-15 波の遡上、越波および反射の関連性におよぼすのり勾配の影響

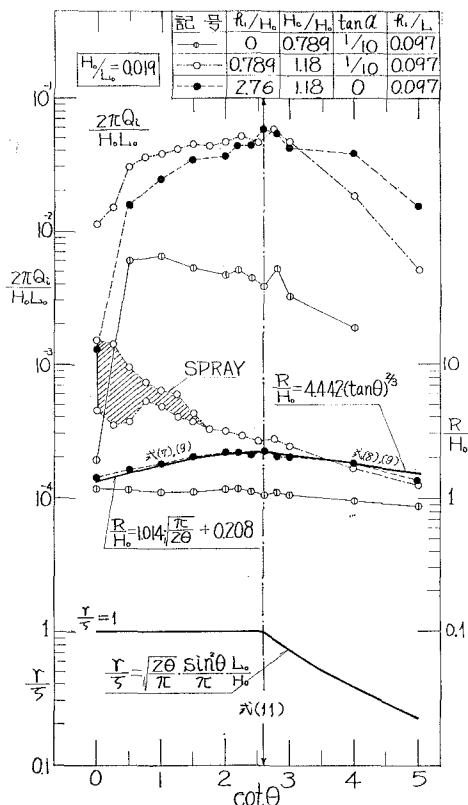
(c) $H_0/L_0=0.019$ の波

図-15 波の遡上、越波および反射の関連性におよぼすのり勾配の影響

一方、砕波以浅および汀線領域では、遡上高を最大にするのり勾配は、最大越波水量を生ずるのり勾配よりやや大きくなり、一般に一致しない。また、最大遡上高および最大越波水量を生ずるのり勾配は、式(11)で求めるのり勾配よりやや大きくなり、一般に一致しないことがわかる。

以上のことは、遡上高を根拠に海岸堤防ののり勾配および天端高を決めている従来の設計方針は、重複波水深領域では妥当であるが、砕波以浅および汀線領域では、誤った結果を導くこともあり得ることを示唆している。

図-16(a)および(b)は、鉛直堤を対象にして、遡上高、越波水量および反射率の相互の関連性が堤脚水深によって、どのように変化するかを検討したものである。

これより、遡上高を最大にする堤脚水深と越波水量を最大にする堤脚水深はほぼ一致しており、鉛直堤の場合は、砕波点よりやや浅いところで生ずることがわかる。

また、反射率は、砕波点を境に砕波以浅では急激に減少するので、最大遡上高および最大越波水量を生ずる堤脚水深と関連させることができる。

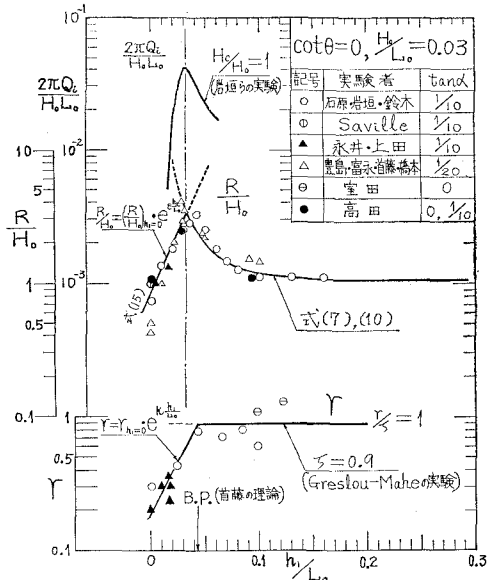
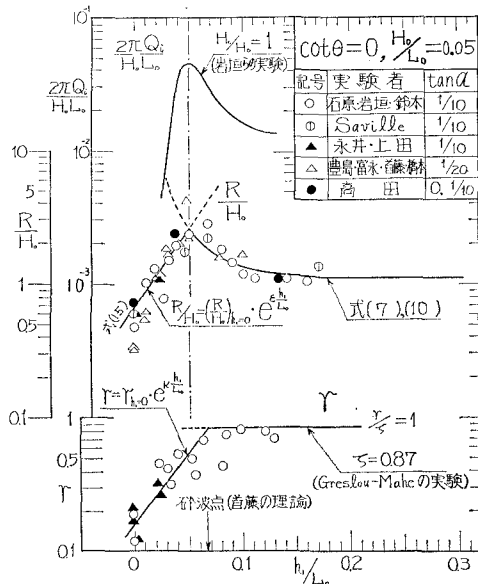
(a) $H_0/L_0=0.03$ の波(b) $H_0/L_0=0.05$ の波

図-16 波の遡上、越波および反射の関連性におよぼす堤脚水深の影響(鉛直堤の場合)

5. 結 論

遡上高、越波水量および反射率とのり勾配の関係が堤脚水深によってどのように変化するかを調べ、遡上高については算定式を提案し、その適合性と適用限界を検討した。越波については、越波を最大にするのり勾配が、波形勾配と堤脚水深によってどのように変化するかを明らかにすることができた。

さらに、遡上高、越波水量および反射率の相互の関連

性を検討し、堤脚水深の影響を明らかにすることができた。

主な研究成果は、堤脚水深を重複波水深、碎波以浅および汀線領域に区別すれば、次のとおりである。

重複波水深(碎波以深)領域では、

1) 堤体に衝突する波は、surging waves と breaking waves に大別されるが、surging waves 領域の遡上高は式(7)、breaking waves 領域の遡上高は式(8)が提案され、両式を計算するとき式(10)を用いると適合性がよい。また、式(7)および(8)の適用限界は、のり勾配、波形勾配および海底勾配によって異なるが、図-6(b)で示され、近似的に、碎波点あるいは、碎波点前後と考えられる。

2) 同一のり勾配において、最大遡上高および最大越波水量を生ずる堤脚水深は図-6(b)で示され、算定式(7)および(8)の適用限界とほぼ一致する。

3) 遡上高および越波水量を最大にするのり勾配と全反射する最緩のり勾配が一致しており、その条件は、式(11)で表わすことができる。

碎波以浅および汀線領域では、

1) 遡上高の一般式は、式(15)で表わすことができる。

2) 反射率の一般式は、式(16)および(17)で表わされ、反射係数が仮定されると求まる。また、堤脚水深との関係は式(18)で表わされる。

3) 同一のり勾配において、遡上高および越波水量を最大にする堤脚水深はほぼ一致し、そのときの堤脚水深は図-6(b)で示され、近似的に碎波点およびその前後にある。

4) 同一堤脚水深において、越波水量を最大にするのり勾配は、天端高にほぼ無関係であり、波形勾配によってきまる。また、最大遡上高を生ずるのり勾配よりやや小さいのり勾配で生ずる。

5) 遡上高および越波水量を最大にするのり勾配は、式(11)で示される値より一般に大きい。

【付 記】 本研究を進めるにあたり、名古屋大学足立昭平教授のご指導をいただいた。また、研究の一部に、昭和45年度文部省科学研究費の奨励研究および特定研究(代表者：北海道大学 尾崎 晃教授)を使用させていただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 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，第182号，1970年10月。

- 2) Miche, M. : Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés à l'action de la houle, Annales des Ponts et Chaussées, 1951.
- 3) 室田 明・山田哲二：反射に関する基礎的研究，第13回海岸工学講演会講演集，昭41.12.
- 4) 室田 明：粗な斜面からの反射に関する実験的研究，第14回海岸工学講演会講演集，昭42.10.
- 5) 石原藤次郎・岩垣雄一・鈴木雄太：海岸堤防の設計，特にその有効高について，第2回海岸工学講演会講演集，昭30.11.
- 6) Mason, M. A. : The transformation of waves in shallow water, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng., 1951.
- 7) Iversen, H. W. : Waves and breakers in shoaling water, Proc. 3rd Conf. on Coastal Eng., 1951.
- 8) 岸 力・庵原照太郎：海岸堤防に関する研究(7)——波の変形と砕け波に関する実験的研究——，建設省土木研究所報告，第95号，昭33.3.
- 9) 三井 宏：実験水路の水平部水深の影響について，第17回中国四国支部学術講演会講演概要，昭40.12.
- 10) 三井 宏：模型実験に対する沖の水深の影響について，第18回中国四国支部学術講演会講演概要，昭41.11.
- 11) 土木学会編：水理公式集(昭和38年増補改訂版)，昭38.8.
- 12) Saville, T. Jr : Wave run-up shore structures, Transaction, ASCE, Vol. 123, 1958.
- 13) 佐藤清一・岸 力：海岸堤防の形状特性並びに陸岸への遡上，第3回海岸工学講演会講演集，昭31.11.
- 14) 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏：海岸堤防への波のうちあげ高——海底勾配 1/30 ——，第11回海岸工学講演会講演集，昭39.11.
- 15) 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏：海岸堤防への波のうちあげ高——海底勾配 1/20 ——，第12回海岸工学講演会講演集，昭40.11.
- 16) 豊島 修・富永正照・橋本 宏：海岸堤防に関する研究(8)——波のうちあげ高——，建設省土木研究所報告，第131号，昭42.11.
- 17) 首藤伸夫：有限振幅波について——高次級数解による進行波の碎波限界——，建設省土木研究所報告，第111号，昭37.9.
- 18) Beach Erosion Board : Shore protection planning and design, B.E.B. Tech. Report, No. 4, 1961.
- 19) Suquet, F. and A. Wallet : Basic experimental wave research, Proc. Minnesota Internat. Hyd. Convention, I.A.H.R., 1953.
- 20) Iversen, H. W. : Waves and breakers in shoaling water, Proc. 3rd Conf. on Coastal Eng., 1952.
- 21) 岸 力：海岸堤防に関する研究(2)——有限振幅の浅水重複波——，建設省土木研究所報告，第90号，昭30.3.
- 22) 岩垣雄一：海岸堤防論，水工学シリーズ，64-08，土木学会水理委員会，昭39.7.
- 23) Greslou, L. et Y. Mohe : Etude du coefficient de reflexion d'une houle sur un obstacle constitue par un plan incliné, Proc. of 5th Conf. on Coastal Engineering, 1958.
- 24) 佐藤清一：海岸堤防の設計について，第1回海岸工学講演会講演集，昭29.11.