

3次元構造物によって効率的に獲得された越波量

Volume of Wave Overtopping Gained Effectively by a 3-D Structure

小松利光*・松永信博**・樋田操***・岡田知也****・藤田和夫*****

By Toshimitsu KOMATSU, Nobuhiro MATSUNAGA, Misao HASHIDA,

Tomonari OKADA and Kazuo FUJITA,

For the utilization of ocean energy, we are demonstrating how to gain the difference of water head by wave overtopping and how to discharge the sea water by using the head difference. The devised artificial structure is composed of two parts. One is the dam to activate the wave overtopping and to gain effectively the head difference. The other is the walls to converge the widely distributed wave-energy. The evaluation has been given for the volume of wave overtopping gained effectively by using the structure.

Keywords: wave overtopping, utilization of wave energy, coastal environment

1. 緒言

自然エネルギーを利用して海域で一方向流れを定常的に発生させる技術の開発は、閉鎖性海域の水質浄化や人工湧昇流による漁場開発等において非常に有用である。著者らは、波浪を人工構造物を用いて越波させ、得られた水位差を利用して一方向の流れを発生させる方法を提案した。そして、より多くの越波量および水位差を得るためには、どのような形状の構造物が効果的であるかという点に主眼をおいて基礎的研究を進めてきた。2次元構造物(越波堤)による水位差獲得の実験^{1,2)}においては、越波量が最大となるための越波堤の最適法面勾配 θ は、入射波の沖波波形勾配に多少依存するものの、 $\theta \approx 30^\circ$ であることが明らかとなった。さらに、越波堤に集波堤を取り付ければより効果的に水位差を獲得することができるため、V字状集波堤による入射波の増幅率に関する基礎的実験も行った³⁾。その結果、集波堤長(集波堤長の波の進行方向への投影長さ)と沖波波長の比が0.4以下において集波堤内の波は位相を伝播させながら、すなわち進行的に波高を増幅させることが明らかとなった。

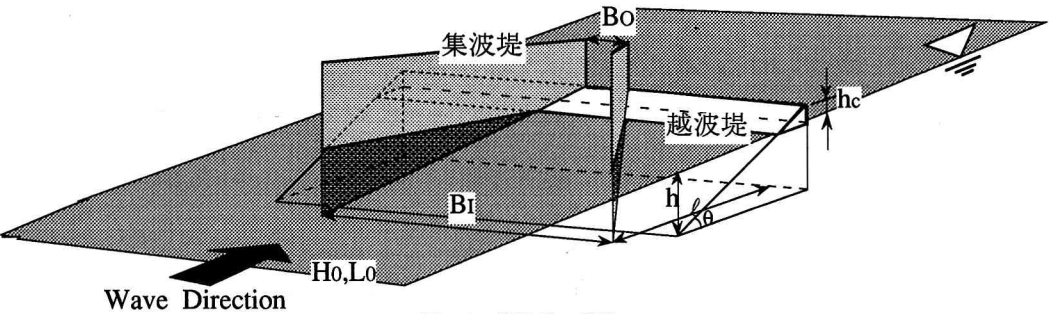
本研究では、最適法面勾配($\theta \approx 30^\circ$)をもつ越波堤にV字状集波堤を取り付けたさらに現実的な形状に対

- | | |
|-------|---|
| * | 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1) |
| ** | 正会員 工博 九州大学助教授 総合理工学研究科 大気海洋環境システム学専攻
(〒816 春日市春日公園 6-1) |
| *** | 正会員 工修 日本文理大学教授 工学部 土木工学科
(〒870-03 大分市一木) |
| **** | 学生員 九州大学大学院工学研究科修士課程水土木学専攻
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1) |
| ***** | 正会員 九州大学技官 工学部建設都市工学科
(同上) |

して、越波堤天端高、集波堤の集波比および集波堤長を系統的に変化させた。そして、それぞれの条件における越波量を測定し、その定量化を行った。さらに構造物の設計という立場から、所要越波量に対する三次元構造物の形状の評価を可能にした。

2．実験方法

実験は長さ40m、幅25m、深さ1.0m の大型平面水槽を用いて行った。一様法面勾配をもつ越波堤に集波堤を取り付けた3次元構造物を水槽中央に設置し、2次元規則波を堤内に入射させた。3次元構造物に関する諸量は図－1 で定義されている。



図－1 構造物の形状

つまり、 $H_0, L_0, B_i, B_o, hc, h, \ell$ および θ は、それぞれ沖波波高、沖波波長、集波堤の入口幅、集波堤の出口幅、天端高、越波堤先端部の平均水深、集波堤長の波の進行方向への投影長さ、越波堤の法面勾配である。越波量は、入射波が安定してから反射波の影響が現れるまでの波に対して測定された。この測定を3～5回繰り返すことにより越波量の平均値を求めた。1入射波による単位幅当たりの越波量 Q_3 ($\text{cm}^2/\text{1波}$) は、その平均値を入射波数と B_o で割ることにより求めた。越波量 Q_3 の添え字3は3次元構造物による越波量であることを意味する。 Q_3 は図－1 で定義された8つの量に依存するので、諸量間の関係を次元解析を用いて無次元表示すると、無次元越波量 Q_3/H_0L_0 は、

$$\frac{Q_3}{H_0L_0} = f \left(\frac{H_0}{L_0}, \frac{hc}{H_0}, \frac{h}{L_0}, \cot\theta, \frac{B_i}{B_o}, \frac{B_o}{\ell}, \frac{\ell}{L_0} \right) \tag{1}$$

で表わされる。前述したように、越波堤に2次元規則波が入射する場合、越波堤の最適法面勾配は約30°であることを考慮して、3次元構造物における越波堤部の法面勾配 θ に対しても30°を採用した。今回の実験では、 $h=50\text{cm}$ に固定し、1種類の入射波 ($L_0=264\text{cm}, H_0=13.2\text{cm}, H_0/L_0=0.05$) に対してのみ越波量を測定した。さらに予備実験から越波量は B_o/ℓ にそれほど強くは依存しないことが分かったので、最適値に近い値として $B_o/\ell=0.2$ を用いた。従って、(1)式は簡単化されて

$$\frac{Q_3}{H_0L_0} = f \left(\frac{hc}{H_0}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{\ell}{L_0} \right) \tag{2}$$

となる。表－1 に実験条件を示す。相対天端高 (hc/H_0) は0.25 から1.50 まで0.25 間隔で変化させた。相対堤長 (ℓ/L_0) は0.10から0.46まで、集波比 (B_i/B_o) は1から14の間で変えられた。これら3つの無次元パラメータはそれぞれ独立に変えられた。

3．実験結果とその考察

図－2 (a)～(g) は ℓ/L_0 のそれぞれの値に対して hc/H_0 をパラメータとして無次元越波量と集波比との関係を示したものである。当然の結果ではあるが、ある固定された ℓ/L_0 の値において相対天端高が大きくなるに

表－1 実験条件

hc / H0		Bi / Bo	ℓ / L0	
0.25	0.50	1 ～ 14	0.10	0.15
0.75	1.00		0.20	0.25
			0.30	0.379
1.25	1.50		0.46	

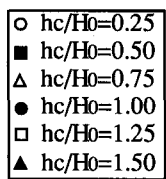
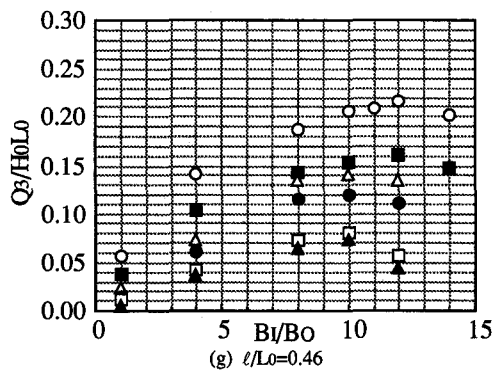
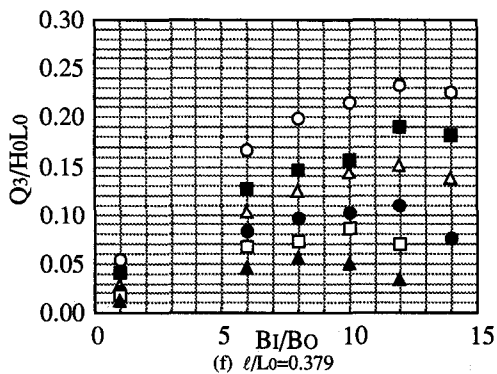
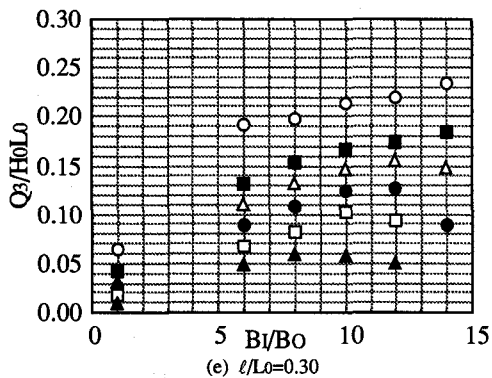
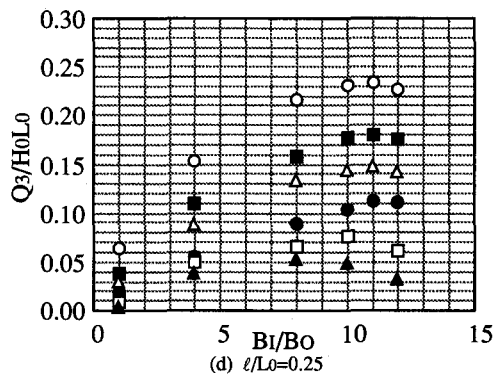
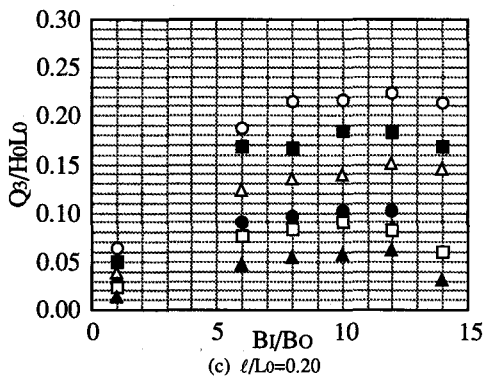
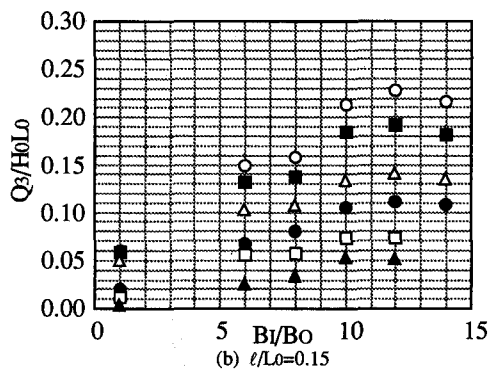
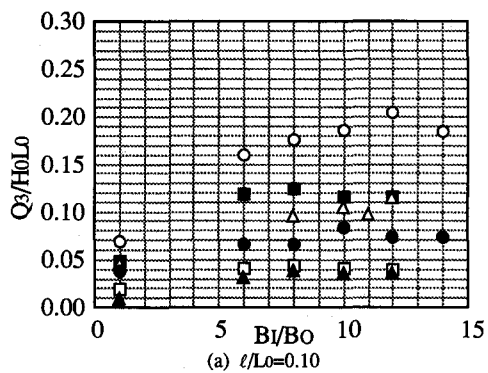


図-2 Q_3/H_0L_0 と B_i/B_o の関係

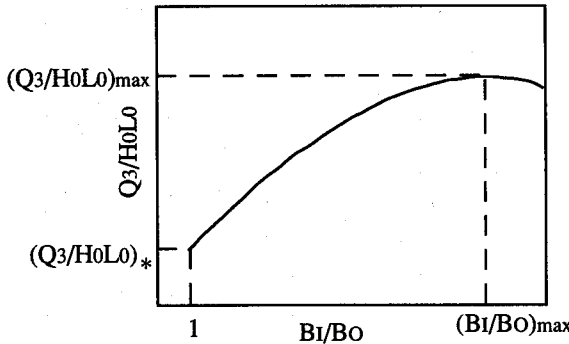


図-3 無次元越波量を普遍表示するための代表諸量の定義図

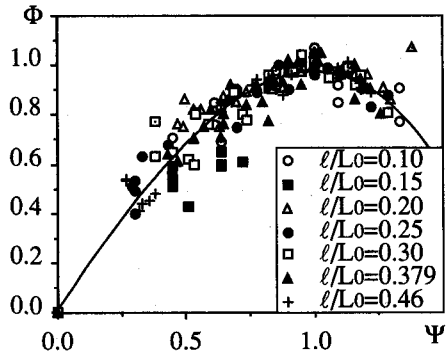


図-4 Φ と Ψ の関係

つれ越波量は小さくなる。また、 B_1/B_0 が増加するにつれ Q_3/H_0L_0 は増大し、極大値に達した後、減少する傾向が見られる。

図-2 (a) ~ (g) で示された Q_3/H_0L_0 と B_1/B_0 との関係を普遍表示するために、無次元越波量と集波比に関する代表量を図-3で定義する。 $(Q_3/H_0L_0)_{\max}$ は最大無次元越波量であり、その値における集波比を $(B_1/B_0)_{\max}$ とする。 $B_1/B_0=1.0$ つまり集波効果がない場合における越波量を $(Q_3/H_0L_0)_*$ と定義する。

図-4は、図-3で定義した代表量を図-2で示したグラフから読み取り、無次元越波量を規格化したものである。ここで Φ と Ψ は、

$$\Phi = \frac{(Q_3 / H_0 L_0) - (Q_3 / H_0 L_0)_*}{(Q_3 / H_0 L_0)_{\max} - (Q_3 / H_0 L_0)_*}, \quad \Psi = \frac{(B_1 / B_0) - 1}{(B_1 / B_0)_{\max} - 1} \quad (3)$$

と定義する。図中の曲線は、これらのデータに対し最小二乗近似を施すことにより得られたものである。 $\Psi=0.5$ 付近では多少のばらつきが見られるものの、無次元越波量は近似曲線で十分普遍的に表示されることが分かる。

任意の B_1/B_0 、 l/L_0 、 hc/H_0 の値に対して、図-4の曲線を用いて越波量を算定するには、代表量 $(Q_3/H_0L_0)_{\max}$ 、 $(Q_3/H_0L_0)_*$ 、 $(B_1/B_0)_{\max}$ の定量化が必要である。図-5は最大無次元越波量 $(Q_3/H_0L_0)_{\max}$ を、図-6は集波しない場合の越波量 $(Q_3/H_0L_0)_*$ を相対堤長 l/L_0 をパラメータとして相対天端高に対してプロットしたものである。両者とも l/L_0 にほとんど依存せず hc/H_0 の増加とともに減少することが分かる。

$(Q_3/H_0L_0)_*$ は、入射波が集波効果を受けずに最適法面勾配をもった越波堤を越える流量であることより、2次元越波堤を越える最大越波量に相当するものである。 $(Q_2/H_0L_0)_{\max}$ に関する定量的評価は文献1)と2)で与えられており、 $(Q_3/H_0L_0)_*$ は $(Q_2/H_0L_0)_{\max}$ とよく一致することが確かめられた。図-5, 6より、越波堤に集波堤を取り付けることにより獲得される3次元最大越波量 Q_3 と越波堤のみによって獲得される2次元最大越波量 Q_2 の倍率を各相対天端高について求め図-7に示す。図-7より集波堤の効果は十分大きく、さ

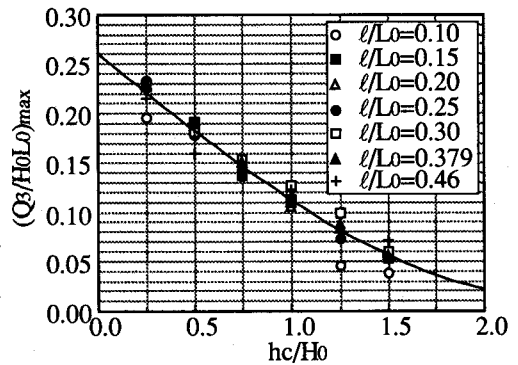


図-5 $(Q_3/H_0L_0)_{\max}$ と hc/H_0 の関係

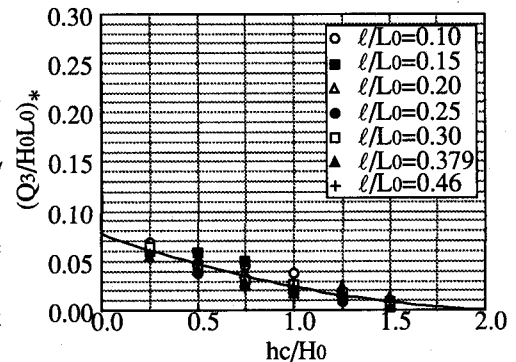


図-6 $(Q_3/H_0L_0)_*$ と hc/H_0 の関係

らに相対天端高が増加するほど集波堤の効果は増すことがわかる。

図-8は、 $(B_f/B_o)_{\max}$ と hc/H_o との関係を示す。相対堤長 ℓ/L_o の広範囲の値に対して多少分散しているものの、図中の実線ではほぼ近似できるものと思われる。相対天波高が増加するにつれ $(B_f/B_o)_{\max}$ の値が減少する理由としては、相対天端高が高い場合、集波比をおとし堤内の波を進行波的に保つことにより、最大越波量が獲得されるものと思われる。

4. 結言

集波堤形状 $(B_f/B_o, \ell/L_o)$ が与えられれば、図-4, 5, 6, 8を用いることにより、3次元構造物によって獲得される越波量を算定することが可能となった。逆に、卓越波 H_o, L_o が既知の海域で一方向流を発生させたい場合、水深やパイプの材質等から必要な天波高 hc が求められ、図-4, 5, 6, 8を用いることにより最適な B_f/B_o 及び ℓ/L_o が決定されることになる。

今後は、種々の H_o/L_o 値に対する越波量の評価を試みる予定である。

最後に、本研究を行うに当たり、有益な助言を頂いた九州大学建設都市工学科の朝位孝二助手、また実験において多大な協力を惜しまなかった日本文理大学土木工学科海洋環境研の4年生諸君に深く感謝致します。なお本研究は人工湧昇流開発利用研究会の援助を受けて行われたことを付記します。

参考文献

- 1) 小松利光・松永信博・藤田和夫・増輪一彦・細山田得三・植田操：越波堤を利用した水位差獲得に関する基礎的研究、水工学論文集、第35巻、pp.549-554, 1991.
- 2) 小松利光・松永信博・増輪一彦・植田操・藤田和夫：二次元越波堤による越波エネルギー獲得に関する基礎的研究、海洋開発論文集、vol.8, pp.105-110, 1992.
- 3) 小松利光・松永信博・増輪一彦・植田操・藤田和夫：V字状集波堤による二次元規則波の増幅率に関する基礎的研究、水工学論文集、第36巻、pp.717-720, 1992.

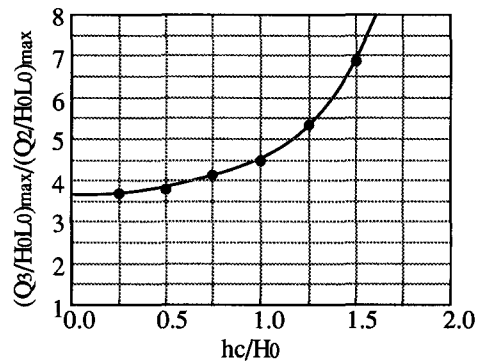


図-7 $(Q_3/H_o L_o)_{\max}/(Q_2/H_o L_o)_{\max}$ と hc/H_o の関係

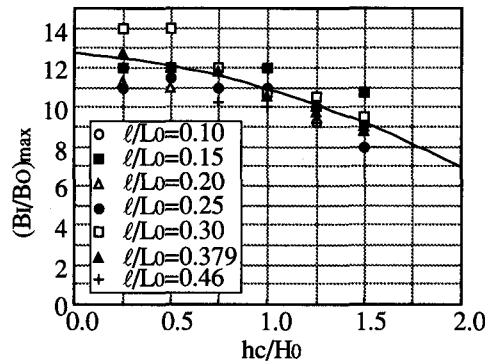


図-8 $(B_f/B_o)_{\max}$ と hc/H_o の関係