



$$\frac{Q_2}{HL} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{h_c}{H}, \frac{h'}{L}, \frac{h}{L}, \frac{l}{L}, \frac{B_0}{B_1}\right) \dots \dots (1)$$

となる。全実験を通じ水深を 0.40 m, 周期を 1.0 s に固定しているため波長は 1.51 m となり, 水深波長比  $h/L$  は 0.27 に固定された。また図-1 に示された諸量を用いると (2) 式の関係が成り立ち, これらの関係から無次元越波量は (3) 式のように表すこともできる。ここで,  $\theta$  は法面勾配である。2 次元越波構造物の場合には, 越波量  $Q_2$  (cm<sup>2</sup>/1 波) (添字 2 は 2 次元構造物による越波量を意味する) は (4) 式となる。

$$\tan \theta = \frac{h_c + h'}{l} = \frac{(h_c/H) \cdot (H/L) + (h'/L)}{(l/L)} \dots (2)$$

$$\frac{Q_2}{HL} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{h_c}{H}, \tan \theta, \frac{l}{L}, \frac{B_0}{B_1}\right) \dots \dots (3)$$

$$\frac{Q_2}{HL} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{h_c}{H}, \tan \theta, \frac{l}{L}\right) \dots \dots (4)$$

#### (1) 2 次元越波構造物 (Run No. I)

(4) 式中の無次元パラメータである波形勾配  $H/L$ , 相対天端高  $h_c/H$ , 相対堤長  $l/L$  及び法面勾配  $\theta$  を表-1 (Run No. I) の実験条件の下でそれぞれ独立に変化させて実験を行った。波形勾配が 0.01 のときのみ実験装置のスケール上の制約から相対天端高  $h_c/H$  に対し 0.25 の代りに 0.37 を採用した。

#### (2) 3 次元越波構造物

a) 集波堤の効果を明らかにする為の実験 (Run No. II)

波形勾配  $H/L$  が 0.03 の入射波を用い, 法面勾配  $\theta$  は 2 次元越波構造物の実験結果 (図-7 参照) から決定された最適法面勾配 30° を採用した。相対堤長  $l/L$  は 0.20 に固定した。そこで相対天端高  $h_c/H$  と集波比  $B_0/B_1$  のみ独立に変えて実験を行った。実験条件を表-1 (Run No. II) に示す。

b) 越波量の相対堤長  $l/L$  への依存性を明らかにする為の実験 (Run No. III)

波形勾配  $H/L$  を実際の海域の通常時の条件に程近い 0.01 に固定し, 越波堤の法面勾配  $\theta$  を波形勾配  $H/L$  が 0.01 の場合の最適勾配 20° に固定した (図-7 参照)。したがって式中の無次元パラメータである相対天端高  $h_c/H$ , 集波比  $B_0/B_1$  及び相対堤長  $l/L$  のみをそれぞれ独立に変化させて実験を行った。表-1 (Run No. III) に実験条件を示す。

c) 波形勾配  $H/L$  が越波量に及ぼす影響を明らかにする為の実験 (Run No. IV)

相対堤長  $l/L$  は 0.2 に固定され, 法面勾配はそれぞれの波形勾配に応じて図-7 により求められる最適法面勾配が用いられた。無次元パラメータである相対天端高  $h_c/H$ , 集波比  $B_0/B_1$  及び波形勾配  $H/L$  を表-1 (Run No.

表-1 実験条件

| Run No. | $H/L$ | $h_c/H$                                   | $\theta$           | $l/L$                             | $B_0/B_1$                  |
|---------|-------|-------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| I       | 0.01  | {0.25, (0.37)<br>0.50, 0.75<br>1.25       | 任意                 | {0.05, 0.20<br>0.10, 0.30         | {0.04<br>0.10, 0.30<br>1.0 |
|         | 0.03  |                                           |                    |                                   |                            |
|         | 0.05  |                                           |                    |                                   |                            |
| II      | 0.03  | {0.25, 0.75<br>1.25, 1.75<br>2.25         | 30°                | 0.20                              | {0.12<br>0.10<br>1.0       |
|         |       |                                           |                    |                                   |                            |
| III     | 0.01  | {0.37, 0.75<br>1.25, 1.75                 | 20°                | {0.05, 0.20<br>0.10, 0.30<br>2.25 | {0.04<br>0.10<br>1.0       |
|         |       |                                           |                    |                                   |                            |
| IV      | 0.01  | {0.25, (0.37)<br>0.75, 1.25<br>1.75, 2.25 | 25° ( $H/L=0.01$ ) | 0.20                              | {0.04<br>0.10<br>1.0       |
|         | 0.03  |                                           | 30° ( $H/L=0.03$ ) |                                   |                            |
|         | 0.05  |                                           | 35° ( $H/L=0.05$ ) |                                   |                            |

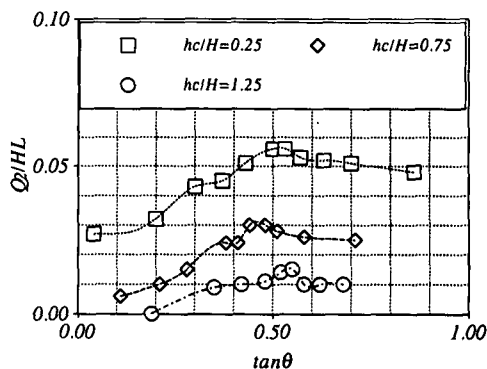
IV) に示す値でそれぞれ独立に変化させて実験を行った。この実験においても波形勾配が 0.01 の時には相対天端高  $h_c/H$  に対し 0.25 の代りに 0.37 を採用した。

### 4. 実験結果及びその考察

#### (1) 2 次元越波構造物

図-2 はそれぞれの波形勾配  $H/L$  と相対堤長  $l/L$  に対し相対天端高をパラメータとして無次元越波量  $Q_2/HL$  と法面勾配  $\tan \theta$  の関係を示したものの一例である。法面勾配の変化に対し無次元越波量は極大値をもつことが分かる。この一連の実験から相対堤長  $l/L$  が小さくかつ波形勾配  $H/L$  が大きい場合にはそれほど明瞭なピークは現れないが, 相対堤長  $l/L$  が大きくなるかもしくは波形勾配  $H/L$  が小さくなるにつれ極大値の存在が明確となる傾向がみられた。

図-2 で示された無次元越波量  $Q_2/HL$  と法面勾配  $\theta$  の関係を普遍表示するために, 無次元越波量と法面勾配に関する代表量を図-3 で定義する。極大値の値を最大無次元越波量  $(Q_2/HL)_{\max}$ , そのときの  $\tan \theta$  の値を最適

図-2  $Q_2/HL$  と  $\tan \theta$  の関係 ( $H/L=0.03$ ,  $l/L=0.20$ )

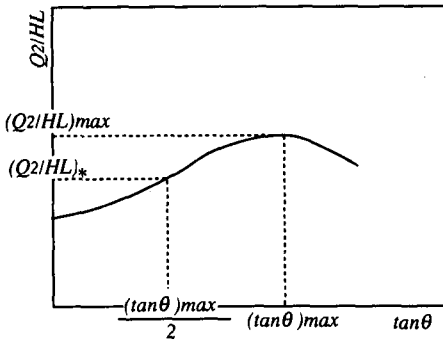


図-3 無次元越波量を普遍表示するための代表諸量

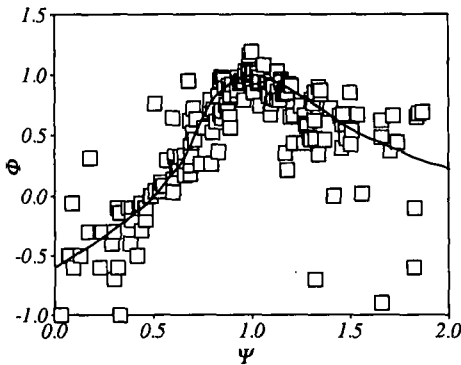


図-4  $\phi$  と  $\psi$  の関係

法面勾配  $(\tan \theta)_{\max}$  とし、 $(\tan \theta)_{\max}/2$  に対する無次元越波量を  $(Q_2/HL)_*$  と定義する。これらの量を用いて無次元量  $\phi$  と  $\psi$  を次のように定義する。

$$\phi = \frac{(Q_2/HL) - (Q_2/HL)_*}{(Q_2/HL)_{\max} - (Q_2/HL)_*}, \quad \psi = \frac{(\tan \theta)}{(\tan \theta)_{\max}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

図-4 は、図-2 と同様の多くのグラフからこれらの代表量を読み取り、全ての実験データを (5) 式で規格化してプロットしたものである。多少のばらつきはみられるが、無次元越波量は図中の曲線でかなり良く普遍表示されることが分かる。

任意の  $H, L, h_c, h', l$  等の条件が与えられたとき図-4 の曲線を用いて越波量を算定するには  $(Q_2/HL)_{\max}$ ,  $(Q_2/HL)_*$ ,  $(\tan \theta)_{\max}$  が定量化されていることが必要である。図-5 は最大無次元越波量  $(Q_2/HL)_{\max}$  を、図-6 は  $(Q_2/HL)_*$  を相対堤長  $l/L$  をパラメータとして相対天端高  $h_c/H$  に対して示したものである。波形勾配が異なっても相対堤長が等しいデータは両図中では同じ印で示している。 $(Q_2/HL)_{\max}$ ,  $(Q_2/HL)_*$  ともに波形勾配  $H/L$ , 相対堤長  $l/L$  にそれほど強くは依存せず相対天端高の増加に対し単調に減少することが分かる。

図-7 は最適法面勾配  $(\tan \theta)_{\max}$  を相対堤長  $l/L$  をパ

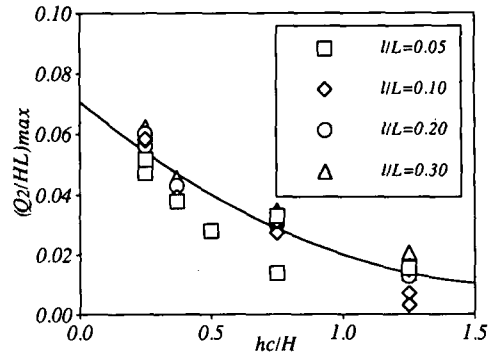


図-5  $(Q_2/HL)_{\max}$  と  $h_c/H$  の関係

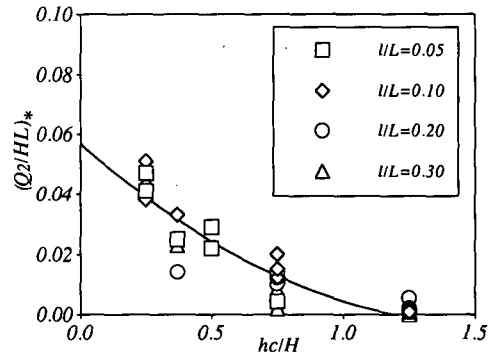


図-6  $(Q_2/HL)_*$  と  $h_c/H$  の関係

ラメータとして波形勾配  $H/L$  に対して示したものである。相対天端高  $h_c/H$  が異なっても相対堤長  $l/L$  が等しいものは同じ印で示した。相対堤長が小さい場合（特に  $l/L=0.05$  の場合）は、波形勾配が大きくなるにつれて  $(\tan \theta)_{\max}$  はかなり大きな値をとるようになる。これは波の谷が法先部に到達した際に法先部が水面から出ない様な状況すなわち法面勾配が大きい状況で極大値が現れたことによるものと考えられる。図-5 において、相対堤長が小さく波形勾配が大きい場合（図中□印）の最大無次元越波量  $(Q_2/HL)_{\max}$  が他に較べかなり小さいことから、相対堤長が小さく波形勾配が大きい場合の最適形状はその条件内では一応最適形状であるが一般的意味では必ずしも最適勾配ではないと判断された。したがって、図-7 中では  $l/L=0.05$ ,  $H/L=0.05$  の条件のデータを除いて近似曲線を施している。波形勾配の増加に伴い最適法面勾配は増加する傾向があることが分かる。

## (2) 3次元越波構造物

### a) 集波堤の効果

図-8 は相対天端高をパラメータとして無次元越波量  $Q_3/HL$  と集波比  $B_0/B_1$  の関係を示したものである。当然のことではあるが相対天端高  $h_c/H$  が増加するにつれ無次元越波量  $Q_3/HL$  は減少する。また、相対天端高  $h_c/H$  が

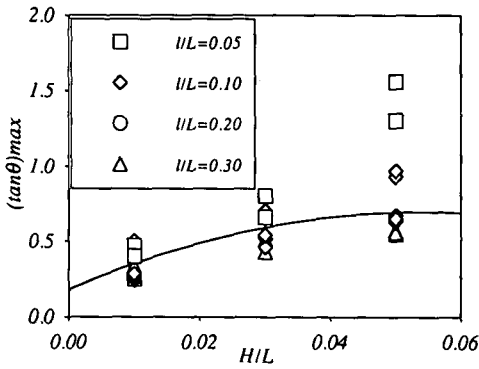


図-7  $(\tan \theta)_{\max}$  と  $h_c/H$  の関係

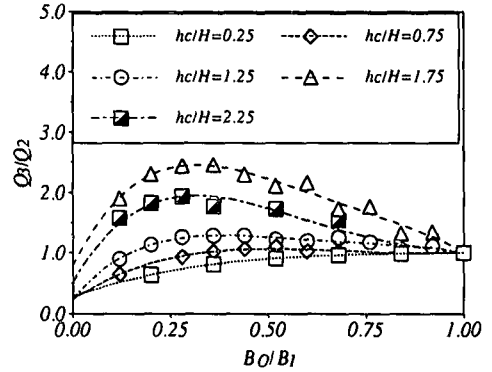


図-9  $Q_3/Q_2$  と  $B_0/B_1$  の関係 ( $H/L=0.03$ ,  $l/L=0.20$ )

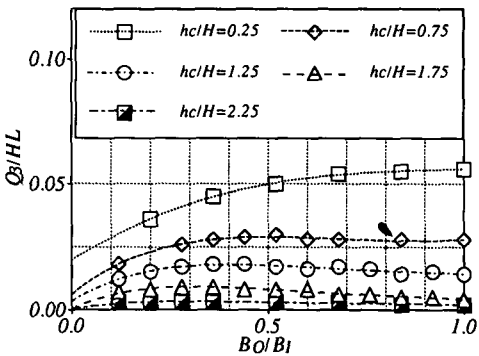


図-8  $Q_3/HL$  と  $B_0/B_1$  の関係 ( $H/L=0.03$ ,  $l/L=0.20$ )

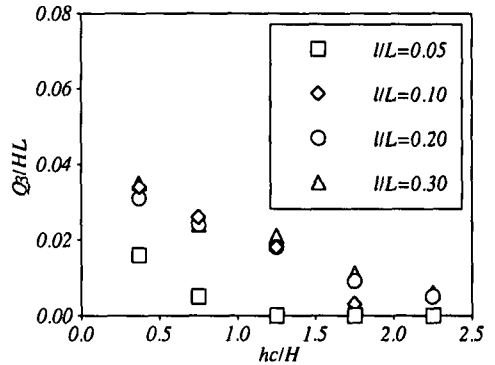


図-10  $l/L$  をパラメータとした越波量の比較 ( $H/L=0.01$ ,  $B_0/B_1=0.36$ )

小さい場合には集波比  $B_0/B_1$  の減少 (集波堤が閉じる方向) に伴い無次元越波量  $Q_3/HL$  は単調に減少するが、相対天端高  $h_c/H$  が大きくなるにつれ単調減少の傾向は弱まり、ついには一目増加した後に減少に転じる傾向を示すようになる。これは天端高が小さく容易に越波する場合には集波堤は単なる抵抗や反射要因にしかならないが、相対天端高が大きくなって越波堤のみでは越波しにくくなると集波堤による波の増幅効果により、天端高と集波堤内での波高の比すなわち有効相対天端高が小さくなるため越波量は増大すると考えられる。

図-9 は集波堤の効果をより明らかにするため、集波堤の無い場合 ( $B_0/B_1=1$ ) の越波量に対する集波堤を取り付けた場合の越波量の比  $Q_3/Q_2$  (以下、越波量比) と集波比の関係を相対天端高  $h_c/H$  をパラメータとして示したものである。天端高が波高以上 ( $h_c/H \geq 1.0$ ) になると越波量比が1以上になり集波堤が有効に機能し始めることが分かる。越波堤のみでは越波しないような高い天端高に対しても集波堤を取り付けることにより越波可能となることも十分考えられる。この様な場合には越波量比の値は無限大となる。

#### b) 越波量の相対堤長 $l/L$ への依存性

それぞれの相対堤長  $l/L$  に対し相対天端高  $h_c/H$  をパラメータとして無次元越波量  $Q_3/HL$  を集波比  $B_0/B_1$  に対して示してみると (図-8 参照),  $l/L=0.05$  を除けば a) で述べた傾向, すなわち相対天端高が大きくなると無次元越波量は集波比に対して明瞭なピークをもつという傾向が見られた。そこで相対堤長  $l/L$  への越波量の依存性の有無をより詳細に検討するため、集波比が0.36の場合に対し無次元越波量と相対天端高の関係を相対堤長  $l/L$  をパラメータとして図-10 に示す。図-10 から  $l/L=0.05$  の場合を除けば無次元越波量の相対堤長  $l/L$  への依存性はほとんどないということが分かる。他の集波比に対しても無次元越波量の相対堤長  $l/L$  への依存性は見られなかった。 $l/L=0.05$  に関しては前述したように波高に較べて法先水深が非常に小さいため他の3つのケースとは異なった傾向を示していると思われる。

#### c) 波形勾配 $H/L$ が越波量に及ぼす影響

各々の波形勾配  $H/L$  に対し相対天端高  $h_c/H$  をパラメータとして無次元越波量  $Q_3/HL$  を集波比  $B_0/B_1$  に対して示してみると (図-8 参照), 波形勾配が異なっても各々 a) で述べた傾向をもっていた。そこで波形勾配  $H/L$  による越波量への影響の有無を詳細に調べるため集波比

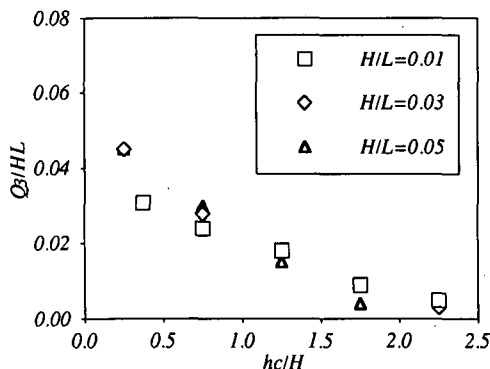


図-11  $H/L$  をパラメータとした越波量の比較 ( $l/L=0.20$ ,  $B_o/B_l=0.36$ )

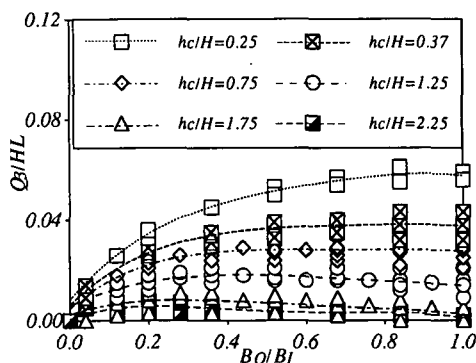


図-12 無次元越波量の表示

が0.36の場合に対して波形勾配  $H/L$  をパラメータとして無次元越波量と相対天端高の関係を図-11に示す。波形勾配  $H/L$  に対し多少のばらつきはあるが相対堤長の場合と同様、波形勾配による越波量への影響もそれほど強いものではないということが分かる。他の集波比に対しても無次元越波量の波形勾配  $H/L$  への依存性は見られなかった。

#### d) 越波量の表示

b), c) から越波堤の法面勾配が最適勾配であるとき、無次元越波量は相対堤長  $l/L$  及び波形勾配  $H/L$  からはそれほど強い影響を受けないことが分かった。よって無次元越波量と集波比の関係を相対天端高のみをパラメータにして表示することができる。図-12中にはb), c) で得られた全ての実験データを相対堤長及び波形勾配が異なっても相対天端高が等しいものは同じ印で示している。図中の曲線は各々の相対天端高に対して近似曲

線を施したものである。多少のばらつきはあるが、相対天端高のみをパラメータとした近似曲線で無次元越波量は集波比に対して精度よく表示されることが分かる。なお  $l/L=0.05$  の場合を除いて近似曲線は施されている。

## 5. 結 語

本研究では、前面に直立壁を有する越波構造物を用いた効率的な越波高と越波量の獲得に主眼をおき研究を進めてきた。その結果以下のことが明らかとなった。

### 2次元越波構造物に対して

1) 入射波の卓越波の波高  $H$ , 波長  $L$ , 必要水位差  $h_c$  が与えられている場合の最適勾配の決定および最大越波量の算定が可能となった。

2) 卓越波の波高  $H$ , 波長  $L$ , 必要水位差  $h_c$  に対し、任意の法面勾配  $\theta$  をもつ越波構造物によって獲得される越波量の算定が可能となった。

### 3次元越波構造物に対して

3) 天端高がそれ程大きくなく、越波しやすい場合には集波堤の存在はむしろ単位入射幅当たりの越波量を減少させる働きをもつが、天端高が大きくなり2次元越波堤だけでは越波しにくい場合には集波堤は越波量を大きく増加させる機能をもつ。

4) 入射してくる波の卓越波の波高  $H$ , 波長  $L$  が既知の海域において、越波構造物の形状 ( $B_o/B_l$ ,  $l/L$ ,  $h_c/H$ ) が与えられれば越波量の算定が可能となった。

最後に本研究を行うに当たり有益な御助言を頂いた九州大学工学部建設都市工学科の朝佐孝二助手、実験で多大な協力をお願いした藤田和夫技官に深甚なる謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 小松利光・松永信博・増輪一彦・植田 操・藤田和夫 (1992): 2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.
- 小松利光・松永信博・植田 操・岡田知也・藤田和夫 (1994): 3次元構造物によって効率的に獲得された越波量, 水工学論文集, 第38巻, pp. 493-497.
- 合田良実 (1970): 防波護岸の越波流量に関する研究, 港研報告, 第9巻, 第4号, pp. 1-41.
- (財) エンジニアリング振興協会 (1993): 波の津波力変換による揚水, 貯水及び定出力発電他に関する調査研究報告書, 201 p.
- 高田 彰 (1970): 波の遡上, 越波および反射の関連性について, 土木学会論文集, 第182号, pp. 19-30.
- 電発総技研 (1990): 波力発電システムに関する調査研究, 電発報告.