

不規則波による海岸堤防の越波量

富 永 正 照*・橋 本 宏*

1. ま え が き

海岸堤防の高さは一般に波のうちあげ高や越波量を考慮して決定される。この場合に使用されている波のうちあげ高または越波量の関係は主として規則波による模型実験の成果を利用して行なわれている。しかし実際の海の波は波高、周期とも規則的ではなく変動している。このような不規則な波による海岸堤防の越波量がどの程度になるかという点について模型実験によって調べた結果を報告する。

不規則な波による海岸堤防へのうちあげや越波をどのように取り扱うかという問題に関しては、現象が非線形であるために一般に不規則な現象の解析に使用されている周波数応答などの概念は用いられずに、波高分布に着目して解析が行なわれている。うちあげ高については波高、周期の分布が互いに独立であると考え、それぞれの分布と規則波の実験結果を利用してうちあげ高の頻度分布を求めた首藤¹⁾の研究があり、越波量については周期の影響が少ないと考えて波高分布に規則波の波高と越波量の関係を適用して期待越波流量を求めた合田^{2),3)}の研究がある。

浅海における波形はクノイド波や孤立波の波形に近く、一波ごとの独立性がかなりあり、また碎波後のうちあげ高や越波量は沖での波高や周期よりも堤防の設けられている地点の水深に関連していることを考えると不規則な波による越波量もかなり簡単に取り扱えるのではないかと考えられる。碎波点より岸側に設けられた海岸堤防の越波量は規則波の実験結果を利用し、不規則波の平均波高に対応する規則波の波高と越波量の関係を適用して求めてもよいと推定される。この点について不規則波を使用した模型実験によって検討を行なった。

2. 実験方法

模型実験は延長 60 m, 幅 60 cm, 高さ 137.5 cm の一部ガラス張り水路を使用して行なった。これには不規則波造波装置⁴⁾が取付けてあり、最大波高 30 cm の波を起こすことができる。この水路に 1/30 の勾配をもった海底を造り、堤脚水深 $h=5$ cm, 静水面からの堤防高 $H_c=5$ cm の鉛直堤を取付けて実験を行なっている。

越波量は堤防後方にバットを置き、これに入った水量をメスシリンダーによって測定した。測定時間は規則波については 10 波, 不規則波については 5~20 秒間の測定を 1 実験について 5 回行なっている。不規則波を作用させた時間は 2~3 分で波数にすると 100 波程度である。波形は抵抗線式波高計によって測定している。

実験条件としては規則波については周期は 1.0, 1.5, 2.0 秒の 3 種類で波高は 3~17 cm の範囲であり、不規則波については表—1 に示す通りである。

表—1 実験条件および結果

No.	h (cm)	H_c (cm)	H_m (cm)	T_m (sec)	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	q (cm ³ /cm/sec)
1	5.0	5.0	4.18	0.99	6.34		1.77
2	"	"	3.75	0.96	5.68	1.02	0.957
3	"	"	2.76	1.10	4.62	1.39	0.707
4	"	"	6.12	1.18	9.71	1.31	3.85
5	"	"	6.14	1.21	10.39		4.75
6	"	"	8.05	1.34	12.4		4.38
7	"	"	8.09	1.33	13.1		4.92
8	"	"	3.20	1.39	4.95	1.86	1.25
9	"	"	6.50	1.43	10.4	1.64	5.84
10	"	"	8.04	1.57	12.3	1.77	7.43

不規則波のスペクトルの型としては次式で表わされる光易Ⅱ型スペクトル⁵⁾を使用した。

$$\Phi(f) = 0.258 \left(\frac{H_{1/3}}{g T_{1/3}} \right)^2 g^2 f^{-5} \times \exp \{ -1.03 (T_{1/3} f)^{-4} \}$$

ここで、 $\Phi(f)$: 波スペクトル, $H_{1/3}$: 有義波高, $T_{1/3}$: 有義波周期, f : 周波数, g : 重力の加速度である。有義波高を 5 cm, 10 cm, 15 cm とし, 有義波周期を 1.0, 1.5, 2.0 sec とした可能な組合せ 6 ケースについて実験を行なっている。発生した波のスペクトルを図—1 (a), (b) に示す。これは造波板から 9 m 離れた水深 1.0 m の位置における値である。図—1 (a) における各スペクトルの値が最大となる周波数はそれぞれ 1.0, 0.67, 0.5 Hz であるが波高分布から求めた有義波周期は表—1 に示すように $T_{1/3}=1.0, 1.4, 1.9$ sec となっておりいくぶん小さくなっている。波高分布については図—2 に一例を示すがレーレー分布より分布の幅のせまいものが多かった。波高と周期の結合分布は波高が小さければ周期も短く, 相関係数としては 0.3~0.5 程度であった。

*正会員 建設省土木研究所河川部海岸研究室

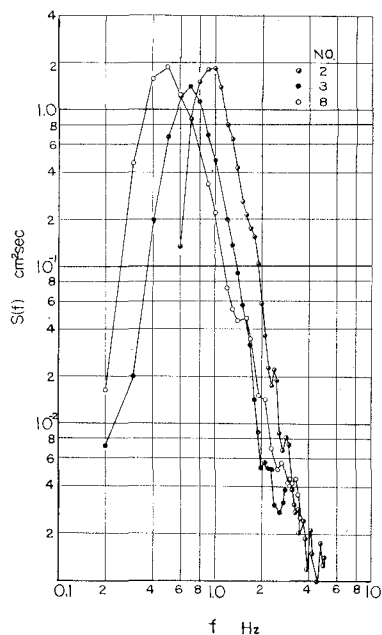


図-1 (a) 実験波のスペクトル

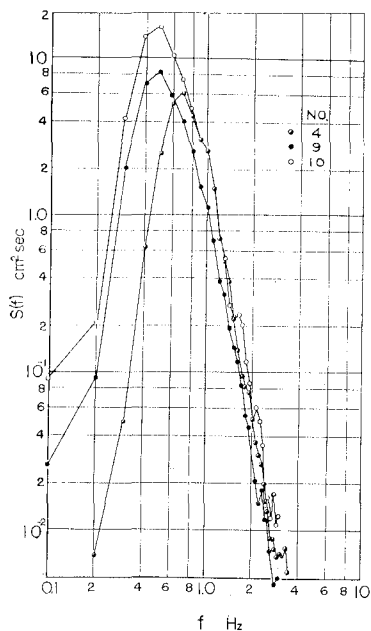


図-1 (b) 実験波のスペクトル

3. 実験結果

規則波による実験の結果を図-3に示す。この図で H は水深 1 m の位置における波高を示し、越波量 q は単位時間、単位幅当りの量を示している。実験結果によれば一般の越波量と同様に波高の増加にともない越波量は急に増加し、ある値で極大となって、それ以後はゆるやかに増加している。周期 $T=2.0$ sec のものについてはこの極大は生じていない。図-3 には合田²⁾ によってま

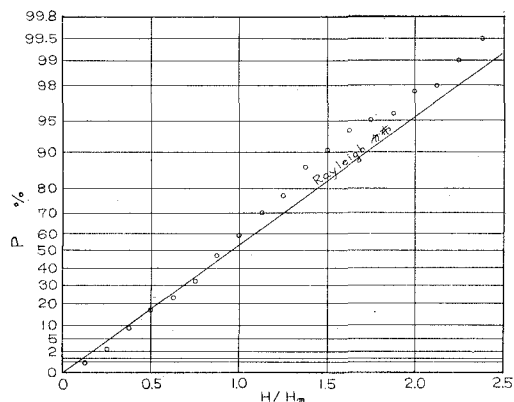


図-2 波高分布

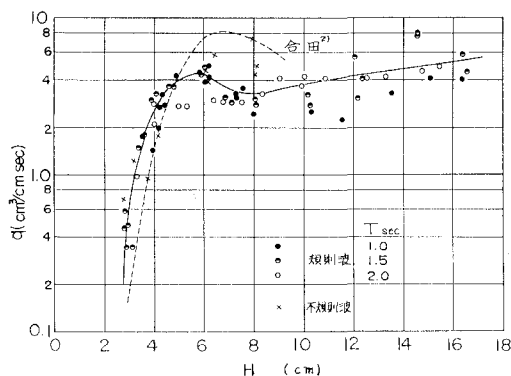
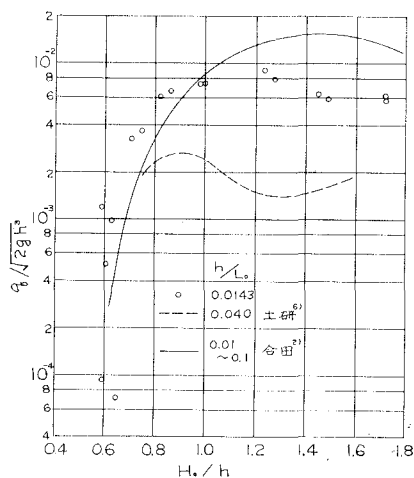
図-3 越波量と波高の関係 ($H_d/h=1$)

図-4 越波量の実験結果

とめられた規則波の波高と越波量の関係から $H_0=5$ cm, $h=5$ cm の場合の値を計算して示してある。これを実験値と比較すると波高が 5 cm より小さい場合には実験値が大きく、5 cm より大きい場合には小さくなっている。

今回行なった実験の結果とさきに著者の一人が行なった 1/30 の海底に設けられた鉛直堤の越波量の実験結果⁶⁾ と比較したのが 図-4 である。さきに行なった実験は

比水深 h/L_0 の値が $0.03 \sim 0.06$ 程度であるが今回の実験は $0.008 \sim 0.03$ の範囲で行っており、実験値にかなりの差を生じている。この図に示した合田の結果は海底勾配が $1/10 \sim 1/30$ の資料を使用してまとめたものであるが海底勾配 $1/10$ のものが主であり、 $1/30$ の場合にはこれより小さくなると考えられる。この結果によれば比水深が小さい場合にはこの影響が表われてくると考えられ、周期が越波量に影響していると考えられる。

海岸堤防の高さと堤脚水深が定まっている場合に来襲波高と越波量の関係は次のようになる。まず波高が小さい場合には堤防前面における波は重複波となって越波量は波高が増加すれば大きくなる。さらに波高が大きくなると前面で生じた重複波が砕波するようになる。堤防直前で砕波するような波によって越波量は極大となり、波高が大きく、波が堤防に到達する以前に砕けると越波量は減少する。この減少の割合はあまり大きくなく、波高の増加にともなって再び越波量も増加していく。この増加は堤防前面の平均水位が上昇し、そこに存在できる波高が増加するためと考えられる。すなわち堤防前面に重複波が生じて波高の増加とともに越波量が増加する場合と波が砕けて波高が変化しても越波量はあまり変化しない場合に大別できる。

波の大きさがある分布にしたがっている不規則な波の越波量について考えると砕波点より岸側に堤防が設けられている場合には波高が変化しても越波量は変わらないために不規則波の平均波高に対応する規則波の波高と越波量の関係を適用することによって 50% の誤差の範囲で不規則な波による越波量を推定できると考えられる。

まず堤防前面における波の状態を波形勾配 H_0/L_0 と比水深 h/L_0 の関係で示したのが図-5⁷⁾である。 H_0 と

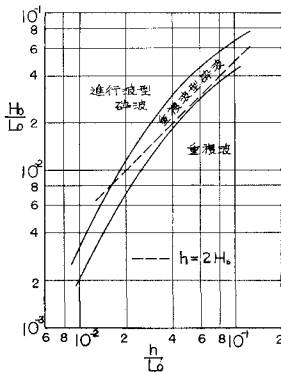


図-5 堤防前面における波の状態⁷⁾

L_0 はそれぞれ入射波の深海波高と深海波長である。波形勾配が 0.01 より大きい場合には深海波高の 2 倍より堤脚水深が浅ければ砕波すると考えてよいことを示しており、この関係は堤防に作用する波圧が重複波型となるか砕波型となるかの限界としてよく知られている

ものである。

模型実験によってさきに述べたスペクトルを持つ不規則波を起し、越波量を測定して単位幅、単位時間当りの量として求めたのが表-1 に示されている。不規則波の平均波高 H_m が規則波の波高に等しくおけると考えて規則波の結果と合わせて示したのが図-3 である。両者はかなりよく一致しており、不規則波の結果が規則波のばらつきの範囲にほとんど入っている。不規則波の平均波高から 図-3 の実線の関係を使用して越波量を推定し、これと実験値とを比較したのが図-6 である。この図には $h < 2H_0$ の範囲に入る合田の実験結果³⁾ も合わせて示してある。

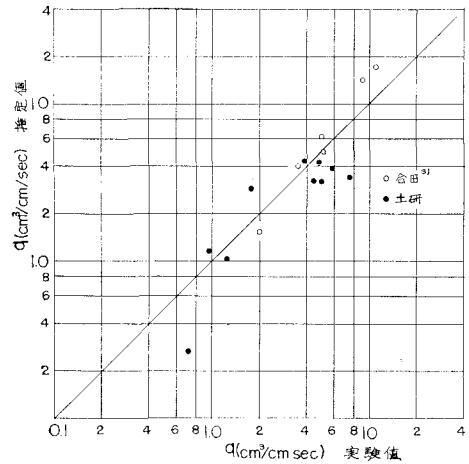


図-6 実験値と推定値の比較

以上の結果によると堤防が砕波領域、すなわち堤脚水深が平均波高の 2 倍よりも小さい場合には平均波高を規則波の波高と同じに考え、規則波による実験結果を利用すると不規則波による越波量を推定することができる。

一般の統計量においてもまず平均値で取り扱うのが普通であって有義波という概念があまり明確な意味を持っていないことから考えても波の特性を表わすものとしては平均波高がより適当であると考えられる。越波の場合には波高と越波量の関係をかなり簡単化することができて、砕波する波については越波量がほぼ一定であると考ええると平均波高で砕波すればこれに対応する越波量は一定値の領域に入っている。すなわち大きくても誤差は 50% 以内であり、上記の方法を使用して推定することができる。

不規則波の越波量を推定する方法として合田²⁾ によって波高分布と規則波の波高と越波量の関係を使用して求める考え方がある。この越波量を期待越波流量 q_{exp} と呼び具体的には次式によって計算される。

$$q_{exp} = \sum_{j=1}^M q_j(H_j) \frac{n_j(H_j)}{N}$$

ここで $q_j(H_j)$ は波高 H_j のときの越波量を表わし、

$n_j(H_j)$ は全波数が N のときの波高 H_j の波数であり, M は波高区分の数である。

上式を使用して $q(H)$ として 図-3 の実線の関係を用い q_{exp} を求め, 実験値 q_{meas} と比較したのが 図-7 である。この結果によれば越波量が小さい場合には期待

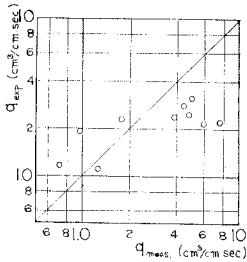


図-7 実験値と期待越波流量の比較

越波流量が大きく, 大きい場合には小さい。もし波高と越波量の関係として 図-3 の破線の合田の関係を使用するとかなり良い結果が得られるであろう。合田による直立護岸期待越波量曲線上に実験値を描いたのが 図-8 である。この実験は $H_c/h=1$ の条件で行なわれており, かなりよく一致しているといえる。しかし 図-4 におい

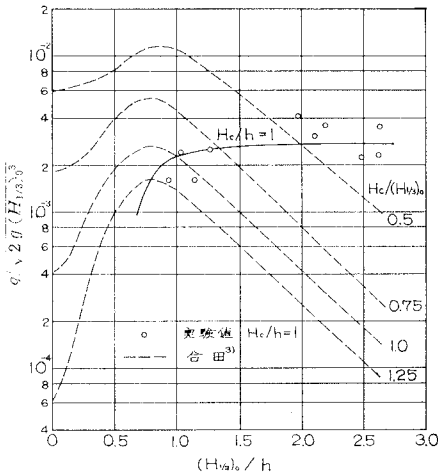


図-8 実験値と期待越波流量の比較

て海底勾配 1/30 の場合には越波量がかなり小さくなっていることを考えると一般に 図-8 の関係をそのまま海底勾配 1/30 の場合に使用して越波量の推定を行なうには問題があると思われる。ここで行なった実験は堤脚水

深が浅いために深い場合に比較して越波量が大きくなっており, これと海底勾配がゆるいための減少量が消し合っているのではないかと考えられる。また波高分布から越波量を求める方法を使用する場合には周期の影響を無視しているために適当な波高と越波量の関係を選ばなければならないと考えられる。

以上検討を行なった結果をまとめると砕波点より岸側に堤防が設けられる場合には不規則波の平均波高に規則波の波高と越波量の関係を適用して越波量の推定ができることが明らかになった。また波高分布から推定する場合には周期の影響を考えていないため平均化した規則波の波高と越波量の関係を使用しなければならない。

4. あとがき

不規則波の越波量について模型実験による検討を行なったがここで取扱ったのは沖の波と平均された越波量の関係である。沖で不規則であった波も岸に近づくにしたがってかなり規則的になってくると考えられ, 波高分布の幅もせまくなることを考えると, 中心となる波, たとえば平均波高に相当する波に注目して解析を行なってもかなりよい成果が得られる可能性がある。またここでは平均の越波量について調べたが, 一波ごとの越波量やその頻度分布も検討を必要とする問題である。このような点から浅海において不規則な波の波形や波高の分布がどのように変化するかを明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 首藤伸夫：有義波とうちあげ高の関係, 土木研究所報告第 126 号, pp. 19~29, 1964.
- 2) 合田良実・竹田英章：不規則波に対する護岸の期待越波流量について, 第 15 回海岸工学講演会講演集, pp. 259~266, 1968.
- 3) 合田良実：不規則波に対する護岸の期待越波流量について(第 2 報), 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 125~132, 1970.
- 4) 富永正照・橋本 宏：造波機による不規則波の発生, 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 415~419, 1970.
- 5) 光易 恒：風波のスペクトルの発達(2)---有限な吹送距離における風波のスペクトルの形について---, 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 1~7, 1970.
- 6) 富永正照・佐久間 襄：海岸堤防の越波量について, 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 133~140, 1970.
- 7) 豊島 修, 富永正照・橋本 宏：海岸堤防に関する研究(8)---一波のうちあげ高---土木研究所報告第 131 号, pp. 1~30, 1967.