

消波ブロック被覆堤の直立部に働く不規則波力

谷本勝利*・高橋重雄**・明瀬一行***

1. ま え が き

直立部の前面に消波ブロックを投入した消波ブロック被覆堤は、消波ブロック被覆による反射・伝達波軽減効果、波力減殺効果があるため、比較的水深の浅いところでの主要な防波堤構造様式の一つとなっている。しかし、その耐波設計法は通常の混成堤ほどには確立されておらず、特に不規則波の作用に関して未解決な点が多い。たとえば、直立部の設計波力の算定には森平式あるいは合田式を準用する方法があるが¹⁾、波力の算定において前者は有義波高、後者は最高波高を用いるもので、これらの適用性を明らかにするためには不規則波による検討が不可欠である。また、合田式を準用する場合においても、波力低減係数の与え方に問題が残されている。そのため、本研究は直立部に働く不規則波力に関する実験を行って、波力の度数分布および低減係数の値等を検討するものである。

2. 実験の方法

(1) 実験水路

実験に用いた水路は中型平面水槽 (30m×20m×1m) の一部を幅 5m で仕切った仮設水路で、図-1 に示しているように、その中にさらに幅 50cm の水路を設けてあり、堤体模型はこの内水路の中に設置する。造波機は低慣性直流電動機駆動のピストン型式で、入力信号に追従して任意波形の波を造波することができる。造波板の幅は外水路はほぼ一杯の 4.8m であり、内水路の側壁は造波板中立位置から 6.6m 地点に始まる。このように内水路始点と造波板の間に距離を設けてあるのは、内水路に設置する模型構造物からの反射波を分散させ、造波板からの再反射波の影響を軽減させるためである。特に、今回対象とする構造は低反射であるので、造波板からの再反射波の影響はほとんど無視でき、後述する実験波の諸元は堤体設置以前の状態で測定した通過波の値である。

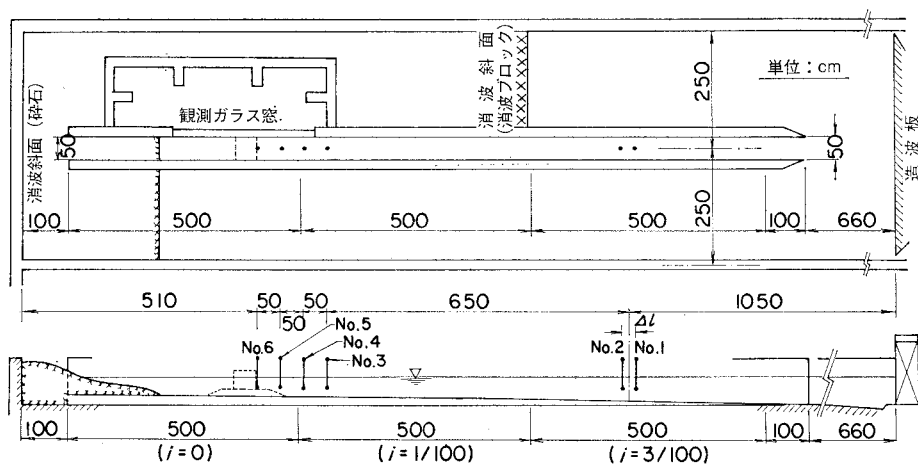


図-1 実験水路

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部防波堤研究室長
 ** 正会員 M.S 運輸省港湾技術研究所水工部波エネルギー研究室長
 *** 運輸省港湾技術研究所水工部波エネルギー研究室

3. 実験結果および考察

(1) 波力の時間変化の例と代表波力の定義

図-3 は記録の一部を例示したもので、上から全波力を直立壁の高さに関して平均した波力強度 $\bar{p}$ 、および測点 P2($z=+2.55$ cm), P4($z=-12.5$ cm), P6($z=-27.5$ cm) での波圧強度 p の時間変化である。図中、 $\bar{p}$ に対しゼロアップクロス法で判断した波の番号を示しているが、こうした波別ごとのピーク値(最大値)の統計解析を行った。不規則波力(ピーク値)の代表としては、波の場合と同様に、一連の不規則波の作用による最大値を最大波力、大きいほうから数えて全体の 1/10 の数の波力のピーク値の平均値を 1/10 最大波力、同じく 1/3 の数のピーク値の平均値を有義波力、全体のピーク値の平均値を平均波力と定義し、直立壁の高さに関し平均した波力強度をそれぞれ $\bar{p}_{\max}$, $\bar{p}_{1/10}$, $\bar{p}_{1/3}$, $\bar{p}_{\text{mean}}$ と表示する。

(2) 波力の相対度数分布

図-4 は $h'/h=0.350$, B波の条件での、有義波力を基準とした不規則波力の相対度数分布を3種の波群による結果を集計して示したものである。ただし、相対度数 n/N_w はクラスの分割幅 $\Delta(\bar{p}/\bar{p}_{1/3})$ で割って確率密度のかたちで表示してある。ここに、 N_w は総度数(作用波数)、 n はクラスに含まれる度数である。既に述べたように波力の度数は波の波数と若干異なり、図中最小クラスの点線で示した相対度数はこれを補正したものである。 $H_{1/3}/h=0.203$ や 0.515 の例では、この補正した相対度数が補正前の値よりも小さくなっているが、これは波力の記録におけるノイズ等によって波力の波数が見掛け上大となったためと考えられる。これらの結果によると、 $\bar{p}/\bar{p}_{1/3}$ の分布は $H_{1/3}/h$ が大きくなるほど、幅が狭

くなる傾向にある。

図中、波浪条件から合田式を準用して計算した波力の確率密度曲線を示してある。これは次のように周期の与え方を違った3種の方法による結果である。

- ① 実験波の波高・周期の結合分布を与え、波浪条件の2次元確率分布に基づいて波力の分布を計算する。
- ② 波高の確率分布を与え、周期は各波高クラスごとの平均周期を用いて波力の分布を計算する。
- ③ 波高の確率分布のみを与え、周期はすべて有義波周期を用いて波力の分布を計算する。

合田式を準用する際の波力低減係数 λ の値は後述するように最適値として 1.0 を用いている。

計算結果は波浪条件として測定結果をそのまま用いているので、若干脈動している。3種の方法による結果を比較するとそれほど顕著な違いはなく、周期の与え方はあまり重要でないことが知られる。これは、大きな波力を与える波高の大きい領域においては、波高・周期の結合分布で波高が有義波周期の回りに分布することによって考えられる。いずれの結果においても、 $H_{1/3}/h$ が大きくなるにつれて碎波の影響のため波高分布がひずんで集中度が高くなるので、波力分布においても最頻値のクラスが大きいほうへ移行する傾向を示している。これら計算による波力分布は測定値の傾向をよく表していると思なすことができる。

(3) 代表波高と代表波力の関係

図-5, 6 は最大波力, 1/10 最大波力, 有義波力の値をそれぞれ対応する代表波高で無次元化してプロットしたものである。横軸の H/h の H もそれぞれに対応する代表波高を表している。データはばらついているけれども、無次元表示のかたちでは最大波力, 1/10 最大波力,

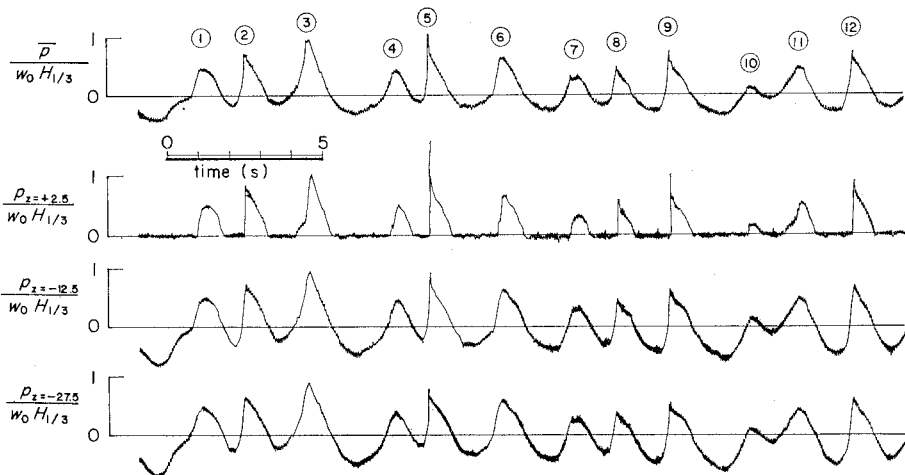
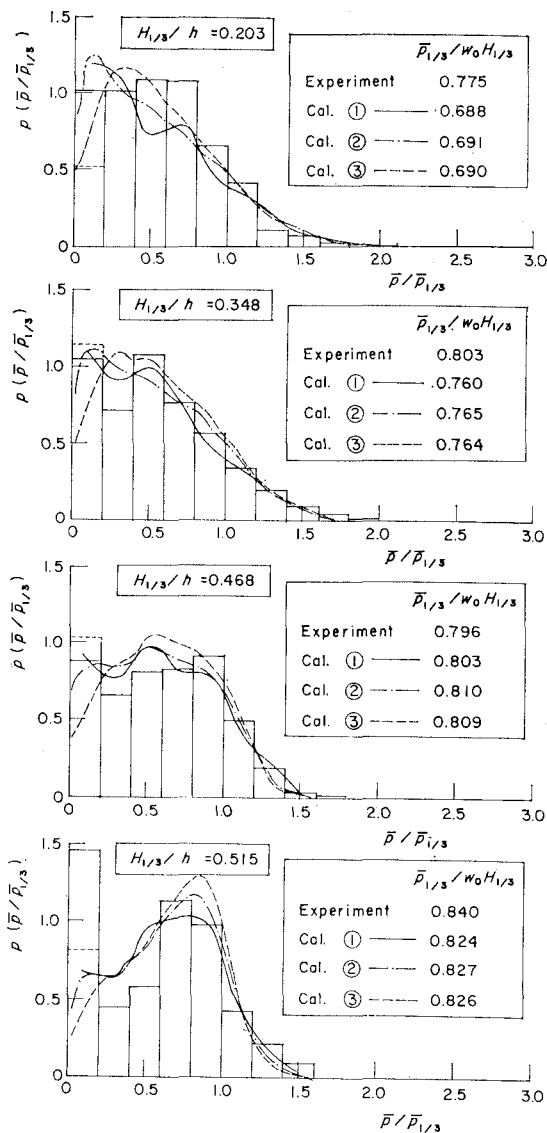


図-3 波圧および波力の記録例

図-4 波力の相対度数分布 ($h'/h=0.350$, B波)

有義波力等の間に大きな傾向的相違はない。図中、波種ごとの全データの平均値と標準偏差を示してあるが、平均値はA波の場合 h'/h によって 0.666, 0.684, B波の場合 0.823, 0.818, C波の場合 0.906, 0.918 で、波種すなわち周期によって明らかな違いがあり、周期が長いほど大きくなる傾向にある。 h'/h の条件によっては大差ない。

(4) 森平式との比較

碎波帯内での消波ブロック被覆堤直立部に働く波力の算定は一般に森平ほかによる式⁹⁾を用いて行われることが多い。これは碎波帯内にあっては、 $1.0w_0H_{1/3}$ (w_0 : 水の単位体積重量) がほぼ最大波力を表しているとき妥当であると考えることができる。そのため、不規則波によ

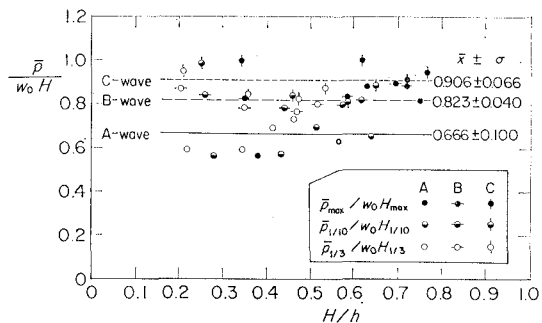
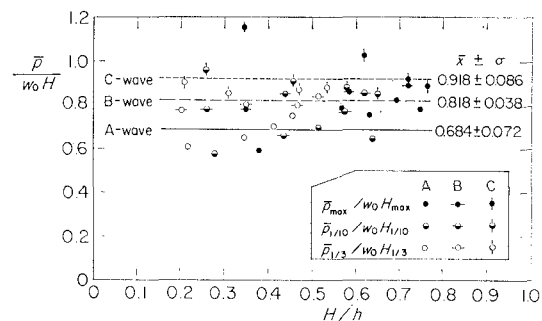
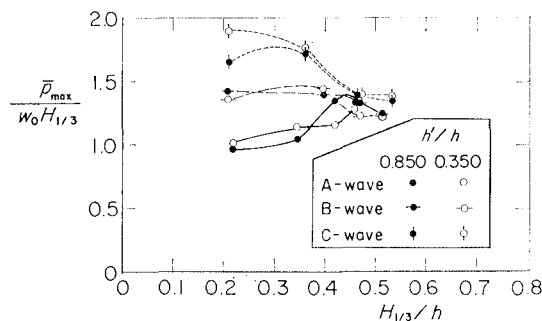
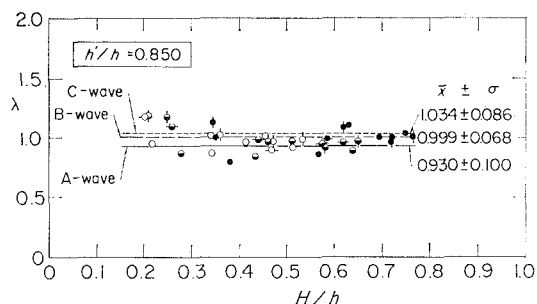
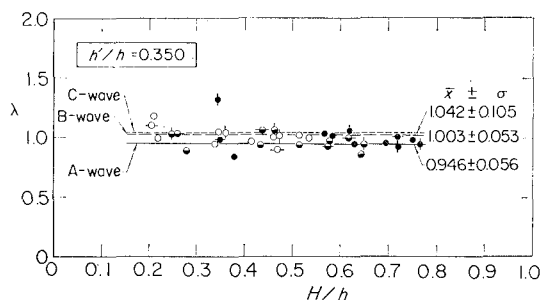
図-5 代表波力と代表波高の関係 ($h'/h=0.850$)図-6 代表波高と代表波力の関係 ($h'/h=0.350$)

図-7 有義波高で無次元化した最大波力

る最大波力を $w_0H_{1/3}$ で無次元化してプロットしてみたのが図-7である。結果は、適用外の $H_{1/3}/h$ の小さい条件で周期による違いが特に大きく、 $\bar{p}_{max}/w_0H_{1/3}$ の値は 1.0~1.9 の範囲に分布している。 $H_{1/3}/h$ が大きくなるにつれて碎波の影響を受けるようになるので、 $H_{max}/H_{1/3}$ の値が小さくなり、 $\bar{p}_{max}/w_0H_{1/3}$ の値が低下するものと考えられ、周期の比較的長いB波やC波においてはそうした傾向が明らかに現われている。しかし、周期の短いA波の場合にはむしろ大きくなる傾向を示している。これらの結果、 $H_{1/3}/h=0.45\sim0.55$ の条件では $\bar{p}_{max}/w_0H_{1/3}$ の値は 1.2~1.4 の範囲に収束していく傾

図-8 波力低減係数 ($h'/h=0.850$)図-9 波力低減係数 ($h'/h=0.350$)

向が認められる。これらを森平式と比較すると、不規則波による最大波力は碎波帯内であっても 20~40% 大きくなることが知られる。

(5) 波力低減係数

最後に、今回の実験結果に基づき合田式を準用する場合の波力低減係数の値を検討する。

波力低減係数 λ の値は実験と計算による合波力が等しくなるように求める。このとき、 λ が作用高さと波圧強度の両方に関係することを考慮して、次のように表される。

$\gamma^* \leq h_c$ のとき、

$$0.75\alpha_1 H l^2 + 0.5\alpha_1(1+\alpha_3)h'\lambda - \bar{p}_{El}/(w_0 H) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$\gamma^* > h_c$ のとき、

$$\lambda = \frac{\bar{p}_{El}/(w_0 H) + \alpha_1 h_c^2/(3H)}{0.5\alpha_1(1+\alpha_3)h' + \alpha_1 h_c} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$$\gamma^* = 1.5\lambda H$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

であり、 l は直立壁の全高 ($=h_c+h'$)、 $\bar{p}_E$ は実験による波力強度である。

図-8, 9 は最大波力、1/10 最大波力および有義波力に対し、それぞれ対応する代表波諸元を用いてこの λ の値を求め、 H/h に対してプロットしたものである。 λ の値は $h'/h=0.850$ の場合 0.8~1.2、 $h'/h=0.350$ の場合 0.8~1.3 程度の範囲にばらついているが、これを前出の図-5, 6 と比較すると非常によくまとまっている

ことがわかる。図中、波種ごとの平均値と標準偏差を示してあるけれども、平均値は A 波の場合 0.930, 0.946, B 波の場合 0.999, 1.003, C 波の場合 1.034, 1.042 と周期が長くなるにつれてやや大きくなる傾向にある。また、 $h'/h=0.35$ のほうが 0.850 の条件よりわずかに大きい傾向にあることも認められる。しかし、これらによる違いは小さく、特に実際の設計で対象となることの多い波高の大きい条件では 1.0 近くに収れんする傾向にあり、この実験結果からは λ の値は 1.0 と考えるのが妥当のようである。ただし、この値は不規則波による滑動実験結果に基づく値⁴⁾ よりやや大きく、滑動安定性に対する波力の算定法としてはなお検討の余地がある。

4. む す び

以上、消波ブロック被覆堤の直立部に働く不規則波力実験結果について述べたが、本研究により直立部に働く不規則波力は合田式を準用する方法において $\lambda=1.0$ とおくことによってよく推定できることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局編：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，1979。
- 2) 谷本勝利・高橋重雄・明瀬一行：防波堤直立部に働く不規則波力に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第23巻，第3号，pp. 47~99，1984。
- 3) 森平倫生・柿崎秀作・菊谷 徹：異型ブロックの波力減殺効果に関する研究，港湾技術研究所報告，第6巻，第4号，pp. 3~31，1967。
- 4) 谷本勝利・大里睦男・高岡征二郎・内田豊彦・池田辰男：不規則波による消波ブロック被覆堤の安定実験，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 343~347，1979。