

透過性防波堤背後の物揚場に作用する透過波の波力

渡 辺 啓*・大 島 実**・野 口 雄 二**

1. ま え が き

防波堤背後に物揚場を設ける際、この防波堤がたとえば図-1に示すような捨石またはコンクリートブロック等による透過性構造である場合、外海より防波堤内を透過した波の波力に対し物揚場の安定性が問題となる。

現在、この種の波力についてはほとんど解明されていないと思われる。著者らは、茨城県那珂湊漁港に建設される物揚場(図-1)のエプロンに作用する揚圧力、岸壁に作用する水平波力を二次元水理模型実験により測定したので、その結果を報告する。

2. 実験方法

実験は長さ 51m, 幅 1.2m, 高さ 1.2m の造波水路を使用し、水路幅の中央に仕切り板を設け、一方では堤体を設置して波力を測定し、他方では一様水深部(水深 70~77cm)の波高と通過波高(構造物がないときのその地点の波高)を測定した。両水路内には 1/50 一様勾配の斜面を設けた。

波力の測定は図-1の点線で示される物揚場に対して図に示すように受圧板を取り付けて行なった。波力計は全波力計と部分波力計よりなる(写真-1,2)。全波力計では水平板および鉛直壁の全長に作用する力を幅 10cm にわたって測定し、部分波力計ではそれぞれの全長を3等分割した部分に作用する力を幅 20cm にわたり測定した。受圧板には、厚さ 10mm のアクリル板を、測定アームには厚さ 9mm, 幅 38mm の鉄材を使用し、波力によるアームのひずみをストレインゲージにて取り出し

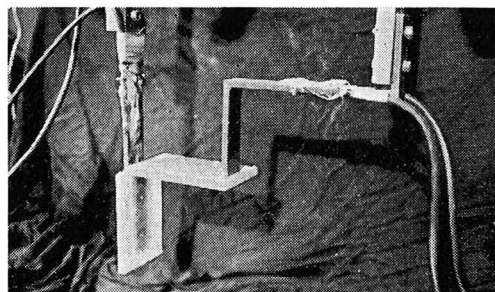


写真-1 全波力計

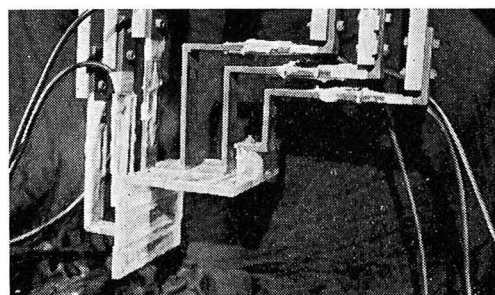


写真-2 部分波力計

た。図-2 および式(1)は受圧板に垂直に働く力 F_H のみを取り出す方法を示したものである。

$$e_0 = \pm \frac{E_0 \cdot K l}{2EW} F_H \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 e_0 : 出力電圧、 E_0 : 入力電圧、 K : ゲージ率

E : アームのヤング率、 W : アームの断面係数

波力計の静的な荷重による検定の結果、直線性は非常

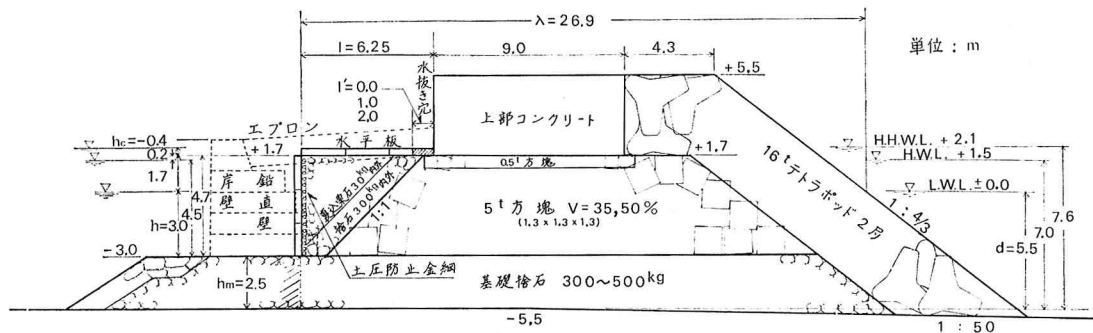


図-1 実験断面図

* 正会員 茨城県土木部港湾課

** 正会員 日本テトラポッド(株)土浦技術センター

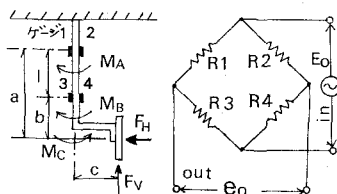


図-2 波力測定法

によく、ばらつきは 1000 g に対し $\pm 10 \sim 20$ g であった。水中での固有振動数は約 23 サイクル、減衰定数はほぼ 0 である。波力測定に際し、鉛直壁前面に図-1に示すように土圧防止金網を置き、また上部工前端に越波防止板を立て、さらにエプロンに明けた穴から吹き出す水の流出防止に導水板を立てた。受圧板周辺のすき間は極力小さくし、薄いゴム膜 (0.2 mm) を貼って水および空気の流出入を防いだ。

実験波には規則波を使用した。波高および波圧の測定は定常な波について連続 5 波行ない、それを 2 回繰り返す、合計 10 波を読みとり平均値を求めた。波力の測定値はすべて静水時を 0 とし、水平板に作用する波力については揚圧力のみ、鉛直壁に作用する水平力については波の進行方向のみであり、それぞれの最大値である。なお本論文の値はすべて現地の値であり、換算には模型縮尺 1/31.5 としフルードの相似則を適用した。

実験断面 (図-1) と条件は次のとおりである。断面 I は鉛直壁下部に厚さ $h_m = 2.5$ m の捨石基礎マウンドがあり透過性の場合である。5 t 方塊の空けき率は 35%、裏込めおよび基礎マウンドの捨石は約 40%、テトラポッドは 50% である。実験はエプロンに圧力減少を期待して水抜きまたは空気抜き穴を設けた場合 (穴の幅 $l' = 1$ m) についても行ない、潮位を 3 種類、周期を $T = 9, 13$ sec の 2 種類、沖波波高を通過波が非碎波から碎波後の波となるような $H_0 = 2 \sim 7$ m の 6 種類と条件を変えて行なった。H.H.W.L., H.W.L. および L.W.L. の各潮位における設置水深は $d = 7.6$ m, 7.0 m および 5.5 m であり、水平板下面と静水面との差 (クリアランス) は $h_c = -0.4$ m, 0.2 m, 1.7 m である。H.H.W.L. の場合のみ静水時に水平板下面が水中に没する。断面 II は断面 I における鉛直壁下部から逃げる圧力を阻止した場合、たとえば岸壁を直接地盤に設置した場合等を想定し、鉛直壁下部を不透過とした場合である。断面 III は 5 t 方塊のマウンドの空けき率の効果を見るため、空けき率を 50% とした場合である。

3. 実験結果と考察

(1) 波の特性

実験波の特性を図-3 に示した。通過波は $d = 5.5$ m の場合沖波波高 H_0 が 3~4 m のとき碎波し、 $d = 7.0$ m, 7.6 m の場合は $H_0 = 5$ m 程度で碎波する。 $T = 13$ sec の波

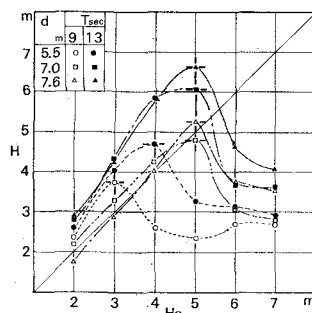


図-3 実験波

は巻き波碎波であり、 $T = 9$ sec の波は崩れ波碎波である。

(2) 波力の波形

図-4 は実験条件内で最も波高が小さい場合の波力の

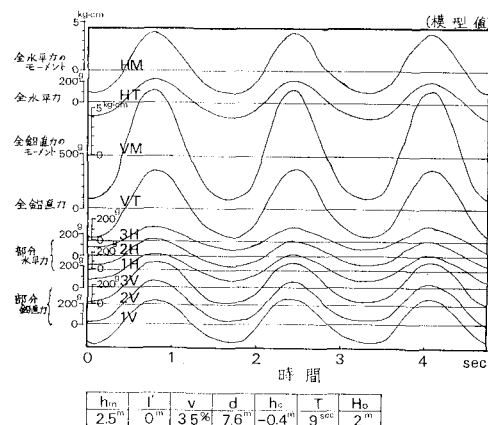


図-4 波力の波形

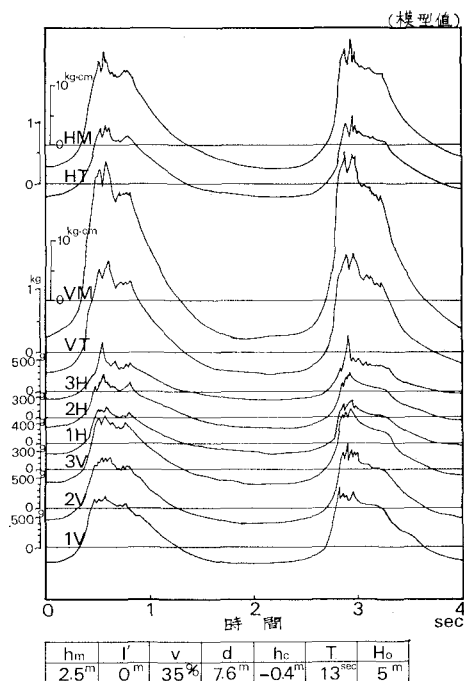


図-5 波力の波形

時間変化を示したものである。波形は正弦波に近い。

図-5は砕波が作用した場合で、波形は非対称である。図-6は水平

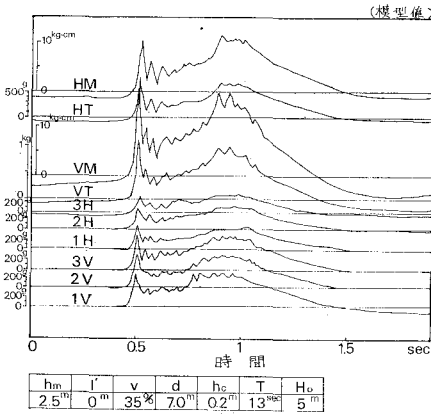


図-6 波力の波形

板下面に水面が離着する $h_0=0.2m$ の砕波の場合のみ生じた波形で極大値が2つある。第1の極大値は水面が水平板下面に衝突する際に生じたものであり、第2極大値は水中の圧力変動によるものである。なお本実験ではこの第1の極大値は第2極大値に比べて小さく、また最も波力の強い $h_0=-0.4m$ のときは生じなかったで、特に考慮する必要はなかった。

(3) 部分波力の分布と同時性

図-7(a), (b)は揚圧力と水平波力の分布の一例である。水平波力は上部隅角部でやや大きい、水平波力および揚圧力ともほぼ等分布と見なせる。各分布に作用する波力の最大値は図-4, 5, 6にみられるように同時に生じる。

(4) 全波力

図-8は沖波波高 H_0 と水平波力 P_H ($=f_H/h$)の関

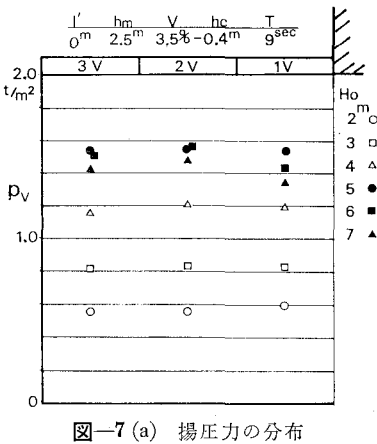


図-7(a) 揚圧力の分布

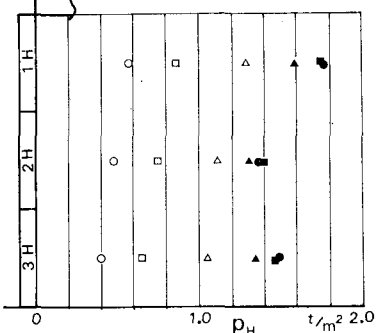


図-7(b) 水平力の分布

係の一例を示したものである。たて軸は単位幅当りの全

水平力 (f_H) をマウンドの上の水深 (h) で割った波圧 p_H を示す。 $d=7.6m$ のときは、マウンド上の水深は $5.1m$ であるが

h として、マウンドから水平板下面までの高さ $4.7m$ をとった。

波圧は通過波が砕波(+印をつけた記号)あるいは砕波直後の波となるような沖波波高のとき最大となる。砕波後の波による波圧は図-3に示す砕波後の通過波高 H の急減に比べ砕波時の波力とほぼ同程度かやや減少する程度である。波圧は周期が長いほどまた潮位が高くクリアランスが小さいほど大きい。

以上のことは揚圧力についても同様である。ただしクリアランス $h_0=1.7m$ のときは水平板に空気圧縮による力がわずかに作用する程度で水平波力に比べ非常に小さい。 $h_0=0.2m$ および $-0.4m$ の場合の水平力と揚圧力との関係は図-9に示すように揚圧力は水平力に対し $\pm 20\%$ の間で変動し、鉛直壁の下部が透過性である場合揚圧力の方が大

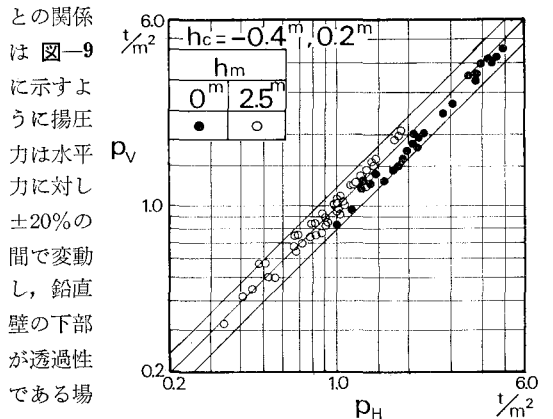


図-9 水平力と揚圧力との関係

きく、不透過の場合小さい傾向を示す。

(5) 波力係数

実験結果を広井式の波力係数と同様に無次元化し、一般化すると水平波力については $C_H = P_H / wH = f_H / wHh$ 、揚圧力については $C_V = P_V / wH = f_V / wH(l-l')$ と表わせる。これらの波力係数 C_H, C_V はほぼ同一の値を示すのでまとめて C で表わし、値は主に水平力を使用する。波力係数 C は次の諸量によって異なるであろう。

$l'/l, h_m/d, V, h_c/d, l/\lambda, \lambda/L_0, H_0/d, H_0/L_0, i$

本実験では水平板の長さとはり幅との比 l/λ は 0.23 と一定で海底勾配 i も 1/50 と一定である。図-10 は波力係数 C と相対水深 H_0/d との関係を示す。本実験の場合、 $H_0/d=0.7$ 程度するとき、通過波は碎波となる。 C は $0.25 \leq H_0/d \leq 0.7$ の範囲でほぼ一定が $H_0/d=0.7$ で最も小さく、 $H_0/d > 0.7$ の範囲では再び大きくなる傾向を示す。また、相対堤体幅 λ/L_0 の影響は $\lambda/L_0=0.1 \sim 0.2$ 程度では明らかでない。 H_0/L_0 の影響も明らかでない。

次に、波力 f が最大となる碎波の作用時の波力係数、すなわち本実験では $H_0/d=0.7$ のときの値を用いて他の諸量との関係をみる。図-11 は碎波の作用時における波力係数とクリアランス h_c/d との関係を示したものである。 h_c/d が小さいほど波力係数は増大する。

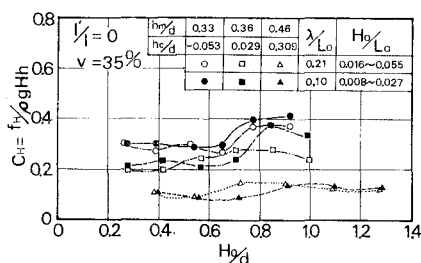


図-10 波力係数と相対水深との関係

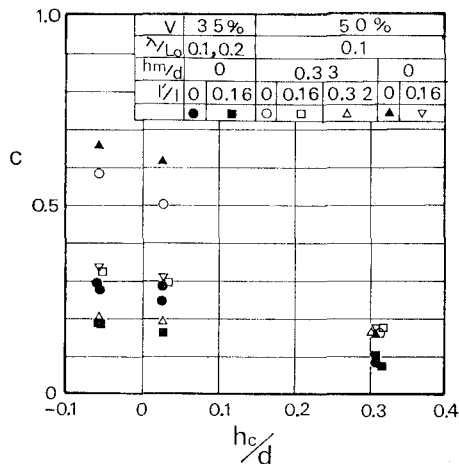


図-11 波力係数とクリアランスとの関係

設計高潮位時のクリアランスは通常ほぼ 0 かそれ以下と考えられるので、次に $h_c/d = -0.053$ で碎波の作用時の波力係数について $l'/l, h_m/d$ および V との関係をみる。図-12 は波力係数と水抜き穴の幅 (l'/l) との関係を鉛直壁下部の透過性マウンドの厚さ (h_m/d) あるいは堤体マウンドの空げき率 V をパラメーターにして示したものである。波力係数 C は l'/l および h_m/d が大きいほど小さく、空げき率が大きいほど若干小さくなる。

図-12 は各断面で最大の波力が生じる条件での波力係数を与えるものであるが、これらの値は波力の測定値の平均値から求めたものであるから設計用の波力係数と

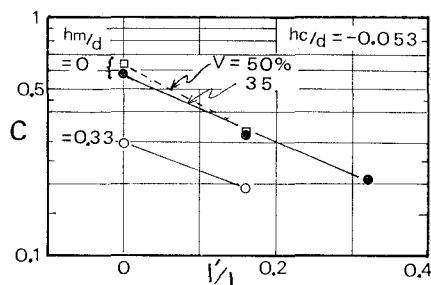


図-12 波力係数と水抜き穴との関係

しては測定値のばらつきを考慮する必要がある。本実験での波力の測定値の変動係数 (標準偏差/平均値) は最大で 0.1 程度であったので、設計用の波力として測定値の 1.2 倍程度をとることとする。表-1 は 図-12 より設計用の波力係数を求めたものである。

表-1 全波力が最大になる時の波力係数

クリアランス	h_c/d	-0.053					
		V					
		35%			50%		
空げき率	h_m/d	0.33			0		
鉛直壁下部の透過性マウンド高	l'/l	0	0.16	0.32	0	0.16	0.32
水抜き穴の幅	C	0.30	0.19	0.58	0.32	0.21	0.64
波力係数(平均値)	C	0.4	0.3	0.7	0.4	0.3	0.8
設計用波力係数	C	0.4	0.3	0.7	0.4	0.3	0.8

(6) 結 論

a) 水平波圧および揚圧力ともほぼ等分布で同時に作用する。

b) 波圧は碎波および碎波直後の波が作用する場合に最大となり、周期の長い波ほど潮位が高くてクリアランスが小さいほど大きい。水抜き穴を設けたり、岸壁下部を透過性とする波圧は明らかに減少する。

c) 碎波が作用し、クリアランスがほぼ 0 かそれ以下の物揚場のエプロンに作用する揚圧力および岸壁に作用する水平波圧は次式に表-1 に示される波力係数を代入して求められる。

$$P = C w H_0$$

ここで P : エプロンおよび岸壁に作用する波圧 (t/m^2)

w : 水の単位体積重量 (t/m^3)

H_0 : 前面水深における限界碎波高 (m)

C : 波力係数 (表-1 参照)

以上は 図-1 に示すような物揚場について明らかにになった点である。この種の物揚場の建設に当っては、構造がかなり複雑であり、この結果は必ずしも一般的ではないが、一つの目安になるものと思われる。

最後に、この実験は茨城県三浜港湾事務所 (当時所長渡辺祐弘) の委託により行なわれたものであり、本研究をまとめるうに、同事務所、県土木部港湾課および水産庁漁港部の多くの方々からご指導を頂きました。深く感謝します。