

消波ブロック被覆堤に働く波浪時のブロック荷重について

廣本文泰*・西島浩之**・今野 茂***・木村岩男****

1. はじめに

直立防波堤の前面に消波工を設置することにより、反射波や越波を軽減させ、さらに、直立部に作用する波圧を減少させることはすでに明らかになっている。そのため防波堤を消波ブロックで被覆して施工することがしばしばある。ところが、設計上重要な外力、すなわち、消波工が堤体によりかかる力および波作用時に消波ブロックを介して堤体に作用する波力については、いまだにいくつかの不明な点がある。

本報文は、上記消波ブロック荷重が堤体に対して水平に作用する力について水理模型実験を行ない、それから得られた成果の一部を報告するものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置

実験に使用した造波水槽は、横浜調査設計事務所所有のもので、図-1に示すような長さ30m×幅1m×高さ1.5mで、水路中央に隔壁を有するとともに片側がガラス張りとなった鋼板製長水路である。造波機は駆動モーターによるフラップ型造波型式で、造波能力としては、周期1~4秒、波高0~20cmの規則波が発生可能である。

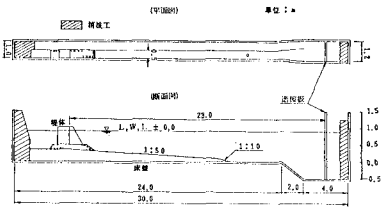


図-1 実験長水路

2.2 波浪条件

実験波は、模型縮尺を1:50としたとき、現地換算で周期9, 11, 13秒の3ケースとし、堤体に作用する水平

* 正会員 修士 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所所長
** 正会員 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長
*** 正会員 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所建設専門官
**** 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所水工係長

表-1 波浪条件

設置水深 h (m)	周 期 T (sec)	波 高 H_I (m)	備 考	設置水深 h (m)	周 期 T (sec)	波 高 H_I (m)	備 考
-15.0	9.0	3.0		-20.0	9.0	5.0	
		5.0				6.0	
		6.0				8.0	
		8.0				9.0	
		9.8	砕 波			11.3	砕 波
	11.0	4.0			11.0	5.0	
		6.0				7.0	
		8.0				9.0	
		9.0				11.0	
		10.2	砕 波			12.3	砕 波
	13.0	3.0			13.0	6.0	
		5.0				8.0	
		7.0				10.0	
		9.0				12.0	
		10.9	砕 波			13.3	砕 波

力のうち消波ブロックの荷重が支配的と考えられる比較的波高の小さい非砕波から、波力の大きい異常時までの波高を対象とした。表-1に実験波の諸元を示す。

2.3 実験断面

マウンド水深 d および設置水深 h の変化による波力の相違が、消波ブロック荷重にあたえる影響を見るために6断面設定した。実験断面の諸元は図-2に示すとおりである。なお、消波ブロックは40トンテトラポッドを使用した。

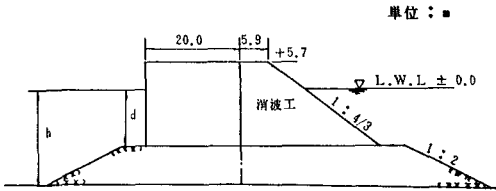


図-2 実験断面

2.4 波圧、消波ブロック荷重の測定方法

堤体の前面壁と底面に超小型波圧計を設置して、各部に作用する波圧を測定した。また、図-3に示すように

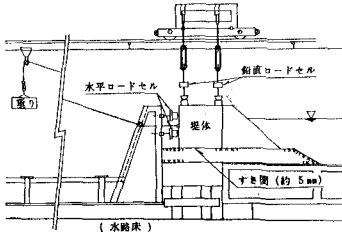


図-3 堤体模型取付状況

堤体後部に取付けたロードセルで水平波力と消波ブロック荷重の合力を測定することにより、波作用時の消波ブロック荷重を算定できる方法とした。堤体を所要の高さに設定する際には、ターンバックルにて連結された鉄棒の上方を台車に吊り下げ、下方を堤体に取り付けたのち、ターンバックルを調節しながら水平に吊り下げた。堤体とマウンド間の摩擦を除くため、それぞれの間隙を約5mmとした。

3. 実験結果

3.1 消波ブロックの静荷重

静水時において、消波ブロックが堤体によりかかる力を一つの実験断面について実験開始から終了までの各段階ごとにプロットすると図-4のようになる。消波ブロックの静荷重 $F(s)$ は注水後浮力を受け静荷重はいった

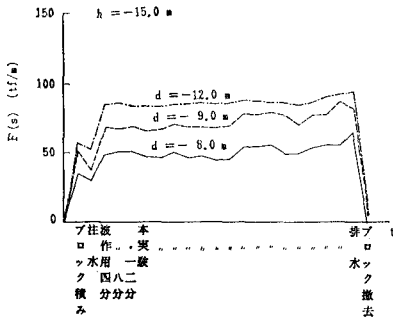


図-4.1 静荷重の変化 ($h=15$ m)

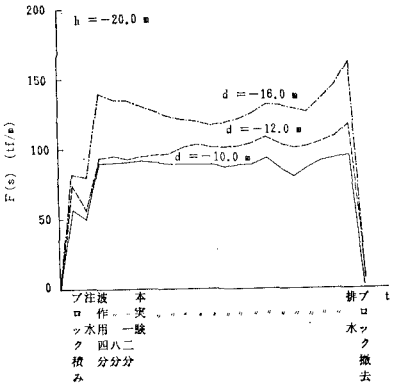


図-4.2 静荷重の変化 ($h=20$ m)

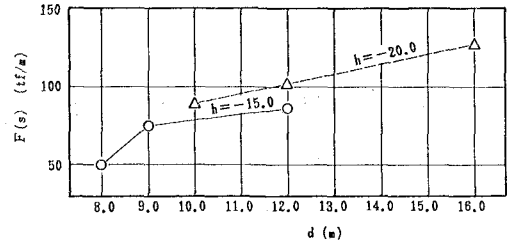


図-5 静荷重とマウンド水深の関係

ん減少するが4分間波を作用させると著しく増加する。しかしその後はほぼ安定した状態となり、本実験中の変化も比較的少ない。図-5は、本実験中の静荷重の平均値とマウンド水深 d との関係を示したもので静荷重はマウンド水深とともに増加する。以降、この本実験中の平均値を消波ブロックの静荷重 $F(s)$ と称す。

3.2 波力の経時変化

図-6は、堤体に作用する前面波圧合力 $P(F)$ 、ロードセルで測定した水平力 $P(HL)$ 、揚圧力 $P(U)$ および堤前波高 H の経時変化を示したものである。これらの力のピークは同時に発生しており、堤前波高が最大になるやや以前に出現している。また、前面波圧合力とロードセルで測定した水平力がゼロとなる時間は一致しており、堤前波高が正となるすべての時刻で前面波圧合力も正となっている。

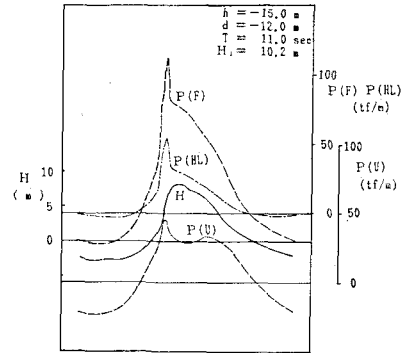


図-6.1 波力の経時変化の例 ($h=15$ m)

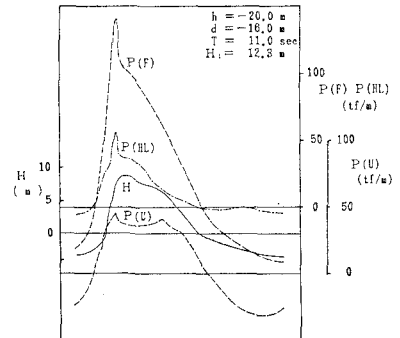


図-6.2 波力の経時変化の例 ($h=20$ m)

ここに、 $P_{(F)}$: 堤体前面壁に取付けた波圧計により測定した波圧の合力。

$P_{(HL)}$: 消波ブロックの静荷重が作用している状態をゼロとして、ロードセルにより測定した水平力。

$P_{(W)}$: 堤体底面に取り付けた波圧計により測定した揚圧力の合力。

H : 堤前波高

3.3 波浪時ブロック荷重

波作用時における消波ブロック荷重（以下、波浪時ブロック荷重 $F_{(m)}$ と称す。）を求めるため堤体に作用する水平力の釣り合いを以下のように考える。

$$P_{(F)} + F_{(m)} = P_{(HL)} + F_{(s)} \dots\dots\dots (1)$$

$$F_{(m)} = F_{(s)} + (P_{(HL)} - P_{(F)}) \dots\dots\dots (2)$$

すなわち、式 (2) より波浪時ブロック荷重は、波力の大きさによって静荷重が変化した値であると見なすことができる。図-7 は、前面波圧合力に対する静荷重の変化量 ($=P_{(HL)}-P_{(F)}$ 、以下、これを消波ブロックの波浪時変動荷重 $F_{(s)}$ と称す。) を示したもので、前面波圧合力とともに増加し、負の値をとることが知られる。つまり、波浪時の消波ブロック荷重は、静水状態での荷重より小さくなることを意味している。この理由は水位上昇による消波ブロック自重の減少する効果が表われていることと、もう一つは、波力を受けて堤体が若干変位し主働圧的な力が作用すること等によるものと推測される。図-8 は、実験ケースごとに式 (2) により波浪時ブロック荷重を算定し、設置水深別に同周期、同波高における値を平均し、通過波高 H_I とケーソン高 D で除し

て無次元化し、水深波長比 h/L をパラメーターとして整理したものである。これより波浪時ブロック荷重の平均強度は、砕波条件では $0.1w_0H_I \sim 0.3w_0H_I$ 、非砕波条件では $0.15w_0H_I \sim 1.30w_0H_I$ となる。

3.4 全水平力の検討

実験から得られた前面波圧合力を合田式¹⁾ ($\alpha_0=0$) により算定した波力で除し、波圧で減率 λ を求めるとほとんどのケースで $0.8 \sim 1.0$ となり、実験値は標準値とよく一致している。しかし、前面波圧合力と波浪時ブロック荷重との合力（以下、全水平力 $F_{(H)}$ と称す。）に対し波圧で減率 λ と同様に、合田式による波力との比を求めてみるとこれが $0.8 \sim 1.0$ の範囲に入る波の条件は、周期 11 秒および 13 秒における砕波限界波高となる場

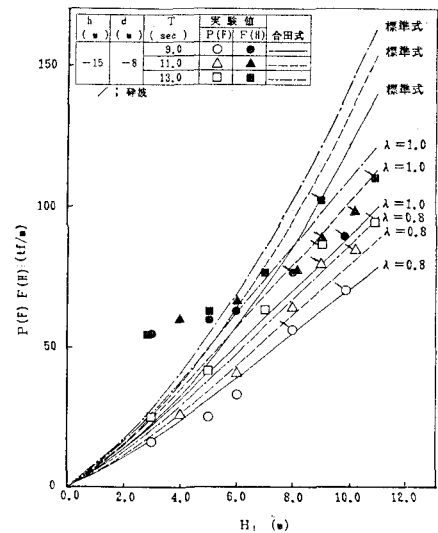


図-9.1 実験値と算定波力の比較

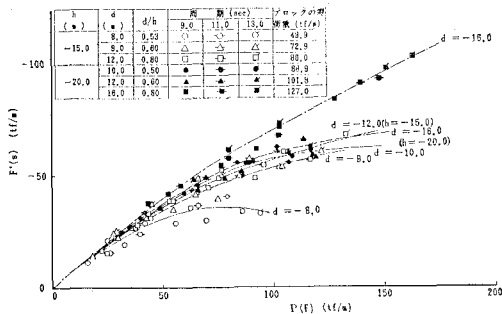


図-7 消波ブロックの波浪時変動荷重

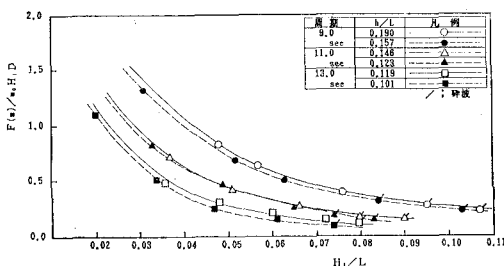


図-8 波浪時の消波ブロック荷重

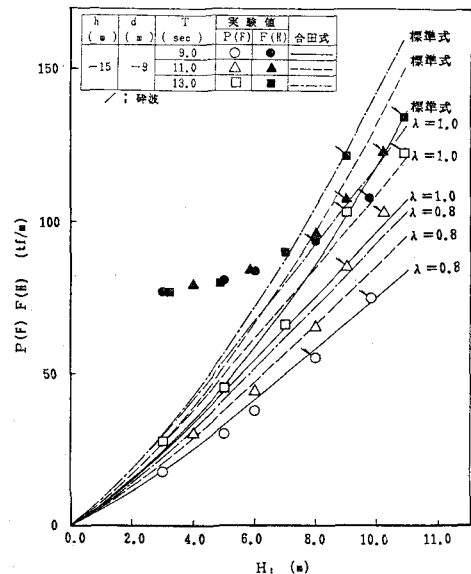


図-9.2 実験値と算定波力の比較

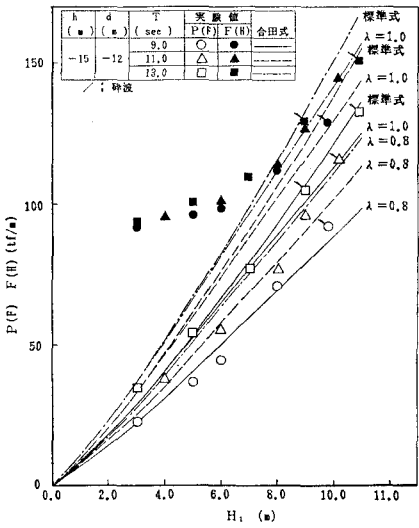


図-9.3 実験値と算定波力の比較

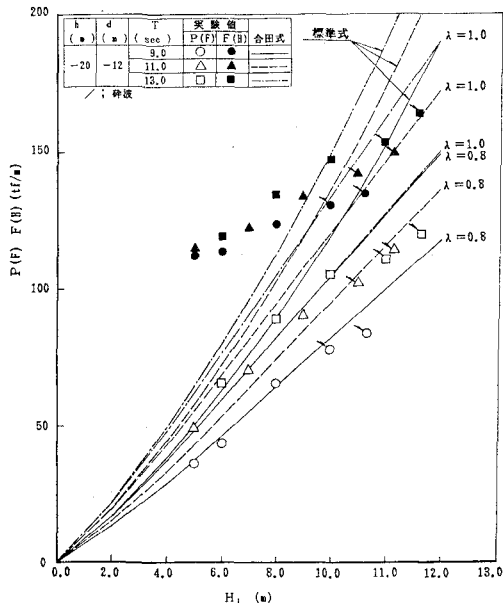


図-9.5 実験値と算定波力の比較

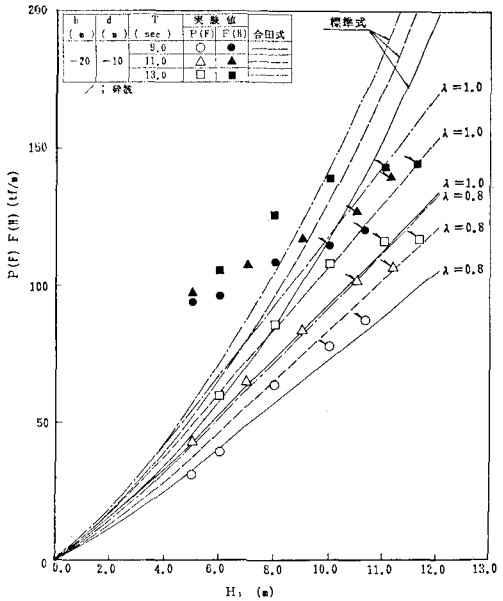


図-9.4 実験値と算定波力の比較

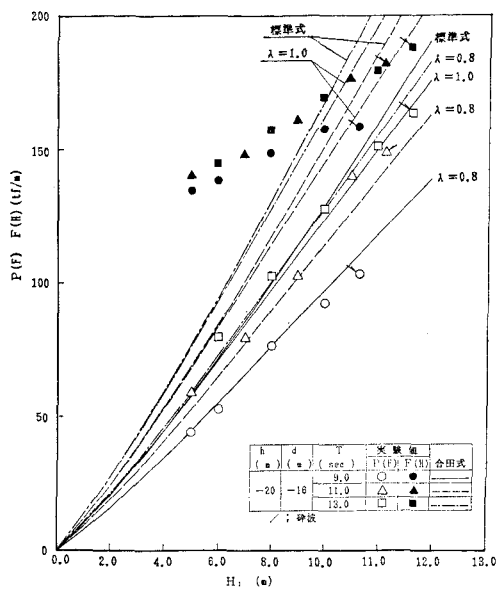


図-9.6 実験値と算定波力の比較

合である。その他のケースでは1.0以上となり、非碎波条件では合田式(標準)で算定される波力より大きく、消波ブロック荷重が支配的に作用していることがわかる。従って、特に波高の小さい非碎波領域で消波ブロック被覆堤を建設する場合は、ブロック荷重を充分考慮する必要がある。図-9 は、実験値と合田式による算定波力を比較したものである。また、図-10 は、全水平力を通過波高 H_I とケーソン高 D で除して無次元化し、水深波長比 h/L をパラメーターとして整理したものである。

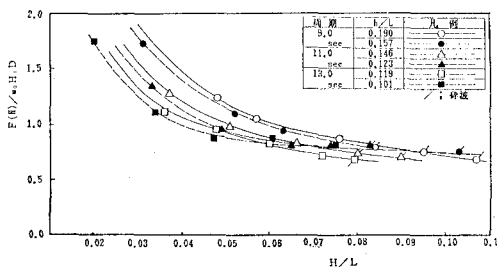


図-10 波浪時の全水平力

3.5 消波ブロックの圧力係数

消波ブロック荷重を土圧と見なし、次式により土圧係数に相当する消波ブロックの圧力係数を求める。

$$K_{(s)} \text{ または, } K_{(m)} = \frac{F_{(s)} \text{ または } F_{(m)}}{1/2 \cdot \gamma_t \cdot D^2 (1-V)} \dots\dots (3)$$

ここに、 $K_{(s)}$ ：静荷重に対する圧力係数

$K_{(m)}$ ：波浪時ブロック荷重に対する圧力係数

γ_t ：消波ブロックの単位体積重量（空中 2.30 t/m³，水中 1.30 t/m³）

D ：消波工の高さ

V ：消波工の空隙率（0.45）

式（3）より静荷重に対する圧力係数を求めると $K_{(s)} = 0.63$ となる。これは平均的な砂の静止土圧係数に相当する値で、竹田²⁾、島田等³⁾の提案とよく一致している。また、波浪時ブロック荷重に対する圧力係数 $K_{(m)} = 0.14 \sim 0.77$ となり波力の大きさによって変化する。これは、前述したように波力を受けて堤体の変位し、静止圧的なものから主動圧的なものに移行するためと考えられる。

4. ま と め

本報告をまとめると以下ようになる。

1) 消波ブロックの静荷重は、図-5 のようにマウンド水深とともに増加する。また、静荷重に対する圧力係数は $K_{(s)} = 0.63$ となる。

2) 波浪時ブロック荷重の平均強度は、砕波条件で $0.10w_0H_I \sim 0.30w_0H_I$ ，非砕波条件では $0.15w_0H_I \sim 1.30w_0H_I$ となる。

3) 消波ブロック被覆堤の安定計算に用いる水平力は、特に非砕波の場合、合田式 ($\alpha_s = 0$, $\lambda = 0.8 \sim 1.0$) で算定される波力と波浪時ブロック荷重の合力として求めるのがよい。

謝 辞

本実験の実施に際しては、運輸省港湾技術研究所防波堤研究室、谷本室長のご指導と適切な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1979.
- 2) 竹田英章：消波ブロック構造の安定，水工学シリーズ 81-B-2，1981.
- 3) 島田真行・長谷川寛：消波ブロック被覆堤への水平力に関する一考察，土木学会第 35 回年次学術講演会講演概要集，第 2 部，pp. 39～40，1980.