

複合消波機能を有する海域制御構造物 に関する実験的研究

建設省 土木研究所 正会員 宇 多 高 明
同 正会員 村 井 禎 美
(株) 大 林 組 正会員 ○藤 沢 康 雄
日本大学 理工学部 正会員 増 田 光 一

1. はじめに

外洋に面した海域は、波浪条件が厳しく、流れや漂砂が活発である。そのような海域において、海洋空間の有効利用を図るためには、波、流れ、漂砂を制御する新しい海域制御構造物の開発が必要である。本研究は、波運動を流れや渦等の乱れに変換し、同時に若干の反射を組み合わせた複合消波機能を有する海域制御構造物を開発することを目的とする。このため、初めに構造形態を考案し、次に、2次元水理模型実験を行い、消波特性に影響すると思われる複合消波構造物のパラメータの確認を行った。¹⁾ 更に、複合消波構造物の透過率、反射率および波圧、波力、モーメントを計測し、これらの実験結果より複合消波構造物の消波効率および消波メカニズム等について考察した。

2. 水理模型実験

実験は、日本大学理工学部海洋建築工学科の2次元水路を使用して行った。また、実験における計測装置および水理模型の配置を図 - 1 に示す。さらに、水理模型実験条件として土木研究所で実施した61年度実験の条件および我が国周辺海域の波浪条件を参考として、表 - 1 に示す条件を選んだ。

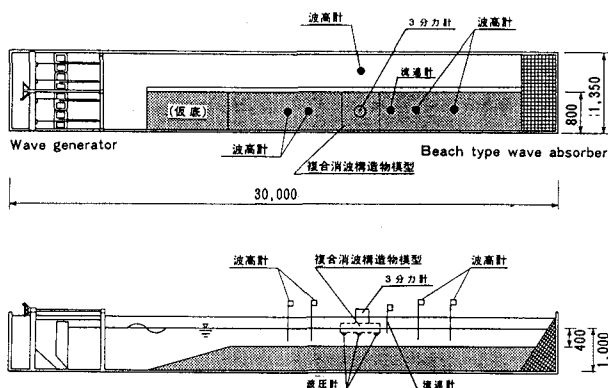


図 - 1 2次元造波水路及び計測装置の配置

表 - 1 波浪条件

周期 T (sec)	沖波波高 H_s (m)	沖波波长 L_s (m)	沖波波形勾配 H_s/L_s	入射波長 L (m)	相対幅 B/L
1.0	0.04 0.08 0.12	1.58	0.051 0.053 0.154	1.46	0.516
1.2	0.04 0.08 0.12	2.25	0.038 0.071 0.107	1.94	0.413
1.4	0.04 0.08 0.12	3.08	0.028 0.052 0.079	2.39	0.335
1.6	0.04 0.08 0.12	3.98	0.020 0.040 0.060	2.83	0.282
1.8	0.04 0.08 0.12	5.05	0.018 0.032 0.046	3.27	0.245
2.0	0.04 0.08 0.12	6.24	0.013 0.023 0.039	3.69	0.217

3. 実験模型

実験では、図 - 2 に示すように水平板とY型垂直板からなる縮尺 $1/25$ の塩化ビニール製模型を用いた。ここに、隣接する水平板の間隔を水平板間隔 W_B と定義し、また、Y型垂直板先端部の間隔 W に対する後端部の間隔 W_e の比をY型垂直板の開口率 ε と定義した。開口率は75%、62.5%、50%、25%と4種類とした。さらに、V型遊水部に導かれた水が上方へ跳ね上がるのを防止するため、V型遊水部の上部に蓋を取り付けてある。模型のY型垂直板の開閉角 θ によって、それぞれAタイプ模型 ($\theta = 11^\circ$)、Bタイプ模型 ($\theta = 21^\circ$) とした。また、実験模型の設置断面図を図 - 3 に示す。

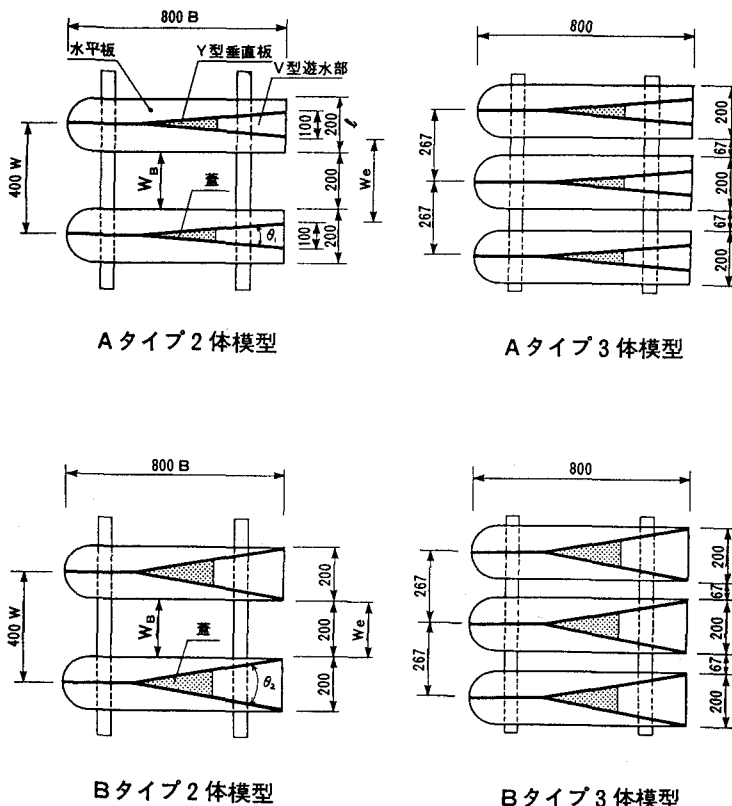


図 - 2 複合消波構造物模型

4. 水理模型実験の結果と考察

今回の水理模型実験では、Aタイプ、Bタイプ模型についてそれぞれ堤体数変化(2体、3体)、波高変化(4、8、12 cm)、没水深変化(4、6、8 cm)の実験を行った。なお、実験データ処理・解析法として、沖波波高 H_0 および透過波高 H_T は波高計データをFFT処理して求め、さらに、FFT処理後、合田らの手法²⁾により模型の入射波高 H_I と反射波高 H_R を分離し、透過率 K_T (H_T / H_I)、反射率 K_R (H_R / H_I) を求め、考察を加えた。

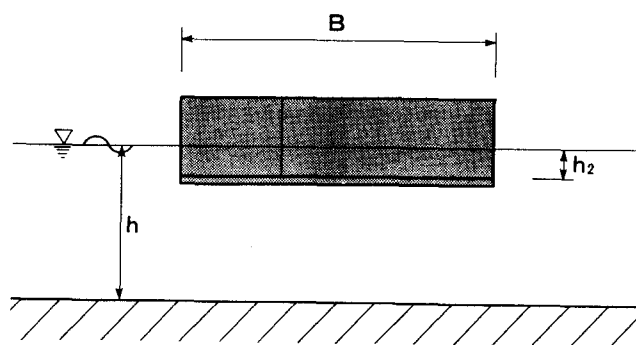


図 - 3 複合消波構造物の断面図

4. 1 複合消波構造物の透過率、反射率および消波効果

模型形状(Aタイプ模型、Bタイプ模型)に対する透過率(白抜き)、反射率(黒塗り)の変化を模型没水深ごとに示すと図 - 4、5 となる。

縦軸は透過率 K_T と反射率 K_R を示し、横軸は入射波長 L で無次元化された模型長さ B である。図によると没水深や模型形状によらず、反射率が小さく、約0.2以下になっていることがわかる。また、透過率は周期により変化し、短周期ほど小さくなる。全般に透過率はかなり小さくなっており、最小値は0.23にもなる。次に、遊水部形状は同一であるが、Y型垂直板の枚数が異なる、すなわち堤体数が異なるA-2タイプ模型とA-3タイプ模型、またB-2タイプ模型とB-3タイプ模型を比較すると、透過率は開閉角(θ)や没水深(h_2)によらず2体型模型よりも3体型模型が良好な結果を示す。周期によって透過率は変化するが、平均25%前後向上している。これは、2体型模型から3体型模型にすることによって、水平板間隔が狭くなりその結果入射波の波高が収斂効果により増大したこと、更にこれにより水平板間の流れが激しくなり渦の発生が増進されたためと考えられる。以後は、この結果を考慮して3体型の複合消波構造物について考察を進める。

模型没水深変化(4、8 cm)、波高変化(4、8、12 cm)の透過率、反射率へ及ぼす影響を図-6～図-8に示す。図によると、全般的に透過率、反射率は、入射波高に対して大きく変化せずその値も小さい。特に、沖波波高4 cmの場合が最も大きな透過率、反射率を示す。また、図-6において、没水深4 cmと8 cmの場合の透過率、反射率を比較すると、没水深4 cmの方が周期に対する依存度が大きい。この原因は、没水深が浅い場合、短周期側においては入射波が水平板上で碎波することによって透過率が小さくなり、長周期側では没水深が浅いためV型遊水部による消波効果が顕著に現れず透過率が大きくなるためである。実験中の観察でも同様の現象が見られた。

V型遊水部近傍の流れと渦の状況を図-9で説明する。入射波の峰が模型後部に達すると、Y型垂直板後部の間隔 W_e より波の進行方向に強い噴き出し流れを生じる(①)。その水の一部はV型遊水部との水位差および流速差等によって水平方向

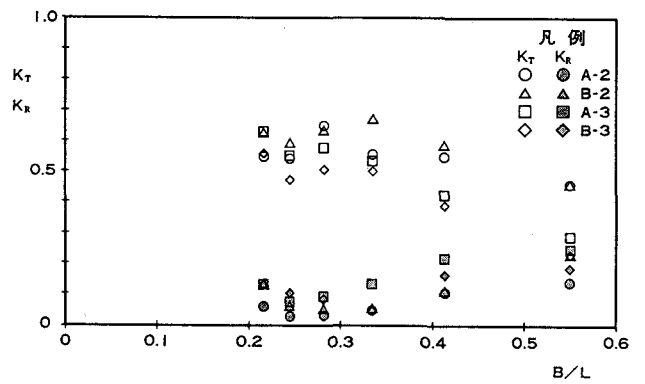


図-4 複合消波構造物の K_T 、 K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.1$)

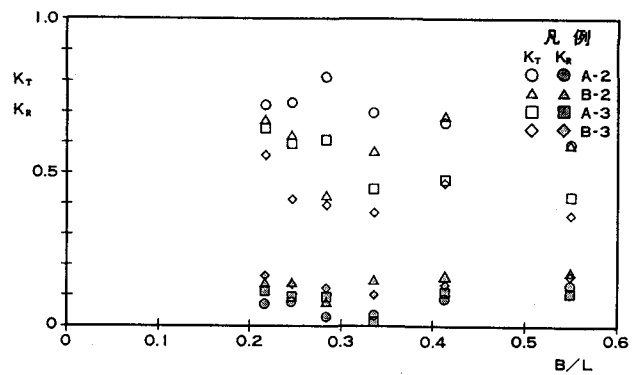


図-5 複合消波構造物の K_T 、 K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.2$)

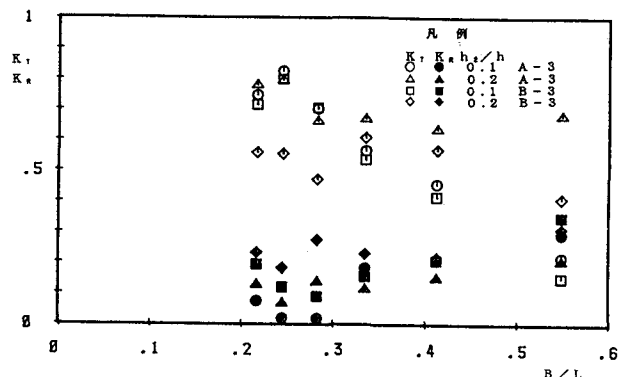


図-6 複合消波構造物の K_T 、 K_R と B/L の関係 ($H_0 = 4 \text{ cm}$)

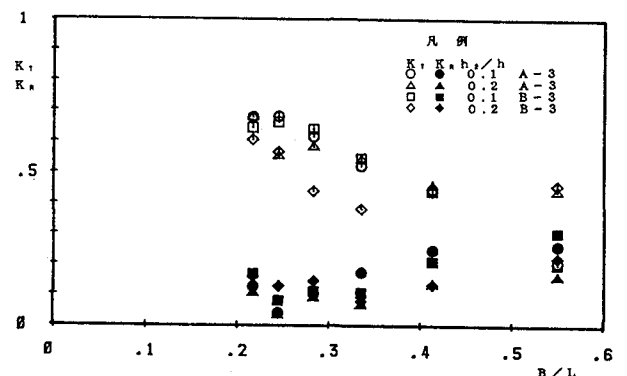


図-7 複合消波構造物の K_T 、 K_R と B/L の関係 ($H_0 = 8 \text{ cm}$)

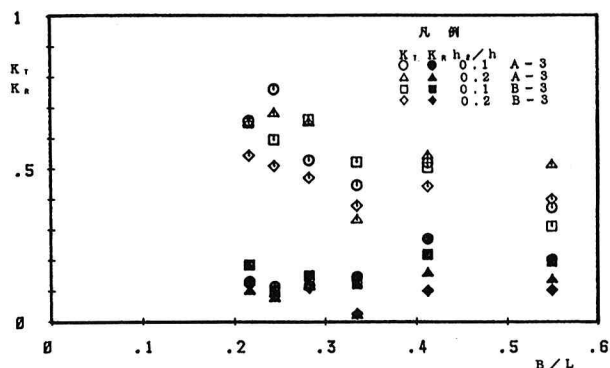


図 - 8 複合消波構造物の K_T 、 K_R と B/L の関係
 ($H_0 = 12 \text{ cm}$)

の渦(②)と、鉛直方向の渦(③)を生じ、逆方向の流れとなってV型遊水部へ導かれる(④)。

次に、入射波の谷が模型後部に達すると、逆方向の流れ(④)はV型遊水部の内部で反射され、後方へ噴き出す流れを生じる(⑤)。この流れは入射波との水位差および流速差等によって水平方向の渦(⑥)と、鉛直方向の渦(⑦)を発生する。

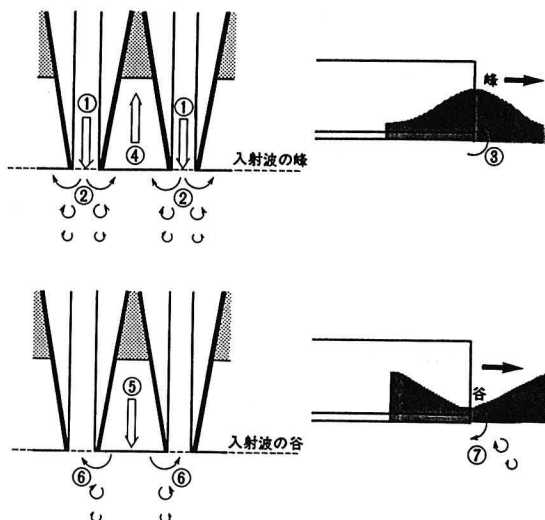


図 - 9 流れ及び渦の説明図

4. 2 複合消波構造物のエネルギー損失率

入射波波高のエネルギー損失率へ及ぼす影響を、模型の没水深 8 cm について 図 -10, 11 に示す。ここにエネルギー損失率 K_L^2 は式(1)で定義した。

$$K_L^2 = 1 - K_T^2 - K_R^2 \quad \text{--- (1)}$$

A, Bタイプ模型では、Bタイプ模型の没水深 8 cm が最良のエネルギー損失率を示しており、この形状が入射波エネルギーを最も渦および流れのエネルギーに変換し消散させていることがわかる。また、沖波波高 4 cm の場合のエネルギー損失率が一番低い値を示す。透過率、反射率を示した図にも現れているが、入射波エネルギーが小さい沖波波高 4 cm の場合、反射率が增大するとともに、渦および流れに変換されるエネルギーが少なくなる。一方、沖波波高 8 cm と 12 cm の場合 エネルギー損失率、透過率、反射率がさほど変化しない。波高の低い場合、渦および流れによるエネルギー損失率は低くなるが、海域制御構造物の役割を考えると波高の低い波はさほど問題にならない。

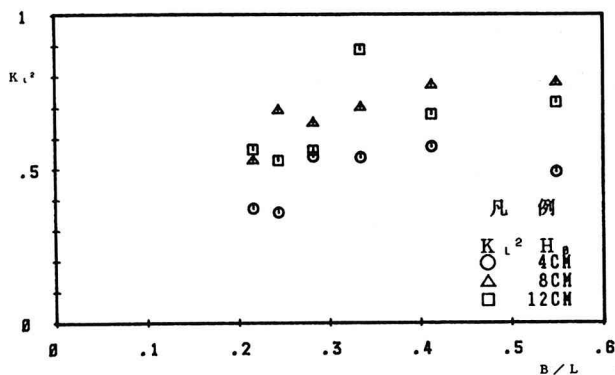


図 - 10 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係
 (A-3タイプ, $h_2/h = 0.2$)

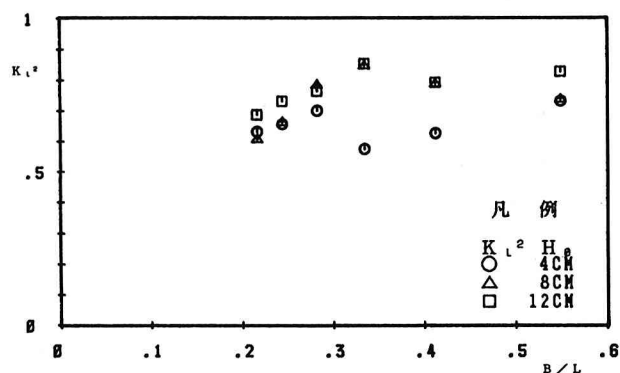


図 - 11 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係
 (B-3タイプ, $h_2/h = 0.2$)

4.3 複合消波構造物に作用する波力、波圧およびモーメント

(1) 水平波力

A, Bタイプ模型で沖波波高4 cm の場合の水平波力を図 - 12 に示す。この図は単位波高あたりの水平波力が最大となるもので、実験結果では沖波波高4、8、12 cm の順で小さくなる。この理由は、高波高になるほど水平板、Y型垂直板、V型遊水部によって渦、流れおよび砕波等が促進されるため、相対的に波力が小さくなるためと考えられる。更に、透過率、反射率が小さい条件を満たす複合消波構造物に作用する無次元水平波力($F_x / 0.5 \rho g H_i B^2$)は 0.05 ~ 0.2 となる。

(2) 鉛直波力

A, Bタイプ模型の沖波波高4 cm の場合の鉛直波力を図 - 13 に示す。鉛直波力は水平波力とは逆に沖波波高4、8、12 cm の順で単位波高あたりの鉛直波力は大きくなる。また、模型形状および没水深の変化による鉛直波力の変化は高波高になるほど小さくなる。鉛直波力の最大値はA, Bタイプ模型とも没水深変化にかかわらず無次元波力($F_z / 0.5 \rho g H_i B^2$)で 0.3程度となる。

(3) モーメント

A, Bタイプ模型の沖波波高4 cm の場合のモーメントを図 - 14 に示す。モーメントも水平波力と同様の理由で単位波高あたりのモーメントは、沖波波高4、8、12 cm の順で小さくなる。また、模型形状および没水深変化によるモーメントの変化は、高波高になるほど小さくなる。A, Bタイプ模型とも無次元モーメント($M_y / 0.5 \rho g H_i B^3$)は 0.07 ~ 0.15 となる。

(4) 波圧

複合消波構造物に作用する波圧は、模型の水平板裏側の先端部(P1)、中央部(P2)、後端部(P3)およびY型垂直板後端部の下部(P4)に波圧計を取り付けて計測した。実験結果からA, Bタイプ模型とも波高変化の影響は少なく、没水深変化による影響も少

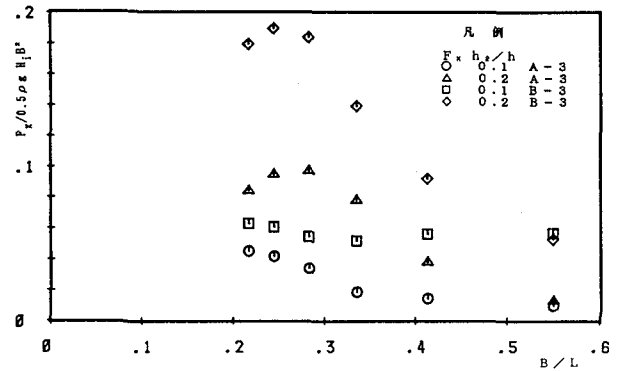


図 - 12 複合消波構造物の F_x と B/L の関係
($H_0 = 4$ cm)

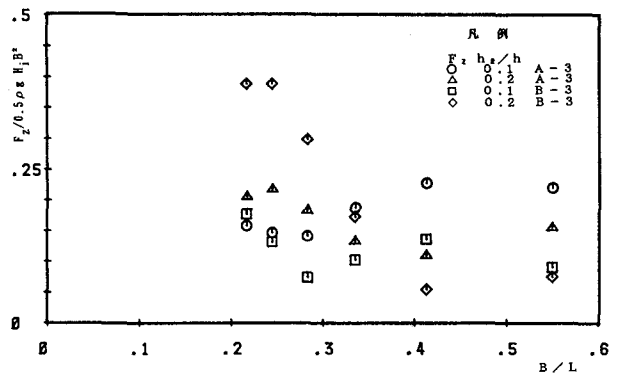


図 - 13 複合消波構造物の F_z と B/L の関係
($H_0 = 4$ cm)

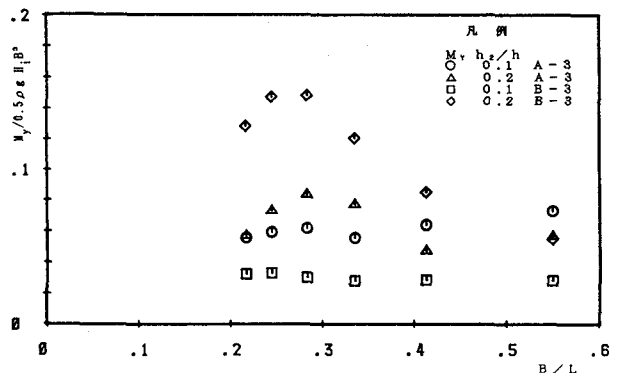


図 - 14 複合消波構造物の M_y と B/L の関係
($H_0 = 4$ cm)

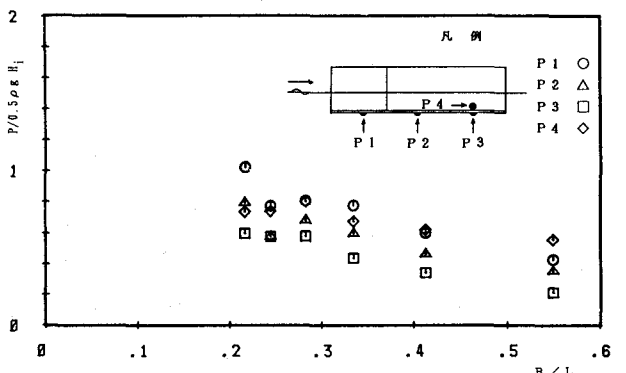


図 - 15 複合消波構造物の P と B/L の関係
(A-3タイプ, $h_2/h = 0.2$, $H_0 = 12$ cm)

ない。没水深 8 cm , 沖波波高 12 cm の場合の波圧を図 - 15 , 16 に示す。A タイプ模型では先端部、中央部、後端部の順に波圧は大きくなる。このことは B タイプ模型も同様である。さらに、Y 型垂直板後端部下部の波圧は A , B タイプ模型とも無次元波圧 ($P/0.5\rho g H_1$) とほぼ同じ値 0.7 を示している。これは波力の考察に示したように高波高が入射してもその波高エネルギーの大部分は渦および流れに変換されるためと思われる。

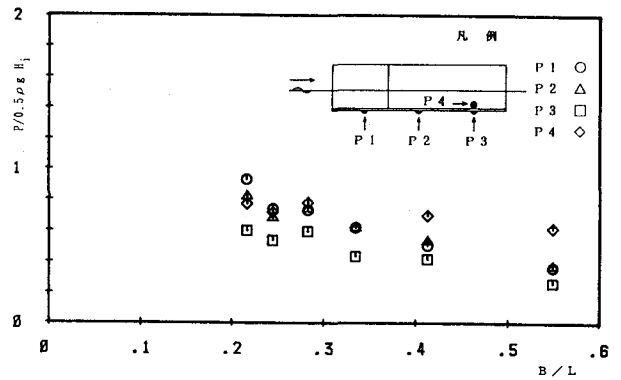


図 - 16 複合消波構造物の P と B/L の関係
(B-3 タイプ, $h_2/h = 0.2$, $H_0 = 12$ cm)

5. 結 論

複合消波構造物の消波特性および消波メカニズム等について、入射波波高変化、没水深変化による実験の結果以下の結論を得た。

(1) 透過率、反射率について

- ① 複合消波構造物は、全般的に入射波高に対する透過率、反射率に大きな変化がなく、その値も小さい。
- ② A タイプ模型の透過率、反射率は没水深変化による影響は少なく、ほぼ同じ値を示す。また、B タイプ模型では、透過率、反射率とも没水深変化による影響があり、没水深の深い方が小さな値を示す。

(2) エネルギー損失率について

A , B タイプ模型の没水深変化に対するエネルギー損失率は、B タイプ模型が良い結果を示す。

(3) 波力、モーメントおよび波圧について

- ① A , B タイプ模型とも単位波高あたりの水平波力は、沖波波高 4 , 8 , 12 cm の順で小さくなる。これは入射波エネルギーに比例して渦および流れが増大するためである。同様にモーメントについても同じことが言える。
- ② A , B タイプ模型とも単位波高あたりの鉛直波力は水平波力とは逆に沖波波高 4 , 8 , 12 cm の順で大きくなる。
- ③ A , B タイプ模型の波圧は、両者とも波高変化の影響は少なくほぼ同じ値を示す。また、没水深変化による影響は少ない。

<参考文献> 1) 建設省土木研究所：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1)、土木研究所資料 第 2454 号、昭和 62 年 2 月。

2) 合田 良実・鈴木 康正・岸良 安治・菊地 治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法、港湾技研資料 No.248、pp.1 ~ 24、1976。