

潜堤を有する複断面防波堤の提案

New Type Breakwater

— Composite breakwater with Detached Submerged Mound of Armor Units —

長谷川 寛

Hiroshi Hasegawa

In recent years, a number of composite breakwaters with concrete armor blocks piled up just in front have been constructed. These are considered effective to suppress wave pressure on the caisson and wave reflection.

The new type is a composite breakwater, that is caisson on rubble mound type, with detached submerged mounds of armor units which are otherwise to be placed just in front of the caisson. The hydraulic characteristics are investigated with two- and three- dimensional hydraulic model experiments.

As a result, this new type breakwater gives more stable environment that will be favorable to marine fishery resources with a minimum increase in construction costs.

Keyword: Breakwater, Marine products, Wave transmission coefficient, Nearshore current

1. まえがき

藻場造成や海浜造成技術などの海域環境創造の技術開発の一環として、港湾の外郭施設を改良して波浪低減水域を創出し、水産資源の保全などを旨とする新しい防波堤の開発に取り組んでいる。この防波堤は、従来から比較的浅い水深に施工されてきた消波ブロック被覆混成堤の消波ブロックを港湾の外側水域に移動して潜堤を作る二重構造の新型式の防波堤であり、図-1に示すように防波堤と潜堤で形成される水域は波浪低減水域となり水産資源の保全を図るものである。

本報告は、潜堤を有する二重構造防波堤による港内の静穏度および防波堤外側水域の流れなどの水理機能を把握し、従来型式の消波ブロック被覆混成堤と比較して、二重構造の防波堤型式を提案するものである。

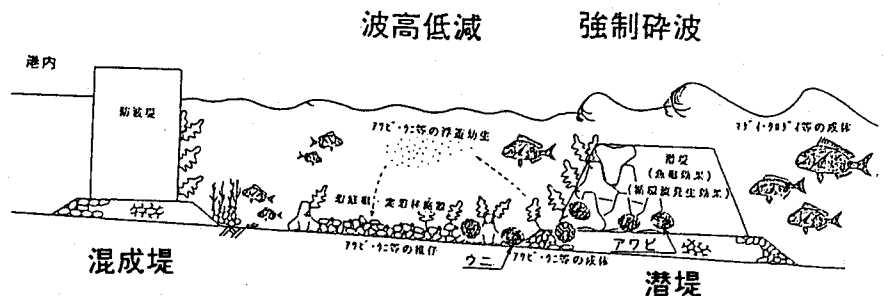


図-1 新型式防波堤波高低減水域における水産増殖模式図

2. 新型式防波堤の成立条件

二重構造型式の防波堤として、防波堤の沖側に離岸堤を設置し、防波堤の安定性や工事の施工性などについて配慮した離岸堤付き防波堤を提案されている¹⁾。また、富山市の四方漁港においては、図-2に示すように開孔を有する混成堤の直前に設置した潜堤により、混成堤の開孔を通して港外から港内へ海水を導入し、漁港内の水質の改善を図ることを目的とした潜堤付防波堤²⁾が施工されている。

ここで提案する混成堤と潜堤を有する二重構造の防波堤（以下、複断面防波堤と呼ぶ、各部の名称は図-3に示す）は、従来の消波ブロック被覆混成堤（以下、消波堤と呼ぶ）などによる港湾を静穏化する機能に加え、混

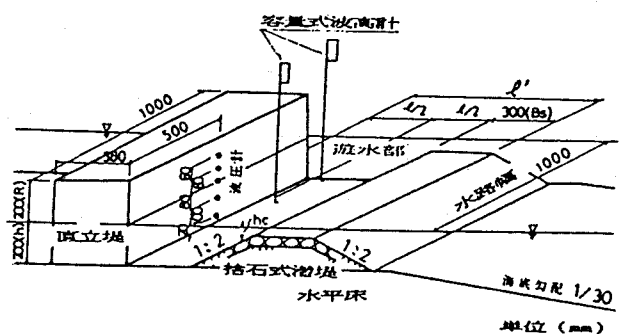


図-2 潜堤付防波堤²⁾

成堤と潜堤の間にできる波浪低減水域を水産などに利用することを目的し、そのためには、次の2項目を複断面防波堤の成立条件と考え、これについて水理模型実験により確認した。

- ① 複断面防波堤の越波による港内波高は、消波堤の場合より大きくならないこと。
- ② 複断面防波堤で作られる波浪低減水域の波高および海浜流は、消波堤外側水域より大きくならないこと。

3. 新形式防波堤の波高伝達特性

(1) 目的

不規則波による二次元水理模型実験を実施し、混成堤と潜堤の離間距離および潜堤高さに対する複断面防波堤港内の越波による波高伝達特性および波高低減水域の波高分布などの水理特性を把握し、消波堤の水理特性と比較する。

(2) 実験方法

防波堤の模型は図-4に示す長さ51m、幅0.9m、高さ1.2mの二次元造波水路内に高さ h_c が12cmの混成堤、混成堤を消波ブロックで被覆した消波堤および離間距離 l を4mとし、潜堤断面が異なる3タイプの複断面防波堤（模型縮尺1/25程度）を交互に設置した（図-5）。3タイプの潜堤形状は次の通りであり、以後、Aタイプ、Bタイプ、Cタイプ、各タイプに不随する潜堤をそれぞれA潜堤、B潜堤、C潜堤と呼ぶことにする。

- A潜堤：消波堤の混成堤部分を被覆している断面と同じ量の消波ブロック（重量450g、現地換算7ton）を用いて、高さが水深の7割とした潜堤断面（平面的には連続の潜堤を想定）
- B潜堤：A潜堤の高さと同じであるが幅方向に消波ブロックを追加し、潜堤幅を2倍とした断面（不連続の潜堤の場合、開口部の消波ブロックが不用となり、そのブロックを転用することにより潜堤幅を延長することができる）
- C潜堤：A潜堤と同様に、消波堤と等量の消波ブロックで潜堤を作り、潜堤高さを水深の4割として、潜堤幅を長くした断面（平面的には連続の潜堤を想定）

実験は有義周期 $T_{1/3}=1.5s, 2.0s, 2.5s$ と有義波高 $H_{1/3}=5cm, 10cm, 15cm, 20cm$ を組み合わせたブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルを有する不規則波を作用させて、防波堤の港内側に取り付けられた波高計2台により越波で擾乱した港内波高および混成堤、消波堤、複断面防波堤の沖側方向に40cm間隔で取り付けられた8台の波高計により防波堤外側水域の重複波高を測定した。実験ケースおよび潜堤模型の諸元は表-1に示す。

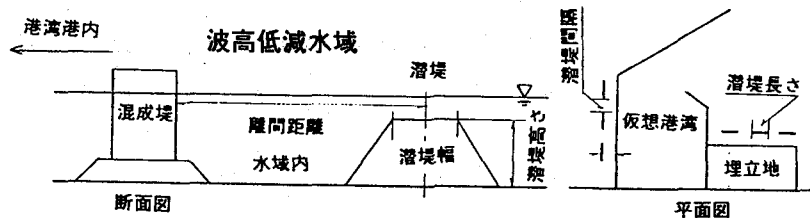


図-3 新形式防波堤の名称

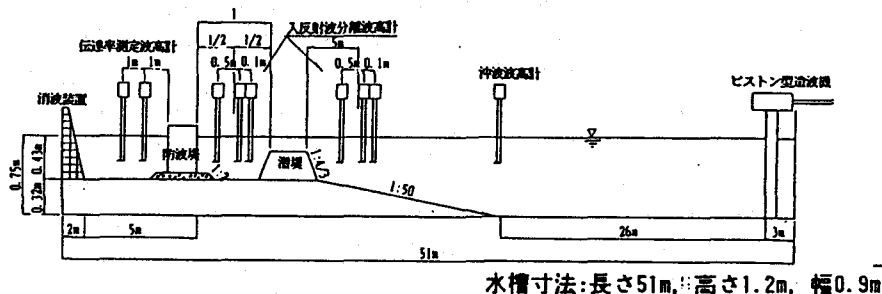


図-4 新形式防波堤の二次元造波水路実験

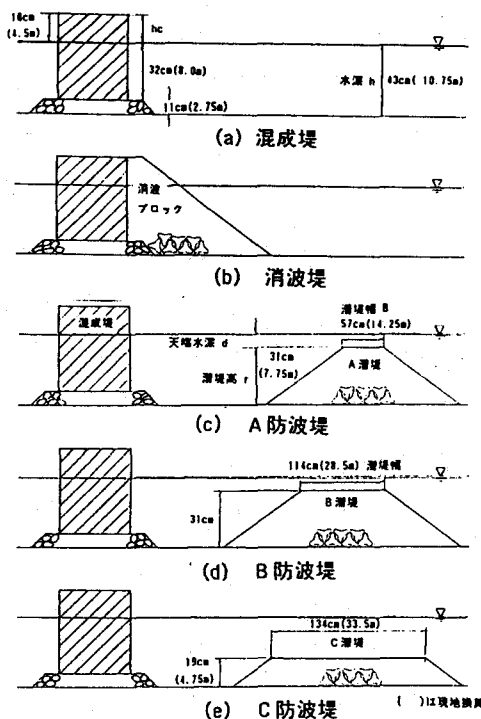


図-5 実験に用いた防波堤型式

(3) 結果と考察

複断面防波堤の港内波高、波高低減水域の重複波高、複断面防波堤の離間距離に対する平均波高の実験結果を図-6～図-8に示す。

1) 港内の伝達波高

図-6はB防波堤および消波堤による港内波高の実験結果であり、天端高 h_c と入射波高 $H_{1/3}$ の比($h_c/H_{1/3}$)に対して、港内波高伝達率 K_t ($H_{1/3}/H_{1/3}$)を示したものである。通常の混成堤の高さは設計波高に対して6割($h_c/H_0 = 0.6$)で設計されるが、この図から、複断面防波堤港内の波高は消波堤と比較して、低減することが判った。

2) 波高低減水域の波高分布

混成堤外側の重複波の場所的变化は、理論および実験から図-9のように求められている³⁾。これによると、混成堤外側の反射面では重複波が形成され、入射波高の2倍となり、反射面から沖側へ半波長地点では二番目の重複波のピークが現れている。これに対して、重複波により波高が最も小さくなる節の地点は反射面から $1/4$ 波長に顕著に現れている。本実験による混成堤、消波堤および3型式の複断面防波堤外側水域の重複波高分布は図-7に示され、図-9と同様の分布を示している。図-7で示される各防波堤の外側水域の波高分布から、外側水域の静穏度は混成堤、C複断面防波堤、消波堤、A複断面防波堤、B複断面防波堤の順に小さくなっている。

3) 離間距離に対する波高低減水域の波高分布

図-8は離間距離 l と波長 L の比(l/L)に対して、AおよびB複断面防波堤による波高低減水域(離間距離 $l = 4$ m)の平均波高をプロットしたものである。ただし、混成堤および消波堤の場合、横軸を $l/L = 0$ に対して、防波堤外側から4 m沖側における平均波高をプロットしたものである。この図から、複断面防波堤は離間距離を約1波長とすると、波高低減水域の平均波高は消波堤の場合より低減することが判る。従って、複断面防波堤の離間距離は設計有義波の約1波長、潜堤高を水深の7割とした複断面防波堤は、波高低減水域での平均波高は、消波堤の外側水域より小さくなると言える。

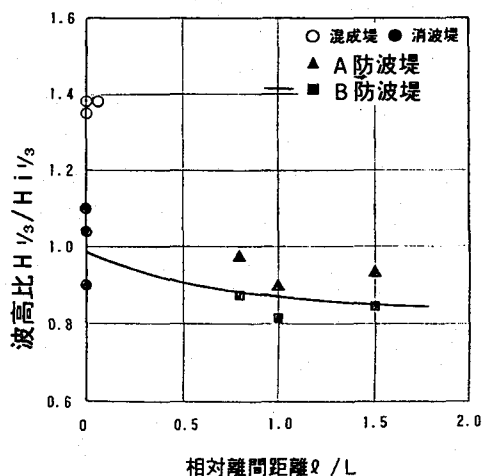


図-8 離間距離に対する静穏度

表-1 波高伝達特性に関する実験条件一覧表

実験 Case No.	実験の目的	潜堤条件		
		型式	高さ r(cm)	水深 d(cm)
1-01	混成堤の伝達率と静穏度	---	---	---
1-02	消波堤の "	---	---	---
1-03	複断面の伝達率と静穏度	A	31.0	12.0
1-04	潜堤幅による "	B	"	"
1-05	潜堤高による "	C	19.0	24.0

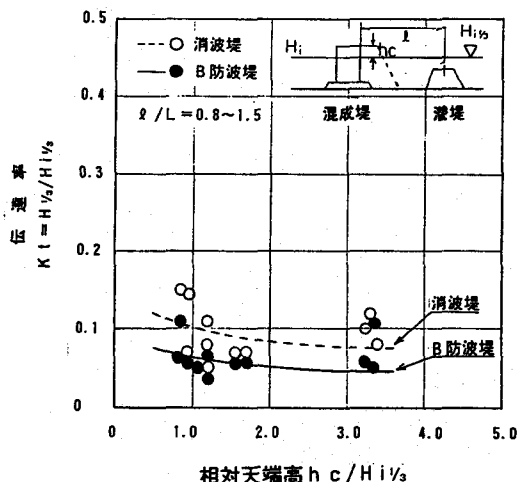


図-6 港内波高伝達率

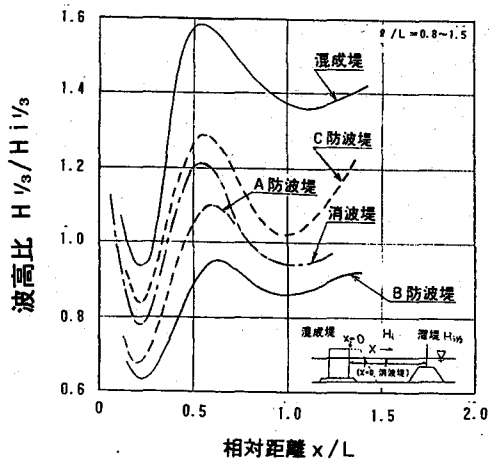


図-7 波高低減水域の静穏度

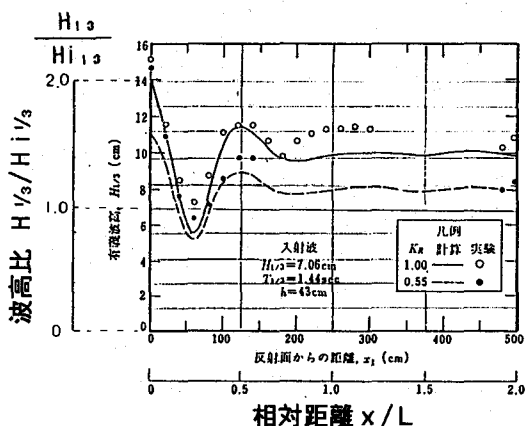


図-9 混成堤前面の重複波高(合田による³⁾)

4. 新形式防波堤外側水域の海浜流

(1) 目的

複断面防波堤の潜堤長さ L_s と潜堤間隔 b に対して、波高低減水域の流れを把握し、消波堤外側水域の流れと比較する。

(2) 実験方法

海浜流の実験は、図-10に示すように平面水槽（長さ35 m、高さ1.1 m、幅45.0 m）内に1/50の斜面地形を製作し、その上にモルタルで製作した消波堤、汀線に対して直角および汀線に平行とした複断面防波堤の模型（模型縮尺1/50程度）を設置した。実験は複断面防波堤の潜堤と混成堤との離間距離 $l = 2$ mとし、潜堤長さ L_s と開口幅 b を変え、汀線にほぼ直角に入射する波向 $\theta = 5^\circ$ （海浜流が小さい）と波向 $\theta = 22.5^\circ$ （海浜流が大きい）の単一方向の不規則波を作用させ、2成分電磁流速計7台により水面下5 cmの流速分布および容量式波高計7台により波高分布を測定した。実験条件は表-2に示す通りである。

(3) 結果と考察

1) 汀線に直角な複断面防波堤波高低減水域の海浜流

実験結果を図-11～図-13に示す。消波堤による外側水域の海浜流は、図-11に示すように沿岸流は消波堤により遮られ冲向きの流れに変えられる。これに対して、潜堤と潜堤の開口幅が狭い複断面防波堤（ $b/L_s = 1/3$ ）による波高低減水域の海浜流は、図-12に示すように消波堤と同じ地点では、流れが小さくなっている。しかし、潜堤の開口を広くした複断面防波堤（ $b/L_s = 2/5$ ）の場合では、図-13に示すように、開口部からの波高低減水域へ流れが進入し、潜堤背後の波高低減水域の流速が速くなっている。

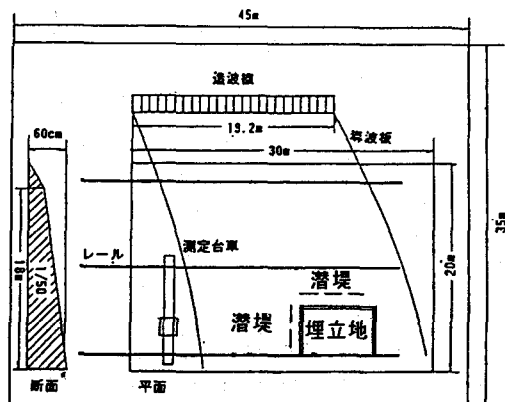


図-10 新形式防波堤の海浜流実験

表-2 海浜流に関する実験条件一覧表

実験 Case No.	実験の目的	実験条件		
		周期 $T_{1/2}$ (s)	潜堤長さ L_s (cm)	潜堤間隔 b (cm)
K-01,06	消波堤周辺流れの検討	1.1, 1.4	---	---
K-02,07	潜堤間隔に対する "	"	80.0	40.0
K-03,08	"	1.4	"	80.0
K-04,09	潜堤長さに対する "	"	120.0	"
K-05,10	"	"	160.0	"

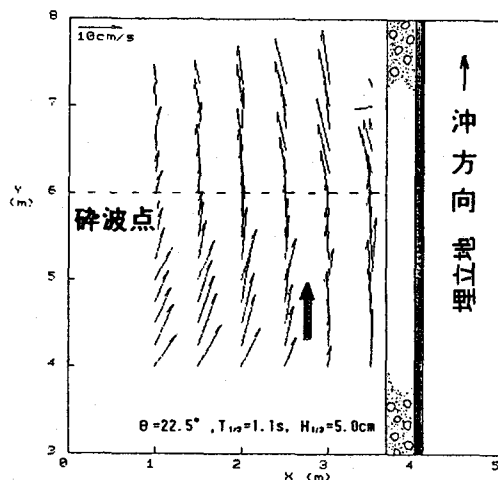


図-11 消波堤外側水域の海浜流(汀線直角)

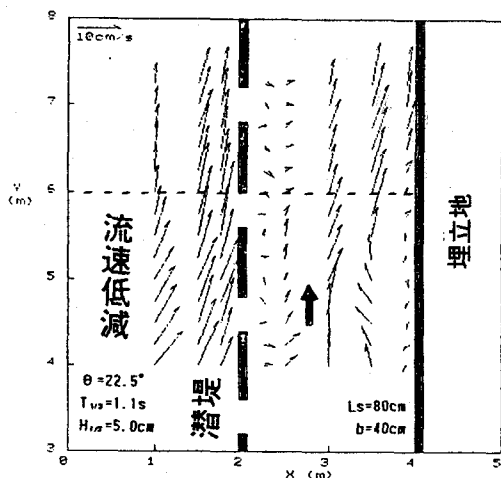
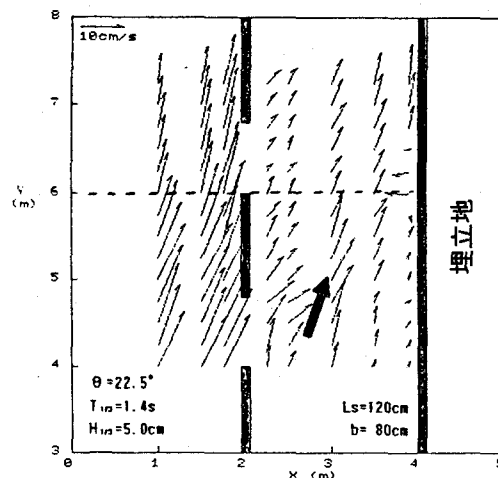


図-12 波高低減水域の海浜流(開口狭い)



(→ 現地換算 50cm/s)

図-13 波高低減水域の海浜流(開口広い)

実験結果を図-14～図-16に示す。消波堤前面の海浜流は図-14に示すように上記の実験の沿岸流に比べ沖向きの流速が小さい離岸流が発生している。これに対して、潜堤の開口幅が狭い複断面防波堤 ($b/L_s = 1/3$) の波高低減水域の海浜流は、図-15に示すように、潜堤の開口部付近では波高低減水域から沖向きの流れおよび潜堤直上では岸向きの流れが生じ、さらに、波高低減水域では循環流が発生している。しかし、潜堤の開口を広くした複断面防波堤 ($b/L_s = 2/5$) の場合では、図-16に示すように開口部付近の沖向き流速および潜堤直上の流速が速くなり、波高低減水域の循環流の規模も大きくなる。

以上のように、複断面防波堤では潜堤長さや開口長さを変えることによって、流速の制御や循環流を発生させることができる。これによって、複断面防波堤による波高低減水域の水産資源の流失防止の抑制を図ることができむのと考えられる。

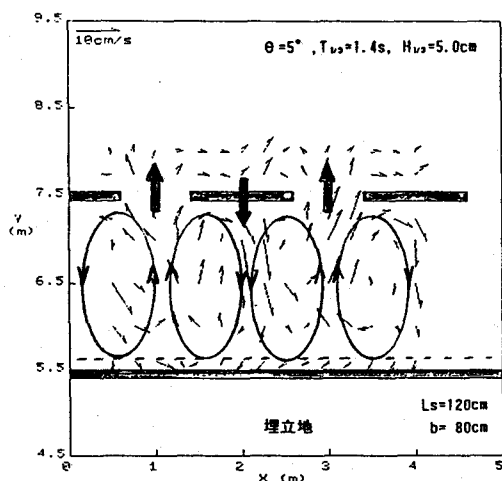


図-16 波高低減水域の海浜流(開口広い)

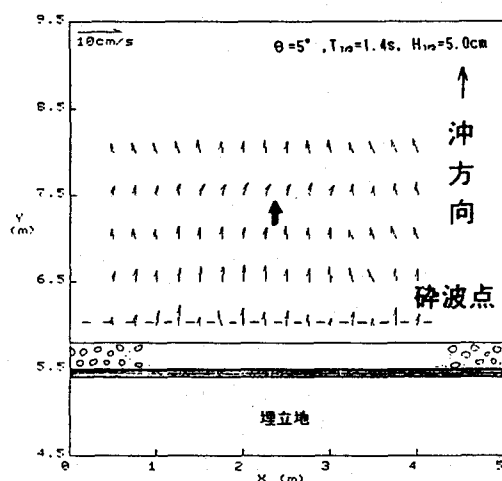


図-14 消波堤外側水域の海浜流(汀線平行)

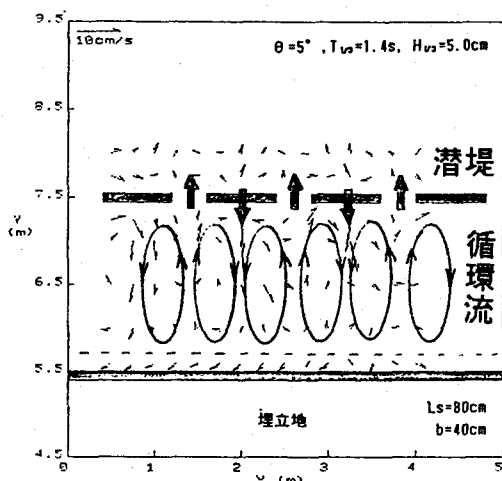


図-15 波高低減水域の海浜流(開口狭い)

(1) 目的

モデル発電所港湾に複断面防波堤を適用した場合の波高低減水域の波高と流速分布を把握し、消波堤と比較して、複断面防波堤の成立性について検討する。

実験は平面水槽内に図-17に示すモデル港湾を製作し、複断面防波堤の海浜流実験と同様の実験を実施した。複断面防波堤の静穏度に対する評価は図-17のような領域を設定して、平均波高を算出し、消波堤の場合と比較した。

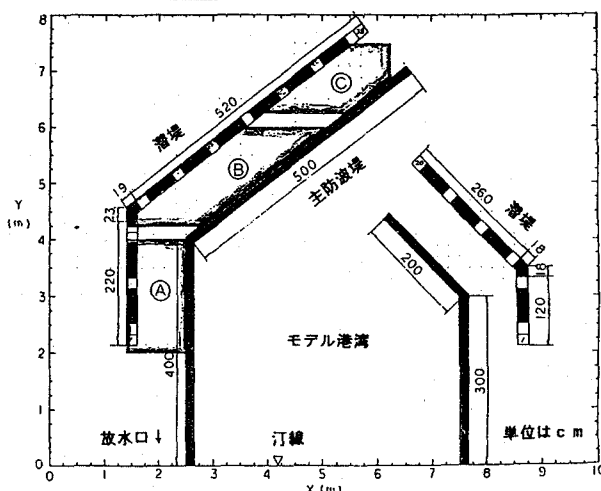


図-17 モデル港灣と静穏度算出領域

(3) 結果と考察

モデル港湾に複断面防波堤を適用した場合の波高低減水域における波高分布および海浜流の実験結果を図-18に示す。この図によると、開口部 ($b/L_s = 1/4$) が複断面防波堤による波高低減水域の平均波高は消波堤と同程度以下であり、領域別では浅い水深の方が深い領域より波高が小さくなっている。複断面防波堤の静穏水域における海浜流は消波堤の外側水域より流速は小さくなり、開口部においては、波高低減水域内から沖方向への流れが見られ、また、波高低減水域の潜堤背後では小さな循環流が生じている。従って、複断面防波堤はモデル港湾に適用しても、波高低減水域の波高と海浜流は消波堤の場合より大きくならないことが判った。

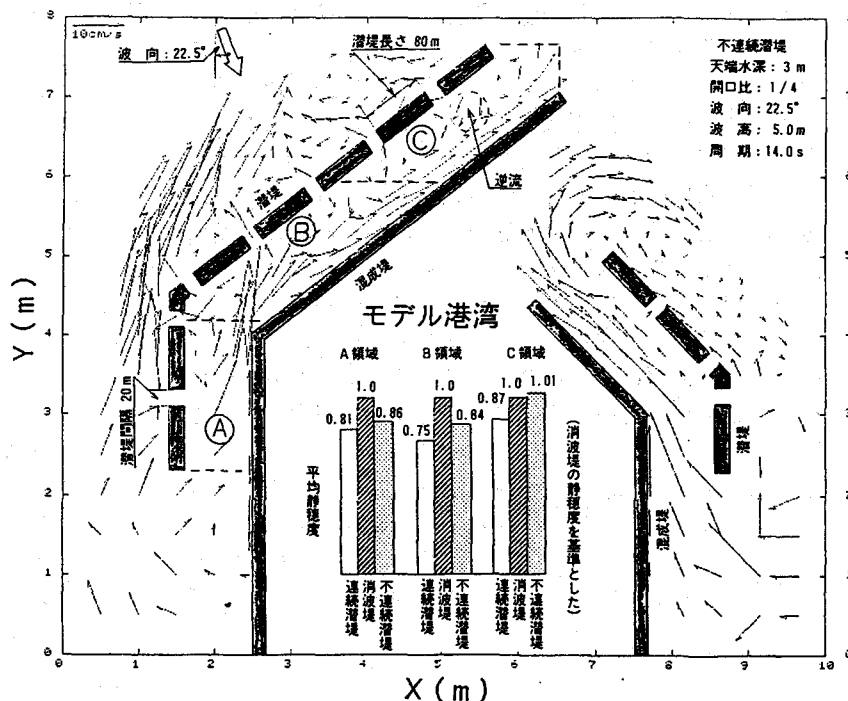


図-18 モデル港湾の波高低減水域における波高と海浜流

6. まとめ

消波ブロック被覆混成堤と等量のブロックで作った潜堤を有する複断面防波堤について、不規則波の水理実験を実施し、潜堤高さと離間距離に対する防波堤港内外の波高および潜堤間隔と潜堤長さに対する波高低減水域の流れを把握した。その結果、以下のことが判った。

(1) 複断面防波堤の港内外の波高

潜堤幅が波長の約1/15、潜堤高が水深の7割を有する複断面防波堤の波高低減水域の静穏度は消波堤外側水域より小さい。波高低減水域の静穏度は混成堤と潜堤の離間距離が約1波長以上の場合、消波堤より低減する。複断面防波堤における越波により港内波高は、消波堤の場合より小さい。

(2) 波高低減水域の流れ

複断面防波堤の波高低減水域では潜堤の長さや開口長さを変えることによって、流速の低減や循環流を発生させることができる。

(3) 複断面防波堤のモデル港湾への適用

数千トン級船舶用の港湾に複断面防波堤を適用した場合、高波浪時、混成堤と潜堤間の波高低減水域の平均波高は消波堤より小さくなり、また、同時に流速の低減も見られる。

以上のように、潜堤を有する複断面防波堤では、港内および波高低減水域の波高は消波堤の場合より大きくならず、波高低減水域の流れは消波堤より低減し、かつ、循環流などが生じるため、水産資源の保全に役立つと考える。

最後に、この研究は通商産業省の委託（平成元年度、2年度）によって行われたものであることを付記する。

参考文献

- 1) 佐伯 浩, 菊地秀明, 京谷 修, 松井弘夫, 尾崎 晃: 複断面防波堤の水理機能と設計波圧について, 第27回海岸工学講演会論文集, pp.335~338, 1980
- 2) 森口朗彦, 山本正昭, 田中輝雄: 富山市四方漁港における潜堤付孔空き防波堤の建設と導水機現地調査, 海洋開発論文集, VOL. 8, pp.403~408, 1992
- 3) 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, 24p., 1976