

## 浮防波堤の形状について\*

加 藤 重 一\*\*

### 1. 浮防波堤とは<sup>1)</sup>

浮防波堤といえば文字通りわかりきった構造物のように錯覚しがちであるが、つまり浮体即浮防波堤とみなされるふしがあるように思えるが、これは現在のところ、厳密にいうと未開発の海洋構造物である。したがって、開発ないしは研究の方法も模索中といった観がある。筆者はごく最近“浮防波堤のアセスメント”—State of the Art を ECOR\*\*\* より報告した<sup>1)</sup>が、その後の新しい情報を加味して、“浮防波堤とは何か”について、その骨子をここに記してみたい。

浮防波堤は強い風浪を防禦する浮遊式の堤防のことではあるが、“強い浪”とはどの程度かというとなかなか厄介である。普通の防波堤のような建設事業の対象となるのか、小規模な装置敷設なのか、目的や工事費によって異なろう。

浮防波堤は、比較的海水交流は阻害しないので水質保全に有利であるとか、大水深のところに設置可能なので海洋構造物の沖合化が期待しうるなどの特質がある。

これらの特質に関する詳細は略し、ともかくも“浮防波堤”とはどのような基準に合えばよいのか、筆者の経験より結果論的に、いろいろな機能を考慮し、一つの案を提示したい。

これには2つの基準を設定した方が今のところ便利であると考え。

基準Ⅰ（半永久的な、公共建設事業として）

- (1) 期待消波効果 : 55% 以上
- (2) 設計沖波波長 : 100m 以上

(3) 設計沖波波形勾配 : 0.04 以上

(4) 設置箇所の水深 : 20~200m

このような入射波条件に対応する浮体規模

$$\text{を } \frac{\text{入射波長}}{\text{波の入射方向の浮体の幅}} < 4$$

とする。

基準Ⅱ（小規模な装置的なものとて）

(1) 期待消波効果 : 55% 以上

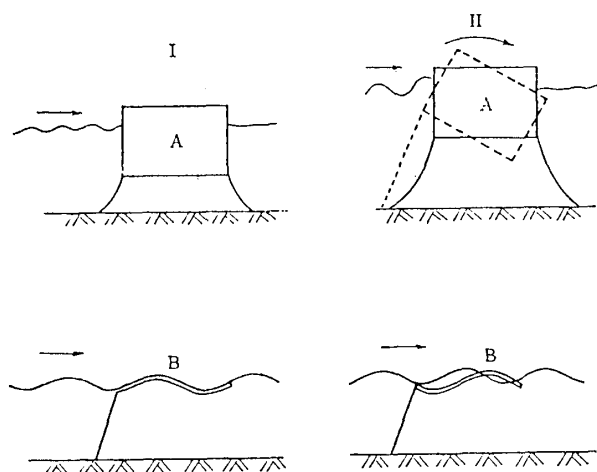
(2) 入射波条件や浮体規模を特に設定しない。  
(消波機構など本質的にはⅠと同じ)

この稿では基準Ⅰについてのべる。

### 2. 消波機構について<sup>2)</sup>

浮体で波を消す機構的な方法にはふたつあって、1つは Passive で他は Active である。

第1図について簡単に説明すると、代表的なふたつのタイプの例として剛なポンツーン浮体、Aとシートのようなフレキシブルな浮体、Bを示す。共に入射波により、Ⅰは反射作用、または摩擦作用によりそのエネルギーは減耗し、Ⅱは、A、



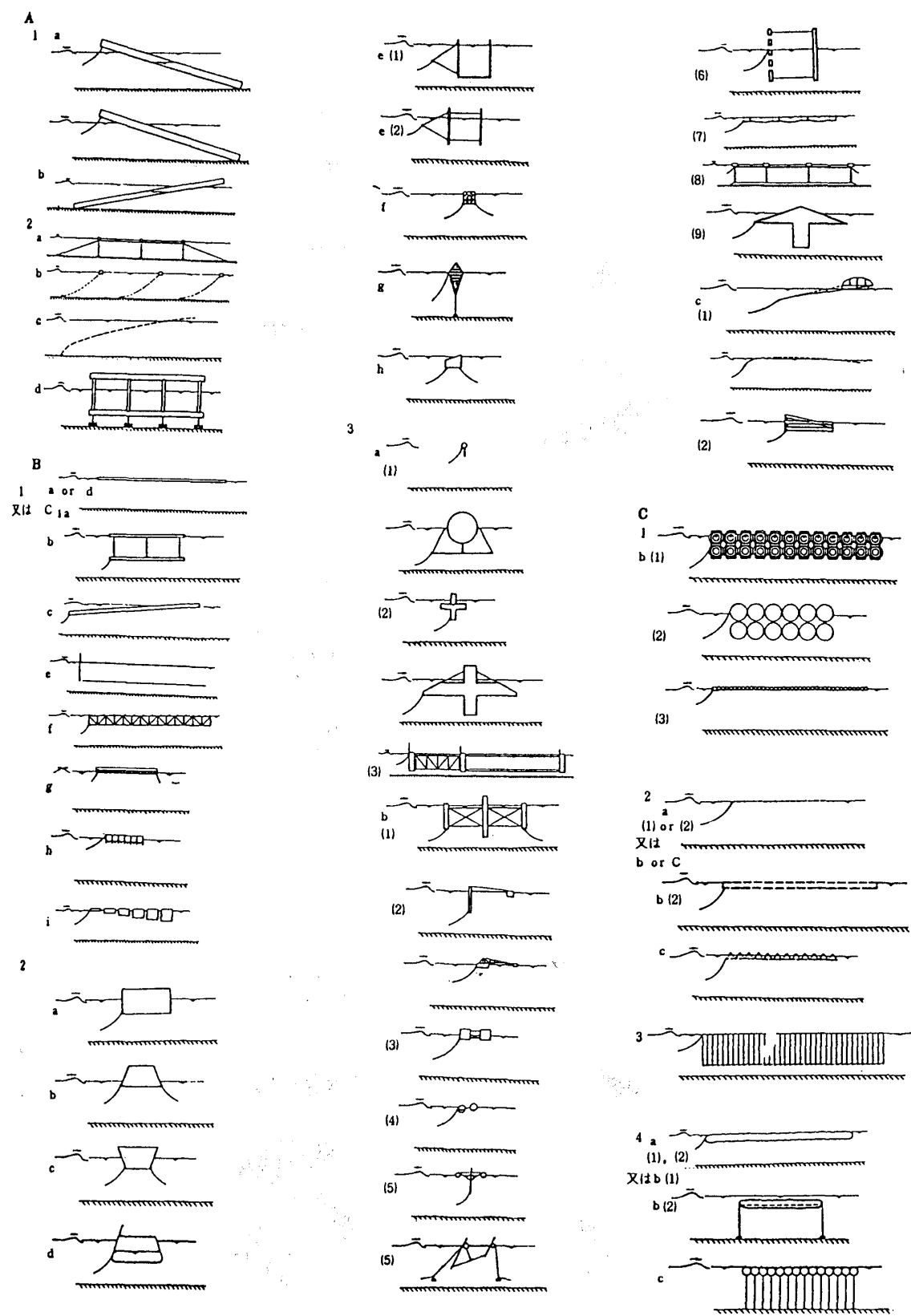
第1図 消波機構

\* 1985年11月11日受理

\*\* 東京水産大学海洋環境工学科

\*\*\* UNESCO の Engineering Committee of Ocean Resources の略、この報告書はそのうちの ECOR 日本委員会

浮防波堤の形状について



第2図 浮消波堤の分類 (米国海軍土木研究所による)<sup>3)</sup>

第1表 浮消波堤の分類 一 米 国 海 軍 土 木 研 究 所 による<sup>3)</sup>

| 分類記号<br>(図対応) | 名 称                |   | 分類記号<br>(図対応) | 名 称              |   |
|---------------|--------------------|---|---------------|------------------|---|
| A             | 全水深におよぶもの          |   | (4)           | 二重連結ポンツーン        |   |
| 1             | 板 (バリヤー)           |   |               | (シリンダー, 岸側に傾くもの) | △ |
| a             | 傾斜板 (沖方に傾くもの)      | ○ | (5)           | A斜フレーム           | △ |
| b             | " (岸方に傾くもの)        |   | (6)           | 平行フレーム           | △ |
| 2             | スクリーン              |   | (7)           | 穴あき底なし箱          |   |
| a             | 多列穴あき垂直板           |   | (8)           | 多重連穴あき箱          |   |
| b             | 多列穴あき傾斜曲面 (板岸方に傾く) |   | (9)           | 多列鍍戸パネル          | ○ |
| c             | 穴あき傾斜曲面 (板岸方に傾く)   | △ | (10)          | 不透過性複合バリヤー       |   |
| d             | 多列多重垂直管            |   | c             | 消散を期待するもの        |   |
| B             | 剛性浮体               |   | (1)           | 透過性複合バリヤー        | △ |
| 1             | 板 (スラブ) 又は筏構造      |   |               | 透過性バリヤー          |   |
| a             | スラブ (水面に水平)        |   | (2)           | 複合筏              |   |
| b             | 水平二段板              | ○ | C             | 撓性浮体             |   |
| c             | 傾斜板 (岸側に傾く)        |   | 1             | スラブ又は筏構造         |   |
| d             | 非剛性板 (水面に水平)       | ○ | a             | 弾性板 (剛性)         |   |
| e             | トラッサブ              |   | b             | 撓性筏              |   |
| f             | パイプ格子斜             |   | (1)           | タイヤアセムブリー        |   |
| g             | 丸太筏                |   | (2)           | 球体列              |   |
| h             | 連続底なし箱             |   | (3)           | 丸太ジャム            |   |
| i             | 多重連不整一ポンツーン        | ○ | 2             | 膜・シート又はブランケット    |   |
| 2             | 単体                 |   | a             | 不透過性膜            |   |
| a             | プリズムポンツーン (矩形断面)   |   | (1)           | プラスチックシート        |   |
| b             | " (台形断面)           | △ | (2)           | 薄いブランケット         | ○ |
| c             | " (逆台形断面)          | △ |               | (ゴム引きプラスチック)     |   |
| d             | 船体形ポンツーン           |   | b             | 不透過性ブランケット       |   |
| e             | 水平又は垂直共鳴箱          |   | (1)           | フォームラバー          |   |
| f             | 丸太束                |   | (2)           | フォームプラスチック       | ○ |
| g             | 木製クリップ             |   | c             | 透過性ブランケット        |   |
| h             | 上面傾斜ポンツーン          |   | (1)           | 単純ブランケット         |   |
| 3             | その他の形状             |   | (2)           | コルゲートブランケット      | ○ |
|               | (慣性や共振を意図したもの)     |   | 3             | 吊下重錘付きシート        | ○ |
| a             | 慣性を期待するもの          |   | 4             | バッグ              |   |
| (1)           | ポンツーンバリヤー型浮体       |   | a             | バッグ              |   |
| (2)           | 十字断面形ポンツーン         | △ | (1)           | 水入バッグ            | ○ |
| (3)           | 三重垂直板 (1 ヒンジ)      | △ | (2)           | 液入バッグ            |   |
| b             | 慣性と共振を期待するもの       |   | b             | シリンダーバッグ         |   |
| (1)           | 三重垂直板              |   | (1)           | 水入シリンダーバッグ       |   |
| (2)           | 垂直板又は水平板           |   | (2)           | 空気入潜りバッグ         |   |
| (3)           | 二重連結ポンツーン (正方形断面)  | ○ | c             | テザード             | ○ |

## 浮防波堤の形状について

第2表 消波特性

|             |             |           | <○印>      |                  | 透過率 $H_T/H_I$ <0.20 (1) |           |
|-------------|-------------|-----------|-----------|------------------|-------------------------|-----------|
| 記 号 と 略 名 称 |             | $H_T/H_I$ | 比波長 $L/d$ | 浮体幅比 $\lambda/L$ | 比吃水 $D/d$               | $H/L$     |
| A1.a        | 傾 斜 板       | 0.2       | 4~8       | 0.8              | 不適                      | <0.04     |
| B1.b        | 水 平 二 段 板   | "         | 3.0       | 0.6              | 0.25                    | —         |
| 1.d         | 非 剛 性 板     | "         | —         | 1.0              | —                       | —         |
| 1.i         | 多重連ポンツーン    | "         | —         | —                | 0.36                    | —         |
| 3.b(3)      | 重連ポンツーン     | "         | 1.6       | 0.5              | 0.12                    | 0.04~0.06 |
| 3.b(8)      | 多 列 鰐 戸     | "         | 10.0      | 0.5              | 0.86                    | —         |
| C2.a(2)     | ブ ラ ン ケ ッ ト | "         | 2.0       | 1.7              | 0.15                    | >0.03     |
| 2.b(2)      | プ ラ ス チ ッ ク | "         | 1.5       | 2.5              | 0.15                    | >0.03     |
| 2.c(2)      | コ ル ゲ ー ト   | "         | 2.5       | 2.2<br>1.7       | 0.15<br>0.30            | 0.02~0.10 |
| 3.          | 吊 下 シ ー ト   | "         | 2.6       | 1.7              | 0.74                    | <0.10     |
| 4.b(1)      | 水 入 バ ッ グ   | "         | 1.8~2.4   | 2.4~1.8          | 0.2                     | 0.04~0.08 |
| 4.c         | テ ザ ー ド     | "         | 4.0       | 0.7              | 0.2                     | 0.04~0.08 |

|             |           |           | <△印>        |                  | 透過率 $0.20 > H_T > 0.35$ (2) |        |
|-------------|-----------|-----------|-------------|------------------|-----------------------------|--------|
| 記 号 と 略 名 称 |           | $H_T/H_I$ | 比波長 $L/d$   | 浮体幅比 $\lambda/L$ | 比吃水 $D/d$                   | $H/L$  |
| A2.c        | 穴 あ き 曲 板 | 0.3       | 2.7         | 1.2              | 不適                          | —      |
| B2.b        | 台形ポンツーン   | 0.3       | 1.0         | 0.7              | 0.12                        | <0.06  |
| 2.c         | 逆台形ポンツーン  | 0.3       | 1.0         | 0.8              | 0.23                        | <0.06  |
| 3.a(2)      | 十字ポンツーン   | 0.25      | 2.8         | 不適               | 0.3                         | 0.08   |
| 3.a(3)      | 三 重 板     | 0.3       | 6.0<br>10.0 | 0.9<br>0.8       | 0.6<br>0.8                  | —<br>— |
| 3.b(4)      | 二重ポンツーン   | 0.3       | 1.0         | 0.3              | 0.14                        | 0.06   |
| 3.b(5)      | A フ レ ー ム | 0.3       | 2.0         | 0.3              | 0.3~0.8                     | >0.03  |
| "           | 平行フレーム    | 0.35      | 1.5         | 0.33             | 0.5                         | <0.05  |
| 3.c(1)      | 透性複バリヤ    | 0.25      | 2.5         | 1.3              | 0.5                         | —      |

d: 水深,  $\lambda$ : 浮体幅, D: 吃水

B浮体ともに、入射波の周期と浮体それぞれのもつ固有振動周期とが大きさ、位相ともに異っていることを利用して、入射波のエネルギーを消耗することをあらわしている。IがPassiveで、IIがActiveな消波機構である、消波機構を数理論的に説明するには種々モデル化されて考察されるが、一般には非線型状態となるため、式化がむづかしい。そこで筆者はまづ実験によっていろいろ、考える浮体についての消波特性をしり、規模・構造・材料・施工・維持関係の諸事項・工費などの開発面のことがらを考慮し、前章の基準に合う浮防波堤開発可能な形状を追究しようとした。

3. 浮防波堤を指向する浮体の形状について<sup>2)</sup>

2.でのべた消波機構を考慮し、I.の基準に合う浮体形状はつぎのようである。

一般に、すべて浮体は同一浮体で、入射波の条件や浮遊状態、係留の仕方などによって、Passiveな場合とActiveな場合との両性質を合せもつものである。したがって供試浮体がいずれの特性を利用して設計されるものであるかをまずしらなければならない。

たとえばPassiveな浮体は入射波に対してかなり大規模（ポンツーンでは水深の8割方の吃水深を必要とし、シートでは波長の10倍長を要するな

ど.) とならざるを得ず, また Active な浮体として設計するには, 係留索にかかる張力が大となるなどの点に留意しなければならない. 結果としては, Passive, Active とともに, それぞれ単独の消波機構を適用するだけでは浮防波堤開発はのぞみ薄といわざるをえないのである.

考察の経過<sup>1)</sup>はすべて省略し, 結論のみを記すつつぎのようである.

浮防波堤を指向する浮体は,

1. Active 構造物の機能をもち, 見掛けは Passive な浮体となるように設計する. これはおのずから浮体は複合的な形状となる,

2. ある特定の実用範囲内で Passive か Active な構造物として設計可能な浮体の何れかとなる.

実際では, 2は, 基準Ⅱあるいはフレキシブルな浮体に適する場合が多い.

#### 4. 浮防波堤の基本形状について

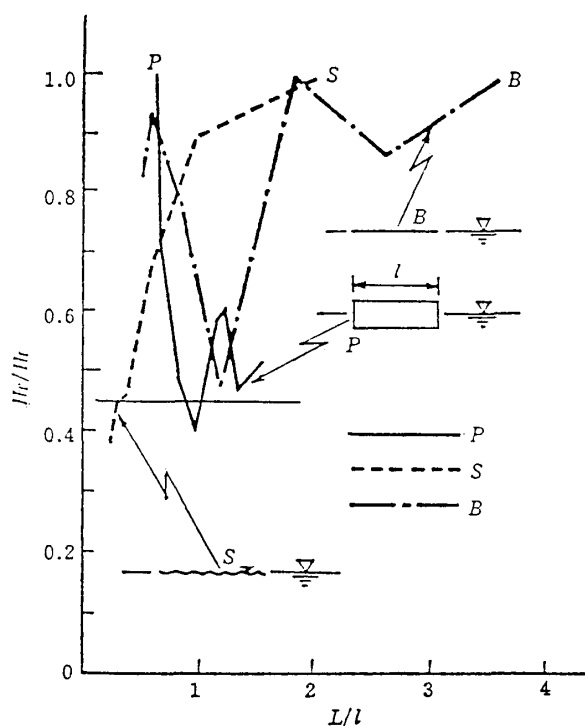
まず, これまでに報告された浮体形状の主なも

のを第2図<sup>3)</sup>に示す. これらの各浮体の消波効果はいろいろな条件のもとで報告されている<sup>1)2)</sup>が, このうちより, 実験範囲が広くかつ, 実用開発に供しうる代表的ないくつかの浮体を分類して選び, 同一グラフ上に比較できるように示したのが第3図である.

第3図について少し説明する. グラフは縦軸に消波効果(通過波高,  $H_T$ /入射波高,  $H_I$ )を, 横軸に入射波長,  $L$ /浮体の代表長  $l$ をとって統一して示す(ただし第3図-b-(2)には FTe 浮体では入射波エネルギー～入射波の周期を示す). 第3図は浮体を基本浮体と複合浮体に分け, さらに複合浮体を剛構造の浮体と可撓性の浮体に分類して示す. すなわち, 基本浮体(第3図-a)とは単純な形状で, このままでは“浮防波堤”として開発することは無理であるが, 将来浮防波堤の消波機構についての数理論的考察に必要と思われる浮体を一括した. 複合浮体第3図-b(1), (2)は, 1章でのべた浮防波堤としての基準と規模におおよそ適合し

図には縦軸に  $H_T/H_I$ , 横軸に  $L/l$ , 入射波形勾配は 0.03~0.05 とし網羅的な実験結果のもののみを掲げた.

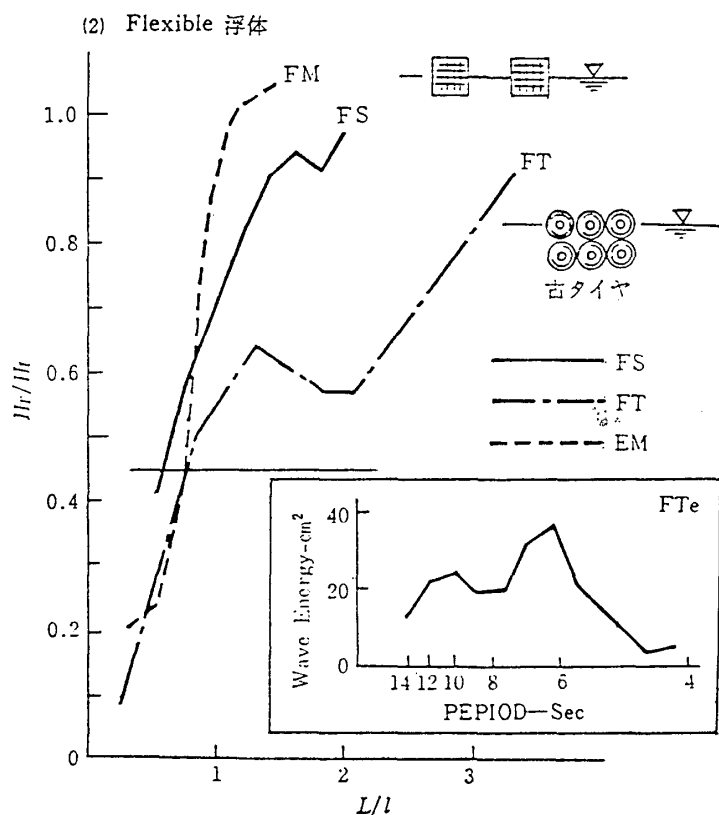
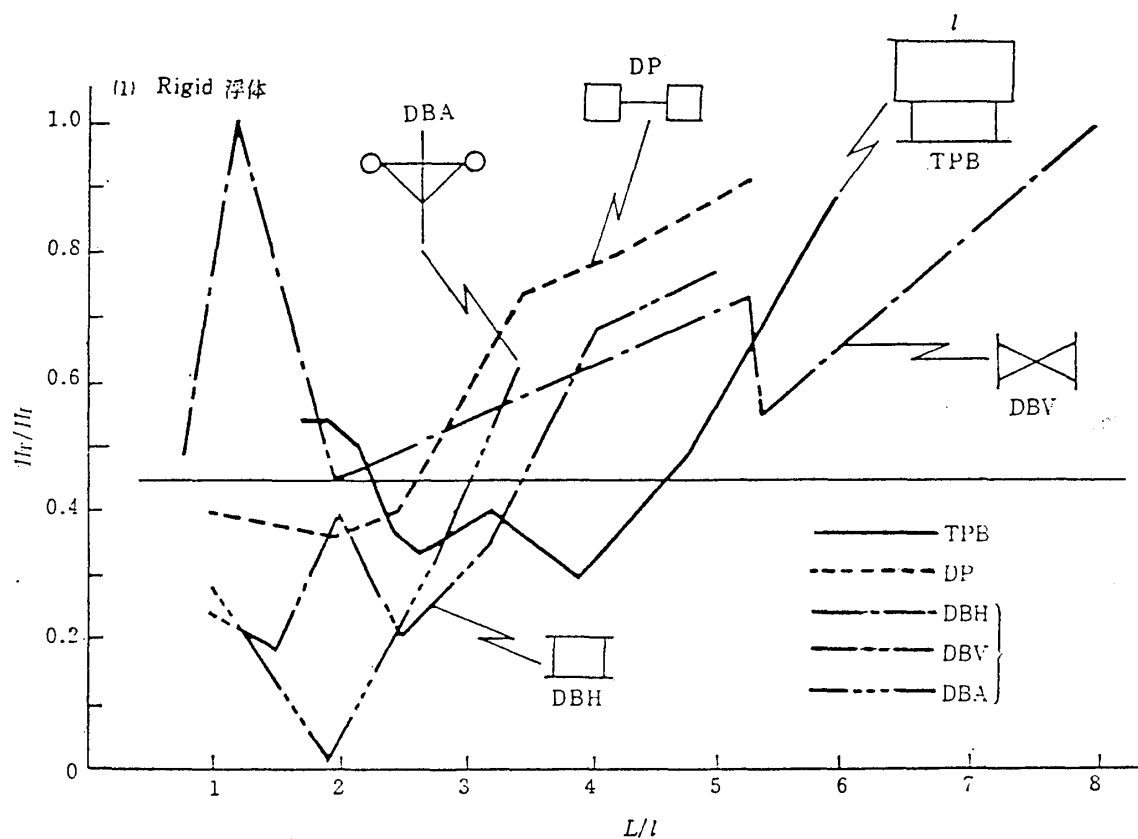
|                |        |
|----------------|--------|
| ポンツーン          | P      |
| 板              | B      |
| シート            | S      |
| 以上             | 単一基本浮体 |
| 重連ポンツーン        | DP     |
| 水平二段板          | DBH    |
| 垂直二重板          | DBV    |
| A-フレーム         | DBA    |
| ポンツーン-バリアー型の一種 | TPB    |
| 以上             | 剛性複合浮体 |
| マットレスユニット      | FM     |
| 古タイヤ集合体ユニット    | FT     |
| ステレオグリッドユニット   | FS     |
| “テザード” ユニット    | ETe    |
| 以上             | 撓性複合浮体 |



a 基本的な浮体の消波効果

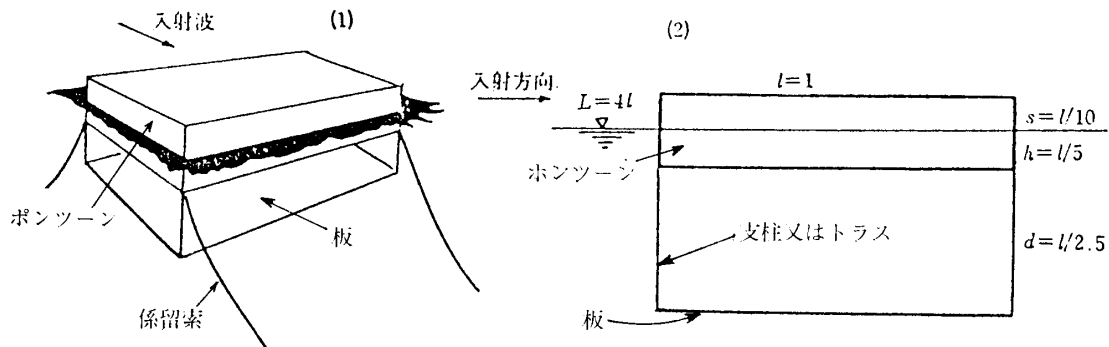
第3図 各種浮体の消波効果

浮防波堤の形状について



b 代種的な複合浮体の消波効果

第3図 各種浮体の消波効果



第4図 合理的な浮防波堤の形状断面

うられるものをまとめた。

さて第3図-aは浮体の規模として、基準を満たす  $L/l$  の値が1近傍で、少し大きい波長  $L$  が入射すると浮体は大とならざるをえず浮防波堤としては不適であることがわかる。第3図-b-(1)については、同様に基準Iにてらすと、これを満足する浮体はTPB浮体であることが理解されよう。たとえば入射波長が100mであると浮体幅  $l$  は25mとなり、この程度であれば“浮防波堤”として開発可能とおもわれる。他の浮体ではこれ以上となり不適当と判断される。(けだし、これは浮防波堤の可能性の限界を示す)。第3図b-(2)は基準IIに適用されうる撓性の浮体をいくつか示したものである。

なお、第2および3図に示した浮体形状の模式図は浮体の標準断面で入射波は左より右に移動するものとする。また係留索は省略してある。ここで係留の様式や、吃水の変化による消波効果の変化についても考慮していることをつけ加えておこう<sup>1)</sup>。

つぎに、もっとも有力な浮防波堤として開発可能なTPB浮体について、最も合理的な各部寸法を実験によって決定した。消波効果に関係のある各部は  $h$ : ポンツーンの高さ,  $s$ : ポンツーンの

吃水深および  $d$ : ポンツーンの下に遊離着装される板までの距離であるとし第4図に示す結果を得た。

このようなTPB浮体は基準Iの条件に適するものであるが、実際現場では、このようなきびしい条件の場合のみとは限らない。そのような多くの場合は、この第4図-(2)を基本型として、幾多のヴァリエーション形状のものが考案しうる。筆者は既にいくつかの形状を報告している<sup>4)</sup>。

なお、第4図は消波効果のみならず、浮体の上下動抑制効果のあることより、一般海洋構造物に適用して有利であると考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) ECOR 日本委員会技術委員会, 浮消波堤の沿革部会(1985): 浮消波堤の沿革に関する報告書, ECOR 日本委員会 pp. 1~104.
- 2) 加藤重一(1982): 浮防波堤の開発—研究の経過と成果, 土木学会誌 67 巻 12 号, pp. 29~36.
- 3) JONES, D.B. (1971): Transportable Breakwaters—A Survey of Concepts, Technical Report 272, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California, May, pp. 1~70.
- 4) 加藤重一(1985): 浮防波堤の2・3の形状について. 受託研究報告書 pp. 1~66. (未公表)