

# 浮体式海水交換防波堤の構造諸元に関する 海水交換特性の実験的検討

## EXPERIMENT STUDIES OF WATER-EXCHANGE CHARACTERISTICS ON STRUCTURAL PARTS OF SEAWATER EXCHANGABLE BREAKWATER USING FLOATING BODY

澤利明<sup>1</sup>・青木俊介<sup>2</sup>・杉山陽一<sup>3</sup>・佐藤公己<sup>4</sup>

Toshiaki SAWA, Shunsuke AOKI, Yoichi SUGIYAMA and Hiromi SATO

<sup>1</sup> 中部電力株式会社 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1)

<sup>2</sup> 株式会社シーテック 技術コンサルタント部 (〒455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1)

<sup>3</sup> 正会員 中部電力株式会社 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1)

<sup>4</sup> 正会員 株式会社シーテック 技術コンサルタント部 (〒455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1)

The seawater exchangeable breakwater developed by Kitsukawa et al is one of the types that have water drawing mechanism applying wave breaking. Floating body units set in it move up and down with tidal level change, and keep effective water depth for wave breaking at all time, therefore sea side water can be drawn into harbor side efficiently. However, several important structural parameters are not known enough for practical design. In this study, we investigated appropriate values of clearance between floating body and side walls, opening area ratio of discharge pipe sectional area to submerged back wall area, and tested a difference in materials of floating body. Results are as follows: (a) Opening area ratio should be about 8% to perform efficient flow rate and low wave transmission toward harbor side. (b) Clearance should be about 100mm to realize smooth movement of floating body. (c) Kinds of material do not affected to capability of water exchange.

**Key Words:** Seawater exchange, breakwater, caisson, floating body

### 1. はじめに

一般的な漁港は、波浪の進入を防ぐために防波堤で囲まれた閉鎖性の高い形状であることが多く、港奥部で水質が悪化する傾向を持つ。一方、港内には出荷調整のために生け簀を設けて水産物を一時保管することがあるため、新鮮で清浄な海水が必要となる場合が多く、港内の海水を交換するための設備に対する要望は強い。現在、海水交換の方法として潮汐や波などの自然エネルギーを利用したものが多数提案されている。波のエネルギーを利用する方法は、越波を利用するものと、砕波を利用するものに大別される。砕波を利用する方法の代表例として、山本ら<sup>1)</sup>が開発した「潜堤付き防波堤」がある。これは潜堤により砕波を誘起し、効率的に導水を行おうとするものであるが、潮位変動の大きな沿岸海域では、潜堤上部の被り水深が大きくなると砕波が起こりにくくなり、導水効率が落ちるといった側面を持つ。橘川ら<sup>2)</sup>は潜堤上部に浮体構造を付加し、潮位に依らず最適な被り水深を確保するようにした浮体式海水交換型を提案している。本研究では、この浮体式海

水交換防波堤の実設計に必要な構造諸元、すなわち浮体部の材質、浮体構造物の接続構造、浮体部のクリアランス、通水口の開口率などを明らかにするために水理模型実験を行い、港内波高、遊水部の水位上昇量、導水量などへの影響を検討したので報告する。

### 2. 実験条件

水理模型実験は二次元不規則波造波水路で行った。実験時の模型および計測機器の配置状況を図-1に示す。今回検討した浮体式海水交換防波堤の模型は図-2に示すとおり、潜堤部や遊水部などをケーソン内部に取り込んだ本体を、マウンド上に設置する形状とした。模型の縮尺は1/5とし、マウンド部は木製で、防波堤本体は鋼製の骨組みと塩ビ板により製作した。なお、浮体部の材質は、材質の異なる3つの模型(SUS304中空体、高密度PE材、合成木材)とした。また、本体後背部の導水管の径は100mm(模型寸)とし、管の本数を変化させて開口率の影響を

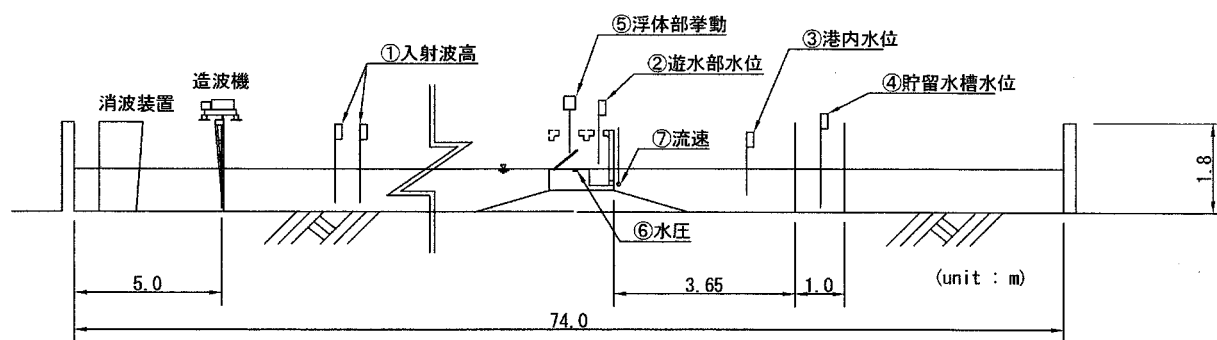


図-1 実験装置概要図

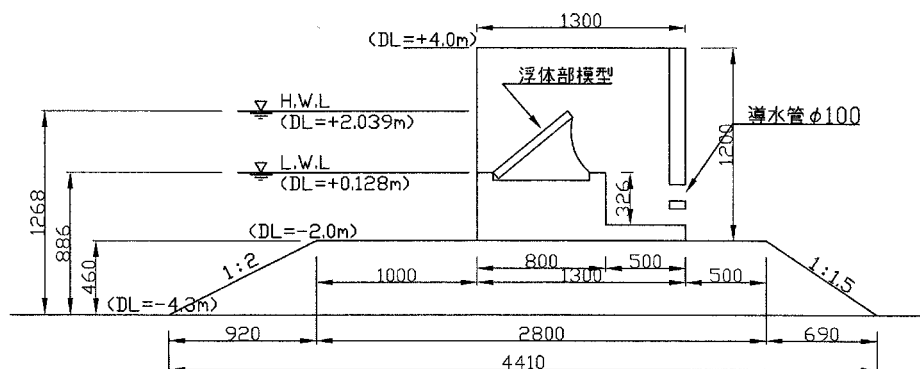


図-2 浮体式海水交換防波堤の詳細図(模型量)

把握することとした。実験に用いた波浪条件は、比較的波の弱い湾内での適用を想定し、表-1 のとおり  
に設定した。使用した計測機器を表-2 に示す。

表-1 実験波浪条件

| H (cm)<br>T (s) | 10<br>(2.0) | 20<br>(4.0) | 30<br>(6.0) | 40<br>(8.0) |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 4.1<br>(1.83)   | —           | —           | ○           | —           |
| 5.0<br>(2.24)   | —           | —           | ○           | —           |
| 6.0<br>(2.68)   | —           | —           | ○           | —           |
| 6.8<br>(3.04)   | ○           | ○           | ○           | ○           |
| 8.0<br>(3.58)   | —           | —           | ○           | —           |

括弧内は模型量を示す。

表-2 計測項目と計測機器

| No. | 計測項目    | 計測機器     |
|-----|---------|----------|
| ①   | 入射波高    | 容量式波高計   |
| ②   | 遊水部水位   | 容量式波高計   |
| ③   | 港内水位    | 容量式波高計   |
| ④   | 貯留水槽水位  | 容量式波高計   |
| ⑤   | 浮体部挙動   | レーザー式距離計 |
| ⑥   | 浮体部内部水圧 | 水圧計      |
| ⑦   | 導水部流速   | 電磁流速計    |

### 3. 導水管開口部の開口率の検討

#### (1) 開口率の定義と検討ケース

図-3 に導水管開口部の断面の概要を示す。また、  
図-4 に導水管開口部の正面図を示す。

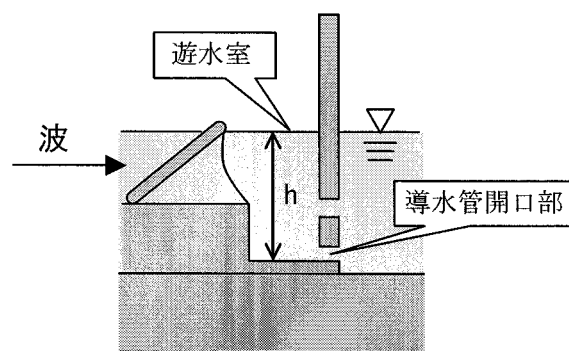


図-3 導水管開口部

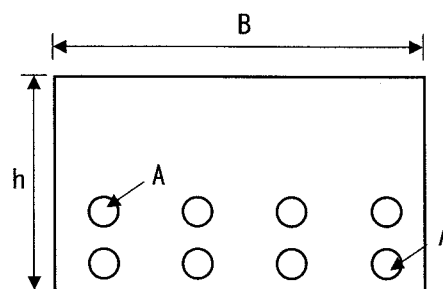


図-4 導水管開口部の正面図

開口率は、式(1a)に示すように、水深 $h$ とケーソン幅 $B$ を掛けた面積に対する開口面積の比率で表す。

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{h \times B} \times 100 \quad (1a)$$

ここに、 $K$ ：開口率（%）、 $B$ ：遊水部幅（cm）、 $h$ ：遊水部水深（cm）、 $A$ ：導水管面積（cm<sup>2</sup>）である。

検討ケースは、図-4に示した導水管を任意に蓋をして、2, 4, 6, 8 個開けた4パターンを実施した。なお、2, 4 個の開口の場合は下段の孔を用い、6, 8 個の開口の場合は上下段の孔を用いた。開口1個分に対応する開口率は、H. W. L. の場合、1.32%となる。浮体部はSUS304 中空体を使用した。

## (2) 導水管開口率と導水量

図-5 は、横軸に開口率をとり周期 6.8s、波高 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m における導水量を現地量で示す。波高が 0.1m と 0.2m と低い場合、導水量は開口率が 2.6% から 10.6% の範囲では開口率の影響を受けなかった。波高が 0.3m と 0.4m と高くなると、導水量は開口率の影響を受け、波高が 0.4m の場合、開口率が 2.6% から 7.9% に増加したときに導水量の増加が見られ、開口率が 7.9% 以上では開口率の影響は見られなかった。波高が 0.4m 程度までであれば、開口率を約 8% 以上とれば、開口率は導水量に影響を与えないことがわかった。

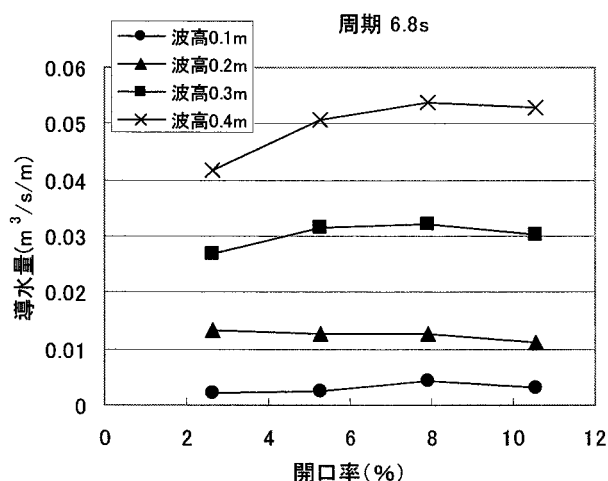


図-5 導水管開口率と導水量における波高の影響

図-6 は、横軸に開口率をとり波高 0.3m、周期別における導水量を現地量で示す。周期が 4.1s と 5.0s の場合、導水量は開口率によらず 0.025m³/s/m のほぼ一定値を示し、周期が 6.0s, 6.8s, 8.0s の場合、導水量は開口率約 5% 以上で 0.03m³/s/m のほぼ一定値を示した。導水量は、周期の影響を受け、5~6s を境界に周期が長いほど導水量が 20% 程度増加することがわかった。

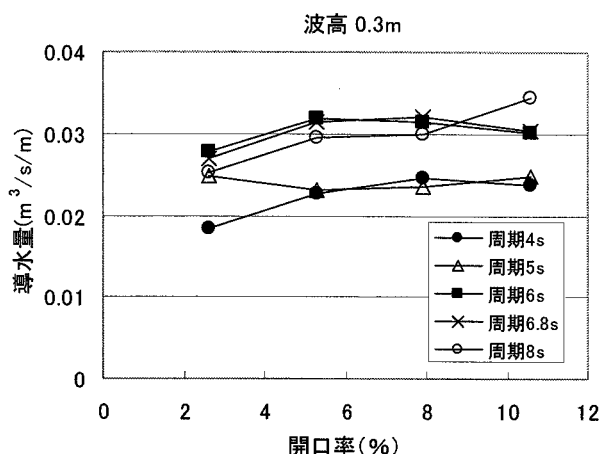


図-6 導水管開口率と導水量における周期の影響

## (3) 導水管開口率と遊水部水位上昇量

この海水交換防波堤は、遊水部の水位を上昇させて港内へ導水させている。

図-7 は、横軸に開口率をとり周期 6.8s、波高 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m における遊水部水位上昇量を現地量で示す。開口率が小さいほど、また波高が大きいほど水位上昇量は大きくなることがわかった。

図-8 は、横軸に遊水部水位上昇量をとり開口率別に導水量を現地量で示す。導水量は、水位上昇量の増加とともに増加した。また開口率が大きいほど水位上昇量が小さくても導水量は多くなるものの、開口率が 8% 以上であれば導水量に影響を与えないことがわかった。

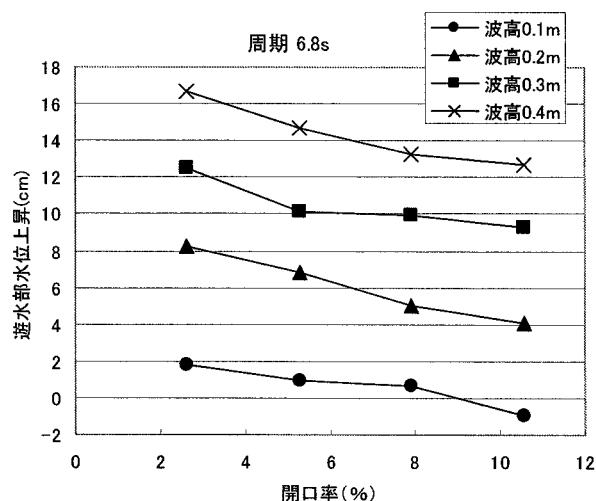


図-7 導水管開口率と遊水部水位上昇量の関係

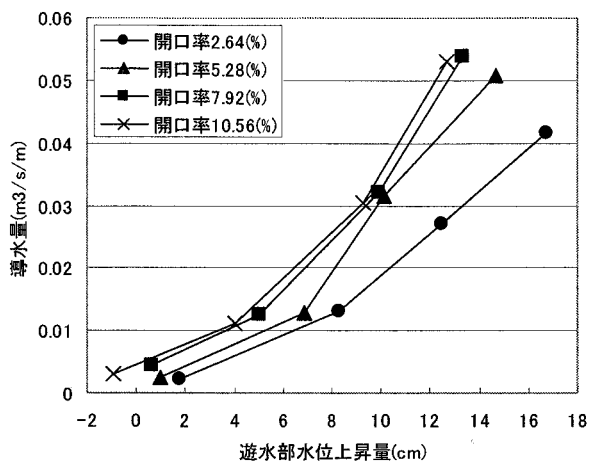


図-8 遊水部水位上昇量と導水量の関係

#### (4) 導水管開口率と導水管流速

図-9 は、横軸に開口率をとり周期 6.8s、波高 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m における導水管流速を示す。導水管流速は、開口率が小さいほど速くなり、その傾向は波高が大きいほど顕著に表れた。

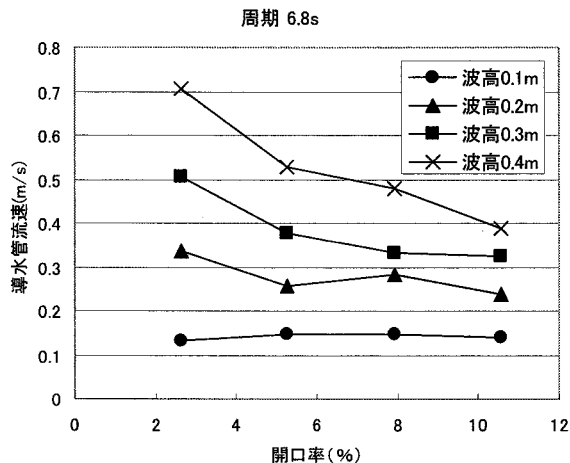


図-9 開口率と導水管流速における波高の影響

#### (5) 導水管開口率と伝達波高

図-10 は、横軸に波形勾配をとり開口率別における港内波高の伝達率を示す。

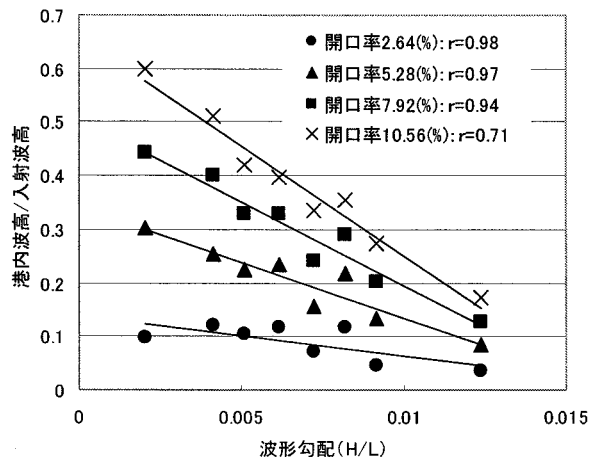


図-10 開口率と伝達波高における波形勾配の影響

港内波高の伝達率は、開口率が大きいほど、また波形勾配(H/L)が小さいほど高くなることがわかり、波形勾配と港内波高の伝達率の関係は実験より式(1b), (1c), (1d)のようになる。

$$H'/H = a(H/L) + b \quad (1b)$$

$$a = -4.1848K + 2.5604 \quad (1c)$$

$$b = 0.0654K - 0.0196 \quad (1d)$$

ここに、 $H$ :入射波高(m),  $H'$ :港内波高(m),  $K$ :開口率(%)である。

以上の結果から、導水管開口率が8%程度であれば効率的な導水量が確保できるとともに、港内への波高伝達は0.5以下であり船舶等への影響は少ないため、開口率は8%程度が最適であると考えられる。

### 4. 浮体部のクリアランスの検討

#### (1) 検討内容と検討ケース

ケーソンの側壁と浮体部のクリアランスは、浮体部の設置、浮体部の稼動を考えると、大きくとるほど有利になる。しかし、あまりクリアランスをとると導水量の低下が懸念される。そこで、図-11に示すように、側壁と浮体部のクリアランスを模型量で10, 20, 40, 60, 80mmと変化させ、導水量、波高伝達率などを検討した。なお、浮体部はSUS304中空体を使用した。

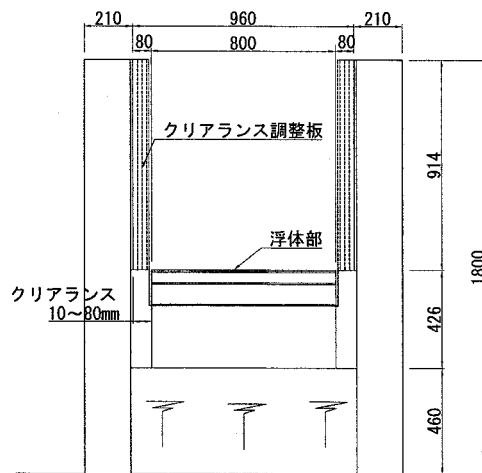


図-11 クリアランスの調整

#### (2) 浮体部クリアランスと導水量

図-12 は、横軸に浮体部とケーソンのクリアランスをとり周期 6.8s、波高 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m における導水量を現地量で示す。また、図-13 は、横軸にクリアランスをとり波高 0.3m、周期 4.1, 5.0, 6.0, 6.8, 8.0s における導水量を現地量で示す。

波高が0.1mの場合、導水量はクリアランスの影響を受けなかった。波高が0.2mから0.4mと高くなると、導水量はクリアランスの影響を受け、クリアランスが狭いほど導水量の増加が見られた。クリアラ

ンスの影響は、波高が高いほど顕著であった。また、周期については、周期が長いほど導水量は多かったが、波高の影響に比べると周期の影響は小さい。

浮体部とケーソンのクリアランスは、以上の結果に加え、現場施工の精度、貝・フジツボなどの付着を考えると、100mm程度が良いと考えられる。

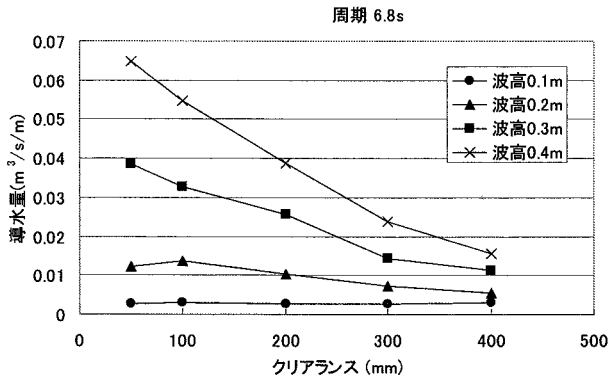


図-12 クリアランスと導水量における波高の影響

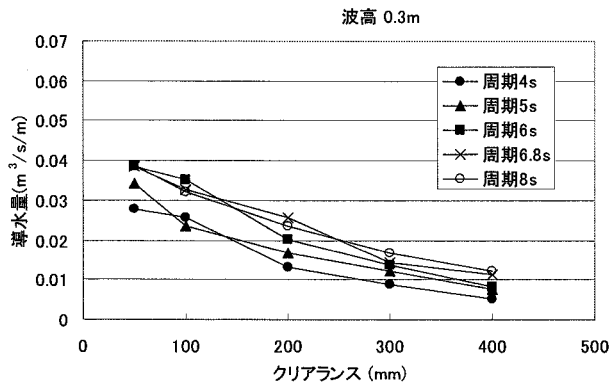


図-13 クリアランスと導水量における周期の影響

### (3) 浮体部クリアランスと伝達波高

図-14 は、横軸に波形勾配をとり浮体部とケーソンのクリアランス別における港内波高の伝達率を示す。

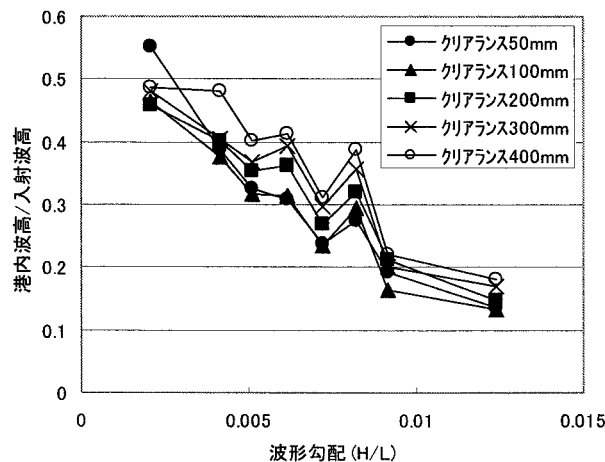


図-14 クリアランスと伝達波高における波形勾配の影響

港内波高の伝達率は、クリアランスが大きいほど、また波形勾配(H/L)が小さいほど高くなる傾向を示した。

## 5. 浮体部の材質選定

### (1) 検討内容と検討ケース

浮体部の形状が同じであっても材質を変えると、浮体部の重量や重心、力の作用点が変わるため、波を受けた浮体の挙動も変化し、導水量や伝達波高にも影響を与えると考えられる。そこで、材質による影響を把握するための実験を実施した。浮体部の種類と重量を表-3に示す。

表-3 検討ケース

| ケース | 材質        | 重量(t) | 体積(m³) |
|-----|-----------|-------|--------|
| A案  | SUS304中空体 | 2.75  | 2.81   |
| B案  | 高密度PE材    | 1.5   | 2.81   |
| C案  | 合成木材      | 2.5   | 2.81   |

### (2) 浮体部材質と変動量

図-15 は横軸に入射波高をとり、M.S.L.における浮体部変動量を浮体部材質別に示す。なお、浮体部変動量は、浮体先端部の動きを計測したものである。

周期が6.8sにおいて、波高を0.1mから0.4mの範囲で変化させた場合の浮体部変動量は、波高の増加とともに対数関数的に増加したが、浮体部材質による差が見られ、B案:高密度PE材の変動量が大きかった。これは、高密度PE材が他の材質よりも軽いためと考えられる。

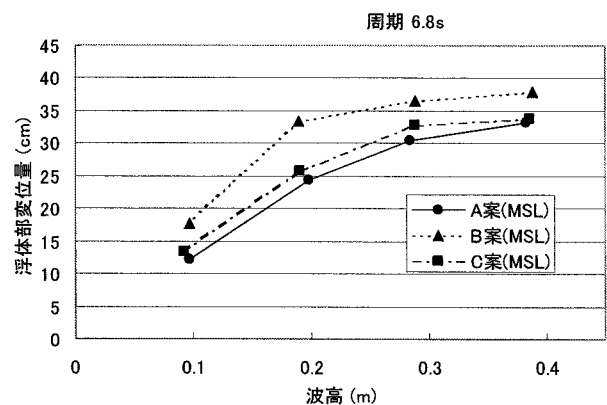


図-15 浮体部材質と変動量

### (3) 浮体部材質と導水量

図-16 は、横軸に波高をとり M. S. L. における現地導水量を浮体部材質別に示す。なお、浮体部とケーソンのクリアランスは、100mm で実施している。

周期が 6.8s において、波高を 0.1m から 0.4m の範囲で変化させた場合の導水量は、波高の増加とともにほぼ線形に増加し、浮体部材質による差は見られなかった。この傾向は他の潮位でも同じであった。

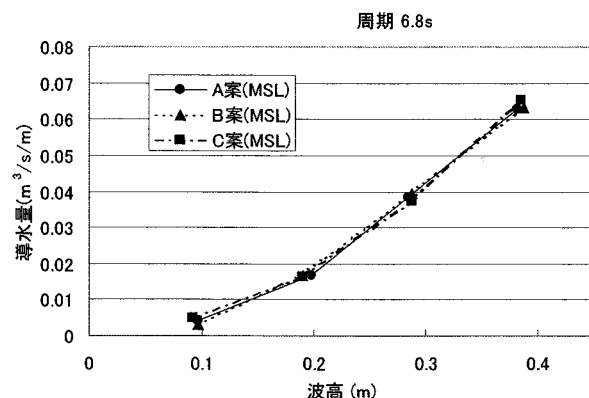


図-16 浮体部材質と導水量における波高の影響

## 6. 結論

本研究では、浮体式海水交換型防波堤の水理模型実験により浮体構造物の海水交換特性や挙動および

波高伝達率への影響を検討した。以下に本研究の結論を述べる。

- (1) 導水管開口率が 8%程度であれば効率的な導水量が確保できるとともに、港内への波高伝達は 0.5 以下であり船舶等への影響は少ない。この時の導水量は、波高 0.3m で  $0.025 \sim 0.03 \text{ m}^3/\text{s/m}$  となる。
- (2) 浮体部とケーソンのクリアランスは、狭くした方が導水量を増やすことができるが、貝類の付着等を考慮し 100mm 程度とする必要がある。
- (3) 浮体部の材質による導水量への影響は無い。
- (4) 浮体式海水交換型防波堤における波形勾配と港内波高伝達率の関係式を導いた。

上記の結果から、浮体式海水交換型防波堤の実設計に必要な構造諸元を明らかにした。

今後は、実機スケールでの性能、機能性、耐久性の確認を行いたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 山本正昭, 中泉昌光, 間辺本文: 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 海岸工学論文集, 第 34 巻, pp. 675-679, 1987.
- 2) 橘川正男, 依田眞, 中村昭男, 早瀬松一: ゴム材を用いた浮体式海水交換型防波堤の実験的研究, 海洋開発論文集, Vol. 17, pp. 217-221, 2001.