

海水交換型ケーソンの導水流制御機構

CONTROLLING DEVICES OF CONDUCTED WATER INSTALLED ON WATER-EXCHANGING BREAKWATER CAISSON

島田潔¹・吉村正²・杉本達彦³・五十嵐和之⁴・宮内勇児⁵・大野邦彦⁶
Kiyoshi SHIMADA, Tadashi YOSHIMURA, Tatsuhiko SUGIMOTO,
Kazuyuki IGARASHI, Yuji MIYAUCHI and Kunihiko OHNO

¹工修 ㈱三井造船昭島研究所 事業統括部 (〒196-0012 東京都昭島市つつじヶ丘1-1-50)

²正会員 工修 三井造船㈱ 鉄構建設事業本部 (〒104-0045 東京都中央区築地5-6-4)

³三井造船㈱ 鉄構建設事業本部 (〒104-0045 東京都中央区築地5-6-4)

⁴㈱三井造船昭島研究所 事業統括部 (〒196-0012 東京都昭島市つつじヶ丘1-1-50)

⁵兵庫県農林水産部農林水産局漁港課 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

⁶家島町坊勢支所漁港係 (〒672-0103 兵庫県飾磨郡家島町坊勢186番地)

A model experiment is conducted for a water-exchanging breakwater caisson to confirm usefulness of the devices at the outlets of exchanging water in controlling jet flow. Inclined pipes installed inside the caisson wall show satisfactory performance without reduction of exchanging water quantity. On the other hand, hoods, which are attached to the outlets, obstruct the jet flow and reduce the exchanging water quantity, although they curve the jet flow noticeably. Theoretical consideration is satisfactorily done with respect to the effect of tide and incident wave height on transmission coefficient, assuming that pulsating jet flow generates transmission wave.

Key Words: Water exchange, breakwater caisson, jet flow control, transmission wave

1. はじめに

港内の水質環境の観点から、防波堤の海水交換機能の重要性が認識されてきており、著者らも防波堤および護岸の海水交換機能に関する実験的研究を実施してきた^{1)・2)}。実際にも海水交換機能を有する防波堤が設置されることが多くなっている。しかし、水質改善の面からは単なる平面的な海水交換ではなく、貧酸素状態にある底層部への導水が必要となる。

本研究では、導水口の形状を変化させたり導水口にフードを装着することによって、導水噴流の方向および流量がどのように変化するかを実験的に明らかにし、その有効性を示した。また、防波堤背面への導水による透過波についても実験的にその特性を明らかにするとともに、若干の理論的考察を加えた。

なお、本研究は兵庫県家島町坊勢漁港西5号防波堤を対象に、兵庫県および家島町の協力のもとに行われたものである。

2. 供試模型

スリット付海水交換型ケーソンの供試模型の概略図を、図-1および図-2に示す。図-2に示すように、供試模型は4室に区切られており、模型前面に1室当たり3本の縦スリットが切られている。水面を切るスリットの割合は35.5%である。また、模型背面に1室当たり2つの導水口が開けられている。

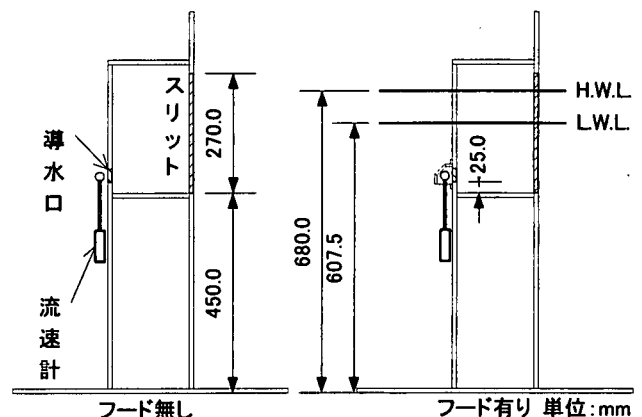


図-1 海水交換型ケーソン (断面図)

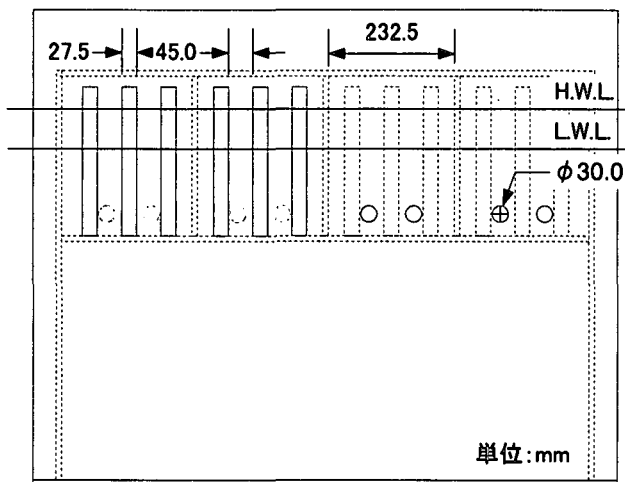


図-2 海水交換型ケーソン（正面図）

図-3は、海水交換型ケーソン模型の導水口とフードの形状を示したものである。フードは断面の形状が異なる3種類を製作し、導水口に装着した。なお、フードを装着した導水口は導水口角度が 0° の場合である。また、導水口角度 0° の模型背面を改造し、導水口の角度を鉛直方向に変化させた3種類の導水口を取り付け実験を行った。

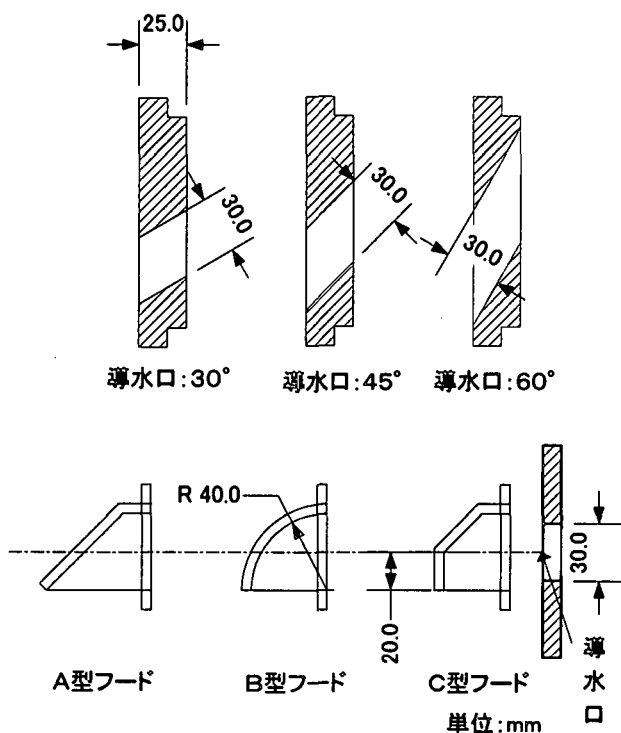


図-3 海水交換型ケーソンの導水口およびフードの形状

3. 実験パラメータ

実験パラメータを、実機ベースで表-1にまとめる。

表-1 実験パラメータ

導水口	0°	0°	$30, 45, 60^\circ$
フード	無し, C 型	A, B 型	無し
波周期	2.0~6.0 s		
波高	0.3, 0.8 m	0.8 m	
水深	19.35, 20.8 m	19.35	
潮位	LWL, HWL	LWL	

4. 実験方法

図-4に海水交換型ケーソン実験のセットアップを示す。規則波を数波発生させ、1本のサーボ式波高計によって入射波と反射波を完全分離状態で計測した。模型背面の透過波もサーボ式波高計によって計測した。また、模型背面の導水口における流速を電磁流速計で計測した。

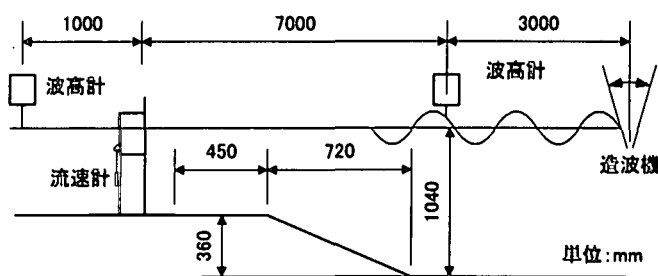


図-4 海水交換型防波堤実験のセットアップ

フードを装着した場合には、フードの下端部付近に流速計をセットし、導水流速を計測した。

入射波、反射波、透過波についてはフーリエ解析を行い、1次振幅についてまとめた。導水量については、流速の定常成分に導水口面積を乗じて求めた。

5. 実験結果

(1) 反射率

海水交換型ケーソンの反射率の実験結果を図-5に示す。反射率は設計波周期である4秒付近で極小値を示し、周期が長くなるに従い増加する傾向がある。

波高が0.8mの場合には、反射率0.5以下の良好な反射特性を示している。特に設計周期である4秒付近の入射波に対しては、0.2を切る反射率となっている。

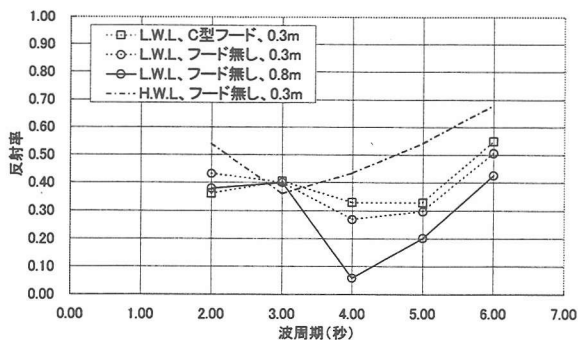


図-5 反射率

(2) 導水量

導水量の実験結果を図-6～8に示す。図-6および図-7に示す導水量は、長さ1mの防波堤で1時間当たりに得られるものである。

図-6は導水口角度毎の導水量を比較したものである。導水口の角度を水平方向の0° から変化させても、得られる導水量に顕著な差は見られず、導水口に角度を設けて導水方向を変化させても導水量の低下はないと言える。なお、導水方向が導水口角度に応じて変化していることは、写真-1に示す導水の可視化試験から観察された。

図-7は各フードを装着した場合の導水量を比較したものである。導水口にフードを装着した場合は、明らかに導水量が減少する傾向が見られる。これは、フードで噴流の方向が下方に変化し、フード端部の圧力が高くなることで、導水の流れを妨げるためと考えられる。また、フードの形状によって得られる導水量に有意な差が見られる。フードの端部が傾斜しているA型フードが最も高い導水量を確保している。

図-8に示す導水量は、長さ1mの防波堤で、波高1mの海象条件下で1時間当たりに得られるものである。フードが無い場合は、波高により単位波高当たりの導水量に大きな差が見られており、設計波高である0.3mの場合が単位波高当たりの導水量が高くなっている。

(3) 透過率

透過率の実験結果を図-9および図-10に示す。図-9は潮位を変化させた時の透過率を比較して示したものである。潮位が高くなると透過波が減少する傾向が見られる。これは、潮位が高くなることで導水口が水面から離れ、導水噴流の水面への影響が減少するためと考えられる。図-10は波高を変化させた時の透過率を比較して示したものである。波高が高い方が透過率が減少する傾向が見られる。これは、波高が大きくなっても導水量はさほど増加しないため、導水の噴流によって発生する透過波があまり増加せず、透過率としては小さくなったものと考えられる。

また、フードを装着した場合は透過率が小さくなる傾向が見られる。これは、フードによって導水噴流が下方に曲げられ、水面への影響が減少するためと考えられる。

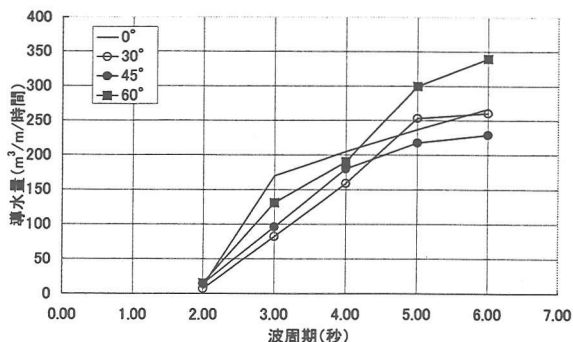


図-6 導水量の導水口角度影響
(潮位：L.W.L.，波高：0.8m)

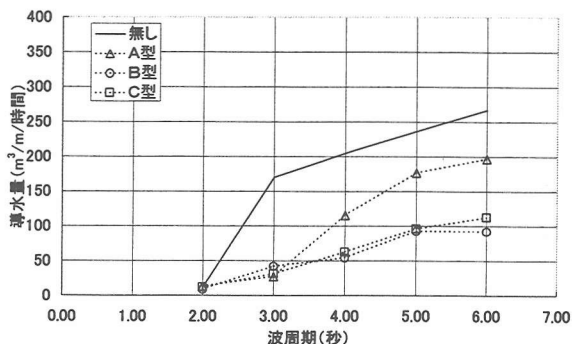


図-7 導水量のフード影響
(潮位：L.W.L.，波高：0.8m)

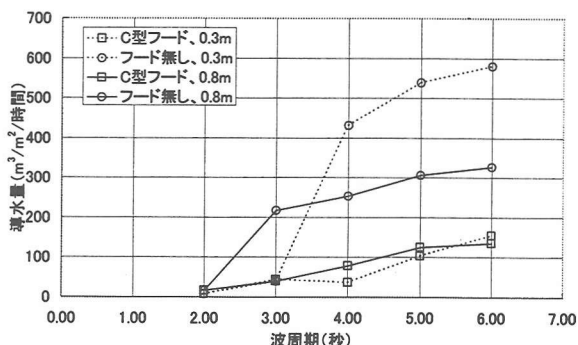


図-8 単位波高当たりの導水量
(潮位：L.W.L.)

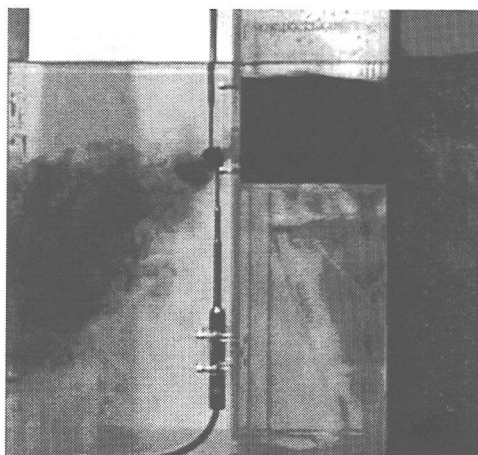


写真-1 導水の可視化試験
(導水口角度30°，波高0.8m，周期：4秒)

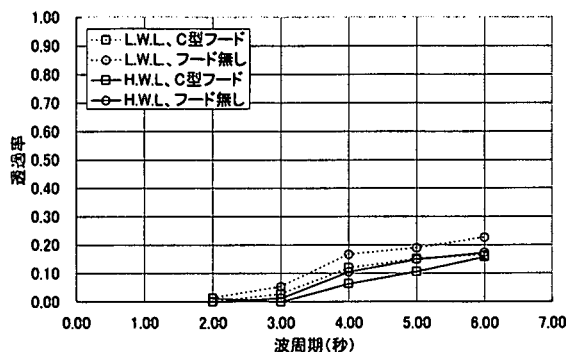


図-9 透過率 (波高 : 0.3 m)

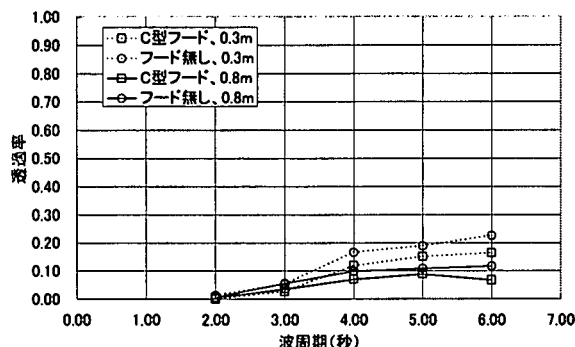


図-10 透過率 (潮位 : L. W. L.)

6. 考察

実験の結果、潮位や入射波高が透過率に影響することが明らかとなった。そこで、透過率に及ぼす潮位および入射波高の影響を理論的に考察することとする。

透過波は導水口からの導水噴流によって生じるので、導水噴流を湧き出しと考える。強さが正弦的に変化する湧き出しが

$$Q = Q_A \sin \omega t \quad (1)$$

で与えられるとき、発生する進行波は

$$\eta = Q_A e^{-Kz} / g \quad (2)$$

K : 波数

z : 導水口の没水深度

で求められる。今回、対象とした条件では深海波がほぼ適用可能と考えられるため、簡単化のため、深海波として扱った。

湧き出し強さは導水噴流の強さであり、導水噴流の変動成分を、定常成分を用いて

$$Q_A = Cq \quad (3)$$

C : 比例定数 (= 8)

q : 導水噴流定常成分

で表すこととする。比例定数は実験結果とほぼ対応するように設定した。

図-8に示す1時間当たりの導水量係数 C_q を用いて透過率を表すと、

$$C_T = \frac{C_q e^{-Kz}}{350T} \quad (4)$$

T : 波周期

となる。式(4)によって求めた透過率の推定結果を、図-11および図-12に実験結果と比較して示す。透過率に及ぼす潮位および入射波の影響が良く推定されており、導水口の深さおよび導水噴流の強さが透過率に重要な影響を及ぼすことが明らかになったと考えられる。

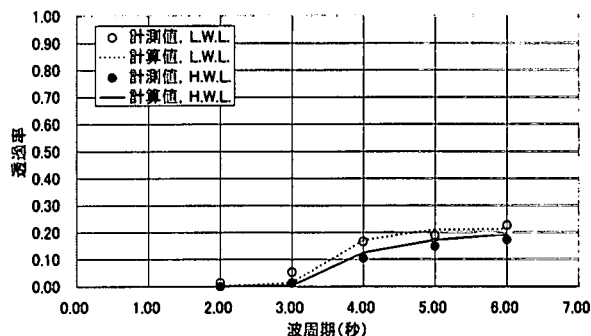


図-11 透過率の計算結果 (波高 : 0.3 m)

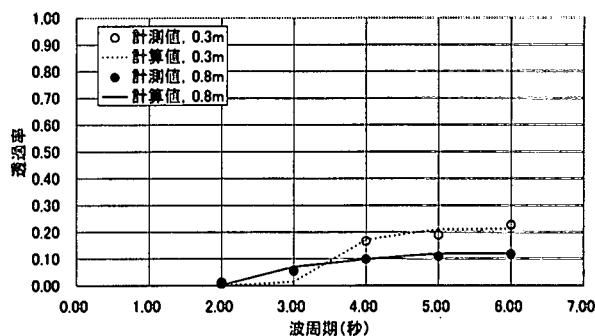


図-12 透過率の計算結果 (潮位 : L. W. L.)

7. おわりに

構造が非常に簡単なスリット付きの海水交換型ケーソンに対して規則波実験を実施し、導水口の形状を変化させることで、導水量を低下させることなく、導水流の方向を制御できることを確認した。また、導水口の深さおよび導水噴流の強さが透過率に重要な影響を及ぼすことを明らかにした。

本形式のケーソンを防波堤として用いることで、内部水域の海水交換が十分行われ、水質悪化を防ぐことが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 島田潔, ほか: 衝立パネル式ケーソンの海水交換特性に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第15巻, pp. 433-437, 1999.
- 2) 島田潔, ほか: スリット付き海水交換型防波堤および鉛直混合型護岸の開発, 海洋開発論文集, 第16巻, pp. 269-272, 2000.