

スリット型ケーソンタイプ特殊防波堤の開発

時 川 和 夫*

1. 緒 言

特殊防波堤の施工は、我国においても古くから研究され、空気防波堤¹⁾や鋼管防波堤²⁾をはじめ種々の構造型式の防波堤が試作開発されてきている。最近では運輸省港湾局を事務局とする新防波堤構造ワーキンググループが結成され、北海道から沖縄まで特殊防波堤の開発のための調査や試験研究が行なわれている。北海道開発局においては多孔型ケーソンタイプの遊水部を持った特殊防波堤をすでに室蘭港船溜防波堤³⁾ならびに根室港で施工し、港内静穏度を高める上で良好な結果を得ており、各界から注目されている。本報告で述べるスリット型ケーソンタイプの消波防波堤は従来の直立堤および混成堤にみられない消波効果を内蔵したものであり、また中空の遊水部を形成しているので防波堤自体軽量構造となっている。またケーソン後壁の水面下のスリットは、港内外の海水交換に役立ち、港内を養殖場として利用する場合にもこの種の防波堤の施工が可能となる利点をかねそなえている。またこの構造は多孔型の欠点を補うもので、鉄筋型わく組の容易さ、コンクリート打設の利便さ、消波機能の効率化、等においてよりすぐれた特徴を有している。またこの型式の改良型を開発したが、これは本来波の反射のタイムラグを主として発生させることに使用されている遊水部において、侵入波のエネルギー分散と減殺効果をより発揮させるために特殊な突起版を設置したもので、遊水部内の鉛直壁面において入射エネルギーの減殺をねらう一方、ここで空気を巻き込んでこれを上部床版下面に設けた突起内に分散貯留させて、この部分に空気層を形成することにより即ちエアーアクション効果を生じさせることによりショックプレッシャーの誘発を防止し、揚圧力の低減、ひいてはケーソン全体の滑動に対する安定性を増大せしめる構造となっている。このことはケーソン全体の滑動実験によりさらに検証できたので、ここにその概要を報告する次第である。

2. 実験方法

実験に使用した水槽は2次元ガラス水槽(28.0 m×0.8

m×1.0 m)で、水槽両端には消波ブロックと金網からなる消波工を設置し反射波を極力吸収させるようにした。模型は水槽端より7.0 mの位置にある捨石マウンド上に設置した。実験に使用した水深は $h_m=46.4$ cm (D.L.+1.5 m)、および $h_m=40.4$ cm (D.L.±0.0 m)で、実験波として波高 $H_m=4.0, 8.0, 12.0, 16.0$ 、および 20.0 cm 周期 $T_m=1.1, 1.5, 2.0$ および 2.4 sec の20種類の波を使用した。侵入波、反射波および透過伝達波の測定は6本の容量式波高計で行ない、防波堤前面に発生する部分重複波の波高はモノレール型移動式波高計で測定し、発生波の最大波高と最小波高をそれぞれ2回ずつ測定し、Healyの方法で見かけの反射率を算出した。また透過波高は堤体より後方 $l_m=1.0$ m および 2.0 m に設置した波高計により測定し、その平均を透過伝達波高とした。作用波圧は計13個の圧力変換器(水中固有振動数約800 c/s)を使用してケーソン前壁の前面および後面、後壁の前面および上部床版下面に作用する波圧強度を測定し、これらから最大同時波圧合力を算定した。また、滑動実験に使用した変位計は容量±10 m/mで、最小1/20 m/mまでの変位を測定できる精度のもので、これを3個同時に使用し、ケーソン後壁後面上に下端、中央および上端とそれぞれ下端より $S_p=5.0, 27.0$ 、および 49.0 cm の3点に設置してそれぞれの移動量を測定した。実験は縮尺1/25で行ない、Froude則を適用した。

3. 実験に使用した模型

実験に使用したスリット型ケーソンタイプ特殊防波堤は図-1および2に示すとおり縦スリット型のもので、改良前のものはスリット単独、および中詰ブロック併用で、改良I型およびII型は内部遊水部に特殊突起版を設置したものである。スリット型ケーソンの寸法は現地縮尺で高さ13.5 m、幅10.0 m、奥行10.0 m、前壁の縦スリットの幅は0.95 mで6個所、長さ12.0 m(前壁面に対する空隙率52.7%)および7.5 m(空隙率32.9%)で、これは多孔鉛直版による反射基礎実験⁴⁾より反射率 $K_R=0.4$ (版の空隙率30%)と $K_R=0.2$ (版の空隙率50%)を設定したためである。また後壁のスリット幅は0.6 mで4個所、長さ4.0 m(後壁内面に対する空隙率

* 正会員 工修 北海道開発局釧路開発建設部釧路港湾建設事務所長

FRONT VIEW OF THE CAISSON

BACK VIEW OF THE CAISSON

SECTION OF THE BREAKWATER

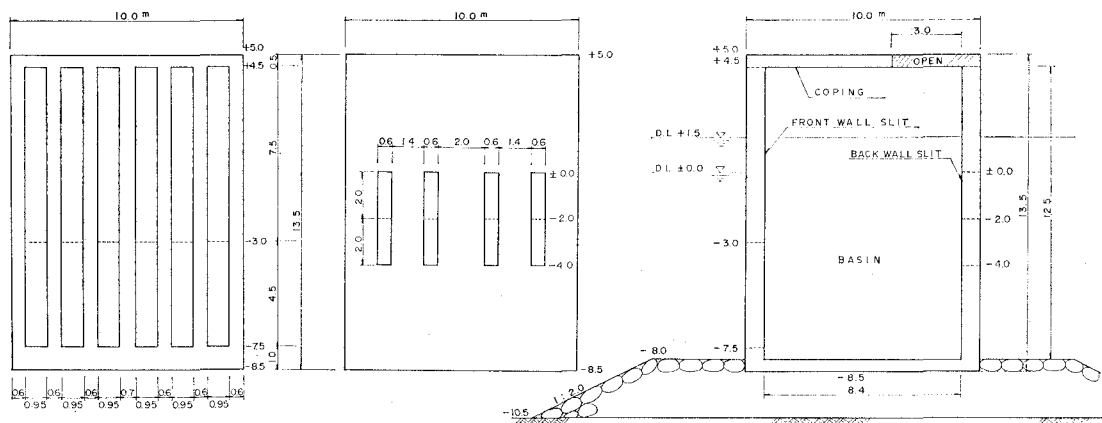


図-1 スリット型ケーソンタイプ・特殊防波堤

SECTION OF THE CAISSON

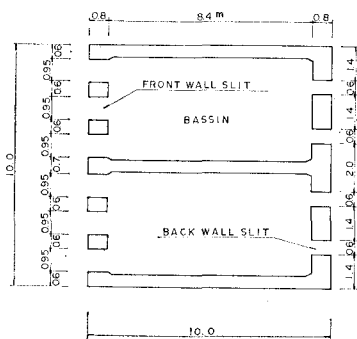


図-2 スリット型特殊ケーソン断面図

SECTION OF REFORM TYPE-I

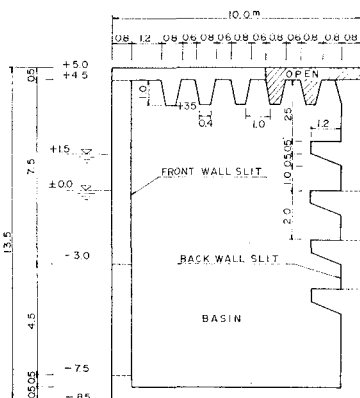


図-3 改良Ⅰ型断面図

SECTION OF REFORM TYPE-II

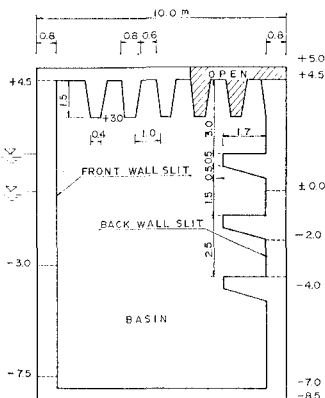


図-4 改良Ⅱ型断面図

9.4%) および 2.0 m (空隙率 4.7%) でこれは消波防波堤の開発実験⁵⁾において波高伝達率を $K_T=0.2\sim0.3$ に設定したためである。また改良Ⅰ型に試作した特殊突起版は粗度を持った直立壁における基礎実験⁶⁾より単なる水平突起版(高さ a)が配置を工夫すれば非常に波の反射を低減させる効果を有することから、 $h/a=8.0$ (h は前面水深)を一応の目処として設定し、ケーソンの後壁前面には 2.0 m 間隔ごとに高さ 1.2 m の突起版を 4 個所設置し、上部床版下面には 1.4 m 間隔ごとに高さ 1.0 m の突起版を 5 個設置した。改良Ⅱ型ケーソンの後壁前面には 2.5 m 間隔ごとに高さ 1.7 m の突起版 3 個所、上部床版下面には 1.4 m 間隔ごとに高さ 1.5 m の突起版を 5 個所設置した。これらケーソンは一様水深(海底 -10.1 m)上の捨石マウンド(天端高 -8.5 m)上に設置して実験を行なった。図-3 および 4 は上記特殊防波堤の改良Ⅰ型およびⅡ型の断面図を示す。

また、実験においては表-1 に示すとおり 24 種類のスリット型ケーソンタイプの特殊防波堤について実験を

行なった。

4. 実験結果

1) 反射率

スリット型ケーソンタイプ特殊防波堤の反射率 K_R は図-5, 6 および 7 に示すとおりで、それぞれ ①~④型, 改良Ⅰ型におけるⅠ~④型および改良Ⅱ型におけるⅠ~④型のものについてまとめて示した。これによると一般に遊水部に中詰ブロックを填充した場合は K_R は高くなるが、改良Ⅰ型およびⅡ型は良好な反射波低減効果を発揮していることが理解される。また前壁スリットは短くした方が下部ケーソン壁の潜堤効果が期待できるようで、ケーソン内外で交換される水流が巻き込まれることにより反射波のエネルギー分散に効果を発揮しているものと思われる。

2) 透過伝達率

スリット型ケーソンタイプ特殊防波堤の侵入波の透過伝達率 K_T は図-8, 9 および 10 に示すとおりである。

	TYPE	SECTION	TYPE	SECTION	TYPE	SECTION
SLIT CAISSON TYPE	(A)		(D)		(G)	
	(B)		(E)		(H)	
	(C)		(F)			
REFORM TYPE - I	I		(J)		L	
	(I)		K		(L)	
	J		(K)			
REFORM TYPE - II	M		(N)		Q	
	(M)		P		(Q)	
	N		(P)			

表一 実験に使用したスリット型ケーソンタイプ特殊防波堤の分類

これによると中詰ブロックの効果は例えば⑩型と⑨型をみると中詰の場合は一般に約 15% 伝達率は低くなっている。一方、改良Ⅱ型については例えば⑩型とQ型を比較すると約 10~15% 低く、Q型では 5~10% 低減していることが分る。

3) 作用波圧

スリット型ケーソンタイプ防波堤、改良ⅠおよびⅡ型に対する作用波圧合力比 P_m/P_s (P_m は前壁前面 P_a 、後壁前面 P_b 、および前壁後面 P_c の最大同時波圧 $P_m = P_a + P_b - P_c$ で求め、 P_s はサンフルー式の計算値) をケーソン幅 B と侵入波長 L の比 B/L でプロットしてそれぞれ上限値をつらねて示すと図-11, 12 および 13 に示すとおりである。これによると作用波圧の最大は $B/L \approx 0.1 \sim 0.15$ で発生しており $(P_m/P_s)_{\max} \approx 2.3$ となる。またこれより B/L が小さくなると急激に、大きくなると徐々に作用波圧は減少して $P_m/P_s \approx 1.0$ に近づく傾向を示している。

4) 作用揚圧力

図-14 は⑨~⑪型について上部床版に作用する揚圧力 P_u と防波堤天端高 R (R は静水面上天端までの距離) の関係を侵入波高 H で無次元化して示したものである。これによると中詰ブロックは揚圧力を 1/5 以下におさえることが理解される。

5) 滑動実験

(1) 摩擦係数の測定

滑動実験に先だって静水中に設置した模型ケーソン改良Ⅱ型(Q型および⑨型)についてそれぞれ 20 回の引張り試験を行なった。摩擦係数の値は $f = 0.504 \sim 0.616$ の範囲でバラツキを示したが、平均すると $F =$

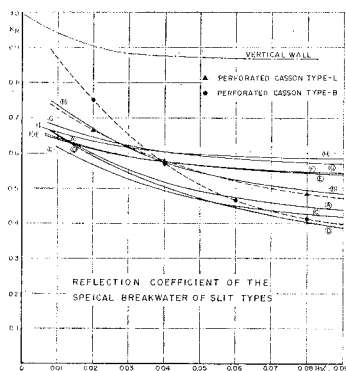


図-5 スリット型特殊防波堤の反射率

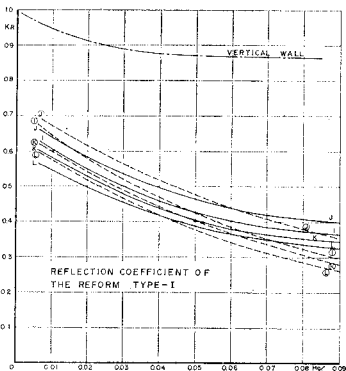


図-6 改良Ⅰ型特殊防波堤の反射率

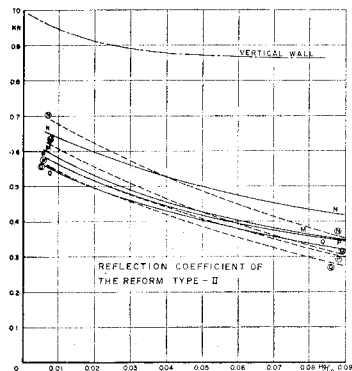


図-7 改良Ⅱ型特殊防波堤の反射率

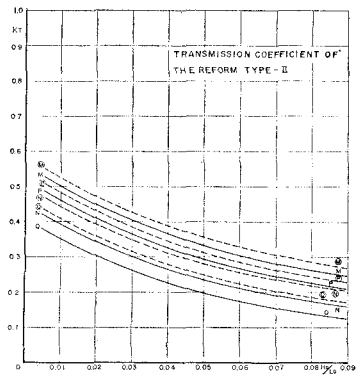
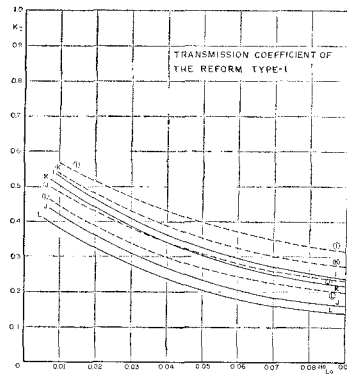
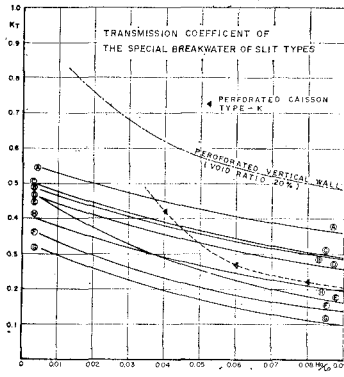


図-8 スリット型特殊防波堤の透過伝達率

図-9 改良Ⅰ型特殊防波堤の透過伝達率

図-10 改良Ⅱ型特殊防波堤の透過伝達率

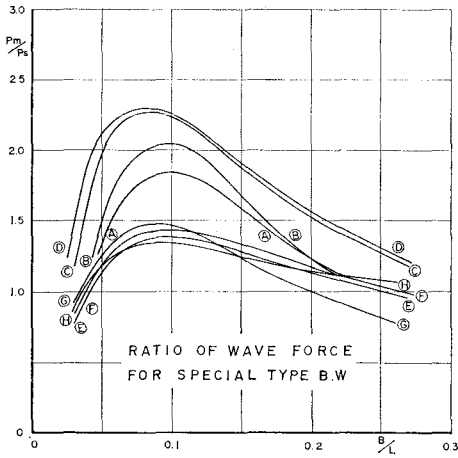


図-11 スリット型特殊防波堤の波圧合力比

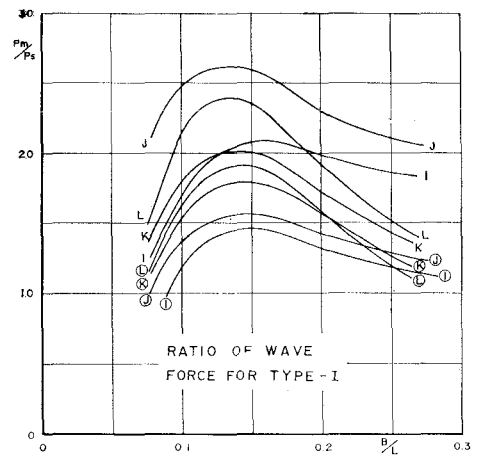


図-12 改良Ⅰ型特殊防波堤の波圧合力比

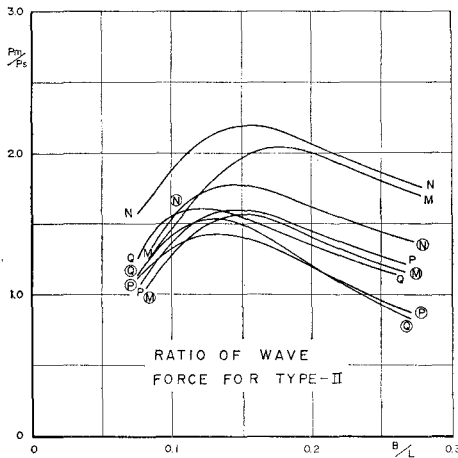


図-13 改良Ⅱ型特殊防波堤の波圧合力比

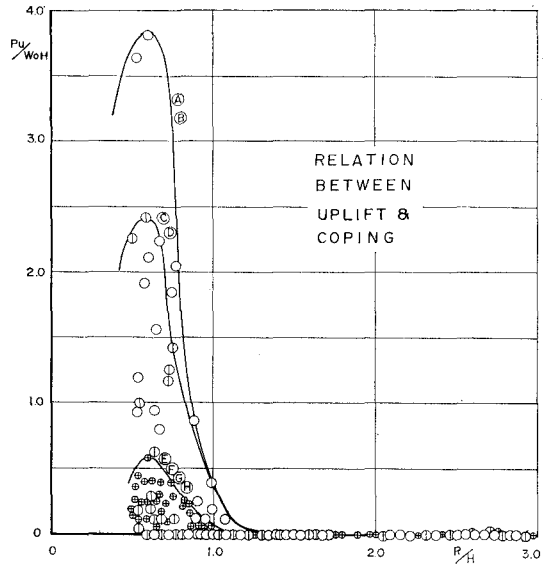
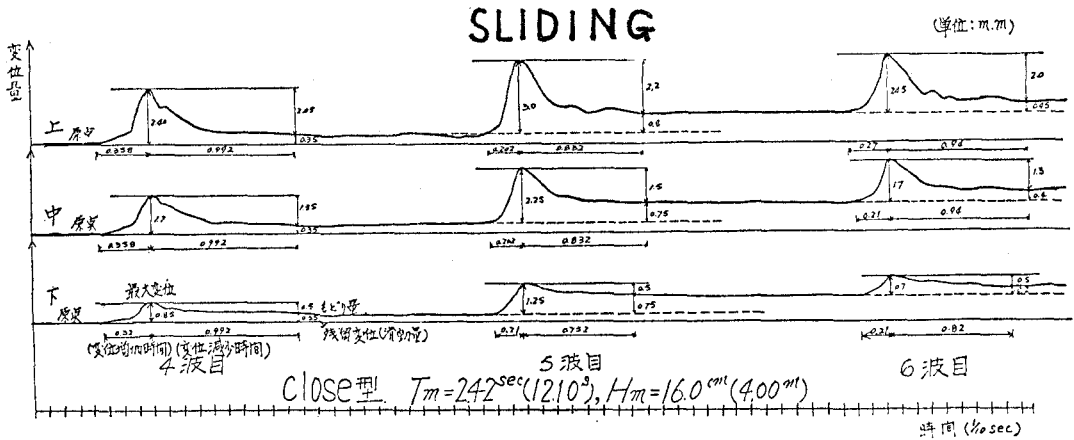


図-14 スリット型特殊防波堤の揚圧力比



図—15 改良Ⅱ型W型特殊防波堤の滑動記録

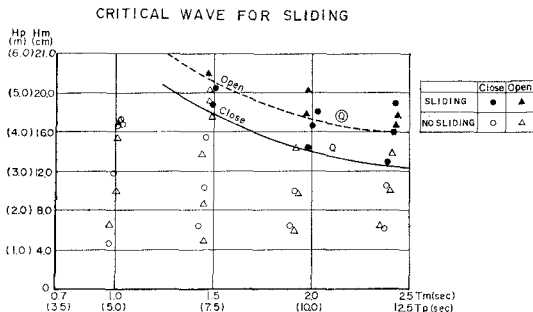
0.562 となった。

(2) 滑動状況

図—15 はケーソンの変位時間曲線を示し、図中上、中、下はそれぞれ変位計の設置位置を示す。実験ではケーソンがロッキングしている状態が示されているが、残留変位が記録された時点を滑動ありとした。

(3) 滑動限界波高

図—16 は波圧実験から求めた安全率分布状況を侵入波の特性別にプロットしたもので、同図には滑動実験から得た移動限界曲線も記入してある。これより、Q型およびQ型特殊防波堤の設計波に対する安定曲線が示され、また波圧実験値も実際の滑動実験値とよく合致していることが理解される。



図—16 スリット型特殊防波堤の滑動限界

5. 結 論

スリット型ケーソントイプの特殊防波堤について種々

の型式のものについて検討した結果、次のことが結論づけられる。

(1) 特殊防波堤に入射する波の反射率、透過伝達率、および作用波圧は 図—5~7, 図—8~10, および 図—11~13 で示される。

(2) 上記 24 種の特殊防波堤断面についてそれぞれ消波、安定実験を行なった結果、最良なものとして改良Ⅱ型の中、Q型およびこれを OPEN 構造とした Q型を提案する。

(3) Q型および Q型特殊防波堤の設計限界波高は 図—16 で示される。

謝辞: この研究の実験ならびに資料の整理は北海道開発局土木試験所港湾研究室の高田稔年技官の労によった。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 栗原道徳: 空気防波堤について (Ⅱ), 第2回海岸工学講演会講演集, pp. 71~77, 1955.
- 2) 永井莊七郎・久保 直・時川和夫: 鋼管防波堤に関する基礎的研究, 第12回海岸工学講演会講演集, pp. 209~218, 1965.
- 3) 小川達彦・岩田邦彦・小山 潔・時川和夫: 特殊防波堤の開発, 開発局土木試験所報告第67号, pp. 1~39, 1977.
- 4) 小川達彦・時川和夫: 多孔型ケーソントイプ消波防波堤の特性, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 106~111, 1976.
- 5) 時川和夫: 消波防波堤の開発 (第2報), 第32回年次学術講演会第Ⅱ部, pp. 83~84, 1975.
- 6) 時川和夫: 直立消波岸壁の反射率に関する実験的研究 (第1報), 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 409~415, 1974.