

土 木 研 究 所 資 料

海域制御構造物の開発に関する 共同研究報告書（1）

昭和62年 2 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © 1987 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

海域制御構造物の開発に関する 共同研究報告書（1）

建設省土木研究所海岸研究室	長	宇 多 高 明
"	研 究 員	村 井 慎 美
"	部外研究員	松 尾 和 男
"	"	藤 原 隆 一
飛島建設(株)総合企画本部技術開発部		岡 幸 夫
"		川 村 哲 也
清水建設(株)技術研究所海洋グループ		萩 原 運 弘
"		大 山 巧
三井建設(株)土木本部土木技術部		高 木 春 生
"		吉 川 雅 人
五洋建設(株)技術本部技術研究所		国 栖 広 志
"		福 山 博 信
大成建設(株)土木本部設計部		渡 邊 朗
"		小 山 文 男
(株)大林組技術開発本部海洋技術部		藤 沢 康 雄
戸田建設(株)	マネージャー	北 村 律太郎
"		添 田 弘 基
"		梅 田 宏
"		西 牧 均
"		甘 利 裕 二
"		佐 藤 敏 文
新日本製鉄(株)鉄構海洋事業部		加 藤 輝 雄
"		盛 高 裕 生
"		木 村 哲 夫
"		高 橋 陽 一

要旨

各種の海域制御構造物モデルの消波効果を2次元水理実験によって調べた。その結果、各種構造物の特徴が明らかになった。さらに、海域制御構造物をその消波効果の面からいくつかのタイプに分類した。また、構造物を設置した時の静穏域創出効果についても検討した。

キーワード：海洋開発，海域制御構造物，消波効果，透過率，反射率，共同研究，静穏域

はじめに

近年、第2次海洋開発ブームにあるといわれている。建設省においてもマリーン・マルチ・ゾーン（MMZ）構想を打ち出し、海洋開発の推進を図っている。こうした中で土木研究所においても昭和61年度より5か年計画で、総合技術開発プロジェクト“海洋利用空間の創成・保全技術の開発”がスタートした。また昭和61年8月より、土木研究所と民間企業14社の間で“海域制御構造物の開発 — 波浪制御に関する研究 — ”と題して共同研究が行われている。本報告書は、その共同研究の成果を第1報としてとりまとめたものである。

三

次

はじめに

1.	まえがき	1
2.	研究の目的	1
3.	研究体制	2
4.	海域制御構造物2次元消波実験——土木研究所——	3
5.	消波構造物の消波効果からみた分類——土木研究所——	29
6.	乱れと反射を利用した海域制御構造物に関する実験	
	——第1グループ——	47
	スリット型 海域制御構造物	清水建設(株)
	平面トラス型	飛島建設(株)
	水平板付きスリット型	三井建設(株)
	透過水平板付きスリット型	五洋建設(株)
	改良空気密閉型	清水建設(株)
	中詰式	大成建設(株)
7.	複合消波機能を有する海域制御構造物に関する実験	
	——(株)大林組——	89
8.	多孔式消波板を用いた有脚式消波構造物に関する実験	
	——戸田建設(株)——	107
9.	ハイブリッド式波浪制御構造物に関する実験	
	——新日本製鉄(株)——	121
10.	数値計算による海域制御構造物の静穏域創出効果——土木研究所——	133
11.	あとがき	147
	図表一覧	148
	付録	155

1. まえがき

海洋開発に関する議論は、昭和40年代末期において盛んとなり、以後種々の調査活動が行なわれたが、石油掘削のリグ等の建設は別にすると、ほとんどの大規模な構想は実現されずに終わった。その後も種々の開発構想は提案されているものの、なかなか実際の開発は進んでいない。この理由として従来の海洋開発構想が深い水深におけるものにやや偏りすぎていたことがあげられる。即ち、陸域と海洋との接点である沿岸域より始めて、次第に大きな水深領域へと発展させていく、いわば確実かつ着実な計画があまりなかったことに注意すべきであろう。

さて、わが国の海岸の状況を概観すると、高度成長期において内湾は埋立てが進み、レクリエーション面での海浜利用を行おうにも利用対象となるべき海洋空間そのものが消滅したことは周知の事実である。このため海洋性レクリエーションの見地から見ると、一般的状況として遠隔とはなるものの、外洋に面した海岸へと出て行かざるを得ない状況となってる。ところが外洋に面した海岸は波浪が高く、また流れ、漂砂が活発であるために、そのままの形では海浜利用がなかなか難しい。この意味から海洋性レクリエーション等の目的で海浜を有効利用するためには、波浪、流れ、漂砂を制御する構造物の開発の必要性が生じる。

一方、沿岸域の開発を目的として、近年外洋に面した海岸に多くの構造物が建設されたが、それらの構造物の影響により侵食が生じている箇所が多数あり、このような海浜の侵食を防ぐことも緊急の課題となっている。侵食の対策としては従来より、海岸線近くに異形ブロックを汀線と平行に設置する工法—離岸堤工法—が広く用いられてきた。この工法の有効性は確かに認められるものの、一方では景観が良好ではなく、利用空間が狭い欠点がある。このような条件のもとで侵食対策にも役立つような構造物の開発の必要性が生じる。

本報告書は、上記の必要性のもとに、新しい消波構造物—海域制御構造物—に第1に要求される消波効果について2次元水路実験を行った結果および数値計算により構造物背後の波高分布を求めた結果をまとめたものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、海域制御構造物の開発である。

このうち今回は19種類の構造物の消波機能の特徴を把握する。具体的には、2次元水理模型実験を行い各構造型式の透過率、反射率を求める。また、全国の代表7海岸を選び、構造物背後の波高分布を既存の離岸堤背後の波高分布計算プログラムを用いて検討する。

3. 研究体制

本共同研究は土木研究所と民間14社の間で行われている。民間14社は以下の3グループに大別される。

第1グループ——乱れと反射を利用した海域制御構造物の開発——

飛島建設(株)

清水建設(株)

三井建設(株)

五洋建設(株)

大成建設(株)

第2グループ——没水型消波構造物の開発——

清水建設(株)

大成建設(株)

東洋建設(株)

日本テトラポッド(株)

(株) 間 組

東急建設(株)

第3グループ——ハイブリッド型消波構造物の開発——

(株) 大林組

住友金属工業(株)・東亜建設工業(株)

(株) 神戸製鋼

新日本製鉄(株)

戸田建設(株)

本報告書はこのうち土木研究所と第1グループ5社、(株)大林組、戸田建設(株)、新日本製鉄(株)の研究成果をまとめたものである。

4. 海域制御構造物 2 次元消波実験

建設省土木研究所海岸研究室	室 長	宇多 高明
	研 究 員	村井 禎美
	部外研究員	松尾 和男
	部外研究員	藤原 隆一

RESEARCH OF THE UNIVERSITY OF CHICAGO

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILLINOIS

1963

1963

4.1 実験の目的

開発の目標とする消波構造物の機能としては、①透過性構造物であって海水交換が図れること、②反射波ができるだけ弱く周辺への影響が小さいこと、などが満足される必要がある。この種の構造物には種々の形態が考えられ、たとえば透過性の有脚式構造物や、潜堤のような没水型の構造物などがある。ここでは、そのうち8つのタイプの構造物を選んでその特徴を調べる。

各構造物の概念図を図4.1に示す。スリット式模型ではスリット板を複数配列することにより、スリットを海水が通過するとき乱れを生じさせて消波を行う。また前・後列のスリットより反射する波を互いに干渉させることにより反射波を消す。この模型の消波の原理は波の反射と乱れの生成によるエネルギー減衰である。立体トラス式模型は、小さな円板のついた部材を立体トラス構造として構成したものである。似た構造を持つものに立体骨組構造防波堤¹⁾がある。それとの相違は構造がトラス組となっていることである。この模型は多数の円板により渦を発生させ、これにより波のエネルギー減衰を図る。段違い反射板式模型では2枚の不透過板を前後段違いに設置し、これによる反射および上、下端での渦の形成による消波効果を期待する。中詰式模型で

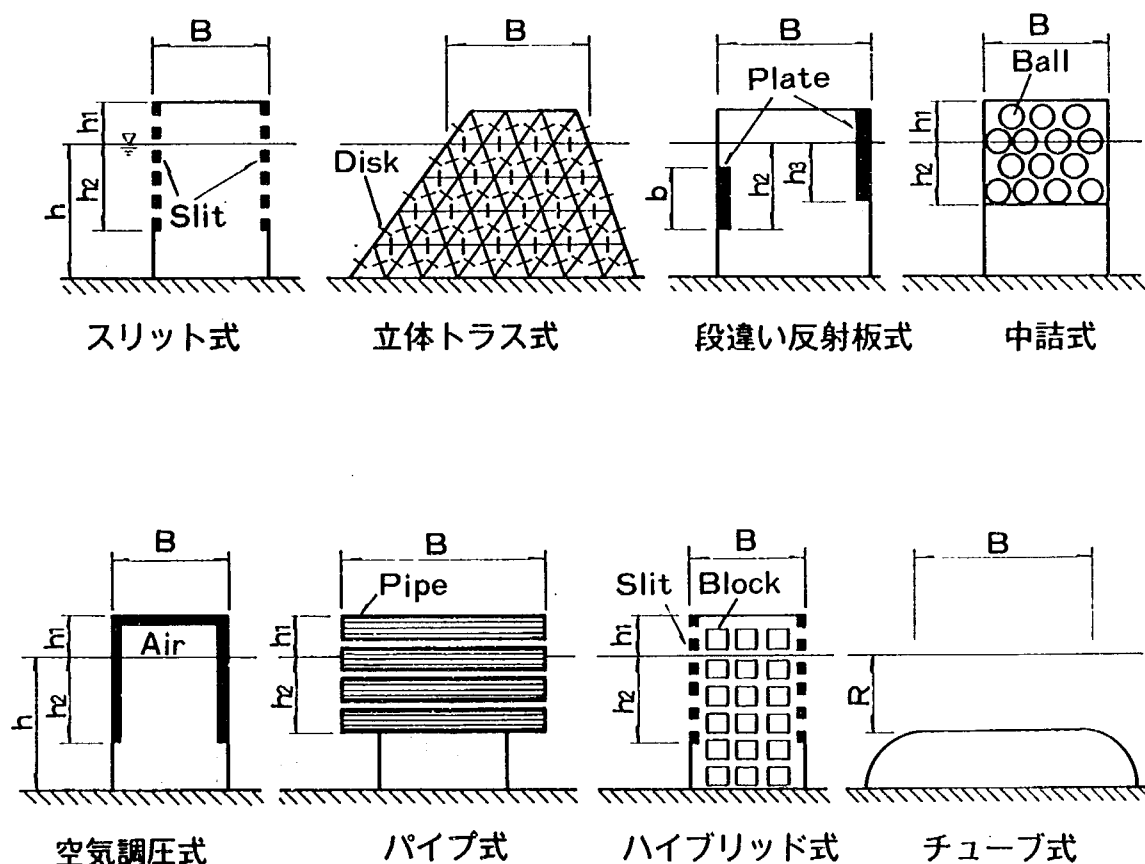


図4.1 模型概念図

は、メッシュ状のワクの中に弾性球体（軟式野球ボール）を詰め、スリットによる反射、乱れの生成以外に弾性球体の運動によってもエネルギー減衰を図ろうとするものである。空気調圧式模型では、吃水比の同じ2枚の不透過板を前後に設置し、さらに上部を覆うことにより空気を密閉したもので、反射および渦の形成以外に密閉空気の調圧による透過波の低減効果を期待したものである。パイプ式模型は、断面形状と長さが同じパイプを、波の入射方向に向けて多数配置したもので、波がパイプを通過するとき流れが変わるとともに、急縮、急拡および摩擦によりエネルギーを損失させる。また水平なパイプの存在により波の鉛直運動を抑え、波を反射させる。ハイブリッド式模型は、2枚のスリット板の間に異形ブロックを詰め、スリットによる効果の他に異形ブロックによる乱れで消波効果を高めるものである。チューブ式模型には、固定式と可動式の2タイプがある。固定チューブ式模型は幅広潜堤で、砕波とそのあとの摩擦によってエネルギーを損失させるものである。また可動チューブ式模型は、膜の中に水を入れた潜堤で、固定チューブでの消波効果に加え、チューブの動きと波の位相差による消波効果を期待したものである。

4.2 模型実験の方法

構造物の消波効果は長さ142 m、幅0.6 m、水深1 mの片面ガラス張り2次元造波水路（図4.2）を用いて調べた。水槽中に1/50勾配の斜面をつくり、水深が0.4 mとなったところで平坦面とし、この平坦部に模型を設置した。模型実験の縮尺は1/25とし、波浪条件は現地スケールで以下のように設定した。すなわち水深は10 m、入射波高は1, 2, 3, 4 m、周期は6, 7, 8, 10, 14 秒の規則波とした。これらの条件をフルードの相似則のもとで縮小して実験条件とした。波高と周期の組み合わせは全体で20通りとなるが、これらのうちスリット式、立体トラス式、空気調圧式、段違い反射板式、中詰式、パイプ式模型については各々11ケース、ハイブリッド式、チューブ式模型については各々15ケースの波浪条件を選択した（表4.1）。

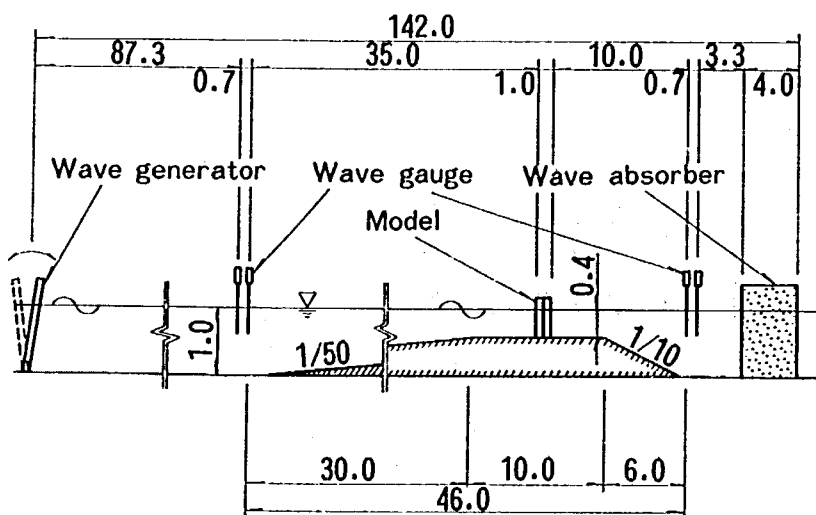


図4.2 実験装置

表 4.1 波浪条件一覧

Wave No.	沖波波高 H_o (m)	周 期 T (s)	沖波波長 L_o (m)	沖波波形勾配 H_o/L_o	波 高 H (m)	波 長 L (m)	波形勾配 H/L
1	0.04	1.2	2.25	0.019	0.037	1.94	0.019
2	0.08	1.2	2.25	0.038	0.073	1.94	0.038
3	0.08	1.4	3.06	0.026	0.073	2.39	0.031
4	0.12	1.4	3.06	0.039	0.110	2.39	0.050
5	0.16	1.4	3.06	0.052	0.147	2.39	0.061
6	0.04	1.6	3.99	0.010	0.037	2.83	0.013
7	0.12	1.6	3.99	0.030	0.112	2.83	0.040
8	0.16	1.6	3.99	0.040	0.149	2.83	0.053
9	0.16	1.8	5.05	0.032	0.153	3.27	0.047
10	0.04	2.0	6.24	0.006	0.039	3.69	0.011
11	0.08	2.0	6.24	0.013	0.079	3.69	0.021
12	0.12	2.0	6.24	0.019	0.118	3.69	0.032
13	0.16	2.0	6.24	0.026	0.165	3.69	0.042
14	0.08	2.8	12.23	0.006	0.089	5.35	0.017
15	0.12	2.8	12.23	0.010	0.133	5.35	0.025

測定項目は入射，透過，及び反射波高である。測定方法は以下のようなものである。まず模型の沖側 3.5 m，岸側 1.0 m で水深 1 m の位置に各 2 台の容量式波高計を置いてその地点での水位変化を同時測定する。ここで，測定の開始時刻は模型沖側の波高計の位置に模型からの反射波が到達して安定した直後とした。次に合田ほかの方法²⁾を用いて水深 1 m での入射，反射および透過波高， H_{I100} ， H_{R100} ， H_{T100} を求める。さらに水路の摩擦による波の減衰を考慮して，模型設置位置での入射，反射および透過波高， H_I ， H_R ， H_T に換算するために次式を用いた。

$$H_I = H_{I100} \cdot Kf_1 \quad (4.1)$$

$$H_R = H_{R100} / Kf_1 \cdot (K_{S40} / K_{S100}) \quad (4.2)$$

$$H_T = H_{T100} \cdot Kf_2 \quad (4.3)$$

ここに， Kf_1 ， Kf_2 はそれぞれ沖側波高測定位置から模型設置位置まで，および模型設置位置から岸側波高測定位置までの波高減衰率 ($Kf_1 = H_I / H_{I100}$ ， $Kf_2 = H_T / H_{T100}$) である。ただし，これらは模型を設置する前に測定した。その結果を図 4.3，4.4 に示す。ただし，図は，61 年に行った実験の減衰率である。また K_{S40} ， K_{S100} はそれぞれ水深 40 cm および 100 cm での浅水係数である。

このようにして得られた H_I ， H_R ， H_T より透過率 $K_T = H_T / H_I$ ，反射率 $K_R = H_R / H_I$ を求めた。

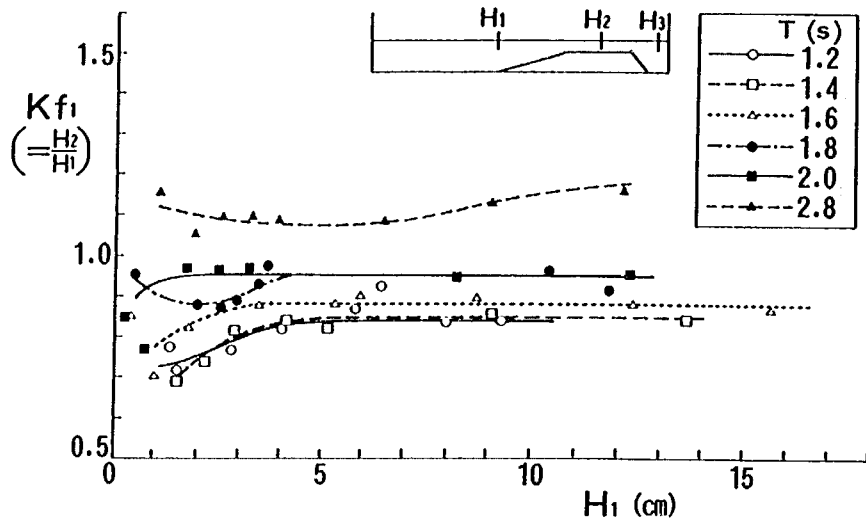


図 4.3 水路による波高減衰率図(1)

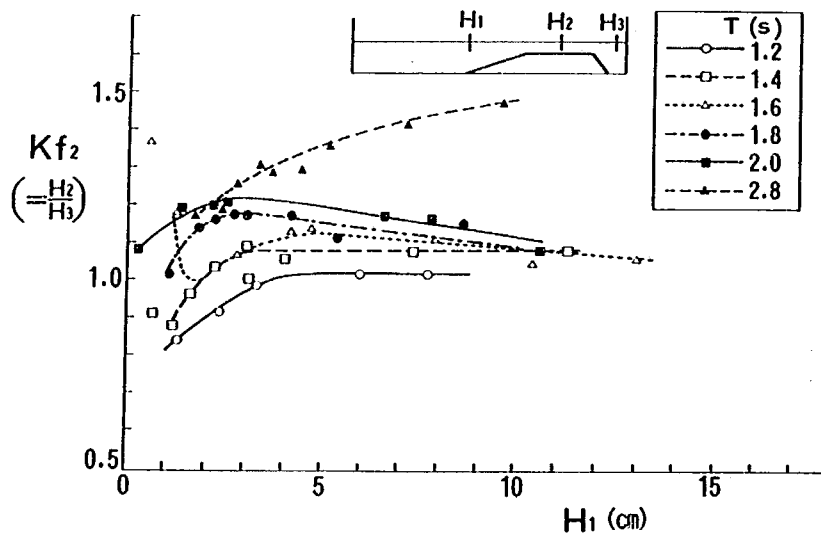


図 4.4 水路による波高減衰率図(2)

4.3 実験結果

4.3.1 スリット式模型

スリット式模型を代表する諸元は幅 B ，スリットの水面上高 h_1 ，スリットの深さ h_2 ，スリットの空隙率 ϵ （スリットの面積比）およびスリット枚数 N である。また設置水深は h とし，入射，反射，透過波高を各々 H_I ， H_R ， H_T と記す。以下ではスリット式の諸元と透過率（ $K_T = H_T / H_I$ ），反射率（ $K_R = H_R / H_I$ ）およびエネルギー損失率（ $K_L^2 = 1 - K_T^2 - K_R^2$ ）の関係を調べる。スリット式の模型諸元を表 4.2 に示した。36 通りの模型形状について，それぞれ波浪

条件を11ケース変えた他、1通りの模型形状については波浪条件を12ケース変えて実験を行った。この結果ケース数は全体で408となる。

透過率 K_T は波形勾配 H/L に応じて変化する(図4.5)。図示するデータの条件は吃水比 $h_2/h = 0.7$ 、空隙率 $\epsilon = 0.2$ である。また図中の4形状はスリット

板を1, 2, 3枚と変え、また幅 B を

40, 80cmと2種類変えている。

スリット板1枚の K_T は0.8~0.65

であって、波形勾配が大きいほど効果

が大きい。現在用いられている離

岸堤の透過率はほぼ0.6~0.4の範

囲である³⁾。したがって図4.5に示

す条件のもとでスリット1枚の構造

物を作った場合、現況の離岸堤より

消波効果が悪いことになる。スリッ

トを2枚とすれば透過率はかなり小

さくできる。一方、透過率はスリッ

ト板の間隔にも大きく依存する。 B

$= 40\text{ cm}$ (●印)と 80 cm (○印)のものでは後者の方が効果的であって、 $K_T = 0.75 \sim 0.4$ と

なっている。スリットの枚数を3枚、各スリットの間隔を40cmとしたものは、スリット枚数が

2枚でその間隔を80cmとしたものとほとんど同一の効果しかない。構造物の安定性は別である

が、消波効果の面ではスリット枚数を3枚にし

てもあまり効果がないことになる。この理由は、

1枚目のスリットで形成された渦の中に2枚目

のスリットが入ってしまい、そのために効果が

現れなくなるものと考えられる。

隣り合うスリットの間隔を $B = 40\text{ cm}$ と一定

に保ち、スリットの枚数を増やすと(図4.6)

透過率は減少する。しかしながら $H/L \leq 0.03$

と波形勾配が小さいとき、その減少率は低下し、

$N \geq 2$ では透過率に著しい差異はなくなる。波

形勾配が大きければ $N = 3$ においても枚数を増

やした効果が現れる。 K_T と N および H/L の関

表 4.2 スリット式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
h_2/h	0.3, 0.5, 0.7	
ϵ	0.2, 0.3, 0.4	
N	1, 2, 3	

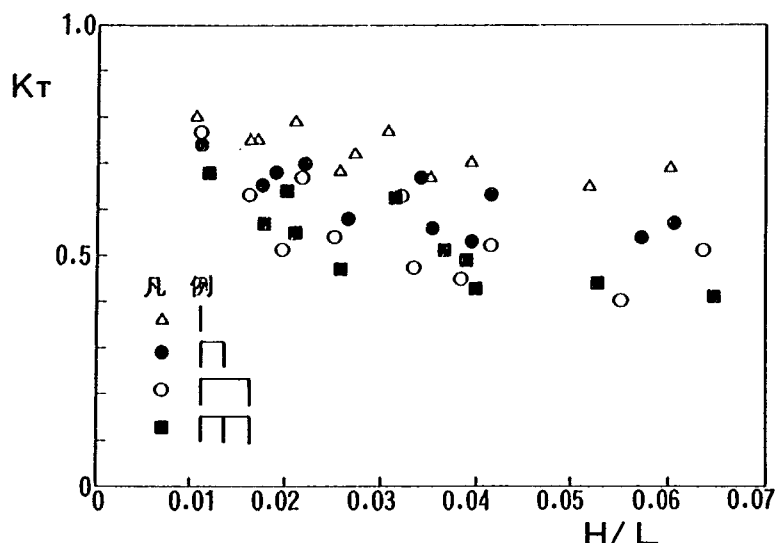


図 4.5 スリット式の K_T と H/L の関係

($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)

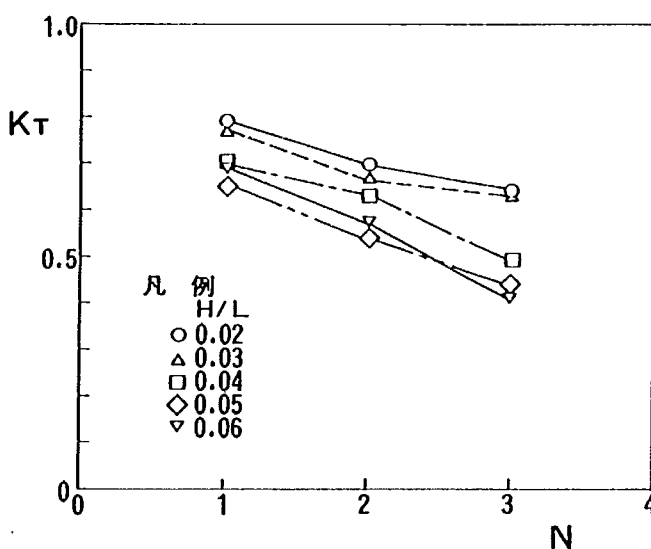


図 4.6 スリット式の K_T と枚数 N の関係

($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)

係をまとめると、

$$K_T = (0.88 - 1.60 H/L) - (0.05 + 1.30 H/L) \cdot N \quad (4.4)$$

となる。波形勾配が大きければ $N=2$ であってもかなり透過率を小さくすることができるが、波形勾配が小さいときは枚数を増やすことによって透過率を小さくするのは難しい。

他のパラメータを一定に保ち ($h_2/h = 0.7$, $N=2$, $B/h = 2.0$)、空隙率 ϵ と K_T の関係を図 4.7 に示した。 ϵ が小さいほど K_T は急激に低下する。波形勾配をパラメータとして図示してあるが、波形勾配が大きくなると $K_T - \epsilon$ の関係が下方へずれる。通常用いられている離岸堤と同等の効果 ($K_T = 0.6 \sim 0.4$) とするには、他の条件が一定の場合 ϵ は 0.2 と相当小さくしなければならないことになる。スリット枚数を 2 から 3 枚に増やしたとき、 $H/L < 0.02$ と波形勾配の小さい条件で透過率の減少割

合が小さくなったが、空隙率 ϵ については ϵ を小さくするほど K_T の減少効果が著しい。 K_T を小さくする上ではスリットの枚数を増やすよりも空隙率を小さくした方が効果的である。

図 4.7 には、スリット枚数、空隙率、スリット間隔を一定 ($N=2$, $\epsilon=0.2$, $B/h=2.0$) に保った時の、吃水比 h_2/h と K_T の関係も示した。 h_2/h が増加するにつれ K_T は大きく減少する。

減少割合は波形勾配にはあまり依存していない。図 4.7 の K_T と h_2/h の関係は次式で表わされる。

$$K_T = (1.28 - 5.50 H/L) - (0.75 - 0.40 H/L) \cdot h_2/h \quad (4.5)$$

h_2/h を大きくすれば、 K_T が著しく減少することから判断すると、 h_2/h はできるだけ大きくすることが波浪制御の上で有効である。

スリット板の間隔が十分大きくなると、その効果は単体のそれを 2 倍したものとなる。逆にスリット板の間隔を狭めて、ほとんど重ねてしまえばスリット 1 枚の効果と限りなく近くなるはずである。これを定量的に調べるために、間隔を種々変えて K_T の変化を調べた結果を図 4.8 に示す。ただし実験条件は $N=2$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon=0.2$, $H/L=0.02$ と一定にしている。実験値に多少のばらつきはあるものの、相対幅 B/L が増加するにつれ K_T は減少し、 $B/L \geq 0.2$ ではほぼ一定値になる。図中の実線は、

$$K_T = 0.59 + 0.18 e^{-7.12 B/L} \quad (4.6)$$

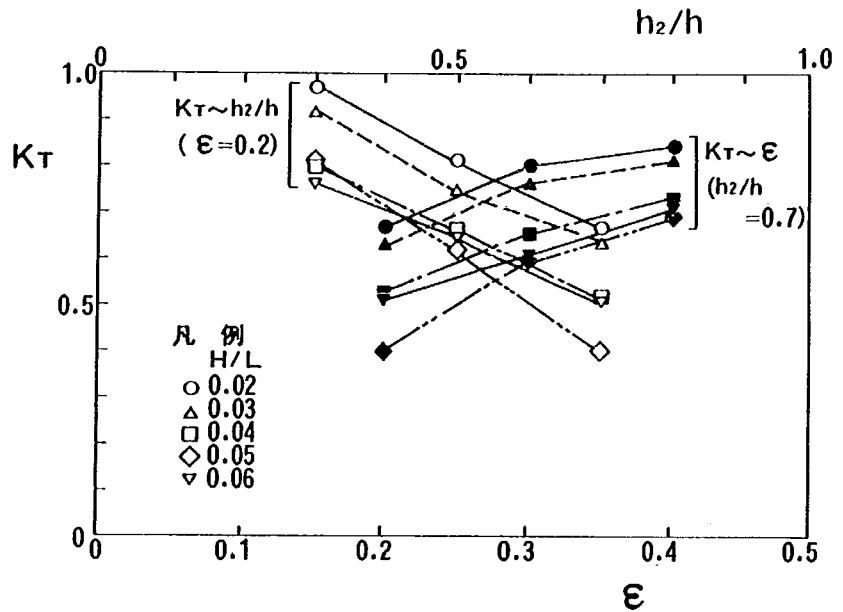


図 4.7 スリット式の K_T と ϵ , h_2/h の関係
($N=2$, $B/h=2.0$)

を表わす。また K_{T0} はスリット 1 枚の透過率である。 B/L はできるだけ大きい方が効果的であるが、 $B/L \geq 0.2$ において効果がほぼ一定となることから、 B/L の上限はほぼ 0.2 付近にあると考えられる。それ以上 B/L を大きくしても透過率はほとんど減少しない。

スリット式の反射率は波形勾配によってかなり大きなばらつきを示す。これは 2 枚のスリット板の間隔のとり方によって、前面スリット板と後面スリット板から発生した 2 つの反射波が重合することにより反射波の振幅が変化するためである⁴⁾。そこで相対幅 B/L と、反射率の関係を調べると、 $B/L = 0.25$ 付近で K_R が極小値をとることが分かる (図 4.8)。反射率を最小にするためには $B/L \approx 0.25$ とすることが望ましいと考えられる。2 枚スリットにおいて透過率を最も小さくするには $B/L = 0.2$ 程度とする必要があったが、それと同時に反射率を小さくするのであれば、 $B/L \approx 0.25$ も満足する必要がある。

次に波形勾配 H/L とエネルギー損

失率 K_L^2 の関係を図 4.9 に示す。図は $h_2/h = 0.7$ 、 $N=2$ と一定にして空隙率 ϵ を 0.2、0.3、0.4 と 3 種類変えている。既に述べたように普通の離岸堤の透過率は 0.6~0.4 程度である。また反射率はできるだけ小さくする必要があるが、港湾構造物などの例⁵⁾を参考とすると、 K_R は 0.5 以下とすることが望ましい。これらの値より、 K_L^2 の望まれる条件は、ほぼ $K_L^2 \geq 0.4$ となる。図中の破線はこの限界値を表わす。 K_L^2 は波形勾配が約 0.04 までは増加するが、その後はほぼ一定値となる。また K_L^2 は空隙率が小さい時ほど大きくなる。 K_L^2 の限界条件を満足するには、この実験の範囲では ϵ を 0.2 以下とした方が良いことがわかる。少なくとも $\epsilon = 0.4$ では、通常

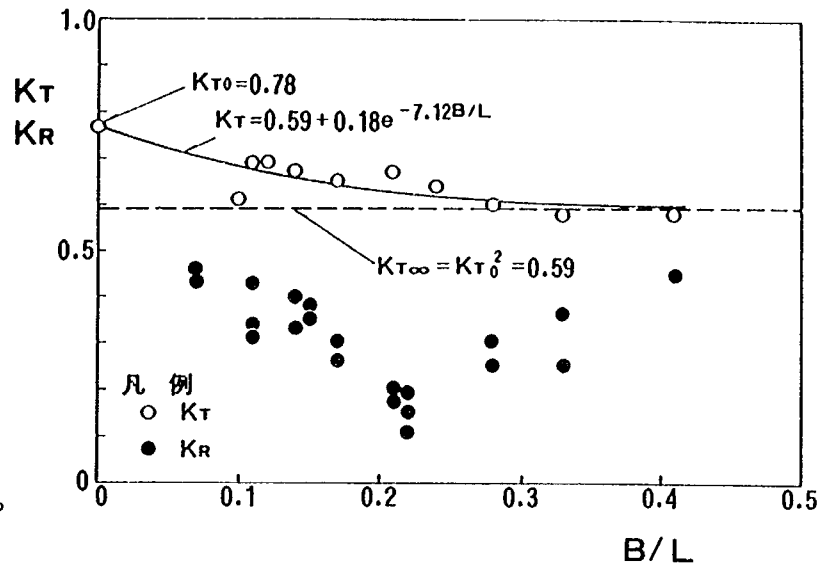


図 4.8 スリット式の K_T 、 K_R と B/L の関係
($N=2$, $\epsilon=0.2$, $h_2/h=0.7$)

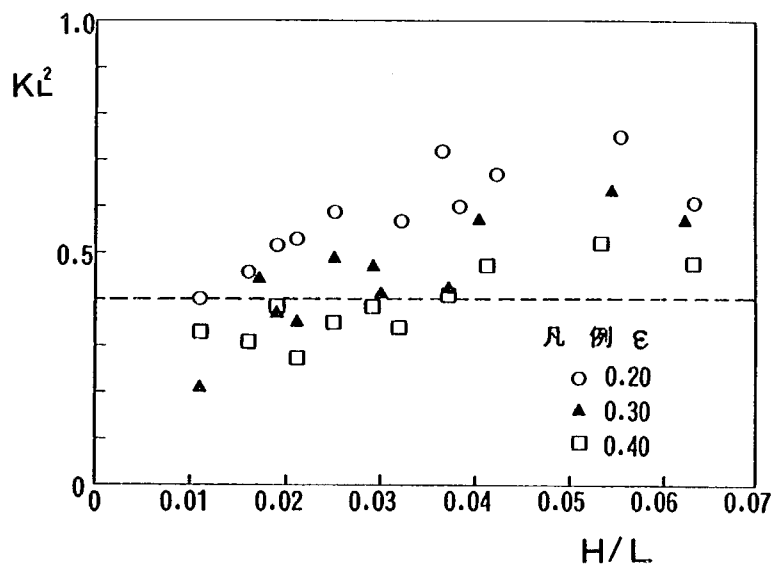


図 4.9 スリット式の K_L^2 と H/L の関係
($N=2$, $h_2/h=0.7$)

考えられる波形勾配, $H/L \leq 0.04$ の範囲でこの限界値を下回ってしまう。

以上の結果は, エネルギー損失率と波形勾配の関係を調べたものであるが, 以下に述べる理由より相対幅 B/L との関係においても論じておく必要がある。すなわち, K_R は図 4.8 に示したように相対幅 B/L に大きく依存してるので, K_L^2 は K_R の関数であり, これらのことから K_L^2 は B/L にも依存することは明らかである。

図 4.10 にスリット模型の K_L^2 と B/L の関係を示した。 K_L^2 は $B/L \approx 0.25$ で極大値をとる。これは前出の図 4.8 において, この B/L の値のとき反射率が極小値をとることと対応しており, エネルギー損失を最も効率的にするための最適幅があることを表わしている。

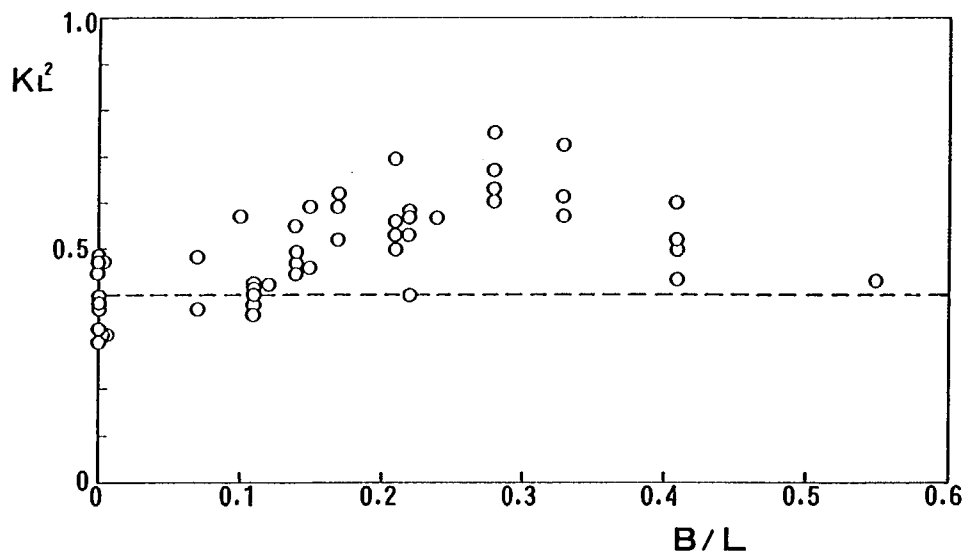


図 4.10 スリット式の K_L^2 と B/L の関係 ($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)

4.3.2 立体トラス式模型

立体トラス式模型もスリット式と同様にして波浪制御効果を調べた。立体トラス式模型は図 4.1 に示したが, ここで用いた立体トラス式の各部材の実寸法としては, 部材長が約 2 m, 部材断面寸法 $\phi = 120$ mm, 円盤径約 1 m, 板厚 15 cm のものを考えている。実験では 1/25 模型を用いた。模型では構造体の幅を $B/h = 1.0$ と 2.0 と 2 通り, 吃水比を $h_2/h = 0.25$, 0.5, 1.0 と 3 通り変えている。したがって組み合わせは全体で 6 形状となり, その各々について 11 ケースの波浪条件を設定した。したがって立体トラス模型を用いた実験ケース数は全体で 66 ケースであった。模型諸元を表 4.3 に示した。

立体トラス式に対する H/L と K_T , K_R の関係を図 4.11 に示す。 H/L が増加すると K_T は減少し, $B/h = 1.0$ の場合 0.7 ~ 0.47 の間で変化する。また $B/h = 2.0$ とすれば, K_T は 0.65 ~ 0.33 と著しく小さくすることができる。一方, K_R は変動はあるが平均的には $K_R = 0.2$ とこれも小さい。

幅水深比 B/h を一定とした時の K_T , K_R と h_2/h の関係を図 4.12 に示す。 h_2/h が小さ

くなると K_T は大きくなり、 $h_2/h = 0.25$ では波形勾配が小さい部分でほとんど効果がない。 $h_2/h = 0.5$ としても $K_T = 0.7$ 程度である。 K_R はもともと小さいが、 $h_2/h = 0.5$ とするとさらに小さく $K_R = 0.15$ 程度となる。さらに $h_2/h = 0.25$ としても、これ以上 K_R は下らない。結局乱れによって消波するタイプの構造物の透過率は、吃水比に大きく依存する。立体トラス式のような、内部でのエネルギー損失が大きなタイプでも吃水比を大きくすることなく透過率を小さくすることはできない。

次に、相対幅 B/L と K_T , K_R の関係を図 4.13 に示す。 B/L が増加すると K_T は減少傾向を持つ。 K_T は $0.7 \sim 0.3$ の範囲にあり、幅を広くすることができればかなり良い消波効果を持つ。透過率のみより判断すれば、 $B/L = 0.1$ としても K_T はほぼ 0.7 以下とすることができる。 B/L と反射率の関係については、ばらつきが大きいですが、 K_R の上限を定める包絡線に着目すると、ほぼ $B/L = 0.15$ で極大値 $K_R = 0.35$ をとる。それより B/L が大きくなると K_R はずっと減少し、 $B/L = 0.4$ では $K_R = 0.15$ と反射率は著しく小さくなる。立体トラス式では構造体内部での乱れによる減衰が大きいため、スリット式に比較して K_T , K_R ともに低くすることができる。ただし構

表 4.3 立体トラス式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
h_2/h	0.25	0.5 1.0

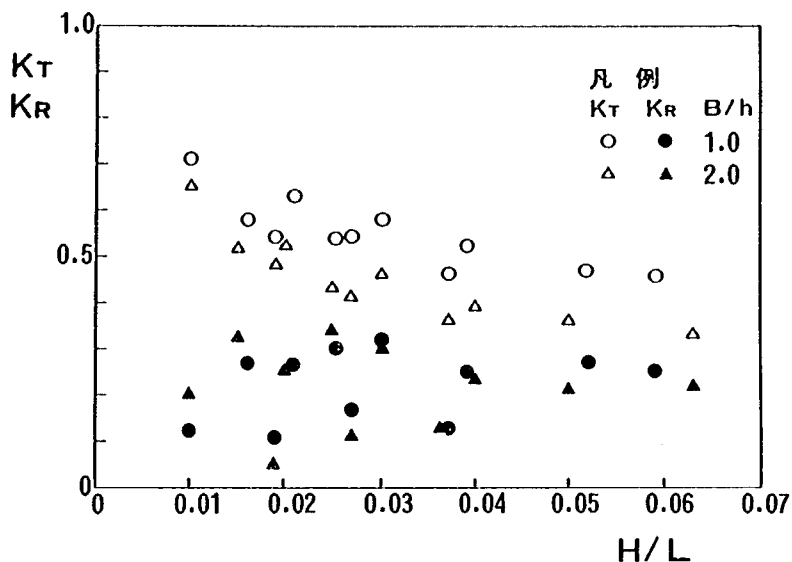


図 4.11 立体トラス式の K_T , K_R と H/L の関係 ($h_2/h = 1.0$)

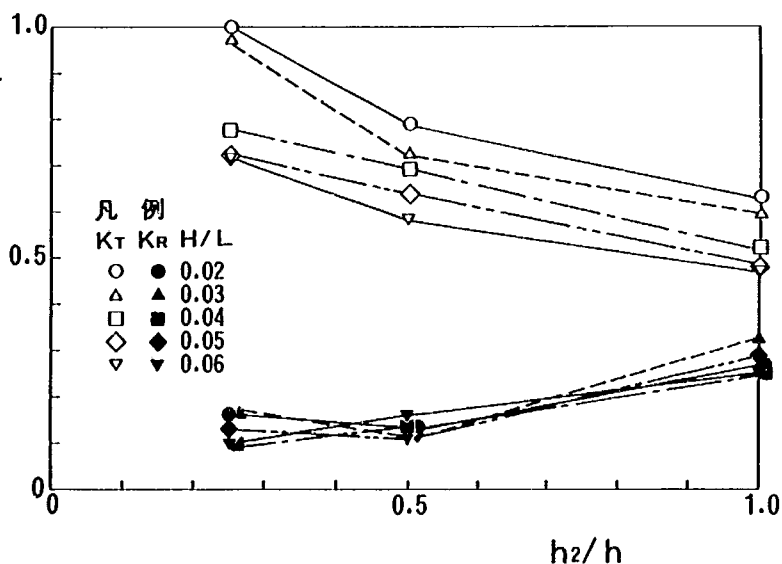


図 4.12 立体トラス式の K_T , K_R と h_2/h の関係 ($B/h = 1.0$)

造から見て明らかなように、構造部材には大きな波力が働くために、部材に生ずる引張り、曲げ応力に耐えられる材料があるかどうか問題となる。

最後にスリット式と同様に K_L^2 と H/L の関係を図 4.14 に示す。図示されるデータの条件は、幅水深比 B/h が 1.0 と 2.0 の場合である。図 4.9 に示したスリット模型の場合と比較すると、全般にエネルギー損失率が大い。また K_L^2 と波形勾配の関係としては、スリット式と同様に H/L が 0.04 までは K_L^2 は増加するが、その後はほぼ一定値となる。 B/h を大きくすると当然 K_L^2 は大きくなり、その効果はとくに波形勾配が大きいときに顕著である。ただ $B/h = 1.0$ の場合でもエネルギー損失が相当期待できる。

4.3.3 段違い反射板式模型

段違い反射板式模型は、2枚の不透過板を段違いに設置して消波を行おうとするものであり、消波の主な機構は反射と考えられる(図 4.1)。模型形状を定める変数は図示するように4個ある。すなわち前列板の鉛直方向長さ b 、前列板と後列板の間隔 B 、前列板の下端の深さ h_2 および後列板の吃水深 h_3 である。これらのとり方によって消波効果はかなり大きく変化する。表 4.4 は模型条件一覧である。ただし h_3/h に関しては 0.1 間隔で6通り変えている。したがって表 4.4 の組合せは全体で48形状とな

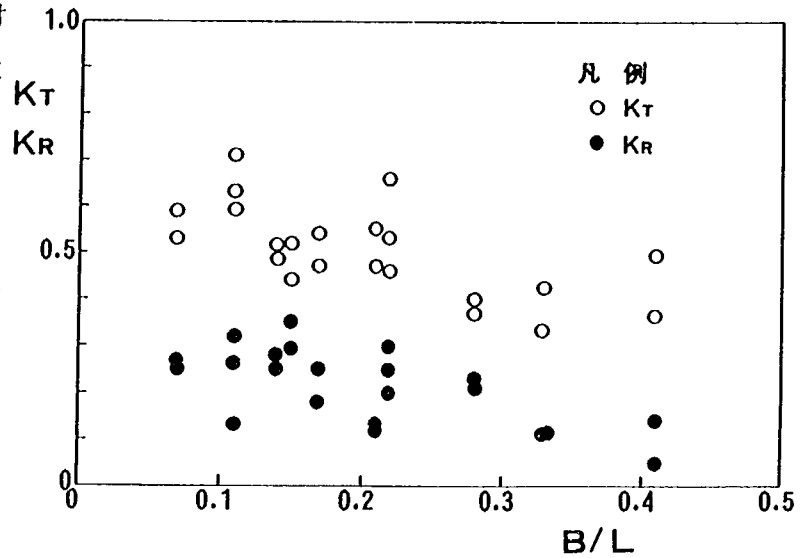


図 4.13 立体トラス式の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h = 1.0$)

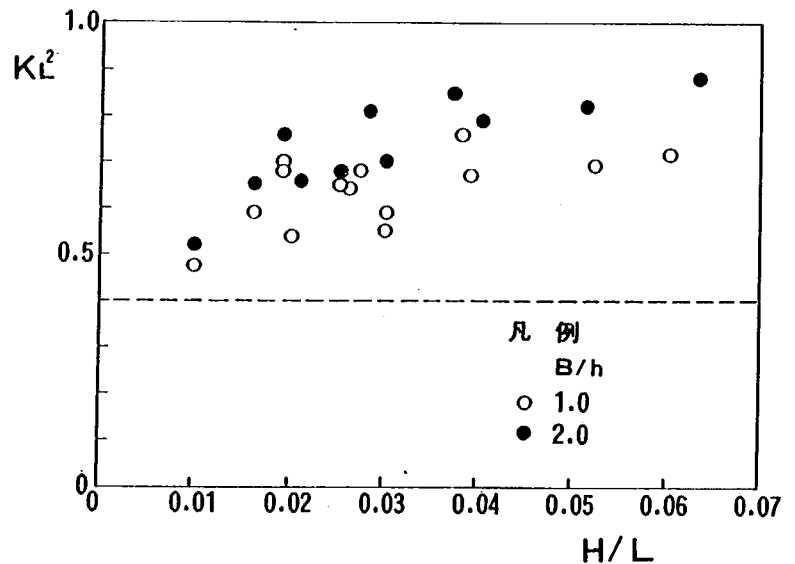


図 4.14 立体トラス式の K_L^2 と H/L の関係
($h_2/h = 1.0$)

表 4.4 段違い反射板式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
b/h	0.2	0.4
$(h_2 - b)/h$	0.1	0.3
h_3/h	0.1 ~ 0.6 (6通り)	

るが、これらのうち代表的に17モデルを選び各模型につき11ケースの波浪を作用させて消波効果を調べた。全体のケース数は187ケースである。

まず代表的な模型形状について H/L と K_T , K_R の関係を調べる (図 4.15)。実験条件は $b/h=0.4$, $(h_2-b)/h=0.1$, $B/h=1.0$ である。図には h_3/h を 0.1 と 0.6 と 2種類変えたときの結果を示した。 $h_3/h=0.1$ では K_T は大きく、消波効果は悪いが、 $h_3/h=0.6$ ではかなりの効果を持つ。波形勾配が大きくなると K_T は減少傾向を持ち、 $H/L=0.017$ と 0.034 の周期 $T=1.2$ s のデータを除けば K_T は平均して $0.7 \sim 0.5$ の間で変化している。このタイプの模型も基本的には波の反射を利用しているために、透過率が小さい形状となると反射率は大きくなる。 $h_3/h=0.1$ の場合反射率は 0.2 程度と低い、 $h_3/h=0.6$ のときは透過率が小さくなる反面、反射率が著しく大きくなった。波形勾配が小さいとき $K_R=0.7$ にもなっている。この構造体では構造諸元によって K_T , K_R が大きく変化する。したがって 2枚の反射板の組み合わせを変化させれば消波効果が高く、かつ反射の少ない形状を選択できる可能性がある。

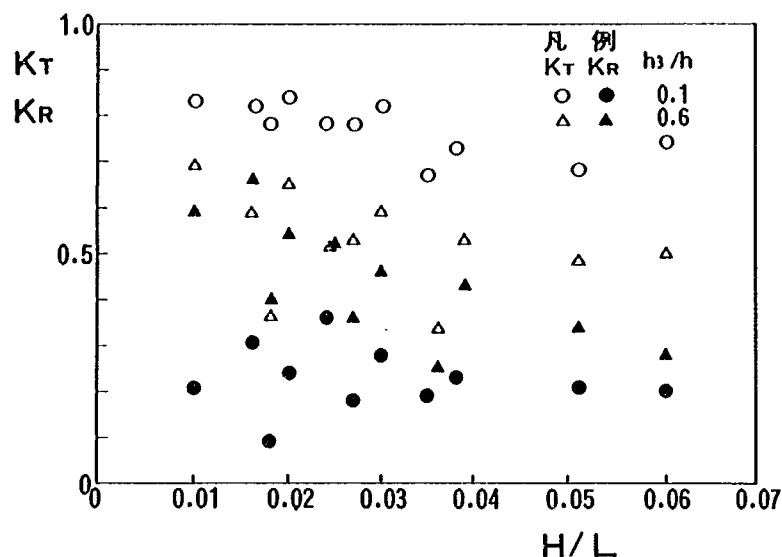


図 4.15 段違い反射板式の K_T , K_R と H/L の関係 ($b/h=0.4$, $(h_2-b)/h=0.1$, $B/h=1.0$)

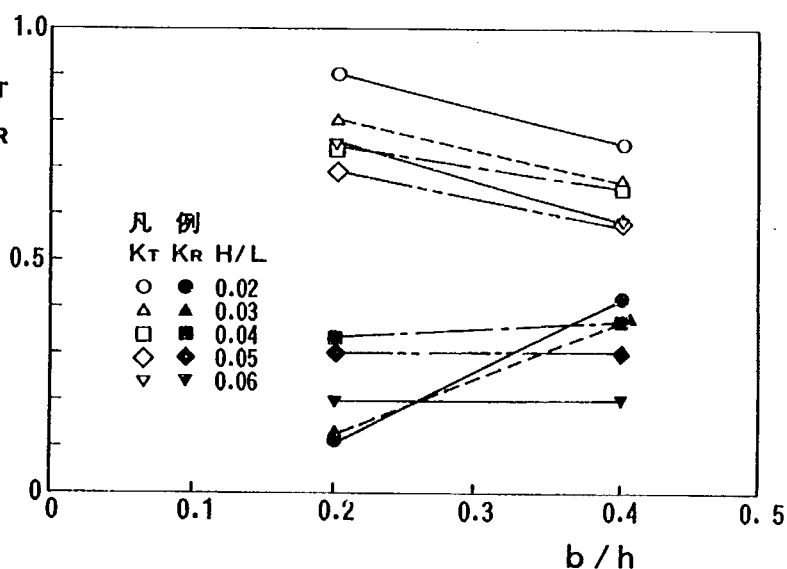


図 4.16 段違い反射板式の K_T , K_R と b/h の関係 ($B/h=1.0$, $(h_2-b)/h=0.3$, $h_3/h=0.3$)

次に前列板の相対長さ b/h と K_T , K_R の関係を調べる (図 4.16)。 b/h が大きいほど K_T が小さくなるが、逆に K_R は大きくなる。 $b/h=0.2$ では K_T は $0.69 \sim 0.9$ と大きな値を持ち、あまり消波効果は期待できない。 $b/h=0.4$ では K_T は $0.59 \sim 0.73$ と小さくなるが、 K_R はやや大きくなっている。 b/h が大きくなると K_R は増加する傾向にあるので、 $b/h > 0.4$ とすれば反射波が問題となる可能性が大きい。そこで以後の検討では $b/h=0.4$ に固定して他のパラメー

タの効果を調べることにする。

後列板の吃水比 h_3/h と K_T , K_R と K_T の関係に関しては, h_3/h が増加すると K_T は減少する (図 4.17)。
 h_3/h が 0.4 より小さいとき K_T は約 0.7~0.85 と大きな透過率を有するが, h_3/h が増加し $h_3/h=0.6$ になると透過率は大きく減少する。それでもなお K_T は 0.5~0.7 程度の値である。 K_R は K_T と逆の傾向を示す。

$h_3/h=0.6$ では反射率は 0.4 程度となる。このタイプの模型では透過率を小さくするには h_3/h をできるだけ大きくし, 少なくとも 0.6 程度の値としなければあまり効果的ではない。しかもその場合反射率は h_3/h の値に比例して大きくなるために, 反射波が問題となるような場合は利用しにくい。

次に 2 枚の板の相対幅 B/L と K_T , K_R の関係を示す (図 4.18)。模型条件は $b/h=0.4$, $(h_2-b)/h=0.1$, $h_3/h=0.6$ である。透過率は相対幅の増加に伴い減少する。 B/L を大きくすれば K_T をかなり小さくすることができるが, それには

$B/L=0.3\sim0.4$ にしなければならない。 B/L と K_R の関係はスリット式の場合 (図 4.8) と同一傾向を示し, $B/L \approx 0.25$ ($B \approx 1/4 L$) で極小値をとる。 K_R の最小値は約 0.15 である。 K_T , K_R と B/L の関係より判断すると, 透過率, 反射率をできるだけ小さくするには $B/L \approx 0.25$ とする必要がある。

次に, K_L^2 と B/L の関係を図 4.19 に示す。 K_L^2 の分布形はスリット式の場合と基本特性が良く似ており, $B/L \approx 0.25$ で極大値をとる。これは両者とも反射を利用していることによる。図 4.10 のスリット式の場合と比較すると全体にピークの立ち方が急であり, $B/L \approx 0.1$ および $B/L \approx 0.4$ のとき K_L^2 が著しく小さい値となる。これは段違い反射板式の場合, スリット式と

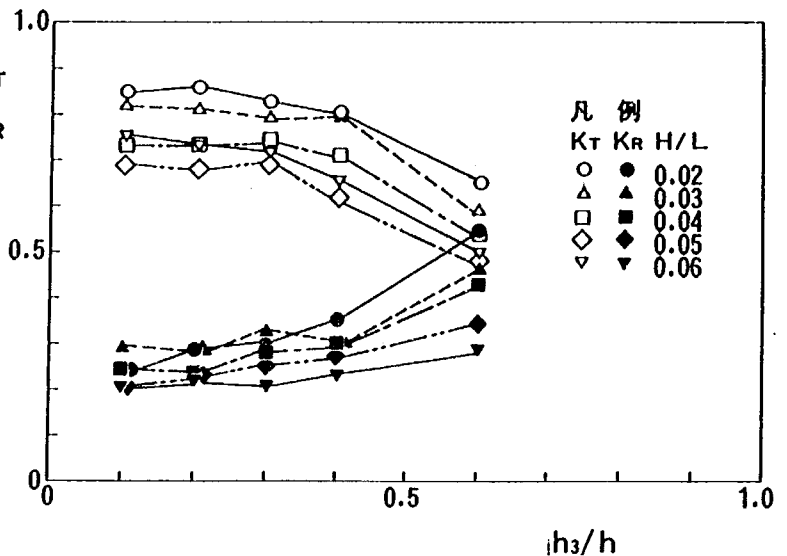


図 4.17 段違い反射板式の K_T , K_R と h_3/h の関係
 ($b/h=0.4$, $(h_2-b)/h=0.1$, $B/h=1.0$)

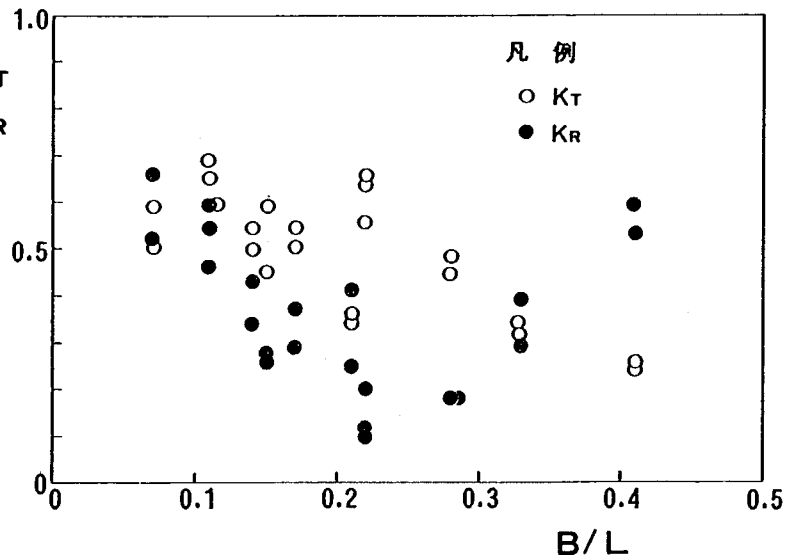


図 4.18 段違い反射板式の K_T , K_R と B/L の関係
 ($b/h=0.4$, $(h_2-b)/h=0.1$, $h_3/h=0.6$)

は異なり、乱れのエネルギー損失が少なく、主として前・後面の反射波の重
合によって消波を行うためである。な
お図中のパラメータ $(h_2 - b)/h$ は
図 4.1 に示したように、前面板の相対
没水深を表わすが、 K_L^2 はこの値には
あまり依存していない。

4.3.4 中詰式模型

スリット式は波を反射させるととも
に、スリット間で乱れを生じさせて波
を消波している。ここでは金網でつく

られたメッシュ状のワクの中に小さなボールを詰め、この小球体の運動によっても波のエネルギーを損失
させようとの試みを行った。模型は図 4.1 に示すように、スリット間に直径 7.2 cm、重量 136 g、単位重
量 $w = 0.7 \text{ g/cm}^3$ の軟式野球ボールを多数詰めたものである。その密度 γ は次式のように表わされる。

$$\gamma = \frac{nv_b}{60B(h_1 + h_2)} \quad (4.7)$$

ここに B , h_1 , h_2 は図 4.1 に示す長さであり、また n はボールの個数、 v_b はボール 1 個の体積 ($=180 \text{ cm}^3$) である。また水路幅は 60 cm としている。 γ は 3 種類変化させた。 $\gamma = 0.74$ はボールがぎっしり詰
まった状態である。 $\gamma = 0.31$ では上部に位置するボールは動くことができる。 $\gamma = 0.16$ では球体全てが
動ける状態にある。実験はスリット式の場合と同様に行った。模型形状は表 4.5 のように定めた。全体の
模型数は 18 形状となるが、これらのうちさらに 14 模型を選択し、その各々に 11 ケースの波浪を作用
させた。実験の全体のケース数は 154 ケ
ースとなる。

まず、波形勾配 H/L と K_T, K_R の関係
を図 4.20 に示す。模型条件は $h_2/h =$
 0.7 , $\gamma = 0.31$, $B/h = 1.0$ である。 K_T は
 H/L の増加に伴いゆるやかに減少する。
 K_T はほぼ 0.6 ~ 0.4 の間の値を持つ。 K_R
は他の構造物と比較するとやや高めの

表 4.5 中詰式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
γ	0.16, 0.31, 0.47	
h_2/h	0.3, 0.5, 0.7	

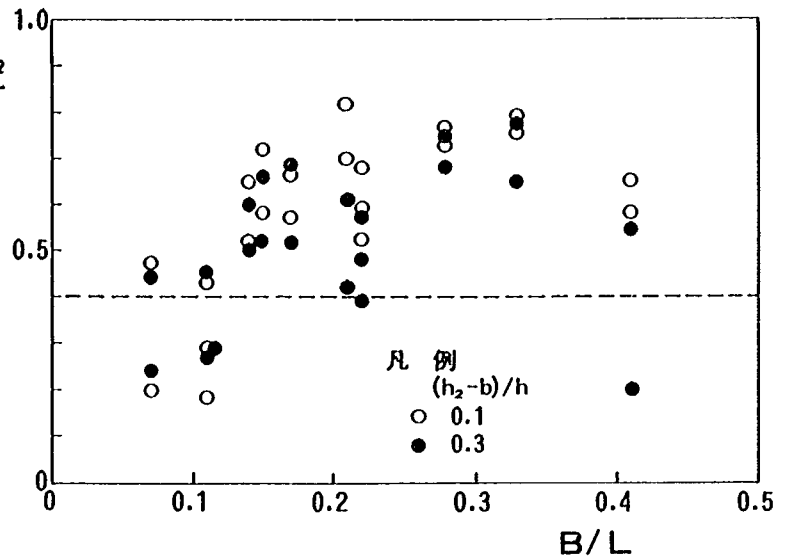


図 4.19 段違い反射板式の K_L^2 と B/L の関係

($b/h = 0.4$, $h_3/h = 0.6$)

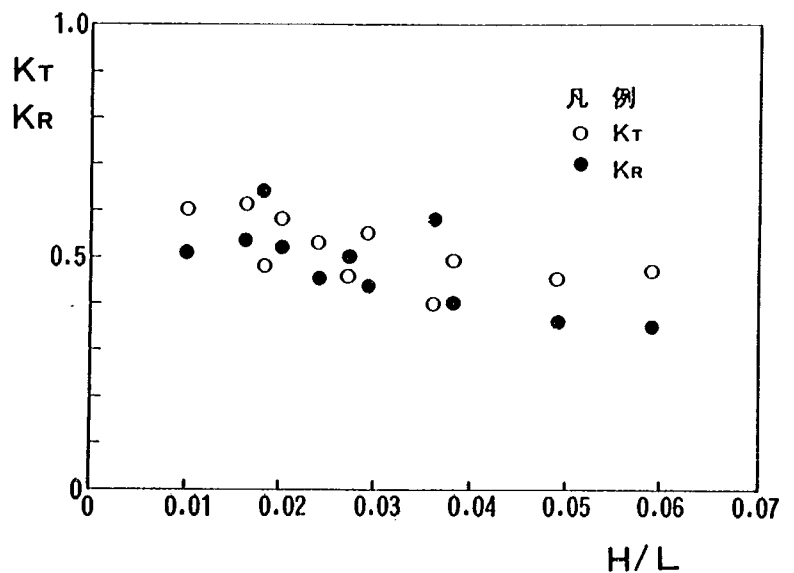


図 4.20 中詰式の K_T, K_R と H/L の関係

($h_2/h = 0.7$, $\gamma = 0.31$, $B/h = 1.0$)

値となっており、平均的に 0.45 程度の値を持つ。 K_T に比べてばらつきが大きい、全般的には H/L の増加とともに減少する。

密度 r と K_T, K_R の関係を図 4.21 に示す。 K_T は r の増加にしたがい単調に減少する。 $r = 0.31, 0.47$ において K_T はほぼ 0.55, 0.45 となる。これに対し K_R は逆の傾向を示す。 $r = 0.47$ のとき K_R は約 0.55 と著しく大きくなる。ボールを密に詰めれば反射波が著しく強くなる。 $r = 0.17$ の場合の透過率は図 4.21 によれば $K_T = 0.58 \sim 0.78$ である。これと同一の形状のスリット式 ($h_2/h = 0.7, B/h = 1.0, \epsilon = 0.2$) の透過率 (図 4.5) は、 $K_T = 0.53 \sim 0.75$ であった。したがって $r = 0.16$ と同程度の消波効果となり、ボールをつめた効果はあまりない。 $r = 0.47$ では反射率が大きいのでこれも利用するのは困難であろう。結局ある程度有効な機能が見込めるのは $r = 0.31$, すなわち詰めたボールの上部が動ける状態のものと考えられる。

h_2/h と K_T, K_R の関係については (図 4.22), h_2/h の増加に伴い K_T は単調に減少する。 K_R は h_2/h にあまり

関係なく、ほぼ一定値を示す。例えば $H/L = 0.04$ のとき $K_R = 0.4$ となる。以上より、反射率を小さくし、かつ透過率を小さくするためには、吃水比は $h_2/h = 0.7$ とすることが望ましいと考えられる。

次に中詰式型の幅 B を変えたときの K_T, K_R の変化を図 4.23 に示す。模型条件は $h_2/h = 0.7, r = 0.31$ である。 B/L を大きくすると、 K_T は減少する。 K_T はほぼ 0.6 ~ 0.3 の間にある。特徴は立体トラス式の場合 (図 4.13) と良く似ているが、透過率はより小さくなっている。立体トラス式と同様に B/L を適切に選べばかなり透過率を下げる事ができる。 K_R は $B/L \approx 0.2$ で著しく大きい値が現われている他は、全体的には B/L の増加とともに減少する。立体トラス式の場合 (図 4.13) と比較すると、中詰式模型の方が全体的に K_R の値が大きく、反射波が強いことが分かる。

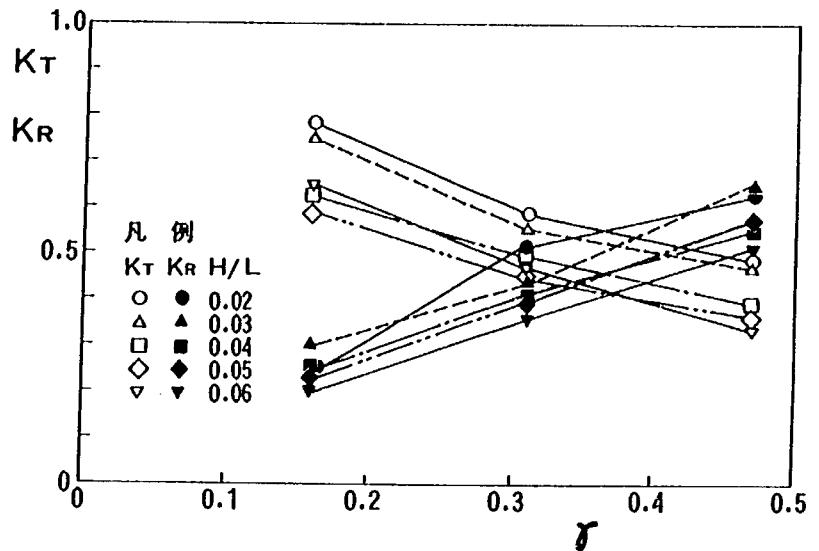


図 4.21 中詰式の K_T, K_R と r の関係
($h_2/h = 0.7, B/h = 1.0$)

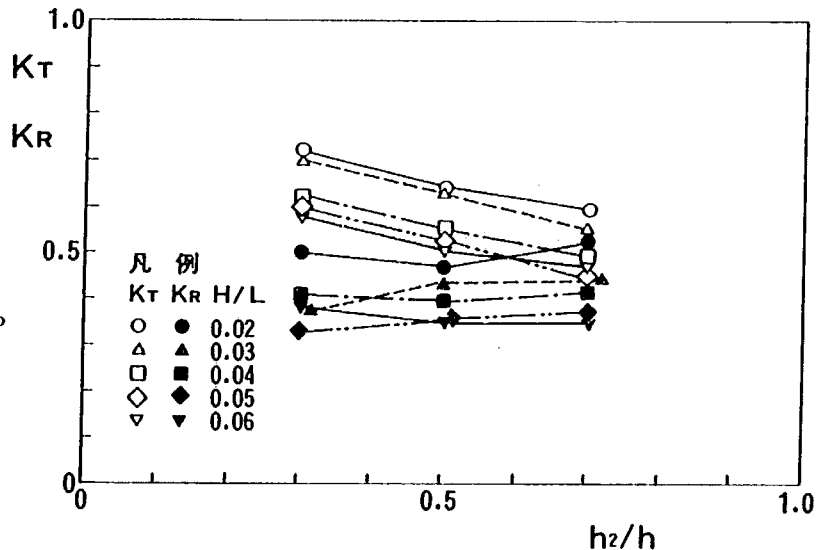


図 4.22 中詰式の K_T, K_R と h_2/h の関係
($r = 0.31, B/h = 1.0$)

これを、エネルギー損失 K_L^2 と B/L の関係で表わしたものが図 4.24 である。図 4.23 と同様に構造物の条件は $r=0.31$, $h_2/h=0.7$ である。 K_L^2 は B/L の増加とともに大きくなり $B/L > 0.2$ とすれば $K_L^2 \geq 0.4$ を満たす。

4.3.5 空気調圧式模型

空気調圧式模型では、吃水比 h_2/h を同じにした 2 枚の不透過板を設置し、さらに上部を覆うことにより空気を密閉したもので、模型形状を定める変数は相対幅 B/L 、吃水比 h_2/h および空気圧に関するパラメータ α の 3 つである。ここに α は次式で表わされる。

$$\alpha = P_0 / Wh_1 = 10 / h_1 \quad (4.8)$$

ただし、 P_0 は大気圧、 W は水の単位体積重量、 h_1 は図 4.1 に示す長さである。実験では B/L を 2 種類、 h_2/h を 3 種類、 α を空気開放型とした場合 ($\alpha=0$) も含めて 3 種類変化させることとした (表 4.

6)。したがって、全ての組み合わせは 18 通りとなるが、このうち代表的に 13 形状を選定し、波浪条件を各 11 ケースとしたため、実験ケース数は合計 143 ケースとなる。

図 4.25 に他の条件を一定 ($h_2/h=0.7$, $B/h=2.0$) としたときの α と K_T , K_R の関係を示す。 K_T は波形勾配 H/L が増加すると減少する傾向をもち、 $\alpha=0$ で $K_T=0.1 \sim 0.25$, $\alpha=6.3$ および 12.5 の時はほぼ同じ値で、 $K_T=0.19 \sim 0.4$ となっている。一方、 K_R は $\alpha=0$ で $K_R=0.63 \sim 0.73$, $\alpha=6.3$ および 12.5 の時に $K_R=0.81 \sim 0.95$ となっている。このことから空気調圧式模型では密閉空気の体積によって透過率、反射率の値は

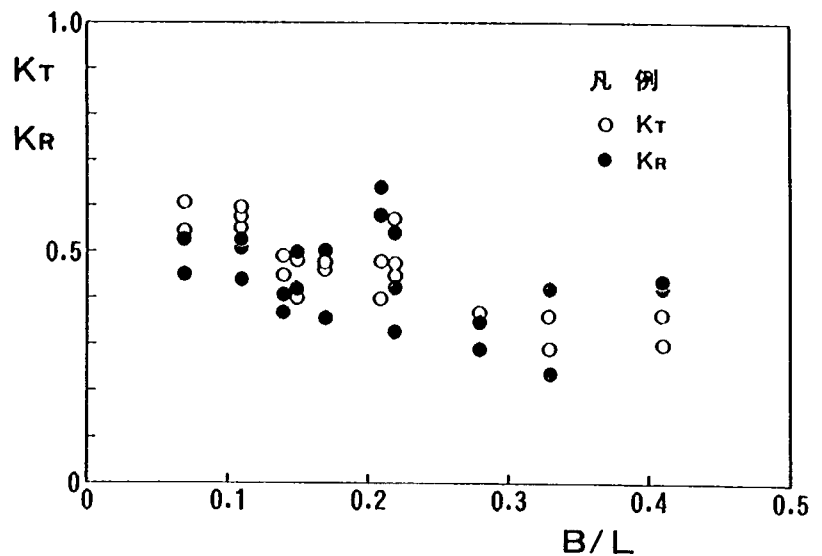


図 4.23 中詰式の K_T , K_R と B/L の関係
($r=0.31$, $h_2/h=0.7$)

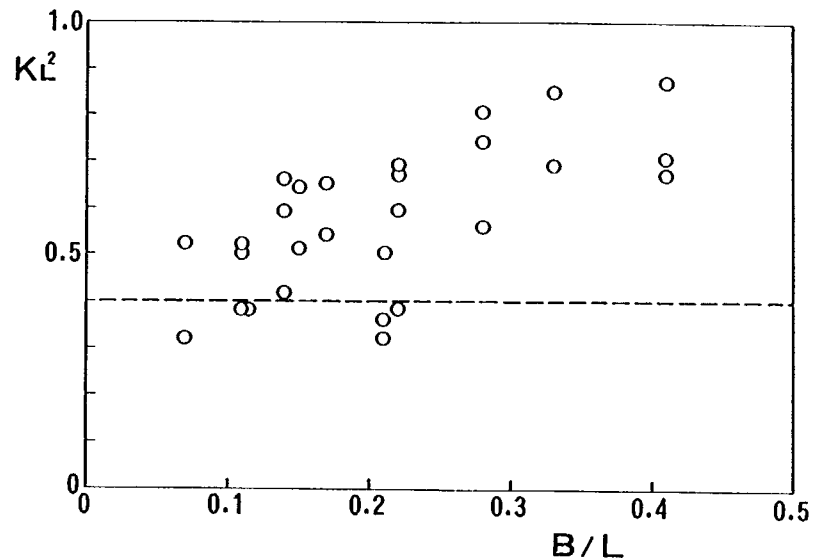


図 4.24 中詰式の K_L^2 と B/L の関係
($r=0.31$, $h_2/h=0.7$)

表 4.6 空気調圧式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
h_2/h	0.3, 0.5, 0.7	0.3, 0.5, 0.7

変化しないが、空気開放型すなわち、単なる複列カーテンウォールとすることによって透過率も反射率も小さくなることがわかる。なお、吃水比 h_2/h と K_T , K_R の関係は先に述べたスリット式(図4.7)と傾向が似ている。結局、この模型では消波機能が反射によるものであるため、透過率はかなり小さいが、逆に反射率が大きくなった。

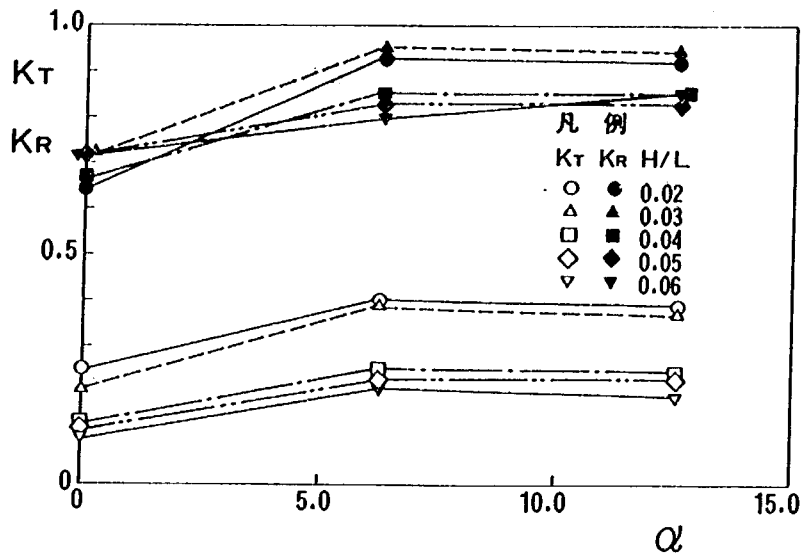


図 4.25 空気調圧式の K_T , K_R と α の関係
($h_2/h = 0.7$, $B/h = 2.0$)

4.3.6 バイブ式模型

バイブ式模型の形状を決定する変数は、パイプの直径と水深の比 d/h , 吃水比 h_2/h , 幅(パイプの長さ)水深比 B/h の3つである。実験ではパイプの径を 2.2 cm, 4.8 cm の2種類 ($d/h = 0.06$, 0.12) とし, h_2/h を7種類, B/h を3種類とした42通りの組み合わせの中から23形状を選定した(表4.7)。各形状について11波浪を作用させ、合計253ケースの実験を行った。

まず、図4.26に波形勾配 H/L と透過率 K_T , 反射率 K_R の関係を示す。ここに他の条件は全て一定としている ($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$)。透過率は波形勾配の増加にともない緩やかに減少し, $K_T = 0.3 \sim 0.57$ となっている。これに対して反射率はあまり変化せず, K_R は平均的に 0.35 となっている。

次に, $d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$ としたときの吃水比 h_2/h と K_T , K_R の関係を図4.27に示す。図より $h_2/h = 0.06$ では $K_T = 0.47 \sim 0.7$ と $h_2/h \geq 0.36$ に比べて透過率は大きくなる。しかし、

表 4.7 バイブ式の模型諸元

B/h	1.0	1.5	2.0
d/h	0.05, 0.12		
h_2/h	-0.01	~	0.7 (7通り)

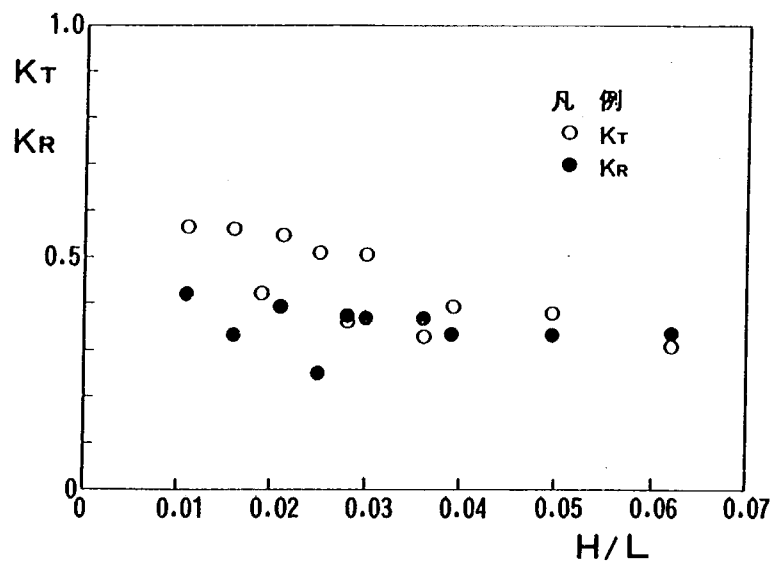


図 4.26 バイブ式の K_T , K_R と H/L の関係
($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$)

$h_2/h \geq 0.36$ の範囲では、 H/L の値によって異なる値をとるが、 H/L を一定とした場合には、吃水比 h_2/h の値による変化はほとんどない。また、反射率は $h_2/h = 0.06$ としても透過率が大きくなるほど小さくならない。以上より、パイプ式は $h_2/h = 0.36$ 程度に設置すればよいことがわかる。この結果は、先に述べたスリット式、段違い反射板式、中詰式（図 4.7, 4.17, 4.22）と全く異なっており、この構造物の特徴である。つまり、パイプ式構造物は、エネルギーの集中する水面付近で波の大部分を流れに変えてしまうもので、他の模型に比べて効率良く消波できるものと考えられる。

次に、 $h_2/h = 0.36$ の場合の B/L と K_T , K_R の関係を示す（図 4.28）。ただし、 $h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.06$ としている。 K_T は、 B/L の増加にともない、0.76 から 0.4 に減少する。一方、 K_R は 0.21 から 0.43 の間で変動するが

B/L の値によって K_R はほとんど変化しない。以上より、幅を大きくすることは透過率、反射率をともに小さくするのに有効な手段であると考えられる。

また、 $h_2/h = 0.21$ の場合の K_T と B/L の関係を図 4.29 に示す。図中には $B/h = 2.0$ のときを●印、 $B/h = 1.0$ のときを○印で示した。 $h_2/h = 0.36$ の時と同じように B/L の増加にともない K_T の値は減少するが B/h の違いによってほぼ 2 本の曲線に分けられる。これより K_T は波長 L によって決まると考えられる。このことを調べるために K_T と h/L の関係を図 4.30 に示した。 K_T は h/L でよく整理できることが分かる。図 4.28 と図 4.29 における構造物条件の違いは 2 つある。1 つは吃水比であり、もう 1 つは水路幅方向のパイプのつめかたである。両図の違いの理論的説明は今のところできないがパイプ式の透過率は、相対幅 B/L だけでなく、水深波長比 h/L にも

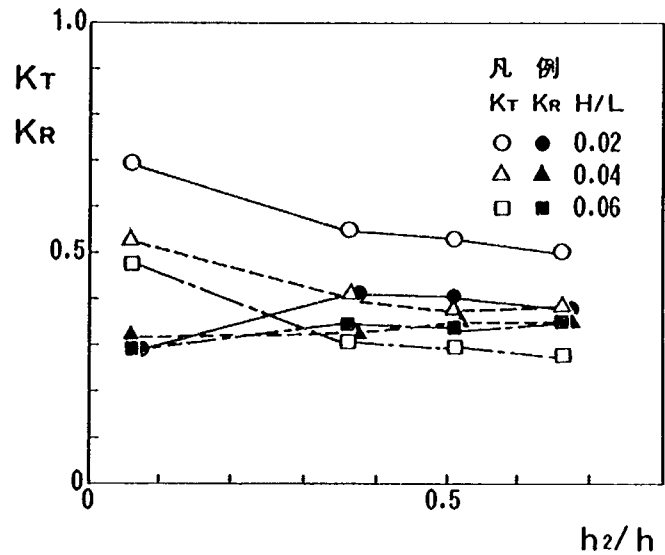


図 4.27 パイプ式の K_T , K_R と h_2/h の関係
($d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$)

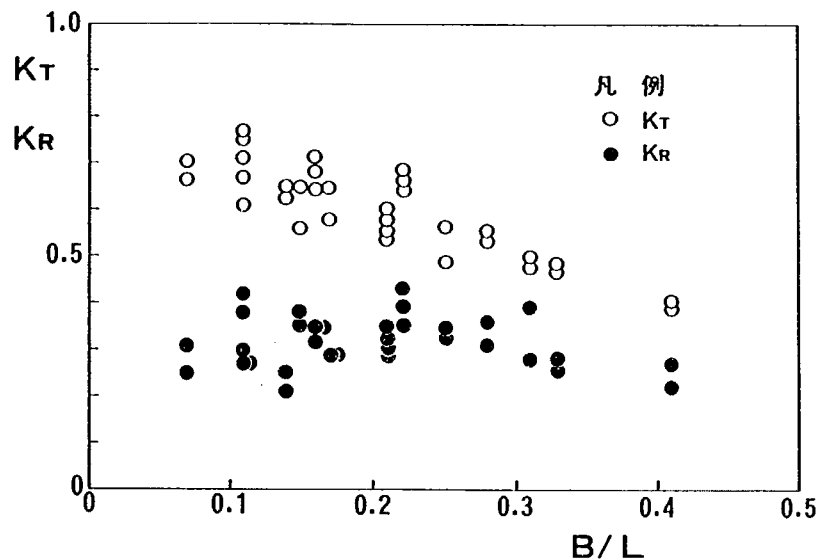


図 4.28 パイプ式の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.06$)

大きく関係することが分かる。

最後に K_L^2 と B/L の関係を図 4.31 に示す。実験の範囲内では B/L の増加とともに K_L^2 は単調な増加傾向を示す。スリット式や段違い反射板式のように $B/L \approx 0.25$ において極値はもたない。これはパイプ式の消波が主としてパイプにより波のエネルギーを流れに変えること、またパイプ下面が水平板と同様な機能をはたすことによって行われており、前二者と根本的に異なるためである。また、この模型条件では K_L^2 はいずれの B/L に対しても限界条件を満足している。

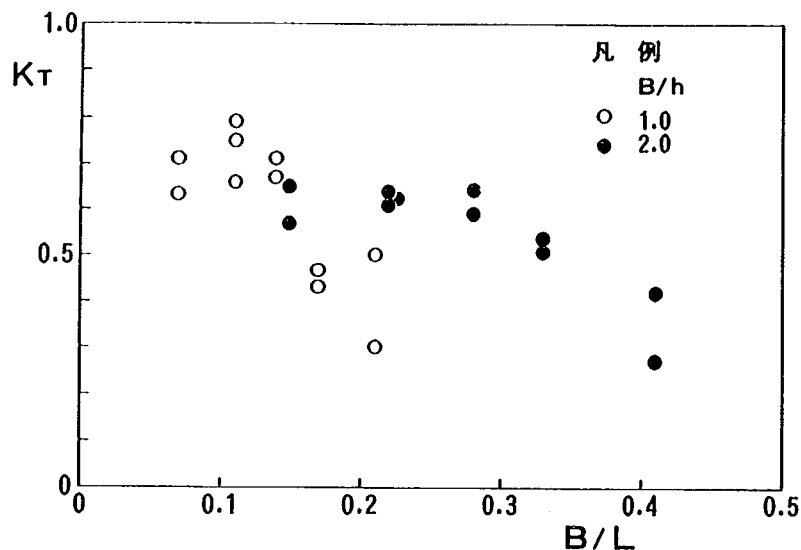


図 4.29 パイプ式の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.21$, $d/h = 0.06$)

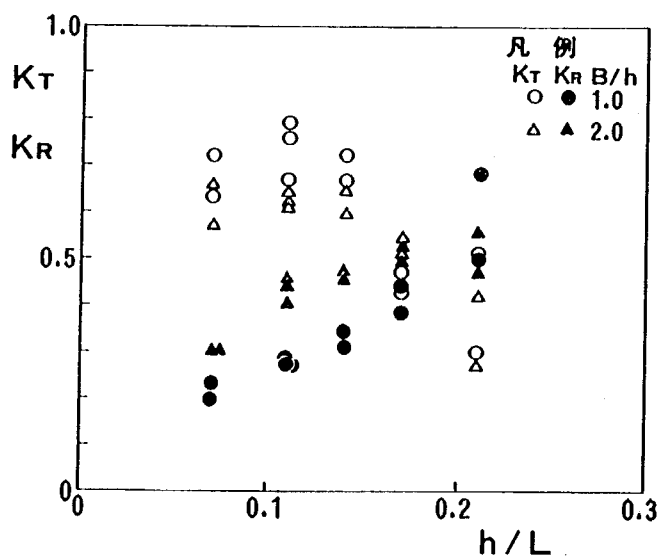


図 4.30 パイプ式の K_T , K_R と h/L の関係
($h_2/h = 0.21$, $d/h = 0.06$)

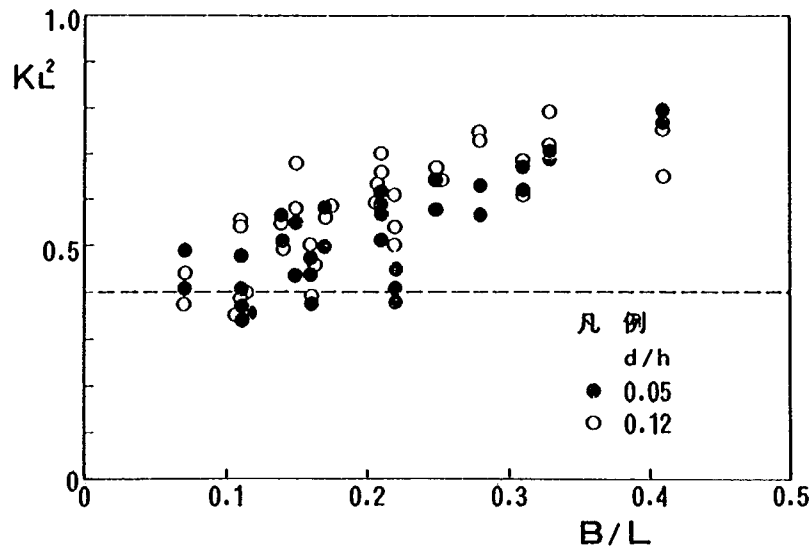


図 4.31 パイプ式の K_L^2 と B/L の関係 ($h_2/h = 0.36$)

4.3.7 ハイブリッド式模型

ハイブリッド式模型は、2枚のスリット板の中に異形ブロックを詰め、スリットの効果の他に異形ブロックによる乱れ、反射の機能を期待したものである。ここで用いた異形ブロックは中空の直方体のもので空隙率は 0.47 である。模型の諸元を表 4.8 に示す。

波形勾配 H/L と K_T , K_R の関係を図 4.32 に示す。 $H/L = 0.019$ と 0.038 で K_T , K_R が共に小さくなっているが、全体的な傾向は次のようである。すなわち K_T は波形勾配が大きくなると減少し、 K_R は波形勾配にかかわらずほぼ 0.5 である。次に相対幅 B/L と K_T の関係を図 4.33 に示した。 K_T は他の模型と同様に B/L の増加にともない緩やかに減少する。しかし $B/L \leq 0.1$ と小さい範囲でもほぼ $K_T = 0.5$ と他の模型と比べて小さい。例えば立体トラス式でも $K_T < 0.5$ にするには $B/L \geq 0.2$ にする必要がある。

結局、ハイブリッド式は乱れによるエネルギー損失も大きいが反射波も強い。このため K_T を小さくするた

表 4.8 ハイブリッド式の模型諸元

B/h	1.0	2.0
-------	-----	-----

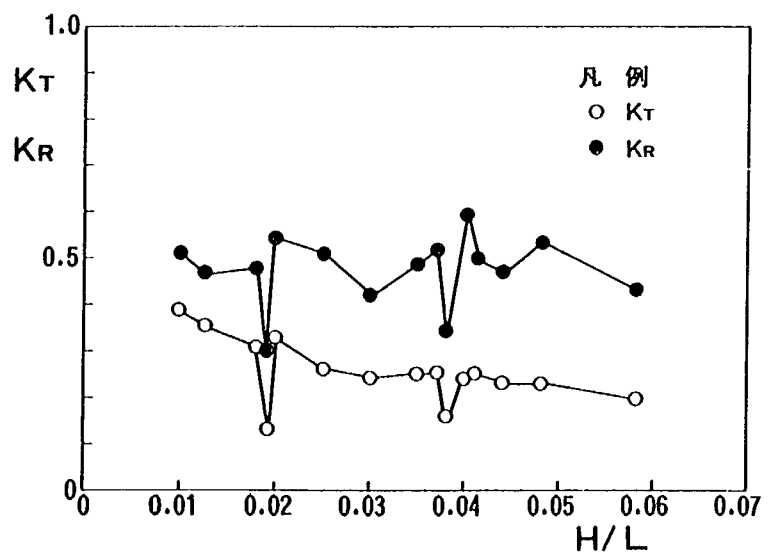


図 4.32 ハイブリッド式の K_T , K_R と H/L の関係 ($B/h = 2.0$)

めに必要な幅 B は小さくて済むが K_R は大きい。

4.3.8 チューブ式模型

チューブ式模型の形状を決定する変数は、天端幅水深比(B/h)と天端水深比(R/h)である。また、チューブ式模型には、前述した通り固定式と可動式の2種類の模型がある。固定式模型については、 B/h , R/h をそれぞれ2通り、可動式模型については、 R/h を1通りにして合計6形状の模型について実験を行った。各形状について15波浪を作用させ、合計90ケースの実験を行った。模型の諸元を表4.9に示す。

まず K_T , K_R と H/L の関係を図4.34に示す。構造物の形状は $B/h=8.0$, $R/h=0.3$ である。 K_T は、波形勾配の小さい3点で $K_T>1.0$ になっている。この波浪条件は波高 H が小さく、 R/H_0 が約3.0と大きい。ため砕波せず、浅水変形により波高が大きくなる影響が残っているためと思われる。 $H/L>0.02$ ではばらつきはあるものの全体の傾向としては H/L の増加にともない K_T は減少し $K_T=0.55\sim0.3$ の値となる。 K_R は全体的に0.3以下であり、とくに $H/L=0.018$ と 0.038 の周期 $T=1.2$ sの点で小さくなっている。

次に K_T と B/L_0 の関係を R/H_0 をパラメータとして整理した(図4.35)。図中の実線は宇多・小俣による人工リーフの実験結果より得られたものである⁶⁾。両者は良く一致する。可動チューブについて同様に整理した結果を図4.36に示す。固定チューブに比べ全般に透過率が小さくなっていることが分かる。とくに R/H_0 の大きいときに固定式では K_T が1.0をとえていたものが

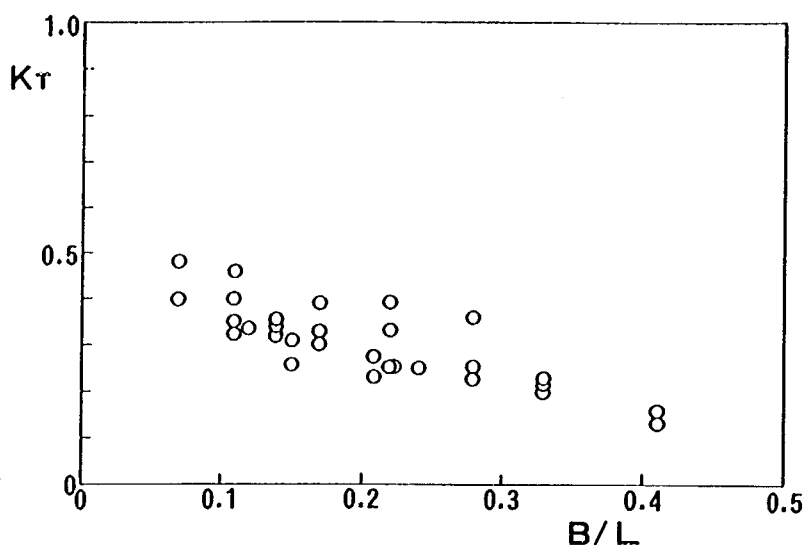


図4.33 ハイブリッド式の K_T と B/L の関係

表4.9 チューブ式の模型諸元

R/h	0.1	0.3
B/h	4.0	8.0

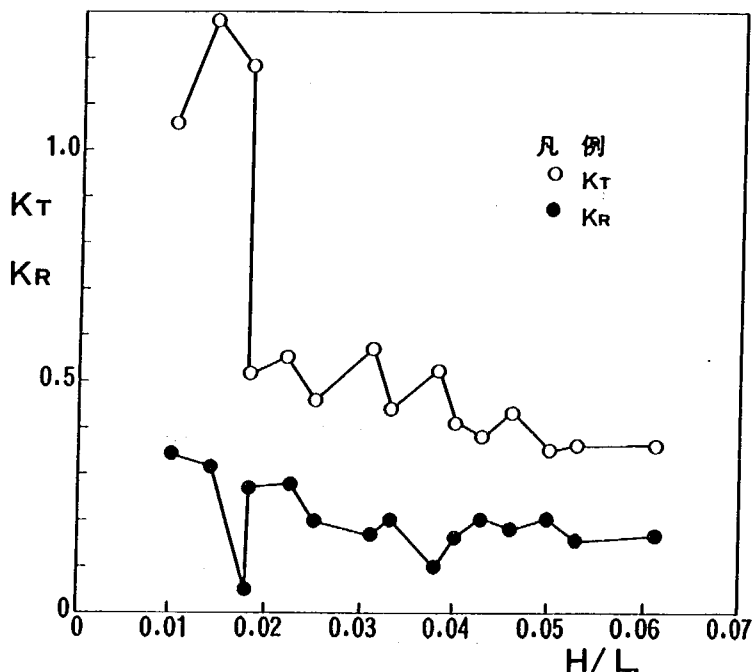


図4.34 固定チューブ式の K_T , K_R と H/L の関係
($B/h=8.0$, $R/h=0.3$)

0.6 ぐらいまで小さくなっている。これは可動チューブ式に期待した効果であり、構造物の動きと波の位相差によるものと考えられる。

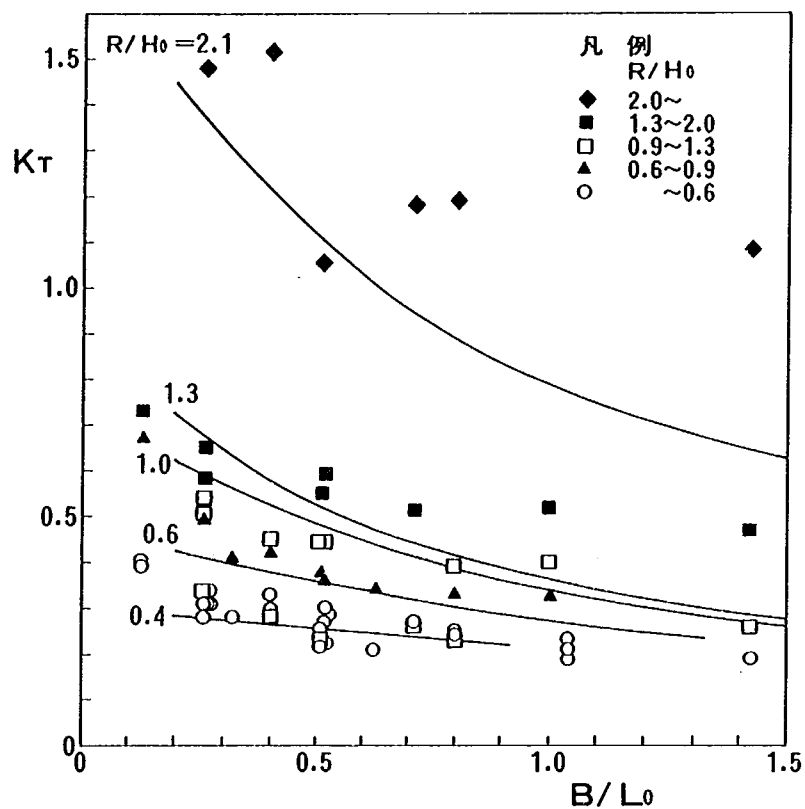


図 4.3.5 固定チューブ式の K_T と B/L_0 の関係

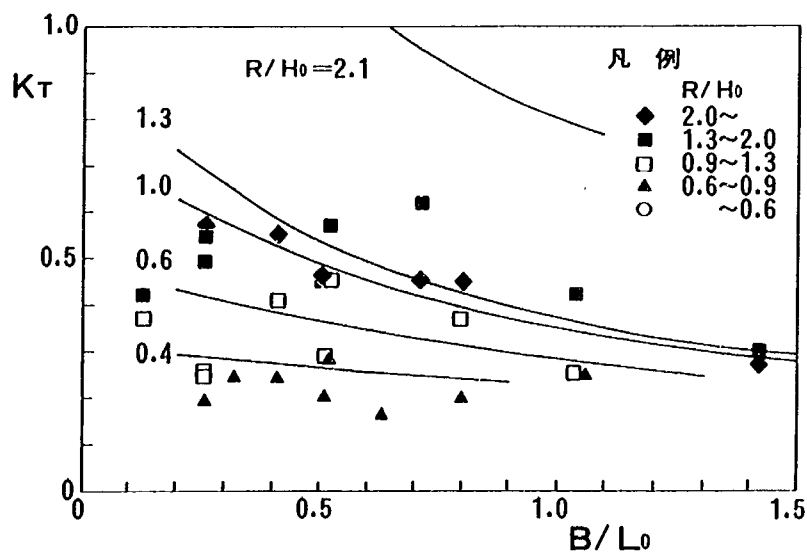


図 4.3.6 可動チューブ式の K_T と B/L_0 の関係

4.4 まとめ

第4章では8種類の模型(スリット式, 立体トラス式, 段違い反射板式, 中詰式, 空気調圧式, バイブ式, ハイブリッド式, チューブ式)を選び, それぞれの波浪制御効果を縮尺1/25の模型実験によって調べた。この結果各模型の消波効果が明らかになったが, 主要な要点を以下にまとめる。

- ① スリット式ではスリット枚数を2枚とし, その間隔等を適切に選べば K_T は0.65~0.4, K_R は0.3程度にすることができる。透過率を小さくするに最小限必要なスリット板の間隔は $B/L=0.2$ で与えられる。また反射率を小さくするには $B/L \approx 0.25$ を満足する必要がある。これは2枚のスリットの反射波の重合効果である。スリットを短い間隔で3枚置くことは有効ではない。
- ② 立体トラス式は構造体内部でのエネルギー損失が大きいために, K_T, K_R をともに相当小さくできる。例えば $B/L=2.0$ の時 $K_T=0.65 \sim 0.33$, $K_R=0.2$ とすることができる。消波効果は良好であるが, 部材が波力に耐えられるかどうか問題である。
- ③ 段違い反射板式はそれぞれ大きさの異なる2枚の不透過板を前後に設置したものである。このタイプは主として波の反射により消波する。したがって, 一般に透過率が小さい模型では反射率が高い。 K_T, K_R は模型形状に大きく依存する。スリット模型と同様に反射率を最小とするには $B/L \approx 0.25$ を満足する必要がある。
- ④ 中詰式はメッシュ状のワクの中に弾性球体を詰めたものである。この模型では密度 γ を大きくし, 例えば $\gamma=0.47$ とすれば反射率が大きくなるが, 逆に $\gamma=0.15$ 程度では透過率が高い。 $\gamma=0.31$ とすればある程度の消波効果が期待でき, B/L を適切に選べば K_T は0.65~0.3の間にすることができる。透過率は立体トラスより小さくすることができるが, 反射率は逆に大きい。
- ⑤ 空気調圧式は2枚の不透過板の反射以外に密閉空気の調圧効果を期待したものであるが, 空気開放型としたときの方が消波効果が高い。 K_T はかなり小さいが, 反面 K_R が大きい。
- ⑥ バイブ式は, 波の入射方向に向けてバイブを多数配置したもので, 波を流れに変えて急拡・急縮および摩擦によるエネルギー損失を消波に利用するものである。この模型では $h_2/h \geq 0.36$ であれば, h_2/h の値によって K_T, K_R は変化しない。幅を大きくすれば消波効果を高められ, $h_2/h=0.36$ で $B/L=0.3$ の時, K_T, K_R ともに0.4程度に減少する。
- ⑦ ハイブリッド式はスリットの中に異形ブロックをつめたものである。透過率を低くするのに必要とする幅は小さくてすむが, 反射率がやや大きい。
- ⑧ チューブ式には固定式と可動式がある。固定式は人工リーフと同様の特性を持つ。可動式は, 固定式に比べ透過率は小さくなる。とくに波高が小さい時にその効果が大きい。

4.5 今後の課題

有脚式構造物についての消波特性は、かなり明らかになった。このため今後はこのうち消波効果の高いものについて、波力、不規則波についての検討のほか、構造物の持つ消波および漂砂制御効果についても調べるべきであろう。また、没水型構造物については、可動チューブ式を中心にまだデータが少なく今後より詳しい検討が必要である。

参考文献

- 1) 谷本勝利・吉本靖俊・和泉田芳和：立体骨組構造防波堤の透過率の推定について，港湾技研・資料，No.394，p.32，1981.
- 2) 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，p.24，1976.
- 3) 建設省河川局海岸課・土木研究所：離岸堤の効果及び安定性に関する研究，第39回建設省技術研究会河川部門指定課題論文集，1986.
- 4) 菅原輝男・長野 章・小林悦郎：直立透過堤の反射率と透過率について，第22回海岸工学講演会論文集，pp.551～555，1975.
- 5) 小蔵 一郎・口田 登・足立一美：低反射・透過型防波堤の設計と施工，海洋開発論文集，Vol. 2，pp.127～132，1986.
- 6) 宇多高明・小俣 篤：人工リーフの波浪減衰機能と海浜流場の形成に関する考察，土木技術資料，Vol. 28，No.2，pp.32～37，1986.

5. 透過性消波構造物の消波効果から 見た分類

建設省土木研究所海岸研究室	室 長	宇多 高明
	研 究 員	村井 禎美
	部外研究員	松尾 和男
	部外研究員	藤原 隆一

THE HISTORY OF THE CITY OF BOSTON

FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY
JOHN H. COLEMAN

5.1 まえがき

近年、海洋開発に関する議論が再び盛んになった。中でも海洋空間利用については種々の検討が行われており、従来利用があまり図られなかった外洋に面した海岸を有効利用することを目的とした計画が提案されている。その場合、外洋に面した海岸は一般に波浪条件が厳しいので、波浪・流れ・漂砂を制御する消波構造物の建設が必要である。このような目的に合致した消波構造物の研究は1950年頃から始まり、これまでに多くの構造物が提案された。土木研究所においても、すでに5種類の消波構造物の消波効果について個々の特性を調べた¹⁾。しかし、構造物を選定する際には個々の構造物の消波効果について調べるだけでは不十分であり、各種の消波構造物の特性をできる限り普遍的に調べておくことが重要である。こうした研究は、これまでも消波構造物の分類をすることによって行われてきている²⁾。しかし、従来の研究では機能別の分類に関しては幅広く取り扱われているものの、実設計でどのようなパラメータに着目したら良いかという点については、やや説明不足であると思われる。

本研究では文献1)に述べられた構造物のほかに、新たに実験を行ったものも含めて計8種類の構造物について、消波効果に影響を及ぼすパラメータに着目して分類を行った。これにより、波浪条件および構造物形状寸法と消波効果の関係を明らかにする。

5.2 実験方法

先に述べた8種類の構造物形態を図5.1に示す。詳細な説明については避けることとし、文献

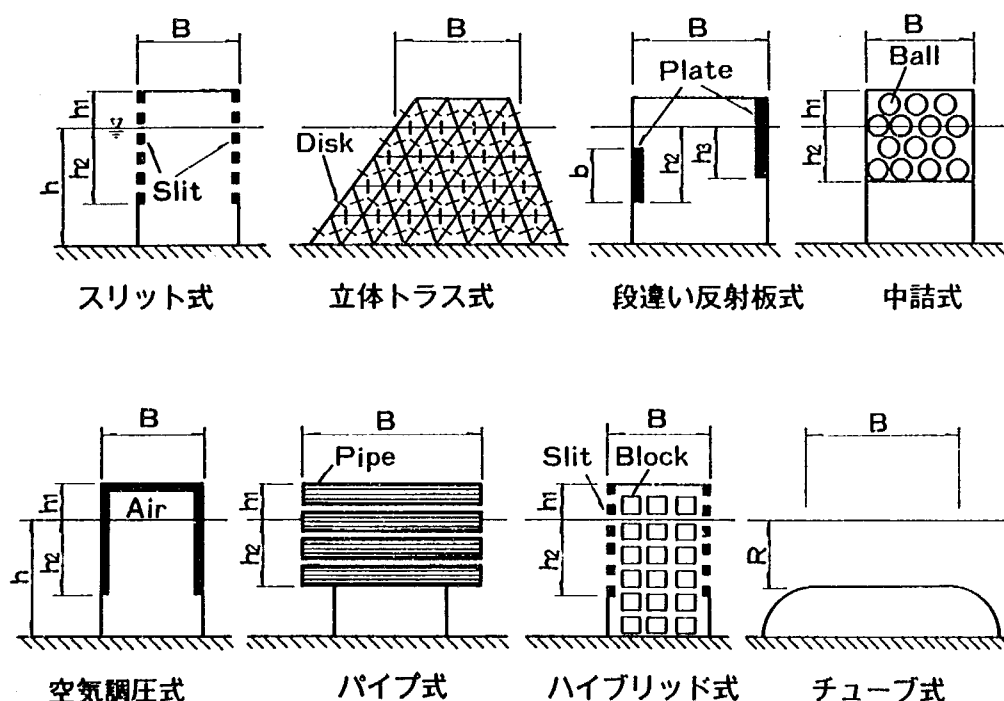


図 5.1 消波構造物の形態

1) 以外に新たに実験を行ったもののみ説明を加える。まず、空気調圧式は、吃水比の同じ2枚の不透過板を前後に設置し、さらに上部を覆うことにより空気を密閉したもので、密閉空気の調圧作用により透過波高を低減させるタイプである。ハイブリッド式は、スリット式の遊水部に消波ブロックを詰めたものであり、波の通過の際の乱れによるエネルギー逸散を利用した消波構造物である。チューブ式は、固定式と可動式の2種類に分かれる。前者は潜堤タイプの消波構造物であり、砕波により透過波高の低減を図る。後者は、柔らかい膜を用いて前者と同一形状につくられた外殻の内部に水を満たした構造物である。前者の消波機能に加え、さらに膜の動きにより透過波高の低減を図る。

測定項目は、入射・反射・透過波高である。各構造物について図5.2に示す実験装置を用い波浪条件を11~15種類変化させて測定を行った。

5.3 実験結果

5.3.1 透過率

スリット式、立体トラス式、中詰式、ハイブリッド式、チューブ式の5種類の構造物の透過率 K_T と波形勾配 H/L との関係を図5.3

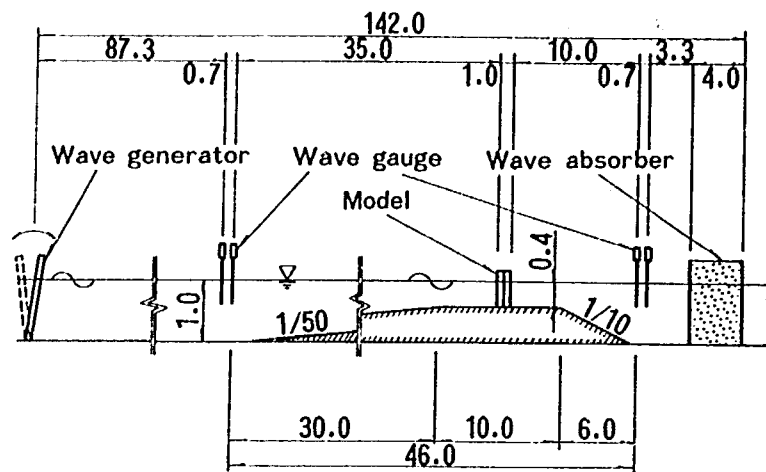


図 5.2 実験装置

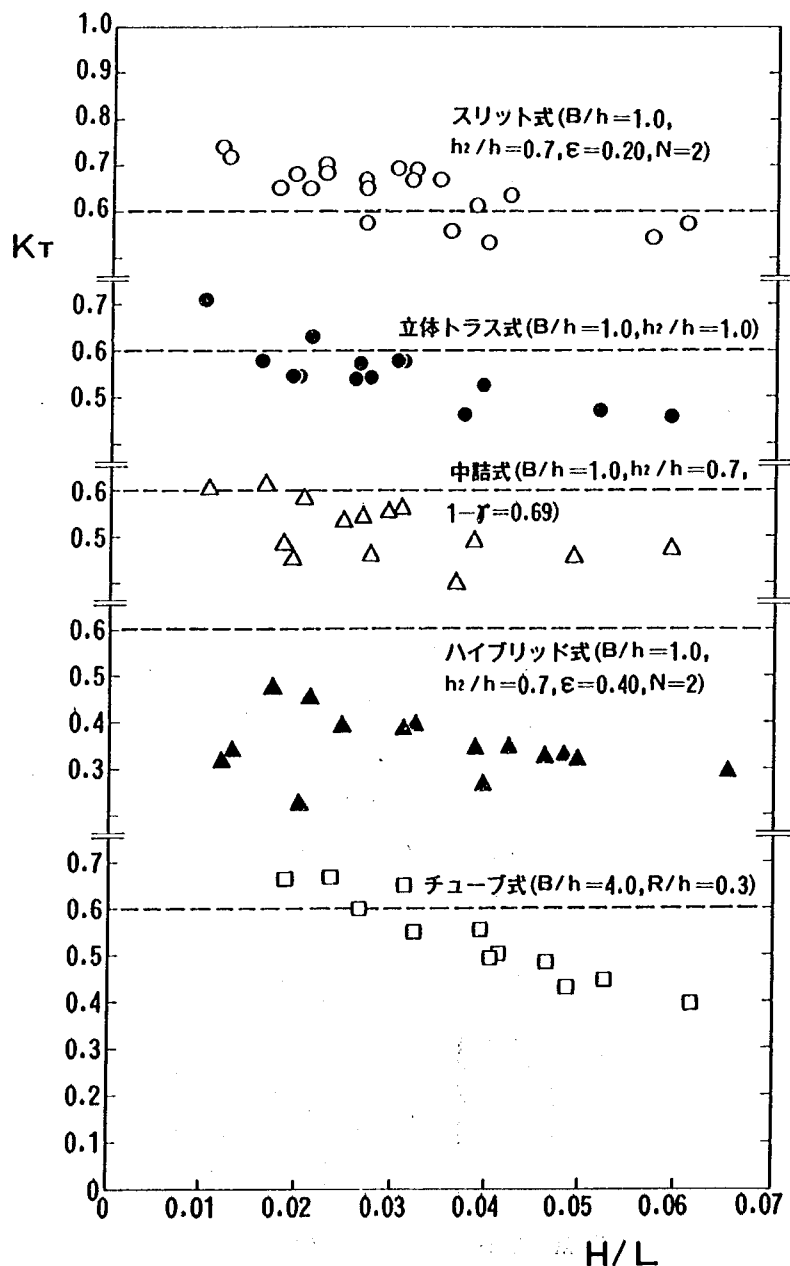


図 5.3 透水性構造物の K_T と H/L の関係

に示す。これより次のことがわかる。

- 1) 各構造物とも、 H/L の増加に伴い K_T は緩やかに減少する。
- 2) チューブ式を除く透水性構造物では、平均的に見て K_T はスリット式、立体トラス式、中詰式、ハイブリッド式の順で低くなる。

立体トラス式のように構造物自体が小さな部材で構成されている場合、入射波が通過する際多くの渦が発生することによりエネルギー逸散が起こる。この種の構造物では、後に説明するよう K_T は主として H/L の関数として表わされる。また、チューブ式の場合には、天端上での砕波により透過率が低下する³⁾。砕波によって運動が波の形態を保てなくなり、乱れが生ずるが、この乱れは水粒子の水平速度成分の2乗に比例すると考えられる。結局、チューブ式のエネルギー損失については、抗力仕事によってエネルギー逸散を生じさせる透水性構造物と同様に扱うことができる。

2)の結果は、空隙率が小さくなるに従い K_T が低下したことを意味すると考えられるが、その理論的根拠については5.4.2で詳述する。

透水性を有する構造物では、波の入射方向に幅 B が大きくなると抗力によるエネルギー損失は増加するので、 K_T は減少する。

この例として、スリット式、立体トラス式、中詰式、ハイブリッド式の K_T と相対幅 B/L との関係を図5.4に示す。すなわち、これらの構造物の K_T は B/L が大きくなると減少する。間隔が B に等しいスリット式の場合、 B/L を大きくとれば各スリットの効果が発揮される。この実験の範囲では B/L が十分大きくないので、 K_T はまだ減少傾向を持つ。

チューブ式構造物に関しては、砕波させることが重要である。砕波には波高天端水深比 R/H_0 と相対幅 B/L_0 が K_T を低下させる主な要因となる。チューブ式の K_T と B/L_0 との関係について、 R/H_0 をパラメータとして図5.5に示す。図中の曲線は

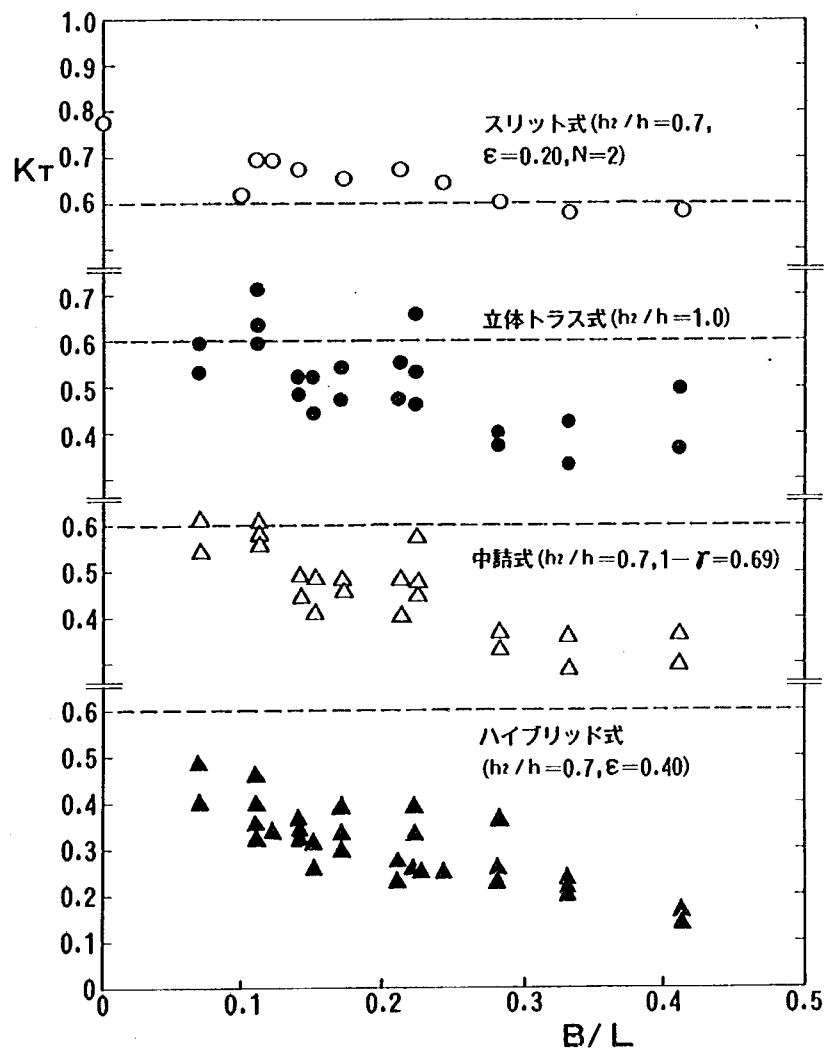


図 5.4 透水性構造物の K_T と B/L の関係

人工リーフの透過率に関する実験曲線である⁴⁾。固定チューブ式の実験結果は、当然のことながら人工リーフの実験曲線とよく一致している。また、可動チューブ式の K_T は、固定式よりも全体的に低くなっている。ここでは詳細な検討を避けるが、可動チューブ式を構成する膜の動き方が、波の進行に対して半波長ずれていることが目視で観察されたことより、両者の位相のずれが K_T の低下の原因と考えられる。

これまでに述べてきた構造物は、水粒子の水平速度成分の2乗に比例したエネルギー損失を利用して透過波高の低減を図るものである。以下では、その他の機構で消波する構造物をとりあげて透過率の面から考察する。

パイプ式、段違い反射板式、空気調圧式の K_T と水深波長比 h/L の関係を図5.6に示す。これより次のことがわかる。

- 1) パイプ式の K_T は、 h/L が大きくなると減少する。
- 2) 段違い反射板式および空気調圧式の場合、 h/L の増加に伴い $h/L \geq 0.1$ で K_T は減少する。ただし、 $h/L < 0.1$ では K_T の増加傾向が見られる。
- 3) 2) に挙げた構造物の K_T は、パラメータ B/h が大きくなるとやや低下するが、実験の範囲では K_T と h/L の関係に比べて K_T の低下割合は小さい。

特徴1)については、その理論的根拠を5.4.3で述べるが、パイプ式における波浪エネルギーの損失の主要因が、透水性構造物

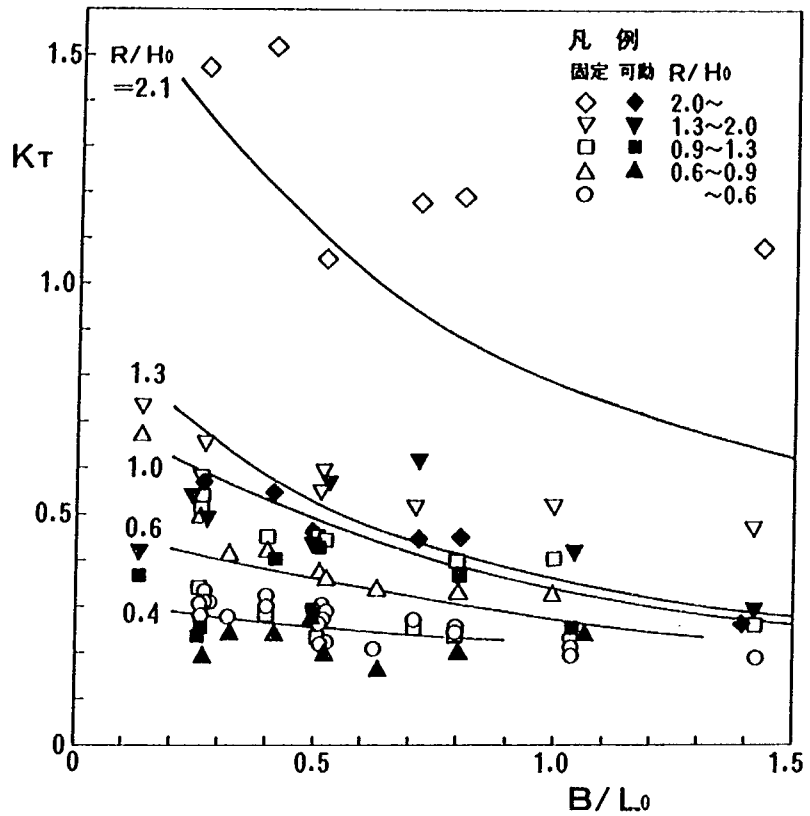


図 5.5 チューブ式構造物の K_T と B/L_0 の関係

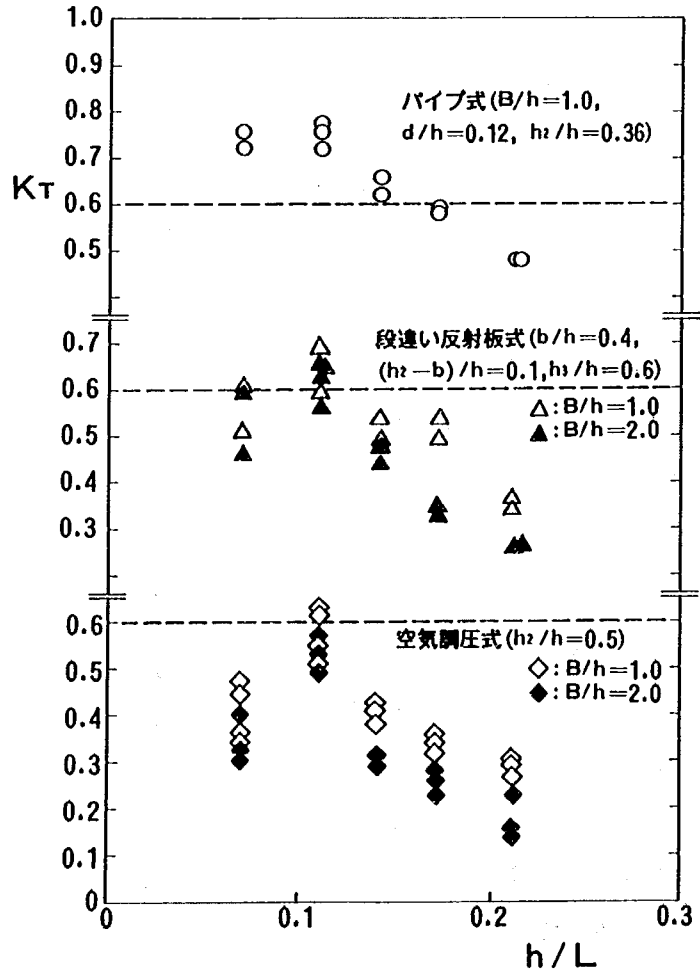


図 5.6 各種構造物の K_T と h/L の関係

の場合の抗力や摩擦力のように乱れによるものでなく、波動を流れに変換したことによると考えられる。特徴2)は次のようである。すなわち、波のエネルギーの水深方向分布は、波長 L が短いとき静水面付近に集中するので、質量が静水面付近に集中する構造物では反射率 K_R が高くなり、逆に K_T は低くなる。 $h/L < 0.1$ の実験結果は全て波の周期 T が2.8 secであるが、実験水路の造波性能から見て、この条件は実験上やや無理があっ

たとえられる。そこで、 $h/L < 0.1$ のデータは除外できよう。特徴3)の理由は次のようである。すなわち、段違い反射板式および空気調圧式は、構造物内部で乱れによってエネルギー損失を起こそうとするものではないため、実験の範囲において構造物の幅 B は K_T に対してほぼ無関係となる。

パイプ式では、 B が大きくなると波のエネルギーを流れに変換する効果が高まるので、 B/L の増加に伴い K_T は減少する(図5.7)。ただし、 d はパイプの外径である。

以上、透過率に関する考察をまとめると次のとおりである。

- 1) エネルギー損失が水粒子の水平速度成分の2乗に比例する形で評価される透水性構造物の K_T は、 H/L の増加に伴い減少する。また、 B/L が大きくなるにつれて K_T は減少する。
- 2) エネルギー損失の小さい構造物の K_T は、波高 H の大小によってはあまり変化せず、 h/L の関数で表わされる。すなわち、 h/L の増加に伴い K_T は減少する。この種の構造物の K_T は、 B/L にはほぼ無関係である。
- 3) パイプ式は、波動を流れに変換することにより波のエネルギーを損失させる機能を持つため、 K_T は H の値にはほぼ無関係であり、 h/L の関数として表わされる。また、 B を大きくすると、波動を流れに変換する機能が高まるので、 K_T は B/L の増加に伴い減少する。

5.3.2 反 射 率

空気調圧式、中詰式、ハイブリッド式、パイプ式、立体トラス式、およびチューブ式の反射率 K_R と水深波長比 h/L の関係を図5.8に示す。有脚式構造物で静水面付近を遮断する場合、水面付近の波のエネルギーが全て反射すると考えれば、 L が短いほど、すなわち h/L が大きくなるに従い K_R は増加する。空気調圧式、パイプ式ではこの傾向が見られる。これに対し、構造物により水

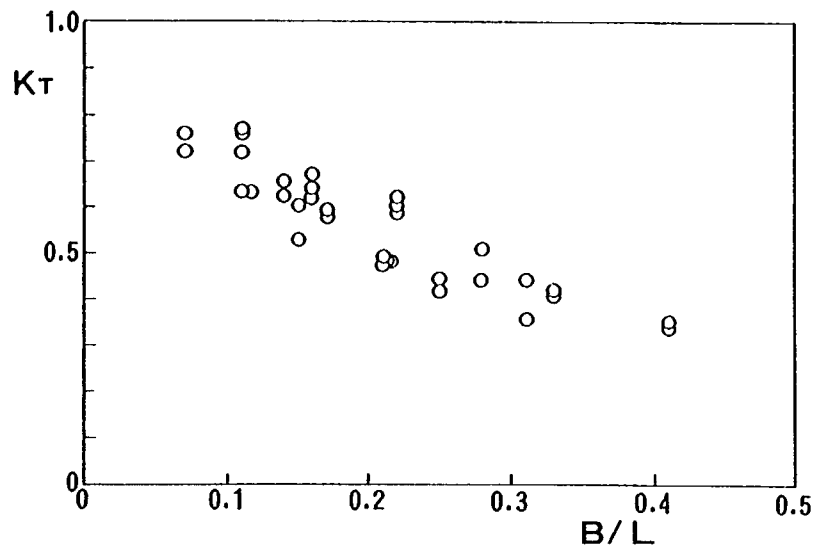


図5.7 パイプ式構造物の K_T と B/L の関係
($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.12$)

底が遮断され静水面付近には障害物がない場合、波のエネルギーは水底付近で全て反射されると考えられる。つまり、チューブ式では、有脚式の場合とは逆に、 h/L が大きくなると K_R は減少する。また、中詰式、ハイブリッド式、立体トラス式などの透水性構造物では、 h/L の増加とともに K_R が緩やかに減少する傾向があるが、これは理論的に説明される。⁵⁾

次に、波長の数分の1程度の大きさの遊水部を持つ構造物の反射率について検討する。この例として、段違い反射板式とスリット式の K_R と B/L の関係を図5.9に示す。これらの構造物では、2つ以上の壁体で反射波が生ずる。同一方向に進行する2つの反射波を考えると、その位相のずれが半波長に相当するとき K_R が最小となる。すなわち、 $B/L = 1/4$ のとき K_R が最小となる。

以上、反射率に関する考察をまとめると次のとおりである。

1) 遊水部を持たない構造物の K_R は、 h/L の関数として表わされる。

2) 遊水部を持つ構造物の K_R は、 B/L

の関数として表わされ、 $B/L \approx 0.25$ のとき K_R が最小となる。

5.3.3 吃水比と消波効果

一般に構造物の吃水比 h_2/h と K_T および K_R との関係については、 h_2/h の値が大きくなると K_T は減少し、 K_R は増加する。¹⁾ バイブ式の場合も同様であるが、その変化の度合いが他の構造物に比較して緩やかなのが特徴である(図5.10)。 $h_2/h = 0.3 \sim 0.7$ の間で消波効果には有意な変化は見られず、従って $h_2/h \approx 0.3$ としても他の構造物と同程度の消波効果が得られる。この理由は、バイブ式と形状が良く似た水平板式消波構造物の例より説明することができる。静水面付近に位置する水平板は、消波の面で有効であるが、枚数を増やしてもその消波効果は徐々に良くなるものの、あまり変化しない。⁶⁾ つまり、水平板式構造物は、波動を流れに変換する機能を持つため、水粒子の水平速度成分が大きい静水面付近でその効果が著しい。バイブ式の場合も全く同

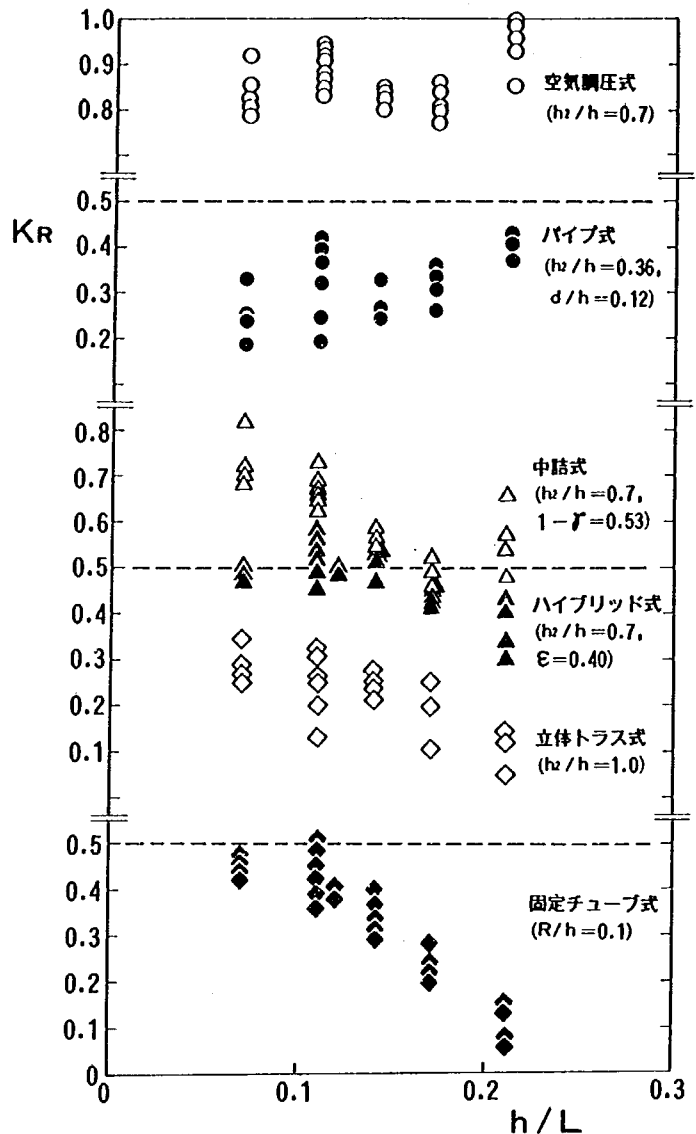


図 5.8 遊水部を持たない消波構造物の K_R と h/L の関係

様である。

以上より、一般に有脚式構造物では、 h_2/h を大きくするほど消 K_R 波効果の面で有効であるが、パイプ式のように波動を流れに変換する構造物では、例外的に h_2/h を比較的小さくできることが明らかである。

5.4 理論的考察

5.4.1 エネルギー損失の小さい構造物の K_T , K_R

入射波のエネルギーが吃水深 h_2 以浅 ($-h_2 \leq y \leq 0$) では反射、 h_2 以深 ($h \leq y \leq -h_2$) では透過されると考える。入射波および透

過波の1周期分の平均エネルギーを $\bar{E}_I$, $\bar{E}_T$ とすれば、 K_T , K_R は次のように表わされる。

$$K_T = \sqrt{\frac{\bar{E}_T}{\bar{E}_I}} = \sqrt{\frac{2kh(1-h_2/h) + \sinh 2kh(1-h_2/h)}{2kh + \sinh 2kh}} = f_T(h/L, h_2/h) \quad (5.1)$$

$$K_R = \sqrt{1 - K_T^2} = \sqrt{\frac{2kh(h_2/h) + \sinh 2kh - \sinh 2kh(1-h_2/h)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

$$= f_R(h/L, h_2/h) \quad (5.2)$$

ここに、 $k = 2\pi/L$ である。

このタイプに属する構造物の中から代表的に空気調圧式を例にとり、実験値と計算値とを図5.11で比較する。これによると、 K_T および K_R の実験値、計算値の変化は同じ傾向を示すが、 K_T の実験値は全体的に計算値よりも低い。この理由として、計算においてはエネルギー損失を無視しているのに対し、実際には構造物下端で剝離による渦の発生があり、これによって波のエネル

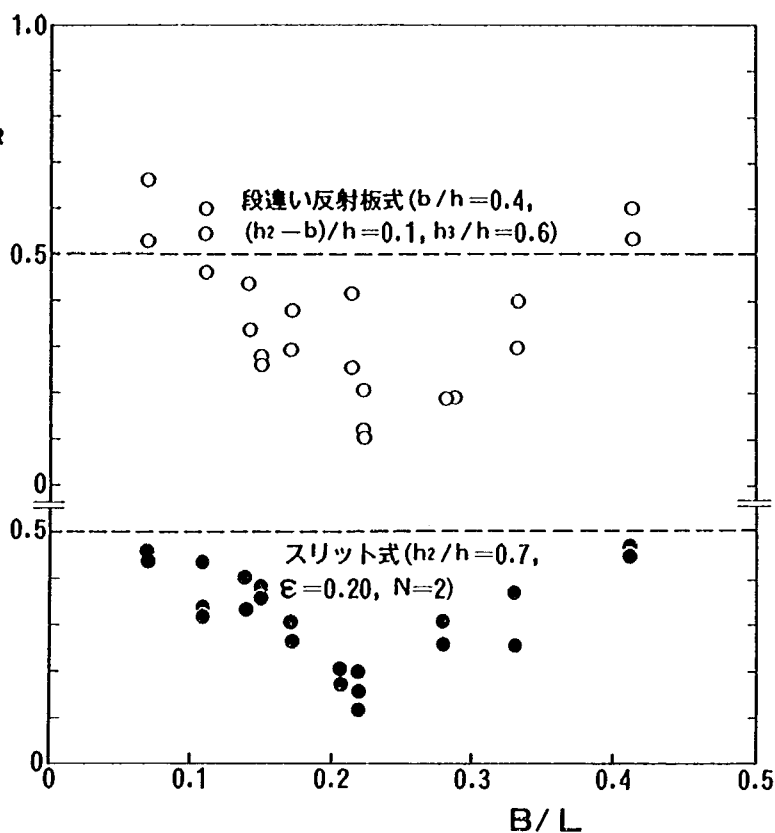


図5.9 遊水部を持つ構造物の K_R と B/L の関係

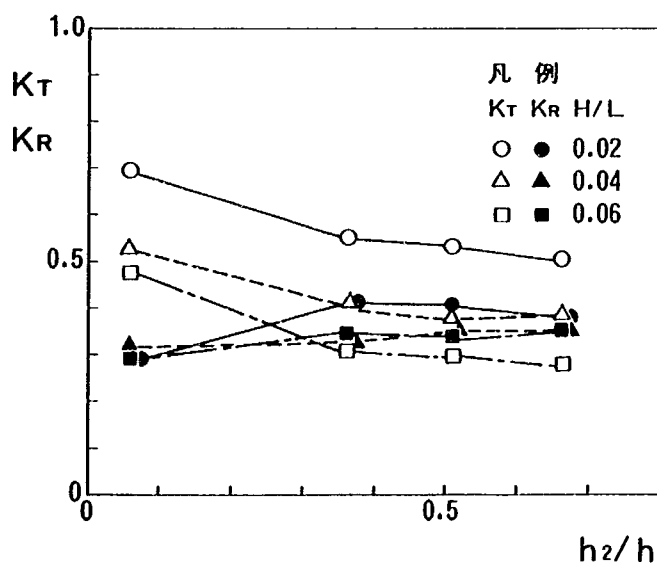


図5.10 パイプ式構造物の K_T および K_R と h_2/h の関係

ギーの損失が生じているためと考えられる。
また、 K_R の計算値と実験値がよく一致していることから、エネルギー損失は主に透過率を低下させる要因となることがわかる。

5.4.2 乱れによるエネルギー損失の大きい構造物の K_T

乱れによるエネルギー損失の大きい構造物については、構造物内部を通過する波のエネルギーが、抗力仕事により一部が乱れとなって損失されると考えると、 K_T は次式で表わされる。⁷⁾

$$K_T = \frac{\sqrt{1 - K_R^2}}{1 + C_D' (B/s') (D/s) (H/L) f'(kh, h_2/h)} \quad (5.3)$$

ここに、 C_D' ：構造物内部に仮定した断面 $s \times s'$ ，高さ h_2 の仮想柱体1本あたりの抗力係数， s ：沿岸方向に測った柱の中心間隔， D ：波の入射方向に直角な平面に投影した仮想柱体の幅， s' ：波の入射方向に測った柱の中心間隔である。また、 $f'(kh, h_2/h)$ は次式で表わされる。

$$f'(kh, h_2/h) = \frac{\frac{4}{9} \left[1 + \frac{3}{\sinh^2 kh} - \frac{\sinh^3 kh (1 - h_2/h)}{\sinh^3 kh} - \frac{3 \sinh kh (1 - h_2/h)}{\sinh^3 kh} \right] \tanh kh}{1 + \frac{2 kh}{\sinh 2 kh}} \quad (5.4)$$

式(5.3)により K_T を計算するためには、 C_D' を決定しなければならない。ここでは、波力実験の結果より C_D' を逆算する方法をとった。スリット式の K_T と H/L の関係について、実験に対応する kh の上、下限を仮定して式(5.3)より求めた計算値と実験値を図5.12に示す。これより、計算、実験結果とも H/L の増加に伴う K_T の減少傾向はほぼ一致しているが、実験値は計算値よりやや低くなっていることがわかる。この原因

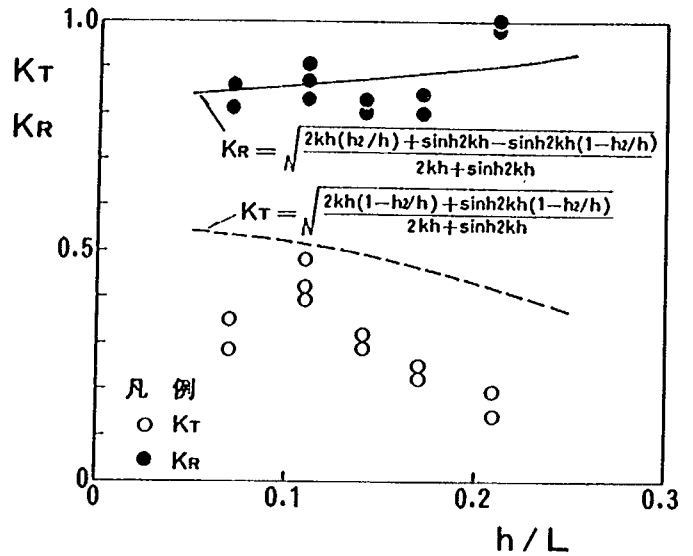


図5.11 空気調圧式構造物の K_T および K_R と H/L の関係 ($B/h=1.0$, $h_2/h=0.7$, $\alpha=6.3$)

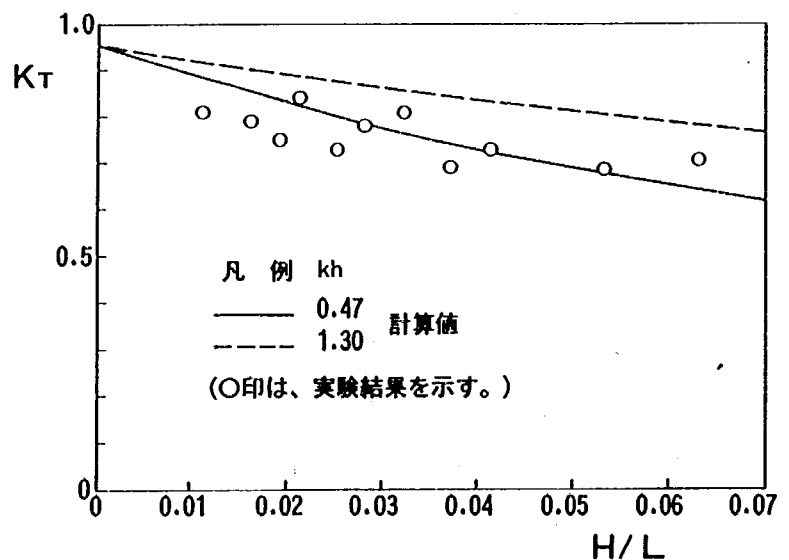


図5.12 スリット式構造物の K_T と H/L の関係 ($B/h=2.0$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon=0.4$)

として、スリット構造下部より発生する剝離渦によるエネルギー損失が考慮されていないためと考えられる。以上より透水性構造物では、抗力仕事によるエネルギー損失を見積ることによって K_T を計算でき、 H/L の関数として表わせることがわかった。

また、式 (5.3) において変数の順序を入れ替えると、分母の式中に B/L が表われるので、これより K_T が B/L の増加に伴い減少することが容易に推察される。

最後に、空隙率が小さくなると透過率が低くなることについて考察する。透水性構造物は、多くの小部材から組み立てられている。図 5.3 を参照すると、中詰式およびハイブリッド式の K_T は、平均的に見てスリット式や立体トラス式の K_T より低い。これは、主に空隙率の値が小さくなったことにより、 K_R が増加した分だけ K_T が低下したためと考えられる。ただし、ここでの空隙率の意味は、構造物の実質空間から構造体の実質体積を除いた部分の実質空間に占める割合を表わす。スリット式では遊水部を持ち、立体トラス式では部材が細く円盤厚も薄いため、空隙率は約 0.9 となっている。これに対し、ハイブリッド式、中詰式の空隙率はそれぞれ 0.47, 0.69 である。したがって、ハイブリッド式および中詰式では、スリット式や立体トラス式に比べて空隙率が小さく、 K_R が増加した分だけ K_T は低下する。

次に、スリット式と立体トラス式、あるいは中詰式とハイブリッド式の間隔を K_T の面から見ると、それぞれ後者の K_T が前者よりやや低くなっている。この理論的根拠は次のようである。透水性構造物の部材寸法が波高に比べて小さく、同時に空隙率が小さいと、部材の沿岸および入射方向の間隔 (s, s') が密になるので、 B/s' 、 D/s は大きくなる。結局、式 (5.3) において分母が大となり、 K_T は低くなる。

5.4.3 乱れ以外によるエネルギー損失の大きい構造物の K_T , K_R

パイプ式は、複列水平板式構造

物とほぼ同じタイプと考えられる。

パイプ式の K_T , K_R と $\sigma^2 h/g$ の K_T K_R 関係について、実験結果を図 5.13 に示す。図中の曲線は、静水面に設置された 1 枚の水平板について、ポテンシャル理論により求めた理論曲線である。⁸⁾ これより、実験結果と理論曲線の傾向がほぼ同じであるが、実験値が理論値に比べて低くなっていることがわかる。

この理由は次のとおりである。すなわち、パイプ式は波のエネルギ

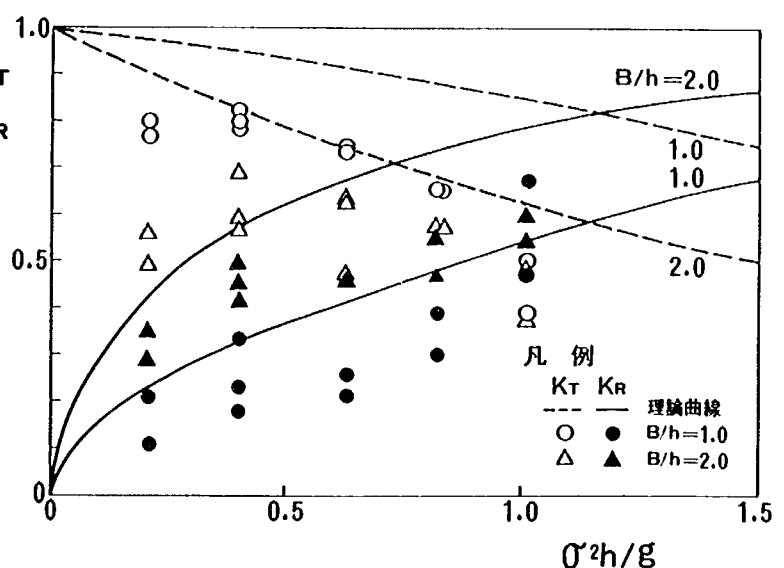


図 5.13 パイプ式構造物の K_T および K_R と $\sigma^2 h/g$ の関係 ($h_2/h = 0.06$, $d/h = 0.055$)

ーを流れに変換するため、波のエネルギーが損失されるが、ポテンシャル理論においてはこの損失が無視されていることによる。

5.5 消波構造物の分類

これまでの検討から得られた結果をまとめると表 5.1 のとおりである。まず、 K_T に着目すると、 H/L に強く依存するものと、 h/L に強く依存するものの2グループに分けられる。前者は、透水性を有し、主に乱れによるエネルギー損失の大きい構造物である。また、このグループの K_T は、 B/L が大きくなるにつれて減少する。一方、後者のグループでは、空気調圧式に代表されるように、エネルギー損失が小さく、 K_T は B/L にほとんど無関係である。ただし、例外として、パイプ式のように波動を流れに変換する構造物では、幅が大きくなると波としてのエネルギーを減衰させる効果がさらに高まるため、 K_T は B/L が大きくなるとともに減少する。

表 5.1 各構造物の消波効果に影響を及ぼす要因

消波効果 構造物名称		K_T		K_R	
		波浪条件	形 状	波浪条件	形 状
有脚式構造物	中 詰 式	H/L	B/L	h/L	—
	ハイブリッド式	H/L	B/L	h/L	—
	立体トラス式	H/L	B/L	h/L	—
	スリット式	H/L	B/L	—	B/L
	段違い反射板式	h/L	—	—	B/L
	空 気 調 圧 式	h/L	—	h/L	—
	パ イ プ 式	h/L	B/L	h/L	—
潜堤	チューブ式	H/L	B/L	h/L	—

K_R については、次のようである。立体トラス式のように、遊水部を持たない構造物の K_R は h/L に依存する。一方、スリット式や段違い反射板式のように、遊水部を持つ構造物では、 K_R は B/L に依存する。

結局、8種類の構造物を消波機能別に分類すると次のとおりである。

- ① 空気調圧式、段違い反射板式：エネルギー損失が小さい。
- ② スリット式、立体トラス式、中詰式、ハイブリッド式、チューブ式：乱れによるエネルギー損失が大きい。
- ③ パイプ式：波動を流れに変換することによる波エネルギー損失が大きい。

5.6 結 論

本研究より得られた成果をまとめると次のとおりである。

- 1) 消波構造物を消波効果と波浪条件および構造物形状寸法の関係から大きく分類すると、①エネルギー損失の小さい構造物、②乱れによるエネルギー損失の大きい構造物、③波を流れに変換することによる波エネルギー損失の大きい構造物の3つのグループとなる。
- 2) それぞれのグループに対して第一に着目すべきパラメータは、① h/L 、② H/L および B/L 、③ h/L および B/L である。
- 3) ①および②のグループに属する構造物では、 h_2/h を大きくすると K_T が低下する反面、 K_R が増加する。在来の離岸堤と同等の消波効果を期待するためには、 $h_2/h \approx 0.7$ とする必要がある。これに対し、③に属する構造物では、 $h_2/h \approx 0.3$ と小さくできる。

参考文献

- 1) 宇多高明・村井禎美・松尾和男・藤原隆一：海域制御構造物に関する実験的研究，土木技術資料，Vol. 29, No. 2, pp. 9~14, 1987.
- 2) 尾崎 晃：消波構造物論，1965年度水工学に関する夏期研修会講義集，B. 海岸・港湾コース，pp. 1~26, 1965.
- 3) 堀川清司：海岸工学，東京大学出版会，p. 317, 1973.
- 4) 宇多高明・小俣 篤：人工リーフの波浪減衰機能と海浜流場の形成に関する考察，土木技術資料，Vol. 28, No. 2, pp. 32~37, 1986.
- 5) 近藤俊郎・竹田英章：消波構造物，森北出版，p. 275, 1983.
- 6) 服部昌太郎：水平板式透過性防波堤の波高伝達，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 513~517, 1975.
- 7) 高山知司・菊地 治・西田一彦：大型浮遊構造物による波の反射および透過に関する模型実験，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 466~470, 1979.
- 8) 井島武士：海岸工学，朝倉書店，p. 315, 1970.

付章 乱れによるエネルギー損失の大きい構造物の透過率

多くの小部材で組立てられた透水性消波構造物の透過率 K_T を求めるには、抗力仕事によるエネルギー損失を考慮する必要がある。¹⁾ 以下に、透水性消波構造物の K_T の理論式を導く手順を詳述する。

A. 1 透水性消波構造物のエネルギー損失率

海中に固定された部材に働く波力は、Morison 公式により水粒子運動速度の 2 乗に比例する抗力 F_D と加速度に比例する慣性力 F_M の和として表わされる。この力による単位時間あたりの平均仕事率 $\bar{W}$ は、水粒子の水平速度成分を u とすれば、次式で与えられる。

$$\bar{W} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} (F_D + F_M) u dt \quad (A. 1)$$

簡単のため、透水性消波構造物が沿岸方向に n 本の異形柱部材で組立てられているものとすれば、式 (A. 1) は式 (A. 2) のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{W} &= \frac{n}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-h_2}^0 \left(\frac{\rho}{2} C_D D u^2 |u| + \rho C_M A \dot{u} u \right) dy dt \\ &= \frac{n \rho C_D D a^3 \sigma^3}{2 T \sinh^3 kh} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \cos^2(kx - \sigma t) |\cos(kx - \sigma t)| dt \int_{-h_2}^0 \cosh^3 k(h+y) dy \\ &\quad + \frac{n \rho C_M A a^2 \sigma^3}{2 T \sinh^2 kh} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sin 2(kx - \sigma t) dt \int_{-h_2}^0 \cosh^2(h+y) dy \\ &= \frac{n \rho C_D D a^3 \sigma^3}{2 T \sinh^3 kh} \cdot \frac{8}{3\sigma} \cdot \frac{1}{3k} [\sinh^3 kh + 3 \sinh kh - \sinh^3 k(h-h_2) - 3 \sinh k(h-h_2)] \\ &= \frac{1}{2\pi} n \rho g \sigma a^3 C_D D f(kh, h_2/h) \quad (A. 2) \end{aligned}$$

ただし、 D : 波の入射方向に直角な平面に投影した異形部材の幅、 C_D : 異形部材の抗力係数、 C_M : 異形部材の質量係数、 A : 異形部材の断面積、 a : 入射波の振幅である。また、式 (A. 2) 中の $f(kh, h_2/h)$ は次式のとおりである。

$$f(kh, h_2/h) = \frac{4}{9} \left[1 + \frac{3}{\sinh^2 kh} - \frac{\sinh^3 kh(1-h_2/h)}{\sinh^3 kh} - \frac{3 \sinh kh(1-h_2/h)}{\sinh^3 kh} \right] \tanh kh \quad (A. 3)$$

ここで、波が構造物を通過する際に、式 (A. 2) で与えられる平均仕事率に相当する分だけエ

エネルギー損失が生ずると考える。単位時間あたりの入射波平均エネルギーを $\bar{E}_I$ 、平均エネルギー損失を $\bar{E}_L$ 、構造物の沿岸方向の延長を ℓ とすれば、エネルギー損失率 K_L^2 は次のようになる。

$$\begin{aligned} K_L^2 &= \frac{\bar{E}_L}{\bar{E}_I} = \frac{\bar{W}}{\bar{E}_I} \\ &= \frac{\frac{1}{2\pi} n \rho g \sigma a^3 C_D D f(kh, h_2/h)}{\frac{1}{4k} \ell \rho g \sigma a^2 \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right]} \\ &= 2 C_D (D/s) (H_I/L) f'(kh, h_2/h) \end{aligned} \quad (A.4)$$

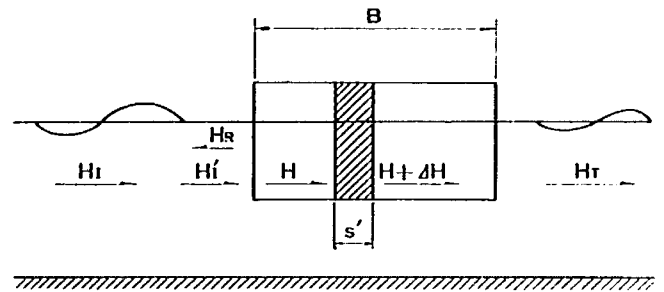
ここに、 s ：沿岸方向に測られた異形部材の中心間隔 ($s = \ell/n$)、 H_I ：入射波の波高、 L ：波長である。また、式中の $f'(kh, h_2/h)$ は、式(A.3)で与えられる $f(kh, h_2/h)$ を用いると次のとおりである。

$$f'(kh, h_2/h) = f(kh, h_2/h) / \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] \quad (A.5)$$

A.2 透水性構造物の透過率

透水性消波構造物の波の入射方向の形状寸法を図A.1に示す。ここに、 s' は波の入射方向に測られた異形部材の中心間隔である。これより、幅 B の構造物内部の入射方向に異形部材が並ぶ列数を m とすれば、 m は次式で表わされる。

$$m = B/s' \quad (A.6)$$



図A.1 透水性消波構造物の形状寸法

構造物内部の異形部材1列を介して入射波高

H が $H + \Delta H$ に変化したとすると、単位列 $\Delta N = 1$ に対する波高変化率 $\Delta H / \Delta N$ は式(A.4)を用いて次のように表わされる。ただし、構造物の内部では反射は生じず、透過・損失のみが生ずるものとする。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta H}{\Delta N} &= H \sqrt{1 - K_L^2} - H \\ &= H \left\{ \sqrt{1 - 2 C_D (D/s) (H_I/L) f'(kh, h_2/h)} - 1 \right\} \end{aligned} \quad (A.7)$$

式(A.7)において、 $2 C_D (D/s) (1/L) f'(kh, h_2/h) \ll 1$ であるからテーラー展開により、式(A.7)は近似式を用いて簡単な形で書き直すことができる。また、式中の $\Delta H / \Delta N$ を dH/dN に書き改めると式(A.8)のようになる。

$$\frac{dH}{dN} = -H C_D (D/s) (H_I/L) f'(kh, h_2/h) \quad (A.8)$$

上式を $N = 0$ のとき $H = H_I'$, $N = m$ のとき $H = H_T$ の境界条件のもとで解くと、次式のとおりである。

$$\frac{H_T}{H_I'} = \frac{1}{1 + mC_D (D/s) (H_I/L) f'(kh, h_2/h)} \quad (\text{A. 9})$$

ここに、 H_I' は入射波が構造物前面より岸側へ伝達される波高であり、次式が成り立つ。

$$\frac{H_I'}{H_I} = \sqrt{1 - K_R^2} \quad (\text{A. 10})$$

したがって、式 (A. 9) および (A. 10) より透水性消波構造物の透過率 K_T は次のようになる。

$$K_T = \frac{H_T}{H_I} = \frac{H_I' H_T}{H_I H_I'} = \frac{\sqrt{1 - K_R^2}}{1 + mC_D (D/s) (H_I/L) f'(kh, h_2/h)} \quad (\text{A. 11})$$

A. 3 透水性消波構造物の透過率と相対幅の関係

構造物の幅 B が変化する場合、式 (A. 6) を式 (A. 11) に代入すると、 K_T を B/L の関数として表わすことができる。

$$K_T = \frac{\sqrt{1 - K_R^2}}{1 + (C_D H_I / s') (D/s) (B/L) f'(kh, h_2/h)} \quad (\text{A. 12})$$

A. 4 抗力係数の算定

式 (A. 11) あるいは式 (A. 12) により透水性消波構造物の透過率を計算するためには、抗力係数を算定する必要がある。図 A. 2 に示す円柱 1 本に作用する波力は、時間 t の関数として表わされるが、波の山が通過するとき抗力のみが作用する。抗力を F_D とすれば、 F_D は次のようになる。

$$\begin{aligned} F_D &= \int_{-h_2}^0 dF_D = \int_{-h_2}^0 \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| dy \\ &= \frac{\rho g a^2 C_D D}{4} \left[1 + \frac{2kh_2}{\sinh 2kh} - \frac{\sinh 2k(h-h_2)}{\sinh 2kh} \right] \cos \theta |\cos \theta| \end{aligned} \quad (\text{A. 13})$$

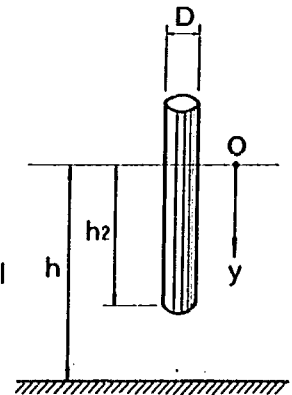


図 A. 2 円柱部材の形状寸法

ここに、 $\theta = kx - \sigma t$ である。

透水性構造物の場合については、 $s \times s'$ の断面を持つ仮想柱体を考える (図 A. 3)。この仮想柱体は複雑な形状を有すると考えられ、この柱体 1 本の抗力係数を C_D' とする。構造物全体に作用する波力を F とし、式 (A. 13) の C_D を C_D' とおくことにより F は次式のように表わされる。

$$F = nmF_D = \frac{\ell B \rho g a^2 C_D'}{4 s'} \left[1 + \frac{2 k h_2}{\sinh 2 k h} - \frac{\sinh 2 k (h - h_2)}{\sinh 2 k h} \right] \cos \theta |\cos \theta| \quad (\text{A.14})$$

波の山が通過するとき波力は最大となる。最大波力を $F_{\max}$ とすれば、 $\cos \theta |\cos \theta| = 1$ において C_D' は次のように表わされる。

$$C_D' = \frac{4 s' F_{\max}}{\ell B \rho g a^2 \left[1 + \frac{2 k h (h_2/h)}{\sinh 2 k h} - \frac{\sinh 2 k h (1 - h_2/h)}{\sinh 2 k h} \right]} \quad (\text{A.15})$$

実験等により $F_{\max}$ を求めることが可能なので、式 (A.15) から透水性構造物の C_D' が、さらに式 (A.11) あるいは式 (A.12) より K_T を計算することができる。

A.5 透水性構造物の透過率の計算例

透水性構造物の中からスリット式を選び、透過率の計算を行う。構造物の諸元は次のとおりである。

$$B/h = 2.0, h_2/h = 0.7, N = 2$$

$$s = 1 \text{ cm}, B = 80 \text{ cm}, \ell = 60 \text{ cm}, s' = 40 \text{ cm}, \rho g = 1 \text{ g/cm}^3, h_2/h = 0.7$$

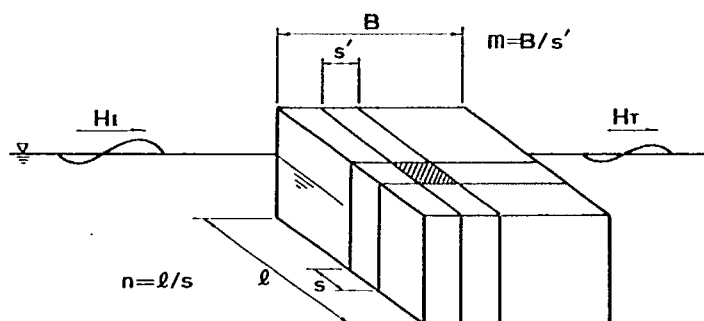


図 A.3 透水性消波構造物中の異形柱体の形状寸法

以上の値を式 (A.15) に代入して C_D' を求める。なお、 $F_{\max}$ は波力実験により下表のとおり測定されている。

波高 H (cm)	周期 T (sec)	kh	振幅 a (cm)	最大水平波力 Fmax (g)	抗力係数 C _D '
12	1.6	0.88	6	4190	3.12
8	2.0	0.69	4	2560	4.13
12	2.0	0.69	6	4500	3.23
16	2.0	0.69	8	6050	2.44
12	2.8	0.44	6	6330	4.34

平均 3.5

スリット式の反射率 $K_R^{(2)}$ を平均的に 0.3 と考え、式 (A.11) に各数値を代入すれば、 K_T は次式により計算することができる。

$$K_T = \frac{0.954}{1 + 7.0 f' (kh, h_2/h) (H/L)} \quad (\text{A.16})$$

なお、式中の $f'(kh, h_2/h)$ の曲線を図 A.4 に示した。これにより、たとえば $kh = 1.26$ (実験範囲で kh の上限) のとき、 $f' = 0.5$ となるから、結局、式 (A.16) は次のようになる。

$$K_T = \frac{0.954}{1 + 3.5 H/L} \quad (\text{A.17})$$

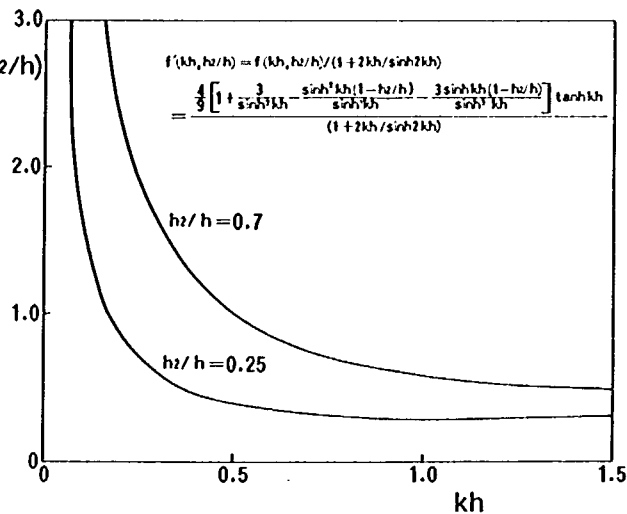


図 A.4 f' と kh の関係

参考文献

- 1) 高山知司・菊地 治・西田一彦：大型浮遊構造物による波の反射および透過に関する模型実験，第 26 回海岸工学講演会論文集，pp. 466～470，1979.
- 2) 宇多高明・村井眞美・松尾和男・藤原隆一：海域制御構造物に関する実験的研究，土木技術資料，Vol. 29, No.2，pp. 9～14，1987.

6. 乱れと反射を利用した海域制御 構造物に関する水理模型実験

共同研究第1グループ

建設省土木研究所海岸研究室	室長	宇多	高明
"	研究員	村井	禎美
飛島建設(株)総合企画本部技術開発部		岡	幸夫
"		川村	哲也
五洋建設(株)技術本部技術研究所		国栖	広志
"		福山	博信
三井建設(株)土木本部土木技術部		高木	春生
"		吉川	雅人
清水建設(株)技術研究所海洋グループ		萩原	運弘
"		大山	巧
大成建設(株)土木本部設計部		渡邊	朗
"		小山	文男

THE HISTORY OF THE CITY OF BOSTON

FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY
JOSEPH NEALE
OF THE BOSTON BAR
IN TWO VOLUMES
VOL. I.
BOSTON: PUBLISHED BY
J. NEALE, 1822.

6.1 まえがき

本研究は、海域制御構造物として考案されている各種消波構造物の中で、主に水粒子の乱れと反射により海域の静穏化を図ることを目的としたいくつかの構造タイプについて、波の反射および透過に関する水理実験を行い、それぞれの水理特性を明らかにしたものである。

消波構造のタイプは、スリット構造、水平板構造等の各種の基本構造と、それらの組み合わせによる多くの構造タイプが考えられ、海域の条件により、効果的な消波性能を有する構造タイプを開発する必要がある。

一方、開発する消波構造物は、静穏な海域を創出するための水理機能のほかに、海象条件の厳しい、水深が相当大きい海域でも建設可能な構造でなければならない。

本研究は、乱れと反射を利用した消波構造物の各種構造タイプとして、有効な消波性能を有し、施工可能性が高いと考えられる構造タイプを抽出して水理特性の検討を行い、実用化への第一ステップとしたものである。

6.2 構造形式概要

水理実験の対象とした構造は、図 6.1 ～ 図 6.6 に示すスリット型構造、平面トラス型構造、水平板付スリット型構造、透過水平板付スリット型構造、改良空気密閉型構造、および中詰型構造の 6 構造である。以下にそれぞれの構造の特徴を記述する。

(1) スリット型構造 (図 6.1)

スリット型構造は、鉛直スリット壁を複数配列することにより、水粒子の乱れおよび反射を引き起こし、消波を行う構造である。スリット型構造については、堤体幅、スリット壁の吃水深、スリット壁の空隙率を変化させた実験がすでに実施されている¹⁾。そこで今回の実験は岸側と沖側でスリット壁の空隙率を変化させ、スリット壁による反射波の位相のずれと乱れにより消波性能をさらに向上させることを狙いとしている。

(2) 平面トラス型構造 (図 6.2)

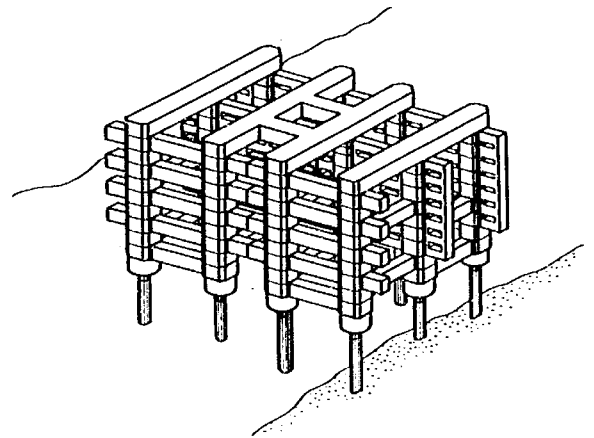


図 6.1 スリット型構造

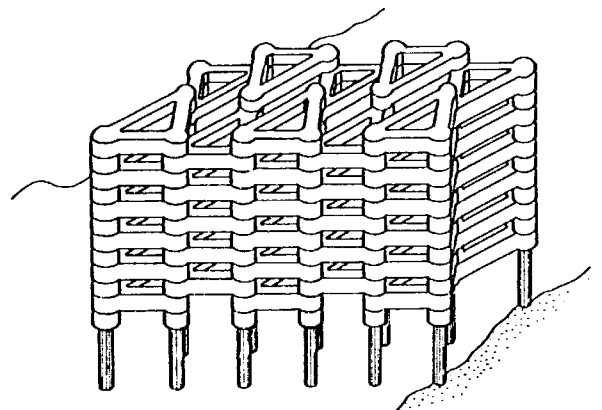


図 6.2 平面トラス型構造

平面トラス型構造は、平面三角形ブロックの組み合わせにより、岸側および沖側の堤体法線方向の鉛直スリット壁のほか、堤体内に斜めの鉛直スリット壁を構築する構造となっている。岸側および沖側のスリット壁のほか、堤体内の斜めのスリット壁により乱れをさらに大きくし、波のエネルギーの減衰を図るものである。

(3) 水平板付スリット型構造 (図 6.3)

水平板付スリット型構造は、複数の鉛直スリット壁のほか、水面付近に水平板を配置した構造となっている。鉛直スリット壁による乱れと反射、それに水平板による乱れと反射および波の条件によっては、水平板上での砕波を期待するとともに、2種の異なる消波特性を組み合わせたことによる相互作用によって、総合的な消波性能の向上を図るものである。

(4) 透過水平板付スリット型構造 (図 6.4)

透過水平板付スリット型構造は、複数の鉛直スリット壁のほか、水面付近にスリット式の水平板を配置した構造となっている。鉛直スリット壁により水粒子の水平方向の乱れを発生させ、さらにスリット間の水平板により鉛直方向の乱れを大きくして波のエネルギーの減衰を図るものである。

(5) 改良空気密閉型構造 (図 6.5)

改良空気密閉型構造は、空気密閉式カーテンウォール堤に反射率低減のための改良を加えたものである。空気密閉式カーテンウォール堤の主な特長は、空気を密閉しない従来の2枚のカーテンウォール堤に比べ、波の透過率を低くできることにある²⁾。すなわち、与えられた透過率を満足するための堤体幅、カーテンウォールの吃水を従来よりも小さくできる。しかし、この構造体そのものは基本的に波のエネルギーを消滅させるものではないため、透過率を低くできる反面、反射率が高くなる傾向がある。そこで、反射波エネルギーを効率的に逸散させるための付加構造として、

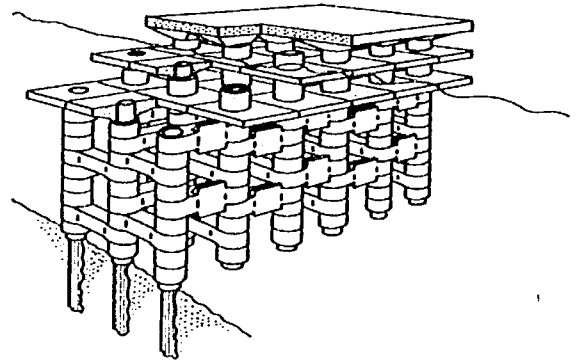


図 6.3 水平板付スリット型構造

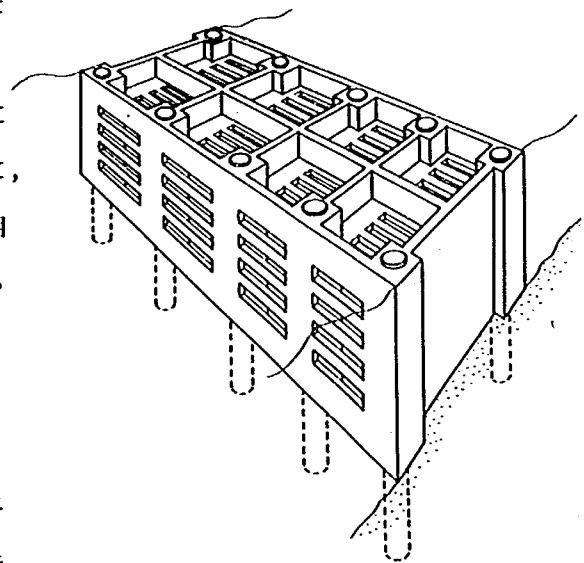


図 6.4 透過水平板付スリット型構造

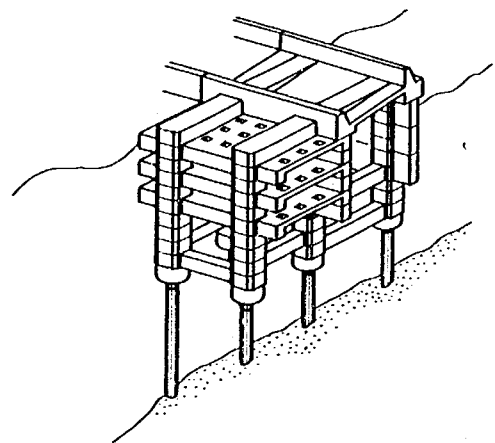
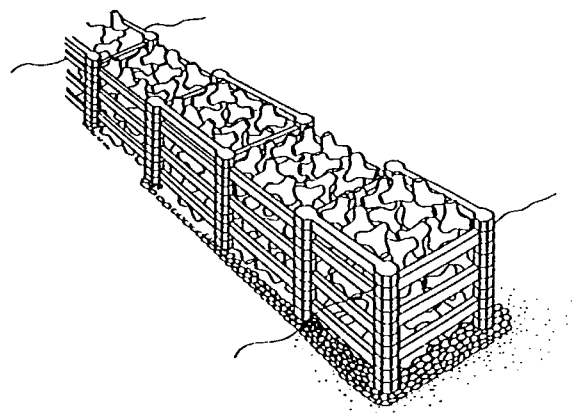


図 6.5 改良空気密閉型構造

空気室前面の複数の水平消波板（多孔板，スリット板），および堤体上に波をはい上がらせる B. D. システム（Bassin - 水たまり，Déversement - 排水）³⁾と称される消波構造の適用を試みた。このうち前者は，カーテンウォール前面における水粒子運動の乱れを利用するものである。反射率が大きい場合，カーテンウォール前面では重複波が形成され，この付近の水粒子はカーテンウォールに沿った上下方向の運動が卓越する。したがって，この運動方向に直角，水平方向に消波板を設置することにより，反射波（重複波）エネルギーを効率的に逸散させることができると考えたわけである。また，後者の構造については，すでに越波防止工として実施された例もある。これは，堤体内に乗り上がった水塊の運動方向を Bassin 後壁（波返し）により変化させ，Bassin 内での流体の乱れおよび堤体上から外海へ排水する際の乱れによるエネルギー損失を利用するものである。

(6) 中詰型構造（図 6.6）

中詰型構造は，鉛直スリット壁を配列した堤体内に消波ブロックを中詰した構造であって，鉛直スリット壁と中詰消波ブロックによる乱れと反射で消波するものである。中詰消波ブロックの天端を水面下にすることにより，通水性の向上と乱れの増大によるエネルギー逸散を期待している。



6.3 実験方法

実験は，建設省土木研究所波浪実験水路内の不規則波造波水路を用いた。

水路は全長 142 m，幅 0.6 m，高さ 1.4 m で，水路端には油圧式不規則波造波装置が取り付けられている。水路床は図 6.7 に示すように，造波板から 88 m の地点まで水平床で，そこから 30 m を勾配 1/50 の一様斜面とし，さらにこれより先 10 m を水平床とした。また水平床より先 6 m

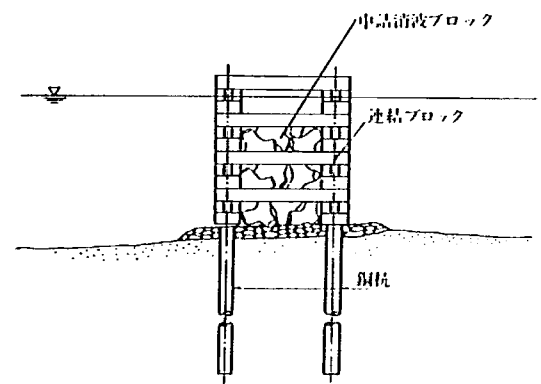


図 6.6 中詰型構造

は勾配 1/10 の一様斜面としてあり，水路端には消波装置を設けている。堤体模型の設置位置は，造波板から 123 m の地点であり，この部分は片面ガラス張りで側面からの観察が可能である。実験の縮尺は 1/25 であり，現地と模型との対比を表 6.1 に示す。なお，消波性能の検討に用いた実験波はすべて規則波であり，表 6.2 に示す 11 波浪を選定した。

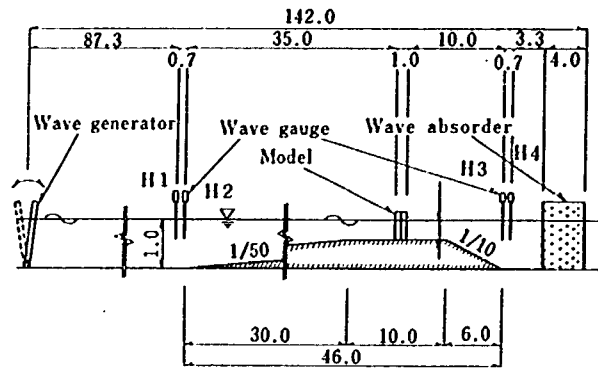


図 6.7 実験装置 (単位: m)

表 6.1 現地と模型との対比

諸 元	実 物	模 型
水 深	1 0 m	4 0 cm
波 高	1 m ~ 4 m	4 cm ~ 16 cm
周 期	6 sec ~ 14 sec	1.2 sec ~ 2.8 sec

表 6.2 水 理 条 件

実験波 番 号	周 期 T (sec)	沖波波高 H ₀ (cm)	沖波波長 L ₀ (cm)	沖波波形 勾 配 H ₀ /L ₀	波 高 H (cm)	波 長 L (cm)	波形勾配 H/L	相対水深 h/L
1	1.2	4	225	0.018	3.7	194	0.019	0.206
2	1.2	8	225	0.036	7.3	194	0.038	0.206
3	1.4	8	306	0.026	7.3	239	0.031	0.167
4	1.4	16	306	0.052	14.7	239	0.061	0.167
5	1.6	12	399	0.030	11.2	283	0.040	0.141
6	1.6	16	399	0.040	14.9	283	0.053	0.141
7	2.0	4	624	0.006	3.9	369	0.011	0.108
8	2.0	8	624	0.013	7.9	369	0.021	0.108
9	2.0	12	624	0.019	11.8	369	0.032	0.108
10	2.8	8	1,223	0.006	8.9	535	0.017	0.075
11	2.8	12	1,223	0.010	13.3	535	0.025	0.075

6.4 構造条件

(1) スリット型

表 6.3 に示すようにスリット壁の枚数，構造物の吃水比およびスリット壁の空隙率を変化

表 6.3 構造条件 (スリット型)

構 造 ケ ー ス	構造条件					実験模型諸量	記 号
	スリット 枚数	h_2/h	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3		
S L 1	2	0.7	0.3	—	0.1	$h=40 \text{ cm}$ $B/h=1.5$ $B_1/B_2=1.0$ $h_1/h=0.5$	
S L 2	3	0.7	0.3	0.2	0.1		
S L 3	3	0.7	0.3	0.2	0		
S L 4	3	0.85	0.3	0.2	0.1		
S L 5	3	1.0	0.3	0.2	0.1		

させた5種類の構造ケースを設定した。模型の堤体幅は、5ケースのいずれの場合も60cm (現地で15m)であり、構造の安定性より杭列が3列になる可能性が大きいと考えられ、3枚のスリット壁よりなる場合をスリット型の基本的な構造タイプとしている。また、模型の天端は静水面上20cmにあり、今回の実験波では越波しない状態になっている。

スリット壁が3枚の場合の空隙率は沖側からそれぞれ ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 としており、岸側になるほど空隙率を小さくとしている。

スリット型に関して、実験で検討する事項は下記の通りである。

① スリット壁が2枚で岸側の空隙率を小さく

した場合の水理特性 (S L 1)

② 同じ堤体幅でスリット壁が2枚の場合と3枚の場合の水理特性の比較 (S L 1, S L 2)

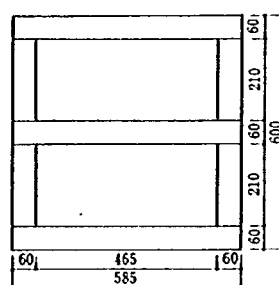
③ 3枚の鉛直壁のうち最も岸側の鉛直壁が透過性の場合と不透過性の場合の水理特性の比較 (S L 2, S L 3)

④ 構造物の吃水深の変化が水理特性に及ぼす影響 (S L 2, S L 4, S L 5)

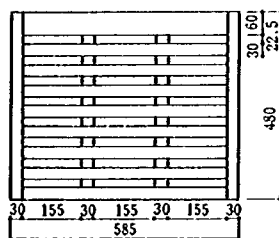
スリット型の模型の一例として、S L 2の構造図を図6.8に示す。

(2) 平面トラス型

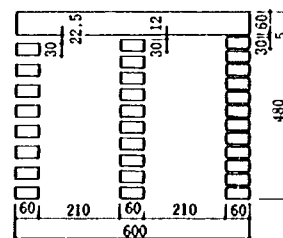
表 6.4 に示すように、沖側、岸側の堤体法線方向の鉛直壁、および堤体内部の斜め鉛直壁のそれぞれの空隙率を変化させた4種類の構造ケースを設定した。



平面図



正面図



断面図

図 6.8 スリット型模型 (S L 2)

表 6.4 構造条件 (平面トラス型)

構 造 ケ ー ス	構造条件			実験模型諸量	記 号
	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3		
TSL 1	0.3	0.3	0.3	$h=40 \text{ cm}$	
TSL 2	0.4	0.3	0.3	$B/h=1.5$	
TSL 3	0.3	0.2	0.3	$B_1/B_2=1.0$	
TSL 4	0.2	0.2	0.2	$h_1/h=0.5$	
				$h_2/h=0.7$	

斜め鉛直壁のないスリット構造で、現在用いられている離岸堤と同程度の消波効果を得るためには、スリット枚数が2枚、堤体幅・水深比 $B/h = 2.0$ 、吃水比 $h_2/h = 0.7$ で、空隙率 ε は0.2以下にする必要があることが実験により確認されている¹⁾。平面トラス型構造では、吃水比は $h_2/h = 0.7$ とし、前回の実験と同様な値をとっている。

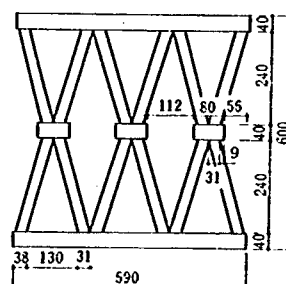
一方、堤体幅は三角形ブロックによる構造物の設計・施工性により $B = 60 \text{ cm}$ (現地で 15 m) としているため $B/h = 1.5$ となる。また、模型の天端は静水面上 20 cm にあり、今回の実験波では越波は生じない。

平面トラス型に関して実験で検討する事項は下記の通りである。

- ① 堤体法線方向の鉛直壁，および堤体内部の斜め鉛直壁の空隙率がすべて 0.3 の場合の水理特性 (TSL1)

- ② 沖側の鉛直壁の空隙率 ε_1 を大きくした場合の影響 (TSL1, TSL2)
- ③ 斜め鉛直壁, および岸側沖側の鉛直壁の効果 (TSL1, TSL3, TSL4)

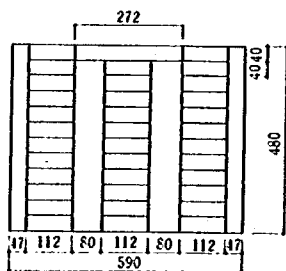
平面トラス型の模型の一例として、TSL1の構造図を図 6.9 に示す。



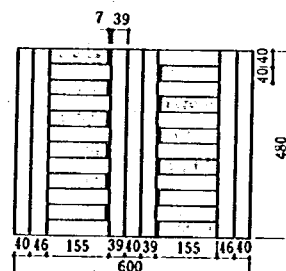
平面图

- ### (3) 水平板付スリット型

表 6.5 に示すように、水平板の枚数、および鉛直壁の空隙率を変化させ、また水平板に透過性がある場合も考慮に入れ、4 種類の構造ケースを設定した。



正面图



側面計測

鉛直スリットの下部堤体幅は水深と等しく B'

図 6.9 平面トラス型模型 (TSL1)

表 6.5 構造条件 (水平板付スリット型)

構 造 ケース	構造条件				実験模型諸量	記号
	水平板枚数	d/h	ϵ_v	ϵ_{II}		
PLS 1	2	0.1	0.3	0.0	$h = 40 \text{ cm}$ $B/h = 1.5$ $B'/h = 1.0$ $B_1/B_2 = 1.0$ $h_1/h = 0.5$ $h_2/h = 0.7$ $R/h = 0.05$ $d/h = 0.10$	
PLS 2	2	0.1	0.4	0.0		
PLS 3	1	-	0.4	0.0		
PLS 4	1	-	0.4	0.1		

= 40 cm (現地で 10 m) とし、構造上の理由からスリットの枚数を 3 枚としたほかは、スリット壁の空隙率、吃水深等は、建設省土木研究所で実験を行った水平板のない通常のスリット構造の場合¹⁾と同様とし、結果の比較ができるようにしている。

水平板の上部堤体幅は、消波性能上の理由から大きくすることが望まれるが、設計、施工上の理由から実現可能な長さとして $B = 60 \text{ cm}$ (現地で 15 m) としている。

水平板の設置水深については、井島ら⁴⁾、田淵ら⁵⁾の理論的研究、および服部⁶⁾、谷本ら⁷⁾の実験的研究を参考とし、自社で確認実験を行った上で、水面付近 ($R/h=0.05$) としている。そこで、水平板1枚の場合は、水平板による反射と乱れ、および波の条件によっては水平板上での砕波による消波効果、2枚の場合は1枚の場合の効果に加えて、水平板の枚数の増加に伴う消波効果の向上、および水平板に挟まれた水平路床部での波が流れに変わる効果を期待している。

水平板の空隙率は、服部⁶⁾の実験的研究から $\epsilon_{11} = 0.1$ としている。

また、水平板より上に突き出した鉛直スリット壁の天端は静水面上 20 cm にあり、実験波は水平板上を越えることはあっても、スリット壁の天端を越えることはない。

水平板付スリット型に関して、実験で検討する事項は下記の通りである。

- ① 水平板が1枚の場合と2枚の場合の水理特性の比較 (PLS2, PLS3)
- ② 鉛直スリット壁の空隙率を変化させた場合の水理特性の変化 (PLS1, PLS2)

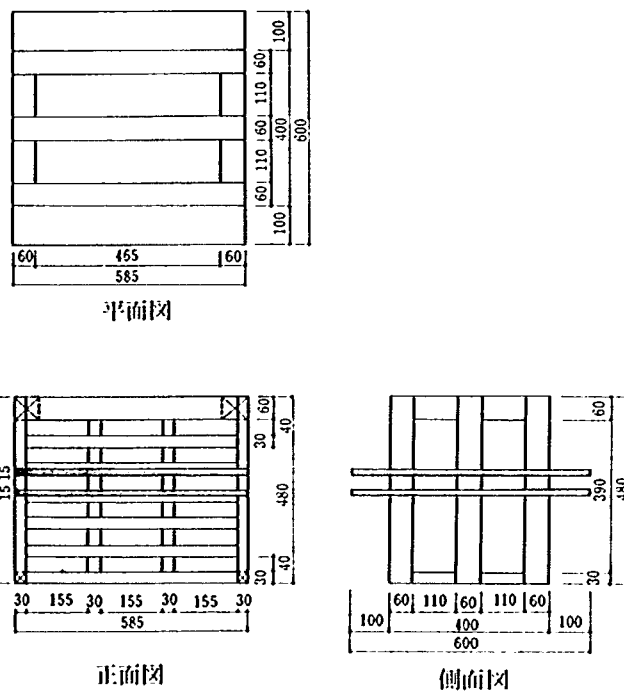


図 6.10 水平板付スリット型模型 (PLS2)

③ 水平板に透過性をもたせた場合の効果 (PLS3, PLS4)

④ 鉛直スリット壁と水平板の相互作用

水平板付スリット型の模型の一例として, PLS2の構造図を図6.10に示す。

(4) 透過水平板付スリット型

表6.6に示すように, 透過水平板の有無, 構造物の吃水深, および堤体幅を変化させ5種類の構造ケースを設定した。表6.6の構造ケースのうち, 透過水平板付スリット型の基本構造はVHS2の構造ケースの場合であり, 3枚の鉛直スリット壁, 静水面付近の水平スリット壁, および不透過性の底板と側壁で構成され, 底板が海底に着定している ($h_2/h = 1.0$)。

その他の構造ケースはVHS2の消波構造要因の効果を調べたり, あるいは消波機能向上のための付加構造の効果を調べるために設定したものである。構造物の堤体幅に関しては, Kondo H.⁸⁾によると有効な消波効果の範囲は $0.1 \leq B/L \leq 0.35$ であり, 周期 $T = 2.8 \text{ sec}$, $L = 533 \text{ cm}$ に対して $B/L = 0.1$ を目標として $B = 50 \text{ cm}$ (現地で 12.5 m) を標準とした。

鉛直壁の空隙率は, 一般の直立消波ケーソンの実験から $0.25 \sim 0.35$ 程度のとき消波効果が良く, この条件を満たす 0.26 の空隙率にした。

表 6.6 構造条件 (透過水平板付スリット型)

構造 ケース	構造条件				実験模型諸量	記 号
	透 過 水平板 枚 数	h_1/h	h_2/h	B/h		
VHS 1	0	0.0	1.0	1.25	$h = 40 \text{ cm}$ $B_1/B_2 = 1.0$ $R/h = 0.1$ $\epsilon_v = 0.26$ $\epsilon_{II} = 0.18$	
VHS 2	1	0.0	1.0	1.25		
VHS 3	1	0.0	0.7	1.25		
VHS 4	1	0.15	1.0	1.25		
VHS 5	1	0.0	1.0	0.75		

水平板の空隙率は, スリット型防波堤に関する永井の研究⁹⁾により, 最も消波効果のよい 0.15 とした。

水平板の設置水深は, 服部⁶⁾によると有効な消波効果が期待できる水平板の設置水深が $0 \leq R/h < 0.2$ 程度 (R : 水平板設置水深, h : 水深) であることから, $R/h = 0.1$ とした。

VHS3において底板を海底面から離れた理由は, 底板を海底面から離すことにより洗掘がほとんど生じなかったという田中の研究¹⁰⁾による。

VHS4は, 岸側の鉛直スリット壁上に越波防止工を取り付けたものである。VHS4を除く

他の4個の構造ケースについては天端は静水面上にある。

透過水平板付スリット構造に関して実験で検討する事項は下記の通りである。

- ① 堤体幅に関する基本的水理特性
(VHS2, VHS5)
- ② 透過水平板の効果 (VHS1, VHS2)
- ③ 構造物吃水深の水理特性に及ぼす影響 (VHS2, VHS3)
- ④ 岸側鉛直壁に越波防止工を付加した場合の効果 (VHS2, VHS4)

透過水平板付スリット型の模型の一例として、VHS2の構造図を図6.11に示す。

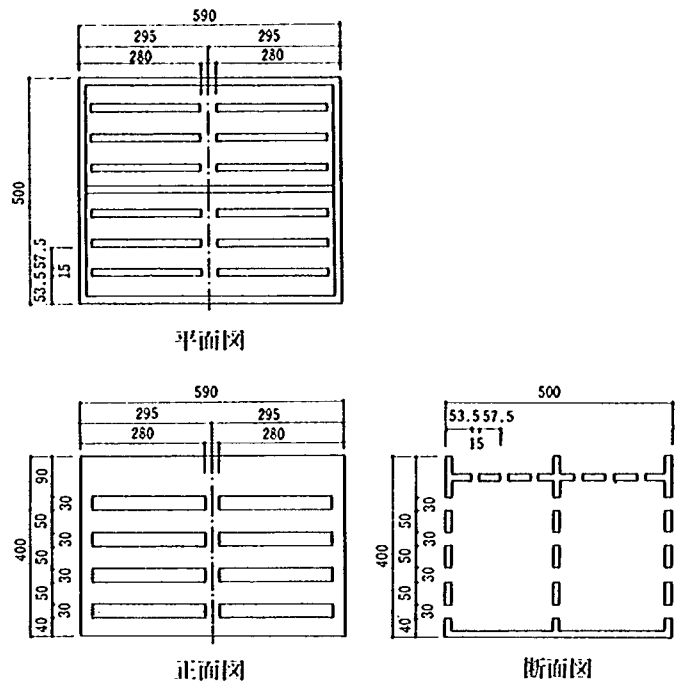


図 6.11 透過水平板付スリット型模型 (VHS2)

(5) 改良空気密閉型

表 6.7 に示すように、空気室条件、水平多孔板の長さ、空気室前面のカーテンウォールの高さを変化させた5種類の構造ケースを設定した。すでに、土木研究所において、反射率低減のための付加構造を用いない空気密閉式カーテンウォール堤について本実験と同じ波浪条件のもとに消波実験を行っている。その結果、堤体幅については $B/h = B_2/h = 1.0$ ，吃水深比については $h_2/h = 0.5$ にすれば、ほとんどすべての波浪条件に対して $K_T \leq 0.6$ を満足することがわかった。この結果に基づいて、本実験では $B/h = 1.2$ ($B = 48 \text{ cm}$ (現地で 12 m))，

表 6.7 構造条件 (改良空気密閉型)

構造 ケース	構造条件				実験模型諸量	記 号
	空気室 条件	B_1/h	B_2/h	h_1/h		
AIR 1	密閉	0.2	1.0	0.4	$h = 40 \text{ cm}$	
AIR 2	開放	0.2	1.0	0.4	$B/h = 1.2$	
AIR 3	密閉	0.2	1.0	0.2	$h_1/h = 0.4$	
AIR 4	密閉	0.5	0.7	0.4	$h_2/h = 0.5$	
AIR 5	密閉	0.5	0.7	0.2	$h_3/h = 0.15$	
					$\epsilon = 0.3$	

$h_2/h = 0.5$ で一定とした。B を若干大きくしたのは、空気室前面に消波板を取付けるためである。

空気室前面の水平多孔板は、空隙率を 0.3，枚数を 3 枚で一定とした。ただし、その長さを 8 cm（現地で 2 m）および 20 cm（現地で 5 m）と変化させ、反射率低減効果を比較する。また、前面カーテンウォールの静水面からの高さ h_4 を変化させ、堤体上に波を乗り上げさせる場合（B.D. システムを用いる場合）とそうでない場合の比較を行う。ただし、波を乗り上げさせる場合の高さは、 $h_4/h = 0.2$ で一定とする。（ $h_4/h = 0.4$ では、全ての波浪条件で乗り上がらない。）また、空気を密閉することによる効果を調べるために、空気室上部に通気孔を設けた開放型（従来のカーテンウォール堤）

との比較をする。

改良空気密閉型に関して、実験で検討する事項は下記の通りである。

- ① 堤体前面の多孔板によるエネルギー損失効果（AIR1，AIR4）
- ② B.D. システム（堤体への波の乗り上げと戻り流れを引き起こすシステム）によるエネルギー損失効果（AIR1 と AIR3，AIR4 と AIR5）
- ③ 密閉型と解放型の水理特性の比較（AIR1，AIR2）

改良空気密閉型の模型の一例として、

AIR5 の構造図を図 6.12 に示す。

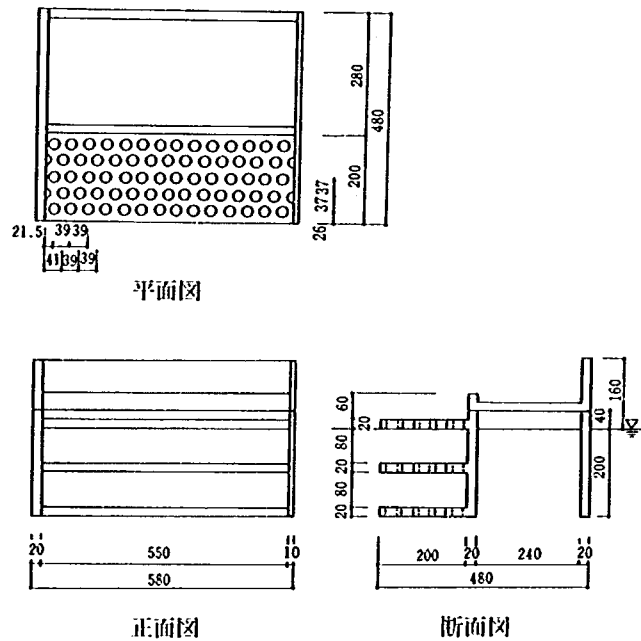


図 6.12 改良空気密閉型模型（AIR5）

(6) 中詰型

表 6.8 に示すように中詰消波ブロックの有無，中詰消波ブロックの没水深により 3 種類の

表 6.8 構造条件（中詰型）

構造 ケース	構造条件		実験模型諸量	記号
	中詰消波 ブロック	R/h		
NS1	有	0.1	$h = 40 \text{ cm}$ $B/h = 1.5$ $B_1/B_2 = 1.0$	
NS2	有	0.3	$h_1/h = 0.3$	
NS3	無	—	$h_2/h = 1.0$ $\epsilon = 0.28$	

構造ケースを設定した。模型の堤体幅はスリット型と同様に 60 cm（現地で 15 m）であり、鉛直スリット壁は 3 列となっている。中詰消波ブロックの没水深は 4 cm（現地で 1 m）の場合と 12 cm（現地で 3 m）であり、実験波によっては、鉛直壁を越波する。

中詰型構造に関して、実験で検討する事項は下記の通りである。

- ① 中詰消波ブロックの天端高を変えた場合の透過率，反射率の変化
- ② 中詰消波ブロックの消波効果

中詰型の模型の一例として，NS 1 の構造図を図 6.13 に示す。

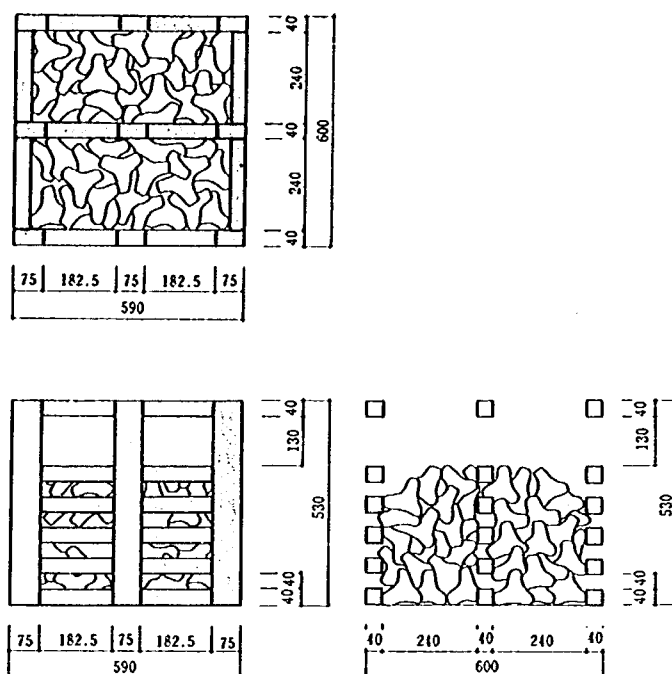


図 6.13 中詰型模型（NS 1）

6.5 測定方法

(1) 波高の測定

透過率，反射率の測定では，各模型に 11 波浪を作用させ，入射波高 H_I ，反射波高 H_R ，透過波高 H_T を求めた。波高測定は，模型前後の水深 100 cm の 2 地点にそれぞれ 2 台の容量式波高計を 70 cm 間隔に設置し，海洋沿岸実験自動化装置を用い，同時測定を行った。海洋沿岸実験自動化装置は，波高計アンプからの出力電圧（水位）を A/D 変換器を通しデジタル値に変換し，小型計算機によりフロッピーディスクに記録するものである。水位データは，表 6.9 に示すサンプリング間隔で，20～25 波分の計測を行った。また，測定の開始時刻は，模型沖側の波高計の位置に，模型からの反射波が到達し安定した直後とした。

表 6.9 データ・サンプリング間隔

実験名	設定周期 (s)	データ・サンプリング間隔 (ms)
消波実験	1.2, 1.4, 1.6	50
	2.0, 2.8	70

(2) 波高計の検定

波高計の検定は，波高計アンプからの出力電圧との関係を調べるもので，毎日実験の前に行

った。まず、検定台車に波高計を取り付けて垂直移動し、各波高計からの出力電圧 V と、移動距離 Z の関係を波高計検出部 12.5 cm 間について、0.25 cm 間隔毎に求めた。次にこれらのデータを一次式 ($Z = aV + b$) に近似し、最小二乗法により水位と電圧との関係を算出した。

(3) 反射率及び透過率の計算

反射率は、合田・鈴木の方法¹¹⁾により求めた。この方法は、合成波領域の近接する2地点の水位変動を同時計測し、入射波と反射波を分離して反射率を算定するものである。まず、模型沖側、図 6.7 の H1, H2 で計測した水位変動から、入射波高 H_I' と反射波高 H_R' を設定周期のモードで分離した。さらに、水路の摩擦による波の減衰を考慮して、模型設置位置での入射波高 H_I 、反射波高 H_R に換算するため、次式によって、 H_I 、 H_R を求めた。

$$H_I = H_I' \cdot Kf_1 \quad (6.1)$$

$$H_R = H_R' \cdot \frac{1}{Kf_1} \left(\frac{Ks_{40}}{Ks_{100}} \right)^2 \quad (6.2)$$

ここに、 Kf_1 は波高の減衰率 ($Kf_1 = H_I / H_I'$)、 Ks_{40} は水深 40 cm での浅水係数、 Ks_{100} は水深 100 cm での浅水係数である。 Kf_1 の値に関しては、水路に実験模型を設置しない状態で、実験波の周期、波高ごとに測定した (図 6.14 参照)。次に、算定した H_I 、 H_R から反射率 K_R を式 (6.3) により求めた。

$$K_R = \frac{H_R}{H_I} \quad (6.3)$$

一方、透過率の算定についても、反射率の算定と同様な計算方法を用いた。まず、模型岸側、図 6.7 の H3, H4 で計測した水位変動から透過波高 H_T' を分離し、さらに水路の摩擦による波の減衰を考慮した模型設置位置での透過波高 H_T を式 (6.4) により求めた。

$$H_T = H_T' \cdot Kf_2 \quad (6.4)$$

ここに Kf_2 は波高の減衰率 ($Kf_2 = H_T / H_T'$) である (図 6.14 参照)。次に、算定した H_I 、 H_T から透過率 K_T を式 (6.5) により求めた。

$$K_T = \frac{H_T}{H_I} \quad (6.5)$$

6.6 透過および反射特性に関する実験結果

6.6.1 スリット型*

(1) 岸側スリット壁の空隙率を小さくした場合 (スリット壁 2 枚)

土木研究所で実施したスリット模型に対する実験結果¹⁾によると、現在用いられている離岸堤の透過率の上限値 0.6 程度を満足し、同時に反射率を小さくする構造諸元として相対幅 B/B

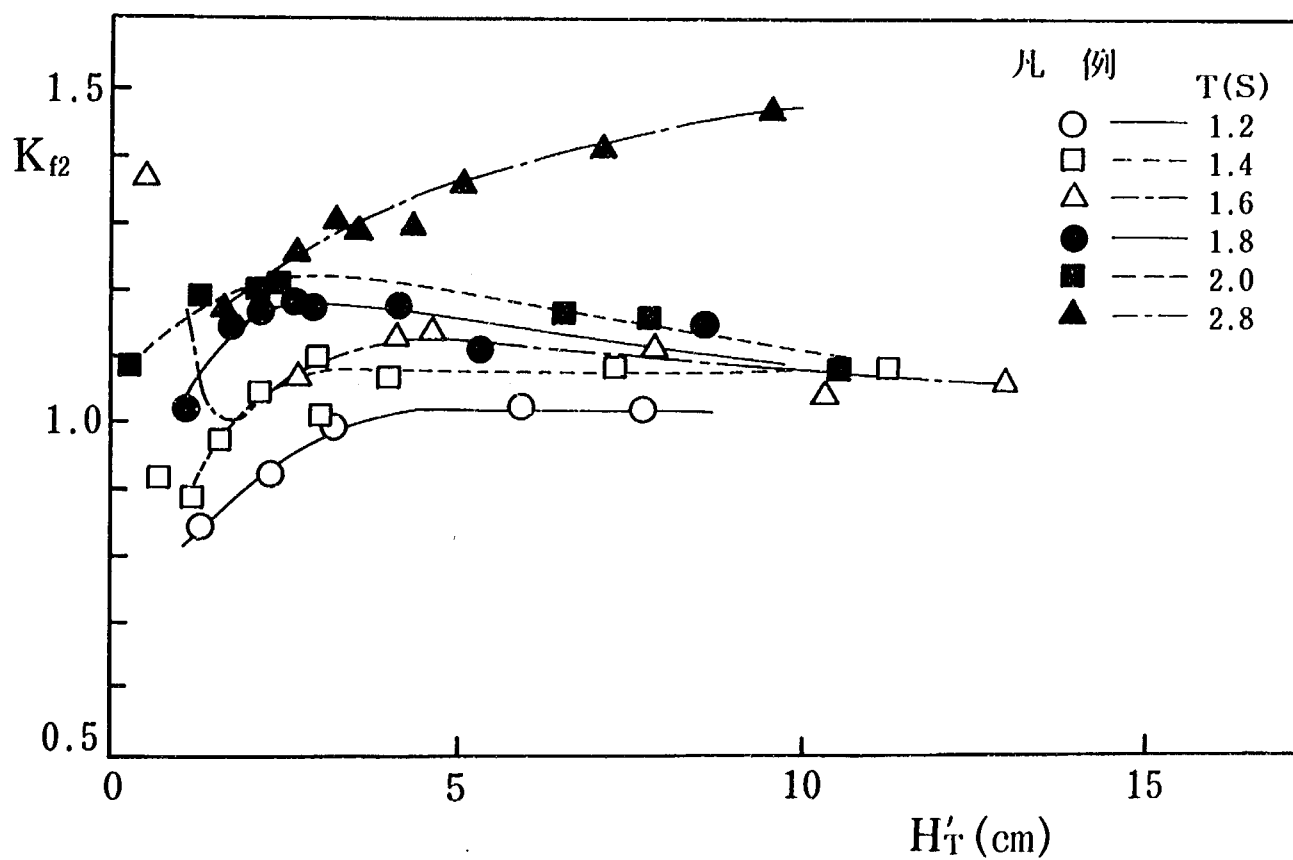
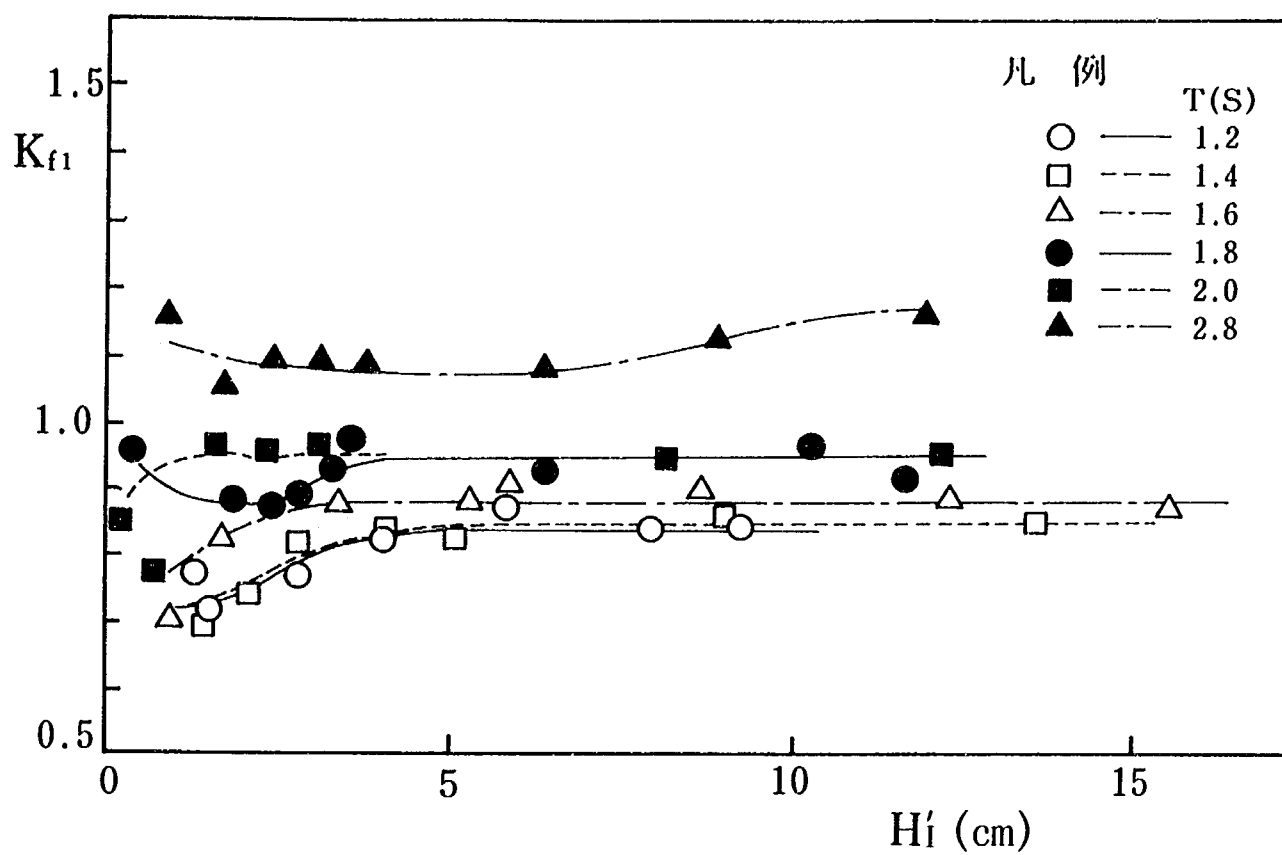


图 6.14 波高衰减率算定图

$L \approx 0.25$ ，吃水比 $h_2/h = 0.7$ ，空隙率 $\epsilon = 0.2$ ，スリット壁の枚数 $N = 2$ にする必要があることが見出されたが，相対幅 $B/L < 0.25$ では透過率が 0.6 より大きくなり，長周期の波に対して必ずしも満足する消波効果が得られなかった。そこで，消波効果の改善，とくに透過率の低下をはかるために岸側スリット壁の空隙率 ϵ_2 を 0.2 より小さく $\epsilon_2 = 0.1$ として実験を行った。結果を，前述した土木研究所で

の実験結果と合わせて図 6.15 に示した。なお，この場合，沖側スリット壁の空隙率 ϵ_1 は反射率があまり増加しないように $\epsilon_1 = 0.3$ とした。図から明らかなように，透過率 K_T ，反射率 K_R とも土木研究所の実験結果と大差は見られない。実験では堤体幅 $B = 60 \text{ cm}$ 一定であるので， $B/L < 0.25$ すなわち長周期の波になるほどエネルギーの鉛直分布が水面から水底までほぼ一

様になるため， K_R においては若干の低下が認められるものの，やはり K_T は 0.6 を越える結果となっている。

(2) スリット壁が 2 枚の場合と 3 枚の場合の比較

土木研究所の実験ではスリット壁の枚数 $N = 3$ の場合， $N = 2$ の場合の透過率に比べて差異が認められなかったことを報告している。¹⁾ しかし，堤体幅が 10 m 以上の現地構造物を考えた場合，構造物の安定性の面から 2 枚スリット壁構造よりも 3 枚スリット壁構造にする必要がでてくる。3 枚スリット壁構造において透過率および反射率を同時に小さくする最適構造諸元として，萩原¹²⁾ はスリット壁の間隔 $B_1/B_2 = 0.5 \sim 2.0$ ，沖側スリット壁の空隙率を $0.2 \leq \epsilon_1 \leq 0.5$ ，岸側スリット壁の空隙率 $\epsilon_3 \approx 0.1$ ，中間スリット壁の空隙率 ϵ_2 を $\epsilon_3 \leq \epsilon_2 \ll \epsilon_1$ に選定する必要があることを明らかにしている。ただし，吃水比は $h_2/h = 1.0$ の条件である。次に，吃水比 $h_2/h = 0.7$ の場合であるが，図 6.16 にスリット壁の空隙率をそれぞれ $\epsilon_1 = 0.3$ ， $\epsilon_2 = 0.2$ ， $\epsilon_3 = 0.1$ ，とした 3 枚スリット壁構造 (SL2) と前述した $\epsilon_1 = 0.3$ ， $\epsilon_3 = 0.1$ とした 2 枚スリット壁構造 (SL1) との透過率 K_T と反射率 K_R を，横軸に相対幅 B/L をとって比較した。図中の線は実験値の平均を結んだものである。両者の K_T は B/L に対してほぼ同様な傾向を示すが， K_T の大きさはスリット壁の枚数が多く，スリット壁でのエネルギー損失の大き

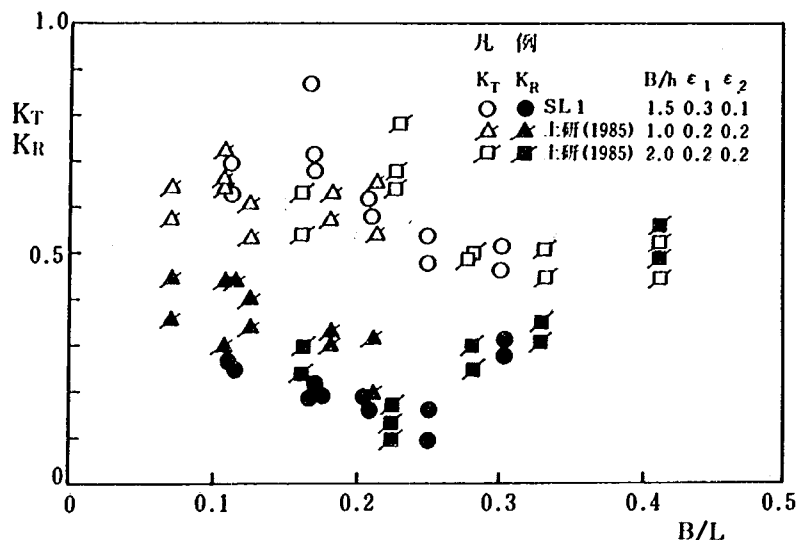


図 6.15 スリット型 (SL1) および土研 (1985) の K_T ， K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.7$ ， $N = 2$)

いSL2の方がSL1よりも平均的にみて若干小さくなっている。しかし $B/L < 0.2$ の範囲では、やはり K_T が 0.6 を越えている。一方、 K_R の B/L に対する両者の傾向は若干異なる。すなわちSL1が $B/L \approx 0.25$ で極小反射率をとるのに対して、SL2の反射率は B/L が大きくなるにしたがい、ほぼ直線的に減少する。これは波長の短い波に対してエネルギー消散を有効に発揮させるために、中間スリット壁が重要な役割を演じていることを意味している。

(3) 岸側の鉛直壁が不透過性の場合と透過性の場合の比較

次に、吃水比 $h_2/h = 0.7$ の場合の透過率低減の工夫として、3枚スリット壁構造の岸側スリット壁が不透過 ($\epsilon_3 = 0$) な場合 (SL3) を考える。これは、吃水比 $h_2/h = 0.7$ のカーテンウォールの前面に空隙率が $\epsilon_1 = 0.3$ および $\epsilon_2 = 0.2$ のスリット壁が2枚設置された構造と見な

すことができ、SL2とSL3の透過率 K_T および反射率 K_R を比較して図 6.17 に示す。SL3の透過率 K_T は、SL2に比べて B/L の変化に対し全体的に低下している。特に、波長の短い波に対して減少の割合が大きいが、波長の長い波では顕著な低下は認められず、相対幅 $B/L \approx 0.16$ (この時、相対水深 $h/L \approx 0.1$ である。) で $K_T > 0.6$ の場合がみられる。この結果は、吃水比と相対水深により透過率が大きく変化する単一のカーテンウォールの結果¹³⁾とほぼ一致している。一方、SL3の反射率 K_R は、SL2に比べてカーテンウォールでの反射エネルギーが増加するため透過率の減少割合に応じて増加している。以上のことから、長周期の波に対しても透過率 $K_T \leq 0.6$ を確保するためにはスリット壁の吃水深を大きくする以外に方策がな

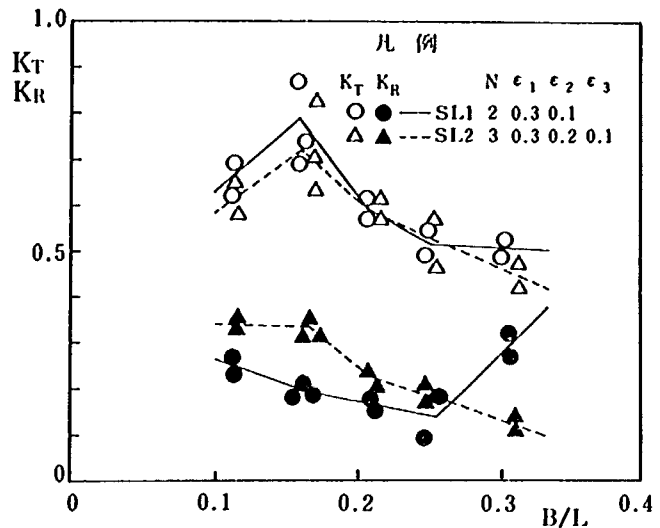


図 6.16 スリット型 (SL1, SL2) の K_T, K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5, h_2/h = 0.7$)

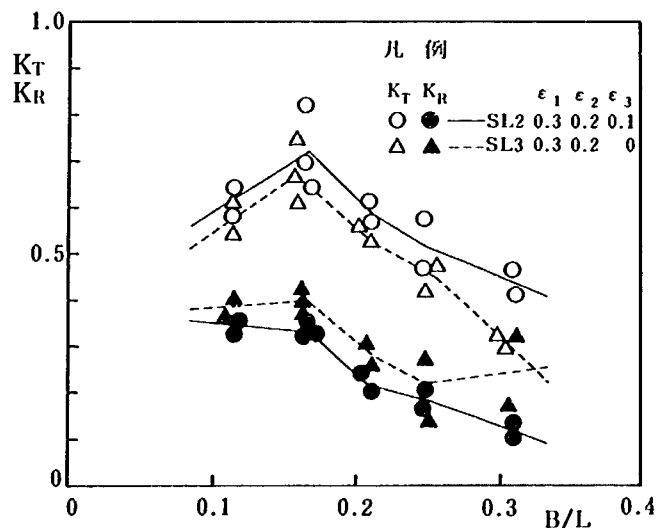


図 6.17 スリット型 (SL2, SL3) の K_T, K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5, h_2/h = 0.7, N=3$)

いことがわかった。

(4) 吃水深の影響

3枚スリット壁構造 ($\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$, $\varepsilon_3 = 0.1$) の場合について、吃水比をそれぞれ $h_2/h = 0.85$ (SL4), $h_2/h = 1.0$ (SL5) に変化させた時の透過率 K_T , 反射率 K_R を, $h_2/h = 0.7$ (SL2) の K_T, K_R と比較して示したのが図 6.18 である。 K_R は h_2/h が大きくなってもほとんど変化せず, B/L 全体に対して K_R は

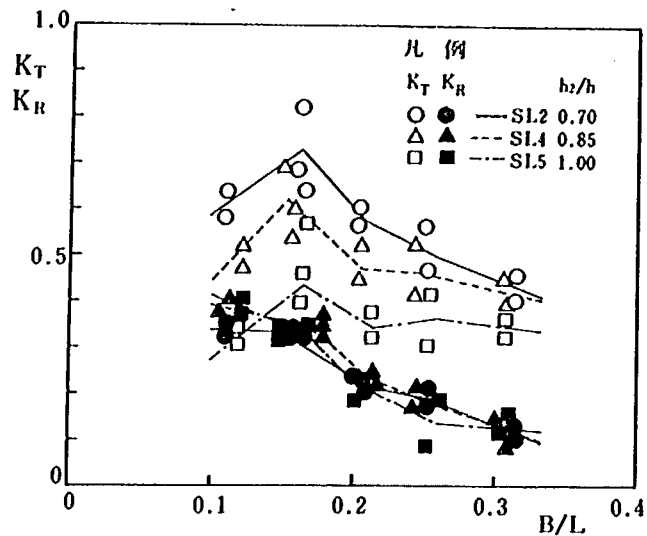


図 6.18 スリット型 (SL2, SL4, SL5) の K_T, K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N = 3$, $\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$, $\varepsilon_3 = 0.1$)

0.1~0.4 であるが, K_T は吃水比が大きくなると急激に減少するようになる。すなわち平均的にみた場合, $h_2/h = 0.85$ (SL4) の透過率はほぼ $K_T \leq 0.6$, また $h_2/h = 1.0$ (SL5) では $K_T \leq 0.45$ まで低下しており, スリット壁構造の場合も吃水比が透過率の低減に大きく影響することがわかる。

以上のことから, 透過率 $K_T \leq 0.6$, 反射率 $K_R \leq 0.5$ を満足する構造諸元として, スリット壁の枚数 $N = 3$, スリット壁の空隙率 $\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$, $\varepsilon_3 = 0.1$, 吃水比 $h_2/h \geq 0.85$ にすればよいことが明らかになった。

(5) 波形勾配の影響

SL4 ($h_2/h = 0.85$) および SL5 ($h_2/h = 1.0$) の透過率 K_T , 反射率 K_R と波形勾配 H/L との関係について図 6.19 に示す。SL4 および SL5 の K_T, K_R は, いずれも H/L が大きくなるにつれて緩やかに減少する

傾向を示す。しかし $H/L \approx 0.018 \sim 0.030$ で K_R の値が非常に小さくなるケースも認められる。これは周期の小さい波の場合であり, 遊水部を有するスリット壁構造の反射率は波高よりも周期の影響を強く受けることがわかる。

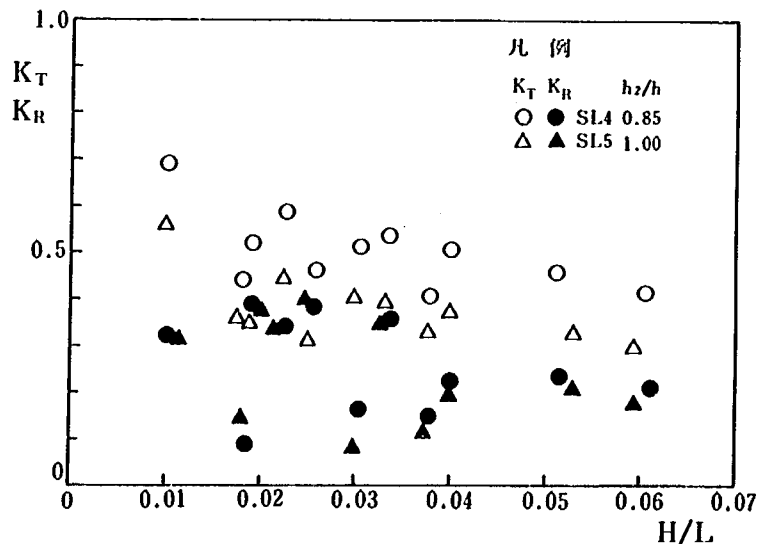


図 6.19 スリット型 (SL4, SL5) の K_T, K_R と H/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N = 3$, $\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$, $\varepsilon_3 = 0.1$)

(6) エネルギー損失率

SL4 ($h_2/h = 0.85$) および SL5 ($h_2/h = 1.0$) について, $K_L^2 = 1 - K_T^2 - K_R^2$ で定義される

エネルギー損失率 K_L^2 と波形勾配 H/L との関係を図 6.20 に示す。ただし、図中の一点鎖線は $K_L^2 \geq 0.4$ ($K_T \leq 0.6$, $K_R \leq 0.5$) となる限界値を表わし、実線および破線は実験値の平均的な傾向を示したものである。SL4 および SL5 の K_L^2 は、 H/L が大きくなるほど増加し、いずれの場合も $H/L > 0.030$ で一定となる傾向を示す。両者のエネルギー損失率の

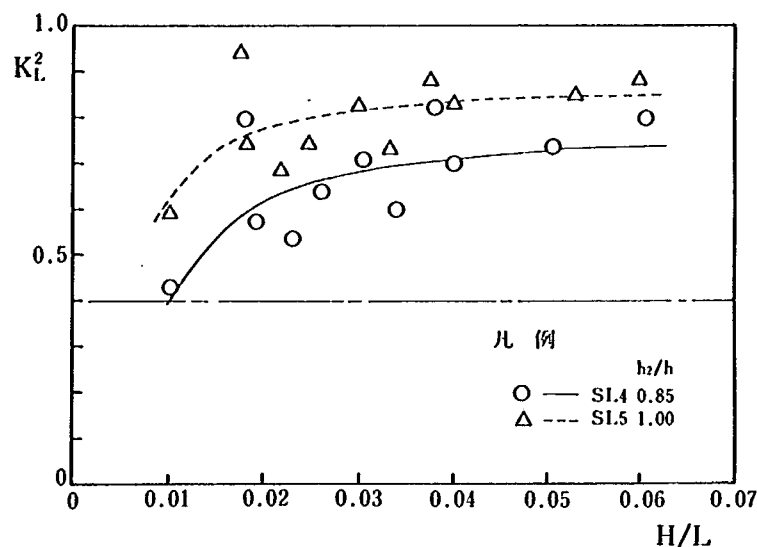


図 6.20 スリット型 (SL4, SL5) の K_L^2 と H/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N = 3$, $\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.1$)

大きさは、SL4 ($h_2/h = 0.85$) の場合で $0.4 \leq K_L^2 \leq 0.8$ 、また SL5 ($h_2/h = 1.0$) の場合で $0.6 \leq K_L^2 \leq 0.9$ となり、 $h_2/h \geq 0.85$ とした場合、エネルギー損失が非常に期待できることがわかる。

(7) スリット型のまとめ

- ① すべての波浪条件に対して透過率 $K_T \leq 0.6$ 、反射率 $K_R \leq 0.5$ を満足するスリット型の構造諸元は、スリット壁の空隙率 $\epsilon_1 = 0.3$ 、 $\epsilon_2 = 0.2$ 、 $\epsilon_3 = 0.1$ 、吃水比 $h_2/h \geq 0.85$ である。
- ② 3枚スリット壁構造 ($\epsilon_1 = 0.3$ 、 $\epsilon_2 = 0.2$ 、 $\epsilon_3 = 0.1$) の反射率 K_R は吃水比が $h_2/h = 0.7$ 、 0.85 、 1.0 になっても相対幅 B/L に関係なく、いずれの場合も $K_R = 0.1 \sim 0.4$ であるのに対して、透過率 K_T は $h_2/h = 0.7$ の時 $K_T \leq 0.7$ 、 $h_2/h = 0.85$ の時 $K_T \leq 0.6$ 、 $h_2/h = 1.0$ の時 $K_T \leq 0.45$ となり、吃水比の増加とともに急激に低下し、吃水比が大きい場合には低透過・低反射型の構造物となり得る。
- ③ 吃水比 $h_2/h = 0.7$ の場合に3枚スリット壁構造の岸側スリット壁を不透過 ($\epsilon_3 = 0$) にしても、長周期の波ではエネルギーの鉛直分布が水面から水底までほぼ一樣になるため透過率の顕著な低下は認められない。
- ④ 3枚スリット壁構造 ($\epsilon_1 = 0.3$ 、 $\epsilon_2 = 0.2$ 、 $\epsilon_3 = 0.1$) は中間スリット壁を有するため構造的に安定性が高いだけでなく、消波効果の点でも2枚スリット壁構造 ($\epsilon_1 = 0.3$ 、 $\epsilon_3 = 0.1$) に比べて透過率 K_T が全体的に小さくなる。また、反射率 K_R に対しても2枚スリット壁構造の周波数特性を改善し短周期側でも K_R が減少するようになる。

(8) 今後の検討課題

スリット型の海域制御構造物の構造形式としては、コンクリート製ケーソンに代表される重力式とPBS (杭打連結ブロック) 工法に代表される有脚式が考えられるが、大水深、大波浪条件下の設置海域を想定した場合、以下の各課題について検討する必要がある。

(海浜地形変化に関する課題)

従来の離岸堤とは異なり、沖合に建設される海域制御構造物の設置に伴う海浜地形の変動を予測することは重要である。そのためには移動床実験を行い、構造物設置による背後の海浜形状の変化や構造物沖側の洗掘状況を明らかにし、漂砂制御ならびに侵食防止効果について検討する必要がある。

(設計に関する課題)

- ① 波浪条件の厳しい大水深域に建設される海域制御構造物の耐波安定性を検討するために長周期、大波高に対する衝撃的な全波力および部材波力を明らかにし、設計波力の算定法を決定する必要がある。
- ② P B S工法においては、繰り返し交番荷重を受ける部材の疲労に対する安全性と、使用限界状態に於いてパースタルプレストレストコンクリートを採用する場合の防食について明らかにし、耐用年数に見合った耐久性に関する設計方法を確認する必要がある。

(P B S工法による施工に関する課題)

- ① 施工中の荒天時において、杭や据え付け途中のブロックの仮固定および仮緊張などに関する対処方法を確立する必要がある。
- ② 波浪条件の厳しい海域での海上作業を減らし、安全にかつ精度よく施工を行うためには、杭打船を使わない杭打設方法および作業船を使わない据え付け方法を検討する必要がある。

6.6.2 平面トラス型*

平面トラス型模型は岸側沖側の堤体法線方向のスリット壁と堤体内部の斜めスリット壁とで構成されており、構造系全体の消波特性と、それぞれのスリット壁の空隙率が透過率および反射率に与える影響を調べるのが本実験の目的である。実験結果に関しては本構造の各スリット壁の空隙率の組み合わせとして、岸側沖側の堤体法線方向のスリット壁および堤体内の斜めスリット壁の空隙率がすべて 0.3 の場合を標準として、それぞれのスリット壁の効果について述べるものとする。

(I) 基本的水理特性(空隙率 0.3 の場合)

空隙率がすべて 0.3 の場合の透過率 K_T 、反射率 K_R と波形勾配 H/L の関係を図 6.21 に示す。透過率 K_T は、

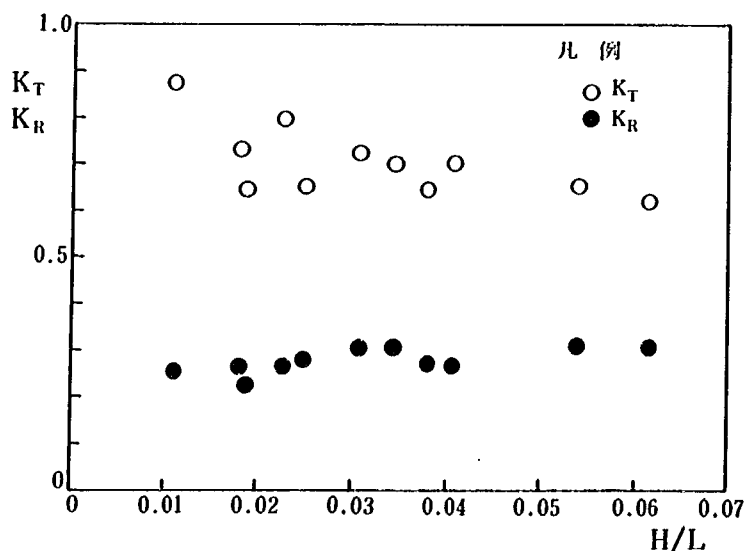


図 6.21 平面トラス型 (T S L 1) の K_T 、 K_R と H/L の関係
($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon_1=\epsilon_2=\epsilon_3=0.3$)

* 執筆：岡 幸夫 (飛鳥建設株式会社 総合企画本部技術開発部)

波形勾配 H/L が 0.03 以上の場合、 $K_T \approx 0.60 \sim 0.70$ となり値の変動が小さいのに対し、 H/L が 0.03 以下の場合、 $K_T \approx 0.65 \sim 0.88$ と大きくなり値の変動幅も大きくなる。一方、反射率 K_R は H/L の増加とともにわずかに増加する傾向にあるが、その変動幅は小さく $K_R \approx 0.22 \sim 0.30$ である。透過率 K_T に関しては、 H/L が 0.03 以下の場合、同一の波形勾配であっても周期によりその特性が変化するものと考えられる。

K_T , K_R と相対幅 B/L の関係を示すものが図 6.22 であり、図中のデータは H/L により 3 種類 ($H/L \leq 0.02$, $0.02 < H/L \leq$

0.04 , $0.04 < H/L$) に区分されている。透過率 K_T は、 B/L が 0.25 以下の場合に値のばらつきがあり、同一の B/L に対して、波形勾配 H/L が小さくなるほど K_T が大きくなる傾向がある。特に、 $H/L \leq 0.02$ で $B/L = 0.16$ の場合に、 $K_T \approx 0.80 \sim 0.88$ と大きくなっている。一方、反射率 K_R は、 B/L による変動が少なく、 $K_R \approx 0.30$ とほぼ一定の値となっている。入射波の周期によらず一定の反射率になるのは岸側沖側の鉛直スリット壁と堤体内の斜めスリット壁による乱れが生じているためと考えられる。

エネルギー損失率 K_L^2 と相対幅 B/L の関係を図 6.23 に示す。 K_L^2 は B/L 全体に対して $K_L^2 = 0.17 \sim 0.53$ であり、 $B/L = 0.16$ の場合に K_L^2 は減少し、 $K_L^2 = 0.17 \sim 0.42$ となる。また、同一の相対幅 $B/L = 0.16$ に対し、波形勾配が $H/L \leq 0.02$ の場合に K_L^2 は顕著に減少し、 $K_L^2 = 0.17 \sim 0.29$ となる。透過率 K_T 反射率 K_R と相対幅 B/L の関係で述べたように、 K_R は B/L , H/L に関係せずほぼ一定の値 $K_R \approx 0.3$ となるのに対し、 K_T は $B/L \leq 0.02$ の場合に $K_T \approx 0.80 \sim 0.88$ と大きくなっており、この透過率の増大が K_L^2 の減少をもたらした。

(2) 沖側スリット壁の空隙率を大きくした場合の影響

スリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合 (TSL1) と沖側の堤体法線方向のスリ

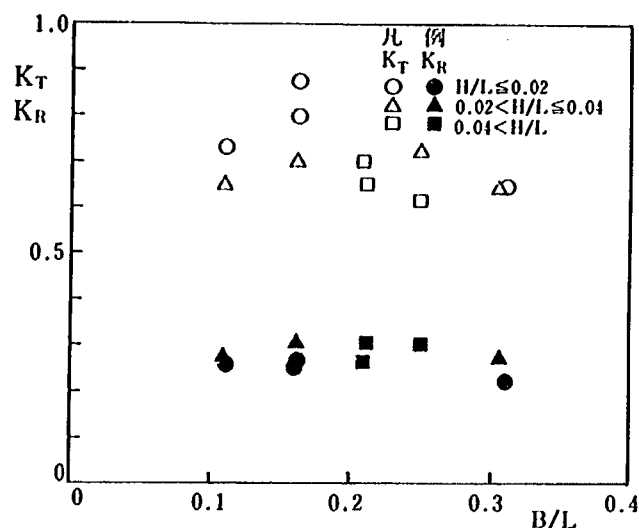


図 6.22 平面トラス型 (TSL1) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon_1=\epsilon_2=\epsilon_3=0.3$)

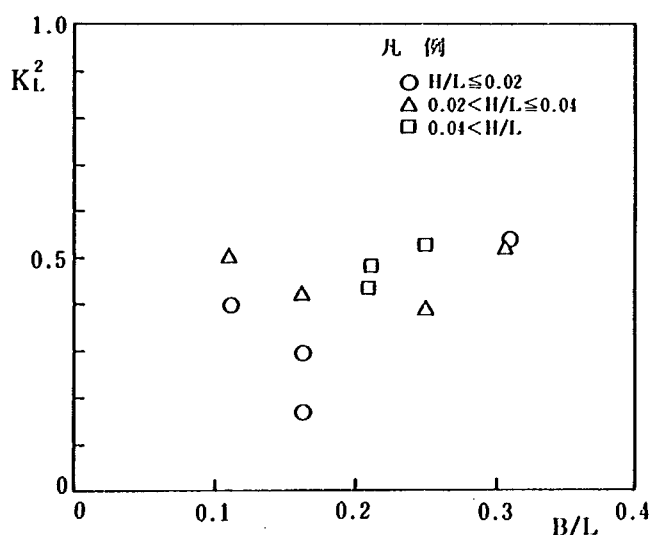


図 6.23 平面トラス型 (TSL1) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon_1=\epsilon_2=\epsilon_3=0.3$)

ット壁の空隙率を 0.4 とし、他のスリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合 (TSL2) の K_T , K_R の比較を図 6.24 に示す。透過率 K_T は、TSL1 も TSL2 もほぼ同じ値となるが、 K_R は TSL1 の場合 $K_R \approx 0.25 \sim 0.30$ 、TSL2 の場合 $K_R \approx 0.15 \sim 0.27$ となる。このように沖側のスリット壁の空隙率を 0.3 から 0.4 に大きくすると全体的に K_R を 0.05 程度小さくすることができる。これは、沖側のスリット壁の空隙率を大きくすることにより、堤体前面での直接の反射が抑制されることによると考えられる。

(3) 斜めスリット壁の効果

スリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合 (TSL1) と同一のモデルで、堤体内の斜めスリット壁の空隙率を 0.2 とした場合 (TSL3) の K_T , K_R の比較を図 6.25 に示す。TSL3 ($\epsilon_1=0.3$, $\epsilon_2=0.2$, $\epsilon_3=0.3$) は、TSL1 ($\epsilon_1=\epsilon_2=\epsilon_3=0.3$) に比して、 $B/L \geq 0.21$ の場合に K_T が 0.03 程度小さくなり、また K_R が 0.03 程度大きくなる。しかし $B/L < 0.21$ では、 K_T および K_R のいずれについても TSL3 と TSL1 はほとんど差がなく、斜めスリット壁の空隙率を小さくすることは、短周期波の消波に効果があっても、長周期波の消波にはほとんど効果がないと考えられる。

平面トラス型構造でスリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合 (TSL1) とすべて 0.2 とした場合 (TSL4)、および土木研究所で実施した 2 枚スリット構造で $\epsilon=0.2$, $B/h=2.0$, $h_2/h=0.7$ の場合の K_T , K_R の比較を図 6.26 に示す。TSL4 (空隙率 0.2) は TSL1 (空隙率 0.3) に比して、透過率 K_T が全体に 0.1 程度小さくなる。斜めスリット壁のみの空隙率を 0.2 にしたとき、最大でも 0.03 程度しか K_T を減少できなかったのに比べ、全体の空隙率を 0.2 にすることは、はるかに K_T の減少に効果がある。次に平面トラス型構造ですべての空隙率が 0.2 で $B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$ の場合 (TSL4) と土木研究所で実施した 2 枚スリット構造で $\epsilon=0.2$, $B/h=2.0$, $h_2/h=0.7$ の場合を比較する。透過率 K_T は、平面トラス型構造では B/L

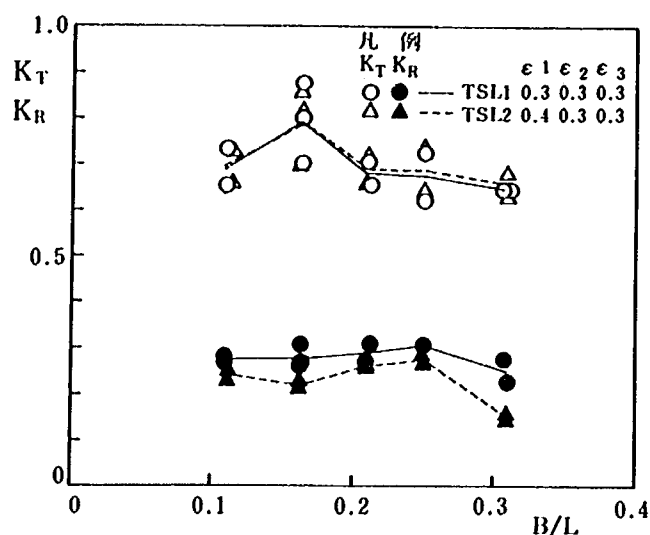


図 6.24 平面トラス型 (TSL1, TSL2) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$)

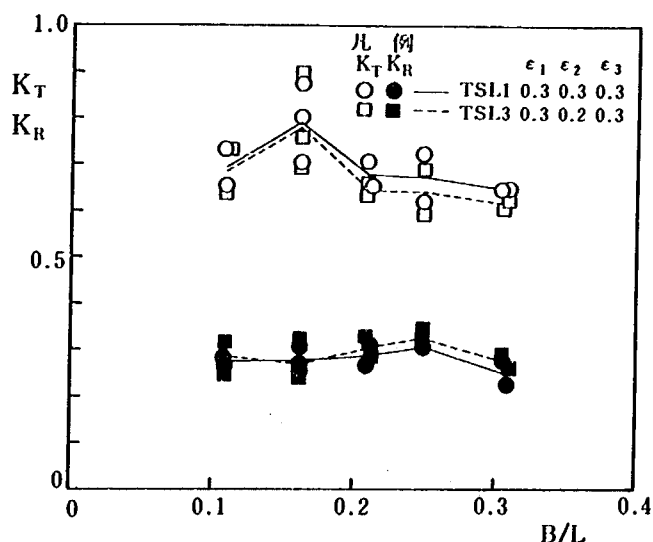


図 6.25 平面トラス型 (TSL1, TSL3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$)

$=0.16$ のときに最大値 $K_T=0.73$ 、
2枚スリット構造では $B/L=0.22$
のときに最大値 $K_T=0.69$ の値をと
り、 K_T の最大値となる B/L の値
は異なるが、全体的には平面トラ
ス型構造も2枚スリット構造も K_T
は同程度の値となっている。

以上の結果より、平面トラス型
構造で透過率 K_T を小さくするた
めには、斜めスリット壁の空隙率を
小さくするよりも、岸側沖側のス
リット壁の空隙率を小さくする方
が効果的であると考えられる。

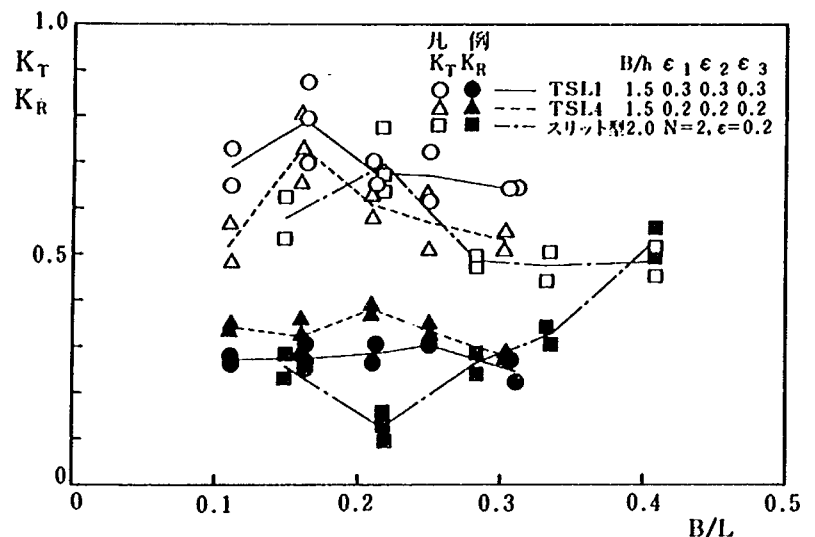


図6.26 平面トラス型 (TSL1, TSL4) および
2枚スリット型の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h=0.7$)

(4) 平面トラス型のまとめ

- ① スリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合、透過率 K_T は $B/L \geq 0.2$ で $K_T \approx 0.60 \sim 0.70$ となり、 $B/L < 0.2$ では $K_T \approx 0.70 \sim 0.88$ と変動が大きくなる。同一の B/L の値に対して波形勾配 H/L が小さくなるほど K_T が大きくなる傾向がある。 $B/L=0.16$, $H/L \leq 0.02$ の場合に K_T は特に大きくなり、 $K_T \approx 0.80 \sim 0.88$ となる。一方、反射率 K_R は H/L , B/L に対する変動が小さく、 $K_R \approx 0.3$ とほぼ一定の値になる。反射率が周期によらず一定となるのは、岸側沖側のスリット壁と斜めスリット壁による乱れの影響のためと考えられる。
- ② スリット壁の空隙率がすべて 0.3 の場合と、沖側のスリット壁の空隙率を大きくした場合 ($\epsilon_1 = 0.4$, $\epsilon_2 = \epsilon_3 = 0.3$) を比較すると、透過率 K_T はいずれの場合も同じ程度で、反射率 K_R は沖側のスリット壁の空隙率を大きくした方が 0.05 程度小さくできる。
- ③ 堤体内の斜めスリット壁の空隙率を小さくした場合 ($\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.3$) と、スリット壁の空隙率をすべて 0.3 とした場合とでは、全般に消波機能に顕著な差は見られない。平面トラス型の透過率を低減するには、斜めスリット壁の空隙率を小さくするよりも岸側沖側のスリット壁の空隙率を小さくする方が効果的である。

(5) 今後の課題

- ① 平面トラス型の消波機能に関しては、鉛直スリット壁の空隙率がすべて 0.2 であっても、 $B/L < 0.2$, $H/L \leq 0.02$ で、透過率 K_T が 0.7 以上になる場合がある。今回の水理実験では、スリット壁の空隙率を変えて検討を行ったが、実際にはスリット壁の吃水比が透過率に与える影響が大きいと考えられ、透過率をさらに小さくするためには、吃水比を大きくした場合の検討を行う必要がある。
- ② 構造物を設計するためには、設計波レベルの波高の大きい長周期の波が構造物に作用する

場合の波力特性を把握する必要がある。開発中の構造物は透過性の構造物であり、不透過性の構造よりも波力は低減されると考えられ、合理的で経済的な設計を行うためにも波力実験等による検討を行わなければならない。

③ 海域制御構造物の建設地点の自然条件、施工条件は、海域により異なるものである。それらの条件により経済性は異なったものになり、構造タイプによっては施工が不可能になるものもある。そのためにも構造タイプごとに、どういう自然条件、施工条件で有利になるかを明確にする必要がある。

④ 海域制御構造物の設計において、安全率を従来の防波堤と同様な考え方を適用するか、仮想的な考え方を取り入れるかで構造物の経済性が大きく変わる。安全率の再検討も課題の一つと考えられる。

6.6.3 水平板付スリット型*

堤体の空隙率 ϵ_V 、水平板の枚数、及び水平板の空隙率 ϵ_H を変化させたときの構造物の消波効果の相違を調べ、水平板とスリットの相互作用について検討することを目的として実験を行った。

(I) 相対幅 B/L に対する消波特性の変化

波長 L に対する水平板の幅 B の比を相対幅 B/L として、 B/L と各々の構造タイプの透過率 K_T 、及び反射率 K_R の関係を図6.27に示す。ここに、図中の各線は実験値の平均を示している。まず、透過率 K_T については、 B/L の増加に伴い、各タイプとも同じ傾向で減少し、特に、 $B/L \geq 0.2$ で急激な減少傾向を示している。反射率 K_R については、 B/L の増加に伴い、透過率とは逆に増加している。ただし、増加傾向は緩やかである。

水平板の枚数が異なるPLS2（水平板2枚）とPLS3（水平板1枚）の透過率を比較すると、水平板の枚数が増加しても、 K_T の減少する傾向⁶⁾は見られず、むしろ、2枚板のPLS2のほうが高くなっている。これは、水平板により上下方向の水粒子の運動が抑制されることによって、水面付近のスリットの通過による乱れが生じにくくなったためと思われる。この点に関しては、今回の実験だけで結論づけるよりも、今後の課題として検討する必要があるものと考えられる。一方、反射率については、水平板を1枚増加させると K_R が増加する傾向がある。

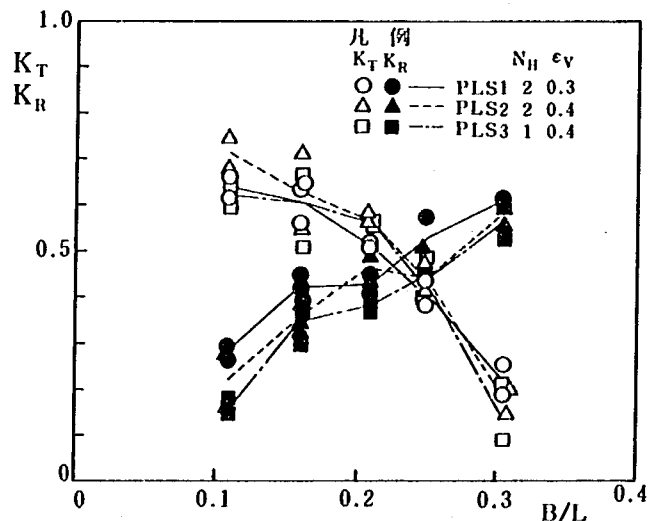


図6.27 水平板付スリット型（PLS1, PLS2, PLS3）の K_T , K_R と B/L の関係
($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $N_V=3$, $\epsilon_H=0$)

* 執筆；高木春生・吉川雅人（三井建設株式会社 土木本部土木技術部）

スリットの空隙率の異なる PLS1 ($\epsilon_V = 0.3$) と PLS2 ($\epsilon_V = 0.4$) を比較すると、透過率は PLS1 が平均して 5 % 程度小さくなり、反射率は逆に PLS1 が平均して 5 % 程度大きくなっている。

次に、各々の構造タイプのエネルギー損失率 K_L^2 と相対幅 B/L の関係を図 6.28 に示す。実験の範囲内では B/L の増加とともに K_L^2 は緩やかな増加傾向を示し、 $K_L^2 \geq 0.4$ となっている。

(2) 水平板とスリットの相互作用

水平板とスリットの相互作用を調べるために、吃水比 h_2/h 、堤体の空隙率 ϵ_V を各々 $h_2/h = 0.7$ 、 $\epsilon_V = 0.4$ と一定にし、水平板の空隙率を変化させた PLS4 ($\epsilon_H = 0.1$) および PLS3 ($\epsilon_H = 0$) の実験結果と、土木研究所で実施したスリット模型 ($\epsilon_H = 1$) に対する実験結果を合わせて比較する。ここに、 $\epsilon_H = 1$ ということは水平板がないことを意味する。

相対幅 B/L とこれらのタイプの透過率 K_T 、および反射率 K_R の関係を図 6.29 に示す。水平板の空隙率の異なる PLS3 ($\epsilon_H = 1$) と PLS4 ($\epsilon_H = 0.1$) を比較すると、PLS

4 の透過率は、平均的に 0.1 程度増加している。ただし相対幅 B/L の増加に伴う K_T の減少傾向は、PLS3 の場合と同様であり、水平板としての機能を著しく損なっていないことがわかる。次に、スリット模型の

透過率 K_T は B/L の増加に伴い減少し $B/L > 0.2$ ではほぼ一定値となっている。したがって水平板のある PLS4 および PLS3 の透過率 K_T はスリット模型の K_T に対して B/L が 0.1 ~ 0.2 の範囲では 0.05 ~ 0.15 程度小さいのみであるが、 $B/L > 0.2$ の範囲ではずっと減少している。水平板の消波効果は水平板上部の進行波（砕波後の流れを含む）と水平板下部の進行波（流れ）の位

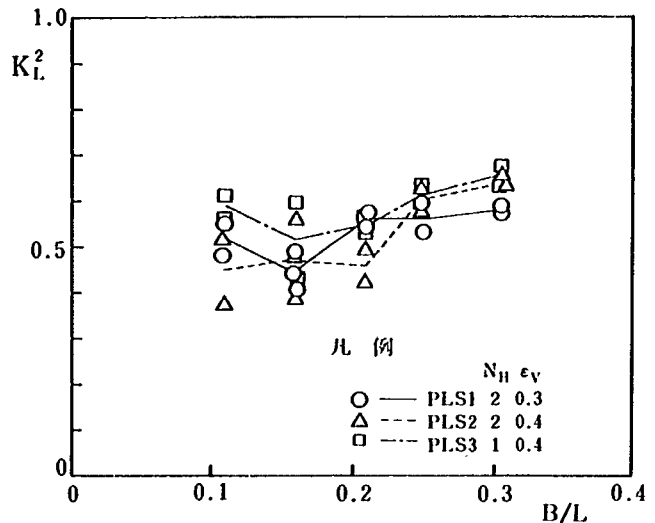


図 6.28 水平板付スリット型 (PLS1, PLS2, PLS3) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$, $N_V = 3$, $\epsilon_H = 0$)

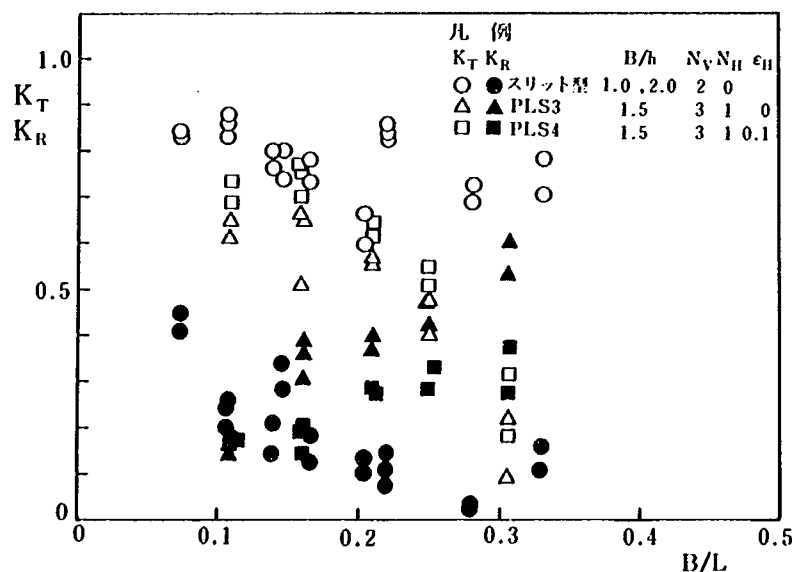


図 6.29 水平板付スリット型 (PLS3, PLS4) および 2 枚スリット型の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.7$, $\epsilon_V = 0.4$)

相差による乱れに起因している^{5), 7)}ことから、水平板は比較的短周期の波に有効であることがわかる。

一方、反射率については、相対幅 $B/L \approx 0.1$ で $K_R(PLS3) = 0.16$, $K_R(PLS4) = 0.19$ と同程度の値を示すが、 B/L の増加に伴う増加率では、 $PLS4$ の方が $PLS3$ に比べ著しく低くなっている。このように、水平板に空隙を設けると、 B/L の増加に伴う反射率の増加傾向は不透過水平板に比べて緩やかであり、反射率の低減に顕著な影響を与えることがわかる。一方、スリット模型の反射率は B/L の増加に伴い減少し、 $B/L = 0.25$ 付近で極小値を示す。ところが、水平板のある $PLS4$ および $PLS3$ の反射率 K_R はスリット模型の K_R に対して $B/L = 0.1$ 付近ではわずかに小さいが、 $B/L > 0.15$ の範囲で増加している。これは前面と後面のスリットから発生した二つの反射波の干渉が実験の範囲内で起こらなかったからと考えられる。

次に相対幅 B/L と上記の模型

のエネルギー損失率 K_L^2 の関係を図 6.30 に示す。スリット模型のエネルギー損失率は $B/L = 0.25$ 付近で極大値を示す。水平板のある $PLS4$ および $PLS3$ のエネルギー損失率は $B/L = 0.25$ 付近で極大値を持っていない。これは反射率が極小値を持たないからである。

このように、水平板付スリット構造は、水平板とスリットの特性を持ち合わせ、長周期の波

に対しては鉛直スリットによる乱れと反射が、比較的短周期の波に対しては水平板上部の進行波（砕波後の流れを含む）と水平板下部の進行波（流れ）の位相差による乱れと反射が、それぞれ支配的となっていることが明らかになった。

(3) 水平板付スリットのまとめ

- ① 透過率 K_T は、 B/L の増加に伴い減少し、特に $B/L \geq 0.2$ から急激な減少傾向を示した。
- ② 反射率 K_R は、 B/L の増加に伴い、透過率とは逆に増加している。ただし増加傾向は緩やかである。
- ③ スリットの空隙率を $\epsilon_v = 0.4$ から $\epsilon_v = 0.3$ に変化させると、透過率は平均して 0.05 程度小さく、反射率は平均して 0.05 程度大きくなった。
- ④ 水平板に空隙 ($\epsilon_H = 0.1$) を設けた場合、透過率は平均的に 0.1 程度増加した。ただし、相対幅 B/L の増加に伴う K_T の減少傾向は不透過水平板と同様な傾向であり、水平板として

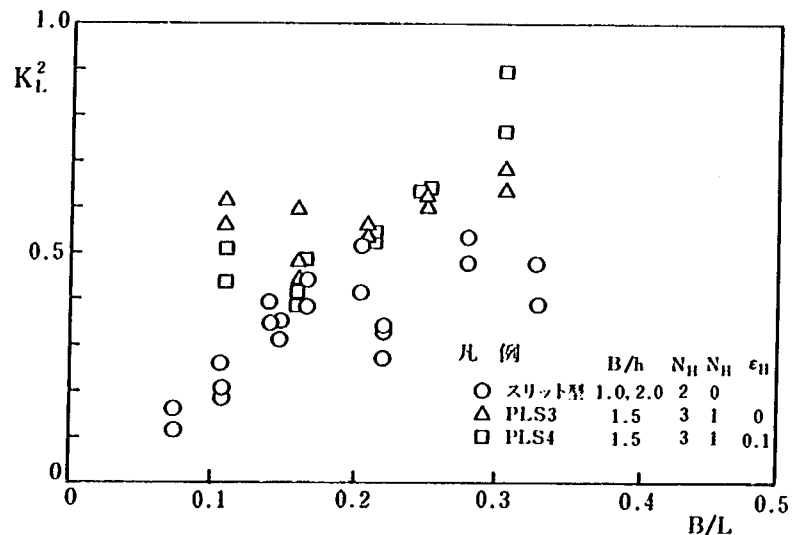


図 6.30 水平板付スリット型 (PLS3, PLS4) および 2 枚スリット型の K_L^2 と B/L の関係 ($h_2/h = 0.7$, $\epsilon_v = 0.4$)

の機能を著しく損なっていない。一方、反射率については B/L の増加に伴う K_R の増加傾向は不透過水平板に比べて緩やかであり、水平板を透過性にするとは、反射率の低減に顕著な影響を与える。

⑤ エネルギー損失率 K_L^2 はいずれのタイプも B/L の増加に伴い緩やかな増加傾向を示し $K_L^2 \geq 0.4$ となっている。

⑥ 水平板付スリット構造は、水平板とスリットの特性を持ち合わせ、長周期の波に対しては鉛直スリットによる乱れと反射が、比較的短周期の波に対しては水平板上部の進行波（砕波後の流れを含む）と水平板下部の進行波（流れ）の位相差による乱れと反射が、それぞれ支配的となっていることが明らかになった。

(4) 今後の検討課題

現在用いられている離岸堤の透過率の上限値 0.6 程度を満足し、合わせて反射率をたとえば 0.5 以下と低くするためには、水平板付スリット構造に対して、以下のことが考えられる。

まず $B/L = 0.3$ 付近の反射率が 0.5 より大きくなっているが、これを低減するためには、P LS 4 の結果で明らかなように、水平板に空隙を設けることで解決される。一方、 $B/L = 0.1$ 付近の透過率が 0.6 より大きくなっているが、これを低減するためには、この領域において鉛直スリットの消波効果を高めることが有効である。その方法としては、鉛直スリット壁の空隙率を小さくするか、吃水比を大きくすることが考えられる。

この小論では水平板付スリット構造の消波特性について述べたが、海域制御構造物の開発においては、消波特性の検討のみでは不十分であり、今後、波力、漂砂、洗掘の特性を検討すると共に、構造物の安定性、耐久性、経済性などの面より広範囲な検討を行う必要があると思われる。

6.6.4 透過水平板付スリット型*

透過水平板付スリット型はケーソンタイプを基本とし、空隙率 $\epsilon_V = 0.26$ 、枚数 $N_V = 3$ 、天端高 $h_1/h = 0$ の鉛直スリット壁と、空隙率 $\epsilon_H = 0.18$ 、枚数 $N_H = 1$ 、没水深 $R/h = 0.1$ の水平スリット板、および海底に着底した吃水深 $h_2/h = 1.0$ の不透過な底板で構成される。

本実験は上記基本形式の消波特性を検討するとともに、透過水平板の枚数 $N_H = 0$ 、底板の吃水深 $h_2/h = 0.7$ 、岸側鉛直壁の天端高 $h_1/h = 0.15$ とした場合のそれぞれの透過率および反射率に与える効果について考察する。

(i) 基本的水理特性 (VHS2 vs. VHS5)

透過水平板付スリット型の水平および鉛直スリット壁に作用する波の状況について述べる。

空隙率 $\epsilon_H = 0.18$ の水平スリット板の縮流効果により、水面上昇過程では激しい上向きの鉛直噴流が生じ、水面が下降する過程では下向きの鉛直噴流が生じる。消波効果は、水平板の没

* 執筆：国栖広志（五洋建設株式会社 技術研究所）

水深が浅くなるほど鉛直噴流も増大するので大きくなると考えられる。ただし、波高 H が 16 cm と比較的高い場合においては、水位が水平板以下になるため水面が上昇する過程で波が水平板を下からたたきように作用する。このことから、水平板の没水深は過度に浅くせず、今回設定した $R/h = 0.1 \sim 0.15$ 程度が適当であると考えられる。

一方、鉛直壁の天端が静水面と同一高さ $h_1/h = 0$ であることから、波は天端より越流し、巻き波状の砕波となり水面に落下して水平噴流となる。この水平噴流と水平板スリット部からの鉛直噴流は、水平板上を進行するとき互いに衝突して堤体上面で強い乱れを発生する。この乱れが、波のエネルギー損失にかなり寄与しているものと考えられる。

透過水平板からの上向きの鉛直噴流や堤体天端からの越流による水平噴流の規模は長周期で、高波高のものほど大きい。

一方、鉛直板のスリット部からも水平方向の噴流が発生し、その強さは水面付近に近いほど強いが、透過水平板で発生する鉛直噴流に比べると弱い。

透過水平板付スリット型の基本的構造である VHS 2, VHS 5 の透過率 K_T , 反射率 K_R と相対幅 B/L の関係を図 6.31 に示す。VHS 2 の堤体幅 B は消波効果を考慮して⁸⁾ $B/L = 0.2$ を目標に $B = 50$ cm とした。VHS 5 の堤体幅は相対幅 B/L の小さい場合を検討するため $B = 30$ cm とした。これより、実験波に対する相対幅 B/L の範囲は VHS 2 で $0.09 < B/L < 0.26$, VHS 5 で $0.06 < B/L < 0.15$ である。図から透過率 K_T は B/L に依存しており、 B/L が大きくなるにつれて減少する傾向を示す。すなわち、透過率は波長の短い波ほど小さくなる。また、透過率 K_T は相対幅 B/L が 0.1 付近で 0.6 を越えるものが認められるものの、ほとんど 0.6 以下である。一方、反射率 K_R は相対幅 B/L が大きくなるにつれて若干上昇する傾向を示す。すなわち反射率 K_R は波長の長い波ほど小さくなる。ただし、反射率 K_R は全て 0.5

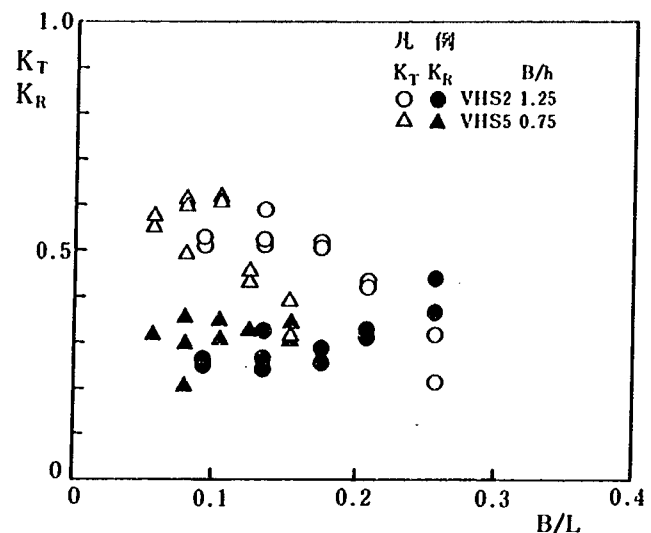


図 6.31 透過水平板付スリット型 (VHS 2, VHS 5) の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_1/h = 0$, $h_2/h = 1.0$, $N_V = 3$, $N_H = 1$, $\epsilon_V = 0.26$, $\epsilon_H = 0.18$)

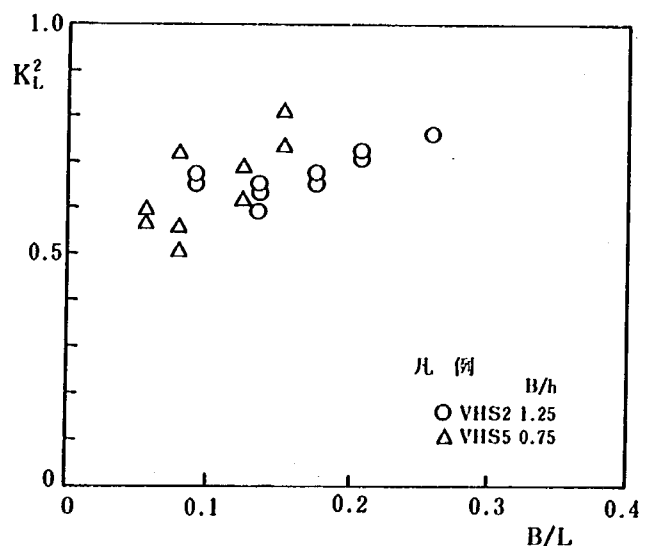


図 6.32 透過水平板付スリット型 (VHS 2, VHS 5) の K_T^2 と B/L の関係 ($h_1/h = 0$, $h_2/h = 1.0$, $N_V = 3$, $N_H = 1$, $\epsilon_V = 0.26$, $\epsilon_H = 0.18$)

以下である。

エネルギー損失率 $K_L^2 = 1 - K_T^2 - K_R^2$ の算定結果を図 6.32 に示す。図からエネルギー損失率 K_L^2 は全体的に相対幅 B/L が小さくなると減少傾向を示す。すなわち、比較的波長の長い波ほどエネルギー損失率 K_L^2 は小さくなることを示している。エネルギー損失率 K_L^2 は全て 0.5 以上であり、本構造物は波を乱すことによって波のもつエネルギーを有効に消費することがわかる。

(2) 透過水平板の効果 (VHS 1 vs. VHS 2)

透過水平板が透過率 K_T 、反射率 K_R に及ぼす効果は図 6.33 に示すように、透過水平板の枚数 $N_H = 0$ の VHS 1 と、 $N_H = 1$ の VHS 2 を用いて検討する。

図から透過率 K_T は相対幅 B/L が 0.09 ~ 0.15 の範囲では VHS 1, VHS 2 とほぼ同じであるが、 B/L が 0.20 を越すと透過水平板のある VHS 2 の方が急激に小さくなる。すなわち、透過水平板は相対幅 $B/L = 0.20$ 以上の比較的波長の短い波に対して効果の大きいことがわかる。一方、反射率 K_R は相対幅 B/L が 0.09 ~ 0.20 の範囲で VHS 2 の方が 0.05 ~ 0.10 程度小さくなるが、相対幅 B/L が 0.20 以上の比較的波長の短い波では透過水平板で反射されるため VHS 2 の方が 0.2 程度大きくなる。

(3) 吃水深の効果 (VHS 2 vs. VHS 3)

吃水深が透過率 K_T 、反射率 K_R に及ぼす効果は図 6.34 に示すように、吃水深 $h_2/h = 1.0$ の VHS 2 と、 $h_2/h = 0.7$ の VHS 3 を用いて検討する。

図から透過率 K_T は、吃水深 $h_2/h = 0.7$ と浅くした VHS 3 の方が全体的に 0.05 ~ 0.1 程度大きくなり、特に相対幅 B/L が 0.10 ~ 0.15 と比較的小さいところで大きくなる傾向を示す。相対幅 B/L が小さいときは比較的波長の長い波に相当しており、波は水深方向にほぼ一様でかつ大きなエネルギーを有する。このとき、堤体下面から通過するエネルギーが増大するため、透過率 K_T は大きくなるものと考えられる。一方、反射率は吃水深の浅い VHS 3 の方が相対幅

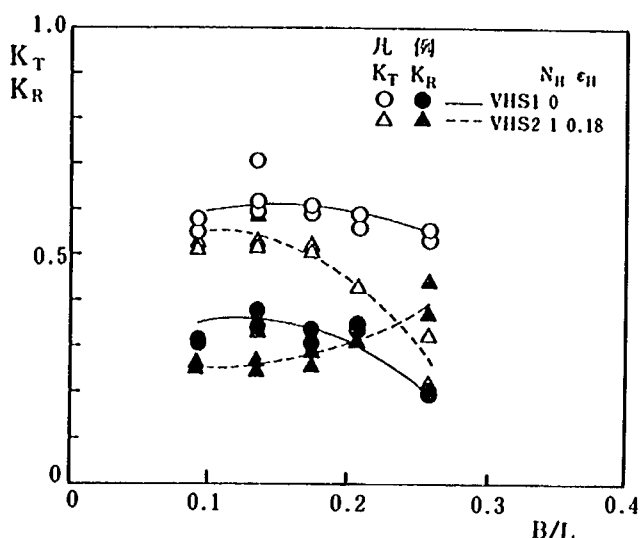


図 6.33 透過水平板付スリット型 (VHS 1, VHS 2) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.25$, $h_1/h = 0$, $h_2/h = 1.0$, $N_V = 3$, $\epsilon_V = 0.26$)

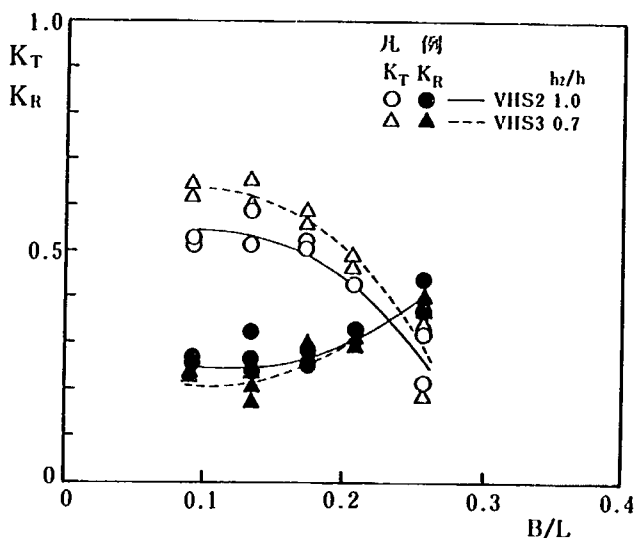


図 6.34 透過水平板付スリット型 (VHS 2, VHS 3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.25$, $h_1/h = 0$, $N_V = 3$, $N_H = 1$, $\epsilon_V = 0.26$, $\epsilon_H = 0.18$)

B/L が0.2以下で約0.05程度小さくなっている。これは、前述と同様に吃水深以下のエネルギーが透過するためである。

(4) 天端高の効果 (VHS2 vs. VHS4)

堤体の天端高が透過率 K_T 、反射率 K_R に及ぼす効果は図6.35に示すように天端高 $h_1/h = 0$ のVHS2と $h_1/h = 0.15$ のVHS4を用いて検討する。

図より透過率 K_T は、天端高を $h_1/h = 0.15$ と静水面より高くしたVHS4の方が全体的に0.05~0.10程度小さくなる。実験からVHS4は、波高 $H = 16$ cm以外の波では天端からの越波がほとんど無くなることから、波返し工としての効果が認められる。

一方、反射率 K_R は、相対幅 B/L が0.15以下で約0.05増加する程度でありVHS2とほぼ同等と考えられる。これは、波返し工で反射された波は再度堤体を通過するとき水平板からの鉛直噴流により擾乱を受けて消波されるためと考えられる。

(5) 透過水平板付スリット型のまとめ

- ① 透過水平板付スリット型は、主に波のもつエネルギーを透過水平板からの強い鉛直噴流と、堤体天端から越流する水平噴流に変換し、両者を衝突させて堤体上面にできる強い乱れによりエネルギー損失を誘発する構造形式である。
- ② 透過率 $K_T < 0.6$ 、反射率 $K_R < 0.5$ 、エネルギー損失率 $K_L^2 > 0.5$ を満足する透過水平板付スリット型の構造諸元は、鉛直壁枚数 $N_V = 3$ 、水平板枚数 $N_H = 1$ 、相対幅 $B/L > 0.1$ 、吃水深 $h_2/h = 1$ である。
- ③ 透過水平板が透過率 K_T に与える効果は相対幅 $B/L = 0.15$ 以上の比較的波長の短い波に対して大きい。また、反射率 K_R は相対幅 $B/L < 0.2$ の比較的波長の長い波では0.05~0.1程度小さくなるが、 $B/L > 0.2$ では逆に0.2程度大きくなる。
- ④ 吃水深を $h_2/h = 0.7$ と浅くすると堤体下面からエネルギーが伝達されるため、透過率 K_T は全体的に0.05~0.10程度大きくなる。また、反射率は逆に吃水の浅い方がやや小さくなる。
- ⑤ 天端高を $h_1/h = 0.15$ 程度高くすることにより透過率 K_T は、0.05~0.10程度小さくなる。反射率は反射された波が再度堤体上面で擾乱されるため増加しない。

今後の課題

以下の課題について水理実験により明らかにする必要があると考えられる。

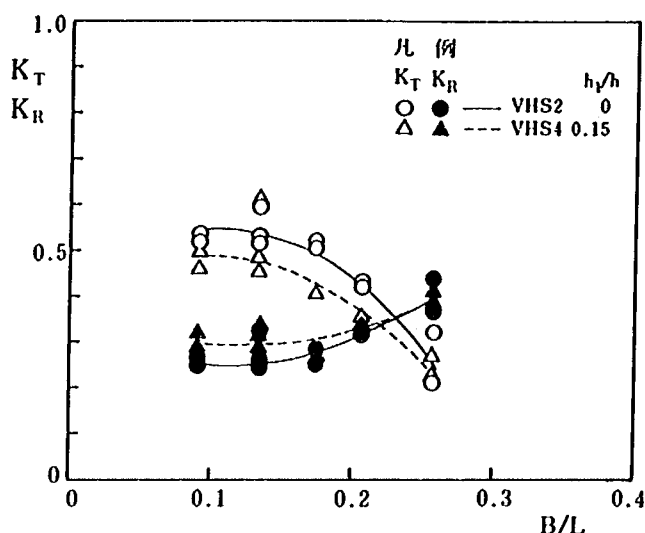


図6.35 透過水平板付スリット型 (VHS2, VHS4) の K_T , K_R と B/L の関係
($B/h = 1.25$, $h_2/h = 1.0$, $N_H = 1$, $\epsilon_V = 0.26$, $\epsilon_H = 0.18$)

- ① 斜入射波に対する静穏度
- ② 砕波領域の全体波力と部材波圧
- ③ 構造物前面の洗掘と背後域の堆砂
- ④ 水深を変えたことによる反射率 K_R と透過率 K_T の変化
- ⑤ 鉛直壁および水平板の最適空隙率選定法
- ⑥ 海水交換効率、曝気効果

6.6.5 改良空気密閉型*

(1) 空気室前面の多孔板によるエネルギー損失効果

空気室前面の多孔板の長さを変化させた Air 1 ($B_1/h = 0.2$, $B_2/h = 1.0$) と Air 4 ($B_1/h = 0.5$, $B_2/h = 0.7$) について、消波特性の比較をする。この多孔板は、前にも述べたように反射波エネルギーの逸散を目的に取り付けたものであるので、ここでは特に多孔板の長さが反射率 K_R およびエネルギー損失率 $K_L^2 (= 1 - K_T^2 - K_R^2)$ に及ぼす影響に着目する。ただし、全堤体幅 $B (= B_1 + B_2)$ を両者で一致させた関係上、空気室の幅 B_2 は Air 4 の方が 30% 小さくなっている。

まず、 K_T に関する Air 1 と Air 4 の比較を図 6.36 に示すが、この図からわかるように、両者で大きな差はない。密閉空気室のみの特性を考えると、幅 B_2 が小さいほど透過率が大きくなる傾向にある²⁾ が、前面の多孔板が透過率の低減に若干寄与したため、Air 4 の K_T は結果として Air 1 の K_T と同程度の値になったものと思われる。ここで、多孔板がない場合 ($B/h = B_2/h = 1.0$) についても本実験と同じ波浪条件のもとで実験を行っているが、透過率については、同じ空

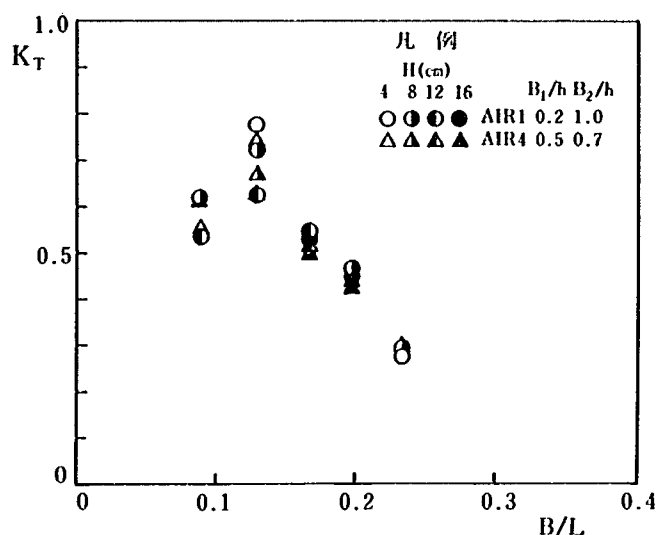


図 6.36 改良空気密閉型 (AIR 1, AIR 4) の K_T と B/L の関係
($B/h = 1.2$, $h_2/h = 0.5$, $h_4/h = 0.4$)

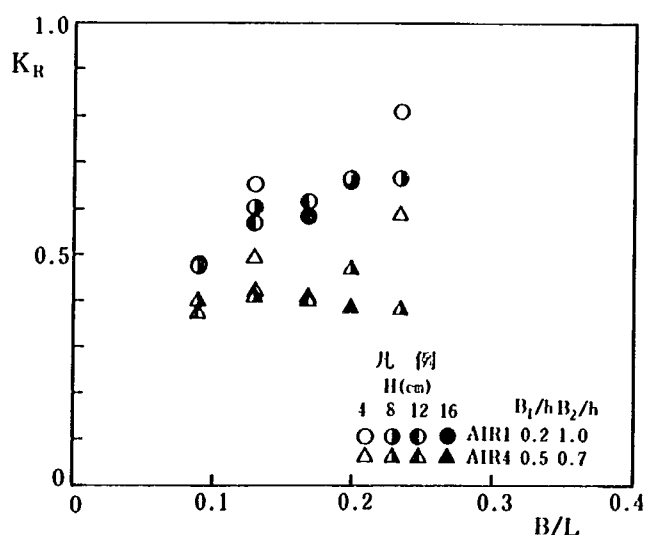


図 6.37 改良空気密閉型 (AIR 1, AIR 4) の K_R と B/L の関係
($B/h = 1.2$, $h_2/h = 0.5$, $h_4/h = 0.4$)

* 執筆；大山 巧（清水建設株式会社 技術研究所）

気室幅をもつ Air 1 よりも全体的に小さいという結果が得られている。このような差異を生じた原因としては、カーテンウォール下端部に設けられた一番下の多孔板の影響があげられる。すなわち、カーテンウォール下端部から発生する剝離渦が透過率の低減に大きく影響することは周知の事実であるが、この多孔板の存在により規模の大きい剝離渦が発生しなかったためと考えられる。

次に、反射特性に関する両者の比較を図 6.37 に示す。この図から、多孔板の長い Air4 の方が全てのケースで K_R が小さくなり、多孔板による K_R の低減効果は相対的に短周期側 (B/L の大きい方) で、より顕著に現れていることがわかる。ただし長周期側では、多孔板が短く乱れの少ない Air1 の K_R そのものが低いため、結果として Air4 の反射率は、周期変化に対して均された特性になっている。このようなエ

ネルギー逸散は、主に多孔板の孔から発生する渦によるものと考えられるが、波高が大きく波面勾配が急になると、波面が上昇する際、一番上の多孔板と波面との間に瞬間的に空気が閉じこめられるため、その空気を巻き込みながら波面が変動するようになる。

また、図 6.38 よりわかるように、 K_R の低減に伴いエネルギー損失率 K_L^2 も Air1 に比べて Air4 の方が大きくなる。ただし両者の差 ΔK_L^2 は、0.07~0.32 とかなり変化し、 K_R の低減効果と同様に短周期側で大きくなっている。

(2) B. D. システムによるエネルギー損失効果

次に、B. D. システムを用いた場合と用いない場合（堤体上へ波を乗り上げさせない場合）の比較を行い、B. D. システムによるエネルギー損失効果を検討する。なお、B. D. システムを用いる場合には、前面鉛直壁の静水面からの高さ h_1 を $h_1/h=0.2$ としている。したがって、 H_0 が 4 cm ($H_0/h=0.1$) のときは、その周期にかかわらず波は堤体上に乗り上げない。

まず、 $B_1/h=0.2$ 、 $B_2/h=1.0$ の条件

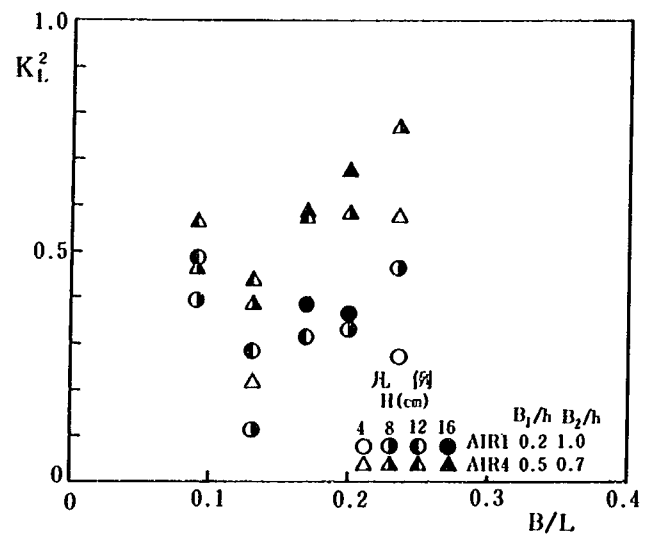


図 6.38 改良空気密閉型 (AIR1, AIR4) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $h_2/h=0.5$, $h_4/h=0.4$)

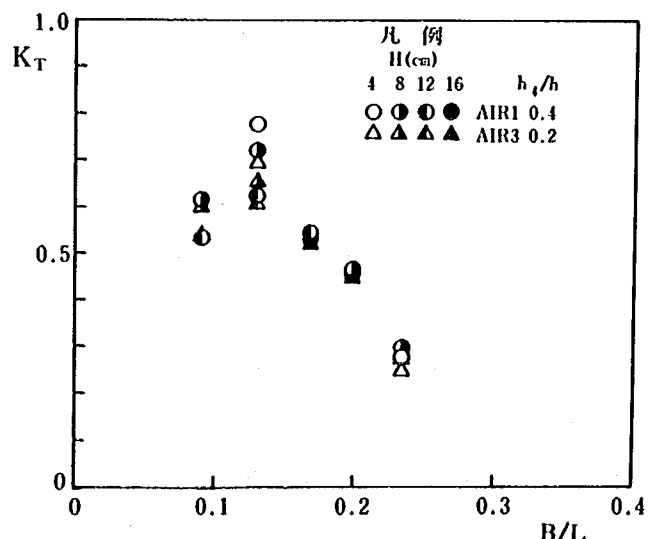


図 6.39 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_2/h=0.5$)

のもとで、B. D. システムを用いた Air 3 と用いない Air 1 の比較をする。図 6.39 は K_T と B/L の関係を示したものであるが、B. D. システムの及ぼす影響はほとんど見られない。($B/L = 0.13$, $H_0 = 4$ cm の場合の K_T は、波が乗り上がらないにもかかわらず Air 3 の方が小さくなっているが、これは実験における計測誤差であろう。) 一方、図 6.40 からわかるように、波が堤体上に乗り上がる $H_0 = 8 \sim 16$ cm ($H_0 = 8$ cm のときもわずかではあるが乗り上がる。) の K_R は、B. D. システムの効果によりいずれも Air 3 の方が小さくなっている。B. D. システムによるエネルギー損失は、前にも述べたように、堤体上での流体の乱れおよび戻り流れの際の乱れにより生ずるわけであるが、これらの乱れの規模は、空気室の幅、乗り上げる水塊の量、堤体前面に形成される重複波と戻り流れの位相差等により複雑に変化すると考えられる。ただし、図 6.41 より $H_0 = 12 \sim 16$ cm のエネルギー損失率を Air 1 と Air 3 で比較してみると、両者の差 ΔK_L^2 は $0.07 \sim 0.12$ で、周期や波高に対する明確な変化は認められない。

次に、 $B_1/h = 0.5$, $B_2/h = 0.7$ としたと

きの、B. D. システムを用いた Air 5 と用いない Air 4 に関する K_T , K_R および K_L^2 の比較をそれぞれ図 6.42 ~ 6.44 に示す。 K_T については、Air 1 と Air 3 の場合 (図 6.39) と同様にほとんど差が見られない (図 6.42)。また、図 6.43, 6.44 よりわかるように、反射率の低減効果およびエネルギー損失効果は Air 1 と Air 3 の場合 (図 6.40, 6.41) に比べて小さくなっており、 ΔK_L^2 は $H_0 = 12 \sim 16$ cm で $0.02 \sim 0.05$ である。このような差異を生じた原因としては、波が乗り上がらない状態 (Air 4) での K_R がもともと低く、重複波の波高そのものが小さいため、乗り上がる水塊の量が相対的に少なかったことがあげられる。

(3) 密閉型と開放型の特長比較

堤体内に密閉した空気と流体運動との相互作用を線形理論に基づいて考えるとき、空気の状

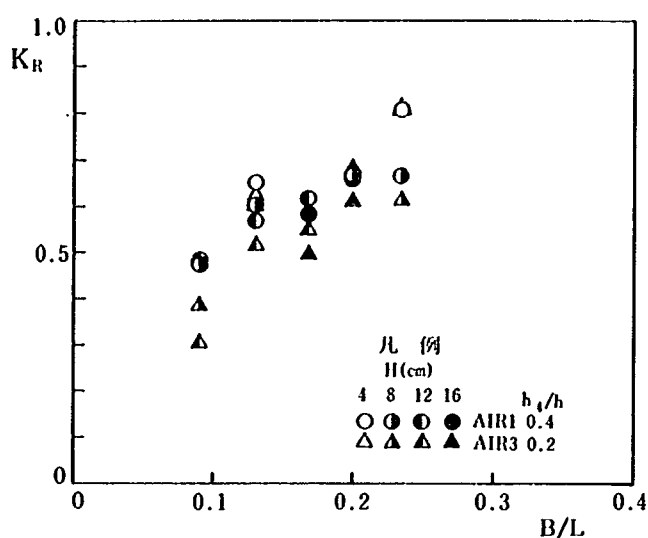


図 6.40 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.2$, $B_1/h = 0.2$, $B_2/h = 1.0$, $h_2/h = 0.5$)

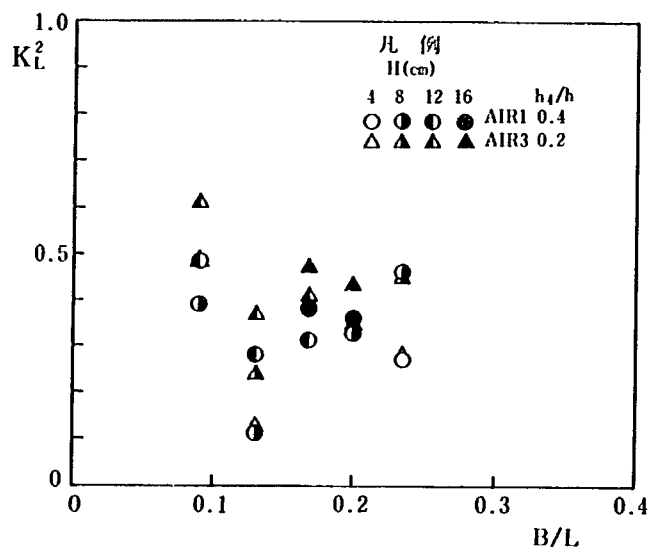


図 6.41 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h = 1.2$, $B_1/h = 0.2$, $B_2/h = 1.0$, $h_2/h = 0.5$)

態変化は線形バネと等価な働きをすることになり、その際の無次元バネ定数 a は以下のように与えられる²⁾。

$$a = \frac{P_0}{\omega_0 (h_3 - \Delta s)} \quad \dots\dots (6.6)$$

ただし、 ω_0 は水の単位体積重量 ($=9.8 \text{ kN/m}^3$)、 P_0 は静水時の空気室内の圧力で、ここでは大気圧 ($=101.3 \text{ kN/m}^2$)、 $h_3 - \Delta s$ は空気室の静水面からの高さ (h_3 は上部床板の天端高さ、 Δs は床板の厚さ) である。

図 6.45, 6.46 は、 $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$ の条件のもとで、空気を密閉した Air 1 と開放型とした Air 2 の K_T および K_R を比較したものである。これらの図中には、前面の多孔板の存在を無視したときの線形理論による計算結果²⁾も示してある。開放型 (Air 2) では、式 (6.6) より空気バネ定数 a が 0 に相当するわけであるが、この場合理論では $B/L=0.204$ で $K_T=1.0$, $K_R=0.0$ となる特異な現象がみられる。これは、2 枚のカーテンウォール間の水面変動が極大となる、いわゆる共振周期に対応するものである。この共振周期は a の値によって変化し、 a が 0 に近づくにつれて長周期側

にずれる性質をもつ。(密閉型の場合の共振周期は、図に示す範囲よりも短周期側に存在している。) そして、このような共振周期の変化に伴って、図に示されるように密閉型の方が K_T が相対的に低く、 K_R が高くなるわけである。ここで、本実験における密閉型 (Air 1) の a が 343.3 であるのに対し、実物 ($h_3=1.5 \text{ m}$, $\Delta s=0.5 \text{ m}$ を想定) では a は 10.3 となり、両者の差はかなり大きく厳密には相似則が満足されていない。しかしながら、 a の値が 2~3 程度以上になると、対象とする周期領域ではほとんどその影響がなく、十分に硬いバネとして作用することになる²⁾。

計算では、前面多孔板の存在を無視している関係上、実験結果と単純に比較することはできない。ただし、図 6.45, 6.46 からわかるように Air 2 の共振域付近の実験結果は、Air 1 に比

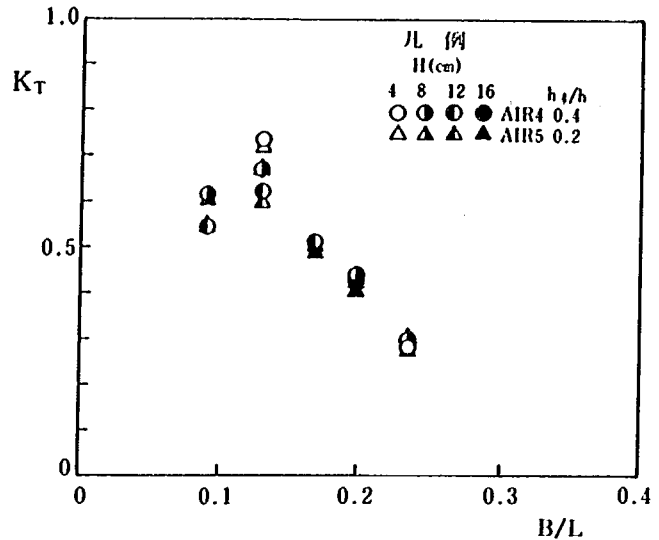


図 6.42 改良空気密閉型 (AIR 4, AIR 5) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)

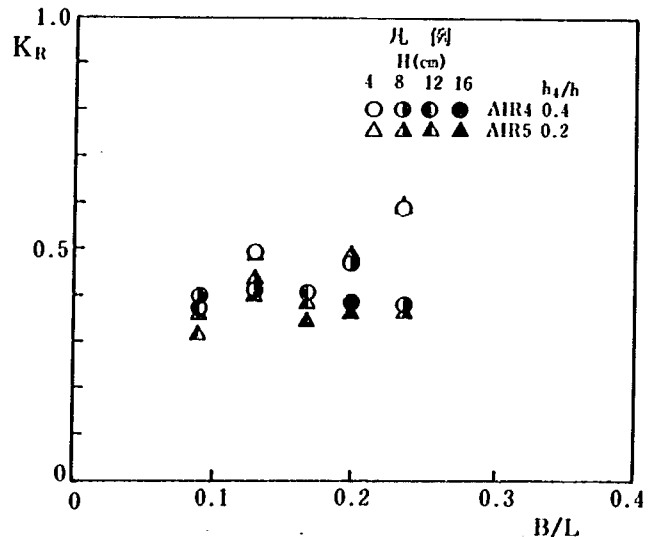


図 6.43 改良空気密閉型 (AIR 4, AIR 5) の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)

べて K_T が高く、 K_R が低くなっており、定性的な傾向は計算結果と一致する。定量的には、Air 2 の K_T が計算結果を大幅に下回り、その差はAir 1 に比較して大きいことがあげられる。これは主に、計算では考慮されていないカーテンウォール下端部から発生する剥離渦の影響によるものと考えられる。すなわち、バネ定数の高いAir 1 ではカーテンウォール間の水面変動が抑えられるのに対して、Air 2 ではこの水面変動量の増加に伴って、流体の出入りが激しくなり、発生する渦の規模が相対的に大きくなるためと思われる。

(4) 改良空気密閉型のまとめ

① K_T については、開放型であるAir 2

を除いた全てのモデルで、ほぼ同様の特性が得られた。すなわち、本構造形式の場合、空気室を構成するカーテンウォールの吃水深比 h_2/h および空気室の幅 B_2 が、 K_T を決める支配的なパラメータであると考えられる。本実験では、これらを $h_2/h=0.5$ 、 $B_2/h=0.7\sim 1.0$ としているが、この場合、 $B/L=0.13$ 以外の条件では $K_T \leq 0.6$ をほぼ満足する。 K_T をさらに下げるためには、前面カーテンウォール

の下端部にある多孔板を取り除くか、カーテンウォールの吃水深を若干大きくすればよいと思われる。

- ② 空気室前面の多孔板の長さ B_1 を $B_1/h=0.5$ にすると、反射波エネルギーは効率的に逸散され、実験を行った $B/L=0.09\sim 0.25$ の範囲で $K_R \leq 0.5$ をほぼ満足することができる。このようなエネルギー損失効果は、相対的に短周期な波ほど顕著に現れるが、長周期側では多孔板がない状態での K_R がもともと低いため、 K_R は結果的に周期変化に均された特性になる。したがって、上記の密閉空気室の透過率低減効果と組み合わせることにより、低反射、低透過型の構造物になると考えられる。

- ③ B. D. システムを付加することによるエネルギー損失率 K_L^2 の増加($H_0=12\sim 16$ cm)は、

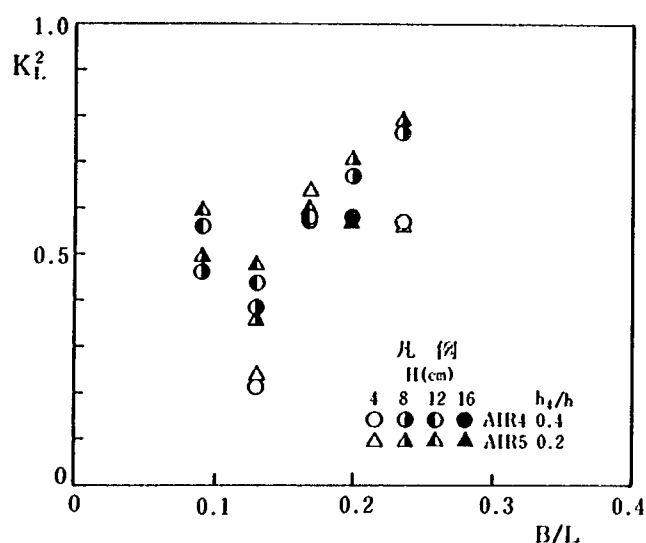


図 6.44 改良空気密閉型 (AIR 4, AIR 5) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)

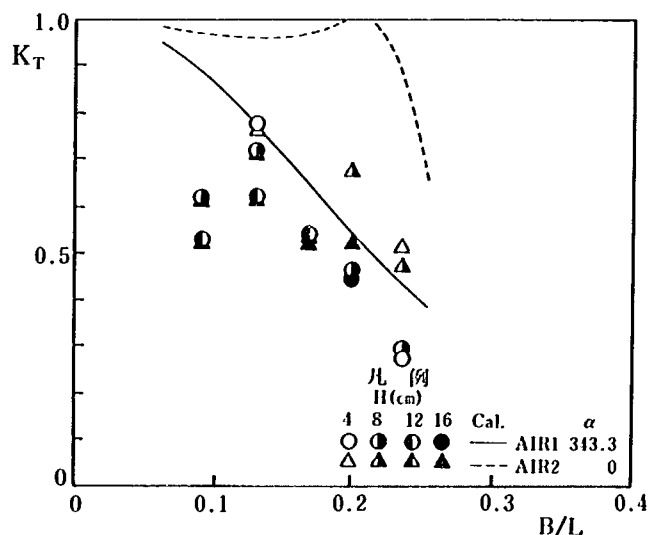
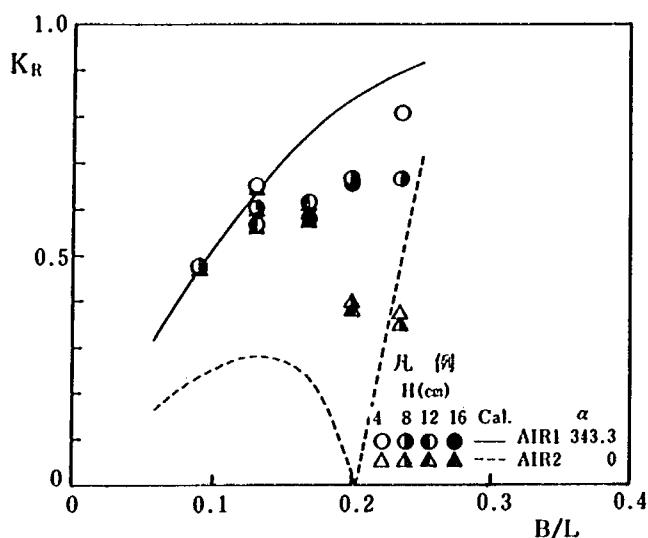


図 6.45 改良空気密閉型 (AIR 1, AIR 2) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_4/h=0.4$)

$B_1/h = 0.2$, $B_2/h = 1.0$ の場合 $0.07 \sim 0.12$, $B_1/h = 0.5$, $B_2/h = 0.7$ の場合 $0.02 \sim 0.05$ で, K_R の低減に若干寄与する。そして, 波が乗り上げない状態での空気室前面の波高 (重複波の波高) が大きいほど, その効果が期待できる。この構造の消波機能そのものは, 多孔板と比べて小さいと思われるが, 越波防止工としての機能を考えあわせれば, 現実的な構造であると言えよう。



- ④ 空気密閉型と開放型との差異は, 開放型の共振周期付近で顕著に現れ, 密閉型の方が K_T が低く, K_R が高くなる。したがって, 空気室前面の多孔板や B. D. システム等により K_R を効率的に低減することができれば, 密閉型の特長が生かされる。

(5) 今後の課題

本構造形式を実際の構造物に適用する場合, コンクリート製ケーソンを用いた重力式, および PBS (杭打連結ブロック工法) に代表される有脚式がある。ここでは, 後者の工法を用いることを前提としたときの設計, 施工上の課題, および水理上の残された課題について述べる。

(設計上の検討事項)

- ① 基礎杭の安定性を検討するための構造物全体に作用する波力, および個々の部材の設計に用いる波圧を水理実験により把握する。この場合特に, 砕波による衝撃的な力を求めておく必要がある。
- ② 耐用年数に見合った耐久性を考慮した設計方法を確認する。PBSにおいては, 特に繰り返し交番荷重を受ける部材の疲労に対する安全性, および使用限界状態においてパーシャル・プレスト・コンクリートを採用する場合の耐腐食性について検討する必要がある。

(施工上の検討事項)

- ① 杭や据え付け途中のブロックの仮固定, 仮緊張などを検討することにより, 荒天時における施工上の対処方法を確立する。
- ② 従来, 杭の打設やブロックの据え付けには, 杭打船や作業船が使われてきたが, これらをできるだけ用いない方法を開発することにより, 気象, 海象の影響を受けにくい施工方法を確立する。
- ③ 空気室の密閉性を確保する方法を確立する。

(水理上の課題)

- ① 3次元平面水槽を用いて, 構造物背後の海底地形の変化を実験的に求め, 養浜効果を把握

する。

なお以上は、PBSを用いることを前提に述べたものであるが、本構造物においてはこのほかに、空気室全体をプレキャスト化して施工する方法がある。この場合、上記に述べた課題のうち、（設計上の検討事項）の②および（施工上の検討事項）の①～③は無関係になる。すなわち、施工の際大型のクレーン船が必要になる反面、施工期間の短縮および施工精度の確保（空気室の密閉性など）が可能になる。したがって、まずコストスタディーを行い、施工法を選択する必要があると思われる。

6.4.6 中詰型*

(i) 中詰消波ブロックの天端高を変えた場合の透過率、反射率の変化

相対幅 B/L と透過率 K_T の関係を図 6.47 に示す。中詰消波ブロック天端の没水深と水深の比が $R/h=0.1, 0.3$ の場合を比較すると、両者とも K_T は $0.4 \sim 0.6$ であり、中詰消波ブロックの天端高さの変化による K_T の値は大差ない。相対幅 B/L と反射率 K_R の関係を図 6.48 に示す。 $R/h=0.1, 0.3$ の K_R は両方とも $0.5 \sim 0.2$ であり、中詰ブロックの天端高さの変化による K_R の違いは、 K_T と同様それ程みられない。

以上より、消波ブロック天端を $R/h=0.1$ から $R/h=0.3$ に低くしても K_T, K_R には大きな影響がないことがわかる。また、 $R/h=0.1 \sim 0.3$ を確保すれば、 $B/L \geq 0.1$ において $K_T \leq 0.6, K_R \leq 0.5$ を満足する。一方、構造型式より、中詰型の消波作用を考察すると次のことが推察される。

$R/h=0.1, 0.3$ の場合のように、スリット壁の中に消波ブロックを中詰した構造物は、水底面から中詰消波ブロック天端まではスリット壁と中詰消波ブロックで構成されており、中詰消波ブロック天端より上は

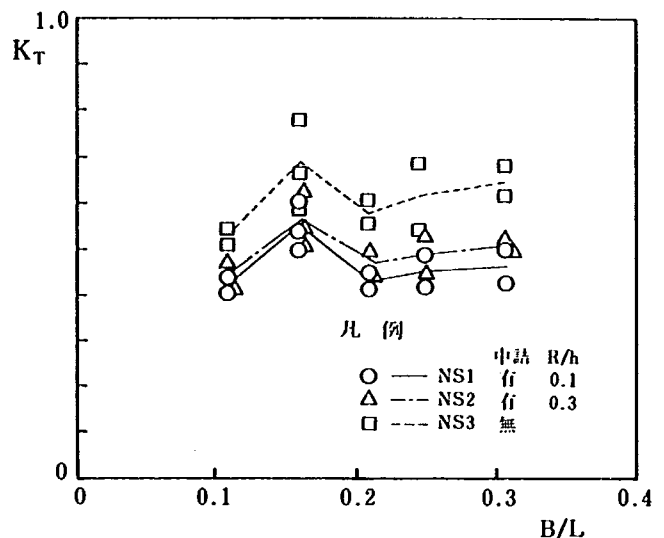


図 6.47 中詰型の K_T と B/L の関係
($B/h=1.5, h_1/h=0.3, h_2/h=1.0, N=3, \epsilon=0.28$)

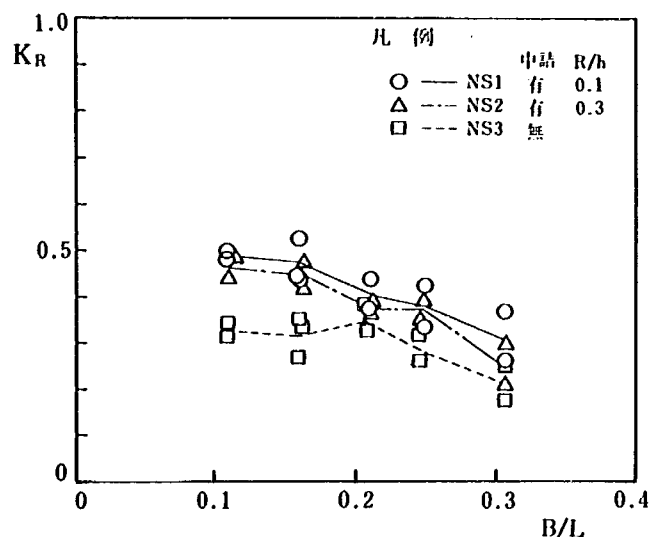


図 6.48 中詰型の K_R と B/L の関係
($B/h=1.5, h_1/h=0.3, h_2/h=1.0, N=3, \epsilon=0.28$)

* 執筆；小山文男（大成建設株式会社 土木本部設計部）

スリット壁のみで構成されている。このため、消波作用は中詰消波ブロック天端より上と下で異なっていると思われる。中詰消波ブロック天端より上では、水粒子の運動は3枚のスリット壁にさえぎられ、大きく乱れてエネルギーを損失するのに対して、中詰消波ブロック天端より下では、水粒子が消波ブロック内の空隙を通過するとき、徐々にエネルギーを損失するものと思われる。相対幅 B/L とエネルギー損失率 K_L^2 の関係を示した図6.49によれば中詰消波ブロック天端が $R/h=0.1$ と $R/h=0.3$ の場合

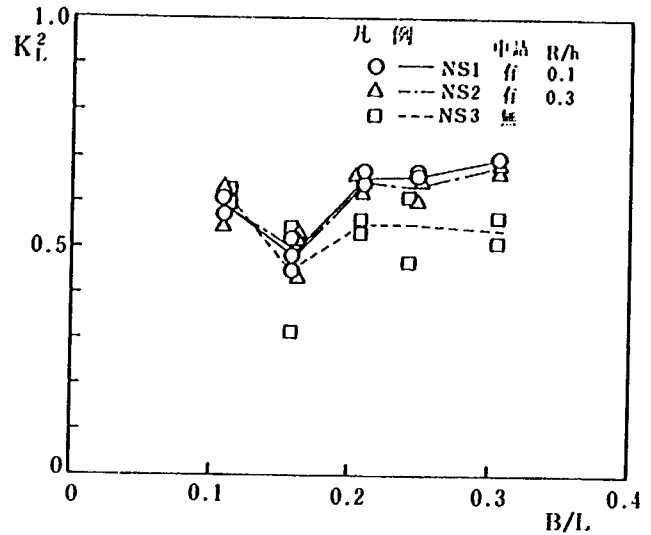


図 6.49 中詰型の K_L^2 と B/L の関係
($B/h=1.5$, $h_1/h=0.3$, $h_2/h=1.0$ $N=3$, $\epsilon=0.28$)

で K_L^2 はほぼ同一の値を持つ。 $R/h=0.1$ のときは $0.1h$ 以深には中詰消波ブロックがあるのに対し、 $R/h=0.3$ のときは $0.1h \sim 0.3h$ の間はスリットのみとなる。それにもかかわらず、両者がほぼ同一の K_L^2 を持ったことから判断すると、この区間の中詰消波ブロックとスリット壁のエネルギー損失率は大差ないことがわかる。これらより中詰は少なくとも $R/h=0.3$ までとすれば良いと考えられる。

(2) 中詰消波ブロックの消波効果

中詰消波ブロック天端より下の消波ブロックの消波効果を調べるために、 $R/h=0.1$, 0.3 の場合の K_T , K_R と、中詰消波ブロックのない $R/h=1.0$ の場合の K_T , K_R を比較する。 $R/h=1.0$ の場合は、 $R/h=0.1$, 0.3 の場合と比較して K_T が $0.1 \sim 0.2$ 大きくなり、 K_R が $0.1 \sim 0.2$ 小さくなる。また $R/h=1.0$ の場合の K_L^2 は、 $B/L=0.1 \sim 0.15$ では $R/h=0.1$, 0.3 の場合と大差ないが、 $B/L=0.15 \sim 0.3$ では $R/h=0.1$, 0.3 の場合よりも $0.1 \sim 0.15$ 程度小さい。従って、 $R/h=0.1 \sim 0.3$ の範囲では中詰消波ブロックの消波効果は顕著ではないが、 $R/h=0.3 \sim 1.0$ の範囲では、中詰消波ブロック内でのエネルギー損失の方が、スリット壁のみによるエネルギー損失よりも大きいことがわかる。また、 $R/h=0.1$, 0.3 , 1.0 のいずれの場合も、 B/L の変化による K_T , K_R の変化が同じ傾向にあり、中詰消波ブロックの有無にかかわらず、 B/L の変化による消波特性は類似していることがわかる。

(3) ま と め

- ① $R/h=0.1$, 0.3 のいずれの場合も、 K_T は $0.4 \sim 0.6$ 程度となり、 K_R は $0.2 \sim 0.5$ 程度となる。従って、中詰消波ブロックの天端を $R/h=0.1$ から 0.3 に低くしても K_T , K_R には大きな影響を与えない。
- ② 中詰消波ブロックのない $R/h=1.0$ の場合は、 $R/h=0.1$, 0.3 の場合と比較して K_T が $0.1 \sim 0.2$ 大きくなり、 K_R が $0.1 \sim 0.2$ 小さくなる。これから、 $R/h=0.3 \sim 1.0$ の範囲では、

中詰消波ブロック内でのエネルギー損失の方が、スリット壁のみによるエネルギー損失よりも大きいことがわかる。

- ③ K_L^2 一定の見地から判断すると、中詰消波ブロックは少なくとも $R/h = 0.3$ まで詰めれば良い。

(4) 今後の課題

- ① 中詰材の違いによる消波効果に関する水理模型実験。
- ② スリット壁の空隙率の違いによる消波効果に関する水理模型実験。
- ③ 碎波、重複波が作用するときの全体波圧及び波圧強度に関する水理模型実験。
- ④ 漂砂制御に関する水理模型実験。
- ⑤ 洗掘に関する水理模型実験。
- ⑥ 中詰材の安定性の検討及び中詰材の開発。

6.7 あとがき

本研究により対象構造として抽出した6種の消波構造タイプについて反射および透過の水理特性に関するいくつかの結論を得、それぞれの構造タイプの主要な消波性能を知ることができた。

今後、実用化への評価を進めるためには、波力特性を明らかにし、具体的な条件を定めて試設計を行い、施工可能性を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明：新しい消波構造物の開発，河川，日本河川協会，No. 483，pp. 24～29，1986.
- 2) 清川哲志・大山 巧：空気密閉式カーテンウォール堤による波の反射・透過特性と内部空気圧の調節による波浪制御，土木学会論文集，第375号，pp. 271～280，1986.
- 3) 酒匂敏次他：土木工学体系35 ケーススタディ海工システム，彰国社版，p. 328，1978.
- 4) 井島武士・尾崎重雄・江口泰彦・小林 彰：水平板による防波堤と岸壁に関する理論的研究(2)，第17回海岸工学講演会論文集，pp. 97～106，1970.
- 5) 田淵幹修・滝川 清：離岸潜堤の消波機構に関する一考察，第28回海岸工学講演会論文集，pp. 367～371，1981.
- 6) 服部昌太郎：水平板式透過性防波堤の波高伝達，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 513～517，1975.
- 7) 谷本勝利・吉本靖俊・高橋重雄：大水深波浪制御構造物に関する水工的研究(その1)，港湾技研資料，No. 516，p. 39，1985.
- 8) Kondo H. : Analysis of Breakwaters Having Two Porous Wall, Coastal Structure, ASCE, pp. 962～979, 1979.
- 9) 永井莊七郎・角野昇八：スリット型防波堤に関する研究，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 100～105，1976.
- 10) Tanaka, S. and M. Yano : Local Scour around a Circular Cylinder, Proc. 12th Congress of IAHR, 1967.
- 11) Yoshimi Goda and Yasumasa Suzuki : Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments Proc. of 15th Coastal Engineering Conference, pp. 828～845, 1976.
- 12) 萩原運弘：多重円筒列型防波堤の反射率・透過率の解析と諸要因の影響，土木学会論文集，第363号，pp. 185～194，1985.
- 13) 森平倫生・柿崎秀作・合田良実：カーテン防波堤とその特性について，港湾技術研究所報告，Vol. 3, No. 1, 1964.

記号一覧

- B : 構造物の岸沖方向の幅
(水平板付スリットの場合, 水平板の岸沖方向の幅)
- B' : 水平板付スリット型の下部スリット壁部の岸沖方向の幅
- B₁ : 中央のスリット壁の中心から沖側のスリット壁外面までの距離
改良空気密閉型の場合, 多孔水平板長
- B₂ : 中央のスリット壁の中心から岸側のスリット壁外面までの距離
改良空気密閉型の場合, 空気室幅
- D : 構造物の法線方向の幅
- d : 水平板間の距離
- H₁ : 入射波高
- H₀ : 沖波波高
- H_R : 反射波高
- H_T : 透過波高
- h : 水 深
- h₁ : 構造物の静水面から天端までの高さ
- h₂ : 構造物の下端から静水面までの長さ
- h₃ : 改良空気密閉型の空気室部堤体の静水面からの高さ
- h₄ : 改良空気密閉型の沖側越波防止工の静水面からの高さ
- K_L² : エネルギー損失率 ($K_L^2 = 1 - K_R^2 - K_T^2$)
- K_R : 反射率 ($K_R = H_R / H_1$)
- K_T : 透過率 ($K_T = H_T / H_1$)
- L : 入射波長
- L₀ : 沖波波長
- N : スリット枚数
- R : 水平板設置水深 (水平板付スリット型, 透過水平板付スリット型)
中詰消波ブロックの天端の没水深 (中詰型)
- T : 周 期
- ε : 空隙率 (孔の総面積のスリット全面積に対する比)
- ε_H : 水平板の空隙率 (水平板付スリット型, 透過水平板付スリット型)
- ε_V : 鉛直壁の空隙率 (水平板付スリット型, 透過水平板付スリット型)
- ε₁ : 沖側の鉛直壁の空隙率 (スリット型, 平面トラス型)

ϵ_2 : 中央の鉛直壁の空隙率 (スリット型)

斜め鉛直壁の空隙率 (平面トラス型)

ϵ_3 : 岸側の鉛直壁の空隙率 (スリット型, 平面トラス型)

7. 複合消波機能を有する海域制御 構造物に関する実験的検討

建設省土木研究所海岸研究室 室長 宇多 高明
研究員 村井 禎美

(株)大林組技術開発本部海洋技術部 藤沢 康雄

THE HISTORY OF THE CITY OF NEW YORK

FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
BY
JOHN B. HOGGINS

7.1 目 的

外洋に面した海域は、波浪条件が厳しく、流れや漂砂が活発である。そのような海域において、海洋空間の有効利用を図るためには、波、流れ、漂砂を制御する新しい海域制御構造物の開発が必要である。本研究の目的は、波運動を流れや渦等の乱れに変換し、同時に若干の反射を組み合わせた複合消波機能を有する海域制御構造物を開発することにある。このため、まず、構造形態を考案し、次に、水理模型実験を行うことによって、構造物の透過率、反射率や消波メカニズムを調べた。

7.2 水理模型実験

7.2.1 実験水槽

実験は、日本大学理工学部海洋建築工学科の2次元造波水路を使用して行った。2次元造波水路の形状を図7.1に示す。実験水槽の諸元は次の通りである。

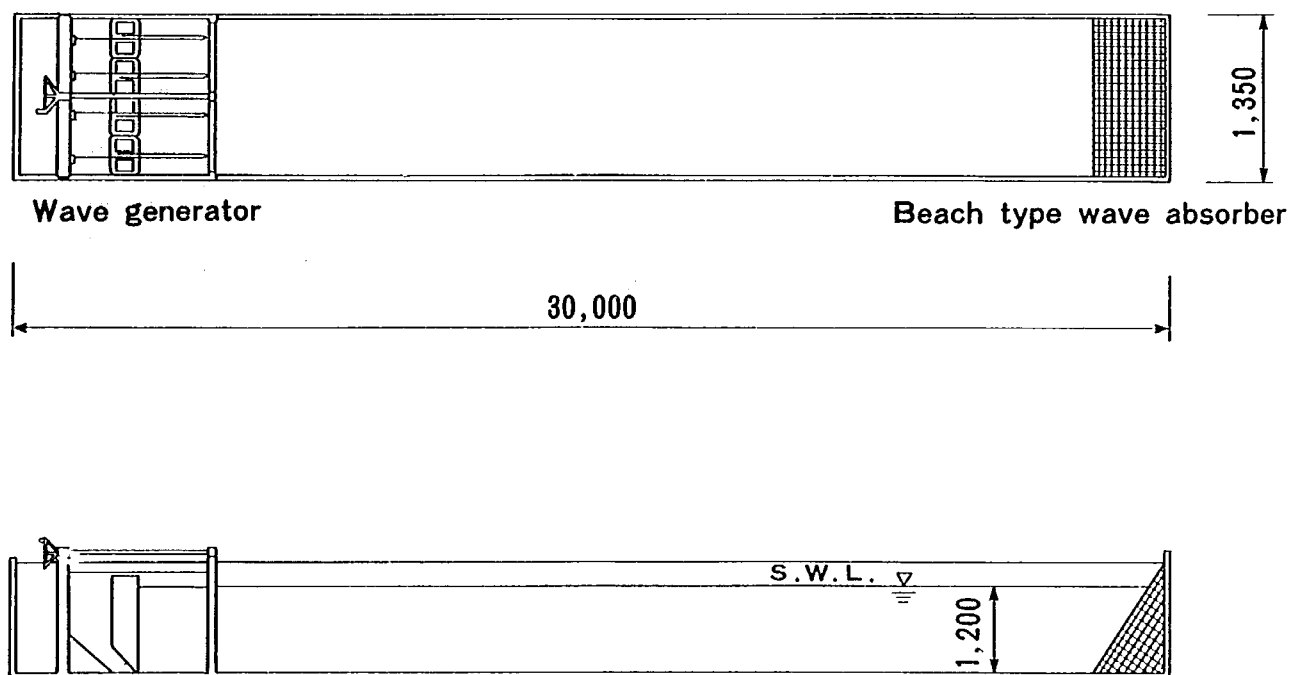


図 7.1 2次元造波水路

長	さ		30 m
幅		1.35 m	
常用水深		1.2 m	
造波装置		フラップタイプ造波装置	

最大波高 2.5 cm
発生周期 0.3 ~ 3.0 sec

7.2.2 実験模型

基本実験では，図 7.2 に示すように水平板と Y 型垂直板からなる，塩化ビニール製模型を用いた。ここに，隣接する水平板の間隔を水平板間隔 W_B と定義し，また，Y 型垂直板先端部の間隔 W に対する後端部の間隔 W_e の比を，Y 型垂直板の開口率 ϵ と定義した。開口率は 75%，62.5%，50%，25% と 4 種類変えた。さらに，V 型遊水部に導かれた水が上方へ跳ね上がるのを防止するために，V 型遊水部の上部に蓋を取り付けてある。模型の Y 型垂直板の開閉角 (θ) は図 7.3 に示すように $\theta_1 = 11^\circ$ ， $\theta_2 = 21^\circ$ とし，それぞれ A タイプ，B タイプとした。また，実験模型の設置断面図を図 7.4 に示す。なお，模型実験の縮尺は 1/25 である。実験模型の諸元を表 7.1 に，また，実験に用いた 4 タイプの模型形状の諸元を表 7.2 に示す。さらに，A タイプ模型，及び，B タイプ模型の正面，上面，側面状況をそれぞれ写真 7.1 ~ 7.6 に，模型実験中の状況を写真 7.7 に示す。

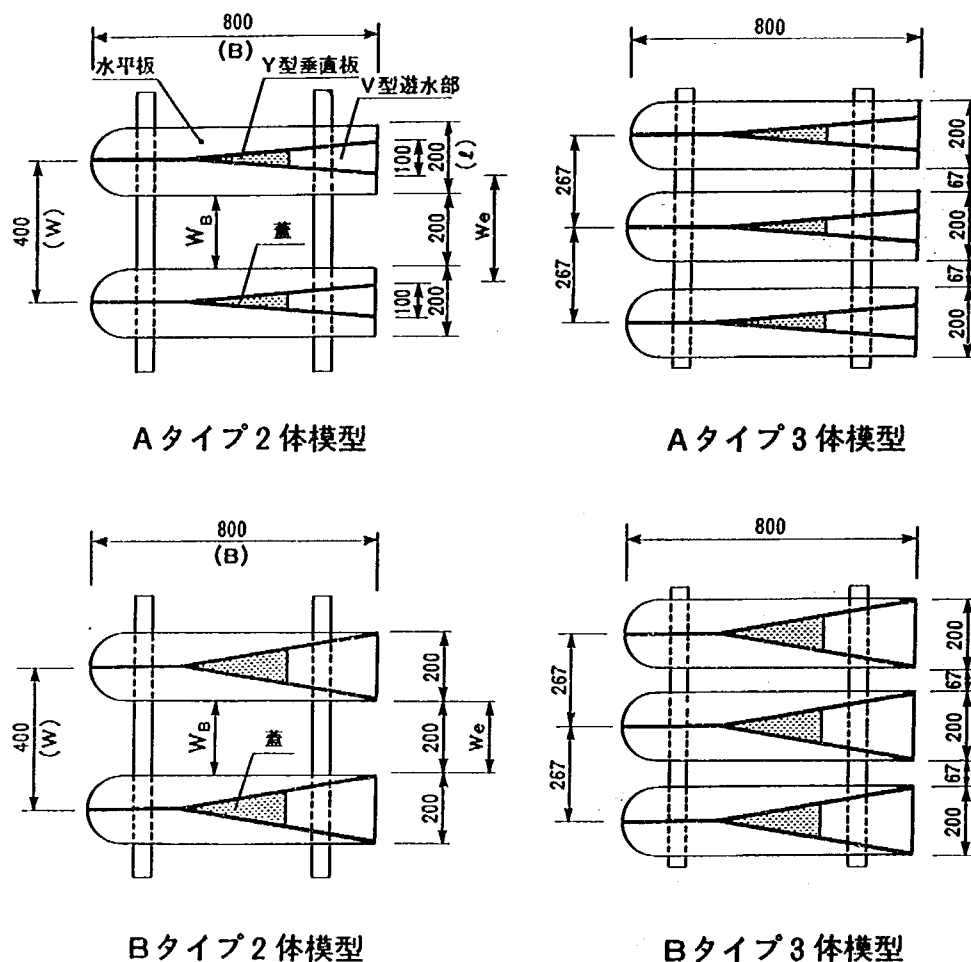
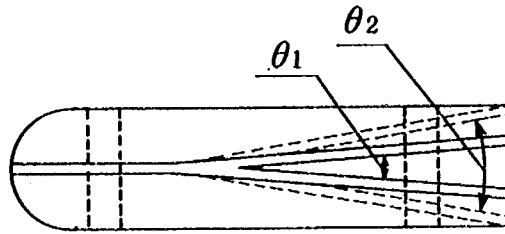


図 7.2 複合消波構造物模型



Aタイプ $\theta_1=11^\circ$ Bタイプ $\theta_2=21^\circ$

図 7.3 Y型垂直板の開閉角 (θ)

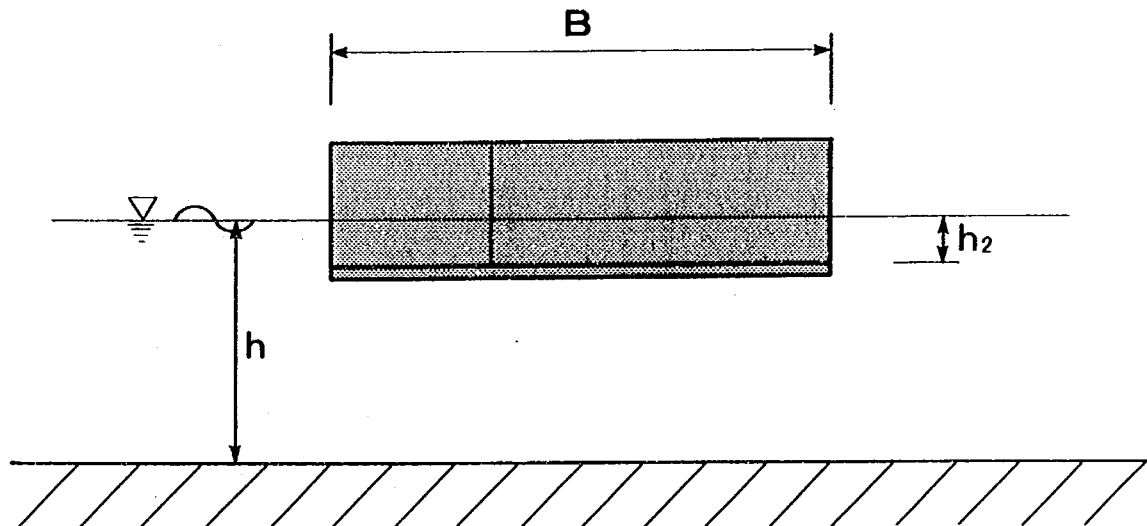


図 7.4 複合消波構造物の断面図

表 7.1 実験模型諸元

項 目	実 海 域	模型 (縮尺 1/25)
水 深 (h)	10 m	40 cm
水平板長さ (B)	20 m	80 cm ($B/h=2.0$)
水平板幅 (ℓ)	5 m	20 cm ($\ell/h=0.25$)
水平板間隔 (W_B)	5 m, 1.67 m	20 cm, 6.7 cm ($W_B/h=1/2, 1/6$)
水平板没水深 (h_2)	1 m, 1.5 m, 2 m	4 cm, 6 cm, 8 cm ($h_2/h=0.1, 0.15, 0.2$)

表 7.2 模型形状諸元

模型形状名称	水平板間隔 W_B	開閉角 θ	Y型垂直板 端部間隔 W_e	開口率 ϵ (W_e/W)
A-2 Aタイプ2体模型	20 cm	11°	$W=40$ cm $W_e=30$ cm	75 %
A-3 Aタイプ3体模型	6.7 cm	11°	$W=26.7$ cm $W_e=16.7$ cm	62.5 %
B-2 Bタイプ2体模型	20 cm	21°	$W=40$ cm $W_e=20$ cm	50 %
B-3 Bタイプ3体模型	6.7 cm	21°	$W=26.7$ cm $W_e=6.7$ cm	25 %

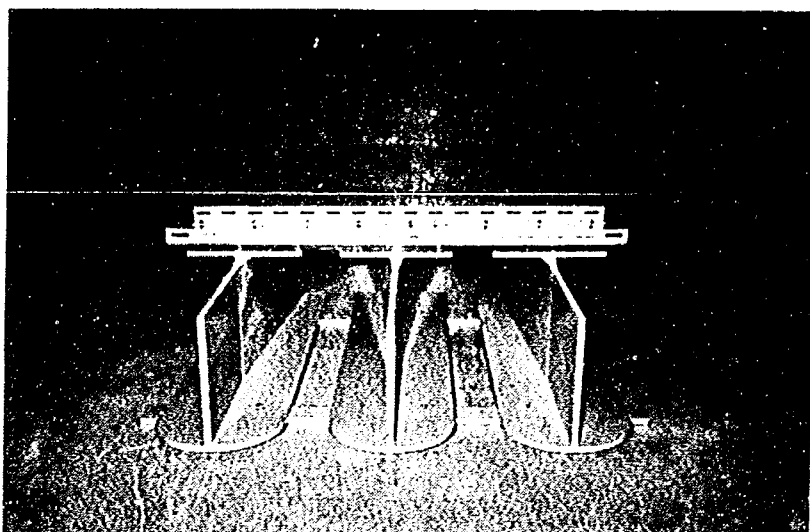


写真 7. 1 A-3タイプ模型（正面）

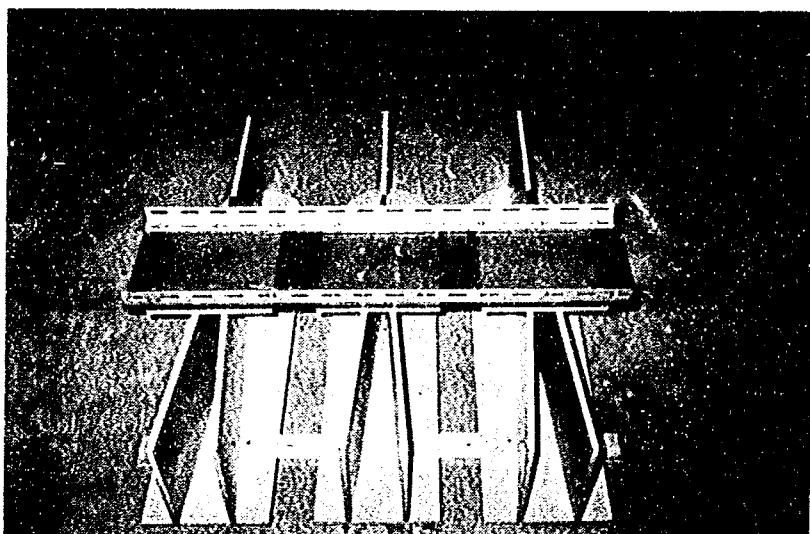


写真 7. 2 A-3タイプ模型（上面）

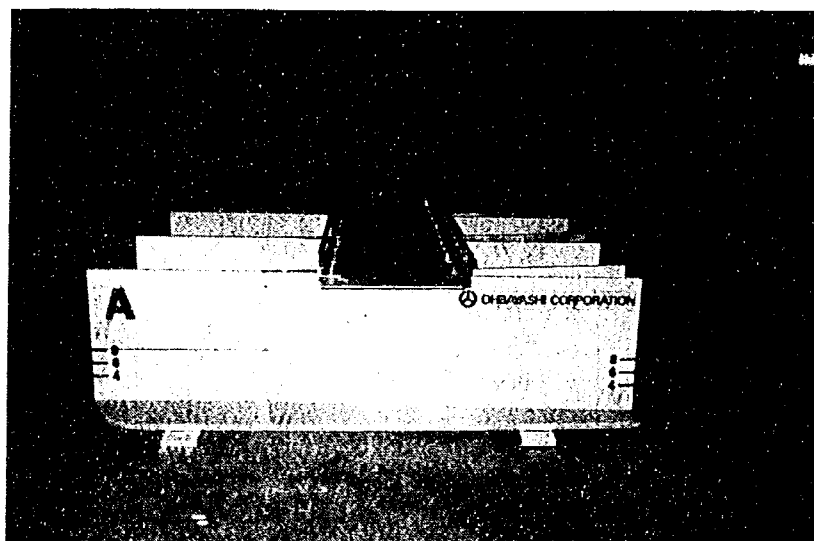


写真 7. 3 A-3タイプ模型（側面）

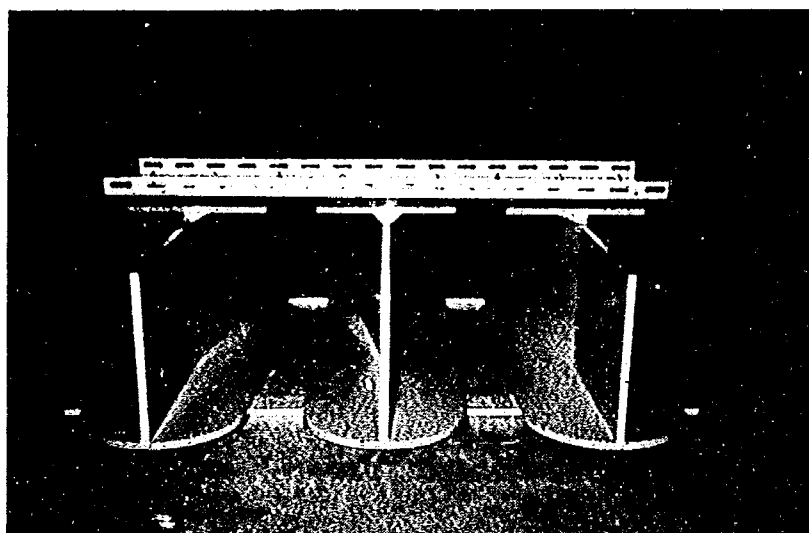


写真 7. 4 B-3タイプ模型（正面）

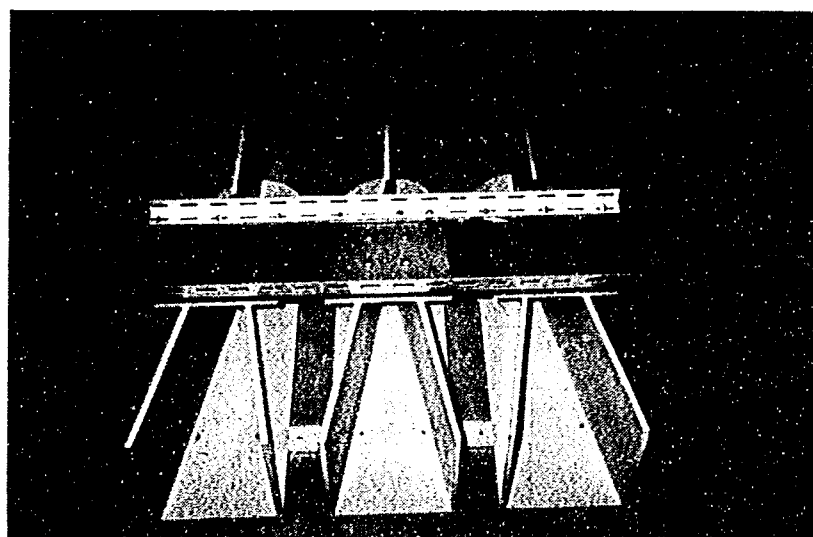


写真 7. 5 B-3タイプ模型（上面）

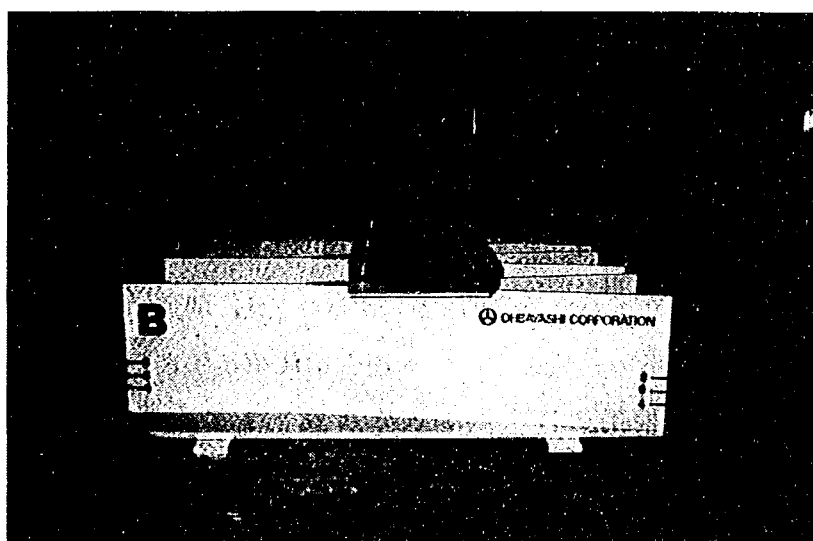


写真 7. 6 B-3タイプ模型（側面）

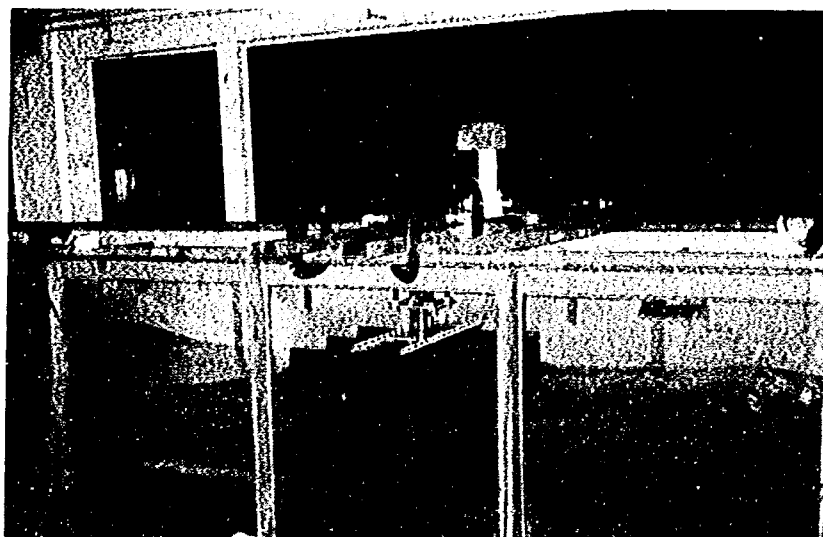


写真 7.7 模型実験状況

7.2.3 基本実験の条件

基本実験は、複合消波構造物のパラメータ（水平板間隔 W_D ，水平板没水深 h_2 ，開閉角 θ ）の消波機能にもたらす水理学的特性の概略を調べると共に，本実験の波浪，模型条件を決定するために行った。また，波浪条件は，土木研究所で実施した61年度実験の条件及び我が国周辺海域の波浪条件を参考として，表7.3に示す波浪条件とした。

表 7.3 波浪条件

項 目	実 海 域	模型(縮尺1/25)
水 深	10 m	40 cm
沖 波 周 期	4~10 sec (1 sec 毎)	0.8~2.0 sec (0.2 sec 毎)
沖 波 波 高	2 m	8 cm

7.2.4 計測装置の配置

基本実験における計測装置の配置を図7.5に示す。

7.3 基本実験の結果と考察

複合消波構造物のように入射波を流れや渦等に変換する，つまり幾つかの消波メカニズムを用いて波を消波する装置の複合消波特性を明らかにすることは，関連する因子が多いため容易なことではない。ここでは基本実験の結果をもとに，本複合消波構造物に対し，若干の考察を加える。なお，実験データの処理・解析手法は次のようである。まず，沖波波高 H_0 及び透過波高 H_T は，波高計データをFFT処理して求め，さらにFFT処理の後，合田らの手法¹⁾によって入射波高 H_I と反射波高 H_R を分離した。これらの結果を用いて，透過率 K_T (H_T/H_I)，反射率 K_R (H_R/H_I)を求めた。

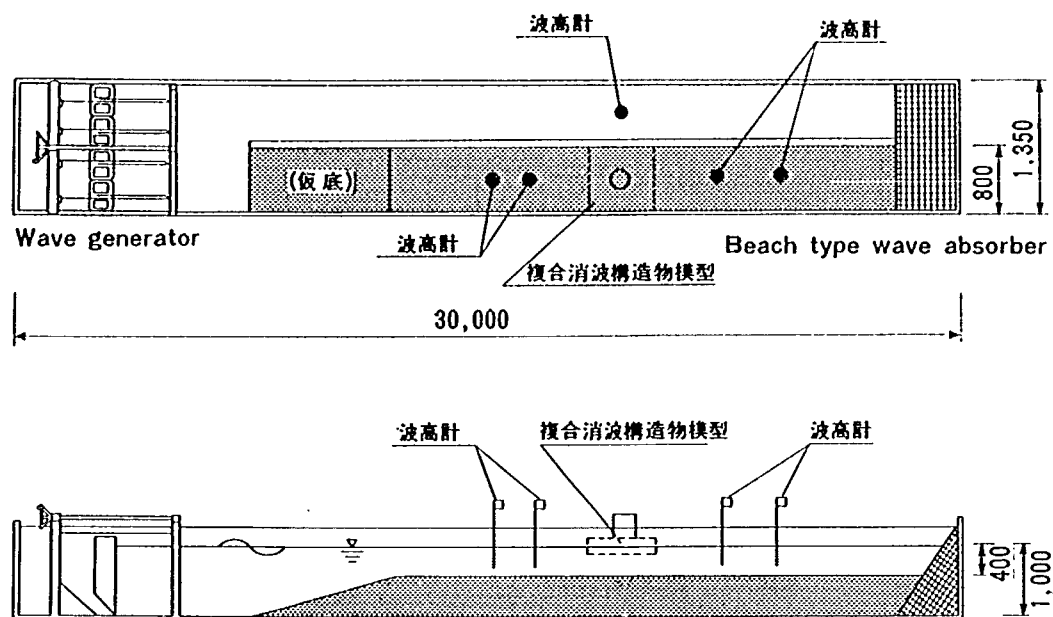


図 7.5 計測装置の配置

7.3.1 複合消波構造物の透過率，反射率及び消波効果

模型形状（Aタイプ，Bタイプ）に対する透過率（白抜き），反射率（黒塗り）の変化を模型没水深ごとに示すと図 7.6～図 7.8 となる。図 7.6，7.7，7.8 の順に模型没水深は 4，6，8 cm と変化する。縦軸は透過率 K_T と反射率 K_R を示し，また横軸は模型長さ B を入射波長 L で無次元化したものである。図によると，没水深や模型形状の各ケースに対して，反射率が小さく，約 0.2 以下になっていることがわかる。また，透過率は周期により変化し，短周期ほど小さくなる。全般に透過率はかなり小さくなっており，最小値は 0.23 にもなる。

次に，遊水部形状は同一であるが，Y型垂直板の枚数が異なる A-2 タイプ模型と A-3 タイ

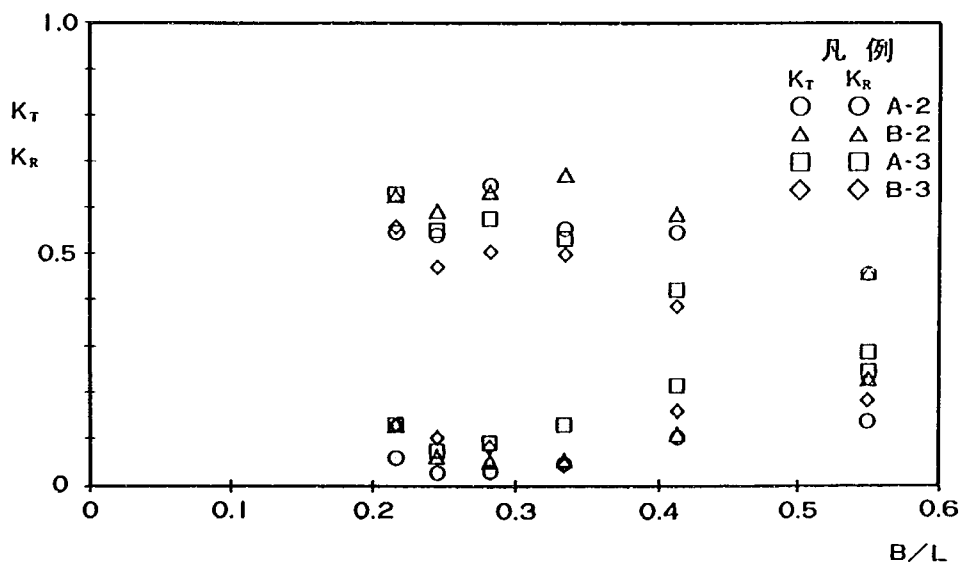


図 7.6 複合消波構造物の K_T ， K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.1$)

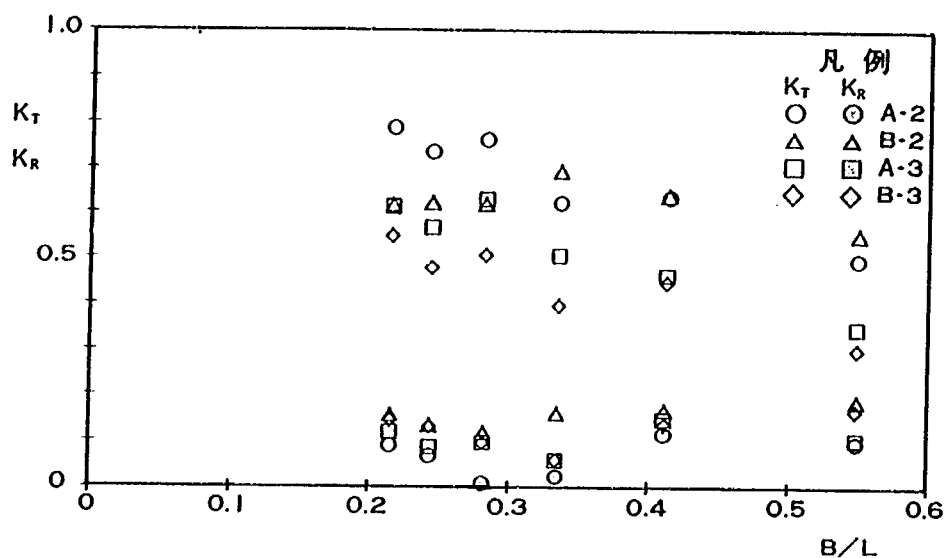


図 7.7 複合消費構造物の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.15$)

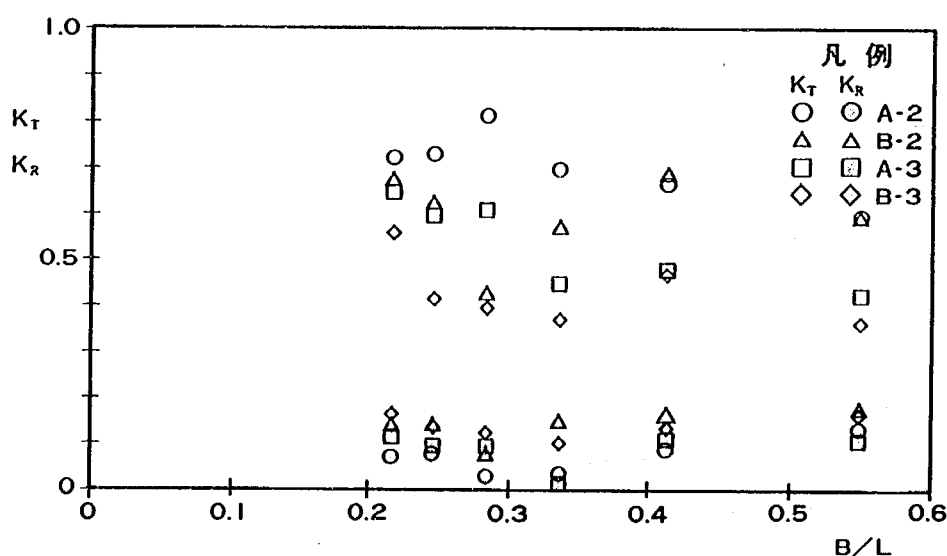


図 7.8 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.2$)

ブ模型, また, B-2 タイプ模型と B-3 タイプ模型を比較すると, 透過率は, 開閉角 (θ) や没水深 (h_2) の各ケースに対し 2 体型模型 (水平板間隔 20 cm) よりも 3 体型模型 (水平板間 6.7 cm) が良好な結果を示す。周期によって透過率は変化するが, 平均的に約 0.25 向上している。これは, 2 体型模型から 3 体型模型にすることによって, 水平板間隔が狭くなり, その結果, 入射波の波高が収斂効果により増大するため, 水平板間の流れが激しくなり, 渦の発生が増進されたためと考えられる。以後はこの結果を考慮して 3 体型の複合消波構造物模型について考察を進める。

模型没水深の透過率, 反射率へ及ぼす影響を模型形状ごとに図 7.9, 図 7.10 に示す。図 7.9 は A-3 タイプ模型, 図 7.10 は B-3 タイプ模型の場合である。なお, 縦軸, 横軸の変数は, 前述したグラフと同様である。

図 7.9, 図 7.10 から, A-3 タイプ模型, B-3 タイプ模型の透過率はどちらも優れて

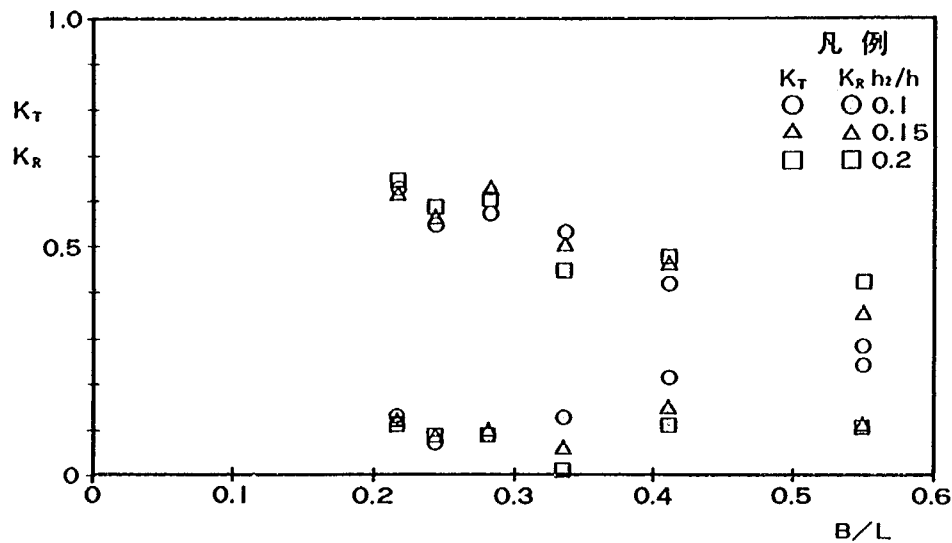


図7.9 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係
(A-3タイプ)

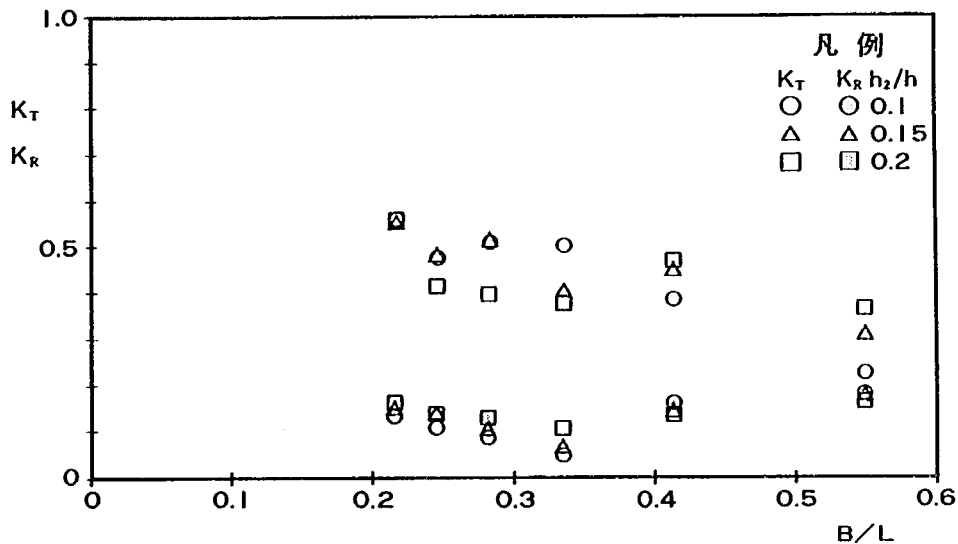


図7.10 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係
(B-3タイプ)

あり、A-3タイプ模型では $B/L=0.3\sim0.6$ で、0.5以下となり、B-3タイプ模型では $B/L=0.25\sim0.6$ で0.5以下になる。また、反射率も小さいことが読み取れる。図7.9によると、A-3タイプ模型の場合は、没水深変化による透過率の変化がそれほど顕著に現れない。没水深変化による透過率の変化が小さいという結果は、実海域に設置する際に、干満の差をあまり考慮しなくてすむことになり、実機を設計する際に便利であろう。さらに、図7.10から、B-3タイプ模型の場合、Bを一定としたとき長周期側では没水深が深いほど、また、短周期側では没水深が浅いほど小さな透過率を示している。この現象の生じた理由は以下のように考えられる。長周期側においては、没水深を深くしたことによって、Y型垂直板による入射波の収斂効果

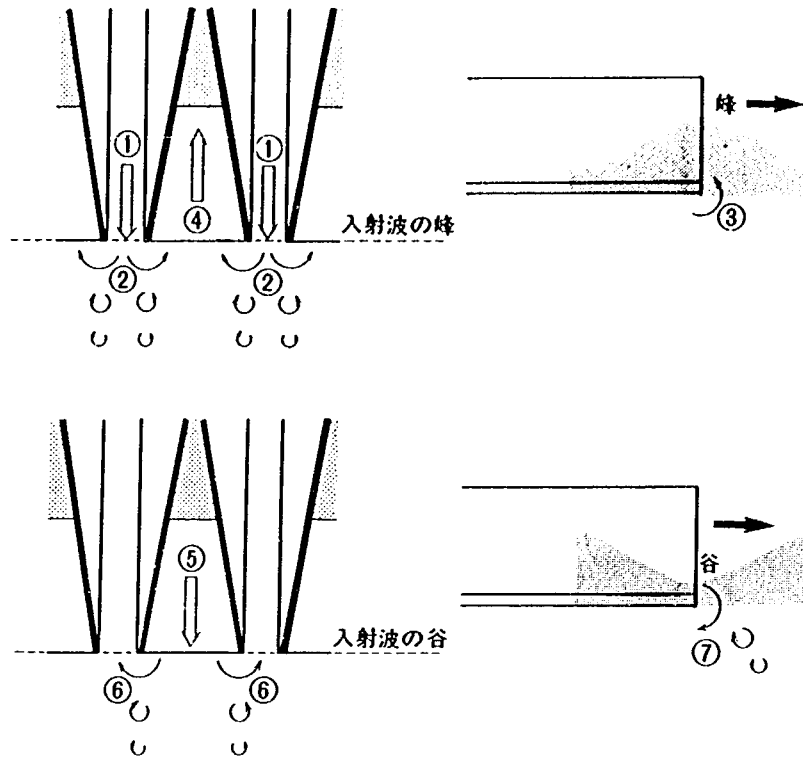


図 7.11 流れ及び渦の説明図

が促進され、模型後部の V 型遊水部近傍の流れや渦が増大したためと考えられる。短周期側においては、没水深を浅くしたことによって、入射波が水平板上で砕波することによる。また、実験中の観察においても、長周期側では、模型後部の V 型遊水部への水の出入りが顕著になり流れや渦が増大する傾向が見られ、短周期側では、入射波が水平板上で砕波する現象が見られた。

さらに、V 型遊水部近傍の流れと渦の状況を図 7.11 を用いて説明する。入射波の峰が模型後端部に達すると、Y 型垂直板後端部の間隔 W_e より波の進行方向に強い吹き出し流れを生ずる (①)。その水の一部は V 型遊水部との水位差及び流速差等によって水平方向の渦 (②) と、鉛直方向の渦 (③) を発生し、逆方向の流れとなって V 型遊水部へ導かれる (④)。次に、入射波の谷が模型後端部に達すると、逆方向の流れ (④) は V 型遊水部の内部で反射され、後方へ吹き出す流れを生じる (⑤)。この流れは入射波との水位差及び流速差等によって水平方向の渦 (⑥) と、鉛直方向の渦 (⑦) を発生する。なお、実験中の V 型遊水部近傍の流れ及び渦の状況を写真 7.8, 7.9 に示す。

次に、入射波波形勾配 H_1/L の透過率、反射率へ及ぼす影響を図 7.12, 図 7.13 に示す。今回の模型実験では、沖波波高を 8 cm に限定しているため、これらのグラフは図 7.9, 図 7.10 と同様の考察になる。よって、詳細に付いては省略する。

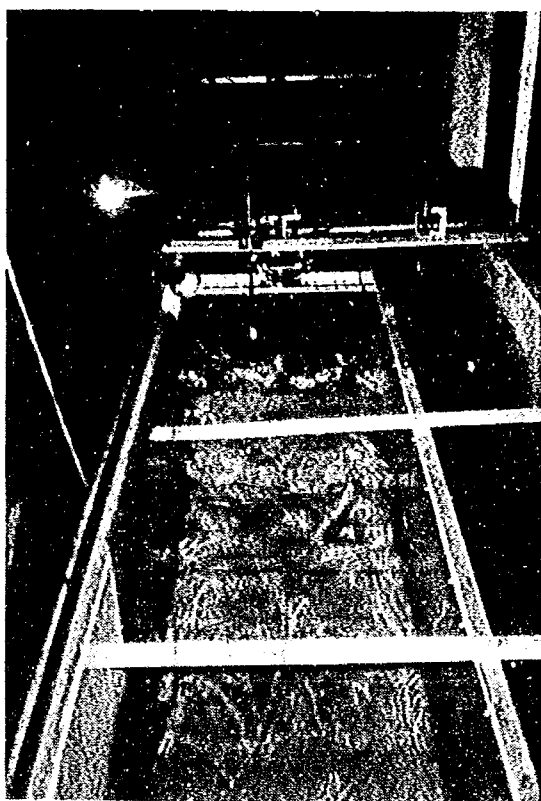


写真 7.8 V型遊水部近傍の全体状況



写真 7.9 V型遊水部近傍の水面下の状況

図 7.14 は、模型の V 型遊水部の効果を明らかにするために、V 型遊水部の影響が顕著になると考えられる没水深 8 cm について、V 型遊水部後端の開口部に蓋をして行った模型実験の透過率を示したグラフである。図中の白抜きマークは V 型遊水部後端の開口部に蓋がない場合（V 型遊水部の効果あり）、黒塗りマークは V 型遊水部後端の開口部に蓋をした場合（V 型遊水部の効果なし）の透過率を示す。これより、後端の開口部に蓋をした場合、つまり、V 型遊水部の効果無くした場合には、長周期側において透過率は大きくなる。このことは、図 7.10 で考察したように V 型遊水部の消波効果は長周期側において大きく、短周期側では、あまり期待出来ないことを意味する。また、A タイプ模型と B タイプ模型で V 型遊水部の効果を無くした場合の透過率がほぼ等しいことから、今回の基本実験では Y 型垂直板の開閉角度 $\theta_1 = 11^\circ$ と比較して $\theta_2 = 21^\circ$ の収斂効果はさほど大きくない。以上のことから、A、B タイプ模型で V 型遊水部の効果を取り入れた場合、長周期側の透過率は、V 型遊水部の影響で小さくなることが明らかになった。

以上のように、本複合消波構造物の消波メカニズムは、主に、波のエネルギーを Y 型垂直板による収斂効果、及び、水平板間の流れと渦のエネルギーに変換し消散させるものである。特に、短周期側では水平板による砕波、長周期側では V 型遊水部による流れと渦によって消波する複合消波機能である。

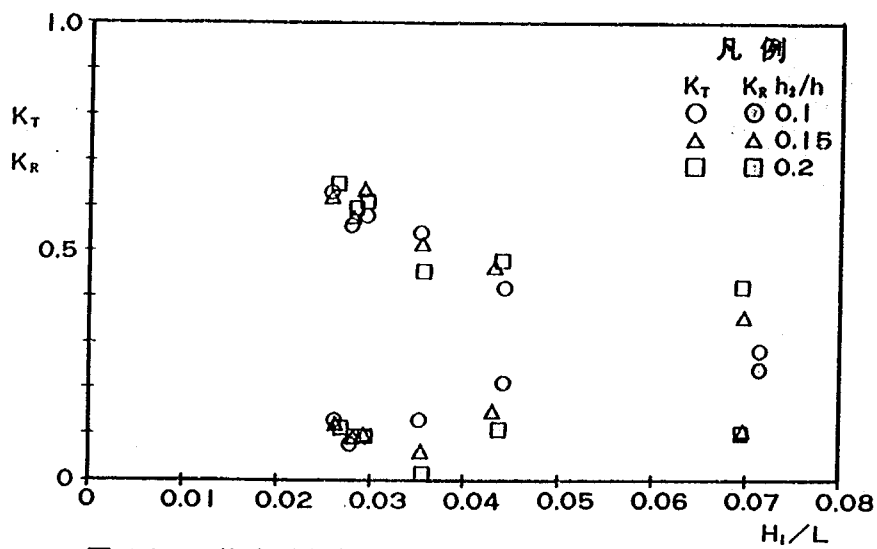


図 7.12 複合消波構造物の K_T , K_R と H_I/L の関係
(A-3 タイプ)

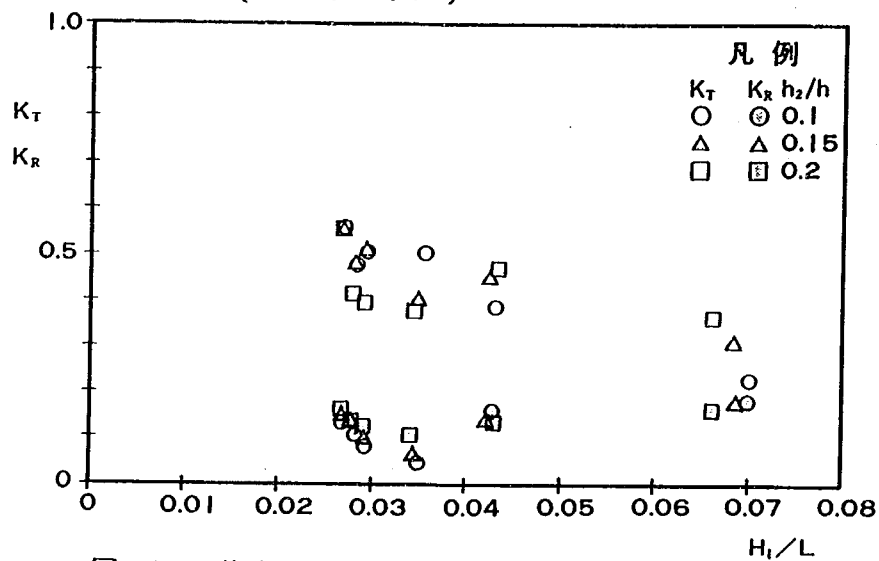


図 7.13 複合消波構造物の K_T , K_R と H_I/L の関係
(B-3 タイプ)

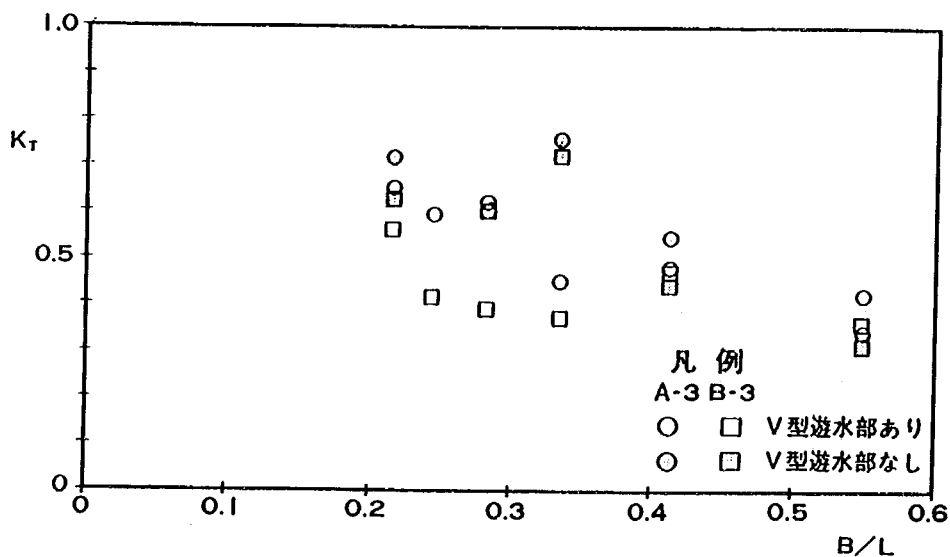


図 7.14 複合消波構造物の V 型遊水部変化による K_T と B/L の関係
($h_2/h = 0.2$)

7.3.2 複合消波構造物のエネルギー損失率

模型没水深のエネルギー損失率へ及ぼす影響を A-3 タイプ模型と B-3 タイプ模型について示すと図 7.15, 図 7.16 になる。ここにエネルギー損失率 K_L^2 は次式で表す。

$$K_L^2 = 1 - K_T^2 - K_R^2 \quad (7.1)$$

A-3, B-3 タイプ模型共に, 高いエネルギー損失率を示しており, A-3 タイプ模型では

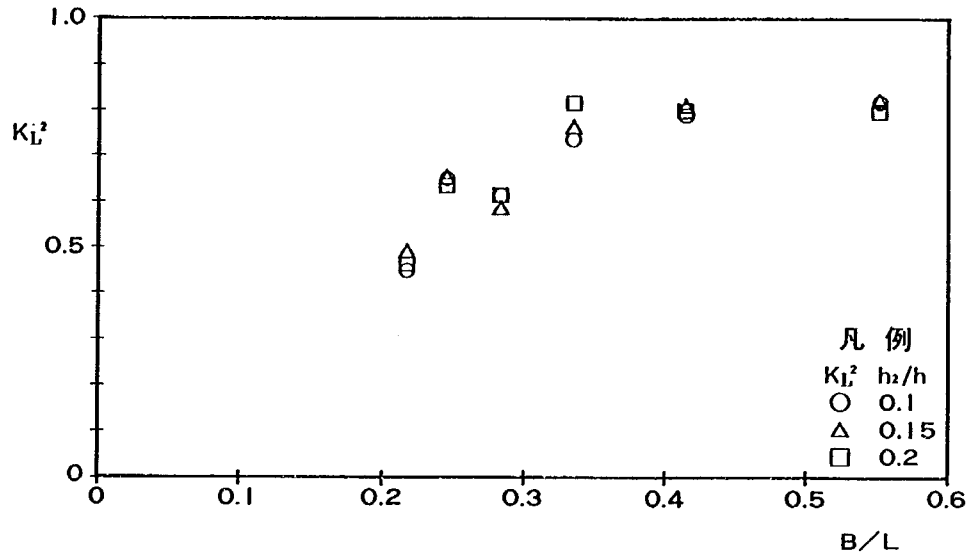


図 7.15 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係
(A-3 タイプ)

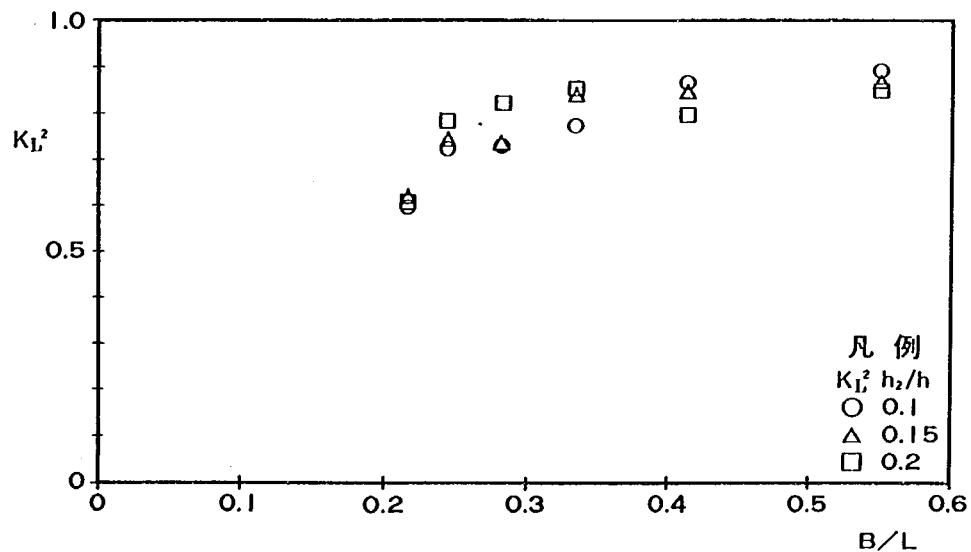


図 7.16 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係
(B-3 タイプ)

$B/L = 0.3 \sim 0.6$ で 0.8 以上となり、B-3 タイプ模型では $B/L = 0.25 \sim 0.6$ で 0.8 以上になる。また、模型没水深のエネルギー損失率へ及ぼす影響は少ない。このことより、本複合消波構造物によって、多くのエネルギーを流れ及び渦のエネルギーに変換し消費させていることがわかる。

以上のような複合消波メカニズム並びに消波特性により、本複合消波構造物はかなり広い周期帯において消波が可能である。従来の消波構造物では、消波効率が悪いとされている長周期帯においても高い消波効率を示すことから、設置海域の波浪条件によっては、よりコンパクトで経済的な設計が可能であると考えられる。

7.4 結 論

本研究では、複合消波機能を有する消波構造物を提案し水理模型実験によって種々の検討を行った。この結果、以下のような結論を得た。

- (1) 本複合消波構造物は、高い消波効率と低い反射率を合わせ持つ海域制御構造物である。すなわち、 $B/L = 0.25 \sim 0.6$ で透過率 0.5 以下、また、 $B/L = 0.2 \sim 0.6$ で反射率 0.2 以下となる。
- (2) 本複合消波構造物は、主に、波のエネルギーを Y 型垂直板による収斂効果、及び水平板間の流れと渦のエネルギーに変換し、消散させるものである。特に、短周期側では水平板による碎波、長周期側では V 型遊水部による流れと渦によって消波する。
- (3) 水平板間隔は消波に対して大きな役割をはたしており、かつ、今回の基本実験で行った水平板間隔 20 cm と 6.7 cm の実験結果を比較すると水平板間隔は 6.7 cm のほうが消波効率が高い。
- (4) 水平板の消波機能は、入射波を水平板上で碎波させると共に、各水平板の間に流れ及び渦を発生させて消波するものである。
- (5) Y 型垂直板も消波に対して大きな役割をはたしており、入射波の収斂効果があると共に、V 型遊水部や水平板間の流れや渦の発生を増進させる効果がある。
- (6) V 型遊水部の消波効果は長周期側で大きくなり、かつ、今回の基本実験で行った没水深 4, 6, 8 cm の実験結果を比較すると没水深は 8 cm のほうが消波効率が高い。
- (7) 今回の基本実験では Y 型垂直板の開閉角度 $\theta_1 = 11^\circ$ と比較して $\theta_2 = 21^\circ$ の収斂効果はさほど大きくならない。しかし、Y 型垂直板の開閉角度が、そのまま V 型遊水部の大きさの変化になるので開閉角度の大きさも無視出来ない。
- (8) V 型遊水部は、消波効果についてのみ比較すれば開閉角度の大きい B タイプ模型の方が良い。
- (9) 本複合消波構造物は、没水深変化に対する消波効率の変化が小さく、実機を設計する際に、干満の差をあまり考慮しなくてもよい。
- (10) 本複合消波構造物のエネルギー損失率は大きく、入射波エネルギーを流れ及び渦のエネルギーに変換し消散させている。すなわち $B/L = 0.25 \sim 0.6$ でエネルギー損失率が 0.8 以上となる。

7.5 今後の課題

- (1) 本複合消波構造物は複合消波機能を有するため、個々の消波機能の水理特性をより詳細に検討する必要がある。すなわち諸元を種々変化させて波高分布、流速分布等を実験的に明らかにすると共に、関連するパラメータの最適化を図る必要がある。
- (2) 海水交換については、3次元的な水の循環などを水理模型実験によって確認する必要がある。
- (3) 周辺海域において、複合消波構造物により発生する流れによって、洗掘等の問題が生じないか、また、漂砂制御効果はどのようなものか、3次元水理模型実験によって検討する必要がある。
- (4) 水理特性の把握のみならず、消波構造物に作用する波力等の力学的特性も実験によって明らかにする必要がある。
- (5) 複合消波構造物を支持する構造体を検討する必要がある。また、構造体全体の安定性などの検討も必要である。

謝 辞

本研究の水理模型実験及びデータ処理・解析にあたり全面的に御協力、御指導を頂いた日本大学理工学部海洋建築工学科・増田光一専任講師、並びに、同大・林 秀郎研究生に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 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，p. 24，1976.

8. 多孔式消波板を用いた有脚式消波 構造物に関する実験

建設省土木研究所海岸研究室	室	長	宇多 高明
	研	究	員
村井 禎美			
戸田建設株式会社	マネージャー		北村律太郎
			添田 弘基
			梅田 宏
			西牧 均
			甘利 裕二
			佐藤 敏文

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL. 60607

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL. 60607

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL.

CHICAGO, ILL.

CHICAGO, ILL.

CHICAGO, ILL.

CHICAGO, ILL.

8.1 まえがき

本実験は、外洋に面した海域の波浪を制御し静穏域を創成する透過性消波構造物を開発するために行うものである。消波構造物の構造形式に関する研究としては、直立壁式、水平板式、浮遊式等それぞれ単独で行われたものは多いが、それらを組合せた形式についての報告は少ない。そこで本実験では、単純な構造で透過性消波構造物として実現性が高いと思われる両面透過壁式防波堤を設置し、さらに、より透過率の減少と吃水深の減少を図るために透過壁間に水平板を設けた構造について、その消波機能を検討した。両面の透過壁および水平板には円孔を設けた多孔板を採用した。多孔板では噴流によって円孔を中心に渦が発生するので、スリット式のように上下または左右のみに渦が発生する場合と比較して、渦によるエネルギー逸散に相違がみられると考えられる。また、PC構造とした場合には二方向版として利用しやすい構造でもある。このような理由により多孔板による実験を行った。

最初に、2枚の鉛直多孔板からなる構造について吃水比、前面多孔板空隙率、多孔板の孔径、多孔板間隔の効果を検討した。次にその結果をもとにして、鉛直多孔板に水平多孔板を組合せた構造について吃水比、背面多孔板空隙率、水平多孔板空隙率、多孔板間隔の効果を検討した。以下にその結果を報告する。

8.2 実験方法

実験には長さ 13.8 m、幅 0.4 m、高さ 0.6 m の二次元水路を使用した。実験装置の配置を図 8.1 に示す。平面図に示すように、水路をアクリル板によって二分し、a 側には造波板から 7.8 m の地点に模型を設置し、b 側は入射波の測定に使用した。水路端には反射波を減じるために消波装置を置いた。

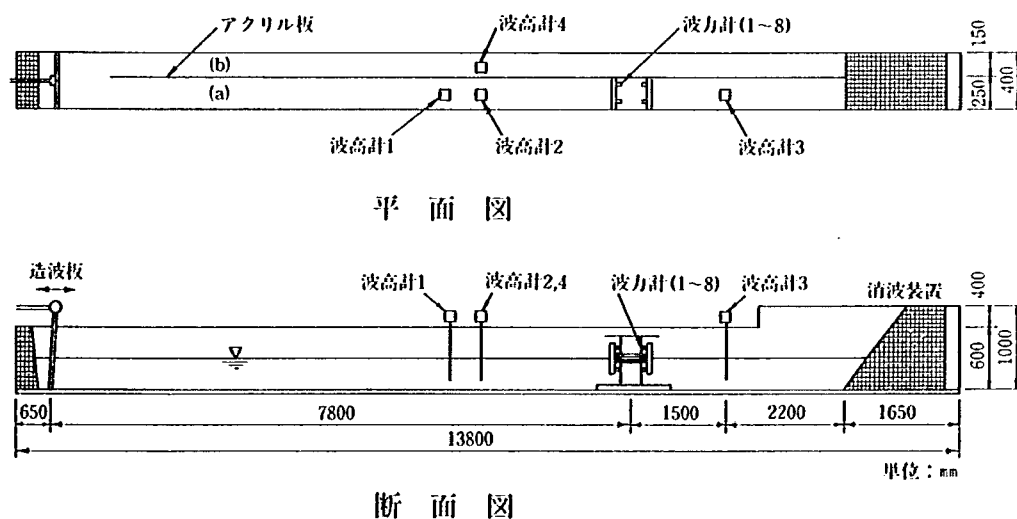


図 8.1 実験水路全体図

模型は縮尺 1/50 のひずみなし模型であり、2 枚の鉛直多孔板、1 枚の水平多孔板、8 個の波力計、およびこれらを支える架台から成っている（図 8.2）。消波板は厚さ 6 mm のアクリル板、架台は厚さ 4 mm、幅 12 mm の鋼板である。架台は厚さ 16 mm、長さ 800 mm、幅 200 mm の鉄板の底にゴムを貼った台に固定し、作用波力によって模型が移動しないようにした。模型はその形状により、鉛直多孔板のみの構造を A タイプ、鉛直多孔板の間に水平多孔板を設けた構造を B タイプとする。

波高の測定には容量式波高計を使用した。波高計 1 と 2 は入射波と反射波の合成波高を、波高計 3 は透過波高を、そして波高計 4 は入射波高を測定する。反射率は、FFT を用いて合成波を入射波と反射波に分離する合田らの方法¹⁾によって求めた。

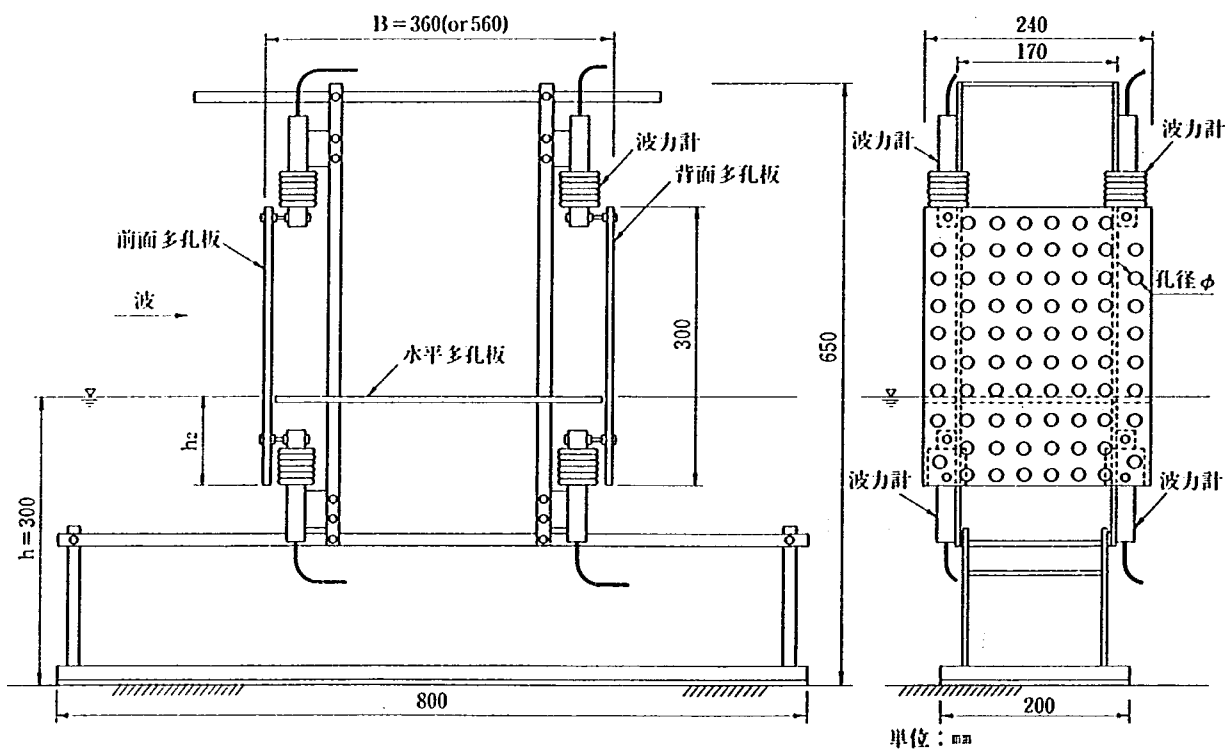


図 8.2 実験模型

実験条件を表 8.1 に示す。各パラメータは、文献等を参考にして、以下のように設定した。

(1) 波浪条件

水深、波高および波の周期が対象海域により異なるため、一般的な値と水路の能力を考慮して決めた。波高と波の周期の組合せは全体で 24 通りとなるが、これらのうち 8 ケースの波浪条件を波形勾配がすべて異なるように選択した。なお、実験途中から波高 2 cm、周期 1.7 sec のケースを追加した。

(2) 鉛直多孔板間隔 B

近藤²⁾、宇多³⁾の両面透過式消波構造の実験結果および数値解析結果によると、消波能力

表 8.1 実験パラメータ

	模 型	現 地
水 深 h	30 cm	15 m
波 高 H	2*, 4, 6, 8, 10 cm	1*, 2, 3, 4, 5 m
周 期 T	0.85, 1, 1.1, 1.3, 1.4 1.7 sec	6, 7, 8, 9, 10, 12 sec
鉛直多孔板間隔 B	36, 56 cm	18 m
多 孔 板 孔 径 ϕ	1.5, 3 cm	0.75 m
多 孔 板 空 隙 率 ϵ	0, 0.2, 0.3	0.2, 0.3
吃 水 比 h_2/h	0.3, 0.5, 0.7	0.3, 0.5, 0.7
水平多孔板位置	静 水 面	静 水 面
水平多孔板空隙率 ϵ_p	0.1, 0.2	0.1, 0.2

* : 一部の試験で実施

があり反射率が低くなる鉛直多孔板間隔は、相対幅 0.2~0.25 付近である。このことと実験で発生させうる波長を考慮して、鉛直多孔板間隔を 36 cm とした。また、多孔板間隔の影響を調べるため、 $B = 56$ cm とした場合も実験した。

(3) 鉛直多孔板の孔径 ϕ

樺木ら⁴⁾によると、波高に対する孔径の比 ϕ/H が 0.1~0.8 の範囲で、反射率は ϕ/H に反比例し、透過率は ϕ/H に比例する関係が報告されている。この関係と実際の多孔式防波堤の孔径^{5), 6)}を参考にして、モデルの孔径を 1.5 cm とした。また、孔径の影響を調べるために、 $\phi = 3$ cm の場合についても実験を行った。

(4) 鉛直多孔板空隙率 ϵ

空隙率が大きいほど反射率と波力は小さくなり、一方、透過率は大きくなる。ここでは、近藤²⁾、井島ら⁷⁾、宇多³⁾の結果を参考にして、空隙率を 0.2, 0.3 とした。空隙率の組合せは、前面と背面が同一の場合と異なる場合の最小限 2 ケースとした。また、消波能力の比較のため、無孔板の場合についても実験した。

(5) 水平多孔板の位置と空隙率 ϵ_p

服部⁸⁾の水平板を用いた消波実験結果より、消波効果の大きい平均水位面に 1 枚の水平板を設置し、揚圧力を低減するため多孔板とした。また、空隙率が大きすぎる場合は消波効果が低下すると予想されるため、空隙率を 0.1, 0.2 とした。

(6) 吃水比 h_2/h

宇多³⁾の実験結果より、鉛直多孔板のみの場合は、透過率を抑えるため吃水比を 0.5, 0.7 とした。また、鉛直多孔板の間に水平多孔板を設けた場合は、水平多孔板による消波効果が付加されるため、吃水比を 0.3, 0.5 と小さくした。

模型実験におけるパラメータの組合せを表 8.2 に示す。実験ケースは、A タイプの場合が No.

表 8.2 実験ケース一覧表

模 型 タイプ	実験No.	波高と周期 の 組 合 せ	鉛直多孔板 間隔B(cm)	吃 水 比 h_2/h	孔 径 ϕ (cm)	前面多孔板 空隙率 ϵ_f	背面多孔板 空隙率 ϵ_r	水平多孔板 空隙率 ϵ_p
A	1	1	8	36	0.7	1.5	0.2	—
		2	8	36	0.7	1.5	0.3	—
		3	8	36	0.5	1.5	0.2	—
		4	8	36	0.5	1.5	0.3	—
	2	1	9	56	0.7	1.5	0.3	—
	3	1	9	36	0.7	—	0	—
		2	9	36	0.7	1.5	0.3	—
	4	1	9	36	0.7	3.0	0.2	—
		2	9	36	0.7	3.0	0.3	—
B	5	1	8	36	0.3	1.5	0.3	0.1
		2	8	36	0.5	1.5	0.3	0.1
		3	8	36	0.3	1.5	0.3	0.1
		4	8	36	0.5	1.5	0.3	0.1
		5	8	36	0.3	1.5	0.3	0.2
		6	9	36	0.5	1.5	0.3	0.2
	6	1	9	56	0.5	1.5	0.3	0.2
	7	1	9	36	0.5	1.5, 3.0 *	0.3	0.2

*：水平板のみ孔径 3.0 cm

1～No.4, Bタイプの場合がNo.5～No.7である。このうち、空隙率と吃水比に関する実験ケースがNo.1とNo.5であり、鉛直多孔板間隔に関する実験ケースがNo.2とNo.6, 孔径に関する実験ケースがNo.4とNo.7, 無孔板による波力に関する実験ケースがNo.3である。波高と波の周期の組合せは、相対幅と波形勾配が水路の造波能力の範囲で、できるだけ広範囲に渡るように選んでいる。表 8.3 に多孔板間隔 36 cm の場合、表 8.4 に多孔板間隔 56 cm の場合の組合せを示す。

表 8.3 波高と周期の組合せ (鉛直多孔板間隔 36 cm)

波の番号	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)	波 長 L (cm)	波形勾配 H/L	相 対 幅 B/L	現 地	
						波高(m)	周期(sec)
1	6	0.85	107	0.056	0.34	3	6
2	8	0.85	107	0.075	0.34	4	6
3	4	1.0	136	0.029	0.26	2	7
4	6	1.0	136	0.044	0.26	3	7
5	10	1.1	158	0.063	0.23	5	8
6	4	1.4	217	0.018	0.17	2	10
7	8	1.4	217	0.037	0.17	4	10
8	6	1.7	273	0.022	0.13	3	12
9	2	1.7	273	0.007	0.13	1	12

表 8.4 波高と周期の組合せ (鉛直多孔板間隔 5.6 cm)

波の番号	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)	波 長 L (cm)	波形勾配 H/L	相 対 幅 B/L	現 地	
						波高(m)	周期(sec)
1	8	1.1	158	0.051	0.35	4	8
2	10	1.1	158	0.063	0.35	5	8
3	4	1.3	195	0.020	0.29	2	9
4	6	1.3	195	0.031	0.29	3	9
5	6	1.4	217	0.028	0.25	3	10
6	8	1.4	217	0.037	0.25	4	10
7	10	1.4	217	0.046	0.25	5	10
8	4	1.7	273	0.015	0.21	2	12
9	2	1.7	273	0.007	0.21	1	12

8.3 実験結果

8.3.1 鉛直両面多孔板の消波特性

水平多孔板のない A タイプは、背面多孔板空隙率 ϵ_r を 0.2 とし、吃水比 h_2/h , 孔径 ϕ , 前面多孔板空隙率 ϵ_f をパラメータとして、実験を行った。

図 8.3 に、波形勾配 H/L と透過率 K_T の関係を示す。透過率は波形勾配が大きいほど小さくなる。また、孔径を 3.0 cm から 1.5 cm に小さくすると (●印 vs. ○印), 透過率は若干小さくなっている。この理由は、孔径が小さいほど、円孔を通過する際の摩擦損失と噴流混合によるエネルギー損失が大きくなるためであると考えられる。吃水比を 0.5 から 0.7 に増加させると (△印 vs. ○印), 透過率は低下する。

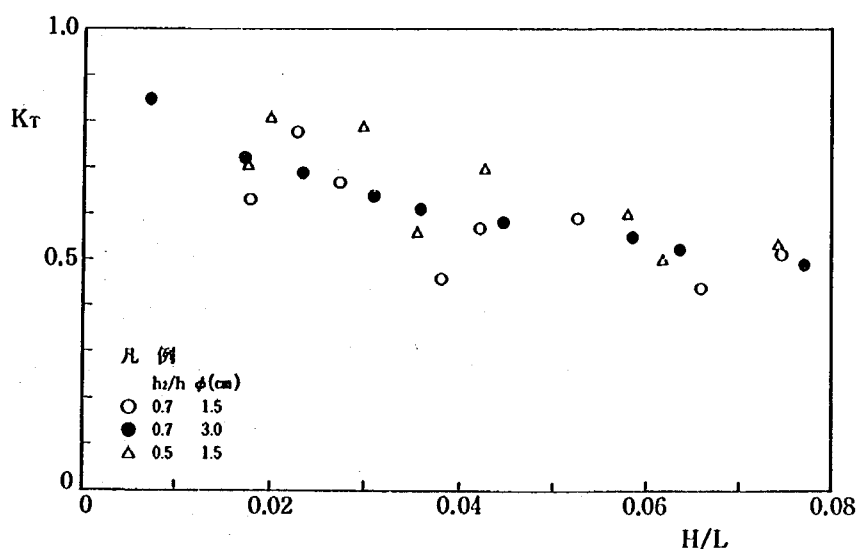
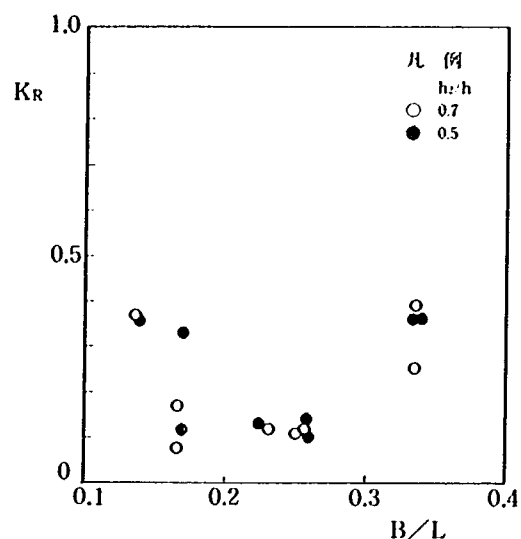


図 8.3 A タイプの H/L と K_T の関係
($B=3.6$ cm, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)

図 8.4 は、吃水比 h_2/h をパラメータとして、相対幅 B/L と反射率 K_R の関係を示したものである。反射率は概ね相対幅が 0.16 ~ 0.26 の範囲で極小となる傾向にある。これは、A タイプの反射波は前面多孔板と背面多孔板より反射された波が重合して形成されるが、相対幅 0.25 付近では位相差により反射波が相殺される割合が多いためである⁹⁾。吃水比については実験の空隙率の範囲において、透過率と異なり、反射率に大きな差は認められない。孔径についても同様である。



また、図中には示していないが、前面多孔板空隙率を 0.2 から 0.3 に増加させると、一般に言われると同様に反射率は低下し透過率は増大した。以上のように、A タイプの消波機能は、着底式の両面透過壁式防波堤と同様な傾向を示す。ただし、当消波構造は有脚式であるため、吃水比の影響を考慮しなければならない。

8.3.2 水平多孔板を組合わせた構造の消波特性

鉛直多孔板の間に水平多孔板を設けた B タイプでは、前面多孔板空隙率 ϵ_f を 0.3 とし、多孔板間隔 B 、吃水比 h_2/h 、背面多孔板空隙率 ϵ_r 、水平多孔板の孔径 ϕ_p 、水平多孔板空隙率 ϵ_p をパラメータとして実験を行った。実験状況を写真 8.1 に示す。

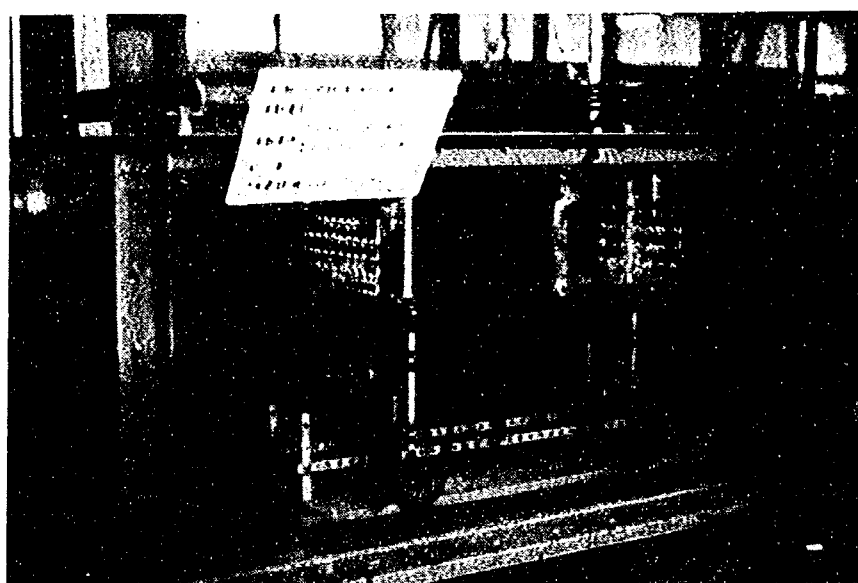


写真 8.1 実験状況 (B タイプ)

図 8.5 は吃水比 h_2/h をパラメータとして波形勾配 H/L と透過率 K_T の関係を示したものである。波形勾配の増大に伴い透過率はほぼ直線的に減少している。波形勾配の増大とともに透過率が減少する傾向は A タイプでも見られたが、B タイプではその減少の程度が大きい。これは、水平板によるエネルギー損失が付加されているためと思われる。吃水比を 0.3 から 0.5 に増加させると透過率は減少する。この傾向は A タイプと同様である。

図 8.6 は多孔板間隔 B をパラメータとして波形勾配 H/L と透過率 K_T の関係を示したものである。多孔板間隔 B を 36 cm から 56 cm に大きくすると透過率は小さくなり、波形勾配が 0.03 以下の範囲で減少の程度が大きい。このことより、水平板長を長くすれば、波形勾配が小さい波の透過率を低減することができるものと考えられる。

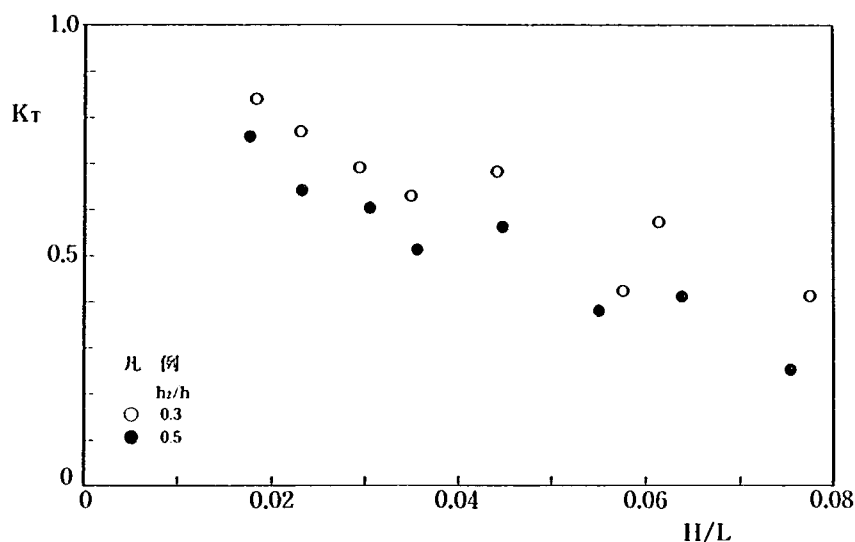


図 8.5 B タイプの H/L と K_T の関係
($B = 36 \text{ cm}$, $\phi = 1.5 \text{ cm}$, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$, $\epsilon_p = 0.1$)

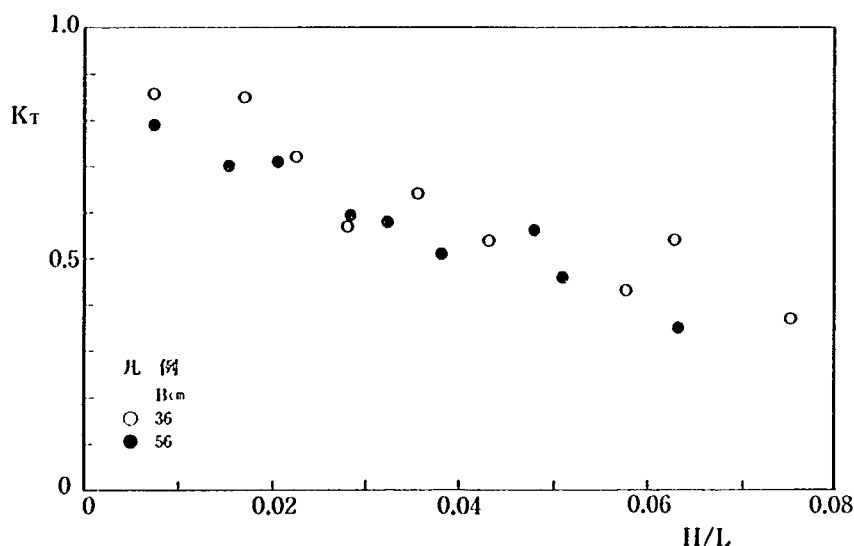


図 8.6 B タイプの H/L と K_T の関係
($\phi = 1.5 \text{ cm}$, $h_2/h = 0.5$, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$, $\epsilon_p = 0.2$)

図 8.7 に吃水比 h_2/h をパラメータとして相対幅 B/L と反射率 K_R の関係を示す。反射率の値は 0.18 ~ 0.45 の範囲で変動している。B タイプでは、前面および背面多孔板で反射した波が位相差によって相殺される現象が水平板の存在により乱されるため、A タイプのように相対幅に関して極小を示す傾向が見られないものと考えられる。吃水比の違いによる反射率の差異は、透過率と異なりあまり明瞭ではない。相対幅が大きいところ、つまり構造物条件を一定としたとき、短周期波に対して、吃水比が大きくなると若干反射率が低下する程度である。

図 8.8 に相対幅 B/L とエネルギー損失率 K_L^2 の関係を示す。エネルギー損失率は相対幅が大きくなると増加する。多孔板間隔 B を 36 cm から 56 cm に大きくすると (○印 vs. ●印), エネルギー損失率は小さくなる。これは、透過率の減少によるエネルギー損失分よりも、反射率の増大によるエネルギー保存分のほうが大きいためである。多孔板間隔 B が 36 cm の場合は、水平板空隙率 ϵ_p を 0.1 から 0.2 に増加させると、透過率は増大し反射率は低下する結果が得られている。これをエネルギー損失率でみると、水平板空隙率 ϵ_p は小さいほうが (△印 vs. ○印) 相対幅 0.25 以下でエネルギー損失率が大きく、消波効果が高いことが分かる。

以上のように、B タイプの反射率は、水平板自体の反射特性に大きく影響される。透過率については、水平板の透過特性に鉛直板の透過特性を加味して考えることができる。なお、図中には示していないが、鉛直板の背面空隙率と水平板の孔径の違いによる反射率及び透過率の差異は、ほとんど見られなかった。

8.3.3 消波構造形式の比較

前述のように、A タイプの反射率は、相対幅に対して極小値を示し、着底式の両面透過壁式防波堤と同様な傾向にある。一方、B タイプの反射率は、A タイプと異なり極小値を示す傾向は認められない。

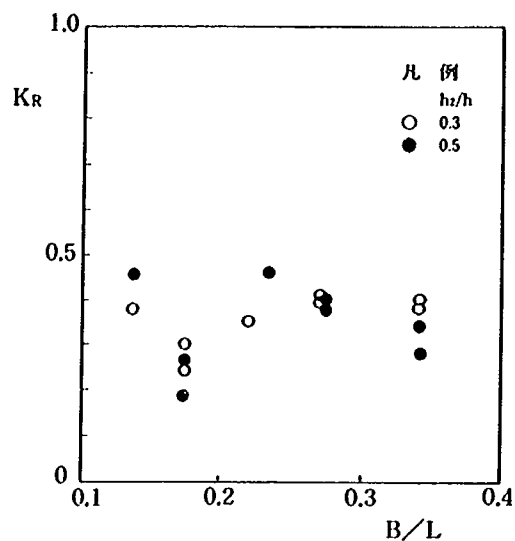


図 8.7 B タイプの B/L と K_R の関係
($B = 36$ cm, $\phi = 1.5$ cm, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$, $\epsilon_p = 0.1$)

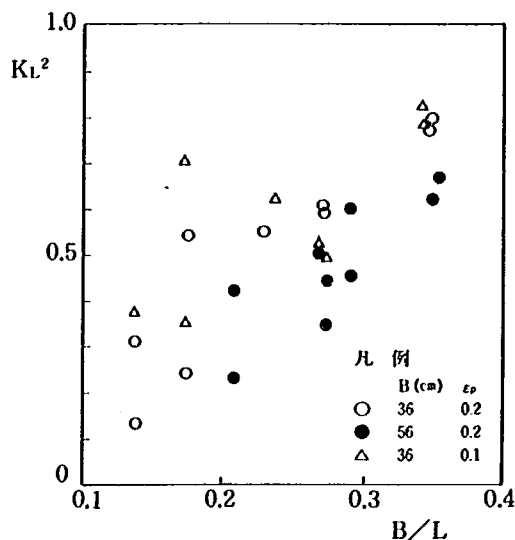


図 8.8 B タイプの B/L と K_L^2 の関係
($\phi = 1.5$ cm, $h_2/h = 0.5$, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$)

図 8.9 は A, B 両タイプの波形勾配 H/L と透過率 K_T の関係を示したものである。両タイプとも透過率は波形勾配が 0.03 以下で 0.6 を超えている。A タイプと B タイプが同一吃水比 (○印 vs. ●印) の場合, 水平板を入れることにより, 透過率は小さくなる。また, 吃水比 0.5 の B タイプの透過率 (●印) は, 吃水比 0.7 の A タイプのそれ (△印) よりも小さくなる。

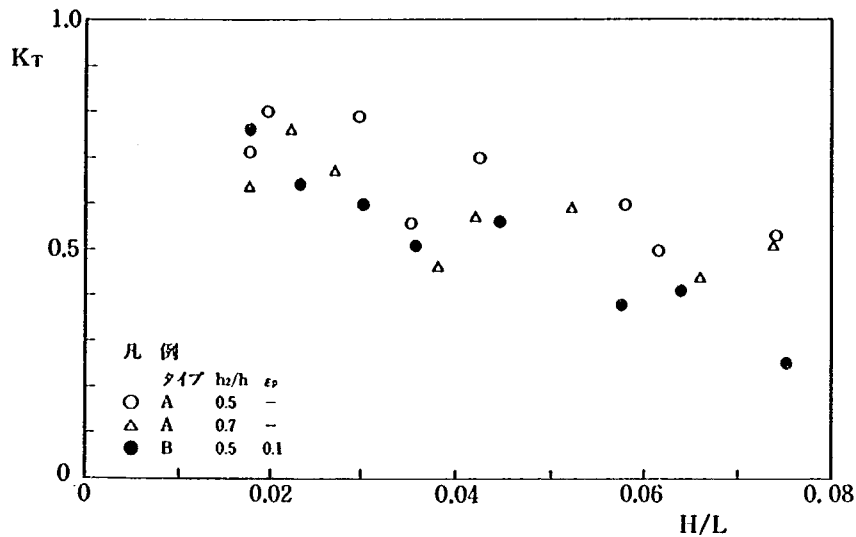


図 8.9 A・B 両タイプの H/L と K_T の関係
($B = 36 \text{ cm}$, $\phi = 1.5 \text{ cm}$, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$)

図 8.10 は吃水深 h_2 と入射波長 L の比 h_2/L と透過率 K_T の関係を示したものである。A, B 両タイプとも, 透過率は h_2/L の増大とともに減少するが, とくに水平多孔板がある B タイプでは, 透過率は大きく減少する。この理由は以下のように考えられる。一般に, 短周期波の波のエネルギーは水面近傍において大きな割合を占めているため, 水面に設置された水平多孔板によりエネルギーが消費され, h_2/L が 0.1 以上で B タイプの透過率は A タイプより減少する。一方, 長周期波は海底付近の波のエネルギーの占める割合が短周期波に比べ大きいいため, 鉛直多孔板下部からの波の透過が大きく, h_2/L が 0.1 以下で A, B 両タイプとも透過率はそれほど減少しなかったものと思われる。

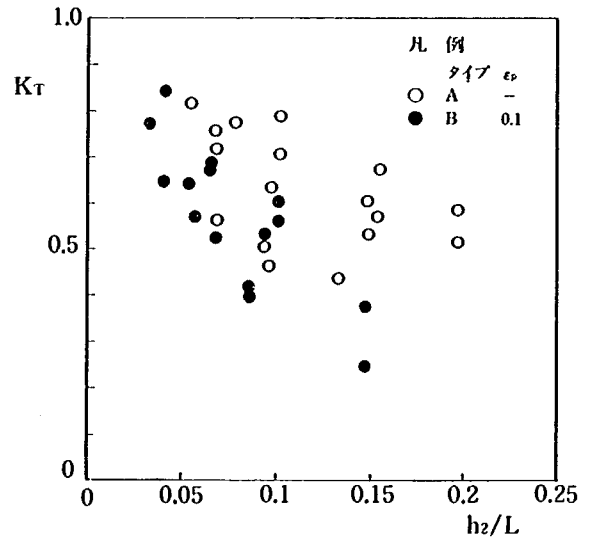


図 8.10 A・B 両タイプの h_2/L と K_T の関係 ($B = 36 \text{ cm}$, $\phi = 1.5 \text{ cm}$, $\epsilon_f = 0.3$, $\epsilon_r = 0.2$)

8.4 結 論

両面鉛直多孔板 A タイプおよび、これに水平多孔板を組合わせた B タイプの模型実験から得られた主要な点を以下に述べる。

- (1) 透過率は、A・B 両タイプとも波形勾配に依存し、波形勾配が大きくなるにしたがい減少するが、その程度は B タイプが大きい。
- (2) 反射率は、A タイプでは相対幅に大きく依存し、相対幅が 0.16～0.26 で極小値を示す。B タイプでは水平多孔板の存在により、相対幅に依存する傾向は見られない。
- (3) 吃水比を大きくすると、A・B 両タイプとも透過率は減少するが、反射率については、明瞭な差異が見られない。
- (4) B タイプでは、水平多孔板の消波効果によって、A タイプより吃水比を小さくしても透過率を下げるができる。
- (5) 比較的良い消波効果を示す実験ケースは、A タイプが前面多孔板空隙率 $\epsilon_f = 0.2$ ，背面多孔板空隙率 $\epsilon_r = 0.2$ ，吃水比 $h_2/h = 0.7$ の場合、B タイプが $\epsilon_f = 0.3$ ， $\epsilon_r = 0.2$ ， $\epsilon_p = 0.1$ ， $h_2/h = 0.5$ の場合である。両ケースとも反射率は 0.5 以下であるが、透過率は波形勾配 0.02 以下で 0.6 を越えている。

8.5 今後の課題

多孔式消波板を用いた消波構造物の模型実験結果について述べたが、適切な消波構造諸元を決定するために、さらに次のような実験・検討を行う必要がある。

- (1) 波形勾配の小さな範囲での透過率を低減するため、空隙率を小さく、吃水比を大きくするとともに、水平多孔板を水面下に設置する効果を確認する。また、鉛直多孔板に達した波が、多孔板下部の開口部に回り込む動きを防ぐために、多孔板下部に水平板を設置した構造についても検討を進める。
- (2) 消波構造物の安定性・経済性・施工性を高めるため、今回の水平多孔板を用いた場合および (1) で述べた構造について、吃水比、空隙率および他の鋭敏なパラメータによる消波機能を定量的に把握する。また、作用波力については、今回は鉛直多孔板のみの測定であったため実験結果を報告しなかったが、水平多孔板の揚圧力の測定を付加することにより、その特性を掴み、さらに、最終的には砕波力について検討する必要がある。

最後に、本研究を行うにあたり、御指導をいただいた早稲田大学理工学部吉川秀夫教授、同鮎川登教授および同流体実験室の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 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，p. 24，1976.
- 2) 近藤俊郎：二重透水壁式防波堤の消波理論，第14回自然災害科学総合シンポジウム，pp. 439～442，1977.
- 3) 宇多高明：新しい消波構造物の開発，河川，No.483，pp. 24～29，1986.
- 4) 横木 亨・岩田好一朗：多孔壁式鉛直消波岸壁の水理特性に関する二，三の考察，土木学会論文報告集，第220号，pp. 53～63，1973.
- 5) 森脇敏雄：室蘭港絵鞆地区における多孔式防波堤の建設，土木施工，18巻，7号，pp.19～29，1977.
- 6) 森平倫生・高橋 徹：七尾港府中防波堤における2重開孔防波堤の基礎構造，基礎工，Vol. 6，No.7，pp. 97～104，1978.
- 7) 井島武士・奥藺英明・牛房幸光・米村幸久：遊水部をもつ有孔壁防波堤に作用する砕波力に関する実験的研究，第25回海岸工学講演会論文集，pp. 333～336，1978.
- 8) 服部昌太郎：水平板式透過性防波堤の波高伝達，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 513～517，1975.
- 9) 岩田好一朗：消波構造物による波の反射と透過，水工学シリーズ，80-B-6，pp. 1～18，1980.

9. ハイブリッド式波浪制御構造物に関する実験

建設省土木研究所海岸研究室 室 長 宇多 高明

研究員 村井 禎美

新日本製鐵株式会社鉄構海洋事業部 加藤 輝雄

盛高 裕生

木村 哲夫

高橋 陽一

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1964

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1964

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1964

1964

1964

9.1 実験の目的

今回の実験の目的は、縮流水平板、およびスリット壁付水平板を対象として消波性能および、全波力、波圧分布を測定する事にある。縮流水平板は2枚の水平板間に縮流拡流管の機能を付加し、水平板単体が本来持っている消波性能に加え、縮流管による波から流れへの変換、縮流によるエネルギー消費による消波性能の向上を目的としたものである。スリット壁付水平板は水平板前後端にスリット壁を付加し、波がスリット壁を通過する際の乱れによって消波性能の向上を目的としたものである。

9.2 実験方法

実験には、土木研究所波浪実験水路内の不規則波造水路を用いた。水路は図9.1に示すように、全長150m、幅0.6m、水深1.0mであり、中央部に仮設水路床が設けられ、模型設置位置では水深40cmになっている。実験では、図9.2、9.3及び表9.1、9.2に示す各模型に対して表9.3に示した16種の規則波を作用させ、透過率、反射率、波力及び、波圧の測定を行った。

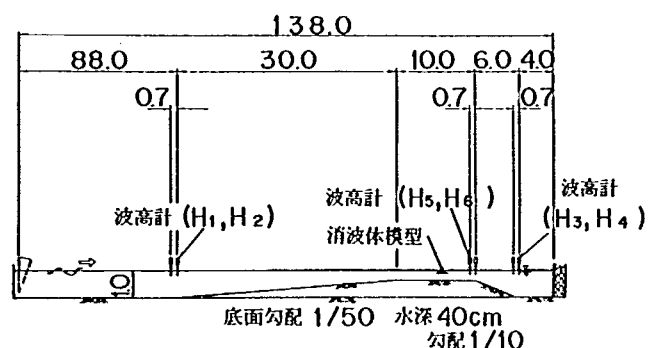


図9.1 水路

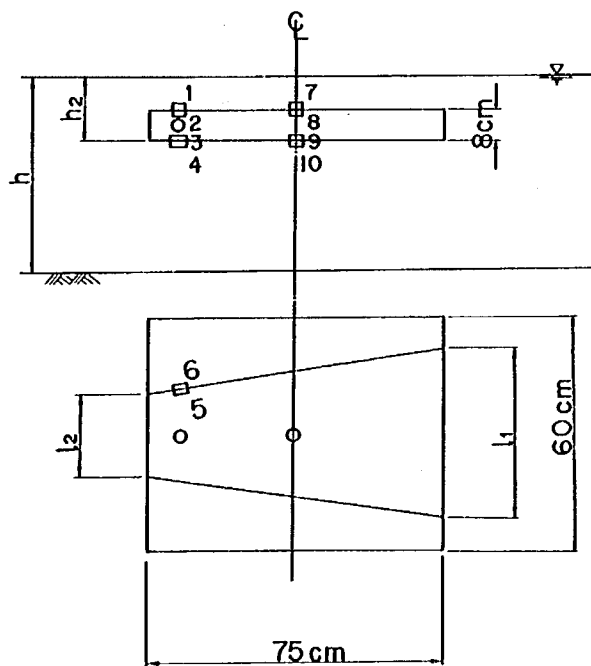


図9.2 縮流水平板模型及び波圧計配置図

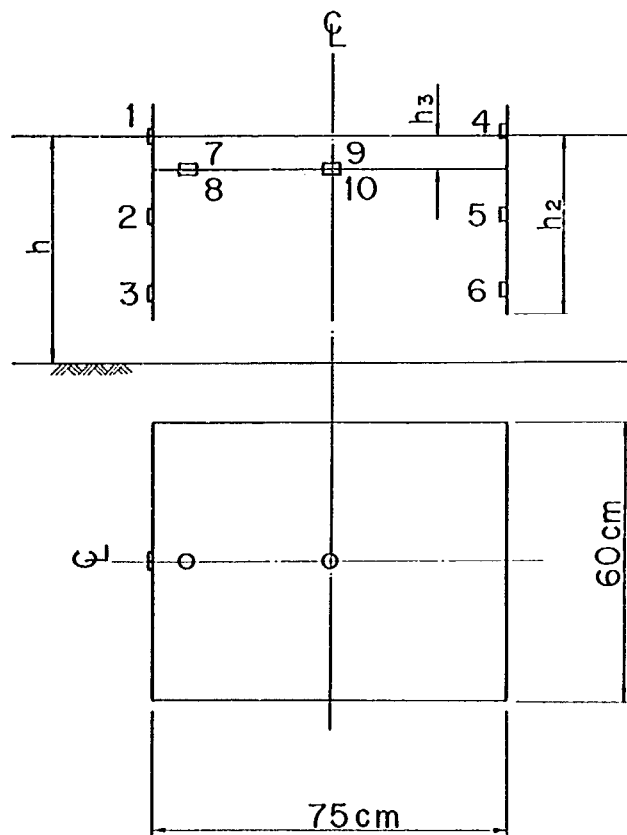


図9.3 スリット壁付水平板及び波圧計配置図

表 9.1 縮流水平板の模型番号と
パラメータ

実験 No.	パラメータ		
	n	h_2/h	l_1/l_2
A-10	2	0.2	1
A-20	2	0.2	2
C-10	4	0.2	1
C-20	4	0.2	2
B-10	6	0.2	1
B-11	6	0.3	1
B-12	6	0.4	1
B-20	6	0.2	2
B-21	6	0.3	2
B-22	6	0.4	2
B-30	6	0.2	4
B-31	6	0.3	4
B-32	6	0.4	4

表 9.2 スリット壁付水平板の模型番号
とパラメータ

実験 No.	パラメータ		
	ϵ	h_3/h	h_2/h
S-0	0.3	水平板なし	0.7
S-3	0.3	0.1	0.7
S-0A	0.2	水平板なし	0.7
S-3A	0.2	0.1	0.7
S-6A	0.2	0.2	0.7
S-9A	0.2	0.3	0.7
S-2A	0.2	0.1	0.5
S-5A	0.2	0.2	0.5
S-8A	0.2	0.3	0.5
S-1A	0.2	0.1	0.3
S-4A	0.2	0.2	0.3
S-7A	0.2	0.3	0.3

表 9.3 実験波諸元

WAVE No.	T (sec)	H (cm)	L_0 (cm)	L (cm)	H/L_0	H/L
①	1.0	4.0	156	146	0.026	0.027
②	1.2	4.0	224	194	0.018	0.021
③	1.2	8.0	224	194	0.036	0.042
④	1.4	8.0	306	239	0.026	0.033
⑤	1.4	12.0	306	239	0.039	0.050
⑥	1.4	16.0	306	239	0.052	0.066
⑦	1.6	4.0	399	283	0.010	0.014
⑧	1.6	12.0	399	283	0.030	0.042
⑨	1.6	16.0	399	283	0.060	0.084
⑩	1.8	16.0	505	327	0.032	0.049
⑪	2.0	4.0	624	369	0.006	0.011
⑫	2.0	8.0	624	369	0.012	0.022
⑬	2.0	12.0	624	369	0.019	0.033
⑭	2.0	16.0	624	369	0.025	0.043
⑮	2.8	8.0	1,223	535	0.006	0.015
⑯	2.8	12.0	1,223	535	0.010	0.022

透過率，反射率は測定された波高を処理することにより求めた。波高測定は図 9.1 中に示したように， $H_1 \sim H_6$ の計 6 台の容量式波高計をおのおの 70 cm 間隔に設置して行った。

波力については，3 分力計に模型を固定し，水平成分 (F_x)，鉛直成分 (F_z)，XZ 面内のモーメント (M_y) を測定した。 F_x は波の進行方向を正， F_z は鉛直上向きを正方向とし，右手系とした。波圧は，10 個の波圧計を模型に取付けて測定した。

測定の開始時刻は，模型沖側の波高計の位置に模型からの反射波が到達し波形が安定した直後とし，約 20 波記録した。

反射率の計算は，合田ほかの方法¹⁾により行った。この方法は，合成波領域で近接する 2 地点の水位変動を同時記録し，入射波と反射波を分離して，反射率を測定するものである。図 9.1 の H_1, H_2 で計測した水位変動から，入射波高 H_I' と反射波高 H_R' を実験波の設定周期に従って分離する。さらに，模型前面での入射波高，反射波高を算出するために，水路の摩擦による波の減衰を考慮し，式 (9.1) により H_I, H_R を求めた。

$$H_I = H_I' \cdot Kf_1$$

$$H_R = H_R' \cdot 1/Kf_2 \cdot (K_{S100}/K_{S40})^2$$

ここに， Kf_1, Kf_2 : 波高の減衰率

K_{S40} : 水深 40 cm での浅水係数， K_{S100} : 水深 100 cm での浅水係数

反射率 K_R は式 (9.2) により求められる。

$$K_R = H_R / H_I \quad (9.2)$$

透過率 K_T は，透過波高 H_T と，入射波高 H_I の比によってもとめられ，ここでは測定の精度を高めるために， H_T は模型岸側の 2 箇所直接測定する方法と分離計算による方法を併用した。

まず，直接測定する方法について説明する。計算による波高計 H_5, H_6 からは，おのおの 20 波分の平均波高を求め，さらに両者の平均値を透過波高とした。平均波高は実験波の設定周期により，1 波を定義し，この間の最高水位と最低水位の差を求め算術平均した。この方法による透過率を K_T とした。

次に分離計算による透過率の算定法を説明する。分離計算は図 9.1 の波高計 H_3, H_4 により計測した水位変動測定記録から行い，実験波設定周期の 2 次モードまで求めた。さらに水路の摩擦を考慮し，1 次モードの $H_{Tm=1}'$ に減衰率 Kf_2 を乗じ，2 次モードの $H_{Tm=2}'$ と 2 乗平均して H_T とした。

$$H_T = ((H_{Tm=1}' \cdot Kf_2)^2 + (H_{Tm=2}')^2)^{1/2}$$

この分離計算から求まる透過率を K_T' とした。

今回の実験では K_T と K_T' の値にかなりの差を生じた実験ケースがみられたが，ほとんどの実験ケースで K_T' よりも大きな値を示した K_T を用いて以後のデータの整理を行っている。なお，計算は 1 波目から行い，波数は分離計算の場合は 10 波，平均波高の場合，計測波数分とした。

波力の計算においては実験波設定周期により 1 波を定義し，各波の波力最大値，最小値をもと

め、測定波数分の平均値をそれぞれ $F_{\max}$, $F_{\min}$ とした。波圧係数は $F_{\max}$, $F_{\min}$ を波高と模型の投影面積で除すことにより求めた。縮流水平板では鉛直方向の投影面積は $60\text{ cm} \times 7.5\text{ cm}$, 水平方向の投影面積は $8\text{ cm} \times 60\text{ cm}$, スリット壁付水平板では鉛直方向の投影面積は $60\text{ cm} \times 7.5\text{ cm}$, 水平方向の投影面積はスリット壁吃水 $\times 60\text{ cm}$ を用いた。

9.3 実験結果

9.3.1 縮流水平板の実験結果

縮流水平板の代表的パラメータは図 9.2 に示すように、幅 B , 設置水深 h_2 , 縮拵比 ℓ_1/ℓ_2 , 隔壁数 n である。この縮流水平板の模型形状を 13 通り、波浪条件を 16 通り変え、全体で 208 ケースの実験を行った。

図 9.4 に隔壁数を $n = 6$, 縮拵比 $\ell_1/\ell_2 = 1$ としたときの透過率 K_T , 反射率 K_R と模型幅と波長の比 B/L の関係を示す。 K_T は B/L の増加に従い 0.9 から 0.35 にほぼ直線的に減少する。一方 K_R は $B/L = 0.14 \sim 0.4$ の範囲で特に変化が著しく、 B/L の増加にともない 0.23 から 0.65 に増加する。図 9.4 から判断するかぎり透過率 $K_T < 0.6$, 反射率 $K_R < 0.5$ を満足するためには、 $B/L > 0.3$ が必要である。

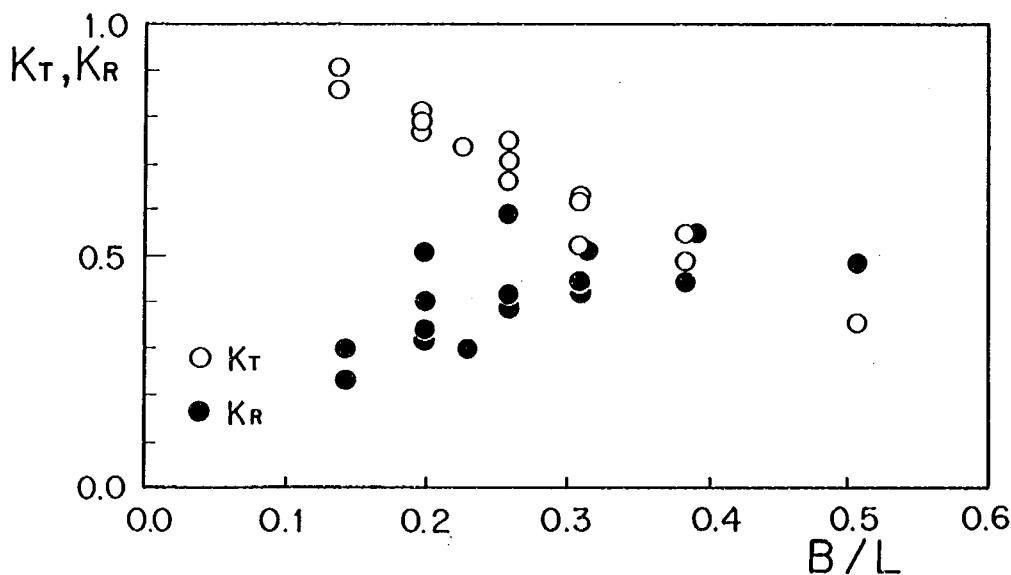


図 9.4 縮流水平板の K_T と B/L の関係
($h_2/h = 0.2$, $n = 6$, $\ell_1/\ell_2 = 1$)

他のパラメータを一定に保ち ($n = 6$, $\ell_1/\ell_2 = 1$), 縮流水平板の設置水深 h_2/h を変化させた場合の K_T の変化を図 9.5 に示す。 h_2/h の増加にともなう K_T の変化及びその変化の割合は B/L の値により異なり、一般に B/L が大きくなるほど K_T は小さくなる。しかし $B/L = 0.51$ の条件では h_2/h が 0.4 のとき K_T は大変大きくなった。この理由は次のとおりである。すなわち、波

の水深方向のエネルギー分布を考えると、短波長の波ほどエネルギーの水面付近への集中が著しく、従ってこの K_T の急激な増加は短波長の波が砕波せずに通過したためと考えられる。図 9.5 から判断するかぎり B/L が種々変わったとき K_T は $h_2/h=0.2$ のときに最も小さくなる。

$h_2/h=0.2$, $l_1/l_2=1$ の場合の、隔壁の枚数 n と K_T の関係を図 9.6 に示す。 n を 2 から 6 に増加させ、管路幅を減少させても K_T はほとんど減少しない。

$h_2/h=0.2$, $n=6$ の条件での縮比率 l_1/l_2 と K_T の関係を図 9.7 に示す。 l_1/l_2 を 1 から 4 に増加することにより、 $B/L=0.51$ では K_T が 0.32 から 0.12 に減少するが、 $B/L < 0.38$ の条件では、 K_T は減少せず、変化しない。従って縮比率を大きくすることは透過率を減少させる上で効果がないと判断される。

図 9.8 は縮比率 $l_1/l_2=1$ と 4 における、水平方向の波圧係数と B/L の関係である ($h_2/h=0.2$, $n=6$)。波圧係数は B/L の増加とともに 0.85g/cm^3 から 0.25g/cm^3 へ減少する傾向を示す。また縮比率 $l_1/l_2=1$ 及び $l_1/l_2=4$ を比較すると、水平方向の波圧係数には大きな差はみられず、管路隔壁の傾きは水平力にあまり影響を与えていない。

9.3.2 スリット壁付水平板の実験結果

スリット壁付水平板の代表的パラメータは図 9.3 に示すように、幅 B 、スリット吃水 h_2 、水平板設置深 h_3 、スリット空隙率 ϵ である。このスリット壁付水平板については模型形状を 12 通り、波浪条件を 16 通り変え、全体で 192 ケースの実験を行った。

図 9.9 はスリット壁の吃水比 $h_2/h=0.7$, ϵ

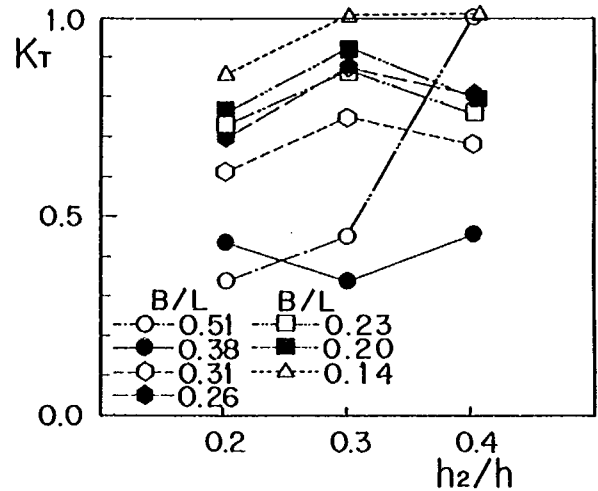


図 9.5 縮流水平板の K_T と h_2/h の関係
($n=6$, $l_1/l_2=1$)

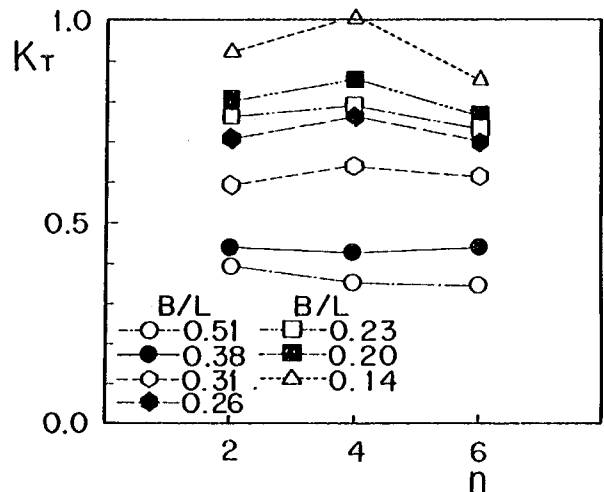


図 9.6 縮流水平板の K_T と n の関係
($h_2/h=0.2$, $l_1/l_2=1$)

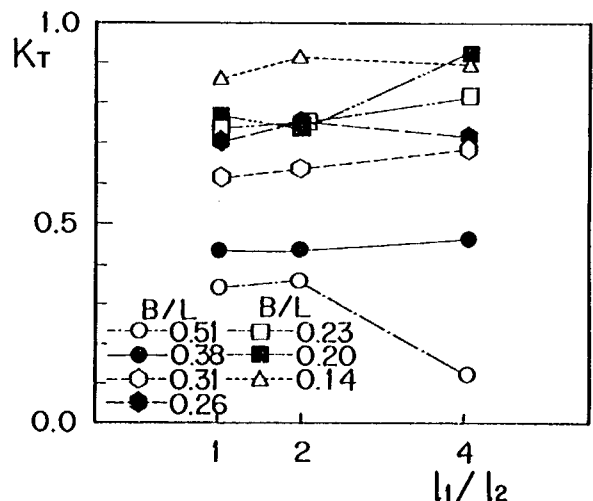


図 9.7 縮流水平板の K_T と l_1/l_2 の関係
($h_2/h=0.2$, $n=6$)

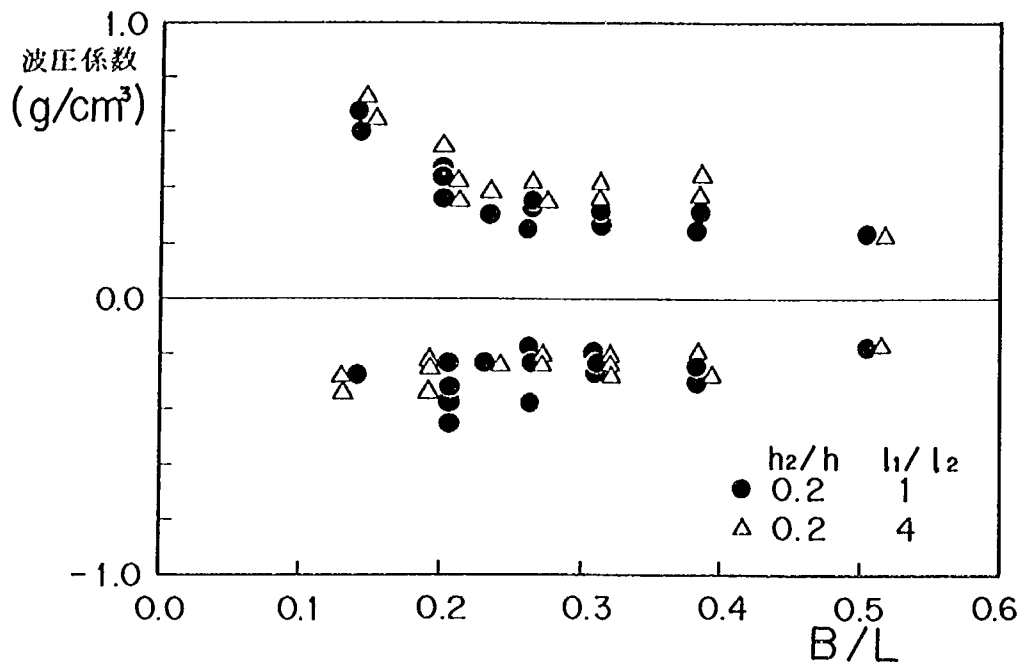


図9.8 縮流水平板の $F_x/(8 \cdot B)$ と B/L の関係
($h_2/h=0.2$, $n=6$)

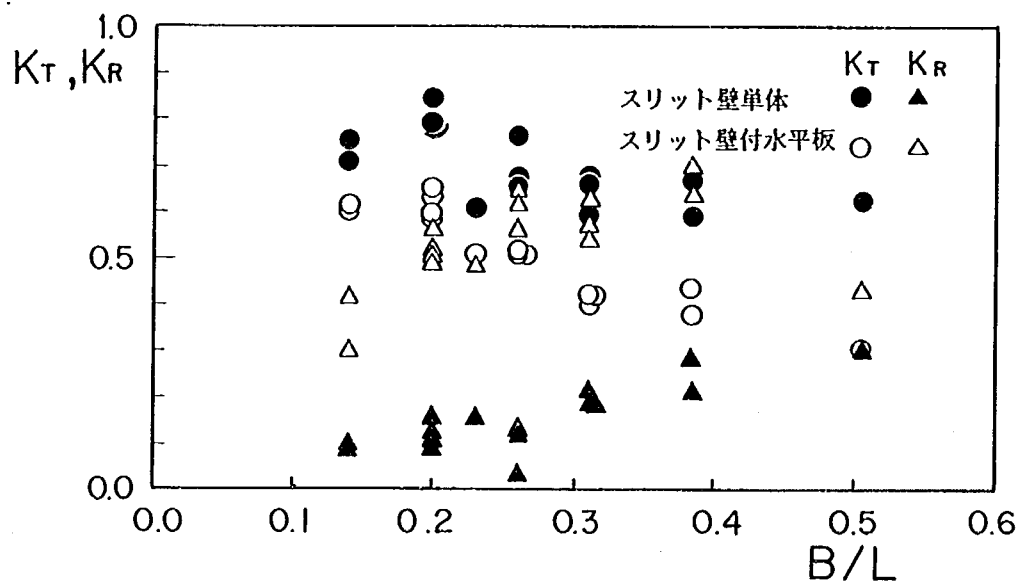


図9.9 スリット壁付水平板の K_T と B/L の関係
($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)

$= 0.2$ におけるスリット壁付水平板 ($h_3/h=0.1$) とスリット壁単体の透過率 K_T と B/L の関係である。スリット壁単体の場合は K_T は 0.85 から 0.59 に分布するが、スリット壁付水平板では K_T は 0.65 から 0.35 に分布し、 B/L の全領域において K_T の低下がみられる。特に $B/L > 0.35$ を満足する波長域における K_T の低下が著しい。

一方、反射率はスリット壁単体では 0.04 から 0.30 に分布しているのに対し、スリット壁付水平板では 0.35 から 0.65 にわたる分布へと大幅に増加し、 $B/L=0.25 \sim 0.4$ で極大値を持つ分布

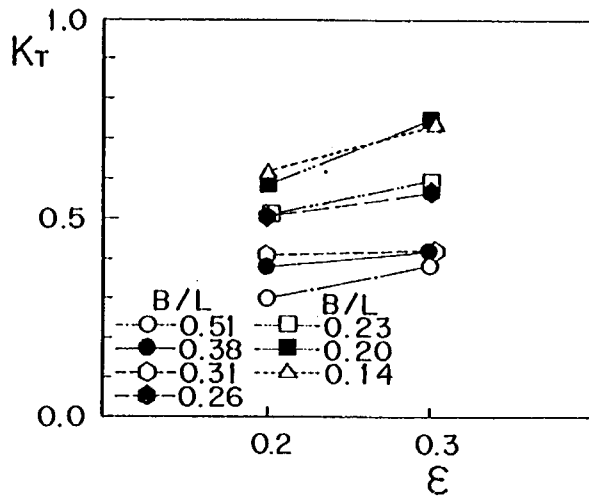


図9.10 スリット壁付水平板の K_T と ϵ の関係 ($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)

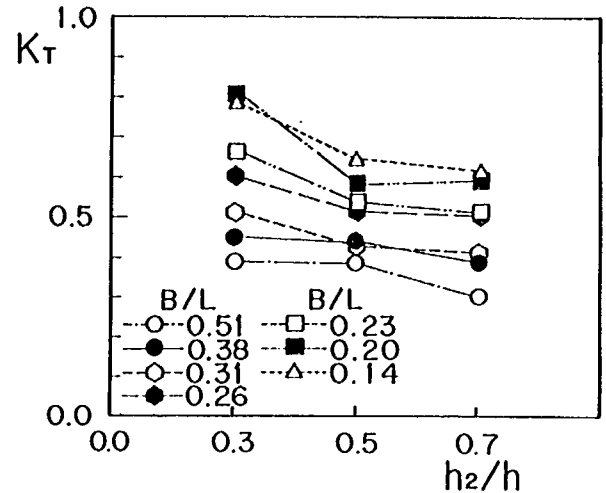


図9.11 スリット壁付水平板の K_T と h_2/h の関係 ($h_3/h=0.1$)

となっている。

スリット空隙率 ϵ と K_T の関係を図 9.10 に示す。 $\epsilon = 0.3$ では K_T は 0.38 から 0.75 に分布するが、 $\epsilon = 0.2$ では 0.30 から 0.65 の分布へと B/L の全領域で K_T は低下している。

図 9.11 は $h_3/h=0.1$ のときのスリット壁の吃水比 h_2/h と K_T の関係である。 h_2/h の増加に伴わない K_T は減少するが、 h_2/h を 0.3 から 0.5 に増加させると B/L が小さいとき K_T の低下が著しい。この図から判断すると $K_T < 0.6$ を満足するためには、 $h_2/h=0.7$, 0.5 では $B/L > 0.20$, $h_2/h=0.3$ では $B/L > 0.25$ が必要である。

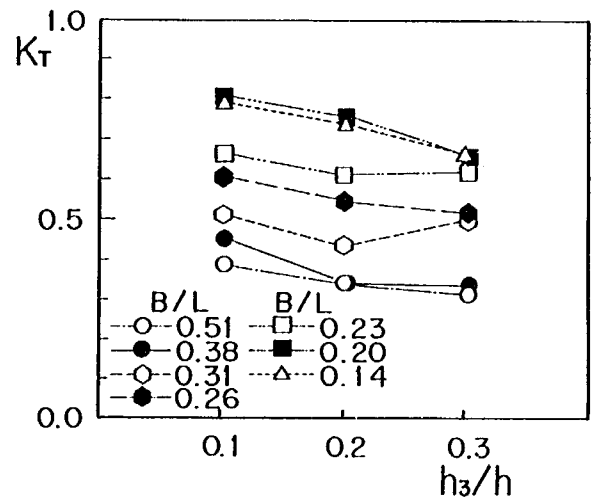


図9.12 スリット壁付水平板の K_T と h_3/h の関係 ($h_2/h=0.3$)

図 9.12 は $h_2/h=0.3$ のときの、 h_3/h と K_T の関係である。 h_3/h の増加に従って、ほぼ全ての B/L の条件で、 K_T が減少している。

図 9.13 に 3 分力計で測定された水平波力 F_x 、鉛直波力 F_z と B/L の関係を示す。スリット壁付水平板では、スリット壁のみに比べ水平波力は変化しないものの、鉛直波力が大幅に増加する。

9.4 結 論

縮流水平板の実験より以下の結論が得られた。

- (1) 透過率、反射率は入射波の波長に応じて変化し、 $K_T < 0.6$, $K_R < 0.5$ を満足するためには $B/L > 0.3$ が必要である。

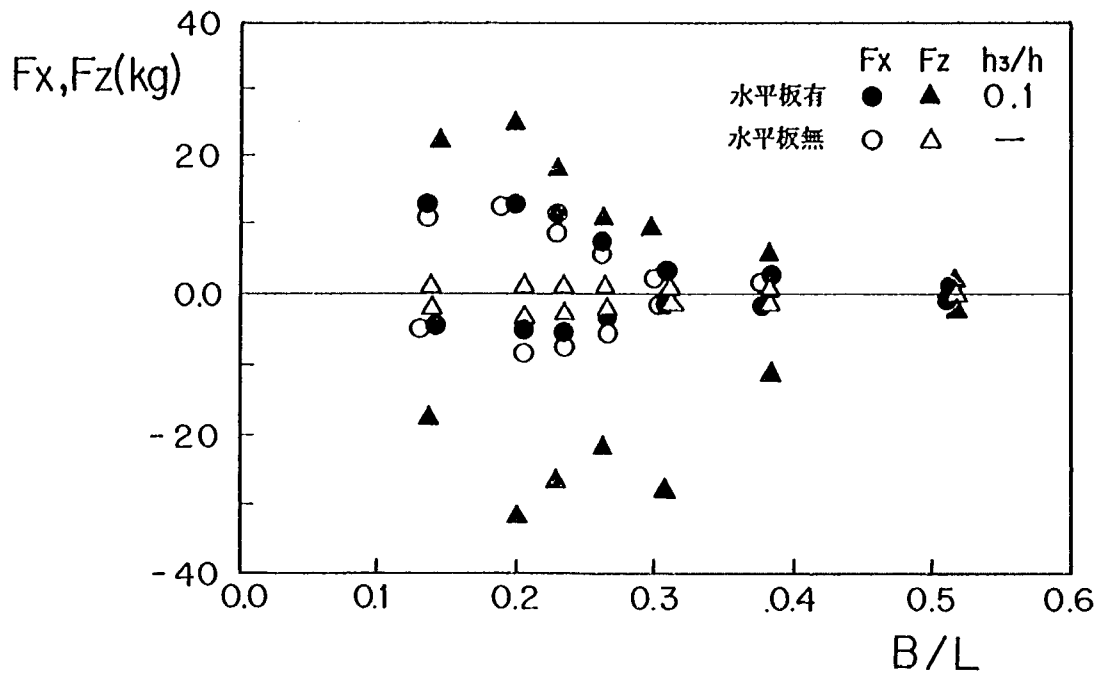


図9.13 スリット壁付水平板の F_x , F_z と B/L の関係
($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)

(2) 今回の実験で与えたパラメータの範囲では、管路分割数にともなう管路幅の大小、及び管路に縮比 ℓ_1/ℓ_2 を与えることは透過率、反射率を低下させる上で効果がない。

(3) 水平波力は鉛直波力の $1/10$ 程度であり、縮比を変えても変化しない。

スリット壁付水平板の実験より以下の結論が得られた。

(1) 透過率、反射率は入射波の波長に応じて変化するが、波長の減少にともなう透過率の低下の割合はスリット壁単体で用いたときよりも少ない。

(2) $K_T < 0.6$ を満足するためには、 $h_2/h=0.7$, 0.5 では $B/L > 0.20$, $h_2/h=0.3$ では $B/L > 0.25$ なる条件が満足される必要がある。

(3) 反射波は $B/L=0.25 \sim 0.4$ の領域で $K_R > 0.5$ となる。

9.5 今後の課題

縮流水平板は今回の構造諸元において、 $K_T < 0.6$ を満足するために、 $B/L > 0.3$ が必要であり、水平板と同等以上の消波効果は発揮できなかった。実験中には縮流水平板の設置水深比 $h_2/h=0.3$, 0.4 のときに比べ $h_2/h=0.2$ のときの方が管路内の流速が大きいことが目視により観察された。同時に縮流管の中の流速よりも、縮流水平板上面の流速が著しく大きいことも観察された。従って隣接する縮流管内の流速差は、縮流水平板上下面で生じる速度の差に比べ著しく小さく、透過率に影響を及ぼすレベルに達していなかったことが推測される。このため縮比 ℓ_1/ℓ_2 を大きくしても K_T が減少しなかったものと考えられる。

今回実験に用いた縮流水平板は静水面からの高さをもたない、いわば落堤であったが、縮流水平板上面を静水面からある程度の高さにすれば、速度の大きな波頂部での運動エネルギーを縮流管路に取込み、管路内の流速を増加させることにより消波性能の改良がはかれると考えられる。

スリット壁付水平板の今後の課題は、 $B/L = 0.25 \sim 0.40$ の領域で生じる反射率をいかにして 0.5 以下に抑えるか、という点である。このためには水平板を透過構造とする、または水平板に突起または角度を与える方法などが考えられ、今後の実験によって改良をはかりたい。スリット壁付水平板の消波は主に水平板による反射とスリット壁による乱れによると考えられる。しかしスリット壁吃水比 $h_2/h = 0.3$ の場合、水平板の設置水深比 h_3/h が大きいほど K_T が低くなった。これは水平板単体の最適な設置水深が静水面付近であることとは異なった傾向である。スリット壁付水平板の場合には、水平板上面と前後のスリット壁に囲まれた領域が波のエネルギー消費の場となっており、水平板の設置水深の増加にともないその領域が拡大した結果、消波効果が向上したと考えられる。図 9.12 は $h_3/h > 0.3$ で更に小さな K_T が得られる可能性を示しており、その検証も今後必要である。

参考文献

- 1) Yoshimi Goda and Yasumasa Suzuki : Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments, Proc. of 15 th Coastal Engineering Conference, pp. 828 ~ 845, 1976

10. 海域制御構造物による静穏域の 創出効果

建設省土木研究所海岸研究室 室長 宇多 高明
研究員 村井 禎美
藤原 隆一
松尾 和男

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

SECRET

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

10.1 まえがき

最近、第2次海洋開発ブームにあると言われている。海岸事業においても従来からの海岸保全だけでなく、海岸利用効果をも併せ持つより高度な技術開発の必要性が高まっている。中でも広い海域において波、流れ、漂砂の制御を目的とする、いわゆる海域制御構造物の開発の必要性は大きい。このような構造物は次の諸条件を満たす必要があると考えられる¹⁾。①水深がかなり大きい海域でも建設可能であること、②通常用いられている離岸堤と同程度の消波効果を持つこと、③海水交換機能を有すること、④周辺への影響の少ない低反射構造物であることなどである。このような必要性の下で、筆者らは新しいタイプの海域制御構造物の開発を目ざして2次元水理模型実験を実施してきており、その成果の一部は既に報告した²⁾。

しかしながら構造物の開発に際しては、上述のような2次元水理実験のみでは不十分であり、そのほか数多くの検討項目がある。例えば構造物設置の可能性のある海岸の地形や波浪条件についての検討や、実際に構造物を設置したとき得られる平面的な意味での消波効果などについても検討が必要である。それらがなければ構造物の効果自体を把握できないからである。そのほか構造物の持つ流れや漂砂の制御効果も調べるべきことは当然であるが、波高分布が定まれば流れの計算は可能であり、また波と流れの場が予測されれば漂砂の計算も一応は可能なことを考慮すると、最も重要なのが消波効果であろう。したがって本研究では海域制御構造物を設置した場合の平面波高分布を数値計算により把握し、構造物の消波効果について調べることにした。対象海岸は全国各地の海岸のうち波浪や海浜断面形の上からある程度代表的な7海岸（新潟、鹿島灘、九十九里、湘南、駿河、高知、富士）とした。これら各海岸ごとに多数の数値計算を行い、消波効果の面より構造物を設置したときの効果を比較検討する。さらに鹿島灘海岸を選んで海洋性レクリエーションとして海浜を海水浴に利用する場合や、暴浪時において構造物がもつ効果についても調べる。

10.2 計算方法

計算は離岸堤背後の波高計算プログラムを用いて行った。このプログラムの詳細については省略するが、計算に際しての基本的仮定は次のようである。①対象海岸は平行等深線を持ち、②波は汀線と平行に設置された離岸堤に直角入射する。

波高分布計算は次の手法で行われる。

- ① 規則波を対象とし、入射波、透過波、回折波の波高を求め、それらを合成して波高分布を求める。
- ② 離岸堤沖での浅水変形には有限振幅性を考慮する。離岸堤より岸側では微小振幅波を仮定して波高計算を行う。

- ③ 砕波波高および砕波後の波高はMicheの最高波理論により算定する。
- ④ 離岸堤の透過率は既知の値を与える。
- ⑤ 離岸堤端からの回折波の屈折は波向線法により計算する。
- ⑥ 2方向からの回折波の合成も含め、波の合成は位相を考慮して行う。

計算は回折波の斜面上での屈折変形計算と入射波、透過波、回折波の合成とに大別される。前者は、半無限堤を対象として回折波が屈折変形した場合の波高計算を行う部分である。この計算法は比較的単純であるが、第一次近似としては十分な精度を有している。例えば海底勾配1/20の一樣斜面上、汀線より1.4 mの位置に堤長2 m、開口幅1 m、透過率0.1の離岸堤を設置したときの離岸堤背後の波高分布を示すと図10.1となる。汀線より0.25, 0.5, 0.75, 1.0 m沖の位置での沿岸方向の波高分布の実験値(○印)と計算値(実線)が示されるが、両者はかなり良く一致している。

10.3 代表7海岸の自然特性

海域制御構造物を設置した際の静穏域の創出効果を知るためには、モデル的にいくつかの海岸を選定し、実際に構造物を設置したと仮定してその効果を調べることが必要である。

最初に7海岸の代表的断面形状を選び、それらを2本の直線で近似した(図10.2)。また、それらの勾配変化点の水深と汀線からの距離、およびこの点より岸側、沖側の海底勾配を表10.1にまとめて示す。九十九里、新潟、鹿島灘海岸は断面形がかなり似ており、海底勾配が緩い。なおこれらの海岸ではバー、トラフが存在することがあるが、これらは平滑化して断面形を定めた。湘南、駿河、高知海岸では勾配変化点より岸側の勾配は急であるが、沖側は逆に勾配が緩くなる。富士海岸は他の海岸と全く異なり全体に勾配が大変急である。以上のように選定された7海岸はおよそ3タイプに分

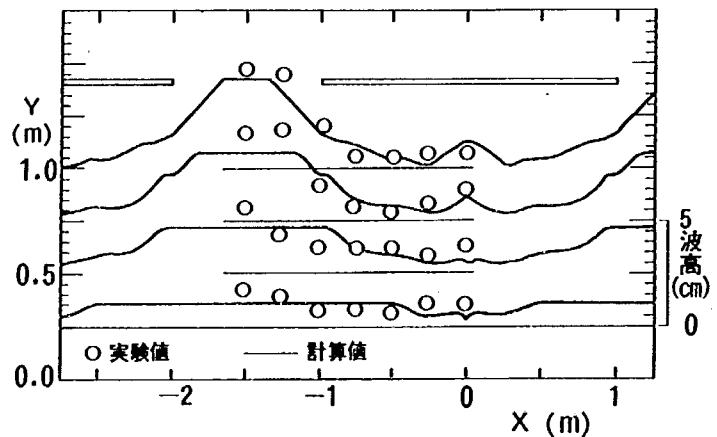


図 10.1 離岸堤背後の波高分布
(計算値と実測値の比較)

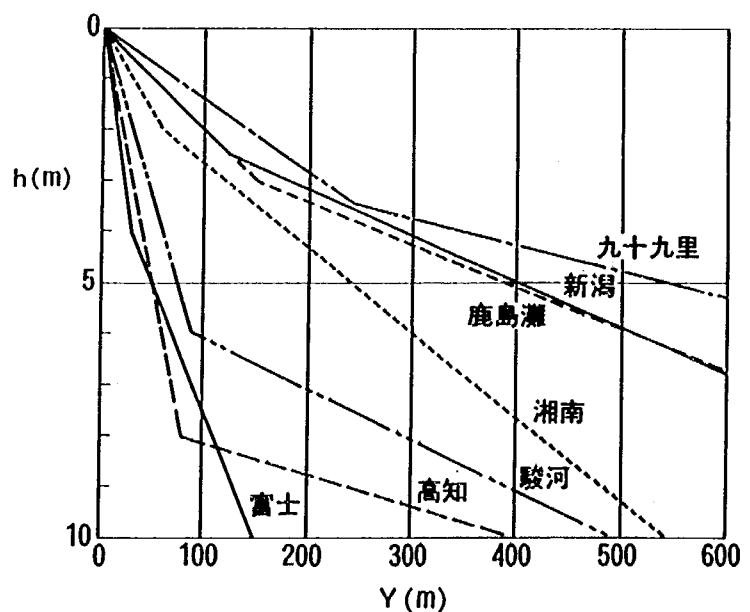


図 10.2 7海岸の代表的海浜断面形状

表 10.1 各海岸の海底勾配

海岸名	海底勾配	海底勾配変化点		海 底 勾 配	
		汀線からの距離	水 深	岸 側	沖 側
新 潟		125 m	2.5 m	1/50	1/110
鹿 島 灘		150	3.0	1/50	1/120
九 十 九 里		245	3.5	1/70	1/200
湘 南		60	2.0	1/30	1/60
駿 河		90	6.0	1/15	1/100
高 知		80	8.0	1/10	1/160
富 士		30	4.0	1/7.5	1/20

かれる。

次に、各海岸の波浪特性を観測データ^{4)~9)}に基づいて調査した。有義波高と有義波周期の出現率を図 10.3, 4 に示す。新潟海岸では波高 1.0 m 未満の波が半数を占める。周期は 7 s 程度が多い。高波浪は主として冬期の季節風と台風による。鹿島灘海岸では、年間を通じて波高 1.0 m 程度の波が多く、0.5 m 未満のものはほとんどない。また、1.5 ~ 3 m の波高も約 30 % の出現率を持つ。周期は 8 s 前後が多い。九十九里海岸では波高約 1 m の波が卓越する。0.5 m 未満の値はほとんどない。周期は 9 s が多い。この海岸では高波浪は主に 3 ~ 4 月、8 ~ 10 月に出現

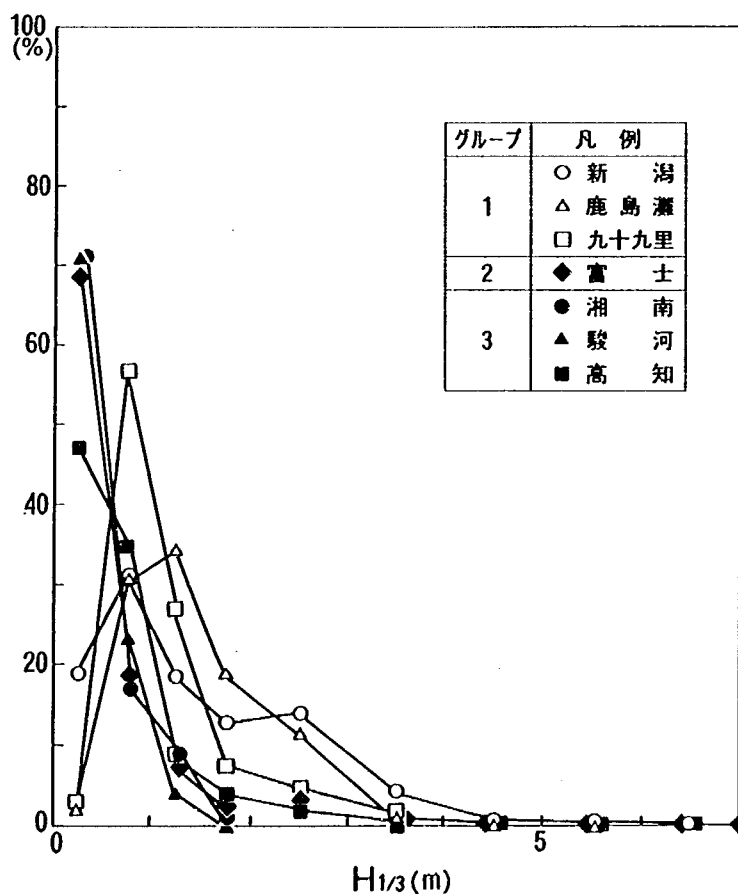


図 10.3 7 海岸の有義波高の頻度分布

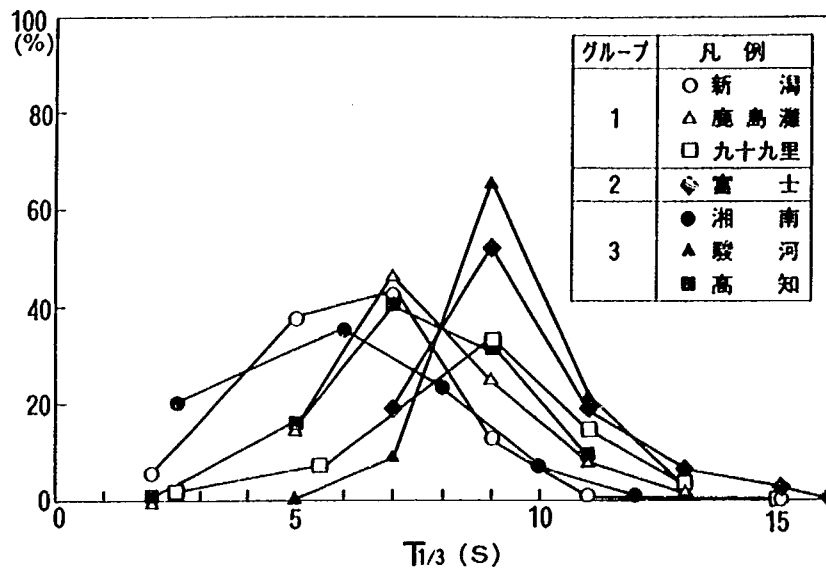


図 10.4 7 海岸の有義波周期の頻度分布

する。湘南海岸では 0.6 m 未満の波高がほとんどであり、2.0 m を越える波の出現頻度は小さい。駿河海岸では波高約 0.5 m の波の出現頻度が高い。周期は 9 s の出現率が高く、6 s 未満の周期の頻度は小さい。高知海岸では年間を通じて大部分の波高が約 0.5 m、周期が 8 s 内外であるが、台風や低気圧により時々高波が発生する。最後に、富士海岸では波高約 0.5 m、周期 9 s 程度の波高の出現頻度が高い。台風や低気圧により時々高波浪が出現する。

以上に述べたように、各海岸ごとに地形および波浪条件は異なっている。そこで海域制御構造物による静穏域の創出効果を知るためには、海岸ごとの地形・波浪条件を考慮した上で、構造物の諸元を種々変化させてそれらの相互比較を行う必要がある。

10.4 静穏域の創出効果

10.4.1 各海岸での相互比較

10.2 でその概要を述べた数値計算手法を 7 海岸に適用した結果について明らかにする。計算の目的は、海域制御構造物を設置した場合の構造物諸元と静穏域の平面分布との関係を調べることである。

計算に際して用いた波浪条件はエネルギー平均波を選んだ（表 10.2 参照）。ここにエネルギー平均波の波高 ($\bar{H}$) と周期 ($\bar{T}$) は次式で表わされる。

$$\bar{H} = \left(\frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N H_i^2 \cdot T_i \right)^{1/2} \quad (10.1)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (10.2)$$

ここにNはデータ個数である。

表 10.2 波浪条件と構造物の設置水深

諸元 海岸名	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	h (m)	設置水深 (m)	離岸距離 (m)	波 長 (m)
新 潟	1.60	8.0	22.7	10.0 5.0	950 400	71 53
鹿 島 灘	1.70	7.8	22.0	10.0 5.1	990 400	69 52
九 十 九 里	1.22	8.2	7.5	3.8	400	48
湘 南	0.58	5.6	20.0	10.0 7.7	540 400	44 41
駿 河	0.82	9.2	11.2	10.0 9.1	490 400	84 81
高 知	1.10	10.4	∞	10.0 10.0	400 400	95 95
富 士	0.85	9.0	∞	10.0	150	82

また構造物の設置条件として設置水深を $h = 10 \text{ m}$ としたものと、離岸距離を 400 m としたものの2種類について計算を行った。計算は一定水深 ($h = 10 \text{ m}$) のもとで比較することを原則としたが、この条件でも九十九里海岸のように緩勾配海岸では離岸距離が大きくなり過ぎた。そこで離岸距離を 400 m と一定とした場合も計算を行った。構造物の透過率は構造物の種類や波浪条件によって変化するが、実験値に基づき $K_T = 0.6$ とした²⁾。堤長は 100 、 200 、 300 m と3種類変えた。ただし、設置水深 $h = 10 \text{ m}$ の場合に離岸距離が長くなる新潟、鹿島灘海岸については堤長 500 m 、設置地点の波長が長くなる駿河、高知、富士海岸について堤長 400 m の場合も計算した。計算は差分法を用いて行うために、平面領域を $2.5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 間隔で格子状に分割した。

静穏域の概念自体は絶対的基準が存在しない。そこで本研究では構造物の遮蔽効果が顕著な領域とし、具体的には入射波高に対する波高比が 0.7 以下となる領域とした。本来、波高比よりも波高そのものの値の方が重要であるが、構造物の消波効果を表わす指標として波高比を用いることは便宜上有効であると考えられる。

既に図 10.2 に示したように、新潟、九十九里、鹿島灘海岸では海浜断面形状が良く似ているので、構造物背後の波高分布特性もかなりよく似たものとなる。そこでここでは3海岸の代表として鹿島灘海岸での計算結果の一例を示す(図 10.5)。計算条件は、堤長が 200 m 、離岸距離が 400 m である。図中の数字は入射波に対する波高比を、また破線は砕波線を示す。さらに波高分布は構造物の中心線に対して左右対象となるために右半平面のみ表示した。静穏域は堤端より

点(24 m, 79 m)を結ぶ直線では区分される。また汀線と平行に等波高比線が並ぶ区域は砕波帯を表わすが、構造物の背後では確かに砕波帯幅が狭くなっている。

次に、駿河海岸において離岸距離400 m, 堤長200 mの構造物を設置したときの波高比の分布を図10.6に示す。高知海岸や湘南海岸においてもこれと良く似た特徴が得られる。駿河海岸の海底勾配は水深6 mまでは1/15と急であるが、その沖では1/100と緩勾配である。一方、図10.5に示した鹿島灘海岸では水深3 mまでが1/50, その沖が1/120である。このように海底勾配が異なるため、両海岸での波高比分布はかなり大きく異なる。駿河海岸では静穏域が岸近くまで広がり、そののち急斜面上で砕波が生ずる。

最後に、富士海岸の場合を図10.7に示す。この海岸は他の海岸と比較して海底勾配が急なので、構造物の設置水深が一定の場合、離岸距離が短くなる。離岸距離400 mの位置では水深が23.5 mと著しく大きくその位置に構造物を設置することは困難である。そこで設置水深を10 mとしたときの計算結果を図示した。静穏域の分布形は駿河海岸での $Y < 150$ mの範囲と良く似ている。また砕波帯幅は非常に狭い。

以上の3例は互いに波浪条件や設置水深が異なるので相互の比較が難しい。そこで以下では2つのパラメータを定義し、それにより構造物の効果を調べる。まず、静穏域の面積比(S')を次式で定義する。

$$S' = \frac{\text{静穏域の面積}}{\text{堤長}(\ell) \times \text{離岸距離}} \quad (10.3)$$

S' を各ケースごとに求め、構造物の設置地点の波長で無次元化した相対堤長(ℓ/L)との関係を

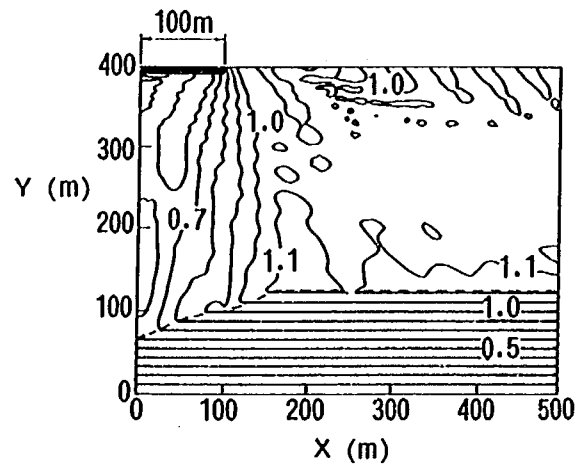


図 10.5 構造物背後の波高比平面分布
(鹿島灘海岸)

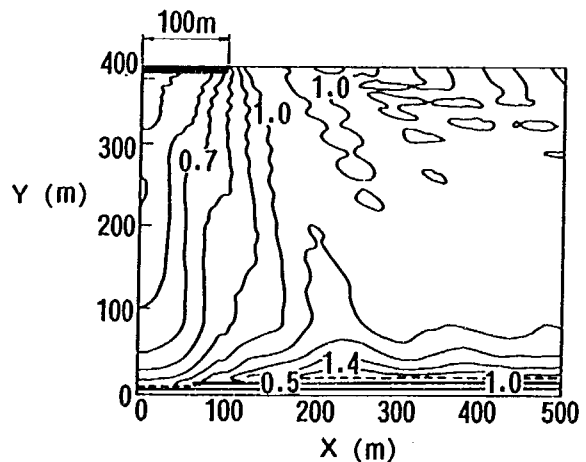


図 10.6 構造物背後の波高比平面分布
(駿河海岸)

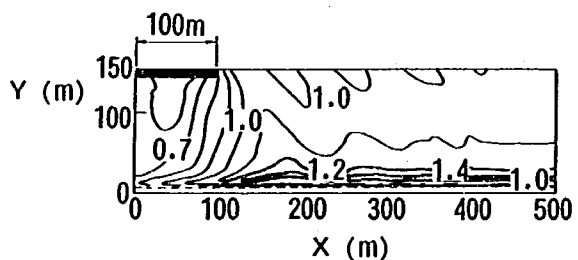


図 10.7 構造物背後の波高比平面分布
(富士海岸)

調べた。ただし設置水深と離岸距離が同時に変化すると、両者の影響により結果の判断が難しくなるので、ここでは設置水深を10mと一定にした場合と、離岸距離を400mと一定にしたときの2種類に分けて結果を示す。まず設置水深一定の場合の結果を図10.8に示す。各海岸とも ℓ/L が大きくなるほど S' が増加し、構造物の消波効果が良く表われているが、大別すると次の3グループに分類できる。すなわち、①緩勾配海岸（新潟，鹿島灘海岸），②急勾配海岸（富士海岸），③複合形海岸（湘南，駿河，高知海岸）である。なお九十九里海岸の場合は海底勾配が大変緩く、したがって計算領域が広く計算機容量の点から十分細かな格子間隔をとれなかった。このため九十九里海岸のデータは除外した。第1グループでは $\ell/L \approx 4$ を境に S' の増加割合が小さくなる。これは $\ell/L = 4$ 付近までは静穏域が岸沖方向に増加し、それ以上になると沿岸方向に増加することを意味している。第2グループの S' は3グループ中最も大きく、第1グループのように S' の増加割合が急変する変化点は見られない。第3グループでは、 $\ell/L \approx 2$ において S' の増加割合が小さくなっている。この理由は第1グループの場合と同様である。

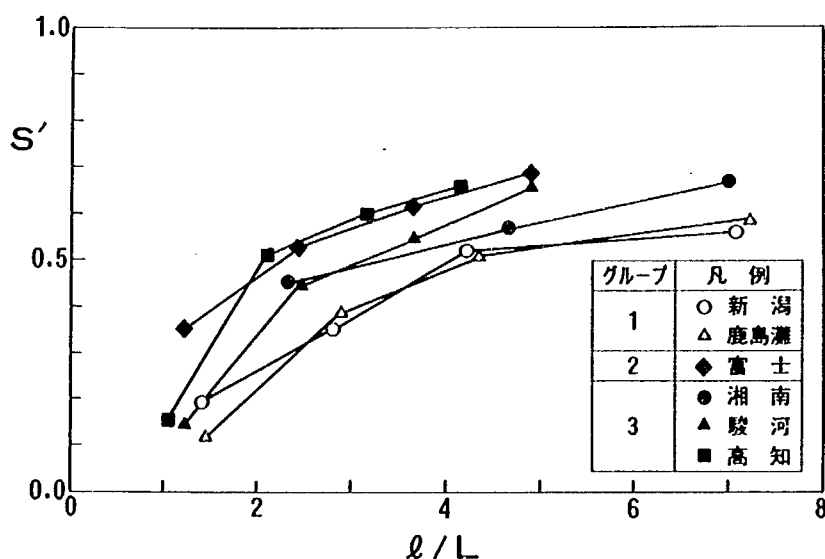


図 10.8 静穏域の面積比と相対堤長の関係（設置水深10m）

次に、離岸距離を400mと一定としたときの S' と ℓ/L の関係を図10.9に示す。図10.8の場合は九十九里海岸の計算結果は除外されていたが、図10.9では十分計算範囲に入るので結果が表示されている。一方、富士海岸の場合、水深が大きくなり過ぎて設置が困難と考えられるためこのデータは除外した。図10.9によると、データは、第1グループの緩勾配海岸と第3グループの複合形海岸とに大きく2分される。その特徴は設置水深一定の場合の結果とほぼ同一であって、第1グループでは $\ell/L \geq 4$ において S' がほぼ一定となり、第3グループでは $\ell/L \geq 2$ において S' の変化が小さくなる。結局、設置水深、または離岸距離一定の場合、静穏域の創成の面から考えると、第3グループの複合形海岸の方が有利であって、しかもその差違は相対堤長が4以下と短いときに大きいことがわかる。

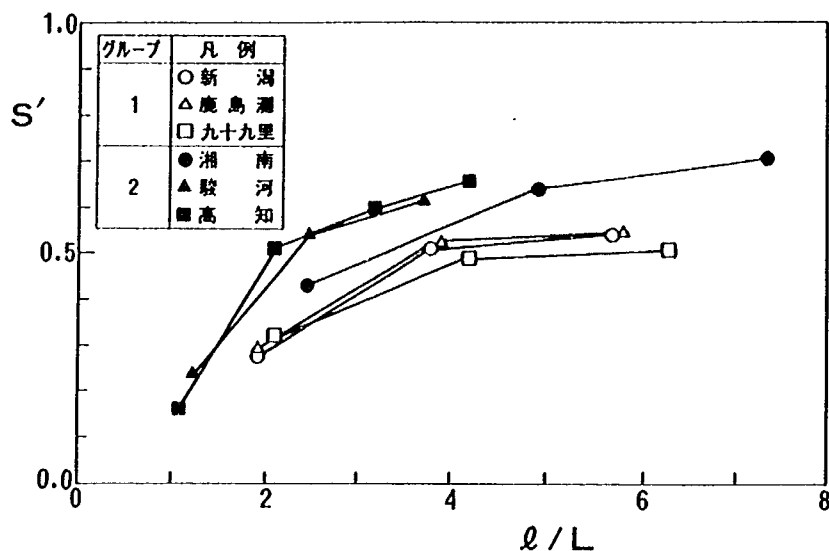


図 10.9 静穏域の面積比と相対堤長の関係（離岸距離400 m）

構造物の消波効果を表わすもう一つの指標として、砕波波高の減少割合を表す指標 P を式（10.4）で定義する。

$$P = \sum_i \left(\frac{H_b - H_{b'}}{H_b} \right) \cdot \Delta l_i / \sum_i \Delta l_i \quad \dots\dots\dots (10.4)$$

ここに、 H_b ：構造物が存在しないときの砕波波高、 $H_{b'}$ ：構造物の効果が表われて $H_{b'} < H_b$ となる区域の砕波波高、 Δl_i ：砕波波高が $H_{b'}$ となる区間の長さである。式（10.4）は、 P が大きいほど構造物が効果的なことを示す。 P は、堤長が無限大となる場合、次式の値になる。

$$P_{\max} = \frac{H_b - H_{bT}}{H_b} \quad \dots\dots\dots (10.5)$$

ここに、 H_{bT} ：透過波高のみによる砕波波高

設置水深10 mのときの計算結果より P と l/L の関係を示したのが図10.10である。また

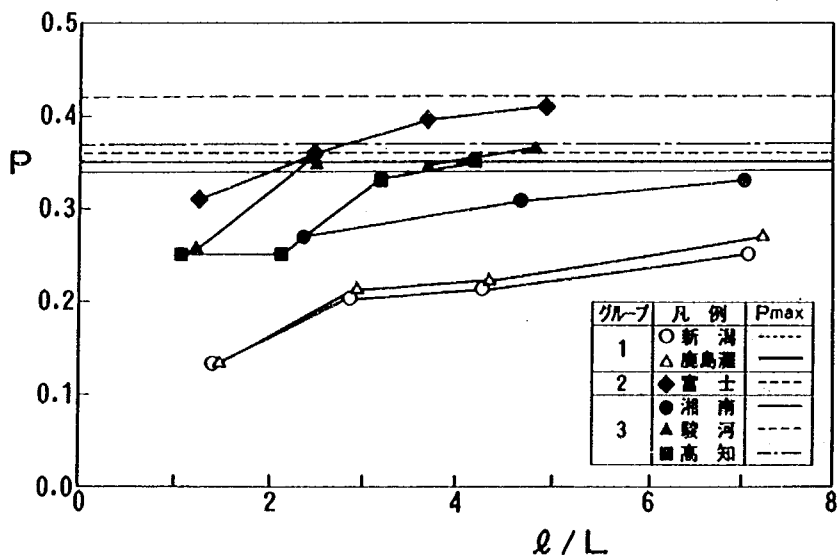


図 10.10 砕波波高の減少割合と相対堤長の関係（設置水深10 m）

図中には各海岸の $P_{\max}$ も示してある。各海岸の特徴は再び3グループに分類される。第1グループの緩勾配海岸（新潟，鹿島灘海岸）では P の増加は全体的に緩やかであり， P の大きさも3グループ中最も小さい。第2グループの急勾配海岸（富士海岸）では P は他グループに比べて大きく ℓ/L に比例して P も増加し $\ell/L \approx 5$ で $P \approx P_{\max}$ となっている。第3グループの複合形海岸（湘南，駿河，高知海岸）では， $\ell/L > 2 \sim 3$ になると P の増加割合が緩やかになり， $P_{\max}$ に漸近していく。なお，急勾配斜面上では計算メッシュを小さくする必要があるが，駿河，高知海岸の計算では計算機容量の点から十分に細分化できなかった。したがってこれらの海岸では P が少しばらついているが，全体的な傾向は良く表わしている。以上の点より，砕波波高の低減の意味より構造物が十分機能を発揮するためには，急勾配および複合形海岸では $\ell/L > 2 \sim 3$ とする必要がある。緩勾配海岸の場合，前二者と同程度の消波効果を得るには少なくとも $\ell/L > 7$ とする必要がある。

以上に述べた第1と第2，3グループの間の相違は，主として相対水深 (h/L) が小さい領域での海底勾配の違いによる。相対水深が比較的大きく，波高変化に及ぼす影響が小さい領域では，回折効果が著しく等波高線は汀線と直角に近くなる。急勾配斜面上では浅水変形が著しく，波高は岸沖方向に急速に高くなる。このため，等波高線は汀線と平行になりやすい。第2，3グループでは，相対水深の大きい領域が汀線付近まで存在するため，静穏域が汀線付近まで広がる。しかも，汀線付近の静穏域の形状は浅水変形により矩形状になりやすい。これに対して第1グループの緩勾配斜面では，浅水変形による波高変化は急勾配斜面に比べると小さく，回折，屈折の効果が顕著となる。このため，構造物の中心に近いほど波高は低く，汀線から砕波点までの距離は構造物の中心から外へ次第に大きくなる。結局，第1グループでは汀線付近の静穏域の形状は三角形状となる。したがって，第2，3グループは第1グループに比べて短い堤長でも静穏域創出効果が大きい。

10.4.2 構造物の海洋性レクリエーションおよび暴浪に対する効果

エネルギー平均波が入射する場合の構造物背後の波高分布は既に明らかになった。ここでは海洋性レクリエーションとして海水浴を選んだときの構造物の効果や，高波浪時の波浪制御効果について調べる。対象海岸として鹿島灘海岸を選び，数値計算を行う。まず透過率は $K_T = 0.6$ ，堤長は $\ell = 300$ m とする。波浪条件は昭和56年6月から8月の鹿島港の波浪条件⁹⁾より選び（表10.3参照），種々の波浪条件のもとで計算を繰り返す。なお表10.3に示すデータは水深22 mの位置で測定されたものである。得られた砕波波高については，佐々木ら¹⁰⁾の提案した安全に海水浴を楽しむための条件をもとに適否を判断する。この条件は砕波波高0.6 m以下で与えられる。表10.3において， $H_{1/3}$ が1.0 m以上や，0.75 mでも周期が7 s以上と長い場合，構造物背後の砕波波高は基準値を満足しない。図10.11は基準値を満足する場合の例として $H_{1/3} = 0.5$ m， $T_{1/3} = 7$ sのときの波高分布を示す。構造物の背後において基準をほぼ満足する

表 10.3 鹿島港の有義波高・周期の頻度分布 (1981年度)

$T_{1/3}(s) \backslash H_{1/3}(m)$	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	計
0 ~ 0.50	0.5	2.9				3.4
~ 0.75	4.8	16.7	2.2			23.7
~ 1.00	1.9	10.3	5.4			17.6
~ 1.50	1.6	13.9	16.7	1.1		33.3
~ 2.00	0.2	2.4	9.8	3.2		15.5
~ 2.50	0.1	0.7	1.4	1.8		4.0
~ 3.00		0.1	0.1	1.3	0.1	1.6
~ 3.50				0.3	0.3	0.7
~ 4.00					0.1	0.1
~ 4.50						
~ 5.00						
~ 5.50						
~ 6.00					0.1	0.1
計	9.2	47.0	35.7	7.6	0.5	100.0

区域が堤体中心 ($X=0$) から $X=185$ mの間で得られている。入射波周期が長くなると波長に対する構造物の長さが短くなるので碎波波高の低い範囲は狭くなる。一方、構造物を設置しない場合基準値を満足するのは表 10.3 中, $H_{1/3}=0.5$ m, $T_{1/3}=5$ s の場合のみである。このときの碎波波高はちょうど 0.6 m に等しい。

結局、鹿島灘海岸で 6~8 月の間で安全に海水浴をするための基準波高を満足するのは全体の 0.5% であり、海水浴を安全に楽しめる日数は現在のところかなり少ないと考えられる。

一方、同一波浪条件のもとで $K_T=0.6$, $\ell=300$ m の海域制御構造物を設置すれば, $H_{1/3}=0.75$ m で周期 5 s の波浪に対しても利用可能海域を造り出すことができることから、表 10.3 において利用可能な波浪条件の割合は 8.2% となる。これは構造物を造る前の 0.5% 以下と比較すると 1 オーダー大きな値である。このように海域制御構造物の設置は従来波が高く海水浴等に利用できなかった海域を安全に利用するうえでかなり有効である。

最後に暴浪時の構造物の効果について検討した結果を図 10.12 に示す。構造物の諸元はレ

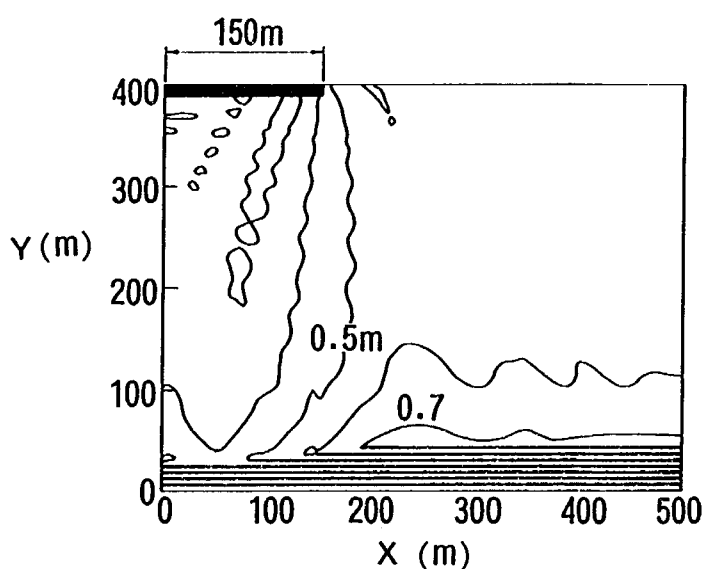


図 10.11 夏期の静穏波の作用下での波高分布 (鹿島灘海岸)

クリエーション面からの検討と同一とし、波浪条件としては表10.3より代表的に $H_{1/3} = 3.0 \text{ m}$, $T_{1/3} = 11 \text{ s}$ とした。この波は構造物の沖で砕波し、そのときの砕波波高は約 4.3 m となる。これに対し、構造物背後での砕波波高は約 2.8 m となり、約 1.5 m の低減効果が表われる。周期一定の場合、波高は水深のみの関係として定められる。このため図 10.12 において汀線近くの砕波波高は構造物の背後とそうでない場合とで同一になる。しかし例えば砕波による水位上昇を考えると、最初に

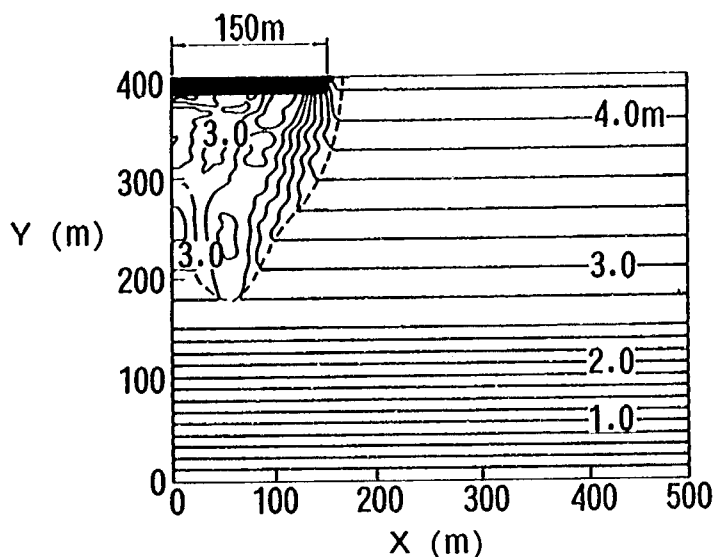


図 10.12 暴浪時における波高分布

砕波が生ずる地点より水位上昇が始まるので、構造物の遮蔽領域外と内では水位にかなりの相違が生じ、遮蔽領域外の方が水位が高くなる。これは海岸への越波や打ちあげを大きくする要因になる。これらのことから暴浪による災害を低下させる意味においても海域制御構造物は役立つと考えられる。

10.5 まとめ

本研究では現地海岸に海域制御構造物が設置された場合の消波効果について数値計算によって検討した。この結果得られた主な結論をまとめると次のようである。

- ① 構造物による消波効果は、海浜断面形状の相違により大きく3グループに分類された。第1は新潟、鹿島灘、九十九里海岸のように緩勾配の海岸、第2は富士海岸のように急勾配の海岸、そして第3は湘南、駿河、高知海岸のように前浜付近の勾配は急であるが沖浜勾配の緩い複合形海岸である。
- ② 第1グループでは構造物が十分消波効果を発揮するためには、静穏域面積 (S') の点からは $l/L > 4$, また、砕波波高の減少割合 (P) の点からは、少なくとも $l/L > 7$ とする必要がある。
- ③ 第2, 3グループでは第1グループに比較して構造物設置による消波効果が著しく、静穏域面積 (S') および砕波波高の減少割合 (P) の両点から $l/L > 2$ となればかなり良い効果を持つ。
- ④ 第1グループと第2, 3グループの間の②, ③で述べた相違は主として相対水深 (h/L) が小さい領域での海底勾配の違いによる。

- ⑤ 鹿島灘海岸を例として海水浴利用の面より構造物の消波効果を調べた。これによると構造物無しでは安全に海水浴を行うための基準値を満足する波浪条件が0.5%であったのに対し構造物を設置すればその割合が8.2%に向上することが分かった。

参考文献

- 1) 宇多高明・村井禎美・藤原隆一・松尾和男：海洋空間創生のための海域制御構造物の開発，海洋開発論文集，Vol. 2，pp. 121～126，1986.
- 2) 宇多高明・村井禎美・松尾和男・藤原隆一：海域制御構造物に関する実験的研究，土木技術資料，Vol. 29, No. 2，pp. 9～14，1987.
- 3) 宇多高明・古川博一・筒井保博：離岸堤模型実験報告書，土木研究所資料，第2219号，p. 115，昭和60年3月.
- 4) 千葉県銚子漁港事務所：昭和57年片貝漁港気象海象資料調査解析報告書，p. 69，1983.
- 5) 千葉県銚子漁港事務所：昭和58年片貝漁港気象海象資料調査解析報告書，p. 73，1984.
- 6) 日本道路公団：西湘バイパス道路護岸の水理学的検討，1981.
- 7) 建設省河川局・運輸省港湾局：海岸部における砂輸送システム調査報告書，p. 286，1984.
- 8) 建設省河川局海岸課：海象年表（第1回～6回），昭和54年～59年.
- 9) 沿岸波浪観測年報，港湾技研資料，No. 480，Mar.，1984.
- 10) 佐々木民雄・堀田新太郎・五十嵐 元・久保田 進：海洋性レクリエーションに関する研究（第2報）—九十九里海岸における海水浴の現地調査—，第21回海岸工学講演会論文集，pp. 471～475，1974.

あ と が き

本報告書では19タイプの構造物についてその消波効果を実験により明らかにした。また、既存の離岸堤背後の波高分布計算プログラムを用いて、全国の代表7海岸における構造物の効果を調べた。海域制御構造物の開発には、この他多くの検討項目がある。また構造物タイプにもこの他種々のものが考えられる。これらについては、第2報以降で報告する予定である。

図 表 一 覧

- 図 4. 1 模型概念図
- 図 4. 2 実験装置
- 図 4. 3 水路による波高減衰率図(1)
- 図 4. 4 水路による波高減衰率図(2)
- 図 4. 5 スリット式の K_T と H/L の関係 ($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 6 スリット式の K_T と枚数 N の関係 ($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 7 スリット式の K_T と ϵ , h_2/h の関係 ($N = 2$, $B/h = 2.0$)
- 図 4. 8 スリット式の K_T , K_R と B/L の関係 ($N = 2$, $\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 9 スリット式の K_L^2 と H/L の関係 ($N = 2$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 10 スリット式の K_L^2 と B/L の関係 ($\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 11 立体トラス式の K_T , K_R と H/L の関係 ($h_2/h = 1.0$)
- 図 4. 12 立体トラス式の K_T , K_R と h_2/h の関係 ($B/h = 1.0$)
- 図 4. 13 立体トラス式の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 1.0$)
- 図 4. 14 立体トラス式の K_L^2 と H/L の関係 ($h_2/h = 1.0$)
- 図 4. 15 段違い反射板式の K_T , K_R と H/L の関係 ($b/h = 0.4$, $(h_2 - b)/h = 0.1$, $B/h = 1.0$)
- 図 4. 16 段違い反射板式の K_T , K_R と b/h の関係 ($B/h = 1.0$, $(h_2 - b)/h = 0.3$, $h_3/h = 0.3$)
- 図 4. 17 段違い反射板式の K_T , K_R と h_3/h の関係 ($b/h = 0.4$, $(h_2 - b)/h = 0.1$, $B/h = 1.0$)
- 図 4. 18 段違い反射板式の K_T , K_R と B/L の関係 ($b/h = 0.4$, $(h_2 - b)/h = 0.1$, $h_3/h = 0.6$)
- 図 4. 19 段違い反射板式の K_L^2 と B/L の関係 ($b/h = 0.4$, $h_3/h = 0.6$)
- 図 4. 20 中詰式の K_T , K_R と H/L の関係 ($h_2/h = 0.7$, $r = 0.31$, $B/h = 1.0$)
- 図 4. 21 中詰式の K_T , K_R と r の関係 ($h_2/h = 0.7$, $B/h = 1.0$)
- 図 4. 22 中詰式の K_T , K_R と h_2/h の関係 ($r = 0.31$, $B/h = 1.0$)
- 図 4. 23 中詰式の K_T , K_R と B/L の関係 ($r = 0.31$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 24 中詰式の K_L^2 と B/L の関係 ($r = 0.31$, $h_2/h = 0.7$)
- 図 4. 25 空気調圧式の K_T , K_R と α の関係 ($h_2/h = 0.7$, $B/h = 2.0$)
- 図 4. 26 パイプ式の K_T , K_R と H/L の関係 ($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$)
- 図 4. 27 パイプ式の K_T , K_R と h_2/h の関係 ($d/h = 0.12$, $B/h = 2.0$)
- 図 4. 28 パイプ式の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.36$, $d/h = 0.06$)

- 図 4.29 バイブ式の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.21$, $d/h=0.06$)
- 図 4.30 バイブ式の K_T , K_R と h/L の関係 ($h_2/h=0.21$, $d/h=0.06$)
- 図 4.31 バイブ式の K_L^2 と B/L の関係 ($h_2/h=0.36$)
- 図 4.32 ハイブリッド式の K_T , K_R と H/L の関係 ($B/h=2.0$)
- 図 4.33 ハイブリッド式の K_T と B/L の関係
- 図 4.34 固定チューブ式の K_T , K_R と H/L の関係 ($B/h=8.0$, $R/h=0.3$)
- 図 4.35 固定チューブ式の K_T と B/L_0 の関係
- 図 4.36 可動チューブ式の K_T と B/L_0 の関係
- 表 4.1 波浪条件一覧
- 表 4.2 スリット式の模型諸元
- 表 4.3 立体トラス式の模型諸元
- 表 4.4 段違い反射板式の模型諸元
- 表 4.5 中詰式の模型諸元
- 表 4.6 空気調圧式の模型諸元
- 表 4.7 バイブ式の模型諸元
- 表 4.8 ハイブリッド式の模型諸元
- 表 4.9 チューブ式の模型諸元
-
- 図 5.1 消波構造物の形態
- 図 5.2 実験装置
- 図 5.3 透水性構造物の K_T と H/L の関係
- 図 5.4 透水性構造物の K_T と B/L の関係
- 図 5.5 チューブ式構造物の K_T と B/L_0 の関係
- 図 5.6 各種構造物の K_T と h/L の関係
- 図 5.7 バイブ式構造物の K_T と B/L の関係 ($h_2/h=0.36$, $d/h=0.12$)
- 図 5.8 遊水部を持たない消波構造物の K_R と h/L の関係
- 図 5.9 遊水部を持つ構造物の K_R と B/L の関係
- 図 5.10 バイブ式構造物の K_R および K_R と h_2/h の関係
- 図 5.11 空気調圧式構造物の K_T および K_R と h/L の関係 ($B/h=1.0$, $h_2/h=0.7$, $\alpha=6.3$)
- 図 5.12 スリット式構造物の K_T と H/L の関係 ($B/h=2.0$, $h_2/h=0.7$, $\epsilon=0.4$)
- 図 5.13 バイブ式構造物の K_T および K_R と $\sigma^2 h/g$ の関係 ($h_2/h=0.06$, $d/h=0.055$)
- 表 5.1 各構造物の消波効果に影響を及ぼす要因
- 図 A.1 透水性消波構造物の形状寸法
- 図 A.2 円柱部材の形状寸法

図 A.3 透水性消波構造物中の異形柱体の形状寸法

図 A.4 f' と kh の関係

図 6.1 スリット型構造

図 6.2 平面トラス型構造

図 6.3 水平板付スリット型構造

図 6.4 透過水平板付スリット型構造

図 6.5 改良空気密閉型構造

図 6.6 中詰型構造

図 6.7 実験装置 (単位: m)

図 6.8 スリット型模型 (SL2)

図 6.9 平面トラス型模型 (TSL1)

図 6.10 水平板付スリット型模型 (PLS2)

図 6.11 透過水平板付スリット型模型 (VHS2)

図 6.12 改良空気密閉型模型 (AIR5)

図 6.13 中詰型模型 (NS1)

図 6.14 波高減衰率算定図

図 6.15 スリット型 (SL1) および土研 (1985) の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h = 0.7$, $N=2$)

図 6.16 スリット型 (SL1, SL2) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$)

図 6.17 スリット型 (SL2, SL3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$, $N=3$)

図 6.18 スリット型 (SL2, SL4, SL5) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.1$)

図 6.19 スリット型 (SL4, SL5) の K_T , K_R と H/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N=3$, $\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.1$)

図 6.20 スリット型 (SL4, SL5) の K_L^2 と H/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N=3$, $\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.1$)

図 6.21 平面トラス型 (TSL1) の K_T , K_R と H/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0.3$)

図 6.22 平面トラス型 (TSL1) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0.3$)

図 6.23 平面トラス型 (TSL1) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0.3$)

図 6.24 平面トラス型 (TSL1, TSL2) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$)

図 6.25 平面トラス型 (TSL1, TSL3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $h_2/h = 0.7$)

- 図 6.26 平面トラス型 (TSL1, TSL4) および 2 枚スリット型の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$)
- 図 6.27 水平板付スリット型 (PLS1, PLS2, PLS3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $N_V=3$, $\epsilon_H=0$)
- 図 6.28 水平板付スリット型 (PLS1, PLS2, PLS3) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_2/h=0.7$, $N_V=3$, $\epsilon_H=0$)
- 図 6.29 水平板付スリット型 (PLS3, PLS4) および 2 枚スリット型の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $\epsilon_V=0.4$)
- 図 6.30 水平板付スリット型 (PLS3, PLS4) および 2 枚スリット型の K_L^2 と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $\epsilon_V=0.4$)
- 図 6.31 透過水平板付スリット型 (VHS2, VHS5) の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_1/h=0$, $h_2/h=1.0$, $N_H=1$, $\epsilon_V=0.26$, $\epsilon_H=0.18$)
- 図 6.32 透過水平板付スリット型 (VHS2, VHS5) の K_L^2 と B/L の関係 ($h_1/h=0$, $h_2/h=1.0$, $N_V=3$, $N_H=1$, $\epsilon_V=0.26$, $\epsilon_H=0.18$)
- 図 6.33 透過水平板付スリット型 (VHS1, VHS2) の K_T , K_R の B/L の関係 ($B/h=1.25$, $h_1/h=0$, $h_2/h=1.0$, $N_V=3$, $\epsilon_V=0.26$)
- 図 6.34 透過水平板付スリット型 (VHS2, VHS3) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.25$, $h_1/h=0$, $N_V=3$, $N_H=1$, $\epsilon_V=0.26$, $\epsilon_H=0.18$)
- 図 6.35 透過水平板付スリット型 (VHS2, VHS4) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h=1.25$, $h_2/h=1.0$, $N_H=1$, $\epsilon_V=0.26$, $\epsilon_H=0.18$)
- 図 6.36 改良空気密閉型 (AIR1, AIR4) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $h_2/h=0.5$, $h_4/h=0.4$)
- 図 6.37 改良空気密閉型 (AIR1, AIR4) の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $h_2/h=0.5$, $h_4/h=0.4$)
- 図 6.38 改良空気密閉型 (AIR1, AIR4) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $h_2/h=0.5$, $h_4/h=0.4$)
- 図 6.39 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_2/h=0.5$)
- 図 6.40 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_2/h=0.5$)
- 図 6.41 改良空気密閉型 (AIR1, AIR3) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_2/h=0.5$)
- 図 6.42 改良空気密閉型 (AIR4, AIR5) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)

- 図 6.4.3 改良空気密閉型 (AIR4, AIR5) の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)
- 図 6.4.4 改良空気密閉型 (AIR4, AIR5) の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.5$, $B_2/h=0.7$, $h_2/h=0.5$)
- 図 6.4.5 改良空気密閉型 (AIR1, AIR2) の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_4/h=0.4$)
- 図 6.4.6 改良空気密閉型 (AIR1, AIR2) の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.2$, $B_1/h=0.2$, $B_2/h=1.0$, $h_4/h=0.4$)
- 図 6.4.7 中詰型の K_T と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_1/h=0.3$, $h_2/h=1.0$, $N=3$, $\epsilon=0.28$)
- 図 6.4.8 中詰型の K_R と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_1/h=0.3$, $h_2/h=1.0$, $N=3$, $\epsilon=0.28$)
- 図 6.4.9 中詰型の K_L^2 と B/L の関係 ($B/h=1.5$, $h_1/h=0.3$, $h_2/h=1.0$, $N=3$, $\epsilon=0.28$)
- 表 6.1 現地と模型との対比
- 表 6.2 水理条件
- 表 6.3 構造条件 (スリット型)
- 表 6.4 構造条件 (平面トラス型)
- 表 6.5 構造条件 (水平板付スリット型)
- 表 6.6 構造条件 (透過水平板付スリット型)
- 表 6.7 構造条件 (改良空気密閉型)
- 表 6.8 構造条件 (中詰型)
- 表 6.9 データ・サンプリング間隔
-
- 図 7.1 2次元造波水路
- 図 7.2 複合消波構造物模型
- 図 7.3 Y型垂直板の開閉角 (θ)
- 図 7.4 複合消波構造物の断面図
- 図 7.5 計測装置の配置
- 図 7.6 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.1$)
- 図 7.7 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.15$)
- 図 7.8 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.2$)
- 図 7.9 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係 (A-3タイプ)
- 図 7.10 複合消波構造物の K_T , K_R と B/L の関係 (B-3タイプ)
- 図 7.11 流れ及び渦の説明図
- 図 7.12 複合消波構造物の K_T , K_R と H_1/L の関係 (A-3タイプ)
- 図 7.13 複合消波構造物の K_T , K_R と H_1/L の関係 (B-3タイプ)

- 図 7.14 複合消波構造物の V 型遊水部変化による K_T と B/L の関係 ($h_2/h=0.2$)
- 図 7.15 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係 (A-3 タイプ)
- 図 7.16 複合消波構造物の K_L^2 と B/L の関係 (B-3 タイプ)
- 表 7.1 実験模型諸元
- 表 7.2 模型形状諸元
- 表 7.3 波浪条件
- 写真 7.1 A-3 タイプ模型 (正面)
- 写真 7.2 A-3 タイプ模型 (上面)
- 写真 7.3 A-3 タイプ模型 (側面)
- 写真 7.4 B-3 タイプ模型 (正面)
- 写真 7.5 B-3 タイプ模型 (上面)
- 写真 7.6 B-3 タイプ模型 (側面)
- 写真 7.7 模型実験状況
- 写真 7.8 V 型遊水部近傍の全体状況
- 写真 7.9 V 型遊水部近傍の水面下の状況
- 図 8.1 実験水路全体図
- 図 8.2 実験模型
- 図 8.3 A タイプの H/L と K_T の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)
- 図 8.4 A タイプの B/L と K_R の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\phi=1.5\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)
- 図 8.5 B タイプの H/L と K_T の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\phi=1.5\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$, $\epsilon_p=0.1$)
- 図 8.6 B タイプの H/L と K_T の関係 ($\phi=1.5\text{ cm}$, $h_2/h=0.5$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$, $\epsilon_p=0.2$)
- 図 8.7 B タイプの B/L と K_R の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\phi=1.5\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$, $\epsilon_p=0.1$)
- 図 8.8 B タイプの B/L と K_L^2 の関係 ($\phi=1.5\text{ cm}$, $h_2/h=0.5$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)
- 図 8.9 A・B 両タイプの H/L と K_T の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\phi=1.5\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)
- 図 8.10 A・B 両タイプの h_2/L と K_T の関係 ($B=36\text{ cm}$, $\phi=1.5\text{ cm}$, $\epsilon_f=0.3$, $\epsilon_r=0.2$)
- 表 8.1 実験パラメータ
- 表 8.2 実験ケース一覧表
- 表 8.3 波高と周期の組合せ (鉛直多孔板間隔 36 cm)
- 表 8.4 波高と周期の組合せ (鉛直多孔板間隔 56 cm)
- 写真 8.1 実験状況 (B タイプ)
- 図 9.1 水路
- 図 9.2 縮流水平板模型及び水圧計配置図

図 9. 3	スリット壁付水平及び水圧計配置図
図 9. 4	縮流水平板の K_T と B/L の関係 ($h_2/h=0.2$, $n=6$, $\ell_1/\ell_2=1$)
図 9. 5	縮流水平板の K_T と h_2/h の関係 ($n=6$, $\ell_1/\ell_2=1$)
図 9. 6	縮流水平板の K_T と n の関係 ($h_2/h=0.2$, $\ell_1/\ell_2=1$)
図 9. 7	縮流水平板の K_T と ℓ_1/ℓ_2 の関係 ($h_2/h=0.2$, $n=6$)
図 9. 8	縮流水平板の $F_X/(8 \cdot B)$ と B/L の関係 ($h_2/h=0.2$, $n=6$)
図 9. 9	スリット壁付水平板の K_T と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)
図 9. 1 0	スリット壁付水平板の K_T と ϵ の関係 ($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)
図 9. 1 1	スリット壁付水平板の K_T と h_2/h の関係 ($h_3/h=0.1$)
図 9. 1 2	スリット壁付水平板の K_T と h_3/h の関係 ($h_2/h=0.3$)
図 9. 1 3	スリット壁付水平板の F_X , F_Z と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $h_3/h=0.1$)
表 9. 1	縮流水平板の模型番号とパラメータ
表 9. 2	スリット壁付水平板の模型番号とパラメータ
表 9. 3	実験波諸元
図 1 0. 1	離岸堤背後の波高分布 (計算値と実測値の比較)
図 1 0. 2	7 海岸の代表的海浜断面形状
図 1 0. 3	7 海岸の有義波高の頻度分布
図 1 0. 4	7 海岸の有義波周期の頻度分布
図 1 0. 5	構造物背後の波高比平面分布 (鹿島灘海岸)
図 1 0. 6	構造物背後の波高比平面分布 (駿河海岸)
図 1 0. 7	構造物背後の波高比平面分布 (富士海岸)
図 1 0. 8	静穏域の面積比と相対堤長の関係 (設置水深 1 0 m)
図 1 0. 9	静穏域の面積比と相対堤長の関係 (離岸距離 4 0 0 m)
図 1 0. 1 0	砕波波高の減少割合と相対堤長の関係 (設置水深 1 0 m)
図 1 0. 1 1	夏期の静穏波の作用下での波高分布 (鹿島灘海岸)
図 1 0. 1 2	暴浪時における波高分布
表 1 0. 1	各海岸の海底勾配
表 1 0. 2	波浪条件と構造物の設置水深
表 1 0. 3	鹿島港の有義波高・周期の頻度分布 (1981 年度)

付 録

100 100

土木研究所

[SLIT1] B/h=0.0 h2/h=.7 e=.20 N=1													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.53	225	3.23	1.20	2.42	193	.0157	.0167	.37	.75		
2	1.20	7.16	225	6.82	1.98	4.57	193	.0332	.0352	.29	.67		
3	1.40	7.07	386	6.48	2.87	4.67	239	.0231	.0271	.32	.72		
4	1.40	15.57	386	14.27	3.20	9.85	239	.0509	.0597	.23	.69		
5	1.60	11.99	399	11.18	4.14	7.03	283	.0300	.0394	.37	.70		
6	1.60	15.69	399	14.63	4.60	9.51	283	.0393	.0516	.32	.65		
7	2.00	3.92	624	3.85	.69	3.08	369	.0063	.0104	.10	.80		
8	2.00	7.76	624	7.63	1.98	6.03	369	.0124	.0207	.26	.79		
9	2.00	11.47	624	11.23	3.50	9.69	369	.0184	.0305	.31	.77		
10	2.00	7.86	1223	8.69	1.91	6.52	535	.0064	.0162	.22	.75		
11	2.00	12.36	1223	13.67	3.96	9.30	535	.0101	.0255	.29	.68		

[SLIT1] B/h=1.0 h2/h=.7 e=.20 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.03	225	3.60	.74	2.50	193	.0179	.0198	.20	.68		
2	1.20	8.36	225	7.64	1.30	4.05	193	.0372	.0395	.17	.53		
3	1.40	9.21	306	8.44	2.19	4.73	239	.0301	.0353	.26	.56		
4	1.40	15.76	306	14.45	4.34	8.24	239	.0516	.0604	.30	.57		
5	1.60	12.61	399	11.76	3.88	7.41	283	.0316	.0415	.33	.63		
6	1.60	17.32	399	16.15	6.46	9.72	283	.0434	.0570	.40	.54		
7	2.00	4.00	624	3.95	.70	3.08	369	.0063	.0110	.31	.74		
8	2.00	8.22	624	8.08	2.75	5.66	369	.0132	.0219	.34	.70		
9	2.00	12.97	624	12.75	5.40	9.54	369	.0209	.0345	.43	.67		
10	2.00	8.36	1223	9.25	4.26	6.91	535	.0060	.0173	.46	.65		
11	2.00	12.84	1223	14.20	6.11	9.24	535	.0105	.0265	.43	.59		

[SLIT1] B/h=2.0 h2/h=.7 e=.20 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.10	225	3.75	1.76	1.91	193	.0183	.0194	.47	.51		
2	1.20	8.12	225	7.42	3.34	3.34	193	.0361	.0383	.43	.45		
3	1.40	9.67	306	7.95	1.99	3.74	239	.0284	.0332	.25	.47		
4	1.40	16.53	306	15.15	5.45	7.73	239	.0541	.0634	.36	.51		
5	1.60	12.65	399	11.80	2.95	6.14	283	.0317	.0416	.35	.52		
6	1.60	16.73	399	15.60	4.68	6.24	283	.0419	.0558	.40	.48		
7	2.00	4.04	624	3.97	.44	3.05	369	.0065	.0108	.11	.77		
8	2.00	8.05	624	7.92	1.19	5.31	369	.0129	.0214	.15	.67		
9	2.00	12.10	624	11.90	2.26	7.50	369	.0194	.0322	.19	.63		
10	2.00	7.78	1223	8.61	3.27	5.42	535	.0064	.0161	.39	.63		
11	2.00	12.16	1223	13.45	4.71	7.26	535	.0099	.0251	.35	.54		

[SLIT1] B/h=2.0 h2/h=.7 e=.20 N=3													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.46	225	4.08	1.47	2.24	193	.0199	.0211	.36	.55		
2	1.20	8.46	225	7.73	2.71	3.32	193	.0376	.0408	.35	.43		
3	1.40	9.58	306	8.70	1.58	4.41	239	.0319	.0367	.18	.51		
4	1.40	16.87	306	15.46	4.17	6.34	239	.0552	.0647	.27	.41		
5	1.60	11.04	399	11.04	2.10	5.41	283	.0296	.0390	.19	.49		
6	1.60	16.01	399	14.93	3.43	6.37	283	.0401	.0527	.23	.44		
7	2.00	4.55	624	4.47	.89	3.04	369	.0073	.0121	.20	.68		
8	2.00	7.63	624	7.50	2.40	4.88	369	.0122	.0209	.32	.64		
9	2.00	12.04	624	11.84	4.85	7.46	369	.0193	.0321	.41	.63		
10	2.00	7.98	1223	8.92	4.20	5.12	535	.0070	.0177	.45	.57		
11	2.00	12.46	1223	13.78	5.51	6.48	535	.0102	.0257	.40	.47		

[SLIT1] B/h=0.0 h2/h=.5 e=.40 N=1													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.72	225	3.40	.61	2.86	193	.0166	.0176	.10	.84		
2	1.20	7.28	225	6.66	1.20	5.59	193	.0324	.0344	.18	.84		
3	1.40	6.87	386	6.30	1.87	5.54	239	.0225	.0263	.17	.88		
4	1.40	15.20	386	13.93	2.51	11.56	239	.0497	.0580	.18	.83		
5	1.60	11.91	399	11.08	2.80	8.91	283	.0322	.0384	.12	.82		
6	1.60	15.39	399	14.35	2.30	10.91	283	.0395	.0506	.16	.76		
7	2.00	3.68	624	3.62	.33	3.44	369	.0059	.0098	.09	.95		
8	2.00	7.30	624	7.26	.73	6.61	369	.0110	.0197	.10	.91		
9	2.00	11.80	624	10.90	3.16	9.01	369	.0178	.0295	.29	.90		
10	2.00	7.54	1223	8.34	1.80	7.26	535	.0062	.0156	.13	.97		
11	2.00	12.05	1223	13.33	1.47	10.80	535	.0099	.0249	.11	.81		

[SLIT1] B/h=1.0 h2/h=.5 e=.40 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.08	225	3.73	.37	2.83	193	.0182	.0193	.10	.76		
2	1.20	8.01	225	7.32	.95	5.12	193	.0356	.0378	.13	.70		
3	1.40	7.40	306	6.78	.81	5.22	239	.0242	.0284	.12	.77		
4	1.40	16.45	306	15.08	2.10	11.01	239	.0538	.0631	.10	.73		
5	1.60	11.76	399	10.97	1.65	8.78	283	.0295	.0397	.15	.89		
6	1.60	14.97	399	13.96	2.93	10.61	283	.0375	.0493	.21	.76		
7	2.00	4.04	624	3.97	.79	3.45	369	.0065	.0108	.20	.87		
8	2.00	7.76	624	7.63	1.98	6.64	369	.0124	.0207	.26	.87		
9	2.00	11.84	624	11.64	2.91	9.66	369	.0190	.0315	.25	.83		
10	2.00	7.98	1223	8.93	3.18	7.24	535	.0065	.0165	.36	.82		
11	2.00	11.50	1223	12.72	5.72	10.56	535	.0094	.0238	.45	.83		

[SLIT1] B/h=2.0 h2/h=.5 e=.40 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.10	225	3.75	.90	2.81	193	.0183	.0194	.24	.75		
2	1.20	8.08	225	7.22	2.45	4.98	193	.0352	.0373	.34	.69		
3	1.40	7.44	306	6.82	.75	5.32	239	.0243	.0285	.11	.78		
4	1.40	16.32	306	14.96	2.39	10.62	239	.0534	.0626	.16	.71		
5	1.60	12.54	399	11.69	.35	8.53	283	.0314	.0412	.03	.73		
6	1.60	16.16	399	15.07	.60	10.40	283	.0405	.0532	.04	.69		
7	2.00	4.88	624	4.81	.44	3.25	369	.0065	.0109	.11	.81		
8	2.00	8.88	624	7.87	1.10	6.61	369	.0128	.0213	.14	.84		
9	2.00	12.84	624	11.84	.83	9.59	369	.0193	.0321	.17	.81		
10	2.00	7.87	1223	8.70	2.10	6.97	535	.0064	.0163	.25	.79		
11	2.00	12.11	1223	13.40	4.56	9.70	535	.0099	.0250	.34	.73		

[SLIT1] B/h=2.0 h2/h=.5 e=.40 N=3													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.83	225	3.58	.28	2.42	193	.0170	.0181	.09	.69		
2	1.20	7.20	225	6.58	1.32	4.47	193	.0320	.0340	.20	.68		
3	1.40	7.34	386	6.73	.24	4.85	239	.0240	.0281	.05	.72		
4	1.40	15.99	386	14.65	2.64	9.67	239	.0523	.0613	.18	.66		
5	1.60	11.92	399	11.12	.56	7.70	283	.0299	.0392	.05	.70		
6	1.60	15.54	399	14.49	1.74	9.56	283	.0389	.0511	.12	.66		
7	2.00	3.99	624	3.92	.70	3.25	369	.0064	.0106	.20	.83		
8	2.00	7.69	624	7.56	1.59	6.27	369	.0124	.0205	.39	.83		
9	2.00	11.70	624	11.51	3.22	8.75	369	.0188	.0312	.28	.76		
10	2.00	0.88	1223	0.94	3.31	6.17	535	.0066	.0167	.37	.69		
11	2.00	12.25	1223	13.55	4.88	8.01	535	.0180	.0253	.36	.65		

[SLIT]1: B/h=0.0 h2/h=.5 e=.30 N=1													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.90	225	3.57	.86	3.07	193	.0174	.0185	.24	.66		
2	1.20	7.53	225	6.08	1.38	5.30	193	.0335	.0356	.20	.77		
3	1.40	6.96	386	6.29	.82	5.79	239	.0274	.0263	.13	.92		
4	1.40	15.67	386	14.36	2.73	12.21	239	.0512	.0501	.19	.65		
5	1.60	11.60	399	10.82	1.41	9.20	283	.0291	.0282	.13	.85		
6	1.60	15.66	399	14.04	2.53	10.95	283	.0377	.0365	.10	.70		
7	2.00	3.84	624	3.70	.30	3.67	369	.0062	.0102	.08	.97		
8	2.00	7.64	624	7.51	.75	7.13	369	.0122	.0203	.10	.95		
9	2.00	11.20	624	11.01	1.21	10.24	369	.0179	.0298	.11	.93		
10	2.00	7.72	1223	8.54	.60	7.60	535	.0063	.0160	.07	.69		
11	2.00	12.04	1223	13.32	1.60	10.92	535	.0093	.0249	.12	.82		

[SLIT]1: B/h=1.0 h2/h=.5 e=.30 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.66	225	3.71	.48	2.97	193	.0181	.0192	.13	.60		
2	1.20	7.70	225	7.11	1.07	5.33	193	.0346	.0367	.15	.75		
3	1.40	7.37	386	6.76	1.15	5.68	239	.0241	.0203	.17	.84		
4	1.40	16.04	386	14.70	2.79	11.17	239	.0525	.0515	.19	.76		
5	1.60	11.60	399	10.89	1.42	8.71	283	.0292	.0284	.13	.80		
6	1.60	16.03	399	14.95	2.69	10.61	283	.0401	.0377	.14	.71		
7	2.00	3.97	624	3.90	1.17	3.47	369	.0064	.0106	.10	.89		
8	2.00	7.64	624	7.51	1.95	6.60	369	.0122	.0203	.12	.89		
9	2.00	11.61	624	11.42	2.51	9.59	369	.0186	.0309	.12	.84		
10	2.00	7.91	1223	8.75	3.24	7.09	535	.0065	.0163	.17	.81		
11	2.00	12.30	1223	13.61	5.44	10.62	535	.0101	.0254	.20	.78		

[SLIT]1: B/h=2.0 h2/h=.5 e=.30 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.13	225	3.78	1.06	2.64	193	.0184	.0195	.20	.75		
2	1.20	8.04	225	7.35	2.43	5.22	193	.0359	.0380	.23	.71		
3	1.40	7.41	386	6.79	1.54	5.64	239	.0242	.0204	.08	.80		
4	1.40	16.29	386	14.93	2.84	10.90	239	.0533	.0524	.19	.73		
5	1.60	12.76	399	11.98	1.60	8.57	283	.0320	.0310	.05	.72		
6	1.60	16.26	399	15.16	3.01	10.76	283	.0407	.0355	.06	.71		
7	2.00	4.04	624	3.97	.56	3.61	369	.0065	.0108	.14	.91		
8	2.00	7.73	624	7.60	.76	6.39	369	.0124	.0206	.10	.92		
9	2.00	11.75	624	11.55	.81	9.70	369	.0189	.0313	.07	.84		
10	2.00	8.13	1223	8.99	2.61	7.19	535	.0066	.0168	.23	.88		
11	2.00	12.37	1223	13.68	3.97	10.53	535	.0101	.0256	.29	.77		

[SLIT]1: B/h=2.0 h2/h=.5 e=.30 N=3													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.99	225	3.65	.55	2.77	193	.0178	.0189	.15	.76		
2	1.20	7.98	225	7.30	1.66	4.09	193	.0356	.0377	.09	.67		
3	1.40	7.40	386	6.78	.47	5.36	239	.0242	.0204	.07	.79		
4	1.40	16.65	386	15.26	1.98	9.92	239	.0545	.0539	.13	.65		
5	1.60	12.40	399	11.56	.58	8.32	283	.0310	.0309	.05	.72		
6	1.60	16.46	399	15.35	.77	10.28	283	.0412	.0342	.05	.67		
7	2.00	3.99	624	3.92	.02	3.53	369	.0064	.0106	.21	.90		
8	2.00	7.98	624	7.85	1.49	6.67	369	.0129	.0213	.19	.85		
9	2.00	12.12	624	12.02	2.46	9.38	369	.0184	.0324	.19	.78		
10	2.00	7.93	1223	8.77	2.89	6.67	535	.0065	.0164	.33	.76		
11	2.00	12.59	1223	13.93	5.01	9.61	535	.0103	.0260	.36	.69		

[SLIT]1: B/h=0.0 h2/h=.3 e=.20 N=1													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	3.77	225	3.45	.72	3.00	193	.0168	.0178	.21	.97		
2	1.20	7.57	225	6.92	1.59	5.81	193	.0337	.0358	.23	.84		
3	1.40	7.36	386	6.56	2.46	5.73	239	.0195	.0228	.15	.85		
4	1.40	15.68	386	14.37	2.44	12.36	239	.0513	.0501	.17	.84		
5	1.60	11.60	399	11.00	1.65	9.24	283	.0295	.0308	.15	.84		
6	1.60	15.50	399	14.53	2.76	11.19	283	.0379	.0313	.19	.77		
7	2.00	3.95	624	3.88	.31	3.69	369	.0063	.0105	.08	.95		
8	2.00	7.71	624	7.58	.38	7.13	369	.0124	.0205	.05	.94		
9	2.00	11.27	624	11.08	.55	10.42	369	.0181	.0300	.05	.94		
10	2.00	7.72	1223	8.54	.94	7.60	535	.0063	.0160	.11	.86		
11	2.00	11.95	1223	13.22	.93	11.37	535	.0098	.0247	.07	.69		

[SLIT]1: B/h=1.0 h2/h=.3 e=.20 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.07	225	3.72	.45	3.01	193	.0181	.0192	.12	.81		
2	1.20	8.07	225	7.30	1.11	5.39	193	.0359	.0381	.15	.73		
3	1.40	7.28	386	6.67	1.33	5.80	239	.0238	.0229	.20	.82		
4	1.40	15.47	386	14.10	3.40	11.63	239	.0506	.0503	.24	.82		
5	1.60	12.48	399	11.64	.93	9.31	283	.0313	.0311	.08	.80		
6	1.60	16.01	399	14.93	1.94	11.58	283	.0401	.0327	.13	.77		
7	2.00	4.01	624	3.94	.87	3.62	369	.0064	.0107	.22	.92		
8	2.00	7.92	624	7.79	1.32	7.32	369	.0127	.0211	.17	.94		
9	2.00	11.80	624	11.62	2.32	10.67	369	.0189	.0314	.20	.92		
10	2.00	8.25	1223	9.13	3.20	7.76	535	.0067	.0167	.17	.85		
11	2.00	12.44	1223	13.76	4.27	11.56	535	.0102	.0257	.31	.84		

[SLIT]1: B/h=2.0 h2/h=.3 e=.20 N=2													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.13	225	3.78	.91	2.95	193	.0184	.0195	.24	.78		
2	1.20	8.04	225	7.35	2.43	5.07	193	.0358	.0380	.33	.69		
3	1.40	7.40	386	6.66	.55	5.76	239	.0245	.0207	.09	.84		
4	1.40	16.34	386	14.98	1.80	11.38	239	.0535	.0526	.12	.76		
5	1.60	12.23	399	11.41	.80	9.01	283	.0306	.0303	.07	.79		
6	1.60	15.67	399	14.61	.73	11.10	283	.0392	.0315	.05	.76		
7	2.00	4.00	624	3.93	.43	3.69	369	.0064	.0106	.11	.94		
8	2.00	7.66	624	7.73	.54	7.50	369	.0126	.0209	.07	.97		
9	2.00	11.04	624	11.64	.23	10.59	369	.0150	.0315	.02	.91		
10	2.00	8.03	1223	8.88	2.13	7.81	535	.0066	.0166	.24	.88		
11	2.00	12.23	1223	13.53	3.11	11.50	535	.0100	.0253	.23	.85		

[SLIT]1: B/h=2.0 h2/h=.3 e=.20 N=3													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.13	225	3.78	.30	2.76	193	.0184	.0195	.08	.73		
2	1.20	8.05	225	7.36	1.03	4.93	193	.0358	.0380	.14	.67		
3	1.40	7.34	386	6.73	.47	5.30	239	.0240	.0201	.07	.80		
4	1.40	16.47	386	15.10	1.51	11.02	239	.0539	.0531	.10	.73		
5	1.60	11.95	399	11.14	.89	8.47	283	.0299	.0293	.08	.76		
6	1.60	15.47	399	14.43	1.44	10.82	283	.0380	.0309	.10	.75		
7	2.00	3.94	624	3.87	.50	3.40	369	.0063	.0105	.13	.90		
8	2.00	7.70	624	7.57	1.21	6.89	369	.0123	.0205	.16	.91		
9	2.00	11.84	624	11.64	.23	10.59	369	.0150	.0218	.20	.85		
10	2.00	0.03	1223	0.89	2.13	7.81	535	.0066	.0166	.24	.88		
11	2.00	12.23	1223	13.53	3.11	11.50	535	.0109	.0253	.23	.85		

[illegible]

[SLIT]: 3/h=2.0 h2/h=.7 e=.20 N=2											
Ho	T (s)	h (cm)	h2 (cm)	h1 (cm)	h (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	H3+/Lo	H1/L	Kr	K1
1	1.60	10.30	505	9.05	1.20	6.30	327	.0204	.0301	.13	.64
2	1.60	7.98	397	7.44	.74	4.46	289	.0280	.0263	.10	.60
3	1.60	5.66	306	5.66	.56	3.36	239	.0231	.0232	.41	.50
4	1.20	4.70	225	4.30	1.76	2.49	193	.0203	.0222	.30	.58
5	1.00	2.02	156	1.89	.85	1.15	146	.0130	.0129	.45	.51

(OES) No	$\theta/h=1.0$ (s)	H_o^* (ca)	$h^2/h=.25$ Lo (ca)	Hi (ca)	Hr (ca)	Hi (ca)	L (ca)	M_o^*/L_o	Hi/L	Kr	Kt
1	1.20	3.97	225	3.63	.25	2.71	193	.0177	.0169	.07	.75
2	1.20	8.41	225	7.69	.42	5.26	193	.0375	.0337	.05	.68
3	1.40	8.87	306	7.40	.63	5.65	239	.0264	.0389	.09	.79
4	1.40	15.75	306	14.44	2.11	10.28	239	.0515	.0684	.15	.71
5	1.60	11.72	399	10.93	1.68	8.55	283	.0294	.0386	.15	.78
6	1.60	15.67	399	14.61	1.94	10.49	283	.0392	.0515	.13	.72
7	2.00	3.79	624	3.73	.69	3.32	369	.0061	.0101	.19	.69
8	2.00	7.79	624	7.68	1.28	7.78	369	.0125	.0207	.16	.82
9	2.00	11.66	624	11.66	1.92	11.33	369	.0190	.0316	.17	.97
10	2.80	8.13	1223	8.99	1.22	7.94	535	.0066	.0140	.14	.80
11	2.80	11.56	1223	12.79	1.59	10.84	535	.0095	.0239	.12	.73

COES	$\delta/h=2.0$	$h2/h=.25$										
No	T (s)	Co (cm)	Lo (cm)	HI (cm)	Hr (cm)	Ht (cm)	L (cm)	Ho ² /Lo	Hi/L	Kr	Kt	
1	1.20	3.99	225	3.64	.44	2.01	193	.0177	.0168	.12	.55	
2	1.30	7.84	225	7.17	.62	3.97	193	.0342	.0328	.12	.55	
3	1.40	7.59	386	6.96	.86	4.81	239	.0249	.0231	.12	.60	
4	1.40	15.36	386	14.08	1.09	8.42	239	.0582	.0589	.09	.60	
5	1.60	11.25	399	10.49	1.46	7.40	283	.0282	.0370	.14	.71	
6	1.60	14.68	399	13.69	1.92	8.07	283	.0368	.0483	.14	.65	
7	2.00	3.80	624	3.02	1.09	2.71	369	.0052	.0103	.26	.71	
8	2.00	7.58	624	7.38	1.27	5.75	369	.0120	.0200	.17	.78	
9	2.00	11.28	624	11.09	1.72	8.21	369	.0181	.0300	.16	.74	
10	2.00	8.50	929	8.49	1.91	7.69	535	.0070	.0177	.11	.75	
11	2.00	11.87	1223	12.25	.61							

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.3 h3/h=.3 b/h=.2												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.06	225	3.71	.78	2.89	193	.0181	.0192	.21	.78	
2	1.20	7.71	225	7.05	1.55	5.15	193	.0343	.0364	.22	.73	
3	1.40	7.05	306	6.46	1.42	5.16	239	.0231	.0274	.22	.83	
4	1.40	15.64	306	14.34	2.72	10.76	239	.0512	.0680	.19	.75	
5	1.60	11.63	399	11.03	3.64	8.16	283	.0296	.0389	.33	.74	
6	1.60	15.51	399	14.46	4.19	9.98	283	.0380	.0510	.29	.63	
7	2.00	3.86	624	3.80	.19	3.53	369	.0062	.0103	.05	.93	
8	2.00	7.59	624	7.45	.89	6.78	369	.0121	.0282	.12	.91	
9	2.00	11.52	624	11.33	1.47	9.48	369	.0185	.0307	.12	.83	
10	2.00	7.56	1223	7.36	1.84	6.86	535	.0062	.0156	.22	.82	
11	2.00	12.06	1223	11.34	2.53	9.34	535	.0059	.0249	.19	.70	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.1 h3/h=.1 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.07	225	3.54	.32	2.76	193	.0172	.0183	.09	.78	
2	1.20	7.53	225	6.88	1.38	4.60	193	.0335	.0356	.20	.68	
3	1.40	7.08	306	6.49	1.23	5.13	239	.0232	.0271	.19	.79	
4	1.40	15.72	306	14.41	3.03	10.81	239	.0514	.0683	.21	.75	
5	1.60	11.78	399	10.99	2.64	8.13	283	.0295	.0360	.24	.74	
6	1.60	15.61	399	14.36	3.66	10.85	283	.0391	.0514	.21	.69	
7	2.00	3.96	624	3.89	.46	3.23	369	.0063	.0105	.23	.83	
8	2.00	7.73	624	7.60	1.02	6.46	369	.0124	.0266	.24	.85	
9	2.00	11.30	624	11.11	3.22	9.11	369	.0181	.0381	.29	.82	
10	2.00	7.86	1223	8.69	2.69	7.13	535	.0064	.0162	.31	.82	
11	2.00	11.86	1223	11.12	4.05	10.36	535	.0057	.0245	.37	.79	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.1 h3/h=.2 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.83	225	3.58	.21	2.63	193	.0170	.0181	.06	.75	
2	1.20	7.71	225	7.05	.99	4.44	193	.0343	.0364	.14	.63	
3	1.40	7.86	306	6.47	1.10	4.98	239	.0231	.0271	.17	.77	
4	1.40	15.62	306	14.32	3.15	10.45	239	.0511	.0679	.22	.73	
5	1.60	11.74	399	10.95	2.52	7.99	283	.0294	.0366	.23	.73	
6	1.60	15.55	399	14.58	3.34	9.86	283	.0369	.0512	.23	.68	
7	2.00	3.92	624	3.65	1.09	3.35	369	.0063	.0184	.20	.87	
8	2.00	7.60	624	7.47	2.17	6.42	369	.0122	.0282	.29	.86	
9	2.00	11.33	624	11.14	3.12	9.22	369	.0182	.0392	.28	.81	
10	2.00	7.76	1223	8.58	3.17	6.55	535	.0063	.0180	.37	.81	
11	2.00	11.85	1223	11.11	5.24	9.93	535	.0057	.0245	.40	.75	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.1 h3/h=.3 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.83	225	3.58	.18	2.45	193	.0170	.0181	.05	.78	
2	1.20	7.47	225	6.83	.61	4.03	193	.0333	.0353	.09	.59	
3	1.40	6.94	306	6.36	1.14	4.77	239	.0227	.0266	.10	.75	
4	1.40	15.20	306	13.93	3.06	10.83	239	.0497	.0583	.22	.72	
5	1.60	11.24	399	10.49	2.93	7.76	283	.0261	.0370	.20	.74	
6	1.60	14.70	399	13.71	3.43	9.46	283	.0368	.0484	.25	.69	
7	2.00	3.76	624	3.70	.96	3.07	369	.0060	.0180	.26	.83	
8	2.00	7.49	624	7.37	2.21	6.12	369	.0128	.0288	.30	.83	
9	2.00	11.57	624	11.36	3.51	8.66	369	.0179	.0387	.32	.79	
10	2.00	7.60	1223	8.41	3.07	6.73	535	.0062	.0157	.46	.80	
11	2.00	11.62	1223	12.85	3.86	9.12	535	.0055	.0240	.30	.71	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.3 h3/h=.3 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.05	225	3.70	.85	2.80	193	.0180	.0191	.23	.76	
2	1.20	7.72	225	7.06	1.82	4.77	193	.0344	.0365	.26	.68	
3	1.40	7.15	306	6.58	1.65	5.32	239	.0235	.0275	.25	.81	
4	1.40	15.97	306	14.64	3.53	10.16	239	.0522	.0612	.24	.69	
5	1.60	12.16	399	11.34	2.53	8.03	283	.0305	.0400	.29	.70	
6	1.60	15.74	399	14.60	3.42	10.70	283	.0394	.0518	.23	.73	
7	2.00	3.99	624	3.92	1.17	3.41	369	.0064	.0186	.30	.87	
8	2.00	7.66	624	7.53	2.15	6.39	369	.0123	.0284	.29	.85	
9	2.00	11.13	624	10.95	3.37	8.69	369	.0178	.0377	.31	.79	
10	2.00	8.01	1223	8.86	3.10	7.32	535	.0066	.0166	.35	.83	
11	2.00	12.29	1223	12.69	5.43	10.32	535	.0101	.0254	.40	.76	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.3 h3/h=.4 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.03	225	3.68	1.18	2.28	193	.0179	.0190	.32	.62	
2	1.20	7.59	225	6.94	1.39	3.40	193	.0338	.0359	.28	.49	
3	1.40	6.98	306	6.43	3.45	4.29	239	.0228	.0268	.27	.60	
4	1.40	15.86	306	14.54	3.78	10.07	239	.0519	.0609	.26	.61	
5	1.60	11.90	399	11.10	4.00	7.44	283	.0298	.0392	.36	.67	
6	1.60	15.84	399	14.77	4.43	8.86	283	.0397	.0521	.30	.60	
7	2.00	3.90	624	3.84	1.34	3.11	369	.0063	.0184	.35	.81	
8	2.00	7.56	624	7.43	3.05	6.82	369	.0121	.0281	.41	.81	
9	2.00	11.40	624	11.21	4.15	8.18	369	.0183	.0384	.37	.73	
10	2.00	8.01	1223	8.86	4.43	6.47	535	.0066	.0166	.50	.73	
11	2.00	12.16	1223	12.45	6.19	8.88	535	.0039	.0251	.46	.66	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.3 h3/h=.5 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.69	225	3.37	1.75	1.72	193	.0164	.0174	.52	.51	
2	1.20	7.55	225	6.98	2.69	3.24	193	.0336	.0357	.39	.47	
3	1.40	6.88	306	6.31	2.84	4.16	239	.0225	.0264	.45	.66	
4	1.40	15.79	306	14.47	4.78	8.25	239	.0516	.0605	.33	.57	
5	1.60	12.02	399	11.21	4.37	7.17	283	.0301	.0396	.39	.64	
6	1.60	15.83	399	14.76	4.87	8.27	283	.0396	.0521	.33	.56	
7	2.00	3.93	624	3.86	1.81	2.78	369	.0063	.0185	.47	.72	
8	2.00	7.53	624	7.40	3.53	6.85	369	.0124	.0266	.46	.77	
9	2.00	11.06	624	10.88	4.68	7.40	369	.0177	.0375	.43	.68	
10	2.00	7.95	1223	8.79	5.45	6.94	535	.0065	.0164	.62	.79	
11	2.00	12.95	1223	13.73	7.74	8.60	535	.0106	.0268	.54	.68	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.3 h3/h=.6 b/h=.4												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.97	225	3.63	2.29	1.56	193	.0177	.0188	.63	.43	
2	1.20	7.92	225	7.24	3.48	2.90	193	.0353	.0374	.48	.40	
3	1.40	7.23	306	6.63	2.65	3.58	239	.0237	.0277	.43	.54	
4	1.40	15.95	306	14.62	4.53	6.87	239	.0522	.0611	.31	.47	
5	1.60	12.10	399	11.28	4.62	6.54	283	.0303	.0398	.41	.58	
6	1.60	15.53	399	14.48	5.21	7.53	283	.0399	.0511	.36	.52	
7	2.00	3.84	624	3.78	1.70	2.68	369	.0062	.0182	.45	.71	
8	2.00	7.80	624	7.67	3.76	5.37	369	.0125	.0288	.49	.70	
9	2.00	11.33	624	11.14	4.34	7.02	369	.0182	.0382	.39	.63	
10	2.00	7.97	1223	8.82	5.20	5.64	535	.0065	.0165	.59	.64	
11	2.00	12.47	1223	13.79	7.03	7.59	535	.0102	.0258	.51	.55	

[PLATE]: B/h=1.0 (h2-b)/h=.1 h3/h=.4 b/h=.4

[illegible]

[BALL1] B/h=2.0 h2/h=.3 r=.31												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.53	225	3.23	1.29	1.62	193	.0157	.0167	.40	.50	
2	1.20	7.32	225	6.69	2.61	2.01	193	.0026	.0316	.39	.42	
3	1.40	7.01	386	6.43	2.83	3.09	239	.0229	.0269	.44	.48	
4	1.40	15.10	386	14.12	4.82	6.64	239	.0504	.0590	.32	.47	
5	1.60	11.75	399	10.96	4.02	5.92	203	.0294	.0307	.44	.54	
6	1.60	15.51	399	14.46	5.35	7.52	203	.0380	.0510	.37	.52	
7	2.00	3.92	624	3.05	1.93	2.50	369	.0063	.0104	.50	.67	
8	2.00	7.66	624	7.53	3.04	4.02	369	.0123	.0204	.51	.64	
9	2.00	11.51	624	11.32	5.21	6.91	369	.0185	.0307	.46	.61	
10	2.00	7.07	1223	8.70	4.87	5.05	535	.0064	.0163	.56	.58	
11	2.00	11.05	1223	12.22	6.11	7.33	535	.0090	.0220	.50	.60	

[BALL1] B/h=2.0 h2/h=.3 r=.47												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.96	225	3.62	2.20	1.52	193	.0176	.0187	.63	.42	
2	1.20	7.41	225	6.77	3.93	2.64	193	.0338	.0350	.58	.39	
3	1.40	7.20	386	6.60	3.37	2.84	239	.0236	.0276	.51	.43	
4	1.40	15.05	386	14.53	7.41	5.96	239	.0519	.0600	.51	.41	
5	1.60	11.95	399	11.14	6.02	5.60	203	.0299	.0393	.54	.51	
6	1.60	15.20	399	14.25	7.55	6.84	203	.0383	.0503	.53	.40	
7	2.00	4.10	624	4.03	2.34	2.54	369	.0066	.0107	.50	.63	
8	2.00	7.97	624	7.04	4.86	4.70	369	.0120	.0212	.62	.61	
9	2.00	11.57	624	11.38	6.60	6.71	369	.0165	.0300	.50	.59	
10	2.00	8.30	1223	9.10	6.89	4.87	535	.0060	.0171	.75	.53	
11	2.00	12.79	1223	14.15	8.49	6.93	535	.0105	.0264	.60	.49	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.3 a=12.50												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.90	225	3.57	3.36	1.46	193	.0174	.0185	.94	.41	
2	1.20	7.50	225	6.86	5.42	3.09	193	.0334	.0355	.79	.45	
3	1.40	7.07	386	6.48	4.15	3.30	239	.0231	.0271	.64	.51	
4	1.40	15.21	386	13.94	8.50	7.11	239	.0497	.0503	.61	.51	
5	1.60	11.48	399	10.71	7.10	5.70	203	.0289	.0328	.67	.54	
6	1.60	15.46	399	14.42	9.37	7.21	203	.0387	.0509	.65	.50	
7	2.00	3.82	624	3.76	1.80	2.67	369	.0061	.0102	.50	.71	
8	2.00	7.37	624	7.25	4.20	5.22	369	.0110	.0196	.59	.72	
9	2.00	10.97	624	10.79	6.00	7.12	369	.0176	.0292	.63	.66	
10	2.00	7.99	1223	8.04	5.13	4.86	535	.0065	.0165	.50	.55	
11	2.00	11.70	1223	13.03	6.38	6.30	535	.0096	.0243	.49	.49	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.5 a=12.50												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.03	225	3.50	3.61	.95	193	.0170	.0181	4.03	.27	
2	1.20	7.02	225	7.15	6.22	2.60	193	.0348	.0370	.87	.20	
3	1.40	6.94	386	6.35	4.09	2.83	239	.0227	.0266	.77	.32	
4	1.40	15.54	386	14.24	9.03	5.13	239	.0508	.0506	.69	.30	
5	1.60	11.76	399	10.97	8.01	4.61	203	.0295	.0387	.73	.42	
6	1.60	15.76	399	14.70	10.44	5.59	203	.0395	.0519	.71	.30	
7	2.00	3.84	624	3.70	2.61	2.34	369	.0062	.0102	.69	.62	
8	2.00	7.47	624	7.35	5.22	4.12	369	.0120	.0199	.71	.56	
9	2.00	10.69	624	10.31	8.69	5.47	369	.0171	.0265	.77	.52	
10	2.00	7.50	1223	8.39	6.21	3.94	535	.0062	.0157	.74	.47	
11	2.00	11.77	1223	13.02	9.37	4.82	535	.0096	.0243	.72	.37	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.7 a=12.50												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.90	225	3.64	3.79	.51	193	.0177	.0180	1.04	.14	
2	1.20	7.05	225	6.90	6.62	1.24	193	.0316	.0357	.96	.10	
3	1.40	6.94	386	6.36	5.47	1.53	239	.0227	.0266	.86	.24	
4	1.40	15.76	386	14.45	11.13	3.32	239	.0516	.0604	.77	.23	
5	1.60	12.30	399	11.47	9.41	3.33	203	.0390	.0485	.82	.29	
6	1.60	15.79	399	14.73	12.23	4.12	203	.0396	.0520	.80	.20	
7	2.00	3.92	624	3.85	3.27	1.73	369	.0063	.0104	.85	.45	
8	2.00	7.60	624	7.55	6.07	4.42	369	.0123	.0204	.81	.30	
9	2.00	11.26	624	11.07	9.85	3.65	369	.0180	.0300	.89	.33	
10	2.00	7.66	1223	8.47	7.03	2.60	535	.0063	.0150	.83	.33	
11	2.00	12.41	1223	13.73	10.83	3.43	535	.0102	.0256	.79	.25	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.3 a=6.25												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.89	225	3.56	3.35	1.64	193	.0173	.0184	.94	.46	
2	1.20	7.71	225	7.05	5.57	3.24	193	.0343	.0364	.79	.46	
3	1.40	6.86	386	6.29	4.15	3.33	239	.0224	.0263	.66	.53	
4	1.40	15.45	386	14.16	8.64	7.36	239	.0505	.0592	.61	.52	
5	1.60	11.73	399	10.94	6.70	6.13	203	.0294	.0386	.62	.56	
6	1.60	15.29	399	14.26	9.79	7.42	203	.0389	.0509	.61	.52	
7	2.00	3.81	624	3.75	1.73	2.85	369	.0061	.0102	.46	.76	
8	2.00	7.49	624	7.26	4.20	5.37	369	.0110	.0197	.59	.74	
9	2.00	10.94	624	10.76	6.56	7.10	369	.0175	.0291	.61	.66	
10	2.00	7.95	1223	8.79	5.19	4.03	535	.0065	.0164	.59	.55	
11	2.00	12.57	1223	13.98	7.65	6.53	535	.0103	.0260	.55	.47	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.5 a=6.25												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.06	225	3.71	3.64	1.15	193	.0181	.0192	.98	.31	
2	1.20	7.82	225	7.15	6.22	2.15	193	.0348	.0370	.87	.30	
3	1.40	7.25	386	6.65	4.99	2.19	239	.0237	.0270	.75	.33	
4	1.40	15.05	386	14.53	9.80	5.09	239	.0519	.0609	.68	.35	
5	1.60	12.21	399	11.39	8.31	4.67	203	.0305	.0402	.73	.41	
6	1.60	16.00	399	14.92	10.59	5.67	203	.0401	.0526	.71	.38	
7	2.00	3.92	624	3.65	2.50	2.43	369	.0063	.0104	.67	.63	
8	2.00	7.49	624	7.37	5.30	4.20	369	.0120	.0200	.73	.57	
9	2.00	11.38	624	11.19	8.39	5.60	369	.0182	.0303	.75	.50	
10	2.00	7.73	1223	8.55	6.16	3.85	535	.0063	.0160	.72	.45	
11	2.00	12.86	1223	14.23	9.53	5.12	535	.0105	.0266	.67	.36	

[AIR1] B/h=1.0 h2/h=.7 a=6.25												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.05	225	3.70	3.92	.52	193	.0180	.0191	1.06	.14	
2	1.20	7.93	225	7.25	7.11	1.30	193	.0353	.0375	.98	.19	
3	1.40	7.12	386	6.53	5.49	1.44	239	.0233	.0273	.84	.22	
4	1.40	15.13	386	14.14	11.31	3.54	239	.0505	.0591	.60	.25	
5	1.60	12.02	399	11.21	9.30	3.59	203	.0301	.0396	.83	.32	
6	1.60	15.04	399	14.77	11.02	4.14	203	.0397	.0521	.80	.20	
7	2.00	3.84	624	3.70	3.14	1.81	369	.0062	.0102	.83	.48	
8	2.00	7.57	624	7.44	6.47	3.12	369	.0121	.0201	.87	.42	
9	2.00	10.92	624	10.74	9.77	4.19	369	.0175	.0291	.91	.39	
10	2.00	7.59	1223	8.40	7.22	2.94	535	.0062	.0157	.86	.35	
11	2.00	11.99	1223	13.26	10.74	3.71	535	.0098	.0240	.81	.20	

[AIR1] B/h=2.0 h2/h=.7 a=12.50				
--------------------------------	--	--	--	--

[AIR] B/h=2.0 h2/h= .7 a= 0.00												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.03	225	3.50	3.71	.25	193	.0170	.0181	1.06	.07	
2	1.20	7.75	225	7.12	6.19	.50	193	.0347	.0360	.07	.07	
3	1.40	7.06	306	6.47	4.59	.70	239	.0231	.0271	.71	.12	
4	1.40	15.79	306	14.47	10.42	1.45	239	.0516	.0605	.72	.10	
5	1.60	12.11	399	11.29	7.56	1.47	283	.0303	.0398	.67	.13	
6	1.60	16.19	399	15.10	11.02	1.91	283	.0406	.0533	.73	.12	
7	2.00	9.00	624	8.02	4.91	1.19	369	.0162	.0193	.50	.31	
8	2.00	7.63	624	7.50	4.00	1.00	369	.0122	.0203	.64	.25	
9	2.00	11.12	624	10.94	7.00	2.41	369	.0170	.0296	.72	.22	
10	2.00	7.75	1223	8.57	5.05	2.14	535	.0063	.0160	.59	.25	
11	2.00	12.06	1223	13.34	8.54	2.53	535	.0099	.0249	.64	.19	

[PIPE] B/h=1.0 h2/h= .613 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.90	225	3.57	1.82	1.69	193	.0174	.0185	.29	.47	
2	1.20	7.06	225	7.19	1.93	4.40	193	.0350	.0372	.27	.62	
3	1.40	7.04	306	7.19	1.98	5.03	239	.0257	.0301	.20	.70	
4	1.40	14.44	306	13.24	3.35	9.24	239	.0472	.0554	.25	.70	
5	1.60	11.54	399	10.76	1.98	7.99	283	.0289	.0380	.18	.74	
6	1.60	15.46	399	14.42	2.16	9.96	283	.0387	.0509	.15	.69	
7	2.00	9.03	624	8.77	.29	2.70	369	.0061	.0102	.00	.72	
8	2.00	7.74	624	7.61	.67	6.02	369	.0124	.0206	.09	.79	
9	2.00	11.72	624	11.53	.77	8.65	369	.0188	.0312	.07	.75	
10	2.00	8.37	1223	9.26	1.55	6.42	535	.0060	.0173	.17	.69	
11	2.00	11.60	1223	12.03	1.02	8.65	535	.0095	.0240	.14	.67	

[PIPE] B/h=1.0 h2/h= .063 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.37	225	3.00	2.06	1.21	193	.0150	.0159	.67	.39	
2	1.20	7.36	225	6.73	3.13	3.30	193	.0320	.0340	.47	.50	
3	1.40	7.64	306	7.08	2.72	4.56	239	.0250	.0299	.39	.65	
4	1.40	15.34	306	14.06	5.10	9.11	239	.0502	.0588	.40	.65	
5	1.60	11.77	399	10.90	2.80	7.90	283	.0295	.0337	.26	.73	
6	1.60	14.64	399	13.65	2.07	10.25	283	.0367	.0402	.21	.75	
7	2.00	3.17	624	3.12	1.04	2.55	369	.0051	.0084	.33	.02	
8	2.00	7.70	624	7.57	1.76	6.07	369	.0123	.0205	.23	.00	
9	2.00	11.23	624	11.04	2.01	8.74	369	.0180	.0299	.10	.79	
10	2.00	7.01	1223	8.64	1.04	6.67	535	.0064	.0161	.21	.77	
11	2.00	10.25	1223	11.35	1.26	9.07	535	.0084	.0212	.11	.80	

[PIPE] B/h=1.0 h2/h= .130 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.49	225	3.10	2.00	1.31	193	.0151	.0160	.67	.42	
2	1.20	7.55	225	6.90	3.37	3.95	193	.0336	.0357	.49	.57	
3	1.40	7.66	306	7.02	3.08	4.12	239	.0251	.0294	.44	.59	
4	1.40	15.60	306	14.37	5.13	9.31	239	.0513	.0601	.36	.58	
5	1.60	11.36	399	10.59	4.07	7.69	283	.0284	.0374	.30	.73	
6	1.60	14.67	399	13.60	4.73	9.09	283	.0367	.0403	.35	.72	
7	2.00	3.39	624	3.33	1.35	2.35	369	.0054	.0090	.41	.71	
8	2.00	7.92	624	7.79	1.94	5.78	369	.0121	.0211	.25	.74	
9	2.00	11.45	624	11.27	2.07	8.29	369	.0184	.0305	.26	.74	
10	2.00	7.09	1223	8.73	2.01	6.46	535	.0065	.0163	.23	.74	
11	2.00	11.46	1223	12.68	2.65	8.64	535	.0094	.0237	.21	.60	

[PIPE] B/h=1.0 h2/h= .213 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.47	225	3.17	2.17	.96	193	.0154	.0164	.69	.30	
2	1.20	7.55	225	6.90	3.44	3.50	193	.0336	.0357	.50	.51	
3	1.40	7.55	306	6.92	3.04	3.00	239	.0247	.0269	.44	.43	
4	1.40	15.69	306	14.38	5.49	6.03	239	.0513	.0601	.30	.48	
5	1.60	11.77	399	10.98	3.71	7.89	283	.0295	.0387	.34	.72	
6	1.60	15.74	399	14.68	4.55	9.92	283	.0394	.0518	.31	.69	
7	2.00	3.75	624	3.69	1.46	2.40	369	.0058	.0100	.26	.67	
8	2.00	8.15	624	8.01	2.14	6.34	369	.0131	.0217	.27	.79	
9	2.00	11.70	624	11.51	3.21	8.72	369	.0189	.0312	.20	.76	
10	2.00	8.42	1223	9.31	2.10	6.60	535	.0269	.0174	.23	.72	
11	2.00	8.37	1223	9.26	2.31	6.67	535	.0268	.0173	.25	.72	
12	2.00	12.07	1223	13.35	2.62	8.44	535	.0099	.0249	.20	.63	

[PIPE] B/h=2.0 h2/h= .013 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.09	225	3.74	.78	1.60	193	.0182	.0193	.21	.45	
2	1.20	8.44	225	7.72	1.30	3.09	193	.0376	.0399	.17	.50	
3	1.40	8.00	306	7.33	1.94	4.79	239	.0262	.0307	.27	.65	
4	1.40	16.15	306	14.00	3.40	8.61	239	.0528	.0619	.23	.58	
5	1.60	11.65	399	10.86	2.01	7.20	283	.0292	.0383	.26	.67	
6	1.60	15.27	399	14.24	3.09	9.06	283	.0382	.0502	.27	.64	
7	2.00	4.00	624	3.93	1.01	3.02	369	.0064	.0106	.26	.77	
8	2.00	7.01	624	7.60	1.70	6.02	369	.0125	.0208	.22	.70	
9	2.00	12.12	624	11.92	2.00	7.07	369	.0194	.0323	.24	.66	
10	2.00	8.90	1223	9.94	2.39	6.49	535	.0073	.0184	.24	.66	
11	2.00	12.44	1223	13.76	3.29	8.15	535	.0102	.0257	.24	.59	

[PIPE] B/h=1.0 h2/h= .363 d/h= .055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.04	225	3.69	1.14	2.13	193	.0180	.0191	.31	.50	
2	1.20	7.76	225	7.03	2.31	3.93	193	.0345	.0366	.33	.56	
3	1.40	7.31	306	6.70	1.90	4.32	239	.0239	.0280	.30	.65	
4	1.40	16.11	306	14.77	4.30	8.55	239	.0527	.0610	.29	.58	
5	1.60	12.39	399	11.55	2.00	7.54	283	.0310	.0400	.25	.65	
6	1.60	16.04	399	14.96	3.19	9.32	283	.0402	.0520	.21	.62	
7	2.00	4.13	624	4.06	1.21	3.06	369	.0066	.0110	.30	.75	
8	2.00	7.94	624	7.81	2.12	5.91	369	.0127	.0217	.27	.76	
9	2.00	11.75	624	11.55	3.15	8.27	369	.0188	.0313	.27	.72	
10	2.00	8.27	1223	9.15	2.01	6.42	535	.0068	.0171	.31	.70	
11	2.00	12.61	1223	13.95	3.54	9.29	535	.0103	.0261	.25	.67	

[PIPE] B/h=2.0 h2/h=.063 d/h=.055												
No	T	Ho'	Lo	HI	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	HI/L	Kr	Kt	
	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.99	225	3.65	2.19	1.34	193	.0170	.0189	.60	.37	
2	1.20	8.05	225	7.36	3.97	3.53	193	.0358	.0380	.54	.49	
3	1.40	7.59	306	6.96	3.03	4.00	239	.0240	.0291	.55	.57	
4	1.40	16.04	306	14.70	6.09	8.32	239	.0525	.0615	.47	.57	
5	1.60	12.76	399	11.90	5.46	7.32	283	.0320	.0420	.46	.62	
6	1.60	15.95	399	14.88	6.96	9.43	283	.0400	.0523	.47	.63	
7	2.00	4.10	624	4.03	1.95	2.30	369	.0066	.0109	.48	.57	
8	2.00	8.71	624	8.57	3.98	5.89	369	.0140	.0232	.46	.69	
9	2.00	12.61	624	12.60	5.33	7.40	369	.0205	.0341	.42	.59	
10	2.00	9.10	1223	10.07	3.53	4.96	535	.0074	.0188	.35	.49	
11	2.00	12.93	1223	14.30	4.08	8.01	535	.0106	.0267	.29	.56	

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.363 d/h=.055													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.00	225	3.73	.64	1.50	193	.0182	.0193	.22	.48		
2	1.20	7.69	225	7.03	1.90	2.70	193	.0342	.0363	.27	.48		
3	1.40	7.21	386	6.61	1.86	3.15	239	.0236	.0276	.28	.48		
4	1.40	16.33	386	14.97	3.55	7.02	239	.0534	.0626	.26	.47		
5	1.60	12.06	399	11.25	4.06	6.17	283	.0382	.0397	.36	.55		
6	1.60	15.46	399	14.42	4.43	7.63	283	.0387	.0589	.31	.53		
7	2.00	4.09	624	4.02	1.72	2.57	369	.0866	.0189	.42	.64		
8	2.00	7.01	624	7.68	3.84	5.24	369	.0125	.0200	.48	.68		
9	2.00	11.43	624	11.24	3.90	7.36	369	.0183	.0384	.35	.66		
10	2.00	8.04	1223	8.03	3.41	5.72	535	.0866	.0166	.38	.64		
11	2.00	12.16	1223	13.45	4.07	7.57	535	.0899	.0251	.36	.56		

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.513 d/h=.055													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.10	225	3.75	.84	1.41	193	.0183	.0194	.23	.38		
2	1.20	7.72	225	7.06	1.89	2.63	193	.0344	.0365	.27	.38		
3	1.40	7.27	386	6.66	1.89	3.01	239	.0238	.0279	.28	.45		
4	1.40	15.92	386	14.59	4.35	6.38	239	.0521	.0610	.38	.44		
5	1.60	12.16	399	11.34	4.07	5.83	283	.0385	.0400	.36	.51		
6	1.60	16.07	399	14.93	4.45	7.14	283	.0403	.0529	.38	.48		
7	2.00	4.09	624	4.02	1.49	2.46	369	.0866	.0189	.37	.61		
8	2.00	7.02	624	7.69	2.60	4.99	369	.0125	.0200	.35	.65		
9	2.00	11.83	624	11.63	4.48	6.95	369	.0190	.0315	.39	.60		
10	2.00	7.96	1223	8.00	3.41	5.47	535	.0865	.0164	.39	.62		
11	2.00	12.10	1223	13.47	4.60	7.37	535	.0100	.0252	.36	.55		

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.663 d/h=.055													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.06	225	3.71	.85	1.38	193	.0181	.0192	.23	.35		
2	1.20	7.74	225	7.08	2.12	2.44	193	.0345	.0366	.30	.34		
3	1.40	7.19	386	6.59	1.82	2.75	239	.0235	.0276	.29	.42		
4	1.40	16.19	386	14.84	4.21	6.03	239	.0530	.0621	.28	.41		
5	1.60	12.08	399	11.19	4.14	5.70	283	.0381	.0395	.37	.51		
6	1.60	16.20	399	15.11	4.62	6.88	283	.0406	.0533	.31	.44		
7	2.00	4.02	624	3.95	1.48	2.37	369	.0864	.0187	.37	.60		
8	2.00	7.74	624	7.61	2.75	4.73	369	.0124	.0286	.36	.62		
9	2.00	11.22	624	11.03	3.92	6.47	369	.0189	.0315	.36	.59		
10	2.00	7.70	1223	8.32	2.20	5.07	535	.0863	.0159	.39	.60		
11	2.00	11.77	1223	13.02	3.96	6.84	535	.0896	.0243	.38	.53		

[PIPE]: B/h=1.0 h2/h=.363 d/h=.120													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.01	225	3.67	1.59	1.75	193	.0179	.0190	.43	.48		
2	1.20	7.88	225	7.20	2.64	3.46	193	.0351	.0372	.37	.48		
3	1.40	7.25	386	6.65	2.08	3.07	239	.0237	.0278	.31	.58		
4	1.40	16.09	386	14.75	3.86	6.76	239	.0526	.0617	.26	.59		
5	1.60	11.98	399	11.10	2.99	7.33	283	.0298	.0392	.27	.66		
6	1.60	15.01	399	14.74	3.73	9.18	283	.0396	.0520	.25	.62		
7	2.00	3.96	624	3.89	1.23	2.79	369	.0863	.0185	.32	.72		
8	2.00	7.59	624	7.46	1.85	5.74	369	.0122	.0202	.35	.77		
9	2.00	10.81	624	10.63	1.98	8.08	369	.0173	.0268	.19	.76		
10	2.00	7.94	1223	8.70	2.12	6.66	535	.0865	.0164	.24	.76		
11	2.00	12.01	1223	13.29	2.58	9.58	535	.0898	.0248	.19	.72		

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.363 d/h=.120													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.01	225	3.67	1.50	1.56	193	.0179	.0190	.41	.43		
2	1.20	7.66	225	7.00	2.60	2.32	193	.0341	.0362	.37	.33		
3	1.40	7.29	386	6.60	2.50	2.48	239	.0238	.0279	.37	.37		
4	1.40	16.26	386	14.90	5.82	4.62	239	.0532	.0623	.34	.31		
5	1.60	12.02	399	11.21	3.74	4.44	283	.0381	.0396	.33	.48		
6	1.60	15.11	399	14.09	4.69	5.37	283	.0378	.0497	.33	.38		
7	2.00	4.05	624	3.99	1.71	2.24	369	.0865	.0188	.43	.56		
8	2.00	7.77	624	7.64	3.03	4.20	369	.0125	.0207	.40	.55		
9	2.00	11.41	624	11.22	4.13	5.60	369	.0183	.0304	.37	.51		
10	2.00	7.86	1223	8.69	2.89	4.88	535	.0864	.0162	.33	.56		
11	2.00	11.99	1223	13.26	3.28	6.75	535	.0898	.0248	.25	.51		

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.513 d/h=.120													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.13	225	3.70	1.28	1.56	193	.0184	.0195	.34	.41		
2	1.20	7.90	225	7.22	2.90	2.03	193	.0352	.0373	.40	.29		
3	1.40	7.03	386	6.44	2.45	2.16	239	.0238	.0269	.38	.34		
4	1.40	16.06	386	14.72	4.84	4.33	239	.0525	.0616	.33	.29		
5	1.60	12.32	399	11.68	3.98	4.33	283	.0314	.0412	.34	.37		
6	1.60	16.01	399	15.68	4.86	5.38	283	.0421	.0553	.31	.34		
7	2.00	4.16	624	4.03	1.90	2.20	369	.0867	.0111	.46	.56		
8	2.00	7.95	624	7.82	3.16	4.11	369	.0127	.0212	.40	.53		
9	2.00	11.86	624	11.66	4.98	5.60	369	.0198	.0316	.42	.48		
10	2.00	8.03	1223	8.08	3.21	4.84	535	.0866	.0166	.36	.55		
11	2.00	12.07	1223	13.35	3.54	6.73	535	.0899	.0249	.27	.50		

[PIPE]: B/h=2.0 h2/h=.663 d/h=.120													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.22	225	3.86	1.45	1.49	193	.0188	.0199	.38	.39		
2	1.20	7.62	225	6.97	2.65	1.94	193	.0339	.0360	.38	.28		
3	1.40	7.18	386	6.58	2.22	2.06	239	.0235	.0275	.34	.31		
4	1.40	15.98	386	14.65	4.95	3.90	239	.0523	.0613	.34	.27		
5	1.60	12.33	399	11.50	3.88	4.26	283	.0389	.0486	.34	.37		
6	1.60	15.93	399	14.66	4.65	5.82	283	.0399	.0524	.31	.34		
7	2.00	4.01	624	3.94	1.56	2.20	369	.0864	.0187	.40	.56		
8	2.00	7.85	624	7.82	2.86	3.95	369	.0127	.0212	.37	.51		
9	2.00	11.51	624	11.32	4.09	5.32	369	.0185	.0307	.36	.47		
10	2.00	8.07	1223	8.93	3.07	4.64	535	.0865	.0167	.34	.52		
11	2.00	12.27	1223	13.57	3.81	6.41	535	.0100	.0253	.28	.47		

[PIPE]: B/h=1.5 h2/h=.363 d/h=.120													
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt		
	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	1.20	4.17	225	3.81	1.78	1.66	193	.0186	.0197	.45	.44		
2	1.20	7.85	225	7.18	3.15	2.68	193	.0358	.0371	.44	.36		
3	1.40	7.29	386	6.68	2.07	2.77	239	.0230	.0279	.43	.42		
4	1.40	16.11	386	14.77	5.42	6.47	239	.0527	.0610	.37	.44		
5	1.60	12.39	399	11.74	3.88	5.74	283	.0315	.0414	.32	.49		
6	1.60	16.62	399	15.50	4.28	7.32	283	.0416	.0547	.28	.47		
7	2.00	3.94	624	3.87	1.61	2.37	369	.0863	.0185	.42	.67		
8	2.00	7.91	624	7.78	2.98	4.55	369	.0127	.0211	.37			
9	2.00	11.67	624	11.28	3.68	6.97	369	.0184	.0385	.34	.62		
10	2.40	7.77	1223	8.60	2.18	5.44	535	.0664	.0161	.25	.63		
11	2.40	11.95	1223	13.22	3.87	8.28	535	.0898	.0247	.23	.63		

[TUBE] 1/2 h=0.0 R/h=0.3 Type=NON-FLEXIBLE												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	3.84	225	3.51	1.16	4.15	193	.0171	.0181	.05	1.10	
2	1.20	0.12	225	7.42	.60	3.65	193	.0361	.0383	.09	.52	
3	1.40	0.07	306	7.40	1.27	4.20	239	.0264	.0369	.17	.57	
4	1.40	12.10	306	11.09	2.02	4.70	239	.0396	.0464	.10	.43	
5	1.40	16.00	306	14.67	2.51	5.22	239	.0524	.0613	.17	.36	
6	1.60	4.17	399	3.69	1.25	4.99	203	.0104	.0137	.32	1.20	
7	1.60	12.15	399	11.09	1.89	4.70	203	.0304	.0400	.17	.42	
8	1.60	16.23	399	15.14	2.36	5.44	203	.0407	.0534	.16	.36	
9	1.80	17.64	505	16.29	3.37	5.75	327	.0337	.0499	.21	.35	
10	2.00	3.97	624	3.90	1.34	4.15	369	.0064	.0166	.34	1.06	
11	2.00	9.20	624	8.14	2.30	4.52	369	.0133	.0220	.20	.56	
12	2.00	12.61	624	12.40	2.50	5.52	369	.0202	.0336	.20	.45	
13	2.00	16.27	624	16.00	3.30	6.14	369	.0261	.0433	.21	.38	
14	2.00	0.52	1223	9.07	2.67	5.30	535	.0073	.0104	.27	.53	
15	2.00	12.38	1223	13.69	2.82	6.20	535	.0101	.0256	.21	.46	

[HYBLID] 1/2 h=1.0												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.19	225	3.83	1.52	.90	193	.0107	.0190	.40	.23	
2	1.20	0.29	225	7.50	3.23	2.05	193	.0369	.0392	.43	.27	
3	1.40	7.97	306	7.31	3.47	2.06	239	.0261	.0306	.40	.39	
4	1.40	12.11	306	11.10	5.21	3.69	239	.0396	.0464	.47	.33	
5	1.40	17.00	306	15.66	6.95	4.64	239	.0559	.0655	.44	.30	
6	1.60	3.97	399	3.70	1.92	1.25	203	.0099	.0131	.52	.34	
7	1.60	11.99	399	10.81	5.04	3.75	203	.0290	.0381	.54	.35	
8	1.60	15.01	399	14.00	7.07	4.55	203	.0376	.0494	.56	.39	
9	1.80	16.37	505	15.65	7.60	5.10	327	.0324	.0479	.49	.33	
10	2.00	4.39	624	4.32	1.96	1.37	369	.0070	.0117	.45	.32	
11	2.00	7.77	624	7.64	4.16	3.50	369	.0125	.0207	.54	.46	
12	2.00	12.02	624	11.02	6.30	4.69	369	.0193	.0320	.53	.40	
13	2.00	15.69	624	15.43	8.73	5.37	369	.0251	.0410	.57	.35	
14	2.00	0.82	1223	8.07	4.20	4.28	535	.0066	.0166	.48	.40	
15	2.00	11.75	1223	13.00	6.24	5.15	535	.0096	.0243	.48	.40	

[TUBE] 1/2 h=4.0 R/h=0.3 Type=FLEXIBLE												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.23	225	3.07	1.17	1.92	193	.0100	.0200	.30	.58	
2	1.20	0.00	225	7.31	2.01	4.95	193	.0356	.0378	.20	.60	
3	1.40	0.03	306	7.36	1.55	4.50	239	.0263	.0300	.21	.62	
4	1.40	11.70	306	10.00	2.94	5.24	239	.0305	.0452	.27	.49	
5	1.40	15.90	306	14.65	3.38	5.30	239	.0523	.0613	.23	.31	
6	1.60	4.20	399	3.92	1.19	2.30	203	.0105	.0130	.30	.59	
7	1.60	11.90	399	11.10	2.22	4.92	203	.0298	.0392	.20	.44	
8	1.60	15.10	399	14.03	3.05	5.74	203	.0390	.0523	.21	.25	
9	1.80	16.66	505	15.35	2.16	3.85	327	.0310	.0470	.14	.25	
10	2.00	4.06	624	3.99	1.56	2.30	369	.0065	.0160	.39	.58	
11	2.00	9.20	624	8.14	2.57	4.52	369	.0133	.0220	.32	.56	
12	2.00	12.14	624	11.94	2.41	3.10	369	.0195	.0323	.20	.26	
13	2.00	15.69	624	15.43	1.94	2.99	369	.0251	.0410	.13	.19	
14	2.00	0.75	1223	9.60	.39	3.64	535	.0072	.0101	.04	.38	
15	2.00	12.25	1223	13.55	.72	4.57	535	.0100	.0253	.05	.34	

[HYBLID] 1/2 h=2.0												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.00	225	3.73	1.11	.50	193	.0102	.0193	.30	.13	
2	1.20	0.13	225	7.43	2.53	1.21	193	.0362	.0384	.34	.16	
3	1.40	7.09	306	7.23	3.04	1.71	239	.0258	.0302	.42	.24	
4	1.40	11.49	306	10.53	4.92	2.39	239	.0376	.0440	.47	.23	
5	1.40	15.36	306	14.09	6.05	2.76	239	.0502	.0589	.43	.20	
6	1.60	4.00	399	3.73	1.76	1.34	203	.0100	.0132	.47	.36	
7	1.60	11.47	399	10.70	5.56	2.65	203	.0207	.0378	.52	.25	
8	1.60	14.74	399	13.75	7.36	3.12	203	.0369	.0485	.54	.23	
9	1.80	14.22	505	12.99	6.75	3.47	327	.0281	.0416	.50	.26	
10	2.00	3.01	624	3.75	1.92	1.45	369	.0061	.0102	.51	.39	
11	2.00	7.67	624	7.54	4.08	2.46	369	.0123	.0204	.54	.33	
12	2.00	13.20	624	13.06	6.40	3.24	369	.0213	.0354	.49	.25	
13	2.00	15.25	624	15.00	8.07	3.69	369	.0244	.0406	.59	.25	
14	2.00	0.85	1223	9.79	4.69	3.05	535	.0072	.0103	.48	.31	
15	2.00	12.09	1223	13.37	6.78	3.52	535	.0099	.0250	.51	.26	

[TUBE] 1/2 h=0.0 R/h=0.3 Type=FLEXIBLE												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.20	4.21	225	3.05	1.94	1.15	193	.0100	.0199	.50	.38	
2	1.20	0.21	225	7.51	1.92	3.39	193	.0366	.0380	.26	.32	
3	1.40	7.49	306	6.07	1.42	3.15	239	.0245	.0287	.21	.46	
4	1.40	12.20	306	11.10	.34	3.09	239	.0399	.0468	.03	.20	
5	1.40	16.15	306	14.80	2.46	4.00	239	.0520	.0619	.17	.27	
6	1.60	4.01	399	3.74	1.23	1.02	203	.0100	.0132	.33	.49	
7	1.60	12.02	399	11.21	2.60	4.41	203	.0301	.0396	.23	.39	
8	1.60	16.01	399	14.93	4.42	4.20	203	.0401	.0527	.30	.21	
9	1.80	16.76	505	16.02	4.34	4.69	327	.0332	.0490	.27	.17	
10	2.00	3.93	624	3.66	2.04	1.01	369	.0063	.0105	.53	.47	
11	2.00	9.34	624	8.20	2.81	3.77	369	.0134	.0222	.34	.46	
12	2.00	12.15	624	11.95	4.40	3.45	369	.0195	.0324	.30	.29	
13	2.00	15.20	624	15.03	3.08	3.13	369	.0245	.0407	.21	.21	
14	2.00	0.72	1223	9.65	1.09	4.25	535	.0071	.0100	.11	.44	
15	2.00	12.44	1223	13.76	1.66	3.15	535	.0102	.0257	.12	.23	

[HYBLID] 1/2 h=0.0												
No	T	Ho'	Lo	Hi	Hr	Ht	L	Ho'/Lo	Hi/L	Kr	Kt	
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	1.21	3.04	228	3.51	.51	1.26	196	.0100	.0179	.145	.350	
2	1.21	0.04	228	7.35	.86	2.39	196	.0352	.0375	.110	.324	
3	1.41	7.09	310	7.23	.60	2.91	241	.0254	.0300	.082	.402	
4	1.42	15.79	315	14.47	2.55	4.20	244	.0502	.0595	.176	.295	
5	1.61	11.96	399	11.16	2.21	4.10	203	.0300	.0394	.190	.367	
6	1.61	16.15	399	15.06	3.14	4.01	203	.0404	.0531	.200	.320	
7	2.01	3.00	630	3.05	1.21	2.15	371	.0061	.0104	.314	.508	
8	2.01	8.19	630	8.22	2.74	3.69	371	.0130	.0221	.334	.449	
9	2.01	12.82	630	12.19	4.26	4.66	371	.0191	.0320	.349	.302	
10	2.01	0.40	1232	9.74	3.63	3.42	537	.0060	.0101	.373	.351	
11	2.01	11.30	1232	13.40	5.37	4.19	537	.0092	.0251	.398	.311	

第1グループ

Model : S L 1

Hno	T (s)	Hn' (cm)	Lo (cm)	Hi (cm)	Hr (cm)	Ht (cm)	L	Hn'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
1	1.21	3.05	228	3.52	1.07	1.04	196	.0159	.0180	.303	.522
2	1.21	7.03	228	7.16	1.93	3.39	196	.0343	.0365	.269	.473
3	1.41	7.74	310	7.10	1.23	3.84	241	.0250	.0294	.174	.591
4	1.40	15.50	306	14.30	1.32	6.77	239	.0507	.0594	.193	.477
5	1.61	11.09	404	11.10	1.01	6.73	206	.0294	.0309	.163	.617
6	1.61	15.34	404	14.32	2.49	8.13	206	.0379	.0501	.174	.560
7	2.01	3.66	630	3.63	.66	3.10	371	.0050	.0059	.103	.054
8	2.01	7.99	624	8.00	1.51	5.77	369	.0120	.0127	.109	.122
9	2.11	2.43	824	2.43	.43	2.43	369	.0065	.0065	.285	.607
10	2.03	7.00	1249	9.00	2.35	6.21	1015	.0069	.0073	.285	.607
11	2.03	10.59	1249	12.69	3.00	7.92	541	.0105	.0124	.237	.624

Model : TSL4 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.22	3.92	212	3.64	1.82	2.88	198	.0172	.0184	.280	.548
2	1.22	0.42	232	7.75	2.15	3.95	198	.0365	.0391	.270	.589
3	1.41	0.42	310	7.72	2.45	4.65	241	.0271	.0320	.317	.620
4	1.41	16.31	310	14.94	5.26	7.62	241	.0526	.0628	.351	.510
5	1.41	12.15	484	11.34	1.19	2.11	286	.0348	.0397	.349	.627
6	1.61	16.04	484	14.98	5.85	8.69	286	.0397	.0524	.399	.568
7	2.02	4.14	632	4.12	1.16	3.32	373	.0465	.0510	.281	.895
8	2.02	0.31	632	9.35	2.71	6.07	373	.0131	.0224	.325	.727
9	2.63	11.01	632	12.12	4.33	7.76	375	.0185	.0323	.357	.656
10	2.04	0.58	1258	14.81	3.35	5.66	543	.0168	.0184	.335	.546
11	2.04	11.41	1258	13.62	4.72	2.57	541	.0891	.0252	.346	.481

Model : PLS4 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	3.93	228	3.59	2.21	.67	196	.0172	.0184	.616	.187
2	1.21	7.91	228	7.22	2.42	1.82	196	.0146	.0369	.384	.252
3	1.41	7.73	310	7.49	4.85	2.70	241	.0249	.0274	.571	.381
4	1.41	15.53	310	14.25	6.74	6.10	241	.0581	.0599	.473	.434
5	1.61	12.03	484	11.23	5.82	5.75	286	.0297	.0393	.447	.512
6	1.61	15.01	484	14.74	5.99	7.68	286	.0376	.0528	.446	.516
7	2.02	3.86	632	3.93	1.29	2.28	373	.0169	.0185	.644	.187
8	2.01	0.10	632	8.12	3.45	5.22	371	.0129	.0219	.425	.643
9	2.02	11.62	632	11.81	4.72	7.56	373	.0183	.0316	.481	.635
10	2.04	0.14	1258	9.58	2.75	6.29	543	.0165	.0175	.287	.662
11	2.02	10.68	1241	13.41	3.48	8.63	519	.0888	.0241	.761	.617

Model : PLS2 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.20	3.86	225	3.53	2.09	.51	194	.0172	.0182	.592	.144
2	1.21	7.71	228	7.85	3.95	1.37	196	.0338	.0360	.561	.194
3	1.41	7.46	310	6.85	3.45	2.01	241	.0241	.0284	.584	.411
4	1.41	15.62	310	14.32	5.77	6.73	241	.0584	.0593	.483	.478
5	1.61	11.65	484	10.31	5.07	6.81	286	.0273	.0361	.492	.583
6	1.61	14.94	484	13.95	6.10	7.83	286	.0369	.0480	.483	.561
7	2.01	3.59	630	3.56	1.39	1.94	371	.0157	.0196	.389	.543
8	2.01	7.65	630	7.49	2.67	5.42	371	.0122	.0287	.347	.786
9	2.01	11.78	630	11.87	3.78	7.62	371	.0186	.0329	.319	.642
10	2.05	7.71	1267	9.81	2.43	6.78	546	.0161	.0165	.278	.744
11	2.04	10.52	1258	12.63	2.89	8.54	543	.0184	.0232	.165	.674

Model : PLS3 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.00	228	3.45	2.29	.32	196	.0175	.0186	.683	.088
2	1.21	0.13	228	7.43	3.95	1.58	196	.0356	.0390	.532	.212
3	1.41	8.00	310	7.34	3.47	2.92	241	.0250	.0384	.473	.338
4	1.41	16.51	310	15.15	6.37	7.25	241	.0532	.0627	.428	.478
5	1.61	12.24	484	11.48	4.51	6.30	286	.0392	.0509	.391	.568
6	1.61	16.07	484	15.00	5.59	8.31	286	.0397	.0525	.373	.554
7	2.01	4.31	630	4.38	1.69	2.10	371	.0169	.0116	.392	.564
8	2.01	8.60	630	8.63	3.12	5.69	371	.0136	.0232	.362	.659
9	2.00	12.33	624	12.48	3.83	8.15	369	.0190	.0338	.387	.653
10	2.04	0.34	1258	9.74	1.63	6.19	543	.0161	.0179	.164	.646
11	2.04	11.87	1258	13.29	1.94	8.89	543	.0188	.0245	.146	.680

Model : VHS4 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.11	228	3.75	1.52	.81	196	.0188	.0192	.484	.216
2	1.21	0.23	228	7.52	2.06	2.88	196	.0368	.0384	.389	.266
3	1.41	8.44	310	7.74	2.48	2.72	241	.0272	.0321	.328	.352
4	1.41	16.41	310	15.41	4.79	5.83	241	.0516	.0624	.317	.333
5	1.61	12.24	484	11.43	3.28	4.59	286	.0383	.0488	.289	.482
6	1.61	15.37	484	14.35	4.16	5.76	286	.0388	.0583	.298	.481
7	2.01	3.94	630	3.91	1.22	2.39	371	.0163	.0185	.332	.618
8	2.01	8.39	630	8.42	2.41	4.85	371	.0133	.0227	.287	.481
9	2.01	12.06	630	12.73	3.46	5.54	371	.0191	.0329	.332	.453
10	2.04	7.62	1258	8.89	2.83	4.42	543	.0161	.0164	.139	.498
11	2.04	10.34	1258	12.41	3.58	5.68	543	.0182	.0228	.288	.458

Model : VHS6 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.00	220	3.73	1.15	1.17	196	.0179	.0190	.388	.314
2	1.21	0.24	220	7.53	2.56	2.96	196	.0361	.0385	.349	.393
3	1.41	8.36	306	7.66	2.48	3.49	239	.0273	.0328	.324	.455
4	1.41	16.13	310	14.79	4.76	7.07	241	.0528	.0613	.322	.588
5	1.61	12.24	484	11.43	3.49	6.96	286	.0383	.0488	.336	.688
6	1.61	15.00	484	14.55	5.48	8.92	286	.0388	.0589	.344	.613
7	2.00	4.17	624	4.13	.83	2.85	369	.0167	.0112	.281	.495
8	2.01	9.34	630	9.36	2.46	5.00	371	.0132	.0225	.295	.598
9	2.02	12.00	617	12.19	4.30	7.43	373	.0188	.0326	.333	.613
10	2.00	8.98	1223	10.31	3.28	5.95	535	.0173	.0193	.318	.577
11	2.01	11.62	1232	13.86	4.41	7.65	537	.0194	.0258	.318	.551

Model : AIR1 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.07	228	3.72	3.88	1.02	196	.0178	.0198	.080	.276
2	1.21	8.13	228	7.43	4.96	2.19	196	.0356	.0377	.688	.294
3	1.41	8.66	310	7.39	3.94	3.47	241	.0268	.0306	.689	.469
4	1.41	16.07	310	14.74	9.78	6.63	241	.0518	.0611	.664	.458
5	1.61	12.32	484	11.59	7.12	6.31	286	.0385	.0493	.619	.548
6	1.61	15.06	484	14.81	8.64	7.76	286	.0392	.0519	.684	.524
7	2.00	3.93	624	3.98	2.54	.81	369	.0163	.0186	.553	.774
8	2.00	8.01	624	8.22	4.86	5.77	369	.0128	.0245	.635	.728
9	2.00	12.19	624	12.34	7.84	7.71	369	.0195	.0334	.578	.625
10	2.00	8.33	1223	9.64	4.56	5.96	535	.0168	.0180	.473	.618
11	2.00	11.15	1223	13.27	6.31	7.88	535	.0191	.0248	.475	.534

Model : AIR3 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.02	228	3.68	1.36	1.88	196	.0176	.0188	.378	.512
2	1.21	0.13	228	7.43	2.57	3.53	196	.0356	.0380	.346	.475
3	1.41	8.14	310	7.46	2.92	5.07	241	.0262	.0309	.289	.679
4	1.41	16.17	310	14.83	4.19	7.74	241	.0521	.0614	.282	.582
5	1.61	12.32	484	11.59	7.12	6.31	286	.0385	.0493	.619	.548
6	1.61	15.06	484	14.81	8.64	7.76	286	.0392	.0519	.584	.524
7	2.00	3.93	624	3.98	2.54	2.99	369	.0163	.0186	.653	.767
8	2.00	8.01	624	8.02	4.86	5.77	369	.0128	.0217	.686	.728
9	2.00	12.19	624	12.34	7.84	7.71	369	.0195	.0334	.579	.625
10	2.02	8.31	1241	9.41	4.58	5.96	539	.0167	.0179	.475	.618
11	2.03	11.10	1249	13.27	6.36	7.88	541	.0189	.0245	.479	.534

Model : PLS4 **

Hno	T	Ha'	Lo	Hi	Hr	Hi	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
	(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	4.15	228	3.79	1.83	.69	196	.0182	.0194	.272	.182
2	1.21	0.34	228	7.62	2.83	2.33	196	.0345	.0389	.371	.316
3	1.41	0.26	310	7.50	2.55	3.03	241	.0266	.0314	.337	.586
4	1.42	16.03	315	14.71	4.11	7.99	244	.0518	.0644	.288	.543
5	1.61	12.17	484	11.36	3.25	7.19	286	.0381	.0398	.286	.633
6	1.61	15.04	484	14.70	4.81	9.22	286	.0392	.0518	.271	.624
7	2.01	4.16	630	4.13	.50	3.11	371	.0166	.0111	.148	.753
8	2.02	0.20	637	8.32	1.67	6.33	373	.0130	.0223	.281	.761
9	2.02	12.41	637	12.61	2.44	8.27	373	.0195	.0338	.148	.694
10	2.02	0.85	637	11.61	1.68	7.19	373	.0119	.0202	.192	.676
11	2.82	11.89	1241	14.11	4.21	9.67	539	.0175	.0262	.171	.685

Model : M33

No.	T	Ha'	La	Hi	Hr	Ht	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	3.86	228	3.53	.73	1.03	196	.0169	.0189	.210	.519
2	1.21	8.88	228	7.31	2.17	3.65	196	.0358	.0373	.297	.499
3	1.41	8.88	318	7.33	2.56	3.86	241	.0258	.0304	.358	.524
4	1.41	15.56	318	14.27	5.57	6.37	241	.0582	.0591	.392	.466
5	1.61	11.75	484	10.97	4.84	5.44	286	.0291	.0384	.360	.495
6	1.61	15.47	484	14.44	5.61	6.37	286	.0383	.0586	.389	.441
7	2.01	3.91	624	3.88	1.62	2.42	369	.0163	.0185	.417	.625
8	2.01	8.76	624	8.27	3.48	4.48	369	.0132	.0274	.410	.542
9	2.01	11.76	624	11.91	5.65	6.42	369	.0169	.0322	.475	.516
10	2.01	8.24	1249	9.48	4.66	4.52	541	.0066	.0177	.495	.478
11	2.01	11.65	1249	13.96	6.17	5.79	541	.0093	.0258	.442	.414

Model : M33

No.	T	Ha'	La	Hi	Hr	Ht	L	Ha'/Lo	Hi/L	Kr	Kt
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	1.21	3.98	228	3.54	.63	2.42	196	.0171	.0182	.176	.688
2	1.21	8.10	228	7.48	1.85	4.53	196	.0355	.0378	.249	.612
3	1.42	7.76	315	7.12	1.86	4.85	244	.0247	.0292	.261	.601
4	1.42	15.69	315	14.58	4.59	7.87	244	.0585	.0598	.315	.548
5	1.62	11.91	489	11.13	3.61	6.22	288	.0291	.0387	.324	.684
6	1.62	15.16	489	14.17	5.24	7.03	288	.0378	.0492	.378	.552
7	2.01	3.93	638	3.94	1.86	3.05	371	.0162	.0185	.278	.761
8	2.01	8.12	638	8.14	2.76	5.39	371	.0129	.0219	.339	.662
9	2.01	12.12	638	12.29	4.31	7.15	371	.0192	.0331	.351	.552
10	2.01	8.78	1249	9.64	3.83	5.23	541	.0066	.0178	.314	.542
11	2.01	10.70	1250	12.65	4.38	6.51	543	.0085	.0236	.341	.567

No.	T	h2/h	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.05	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.52	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.37	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	9.02	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	7.60	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	9.08	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	8.76	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	0.09	100	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
2	1.00	0.09	155	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
3	1.20	0.09	225	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
4	1.40	0.13	305	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
5	1.60	0.13	398	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
6	1.80	0.10	507	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
7	2.00	0.12	624	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009

No.	T	h2/h	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.01	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	8.69	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.24	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	8.66	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	8.26	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	8.91	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	8.33	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.03	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.79	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.48	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	9.00	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	8.43	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	9.20	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	8.77	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.35	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.07	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.58	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	8.99	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	8.34	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	8.60	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	8.85	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

(株) 大林組

No.	T	h2/h	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	8.84	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.58	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	8.87	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	7.11	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	7.22	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	6.99	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	7.05	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15	h2/h = 0.15
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	8.76	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	8.04	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	8.76	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	8.39	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	7.77	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	8.91	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	7.96	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2	h2/h = 0.2
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.00	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.44	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.09	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	7.95	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	7.79	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	10.21	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	8.10	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

No.	T	h2/h	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1	h2/h = 0.1
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	0.80	9.39	100	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
2	1.00	9.51	155	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
3	1.20	9.12	225	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
4	1.40	7.78	305	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
5	1.60	7.16	398	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
6	1.80	8.53	507	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
7	2.00	7.77	624	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011

B-2 TYPE		h2/h = 0.15	B = 80.0 cm									
No.	T	HO	HI	Hr	Rt	L	HO/LO	HI/L	Kr	Kt		
(S)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						
1	0.80	9.23	100	0.0011	0.0011	4.83	0.0027	0.0044	0.19	0.32		
2	1.00	9.42	155	9.36	1.79	5.08	195	0.0038	0.0544	0.19	0.56	
3	1.00	9.42	225	9.36	1.79	5.08	195	0.0385	0.0544	0.19	0.66	
4	1.40	5.79	305	5.53	0.86	3.82	239	0.0190	0.0232	0.16	0.69	
5	1.60	5.98	398	6.33	0.74	3.89	283	0.0150	0.0224	0.12	0.61	
6	1.80	8.49	507	8.60	1.12	5.32	327	0.0168	0.0263	0.13	0.62	
7	2.00	8.05	621	9.24	1.41	5.67	359	0.0129	0.0250	0.15	0.61	

戸田建設 (株)

< 実験番号 1-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.20$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.852	5.60	106.8	0.360	0.436	0.686	-	-	0.337	0.0524
2	0.858	7.80	108.0	0.450	0.393	0.636	-	-	0.333	0.0722
3	1.020	3.70	141.2	0.200	0.590	0.612	-	-	0.255	0.0262
4	0.996	5.70	136.4	0.260	0.510	0.672	-	-	0.264	0.0418
5	1.100	9.50	157.3	0.480	0.420	0.593	-	-	0.229	0.0604
6	1.420	3.80	219.1	0.200	0.620	0.576	-	-	0.164	0.0173
7	1.420	7.90	219.1	0.330	0.500	0.641	-	-	0.164	0.0361
8	1.710	6.50	272.9	0.340	0.660	0.449	-	-	0.132	0.0218

< 実験番号 1-2 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.853	5.60	107.0	0.250	0.590	0.589	-	-	0.316	0.0523
2	0.853	7.90	107.0	0.390	0.510	0.588	-	-	0.316	0.0738
3	1.020	3.80	141.2	0.110	0.670	0.539	-	-	0.255	0.0269
4	1.020	5.90	141.2	0.120	0.570	0.661	-	-	0.255	0.0418
5	1.052	10.20	155.3	0.120	0.440	0.792	-	-	0.232	0.0657
6	1.410	3.80	217.2	0.080	0.630	0.597	-	-	0.166	0.0175
7	1.410	8.20	217.2	0.170	0.460	0.760	-	-	0.166	0.0378
8	1.650	5.90	269.3	0.370	0.780	0.255	-	-	0.134	0.0219

< 実験番号 1-3 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.50$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.20$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.850	5.90	106.4	0.400	0.520	0.570	-	-	0.338	0.0555
2	0.851	7.80	106.6	0.490	0.480	0.530	-	-	0.338	0.0732
3	1.000	4.00	137.2	0.200	0.720	0.442	-	-	0.262	0.0292
4	0.998	6.00	136.8	0.280	0.640	0.512	-	-	0.263	0.0439
5	1.110	9.60	159.2	0.100	0.490	0.750	-	-	0.226	0.0503
6	1.400	3.80	215.3	0.160	0.720	0.456	-	-	0.167	0.0177
7	1.390	8.10	213.4	0.180	0.580	0.631	-	-	0.169	0.0380
8	1.680	5.80	267.4	0.330	0.770	0.298	-	-	0.135	0.0217

< 実験番号 3-2 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.851	6.00	106.6	0.480	0.190	0.734	0.800	-	0.338	0.0563
2	0.848	8.10	105.9	0.450	0.180	0.765	0.901	-	0.340	0.0765
3	1.003	3.90	137.2	0.180	0.310	0.872	0.564	-	0.262	0.0284
4	1.010	6.10	139.2	0.130	0.270	0.910	0.852	-	0.259	0.0438
5	1.110	10.00	159.2	0.200	0.320	0.858	0.920	-	0.226	0.0628
6	1.400	4.40	215.3	0.250	0.600	0.541	0.659	-	0.167	0.0204
7	1.410	7.00	217.2	0.240	0.550	0.629	0.990	-	0.165	0.0322
8	1.710	6.60	272.9	0.450	0.470	0.577	1.030	-	0.133	0.0242
9	1.690	1.85	269.3	0.440	0.720	0.288	0.811	-	0.134	0.0069

< 実験番号 4-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 3.0 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.20$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.848	6.40	105.9	0.570	0.450	0.473	0.984	-	0.340	0.0604
2	0.850	8.30	106.4	0.440	0.410	0.638	1.120	-	0.338	0.0780
3	1.000	4.10	137.2	0.250	0.550	0.635	0.805	-	0.262	0.0299
4	1.000	5.90	137.2	0.270	0.490	0.687	0.915	-	0.262	0.0430
5	1.100	10.10	157.3	0.450	0.480	0.567	0.990	-	0.229	0.0642
6	1.400	4.00	215.3	0.160	0.640	0.565	0.750	-	0.167	0.0186
7	1.400	8.50	215.3	0.210	0.550	0.653	1.059	-	0.167	0.0395
8	1.700	6.60	271.1	0.380	0.640	0.446	0.957	0.800	0.133	0.0221
9	1.700	2.10	271.1	0.260	0.810	0.276	0.714	-	0.133	0.0077

< 実験番号 4-2 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 3.0 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.850	6.20	106.4	0.380	0.550	0.553	0.806	-	0.338	0.0583
2	0.852	8.20	106.4	0.350	0.490	0.637	0.854	-	0.337	0.0768
3	1.009	4.20	137.2	0.140	0.640	0.571	0.571	-	0.262	0.0306
4	1.090	6.10	137.2	0.140	0.580	0.644	0.718	-	0.262	0.0445
5	1.110	10.10	159.2	0.160	0.520	0.704	0.990	-	0.226	0.0634
6	1.410	3.70	217.2	0.110	0.720	0.470	0.486	-	0.166	0.0170
7	1.410	7.70	217.2	0.140	0.610	0.608	0.935	-	0.166	0.0355
8	1.700	6.30	271.1	0.410	0.690	0.356	0.905	-	0.133	0.0212
9	1.700	1.90	271.1	0.270	0.850	0.205	0.684	-	0.133	0.0070

< 実験番号 1-4 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.50$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.847	6.10	105.7	0.360	0.600	0.510	-	-	0.340	0.0577
2	0.852	7.90	106.4	0.360	0.530	0.590	-	-	0.337	0.0740
3	1.010	4.10	139.2	0.110	0.790	0.364	-	-	0.259	0.0295
4	1.010	5.90	139.2	0.140	0.700	0.490	-	-	0.259	0.0424
5	1.110	9.80	159.2	0.130	0.500	0.733	-	-	0.226	0.0615
6	1.390	3.70	213.4	0.120	0.710	0.482	-	-	0.169	0.0173
7	1.390	7.50	213.4	0.330	0.560	0.578	-	-	0.169	0.0351
8	1.690	5.30	269.3	0.360	0.810	0.214	-	-	0.134	0.0197

< 実験番号 2-1 >
 $B = 56 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	1.100	7.80	157.3	0.370	0.530	0.582	0.936	-	0.356	0.0496
2	1.100	10.40	157.3	0.550	0.490	0.457	0.962	-	0.356	0.0661
3	1.290	4.40	194.3	0.090	0.700	0.502	0.636	-	0.288	0.0226
4	1.290	6.20	194.3	0.090	0.580	0.656	-	-	0.288	0.0319
5	1.390	5.80	213.4	0.230	0.650	0.525	0.897	-	0.262	0.0272
6	1.390	7.80	213.4	0.330	0.570	0.566	0.974	-	0.262	0.0366
7	1.410	10.20	217.2	0.350	0.480	0.647	1.157	-	0.255	0.0470
8	1.700	4.10	271.1	0.290	0.750	0.353	0.707	-	0.207	0.0151
9	1.690	1.92	269.3	0.230	0.850	0.225	0.521	-	0.208	0.0071

< 実験番号 3-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.70$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.00$
 $\eta_p = -$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = -$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.855	6.10	107.4	0.830	0.046	0.309	1.295	-	0.356	0.0568
2	0.855	7.70	107.4	0.780	0.047	0.369	1.338	-	0.356	0.0717
3	1.000	4.20	137.2	0.760	0.110	0.410	1.238	-	0.262	0.0306
4	1.010	5.90	139.2	0.750	0.098	0.428	1.284	-	0.259	0.0424
5	1.100	10.10	157.3	0.610	0.200	0.588	1.228	-	0.229	0.0642
6	1.400	3.80	215.3	0.330	0.610	0.519	0.895	-	0.167	0.0177
7	1.410	7.80	217.2	0.300	0.380	0.766	1.282	-	0.166	0.0359
8	1.690	6.00	269.3	0.410	0.350	0.709	1.150	-	0.134	0.0223
9	1.690	2.00	269.3	0.370	0.500	0.613	0.850	-	0.134	0.0074

< 実験番号 5-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.30$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = 0.00$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = 1.5 \text{ cm}$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.849	6.10	106.2	0.400	0.420	0.664	-	-	0.333	0.0575
2	0.848	8.20	105.9	0.380	0.410	0.684	-	-	0.340	0.0774
3	1.000	4.00	137.2	0.390	0.690	0.372	-	-	0.262	0.0292
4	0.998	6.00	136.8	0.410	0.680	0.370	-	-	0.263	0.0439
5	1.120	9.90	161.2	0.350	0.570	0.553	-	-	0.223	0.0614
6	1.400	3.90	215.3	0.300	0.840	0.204	-	-	0.167	0.0181
7	1.400	7.50	215.3	0.240	0.630	0.546	-	-	0.167	0.0348
8	1.700	6.20	271.1	0.380	0.770	0.263	-	-	0.133	0.0229

実験番号 5-2 >
 $B = 36 \text{ cm}$
 $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta_f = 0.50$
 $\eta_r = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon_f = 0.30$
 $\eta_p = 0.00$
 $\eta_r = 0.70$
 $\epsilon_p = 1.5 \text{ cm}$
 $(\eta = h/2/h)$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.850	6.10	106.4	0.280	0.380	0.777	-	-	0.338	0.0574
2	0.850	8.00	106.4	0.340	0.250	0.822	-	-	0.338	0.0752
3	0.990	4.10	135.2	0.380	0.600	0.496	-	-	0.266	0.0393
4	1.090	6.10	137.2	0.400	0.560	0.526	-	-	0.262	0.0445
5	1.690	5.90	155.2	0.410	0.560	0.510	-	-	0.232	0.0538
6	1.410	3.80	217.2	0.260	0.760	0.355	-	-	0.166	0.0175
7	1.410	7.70	217.2	0.180	0.510	0.708	-	-	0.166	0.0355
8	1.690	6.20	269.3	0.460	0.640	0.379	-	-	0.134	0.0230

< 実験番号 5-4 >
 $B = 36 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta f = 0.50$ $\eta r = 0.50$ $\eta p = 0.00$ ($\eta = h/2/h$)
 $\phi f = 1.5 \text{ cm}$ $\phi r = 1.5 \text{ cm}$ $\phi p = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon f = 0.30$ $\epsilon r = 0.30$ $\epsilon p = 0.10$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.854	6.20	107.2	0.310	0.370	0.767	-	-	0.336	0.0578
2	0.848	8.00	105.9	0.330	0.260	0.824	-	-	0.340	0.0755
3	1.010	4.00	135.2	0.400	0.510	0.580	-	-	0.259	0.0287
4	0.990	6.00	135.2	0.450	0.460	0.585	-	-	0.266	0.0444
5	1.100	9.60	157.3	0.340	0.600	0.524	-	-	0.229	0.0610
6	1.430	3.90	215.3	0.270	0.860	0.188	-	-	0.167	0.0181
7	1.410	7.70	217.2	0.180	0.790	0.344	-	-	0.166	0.0355
8	1.710	6.10	272.9	0.450	0.650	0.375	-	-	0.132	0.0224

< 実験番号 5-5 >
 $B = 36 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta f = 0.30$ $\eta r = 0.30$ $\eta p = 0.00$ ($\eta = h/2/h$)
 $\phi f = 1.5 \text{ cm}$ $\phi r = 1.5 \text{ cm}$ $\phi p = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon f = 0.30$ $\epsilon r = 0.20$ $\epsilon p = 0.20$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.848	6.00	105.9	0.380	0.490	0.616	1.000	-	0.340	0.0566
2	0.850	8.20	106.4	0.370	0.410	0.695	1.134	-	0.338	0.0771
3	1.010	4.00	139.2	0.270	0.690	0.451	-	-	0.259	0.0287
4	1.000	6.00	137.2	0.250	0.660	0.502	1.133	-	0.262	0.0437
5	1.110	9.90	159.2	0.310	0.590	0.556	1.081	-	0.226	0.0622
6	1.410	3.90	217.2	0.260	0.880	0.158	0.718	-	0.165	0.0180
7	1.410	7.70	217.2	0.140	0.750	0.418	0.987	-	0.166	0.0355
8	1.680	6.10	267.4	0.420	0.720	0.305	1.033	-	0.135	0.0228

< 実験番号 5-6 >
 $B = 36 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta f = 0.50$ $\eta r = 0.50$ $\eta p = 0.00$ ($\eta = h/2/h$)
 $\phi f = 1.5 \text{ cm}$ $\phi r = 1.5 \text{ cm}$ $\phi p = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon f = 0.30$ $\epsilon r = 0.20$ $\epsilon p = 0.20$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.848	6.10	105.9	0.200	0.430	0.775	0.918	-	0.340	0.0576
2	0.851	8.00	106.6	0.280	0.370	0.785	-	-	0.338	0.0751
3	1.000	3.80	137.2	0.280	0.570	0.597	0.816	-	0.262	0.0277
4	1.000	5.90	137.2	0.320	0.540	0.606	0.983	-	0.262	0.0430
5	1.110	10.00	159.2	0.390	0.540	0.555	1.070	-	0.226	0.0628
6	1.390	3.60	213.4	0.200	0.850	0.238	0.806	-	0.169	0.0169
7	1.410	7.70	217.2	0.210	0.640	0.546	0.935	-	0.166	0.0355
8	1.690	6.00	269.3	0.410	0.720	0.314	1.167	-	0.134	0.0253
9	1.690	2.00	269.3	0.360	0.860	0.131	0.700	-	0.134	0.0074

< 実験番号 6-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta f = 0.50$ $\eta r = 0.50$ $\eta p = 0.00$ ($\eta = h/2/h$)
 $\phi f = 1.5 \text{ cm}$ $\phi r = 1.5 \text{ cm}$ $\phi p = 1.5 \text{ cm}$
 $\epsilon f = 0.30$ $\epsilon r = 0.20$ $\epsilon p = 0.20$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	1.110	8.10	159.2	0.340	0.460	0.673	0.914	-	0.352	0.0509
2	1.120	10.20	161.2	0.510	0.350	0.617	1.039	-	0.347	0.0633
3	1.300	4.00	195.2	0.200	0.710	0.455	0.750	-	0.285	0.0204
4	1.300	6.30	195.2	0.260	0.580	0.595	0.841	-	0.285	0.0321
5	1.390	6.00	213.4	0.390	0.590	0.500	1.050	-	0.262	0.0281
6	1.390	8.30	213.4	0.550	0.510	0.437	1.289	-	0.262	0.0389
7	1.390	10.20	213.4	0.590	0.560	0.338	1.510	-	0.262	0.0478
8	1.690	4.10	269.3	0.300	0.700	0.420	0.756	-	0.208	0.0152
9	1.690	2.00	269.3	0.370	0.790	0.239	0.500	-	0.208	0.0074

< 実験番号 7-1 >
 $B = 36 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ cm}$
 $\eta f = 0.50$ $\eta r = 0.50$ $\eta p = 0.00$ ($\eta = h/2/h$)
 $\phi f = 1.5 \text{ cm}$ $\phi r = 1.5 \text{ cm}$ $\phi p = 3.0 \text{ cm}$
 $\epsilon f = 0.30$ $\epsilon r = 0.20$ $\epsilon p = 0.20$

No	T sec	H cm	L cm	KR	KT	KL*2	Rf/H	Rr/H	B/L	H/L
1	0.850	6.00	106.4	0.370	0.410	0.695	0.933	-	0.338	0.0564
2	0.850	7.90	106.4	0.410	0.380	0.688	1.051	-	0.338	0.0743
3	1.020	3.90	141.2	0.270	0.570	0.602	0.921	-	0.255	0.0276
4	1.000	5.90	137.2	0.270	0.540	0.635	0.797	-	0.262	0.0430
5	1.120	9.70	161.2	0.330	0.530	0.610	1.062	-	0.223	0.0602
6	1.410	3.80	217.2	0.220	0.810	0.296	0.711	-	0.166	0.0175
7	1.410	7.70	217.2	0.160	0.660	0.539	1.338	-	0.166	0.0355
8	1.710	6.20	272.9	0.390	0.620	0.464	-	-	0.132	0.0227
9	1.710	2.20	272.9	0.430	0.730	0.282	0.682	-	0.132	0.0081

No. Hades : Bill no																							
Hno	T	Ha	Lo	HL	Hc	Hr	Hs	L	Ha/La	B/L	Kp	Kr	Kt	F(=1) Ka c/n3	F(=1) Ks c/n3	F(=1) Ka c/n3	F(=1) Ks c/n3	F(=1) Ka c/n3	F(=1) Ks c/n3	H+K Kan	H-K Kan		
1	1.21	4.86	1.59	4.33	2.41	.93	2.85	149	.0385	.505	.531	299	.432	3	.113	2	.188	3.0	.174	2.6	.121	.86	.45
2	1.81	3.69	2.28	3.37	1.46	.90	1.73	194	.0161	.383	.422	268	.513	3	.172	3	.193	4.6	.362	5.4	.333	1.65	.70
3	1.21	3.76	2.26	3.64	2.78	.99	2.25	196	.0218	.382	.428	273	.539	9	.266	1.6	.288	8.9	.277	10.9	.340	1.45	1.48
4	1.21	4.64	1.81	4.31	3.22	6.41	2.68	241	.0232	.311	.406	326	.545	9	.266	1.6	.288	9.3	.273	12.3	.373	1.25	1.48
5	1.41	10.83	3.11	9.94	4.45	5.39	7.47	241	.0249	.311	.412	363	.732	1.2	.239	1	.264	12.7	.264	12.3	1.43	1.94	
6	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
7	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
8	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
9	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
10	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
11	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
12	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
13	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
14	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
15	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
16	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
17	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
18	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
19	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53
20	1.41	11.10	3.10	12.93	5.37	7.92	9.31	241	.0454	.311	.415	614	.721	1.9	.283	2.1	.380	18.3	.293	11.4	.183	1.96	2.53

** Model 1 32 **																							
Time	T	H ₀ (%)	L ₀ (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₃ (cm)	L	H ₀ (%)	B/L	K ₁	K ₂	K ₃	F ₁ (K ₁ e/GeV)	F ₂ (K ₂ e/GeV)	F ₃ (K ₃ e/GeV)	F ₄ (K ₄ e/GeV)	only K ₀	only K ₀					
1	1.01	4.17	159	3.76	2.58	1.83	1.36	149	0.259	585	672	267	354	5	262	3	175	1.2	468	5.5	299	37	141
2	1.20	4.05	226	3.31	2.11	1.51	1.01	194	0.181	368	469	323	543	7	366	5	272	2.7	148	6.7	376	53	55
3	1.20	8.84	223	7.25	3.98	4.05	3.28	194	0.256	369	538	232	635	1.5	363	7.9	363	12.6	11.7	323	132	17	14
4	1.41	7.25	310	6.75	3.36	2.48	1.82	241	0.237	311	497	348	566	1.7	484	1.2	351	9.2	267	17.4	354	183	21
5	1.41	11.12	313	18.24	9.51	4.82	4.45	241	0.239	311	442	394	632	1.9	346	1.7	371	13.1	126	17.4	354	183	21
6	1.61	11.12	313	18.24	9.51	4.82	4.45	241	0.239	311	442	394	632	1.9	346	1.7	371	13.1	126	17.4	354	183	21
7	7.41	4.18	484	3.90	2.26	1.81	2.58	286	0.191	289	431	481	635	2.3	347	1.5	279	18.6	266	21.1	329	210	310
8	7.41	11.26	484	10.32	4.57	5.45	7.93	286	0.279	283	434	511	754	1.9	336	1.4	269	18.2	365	17.3	348	156	257
9	1.02	16.25	517	15.75	5.37	5.58	10.35	286	0.279	283	434	511	754	1.9	336	1.4	269	18.2	365	17.3	348	156	257
10	1.82	16.25	517	15.75	5.37	5.58	10.35	286	0.279	283	434	511	754	1.9	336	1.4	269	18.2	365	17.3	348	156	257
11	2.01	4.13	638	4.46	1.45	2.55	3.29	371	0.166	282	479	689	887	1.9	487	1.1	272	23.9	339	19.7	274	147	3.69
12	2.01	8.57	636	8.98	3.43	4.51	6.45	371	0.166	282	479	689	887	1.9	487	1.1	272	23.9	339	19.7	274	147	3.69
13	2.01	11.98	636	17.12	3.16	9.81	9.48	371	0.166	282	479	689	887	1.9	487	1.1	272	23.9	339	19.7	274	147	3.69
14	2.01	6.03	630	6.10	1.61	8.08	6.08	371	0.211	282	241	799	739	2.6	414	1.3	267	18.6	317	28.1	341	158	2.46
15	2.01	8.28	1296	9.16	2.23	7.24	8.34	543	0.163	238	244	791	911	3.7	463	1.4	267	18.6	317	28.1	341	158	2.46

Model 1 B21

Mno	T	He	Le	HL	He	He	He	L He/Le	B/L	Kp	Kr	Kr	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	He	He
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1	1.81	3.46	159	3.41	1.17	1.75	1.81	149	0.258	585	342	512	331	3	145	2	139	3.9
2	1.21	3.84	228	3.42	1.47	1.94	2.47	194	0.164	383	429	421	722	5	244	3	222	1.4
3	1.21	7.81	228	7.14	3.19	4.2	1.07	194	0.342	383	429	421	722	1.0	244	1.1	240	6.7
4	1.41	6.84	318	6.29	3.15	2.33	4.01	241	0.221	311	581	371	637	1.0	384	1.0	310	12.7
5	1.41	11.10	318	10.18	4.12	5.49	8.05	241	0.358	311	485	339	791	1.4	245	1.5	281	13.0
6	1.41	14.78	318	13.56	4.56	6.31	10.66	241	0.477	311	336	613	742	2.1	381	1.9	277	19.5
7	1.62	4.26	489	3.98	2.26	1.28	1.92	288	0.184	261	549	322	483	9	423	4	214	7.3
8	1.62	11.13	489	10.40	4.22	6.39	8.44	288	0.272	261	486	614	811	1.5	278	1.5	284	15.6
9	1.62	14.44	489	13.39	5.83	8.54	11.77	288	0.358	261	376	638	879	2.2	325	1.7	286	22.3
10	1.81	16.26	511	15.47	4.42	11.50	13.53	329	0.329	228	282	754	864	2.5	319	2.1	245	22.7
11	2.02	3.90	637	3.85	2.25	1.80	2.26	373	0.261	261	580	448	567	3	388	3	301	8.3
12	2.02	8.88	637	7.98	3.36	4.60	6.55	373	0.327	261	444	681	821	1.0	249	1.2	317	13.0
13	2.02	11.72	637	11.58	3.52	6.33	10.34	373	0.404	261	338	719	893	1.6	284	1.8	332	19.3
14	2.02	15.88	637	15.61	4.47	11.85	14.41	373	0.488	261	299	788	923	2.7	346	2.1	287	24.7
15	2.83	5.84	1249	5.32	2.38	7.84	8.48	541	0.268	139	258	748	891	1.4	352	1.7	412	18.2
16	2.83	11.79	1249	11.15	2.63	10.16	12.76	541	0.394	139	298	773	978	2.2	401	1.8	333	23.8

Model 1 B22

Mno	T	He	Le	HL	He	He	He	L He/Le	B/L	Kp	Kr	Kr	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	He	He
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1	1.81	3.26	159	3.46	1.47	1.94	3.29	149	0.264	585	331	421	722	2	142	2	139	3.9
2	1.21	3.74	228	3.42	1.47	1.94	2.47	194	0.164	383	429	421	722	5	244	3	222	1.4
3	1.21	7.25	228	6.98	1.96	2.97	3.31	194	0.339	383	285	341	489	1.0	273	1.0	272	12.4
4	1.41	7.85	318	6.47	3.19	2.65	3.77	241	0.227	311	494	418	614	1.3	391	1.3	382	12.4
5	1.41	10.84	318	9.95	3.23	5.85	8.76	241	0.359	311	339	548	689	1.8	356	1.6	313	17.1
6	1.41	14.45	318	13.26	4.29	6.45	10.81	241	0.466	311	317	638	754	2.2	328	2.2	327	26.3
7	1.62	4.11	489	3.84	2.62	1.27	2.41	288	0.180	261	684	331	488	4	318	7	356	9.6
8	1.62	11.49	489	10.37	4.29	6.45	10.81	288	0.271	261	395	548	745	1.6	386	1.6	382	15.3
9	1.62	14.82	489	13.11	4.59	9.17	11.18	288	0.343	261	358	623	842	2.2	335	2.0	298	23.4
10	1.81	16.26	511	15.28	4.44	10.16	12.13	331	0.337	229	292	644	798	2.5	323	2.4	293	23.6
11	2.02	3.42	637	3.77	2.28	3.17	3.73	384	0.261	252	544	448	567	3	388	3	301	8.3
12	2.02	8.21	637	8.11	3.39	5.54	7.58	373	0.329	261	418	682	824	1.3	322	1.3	343	16.6
13	2.02	11.67	637	11.72	3.89	8.59	10.54	373	0.418	261	332	723	901	1.8	318	2.0	335	23.8
14	2.02	15.99	637	15.79	4.37	10.96	14.48	373	0.491	261	279	787	992	2.4	317	2.5	335	29.8
15	2.84	7.99	1249	8.93	1.34	10.84	13.25	543	0.266	139	258	748	891	1.4	352	1.7	412	18.2
16	2.84	11.77	1249	12.48	1.49	16.86	19.83	543	0.399	139	298	773	978	2.2	417	1.8	333	23.8

Model 1 B23

Mno	T	He	Le	HL	He	He	He	L He/Le	B/L	Kp	Kr	Kr	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	He	He
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1	1.81	3.34	159	3.11	1.58	1.80	3.43	149	0.218	585	342	512	331	3	145	2	139	3.9
2	1.21	3.84	228	3.34	1.49	1.72	3.34	194	0.160	383	444	421	722	5	244	3	222	1.4
3	1.21	7.29	228	6.94	1.99	2.45	3.74	194	0.332	383	286	353	539	1.2	321	1.3	332	12.7
4	1.41	7.07	318	6.49	3.12	2.68	4.16	241	0.228	311	480	442	672	1.4	428	1.4	416	12.7
5	1.41	10.97	318	10.84	3.29	5.85	8.91	241	0.354	311	318	552	687	2.1	411	1.9	365	19.0
6	1.41	14.58	318	13.37	3.49	6.28	9.64	241	0.470	311	261	613	721	2.8	408	2.3	349	29.9
7	1.62	4.17	489	3.84	2.69	2.54	3.31	288	0.183	261	653	322	483	8	381	8	422	9.9
8	1.62	11.49	489	10.73	4.62	6.31	8.11	288	0.264	261	431	589	754	2.1	387	2.0	343	15.3
9	1.62	15.18	489	14.18	3.77	8.87	11.17	288	0.376	261	366	626	788	2.9	409	2.4	328	23.9
10	1.81	16.25	511	15.82	4.03	10.81	12.72	329	0.323	228	287	683	804	3	423	2.7	345	24.8
11	2.01	3.95	637	3.86	2.18	2.58	3.54	371	0.262	262	545	448	567	7	384	7	395	9.7
12	2.01	8.20	637	8.10	3.26	5.49	7.45	371	0.312	262	412	751	885	1.2	394	1.4	394	17.0
13	2.01	12.12	637	11.94	3.68	9.13	10.33	371	0.392	262	318	763	893	2.4	416	2.3	399	24.4
14	2.01	16.62	637	16.39	4.83	11.85	14.95	371	0.464	262	295	723	937	3.1	394	2.6	362	30.5
15	2.83	6.08	1249	6.01	1.36	9.61	10.31	543	0.267	139	262	722	856	2.1	496	1.5	313	11.3
16	2.83	10.88	1249	10.31	1.61	11.90	13.31	543	0.397	139	321	784	1008	2.9	512	2.1	342	17.6

Model 1 B4

Mno	T	He	Le	HL	He	He	He	L He/Le	B/L	Kp	Kr	Kr	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	He	He
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1	1.89	3.43	156	3.28	1.42	2.33	2.44	146	0.228	513	338	799	762	3	855	3	848	8
2	1.21	3.81	228	3.46	1.46	2.78	2.89	196	0.167	383	483	786	829	8	125	7	104	12
3	1.21	7.73	228	7.06	1.54	6.21	3.28	196	0.338	383	218	882	748	1.9	145	1.8	123	12.7
4	1.41	7.15	318	6.56	1.68	5.47	3.87	241	0.221	311	483	854	895	2.4	288	2.0	170	12.7
5	1.41	10.81	318	9.94	1.86	7.44	8.15	241	0.349	311	386	789	828	3.3	248	3.3	185	12.7
6	1.41	14.48	318	13.36	2.01	8.44	10.79	241	0.467	311	311	613	742	4.4	279	4.4	204	12.7
7	1.62	4.08	489	3.80	2.00	3.49	3.67	288	0.180	261	689	448	567	1.1	888	1.1	888	8
8	1.62	11.29	489	10.54	2.09	6.46	8.99	288	0.279	261	685	797	833	4.7	250	4.0	212	1.1
9	1.62	14.61	489	13.64	2.38	9.32	11.73	288	0.361	261	613	723	869	6.9	287	4.7	154	1.4
10	1.81	16.25	511	15.32	1.18	11.88	12.18	329	0.317	228	676	748	784	9.9	295	5.2	267	1.5
11	2.01	3.88	637	3.83	1.13	3.87	3.82	371	0.262	262	833	1.011	762	1.2	193	1.0	156	5
12	2.01	8.19	637	8.08	1.40	7.10	7.25	371	0.318	262	675	879	898	3.4	246	2.7	199	1.4
13	2.01	12.09	637	11.92	1.82	9.45	10.45	371	0.392	262	613	874	974	4.9	334	4.0	222	1.4
14	2.01	16.24	637	16.02	1.29	11.54	14.00	371	0.458	262	581	729	874	9.9	347	6.2	250	1.8
15	2.82	6.33	1249	6.16	1.18	7.95	8.22	543	0.266	139	262	748	898	5.4	394	2.6	188	1.3
16	2.83	10.88	1249	10.31	1.61	10.29	10.88	543	0.397	139	333	848	898	8.4	476	4.1	226	1.8

Model 1 B3

Mno	T	He	Le	HL	He	He	He	L He/Le	B/L	Kp	Kr	Kr	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	Fe(-)	He	He		
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	He e/s/s	He e/s/s	He e/s/s	He e/s/s	e/s/s	e/s/s		
1	1.81	4.64	159	4.33	4.11	7.79	5.54	149	0.291	585	358	483	123	3	133	3	129	3.9		
2	1.21	3.14	228	3.83	3.61	6.44	4.77	194	0.134	363	251	368	88	1	108	1	104	2.8		
3	1.21	7.27	228	6.44	2.99	3.28	3.85	174	0.118	343	424	339	59	1	122	1	121	3.8		
4	1.62	6.27	315	5.75	3.20	3.42	3.57	244	0.199	358	345	325	428	1	245	9.4	336	11.9		
5	1.62	3.32	322	3.82	2.82	3.28	3.42	2328	0.331	429	581	663	1.9	374	1.1	232	13.8	341	16.3	
6	1.41	14.78	319	13.56	6.88	7.62	2.62	2.81	4677	1.31	542	626	2	374	2	218	16.4	271	32.5	
7	1.61	4.14	484	3.84	2.39	2.89	2.72	286	0.182	263	491	784	8	428	5	271	5	273	3.5	
8	1.61	11.48	484	10.83	5.66	6.23	4.67	286	0.283	263	472	582	71	1.2	349	1.4	299	1.6	338	17.7
9	1.61	14.14	484	14.78	7.12	7.62	4.67	286	0.312	263	472	582	71	1.2	332	1.4	292	21.6	345	21.9
10	1.01	15.49	511	14.83	4.82	9.4	12.49	329	0.393	320	320	671	815	20	346	1	346	1	346	1.9
11	2.02	3.77	637	3.71	3.51	2.88	9.4	373	0.099	291	488	773	797	4	346	6	315	4	261	18.7
12	2.02	10.99	637	10.99	3.51	2.88	9.4	373	0.109	291	488	773	797	4	346	6	315	11.1	329	15.9
13	2.02	11.89	637	10.93	3.02	3.37	10.89	373	0.174	291	488	773	797	4	346	6	315	11.1	329	15.9
14	2.01	14.95	630	14.73	3.04	11.75	12.08	371	0.237	292	758	734	875	3	428	13	217	26.4	399	25.3
15	2.01	7.96	1249	8.73	2.58	7.74	7.83	541	0.663	139	254	831	964	2.6	687	1.2	318	14.3	411	13.3
16	2.03	10.95	1249	10.72	2.58	7.74	7.83	541	0.663	139	254	831	964	2.6	687	1.2	318	14.3	411	13.3

•• Page 1, 524 ••

No.	T	H ₀ ¹	L ₀	H ₀ ²	H ₀ ³	L ₀ ¹	B/L	K ₁	K ₂	K ₃	F ₀ [¹]	F ₀ [²]	F ₀ [³]	F ₀ [⁴]	σ _H	σ _K
	(°)	K ₀ /c/s	(cm)	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s		K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s	K ₀ /c/s
1	1.98	3.77	156	3.52	1.69	1.09	1.34	144	.0241	.513	.511	.331	.381	1.1	.234	.8
2	1.98	3.77	156	3.52	1.69	1.09	1.34	144	.0241	.513	.511	.331	.381	1.1	.234	.8
3	1.21	7.80	229	7.13	4.54	2.33	3.18	196	.0319	.383	.686	.374	.324	1.3	.277	.9
4	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
5	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
6	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
7	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
8	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
9	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
10	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
11	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
12	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
13	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
14	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
15	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
16	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
17	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
18	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
19	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
20	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
21	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
22	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
23	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
24	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
25	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
26	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
27	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
28	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
29	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
30	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
31	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
32	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
33	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
34	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
35	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
36	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
37	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
38	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
39	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
40	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
41	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
42	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
43	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
44	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
45	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
46	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
47	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
48	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
49	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
50	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
51	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
52	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
53	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
54	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
55	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
56	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
57	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
58	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
59	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
60	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
61	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
62	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
63	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
64	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
65	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
66	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
67	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
68	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
69	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
70	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
71	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
72	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
73	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
74	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
75	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
76	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
77	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
78	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
79	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
80	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
81	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
82	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3
83	1.41	7.84	310	7.19	4.35	3.84	3.21	241	.0233	.311	.644	.422	.444	1.7	.187	3

no Model 1. 23 22

[illegible]

cc Model : 534 cc

No	T	H ^o (°)	L ^o (°)	M (°)	H ^o (°)	H ^o (°)	H ^o (°)	L ^o (°)	S/L	K ^o	K ^o	F ₁ (=)		F ₂ (=)		F ₃ (=)		F ₄ (=)		H ₀ K ₀	H ₁ K ₁		
												K ₁ /a/cn3	K ₂ /a/cn3	K ₁ /a/cn3	K ₂ /a/cn3	K ₁ /a/cn3	K ₂ /a/cn3	K ₁ /a/cn3	K ₂ /a/cn3				
1	1.81	4.12	1239	3.84	2.78	97	1.18	149	0.859	585	782	252	264	1.1	224	9	189	3.1	171	4.2	232	48	44
2	1.21	4.14	1208	3.78	2.21	89	1.11	149	0.851	585	782	252	264	1.1	224	9	189	3.1	171	4.2	232	48	44
3	1.21	4.09	1208	3.83	4.39	1.24	239	194	0.793	583	782	158	185	2.0	292	2.1	221	4.4	138	5.4	292	181	105
4	1.21	4.09	1208	3.83	4.39	1.24	239	194	0.793	583	782	158	185	2.0	292	2.1	221	4.4	138	5.4	292	181	105
5	1.41	11.47	130	10.35	2.31	1.86	2.88	241	0.743	311	573	261	485	2.0	313	2.0	221	9.7	299	11.8	334	188	268
6	1.41	11.47	130	10.35	2.31	1.86	2.88	241	0.743	311	573	261	485	2.0	313	2.0	221	9.7	299	11.8	334	188	268
7	1.41	12.85	318	13.88	6.24	4.68	6.29	241	0.845	311	532	339	485	2.0	336	2.0	178	13.4	344	16.9	332	251	351
8	1.61	15.85	484	16.23	11.8	1.35	2.47	286	0.112	263	731	344	366	1.2	215	9	178	7.3	375	7.4	347	1.84	16
9	1.61	15.85	484	16.23	11.8	1.35	2.47	286	0.112	263	731	344	366	1.2	215	9	178	7.3	375	7.4	347	1.84	16
10	1.61	15.85	484	16.23	11.8	1.35	2.47	286	0.112	263	731	344	366	1.2	215	9	178	7.3	375	7.4	347	1.84	16
11	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
12	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
13	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
14	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
15	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
16	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
17	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
18	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
19	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
20	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
21	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
22	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
23	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
24	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
25	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
26	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
27	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
28	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
29	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
30	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
31	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
32	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
33	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
34	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
35	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
36	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
37	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
38	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
39	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
40	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
41	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
42	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
43	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
44	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
45	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
46	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
47	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
48	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
49	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
50	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
51	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
52	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
53	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
54	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
55	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
56	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
57	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323	236	358
58	1.62	15.86	489	16.77	8.69	7.63	7.64	286	0.286	261	588	476	519	5.6	383	2.1	146	17.4	319	17.7	323</		

en Model : S4A en

	T	He ⁺	Li	He	H	He	H	H ⁺ /He	B/L	K ⁺	K ⁺	K ⁺	Fe(I)	Fe(I)	Fe(I)	Fe(I)	HeN	HeN					
	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)	(μ)						Ke #2/3	Ke #2/3	Ke #2/3	Ke #2/3	KeN	KeN					
1	1.81	2.91	159	2.71	1.33	.85	.92	149	0183	595	409	.311	.339	1.8	2.24	1.8	.282	3.4	.310	.41	.15		
2	1.21	3.91	228	3.56	1.99	.37	.82	194	0161	383	335	.185	.288	1.1	1.64	1.1	.154	2.8	1.3	.364	.62	.81	
3	1.21	7.69	228	6.73	3.02	.92	1.57	194	0337	383	343	.121	.223	3.8	3.88	2.4	.186	7.8	2.07	11.3	.388	1.62	.81
4	1.21	11.76	228	10.79	4.63	2.88	3.39	241	0839	311	616	.223	.347	3.2	2.46	2.2	.174	4.4	2.74	11.4	.337	2.21	2.60
5	1.62	15.08	313	14.58	7.96	4.31	5.38	264	0855	318	544	.294	.344	7.9	3.89	4.4	.148	17.1	24.3	18.8	.310	4.40	4.63
6	1.62	19.15	313	18.67	11.52	7.96	8.92	318	0855	318	544	.279	.433	1.3	1.84	1.0	.131	7.4	3.88	7.2	.371	.99	1.34
7	1.62	11.79	409	11.62	6.23	4.15	4.87	286	0817	381	381	.312	.433	1.9	1.97	1.4	.131	7.4	3.88	7.2	.371	.99	1.34
8	1.62	15.16	489	14.15	8.11	5.37	6.13	288	0378	261	373	.485	.433	9.4	3.84	4.8	.192	24.6	3.68	23.4	.325	3.43	3.23
9	1.62	19.15	489	18.14	11.52	7.96	8.92	318	0378	261	373	.485	.433	9.4	3.84	4.8	.192	24.6	3.68	23.4	.325	3.43	3.23
10	1	2.01	6.18	639	4.04	1.97	1.91	2.18	0316	227	461	.422	.518	11.9	4.43	5.4	.204	23.8	3.68	24.6	.344	4.73	7.76
11	2.01	8.64	638	8.31	4.02	1.91	4.84	371	0134	262	483	.584	.582	5.3	3.92	3.7	.244	15.1	4.43	15.1	.379	7.76	7.76
12	2.01	12.71	638	12.47	5.94	2.88	7.00	473	0177	282	483	.588	.683	9.4	.446	5.2	.251	21.1	3.83	20.7	.374	6.35	3.39
13	2.01	16.78	638	16.47	7.00	0.17	7.00	473	0177	282	483	.588	.683	9.4	.446	5.2	.251	21.1	3.83	20.7	.374	6.35	3.39
14	2.04	8.25	1258	8.18	3.12	.673	3.84	543	.0866	138	344	.514	.638	0.7	.461	4.2	.354	19.1	.323	.387	18.9	3.59	7.83
15	2.06	11.22	1258	12.48	3.16	6.12	7.35	543	.0866	138	344	.514	.638	0.7	.461	4.2	.354	19.1	.323	.387	18.9	3.59	7.83

no Model : 93A no

Run	T	He ⁺	Lo	H ₂	He	H ₂ ⁺	L	H ₂ ⁺	B/L	Er	K ⁺	K ⁺	F(-)	F(-)	F(-)	F(-)	σ _{He}	σ _{H₂}
	(K)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)					g/e/cm ²	g/e/cm ²	g/e/cm ²	g/e/cm ²	mm	mm
1	1.28	3.75	225	3.40	1.11	0.88	957	146	.9216	.513	.428	.256	.382	1.0	.310			
2	1.28	3.75	225	3.40	2.37	1.85	957	146	.9186	.516	.467	.286	.407	1.7	.333	2.5	.165	2.1
3	1.21	3.75	228	6.99	4.37	1.71	2.61	196	.9330	.683	.634	.440	.381	1.9	.387	1.0	.163	2.9
4	1.21	3.75	228	6.99	4.37	1.71	2.61	196	.9330	.683	.634	.440	.381	1.9	.387	1.0	.163	2.9
5	1.41	13.10	119	12.62	6.47	2.94	2.41	2.94	.9242	.311	.423	.318	.426	3.5	.279	1.7	.138	11.4
6	1.41	13.10	119	12.62	6.47	2.94	2.41	2.94	.9242	.311	.423	.318	.426	3.5	.279	1.7	.138	11.4
7	1.41	14.70	130	13.40	7.30	4.19	5.74	2.41	.9474	.311	.541	.318	.426	10.2	.359	1.82	.181	17.5
8	1.41	14.70	130	13.40	7.30	4.19	5.74	2.41	.9474	.311	.541	.318	.426	10.2	.359	1.82	.181	17.5
9	1.61	11.10	104	10.44	4.35	1.57	1.54	2.06	.9186	.263	.469	.356	.517	1.5	.218		.152	28.1
10	1.61	11.10	104	10.44	4.35	1.57	1.54	2.06	.9186	.263	.469	.356	.517	1.5	.218		.152	28.1
11	1.61	14.69	104	13.72	7.62	3.84	4.69	6.89	.9368	.363	.534	.426	.582	7.3	.393	3.4	.181	11.8
12	1.61	14.69	104	13.72	7.62	3.84	4.69	6.89	.9368	.363	.534	.426	.582	7.3	.393	3.4	.181	11.8
13	2.02	4.01	637	3.95	2.21	0.92	3.31	.9315	.227	.466	.432	.518	11.7	.433		.216	10.7	2.58
14	2.02	4.01	637	3.95	2.21	0.92	3.31	.9315	.227	.466	.432	.518	11.7	.433		.216	10.7	2.58
15	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
16	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
17	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
18	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
19	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
20	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
21	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
22	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
23	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
24	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
25	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
26	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
27	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
28	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
29	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
30	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
31	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
32	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
33	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
34	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
35	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
36	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
37	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
38	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
39	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
40	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
41	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
42	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
43	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
44	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
45	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
46	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
47	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
48	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
49	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
50	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
51	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
52	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
53	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
54	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
55	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
56	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
57	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
58	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
59	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
60	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
61	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
62	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
63	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
64	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
65	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
66	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
67	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
68	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
69	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
70	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
71	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
72	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
73	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
74	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
75	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
76	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593			1.19	4.7	3.79
77	2.02	8.62	637	8.15	4.23	4.41	4.83	.973	.0130	.201	.319	.541	.593					

re Handel : 54A 00

[illegible]

UN Model : 57A UN

Mno	T	He ⁺	Li	He	He ⁺	He ⁺	L	B/L	He	He ⁺	He	F(1-1)	F(1-1)	F(1-1)	F(1-1)	err _{He}	err _{He⁺}						
	(K)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						He eV/cm ²	He eV/cm ²	He eV/cm ²	He eV/cm ²								
1	1.20	3.37	1.56	3.15	1.23	85	97	144	1216	513	392	262	388	1.1	449	8	331	3.2	212	3.8	254	45	37
2	1.21	4.27	2.20	3.31	2.17	58	74	176	1159	383	554	114	284	1.6	254	1.8	376	4.2	263	4.9	386	48	78
3	1.21	4.72	2.28	6.07	4.27	1.27	25	196	1329	383	622	185	329	1.6	254	1.8	376	4.2	263	4.9	386	48	78
4	1.21	4.72	2.28	6.07	4.27	1.27	25	196	1329	383	622	185	329	1.6	254	1.8	376	4.2	263	4.9	386	48	78
5	1.21	4.72	2.28	6.07	4.27	1.27	25	196	1329	383	622	185	329	1.6	254	1.8	376	4.2	263	4.9	386	48	78
6	1.21	4.72	2.28	6.07	4.27	1.27	25	196	1329	383	622	185	329	1.6	254	1.8	376	4.2	263	4.9	386	48	78
7	1.41	13.56	5.10	12.43	7.03	5.16	6.76	241	16437	311	3666	487	497	3.3	487	7	896	14.4	315	15.1	322	92	237
8	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
9	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
10	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
11	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
12	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
13	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
14	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
15	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
16	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
17	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
18	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
19	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
20	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
21	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
22	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
23	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
24	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
25	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
26	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
27	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
28	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
29	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
30	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
31	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
32	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
33	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
34	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
35	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
36	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
37	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
38	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
39	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
40	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
41	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
42	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
43	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
44	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
45	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
46	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
47	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
48	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
49	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
50	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
51	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
52	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
53	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
54	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
55	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
56	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
57	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
58	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
59	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136	18.3	339	22.6	367	124	47
60	1.41	11.16	4.05	3.88	5.26	1.45	1.65	786	8183	263	653	375	425	4.1	425	9	136</						

== Model : GBA ==

Mno	T	Ha ^a	Lo	Hi	Mc	Hc	Hy	L	Ho	B/L	Kr	K ^b	K ^c	F ₁ (λ)	F ₁ (λ)	F ₂ (λ)	F ₂ (λ)	$\sigma_{\text{H}\alpha}$	$\sigma_{\text{H}\beta}$
	($^{\circ}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	($\text{\AA}$)	K α a/e/c3	K α a/e/c3	K α a/e/c3	K α a/e/c3	$\sigma_{\text{H}\alpha}$	$\sigma_{\text{H}\beta}$
1	1.21	3.21	1.54	3.68	0.77	.95	.82	1.46	3286	.5113	318	.264	.282	1.8	.262	1.8	.217	3.8	.52
2	1.21	3.68	2.28	3.36	2.18	.40	.80	1.94	3161	.38	168	1	.262	1.9	.262	4.8	.214	3.6	.52
3	1.21	3.76	2.26	6.99	3.63	1.83	2.23	1.94	3231	.383	350	.149	.323	2.3	.268	1.9	.292	4.8	1.01
4	1.21	3.76	2.26	6.99	3.63	1.83	2.23	1.94	3231	.383	350	.149	.323	2.3	.268	1.9	.292	4.8	1.01
5	1.41	11.12	1.12	18.20	6.64	2.43	3.59	3.1	2.41	3231	.383	.382	.382	2.6	.268	1.7	.277	10.8	1.37
6	1.41	11.12	1.12	18.20	6.64	2.43	3.59	3.1	2.41	3231	.383	.382	.382	2.6	.268	1.7	.277	10.8	1.37
7	1.41	14.41	1.34	13.24	8.23	4.86	4.21	2.41	3466	.311	.621	.367	.453	6.4	.377	2.7	.381	18.6	2.54
8	1.41	14.41	1.34	13.24	8.23	4.86	4.21	2.41	3466	.311	.621	.367	.453	6.4	.377	2.7	.381	18.6	2.54
9	1.40	11.77	3.99	18.97	4.02	1.54	2.63	2.18	2683	.6188	.245	.324	.325	3.81	1.3	.258	1.9	.174	.78
10	1.40	11.77	3.99	18.97	4.02	1.54	2.63	2.18	2683	.6188	.245	.324	.325	3.81	1.3	.258	1.9	.174	.78
11	1.40	15.19	3.99	14.17	7.99	3.83	4.61	2.63	3389	.245	.344	.461	.462	3.3	.462	3.3	.462	15.4	1.89
12	1.40	15.19	3.99	14.17	7.99	3.83	4.61	2.63	3389	.245	.344	.461	.462	3.3	.462	3.3	.462	15.4	1.89
13	1.41	4.78	4.38	4.71	1.77	1.89	.813	3.33	3314	.228	.303	.452	.339	18.5	.332	4.4	.261	24.7	3.46
14	1.41	4.78	4.38	4.71	1.77	1.89	.813	3.33	3314	.228	.303	.452	.339	18.5	.332	4.4	.261	24.7	3.46
15	1.41	8.21	6.18	8.07	3.63	4.28	4.73	3.67	3123	.264	.376	.531	.589	4.7	.482	2.9	.295	13.7	1.79
16	1.41	8.21	6.18	8.07	3.63	4.28	4.73	3.67	3123	.264	.376	.531	.589	4.7	.482	2.9	.295	13.7	1.79
17	1.42	14.41	3.37	14.33	3.88	4.46	7.54	3.38	3287	.264	.452	.589	.688	7.8	.514	4.4	.288	20.1	3.23
18	1.42	14.41	3.37	14.33	3.88	4.46	7.54	3.38	3287	.264	.452	.589	.688	7.8	.514	4.4	.288	20.1	3.23
19	1.42	14.41	3.37	14.33	3.88	4.46	7.54	3.38	3287	.264	.452	.589	.688	7.8	.514	4.4	.288	20.1	3.23
20	1.42	14.41	3.37	14.33	3.88	4.46	7.54	3.38	3287	.264	.452	.589	.688	7.8	.514	4.4	.288	20.1	3.23
21	1.42	11.32	12.54	9.21	2.84	3.16	4.16	4.35	341	.8864	.139	.368	.588	9.7	.489	3.3	.265	17.3	1.82
22	1.41	11.32	12.54	9.21	2.84	3.16	7.33	4.41	337	.8892	.149	.252	.588	9.8	.734	4.4	.269	24.3	1.79

Model : S96 .00

Hno	T	He*	Li	He	He*	He	L He*/Li	B/L	Kp	Kt*	Kt	Fs[-]	Fs[-]	Fs[-]	Fs[-]	+Hu	-Hu						
(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)						Kg g/cm3	Kg g/cm3	Kg g/cm3	Kg g/cm3	Kan	Kan						
1	1.08	3.25	156	3.04	1.87	.86	.97	146	.0288	.512	.352	.283	.319	1.2	.216	1.8	.179	3.1	.215	3.6	.253	.61	.59
2	1.21	3.70	228	3.38	2.87	.44	.95	196	.0162	.383	.612	.131	.291	1.2	.195	1.8	.162	4.4	.278	4.8	.382	.86	1.25
3	1.21	7.50	228	6.85	3.93	1.21	2.29	196	.0328	.383	.573	.177	.334	2.7	.217	2.2	.174	7.8	.236	9.4	.282	1.71	2.29
4	1.42	7.50	315	6.70	4.37	1.79	2.83	244	.0232	.368	.653	.267	.423	2.7	.227	2.4	.288	18.6	.329	18.0	.310	2.21	2.41
5	1.42	10.91	315	10.01	5.98	3.16	4.18	244	.0347	.368	.589	.389	.617	5.4	.311	3.9	.215	14.6	.386	14.2	.293	5.37	4.39
6	1.42	14.81	315	13.39	6.92	4.78	5.29	244	.0471	.368	.589	.346	.389	8.1	.338	4.8	.195	18.9	.288	17.6	.269	4.63	4.13
7	1.69	4.19	399	3.91	2.07	1.39	1.41	263	.0185	.265	.659	.333	.361	1.7	.258	1.3	.194	7.1	.385	6.5	.333	.99	1.13
8	1.69	12.23	399	11.40	6.85	4.34	4.32	263	.0386	.265	.534	.388	.423	7.8	.335	4.2	.218	18.9	.358	18.0	.295	5.43	4.47
9	1.69	15.96	399	14.88	8.84	5.79	6.42	263	.0493	.265	.464	.389	.445	18.2	.387	5.3	.199	24.2	.342	22.2	.315	4.36	4.15
10	1.81	16.25	511	15.54	6.37	6.65	7.54	329	.0318	.228	.618	.415	.485	12.6	.469	7.2	.267	23.8	.332	23.7	.329	4.23	4.96
11	2.01	4.19	638	4.88	1.69	1.89	1.94	371	.0066	.282	.415	.414	.476	2.2	.323	1.8	.269	8.8	.371	8.3	.345	1.04	1.09
12	2.31	8.47	638	8.34	3.29	3.93	4.44	371	.0134	.282	.487	.471	.532	6.2	.442	4.8	.288	14.0	.374	12.3	.329	2.21	3.15
13	2.01	12.32	638	12.13	4.88	6.18	7.11	371	.0195	.282	.375	.589	.566	9.8	.483	6.2	.384	28.5	.377	18.6	.342	3.87	5.87
14	2.01	17.34	638	17.68	7.42	7.95	9.31	371	.0275	.282	.435	.665	.545	13.8	.482	7.7	.278	27.2	.355	27.4	.337	4.57	8.95
15	2.83	8.88	1249	8.97	2.23	4.59	6.89	541	.0065	.137	.248	.581	.679	9.8	.671	4.3	.324	17.5	.489	11.1	.318	1.89	5.04
16	2.83	11.48	1249	12.67	3.23	6.48	7.58	541	.0091	.137	.225	.589	.592	13.8	.699	5.4	.288	24.2	.488	16.5	.326	2.84	7.64

海域制御構造物の開発に関する
共同研究報告書(1)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 2454号
昭和62年2月(1987年)

要旨

各種の海域制御構造物モデルの消波効果を2次元水理実験によって調べた。その結果、各種構造物の特徴が明らかになった。さらに、海域制御構造物をその消波効果の面からいくつかのタイプに分類した。また、構造物を設置した時の静穏域創出効果についても検討した。

キーワード: 海洋開発, 海域制御構造物, 消波効果, 透過率, 反射率, 共同研究, 静穏域

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

建設省土木研究所
海岸研究室 行

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2454号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

