

トラス構造を有する鋼製浮防波堤の 透過率とその定量化

松永信博¹・櫛田操²・鵜崎賢一³・神崎孝行⁴・浦上由紀子⁵

¹正会員 工博 九州大学助教授 大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6丁目-1)

²正会員 工博 日本文理大学教授 工学部土木工学科 (〒870-0397 大分市大字一木1727)

³学生員 工修 九州大学大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6丁目-1)

⁴佐伯鉄工業協同組合 理事長 (〒876-0815 大分県佐伯市野岡町2-5-17)

⁵学生員 九州大学大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6丁目-1)

入射波を砕波させることによって波の透過率を低減させる浮体構造物として、箱型浮体の前後にトラス構造を有する鋼製浮防波堤 (FBT) が考案されている。本研究では FBT の消波性能に関する定性的特性を実験的に調べると同時に、模型実験を系統的に行うことにより透過率の定量化を試みた。FBT では浮体前面のトラス構造によって入射波が砕波され、エネルギー散逸が効率よく行われることが明らかとなった。また、現在広く用いられている箱型浮防波堤と比較して、透過率を著しく低減できることが示された。さらに、次元解析に基づいて透過率を評価する経験式を提案し、水理条件と静穏度目標値が与えられた場合、FBT の形状を決定するチャートを提案した。

Key Words : floating breakwater, transmission coefficient, wave breaking

1. 緒 論

わが国では、波浪や高潮から港や海岸を守るために様々な防波堤が開発されてきた。防波堤は一般的に、重力式と非重力式に大別される。非重力式防波堤の一つとして浮防波堤が挙げられるが、それは基本的に、構造物を海面に浮かべ、入射波の一部を反射させると同時に越波や粘性散逸などによって波のエネルギーを消散させるものである。浮防波堤は大きな波が入射する海域には適さないという欠点はあるが、潮位差が大きな海域でもその消波効果はほとんど変わらない、施工費が水深に依存しない、施工が海底地形や地質にあまり影響されない、設置海域の水質悪化を引き起こさないなど、重力式防波堤には無いいくつかの長所を持つ。このため、比較的水深の大きな海域や軟弱地盤海域における漁港・港湾の静穏化、養殖場や海洋リゾート地域の保護などを目的として広く施工されるようになってきた。

浮防波堤に関してはこれまで数々の研究・開発がなされており、その形状・材質も多岐にわたっているが、現在では PC コンクリート製の箱型浮防波堤が最も広く用

いられている。その理由として設計・施工が比較的簡便で、浮体の安定性が高いことが上げられるが、入射波と反射波の相互干渉により堤体前方の波高が著しく高くなるという問題も指摘されている¹⁾。浮防波堤の開発に関する最近の幾つかの研究として、中村ら¹⁾による多列円柱型の浮防波堤、大隈ら²⁾による浮体中央に遊水部をもつ浮防波堤、小島ら^{3), 4), 5)}による浮体と没水平板とを組み合わせたハイブリッド構造物、Murali and Mani⁶⁾によるフロートの下部に複数のシリンダー・パイプを配置した浮防波堤、大楠ら⁷⁾による内部自由水を利用した内部水流振動型浮防波堤などが挙げられる。このほかにも、二つの箱型浮体を平板でつなぎ合わせた筏形浮防波堤⁸⁾、フロートとビニールシートを繋ぎ合わせたシート型浮消波堤⁹⁾なども開発されている。このように様々な浮防波堤が提案され、その消波特性に関する研究がなされてきたが、透過率に関して系統的に水理実験を行った例はほとんど見られず、これらの浮防波堤の消波性能を相互に比較検討することが難しいのが現状である。

浮防波堤に関する研究は、これまで挙げたような実験に基づいたもの以外に、理論解析や数値シミュレーショ

ンによる検討も数多くある。伊藤ら¹⁰⁾はポテンシャル理論に基づいた近似理論で浮防波堤の透過率の計算式を求めている。井島ら¹¹⁾はポテンシャル理論から精密解を求め、矩形浮体の動揺特性を詳細に計算するとともに、浮体の係留形態による動揺特性の違いを示している。大桐ら⁷⁾は内部水流振動型浮防波堤による動揺特性を理論的に解析し、透過率の理論値と実験値を比較している。Williams & McDougal¹²⁾は、弾性係留された没水式の箱型浮体を浮防波堤として提案し、数値計算と水理実験から透過率、反射率および散逸率を比較検討している。しかしながら、これら理論解析および数値シミュレーションの多くはポテンシャル理論に基づいているため、碎波や越波によるエネルギー散逸が支配的である場合、その透過率を理論的に見積もることはできない。

大分県の佐伯鉄工業協同組合によって開発された鋼製浮防波堤は当初「マリノタートル」と呼ばれ、1991年10月、同組合はその試作機を大分県南海部郡鶴見町大島沖に設置係留した。写真-1は大島漁港沖に設置されているマリノタートルの写真である。マリノタートルは、箱型浮防波堤を本体とし、その前面および後面に取り付けられたトラス構造物から成る。浮体本体の長さは20m、幅6m、高さ3m、吃水1.9mである。マリノタートルを考案した際の消波性能向上に対するコンセプトは、入射する波を前面のトラスで碎波させ、小さな波に砕き、それを本体である箱型浮体で反射させると同時に、浮体を透過した波をさらに後面のトラスによって碎波することにより堤体背後の海域を静穏に保とうというものであった。また、トラスを箱型浮体から張り出させることにより、浮体の安定性を一層向上させようというものであった。このようなアイデアの下で試作されたマリノタートルの消波性能は、大島漁港関係者の間で高く評価されており、その実用化が期待されている。しかしながら、設計・施工を行なう上ではさらに詳細な研究が必要であることから、これまで松永ら^{13), 14), 15)}は、このマリノタートルに関する様々な特性を調べてきた。その研究の過程において、当初曲率を持った消波トラスの前面形状は直線的な



写真-1 大島沖に設置されているマリノタートル

ものに単純化され、浮体本体下部に安定性向上の目的で取り付けられていたセンターキールは取り外された。従って、本論文では改良された鋼製浮防波堤を改めて「トラス構造を有する鋼製浮防波堤」(Floating Breakwater with Truss)と名づけ、以下、略してFBTと呼ぶことにする。

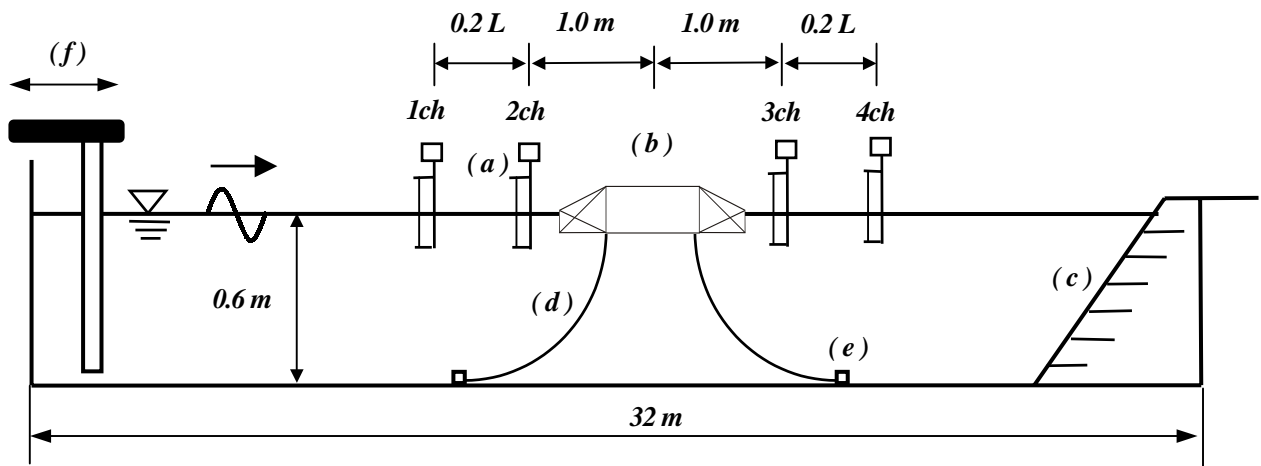
浮防波堤を開発する上で、透過率を定量的に評価することは工学的に非常に重要である。しかしながら、前述したように様々な浮防波堤が提案されているにもかかわらず、その基本的特性の一つである透過率に関して系統的かつ詳細な研究を行なったものはほとんど無いのが現状である。Giles & Sorensen¹⁶⁾あるいはHales¹⁷⁾は、透過率を浮体幅と波長の比でまとめ、比較検討を行っているが、それも十分とは言えない。

従って本研究では、考案されたFBTの消波特性を定性的に調べるとともに、FBTの透過率を定量化するために波と模型のパラメータを広範囲にかつ系統的に変えた実験を行なった。得られたデータを次元解析することにより、透過率を評価するための経験式を提案した。そして、透過率の経験式に基づいて設置海域、消波対象波浪および静穏度目標値からFBTの最適形状を決定するチャートを作成した。さらに、箱型浮体の透過率についても系統的な実験を行なうことにより、FBTに対する経験式の妥当性を検討した。

2. FBTの定性的特性

図-1に実験装置の概要を示す。実験には、長さ32m、幅60cmの造波水槽を用い、二次元規則波を発生させた。水深 h は60cmに固定された。水槽の岸側端には、波の反射を抑えるために緩勾配の消波板を取り付けた。模型は水槽中央部にアンカーとチェーンで緩係留された。模型の前方と後方にそれぞれ2本ずつ容量式波高計を設置し、サンプリング周波数50Hzで波高データをデジタルレコーダーに記録した。4つの波高データを使って分離推定法¹⁸⁾により入射波高、反射波高、透過波高を算定した。得られた入射波高と反射波高のr.m.s.値の比から反射率 K_r を、入射波高と透過波高のr.m.s.値の比から透過率 K_t を算定した。碎波や越波によるエネルギー散逸率は $(1 - K_r^2 - K_t^2)$ から算定された。波高計の間隔は入射波の $1/4$ 波長の整数倍と一致すると分離推定法が適用できなくなるため、波高計の間隔を入射波波長の約0.2倍となるように設定された。

FBTの形状を模式的に示したものが図-2である。FBTは前述したように箱型浮体本体の前後に碎波促進のためのトラス構造を取り付けたものである。実験には、箱型浮体本体の幅 $W=36$ cm、高さ $h_p=12.0$ cm、トラスの張り出し長さ $a=14$ cm、トラス前面の垂直壁の高さ



(a) 容量式波高計, (b) 浮体模型, (c) 消波板, (d) 係留鎖, (e) アンカー, (f) 造波機

図 - 1 実験装置の模式図

表 - 1 水理条件

Run	T (s)	L (m)	H (cm)	H/L	h/L
A	2.0	4.4	12.6	0.029	0.14
B	1.4	2.8	14.0	0.050	0.22
C	1.3	2.3	13.2	0.058	0.26
D	1.1	1.9	9.3	0.050	0.32
E	1.0	1.5	8.9	0.058	0.39
F	0.91	1.3	6.8	0.053	0.47
G	0.83	1.1	5.6	0.052	0.56
H	0.77	0.92	5.2	0.057	0.65
I	0.71	0.79	4.4	0.056	0.76
J	0.67	0.70	3.5	0.050	0.86
K	0.63	0.62	3.1	0.050	0.97
L	0.59	0.54	2.7	0.050	1.1
M	0.56	0.49	2.1	0.043	1.2

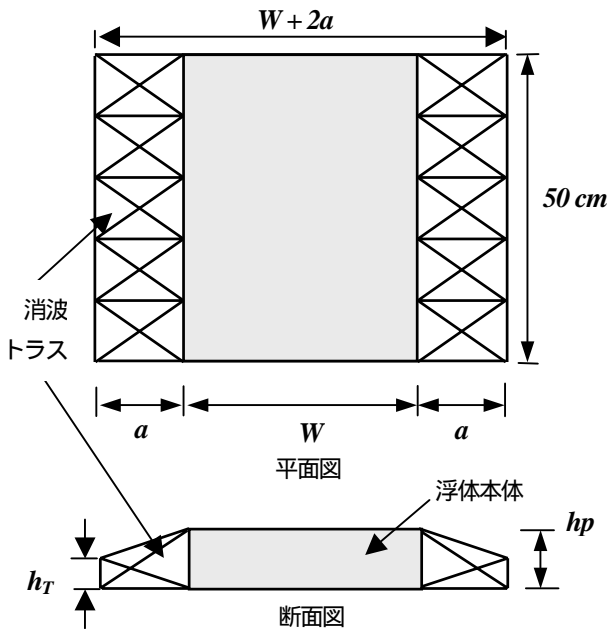


図 - 2 FBT の模型の形状

$h_T=6.0\text{cm}$ の模型を用いた。吃水線がトラス前面壁の上端に一致するように浮体重量を調節した。FBT の消波性能と箱型浮体の消波性能を比較するために、トラス構造を取り除いた箱型模型 ($W=36\text{cm}$, $h_p=12.0\text{cm}$) についても実験を行なった。実験条件を表 - 1 に示す。実験では、造波周期を 0.56 秒から 2.0 秒まで変え、かつ波形勾配がほぼ 0.05 になるように造波振幅を調整した。合計 13 通りの入射波を作用させた。表中、T, L, H はそれぞれ造波周期、波長、波高であり、 H/L と h/L はそれぞれ波形勾配と相対水深である。

図 - 3 は、FBT と箱型浮体による透過率を比較したものである。FBT および箱型浮体ともに、 K_t の値は h/L の増加とともに減少するが、 h/L の全ての範囲において

FBT の方が高い消波効果をもつことがわかる。特に、FBT では $0.6 \leq h/L \leq 0.9$ の範囲において K_t の値を 0.2 以下に低減できることがわかる。また、 $K_t = 0.15$ という最大消波効果は、箱型浮体では得られないものであった。図 - 4 は、反射率 K_r の比較である。 h/L が 0.6 以下では FBT の方が反射率は若干高く、効果的に波を反射しているように思えるが、 h/L が大きくなるにつれて FBT の K_r の値は箱型浮体よりも低くなる。図 - 5 は、エネルギー散逸率の比較である。に関しては、 h/L の全域にわたって FBT の方が格段に大きいことがわかる。このことから、FBT の高い消波効果は波の反射というよりはむしろ、浮体本体の前面に張り出したトラス構造によるエ

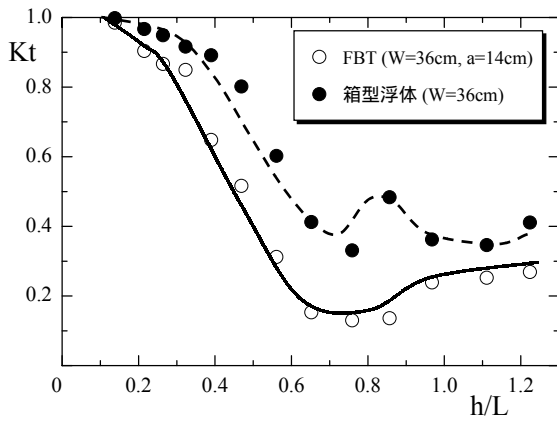


図-3 FBTと箱型浮体の透過率 K_t の比較

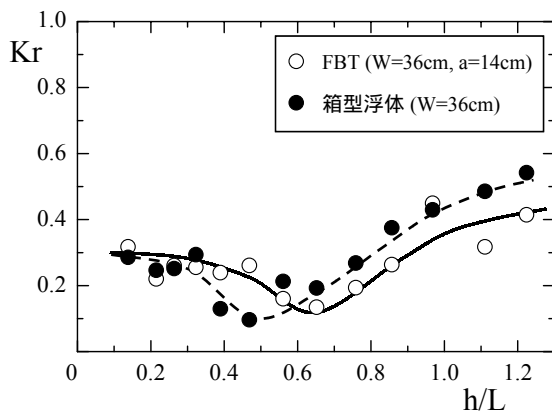


図-4 FBTと箱型浮体の反射率 K_r の比較

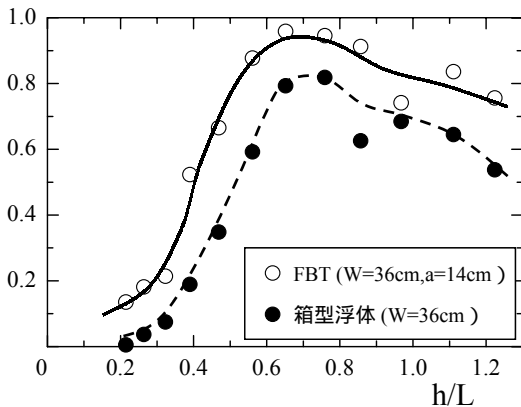
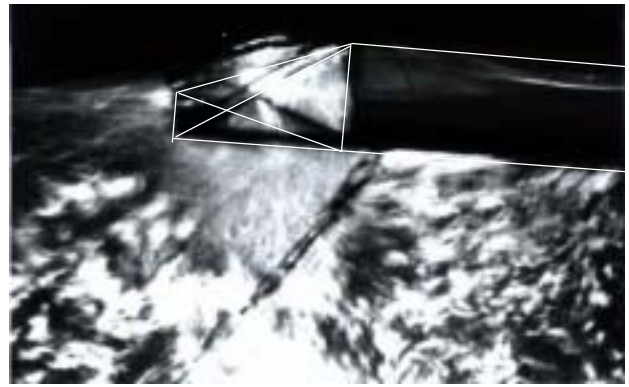


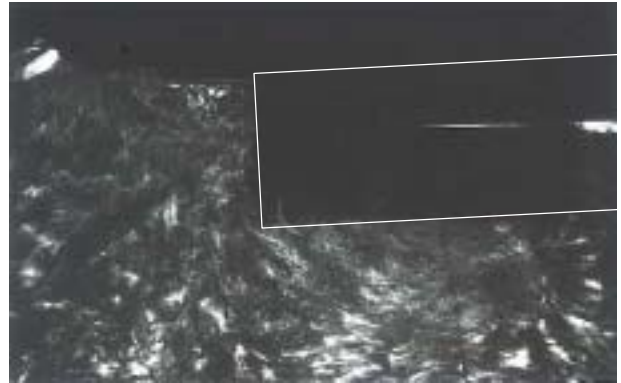
図-5 FBTと箱型浮体のエネルギー散逸率の比較

エネルギー散逸によるものと推測される。

FBTと箱型浮体周辺の流況を可視化実験により比較した。実験に用いたFBT模型の寸法は、 $W=24\text{ cm}$ 、 $a=14\text{ cm}$ 、 $h_F=12.0\text{ cm}$ 、 $h_T=6.0\text{ cm}$ で、箱型浮体模型の寸法は $W=24\text{ cm}$ 、 $h_F=12.0\text{ cm}$ であった。水理条件を $T=0.77\text{ s}$ 、 $L=0.92\text{ m}$ とし、吃水 D を 6.0 cm に設定した。写真-2(a),(b)は、それぞれFBTと箱型浮体の前方にお



(a) FBT



(b) 箱型浮体

写真-2 浮体周辺の流況



写真-3 トラス構造による砕波の様子

ける流況をアルミ粉末で可視化したものである。FBTのトラス付近の流れは非常に乱れており、大小様々なスケールの渦が形成されていることがわかる。一方、箱型浮体周辺の流況はほとんど乱れておらず、波による軌道運動が認められる。写真-3は、FBT前面のトラスによって入射波が砕波する様子を示したものである。トラス周辺で小さな波となって砕ける様子が見られる。これらの結果から、FBTの前方では入射波がトラスによって砕波し、乱れとなって波のエネルギーが効果的に消散するこ

とがわかる。

3. 消波性能の定量的評価

前節で示されたように、FBTは高い消波性能を有しており、その実用化のためには消波性能の定量的評価が必要である。FBTによる透過率 K_t を定量化する上で考えるすべてのパラメータを挙げると、設置海域の水深 h 、入射波の波長 L と波高 H のほかに、FBTの形状を代表するスケールとして浮体本体の幅 W と高さ h_P 、トラスの幅 a と前面垂直壁の高さ h_T および吃水 D となる。つまり、

$$K_t = f(h, L, H, W, a, h_P, h_T, D) \quad (1)$$

と表される。これに次元解析を用いると、

$$K_t = f(h/L, H/L, W/h, a/W, H/h_P, h_T/h_P, h_T/D) \quad (2)$$

となり、透過率は7つの無次元パラメータに依存することになる。これらすべてパラメータの依存性を実験的に調べることは困難であるので、すべての実験において $h_P=12.8\text{cm}$ の浮体を用い、 $h_T/h_P=0.5$ 、 $h_T/D=1.0$ に固定することにした。この場合、式(2)は

$$K_t = f(h/L, H/L, W/h, a/W, H/h_P) \quad (3)$$

となる。これまで取り扱われてきた箱型浮防波堤の高さは施工性および経済性からおおよそ設計波高以下に限られており、その範囲内においては透過率に及ぼすパラメータ H/h_P の効果はほとんど無視されているのが現状である。本実験における H/h_P の値もそのような範囲に設定し、 K_t に及ぼす H/h_P の依存性については考慮しないことにした。この場合、式(3)は

$$K_t = f(h/L, H/L, W/h, a/W) \quad (4)$$

となる。従って、 K_t は相対水深 h/L 、波形勾配 H/L 、相対浮体幅 W/h 、相対トラス幅 a/W の4つのパラメータに依存することになる。さらに、4つのパラメータは K_t に対して独立であると仮定する。つまり

$$K_t = f_1(h/L) f_2(W/h) f_3(a/W) f_4(H/L) \quad (5)$$

が成り立つものとして、以下では、パラメータを独立に変化させることにより、 K_t と h/L の関係(図-3参照)が残りの3つのパラメータによってどのように変化するかを系統的に調べた。ただし、平均水深 h は全実験にわたって 60cm に固定された。

(1) W/h の依存性

透過率 K_t と W/h の関係を調べるために、表-2に示すように W の値を変え、 W/h を 0.27 から 0.80 まで変化させた。また、 a/W の値は 0.5 となるように W の変化に応じて a を変化させた。表-2に示されるそれぞれの実験条件に対して、表-1のRun A~Mまでの波を作用させ、透過率を算定した。Run A~Mの入射波は、特にRun Aを除いて波形勾配はほぼ 0.05 であることから、この実験は、式(5)において2つの無次元パラメータ a/W と H/L が固定された実験とみなすことができる。図-6はRun 1~5で得られた K_t と h/L の関係を W/h をパラメータとして示したものである。 W/h が大きくなると K_t は一様に減少するが、 $K_t - h/L$ の分布形はほぼ相似であることがわかる。 h/L の値が増加するにつれ K_t の値は低減し、ある極小値を取った後若干増加する。このような傾向は浮防波堤全般にわたって見られる特徴で、入射波と浮体との相互干渉によって浮体自体から新たに波が生成されるためと言われている。 $K_t - h/L$ の分布を普遍表示するために、図-7で定義される $K_t=0.5$ となる h/L の値 $(h/L)_{0.5}$ を代表量に選び、規格化したものが図-8である。 W/h が小さい場合 $(h/L)/(h/L)_{0.5} > 1.5$ で多少のばらつきが見られるが $(h/L)/(h/L)_{0.5} < 1.5$ では非常によく透過率が規格化されていることがわかる。図-9は規格化のために導入した $(h/L)_{0.5}$ と W/h との関係を示したものである。当然の結果であるが、相対堤長が増加するにつれ、 $(h/L)_{0.5}$ の値は単調に減少する。ここで、 $W=0$ において波の透過率は 1.0 となり、 $(h/L)_{0.5}$ となるであろうこと、また W において $(h/L)_{0.5} = 0$ となるであろうことを考慮して、 $(h/L)_{0.5} = A(W/h)^{-B}$ を実験データに当てはめ、最小二乗近似により係数 A, B を求めると、経験式

$$(h/L)_{0.5} = 0.37 (W/h)^{-0.44} \quad (6)$$

が得られる。

(2) a/W の依存性

透過率 K_t と a/W の関係を調べるために、表-3に示すように W/h を 0.53 に固定し、 a の値を変える実験を行なった。 a/W の値は 0 から 0.75 まで6通り変えられた。それぞれの実験条件Run 6~11に対して表-1のRun A~Mまでの波を作用させることにより透過率を求めた。

表 - 2 Kt と W/h の関係を調べる実験

Run	W (cm)	a (cm)	W/h	a/W
1	16	8	0.27	0.50
2	24	12	0.40	
3	32	16	0.53	
4	40	20	0.67	
5	48	24	0.80	

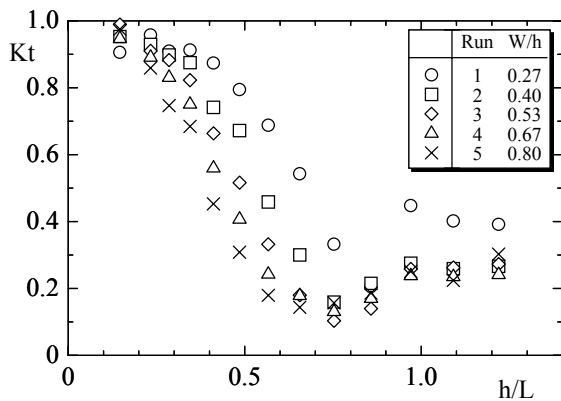


図 - 6 Kt と h/L の関係 (a/W = 0.50)

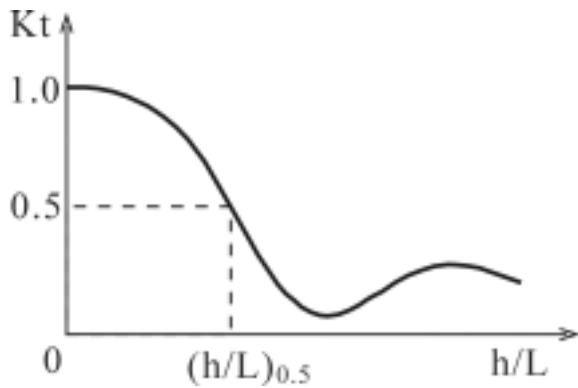


図 - 7 規格化のためのパラメータ $(h/L)_{0.5}$ の定義

前述したように、Run A~M の入射波の波形勾配はほぼ 0.05 であることから、この実験は、式 (5) において 2 つの無次元パラメータ W/h と H/L を固定した実験とみなすことができる。

図 - 10 は Run 6 ~ 11 で得られた Kt と h/L の関係を示している。Kt に対するパラメータ a/W の依存性は W/h の依存性ほど大きくないが、a/W の値が増加するにつれ透過率は一様に低減する傾向が認められる。ここでも、図 - 7 で定義された代表量 $(h/L)_{0.5}$ を導入して Kt - h/L の分布を規格化すると図 - 11 のようになる。箱型浮体 (a=0)

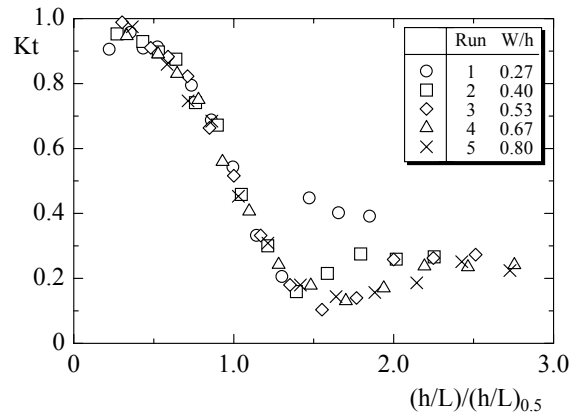


図 - 8 規格化された Kt の分布 (a/W = 0.50)

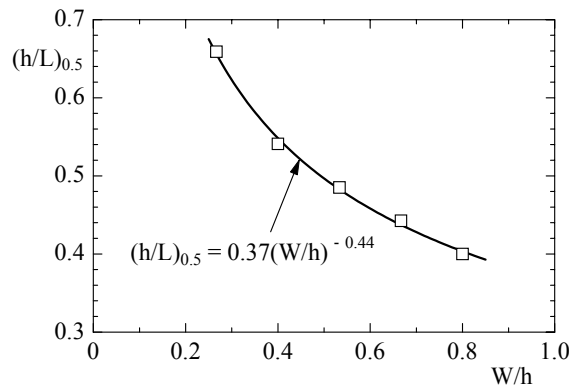


図 - 9 $(h/L)_{0.5}$ と W/h の関係 (a/W = 0.50)

と FBT(a≠0) の両方において、 $(h/L)/(h/L)_{0.5} < 1.5$ での Kt の値は十分良く規格化されていることがわかる。また、図 - 8 と 11 で示された FBT の分布形は非常に良く似ていることがわかる。図 - 12 に $(h/L)_{0.5}$ と a/W の関係を示す。 $(h/L)_{0.5}$ の値は a/W の増加とともに減少しており、a/W < 0.75 ではトラス長が増加するにつれて、透過率も単調に減少することがわかる。W を一定にして a を 0 に近づけると通常の箱型浮体となることより、 $(h/L)_{0.5}$ の値はある一定値に漸近するものと考えられる。また、a/W の値が増加するにつれ $(h/L)_{0.5}$ の値は減少すると考えられる。従って、 $(h/L)_{0.5}$ の経験式として $(h/L)_{0.5} = A e^{-B(a/W)}$ を仮定すると、最小二乗近似により

$$(h/L)_{0.5} = 0.59 \exp \{ -0.39 (a/W) \} \quad (7)$$

が得られる。

(3) H/L の依存性

透過率 Kt に対する波形勾配 H/L の依存性を調べるために、3 つの無次元パラメータ W/h, a/W, h/L の値を固定し、H/L を 0.022 から 0.072 まで変化させて実験を行

表 - 3 Kt と a/W の関係を調べる実験

Run	W (cm)	a (cm)	W/h	a/W
6	32	0	0.53	0.00
7		8		0.25
8		12		0.38
9		16		0.50
10		20		0.63
11		24		0.75

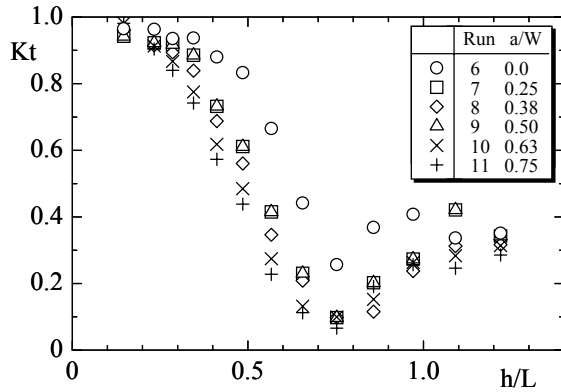


図 - 10 Kt と h/L の関係 (W/h = 0.53)

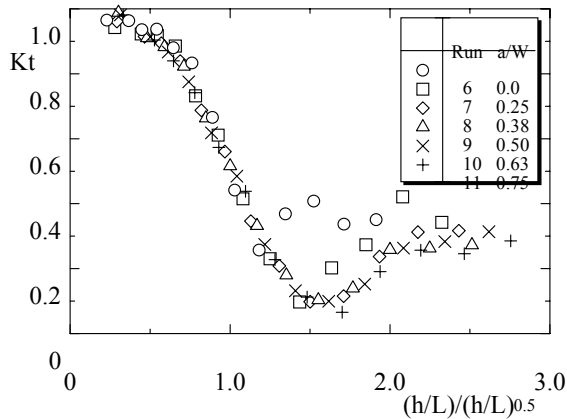


図 - 11 規格化された Kt の分布 (W/h = 0.53)

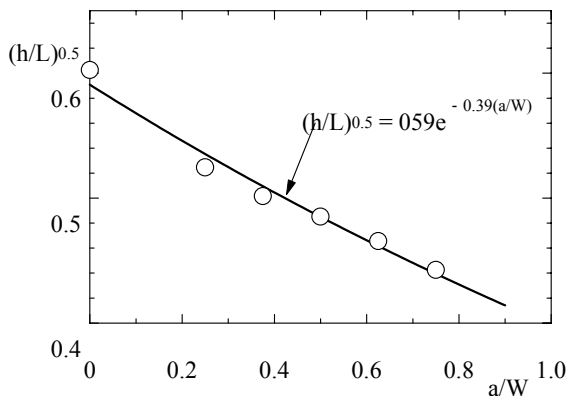


図 - 12 $(h/L)^{0.5}$ と a/W の関係 (W/h = 0.53)

表 - 4 Kt と H/L の関係を調べる実験

Run	L (m)	H (cm)	H/L	FBT 形状	相対水深
12	1.07	2.3	0.022	W/h = 0.53 a/W = 0.50	h/L = 0.56
13		3.5	0.033		
14		4.7	0.044		
15		5.4	0.050		
16		5.5	0.052		
17		6.3	0.059		
18		7.8	0.072		

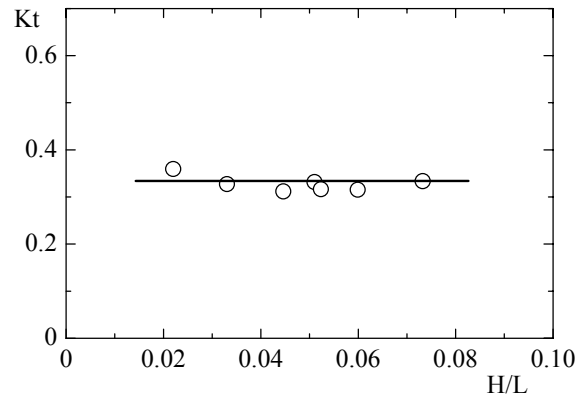


図 - 13 Kt と H/L の関係 ($h/L = 0.56$, $W/h = 0.53$, $a/W = 0.50$)

なった．実験条件を表 - 4 に示す．図 - 13 は Run12~18 で得られた Kt と H/L の関係を示したものである．FBT による波の透過率は入射波の波形勾配にほとんど依存しないことがわかる．このことから、表 - 1 Run A~M における H/L のばらつきはそれほど重要でないことが示唆される．

4 . FBT 透過率算定法

FBT の透過率は式 (5) で与えられると仮定して実験を行なった．その結果、代表量 $(h/L)_{0.5}$ を導入することにより、 $Kt - h/L$ の分布形は十分良く規格化されることがわかった．事実、図 - 14 は図 - 8 と 11 で示された FBT のデータを同一座標上にプロットし直したものであり、透過率は非常によく普遍表示されていることがわかる．図中の実線はデータに基づいて引いた近似曲線である．様々な条件の下で得られた FBT の透過率は近似曲線で十分よく表されることがわかる．

Kt の分布が $(h/L)_{0.5}$ の導入により普遍的に表されるということは、規格化に用いた代表量 $(h/L)_{0.5}$ が

$$(h/L)_{0.5} = g_1(W/h) g_2(a/W) g_3(H/L) \quad (8)$$

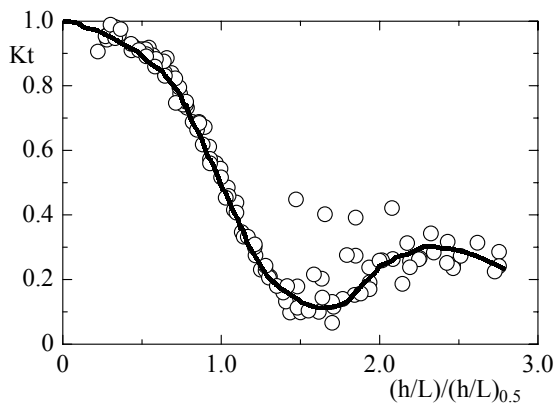


図 - 14 Kt の普遍形

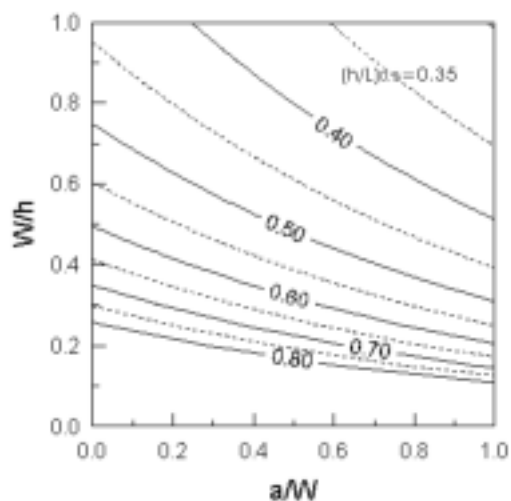


図 - 15 $(h/L)_{0.5}$ の等値線図

で表されることを意味する。さらに、 K_t の値が H/L にほとんど依存しないことを考慮すると、式(8)は

$$(h/L)_{0.5} = g_1(W/h) g_2(a/W) \quad (9)$$

となる。式(6)から

$$\begin{aligned} (h/L)_{0.5} &= g_1(W/h) g_2(0.50) \\ &= 0.37 (W/h)^{-0.44} \end{aligned} \quad (10)$$

であること、式(7)から

$$\begin{aligned} (h/L)_{0.5} &= g_1(0.53) g_2(a/W) \\ &= 0.59 \exp\{-0.39(a/W)\} \end{aligned} \quad (11)$$

表 - 5 経験式の妥当性を検証するための実験条件

Run	W (cm)	a (cm)	W/h	a/W
19	16	0	0.27	0.00
20	24	0	0.40	
21	40	0	0.67	
22	48	0	0.80	

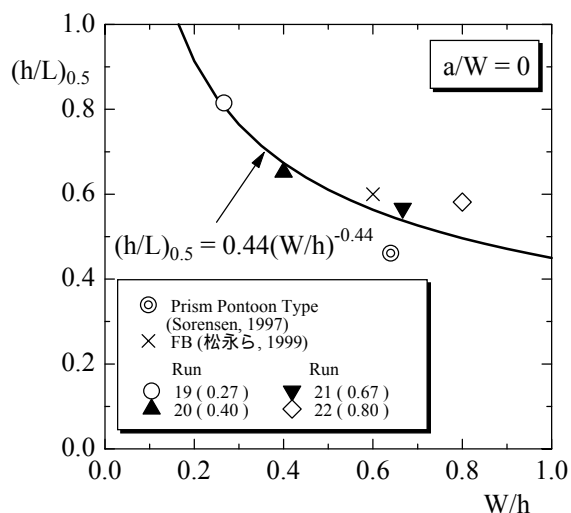


図 - 16 $a/W=0$ におけるデータと式(10)との比較

であることを考慮すると、 $(h/L)_{0.5}$ に対する経験式は

$$\begin{aligned} (h/L)_{0.5} &= \frac{0.59 \exp\{-0.39(a/W)\} \{0.37(W/h)^{-0.44}\}}{g_1(0.53)g_2(0.50)} \\ &= 0.44 (W/h)^{-0.44} \exp\{-0.39(a/W)\} \end{aligned} \quad (12)$$

で与えられることになる。ここで、 $g_1(0.53)g_2(0.50)$ の値は Run 3 あるいは Run 9 における $(h/L)_{0.5}$ の値に対応しており、実験結果から $(h/L)_{0.5} = 0.49$ を用いた。式(12)を等値線図で示したものが図 - 15 である。図 - 14 で示された透過率に関する近似曲線と図 - 15 の $(h/L)_{0.5}$ の等値線図を用いることにより、設置海域、消波対象波浪および静穏度目標値が与えられれば、FBT の最適形状を決定することが可能となる。つまり、水深 h 、波長 L 、透過率 K_t が与えられれば、図 - 14 から $(h/L)_{0.5}$ の値を求めることができ、その値に対して浮体幅 W とトラス幅 a の最適な組み合わせを図 - 15 から求めればよいことになる。

式(12)で示された経験式の妥当性を検証するために、箱型浮体に対する実験を行なった。実験条件は表 - 5 に示されている。図 - 16 は Run 19~22 において表 - 1 Run A~M の波を作用させて $K_t - h/L$ の分布を求め、その分

布から $(h/L)_{0.5}$ の値を読み取りプロットしたものである．
 その中には，Sorensen⁸⁾と松永¹⁵⁾のデータも加えられている．
 図中の実線は式(12)において $a/W=0$ と書いたものである．
 経験式は箱型浮体のデータと比較的良好一致しており，
 変数分離の仮定やその他の解析手法が妥当であったことを示唆している．

5. 結論

トラス構造を有する鋼製浮防波堤 FBT の定性的特性を明らかにした．
 また，透過率に関して系統的な水理実験を行い，
 透過率の規格化およびその規格化に際して導入した代表量の
 定量化を行った．その結果，FBT は箱型浮防波堤に比べて
 非常に高い消波能力を備えており，箱型浮体前方に取り付け
 られたトラス構造によって入射波が効果的に碎波されることが
 明らかとなった．

また，FBT の透過率と相対水深の関係は，透過率が 0.5
 となる相対水深を代表量として導入することにより，普遍的に
 表されることがわかった．さらに，無次元パラメータを独立に
 変化させ，系統的に実験を行なうことにより，その代表量を
 算定する経験式を求めた．これらの結果から，設置海域の水
 深，消波対象波浪および静穏度目標値が既知である場合，
 FBT の最適形状を決定することが可能となった．

今回の研究は，FBT の透過率を定量的に明らかにしたものである
 が，実用化に向けて解明されなければならない FBT の動揺
 特性等についても今後研究していく予定である．

謝辞：本論文作成において，貴重な実験データを提供して
 頂いた九州大学大学院総合理工学府の修士課程 2 年津守博通君
 に心から感謝いたします．

参考文献

- 1) 中村孝幸，加藤健一，河野徹，上村稔：スラミング現象を利用した浮防波堤の波浪制御効果について，*海洋開発論文集*，Vol.14, pp.311-315, 1998.
- 2) 大隈正登，江河直人，中野敏彦，加藤英夫：浮防波堤の動揺特性と消波性能に関する現地観測，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp.520-524, 1985.
- 3) 小島治幸，井島武士：没水水平版による波の分裂と波浪制御に関する研究，*海岸工学論文集*，第 36 巻，pp.529-533, 1989.
- 4) 小島治幸，入江功，古賀巖：浮体と没水水平版のハイブリッド構造物による波の制御，*海岸工学論文集*，第 40 巻，pp.631-635, 1993.
- 5) 小島治幸，入江功，池崎靖：浮体と没水水平版によるハイブリッド消波堤の水理特性に関する研究，*海岸工学論文集*，第

- 41 巻，pp.751-755, 1994.
- 6) Murali, K. and Mani, J.S.: Performance of Cage Floating Breakwater, *Jour. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.123, No.4, pp.172-179, 1997.
- 7) 大橋丹，柏木正，池上国広，尾崎雅彦，磯崎芳男：内部自由水を利用する浮消波堤の消波性能に関する研究，*日本造船学会論文集*，Vol.169，pp.215-222, 1991.
- 8) Sorensen, R.M.: *Basic coastal engineering*, 2nd ed., Chapman & Hall, International Thompson Publishing, New York, 1997.
- 9) 今井貫爾，奥津一夫，岩瀬浩二：シート型浮消波工の消波効果，*土木学会第 44 回年次学術講演会講演概要集*，pp.726 - 727，1989．
- 10) 伊藤喜行，千葉繁：浮防波堤の水理に関する近似理論と応用，*港湾技術研究所報告*，第 11 巻第 2 号，pp.137-166, 1972.
- 11) 井島武士，田淵幹修，湯村やす：有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形，*土木学会論文報告集*，第 202 号，pp.33-48, 1972.
- 12) Williams, A.N. and McDougal, W.G.: A Dynamic Submerged Breakwater, *Jour. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.122, No.6, pp.288-297, 1996.
- 13) 筧下智之，樫田操，松永信博，津守博通，神崎孝行：鋼製浮消波堤マリノートルの消波特性，*土木学会西部支部研究発表会講演概要集*，，pp.290-291, 2000.
- 14) 津守博通，松永信博，樫田操，筧下智之，神崎孝行：マリノートルの特徴的構造が消波性能に及ぼす影響について，*土木学会西部支部研究発表会講演概要集*，，pp.292-293, 2000.
- 15) Kanzaki, T., N. Matsunaga, M. Hashida, H. Tsumori and K. Uzaki : Wave absorption efficiency of a steel floating breakwater with truss structure to promote wave breaking , *Proc. of TECHNO-OCEAN 2000 International Symposium*, pp.739-742 , 2000.
- 16) Giles, M.L. and Sorensen, R.M.: Determination of Mooring Loads and Wave Transmission for a Floating Tire Breakwater, *Proc. of Coastal Structures '79 Conference*, ASCE, pp.1069-1085.
- 17) Hales, L.Z.: Floating Breakwaters : State-of-the-Art Literature Review, *Technical Report 81-1*, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1981.
- 18) 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.248，1976.

TRANSMISSION COEFFICIENTS OF A STEEL FLOATING BREAKWATER WITH TRUSS STRUCTURE AND THEIR QUANTIFICATION

Nobuhiro MATSUNAGA, Misao HASHIDA, Ken-ichi UZAKI, Takayuki KANZAKI and Yukiko URAGAMI

A steel floating breakwater named FBT, which is composed of a rectangular prism pontoon and truss structure attached to its front and rear sides, is in the process of development and the characteristics of wave absorption have been investigated by means of flow visualization and wave measurements. The comparison with a box-typed floating breakwater used widely today has shown that FBT has a very high efficiency for wave absorption and it is attributed to wave breaking due to the truss structure. The profiles of the transmission coefficients of FBT against the relative water depth i.e., the ratio of water depth to wavelength, have been normalized by using the relative water depth at which the transmission coefficient takes 0.5 as a representative quantity and the normalized data collapse well on an empirical curve. The relationships between the representative quantities and two dimensionless parameters, i.e., the ratio of the pontoon width to wavelength and the ratio of truss width to pontoon width, have been obtained empirically. These results enable us to design the optimum shape of FBT when the hydraulic conditions are set.