

傾斜板を用いた波浪制御構造物に関する研究

高橋陽一*・盛高裕生*・磯部雅彦**・渡辺 晃***

1. 結 言

沿海域の有効利用を図るため、新しい形式の各種大水深消波構造物の開発研究が各方面で進められている。ここで研究の対象とする傾斜板とは静水面付近に緩い傾斜角をもつ平板を杭基礎などで固定し、入射波を反射・碎波させることにより消波効果を挙げようとする構造物である。この形式は海水の交換率が高く、また作用する波力が小さく、比較的大きな水深で用いることができることなどから近年注目されつつある。

傾斜板の消波・波力特性は波の諸元に相対的な板長と没水深や傾斜角度などで変化する。透過率を低減させるためには傾斜板後端を静水面上に突出させることが考えられ、傾斜板後端の天端高による影響も考慮する必要がある。本研究では、この傾斜板の諸元を計画時に適切に選択し、また設計において外力を正確に評価することを目的として、傾斜板の構造諸元と消波・波力特性との関係を広い範囲で水理実験により求めた。また、青山ら(1988)により提案された非定常緩勾配方程式を基礎としたモデルを拡張し、静水面上に突出した傾斜板後端からの越波を考慮した数値解析手法により傾斜板上を進行する波の変形を計算して、実験結果との比較・検討を行った。

2. 消波・波力特性に関する水理実験

(1) 実験方法

実験結果の整理ならびに数値解析に用いた座標系および構造諸元を図-1に示す。傾斜板の諸元は角度 θ 、吃水深 d 、および天端高 h_T (または堤体幅 B) によって定まる。

消波機能に関する実験は幅 20 cm、深さ 30 cm、長さ 11 m の小型の規則波水路を用い、消波体模型の設置位置を造波板から 6.5 m の地点として行った。模型の傾斜板部は厚さ 1 mm の鉄板を 2 枚上下に重ねた構造とし、前後に鉄板をスライドすることにより傾斜板の長さを自由

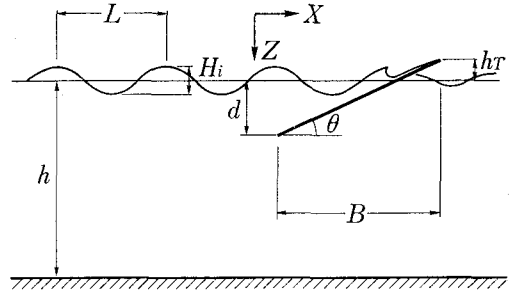


図-1 傾斜板の構造諸元

に設定できるようにした。この傾斜板を水路上部から金具で固定し、鉛直位置を自由に設定できる構造とした。実験は、傾斜板の角度 θ を 10° 、 20° 、 30° 、吃水比 d/h を 0.1 から 0.8、天端高波高比 h_T/H_i を -0.5 から 2.0 として、これらを組合わせた条件で行った。ここで現実の設計および計測上の制約から、実験における傾斜板の長さの範囲は、水深の $1/4$ から 4 倍とした。

波力測定に関する実験は幅 50 cm、深さ 1.0 m、長さ 68 m の水路を用いて行った。模型は傾斜板部を厚さ 1 cm のベニヤ板製とし、水路床から 2 台の二分力計によって固定した。傾斜板の諸元は、消波実験の結果から透過率が 0.6 以下となる範囲とした。

両実験における実験条件を表-1 に示す。

表-1 実験条件

	消波実験	波力実験
相 対 水 深 h/L	0.10, 0.15, 0.20, 0.50	0.10, 0.15, 0.20
波 形 勾 配 H_i/L	0.02, 0.04, 0.06 (非碎波)	
水 深 h (cm)	20	50
天端高波高比 h_T/H_i	-0.5, -0.2, 0.0, 0.5, 1.0, 2.0	
前 端 吃 水 比 d/h	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, (0.7), (0.8)	

(2) 消波特性に関する検討

透過率 K_T 、反射率 K_R は模型沖側、岸側に設置した波高計による記録から合田ら(1976)の入・反射波分離法で求めた。またエネルギー消費率 K_L は以下の式によって計算した。

* 正会員 新日本製鐵(株) 鉄構海洋事業部
 ** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科
 *** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

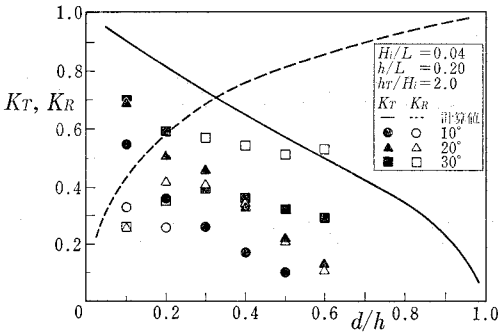


図-2 吃水比 d/h と透過率 K_T , 反射率 K_R の関係

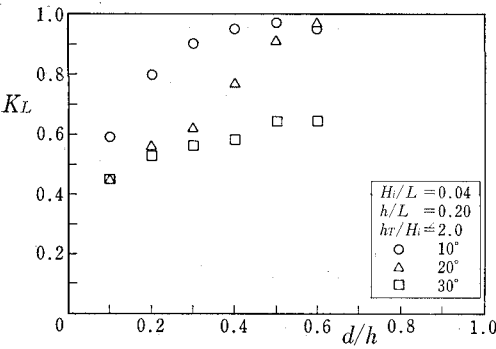


図-3 吃水比 d/h とエネルギー消費率 K_L の関係

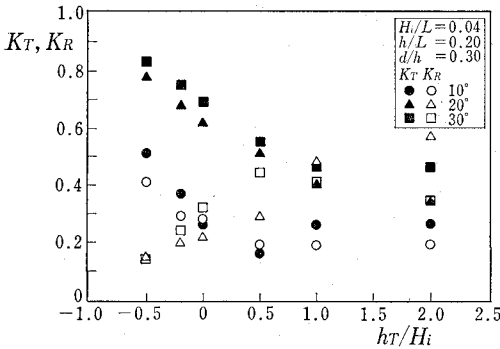


図-4 天端高波高比 h_T/H_i と透過率 K_T , 反射率 K_R の関係

$$K_L = 1.0 - K_T^2 - K_R^2 \dots\dots\dots (1)$$

図-2 は $H_i/L=0.04$, $h/L=0.20$ の波浪条件で、傾斜板の天端高波高比を $h_T/H_i=2.0$ として傾斜上からの越波がない状態での、吃水比 d/h と K_T , K_R との関係を示す。ここで d/h が等しければ、傾斜板の水平方向への投影面積すなわち鉛直遮蔽面積は等しく、 θ が小さいほど堤体幅 B は大きくなる。 d/h の増加により水路の遮蔽面積が増加すると K_T は一様に減少するが、同一の d/h で比較すると、 $\theta=10^\circ$ の場合に K_T が最小となる。また図中には、微小振幅波理論によるエネルギーフラックスを傾斜板前の上部と下部に分割し、上部に対す

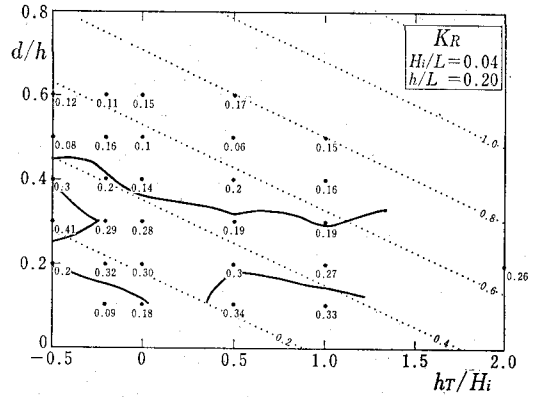
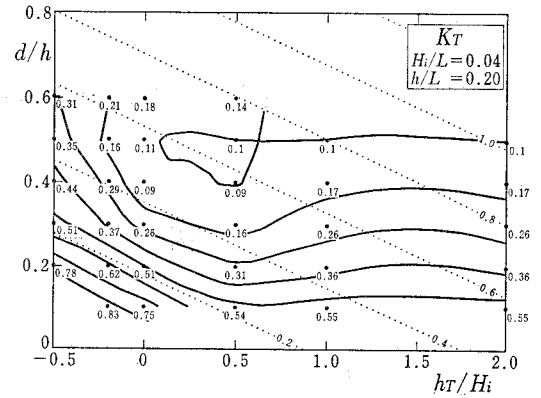


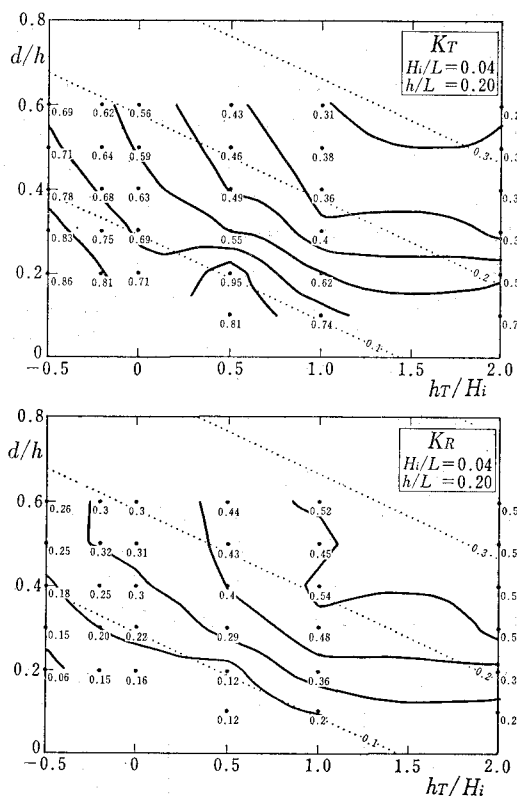
図-5 透過率 K_T , 反射率 K_R のコンター図 ($\theta=10^\circ$)

る分が完全反射し下部に対する分が完全に透過するものとして求めた K_T , K_R の計算値を実線で示した。 K_T , K_R の実験値はいずれも計算値より低い値をとり、特に K_R については板上を進行する波の砕波によるエネルギー減衰が重要であることを示している。

図-3 は同条件におけるエネルギー消費率 K_L を示したもので、 K_L は d/h に従い増加し、また角度が小さいほど大きい。これは傾斜板の実長が大きいくほどエネルギー減衰が大きいことを示している。

次に $d/h=0.3$ の条件で天端高波高比 h_T/H_i と K_T , K_R の関係を図-4 に示す。 h_T/H_i が増加するに従い、 K_T はほぼ一様に減少し、 $h_T/H_i=1.0$ 前後ではほぼ一定の値となる。これは h_T/H_i がある値以上になると傾斜板後端からの越波が起らなくなるためである。

このように傾斜板の消波特性は d/h と h_T/H_i によって大きく変化する。そこで横軸に h_T/H_i 、縦軸に d/h をとり、 K_T , K_R を波浪条件ごとにコンター図として整理した例が図-5, 6, および 7 である。図中に示した点線は B/L が等しい条件を結んだ等 B/L 線である。 K_T , K_R は θ , d/h , h_T/H_i によって変化し、 K_T はいずれの波浪条件においても図中、右上に最小値、左下に最大値を持つ。また K_T は h_T/H_i が 0.5 から 1.0 以上ではほぼ一定となることがわかった。 K_T のコンター図は大き

図-6 透過率 K_T , 反射率 K_R のコンター図 ($\theta=20^\circ$)

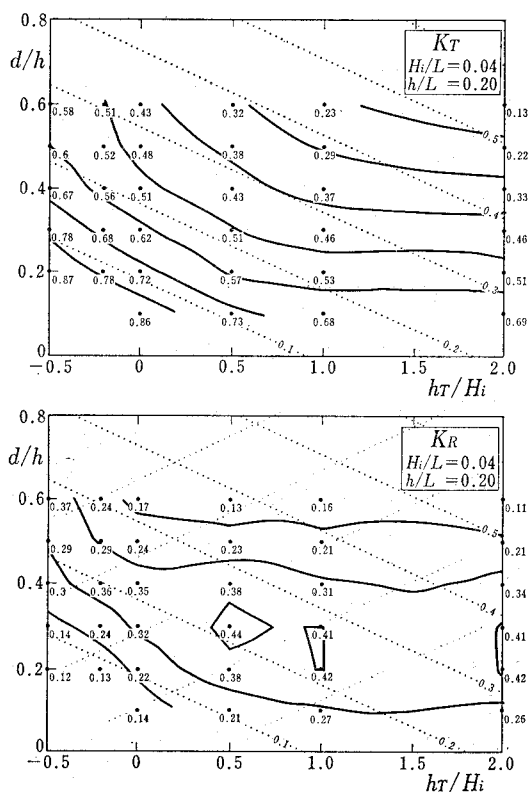
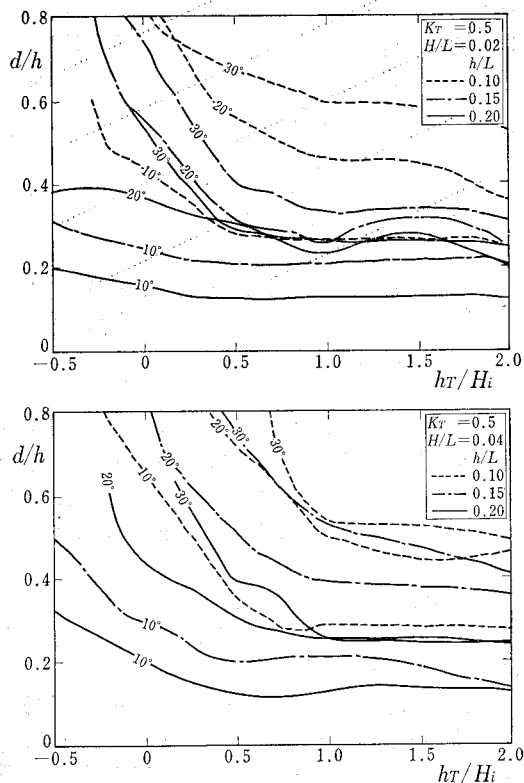
く分けて次の3部分に分けられる。すなわち h_T/H_i によらず K_T がほぼ一定となる部分, K_T のコンターが等 B/L 線にほぼ平行となる部分, そして d/h によらず K_T がほぼ一定となる部分である。実際の計画・設計では潮位による天端高, および吃水比の変動に対して消波機能が低下することのないよう, 若干の余裕を持って構造を決定する必要がある。この点で K_T のコンターが等 B/L 線に平行な範囲では傾斜板の設置高さによって K_T が変化せず, 潮位変動の影響を受けないことを示している。

K_R は角度および h_T/H_i の増加とともに増加する傾向を持つが, 板上での碎波, 越波の有無等でより大きく変化する。また $\theta=20^\circ, 30^\circ$ では $h_T/H_i \geq 1.0$ とした場合に一部の波浪条件で K_R が0.6前後という大きな値となったが, 実用の範囲では傾斜板は十分に低反射の消波構造といえる。

図-8 には波形勾配 $H_i/L=0.02, 0.04$ での, $K_T=0.5$ のコンターの角度および相対水深による変化を示した。

(3) 波力特性に関する検討

図-9 に $\theta=20^\circ, h_T/H_i=1.0, d/h=0.3$ の条件における波力の時刻歴波形を示した。ここで水平波力 F_x は波の進行方向を正, 鉛直波力 F_z は下向きを正とした。

図-7 透過率 K_T , 反射率 K_R のコンター図 ($\theta=30^\circ$)図-8 $K_T=0.5$ のコンター図 ($H_i/L=0.02, 0.04$)

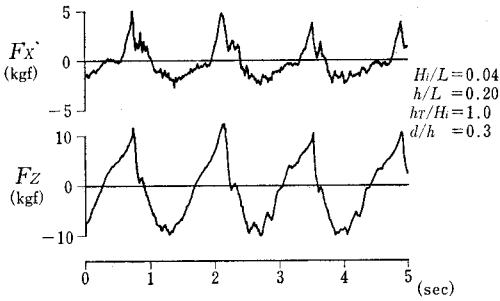


図-9 波力の時刻歴波形 ($\theta=20^\circ$)

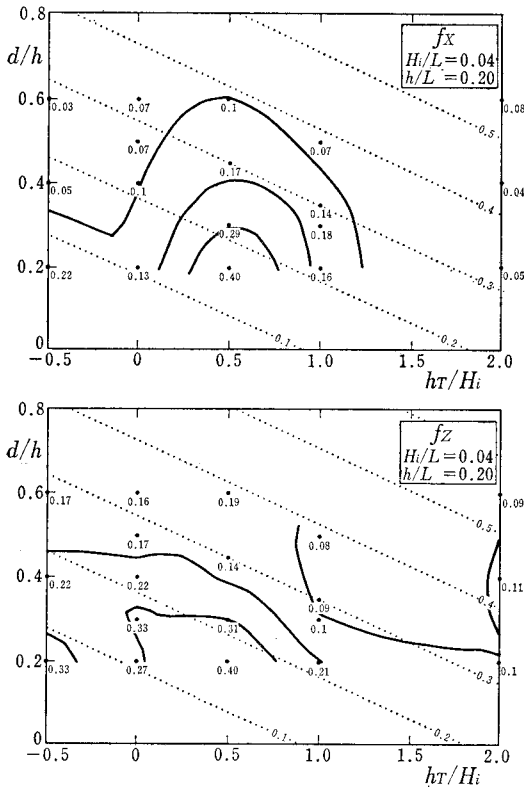


図-10 波力係数 f_x, f_z のコンター図 ($\theta=20^\circ$)

水平波力の波形には傾斜板上の碎波によるものと考えられる不規則な変動が現われている。また鉛直波力の最大値と水平波力の最大値はほぼ同時に作用することがわかる。これは実験を行った波浪条件ほぼ全てに共通する傾向である。

図-10 に水平および鉛直の波力係数を K_T, K_R と同様にコンター図で整理した例を示した。波力係数 f_x, f_z は以下の式によって求めた。

$$f_x = F_x / (w_0 \cdot A_x \cdot H_t) \quad (2)$$

$$f_z = F_z / (w_0 \cdot A_z \cdot H_t) \quad (3)$$

ここで A_x, A_z は傾斜板の水平および鉛直方向の投影面積、 F_x, F_z は波力の測定値である。 f_x, f_z とも

に B/L の減少とともに増加する傾向を示すが、この波浪条件では $h_t/H_t=0.5$ 付近に極大値を持つことがわかる。これは波力は板上での碎波の影響を受け、構造諸元によって碎波の状況が異なるためと考えられる。測定を行った全条件での f_x の上限値は $\theta=10^\circ$ で 0.22, $\theta=20^\circ$, $\theta=30^\circ$ で 0.40 となり、 f_z の上限値は $\theta=10^\circ$ で 0.25, $\theta=20^\circ$ で 0.40, $\theta=30^\circ$ へは 0.50 となった。

以上の消波・波力特性に関する結果を用いて、 $h=10$ m, $T=5.2$ sec, $H_t=2.6$ m の条件で $K_T \leq 0.3$ となるよう傾斜板の設計を行うと、傾斜板はカーテンウォール式防波堤などと比べて十分に経済的な構造となった。

3. 消波特性の数値計算

(1) 緩勾配方程式の適用

図-11 に示すように、一様水深域に傾斜板が没水している場合は、領域 I, II, IV に対して緩勾配方程式を適用し、領域 III については矩形管路として取扱ひ、境界での接続条件を与えることにより解析が可能である。

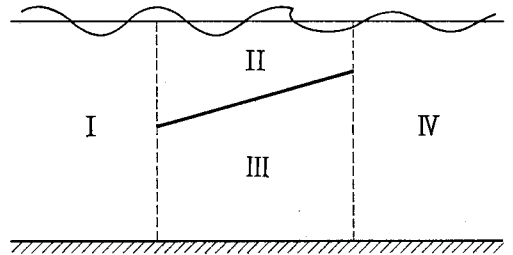


図-11 没水している場合の領域の定義

一方、傾斜板後端が静水面から突出している場合には、傾斜板を波が遇上、流下し、傾斜板上に遇上域が形成される。そこで図-12 に示すように傾斜板上に遇上域としての計算開始点を設定し、そこから先を領域 V としてエネルギー逸散のない流体運動として計算した。また領域 I, II, III, IV は没水している場合と同様に計算を進めた。

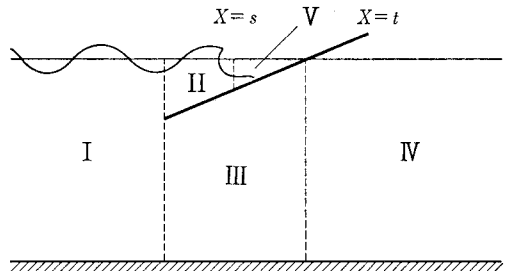


図-12 後端が突出している場合の領域の定義

碎波減衰を含む非定常緩勾配方程式は、水面変動 ζ と線流量 Q を用いて次式で与えられる (Dibajnia・渡辺, 1987)。

