

II-80 可動斜板堤(BEACH)の動揺と消波の特性

室蘭工業大学大学院	学生員	吉田 敦
大成建設株式会社	正 員	酒井 雅史
室蘭工業大学工学部	正 員	近藤 俊郎

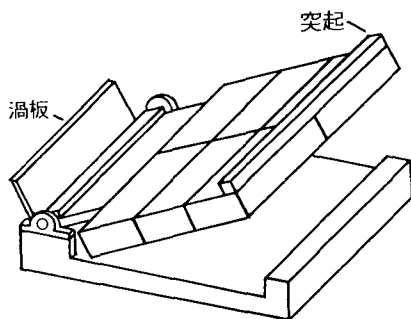
【1】まえがき

近年、海洋空間の多目的利用の必要性が増大し、中でも海浜における行動性レクリエーションの需要が急増している。そして、その適地である静穏海域に設置される、低コスト性、可動性、景観性に優れた簡易消波施設の開発が望まれている。

可動斜板堤は平成元年度から大成建設株式会社と室蘭工業大学により、こうした目的にかなう低コスト、軽量かつ可搬性の構造物として開発、研究されている。

この可動斜板堤は図・1.1「可動斜板堤立面図」に示すように、「可動斜板」と「基礎底部」からなり、この2つの構造物はピンでつながれる。「可動斜板」は、内部を6つの空気室に分割されており、これら空気室の空気量を調整することで所定の可動斜板堤の設置角 ϕ に合わせることができる。

本研究では二次元水理模型実験により、可動斜板の表面形状（突起、渦板等）や動揺することによる消波特性への影響、更には不規則波に対する消波特性を調べ、可動斜板堤の基本的な特性を明らかにすることを目的とする。



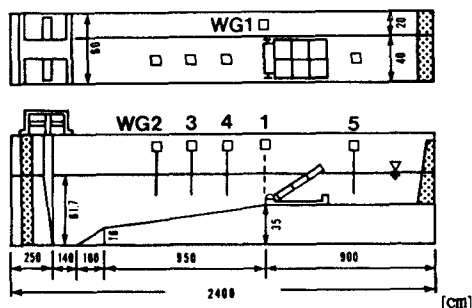
図・1.1 可動斜板堤立面図

【2】実験装置

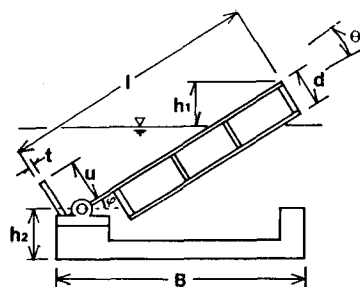
実験は図・2.1に示す一端に不規則造波装置を持つ、長さ $L24m$ ×幅 $B0.6m$ ×深さ $D1m$ の二次元造波水槽に斜面を設置し、60cmの水槽幅を40cmと20cmに仕切り、40cmの方に可動斜板堤の模型を設置し行った。

実験で用いる可動斜板堤の模型寸法模型の縮尺は実海域の1/15として決定した。可動斜板堤の各部寸法は図・2.2に示される記号で取り扱うことにする。

各種データの測定は、波高 H は容量式波高計を、可動斜板の動揺角 θ はポテンショメータを用いて行った。それぞれのデータはペンオシロとA/D記録装置に記録した後、解析を行った。



図・2.1 実験装置



図・2.2 可動斜板堤断面図

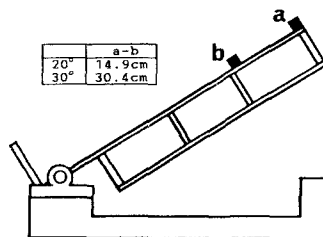
Oscillation and Wave Energy Dissipation of Movable Breakwater "BEACH"
by Atsushi YOSHIDA, Masashi SAKAI, Hideo KONDO.

【3】突起効果実験

(1) 目的と実験方法

「突起効果実験」は突起の消波効果に与える影響を調べるために、可動斜板表面上に突起としてアルミ製の角材（25mm角）を用い、その有無、またその数による消波効果を調べ、最も効果的な消波性能を発揮する突起の状態を調べ、可動斜板表面の基本形状を決定することを目的とした。

「突起効果実験」は図・3.1に示すように、2つの突起を配置することを考え、可動斜板の頂上に配置するものをa、可動斜板と水面が接する所に配置するものをbとし、a、b共に配置しないものを突起無し（T0）、aのみに配置するものを突起1個（T1）、a、b共に配置したものを突起2個（T2）とし、模型の設置角 φ を20°、30°と変化させ、その時の反射率 K_R 、伝達率 K_T を調べた。



図・3.1 突起の配置図

表・3.1 突起効果実験実験条件

実験条件	対象モデル：斜板長 $l = 8.5\text{m}$ [56cm]，斜板厚 $d = 1.0\text{m}$ [6.7cm]， $h_2 = 1.58\text{m}$ [10.5cm]，渦板長 $u = 1.2\text{m}$ [8.0cm]，渦板厚 $t = 0.15\text{cm}$ [1cm]。
	突起形態：突起無し（T0），突起1個（T1），突起2個（T2）。
	波高 H ：1.0m [6.7cm]，1.5m [10cm]，2.0m [13.3cm]。
	周期 T ：3.0sec [0.77sec]，4.0sec [1.03sec]，5.0sec [1.29sec]。
	模型の設置角 φ ：20° ($h_1 = 1.11\text{m}$ [7.4cm])，30° ($h_1 = 2.61\text{m}$ [17.4cm])。
測定項目	反射率 K_R ，伝達率 K_T 。

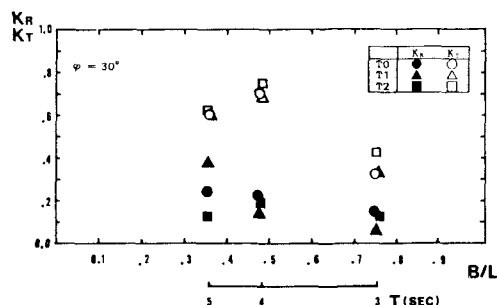
[]内は模型縮尺1/15での換算値。

(2) 実験結果と考察：可動斜板設置角 $\varphi = 30^\circ$ ，波高 $H = 1.0\text{m}$ のケース。

①反射率 K_R ：可動斜板上の突起の有無，またはその数によらず，波の周期 T が3，4，5秒と増加するに従い，ほぼ反射率 K_R は増加する傾向にある。

突起の効果についてみると，突起1個（T1）の方が，他の突起なし（T0），突起2個（T2）よりも，周期 $T = 3$ ，4秒で反射率 K_R は若干小さくなる。突起なし（T0）の場合は可動斜板上に突起が無いことで，入射波のエネルギーロスが他の2ケースより期待できないことから反射率 K_R の値が他の2ケースより大きくなるものと考えられる。突起2個（T2）の場合，水面に配置された突起bが波に対する障害となり，波のエネルギーロスは期待できるにしても，反射率 K_R を増加させる結果になり易い。

②伝達率 K_T ：突起の有無，またはその数による違いは波の周期 T が3秒，4秒のとき，突起2個（T2）のケースが他の2つのケースに比べて若干伝達率 K_T の値は大きい。このときの可動斜板の動揺角 θ は他の2ケースときよりも大きくなる事が確認されているので，このことが影響していると思われる。また，突起なし（T0），突起1個（T1）についてはほとんど同じ値をとることから，波高が1m程度の時，可動斜板頂上の突起aはほとんど伝達率 K_T に影響を与えることはない。



図・3.2 突起効果実験結果

また、周期 $T=4$ 秒の時にいずれのケースでもピーク値をとっているが、これについては前後の周期を更に詳しく調べた形状効果実験の項で説明する。

③まとめ：①、②で述べた事柄を整理してみると、反射率 K_R 、伝達率 K_T 共に比較的小さな値をとるのは突起1個（T1）の場合である。

突起が2個配置される場合には、可動斜板上を組上した波が戻るときに、水面に配置した突起に引っ掛かり、水が可動斜板上から抜け切る前に次の波が到着することになり、可動斜板がスムーズな動きを行うことができずに、消波効果に悪影響を与えていることが考えられる。

更に、実際に施工することを考えると、突起2個（T2）の場合には水面に配置された突起に対し、入射波が直接作用することで波の打ち上げが激しくなり周辺海域の波浪条件に悪影響を与える懸念されること、またその突起に対し衝撃的に波圧が作用することから、構造的にもその部分は弱点となり実用的な可動斜板形状とは言い難い。

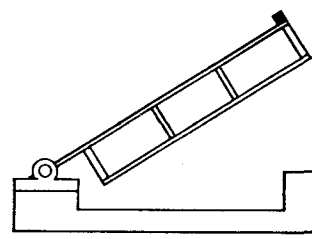
突起無し（T0）の場合には越波が多く伝達率 K_T を必要以上に大きくすることが懸念される。その点、突起1個（T1）の場合には可動斜板頂上に配置された突起が越波を押える効果がある。

以上のことから、突起効果実験の結果から、可動斜板上に突起1個を配置したタイプ（T1）が最も良い消波効果と安定した波浪制御が期待できるものと考えられる。

【4】渦板効果実験

（1）目的と実験方法

「渦板効果実験」では、可動斜板の下端に取り付けられた渦板が可動斜板の消波特性にどの程度影響を与えているかを調べるために、突起効果実験で最も消波効果が優れているものと判断された突起1個（T1）のケースについて、渦板を取り外したもの（図・4.1）について、突起効果実験と同じように模型の設置角 φ を 20° 、 30° と変化させ、反射率 K_R 、伝達率 K_T を調べ、可動斜板堤の基本形状に渦板を取り入れるべきかどうかの検討を行った。



図・4.1 渦板効果実験模型側面図

表・4.1 渦板効果実験実験条件

実験対象	対象モデル：斜板長 $l=8.5\text{m}[56\text{cm}]$ ，斜板厚 $d=1.0\text{m}[6.7\text{cm}]$ 。 $h_2=1.58\text{m}[10.5\text{cm}]$ ，突起1個（図・3.1のaに配置。），渦板無し。
	波高 H ： $1.0\text{m}[6.7\text{cm}]$ ， $1.5\text{m}[10.0\text{cm}]$ ， $2.0\text{m}[13.3\text{cm}]$ 。
	周期 T ： $3.0\text{sec}[0.77\text{sec}]$ ， $4.0\text{sec}[1.03\text{sec}]$ ， $5.0\text{sec}[1.29\text{sec}]$ 。
	模型の設置角 φ ： 20° ， 30° 。（ h_1 は突起効果実験に同じ。）
測定項目	反射率 K_R ，伝達率 K_T 。

[]内は模型縮尺1/15での換算値。

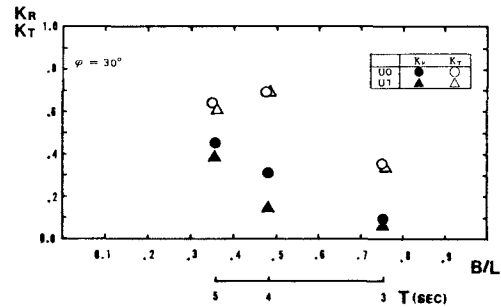
（2）実験結果と考察：可動斜板設置角 $\varphi=30^\circ$ ，波高 $H=1.0\text{m}$ のケース。

①反射率 K_R ：反射率 K_R は渦板無し（U0）に比べ、渦板有り（U1）の方が周期 $T=3, 4, 5$ 秒のいずれについても小さくなっている。波高 1.0m の場合については渦板の効果が期待したとおりに表れている。

②伝達率 K_T ：伝達率 K_T については渦板無し（U0），渦板有り（U1）の差は全くと言っていいほど認められない。つまり渦板の効果は伝達率 K_T には表れないことになる。

これら2つのケースはは可動斜板の頂上（a）に突起を配置しているために、ある程度越波を防ぐことができ、可動斜板堤の伝達率 K_T は可動斜板の動揺角 θ に更に依存するようになる。可動斜板の動揺角 θ は両ケースではほとんど同じであることが確認されており、渦板の有無が可動斜板の動揺に影響を与えることはない。

③まとめ：①，②より，伝達率 K_T ，動揺角 θ には渦板の有無による効果は表れていないが，反射率 K_R については波高 $H=1.0\text{m}$ のときに良い効果が認められたので，渦板を形状効果実験に用いる可動斜板の基本形状（SS）に採用することにした。



図・4.2 渦板効果実験結果

【5】形状効果実験

（1）目的と実験方法

本実験は先に行われた「突起効果実験」と「渦板効果実験」のそれぞれの結果より，良好な消波効果と安定した波浪制御が期待できる可動斜板形状を突起1個（T1），渦板有り（U1）のタイプと考え，これを可動斜板の基本形状（SSタイプ）として採用し，斜板長 l を3種類，斜板厚 d を2種類に変化させ，それぞれを組み合わせた6ケースで模型の設置角 ϕ を 15° ， 20° ， 25° ， 30° ， 35° から可能なものを選び，その消波特性，模型の動揺特性の把握を行うため，消波特性 K_R ， K_T ，模型の動揺角 θ の計測を行った。

表・5.1 形状効果実験実験条件

実験対象	対象モデル：SS（斜板長 $l=8.5\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.0\text{m}$ ）． RS（斜板長 $l=10.0\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.0\text{m}$ ）． TS（斜板長 $l=11.5\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.0\text{m}$ ）． SD（斜板長 $l=8.5\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.5\text{m}$ ）． RD（斜板長 $l=10.0\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.5\text{m}$ ）． TD（斜板長 $l=11.5\text{m}$ ，斜板厚 $d=1.5\text{m}$ ）．
	可動斜板表面形状：突起1個，渦板有り．
	波高 H ：0.5m[3.3cm]，1.0m[6.7cm]，1.5m[10.0cm]，2.0m[13.3cm]．
	周期 T ：3.0[0.77]sec，3.5[0.90]sec，4.0[1.03]sec，4.5[1.16]sec， 5.0[1.29]sec．
	模型の設置角 ϕ ： 15° ， 20° ， 25° ， 30° ， 35° ．
測定項目	反射率 K_R ，伝達率 K_T ，動揺角 θ ．

[] 内は模型縮尺1/15での換算値。

（2）実験結果と考察：可動斜板設置角 $\phi=30^\circ$ ，波高 $H=1.0\text{m}$ のケース。

①反射率 K_R ：始めに斜板長 l の長さが反射率 K_R に与える影響を調べるために，斜板厚 $d=1.0\text{m}$ が等しく，斜板長 $l=8.5\text{m}$ ， 10.0m と異なるSSとRS，斜板厚 $d=1.5\text{m}$ が等しく，斜板長 $l=8.5\text{m}$ ， 10.0m と異なるSDとRDについて比較，考察を行う。

斜板厚 $d=1.0\text{m}$ のSSとRSにおいては，周期 T が短い3.0，3.5秒において両者の反射率 K_R の値の違いが著しい。これが周期 $T=4.0$ ，4.5，5.0秒となるとSS，RS両者の反射率 K_R の値の差はほとんどない。一方で斜板厚 $d=1.5\text{m}$ のSD，RDの間では斜板長 l の違いの影響は現れない。

次に斜板厚 d が反射率 K_R に与える影響を調べる。斜板長 $l=8.5\text{m}$ 、斜板厚 $d=1.0\text{m}$ 、 1.5m と異なるSSとSDでは、SDが短周期側で反射率 K_R が小さく、最も長周期な $T=5.0$ 秒になるとSDの方が大きくなる。更に斜板長 $l=10.0\text{m}$ 、斜板厚 $d=1.0\text{m}$ 、 1.5m と異なるRSとRDでは、周期 $T=5.0$ 秒の時にRDの反射率 K_R が大きい他は差は見られない。周期 T が長くなると斜板厚 d の厚い方が反射率 K_R も大きくなる。

②伝達率 K_T ：ここに取り上げた波高 $H=1.0\text{m}$ を含めていずれの波高 H においても、斜板長 l 、斜板厚 d に関係無く、伝達率 K_T の周期 T の増加に対する変化の仕方はほぼ同じである。ただし、その中で斜板厚 $d=1.0\text{m}$ の場合(SS, RS)と、斜板厚 $d=1.5\text{m}$ の場合(SD, RD)では全ての波高 H における全周期 T について斜板厚 d が薄いSSの方が伝達率 K_T の値が大きい。

これはSDの可動斜板の方が空気室の容積が大きく、少ない動揺角 θ で容易に浮力を得ることができるため、SDの方がSSに比べ動揺角 θ が小さくなり、入射波 H_I のエネルギーが伝達波 H_T のエネルギーとして伝えられる量が少ないために、斜板厚 d が薄いSSの方が伝達率 K_T の値が大きく、斜板厚 d が厚いSDの方が伝達率 K_T の値が小さくなるものと考えられる。

波高 $H=1.0\text{m}$ を含め波高 $H=1.5\text{m}$ 、 2.0m の3つの伝達率 K_T は周期 $T=4.5$ 秒で1つのピークをとり、これは可動斜板の動揺角 θ の変化と対応している。これは可動斜板と渦板で形成される水域の固有水面振動の影響によるものと考えられる。すなわち、この3角形水域での単節のseicheの周期が約4.5秒であり、この周期と同周期の波が可動斜板堤に作用するときに共振現象により、伝達率 K_T にピークが生じる。

③エネルギー損失率 K_L^2 と可動斜板の動揺角 θ ：動揺角 θ は、全ての波高 H において、RSが最大で、SS、RDの順で小さく、SDが最も動揺角 θ が小さい。これはSSとSDではSDの方が空気室の容積が大きく、浮力を受け易く動揺角 θ を小さくする。更に斜板の長さ l を延長することで基本型では越波させた波を延長部分で受け、模型の動揺角 θ を増す。

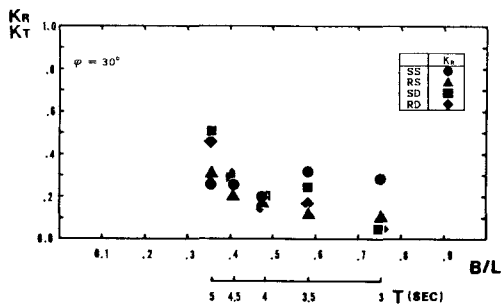
エネルギー損失率 K_L^2 は可動斜板の動揺角 θ に対応していることが解る。可動斜板の動揺角 θ が小さいほどエネルギー損失率 K_L^2 は大きく、 θ が大きいほどエネルギー損失率 K_L^2 は小さくなる。

【6】可動斜板部固定実験

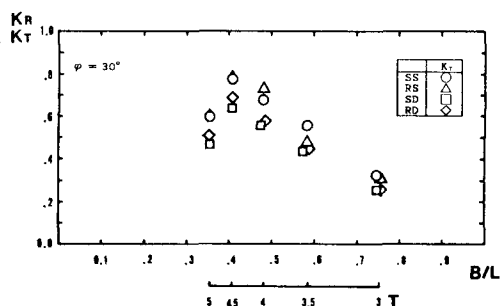
(1) 目的と実験方法

可動斜板の動揺による消波効果を明らかにするため、可動斜板を固定して消波実験を行った。

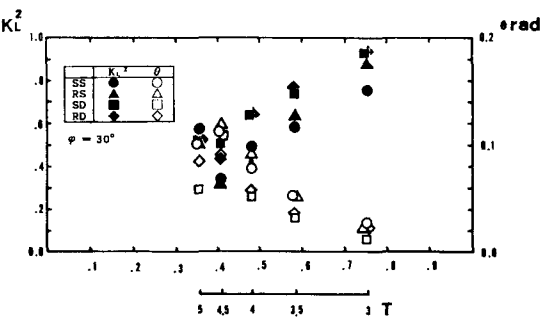
形状効果実験で決定した基本形(SS)について可動斜板の上端を所定の角度 φ に固定(FX)し、



図・5.1 形状効果実験 — 反射率 —



図・5.2 形状効果実験結果 — 伝達率 —



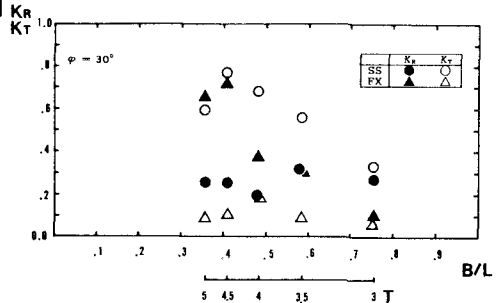
図・5.3 形状効果実験結果
— エネルギー損失率、動揺角 —

形状効果実験と同様の実験条件で反射率 K_R 、伝達率 K_T を測定した。

(2) 結果と考察：可動斜板設置角 $\varphi = 30^\circ$ 、波高 $H = 1.0\text{m}$ のケース。

①反射率 K_R ：短周期側では両者の値は比較的近い値であるが、長周期側になると固定（F X）した方の反射率 K_R が著しく大きくなる。これは短周期側ではS Sでも可動斜板の動揺量 θ が小さく、可動斜板の固定状態（F X）に近いために、両者の違いがほとんど表れなかったものと思われる。逆に長周期側では可動斜板が動揺できるときの動揺量 θ が大きくなるために、それが固定されたときの場合とは顕著に違いが表れるようになる。

②伝達率 K_T ：可動斜板を固定した方（F X）がしない方（S S）より、伝達率 K_T が小さくなる。これは可動斜板が固定され、越波が小さく押えられるためである。



図・6.1 固定実験結果

【7】不規則波実験

(1) 目的と実験方法

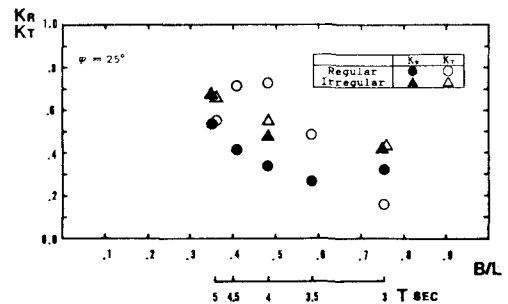
可動斜板堤の消波特性をより実海域に近い条件で把握するために、不規則波実験を行った。

可動斜板堤の形式はS S型で可動斜板の設置角 $\varphi = 25^\circ$ とし、これにbretshneider-光易型を期待スペクトルとして、 $H_{1/3} = 0.5\text{m}$ 、 $T_{1/3} = 3, 4, 5$ 秒の3波について反射率 K_R と伝達率 K_T の計測した。

(2) 実験結果と考察：可動斜板設置角 $\varphi = 25^\circ$ 、波高 $H(H_{1/3}) = 0.5\text{m}$ のケース。

①反射率 K_R ：不規則波実験の反射率 K_R の方が規則波実験のそれに比べ、いずれも大きな値を与えている。これは可動斜板が1個1個の波にスムーズに対応することができず、その結果、規則波に比べ、反射率 K_R が大きくなったと思われる。

②伝達率 K_T ：不規則波の伝達率 K_T は規則波実験の結果と異なり、明らかなピークを形成することはない。規則波は単一周期の波の繰り返しなので、渦板と可動斜板の間の水の自由振動と波の周期 T による共振現象が起こり得るが、不規則波は様々な周期 T の波を含み、共振現象は起こらない。



図・7.1 不規則波実験結果

【8】結語

可動斜板の形状実験により、可動斜板堤の反射率 K_R を低減するためには、①可動斜板の頂上に突起を取り付けること。②可動斜板の下端に渦板を設けること。が有効であり、③可動斜板上の水面固有周期に伝達率 K_T が影響している。

更に可動斜板を固定した実験を行い、長周期側で可動斜板の動揺による反射率 K_R の減少が認められ、不規則波実験では反射率 K_R 、伝達率 K_T が規則波実験結果よりも大きな値になることも解った。

最後に、本研究に協力をいただきました学部4年生の薄木琢嗣君、古澤彰範君に感謝致します。

【9】参考文献：

近藤・竹田：消波構造物，森北出版，1983。 / 合田：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，1990。 / 田中ら：可動斜板堤（BEACH）の水理特性について，土木学会第45回年次学術講演会概要集，1990。 / 酒井ら：可動斜板堤の消波・波力特性について，土木学会第46回年次学術講演会概要集，1991。