

斜板消波潜堤 (SURF) の消波効果と機能設計

Wave Dissipating Effect of a Swash Plate Type Submerged Breakwater (SURF) and its Design Method

上野成三*・佐藤明美**・加藤雅也***・宇多高明****・小俣篤*****
Seizo Ueno, Akemi Sato, Masaya Kato, Takaaki Uda and Atsushi Omata

A new type of submerged breakwater, named SURF, has been developed. SURF is made up of a caisson with a top plate and several sills, and quite effective on the reduction of wave height in spite of its small dimension. In this study, a mechanism of wave energy dissipation and, characteristics of transmission and reflection coefficients are discussed based on the results from two-dimensional model tests. Furthermore, the design method is proposed by using the experimental results.

keywords submerged breakwater, wave attenuation, dimensional design

1. まえがき

斜板消波潜堤(SURF)は外洋に面した沿岸域の静穏化を目的とした海域制御構造物の一つである(図-1参照)。通常、この種の消波構造物としては、捨石、異形ブロックなどを用いた離岸堤が広く用いられてきているが、従来の離岸堤は、①設置水深に限界があるため創出される静穏域が狭いこと、②天端が水面上に突出しているため周囲の景観を阻害すること、などの欠点がある。これらのうち、景観の問題に関しては、潜堤タイプの人工リーフが既に多くの海域で設置され、問題の解決が図られようとしている。しかし、人工リーフでは有効な消波性能を得るために堤体幅をかなり広くする必要があり、海域を構造物で覆う面積が大きくなることが一つの難点となる。これに対して、SURFの場合コンクリートケーソン構造を採用することによって大水深域への適用が可能であり、また、広い静穏域を確保できること、さらに、SURFは斜板上での強制砕波や、突起、開口部、遊水室による砕波の促進などを組み合わせた複合的な消波機構を持つため、小断面でも優れた消波性能を発揮することなどが利点としてあげられる。

本研究は、SURFに関する一連の開発研究のうち、消波特性に関する研究(小山ら, 1988a, 1988b; 加藤ら, 1989; 渡会ら, 1990; Ueno et al., 1990; 建設省土木研究所, 1991)をとりまとめたものである。まず、堤体周辺の流況の可視化実験や、SURFの断面形状の決定に至るまでに行われた数々の消波実験の結果より、SURFの消波メカニズムや、斜板、遊水室などの各部材が消波に果たす役割を明らかにする。次いで常時から高波浪時まで広範囲の波浪条件における規則波実験によってSURFの消波特性を明らかにする。さらに、不規則波実験より、規則波での実験結果が不規則波作用時にも成立することを示す。最後に消波機能の設計法として、要求される消波特性を満足する断面形の決定法を取りまとめる。

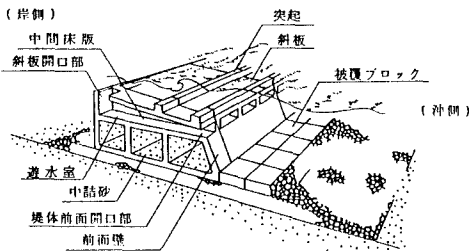


図-1 斜板消波潜堤(SURF)の模式図

2. SURFの消波特性に関する2次元水理実験

(1) 実験装置および実験方法

2次元水槽内に斜面と水平床からなる架台を設置し、水平床上に堤体模型を固定して実験を行い、作用波が常時波浪、高波浪ケースごとに実験装置を使い分けた(図-2)。常時波浪を対象とした実験は実験縮尺 s を1/25相当とし、堤体を水平床上、斜面のり肩より1.4mの位置に設置した(図-2a)。一方、高波浪を対象とした実験では、海底勾配による入射波の変形が消波特性に及ぼす影響を検討するために、堤体を斜面のり肩部に設置した(図-2b)。この場合の実験縮尺は $s=1/50$ である。両ケースの実験条件を表-1に示す。実験ケースは作用波の種類により規則波・不規則波実験に分けられる。規則波実験の波浪条件は常時波浪から砕波後の波まで広範囲の条件を設定した。潮位に関しては、堤体設置水深 h を変化させて現地換算で±2mの潮位差を再現した。また、海底勾配は常時波浪作用時には水平とし、高波浪作用時には $i=1/80 \sim 1/10$ と変

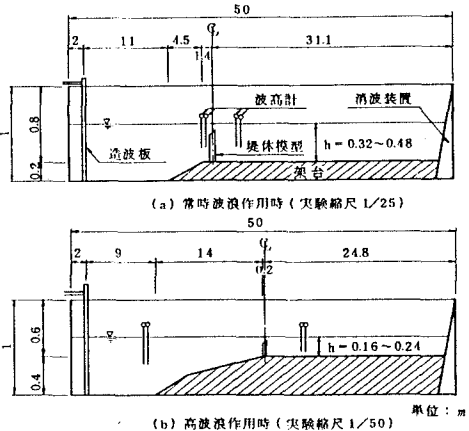


図-2 実験装置

* 正会員 工修 大成建設㈱技術研究所 (245 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)
** 正会員 理修 大成建設㈱技術研究所 *** 正会員 東急建設㈱土木技術部
**** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室 ***** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

表-1 実験条件

作用波	実験縮尺 s	入射波高 $H_1, H_{1/3}$ (cm)	周期 $T, T_{1/3}$ (s)	堤体設置水深 h (cm)	海底勾配 i	対象波浪
規則波	1/25	4~16	1.2~2.8	32~48	0	常時波浪
規則波	1/50	10~24	0.85~2.83	16~24	1/80~1/10	高波浪
不規則波	1/25	4, 8	1.2, 1.6, 2.0	36, 40, 44	0	常時波浪
不規則波	1/50	10	1.41, 1.98	20	1/50	高波浪

化させた。不規則波の実験ケースでは、規則波実験の代表的なケースを選んで常時波浪、高波浪を対象とした実験を行った。なお、波高測定時における作用波の状態は、常時波浪作用時の場合造波板からの再反射波が堤体に達する以前の初期状態とし、高波浪作用時の場合波高計の設置位置が造波板に近く初期状態を満足できる時間が短いため、水路内の多重反射波が定常になった状態とした。

SURFの消波特性は規則波・不規則波実験の透過率 K_T 、反射率 K_R を以下の方法により算出して評価した。まず、規則波実験では、透過波高 H_T を入射波高 H_1 で除して K_T を求めた。ここに、 H_1 は堤体を設置しない状態での堤体設置位置の波高であり、その算出方法は次のようである。常時波浪の作用時には、堤体を設置しない状態で堤体位置に波高計を設置し、直接 H_1 を測定した。作用波が多重反射状態となる高波浪の作用時には、まず、斜面沖側の水平床面に設置した2台の波高計（図-2b）のデータから合田らの方法（合田ら、1976）により入射波高を求め、次に、この波高に浅水変形と砕波減衰を考慮して堤体位置の波高 H_1 に換算した。 H_T は透過波高であり、堤体岸側の波高計で得られたデータを同じくゼロアップクロス法により算出した。 K_R は沖側2台の波高計のデータから合田らの方法により求めた。

次に、不規則波実験では、 K_T 、 K_R を次式により求めた。

$$K_T = \sqrt{E_T / E_1} \quad \text{----- (1)}$$

$$K_R = \sqrt{E_R / E_1} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 E_1, E_T, E_R はそれぞれ入射波、透過波、および反射波のエネルギーである。 E_1, E_R は沖側2台の波高計のデータから合田らの方法により求め、 E_T は岸側の波高計のデータから算出したエネルギースペクトルを周波数積分した値とした。

(2) 消波メカニズム

斜板、遊水室、突起、開口部などの各部が消波に果たす役割を明らかにするために、レーザライトシートを水槽上方から照射して堤体周辺の岸沖断面における流況を可視化した（図-3）。なお、図-4には堤体直前での水位変動 η に流況測定時の各位相を示した。実験条件は $s=1/25$ 、 $h=20\text{cm}$ 、没水深 $R=2\text{cm}$ 、 $H_1=8\text{cm}$ 、 $T=2\text{s}$ である。入射波の峰が堤体沖側直前にある場合、堤体沖側では波動成分に対応した急激な上昇流が発生する。また、沖側の突起周辺ではこの上昇流が強められ、小規模な砕波が発生し始める（a）。さらに時間が経過すると入射波は砕波しながら斜板上に達する。このとき沖側の突起背後で渦が発生し、岸側の突起には砕波した水塊が衝突し気泡を巻き込んだ強

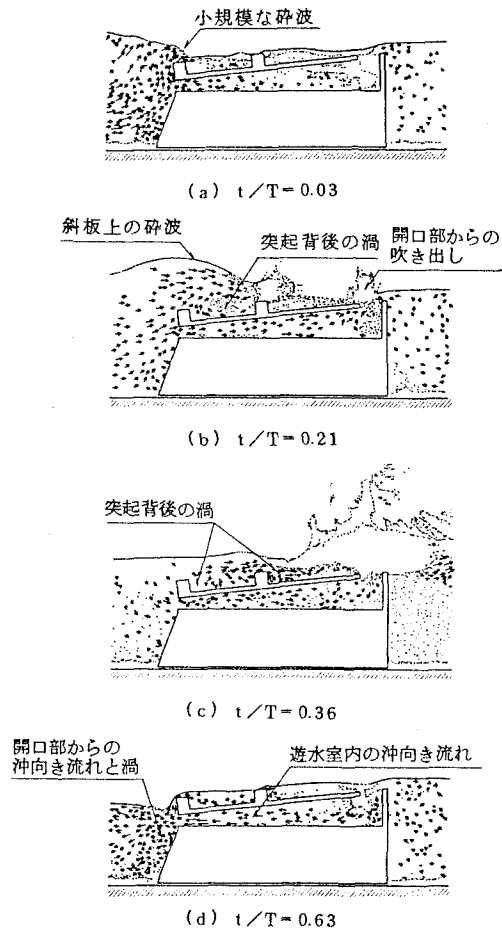


図-3 レーザライトシートにより可視化されたSURF周辺の流況

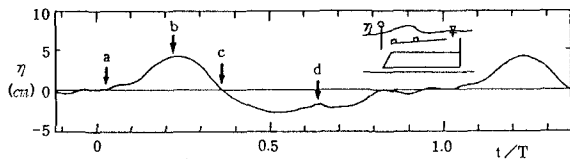


図-4 堤体直前の水位変動と可視化時の位相

い乱れが発生する。また、遊水室内で発生する岸向き流れは斜板上の入射波より速く進行して斜板開口部から吹き出し、堤体岸側からの沖向き流れと衝突する (b)。さらに入射波が斜板上を進行すると、入射波は完全に砕波し、気泡を大量に巻き込んだ水塊となる。この時両突起の背後で渦が発生する。また、堤体岸側では表層に集中した岸向き流れが発生する (c)。入射波の峰が堤体を通過した直後では、斜板上で砕波した水塊の一部が斜板開口部から遊水室へ流れ込み遊水室内で強い沖向き流れが発生する。この沖向き流れは堤体沖側開口部から流出し堤体沖側に大規模な渦を発生させる (d)。

以上の結果から、斜板、突起、遊水室が消波に果たす役割は次のようにまとめられる。斜板は入射波の砕波を促進するとともに、斜板上と遊水室内の岸向き流れに位相差を生じさせる。この位相差により斜板開口部付近では遊水室からの岸向き流れと堤体岸側からの沖向き流れが衝突し、入射波エネルギーの損失に結びつく。突起は砕波の促進や突起背後の渦の発生により入射波エネルギーの損失に寄与する。さらに、開口部を持つ遊水室は、斜板上で砕波した水塊の一部を取り込むことにより、堤体岸側へ水塊が落ち込むことによって生じる2次的な造波量を低減する。さらに、堤体沖側開口部からの沖向き流れにより生じる大規模な渦もエネルギー損失に寄与する。

斜板、突起、遊水室の消波特性に対する寄与を定量的に調べるために、 K_T と堤体幅沖波波長比 B/L_0 の関係をSURFの最終断面 (type1) と、突起、遊水室を持たない断面 (type2) とで比較する (図-5)。実験条件は $s=1/25$ 、 $R/h=0.1$ 、 $0.01 \leq H_0/L \leq 0.08$ である。図には矩形潜堤に関する微小振幅波ポテンシャル理論に基づいた解析結果

(井島・佐々木, 1971) もあわせて示した。解析には砕波によるエネルギー損失を考慮していないため、実験値は解析値を大きく下回る。しかし、突起、遊水室のないtype2の K_T が B/L_0 に対して極値を示す傾向は理論値とほぼ一致している。一方、type1の K_T はtype2に比べて小さく、 B/L_0 に対する極値も見られない。この K_T の減少は特に B/L_0 の小さい領域で著しいことから、突起、遊水室が長周期波の消波に大きく寄与することが分かる。一般に潜堤は長周期波の消波が困難であり、堤体幅を広くとる必要があったが、突起、遊水室を設置したSURFは従来の潜堤に比べて堤体幅の減少が可能であり優れた構造であると言える。なお、type1,2での K_R の差はほとんど生じなかった。

(3) 規則波作用時の消波特性

SURFの消波機能の設計資料を得るために幅広い条件下で規則波実験を行った。その結果から得られた代表的な消波特性を以下に述べる。

①換算沖波波高水深比 H'_0/h 、海底勾配 i と K_T , K_R の関係

$R/h=0.1$ 、 $B/L=0.143$ の場合における H'_0/h と K_T , K_R の関係を海底勾配 i ごとに図-6に示す。入射波が堤体沖側で砕波しない場合、 H'_0/h が増加すると K_T は減少するが、砕波後の波に対しては H'_0/h が増加しても K_T はほぼ一定の値を示す。一方、 K_R は、 $H'_0/h \leq 0.4$ の範囲では H'_0/h が増加すると K_R は増加傾向にあるが、 $H'_0/h > 0.4$ の高波浪時には H'_0/h が増加すると K_R は減少傾向となり、また、砕波後の波に対しては H'_0/h によらず K_R はほぼ一定の値を示す。高波浪作用時で H'_0/h の増加に伴い K_T , K_R がともに減少するのは、入射波高が増大すると堤体位置での砕波が促進され、堤体上での砕波によるエネルギー損失の割合が増加するためと考えられる。また入射波が堤体沖側で砕波する場合、 H'_0 が増加しても K_T や K_R がほぼ一定値を示すのは、入射波高が増加すると堤体沖側での砕波によるエネルギー損失が増大し、堤体位置でのエネルギー損失の占める割合が相対的に低くなって見かけ上消波効果が表われにくくなるためである。

砕波波高、砕波形式は、 H_0'/L_0 と i により支配されるため、堤体沖側で砕波する場合の消波特性については、 i が K_T , K_R に及ぼす影響を調べる必要がある。図-6によると K_T , K_R ともに i の変化による差は小さい。これは i の違いに比べて堤体そのものによる砕波形態の影響を K_T , K_R が強く受けるためと考えられる。

以上より、入射波が堤体沖側で砕波しない場合、 H'_0 の

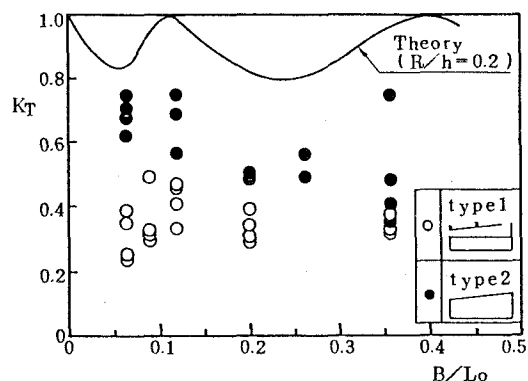


図-5 突起、遊水室の有無による透過率の変化 ($R/h=0.1$, $0.007 \leq H_0/L \leq 0.083$)

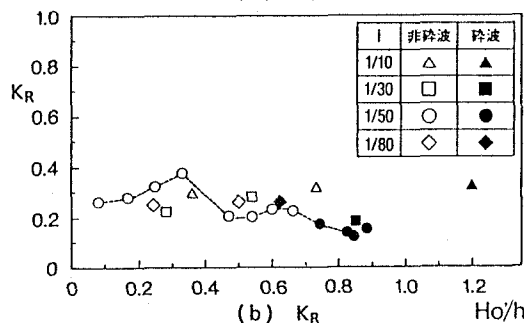
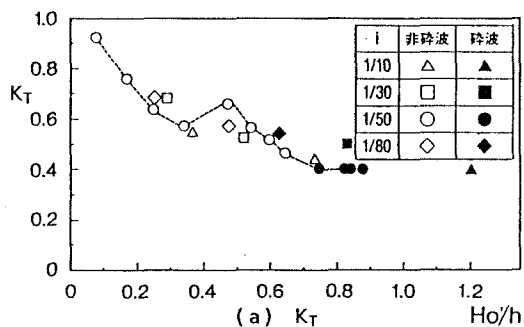


図-6 換算沖波波高水深比、海底勾配と透過率、反射率の関係 ($R/h=0.18$, $B/L=0.14$)

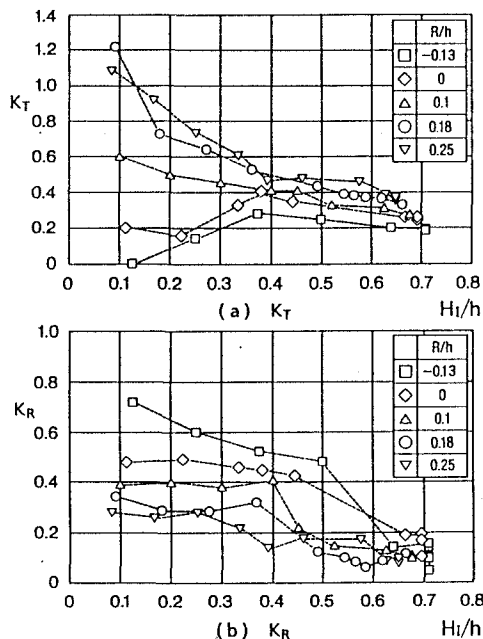


図-7 没水深比をパラメータとした入射波高水深比と透過率、反射率の関係 ($0.28 \leq B/L \leq 0.31, i=1/50$)

変化に伴い K_T, K_R は増加・減少を示すことから、消波特性を表すパラメータとして H'_0 は有効といえる。しかし、入射波が堤体の沖側で砕波する場合、 H'_0 が変化しても K_T, K_R は変化しないので、入射波高を表すパラメータとして堤体設置水深での砕波波高 H_b を採用するべきである。こうすれば砕波後の K_T, K_R は H_b により一義的に決定することができる。ところで、堤体位置での入射波高 H_i は、非砕波領域の場合 H'_0 に浅水係数を乗じることにより換算でき、砕波後の領域の場合 H_b と等しくなることから、非砕波から砕波後まで統一的に表示できる波高パラメータとなる。そこで、SURF の消波特性の整理に用いる入射波高のパラメータは、 H'_0 に浅水変形、砕波変形を考慮して求めた堤体設置位置での入射波高 H_i を用いることにした。

② H_i/h と K_T, K_R の関係に及ぼす没水深比 R/h の影響

$0.26 \leq B/L \leq 0.31$ の場合について、 R/h をパラメータとした H_i/h と K_T, K_R の関係を図-7に示す。 $H_i/h < 0.4$ では、 H_i/h が小さいほど R/h による K_T の差が顕著である。堤体天端が完全に水没するとき ($R/h > 0$) には、 H_i/h の増加とともに K_T は減少する。これに対して、天端が水面上に出るとき ($R/h \leq 0$) には、 H_i/h が小さいと K_T は著しく小さいが H_i/h の増加とともに K_T は増加する。 $H_i/h \geq 0.4$ では、 R/h による K_T の差は小さく、 H_i/h が増加すると K_T は緩やかな減少傾向を示す。同様に、 H_i/h と K_R の関係については、全体的に H_i/h が増加すると K_R は減少する傾向を示す。ただし、 $H_i/h > 0.6$ では R/h によって $0.1 \leq K_R \leq 0.2$ とほぼ一定の値を示すのに対して、 $H_i/h \leq 0.6$ では R/h の違いによる差が大きく、 R/h が大きいほど K_R は小さくなる。

上述の消波特性は、入射波が堤体上で砕波しやすいか否かでほぼ説明できる。すなわち、 $R/h > 0$ の場合、 H_i が小さいと堤体上で砕波しにくく堤体岸側へのエネルギー伝達量が大きくなるため、 K_T は大きく、 K_R は小さくなる。一方、 H_i が大きくなるにしたがい堤体上での砕波が促進され、エネルギー損失量が大きくなるため K_T, K_R とも減少する。逆に、 $R/h \leq 0$ の場合、 H_i が小さいと越波しにくいため、 K_T は小さく、 K_R は大きくなる。

③ 堤体幅波長比 B/L と K_T, K_R の関係

$R/h = 0.1$ の場合の B/L と K_T, K_R の関係を図-8に示す。 K_T は、 H_i/h によらず B/L が増加すると $B/L = 0.2$ 付近まで急激に減少し、その後緩やかに減少する。これは、 B/L が増加すると堤体上で砕波し易くなるためである。潜堤の消波特性に及ぼす天端幅の影響については多くの研究があり（例えば、田中、1976、永井ら、1977）、堤体形状の違いにより定量的には若干の違いが見られるが、本実験を含めていずれの場合も定性的にはほぼ同様な結果が得られている。 K_R については、 $H_i/h < 0.55$ の場合、 B/L が増加すると K_R はやや増加する傾向があるのに対して、 $H_i/h \geq 0.55$ の場合、 B/L が増加すると K_R は減少する傾向を示す。また、 $B/L = 0.15$ 付近で K_R が極小値を示しているのは、堤体上で生じる定在波と入射波が共振関係にあるためと考えられる。

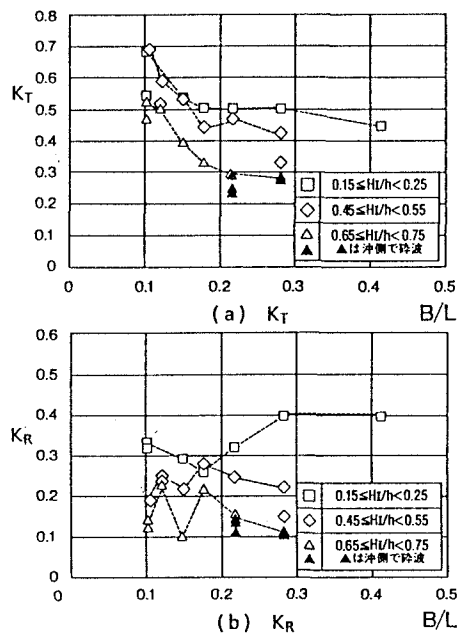


図-8 堤体幅波長比と透過率、反射率の関係 ($R/h = 0.1, i = 1/50$)

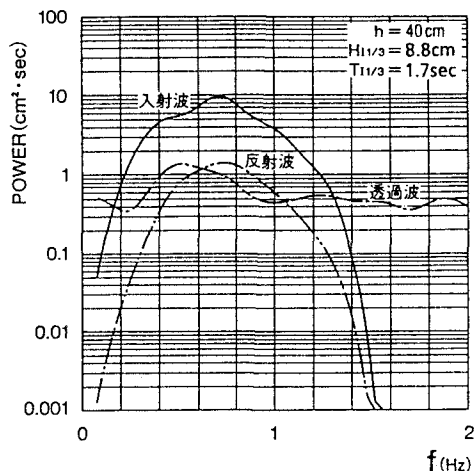


図-9 入射波・反射波・透過波のスペクトル ($h = 40 \text{ cm}, R = 2 \text{ cm}, H_{1/3} = 8.8 \text{ cm}, T_{1/3} = 1.7 \text{ s}$)

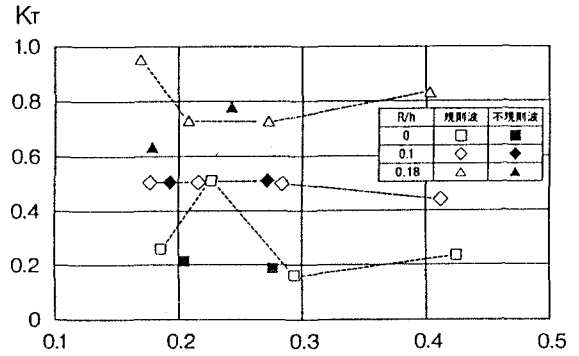
(4) 不規則波作用時の消波特性

①入射波、透過波、反射波のスペクトル特性

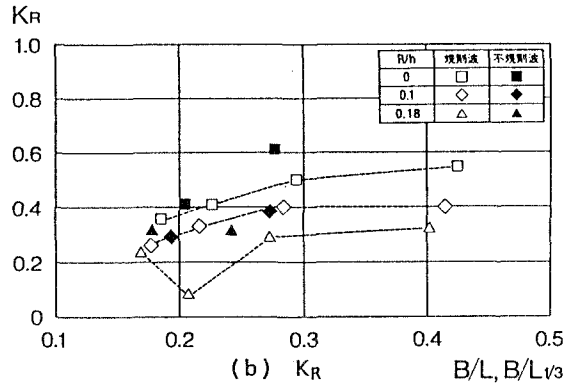
$h=40\text{cm}$ 、有義波高 $H_{1/3}=8.8\text{cm}$ 、有義周期 $T_{1/3}=1.7\text{s}$ の場合の入射波・透過波・反射波のスペクトルを図-9に示す。反射波のスペクトルが入射波のスペクトルと同様に、周波数 $f=0.7\text{Hz}$ 付近にピークを持っているのに対し、透過波のスペクトルはエネルギーが高周波域に広がっている。入射波が潜堤上や沿岸砂州上など、水深の浅い場所を通過すると波の分裂が生じる。このため、透過波のスペクトルには入射波の基本周波数より高い周波数成分が含まれることになる（例えば、田中、1976、小島・井島、1989）。SURFの場合も入射波が堤体上の浅い海域を進行するとき入射波の分裂が生じるため、透過波のエネルギースペクトルが高周波域に広がると考えられる。

②有義波を代表波とした不規則波の消波特性

$H_{1/3}/h=0.2$ の場合について、 R/h をパラメータとして $B/L_{1/3}$ と K_T 、 K_R の関係を図-10に示す。図中には比較のために、規則波実験の結果もあわせて示した。 $R/h=0.18$ 、 $B/L_{1/3}=0.18$ の場合、不規則波の K_T が規則波の場合に比べて小さい値を示すものの、 R/h の減少に伴う K_T の減少傾向や R/h ごとの $B/L_{1/3}$ と K_T の関係は、規則波実験と不規則波実験で共に良い一致を示す。また、 K_R についても、 $B/L_{1/3}$ の増加に伴い K_R が緩やかに増加する傾向は、規則波実験と不規則波実験の結果で良く一致している。以上より、不規則波作用時のSURFの消波特性は有義波高、有義周期を代表波諸元として規則波実験の結果を用いれば実用上問題ないことが分かる。



(a) K_T $B/L, B/L^{1/3}$



(b) K_R $B/L, B/L^{1/3}$

図-10 堤体幅波長比と透過率、反射率の関係 ($H_{1/3}/h=0.2$)

3. SURFの消波機能の設計法

規則波・不規則波実験で得られたSURFの消波特性を用いて、消波機能の面からSURFの断面形を決定する方法について述べる。SURFの断面設計は、当該海域の設計条件をもとに適用範囲の確認、固定パラメータの設定、 R 、 B の決定の順に行う。

(1) 適用範囲の確認

当該海域の設計条件がSURFの開発目標や消波特性の実験条件の範囲に一致するかを確認する。SURFの開発目標と実験範囲を表-2に示す。

(2) 固定パラメータの設定

SURFの断面諸元のうち消波特性に大きく影響しないパラメータは、設計条件によらず固定パラメータとし標準値を

表-2 SURFの開発目標と実験範囲

開発目標	
設置水深	$h = 5 \sim 20\text{m}$
波浪条件	$H_1/h = 0.1 \sim 0.8, H_1/L = 0.02 \sim 0.08$
実験の範囲	
H_1/h	$0.08 \sim 0.81$
H_1/L	$0.01 \sim 1.03$
B/L	$0.09 \sim 0.44$
R/H_1	$-1.0 \sim 3$
R/h	$-0.13 \sim -0.25$
i	$1/80 \sim 1/10$

表-3 固定パラメータの一覧

記 号 の 定 義

諸 元	標 準 値	決 定 理 由
斜板勾配	i_s	1/10
堤体前面角度	θ	70°
堤体前面開口率	E_1	15%
斜板開口率	E_2	10%
突起間隔	l	B/2.5
突起高	l_1	B/20
突起幅	l_2	B/20
圧抜き孔開口率	E_3	0 %
マウンド厚さ	h_s	0.1～0.2 h
マウンド幅(前面)	b_1	0.9 h
マウンド幅(後面)	b_2	0.6 h
マウンド前面勾配	i_1	1/3
マウンド後面勾配	i_2	1/2

消波実験により決定。

揚圧力低減のため、 $E_3 = 3 \sim 5\%$ としてもよい。

洗掘実験により決定。

ケーソン式防波堤の標準設計*を参照して決定。

* 日本港湾協会(1989)

設定すればよい。固定パラメータの一覧を表-3に示す。これらの標準値は、消波実験により最適なパラメータを求めた結果やケーソン防波堤の設計値を参考に決定できる。

(3) 没水深 R と堤体幅 B の決定

SURFの K_T, K_R を $R/h, B/L, H_1/h$ により整理した図を用いて、所要の K_T, K_R を満足する B, R を決定する。代表例として $R/h=0.1$ における K_T, K_R の算定図を図-11に示す。SURFの K_T, K_R は R/h に対する変化が大きい。設計上の目安として $R/h=0.1$ とすれば $K_T, K_R<0.5$ 程度の消波特性が得られる。これに対して、 B/L に対する K_T, K_R の変化は小さいため、 B は構造設計の安定計算から決定される場合が多い。消波特性の変化が少ない B の推奨値としては $B/h=2$ 程度をあげることができる。

4. まとめ

本研究で得られた斜板消波潜堤(SURF)の消波特性および消波機能設計法を以下に要約する。

- ①SURFの消波機構は、突起が乱れを促進すること、斜板開口部が斜板上の岸向き流れを遊水室内へ導くこと、堤体前面開口部からの沖向き流れが砕波を促進することなどに基いている。これらにより通常の潜堤では消波が困難な長周期波に対しても消波性能が改善された。
- ②SURFの堤体天端が完全に水没する場合、透過率は入射波高が増大すると減少する。一方、反射率は入射波高が小さい範囲では入射波高が増大するにつれて緩やかに増加するが、さらに入射波高が大きくなると減少する。また、入射波が堤体沖側で砕波する場合、透過率、反射率は沖波波高、海底勾配によらずほぼ一定の値となる。
- ③堤体天端が水面上に出る場合、入射波高が増大するにつれて、透過率は入射波高が小さい範囲では増加するが、さらに入射波高が大きくなると減少する。一方、反射率は入射波高の大小によらず入射波高が増大すると減少する。また、入射波が堤体沖側で砕波する場合、堤体が没水する場合と同じく、透過率、反射率とも沖波波高、海底勾配によらずほぼ一定の値となる。
- ④堤体幅が増加すると、透過率は減少し、反射率は入射波高が小さい場合増加傾向にあり、入射波高が大きい場合減少傾向にある。
- ⑤不規則波作用時の消波特性は、代表波諸元を有義波高、有義周期とした規則波作用時の特性とほぼ一致する。
- ⑥消波機能設計は、規則波・不規則波実験で得られた消波特性をもとに適用範囲の確認、固定パラメータの設定、堤体幅、没水深の決定の手順に沿って行えば良い。

参考文献

- 小山文男・中塚健司・清水正巳・勝井秀博・宇多高明・村井禎美(1988a)：斜板を有する新型潜堤(SURF)の消波特性，第43回年講講演概要集，pp.674～675。
- 小山文男・清水正巳・中塚健司・宇多高明・村井禎美(1988b)：斜板を有する新型潜堤(SURF)の開発，海岸工学論文集，第35巻，pp.512～516。
- 加藤雅也・渡会英明・石野和男・上野成三・湊隆二郎・本田陽一・宇多高明・村井禎美(1989)：斜板を有する新型潜堤(SURF)の消波特性(2)ー没水比と消波効果の関係ー，第44回年講講演概要集，pp.680～681。
- 渡会英明・加藤雅也・石野和男・上野成三・沖政和・斉藤栄一・宇多高明・小俣篤(1990)：斜板を有する新型潜堤(SURF)の消波特性(3)ー不規則波実験ー，第45回年講講演概要集，pp.688～689。
- Ueno, S., K. Nakatsuka, F. Koyama, K. Ishino, K. Tanaka, H. Katsui, R. Minato, K. Hara, T. Uda and A. Omata(1990): Development of a New Submerged Breakwater Design, Proc. of 4th Pacific Congress on Marine Science and Technology, vol. 2, pp. 272～287,
- 建設省土木研究所河川部海岸研究室(1991)：海域制御構造物に関する共同研究報告書(13)，第4章「高波浪および不規則波作用時における斜板消波潜堤(SURF)の消波特性」，共同研究報告書，(印刷中)。
- 井島武士・佐々木富雄(1971)：潜堤に関する理論的研究-1. 不透潜堤，第18回海岸工学講演会論文集，pp. 141～147。
- 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池治(1976)：不規則波実験における入・反射波の分離判定法，港湾技術資料，No. 248，pp. 3～23。
- 田中則男(1976)：天端幅の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 152～157。
- 永井莊七郎・倉田克彦・長谷川恵一(1977)：潜堤の消波効果におよぼす天端幅の影響，第24回海岸工学講演会論文集，pp. 303～307。
- 小島治幸・井島武士(1989)：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35巻，pp. 529～533。
- 日本港湾協会(1989)：港湾施設の技術上の基準・同解説。

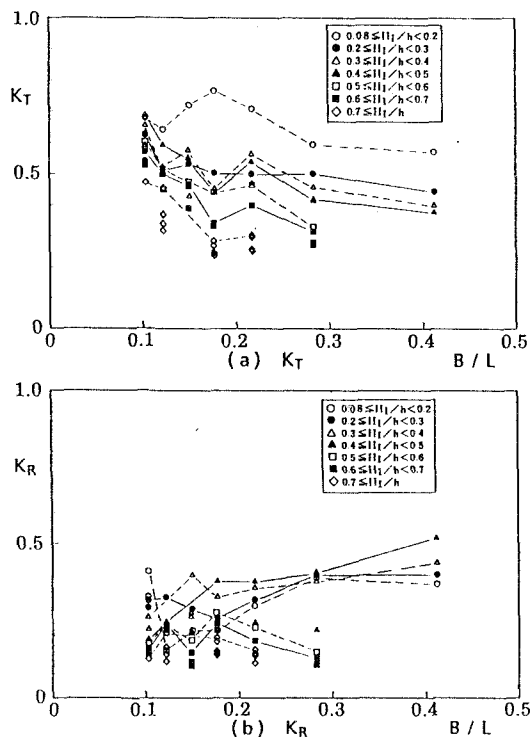


図-11 透過率、反射率の算定図 ($R/h=0.1$)