

斜面消波潜堤 (SURF) 周辺の地形変化の特性

上野 成三*・ 斉藤 栄一**・ 加藤 雅也***
宇多 高明****・ 小俣 篤*****

1. ま え が き

最近、沿岸域に新たな静穏域を創出することを目的とした種々のタイプの海域制御構造物が提案されている。斜板消波潜堤 (SURF) はその一形式であり、傾斜した天端 (斜板) を特徴とする新型の潜堤である。SURF の消波・波力・洗掘特性は既に検討されており (小山ら, 1988 ; 上野ら, 1989, 1991), 消波機能と構造に関する設計法はほぼ確立している。しかし, SURF の機能設計には, 2次元的な消波機能に加えて, 平面的な波・流れ・漂砂の制御機能も考慮する必要がある。波・流れの制御機能に関しては, 固定床平面実験により堤体の配置諸元と静穏度・流況の関係を調べた結果, SURF 周辺の流況の特徴として, 堤体上の碎波によって発生する岸向き流れと, その補償流としての開口部を経由する沖向き流れとが存在し, それらが堤内の波高分布や流況パターンと密接に関連することが明らかにされている (上野ら, 1990)。このような流況は, 堤体天端が水面上に出る従来型の離岸堤の周辺では生じず, 碎波を促進する潜堤タイプの消波堤に特有なものである。そのため, 上記の流況下における堤体周辺の地形変化を考えると, 従来の離岸堤では問題にならなかった以下の検討課題が指摘される。

①離岸距離が短い場合, 堤体岸側に生じる岸向き流れが汀線付近まで達して汀線付近が侵食される可能性があること。

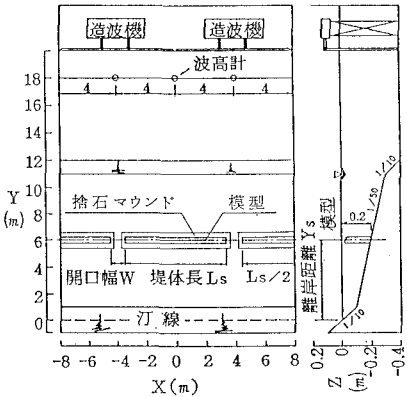
②開口部付近で生じる強い沖向き流れにより堤内の底質が堤外へ流出したり, 堤体端部が洗掘されて堤体の安定が損なわれる可能性があること。

そこで, 本研究では移動床平面実験により SURF 周辺の地形変化特性を明らかにし, これらの問題について検討する。

2. 実験装置および実験方法

実験には, 建設省土木研究所の平面水槽 (長さ 21 m × 幅 16 m × 高さ 0.6 m) を用いた。実験装置, 波浪条件は先に実施した固定床実験 (上野ら, 1990, 以下, 固定床実験と記す) と同じである。実験装置および座標系を図一1に示す。模型実験の縮尺は1/50とし, 造波板より岸側 8 m の位置より勾配 1/10 (長さ 1 m), 1/50 (長さ 10 m), 1/10 (長さ 2 m) の移動床斜面を整形した。底質の中央粒径は $d_{50}=0.28\text{mm}$ である。堤体配置は左右対称とし, 中央の堤長は L_s , 左右の堤長は $L_s/2$ とした。

堤体配置諸元と波浪条件を表一1に示す。堤体配置は, 堤長 L_s と離岸距離 Y_s がほぼ等しいケース①と, 離岸距離 Y_s が短いケース②とからなる。固定床実験によると, ケース①では堤体岸側に一對の循環流が形成され, ケース②では堤体岸側において岸向き流れが卓越する。実験の波浪条件は換算沖波波高が $H'_0=7\text{cm}$, 周期が $T=1.27\text{s}$ である。水深は沖側水平部で 40 cm とし, 造波時間は地形変化がほぼ平衡に達するまでの8時間とした。堤体模型の諸元を図二に示す。離岸距離を変えると設置水深が変わるが, これに対しては堤体高を変えて調整し, 堤体の没水深 R は設置水深によらず一定 (2



図一1 実験装置と座標系

* 正会員 工修 大成建設(株)技術研究所
** 正会員 工修 (株)間組技術研究所
*** 正会員 東急建設(株)土木技術部
**** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
***** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

表-1 平面配置諸元と波浪条件

ケース	堤 長 Ls(m)	開口幅 W(m)	離岸距離 Ys(m)	換算沖波 波高 H'(cm)	周期 T(s)	堤内の 流況パターン
①	6.4	1.6	6.0	7.0	1.27	循環流
②	6.4	1.6	4.0			岸向き流れ卓越

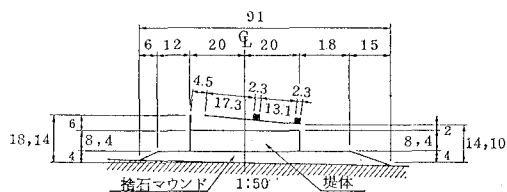


図-2 堤体模型の断面諸元

cm)とした。捨石マウンドは碎石(粒径約10mm)により構築した。また、開口部に面する堤体端部の捨石マウンドは堤体沖側と同じ断面とした。

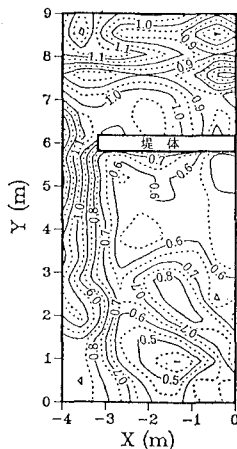
測定項目は、波峰線形状、波高分布、流況・流速、汀線変化、地形変化である。波峰線と汀線の形状は水槽上方からの写真撮影により求めた。波高測定には容量式波高計を用い、堤内外の流況は木片を用いたフロート観測により求めた。開口部の流速測定には電磁流速計を用いた。海底地形はスタッフを用いて海底高を読みとった。

3. 実験結果および考察

3.1 SURF 周辺の波高分布、海浜流、地形変化の特徴

(1) 初期地形のもとでの波高分布・海浜流の特徴

SURF 周辺の波高分布、海浜流の特徴として、固定床実験より得られた波高分布、流況図のうち、ケース①の移動床実験の条件に対応する結果を図-3、4に示す。移動床実験の初期地形と固定床実験の地形は同一であるから、図-3、4は移動床実験の初期地形のもとでの波高分布、流況とはほぼ同じと考えられる。図-3によると、堤体背後の波高は $H/H_I \leq 0.7$ (H_I 堤体位置での入射波高) となり、開口部からの回折波の回り込みによる波高増大が小さいことが分かる。また、開口部中央で $H/H_I > 1.1$ と波高が大きい領域が生じるのは、沖向き流れと入射波とが干渉して波高が増大し、その後に碎波したためである。流況については、堤体岸側で一對の循環流が発

図-3 初期地形における無次元波高 H/H_I の平面分布(固定床実験、ケース①)

達し、堤体の岸側隣接域では堤体を越流する岸向き流れが生じ、開口部付近ではその補償流としての沖向き流れが発生する。

(2) 地形変化の特徴

ケース①の最終地形(8時間後)における開口部中央と堤体中央を通る岸沖測線($X=-4, 0$ m)上の断面形を図-5に示す。開口部中央では、汀線付近で侵食、 $1\text{m} \leq Y \leq 5\text{m}$ で堆積、開口部付近($Y=5 \sim 8\text{m}$)で侵食となった。一方、堤体中央では、汀線域($Y=-1 \sim 0\text{m}$)で堆積し、バームが形成された。また、 $Y=0 \sim 2\text{m}$ で侵食され、 $Y=3\text{m}$ から堤体近傍まではほとんど地形変化が見られない。堤体と汀線の間には両測線上とも多段砂州状の地形変化が生じている。この多段砂州は、波長が約70cmであり、入射波の波長($\lambda=14\text{cm}$ で $L=140\text{cm}$)のほぼ1/2となることから、汀線からの反射による部分重複波によって形成されたと考えられる。

以上より、SURF 周辺の地形変化の特徴の一つとして、開口部の侵食があげられる。これは、開口部での沖向き流れに起因するものであり、侵食された底質は沖向き流れの弱まる堤体沖側付近に堆積する。また、汀線域の地形変化は、離岸堤背後の場合と同様であり、汀線は堤体背後で前進し、開口部背後で後退する。

(3) 地形変化が波高分布、海浜流に及ぼす影響

地形変化が波高分布、海浜流に及ぼす影響を検討するため、初期地形に相当する固定床実験と、移動床実験における最終地形(造波8時間後)での結果を比較する。ケース①における開口部中央と堤体中央を通る岸沖測線($X=-4, 0$ m)上の波高分布を図-6に示す。開口部中央を通る測線上(図-6(a))をみると、初期地形のもとでは、 $Y=6.5 \sim 6\text{m}$ で沖向き流れと入射波の干渉により H は急激に増大し、 $Y=6 \sim 5.5\text{m}$ では碎波により急激に低下する。これに対して、最終地形のもとでは、開口部岸側の $Y=6 \sim 4\text{m}$ 付近では増加し、 $Y=4\text{m}$ でピークをとった後、 $Y < 4\text{m}$ では碎波により汀線に近づくにしたがって H は減少する。

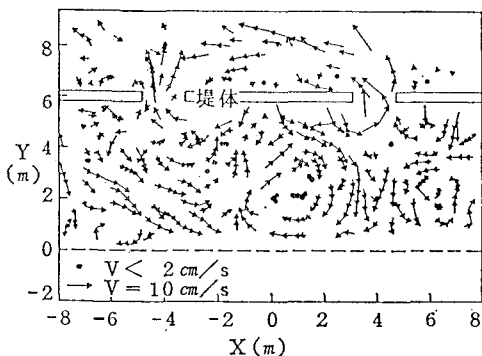


図-4 初期地形における流況(固定床実験、ケース①)

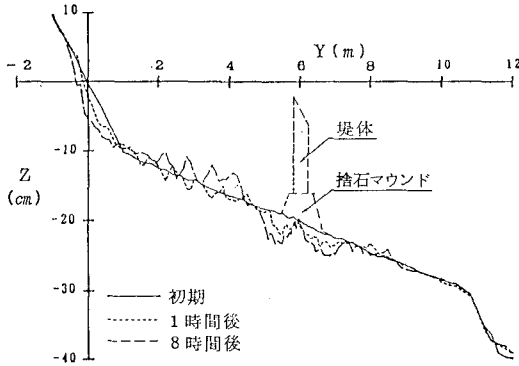
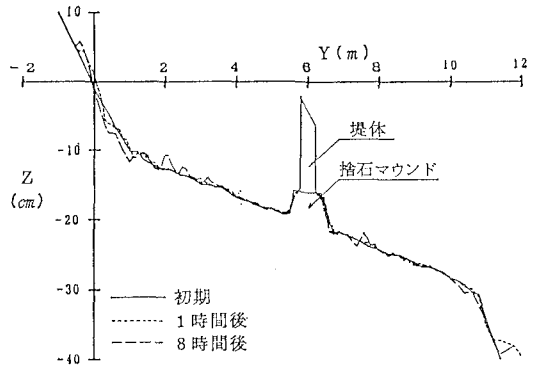

 (a) 開口部中央 ($X = -4$ m 断面)

 (b) 堤体中央 ($X = 0$ m 断面)

図-5 海浜断面形 (ケース①)

このような両ケースにおける砕波位置の違いは、開口部付近の侵食による波・流れの干渉の変化から説明できる。沖向き流れにより開口部付近が侵食されて水深が増加すると、開口部の沖向き流速は低下し、入射波の波速は増加する。そのため、開口部が侵食されるにつれて波・流れの干渉が弱くなり、最終地形のもとでは開口部において入射波が砕波しなくなったと考えられる。

次に、堤体中央を通る測線上 ($X = 0$ m) の波高分布について比較する (図-6 (b))。堤体岸側域 ($Y < 6$ m) の H は全体的に初期地形に比べて最終地形の方が大きくなった。この一因として、最終地形における開口部からの入射波エネルギーの増加が指摘される。最終地形のもとでは開口部での沖向き流れと入射波との干渉が弱まり、入射波エネルギーが増加することから、堤体岸側域の波高が全体的に増加すると考えられる。また、両ケースとも $Y < 5$ m の範囲で H は増減を繰り返すが、この増減傾向は初期地形より最終地形の方が明瞭である。これは最終地形における汀線からの反射波の増大によるものと考えられる。最終地形では前浜勾配が急になり、汀線からの反射が増して、堤体と汀線の間で部分重複波が形成される。そのため、この部分重複波と回折波の位相関係により生じる H の増減が最終地形でより明確に生じたと考えられる。

ケース①の最終地形における流況を図-7に示し、初期地形の場合 (図-4) と比較する。初期地形では堤体岸側のほぼ中央に離岸流が発生し、一対の循環流が形成されたが、最終地形では堤体岸側の離岸流は明瞭でなく、循環流の形成は見られない。また、汀線付近の流況に着目すると、初期地形では堤体背後の中央に向かう沿岸流が生じていたが、最終地形では、 $X = -4$ m の開口部背後から堤体背後中央に向かう沿岸流が優勢であるものの、初期地形と同様、堤体中央に向かう沿岸流が生じている。さらに、初期、最終地形とも、SURF 周辺の

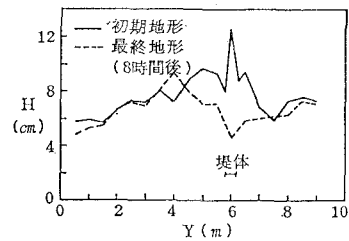
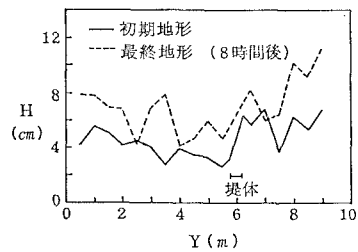

 (a) 開口部中央 ($X = -4$ m 断面)

 (b) 堤体中央 ($X = 0$ m 断面)

図-6 初期、最終地形における波高の岸沖分布の比較 (ケース①)

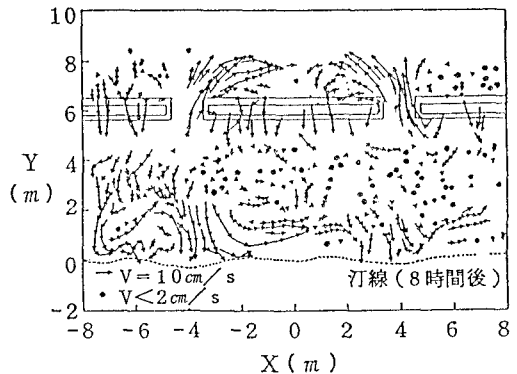


図-7 最終地形における流況 (ケース①, 8時間後)

海浜流の基本的特性である堤体直背後の岸向き流れと開口部の沖向き流れの発生が見られる。

以上より、地形変化が流況に及ぼす影響として、堤体岸側域の循環流の規模などに相違が見られるが、汀線域や堤体、開口部付近の流況に大きな差異は認められない。

3.2 離岸距離と汀線域の地形変化の関係

離岸距離 Y_s による汀線変化の違いを比較するために、ケース① ($Y_s=6\text{m}$)、ケース② ($Y_s=4\text{m}$) の汀線変化量の沿岸分布を図-8に示す。 Y_s の長いケース①

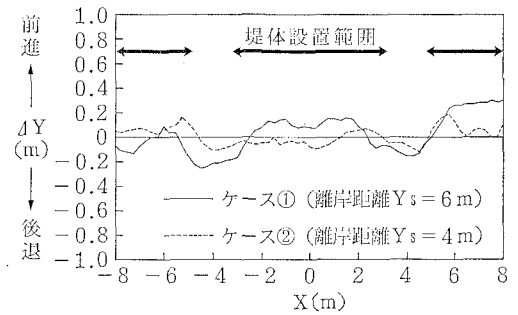
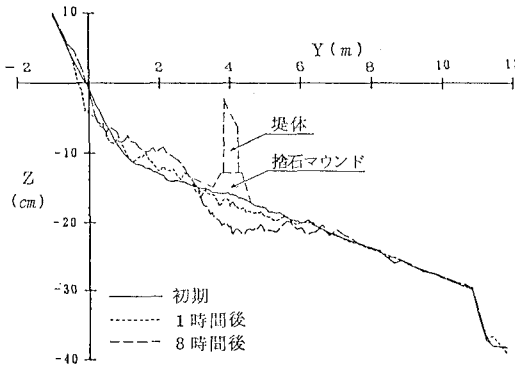
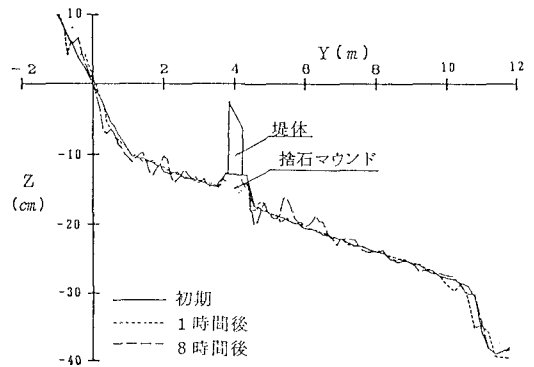


図-8 汀線変化量の比較 (ケース①, ②, 8時間後)



(a) 開口部中央 ($X=-4\text{m}$ 断面)



(b) 堤体中央 ($X=0\text{m}$ 断面)

図-9 海浜断面形 (ケース②)

では、開口部背後で汀線が後退し、堤体背後で前進している。これに対して、 Y_s の短いケース②では、開口部背後で汀線が後退傾向を示すのは同様であるが、堤体背後の汀線はほとんど変化しない。これは、堤体岸側域で岸向き流れが卓越するケース②でも汀線域の侵食は大きく生じないことを示している。

ケース②の地形変化を詳しく調べるために、開口部中央と堤体中央を通る岸沖測線 ($X=-4, 0\text{m}$) 上の断面形を図-9に示す。開口部では、汀線付近と開口部付近 ($Y=3\sim 6\text{m}$) で侵食され、それらの間で底質が堆積している。一方、堤体中央では、前浜上に底質が堆積し、そのすぐ沖で若干の侵食が見られるほかはほとんど変化が見られない。この汀線域の侵食は、ケース①の場合 (図-5 (b) 参照) とほぼ等しい規模で生じており、主に、入射波による岸沖漂砂に起因したものと考えられる。よって、本ケースでは汀線付近の底質流出は有意にならないことが確認できた。

フロート観測により求めたケース②の流況パターン (8時間後) を図-10に示す。堤体岸側の隣接区域では岸向き流れが卓越するが、さらに汀線に近づいた $Y=0\sim 2\text{m}$ の区域ではほぼ澁んだ流況となる。ケース②では、ケース①のように汀線付近において堤体中央へ向かう沿岸流 (図-7 参照) は発生していない。このことは

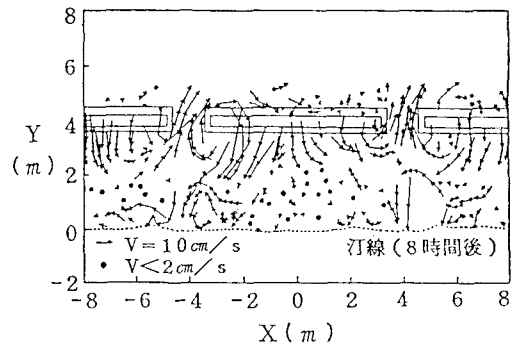


図-10 流況図 (ケース②, 8時間後)

ケース②において堤体背後で汀線が前進しなかった理由を与えていると考えられる。よって、SURF を用いて舌状砂州を形成させるためには、汀線付近で堤体中央へ向かう沿岸流が発生するような離岸距離を設定する必要がある。

3.3 開口部付近の局所的な侵食

開口部付近の侵食を調べるために、ケース①における開口部近傍の地形変化量の平面分布を図-11に示す。開口部中央の岸沖測線 ($X=-4\text{m}$) を中心として大規模な侵食が生じる。しかし、堤体端部では逆に堆積が生じ、開口部中央の侵食は堤体端部にまで進行しないこと

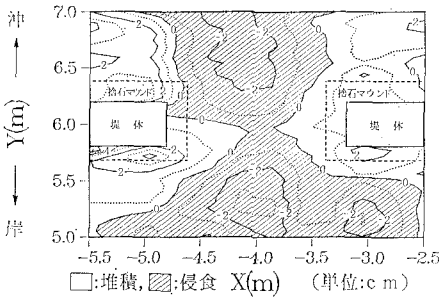
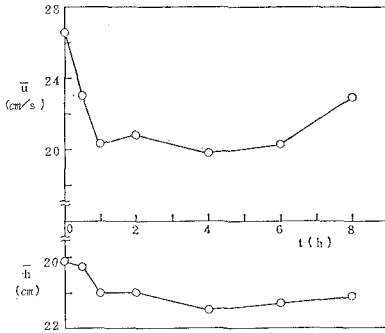


図-11 開口部付近の等深線図 (ケース①)


 図-12 開口部中央の沖向き流速 $\bar{u}$ と水深 $\bar{h}$ の時間変化 (ケース①, $X=-4$ m, $Y=6$ m)

が分かる。開口部中央で局所的な侵食が集中的に生じる理由を開口部の沖向き流れの沿岸方向分布の点から考察する。固定床実験の結果によると、開口部の沖向き流速分布は開口部中央で速く、堤体近傍で遅くなった(上野ら, 1990, 図-11 参照)。このことにより、開口部中央の洗掘量が大きくなることが予想される。次に、移動床実験における開口部中央 ($X=-4$ m, $Y=6$ m) の平均沖向き流速 $\bar{u}$ と開口部周辺 ($X=-4$ m, $Y=5.8 \sim 6.2$ m) の平均水深 $\bar{h}$ の時間変化を 図-12 に示す。造波開始後 2 時間までは $\bar{h}$ の増加に伴い $\bar{u}$ は減少する。しかし、6 時間以降では、 $\bar{h}$ がほぼ一定であるのに対して $\bar{u}$ は逆に増加している。これは、堤体端部付近の堆積が進み、開口部中央の海底が沖向き流れに沿ってみお筋状になった結果、沖向き流れの流脈がさらに開口部中央に集中し、流速が増大したことを表わすと考えられる。流れの集中が起これば、開口部の堤体近傍での流速は遅くなるから底質の堆積がさらに生じ易くなると考えられる。

上記に示した開口部の侵食に対する対策として、堤体の開口部側に堤体沖側と同じ断面の捨石マウンドを構築したところ、堤体の安定性は十分保たれた。ただし、開口幅が狭い場合や高波浪時には開口部の沖向き流速が増大し、開口部の侵食規模が大きくなる可能性も考えられる。したがって、開口部の侵食対策としては、開口部で

発生する沖向き流れの規模を考慮して捨石マウンドの設置範囲を決定する必要がある。なお、堤体の沖側および岸側の洗掘に関しては、すでに 2 次元洗掘実験(上野ら, 1989) により検討しており、所定の捨石マウンドを構築すれば堤体安定上問題のないことが明らかにされている。

4. まとめ

本研究の成果は以下のように要約される。

① SURF 周辺の地形変化の特性は、一般に 堤体背後での堆積、開口部背後での侵食、開口部付近での侵食、開口部沖側での堆積により特徴付けられる。

② 地形変化後の堤体岸側域の波高は初期地形での波高に比べてやや高かった。この理由として、開口部で侵食が進むにつれて沖向き流れと入射波との干渉が弱まり、開口部から進入する入射波のエネルギー量が増大したこと、前浜勾配が急になり汀線からの反射波が増大したことなどが指摘される。

③ 地形変化後の堤体岸側域の流況は初期地形での流況に比べて循環流の規模などに違いが見られた。しかし、汀線域での沿岸流パターン、開口部の沖向き流れ、堤体の岸側隣接域での岸向き流れなどの流況には違いが見られなかった。

④ 汀線域の地形変化は、離岸距離と密接な関係がある。離岸距離が長いケース①では堤体背後で舌状砂州が形成されたが、離岸距離が短いケース②では汀線はほとんど変化しなかった。よって、岸向き流れによる汀線域からの底質の流出は顕著に生じないことが分かった。また、舌状砂州の形成を目的として SURF を設置する場合は、汀線付近で堤体中央に向かう沿岸流が発達するよう離岸距離を設定する必要がある。

⑤ 開口部では局所的な侵食が集中的に進み、堤体端部では一部堆積域が見られた。開口部側の堤体端部にも堤体沖側と同断面の捨石マウンドの構築した結果、堤体は十分安定であった。

参考文献

- 上野成三・石野和男・小山文男・宇多高明・村井禎美 (1989): 斜板消波潜堤 (SURF) のマウンド内の浸透流場と洗掘特性について, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 424-428.
- 上野成三・加藤雅也・斉藤栄一・宇多高明・小俣 篤 (1990): 斜板消波潜堤 (SURF) による静穏域の創出効果と海浜流特性, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 569-573.
- 上野成三・佐藤明美・加藤雅也・宇多高明・小俣 篤 (1991): 斜板消波潜堤 (SURF) の消波効果と機能設計, 海洋開発論文集, Vol. 7, pp. 131-136.
- 小山文男・清水正巳・中塚健司・宇多高明・村井禎美 (1988): 斜板を有する新型潜堤 (SURF) の開発, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 512-516.