

捨石潜堤周辺に生じる海浜流パターンについて

河島宏治*・岡本正由*・喜岡涉**
佐藤公己***・若松正文****

1. まえがき

近年、海浜の保全とレクリエーション利用の需要が増加し、安定した海浜の形成が要望されている。従来、侵食対策の構造物としては、離岸堤や突堤等があげられるが、これらは汀線付近の景観の悪化や過度の堆砂などの問題が生じている。このような背景のもと、最近、離岸堤に代わって潜堤が注目され、その水位上昇、波浪低減効果、砂浜安定効果等について多くの研究が見られる。しかし、平面的な配置方法の研究は十分に行われておらず、潜堤周辺に生じる海浜流特性は明らかにされていないのが現状である。潜堤により堤内で十分な静穏度と侵食防止効果を得るには連続潜堤とするのが望ましいが、潜堤は天端水深が浅いため、船舶の航路の確保や過度の堆砂を防ぐためには、開口部を設ける必要がある。

潜堤に開口部を設ける場合、開口部と潜堤天端上での波の変形、水位上昇の違いにより特徴的な海浜流が生じ、また、その海浜流パターンも潜堤の平面配置により異なると考えられる。そこで本研究では、水理模型実験により、連続な潜堤配置および開口部を有する不連続な潜堤配置により発生する海浜流特性およびそのパターンについての検討を行った。

2. 実験方法

実験は図-1に示す長さ30m、幅23m、深さ1.2mの平面造波水槽を用い、実験縮尺を1/50とした。造波板より9m離れた位置から1/20勾配の斜面を設け、潜堤沖側法肩で水深 $h=15\text{ cm}$ の位置に重さ8g程度の碎石を用いた潜堤模型を設置した。潜堤模型の断面は図-2に示すとおり、基本天端水深 $R=5\text{ cm}$ 、潜堤高 $d=10\text{ cm}$ 、天端幅 $B=30\text{ cm}$ 、法勾配は沖・岸方向とも1/5とした。

海浜流の測定は、8本の電磁流速計を用い、縦横25cm間隔で模型床上3cmの流速を汀線付近の測定可能

な領域まで計測した。同様に、容量式波高計により波高分布の測定も行った。実験は潜堤離岸距離 $X_b=3\text{ m}$ に固定して、連続潜堤1ケース、潜堤基本長 Y_r および開口幅 W を変えた不連続潜堤7ケース、天端水深 R を潮位差により変えた不連続潜堤2ケース、波向 θ を変えた不連続潜堤2ケースの計12ケースの検討を行った。表-1にその平面配置条件を示す。なお、実験波は周期 $T=1.41\text{ sec}$ 、一様水深部での入射波高 $H=5.6\text{ cm}$ の規則波を使用した。

3. 実験結果と考察

(1) 潜堤周辺での海浜流パターンおよび特性

a) 連続潜堤の場合

図-3に連続潜堤による波高分布と流速分布の重ね合

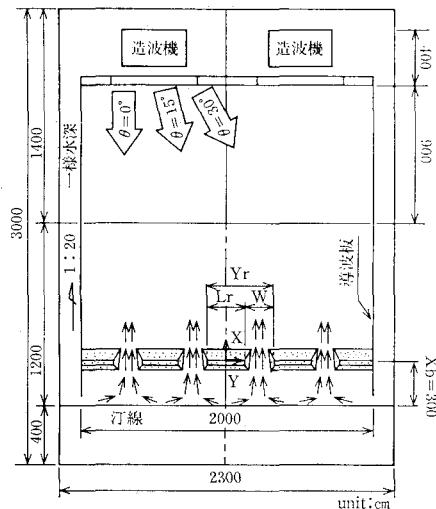


図-1 実験水槽平面図

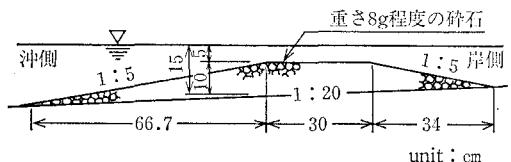


図-2 潜堤模型断面図

* 正会員 中部電力(株) 電力技術研究所
** 正会員 Ph.D. 名古屋工業大学助教授 社会開発工学科
*** 正会員 工修 中電工事(株) 技術コンサルタント部
**** 正会員 中電工事(株) 技術コンサルタント部

表-1 潜堤の平面配置条件

Case	$Y_r(m)$	$L_t(m)$	$W(m)$	W/Y_r	$R(m)$	波向 θ	潜堤種類
1	20.0	20.0	—	—	0.05	0°	連続堤
2	3.0	1.8	1.2	0.4	0.05	0°	
3	4.5	2.7	1.8	0.4	0.05	0°	
4	6.0	3.6	2.4	0.4	0.05	0°	
5	4.0	2.8	1.2	0.3	0.05	0°	
6	4.5	3.6	0.9	0.2	0.05	0°	
7	6.0	4.8	1.2	0.2	0.05	0°	
8	10.0	8.8	1.2	0.12	0.05	0°	
3 a	4.5	2.7	1.8	0.4	0.03	0°	
3 b	4.5	2.7	1.8	0.4	0.07	0°	
5 a	4.0	2.8	1.2	0.3	0.05	15°	不連続堤
5 b	4.0	2.8	1.2	0.3	0.05	30°	

わせ図を示す。波高分布により入射波は潜堤沖側法肩付近で碎波され、潜堤堤内の波高はほぼ全域にわたり減衰していることがわかった。特に、潜堤沖側法肩付近における波高分布は一様ではなく、横断方向に島状の波高の高い部分が分布した。流速分布では、潜堤上の碎波高の低い部分で離岸流が、碎波高の高い部分で向岸流が形成された。離岸流の発生間隔は約3.5mであり、これは沖波波長にほぼ等しく、潜堤設置前とほとんど変化はなかった。また、堤内では全域にわたり微弱な流れであったが、潜堤上での沖向きの流れによる影響で、沖向きの離岸流が発生した。このような海浜流の特徴的な流れをパターン化すると図-7のタイプIとなる。

次に、連続潜堤の有無による堤内波高と堤内沖向流速の比較結果を表-2に示す。潜堤設置前の波高・流速の測定領域は、水槽中央部での碎波点（汀線から2.25m）より岸側で幅6m間、また設置後は、水槽中央部で潜堤岸側法肩より岸側で幅6m間の測点で、それぞれ平均値と最大値を求めた。表より、連続潜堤を設置した場合の堤内波高と沖向流速の平均値は、設置前の5割程度まで低減されていることがわかる。

表-2 連続潜堤による波高と流速の低減効果

	沖波波高	堤内平均波高	沖波高比	堤内沖向平均流速	堤内沖向最大流速
	H_b (cm)	H_b (cm)	H_b/H_o	V_o (cm/s)	V_{max} (cm/s)
設置前	5.71	6.06	1.06	7.0	17.6
設置後	5.63	3.04	0.54	3.1	12.3

図-4、図-5は流速分布より離岸流部と判断される測線 $Y=3.5\text{ m}$ と向岸流部と判断される測線 $Y=1.25\text{ m}$ における波高と平均水位の変動量の変化を示したものである。図より、潜堤前面では向岸流部の方が波高は大きいが、背後になると離岸流部の方が大きくなり、逆転現象が起きている。また、離岸流部の波高が汀線付近で急激に減少しているが、これは2次碎波の影響と考えられる。同様に、平均水位でも離岸流部は汀線付近で急激に増大しており、これも2次碎波の影響と考えられ、タイプIでの潜堤背後の汀線付近での離岸流発生地点と一致する。

著者ら(1991)は、2次元水槽において、潜堤の波高低減率 H_b/H_i と堤内水位上昇率 η/H_i について実験を行い、次の推定式を求めている。

$$0 < R/H_i \leq 2.5 \text{かつ} 0 < B/L_i \leq 0.3 \text{の時}$$

$$H_b/H_i = (-0.79d/h + 0.70)(R/H_i)$$

$$-1.09(B/L_i) + 0.45(d/h) + 0.19 \dots \dots (1)$$

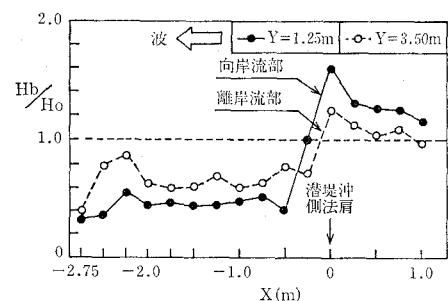


図-4 波高の縦断分布

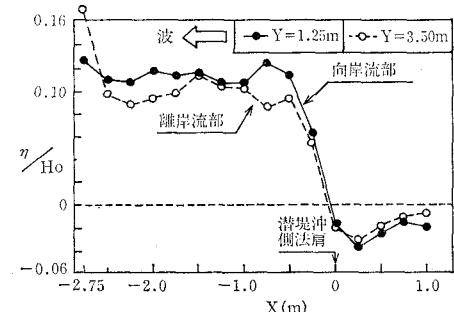


図-5 平均水位の縦断分布

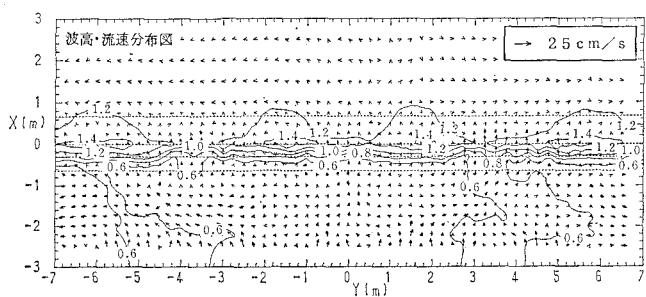


図-3 連続潜堤による波高・流速分布

$0 < R/H_i \leq 2$ の時

$$\eta/H_i = (0.275 - 0.130R/H_i)(d/h) \\ - 0.061(R/H_i) + 0.088 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 H_b は堤内波高、 H_i は入射波高、 η は堤内水位上昇量、 L_i は入射波長である。今回の実験値と上式による推定値を比較すると、実験値は $H_b/H_i=0.52$ 、 $\eta/H_i=0.1$ 、推定値は $H_b/H_i=0.53$ 、 $\eta/H_i=0.138$ であり、2次元実験で得られた推定式は平面実験でもほぼ成立し、その妥当性が確認できた。

b) 不連続潜堤の場合

図-6 に不連続潜堤周辺の流速分布の代表例を示す。3 ケースは開口幅 $W=1.2$ m で等しく、潜堤実長 L_r を上段から 1.8 m, 2.8 m, 4.8 m に変えている。各ケースとも開口部では沖向きの流れを、潜堤天端上では強制碎波による岸向きの流れを示しているが、潜堤実長の違いによりそれぞれ特徴的な海浜流が形成された。各ケースの流れをパターン化すると、図-7 のタイプ II, III, IV となる。潜堤の実長が短い場合(タイプ II)では、特徴的な流れとして、潜堤の端部片側に弱い循環流が形成され、潜堤背後で沖向きの流れが、潜堤天端上で

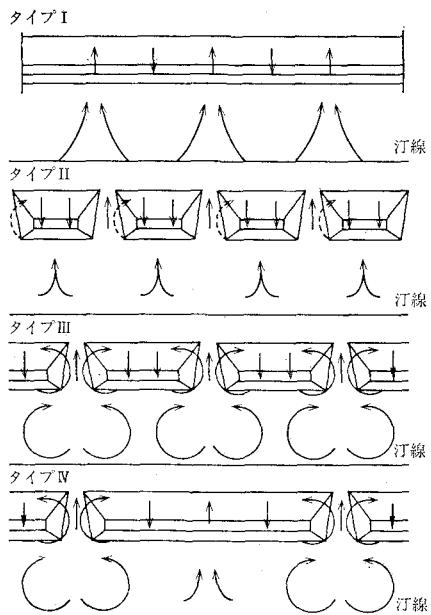


図-7 潜堤周辺の海浜流パターン

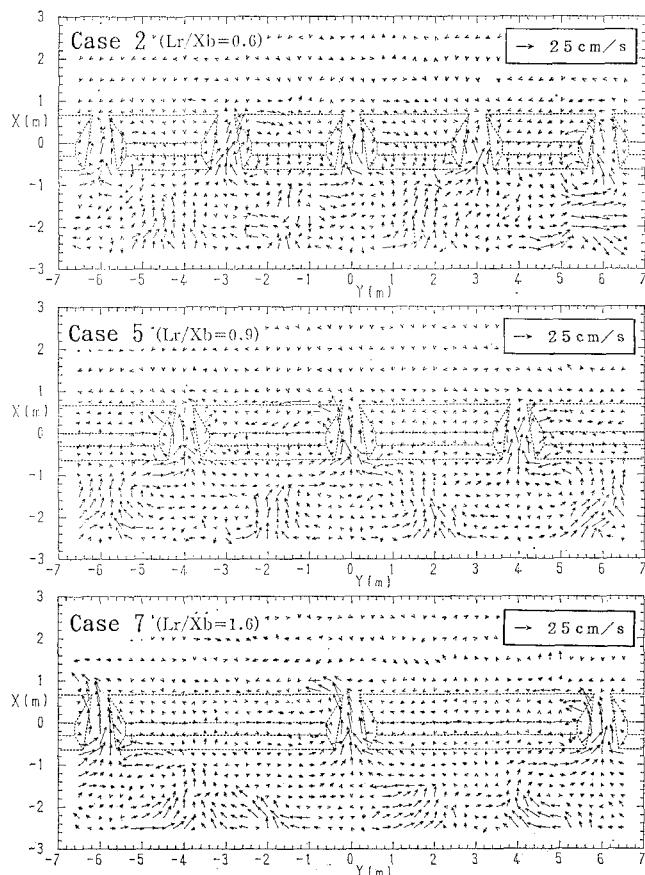


図-6 不連続潜堤による流速分布(1)

岸向きの流れが見られた。実長がこれより長くなると潜堤の両端部では各ユニットで対称な循環流が、堤内では潜堤背後で一対の循環流が形成された(タイプ III)。さらに実長が長くなった場合(タイプ IV)は、潜堤天端上および堤内の開口部付近でタイプ IIIの流れを示し、潜堤中央部では連続潜堤型のタイプ I の流れを示す一種の複合型へ移行した。図-8 は潜堤実長 L_r と離岸距離 X_b の比 L_r/X_b と開口率 W/Y_r の関係を整理したものである。図によれば各タイプは開口率には依存せず、 $L_r/X_b=1.0$ 附近でタイプ III が現れ、 L_r/X_b が 1.0 より小さくな

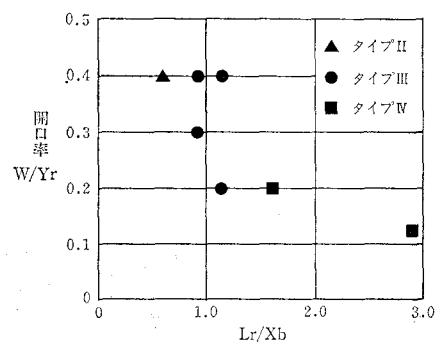


図-8 L_r/X_b と開口率 W/Y_r の関係

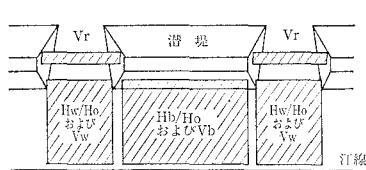


図-9 波高、流速の算定領域

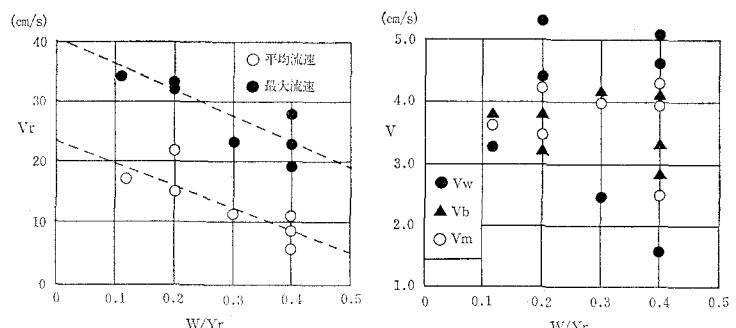


図-10 開口部出口流速の変化

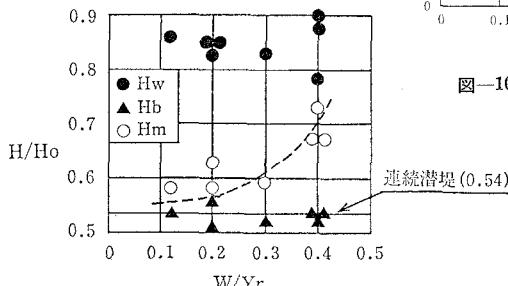


図-12 堤内波高低減率の変化

るとタイプIIへ、1.0より大きくなるとタイプIVへ移行する傾向を示している。

次に、不連続潜堤による流速、波高の特徴について述べる。図-9に示すように、潜堤開口部出口流速を V_r 、堤内の開口部、潜堤背後、全域での沖向平均流速をそれぞれ V_w 、 V_b 、 V_m 、また同位置での平均波高を H_w 、 H_b 、 H_m とし、図-10に開口部出口流速、図-11に堤内流速、図-12に堤内の波高低減率の変化をそれぞれ開口率で整理して示す。開口部出口流速は、開口率と強い相関が見られ、開口率が大きくなるにつれて、開口部での流速は減少している。堤内流速は開口率による顕著な特徴は見られないが、全体的に右下がりの傾向である。また、堤内波高低減率は、潜堤背後では連続潜堤での値とほとんど差ではなく、全域について見ると右上がりの曲線になり、開口率が0.3以下ではほぼ一定で、約6割に低減された。

なお、堤内開口部での波高低減率は、開口幅と沖波波

長との比 W/L_0 と比例関係になる傾向が見られた。

(2) 天端水深 R が海浜流に与える影響について

不連続かつ同一形状・配置の潜堤において、天端水深を変化させた場合（ケース3、3a、3b）の流速の変化を R/H_0 について整理し、その結果を図-13、14に示す。

潜堤開口部出口流速は R/H_0 と強い相関が見られ、 R が小さくなるほど開口部での流速が大きくなる傾向にある。しかし、堤内流速は、潜堤背後、開口部とも特徴的な傾向はなく、天端水深の影響は認められなかった。

(3) 波向 θ が海浜流に与える影響について

図-15に、波向を変化させた場合（ケース5a、5b）の流速分布を設置前、設置後について示した。

潜堤設置前の場合、特定の離岸流は形成されず、汀線付近で沿岸方向の流れが卓越した。また、その流速はその入射角が大きくなる程大きく、流れの方向も汀線と平行になった。潜堤設置後の海浜流パターンは基本的には直入射によるパターンと同じタイプIIIを示し、潜堤天端両端部には一対の循環流が形成された。しかし、堤内には波向きの入射側にあたる潜堤左側後部に循環流が一つ形成されるだけであった。

同じ波向きの波浪条件で潜堤設置前後の流速分布を比較すると、潜堤設置前において汀線付近で卓越した一方

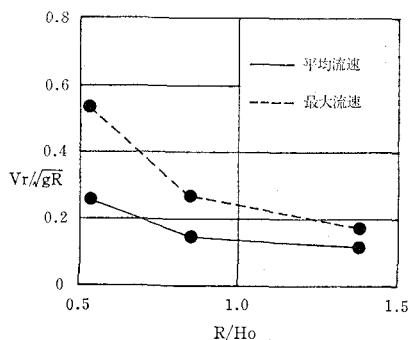


図-13 開口部出口流速の変化

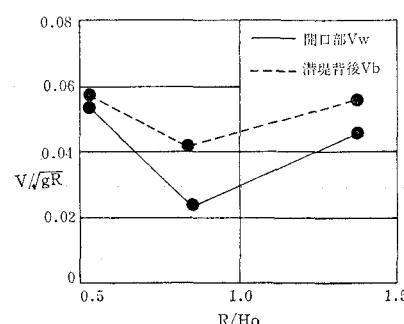


図-14 堤内流速の変化

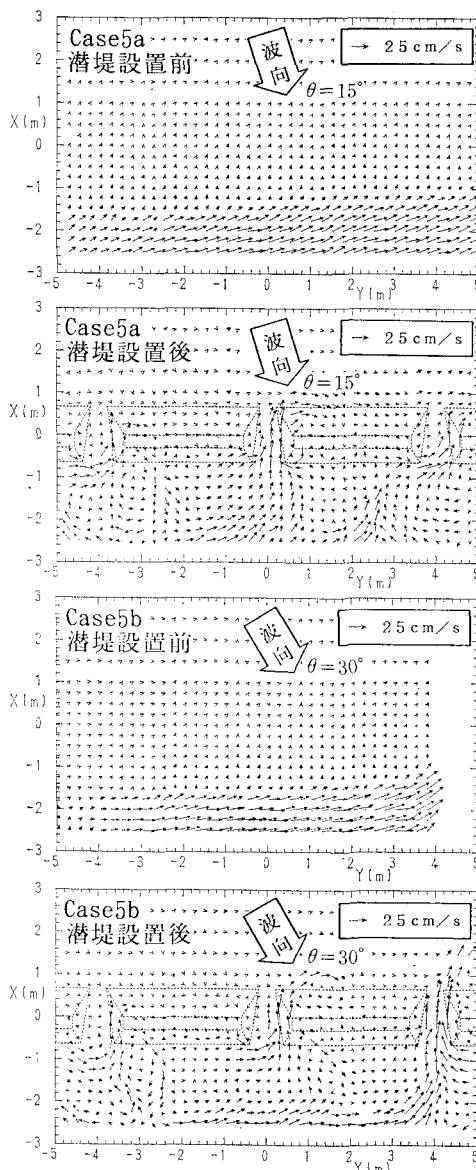


図-15 不連続潜堤による流速分布(2)

向の沿岸流は、潜堤を設置することにより、流速値は小さくなり、その流れも制御されることがわかった。また、堤内には波向きの入射側にあたる潜堤の左側後部に一つの循環流が形成されるが、もう一方では斜め沖向きの離岸流が開口部に集中するため、この部分からの砂の

流出や開口部の侵食が懸念される。

4. 結 論

(1) 連続潜堤を設置した場合

a) 堤内の平均波高は沖波入射波の5~6割程度まで、沖向平均流速も設置前の5割以下に低減できる。

b) 潜堤天端上の強制碎波による流れは、碎波高の高い部分で岸向き、低い部分で沖向きを示し、堤内を含めた海浜流はタイプIのような流況となる。

c) 2次元実験で求めた波高低減率と堤内水位上昇率についての推定式(1)式および(2)式は、平面実験においても良く一致し、その有効性が確認できた。

(2) 不連続潜堤を設置した場合

a) 不連続潜堤周辺に生じる海浜流パターンとしては、潜堤実長 L_r と離岸距離 X_b の比 L_r/X_b によりタイプII、タイプIII、タイプIVに分けられる。

b) 潜堤堤内の波高低減率は全域にわたり、開口率による顕著な変化は見られなかった。また、潜堤背後での波高低減率は連続潜堤での値と比べてもほとんど差はない、堤内開口部での波高低減率は開口幅と沖波波長との比 W/L_0 と相関が見られた。

c) 潜堤開口部出口流速は開口率および天端水深が小さくなるほど大きくなる傾向にある。

d) 斜め入射波による潜堤設置後の海浜流パターンは、基本的には直入射によるパターンと同じであり、汀線付近で卓越する一方向の沿岸流は、潜堤を設置することにより、その流れが制御されることがわかった。

最後に、本研究を実施するに当たり、貴重な御助言を戴いた電力中央研究所の清水主査研究員に対し、謝意を表します。

参考文献

- 宇多高明・小俣篤(1986): 人工リーフの波浪減衰機能と海浜流場の形成に関する考察, 土木技術資料, Vol. 28, No. 2, pp. 88-93.
- 宇多高明・小俣篤(1986): 人工リーフの設計法, 土木技術資料, Vol. 29, No. 12, pp. 646-651.
- 宇多高明・小俣篤・横山揚久(1987): 人工リーフ周辺に生じる海浜流と地形変化, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 337-341.
- 浦上博行・岡本正由・佐藤公己・柴田浩二(1991): 梱石潜堤の波浪減衰ならびに堤内水位上昇に関する実験式の提案, 第46回年講講演概要集, pp. 846-847.