

潜堤開口部周辺の地形変化に関する研究

南 将 人*・真 野 明**

1. 目 的

海岸保全を主目的とし、景観性及び集魚効果等を期待して人工リーフや潜堤が、離岸堤に代わって多用されている。しかし、その直背後では局所洗掘現象が生じている事例も報告されている(荘司ら, 1992)。また、2基以上の複数で用いる場合、海岸保全施設築造基準解説(1987)によると、平面配置の計画に当たり、堤長(L_r)と離岸距離(Y)および群堤間の開口幅(W)との関係は、施設の背後に生じる流れのパターンで決められ、人工リーフ設置による生じる海浜流および海浜変形、海浜の利用等を考慮して決定すると、記述されている。その目安となる長さについて、海岸施設設計便覧 2000 年版(2000)には、堤長は離岸距離以上でその 4 倍以下であり、群堤の場合の開口幅は堤長の 1/4 以上が望ましい。しかし、概略の流況パターンが推定されるものの平面配置を設定するには、流況の数値シミュレーションや地形変化シミュレーション、模型実験等を実施して決定するのが望ましいと記述されており、平面配置、特に開口部幅については明確とは言いがたいのが現状である。また、人工リーフ設置後の漂砂現象について数値シミュレーションも数々試みられている(宇多ら, 1989; 中田ら, 1992; 清水ら, 1993; 武若ら, 1994; 糠沢ら, 1987)ものの、統一的な計算モデルの確立が難しく、設置後の漂砂制御に対する効果については、実際の施工事例からその効果を検証している。以上のように、人工リーフや潜堤を複数で用いる場合には、潜堤直背後に加えて開口部周辺でも地形変化を生じる事が予想される。

本研究は、人工リーフや潜堤設置後の地形変化を把握する目的で、まず施工事例を「アンケート方式」で全国的に調査して形状や平面配置等を整理した。次に、設置前後の深浅測量を実施した事例から地形変化量を求め、人工リーフや潜堤設置に伴う地形変化の実例を示すと共に、その地形変化の要因となる波浪データを用いて開口部からの戻り流れ速度を算出して地形変化量の試算を

行った。

2. アンケート調査

2.1 調査内容

施工中あるいは施工済の「潜堤と人工リーフの施工事例」調査をアンケート方式で実施した。調査は、平成 12 年 11 月～12 月にかけて、海岸を有する都道府県および国土交通省各工事事務所等、全 67 事業体を対象に実施した。調査項目は、構造物の形状に関する項目や群堤の場合の開口幅等を含め、以下の全 13 項目とした(図-1 参照)。

- a) 工事名称, b) 設置位置,
- c) 施工状況 (施工中 or 施工済), d) 完成時長さ,
- e) 施工済長さ (L_r), f) 施工期間,
- g) 離岸距離 (Y), h) 天端幅 (B),
- i) 設置水深 (h), j) 天端水深 (R),
- k) 開口部幅 (W), l) 設計時に用いた資料,
- m) 深浅測量の実施時期

また、調査項目中 m) の深浅測量の実施時期について、設置前後に深浅測量を実施していた場合には、その深浅測量図を入手し、デジタイザー等を用いて水深を読み取り、5 m 格子間隔で水深データを補間した。そして、人工リーフ・潜堤設置に伴う周辺の地形変化特性を求めるために、補間された水深データを用いて、等水深線の経年変化や設置前後ならびに設置後の経年変化による構造物周辺の地形変化量を算出した。

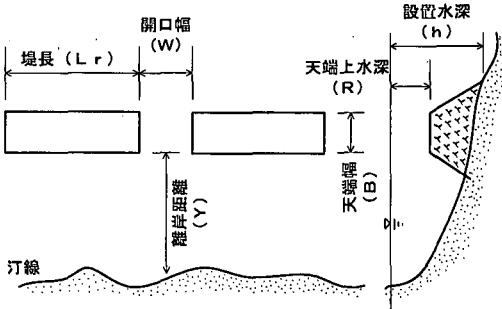


図-1 記号の定義

* 正会員 工修 八戸工業高等専門学校助教授 建設環境工学科
** 正会員 工博 東北大学大学院教授 工学研究科附属災害制御研究センター

2.2 調査結果

アンケート調査に対し、25事業体で約100件の施工事例があり、ほとんどが「都道府県」が主体となって実施されていた。設置前後の深浅測量の実施事例は6事業体で10ヶ所の事例があった。

人工リーフや潜堤の設置目的として、海岸環境整備や侵食対策、高潮対策、あるいは養浜砂の砂流出防止等が挙げられた。これらの事例の内、高潮対策および砂流出防止を目的として設置されたのは数件で、ほとんどが海岸環境整備あるいは侵食対策を目的としていた。

設計時に用いられた資料として、構造物の形状やブロック重量の算定に必要な波浪緒元の計算方法に関する資料を含め、多くの資料が使用されていた。それらは、人工リーフの設計の手引き(全国海岸協会, 1992)、ビーチ計画・設計マニュアル((社)日本マリーナ・ビーチ協会, 1992)、漁港海岸事業設計の手引き((社)全国漁港協会, 1996)、等が挙げられた。

事例の少ない高潮対策および養浜砂流出防止を目的とした事例を除き、環境整備と侵食対策として設置された事例を対象とした場合、天端幅(B)については2m~100mまで、そして設置位置の水深(h)は3m~10mまでとなり、天端幅はかなり広範囲に渡って設定されていた。また、漂砂制御の観点から、宇多ら(1987)の研究に習い堤長/開口幅(L_r/W)と堤長/離岸距離(L_r/Y)の整理結果を図-2に示す。図中の○印は、宇多らによる流況パターンIと分類された実験結果を示している。図中の斜線で示した範囲は、前述の海岸施設設計便覧に記載されている漂砂制御を目的した場合の堤長、離岸距離、開口幅の範囲を示している。アンケート調査の結果(図中◆)は、この範囲よりやや L_r/W が高くなっており堤長に対して開口幅をやや狭く設定している事例が多かった。

3. 開口部周辺の地形変化

3.1 開口部($L_r/W=4$)を有する潜堤群の地形変化

開口部を有する潜堤群を設置した事例を図-3に示す。

す。水深4.0m付近に、堤長400m、天端水深2mの潜堤が2基設置され、開口幅は100m($L_r/W=4.0$)、離岸距離は300m($L_r/Y=1.3$)である。この海岸では、設置前の深浅測量に加え、設置後24ヶ月、30ヶ月、36ヶ月、66ヶ月、72ヶ月の合計6回の深浅測量が実施された。その深浅測量図を用いて作成した水深の格子データを用いて、特に開口部周辺のすり鉢状洗掘範囲の経年変化を以下に整理した。

同図には、開口部周辺の水深6.0mの経年変化を示した。設置前の開口部周辺の水深は4m程度であったが、設置後の開口部周辺は約2m侵食していた。潜堤岸側背後で侵食が生じる例は数多く報告されているが、この事例では開口部中央(図中A)とその沖側(B)に洗掘が生じている。開口部中央では、岸沖方向に帯状に2m程度の侵食域が発生している。また、後者のすり鉢状の洗掘は、施工後24ヶ月で発生し、約6ヶ月間隔でその中心位置が左右に移動している。その中心位置と開口部中央との岸沖方向の距離は約100mであり、ほぼ開口部幅に等しい。また、侵食域の形状は、ほぼ楕円となり、その長軸方向と潜堤法線がほぼ平行となっている。開口部中央の洗掘は、沖向の戻り流れが主原因と考えられるが、すり鉢状の洗掘については潜堤法線方向(=沿岸方向)成分も存在していると考えられる。

図-4に、潜堤設置24ヶ月後の等水深線図を示す。右側の潜堤(図中記号A)の背後にはトンボロが形成され、水深3mの等水深線が潜堤(A)と接続している。それに対し、左側の潜堤(記号B)では潜堤背後に帯状に侵食域が発生し、背後には最大5mの侵食が発生している。また、潜堤の開口部沖側には-8mのすり鉢状の洗掘が発生しているのが特徴的である。開口部沖側では、設置後24ヶ月に洗掘を生じ、その後堆積して、現在、開口部沖側の水深は6mとなっている。以下、図に示す様に、開口部中央を原点とし、沿岸方向にY軸を(左側を+)、岸沖方向にX軸(沖側を+)の座標を設定し、洗掘位置の変化等を整理した。

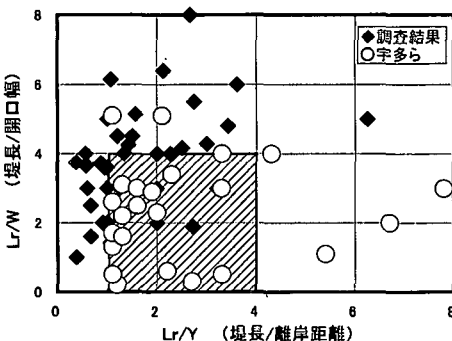


図-2 開口部幅と堤長さ

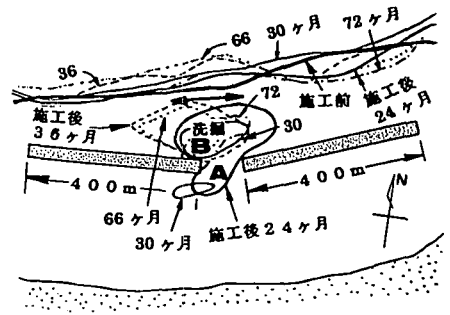


図-3 等水深線(6m)の経年変化

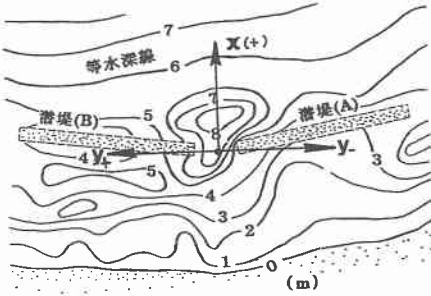


図-4 等水深線図（設置24ヶ月後）と座標の定義

図-5 に、設置後36ヶ月間の地形変化量の分布図を示す。全6回の深浅測量の中で、開口部沖側で最も洗掘深さが大きかった場合である。開口部沖側で円状に、また左側潜堤の背後（岸側）に帯状に侵食域が発生しており、右側の潜堤背後では堆積傾向となっている。全6回の深浅測量期間中、夏季を経過した（設置24月後と30月後の地形変化量）場合、開口部中央および沖側、そして左側潜堤岸側領域は堆積となっていた。これに対し、冬季を経過した期間中（36-30月間と66-72月間）の地形変化量分布は、左側潜堤の岸側は侵食し、開口部中央はほとんど地形変化が見られなかった。しかし、左側潜堤の開口部沖側法先周辺では、侵食あるいは堆積傾向となり、同じ期間でも異なった地形変化が生じていた。

図-6 に、開口部沖側に発生したすり鉢状洗掘の最大洗掘位置の経年変化を整理した。図中の数値は、設置後の経過月数と最大深さ（ Z_{max} ）を示している。図-3の結果と合わせて最大洗掘位置の移動方向と領域の大きさの変化特性を整理すると、夏期（4～9月）に領域が狭まり、冬期（10～3月）に左右に移動している。移動範囲は、開口幅（ W ）を基準にすると沿岸方向で $-0.3 \sim 0.8$ 、岸沖方向で $0.4 \sim 1.0$ の範囲となっている。岸沖方向には平均して開口幅の約0.7倍の位置となり、沿岸方向には左側潜堤の沖側前面に位置する事が多かった。また、冬期でもその移動方向が異なっている。また、最大洗掘深さについては、設置後36ヶ月後に8.9mとなり、その後2m程堆積して、72ヶ月後には6.2mとなっている。開口部を有した潜堤群を設置した場合には、その沖側の地形変化についても注意が必要である。

3.2 波浪出現状況

この海域における波浪の出現状況の整理結果を以下に示す（NOWPHAS（1995-1999））。整理対象とした観測期間は、設置前の深浅測量から設置後72ヶ月間内、波向観測が実施された5年間分（60ヶ月分）を対象とした。図-7に波向の出現状況を示す。左側には季節別波向出現頻度を右側には季節別平均有義波高を示している。また、図中の破線は、冬季の最大波の出現方向を示してい

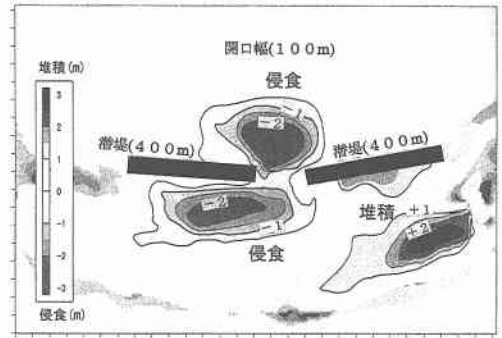


図-5 地形変化量分布図（設置36ヶ月後）

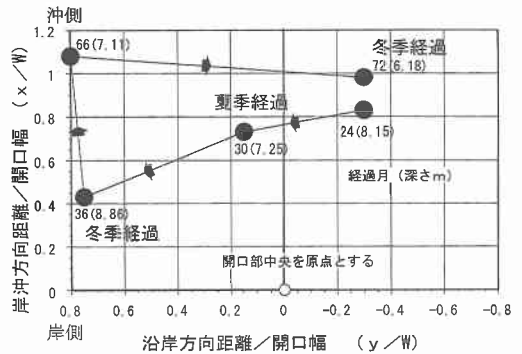


図-6 最大洗掘位置の変化

る。

波向きの出現状況は、潜堤の法線直角方向に対して ± 22.5 度の傾きを持って発生しており、夏期で右側から（図中の記号 $\blacktriangle$ ）、冬期で左側（ $\circ$ ）から多く出現している。季節別の平均有義波諸元は、それぞれ $H_{1/3}=0.4 \sim 0.8$ m（ $\blacktriangle$ ）、 $T_{1/3}=4.3 \sim 5.9$ s、 $H_{1/3}=0.5 \sim 1.6$ m（ $\circ$ ）、 $T_{1/3}=4.6 \sim 7.3$ sであった。

また、月別のエネルギー平均波を算出した結果、最も波高が高いのは1月で波高2.3m、周期7.2sであり、年平均では波高1.6m、周期6.0sとなっていた。

3.3 開口部からの漂砂量フラックスの推算と流況

開口部周辺の洗掘量を Brown の式（1950）を用いて試算した。この式は、掃流砂を対象したものであり、開口部からの戻り流れによって、年間の土砂移動量を推定した。Brown の式は、掃流砂量の算定式として式（1）の実験式で表されるものである。

$$\frac{q_B}{u_* d} = 10 \tau_*^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 q_B ：単位幅当りの漂砂量フラックス
 u_* ：摩擦速度、 d ：粒径、 τ_* ：掃流力
 を示す。

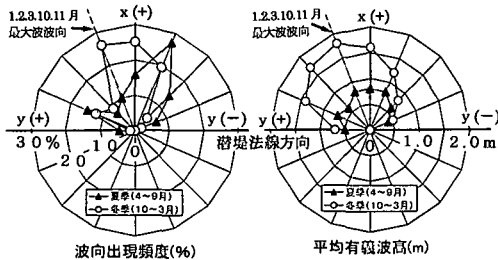


図-7 波向と有義波高出現状況

水深平均された流れ場では、水深平均流速 u と摩擦速度 u_* との関係が式 (2) で表され、水深平均流速 (= 戻り流れ速度) から摩擦速度を求める事ができる。

$$u_* = u \sqrt{C_f} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 C_f : 摩擦抵抗係数を示す。

式 (1) を用い、潜堤群の開口部を単位時間に通過する土砂のフラックスの算出式を求めると以下の通りとなる。

$$\int q_b W dt = \frac{10}{s^2 g^2 d} C_f^{2.5} W \sum_{i=1}^{12} u_i^3 \Delta t \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 s : 砂の比重-1, W : 開口幅, Δt : 1ヶ月の秒数, u_i : 月別開口部からの戻り流れ流速, を示す。

算定手順は、以下の通りである。まず、波浪観測結果より月別のエネルギー平均波諸元を求めて開口部および潜堤より岸側に入り込む全流量を求めた。その際、潜堤部については天端面より上部のみ岸側に流入するとして扱った。次に、この流量が開口部 (海底面から水面までと仮定) から沖側に戻り流れとして流れ出る時の断面平均流速 (u_i) を求めた。また、 C_f は Chezy 係数や Manning の粗度係数 (砂利底面は $n=0.02$) と関連付けられており、月別の漂砂量フラックスを求めて、12ヶ月分を合計する事で、開口部からの通過土砂の正味体積を算出した。

以上の様にして算出した結果、開口部からの戻り流れ速度が最も早いのは1月で $u_1=1.1$ m/s, 遅いのが7月で $u_7=0.1$ m/s が得られた。また、漂砂量フラックスが最も多いのは1月で、漂砂量フラックスは 2.0 万 m^3 , 少ない月は7月でほぼ0となり、1年間の総漂砂量フラックスは、約 3.6 万 m^3 と見積もられた。

次に、戻り流れによる開口部周辺の流れ場を求めた。開口部周辺の流れ場の計算は、次のようにした。計算に用いた基礎式は、平面2次元の連続式とナビエ・ストークス式である。計算格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 1$ m とし、沿岸方向に潜堤堤長の半分に開口幅の半分を加えた長さの 250 m, 岸沖方向に 200 m と設定した。また、開口部中央の対称性を考慮し計算範囲を設定した。図中の右側境界は透過条件とし、左側の開口部の境界条件として断面平均の

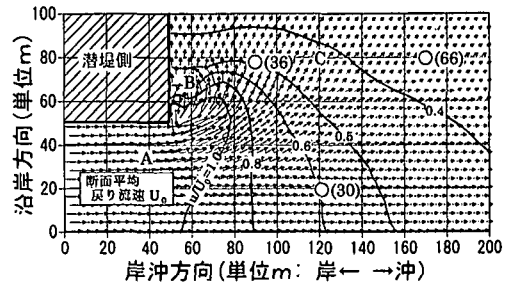


図-8 潜堤周辺の流況

戻り流速を用いた。流速と圧力の計算点はスタッガード格子配置とし、SOLA 法によって平面流速分布を求めた。

図-8 に、沿岸方向に開口部中央から 100 m 範囲の平面流速分布図を示す。図中の線は、開口部の流速の大きさを無次元した値を示している。図より、開口部から沖側に向かう戻り流れは、開口部沖側を中心 (図中 A) とする同心円状に減少し、また、潜堤沖側の端部 (図中 B) では、流れの方向を急激に変化させ反時計回りの流況となっている。前述した図-6 の最大侵食位置の経年変化で、 $Y/W=0.8$ (沿岸方向の最大位置) $X/W=0.7$ (平均的な沖側位置) に相当する位置を図中の記号 C に示す。流向や流速の変化が大きい潜堤沖側端部 (B) より離れた位置となっており、沖側の洗掘範囲が楕円形となっていることから、開口部からの噴流に、沿岸方向の流れを加える必要があると考えられる。

4. 結 論

本研究によって得られた結論を以下に列記する。

- 1) 平成 12 年 11~12 月に全 67 事業体 (各都道府県, 国土交通省等) を対象に「人工リーフ・潜堤施工事例」の調査を実施し、約 100 事例を収集した。開口幅については、「海岸施設設計便覧」等に記載されている目安より、やや狭く設定している事例が多かった。
- 2) 潜堤群の設置前後に実施された深浅測量図を用いて、設置後の地形変化を算出した結果、潜堤直背後のみならず、開口部周辺にも洗掘が生じていた。
- 3) 開口部からの戻り流れ速度を概算し、開口部からの漂砂量フラックスを Brwon の式を用いて推算した。
- 4) 潜堤群を設置した場合、開口部周辺ではその中央部と沖側に洗掘が生じていた。後者については、余剰質量による戻り流れだけで最大洗掘位置を推定する事は難しく、潜堤法線方向の流れを加える必要がある。

謝辞: 本研究の実施にあたり、都道府県, 国土交通省各工事事務所よりアンケートに対する御協力、ならびに

深淺測量図の提供を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

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.

宇多高明・坂野 章・竹渕 勉 (1989): 高知海岸人工リーフ水理模型実験報告書, 土木研究所資料, 第 2782 号, 42 p.

沿岸開発技術研究センター (1995-1999): 全国港湾海洋波浪観測資料 (NOWPHAS).

清水琢三・今井澄夫・寺田賢二 (1993): 人工リーフ建設に伴う地形変化, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 546-550.

荘司喜博・中山春雄・滝口要之助・高橋豊喜・黒木敬司・坂井隆行 (1991): 新潟西海岸の潜堤設置による波, 流れおよび地形変形の観測, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 316-320.

全国海岸協会 (1987): 海岸保全施設築造基準解説, 東光整版,

269 p.

全国海岸協会 (1992): 人工リーフの設計の手引き, 94 p.

全国漁港協会 (1996): 漁港海岸事業設計の手引き, 水産庁監修, 182 p.

武若 聡・入江 功・山口 洋 (1994): テーパ型潜堤による海浜地形変化制御の試み, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 706-710.

土木学会海岸工学委員会 (2000): 海岸施設設計便覧 2000 年版, 584 p.

中田博昭・鈴木 勝・阿部勝雄・川又良一・南 将人 (1992): 潜堤周辺の地形変化に関する数値モデルと現地観測結果との比較, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 431-435.

日本マリーナ・ビーチ協会 (1992): ビーチ計画・設計マニュアル, 運輸省港湾局監修, 山海堂, 140 p.

糠沢宏二・井上 力 (1987): 新潟海岸人工リーフ工法, 海岸, 第 27 号, pp. 89-95.

Brown, C. B. (1950): Engineering Hydraulics, edited by H. Rouse, John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y.