

人工海浜への潜堤の利用

入江 功^{*}・菅原一晃^{**}・森 好生^{***}・滑川伸孝^{****}

1. まえがき

駿河湾の東部に位置する宇久須港海岸は、沖合が急深なため、海岸が直接荒波にさらされ、海浜には砂が留まることができず砂礫海岸になっている。この海岸に人工海浜を造成し、通常の離岸堤で防護しようとするれば、岸離堤の開口幅を相当狭くする必要があり、景観を著しく阻害するだけでなく、海水浴客にも心理的圧迫感を与えるものと思われる。最近では景観を損なわず海浜を防護する目的で人工リーフ等の造成が試みられつつある。しかしこの工法では広範囲に石材を投入する必要があり、また航行船舶の安全にも影響を与える等の点に問題がないとは言えない。そこで本研究では、通常の離岸堤を用いたうえで、その開口部に潜堤を設けることにより、開口幅をできるだけ広くする可能性について検討した。

2. 宇久須港海岸の自然

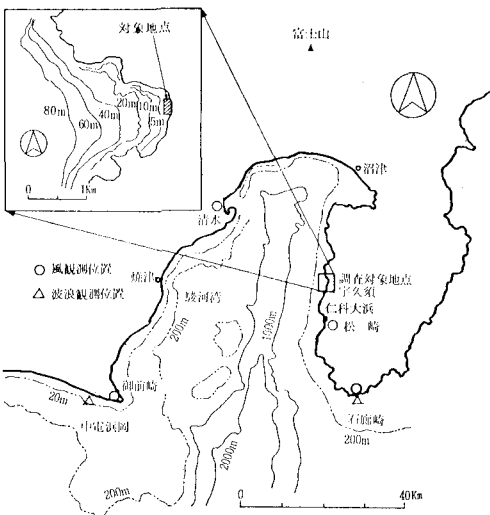


図-1 対象地点

図-1に示すように駿河湾東部の海底地形は急深であり、そのため伊豆半島の西海岸には砂浜海岸が非常に少ない。宇久須港海岸もその例外でなく、波の影響を直接受けるために礫浜海岸になっている。

海底の砂移動の主要な外力条件は波浪であるが、宇久須および近隣海岸では波浪観測が実施されていない。そこで駿河湾内で発生する風波については、風の観測値よりSMB法で推算し、駿河湾口から進入する外洋性波については、遠州灘の浜岡の波浪観測値より沖波を求め、不規則波の浅海変形計算を行い、地形による回折効果を考慮して、対象地点の波高と周期を求めた。このようにして求めた昭和58年1月から昭和60年12月までの3か年の波向別波高出現率を図-2に示す。

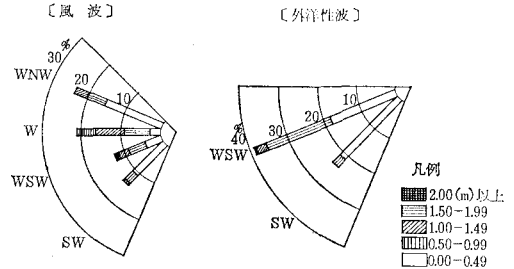


図-2 波向別波高出現率

なお風波の周期は、2～6秒の範囲であり、外洋性波の周期は、3～15秒と広範囲である。波浪エネルギーのピークを示す波浪諸元は、外洋性波の場合で波高0.5～0.75m、周期5～6sであり、風波の場合で波高1.25～1.5m、周期4～5sであった。風波と外洋性波を合成した年間エネルギー平均波は、波高0.84m、周期5.0s、波向S79°Wである。

出現頻度は少ないが、短時間に大きな地形変化をもたらす異常波浪については、浜岡と石廊崎の昭和51年～60年の観測値より推算した。確率波高の算定結果から宇久須港海岸における10年確率波は、波高3.3m、周期13sとなった。

なお宇久須港海岸の潮位条件は、H.W.L.=+1.7m、M.S.L.=+1.0m、L.W.L.=±0mである。

^{*} 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部長
^{**} 正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部 主任研究官
^{***} 正会員 沿岸開発技術研究センター 調査研究部 第二部長
^{****} 正会員 工修 沿岸開発技術研究センター 調査研究部 主任研究員

3. 二次元固定床実験

(1) 実験の目的と内容

人工海浜を安定に保つには、潜堤の諸元が堤内側の波および戻り流れを小さくして、沖向きの底質移動による砂浜の欠損をできるだけ抑えるものでなければならない。そこでこの諸元を明らかにするため、長さ 25 m、幅 0.5 m、高さ 0.65 m の水路に、勾配 1:15 の固定床を設置し、水深 15 cm の位置に天端幅 $B=10\sim50$ cm の 3 種類、天端高 $H_c=0\sim-10$ cm の 5 種類の透過式潜堤を設置して、これに波高 $H=3\sim10$ cm、周期 $T=0.8\sim1.8$ s の 4 種類の波を作用させて実験を行った。

このときの模型の幾何縮尺は 1/30 である。

測定項目は、図-3 に示すように、潜堤位置から X の位置における波高、水位上昇量、表層流速、底層流速と前浜上の遡上高である。波高測定は容量式波高計、水位上昇はピトー管により行った。流速は直径約 0.7 cm のプラスチック球のフロートを用い、比重 1.0 弱のもので表層流速、それより若干重いもので底層流速を測定した。底層流速の測定には電磁流速計を併用したが、このときの測定位置は、床上 2 cm である。

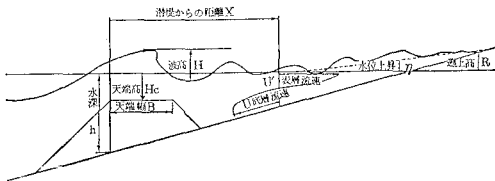


図-3 測定項目

(2) 伝達波高

潜堤による波浪の減殺効果については、既に数多くの研究がなされている。図-4 は、潜堤の天端幅をパラメータにとり、横軸を天端高、縦軸を波高伝達率とした田中等¹⁾の図であり、同図に $X=100$ cm 位置の波高伝達率の値をプロットした。

同図によれば天端高が高く（静水面に近く）、天端幅が広いほど波高伝達率が小さくなっている。今回の実験値においてもその値は全体的に大きめであるが、同じ傾向がみられ、潜堤による波浪の減殺効果が確認された。

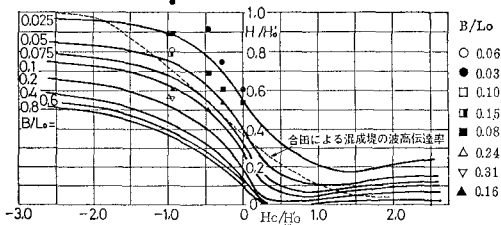


図-4 波高伝達率

(3) 底層流速

図-5 は、潜堤の天端高と $X=80$ cm 位置の底層流速の関係を天端幅をパラメータとして示したものである。

ここで天端高は換算沖波波高、天端幅は潜堤設置位置の波長、流速は周期と換算沖波波高により無次元化している。流速の符号は岸向きを正、沖向きを負とした。

同図によれば全体的に底層流速は、天端高が高いほど、沖向きの流速が減少する傾向がみられる。ただし天端幅が小さく、波高が小さいケースで逆の傾向がみられるものもあるが、この理由は明確でない。

図-6 は、潜堤の天端幅と $X=80$ cm 位置の底層流速の関係を天端高をパラメータとして示したものである。同図によれば天端幅波長比 B/L が 0.1~0.2 の範囲を境にして、天端幅が広がるにしたがって、沖向きの流速が増大する傾向がみられる。このことより潜堤の天端幅を広げることが、必ずしも沖向きの底層流速を減少させることにはならないと考えられる。電磁流速計による流速値からも、両図と同様な傾向が得られている。

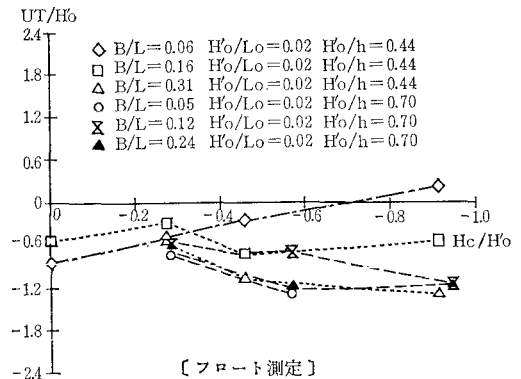


図-5 天端高による底層流速の変化

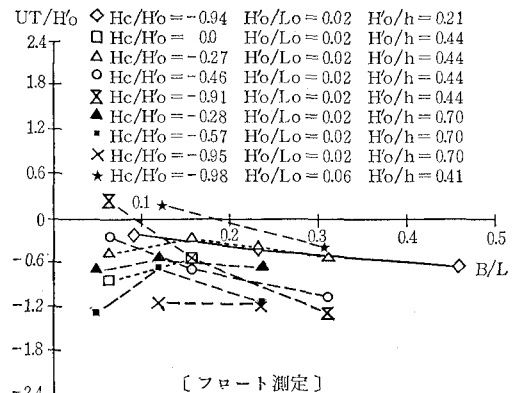


図-6 天端幅による底層流速の変化

(4) 岸沖方向の底質移動量

ここでは堤内側での戻り流れによる沖向きの底質移動

量を小さくする潜堤諸元を求める。

海底での底質移動量は、浮遊砂濃度と流速の積であらわすことができる。このとき問題になる浮遊砂濃度 C_b は、入江・寺崎・加藤の実験的研究²⁾によれば式(1)で示される。

$$C_b = 5000(\phi_m^{3/6})^{0.6} \dots \dots \dots (1)$$

ここで ϕ_m はシールド数であり、次のように示される。

$$\phi_m = \frac{f_w \cdot u_b^3}{2(S-1)g \cdot d_{50}} \dots \dots \dots (2)$$

f_w : Jonsson の粗度係数

S : 底質の比重

d_{50} : 底質の中央粒径

u_b : 底面における水粒子速度の最大値

g : 重力加速度

一定とみなすことのできる項目を一つの常数で表現し、

$$C_b = \text{Const} \cdot u_b^{3/6} \dots \dots \dots (3)$$

底層の流速値を U とすれば、底質の移動量 Q は、式(4)で評価できる。

$$Q = \text{Const} \cdot u_b^{3/6} \cdot U \dots \dots \dots (4)$$

対象地点での通常時の大きめの波浪 ($H=1.8\text{m}$, $T=7.7\text{s}$) と異常時の波浪 ($H=3\text{m}$, $T=9.9\text{s}$) について、実験値の堤内波高、周期、水位上昇を加算した水深から微小振幅波理論により u_b を算出し、この u_b と底層流速の測定値 U から底質移動量 Q を求め、潜堤設置による海浜砂の欠損の割合を、 Q と潜堤を置かないときの同位置での底質の移動量 Q_0 との比 Q/Q_0 で評価した。

図-7 は、 $X=80\text{cm}$ 位置での Q/Q_0 の値を横軸を天端幅、縦軸を天端高とした座標に示し、これらの値より Q/Q_0 の近似曲線を示したものである。このときの底質移動量 Q の符号は、流速と同じく岸向きを正とし、沖向きを負と定義した。

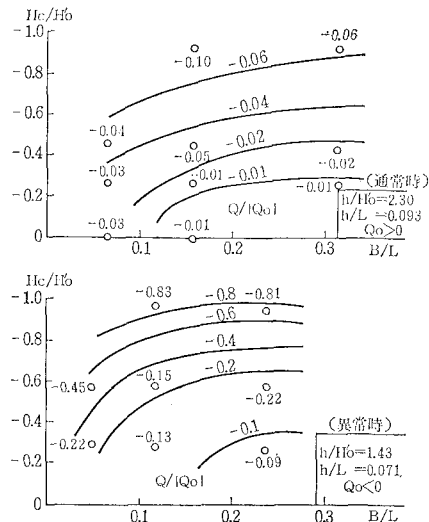


図-7 潜堤による底質移動量の減衰 ($X=80\text{cm}$)

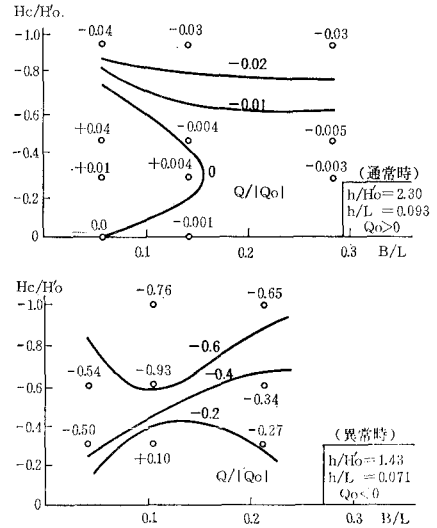


図-8 潜堤による底質移動量の減衰 ($X=120\text{cm}$)

同図によれば、潜堤による沖側方向への底質移動量の減殺効果は、天端高に敏感であるが、天端幅については $0.1 \sim 0.2$ 波長を越えるとその変化は少ない。

図-8 は、 $X=120\text{cm}$ 位置での Q/Q_0 の図であるが、同図においてもほぼ似た傾向がみられる。

図-7, 8 より $H_c/H_0 > -0.3$, $B/L > 0.15$ の範囲内であれば砂浜の欠損を著しく少なくすることができると判断し、天端高を $L.W.L. \pm 0\text{m}$ 、天端幅を現地換算で 10m として潜堤諸元を定め、二次元移動床実験に移った。

4. 二次元移動床実験

(1) 実験断面

宇久須港海岸は礫浜海岸であり、砂浜がないので近隣の仁科大浜海岸(図-1参照)の砂浜海浜断面と底質粒径から宇久須港海岸で用いる養浜砂の粒径とのちがいを両海岸の波浪特性のちがいを考慮して、宇久須港海岸が砂浜であった場合の想定砂浜断面を求めた。

仁科大浜海岸の砂の中央粒径が $0.3 \sim 0.4\text{mm}$ であったので、養浜砂の値とはほぼ同一と考えることができる。

このようにして求めた宇久須港海岸の想定砂浜断面を養浜工断面、現況断面とともに図-9に示す。ただし図

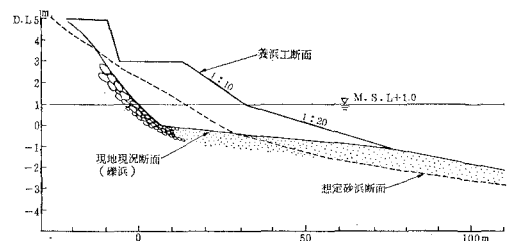


図-9 宇久須港海岸の海浜地形断面

中の想定砂浜断面の水平位置は、現地断面との関係を考慮して描いたものである。

(2) 実験の内容

移動床実験で用いた水路は、固定床実験のものと同一であり、中央粒径 0.17 mm の砂を用いて、図-9に示す想定砂浜断面の模型をつくった。この模型断面に潮位を M.S.L. にして、通常時の波浪として波高 $H=1.3\text{ m}$ 、周期 7 s を与え、3種類の模型歪み（鉛直縮尺/水平縮尺）の実験により、水平縮尺 $1/60$ 、歪み 1.3 の模型縮尺を決定した。

養浜工断面の実験は、通常波浪時で養浜工断面に潜堤を設置したケースと設置しないケース、10年確率波の異常波浪時で潜堤を設置したケースの計3ケースであり、表-1に条件とともに示す。

表-1 養浜工断面の実験ケースと条件

ケース	波 高	周 期	潮 位	潜 堤
1	1.3 m	7 s	M.S.L. +1.0 m	無
2	1.3 m	7 s	M.S.L. +1.0 m	有
3	3.3 m	13 s	H.W.L. +1.0 m	有

ただしケース3の初期断面は、ケース2の波と潮位条件で10時間経過した断面としている。

各ケースの波の作用時間は10時間とし、初期断面ならびに、波作用後2, 4, 6, 10時間後の断面をレベル測量により測定した。

(3) 潜堤の効果

養浜工実験の各ケースの実験結果を図-10に示す。同図に示された潜堤有の CASE 2 の10時間後の断面変化は、潜堤無の CASE 1 に比較して著しく減少しているとともに、CASE 1 で侵食が著しい水面下 1 m より

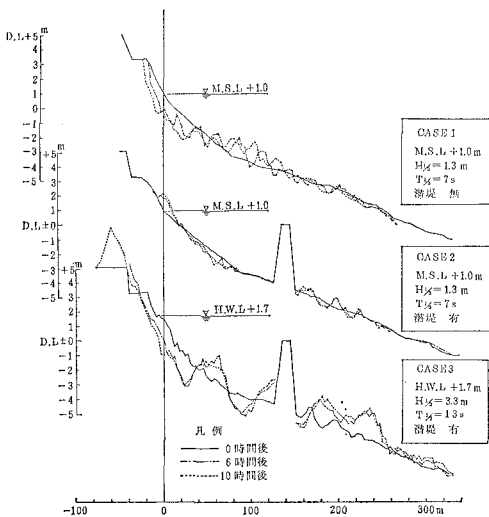


図-10 波による養浜工断面の変化

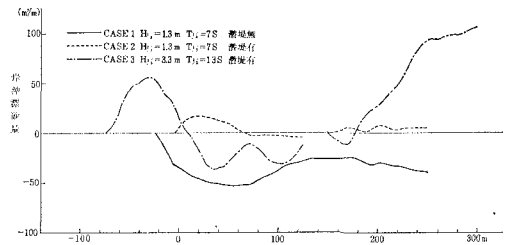


図-11 岸沖漂砂量

陸上部分にかけては堆積傾向がみられ、汀線が沖側に前進している。異常波浪時で潮位が高い CASE 3 では、波の輸送エネルギーが大きくなり、断面変化も CASE 2 に比較して大きくなっているが、侵食された砂の大部分は、 $+3\text{ m}$ と $+5\text{ m}$ の平坦部に堆積し、潜堤により波形勾配が減少した結果、前浜勾配が急な堆積性海岸になっている。

図-11 は、波を10時間作用させたときの単位幅あたりの砂移動の累積量（岸沖漂砂量）を、陸上部を起点として示したものである。同図によれば潜堤を設置していない CASE 1 では、汀線付近から沖合にかけて急激に侵食されているが、同じ波浪で潜堤を設置した CASE 2 では、同範囲で砂が堆積しており、潜堤内で侵食される砂の量はきわめてわずかである。異常波浪を作用させた CASE 3 も、陸上部での堆積量が大きく、侵食される量は CASE 1 に比較して小さい。以上のことから潜堤の効果が確認された。

5. 三次元移動床実験

二次元水理模型実験により検討した模型縮尺、養浜工断面、潜堤断面をもとに、幅 5.6 m 、長さ 10 m 、高さ 0.4 m の平面水槽に、図-12に示すような宇久須港海岸の地形ならびに人工海浜と構造物を模型で再現して、三次元移動床実験を実施した。

同図に二点鎖線で示す移動床の範囲の砂は、二次元移動床実験で用いたものと同じである。

実験波と潮位については、二次元移動床実験に用いた

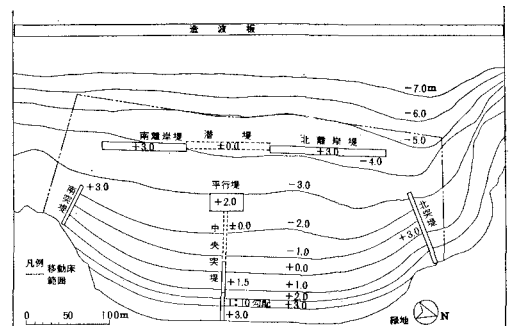


図-12 三次元移動床実験の模型概要

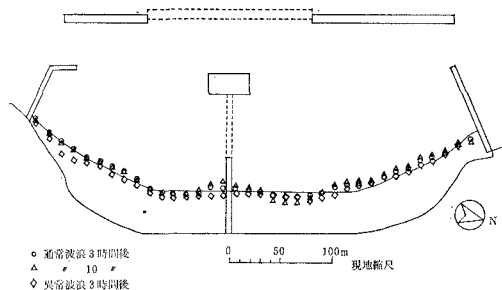


図-13 汀線の実験結果

ものを基本としたが、異常波浪の実験波は、造波機で発生しうる波で最大の輸送エネルギーを有する波とした。このようにして定めた異常波浪の実験波の諸元は、波高 $H=2.7\text{ m}$ 、周期 $T=9\text{ s}$ であり、通常時の実験波は、波高 $H=1.3\text{ m}$ 、周期 $T=7\text{ s}$ である。

潮位条件は、通常波浪時が $\text{M.S.L.} = +1.0\text{ m}$ で、異常波浪時が $\text{H.W.L.} = +1.7\text{ m}$ である。

波の作用時間は、通常波浪を10時間とし、この10時間後の地形を初期地形として、異常波浪を3時間作用させた。

測定は、汀線と地形を中心に行い、汀線は M.S.L. での汀線を選び、汀線の前進、後退をスケールによって読みとり、地形はレベル測量により求めた。測定は初期地形と通常波浪作用後1, 3, 6, 10時間、ならびに異常波浪作用後3時間のケースについて行った。

図-12の配置から出発して、試行錯誤的に計画汀線および計画の地形形状を安定させる構造物の配置条件を求めた結果、図-13に示す実験結果が得られた。同図の離岸堤開口部(潜堤)の水面幅は160 mである。

6. まとめ

(1) 潜堤の波高減殺効果は、天端高が高く、天端幅が広いほど大きい。底層流速に関しても、天端高が高いほど減殺効果があるが、天端幅については、天端幅波長比 B/L が $0.1 \sim 0.2$ を境にして、天端幅が広くなるにしたがって、沖側方向への底層流速が増大する傾向がみられる。

(2) 沖側方向への底質移動量は、潜堤の天端高が高いほど減衰するが、天端幅は $0.1 \sim 0.2$ 波長を確保すれば、それ以上広げても、減衰する割合は少ない。

潜堤の諸元を、 $H_e/H_0' > -0.3$ 、 $B/L > 0.15$ とすることにより潜堤は、人工海浜の防護に有効に働く。

(3) 離岸堤開口部に潜堤を設置すれば、海面上にあらわれる離岸堤部分を少なくして、開口部が広く、景観に優れかつ安定した人工海浜を得ることができることを三次元移動床実験により確認した。

7. あとがき

本研究は、静岡県からの委託を受けて実施したものである。研究の実施に際しては、静岡県港湾課ならびに下田土木事務所港湾課の各位から多大な協力を得た。また浜岡の波浪観測値は、中部電力(株)浜岡原子力建設所より提供していただいた。記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中則男・小笠原昭・小山内英雄：養浜工に関する研究(その1)、港湾技術資料、No. 260, 86 p., 1977.
- 2) 入江 功・寺崎賢次・加藤一正：砂れん上の底質の浮遊過程を考慮した漂砂観測法に関する実験的研究、港湾技術研究所報告、第24巻、第2号、pp. 123~156, 1985.