

水質及び景観を改善するための離岸堤の潜堤化

小原 恒平*・永井 紀彦**・入 江 功***・首 藤 啓****

1. ま え が き

レクリエーション海浜において、海浜の保全のために建設された離岸堤に景観を損ない、また水質悪化をもたらすことが、しばしば問題となっている。近年、水際線の開発がクローズアップされ、そこでは砂浜の保護のほか、優れた景観や水質向上など多角的な要求を踏まえた海浜保全を考える必要が生じている。特に、内湾や湾奥部など閉鎖的な海域では波浪条件があまり厳しくないことから、波を完全に遮蔽する必要はなく、むしろ積極的に波のエネルギーを活用して海水の交換を高め、水質浄化に役立たせることが考えられる。

以上の典型的な例として、青森市内にある合浦海岸を取りあげ、離岸堤の一部を潜堤に改良することで解決するための検討を行った。

本報告は、海浜変形および水質に関する検討結果を論ずるものである。

2. 海底地形変化予測

(1) 固定床模型実験

固定床模型実験による波や流れの測定は、現地との再現性が高く同一条件で繰り返し実施できる利点がある。

実験模型は 1/75 の無歪みモデルで、実験範囲を 800×500 m とした。図-1 に対象海域と予測範囲を、表-1 に実験概要を示す。

(2) 物理・数値モデル

入江ら(1985)は、航路埋没の問題で、波と底層流を固定床模型実験で求め、浮遊モデルと組合わせて底質の移流沈降過程を計算する方法を提案している。

離岸堤から潜堤への改築は、波と流れおよび砂の移動過程に大きな変化を与える。潜堤を通過した波は碎波などにより変形し、強い向岸流を発生させるが、この流れは鉛直方向に不均一な分布となる。潜堤周辺での波と流

れが変化する現象は大変複雑で、計算によって求めることは現状では不可能と考えられる。本モデルは i) 波と流れの分布を固定床模型実験結果から求め、ii) Bijker の式(1980)より底質の浮遊砂分布を求め、iii) 海浜流による移流拡散計算をし、iv) 底層での浮遊と沈降の比較から海底面の変化量を計算するものである。

計算格子幅は 12.5 m とし鉛直方向は 3 層(上層: 0.3 m, 中層: 3.8 m, 下層: 海底面まで)に分割した。波浪条件を通常時とし、5 日間の計算を行った。

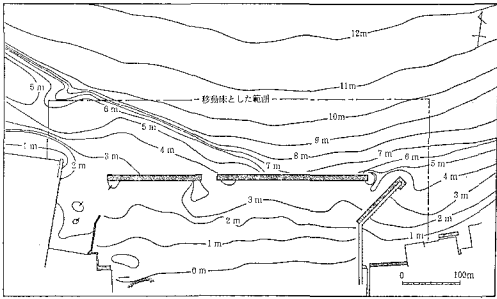


図-1 模型再現範囲

表-1 固定床模型実験の概要

ケース数	18ケース
構造物の形状	潜堤天端幅、高さ、長さ、開口部数を変化させた。
沖波諸元	通常時：波高 1 m, 周期 4 秒, 波向 N 異常時：波高 3.7 m, 周期 7 秒, 波向 N
測定項目	潜堤基本型検討 数値シミュレーション 入力用
	波高・波向、表層流況(堤内 25 m 格子で 90 点), 水位上昇, 遡上距離, 汀線の定性把握 波高・波向、表層流況, 底層流速(堤外 50 m, 堤内 25 m 格子で 174 点と潜堤天端面及び開口部で詳細測定)

(3) 三次元数値モデル

波の場を緩勾配方程式から求め、ラジエーション・ストレスを外力として海浜流を計算し、局所漂砂量方程式によって地形変化を計算する数値モデル(渡辺ら, 1984)である。潜堤周辺の取扱い佐々木ら(1990)による方法を用いた。

* 正会員 工修 青森県土木部港湾課副参事
** 正会員 (前)運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長
(運輸省港湾技術研究所海洋水理部主任研究官)
*** 正会員 工博 (前)運輸省港湾技術研究所海洋水理部部長
(九州大学工学部教授)
**** 正会員 工修 (株)東京久栄 環境技術部

波の場の計算は、実用的な方法と考えられる放物型方程式（平口・丸山, 1986）を用い、諸係数は固定床模型実験結果から潜堤通過に伴う波の変形を再現するように設定した。また、潜堤上で発生する流れは実験値を基に条件を入力した。計算格子は 5 m とし、波浪条件等は物理・数値モデルに準じた。

（４）移動床模型実験

実験の縮尺は、２種類の底質を用いて二次元の予備実験を行い現地との再現性を検討した結果、水平 1/75、鉛直 1/50 の歪み模型とした。底質としては $d_{50}=0.16$ mm の珪砂を採用した。模型は、図一１に示した固定床模型を改良し、612.5×337.5 m の範囲を移動床地形とした。表一２に、実験概要を示す。

表一２ 移動床模型実験の概要

構造物の形状	現状、将来２ケース（全潜堤案、中央部潜堤案）
沖波諸元	通常時、異常時（固定床と同じ）
初期地形	現状（調査時）、将来（養浜後）
作用時間	通常時：20時間、異常時：2時間
測定項目	地形（25m 間隔で24測線） 波高・水位・表層流況（堤内25m 格子で90点）

3. 改良 One-Line モデルによる汀線変化予測

当海岸では、昭和53年に養浜を施し砂の供給を行ったが、その約後10年の間に砂の流出や海浜断面の変化に伴って汀線が後退している。このため、離岸堤の潜堤化が完了後には養砂を行い海水浴場として満足できる海浜を整備することが計画されている。

汀線変化を予測する従来の One Line モデルでは、モデル化に際して海浜断面が変化しない仮定を設けている。しかし、養浜によって施工される海浜断面は人工的につくられたものであるため、波浪条件によって出来る安定な自然海浜断面とは必ずしも一致せず前述の仮定には疑問点が残される。

加藤ら(1987)は、波のエネルギーフラックスと前浜勾配を関係づけた汀線位置の変動モデルを提案している。従来の One Line モデルでは沿岸方向の砂の移動から長期的な予測を行っているが、加藤らが提案した改良 One Line モデルでは従来の長期的な予測に加え海浜断面の変化に伴う短期的な変動も予測出来るモデルである。

本調査の汀線変化予測は、対象海域の両端が突堤で囲まれ、岸沖方向にエネルギーが作用しやすい地形であることと、養浜に伴う均一の海浜断面が波の影響によって変化を生じ、それによる汀線変化が大きいという実測結果を考慮して、岸沖漂砂に伴う前浜勾配の変化をモデルに組み込むことを考えた。

実測から水深変化の少ない水深(Node)が確かめられ、図一２に示すように汀線と前浜勾配が関係づけられるとすると、時間ステップ i における汀線変化 ($D'_{xs}(t)$) は次式で与えられる。

$$D'_{xs}(t) = \left(\frac{h_m}{\tan \beta_i} - \frac{h_m}{\tan \beta_0} \right) (1 - e^{-kt}) \quad \dots\dots (1)$$

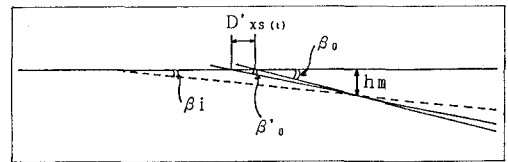
ここに、 $\tan \beta_i$ 、 $\tan \beta_0$ はステップ i 及び $i-1$ における前浜勾配、 k は時間緩和係数、 h_m は水深変化の生じない水深である。

前浜勾配の算定は、砂村(1984)の経験式を用い係数は実測値から求めた。

$$\tan \beta = C \left(\frac{H_0}{g^{1/2} T d^{1/2}} \right)^{-1/2} \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 H_0 は碎波波高、 T は周期、 d は砂の粒径である。

計算は、i) 入射波とした月別のエネルギー平均波から波の場の計算を行い、ii) 沿岸漂砂量から底質の保存則により汀線位置を求め、iii) (1) 式による変化を付加して新しい汀線位置を修正する手順で行われる。



図一２ 改良 One-Line モデル

4. 海底地形変化および汀線変化予測結果

（１）波浪および表層と底層の流速

まず固定床模型実験結果から堤内の波と流れの分布を求め、この分布を参考にして概ね安定した海岸が期待できる潜堤諸元を選定した。天端の幅は波高減衰の観点からは 10 m 以上、堤内流速の観点からは 20 m 以下が適していることが明らかにされた。天端高さは、海面上に姿をあらわすことがない潜堤となる限界の L.W.L. が最適であると判断された。天端長さは、全面的に潜堤とする案(全潜堤案) 435 m と、中央部を潜堤とし両端は離岸堤とする案(中央部潜堤案) 215 m との２案を選定した。

以上より、天端幅 (10 m, 20 m)、天端長さ (435 m, 215 m) の組合せの 4 ケースについて、固定床模型実験を行い、波浪および表層と底層の流速を測定し、物理数値モデルおよび三次元数値モデルによる予測のための入力条件や係数を求めた。その一例を図一３に示す。図一３は (a) 波、(b) 表層流および (c) 底層流の順に上から図を並べている。

固定床模型実験の結果によると、波は潜堤上で碎波し大きく減衰し岸向きの強い流れが発生する。これにより表層流は両端の開口部から流出する明瞭な循環流を形成する。また、底層流のパターンで注目すべき特徴として、

潜堤通過後に岸に向かわず反転流となり潜堤側へ戻る流れを示すことである。これは、表層部の強い岸向流が潜堤後に急深となるため鉛直循環流を生成しているためで、表層部の水平的な循環流の流速分布とともに潜堤のもつ重要な特徴と考えられる。さらに、この底層流が反転する地点より岸側で、岸向きの流れとなり平面的には流れの発散域が現れる。ここでは、表層から底層への砂供給がない限り、砂が流出する一方となり、底質の移動限界を越える波浪条件下においては大きな侵食を受けることが想定される。

(2) 海底地形変化予測結果

全潜堤案と中央部潜堤案で、天端幅を 20 m とした海底地形変化予測結果を比較して図-4 及び図-5 に示した。それぞれ (a) 三次元数値モデル、(b) 物理数値モデルおよび (c) 移動床模型実験の順に上から図を並べている。

水深方向に流速一様な (a) の場合は、潜堤を越流した水が両端の開口部から流出することによる侵食のみが再

現されるが、上下の流れの違いを考慮した (b) では開口部の周辺だけでなく、底層流が岸向きと沖向きに別れる所や上下の流速の大きさが極端に違う所でも侵食が発生した。しかし、この現象は移動床模型実験 (c) の通常時では現れなかった。

(a) と (b) の違いは主に流れの違いによって生じ中央部潜堤案の場合 (b) が図-3(c) に基づいているのに対し、(a) は図-6 に基づいており、両者の明瞭な違いに起因している。従って、現状で考え得る 3 つの方法の比較では、(b) の方法が今までの経験と合致し、今回のケースにおける有用性が確認できた。

図-4 と図-5 を比較すると両者の地形変化の場所的相違は見られないが、開口部の侵食の程度を考慮既存の離岸堤の中央部を潜堤化する中央部潜堤案を選定した。

(3) 汀線変化予測結果

従来の One Line モデルと改良 One Line モデルによる予測結果と実測値を比較し図-7 に示した。これは、昭和53年6月の養浜時から昭和62年12月までの変化量を扱ったものである。

実測値と計算結果を比較すると、実測値との整合性は改良した方法が勝っていることがわかる。従来の方法では、現状汀線の西側での後退と、東側において計算値が一致していない。この部分での断面形状が養浜時と大きく変化していることを考慮すると、岸沖漂砂に起因する前浜勾配の変化が汀線位置を大きく支配していることがわかり、その効果をモデルに取り入れることにより実測値との整合性を高めることができたと考えられる。

図-8 は、中央部潜堤案について計画養浜形状を初期値として10年後までの予測を行った結果である。西側では、現状地形と変わらないこともあり、汀線は後退しているが、その他の領域では10年後も養砂時の汀線をほぼ保持していることがわかる。

5. 水質変化予測

水質汚染の一般的指標である COD を用い、現状の水質分布と将来の分布を比べ、その改善量を把握した。

(1) 水質の現況

図-9 は、昭和63年8月の調査結果を示したものである。これより、堤内は堤外に比べ濃度が高く、特に東側では水質悪化が顕著である。沖合では、1.5 mg/l 程度であり堤内外の海水交換の促進により水質が改善されることが期待できることがわかる。

(2) 二次元単層モデル

COD 分布の予測は、二次元単層モデルを用い、底質からの溶出を考慮した保存系物質として取り扱った。計算範囲は、2.5×1.4 km の範囲で格子間隔を 25 m とした。

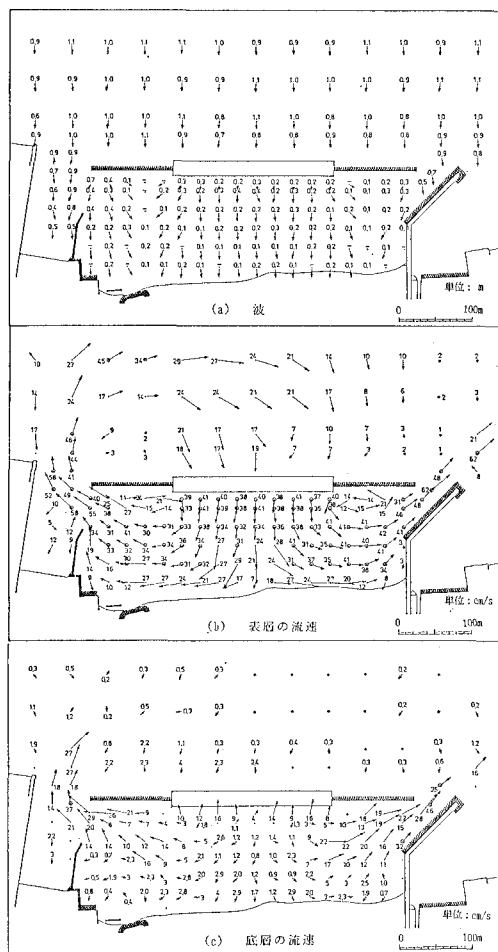


図-3 固定床模型実験の一例

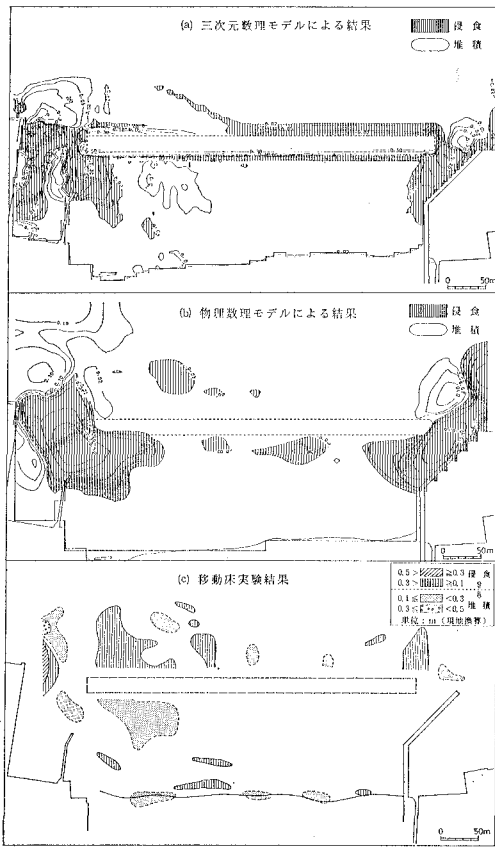


図-4 海底地形変化予測（全潜堤案）

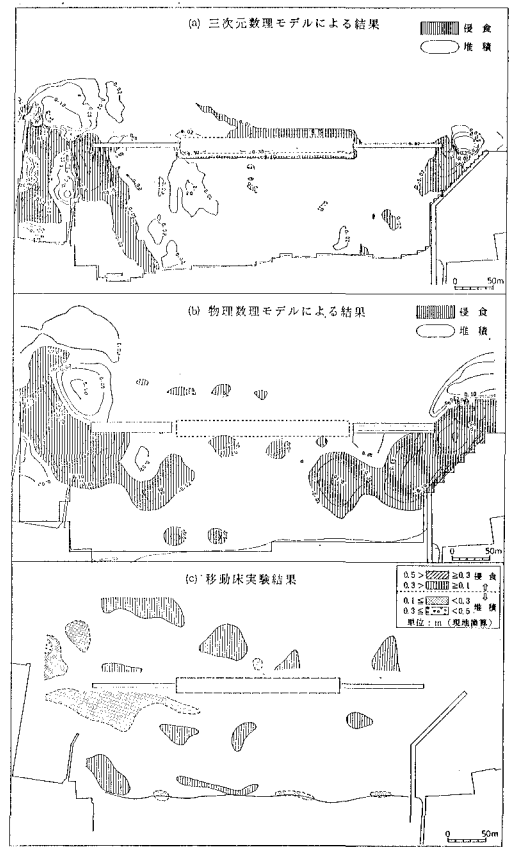


図-5 海底地形変化予測（中央部潜堤案）

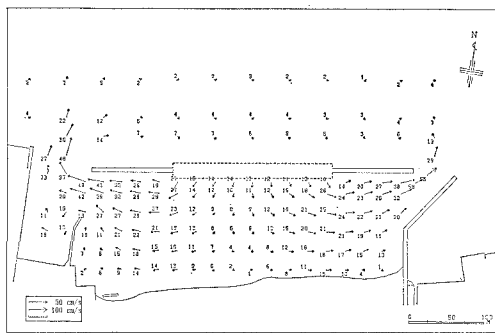


図-6 海浜流計算結果

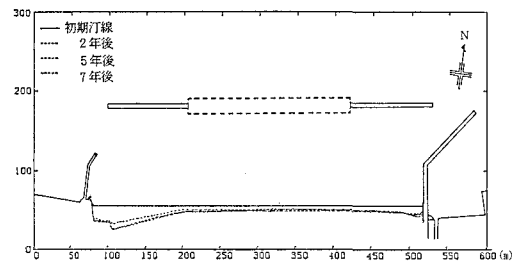


図-8 汀線予測結果（中央部潜堤案）

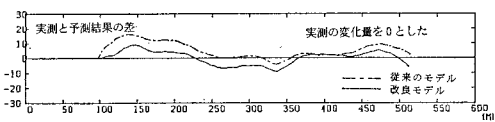


図-7 汀線変化再現結果

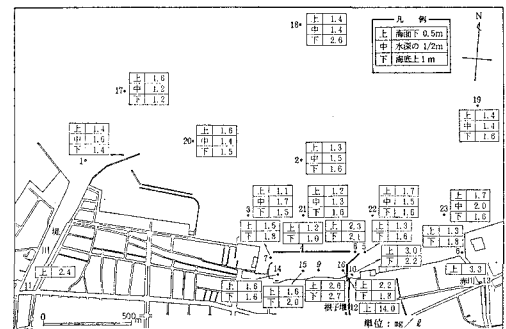
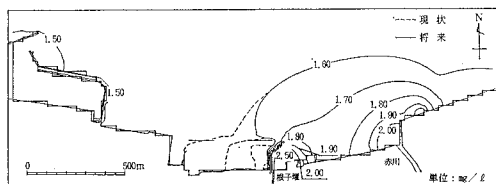


図-9 現況の COD 分布



図—10 COD 分布予測結果

計算は、海底地形変化予測において最適となった中央部潜堤案で行った。なお、この予測に先立ち現地調査時の COD 分布を計算で再現しモデル中の諸係数の設定を行った。

中央部潜堤案では、潜堤背後の流れを考慮するために潜堤上に定常の流量を与え両開口部から流出する堤内循環流のパターンを模擬した。

(3) 予測結果

当海域の汚濁負荷源としては隣接する都市河川(根子堰)と考えられ、現状地形の場合、沖の流れが西流時に堤内へ流入し、海水交換が悪いため汚濁物質が停滞することによって水質悪化を生じていたと考えられる。

図—10は将来形状の予測結果に現状地形の平均的な夏の予測結果を併記したものである。これより堤内の水質改善効果は明瞭で、その原因として潜堤を用いたことによる循環流の形成が隣接する都市河川の直接的な堤内流入を防ぎ、沖合水との海水交換促進が水質浄化に対して有効であることがわかった。

6. 主要な結論

- 1) 移動床模型実験や3次元数値モデルによる数値計算と比較して、固定床模型実験と数値計算を併用した物理数値モデルは、潜堤が有る場合の海底地形変化予測にあたって、より精度が高く有用であることが

確認された。

- 2) 海底勾配の変化を取り入れた改良 One Line モデルによって汀線変化をより精度高く再現・予測出来ることが明らかになった。
- 3) 上記の検討の結果、潜堤は離岸堤と同様に海浜保全上有効に機能することが明らかになった。
- 4) 離岸堤を潜堤化することによって、景観のみならず水質の向上が期待されることが、COD 予測シミュレーションの結果から確認された。

本報告書で用いた改良 One Line モデルによる計算にあたっては、運輸省港湾技術研究所水工部の加藤一正漂砂研究室長から懇切丁寧な指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 入江 功・栗山善昭・田川昌宏 (1985): 物理モデルと数値モデルとの組合せによる海底地形の予測, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 345~349.
- 入江 功・菅原一晃・森 好生・滑川伸孝 (1987): 人工海浜への潜堤の利用, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 436~440.
- 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児 (1987): 汀線位置の短期変動特性とそのモデルの試み, 港湾技研報告, Vol. 26, No. 2, pp. 64~96.
- 佐々木幹夫・首藤 啓・竹下 彰 (1990): 潜堤周辺の海浜流・海浜変形数値計算法の検討, 第37回海岸工学講演会論文集 投稿予定.
- 平口博丸・丸山康樹 (1986): 斜め入射波に対する放物型方程式の適用性の拡張, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 114~118.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406~410.
- Bijker, E. W. (1980): Sedimentation in channels and trenches, Proc. of 17th Conf. on Coastal Eng., pp. 1708~1718.
- Sunamura, T. (1984): Quantitative predictions of beach-face slopes, Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 95, pp. 242~245.