

汀線変動量を考慮した緩傾斜堤の安全な設計法

Safety Design Method for Mild-Slope Revetment by Shoreline Evolution

山崎 利和*・榎 建雄**

Tosikazu.Yamasaki and Tatuo.Maki

This report presents the design method for mild-slope revetment by taking into account the beach evolution model. According to the previous investigations, it has been shown that it was not adequate to construct the mild-slope revetment in the beach where alongshore sediment transport is large.

In the beach investigated in this study, the change of sediment transport along a beach is seasonal. Therefore, the shoreline changes were surveyed every season over a year. The results were compared with those predicted by one-line theory and then it was clear that the severe beach erosion was induced by the wave height with the return period of 10 years. Finally, it is shown that the structure constructed in the beach side should be designed so as to be safe for the beach erosion due to the wave characteristics mentioned above.

Keywords: design method, slope revetment, beach evolution, topography survey

1. はじめに

鳥取県中部にある東郷湖羽合臨海公園では、図-1に示す羽合海水浴場の東側に、白砂青松の海浜地形を生かして、快適で親水性を帯びた臨海公園を建設するため、緩傾斜堤の階段護岸の整備を進めている。

しかしながら、昭和63年夏に浜の東側が著しく侵食され護岸が被災を受ける危険性が生じた。従来沿岸漂砂が著しい海岸には緩傾斜堤は不適当と判断されてきた。しかし背後地に用地の制約がある場合、海側に護岸を設置せざるを得ない。このような場合、漂砂現象を解明することが重要となる。このため、当地区においては深淺測量と汀線測量を行い、海浜変形計算によって現象を再現した。そして海岸線の侵食量を予測し、緩傾斜護岸の配置設計を行った。ここでは、汀線変化の予測を中心に報告する。

2. 調査の内容

(1) 深淺測量

当地区は冬場に堆積傾向、夏場に侵食傾向となる。これは日本海における季節別の波向によると考えられる。そこで測量は、沿岸方向に西は突堤付近より東は山付け部までの延長約600m、沖合方向には碎波帯付近までの約300mの範囲について行う。横断測量の間隔は侵食の激しい東側については40mとし、西側は80mとした。

測量時期は夏期(8月)、秋期(11月)、冬期(2月)、春期(5月)、翌年夏期(8月)の5回とした。

(2) 汀線測量

漂砂の移動状況を把握するため、突堤付近より山付け部までの延長約600mについて汀線測量を行った。横断測量の間隔は汀線形状を把握するため40mとした。測量時期は汀線変化が周期的変動をくり返しているため1年間毎月調査した。

(3) 底質調査

水深による粒径変化を把握するため、図-2に示す4点(a~d)で試料を採取した。また漂砂の場所的变化を把握するため、図-2に示す7点((a)~(g))で試料を採取した。

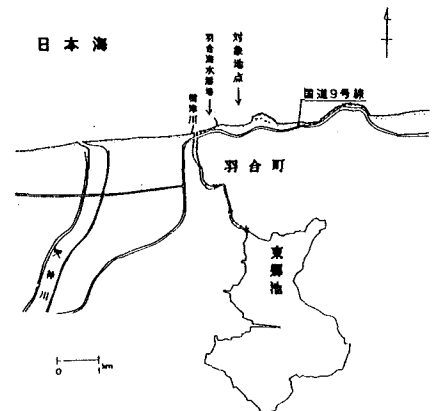


図-1 位置図

* 正会員 株式会社 ウエスコ 鳥取支社 技術第一部 構造設計課 (〒680 鳥取市田園町3-339)

** 株式会社 ウエスコ 本社 電算室長

(4) 波浪調査

漂砂現象は波浪特性との関連が密接であるため波浪調査を行った。波浪観測は鳥取港（運輸省第三港湾建設局）において昭和53年より行われている。調査地点から約50km離れているが従来の調査によりほぼ一致していると考えられるため、このデータを収集・整理して波浪特性を把握した。

3. 調査結果

(1) 深浅变化状況

深浅平面図を図-2、図-3に示す。昭和63年夏期には水深0.0m～2.0mまで急激に深く、2.0m～4.0m付近は緩やかとなっているが、11月には遠浅となり全体的に約1.0m程度浅くなっている。冬期の2月になると再び水深が深くなり、ほぼ夏期と同様な海底地形となっている。

春期の5月になると再び水深が浅くなり、平成元年の8月まで水深の変化はほとんど見られない。昭和63年夏期と比べた場合、全体的に水深が浅くなっており特に水深2.0m付近は約100m程度の遠浅となっている。

深浅土量の変化を各深浅横断面より算定すると、昭和63年9月～11月の土砂移動量は $Q \approx +142,000 \text{ m}^3$ 、11月～平成元年2月は $Q \approx -147,000 \text{ m}^3$ である。これは土砂の移動がほぼ平衡状態にあることを示している。

一方平成元年2月～5月は $Q \approx +34,000 \text{ m}^3$ 、5月～8月は $Q \approx -9,000 \text{ m}^3$ であり土砂移動は少ないことが判る。

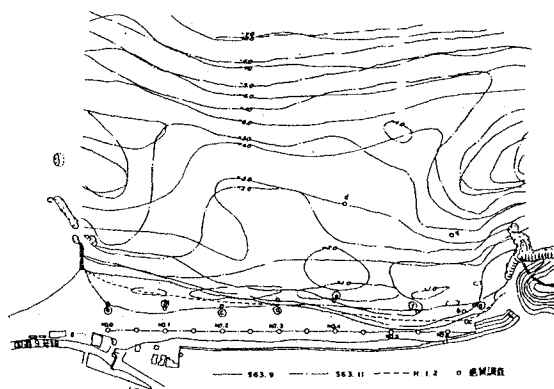


図-2 深浅平面図（昭和63年度）

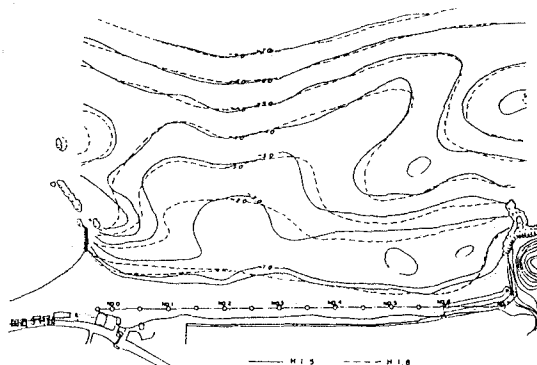


図-3 深浅平面図（平成元年度）

(2) 汀線变化状況

汀線測量結果より各測点ごとに汀線の月別変化を整理して図-4に示す。昭和63年8月に東側の汀線が大巾に後退し、西側の汀線が前進した。9月～11月には逆に東側が大巾に前進し、西側が後退した。

12月には再び東側が後退し、西側が前進した。平成元年1月には西側は更に前進し、東側は後退した。2月には逆に西側はやや後退し、東側は前進した。4月～7月には東側が徐々に後退し、8月には再び大きく後退した。この間西側は4月に前進、5月に後退し、6月～8月に再び大巾に前進した。

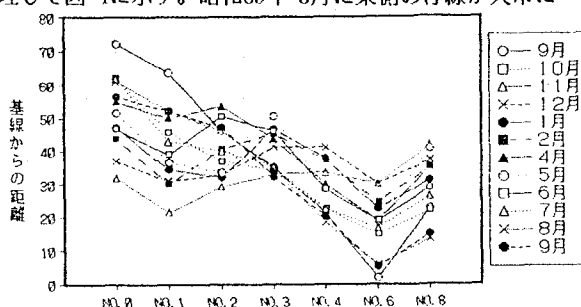


図-4 汀線変化図

(3) 底質調査結果

図-2に示す11点について粒度分析試験を行った。平均粒径は以下のである。

調査時期 地点	昭和63年9月				昭和63年12月						
	a	b	c	d	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
平均粒径 $d_{50}(\text{m/m})$	0.33	0.95	1.12	0.29	0.65	0.48	0.55	0.51	0.52	0.65	0.80
水深 $h(\text{m})$	3.0	1.0	0.0	3.0	陸上部						

これより以下の事が言える。

- ・水深が深くなるほど粒径が小さくなっている。
- ・汀線付近の粒径分布（12月調査）をみると東側から西側に行くに従い粒径が小さくなっており、漂砂の移動が東から西に向かっていることを示す。
- ・砂の移動限界水深は平均粒径 $d_{50}=0.3\text{m/m}$ 、波高2.5m、周期7.0secとして佐藤・田中の式により計算すると表層移動限界11.5m、完全移動限界5.7mであり、水深6.0m以浅で変動が大きいことを示している。

4. 海浜変形シミュレーション

(1) 計算方法

これまでの現状分析の結果を図-5の漂砂移動模式図に示す。すなわち①冬期の北西の波によって沿岸流が発生し砂が西から東へ運ばれ、西側が侵食され、東側に堆積する。②春期から夏期にかけての北東の波によって東から西に向かって沿岸流が発生し、東側が侵食され西側に堆積する。

そこで、海浜変形シミュレーション(1-lineモデル)によりこれらの漂砂移動の現象を再現し、侵食機構を説明することとする。

a) 基本式

1-lineモデルの基本式は沿岸方向にy軸、岸から沖方向にx軸をとり、海岸線位置を x_s とする。海岸線の位置 x_s と沿岸漂砂量 Q との関係式は次式のように表せる。

$$\frac{\partial x_s}{\partial t} + \frac{1}{D_s} \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 Q ；沿岸漂砂量(m^3/s)、 D_s ；漂砂帯縁端水深(m)

b) 差分方程式

差分化にあたっては式(1)の変数 $\{x_s\}$ 及び $\{Q\}$ の計算点を図-6に示すように互いに $\Delta y/2$ 、 $\Delta t/2$ だけ離れた位置で定義する。したがってi番目のセルにおける時刻 $t + \Delta t$ の海岸線位置 $x_{s,i}$ は次式のように表すことができる。

$$x_{s,j+1,i} = x_{s,j,i} + \frac{\Delta t}{D_s \Delta y} (Q_{j+1/2,i+1/2} - Q_{j+1/2,i-1/2}) \quad \text{----- (2)}$$

c) 沿岸漂砂量算定式

漂砂量算定は、砕波点における波浪エネルギーフラックスの沿岸方向成分と漂砂の水中重量とを結びつけたCERCの式¹⁾を使用した。また小笹・ブランプトンの式¹⁾についても比較検討した。

d) 安定条件

波浪条件及び計算条件に対して差分間隔 Δt がある限界を越えると、計算値が振動し不安定になる。しかしながら、ある限られた条件下では安定条件を近似的に求めることが可能である。すなわち(2)式右辺より

$$R_s = \Delta t / D_s \Delta y \leq 1/2 \quad \text{----- (3)}$$

とした。

e) 境界条件

計算領域両側においては、突堤と岬の間で土砂の収支が平衡状態にあると考えられるため、固定境界と考えて境界漂砂量を次式のように設定した。

$$Q_b = Q_b \pm 1 \quad \text{----- (4)}$$

(2) 計算条件

計算に用いる地形データは昭和63年9月に測量した深浅図を用いた。

数値計算に用いる座標データ(スタッグドメッシュ)は突堤を起点とし測点N0.9を終点とする延長600mについて、ピッチ20mで作成する。砕波波向と砕波波高、砕波水深は数値計算法により屈折図を作成し、スタッグドメッシュの交点の値を用いる。計算に際しては砕波点位置をスムージングして用いた。

波の条件は代表波高として未超過確率90%となる波高 $H=2.5m$ 周期 $T=7.0sec$ 、波向NW及びNEの2方向について行う。すなわち、波向NWは西から東への移動方向を、波向NEは東から西への移動方向を表す。なお、計算は波向NW及びNEの波を一定方向に連続して与え、海岸線の変化状況を算定する。

(3) 計算結果

a) 検証計算

①波向NW

現地調査の結果、昭和63年9月から昭和63年11月にかけては西側が侵食され、東側に堆積しているため、

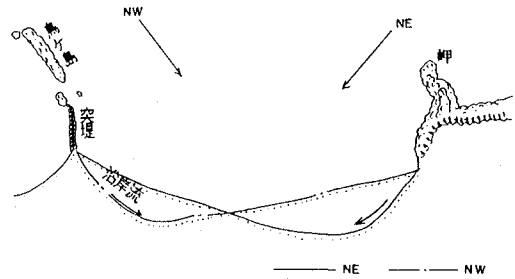


図-5 漂砂移動模式図

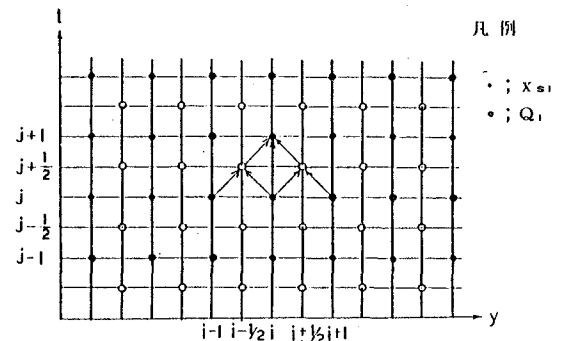


図-6 差分スキーム模式図

波向 NW が卓越しているものと推測される。

そこで昭和63年 9月を初期海岸線として波向 NW を一定期間連続して与える。計算は漂砂量定数 K と漂砂帯縁端水深 D_s をパラメーターとして行った。また西側の侵食は突堤及び鳥ヶ島による回折効果が影響しているものと考え、碎波波高に低減係数 α を掛けてこの影響を考慮した。低減係数 α は、起点で $\alpha=0.5$, $N0.3+20$ で 1.0 とし、この間を直線的に変化させた。計算の結果を図-7に示す。継続日数 $t=5$ 日で現地の昭和63年10月とほぼ一致し、継続日数 $t=10$ 日で現地の昭和63年11月とほぼ一致する。

実測値に比べて汀線の最大値がやや西に片寄っているが、全体としては良く一致している。

②波向 NE

現地調査の結果より昭和63年11月から平成元年 1月にかけては西側が堆積、東側が侵食されている。このことは波向 NE が卓越しているものと推定される。そこで昭和63年11月を初期海岸線として波向NEを一定期間連続して与える。計算は波向 NW と同様漂砂量定数 K と漂砂帯縁端水深 D_s をパラメーターとして行った。

また東側の侵食は岬による回折効果が影響しているものと推察されるので碎波波高に低減係数 α を掛けてこの影響を考慮した。低減係数 α は終点の $N0.9$ で $\alpha=0$, $N0.4+40$ で $\alpha=1.0$ とし、この間を直線的に変化させた。

計算結果を図-8に示す。継続日数 $t=5$ 日で現地の平成元年 1月とほぼ一致する。実測値に比べて中央付近の汀線の前進が小さいものの全体としては良く一致している。

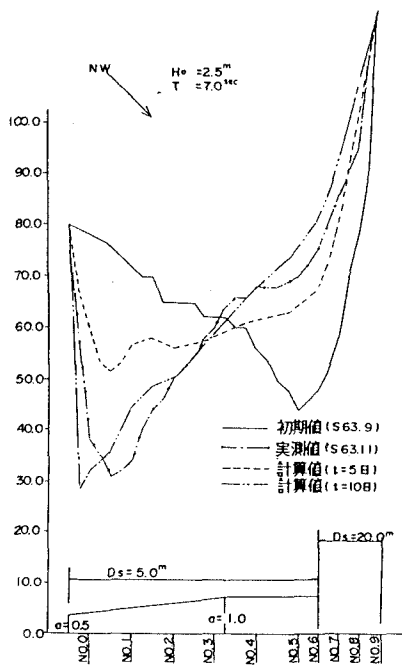


図-7 計算結果図 (NW)

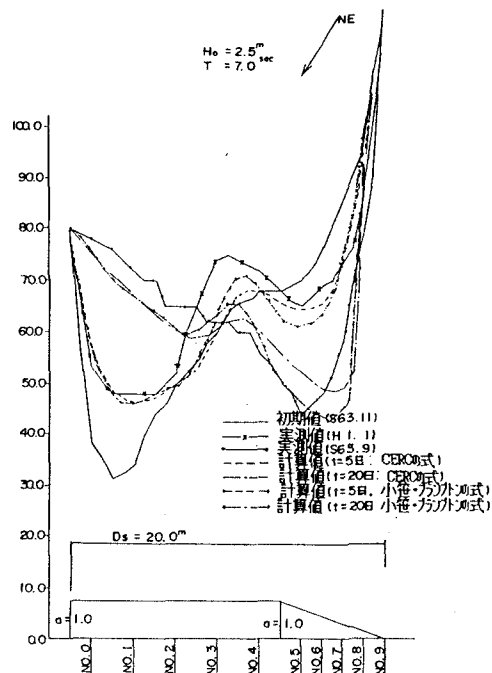


図-8 計算結果図 (NE)

この場合の漂砂量定数は $k=0.0385$ であり Komar・Inman の蛍光砂調査結果 ($k=0.77$) に比べて 1 オーダー小さい。そこで小笹・ブランプトンの式によって比較検討した。その結果漂砂量定数 $K_1=0.2$, $K_2=0.02$ となりクラウス²⁾の計算結果 ($K_1=K_2=0.1$) と比べてもほぼ同様な値が得られた。このためこのモデルを用いて予測計算を行う。

b) 予測計算

昭和63年 8月の侵食は東からの波によって生じたものと考えられるため、昭和63年11月を初期海岸線としてNEの波 ($H=2.5m, T=7.0sec$) を連続して与えて計算した。計算結果を図-8に示す。

その結果、継続日数 $t=10$ 日～15日で昭和63年 8月の侵食状況をほぼ再現することができた。

そこでこのような波浪条件がどの程度の頻度 (日数) で発生するかを調べてワイブル分布 ($k=1.50$) によって確率計算した。図-9に計算結果を示す。

この結果昭和63年 8月の侵食はほぼ10年に1回の確率で起こることが予想される。

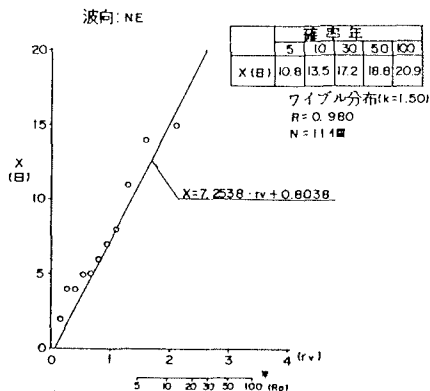


図-9 波の発生確率算定図

5. 侵食対策の検討

予測計算の結果、計画の階段護岸に対して最も侵食の危険性が高いのは測点 NO.7 付近である。図-10に断面図を示す。10年確率以上では護岸が侵食される危険性があることがわかる。

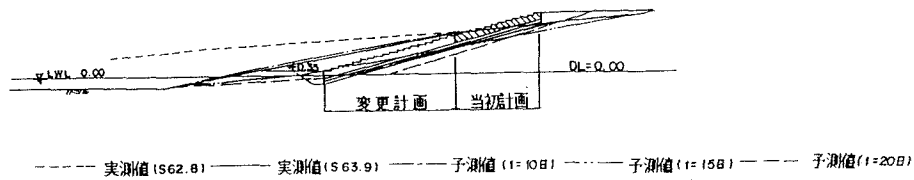


図-10 侵食予想断面図

そこで侵食対策工法3案について検討した。

- ① 護岸の根入れを予測地盤線まで下げる (工費 24,000 千円)
- ② 護岸前面に養浜を行う (工費 30,000 千円)
- ③ 沖合に人工リーフを設置する (工費 44,000 千円)

その結果、10年確率の侵食予測地盤線まで護岸の根入れを下げる方法が最も経済的であり、施工も容易となるとの結論を得た。工事は平成元年 8月より行い、前年に引き続き汀線の大巾な後退が見られた。しかしほぼ予測値どおりの地盤線であった。このため10年確率の侵食地盤線まで護岸の根入れを下げて配置設計する方法が効果的かつ安全となることが判った。

6. 結 論

以上の現地調査と予測計算及び侵食対策検討の結果次のようなことが明らかとなった。

- (1) 現地の侵食、堆積現象は北西の波による沿岸流によって砂が西から東へ運ばれ、西側に堆積され東側に堆積する。
- (2) また北東の波による沿岸流によって砂が東から西へ運ばれ東側が侵食され、西側に堆積する。
- (3) これらの侵食、堆積は周期的な変動をくり返している。
- (4) 波の発生確率と汀線変動量との関係より護岸の侵食量を確率的に予測することができる。
- (5) 漂砂の著しい海岸における緩傾斜護岸は10年確率の侵食地盤線まで根入れを下げて配置設計する必要がある。

謝辞：本論文は、野田英明鳥取大学教授を委員長とし、木村 晃教授ほか行政機関の代表者から成る調査委員会の指導の下に行われたものである。本報をまとめるに際してこれらの方々から多くの助言をいただいたことに対し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 本間 仁 監修・堀川清司 編；海岸環境工学，東京大学出版会，PP322 ～324
- 2) 同 上 ， PP352 ～353