

岸沖漂砂を考慮した汀線変化の予測法

山本吉道*・堀川清司**・堀之内毅***

1. 研究の目的

長期的な海浜変形の予測に関しては、汀線変形モデルや宇多ら(1991)の等深線変形モデルが実用レベルにあるが、これらは岸沖漂砂を無視した数値モデルである。海岸の侵食・越波対策を考える場合、図-1に示すように時化時の短期的な海浜変形も考慮する必要がある。岸沖漂砂を無視出来ない短期的な地形変形を予測できる数値モデルとして、堀川(1984)などの三次元海浜変形モデルがあるが、汀線近傍の海浜変形予測に対しては計算精度が十分でない。これに対して、Shibayama・Hori-kawa(1985)、西村・砂村(1985)、加藤ら(1987)などが、汀線またはその近傍の短期的な変形を予測できる数値モデルを発表しているが、漂砂量係数の一般化がなされていないため、一般海岸への適用が困難である。

本研究では、岸沖漂砂量係数の一般化を試み、現地海岸への適用を試みた。

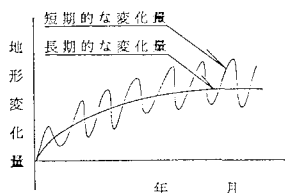


図-1
海浜変形の経時変化

2. 汀線付近の岸沖漂砂量

砂村(1984)は、砕波帯の中で、シールズ数に替えて式(1)で表せる Hallermeier の指標 Φ と、波の非対称性の程度を示し、式(2)で表せるアーセル数 U_r を用いて、汀線付近の単位時間・単位幅当たりの岸沖漂砂量 Q の算定式(3)を提案した。

$$\Phi = H^2 / s h d \quad (1)$$

$$U_r = g H T^2 / h^3 \quad (2)$$

$$Q = K \cdot U_r^{0.2} \Phi (\Phi - 0.13 U_r) w d \quad (3)$$

ここに、 H は静水時汀線でのセットアップ高 h に対する波高、 s は底質の水中比重、 d は底質の中央粒径、 g は重力加速度、 T は周期、 K は漂砂量係数、 w は底質の沈降速度である。そして、 h は砂村(1984)が紹介している式(4)で求める。

$$h = (1.63 \tan \alpha + 0.048) H_0 \quad (4)$$

ここに、 $\tan \alpha$ は海底勾配、 H_0 は砕波波高 $[=(\tan \alpha)^{0.2} (H_0 / L_0)^{-1/4} H_0]$ 、 H_0 は沖波波高、 L_0 は沖波波長]である。また、 H は山本(1988)の式(5)で求める。

$$H = 2.4 (\tan \alpha)^{0.3} h \quad (5)$$

以下に、本算定式をベースに漂砂量係数 K の一般化を行う。

外力が変わらない限り、時間がたつにつれて漂砂量が減少していき、海岸断面は平衡状態に近づき変化しなくなってくる。そこで、漂砂量係数を式(6)のように表す。

$$K = A \times e^{-at/T} \quad (6)$$

ここに、 A と a は係数、 t は経過時間そして T は周期である。

A と a に係わる要素としては H_0 、 d および $\tan \alpha$ があり、次式のように考えられる。

$$A = f_1 \{d/H_0, \tan \alpha\} \quad (7)$$

$$a = f_2 \{d/H_0, \tan \alpha\} \quad (8)$$

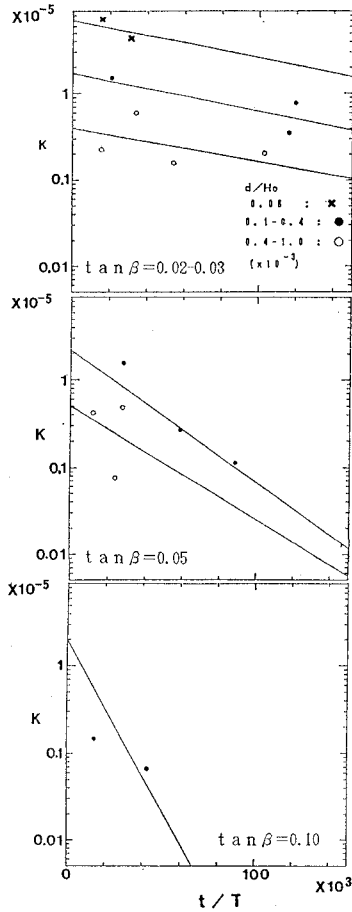
そこで、電力中央研究所の清水ら(1985)の大規模模型実験のデータを用いて、 K と t/T の関係を片対数グラフで図示したものが図-2である。図中の直線はプロットしたデータに出来るだけ合うように A および a を決定したものである。ただし、海底勾配 $\tan \alpha$ には汀線付近の海岸勾配 $\tan \beta$ を用いている。

図-2において、直線の傾きが $\tan \beta$ の違いによって大きく変わるが、 d/H_0 の違いに対してはほとんど変わらないことが判る。すなわち、 t/T に対する係数 a は $\tan \beta$ に強く支配されている。また、 $t/T=0$ ($K=A$)では、 K が d/H_0 の違いによって大きく変わり、 $\tan \beta$ の違いによってあまり変わらないことが判る。すなわち、係数 A は d/H_0 に強く、 $\tan \beta$ に弱く支配されている。

* 正会員 工修 埼玉大学大学院博士後期課程社会人コース、(株)アイ・エヌ・エー

** 正会員 工博 埼玉大学長

*** 株式会社建設技術研究所

図-2 漂砂量係数 K と t/T の関係

次に, a と $\tan \beta$ および d/H_0 の関係を調べたのが, 図-3 である. この図から, a は $\tan \beta$ が大きくなるほど大きくなること, また, d/H_0 による違いは, 本データの分布内ではほとんど無いことが判る.

また, A と $\tan \beta$ および d/H_0 の関係を調べたのが

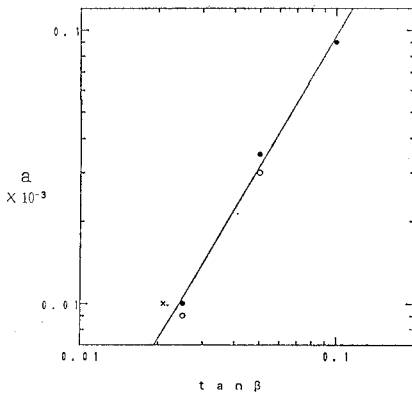
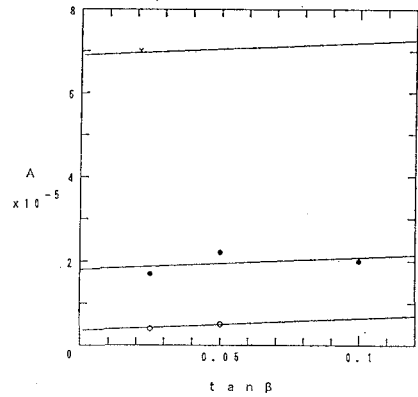
図-3 a と $\tan \beta$ および d/H_0 の関係

図-4 である. この図から, A は d/H_0 が小さくなるほど大きくなること, また, $\tan \beta$ が大きくなるほど若干大きくなることが判る. 底質に対して波力が大きくなるほど, 海底勾配が急になるほど, 底質が動きやすくなることを示している.

図-4 A と $\tan \beta$ および d/H_0 の関係

今, 図-4 において, $\tan \beta = 0$ での A の値を A_0 で表し, d/H_0 との関係を図示すると 図-5 を得る. さらに, A/A_0 と $\tan \beta$ の関係を図示すると 図-6 を得る.

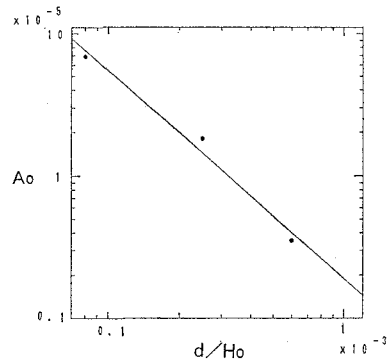
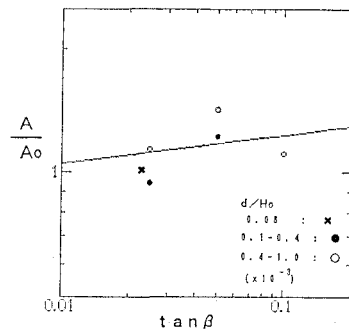
図-5 A_0 と d/H_0 の関係図-6 A/A_0 と $\tan \beta$ の関係

図-3 から a と $\tan \beta$ の間の関係式を求めると式 (9) のようになる. 図-5 から A_0 と d/H_0 の間の関係式を求めると式 (10) のように, 図-6 から A/A_0 と $\tan \beta$ の関係式を求めると式 (11) のようになり, A と d/H_0 および $\tan \beta$ の関係は式 (12) で表せる.

$$a = 3.63 \times 10^{-8} (\tan \alpha)^{1.5} \dots\dots\dots (9)$$

$$A_0 = 2.40 \times 10^{-10} (d/H_0)^{-1.34} \dots\dots\dots (10)$$

$$A/A_0 = 1.58 (\tan \alpha)^{0.11} \dots\dots\dots (11)$$

$$A = 3.79 \times 10^{-10} (\tan \alpha)^{0.11} (d/H_0)^{-1.34} \dots\dots (12)$$

[ただし, 適用範囲は, $\tan \beta = 1/50 \sim 1/10$,

$$d/H_0 = 0.08 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}]$$

以上から, 汀線付近の岸沖漂砂量は, 式 (3), (6), (9) および (12) で求められる. 清水ら (1985) の大型模型実験および加藤 (1990) の現地観測による漂砂量観測値と計算値との比較を図-7 に示す. 両者の一致度はおおむね良好である.

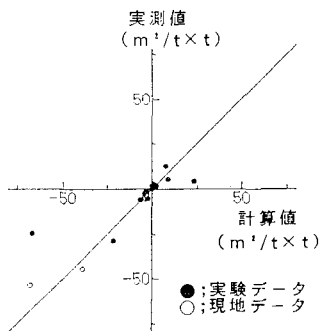


図-7 岸沖漂砂量の観測値と計算値の比較

3. 岸沖漂砂による汀線変化量

今, 岸沖漂砂による海岸断面の変化パターンを図-8 に示すように単純化して考える. そして, 岸沖漂砂の連続式について若干の変形を行うと汀線変化長さ $\Delta y \propto (\int_0^t Q dt)^{0.5}$ を得るので, 清水ら (1985) の大型模型実験および加藤 (1990) の現地観測のデータを用いて, Δy と $\int_0^t Q dt$ の関係を図示すると図-9 のようになる.



図-8 岸沖漂砂による海岸断面の変化パターン

図-9 から, Δy と $\int_0^t Q dt$ の関係式を求めると式 (13) のようになる.

$$\Delta y = 3.3 \left(\int_0^t Q dt \right)^{0.5} \dots\dots\dots (13)$$

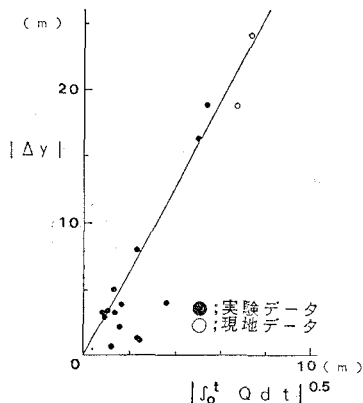
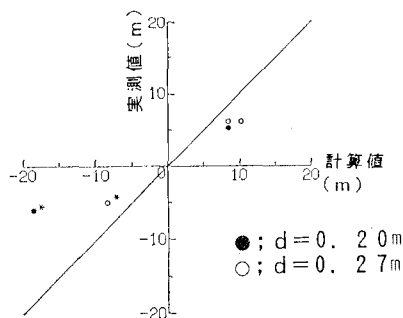


図-9 Δy と Q の関係

したがって, 岸沖漂砂による汀線変化の岸沖長さは, 式 (3), (6), (9) および (12) から求まる岸沖漂砂量 Q を用いて式 (13) から求められる. 砂村 (1983) の現地観測値と本算定式による計算値を比較すれば図-10 のようになり, 両者の一致度はおおむね良好である. 本算定式と既存の安定海底勾配を与える算定式とを結び付ければ, 地形変形後の海岸断面形を得ることが出来る.

ただし, 式 (13) は, 図-8 に示すような, 岸沖漂砂による単純な地形変化を対象としているため, 地形変化が複雑な海岸への適用に際しては, 十分な事前検討が必要である.



*のデータは砂村の予測モデルの計算値との比較である。

図-10 観測値と計算値の比較

次に, 汀線変形モデルと結び付けて, 汀線変化の平面的な数値シミュレーションを試みる. 対象海岸には, 公開資料の入手のし易さから, 青森県の太平洋側に面した小川原湖海岸を選ぶ. 本海岸に在る三沢漁港の沖防波堤が十分に延びて, これによる回折効果が顕著に現れるようになった1976年~1977年の一年間について, 三沢漁港から北側 2000 m の区間の汀線変化の再現計算を以下のように行う.

数値シミュレーションの座標と三沢漁港防波堤の設置

状況を図-11 に示す。また、図-11 の原点から 700 m 地点（漁港外側境界）と 900 m 地点（漁港内）の深浅測量データによる海底断面変化を図-12 に示す。

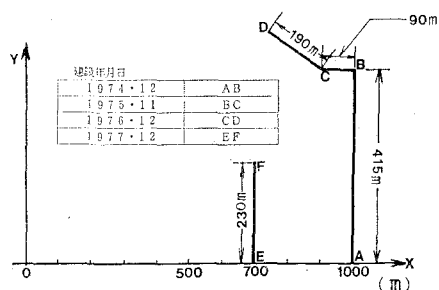


図-11 三沢漁港防波堤の設置状況

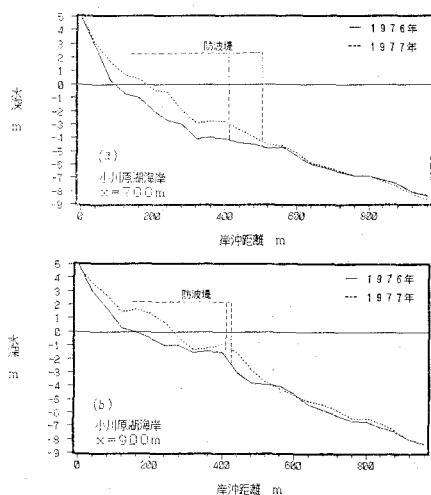


図-12 700 m 地点および 900 m 地点の海底断面変化

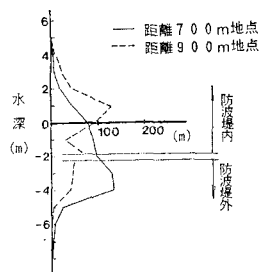


図-13 地形変化量の水
深分布

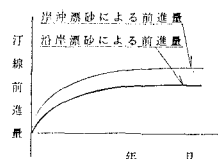


図-14 漁港内の汀線変
化

ることによって、陸方向への岸沖漂砂も発生して、漁港内の汀線の著しい前進が生じたと考えられる。

そこで、橋本・宇多 (1979) が報告している諸値（沿岸漂砂移動高=11m, 実測土砂変化量から求めた沿岸漂砂係数 $K_1=0.2$, 図-15 に示すエネルギー平均波高と平均周期と卓越波向）を用いて、汀線変形モデルによるシミュレーションを行った。結果は図-16 に示す実線の通りである。ただし、海底勾配は海底断面図から $1/50$ とし、沿岸漂砂量の算定には小笹・Brampton (1979) の公式を用い、反流による係数 $K_2=1.62K_1$ とした。これに、底質の中央粒径 $d=0.47\text{ mm}$ とし、図-15 に示す波向および各波高ランクごとに、岸沖漂砂による汀線変化の岸沖長さを式 (13) を用いて求め、その一年間の累積値を考慮すると図-16 の破線のようになる。岸沖漂砂を考慮することによりかなり改善されたことが判る。

エネルギー平均波高、平均周期および卓越波向の一覧表

	波高 m	周期 s	入射波
E N E	1.43	8.0	10.8
E	1.35	9.0	-12.0
E S E	1.12	7.5	-34.0

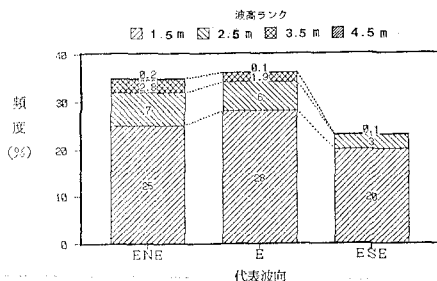
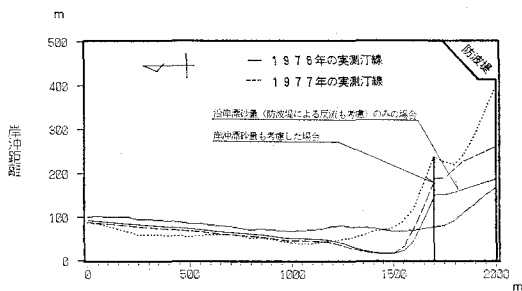


図-15 小川原湖海岸の波浪データ

図-12 の (a) によれば、防波堤（図中の破線）先端より沖側では、海底地形があまり変化しておらず、防波堤先端を通過している沿岸漂砂量は、時化時を除いて少ないと考えられる。また、各々の海岸地形変化量を読み取り、これの水深方向分布を求めると図-13 のようになる。この図で、900 m 地点の地形変化量の分布のピークが陸域に移っているが、これを沿岸漂砂の岸沖分布のピークが陸域に移ったためと考えるのは不自然である。防波堤の回折効果により、防波堤遮蔽域内の波が堆積性の波に変わって、図-14 に示すように、陸方向への岸沖漂砂が顕著になったためと考えるのが自然である。橋本・宇多 (1979) は、三沢漁港周辺の海岸地形変化に経験的固有関数展開法を適用して、岸沖漂砂の存在を指摘している。

したがって、防波堤の回折効果によって、沿岸漂砂が漁港内に入り込み、さらに、漁港内で波が堆積性に変わ

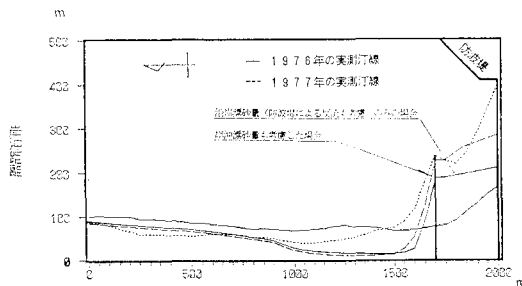
一般の自然海岸は、波の長年の覆歴により、岸沖漂砂に対して、かなり安定した海岸断面となっている。本海岸でも、図-16 の三沢漁港の防波堤から離れた沿岸距離 0m 付近では、岸沖漂砂による汀線変化は小さいと考えられる。岸沖漂砂に対する計算値の一年間の累積結果はかなり小さくなっているの、岸沖漂砂については、妥当な結果を得たと考えられる。



図—16 $K_2=1.62 K_1$ での数値計算結果

沿岸漂砂については、図—16 の沿岸距離 0 m 付近では、防波堤から離れているので、回流による沿岸漂砂の成分は零と見なせるので、この区間の汀線変化の岸沖長さは沿岸流による成分のみと考えられる。そして、この区間での汀線変化の岸沖長さの計算値は実測値にほぼ等しいので、沿岸漂砂量係数 $K_1=0.2$ も妥当であったと判断される。

次に、 $K_2=1.62 K_1$ については、この 1.62 が小笹・Brampton (1979) によって半理論的に求められた値であるから、むやみに変えられないが、図—16 の漁港内の汀線前進量の計算値が実測値に比べて少な過ぎるので、2 倍の $K_2=3.24 K_1$ とした場合のシミュレーション結果を図—17 に示す。漁港内の汀線前進量はかなり増えたが、漁港北側の汀線後退区間もかなり広がった。これは、沿岸漂砂に対するシミュレーションでエネルギー



図—17 $K_2=3.24 K_1$ での数値計算結果

平均波高のみを用いた結果、防波堤先端を回り込んで南側からやって来る沿岸漂砂が零となり、漁港内の汀線が前進するためには、漁港北側から土砂を供給するしかないためである。現実には時化時に防波堤先端を回り込んでやって来る沿岸漂砂が有ると考えるのが、正しいようである。

4. 主要な結論

① 砂村の岸沖漂砂量算定式をベースに、大型実験および現地観測のデータを用いて、岸沖漂砂量係数と底質および海岸勾配との関係を明らかにし、岸沖漂砂量係数の定式化を行った。

② 岸沖漂砂による汀線変化の岸沖長さを求める算定式を提案し、汀線変形モデルと組み合わせることによって、現地への有用性を示した。

参考文献

- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹(1991): 沿岸漂砂による3次元海浜地形変化の予測法, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 386-390.
- 小笹博昭・Brampton, A. H. (1979): 護岸のある海浜のてい線変化数値計算, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 77-103.
- 加藤一正・村上裕幸・栗山善昭・藤田 誠(1987): 短期汀線変動のモデル化の試み, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 297-301.
- 加藤一正(1990): 漂砂と海浜地形変化に及ぼす長周期波の影響に関する研究, 東京工業大学学位請求論文, pp. 104-106.
- 清水隆夫・斉藤昭三・丸山康樹・長谷川 寛・鹿島遼一(1985): 大型造波水路実験による岸沖漂砂量分布形のモデル化, 電力中央研究所報告, 384028, 60 p.
- 砂村継夫(1983): 海岸環境工学, 本間仁監修, 堀川清司編, 東京大学出版会, pp. 361-363.
- 砂村継夫(1984): Swash zone を含む砂波帯の岸沖漂砂に関する研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 316-320.
- 西村仁嗣・砂村継夫(1985): 二次元海浜変形の数値シミュレーション, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 340-343.
- 橋本 宏・宇多高明(1979): 経験的海浜変形モデルの小川原湖海岸への適用, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 215-219.
- 堀川清司(1984): 海浜変形シミュレーションの適用性, 土木学会論文集, 第345号, pp. 21-29.
- Shibayama, T.・K. Horikawa(1985): A numerical model for two-dimensional beach transformation, Proc. of JSCE No. 357/II-3, pp. 167-176.