

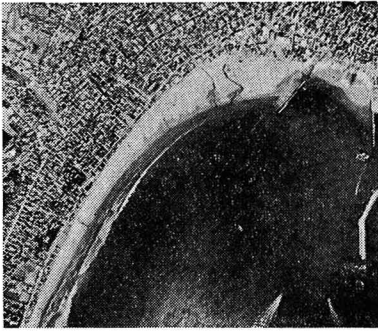


写真-1 (b) 航空写真の比較

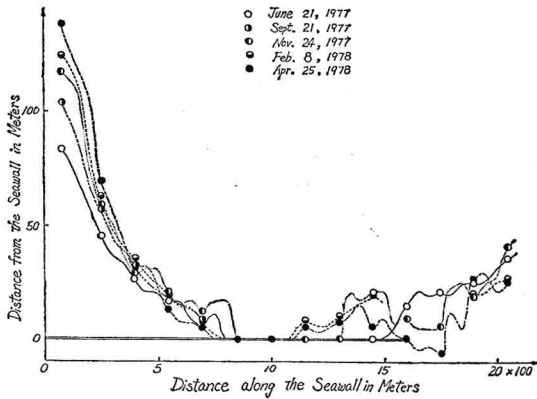


図-3 防砂突堤周辺の汀線変化

港内循環流の存在を証明し、汀線変化が主に沿岸流によることを説明する。写真-2 は防砂突堤周囲の汀線である。

3. 理論的解析

防砂突堤（護岸より400m長）が建設された地点周辺の海岸では、南防波堤の影響により定常的な海浜流が汀線にほぼ平行に流れている（図-2）。この防砂突堤長が、十分長くないならば、すなわち、防砂突堤に関してこの一様沿岸流の流れの場が上流側と下流側とで完全に分割されないならば、防砂突堤周囲の流況はポテンシャル流理論における一様流中に置かれた平板の回りの流れに似ている⁹⁾。そこで一様流の流速を U 、平板の幅を $2l$ （防砂突堤長は l ）として流れの場を計算すると x 軸に

沿う流れは、

$$u(x) = -\frac{Ux}{\sqrt{x^2 + l^2}} \dots \dots \dots (1)$$

となる（図-4）。沿岸漂砂量 q_s は流れの加減速と関連

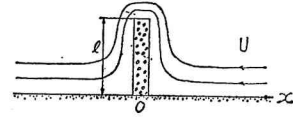


図-4 防砂突堤周辺の流れ

していると考えてつぎのように仮定する。すなわち、

$$q_s = C_s u(x)^n \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 C_s , n : 漂砂量に関する定数である。もし、短期間における海浜変形（汀線変化）を議論するならば、沿岸漂砂量は平均流速 $u(x)$ の関数で表示できるが、汀線変化が大きくなった場合は、漂砂量は当然地形すなわち汀線の関数となる。もし、新汀線が旧汀線に平行にとった x 軸に対し Δx にわたる範囲で Δy 変化したならば、新しい汀線がもとの汀線となす角 $\Delta\theta$ は

$$\Delta\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} \dots \dots \dots (3)$$

で与えられる（図-5）。汀線が変化する以前は、汀線に

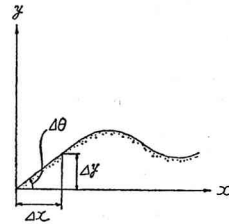


図-5 汀線変化の説明

沿う流速は $u(x)$ であるが、汀線が微小角 $\Delta\theta$ 傾くと、汀線に平行な成分は $u(x) \cos \Delta\theta$ 、垂直成分は $u(x) \sin \Delta\theta$ となる。 $\Delta\theta$ は地形変化による漂砂量への影響と考えることができる。そこで、漂砂量 q_s をつぎのように表示する。

$$q_s = C_s u(x) (\cos \Delta\theta + \alpha \sin \Delta\theta) \\ \cong C_s u(x) \left(1 + \alpha \frac{\partial y}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $|\Delta\theta| \ll 1$, $n=1$ と仮定し、 α は沿岸流の流速

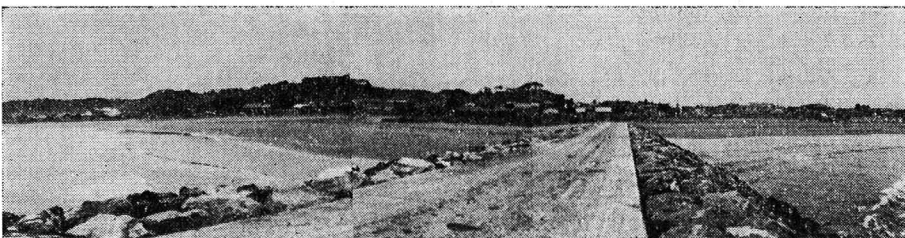


写真-2 防砂突堤周辺の汀線変化の写真（1978年4月28日）

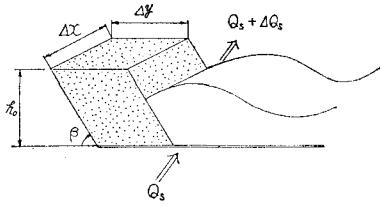


図-6 海浜変形の模式図

の汀線に対して垂直な成分に対する沿岸漂砂量への寄与を示す定数である。図-6を参照して砂の連続式を導くと

$$h_0 \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここで、 y は汀線位置、 h_0 は漂砂移動が発生していると考えられる範囲までの水深、 t は時間、 Q_s は全沿岸漂砂量である。 Q_s は q_s を利用してつぎのように表示する。

$$Q_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{h_0^2}{\tan \beta} q_s \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 β は砂浜勾配。式(4)を式(6)に代入し、さらに、それを式(5)に代入すると、

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{h_0}{2 \tan \beta} \cdot \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

一般に $h_0, \tan \beta$ は汀線に沿って変化する、すなわち、 x の関数であるが、ここでは一定と仮定した。式(4)を代入して

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{C_s h_0}{2 \tan \beta} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[u(x) \left(1 + \alpha \frac{\partial y}{\partial x} \right) \right] = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

防砂突堤を建設したときは汀線変化はまだ発生していないので、

$$t=0: \quad y=0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

そして、防砂突堤で漂砂が完全に阻止されていると考えると、

$$x=0: \quad q_s=0 \quad \text{すなわち} \quad \frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{1}{\alpha} \quad \dots\dots\dots (10)$$

境界条件(10)は図-4より考えるとほぼ満足されていると思われる。式(8)に式(1)を代入し、変数 x と y を防砂突堤施工時の有効長 l (汀線より防砂突堤先端までの距離) で無次元化する。そのとき、

$$x = l x_*, \quad y = l y_* \quad \dots\dots\dots (11)$$

で、式(8)は

$$\frac{\partial y_*}{\partial t} = \frac{C_s U h_0}{2l \tan \beta} \left[\frac{1}{(1+x_*^2)^{1.5}} + \alpha \frac{\partial}{\partial x_*} \left\{ \frac{x_*}{\sqrt{1+x_*^2}} \cdot \frac{\partial y_*}{\partial x_*} \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる。式(12)の解析解を求めるのは容易でない、 $x_*/\sqrt{1+x_*^2}$ が、 $0 < x_* < +\infty$ でほぼ一定で α_*/α に等しいと仮定する。その結果、式(12)は式(13)のように簡単化できる。

$$\frac{\partial y_*}{\partial t} = f(x_*) + a^2 \frac{\partial^2 y_*}{\partial x_*^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{ここで、} f(x_*) = \frac{C_s U h_0}{2l \tan \beta} \cdot \frac{1}{(1+x_*^2)^{1.5}},$$

$$a^2 = \frac{C_s U h_0}{2l \tan \beta} \alpha_*$$

式(13)を解くために、関数 $y_* = v + w$ と考え、各々関数 v と w はつぎの方程式と初期条件を満足するものとする。

$$(I) \quad \frac{\partial v}{\partial t} = f(x_*) + a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x_*^2} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$t=0: \quad v=0$$

$$(II) \quad \frac{\partial w}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x_*^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$t=0: \quad w=0$$

また、境界条件を満たすために関数 v と w は

$$\left. \frac{\partial y_*}{\partial x_*} \right|_{x_*=0} + \frac{1}{\alpha} = 0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

の境界条件によって結びつけられている。(I)の解は、

$$v(x_*, t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi_1) \frac{1}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} \times \exp \left\{ -\frac{(\xi_1 - x_*)^2}{4a^2(t-\tau)} \right\} d\xi_1 d\tau \quad \dots\dots\dots (17)$$

である。未知関数 $\phi(t)$ を使い、(II)を境界条件

$$w|_{x_*=0} = \phi(t) \quad \dots\dots\dots (18)$$

のもとで解くと、

$$w(x_*, t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{x_*}^{\infty} \frac{\phi \left(t + \frac{x_*^2}{4a^2\xi^2} \right) \exp(-\xi^2) d\xi}{2a\sqrt{t}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

となる。関数 $\phi(t)$ は条件(16)を用いると、計算でき、

$$\phi(p) = a\sqrt{\frac{\pi p}{2}} \left[\int_0^{p/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi_1) \frac{\xi_1}{a\sqrt{\pi \left(\frac{p}{2} - \tau \right)}} \times \exp \left\{ -\frac{\xi_1^2}{4a^2 \left(\frac{p}{2} - \tau \right)} \right\} d\xi_1 d\tau + \frac{1}{\alpha_*} \right] \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。従って、解 $y_*(x_*, t)$ は、式(16)、(18)、(19)を用いると

$$y_*(x_*, t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\xi_1)}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} \times \exp \left\{ -\frac{(\xi_1 - x_*)^2}{4a^2(t-\tau)} \right\} d\xi_1 d\tau + \frac{a}{\alpha_*} \int_{x_*}^{\infty} \sqrt{2 \left(t + \frac{x_*^2}{4a^2\xi^2} \right)} \times \exp(-\xi^2) d\xi \quad \dots\dots\dots (21)$$

式(21)を簡単化する時に、 $f(\xi_1)$ が偶関数であることを用いた。式(21)において第1項は沿岸流による汀線変化を示し、第2項は防砂突堤による遮蔽効果を示すものと考えられる。従って、式(21)から a と $f(x_*)$ の

値が汀線変化に顕著な影響を及ぼしている。

4. 結果と考察

防砂突堤建設後まもなくの時期を考えると、上式において第1項が卓越する。ゆえに、

$$\begin{aligned}
 y_*(x_*, t) &\cong \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\xi_1)}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} \\
 &\quad \times \exp\left\{-\frac{(\xi_1-x_*)^2}{4a^2(t-\tau)}\right\} d\xi_1 d\tau \\
 &\cong \int_0^t \frac{f(x_*)}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} d\tau \\
 &= \frac{\sqrt{t} f(x_*)}{2a\sqrt{\pi}} = \frac{a\sqrt{t}}{2\sqrt{\pi}\alpha_*(1+x_*^2)^{1.5}} \dots\dots\dots(22)
 \end{aligned}$$

となる。式(22)から汀線変化すなわち $f(x_*)$ は、沿岸流の場所による変化率と経過時間の平方根に比例することが求まる。図-7 は現地海浜の汀線変化と $1/(1+x_*^2)^{1.5}$

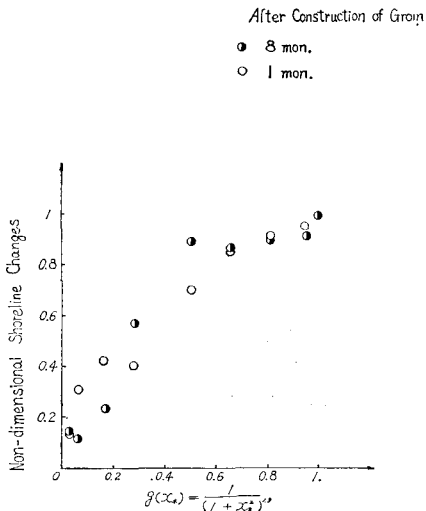


図-7 汀線変化と $g(x_*)$ の関係

の関係をプロットしたものであり、防砂突堤建設後1ヶ月では両者の関係は式(22)をほぼ満足する。しかし、8ヶ月後では式(22)がもはや成立しないことがわかる。つぎに式(21)において、防砂突堤付近の汀線変化について考察する。この場合 $x_* \cong 0$ だから、式(21)は

$$\begin{aligned}
 y_*(0, t) &\cong \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\xi_1)}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} \\
 &\quad \times \exp\left\{-\frac{\xi_1^2}{4a^2(t-\tau)}\right\} d\xi_1 d\tau \\
 &\quad + \frac{a}{\alpha_*} \int_0^{\infty} \sqrt{2t} \exp(-\xi^2) d\xi \\
 &\cong \int_0^t \frac{1}{2a\sqrt{\pi(t-\tau)}} \cdot \frac{C_s U h_0}{2l \tan \beta} d\tau + \frac{a}{\alpha_*} \sqrt{\frac{\pi t}{2}} \\
 &= \frac{a}{\alpha_*} \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right) \sqrt{t} \dots\dots\dots(23)
 \end{aligned}$$

となる。式(23)は防砂突堤基部の汀線変化が経過時間の平方根に比例することを示す。図-8 は現地防砂突堤

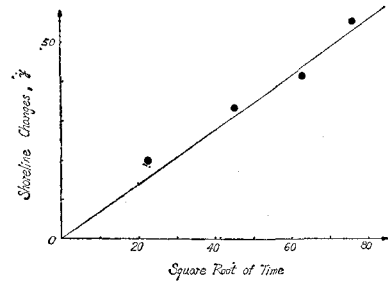


図-8 汀線変化と $\sqrt{t}$ の関係

基部の汀線変化と $\sqrt{t}$ の関係を示すが、式(23)をほぼ満足する。以上の事実より、汀線変化は沿岸流流速が大きいほど、 h_0 が大きいほど、 $\tan \beta$ が小さいほど、防砂突堤長が長いほど顕著となる。すなわち、沿岸流が速く、漂砂の影響が深く及ぶ緩い前浜勾配の海岸では突堤に堆積する砂量は大きい。また、突堤長が長いほど遮蔽効果が良好であることを示す。最後に、現地汀線と式(21)によって計算した汀線とを図-9で比較する。計算では

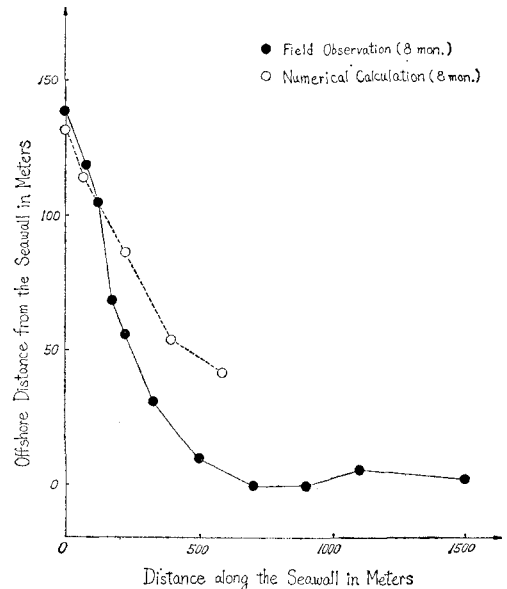


図-9 汀線変化の予測と現地データとの比較

沿岸流は上流からほぼ一定の漂砂を常に輸送しているが、これが現地海浜の現象と一致していないために、防砂突堤から離れるに従って両者の差は著しくなる。また、数値計算のために防砂突堤建設以前は、旧磯浜港前の汀線が3.5年間で約120m前進^{1),2)}したことから式(22)を使って

$$a/\alpha_* = 0.3786$$

を求め、さらに、防砂突堤基部の $\partial y/\partial x$ を用いて α_* を

求めた。

最後に、本研究に対し御助言をいただいた、運輸省港湾技術研究所、佐藤次長および、現地資料の提供をしていただいた、茨城県三浜港湾事務所、鶴川主幹に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 荒木田哲也, 鶴川義郎, 水村和正: 防波堤背後の流況と汀線変化 (1), 第 25 回海講論文集, pp. 199-203, 1978.
- 2) Gourlay, M. R.: Wave set-up and wave generated currents in the lee of a breakwater or headland, 14th Conf. on Coastal Eng., pp. 1976-1995, 1974.
- 3) Gourlay, M. R.: Non-uniform alongshore currents, 15th Conf. on Coastal Eng., pp. 701-720, 1976.
- 4) 橋本 宏, 宇多高明: 海浜流の数値計算法とその応用, 第 21 回海講論文集, pp. 355-360, 1974.
- 5) Liu, P. L. F. and Mei, C. C.: Water motion on a beach in the presence of a breakwater, 2. Mean currents, Jour. of Geophy. Res., pp. 3085-3094, 1976.
- 6) Shiraishi, N. and Mizumura, K.: Shoreline changes in the lee of a breakwater, Coastal Zone, pp. 1401-1419, 1978.
- 7) Mizumura, K.: Littoral currents and characteristics of beaches around breakwaters, Coastal Structure 79, 1979.
- 8) 水村和正: 大洗港周辺の海浜変形について, 第 15 回自然災害科学総合シンポジウム, pp. 593-596.
- 9) たとえば, 権貝博美著: 流体力学演習, 朝倉, 150 p. 1968.