

多変量解析法による海浜変形過程の汀線移動量モデル式

増 田 重 臣*・伊 藤 政 博**

1. 緒 言

波による砂質海浜の変形過程に関する二次、三次元模型実験は従来より数多くの研究者により取り組まれてきており、特に、最近、二次元的な立場から、汀線移動や海浜変形タイプの分類について定式化の試みがなされるようになってきた。これらの海浜変形過程の研究の推移については、尾崎らによって説明されている。

海浜変形が平衡状態になった場合の実験資料を用いて、初期形状からの汀線の最終変化量を底面流速・底質粒径および初期浜勾配で表わす実験式〔式 (25)〕が堀川らによって提案されているが、まだ十分な結果を与えるまでに至っていない。そこで、汀線の変化量そのものにとらわれず、汀線の“前進”・“後退”の限界を判別式の定数の値によって表わそうとする試みが堀川・尾崎らによってなされている。

著者らは、汀線移動量を定式化する一つの試みとして、最初一様な初期浜勾配を持つ場合の模型実験結果について、三種のモデル式を適用した。モデル式の係数の決定には出来る限り数多くの実験資料を集収し、多変量解析法を適用した。その結果、モデル式で汀線移動量がある程度推定することが可能となった。

2. 多変量解析法

多変量解析法は、一般に、多元的現象をモデル化し、定式化しようとする場合に使用される。多変量解析法の分析手法には表-1のようにいくつかの方法があるが、以下、汀線移動量モデル式を求めるための方法として、

表-1 多変量解析法における分析手法

パターン	主 目 的	分 析 手 法	
		量的なデータ	質的なデータ
1 型	予測・関係式の発見	重回帰分析, 正準相関分析	数量化Ⅰ類
2 型	諸変量の統合・分類	主成分分析, 因子分析	数量化Ⅲ類
3 型	標本の分類	判 別 分 析	数量化Ⅱ類
4 型	検 定	分 散 分 析	

* 正会員 工博 名城大学教授 理工学部土木工学科

** 正会員 工修 名城大学講師 理工学部土木工学科

重回帰分析が適当と考えられるので、この方法を使用することにする。重回帰分析は従属変数（目的変数）を独立変数（説明変数）で表現するために、モデル式を設定し、その偏回帰係数を決定するものである。

一般に、重回帰分析のモデルは、従属変数 y と n 個の独立変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ の間に次の関係式を設定する。

$$y = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) を線形モデル式に直すと、重回帰モデルは、

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n + \varepsilon \dots\dots\dots (2)$$

で表わされ、ここで、 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ はそれぞれ定数および偏回帰係数である。 ε は誤差を表わす。

式 (2) の回帰推定値は、

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n \dots\dots\dots (3)$$

と書ける。この $\hat{y}$ の x_i に対する偏回帰係数 ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$) を推定する方法にはいくつかの方法があるが、Efroymsen の方法を適用する。この方法を以下簡単に説明する。 m を測定値のくり返し数（資料数）とし、

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m x_{it} \dots\dots\dots (4)$$

とすると、式 (2) は、

$$y_t - \hat{y} = \sum_{i=1}^n \beta_i(x_{it} - \bar{x}_i), \quad (t=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる。測定値 y と推定値 $\hat{y}$ との誤差は、

$$e_t = (y_t - \hat{y}_t) - \sum_{i=1}^n \beta_i(x_{it} - \bar{x}_i), \quad (t=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (6)$$

ベクトル $e = (e_t)$ が最小になるように β_i を決めるために式 (6) を自乗すると、

$$|e|^2 = \sum_{t=1}^m \{(y_t - \hat{y}_t) - \sum_{i=1}^n \beta_i(x_{it} - \bar{x}_i)\}^2 \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) を β_i について偏微分し、ゼロとおくと、

$$\sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{t=1}^m (x_{it} - \bar{x}_i)(x_{jt} - \bar{x}_j) \right\} \beta_j = \sum_{t=1}^m (x_{it} - \bar{x}_i)(y_t - \hat{y}_t) \dots\dots\dots (8)$$

式 (8) は β_j についての連立 n 次方程式である。この方程式をガウスの消去法により解法する。そのため、式 (8) を次のマトリクス A に入れ、計算を行なうと、マトリクスの中に偏回帰係数が与えられ、従属変数に対して有意な独立変数のみが分散分析により選択される。

$$A = \begin{bmatrix} S & T' & I \\ T & Z & D \\ -I & B & C \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

$S(n \times n) = n$ 独立変数の相関マトリクス、

$T(1 \times n) = n$ 独立変数と従属変数 y の相関マトリクス、

$T'(n \times 1) = T$ の転置ベクトル、

$Z(1 \times 1) =$ 従属変数自身の相関係数 $\equiv 1$ 、

$I(n \times n) =$ 単位マトリクス、

$-I(n \times n) =$ 負の単位マトリクス、

$B(n \times 1) = C(n \times n) = D(1 \times n) =$ 最初ゼロのマトリクス。

3. 汀線移動量モデル式

初期浜勾配 i_0 の一様な斜面上に波が作用すると、海浜は波の作用時間 t の経過にともなって漸次変形を起す。この海浜の変形により、汀線も同様、初期汀線位置より“前進”，あるいは“後退”を起す。この汀線移動量 X_{st} は次元解析により次のように表わされる。

$$\frac{X_{st}}{L_0} = f \left[\frac{h}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, i_0, \frac{H_0}{L_0}, \frac{t}{T}, \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right), \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right] \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 X_{st} : 初期汀線位置からの汀線の前進量 (正の値)、後退量 (負の値)、 h : 実験水槽水平部の水深、 d_m : 底質平均粒径、 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長、 T : 波の周期、 σ : 底質材料の密度、 ρ : 水の密度、 ν : 水の動粘性係数。

式 (10) で、 X_{st}/L_0 : 従属変数、 h/L_0 , d_m/H_0 , i_0 , H_0/L_0 , t/T , $\sigma/\rho - 1$, $\nu/(d_m \sqrt{g H_0})$: 独立変数であるから、式 (3) に対応させることができるように、次の三種類のモデルを考えた。

モデル I: 乗積模型

$$\begin{aligned} \exp \left(\frac{X_{st}}{L_0} \right) &= \exp (\beta_0) \left(\frac{h}{L_0} \right)^{\beta_1 I} \left(\frac{d_m}{H_0} \right)^{\beta_2 I} \\ &\times (i_0)^{\beta_3 I} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{\beta_4 I} \left(\frac{t}{T} \right)^{\beta_5 I} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^{\beta_6 I} \\ &\times \left(\frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right)^{\beta_7 I} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

上式の両辺について、自然対数を取ると、

$$\begin{aligned} \frac{X_{st}}{L_0} &= \beta_0 I + \beta_1 I \ln \left(\frac{h}{L_0} \right) + \beta_2 I \ln \left(\frac{d_m}{H_0} \right) \\ &+ \beta_3 I \ln (i_0) + \beta_4 I \ln \left(\frac{H_0}{L_0} \right) \\ &+ \beta_5 I \ln \left(\frac{t}{T} \right) + \beta_6 I \ln \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \\ &+ \beta_7 I \ln \left(\frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right) \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

モデル II: 1 次多項式模型

$$\begin{aligned} \frac{X_{st}}{L_0} &= \beta_0 II + \beta_1 II \frac{h}{L_0} + \beta_2 II \frac{d_m}{H_0} + \beta_3 II i_0 \\ &+ \beta_4 II \frac{H_0}{L_0} + \beta_5 II \frac{t}{T} + \beta_6 II \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \\ &+ \beta_7 II \left(\frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right) \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

モデル III: 3 次多項式模型

$$\begin{aligned} \frac{X_{st}}{L_0} &= \left\{ \frac{h}{L_0} + \frac{d_m}{H_0} + i_0 + \frac{H_0}{L_0} + \frac{t}{T} + \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \right. \\ &\left. + \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right\}^3 \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

式 (14) の右辺を展開し、係数の代りに、偏回帰係数 β_{III} を置き換え、次の模型を考える。

$$\begin{aligned} \frac{X_{st}}{L_0} &= \beta_0 III + \beta_1 III \left(\frac{h}{L_0} \right)^3 + \beta_2 III \left(\frac{d_m}{H_0} \right)^3 + \beta_3 III (i_0)^3 \\ &+ \beta_4 III \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^3 + \beta_5 III \left(\frac{t}{T} \right)^3 + \beta_6 III \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^3 \\ &+ \beta_7 III \left(\frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right)^3 + \beta_8 III \left(\frac{h}{L_0} \right)^2 \frac{d_m}{H_0} \\ &+ \dots\dots + \beta_{84} III \frac{t}{T} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

以上、式 (12), (13), (15) のモデルは、それぞれ、

$$\begin{aligned} X_{st}/L_0 \rightarrow y, \ln \left(\frac{h}{L_0} \right) \rightarrow x_1, \frac{h}{L_0} \rightarrow x_1, \left(\frac{h}{L_0} \right)^3 \rightarrow x_1; \\ \ln \left(\frac{d_m}{H_0} \right) \rightarrow x_2, \frac{d_m}{H_0} \rightarrow x_2, \left(\frac{d_m}{H_0} \right)^3 \rightarrow x_2; \dots\dots \end{aligned}$$

とすると、式 (3) に対応させることができる。結局、モデル I, II, III の右辺の偏回帰係数 ($\beta_0 I, \beta_1 I, \beta_2 I, \dots, \beta_7 I$), ($\beta_0 II, \beta_1 II, \beta_2 II, \dots, \beta_7 II$), ($\beta_0 III, \beta_1 III, \beta_2 III, \dots, \beta_{84} III$) を式 (9) のマトリクス A で、選択決定してやれば、それぞれのモデルで汀線移動量を表わす最適の式を得ることができる。

4. 解析結果

海浜変形に関する調査・模型実験の資料はかなり多くの数が公表されているので、とりあえず、実験資料の中から、式 (10) の従属変数と独立変数を満足できるものを選択した。解析に使用する実験資料の要約は表-2 に示したように総数 517 個である。解析を行なうに当っ

表—2 解析計算に使用した実験資料

No.	実験者名	汀線移動量 X_{sl} (cm)	水深 h (cm)	底質平均粒 径 d_m (mm)	底質材料密 度 σ (g/cm ³)	初期浜勾配 i_0	沖波波高 H_0 (cm)	周 期 T (sec)	波の作用時 間 t (hrs)	沖波形勾配 H_0/L_0	備 考	
											底質材料	データ 数
1	Bulletin of B.E.B. ¹⁴⁾	-34.3~ 61.8	20.4~91	0.28, 0.56	2.65	1/15	2.4~11.6	0.9~3.3	1~30	0.012~0.061	砂	24
2	Rector, R.L.	-216.4~ 129.7	83	0.22, 3.44	2.65	1/30	10.1~13.1	1.3~3.3	70~200	0.006~0.038	砂	20
3	Watts, G.M.	-110.8~ 205	91.4	0.22~3.44	2.63	1/20	12.7~18.7	2.0, 2.68	40	0.0113~0.03	砂	8
4	Saville, T. Jr.	-1789~ 358	427~457	0.22	2.65	1/15	46~171	5.6, 11.3	1~40	0.023~0.0083	砂	9
5	Shinohara K. et al.	-75.7~0	35	0.2, 0.3	1.6, 2.65	1/10	1.99~5.67	0.7~1.65	7	0.01~0.069	石炭粉, 砂	12
6	井島・青野	6.7~61.6	40	0.28	2.9	1/20	6.8, 7.7	1.5, 3.0	1~20	0.048~0.0219	砂	6
7	岩垣・樺木	-53.4~ 5.4	30	0.3	2.63	1/10	2.32, 3.8	0.88, 1.21	1~16	0.009, 0.033	砂	7
8	Popov, I.J.	-94.5~ -53.3	162	6	2.65	1/3	30	1.73	3.6~16.8	0.0667	砂	5
9	Eagleson, P.S. et al.	-19.7~ 29.0	44.5~49.4	0.37	2.65	1/20, 1/45	9.1~10.9	1.15~1.53	48~222	0.025~0.048	砂	7
10	増田・伊藤	-82~ 164.8	45	0.2, 1.75	2.64	1/10, 1/18	6.8, 17.7	1.9, 2.84	0.5~8.0	0.0054~0.0314	砂	48
11	土屋・稲田・吉 岡	-303~ 60.4	150	0.22~0.73	1.26~2.65	1/15	1.9~18.7	0.87, 1.34	7~60	0.016~0.085	砂, 石炭, おがくず	26
12	Raman, Dr. H. et al.	-28.6~ 32.3	35	0.3	2.65	1/8, 1/15	6.49~7.54	1.0~2.0	5~45	0.0121~0.0434	砂	17
13	田中・新保	-225.9~ 40	40	0.2, 0.3	1.6, 2.65	1/10, 1/20	2.8~10.8	0.95~2.2	1~15	0.05~0.048	石炭, 砂	71
14	堀川・砂村・鬼 頭	-117~ 20.4	40	0.2	2.65	1/24	5.3~7.3	1.4, 1.7	6~240	0.013~0.025	砂	17
15	Paul, M.J. et al.	-29~45.9	19~68	0.36~0.91	1.6~2.71	1/5~1/20	2.07~18.29	0.91~1.71	12, 36	0.016~0.06	ベークライ ト, 砂	24
16	増田・伊藤	-102.8~ 166.8	45	0.3, 2.75	2.3, 2.29	1/10~1/18	9.8, 12.06	1.58, 2.3	0.25~8.0	0.0119~0.03	メサライト	56
17	堀川・砂村・近 藤	-203.4~ 208	50	0.2, 0.7	2.65	1/10~1/30	3.4, 7.6	1.0, 2.0	1~160	0.0121~0.0487	砂	59
18	堀川・砂村・近 藤・岡田	-245~ 10.69	40	0.2, 0.7	2.65	1/10	3.4, 7.6	1.0, 2.0	9~266	0.0054~0.0487	砂	16
19	名城大学理工学 部昭和50年度土 木工学卒業研究 論文	-146.9~ 284.8	50	0.44	2.57	1/10~1/30	11.4~14.8	1.45, 2.29	0.25~200	0.0138~0.0449	砂	85
Max.		358	457	6	2.9	1/3	171	11.3	0.25	0.085	全データ数 517	
Min.		-303	19	0.2	1.26	1/45	1.9	0.87	266	0.0054		

て、堀川らが指摘しているように、汀線移動量は波の作用時間 t に影響を受けるため、 $t=40$ hrs. を境にして、それ以上は安定した変化を示すので、波の作用時間を次のように区切って計算を行なった。 $0 < t \leq \infty$ hrs., $0 < t < 40$ hrs., $40 \leq t \leq \infty$ hrs. 表—2 から、実験資料の中で、 t の最長時間は 266 hrs. であるので、結局、この解析では $\infty=226$ hrs. である。

以下に、式 (9) のマトリクス **A** に値を入れて計算した結果を示した。また各モデル式において、独立変数が従属変数をどの程度説明できるかを表わす値として、寄与率 γ % および重相関係数 R を求めた。

モデル I—A $0 < t \leq 266$ hrs.

$$\begin{aligned} \exp\left(\frac{X_{sl}}{L_0}\right) &= \exp(0.24) \left(\frac{h}{L_0}\right)^{-0.32} \left(\frac{d_m}{H_0}\right)^{0.16} (i_0)^{-1.9} \\ &\times \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.16} \dots\dots\dots(16) \\ \gamma &= 26.4\%, R = 0.51, \text{ データ数} = 517 \end{aligned}$$

モデル I—B $0 < t < 40$ hrs.

$$\begin{aligned} \exp\left(\frac{X_{sl}}{L_0}\right) &= \exp(0.21) \left(\frac{h}{L_0}\right)^{-0.24} \left(\frac{d_m}{H_0}\right)^{0.12} \\ &\times (i_0)^{-0.12} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.11} \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

$\gamma=21\%$, $R=0.46$, データ数=389

I—C $40 \leq t \leq 266$ hrs.

$$\begin{aligned} \exp\left(\frac{X_{sl}}{L_0}\right) &= \exp(0.6) \left(\frac{h}{L_0}\right)^{-0.79} (i_0)^{-0.42} \\ &\times \left(\frac{d_m}{H_0}\right)^{0.31} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.48} \dots\dots\dots(18) \\ \gamma &= 53.6\%, R = 0.73, \text{ データ数} = 128 \end{aligned}$$

モデル II—A $0 < t \leq 266$ hrs.

$$\begin{aligned} \frac{X_{sl}}{L_0} &= 0.152 - \frac{h}{L_0} + 10.1 \frac{d_m}{H_0} - 0.61 i_0 \\ &- 8.4 \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \dots\dots\dots(19) \\ \gamma &= 43.3\%, R = 0.66, \text{ データ数} = 517 \end{aligned}$$

II—B $0 < t < 40$ hrs.

$$\begin{aligned} \frac{X_{sl}}{L_0} &= -0.038 - 0.82 \frac{h}{L_0} + 9.8 \frac{d_m}{H_0} - 0.4 i_0 \\ &+ 0.081 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) \dots\dots\dots(20) \\ \gamma &= 40.2\%, R = 0.63, \text{ データ数} = 389 \end{aligned}$$

II—C $40 \leq t \leq 266$ hrs.

$$\frac{X_{sl}}{L_0} = 0.595 - 1.6 \frac{h}{L_0} - 5.6 i_0 - 48.6 \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}}$$

$$+9.6 \frac{d_m}{H_0} + 3.4 \times 10^{-7} \frac{t}{T} \dots\dots\dots(21)$$

$\gamma=72.0\%$, $R=0.85$, データ数=128

モデルⅢ—A $0 < t \leq 266$ hrs.

$$\begin{aligned} \frac{X_{sl}}{L_0} = & -0.021 - 3058 \frac{h}{L_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \\ & - 9.2 \times 10^{-8} \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{t}{T} \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \\ & + 9.8 \times 10^{-7} \frac{t}{T} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^2 - 9.5 \times 10^6 i_0 \cdot \frac{t}{T} \\ & \times \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) + 0.31 \frac{h}{L_0} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^2 + 2.9 \\ & \times 10^{-11} \frac{h}{L_0} \left(\frac{t}{T} \right)^2 - 8.7 \times 10^{-11} \frac{d_m}{H_0} \left(\frac{t}{T} \right)^2 \\ & + 4169 \frac{h}{L_0} \cdot \frac{d_m}{H_0} \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} - 5.9 \\ & \times 10^{-18} \left(\frac{t}{T} \right)^3 - 6.3 \frac{h}{L_0} \cdot \frac{t}{T} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \end{aligned} \dots\dots\dots(22)$$

$\gamma=77.8\%$, $R=0.88$, データ数=517

Ⅲ—B $0 < t < 40$ hrs.

$$\begin{aligned} \frac{X_{sl}}{L_0} = & -0.049 - 2823 \frac{h}{L_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \\ & - 2.6 \times 10^{-4} \frac{h}{L_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{t}{T} + 0.62 \frac{h}{L_0} \\ & \times \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^2 - 7.6 \frac{h}{L_0} \cdot i_0 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) + 1685 \frac{h}{L_0} \\ & \times \frac{d_m}{H_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} + 2.1 (i_0)^2 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) + 1.3 \times 10^{-10} \\ & \times \frac{h}{L_0} \left(\frac{t}{T} \right)^2 - 1.0 \times 10^{-5} \frac{h}{L_0} \cdot \frac{t}{T} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \end{aligned} \dots\dots\dots(23)$$

$\gamma=78.4\%$, $R=0.89$, データ数=389

Ⅲ—C $40 \leq t \leq 266$ hrs.

$$\begin{aligned} \frac{X_{sl}}{L_0} = & 0.099 - 39880.7 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2 \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \\ & + 11.2 \frac{H_0}{L_0} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)^2 - 476.4 i_0 \cdot \frac{H_0}{L_0} \\ & \times \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) + 4025 (i_0)^2 \frac{H_0}{L_0} + 7.5 \\ & \times 10^5 \frac{d_m}{H_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} - 6.8 \times 10^5 \frac{H_0}{L_0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} \right)^2 - 651 \left(\frac{h}{L_0} \right)^2 \frac{d_m}{H_0} \\ & + 348.9 \frac{h}{L_0} \cdot i_0 \cdot \frac{\nu}{d_m \sqrt{g H_0}} + 3.2 \times 10^{-6} \left(\frac{h}{L_0} \right)^2 \\ & \times \frac{t}{T} + 4154 \frac{h}{L_0} \cdot \frac{d_m}{H_0} \cdot \left(\frac{H_0}{L_0} \right) - 4.5 \\ & \times 10^{-6} i_0 \cdot \frac{t}{T} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \dots\dots\dots(24) \end{aligned}$$

$\gamma=95.9\%$, $R=0.98$, データ数=128

式 (16)~(24) で、右辺の項の左から右への順序は、第 1 項には定数、そして第 2 項以後の変数の係数については、段階的回帰手順計算で X_{sl}/L_0 に対して影響の強い順で計算されるので、選択された変数の順に並べてある。

5. 解析結果の考察

表—3 は式 (16)~(24) のモデル式間の寄与率 γ と重相関係数 R との比較をするためにまとめたものである。汀線移動量を推定するためのモデル式は、寄与率が 100% に近い程、重相関係数が 1.0 に近い程、推定精度が高くなる。したがって、表—3 から、モデルⅡとⅢが推定精度が良好であることがわかる。特に、モデルⅢ—A, B, C は式の形が複雑であるが、汀線移動量を非常に精度良く推定することができるといえよう。図—1・A, 1・B, 1・C はモデルⅢで推定した X_{sl}/L_0 と実験による測定値 X_{sl}/L_0 との妥当性を調べるためにプロットしたものである。図—1 から、モデルⅢ—C ($40 \leq t \leq 266$ hrs.) の範囲では推定値と測定値との相違が非常に少なく、妥当な汀線移動量を与えるといえる。また、Ⅲ—A, Ⅲ—B は、多少のパラツキが図中に見受けられるが、ほぼ妥当な値を推定できるといえよう。

一方、モデルⅠの乗積型の式では汀線の移動現象を表示するには限界がある。モデルⅡとⅢについては、多項式の次数が高い方が推定の度合が良くなっている。

図—2 は、堀川らによる汀線最終変化量 X_s^* を表わす実験式 [式(25)] に、この研究で使用した実験資料を入れて計算を行なった結果である。

$$\begin{aligned} \frac{X_s^*}{L_0} = & 0.15 \left\{ \frac{H_0^2}{g T^2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\tan \beta} \right\}^{0.75} \\ & \times \left\{ 1 - \log_{10} \left(\frac{H_0 \tan \beta}{d} \right) \right\} \dots\dots\dots(25) \end{aligned}$$

ここで $\tan \beta = i_0$ である。図—2 から、式 (24) が $t \leq$

表—3 各モデル式の $r, R, D.N.$

	モ デ ル Ⅰ			モ デ ル Ⅱ			モ デ ル Ⅲ		
	Ⅰ—A	Ⅰ—B	Ⅰ—C	Ⅱ—A	Ⅱ—B	Ⅱ—C	Ⅲ—A	Ⅲ—B	Ⅲ—C
寄 与 率 r (%)	26.4	21	53.6	43.3	40.2	70.2	77.8	78.4	95.9
重 相 関 係 数 R	0.51	0.46	0.73	0.66	0.63	0.85	0.88	0.89	0.98
計算使用データ数 $D.N.$	517	389	128	517	389	128	517	389	128

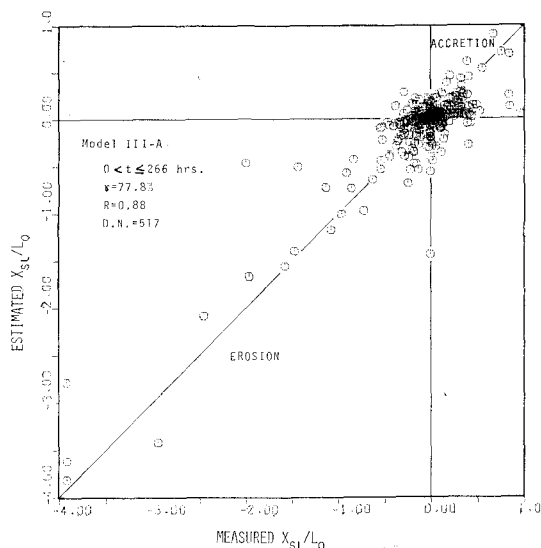


図-1・A

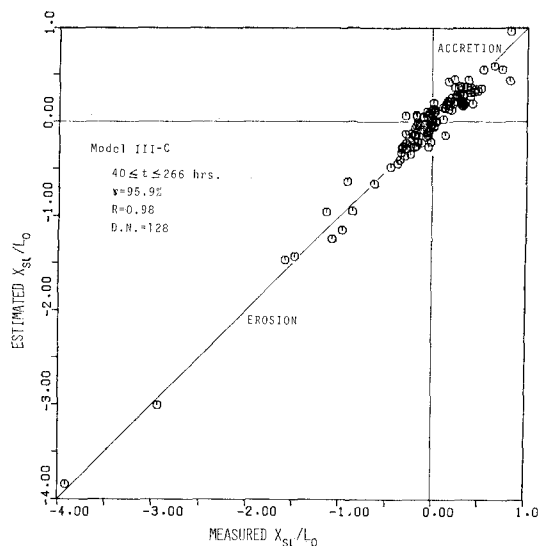


図-1・C

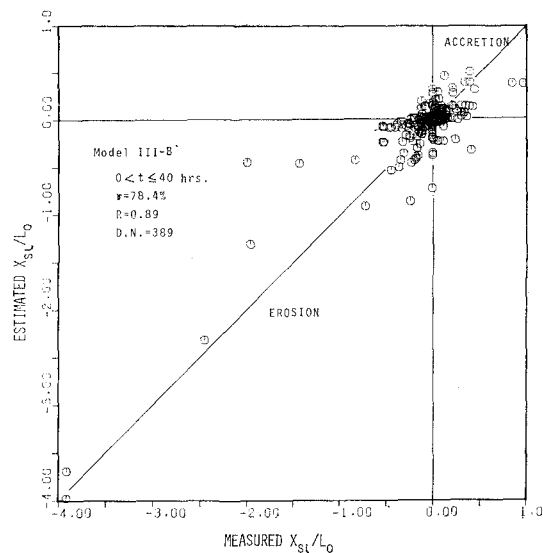


図-1・B

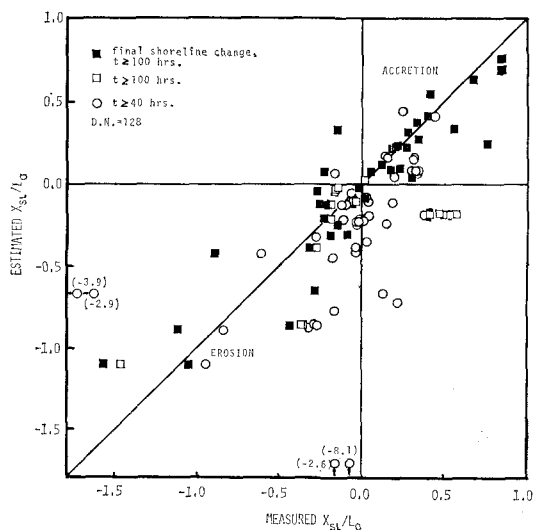


図-2

図-1 モデルⅢによる汀線移動量
推定値と測定値との比較

100 hrs. 以上の最終汀線移動量を対象としているため、計算式による値と測定値との一致性については、多少のバラツキが見られる程度である。しかし、 $t \geq 40$ hrs. の場合、その不一致性の傾向は一層大きくなっている。

以上述べたことなどから、汀線移動量を検討する場合、これまで比較的影響が少ないと考えられていた無次元量 h/L_0 , $(\sigma/\rho-1)$, $\nu/(d_m g \bar{H}_0)$ がモデルⅢ-C[式(24)]に含まれている。このことから、これらの無次元量は汀線移動量を規定する上で、微妙に影響を与えていることがあらためて指摘される。

おわりに、この研究では汀線移動量モデル式を算出するにあたって出来る限り多くの実験データを集約して、計算に使用した。しかし、初期浜勾配については、 $(i_0)_{\min} = 1/45$ であり、緩勾配の実験資料を計算に含めることができなかった。今後、これらの不足分の実験資料および現地資料等を追加し、幅広い条件下で適用性をもつモデル式を導びきたいと考えている。なお、紙数の都合により参考文献の記載は省略致しました。