

実験計画法による海浜変形の研究

増 田 重 臣*・伊 藤 政 博**

1. 緒 言

海岸漂砂と因果関係にある海浜変形によって生じる海岸工学上の諸問題は、風浪による越波問題、堤防の破壊等の諸問題にくらべて現象が緩慢である。海岸侵食問題、港湾埋没問題、河口閉塞問題などの解明、およびこれらの対策として講じられる突堤・離岸堤・防波堤の計画設計にとって、長期にわたって起こる海浜変形の実体を把握することはきわめて重要なことからである。そのため、多年にわたりこの方面の研究・調査報告^{1),2),3)}がなされている。しかしながら、波による砂の移動現象は河川の流砂現象より複雑で、明解な解答は十分に与えられていない現状であり未知の分野が多く存在している。

海浜変形に多かれ少なかれ影響をおよぼす要因はきわめて多い。

- (イ) どの要因が海浜変形に大きく影響をおよぼすか。
- (ロ) それがどの程度の影響を与えているか。
- (ハ) 小さな影響をおよぼしている要因は全体としてどの程度存在するか。

以上の(イ)～(ハ)に関して、実験的に問題を究明するために、実験的に水準値の変更が可能な要因を因子として選り出すことにした。海浜変形の機構は非常に複雑であって、選ばれた各因子の単独の効果、影響が変形に対し単に加成的であるとは考えられない。そこで従来からよく行なわれている単因子実験法とは異なった要因実験法⁴⁾を使用することにした。結果として、各因子が海浜変形に対して相殺的・相乗的に作用する、いわゆる交互作用効果⁵⁾が存在することが判明した。また、因子の影響も海浜変形(波の作用時間)に伴って変化していることが実験的に確かめられたので報告する。

2. 実験順序の決定方法

実験によって得られたデータを解析する場合、いろいろな統計的方法を用いることができるが、ここでは分散分析(Analysis of Variance)⁶⁾を用いることにする。この方法を適用するにはいくつかの前提条件が必要であ

り、条件を満足するためには計画的にデータを取ることが必要になってくる。それゆえ、実験計画法にしたがって実験を行ない、測定データを解析する。

従来の単因子実験法にくらべて、要因実験法では「①実験回数が多くなる、② 実験回数の増加に伴い実験の場の均一性の確保が困難」という2つの難点が存在するので、いくつかの原理が導入されている。

(a) 無作為化の原理、(b) 小わけの原理、(c) 繰返しの原理、(d) 交絡の原理、(e) 直交化の原理。5つの(a)～(e)の原理をうまくおり込んだ直交配列表を使用することにより、実験および解析を容易に行なうことができる。

いま、汀線を原点として、沖方向に x 軸をとり、静水面から海底面までの深さを h とし、底質砂の粒径として平均粒径 d_m を用いその水中での比重を s 、沖波の特性として沖波波高を H_0 、波長を L_0 、周期を T 、とすれば、海浜形状は初期浜勾配 i_0 より順次変形して、波の作用時間 Q においては次のような関係^{7),8),9)}で示すことができる。 $L_0 = gT^2/2\pi$ であるから、

$$\frac{h}{L_0} = f\left(\frac{x}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, \frac{Q}{T}, s, i_0\right) \cdots (1)$$

この場合粘性の影響は省略している。式(1)から、海浜変形に大きく影響する因子は、(A) 底質粒径；(B) 初期浜勾配；(C) 沖波波形勾配；(Q) 波の作用時間であると考えられる。ある初期浜勾配を持った模型海浜に特定の波が作用すると、海浜は次第に変形して、底質粒径・初期浜勾配等に固有な平衡形状に近づいて行く¹⁰⁾。ここでとり上げた(A)～(Q)の4つの因子について、平衡形状に達するまでに因子の影響が時間的にどのように変化するかを調べる。所要の目的が達せられるように、(A)、(B)、(C)、(Q)の因子を $L_{16}(2^{15})$ 直交配列表にわりつける。表一1は直交配列表 $L_{16}(2^{15})$ と因子のわりつけおよび水準値を列記したものである。

3. 実験方法

実験には、幅90cm、高さ100cm、長さ15mの実験造波水槽を使用した。表一1にしたがって、各Runの因子の水準値に実験条件を設定した。波の作用時間因子(Q)に該当する時間になった時、海浜の変形状態をポイントゲージで20cmごとに測定した。この操作を各

* 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 名城大学助手 工学部土木工学科

表-1 直文配列表 $L_{16}(2^{15})$ と 因子のわりつけ

列番 No.																Run No.	因 子 名										No.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		[1] 底質粒径 (A) [mm]	[2] 初期浜勾配 (B)	[4] 沖波波形勾配 (C)	[8] 波の作用時間 (Q)							
																	Q' [h]	Q''	Q'''	Q''''	Q'''''						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.78	1/10	0.0314	0.5	1	2	4	6	11		
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.78	1/10	0.0314	1	2	4	6	8	12		
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1.78	1/10	0.0054	0.5	1	2	4	6	9	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	4	1.78	1/10	0.0054	1	2	4	6	8	10	
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	5	1.78	1/18	0.0314	0.5	1	2	4	6	13	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	6	1.78	1/18	0.0314	1	2	4	6	8	14	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	7	1.78	1/18	0.0054	0.5	1	2	4	6	15	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	8	1.78	1/18	0.0054	1	2	4	6	8	16	
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	9	0.20	1/18	0.0054	0.5	1	2	4	6	5	
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	10	0.20	1/18	0.0054	1	2	4	6	8	6	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	11	0.20	1/18	0.0314	0.5	1	2	4	6	7	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	12	0.20	1/18	0.0314	1	2	4	6	8	8	
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	13	0.20	1/10	0.0054	0.5	1	2	4	6	3	
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	14	0.20	1/10	0.0054	1	2	4	6	8	4	
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	15	0.20	1/10	0.0314	0.5	1	2	4	6	1	
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	16	0.20	1/10	0.0314	1	2	4	6	8	2	

Run ごとに繰返し3回の実験で、Run No. 1~16まで順次行なった。

4. 実験結果と解析方法

所定の波の作用時間における海浜変形状態を表わすために、グラフ用紙上に縦軸 h/L_0 、横軸 x/L_0 を取って、無次元形でプロットした。変形量について分析を行なうため、初期浜勾配からの海浜変形量を $x/L_0=0.02$ ごとに、堆積した場合(正)、侵食した場合(負)として読み取った。読み取りの範囲は $-0.06 \leq x/L_0 \leq 0.50$ である。図-1は Run No. 1, 2の Q''' (2~4) 時間での海浜変形図である。また、表-2は Q''' について Run No. 1~16までのデータを No.1~16の順序に並べ変えたものである。

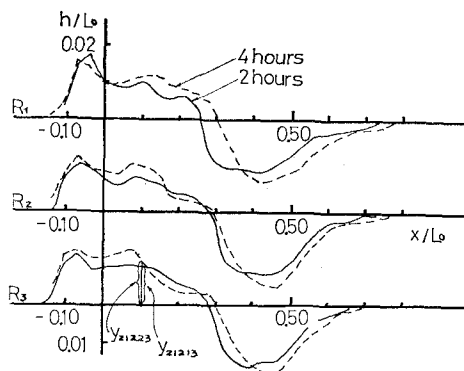


図-1 海浜の鉛直変動量

表-2の個々のデータを一般式で表わすことにする。因子Aの第a水準 $A_a(a=1, \dots, i)$ 、因子Bの第b水準 $B_b(b=1, \dots, j)$ 、因子Cの第c水準 $C_c(c=1, \dots, k)$ 、因子Qの第q水準 $Q_q(q=1, \dots, l)$ 、実験の繰返し因子

表-2 分散分析用データ Q''' (2~4 hours) $x/L_0=0.00$

No.	繰返し因子				Run No.
	R_1	R_2	R_3		
1	3.789×10^{-3}	0.481	2.598		15
2	3.333	0.353	2.108		16
3	-8.956	-1.842	-7.504		13
4	-10.290	-11.240	-10.140		14
5	2.863	3.853	2.545		9
6	5.816	5.784	5.389		10
7	-4.421	-2.831	-7.093		11
8	-6.144	-7.250	-10.010		12
9	-7.430	-6.278	-6.987		3
10	-7.276	-5.252	-5.272		4
11	9.896	9.164	10.160		1
12	8.871	11.040	12.560		2
13	5.356	3.625	5.396		5
14	7.869	3.875	6.881		6
15	1.570	0.388	-1.918		7
16	1.547	0.007	-1.970		8

Rの第r水準 $R_r(r=1, \dots, m)$ の組み合わせ (A_a, B_b, C_c, Q_q, R_r) におけるデータを y_{abcqr} で表わすと、次の構造模型が考えられる。

$$\begin{aligned}
 y_{abcqr} = & \mu + \alpha_a + \beta_b + \gamma_c + \delta_q + \rho_r + (\alpha\rho)_{ar} \\
 & + (\beta\rho)_{br} + (\gamma\rho)_{cr} + (\delta\rho)_{qr} + (\alpha\beta)_{ab} \\
 & + (\alpha\gamma)_{ac} + (\alpha\delta)_{aq} + (\beta\gamma)_{bc} + (\beta\delta)_{bq} \\
 & + (\gamma\delta)_{cq} + (\alpha\beta\gamma)_{abc} + (\alpha\beta\delta)_{abq} \\
 & + (\alpha\beta\rho)_{abr} + (\alpha\gamma\delta)_{acq} + (\alpha\gamma\rho)_{acr} \\
 & + (\alpha\delta\rho)_{aqr} + (\beta\gamma\delta)_{bcq} + (\beta\gamma\rho)_{bcr} \\
 & + (\beta\delta\rho)_{bqr} + (\gamma\delta\rho)_{cqr} + (\alpha\beta\gamma\delta)_{abcq} \\
 & + (\alpha\beta\gamma\rho)_{abcr} + (\alpha\beta\delta\rho)_{abqr} + (\alpha\gamma\delta\rho)_{acqr} \\
 & + (\beta\gamma\delta\rho)_{bcqr} + (\alpha\beta\gamma\delta\rho)_{abcqr} \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

式(2)で、3因子以上の交互作用効果はデータ y_{abcqr} に大なる影響を与えないと考えられるから、

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{abcqr} = & (\alpha\beta\gamma)_{abc} + (\alpha\beta\delta)_{abq} + \dots + (\alpha\beta\gamma\delta\rho)_{abcqr} \\
 & \dots \dots \dots (3)
 \end{aligned}$$

だから、

$$\begin{aligned}
 y_{abcqr} = & \mu + \alpha_a + \beta_b + \gamma_c + \delta_q + \rho_r + (\alpha\rho)_{ar} \\
 & + (\beta\rho)_{br} + (\gamma\rho)_{cr} + (\delta\rho)_{qr} + (\alpha\beta)_{ab} \\
 & + (\alpha\gamma)_{ac} + (\alpha\delta)_{aq} + (\beta\gamma)_{bc} + (\beta\delta)_{bq} \\
 & + (\gamma\delta)_{cq} + \varepsilon_{abcqr} \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

ここで、 μ は一般平均、 $\alpha_a, \beta_b, \gamma_c, \delta_q, \rho_r$ はそれぞれ因子 A, B, C, Q, R の効果、 $(\alpha\beta)_{ab}$ は因子 A と B の2因子交互作用 ($A*B$) 効果を表わす。また、 ε_{abcqr} は $abcqr$ における y_{abcqr} の誤差 [$\alpha_a, \beta_b, \dots, (\gamma\delta)_{cq}$ 以外の因子による効果] である。

式(4)の構造模型は変量型に属するから、次の条件(1°), (2°)にしたがっている。

(1°) 各 ε_{abcqr} は ($a=1, \dots, i; b=1, \dots, j; c=1, \dots, k; q=1, \dots, l; r=1, \dots, m$) 母平均0の確率変数であり、これらの $ijklm$ の集合 $\{\varepsilon_{abcqr}\}$ は互いに独立である。

4' 全変動

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{Total}} &= \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j \sum_{c=1}^k \sum_{q=1}^l \sum_{r=1}^m (y_{abcqr} - y \dots \dots)^2 = \sum \sum \sum \sum \sum (y^2_{abcqr} - 2y_{abcqr} y \dots \dots + y^2 \dots \dots) \\
 &= \sum \sum \sum \sum \sum y^2_{abcqr} - 2 \sum \sum \sum \sum \sum y_{abcqr} y \dots \dots + ijklm y^2 \dots \dots \\
 &= \sum \sum \sum \sum \sum y^2_{abcqr} - 2 ijklm y \dots \dots \frac{\sum \sum \sum \sum \sum y_{abcqr}}{ijklm} + ijklm y^2 \dots \dots \\
 &= \sum \sum \sum \sum \sum y^2_{abcqr} - 2 ijklm y \dots \dots y \dots \dots + ijklm y^2 \dots \dots = \sum \sum \sum \sum \sum y^2_{abcqr} - CT
 \end{aligned}$$

1'~4' の関係を各因子、因子の交互作用の平方和を求める場合に使用すると

$$SS_A = \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j \sum_{c=1}^k \sum_{q=1}^l \sum_{r=1}^m (y_a \dots \dots - y \dots \dots)^2 = jklm \sum_{a=1}^i (y_a \dots \dots - y \dots \dots)^2 = jklm \sum_{a=1}^i y_a \dots \dots - ijklm y^2 \dots \dots$$

$$SS_A = \frac{1}{ijklm} \sum_{a=1}^i T_a^2 \dots \dots - CT$$

$$SS_B = \frac{1}{iklm} \sum_{b=1}^j T_b^2 \dots \dots - CT$$

.....

$$\begin{aligned}
 SS_{A*R} &= \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j \sum_{c=1}^k \sum_{q=1}^l \sum_{r=1}^m (y_a \dots \dots_r - y_a \dots \dots - y \dots \dots_r + y \dots \dots)^2 = jkl \sum_{a=1}^i \sum_{r=1}^m (y_a \dots \dots_r - y_a \dots \dots - y \dots \dots_r + y \dots \dots)^2 \\
 &= \frac{1}{jkl} \sum_{a=1}^i \sum_{r=1}^m T_{ar}^2 \dots \dots - \frac{1}{ijklm} \sum_{a=1}^i T_a^2 \dots \dots - \frac{1}{ijkl} \sum_{r=1}^m T_r^2 \dots \dots + CT
 \end{aligned}$$

ここで

$$SS_{AR} = \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j \sum_{c=1}^k \sum_{q=1}^l \sum_{r=1}^m (y_a \dots \dots_r - y \dots \dots)^2 = jkl \sum_{a=1}^i \sum_{r=1}^m (y_a \dots \dots_r - y \dots \dots)^2 = \frac{1}{jkl} \sum \sum T_a^2 \dots \dots_r - CT$$

であるから、

$$SS_{A*R} = SS_{AR} - SS_A - SS_R$$

誤差の平方和は

$$\begin{aligned}
 SS_E &= SS_{\text{Total}} - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_Q + SS_R + SS_{A*R} + SS_{B*R} + SS_{C*R} + SS_{Q*R} + SS_{A*B} + SS_{A*C} \\
 &\quad + SS_{A*Q} + SS_{B*C} + SS_{B*Q} + SS_{C*Q})
 \end{aligned}$$

以上の式から各因子、因子の交互作用を求めることができる。因子の寄与率は表-3にしたがって求める。実験結果から因子の寄与率は、 A : 底質粒径; $i=2$, B : 初

(2°) $\{\varepsilon_{abcqr}\}$ は $\{\alpha_a\}, \{\beta_b\}, \dots, \{(\gamma\delta)_{cq}\}$ のおののと独立である。

式(4)で示された型にデータを分解するために、次の1'~4'の方法を用いる。

1' データの和

$$T_{abcq} = \sum_{r=1}^m y_{abcqr}$$

.....

$$T \dots \dots = \sum_{a=1}^i \sum_{b=1}^j \sum_{c=1}^k \sum_{q=1}^l \sum_{r=1}^m y_{abcqr}$$

2' 平均

$$y_{abcq} = T_{abcq} / m$$

.....

$$y \dots \dots = T \dots \dots / ijklm$$

3' 修正項

$$CT = T^2 \dots \dots / ijklm$$

期浜勾配; $j=2$, C : 沖波波形勾配; $k=2$, Q : 波の作用時間; $l=2$, R : 繰返し数; $m=3$ と置き換えることにより計算できる。波の作用時間ごとに因子の寄与率(影響

表-3 分散分析表

要因	自由度	平方和	不偏分散	分散比	寄与率
A	$i-1=\phi_A$	SS_A	$SS_A/\phi_A=MS_A$	MS_A/MS_E	$(SS_A-MS_E\times\phi_A)\times 100/SS_{Total}=K_A$
B	$j-1=\phi_B$	SS_B	$SS_B/\phi_B=MS_B$	MS_B/MS_E	$(SS_B-MS_E\times\phi_B)\times 100/SS_{Total}=K_B$
C	$k-1=\phi_C$	SS_C	$SS_C/\phi_C=MS_C$	MS_C/MS_E	$(SS_C-MS_E\times\phi_C)\times 100/SS_{Total}=K_C$
Q	$l-1=\phi_Q$	SS_Q	$SS_Q/\phi_Q=MS_Q$	MS_Q/MS_E	$(SS_Q-MS_E\times\phi_Q)\times 100/SS_{Total}=K_Q$
R	$m-1=\phi_R$	SS_R	$SS_R/\phi_R=MS_R$	MS_R/MS_E	$(SS_R-MS_E\times\phi_R)\times 100/SS_{Total}=K_R$
A*R	$(i-1)(m-1)=\phi_{A*R}$	SS_{A*R}	$SS_{A*R}/\phi_{A*R}=MS_{A*R}$	MS_{A*R}/MS_E	$(SS_{A*R}-MS_E\times\phi_{A*R})\times 100/SS_{Total}=K_{A*R}$
B*R	$(j-1)(m-1)=\phi_{B*R}$	SS_{B*R}	$SS_{B*R}/\phi_{B*R}=MS_{B*R}$	MS_{B*R}/MS_E	$(SS_{B*R}-MS_E\times\phi_{B*R})\times 100/SS_{Total}=K_{B*R}$
C*R	$(k-1)(m-1)=\phi_{C*R}$	SS_{C*R}	$SS_{C*R}/\phi_{C*R}=MS_{C*R}$	MS_{C*R}/MS_E	$(SS_{C*R}-MS_E\times\phi_{C*R})\times 100/SS_{Total}=K_{C*R}$
Q*R	$(l-1)(m-1)=\phi_{Q*R}$	SS_{Q*R}	$SS_{Q*R}/\phi_{Q*R}=MS_{Q*R}$	MS_{Q*R}/MS_E	$(SS_{Q*R}-MS_E\times\phi_{Q*R})\times 100/SS_{Total}=K_{Q*R}$
A*B	$(i-1)(j-1)=\phi_{A*B}$	SS_{A*B}	$SS_{A*B}/\phi_{A*B}=MS_{A*B}$	MS_{A*B}/MS_E	$(SS_{A*B}-MS_E\times\phi_{A*B})\times 100/SS_{Total}=K_{A*B}$
A*C	$(i-1)(k-1)=\phi_{A*C}$	SS_{A*C}	$SS_{A*C}/\phi_{A*C}=MS_{A*C}$	MS_{A*C}/MS_E	$(SS_{A*C}-MS_E\times\phi_{A*C})\times 100/SS_{Total}=K_{A*C}$
A*Q	$(i-1)(l-1)=\phi_{A*Q}$	SS_{A*Q}	$SS_{A*Q}/\phi_{A*Q}=MS_{A*Q}$	MS_{A*Q}/MS_E	$(SS_{A*Q}-MS_E\times\phi_{A*Q})\times 100/SS_{Total}=K_{A*Q}$
B*C	$(j-1)(k-1)=\phi_{B*C}$	SS_{B*C}	$SS_{B*C}/\phi_{B*C}=MS_{B*C}$	MS_{B*C}/MS_E	$(SS_{B*C}-MS_E\times\phi_{B*C})\times 100/SS_{Total}=K_{B*C}$
B*Q	$(j-1)(l-1)=\phi_{B*Q}$	SS_{B*Q}	$SS_{B*Q}/\phi_{B*Q}=MS_{B*Q}$	MS_{B*Q}/MS_E	$(SS_{B*Q}-MS_E\times\phi_{B*Q})\times 100/SS_{Total}=K_{B*Q}$
C*Q	$(k-1)(l-1)=\phi_{C*Q}$	SS_{C*Q}	$SS_{C*Q}/\phi_{C*Q}=MS_{C*Q}$	MS_{C*Q}/MS_E	$(SS_{C*Q}-MS_E\times\phi_{C*Q})\times 100/SS_{Total}=K_{C*Q}$
E	$\phi_E^{(i)}$	SS_E	$SS_E/\phi_E=MS_E$		$K_E^{(ii)}$
Total	$ijklm-1=\phi_{Total}$	SS_{Total}			

i) $\phi_E=\phi_{Total}-(\phi_A+\phi_B+\phi_C+\phi_Q+\phi_R+\phi_{A*R}+\phi_{B*R}+\phi_{C*R}+\phi_{Q*R}+\phi_{A*B}+\phi_{A*C}+\phi_{A*Q}+\phi_{B*C}+\phi_{B*Q}+\phi_{C*Q})$
ii) $K_E=100-(K_A+K_B+K_C+K_Q+K_R+K_{A*R}+K_{B*R}+K_{C*R}+K_{Q*R}+K_{A*B}+K_{A*C}+K_{A*Q}+K_{B*C}+K_{B*Q}+K_{C*Q})$

度)を求めるには、 Q' について $x/L_0=0.02$ で $-0.06 \leq x/L_0 \leq 0.50$ まで計算を行ない、さらにこの手順を Q'''' まで行なう。

表-4 の判定で、因子の自由度 (ϕ) と誤差の自由度 (ϕ_E) を使って、分散比が有意水準 5% [$F(\phi, \phi_E; 0.05)$]

表-4 分散分析表 $Q''''(2\sim 4 \text{ hours}) x/L_0=0.00$

要因	自由度	平方和	不偏分散	分散比	判定	寄与率
A	1	22.685×10^{-5}	22.685×10^{-5}	13.97	**	10.7
B	1	2.541	2.541	1.56	/	0
C	1	7.527	7.527	4.63	*	3.1
Q	1	0.078	0.078	0.05	/	0
R	2	0.289	0.145	0.09	/	0
A*R	2	0.397	0.199	0.12	/	0
B*R	2	1.405	0.703	0.43	/	0
C*R	2	1.297	0.648	0.40	/	0
Q*R	2	0.479	0.239	0.15	/	0
A*B	1	0.530	0.530	0.33	/	0
A*C	1	78.282	78.282	48.20	**	38.3
A*Q	1	1.420	1.420	0.87	/	0
B*C	1	37.683	37.683	23.20	**	18.1
B*Q	1	0.261	0.261	0.16	/	0
C*Q	1	2.273	2.273	1.40	/	0
E	27	43.847	1.624			
[E]	43	54.817	1.275			29.8
Tstal	47	200.993				

より小の場合「有意の差はない」「/」と判定する。有意水準 5% と 1% の間の値をとるときは「有意である」「*」と判定し、有意水準 1% 以下の値に相当するときは「高度に有意である」「**」と判定する。この結果、有意差のない場合は誤差にプールして、因子の寄与率は、 $MS(E)$ を使って計算を行なった。

5. 結 論

(1) 海浜変形に比較的大きな影響をおよぼすと考えられる因子は図-2.1 ~ 図-2.7 の因子の寄与率分布で示したように、A, B, C, A*B, A*C, B*C, [E] であ

る。この中でもとくに、A, A*B, A*C, B*C が大きな影響をおよぼしていることがわかる。また、波の作用時間によって因子の影響の分布形状が異なっている。

(2) 因子は海浜変形に対して交互作用の形で影響をおよぼしている面が強い。さらに、交互作用による影響は 2 つの因子が相殺的あるいは相乗的に作用している。

(3) A : 底質粒径; $0.00 \leq x/L_0 \leq 0.30$ で比較的大きな影響を示し、波の作用時間の進行に伴って、その度合も大きくなり影響の幅も増大する (図-2.1)。

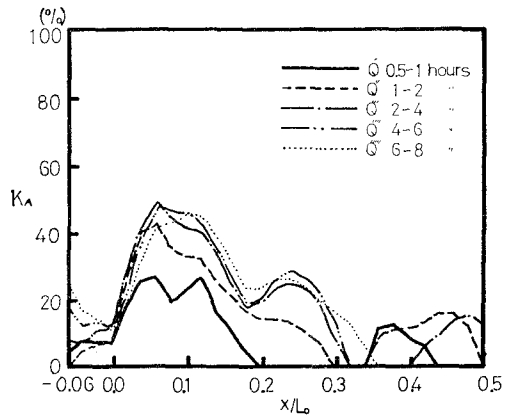


図-2.1 因子 A : 底質粒径

(4) B : 初期浜勾配; 因子 B が海浜変形におよぼす影響、すなわち履歴効果はそれほど大きくない。波の作用時間の進行に伴って、影響の大きさはあまり変化がなくその位置が移動する (図-2.2)。

(5) C : 沖波波形勾配; 波の作用当初、因子の影響はほとんどないが、海浜形状が平衡状態に近づくにつれて、因子が影響をおよぼす範囲が広がってくる。全般的にあまり大きな影響を示さない (図-2.3)。

(6) A*B : 底質粒径*初期浜勾配; この因子による

影響は単に A と B の影響を加えたのとは異なって、位置により相殺的あるいは相乗的に作用している。時間的にはそれほど顕著な差が現われていない (図-2.4)。

(7) $A \cdot C$: 底質粒径 * 沖波波形勾配; A と C の影響が重なり合っている面がある。また、全体に影響の度も大きく、波の作用時間の増加に伴って影響が増大する (図-2.5)。

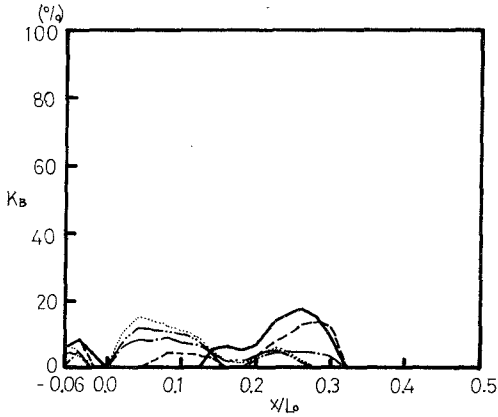


図-2.2 因子 B : 初期浜勾配

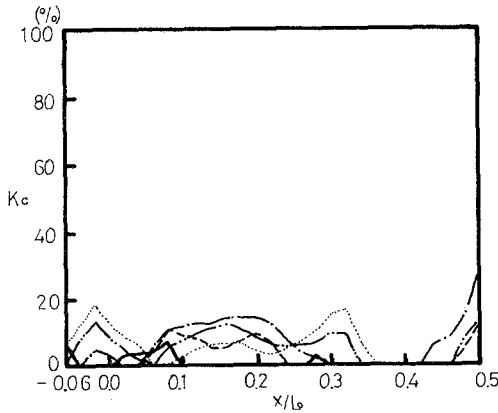


図-2.3 因子 C : 沖波波形勾配

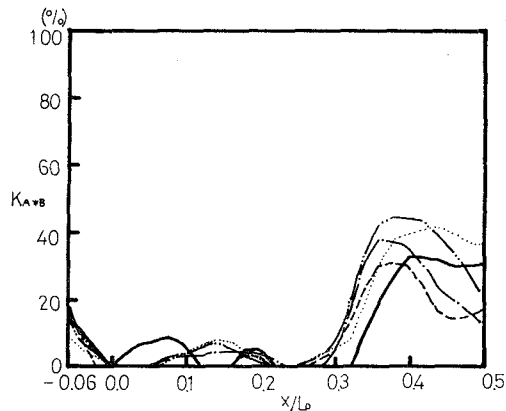


図-2.4 交互作用因子 $A \cdot B$: 底質粒径 * 初期浜勾配

(8) $B \cdot C$: 初期浜勾配 * 沖波波形勾配; この因子の影響分布は $A \cdot C$ の場合と同様に B と C の影響が重なり合って加成的に作用している。影響の度も低く、時間的な変化は少ないが、多少減少する傾向にある (図-2.6)。

(9) $[E]$: 誤差; 波の作用時間が長くなるにつれて因子の影響がかなり減少している。これは海浜変形の状

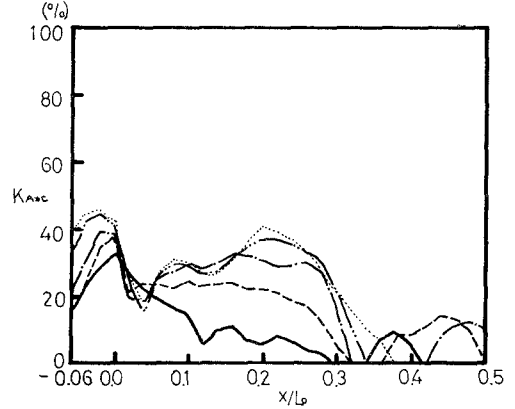


図-2.5 交互作用因子 $A \cdot C$: 底質粒径 * 沖波波形勾配

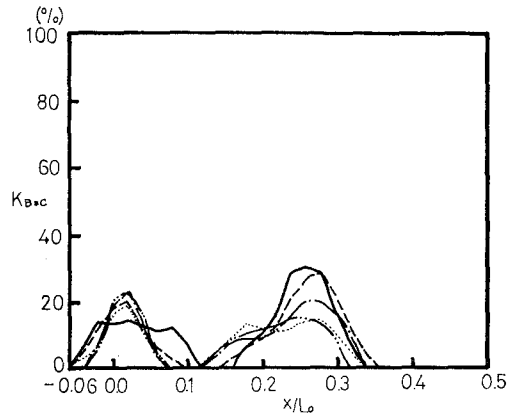


図-2.6 交互作用因子 $A \cdot B$: 初期浜勾配 * 沖波波形勾配

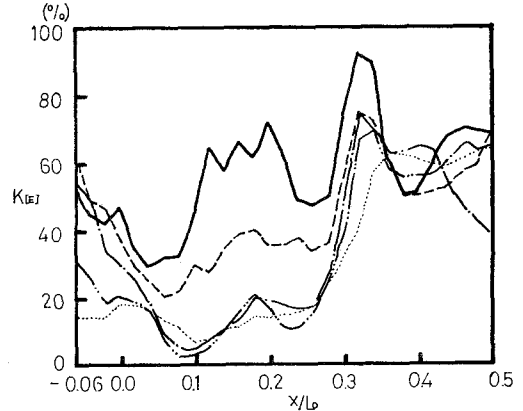


図-2.7 因子 $[E]$: 誤差

態が平衡状態に近づくにしたがって、海浜変動が安定し測定に対する誤差の減少が指摘される。沖の方向 ($x/L_0 > 0.3$) に因子の影響が急増しているのは、海浜変形の複雑化・砂澁の発生等が挙げられよう。

参 考 文 献

- 1) 土木学会編：海岸保全施設設計便覧。
- 2) 榎木 亨：海岸侵食に関する基礎的研究，土木学会論文集，第89号，昭38年1月。
- 3) 井島・青野：海岸汀線物質の砂堆積におよぼす影響，第6回海岸工学講演会講演集（1959）p. 49。
- 4) 近藤・舟阪：技術者のための統計的方法，共立出版，1967。
- 5) 北川敏夫：実験計画法講義，(I)，(II)，培風館，1956。
- 6) 田口玄一：実験計画法，(上)・(下)，丸善，1962。
- 7) 岩垣・野田：海浜変形に及ぼすscale effectの研究，京大防災研究所年報第4号（昭36.3），p. 210。
- 8) 篠原・椿・斎藤：漂砂と波の特性に関する研究，第5回海岸工学講演会講演集，1958，p. 61。
- 9) 栗原・篠原・椿・吉岡：波による海浜の砂移動，第3回海岸工学講演会講演集，1956，p. 151。
- 10) Johnson, J. W: Scale effects in hydraulic model in volving wave motion, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 30, No. 4, 1949。