

II-34 海浜変形の石研究 - 汀線付近の水平方向の変動について -

名城大学 正会員 青木 保雄

名城大学 正会員 伊藤 政博

Ⅱ まえがき 汀線付近の変動は海浜の中でも特に底質・波・沿岸流等により大きな影響を受け、絶えず変形・移動している部分である。現在、波によって水たまりが汀線が後退あるいは前進するといった変形の量的なことになるが、まだそれを予測する方法はなく海岸工学における最も困難な問題の一つである。さらに、汀線付近の変形は直接・間接的に沿岸構造物等に関連する。

この研究は、汀線付近の侵食・堆積機構に影響を与えている因子を究明するため、実験及び統計解析を行なったものである。ここで行なった実験方法は、従来から一般によく行なわれている方法とは異なり、要因実験法を用いた。この方法の利点として、各因子の影響が常に加法的でなく相殺的あるいは相乗的に作用する場合、要因の交互作用効果という形で把握することが可能である。

Ⅲ 実験順序の決定

実験計画法に従って実験を行ない観測データを解析するには、実験の場の均一性を確保することが困難であり、さらに実験回数が多くなりがちになる。そこで、これらの二つの難点を克服するために実験計画法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) 小わりの原理 (c) 繰返しの原理 (d) 交絡の原理 (e) 直交化の原理

これらの (a) ~ (e) の原理に適合した直交表または直交配列表 (Orthogonal Array) と呼ばれる表を使用することにより、実験及び解析をより容易に行うことができる。

いま、底質砂の粒径として平均粒径 d_m を用い、その水中における比重を δ 、水槽の水平部分の水深を D 、波の特性として沖波波高 H_0 、波長を L_0 、周期を T 、初期決り配る i_0 、汀線の移動量を Δs (前進の場合を正、後退の場合を負とする)、波の作用時間を t で表わせば $L_0 = gT^2/2\pi$ の関係から次式解析にトリ次の式が得られる。

$$\frac{\Delta s}{L_0} = f_i \left(\frac{D}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, \frac{t}{T}, i_0, \delta \right) \quad (1)$$

この場合、粘性の影響は省略している。ここで、 D/L_0 の効果(砂の移動範囲が斜面内であれば無して差支えないと考えられ、また砂の比重を一定と仮定すればとも取ることができる。だから汀線を念めて、その付近の部分に前進後退に影響する因子は (A) 底質粒径、(B) 初期決り配、(C) 沖波波高、(D) 波の作用時間であると考える。

(A)、(B)、(C) の3つの因子を $L_0(2^3)$ 直交配列表に割り付け、さらに波の作用時間因子 (D) を添加する方法を採用した。そのため、実験配置型は直交配置同志 $[L_0(2^3) \otimes L_0(6)]$ により直積型配置法にした。表-1 はこの方法による各因子の水準値の割り付けを示したものである。実験順序は Test Run NO. 1 ~ 8 までを繰返し数回の実験を行なった。

Ⅳ 実験方法

実験には、幅 90 cm、高さ 100 cm、長さ 15 m の実験用波水槽を使用した。水槽の一端にはフラッ

表-1 直交実験表 $L_8(2^7)$ と $L_8(2^7) \otimes L_6(6^1)$ 直積型実験表

No.								因 子 名				Test Run No.					
	1	2	3	4	5	6	7	(A) 底質粒径 d_{50}	(B) 初期波勾配	(C) 沖波波形配	(R) 波の作用時間 hour						
1	1	1	1	1	1	1	1	1.2mm	1/10	0.0314	0.5	1	2	4	6	8	6
2	1	1	1	2	2	2	2	1.2	1/10	0.0054	0.5	1	2	4	6	8	5
3	1	2	2	1	1	2	2	1.2	1/18	0.0314	0.5	1	2	4	6	8	8
4	1	2	2	2	2	1	1	1.2	1/18	0.0054	0.5	1	2	4	6	8	7
5	2	1	2	1	2	1	2	0.2	1/18	0.0054	0.5	1	2	4	6	8	3
6	2	1	2	2	1	2	1	0.2	1/18	0.0314	0.5	1	2	4	6	8	4
7	2	2	1	1	2	2	1	0.2	1/10	0.0054	0.5	1	2	4	6	8	1
8	2	2	1	2	1	1	2	0.2	1/10	0.0314	0.5	1	2	4	6	8	2

7-式造波装置が設置しており、他端には初期波勾配 $1/8$, $1/10$ の模型波を設置した。実験を進めるに当たって、表-1 のような各因子の水準値に実験条件を設定した。波の作用時間 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 時間での海波変形状態をポイントゲージで測定した。海波変形の測定には造波水槽の両側にレールを取り付け、その上を測定台車を移動させて、20cm 間隔で測定を行なった。

4 実験結果と解析方法

海波に一定の沖波が作用すると、海波は次第に変形し、平衝形状に近ずいて行く。この海波変形形状を表すために、縦軸に h/L_0 、横軸に x/L_0 を取って無次元化した。ん、又はそれより、水面から海底面までの深さ、汀線から沖方側の距離である。

図-1 は、Test Run No. 4 [底質粒径 $d_{50} = 0.2\text{mm}$, 初期波勾配 $i_0 = 1/18$, 沖波波形勾配 $H/L_0 = 0.0314$] の水準値で、波の作用時間ごとに無次元化したものである。初期波勾配線と静水面が交わる点を原点 ($h/L_0 = 0.000$, $x/L_0 = 0.00$) とした。

汀線付近の移動量と前進の場合(正)、反対に後退の場合(負)とし、 $0.007 \leq h/L_0 \leq -0.020$ の範囲にわたって、 $h/L_0 = 0.001$ ごとにグラフ上から読み取った。表-2 は表-1 に従って行った実験結果から、汀線での水字方向の変動値のデータを記録したものである。

図-1 波の作用時間毎の海波形状

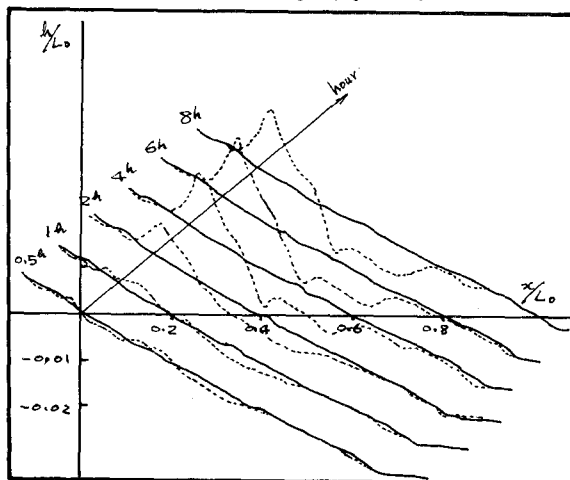


表-2 $L_8(2^7) \otimes L_6(6^1)$ 型汀線変動分散分析データ

No.	波の作用時間					
	0.5	1	2	4	6	8h
1	0.013	0.015	0.011	0.005	0.010	0.015
2	-0.040	-0.060	-0.035	-0.089	-0.123	-0.152
3	0.000	0.000	0.036	0.051	0.060	0.070
4	-0.026	-0.024	-0.034	-0.060	-0.072	-0.111
5	0.005	0.010	0.020	0.010	0.020	0.019
6	0.071	0.095	0.090	0.109	0.100	0.075
7	-0.008	0.037	0.061	0.075	0.092	0.090
8	-0.013	0.000	0.092	0.108	0.120	0.128

($h/L_0 = 0.000$)

表-2の個々のデータは、一般的に因子Aの第a水準の A_a ($a=1, \dots, i$), 因子Bの第b水準の B_b ($b=1, \dots, j$), 因子Cの第c水準の C_c ($c=1, \dots, k$), 因子Rの第r水準の R_r ($r=1, \dots, l$)の組み合わせ (A_a, B_b, C_c, R_r) における観測値を $y_{abc r}$ で表わすことができる。

$$y_{abc r} = \mu + \beta_r + (\alpha_a + \beta_a + (\alpha\beta)_{ab} + \delta_c + (\alpha\delta)_{ac} + (\beta\delta)_{bc} + (\alpha\beta)_{ar} + (\beta\delta)_{br} + (\delta\beta)_{cr} + \varepsilon_{abc r} \quad (2)$$

ここで、 μ は一般平均であり、 $\alpha_a, \beta_a, \delta_c, \beta_r$ がそれぞれ因子A, B, C, Rの効果を示し、 $(\alpha\beta)_{ab}$ が因子AとBの交互作用 ($A \times B$) 効果を表わす。また、 $\varepsilon_{abc r}$ は A, B, C, R における $y_{abc r}$ の誤差である。ここで次のような表式を用いると、表-3の分散分析表を得ることができる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{i} \sum_{a=1}^i \frac{1}{j} \sum_{b=1}^j \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k \frac{1}{l} \sum_{r=1}^l y_{abc r} &= y_{\dots} \\ \frac{1}{j} \sum_{b=1}^j \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k \frac{1}{l} \sum_{r=1}^l y_{abc r} &= y_{abc} \\ \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k \frac{1}{l} \sum_{r=1}^l y_{abc r} &= y_{ac} \\ \frac{1}{l} \sum_{r=1}^l y_{abc r} &= y_{ar} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

表-3 一般式での分散分析表.

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	Variance Ratio	Contribution-Rate %
A	$i-1$	$\sum \sum \sum (y_{a\dots} - y_{\dots})^2 = SSA$	$SSA / (i-1) = MSA$	MSA / MSE	$[SSA - MS[E] \times (i-1)] \times 100 / SST = Y_A$
B	$j-1$	$\sum \sum \sum (y_{\dots b} - y_{\dots})^2 = SSB$	$SSB / (j-1) = MSB$	MSB / MSE	$[SSB - MS[E] \times (j-1)] \times 100 / SST = Y_B$
C	$k-1$	$\sum \sum \sum (y_{\dots c} - y_{\dots})^2 = SSC$	$SSC / (k-1) = MSC$	MSC / MSE	$[SSC - MS[E] \times (k-1)] \times 100 / SST = Y_C$
R	$l-1$	$\sum \sum \sum (y_{\dots r} - y_{\dots})^2 = SSR$	$SSR / (l-1) = MSR$	MSR / MSE	$[SSR - MS[E] \times (l-1)] \times 100 / SST = Y_R$
A*R	$(i-1) \times (l-1)$	$\sum \sum \sum (y_{a\dots r} - y_{a\dots} - y_{\dots r} + y_{\dots})^2 = SS_{A \times R}$	$SS_{A \times R} / (i-1)(l-1) = MS_{A \times R}$	$MS_{A \times R} / MSE$	$[SS_{A \times R} - MS[E] \times (i-1)(l-1)] \times 100 / SST = Y_{A \times R}$
B*R	$(j-1) \times (l-1)$	$\sum \sum \sum (y_{\dots b r} - y_{\dots b} - y_{\dots r} + y_{\dots})^2 = SS_{B \times R}$	$SS_{B \times R} / (j-1)(l-1) = MS_{B \times R}$	$MS_{B \times R} / MSE$	$[SS_{B \times R} - MS[E] \times (j-1)(l-1)] \times 100 / SST = Y_{B \times R}$
C*R	$(k-1) \times (l-1)$	$\sum \sum \sum (y_{\dots c r} - y_{\dots c} - y_{\dots r} + y_{\dots})^2 = SS_{C \times R}$	$SS_{C \times R} / (k-1)(l-1) = MS_{C \times R}$	$MS_{C \times R} / MSE$	$[SS_{C \times R} - MS[E] \times (k-1)(l-1)] \times 100 / SST = Y_{C \times R}$
A*B	$(i-1) \times (j-1)$	$\sum \sum \sum (y_{ab\dots} - y_{a\dots} - y_{\dots b} + y_{\dots})^2 = SS_{A \times B}$	$SS_{A \times B} / (i-1)(j-1) = MS_{A \times B}$	$MS_{A \times B} / MSE$	$[SS_{A \times B} - MS[E] \times (i-1)(j-1)] \times 100 / SST = Y_{A \times B}$
A*C	$(i-1) \times (k-1)$	$\sum \sum \sum (y_{ac\dots} - y_{a\dots} - y_{\dots c} + y_{\dots})^2 = SS_{A \times C}$	$SS_{A \times C} / (i-1)(k-1) = MS_{A \times C}$	$MS_{A \times C} / MSE$	$[SS_{A \times C} - MS[E] \times (i-1)(k-1)] \times 100 / SST = Y_{A \times C}$
B*C	$(j-1) \times (k-1)$	$\sum \sum \sum (y_{bc\dots} - y_{b\dots} - y_{\dots c} + y_{\dots})^2 = SS_{B \times C}$	$SS_{B \times C} / (j-1)(k-1) = MS_{B \times C}$	$MS_{B \times C} / MSE$	$[SS_{B \times C} - MS[E] \times (j-1)(k-1)] \times 100 / SST = Y_{B \times C}$
E	EF	$\sum \sum \sum (y_{abc r} - y_{\dots})^2 = SSA - SSB - SSC - SS_{A \times R} - SS_{B \times R} - SS_{C \times R} - SS_{A \times B} - SS_{A \times C} - SS_{B \times C} = SSE$	$SSE / EF = MSE$		$100 - (Y_A + Y_B + Y_C + Y_R + Y_{A \times R} + Y_{B \times R} + Y_{C \times R} + Y_{A \times B} + Y_{A \times C} + Y_{B \times C}) = Y_E$
T	$ijkl-1$	$\sum \sum \sum (y_{abc r} - y_{\dots})^2 = SST$	* $EF = (i)(j)(k)(l-1) - \{ (i-1) + (j-1) + (k-1) + (l-1) + (i-1)(l-1) + (j-1)(l-1) + (k-1)(l-1) + (i-1)(j-1) + (i-1)(k-1) + (j-1)(k-1) \}$		

図-2 因子の寄与率分布

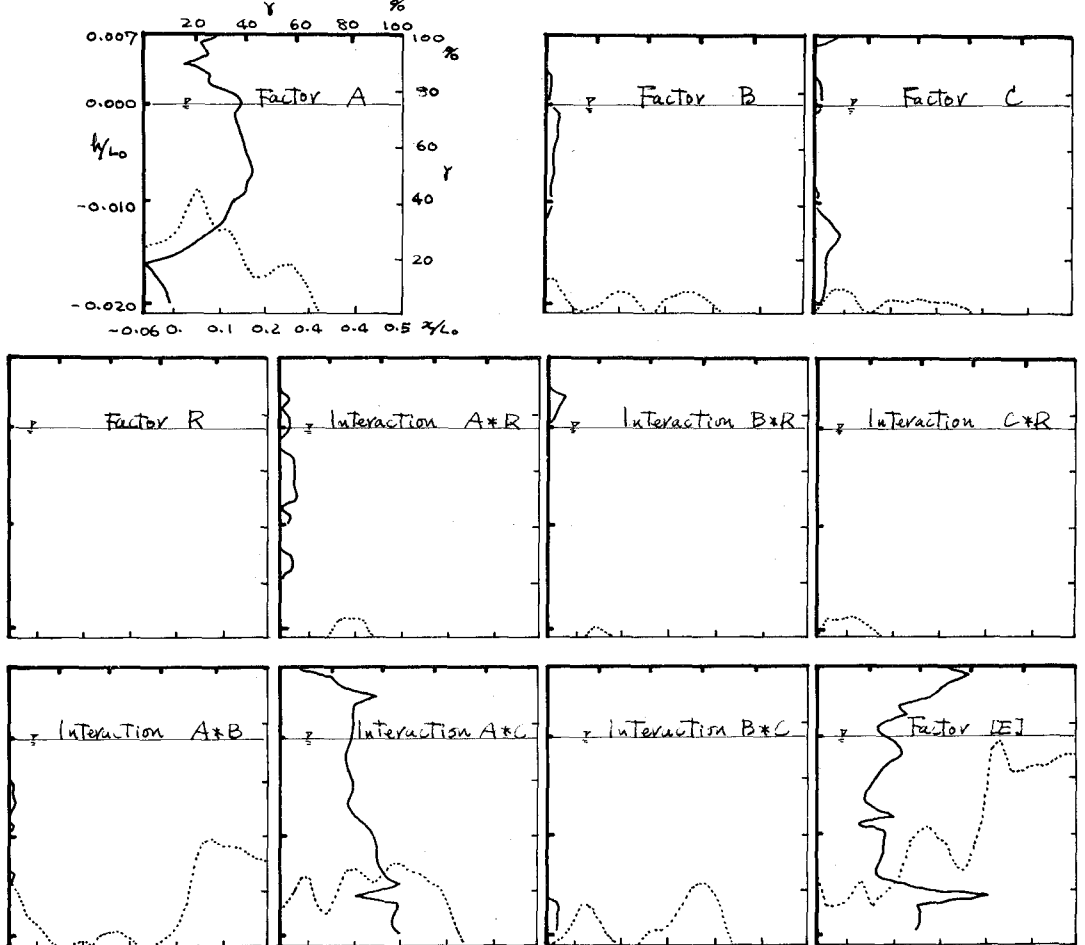


表-3の式に従って、表-2のようないデータを $0.007 \leq r/L_0 \leq -0.020$ まで計算すれば、各因子、各因子の交互作用の寄与率分布を求めることができる。その結果をプロットしたのが図-2である。また、図中の破線は鉛直方向の海況変動に関する寄与率分布である。これらの図から次のことがいえる。

- ① 水平方向の変動に対して、主に因子A(底質粒径)、交互作用因子A*B(底質粒径*沖波波形勾配)が大きく影響しているものと考えられる。それらは r/L_0 軸方向に影響の大きさが変化している。
- ② 因子C(沖波波形勾配)は単独としてでなく、交互作用の形で影響を及ぼしている。
- ③ 鉛直方向の海況変動に影響を及ぼす因子が水平方向の変動に影響しないケースが存在する(etc, A*B, B*C)。すなわち、鉛直方向と水平方向の変動機構の相違と、その方向により変動に関する因子が異なっているためと思われる。

参考文献

- 1) 岩垣, 野田: 海況変動に及ぼす Scale effect の研究, 京大防災研究所第4号, 昭36.3. PP.210-220
- 2) 増田, 伊藤: 実験計画法による海況変動の研究, 中部支那, 昭45.2. PP.73-74.