

II-39 実験計画法による潮汐変形の研究. (河線付近の水平方向の変動について)

名城大学 正員 青木保雄
名城大学 正員 伊藤政博

1. まえがき.

潮汐変形に關して、これまでに幾多の研究があるが、これについて力学的な変形機構の解析が完結されてはいない。特に、力学的解析は非常に困難なためであると思われる。そこで著者は実験計画法をこの研究の一解析方法として適用し、潮汐変形に影響を及ぼしている諸要因の等与率を求めた。それは、一連の実験及び解析結果から特に潮汐変形の中で、河線付近の水平方向の変動を対称とするものである。

前回の年次講演会で著者は潮汐変形について次元解析を行ない、比較的大きな影響を及ぼすと考えられる無次元項を要因として抽出し、実験水槽に模型潮汐を作成して、因子の水準値を表にさせながら一連の実験を行ない、結果の一部について報告した。本報告はこれまでの結果に対し引き続き計算を進ませしめ、河線付近の前進・後退（堆積・侵食）に因子の要因効果が如何に作用するか詳細に渡って調べた。そのため、結果的には因子の単独効果や因子の交互作用効果の状況を明確にすることができた。

2. 要因効果の計算方法.

潮汐変形の内で、河線付近の水平方向の前進・後退について次元解析を行なりと次式が得られる。

$$\frac{x_0}{L_0} = f_1 \left(\frac{D}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{d_m}{H_0}, \frac{Q}{T}, i_0, \delta \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 x_0 : 河線の移動量（前進：正，後退：負）， L_0 : 沖波波長， H_0 : 沖波波高
 D : 水槽の水平部分の水深， d_m : 平均粒径， Q : 波の作用時間， i_0 : 初期波勾配
 δ : 砂の比重， T : 波の周期である。この場合、 δ を一定とし、さらに D/L_0 の効果は砂の移動範囲が斜面内として無視した。

よって、(1)式から河線付近の前進・後退に効果を及ぼす因子は

i) 底質粒径 (d_m) : $A_1 = 0.20 \text{ mm}$ $A_2 = 1.78 \text{ mm}$

ii) 初期波勾配 (i_0) : $B_1 = 1/10$ $B_2 = 1/8$

iii) 沖波波高勾配 (H_0/L_0) : $C_1 = 0.0054$ $C_2 = 0.0314$

iv) 波の作用時間 (Q) : $Q_1 = 0.5^h$, $Q_2 = 1^h$, $Q_3 = 2^h$, $Q_4 = 4^h$, $Q_5 = 6^h$, $Q_6 = 8^h$

として、因子 A, B, C については各 2 水準とし、因子 Q については 6 水準とした。以上 4 の因子を直交因子表 $L_8(2^7)$ に割り付け、この配列表に従って行った実験結果について分散分析を行なりと、各因子と因子の交互作用の等与率が算定できる。

さらにここでは、各因子と因子の交互作用の要因効果を及び信頼限界を計算する。

図-1. で示されている $y_{abcg} (= x_0/L_0)$ の値は因子 A の各水準 A_a ($a=1, \dots, i$),

因子Bの各水準 B_b ($b=1, \dots, j$), 因子Cの各水準 C_c ($c=1, \dots, k$), 因子Qの各水準 Q_g ($g=1, \dots, l$) での値である。一般的に, y_{abcg} について次の構造模型式が考えられる。

$$y_{abcg} = \mu + \alpha_a + \beta_b + \gamma_c + \delta_g + (\alpha\beta)_{ab} + (\alpha\gamma)_{ac} + (\alpha\delta)_{ag} + (\beta\gamma)_{bc} + (\beta\delta)_{bg} + (\gamma\delta)_{cg} + \varepsilon_{abcg} \quad (2)$$

ここで, μ は一般平均, $\alpha_a, \beta_b, \gamma_c, \delta_g$ はそれぞれ因子A, B, C, Qの効果を示し, また $(\alpha\beta)_{ab}, (\alpha\gamma)_{ac}, (\alpha\delta)_{ag}, (\beta\gamma)_{bc}, (\beta\delta)_{bg}, (\gamma\delta)_{cg}$ はそれぞれ因子の交互作用(A*B), (A*C), (A*Q), (B*C), (B*Q), (C*Q)の効果を示す。 ε_{abcg} は水準a, b, c, gでの y_{abcg} の誤差である。(2)式から各因子の要因効果を求める点推定式は次のようになる。

$$\mu(A_a) = \mu + \alpha_a \quad (3)$$

$$\mu(B_b) = \mu + \beta_b \quad (4)$$

$$\mu(C_c) = \mu + \gamma_c \quad (5)$$

$$\mu(Q_g) = \mu + \delta_g \quad (6)$$

$$\mu(A_a B_b) = \mu + \alpha_a + \beta_b + (\alpha\beta)_{ab} \quad (7)$$

$$\mu(A_a C_c) = \mu + \alpha_a + \gamma_c + (\alpha\gamma)_{ac} \quad (8)$$

$$\mu(A_a Q_g) = \mu + \alpha_a + \delta_g + (\alpha\delta)_{ag} \quad (9)$$

$$\mu(B_b C_c) = \mu + \beta_b + \gamma_c + (\beta\gamma)_{bc} \quad (10)$$

$$\mu(B_b Q_g) = \mu + \beta_b + \delta_g + (\beta\delta)_{bg} \quad (11)$$

$$\mu(C_c Q_g) = \mu + \gamma_c + \delta_g + (\gamma\delta)_{cg} \quad (12)$$

(3)~(12)式で求めた値に対して各因子の各水準での区間推定すなわち信頼限界は信頼度 $(1-\alpha)$ とすれば:

$$\pm t(\phi_E; \alpha) \sqrt{V_E / n} \quad (13)$$

から求められる。

ϕ_E : 誤差項の自由度

α : 危険率 (ここでは5%にとる)

$t(\phi_E; \alpha)$: ϕ_E と α に対応するt-分布の値。

V_E : 誤差項の不偏分散値。

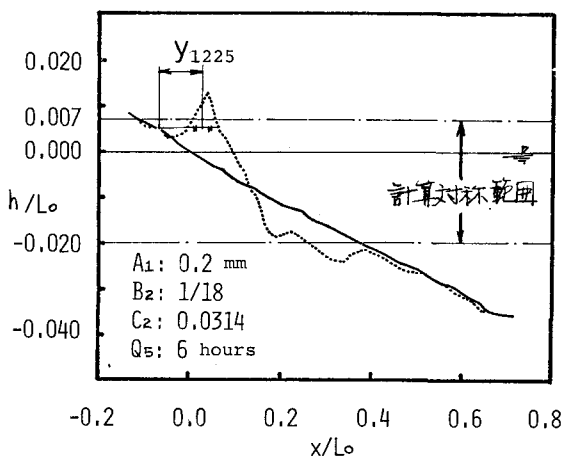


図-1. 液状変形図。

n : 加えエネルギー数.

図-4~図-9は(1)式~(3)式を使用して, 因子あるいは交互作用因子について要因効果を計算した結果, 汀線の前進・後退に対して比較的大きな効果を与えるものについてプロットした図である。そのため, Q , $A \times Q$, $B \times Q$, $C \times Q$ に関しては要因効果が小さいので省略し, 表裏に改めて説明する予定である。

3. 交互作用 (interaction)

交互作用は相相互作用とも呼ばれ, ここでは記号として $A \times B$ で表し, 式中では $(\alpha\beta)_{ab}$ 等の型で定義した。交互作用が存在し得るか否かは図式的に図-2, 図-3で示す方法, あるいは計算的にも検定することが出来る。すなわち, いずれの因子 (たとえば B) の各水準を座標横軸にとり, 縦軸に他の因子 (A) の各水準ごとの持性を Y の表式を表わすグラフを描いた場合, 交互作用が存在しなければ持性 Y は互いにほぼ平行的な関係を保持するが (図-2参考), 交互作用が存在すれば非平行あるいは交差する (図-3参考)。

従って, 交互作用はある因子が他の因子とからみ合い互いに持性の組み合わせで相乗的あるいは相殺的效果を示す。

4. 結言.

i) 図-4~図-9. から, 汀線の前退・後退に大きな効果を与えているのは Factor A と Interaction $A \times C$ である。その他の要因による効果は比較的少ない。

ii) Factor A の効果は, 他の因子が如何に変化しても (実験の用いた値の範囲内), $dm = 0.02\text{mm}$ より $dm = 1.78\text{mm}$ の方が, すなわち底質粒径が大なる程, 汀線は前進することが推察できる。

iii) Interaction $A \times C$ について, 汀線で $(A_1 C_1)$ と $(A_2 C_1)$ の間に効果の相違は無いが, しかし $(A_1 C_2)$ と $(A_2 C_2)$ の間に非常に大きな効果の相違 (汀線の前退と後退の相違) がある。

すなわち, $1\% = 0.05\text{m}$ の場合, 底質粒径による相違は現れなかったが, $1\% = 0.0314\text{m}$ になった場合, 底質粒径による相違が顕著になってくる。これは, Factor A と Factor C の効果が単に数的に加わる状態と異なり, 要因効果が内在していることが指摘される。

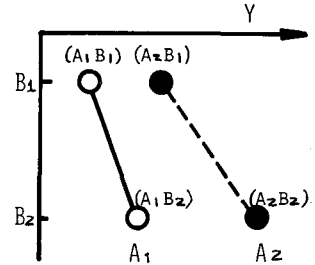


図-2. 交互作用がない場合.

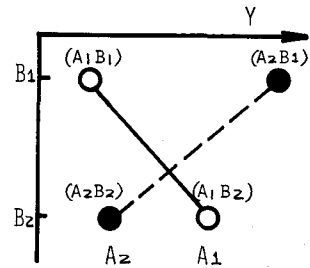


図-3 交互作用がある場合.

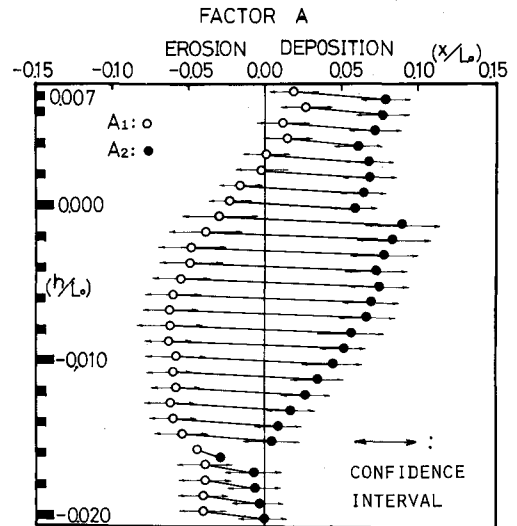


図-4. 底質粒径の要因効果.

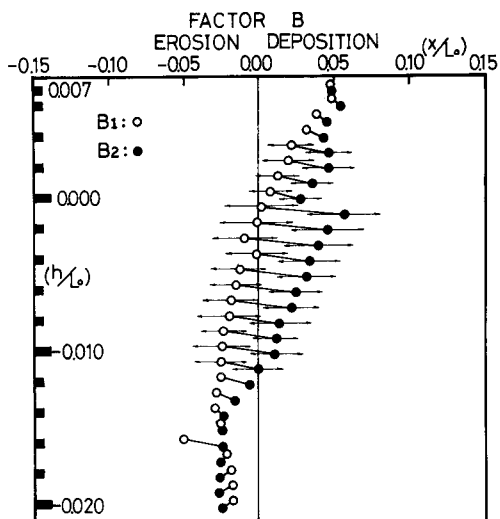


図-5. 初期波勾配の要因効果

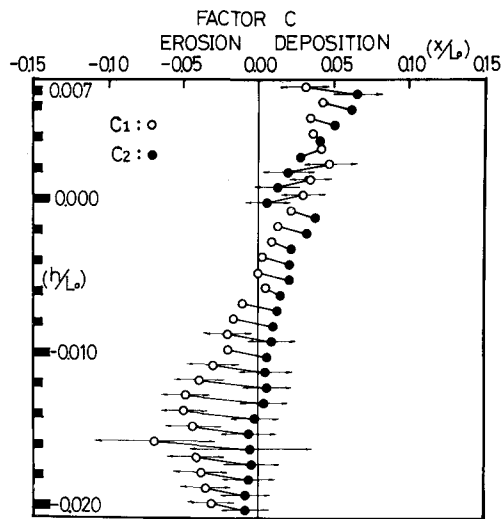


図-6. 沖波波形勾配の要因効果

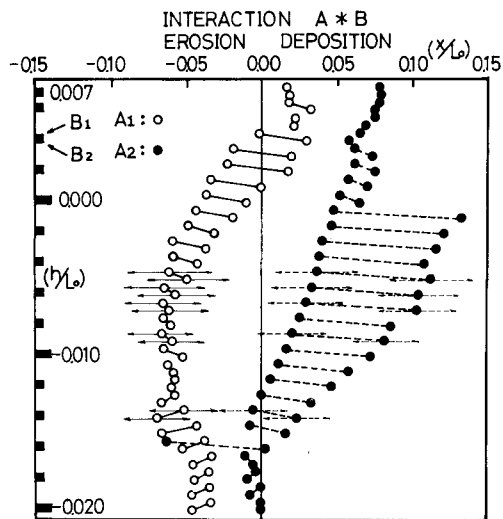


図-7. 底質粒径と初期波勾配の交互作用による要因効果

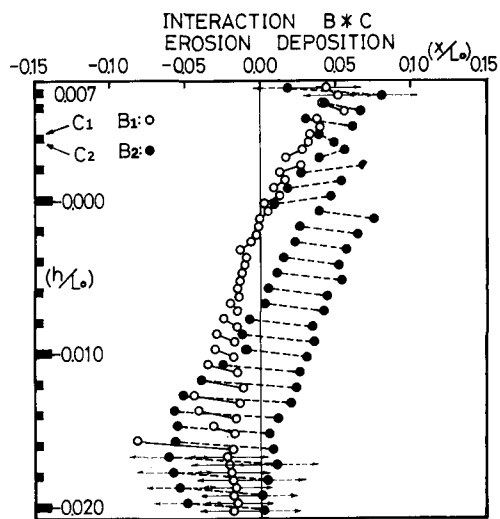


図-8. 初期波勾配と沖波波形勾配の交互作用による要因効果

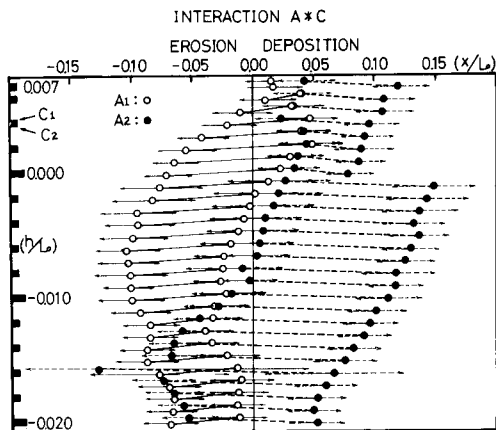


図-9. 底質粒径と沖波波形勾配の交互作用による要因効果

参考文献

- 1) 青木、伊藤：海浜地形の研究 一河床付近の水平方向の変動について— 工学会第5回年次学術講演会講演集 II-34. 昭和45年11月.
- 2) 安藤、朝尾：実験計画法演習. 日科技連.
- 3) Charles R. Hicks: Fundamental Concepts in the Design of Experiments, Holt, Rinehart and Winston, 1964.