

前浜勾配、粒径及び波高の動的関係について

橋 本 宏*・宇 多 高 明**

1. ま え が き

一般に漂砂による地形変化を論ずるに際しては、外力とそれによる地形変化に主題が置かれ、海浜の形成材料である底質については時空間的变化を与えず、単に平均的中央粒径と比重によって記述することが多い。しかし現地海岸では底質粒径は時空間的に変化しており¹⁾、このような扱いが妥当なものかどうかについては検討の必要があると考えられる。

ところで、底質粒径や前浜勾配及び波浪資料を静的な扱いによって関連付けようとする研究は数多く行われており、例えば Wiegel²⁾ に明らかなように粒径と前浜勾配の間に正の相関があることは良く知られている。また、Sunamura³⁾ は前浜勾配を波形勾配と粒径波高比を用いて与える関係式を導いている。しかしこれらの静的関係を表わす関係式が季節変化という動的变化を受ける現地海岸にどの程度まで適用可能かどうかという点についての検討は、現地データの不足のためにほとんど行われていないのが現状である。

本論文の目的は、これらの問題を検討することにより、阿字ヶ浦において1975年6月より毎週1回行われている底質調査と地形測量結果を解析し、前浜勾配、底質粒径及び有義波高等の間の動的関係について検討した。この結果、前浜勾配の有義波高に対する応答は急速であり、また両者の間には相当良好な相関があることが見出された。また前浜勾配へ及ぼす底質粒径の動的効果は弱く、汀線付近における大粒径の土砂の出現は、海浜が侵食された結果であることが明らかになった。

2. 測定方法

底質採取は1975年6月26日より現在に至るまで、毎週1回行われている。採取位置は前報¹⁾に示したように、棧橋に沿ってP₀~P₈まで9点、及び棧橋の延長上P₀より12m陸側の地点(P₀₋₁₂)と、P₁より棧橋と直交する方向に100m離れた2地点である。これらの採取点の平均地盤高は図-1に示される通りであり、P₀₋₁₂、P₀は

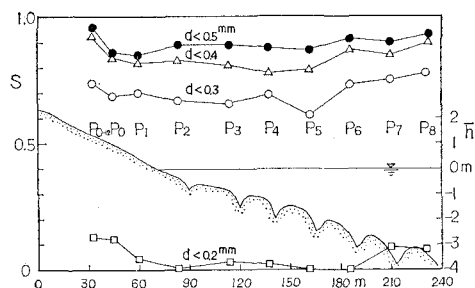


図-1 採取点の平均地形と粒径出現率の場所的分布

陸上部にあり、P₁、P₂は汀線近傍、P₃、P₄はステップ上にある。またP₇、P₈地点の平均水深は約3mである。P₀~P₈地点のうちP₀~P₂は橋脚の局所洗掘がほとんどないために橋脚の位置で採取し、またP₃~P₈地点では橋脚の局所洗掘があるため、局所洗掘の外側で採取するように橋脚位置より約6m陸側の地点で採取した。また深さ方向の粒度分布を調べるために、1976年8月25日に棧橋より北側に16mと42m離れた場所に棧橋と平行に採取線を設け、水平方向に2m、鉛直方向に10cm間隔で採取を行い、粒度分析を行った。

粒度分析は1976年11月11日以前の資料は $\phi=0.125, 0.3, 0.6, 1.2, 2.4\text{mm}$ のフルイ目を用いて分析した。しかしながらこの組合せでは中央粒径付近の目盛が不十分であったために、11月11日以後の資料についてはフルイ目を $\phi=0.063, 0.15, 0.21, 0.25, 0.35, 0.50, 1.0, 2.0\text{mm}$ のように変更した。

前浜勾配の測定は、棧橋沿いおよびその延長上において3m間隔で毎週行っている深淺および地形測量⁴⁾の結果得られた断面図を利用して算出した。

3. 底質粒径の時空間的变化の特性

中央粒径の経時変化については前報¹⁾で述べたが、データの整理法に一部誤りがあったため、それを修正し、改めて整理したのが図-2である。図-2では1976年の6月より10月までのデータは粒度分析の方法に問題があったため削除されている。図-2によると、中央粒径は夏期には細かくほぼ0.25mm程度であるが、秋から春の季節には極めて大きい粒径が現われている。この

* 正会員 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室

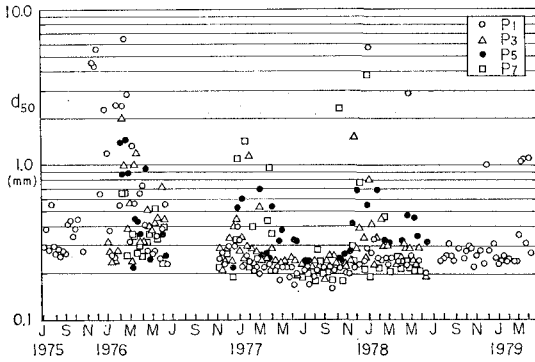
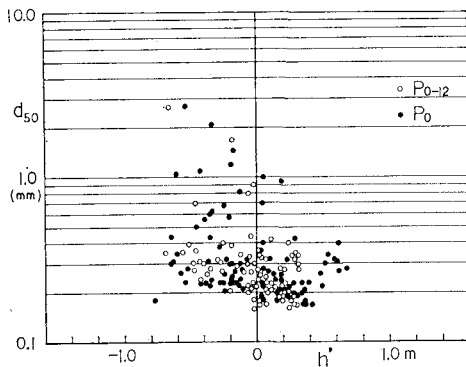
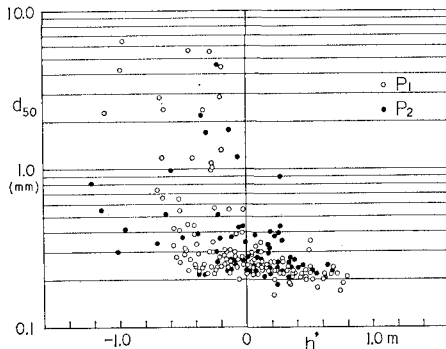
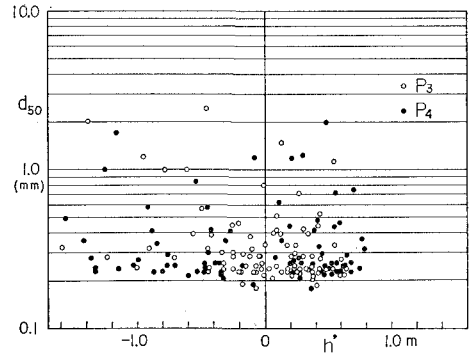
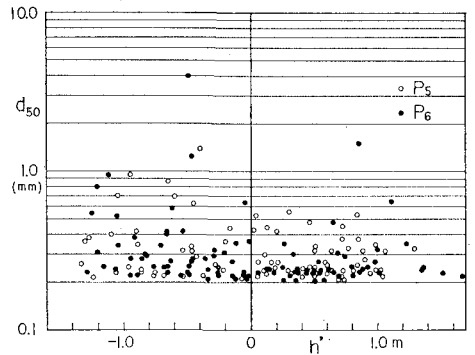
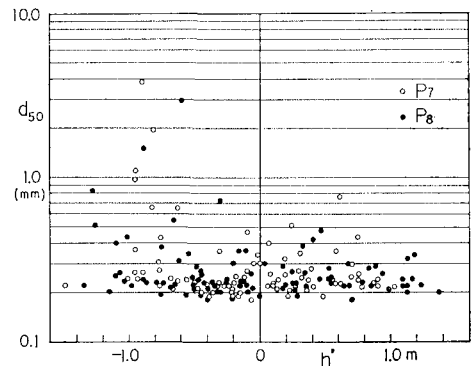


図-2 中央粒径の経時変化

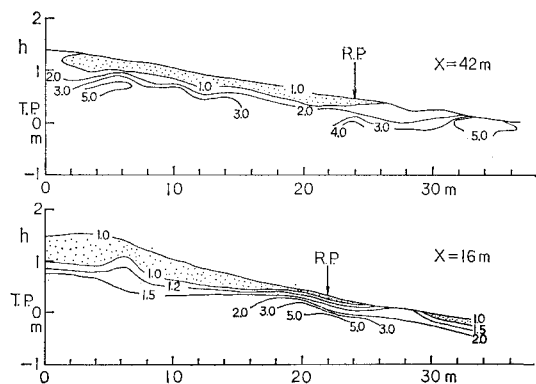
原因を明らかにするために、各地点の海底面の高さからその平均値(図-1 参照)を差し引いた変動高さ(h')と粒径の関係を調べた。これらの関係が図-3より図-7である。図-3に関しては P_{0-12} 及び P_0 地点ともにほぼ h' が負の場合に大粒径が出現している。 P_1, P_2 地点は汀線近傍の地点であるが、これらの地点では図-3に示された特徴が更に明らかとなっており、 $h' < 0$ では約 6mm という非常に大きい粒径も出現するようになる。しかし更に採取点が沖合へ移動し、 P_3, P_4 地点となると、図-3, 4 で得られた関係は見られなくなり、大粒径の底質は地盤高にかかわらず出現するようになる。この

図-3 d_{50} と地盤変動高 (h') の関係 (P_{0-12}, P_0 地点)図-4 d_{50} と地盤変動高 (h') の関係 (P_1, P_2 地点)図-5 d_{50} と地盤変動高 (h') の関係 (P_3, P_4 地点)図-6 d_{50} と地盤変動高 (h') の関係 (P_5, P_6 地点)図-7 d_{50} と地盤変動高 (h') の関係 (P_7, P_8 地点)

原因は P_3, P_4 が碎波点近傍であるために碎波による sorting を受けたためであろうと考えられる。しかし、図-6, 7 に示された P_5, P_6 及び P_7, P_8 地点になると再び h' が負のときに大粒径の底質が出現するようになる。

以上の点より判断すると、陸上部及び汀線近傍では底質粒径は深さ方向に粗粒化しており、また碎波帯では碎波による sorting によって大粒径の底質が深さに関係せずによく含まれていると考えられる。また更に沖合では再び深さ方向に粒径が大きくなると考えられる。

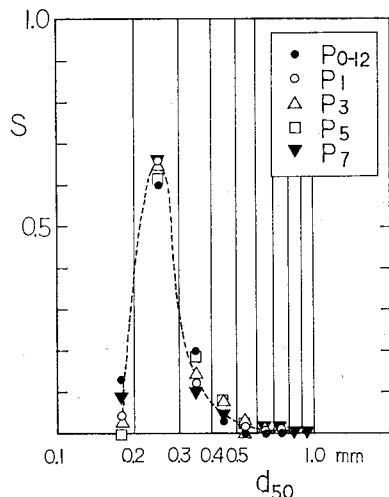
汀線付近での深さ方向の粒径分布は前報¹⁾で触れたが、



図—8 深さ方向の無次元粒径分布

図—8 はデータを再整理して得られた無次元化された粒径分布を示している。図—8 は棧橋より約 16m 離れた位置の分布形と棧橋より 42m 離れた 2 地点の岸沖方向の分布形を示している。ただし粒径は P_1 における棧橋の直交線と各採取線との交点 (R.P.) における値 (0.23 mm) で各点の粒径を割って無次元化されている。図—8 によれば両地点ともに深さ方向に粒径が粗くなっており、また砂層は前浜勾配より緩やかな角度で形成されている。このため T.P. 0.2m 付近で大粒径の底質の露頭が見られる。要約すると、海浜が侵食される際には陸上部及び汀線近傍では下層の粒径の大きい土砂が現われ、土砂が堆積するときには細粒の底質が多くなることがわかる。

一方、底質粒径は時間的にも変化するために、個々の中央粒径値が観測期間を通じてどの程度の出現率となるかを調べておくことは重要である。すなわち、ある代表的粒径の出現率が極めて高ければ、その粒径を時間的平均の意味での代表値とすることができからである。このため、各地点の中央粒径値の全期間の資料に対する出



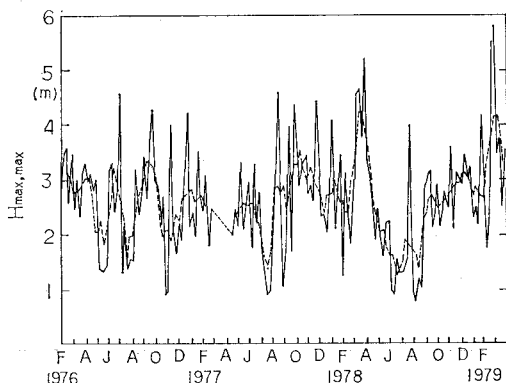
図—9 粒径出現率

現率について検討した。図—9 はこの出現率 (S) を場所をパラメータとして図示したものである。ただし粒径値は 0.1mm 単位で整理してある。図—9 によると場所的な相違はあるものの、0.2~0.3mm の間の粒径が全資料の約 70% 近く出現していることがわかる。またこの出現率の場所的变化を求めて前出の図—1 に示した。図—1 には中央粒径が 0.2mm 以下 (□印), 0.3mm 以下 (○印), 0.4mm 以下 (△印), 0.5mm 以下 (●印) となる割合の岸沖分布が示されている。○印で示された 0.3mm 以下 ($d_{50} \sim 0.23$ mm) となる割合は P_3 , P_4 , P_5 付近の碎波帯で減少するが、ほぼ平均して約 70% あることがわかる。これによると、この海浜の代表的中央粒径としてはほぼ 0.23mm としても良いであろう。

夏期波浪が静穏な条件では汀線付近では砂が堆積し、地盤高は上昇する。このとき d_{50} はほぼ 0.23mm, sorting 係数 (S_0) は 1.5 程度となり、良く均一化された粒度分布となる。一方波浪が高く侵食されたときは大粒径の底質が現われるが、このときは S_0 も非常に大きい値となる。

4. 底質粒径と有義波高の関係

ここでは底質粒径と有義波高の関係について調べることにする。このためまず、鹿島港で運輸省が測定したデータを用いて日最大有義波高の週最大値 ($H_{\max, \max}$) の経時変化を図—10 に示した。図—2 の中央粒径の経時変化と図—10 を比較すると、夏期波浪が静穏なときには均一な細粒の底質が現われていることがわかるが、他



図—10 有義波高の経時変化

の期間では両者の関係は必ずしも明らかではない。このため粒径と波高の関係を更に図—11 のように整理した。ただし図—11 の A, B, C の分類は次の定義による。

A: $H_{\max, \max}$ が 2m より小さいときの粒径と波高の関係。

B: d_{50} の場所的最大値が 0.5mm を越える大粒径となった場合の関係。

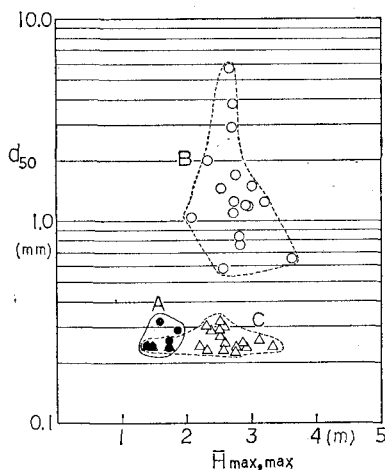


図-11 中央粒径と波高の関係

C: 岸沖方向の全地点の平均値 ($\bar{d}_{50}$) が 0.23 mm 以下となるもの。

グループAはデータ数が少い欠点はあるが、ほぼ波高が2mより小さければ粒径は細くなることを示している。このとき岸沖方向の全測点の最大値 ($d_{50, \max}$) の時間的平均値 ($\bar{d}_{50, \max}$) としては $\bar{d}_{50, \max} = 0.26 \text{ mm}$ である。グループBはグループAより波高が大きい所に分布しているが、これによれば、 $d_{50, \max}$ が 0.5 mm より大きい粒径となるには波高が $2.8 \pm 0.3 \text{ m}$ 程度の大きい波高とならなければならない。更にグループCの分布は場所的平均粒径 ($\bar{d}_{50}$) が 0.23 mm 以下であっても、このことは波高値と何ら直接的関係を持ち得ないことを示している。

5. 前浜勾配と有義波高の応答関係

前浜勾配については、図-12に1975年6月より1979年3月まで約4年間の前浜勾配の経時変化を図示した。なお図中の破線は5週間の移動平均を示している。図-10の有義波高の変化と比較すると、前浜勾配が大きくなる時期は波高が小さい時期と対応している。一方、例年秋から春において波高が大きいときには前浜勾配は小さくなっており、両者の間には負の相関があることがわかる。

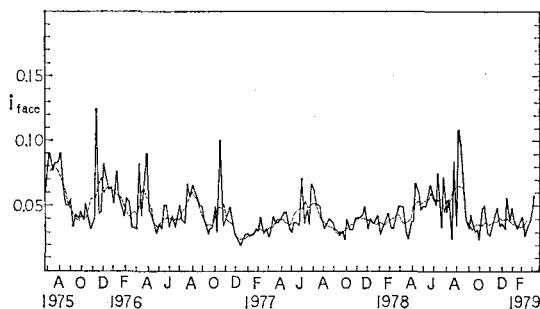


図-12 前浜勾配の経時変化

汀線付近を代表する P_1 地点の底質粒径の極大値が現れるのはほぼ秋～春の波高が大きい時であり、この場合、底質粒径が大きくても前浜勾配はほとんど変化しておらず、前浜勾配に対する粒径の動的効果は相当弱いと言えよう。

次に、有義波高、波型勾配と前浜勾配の応答関係を相互相関法によって調べることにした。図-13は相関係

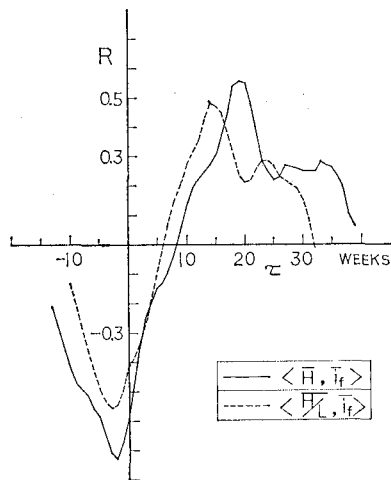


図-13 相互相関係数

数 R を示しており、実線は日最大有義波高の週最大値の移動平均値 $\bar{H}_{\max, \max}$ と前浜勾配の移動平均値 $\bar{i}_{\text{face}}$ の相互相関、 $\langle \bar{H}_{\max, \max}(t), \bar{i}_{\text{face}}(t+\tau) \rangle$ を示し、破線は同様に波型勾配 $\bar{H}_{\max, \max}/L_0$ と $\bar{i}_{\text{face}}$ の相関、 $\langle \bar{H}_{\max, \max}/L_0(t), \bar{i}_{\text{face}}(t+\tau) \rangle$ を示している。有義波高と前浜勾配は $\tau \sim 0$ 付近で相当良好な相関を示している。ただしその極値は $\tau = -2$ において $R = -0.73$ となっているが、この位相差は移動平均操作によって生じた可能性が高く有意なものとは言えないであろう。一方の波形勾配と前浜勾配の間には図-13に破線で示されるように、波高との関係ほどに高い相関関係は見出されなかった。

前浜勾配と有義波高の間にはほとんど時間遅れなしで良好な相関が認められたので、両者の関係 ($\tau = 0$) を図示した。この結果が図-14である。波高が小さいほど前浜勾配は急になる。図中の実線は両者の平均的關係を求めたものであるが、両者の間には次式が成立している。

$$\bar{i}_{\text{face}} = 0.088 \bar{H}_{\max, \max}^{-0.80} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Sunamura³⁾は前浜勾配 (i_{face}) と粒径波高比 (d/H_0)、波形勾配の間に、式 (2) が成立すると述べている。

$$i_{\text{face}} = 0.45 (d/H_0)^{0.50} (H_0/L_0)^{-0.30} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで得られたデータは波形勾配への依存性が低いことを示しているために、 i_{face} と d/H_0 の関係を調べることにした。このため i_{face} として $\bar{i}_{\text{face}}$ を、 d/H_0 に対して $d_{50}/\bar{H}_{\max, \max}$ を用いて図示したのが図-15である。た

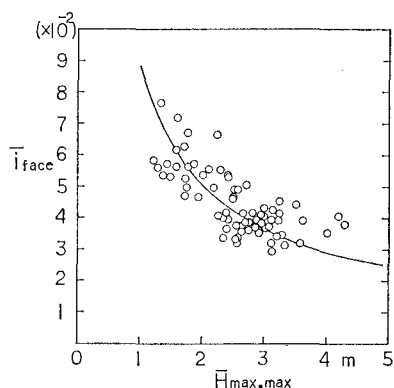


図-14 波高と前浜勾配の関係

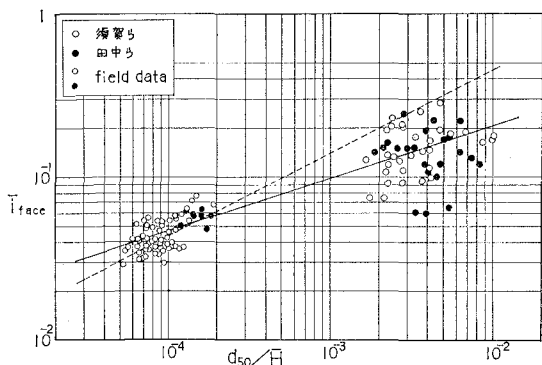


図-15 前浜勾配と粒径波高比の関係

ただし $d_{50}/\bar{H}_{\max, \max} < 10^{-3}$ の範囲にある「●」印は測定日当日底質採取が行われなかったため d_{50} として平均底質粒径 $\bar{d}_{50}$ を用いたものである。また $d_{50}/\bar{H}_{\max, \max} > 10^{-3}$ における○印は須賀ら⁵⁾の資料を、●印は田中ら⁶⁾の資料を示している。ただしこれらの資料は文献 7) を参照した。これらの資料は規則波を用いており、一方現地データは不規則波であり、条件に基本的な相違はあるが、一応両者の比較を試みたものである。 $d_{50}/\bar{H}_{\max, \max}$ が 2×10^{-4} より 10^{-3} の間でデータが存在しないので明確な結論を出すには至らないが、現地・実験両データに一致を示すよう関係式を求めると、図中実線で示されるように、式 (3) が成立する。

$$\bar{i}_{\text{face}} = 0.79(d_{50}/\bar{H}_{\max, \max})^{0.3} \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) では、式 (1) と比較すると $\bar{H}_{\max, \max}$ のべき数が -0.80 より -0.30 と大きくなっている。なお図中の破線は、式 (2) との比較をするために粒径波高比の 0.5 乗に比例し、現地データと一致するように係数を定

めた次の関係式を示している。

$$\bar{i}_{\text{face}} = 4.5(d_{50}/\bar{H})^{0.5} \dots\dots\dots (4)$$

現地データ及び実験値は式 (4) よりもわずかに勾配が小さい式 (3) の関係に依存するようである。ただし先にも述べた通り、現地データは日最大有義波高の週最大値の移動平均値を用いているために、これらの定義が変れば関係式も変化する可能性は残されている。

6. あとがき

本研究は、阿字ヶ浦における観測によって経時変化として得られたデータをもとに、底質粒径、前浜勾配、波高などのパラメータ間の動的関係について検討を加えたものである。この結果として次の諸点が明らかになった。

①前浜勾配の有義波高に対する応答は速く、両者の間には $\bar{i}_r(t) = 0.088H(t)^{-0.8}$ という関係が成立する。②前浜勾配に対する周期の効果は弱い。③前浜勾配へ及ぼす底質粒径の動的効果は小さく、汀線付近における大粒径の土砂の出現は海浜が侵食された結果として下層の粗砂が現われたためである。

ただし、現地データと実験データの統一的解釈については問題が残されており、この点については今後の検討が必要である。特に $d_{50}/\bar{H}$ が 2×10^{-4} より 10^{-3} の間のデータを求める必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたって、貴重な波浪データを提供して下さった運輸省第二港湾建設局鹿島港工事事務所の調査課の方々に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 橋本 宏・宇多高明・足立 茂：阿字ヶ浦における底質特性，第34回年講，pp. 657～658，1979。
- 2) Wiegel, R. L.: Oceanographical Engineering, Prentice Hall, p. 357, 1964。
- 3) Sunamura, T.: "Static" Relationship among beach slope, sand size, and wave properties, Geographical Review of Japan, Vol. 48, No. 7, pp. 485～489, 1975。
- 4) 橋本 宏・宇多高明：阿字ヶ浦における海浜過程(第3報)，第25回海講論文集，pp. 269～273，1978。
- 5) 須賀堯三・松村圭二・末吉一成：河口二次元砂州に関する実験的考察，第27回年講，1972。
- 6) 田中則男・新保 修：移動床模型実験用底質材料としての石炭粉の特性について，港湾技術研究所報告，Vol. 12, No. 1, pp. 3～57，1973。
- 7) 山本晃一・野積 尚：海浜変形の相似性に関する研究，土木研究所資料，第975号，p. 131，1975。