

現地海岸における海底摩擦係数

柿 沼 忠 男*・伊 福 誠**

1. 緒 言

海岸に来襲してくる波浪を予知しようとする場合、海底摩擦による波高減衰効果を知ることが必要になってくる。この効果を見積もることは、波高を過大に見積もることになるからである。この場合、その海岸における海底摩擦係数としてどのような値を採用するかということが重要である。

著者ら^{1),2)}は、わが国の3つの砂浜海岸と1つの岩盤海岸での波浪および海底状況の資料から海底摩擦係数と相対粗度との関連を調べ、Nikuradse の相当粗度を ripple の波長と定義すると Jonsson³⁾, Kajiura⁴⁾ および Kamphuis⁵⁾ の波動場における乱流境界層理論と良く一致することから、海底摩擦係数を算出する一経験式を提案した。しかしながら、岩盤海岸はさておき、砂浜海岸においては Nikuradse の相当粗度を ripple の波長と定

義するため、海底における水粒子速度と底質の中央粒径から、Bagnold⁶⁾あるいは本間ほか⁷⁾の実験結果を用いて ripple の波長を算出しなければならない。

そこで本研究は、そうした実験結果を用いずに波浪と底質の粒度分布から現地海岸における海底摩擦係数を算出する式を得て、波浪予知の精度向上に努めようとするものである。

2. 観測海岸とデータ解析

(1) 観測海岸

観測海岸は鳥取県日吉津海岸、大阪府二色の浜海岸、福井

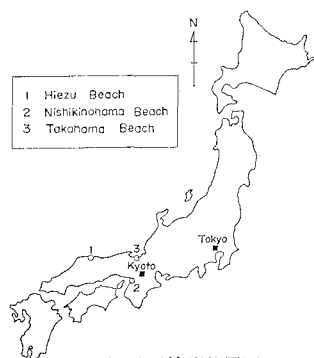


図-1 各地海岸位置図

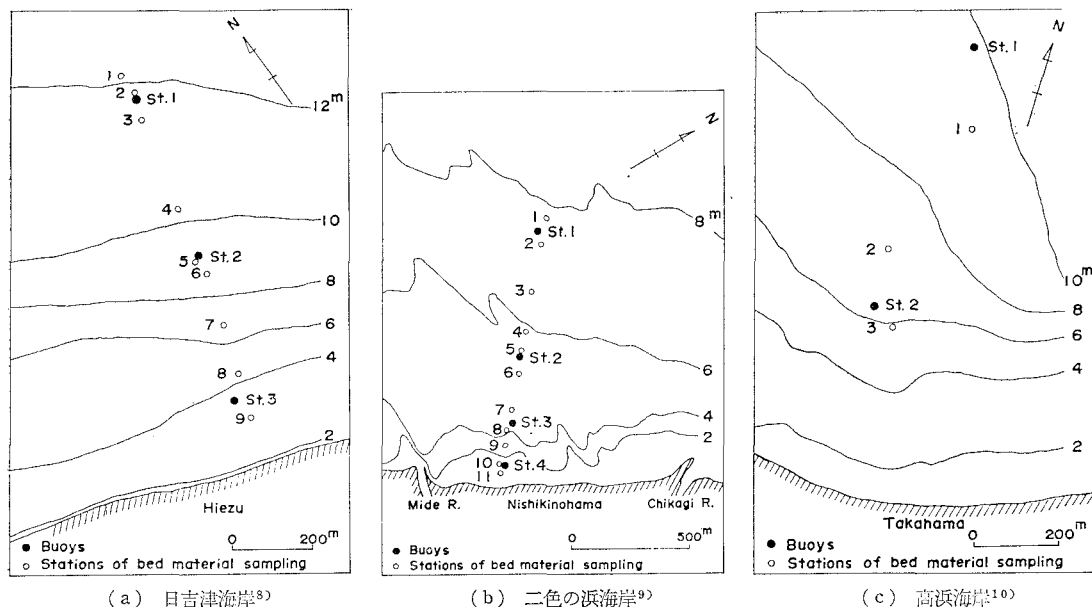


図-2 各地海岸における波浪観測地点および底質採取点の位置図

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学教室

** 正会員 工修 愛媛大学講師 工学部海洋工学教室

県高浜海岸(図-1)で、海底勾配は 1.10×10^{-3} , $3.66 \times 10^{-3} \sim 1.81 \times 10^{-3}$, 5.74×10^{-3} , 底質の中央粒径は平

表-1 観測海岸の諸特性と波浪資料^{8)~10)}

観測場所	平均水深 (m)		海底勾配 ($\times 10^{-3}$)	底質の 中央粒径 (mm)	有義波	
	沖側	岸側			波高 (m)	周期 (s)
日吉津海岸	11.8	3.4	1.10	0.17	0.53~1.11	4.9~6.3
二色の浜海岸	8.6	7.1	3.66	0.33	0.42~0.89	3.0~3.9
	8.6	6.2	"			
	7.0	6.1	"			
	6.0	2.4	1.81			
高浜海岸	9.8	6.3	5.74	0.17	1.16~1.49	7.4~12.5

均値で 0.17 mm, 0.33 mm, 0.17 mm, 波浪観測点の水深は 11.8 m と 3.4 m, 8.6 m と 7.1 m~6.0 m と 2.4 m, 9.8 m と 6.3 m である。底質は波浪観測の 2~10 日前, 2~6 日前, 7~8 日前に採取したものである。図-2 に各地海岸における波浪観測地点および底質採取点を示し, 表-1 に観測海岸の諸特性と波浪資料を示す^{8)~10)}。

(2) データ解析

a) 海底の状況

まず, 観測で得た有義波高, 有義波周期および波浪観測地点付近の底質の中央粒径に基づいて, Komar-Miller¹¹⁾ による無次元相対応力 (non-dimensional relative stress) $\theta = \rho u_b^3 / (\rho_s - \rho) g d_{50}$ と相対粗度 a_m / d_{50} との関係を調べる。ここに, ρ , ρ_s は海水と底質の密度, u_b は海底における水粒子速度, g は重力の加速度, d_{50} は底質の中央粒径, a_m は海底における水粒子軌道の長軸の半分長である。次に, 底質の dimensionless measure $r = \sqrt{(\rho_s - \rho) g d_{50} / \rho \nu^2}$ (ここに, ν : 海水の動粘性係数) を算出し, Lofquist¹²⁾ が示唆した ripple の平衡状態の低界, Bag-nold⁹⁾, Manohar¹³⁾, Inman¹⁴⁾, Dingle¹⁵⁾ の結果に基づいた composite curve および以下に示す Chan ほか¹⁶⁾ による sheet flow の限界と比較検討する。

Chan ほか¹⁶⁾ は内径 5.08 cm の管中での浮遊物質の輸送機構を調べ, sheet flow の限界を表わす無次元相対応力 θ_{sh} を次式で与えている。

$$\theta_{sh} = 23.2 r^{-1/3} (a_m / d_{50})^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

彼等は浮遊物質に赤鉄鋼, ガラスビーズ, 砂, 甘しょ糖, ポリスチレンを用いたが, 実験における ρ_s / ρ と r の範囲は 1.04~5.10 と 0.16~160 である。

著者らは海水の動粘性係数の値に水温 20°C に対する値 0.01 cm²/sec を採用して r を算出したが, 著者らの観測結果は $\rho_s / \rho = 2.59$ および $6.5 \leq r \leq 47.1$ であり彼等の実験の範囲内にあることがわかる。

b) 海底摩擦係数

観測によって得た海底摩擦係数と無次元相対応力との関連を調べて近似式を求め, 著者らの経験式²⁾と比較検討する。

3. 観測結果

(1) 海底の状況

図-3 は日吉津海岸, 二色の浜海岸および高浜海岸での無次元相対応力と相対粗度との関係を示す。図中には ripple の平衡状態の低界¹²⁾, composite curve^{9), 13)~15)} および各地海岸での dimensionless measure r の最大値による sheet flow の限界¹⁶⁾ が示してある。観測結果は ripple の平衡状態の低界と sheet flow の限界内にあり, 各地海岸での区別なしに相対粗度が大きくなると無次元相対応力も大きくなることがわかる。

図-4 は図-3 に示した各地海岸での観測結果に Inman の観測結果¹⁴⁾ と Dingle の実験・観測結果¹⁵⁾ を加え

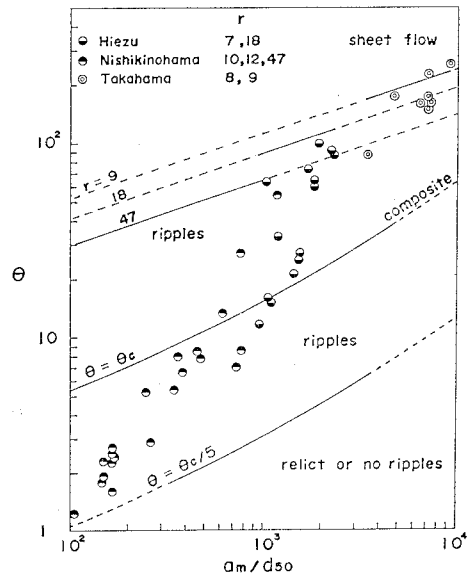


図-3 各地海岸における無次元相対応力と相対粗度との関係

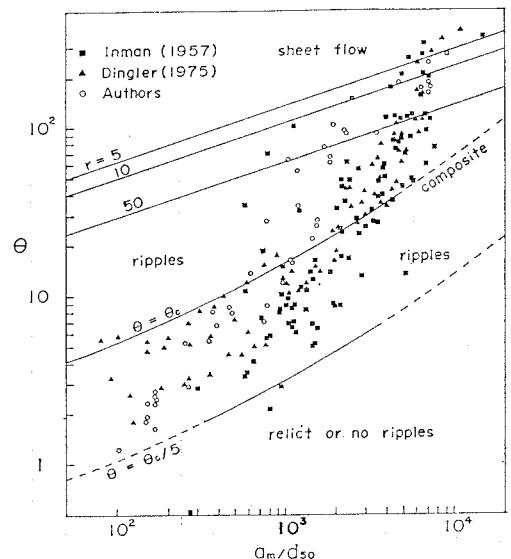


図-4 Inman¹⁴⁾, Dingle¹⁵⁾ および著者らによる無次元相対応力と相対粗度との関係

たものである。彼等の結果には sheet flow の限界を越えたり ripple の平衡状態の低界に満たないものもあるが、大抵の場合 ripple が形成される範囲にあり、著者らの観測結果は彼等の観測結果と比較的良好な傾向を示していることがわかる。

(2) 海底摩擦係数

図-5 は著者らが観測によって得た海底摩擦係数 f と無次元相対応力 θ との関係を示す。 θ の値が 40~50 を境にして両者の関係は異なり、それを越えると f はかなりばらついている。Dingler¹⁵⁾ は実験・観測結果から、ripple は無次元相対応力が 40 より大きい場合には不安定になることを示唆しているが、そのことによるためかも知れない。

図-5 から次の近似式

$$\left. \begin{aligned} f &= 1.95\theta^{-0.87} & 2 \leq \theta \leq 40 \\ f &= 0.39\theta^{-0.42} & 40 < \theta \leq 190 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

を得る。図中には近似式に対する誤差の範囲を示してあ

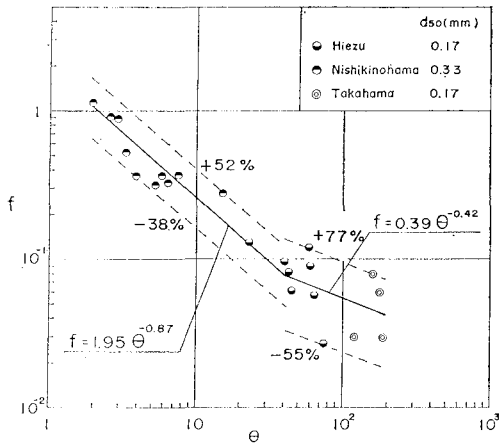


図-5 海底摩擦係数と無次元相対応力との関係

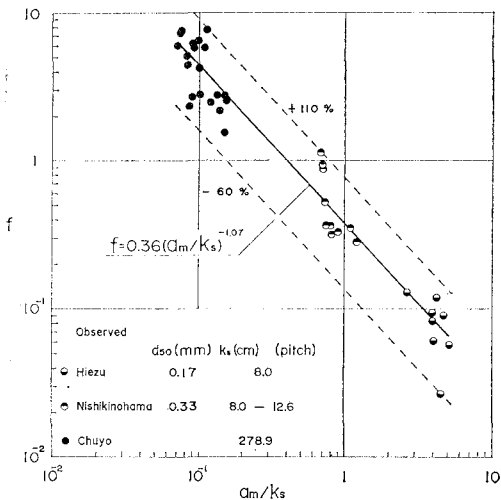


図-6 海底摩擦係数と相対粗度との関係²⁾

るが、著者らが先に提案した海底摩擦係数 f と相対粗度 a_m/k_s (ここに, k_s : ripple の波長) との関係式²⁾

$$f = 0.36(a_m/k_s)^{-1.07} \left. \begin{aligned} &+110\% \\ &-60\% \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

より誤差の範囲が小さいことがわかる (図-6)。

図-7 は日吉津海岸および二色の浜海岸について、式 (2) および (3) で算出した海底摩擦係数を比較したものである。両者は、 $f > 0.5$ の資料を除けば、ほぼ同一の値を示す。したがって、どちらの式で f の値を算定しても差し支えないが、式 (3) では実験結果を用いて ripple の波長を算出する必要があること、さらに式 (2) の方が式 (3) より誤差の範囲が小さいようであることを考え合わせると、式 (2) はかなり実用的である。

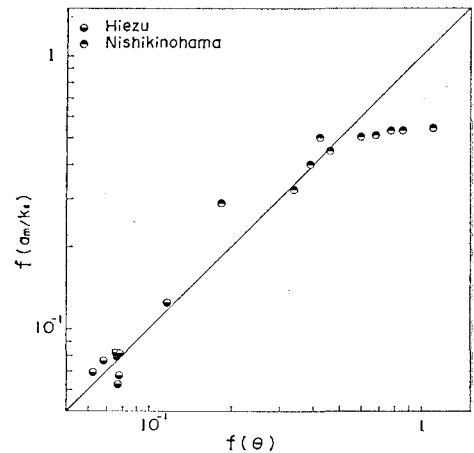


図-7 式 (2) および (3) で算出した海底摩擦係数

4. 結 語

以上、著者らは、日吉津海岸、二色の浜海岸および高浜海岸で観測して得た波浪および底質の資料に基づいて現地海岸における海底摩擦係数を評価した。その結果、波浪資料に加えて、底質の粒度分布がわかれば、無次元相対応力を求めることによって海底摩擦係数を算出できることを得た。

今後、こうした海底摩擦係数を用いて海岸波浪予知の精度向上や波浪による底質の移動などの解明に努めていきたいと考えている。

なお、この研究が文部省科学研究費自然災害特別研究 (研究代表者 名古屋工業大学 石田 昭教授) による研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 柿沼忠男・伊福 誠・井内国光: 中予海岸における波浪変形の観測 (3)——海底摩擦係数および流速——, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 119~123, 1980.
- 2) Ifuku, M. and T. Kakinuma: Bottom friction factors off five Japanese coasts, Coastal Eng. in Japan, pp. 37~50, 1982.

- 3) Jonsson, I. G.: Wave boundary layer and friction factors, Proc. 10th Conf. Coastal Eng., pp. 127~148, 1967.
- 4) Kajiura, K.: A model of the boundary layer in water waves, Bull. Earthq. Inst., Vol. 46, pp. 75~123, 1968.
- 5) Kamphuis, J. W.: Friction factor under oscillatory waves, Proc. ASCE, No. WW2, pp. 135~144, 1975.
- 6) Bagnold, R. A.: Motion of waves in shallow water, Interaction between waves and sand bottom, Proc. Roy. Soc., Ser. A, Vol. 187, pp. 1~18, 1946.
- 7) 本間 仁・堀川清司・鹿島遼一: 波による浮遊砂に関する研究, 第 11 回海岸工学講演会講演集, pp. 159~168, 1964.
- 8) 樋口明生・柿沼忠男: 日吉津海岸における波浪観測について, 京都大学防災研究所年報, 第 8 号, pp. 459~478, 1965.
- 9) 樋口明生・柿沼忠男: 二色の浜海岸における波浪観測について, 京都大学防災研究所年報, 第 9 号, pp. 685~701, 1966.
- 10) 柿沼忠男: 日吉津および高浜海岸における波浪観測について, 京都大学防災研究所年報, 第 10 号 B, pp. 251~272, 1967.
- 11) Komar, P. D. and M. C. Miller: The threshold of sediment under oscillatory water waves, J. Sed. Petrol., Vol. 43, No. 4, pp. 1101~1110, 1973.
- 12) Lofquist, K. E. B.: Sand ripple growth in an oscillatory-flow water tunnel, Technical Paper No. 78-5, U.S. Army Corps of Engineers, pp. 1~101, 1978.
- 13) Manohar, M.: Mechanics of bottom sediment due to wave action, B.E.B., Tech. Memo., No. 75, pp. 1~20, 1955.
- 14) Inman, D. L.: Wave-generated ripples in nearshore sands, B.E.B., Tech. Memo., No. 101, pp. 1~40, 1957.
- 15) Dingle, J. R.: Wave-formed ripples in nearshore sands, Ph.D. Dissertation, Dept. of Oceanography, Univ. of California, 136 pp., 1975.
- 16) Chan, K. W., M. H. I. Baird and G. F. Round: Behaviour of beds of dense particles in a horizontally oscillating liquid, Proc. Roy. Soc., Ser. A, Vol. 330, pp. 537~559, 1972.