

PS II-9 流れの影響を受ける斜面上の波の碎波条件

東京大学工学部	正会員	渡辺	晃
東亜建設工業(株)	正会員	大中	晋
東京大学工学部	正会員	磯部	雅彦

1. はじめに

沿岸域の波浪場や海浜流場の予測評価のために最近盛んに利用されるようになってきた数値計算モデルにおいて、未解決の重要課題の一つは碎波に及ぼす流れの影響の評価法である。碎波線位置の決定の精度は、碎波帯内外の波浪場のみならず海浜流場の計算精度にも多大な影響を及ぼす。この影響は河口部付近の波や流れを扱う際には特に重要となる。本論文では、流速波速比により表示された碎波指標(渡辺ら、1983)を波・流れ共存場に拡張する手法を提示し、その適用性を実験結果に基づいて論じる。

2. 波・流れ共存場への碎波指標の適用法

渡辺ら(1983)により提案された碎波指標は、碎波の波峰下の流速と波速の比を基本パラメータとして、単一進行波に対する合田(1970)の碎波指標を表現し直したもので、重畳波浪場にも適用可能である。また、流速波速比を用いているので、波・流れ共存場への拡張も比較的容易であると思われる。

ここでは簡単のために、同一方向の波と定常流(順流・逆流)が共存する場合を対象とする。エネルギー減衰がなければ、wave action の保存式は次式で与えられる。

$$E(C_g + U) / \sigma = \text{const.} \quad (1)$$

ここに、 $E = \rho g H^2 / 8$ は単位面積当たりの波エネルギー、 C_g は群速度、 U は定常流流速であり、 σ は波の角周波数で、 $U=0$ での角周波数を ω 、水深 h 、定常流速 U の点での波数を k とすると次式が成り立つ。

$$\omega = \sigma + kU, \quad \sigma^2 = gk \tanh kh \quad (2)$$

また、波による質量輸送を無視すれば、質量保存則は $q = Uh = \text{const.}$ で与えられる。

従って、定常流の単位幅流量 q と水深 h が与えられたとき、入射波条件に対して式(1)を解けば、各点での波高 H 、ならびに定常流速 U で移動する座標からみた波数 k と角周波数 σ が求まる。更に、微小振幅波理論を適用すれば、波峰下の静水位水平流速 u および C はそれぞれ、

$$u = (H\sigma/2) \cosh kh / \sinh kh, \quad C = \sigma/k \quad (3)$$

により、流れに相対的な値として計算でき、各点での流速波速比 u/C が求まる。

なお、渡辺らの碎波指標においては、各水底勾配に対して、碎波の流速波速比 u_b / C_b が沖波の波形勾配 H_o' / L_o 。または相対碎波水深 h_b / L_o の関数として与えられている。これを波・流れ共存場に適用する場合には、 H_o' / L_o と u_b / C_b の関係はそのまま用いても大過ないものと思われるが、 h_b / L_o については、碎波水深 h_b が流れの影響下の点での値であるから、それを無次元化するためにもその点での波長 L_b を用い、次式で h_b / L_b と u_b / C_b の関係に変換しておく必要がある。

$$h_b / L_o = (h_b / L_b) \tanh (h_b / L_b) \quad (4)$$

3. 検証実験の結果と考察

斜面を設置した還流装置付き小型造波水路を用いて、波・流れ共存下の碎波条件に対する実験を行った。斜面勾配 s は 1/10、1/20、1/30 の3種とし、種々の入射波条件に対して、流れなし、順流、逆流の各ケースを対象とした。碎波開始点の判定はやや難しいので、最大波高となる点を碎波点とした。

式(1)から計算される各点の波高と各点の実測水位変動 η から求まる有効波高 $H_* = 2\sqrt{2} \eta_{\text{rms}}$ とを比較したところ、碎波帯外でも計算波高が過大であり、これは実験において底面と側面の摩擦損失が無視で

きないためと考えられたので、次式を用いて、入射波の波高 H_i から実測砕波点での波高 H_b を計算する。

$$E_i (C_{Fi} + U_i) / \sigma_i = E_b (C_{Fb} + U_b) / \sigma_b - \Delta E / \omega \quad (5)$$

ただし ΔE は底面と側面の摩擦によるエネルギー逸散であり、波・流れ共存場の摩擦則より計算できる。

式 (4) を用いて砕波点での流速波速比 u_b / C_b を求め、 h_b / L_b との関係として渡辺らの砕波指標と比較したものが図-1 である。実験データは砕波指標曲線のまわりに分布しているものの、底勾配 s が大きいほど、また逆流の流速が大きいほど、ずれが著しい。勾配が大きい場合のぼらつきの原因としては、砕波位置の誤差が砕波水深の値に影響しやすく、 u_b / C_b と h_b / L_b の値を大きく変化させることが主たるものと思われる。また逆流のケースの実測データが砕波指標曲線より上にずれているのは、砕波帯内で生じた乱れが流れにより砕波帯外にまで輸送されるために生じる波高減衰が、式 (5) で考慮されていないことが主な理由であろう。

図-2 は、提示した手法を数値モデルに適用した際に生じる誤差をもっと明瞭に示すために、 h_b / H_o' と H_o' / L_o の関係で整理したものである。 $q_* = q / L_o$ 。 C_o は無次元単位幅流量であり、破線は Miche の式から求めたもので底勾配によらない。本論文で示した手法により計算される砕波水深はかなり良い精度を持つことが、図から読み取れる。

4. おわりに

逆流による乱れの輸送や流れで波長が変化することによる見かけの底勾配が砕波条件に及ぼす影響等について更に検討する必要があるが、ここに提示した手法は波浪場の数値モデルへの応用において十分に発展性があるものと思われる。最後に、本実験を分担した實 信治君に謝意を表する。

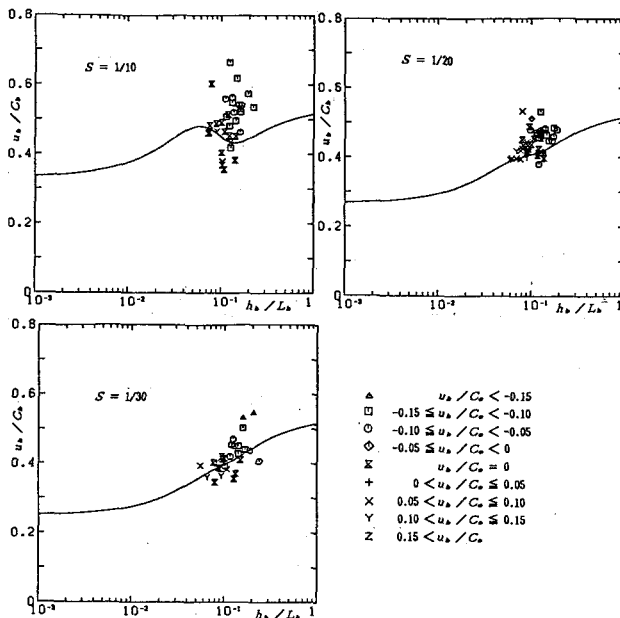


図-1 砕波点の流速波速比と相対水深の関係

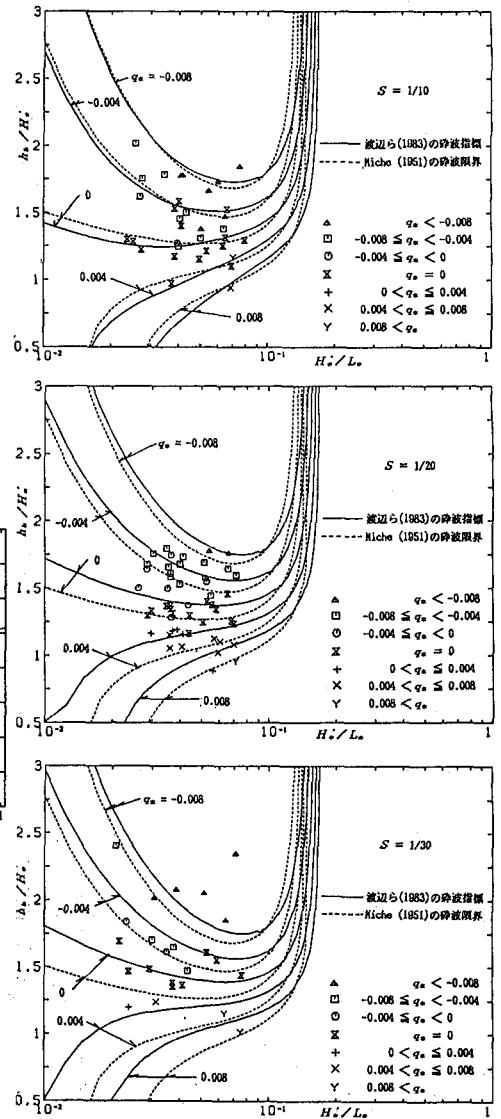


図-2 砕波水深に及ぼす流れの影響