

斜面上の波の回折に関する研究

応用地質調査事務所 正員 ○ 谷口 洋二
日本水道コンサルタント 正員 清水 康生
鳥取大学 工学部 正員 野田 晃明

1. 緒言 汀線変化シミュレーションモデルにおいて、波の浅海変形を計算することは、非常に重要である。ところが、離岸堤のような人工構造物の影の部分における波については一定水深における波の回折理論を適用して波の変形計算を進める便法がとられてきた。ところが、この部分の水深がつねに一定というのは現実を全く無視するものであって、水深変化すなわち回折領域であつても波の屈折を考慮した計算法の確立が望まれていた。この問題に対して Mei¹⁾ は一つの近似解法を 1976 年に発表した。本研究は、この Mei の解を実験的に検証し、離岸堤などの構造物背後の波浪変形計算に利用しようとするものである。

2. 波の屈折・回折組合せ理論の概要 図-1 に示すように、汀線に沿って y 軸、汀線と直角沖方向に x 軸をとり、水深 h は x 方向に変化する場合を考える。波は微小振幅波とし、点 (x, y) における波の入射角を θ 、局部波数ベクトルを k とすると、速度ポテンシャル Φ は Mei¹⁾ によってつぎのように与えられている。

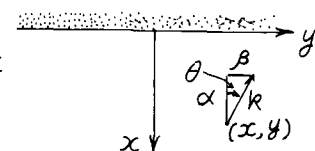


図-1 座標系説明図

$$\Phi = \phi(\tilde{x}, \tilde{z}) \exp[i(\varepsilon^{-1} \int^{\tilde{x}} \alpha d\tilde{x} + \beta y - \omega t)] \quad (1)$$

ここに、 $\tilde{x} = \varepsilon x$, $\varepsilon = O(hx/kh) \ll 1$, ε は微小量であり、 ω : 周波数、 α, β : 波数ベクトル k の x および y 方向成分であつて、 $\alpha(\tilde{x}) = k \cos \theta$, $\beta = k \sin \theta = k_{\infty} \sin \theta_{\infty}$, $k^2 = \alpha^2 + \beta^2$ (2)

で与えられ、さらに、 $\omega^2 = gk \tanh kh$ (3)

である。 k_{∞} : 深海底の波数、 θ_{∞} : 深海底の入射角である。つぎに、屈折・回折組合せ理論の展開をはかるため図-2 に示すように $x=L$ に長さ B ($y=-B/2 \sim y=B/2$) の離岸堤を設置し、

$$\left. \begin{aligned} \xi &= y - y_0 + \int_{x_0}^x \beta (k^2 - \beta^2)^{-1/2} dx \\ \zeta &= y - y_0 - \int_{x_0}^x \beta^{-1} (k^2 - \beta^2)^{1/2} dx \end{aligned} \right\} (4)$$

なる変数変換によつて、この座標系の原点は (x_0, y_0) となり、かつ $\zeta = \text{const.}$ は波向線と、 $\xi = \text{const.}$ は波峰線を与えることになる。

この変数変換によつて、式(1)の Φ は

$$\Phi = D(\xi, \zeta) \phi' \exp[i(\beta \zeta - \omega t)] \quad \dots (5)$$

と変換される。ここに、 ϕ' は屈折に関する速度ポテンシャルであつて、

$$\phi' = -\frac{igA}{\omega} \frac{\cosh k(h+\tilde{z})}{\cosh kh}, \quad \frac{A(x)}{A_{\infty}} = \left[2 \frac{k}{k_{\infty}} \frac{\alpha_{\infty}}{\alpha} \frac{\cosh^2 kh}{2kh + \sinh 2kh} \right]^{1/2} \quad (6)$$

である。一方、離岸堤の影の部分②の回折領域を含む遷移領域では

$$D_{\pm} = \left\{ \frac{1}{2} \pm C(\sigma_{\pm}) \right\} + i \left\{ \frac{1}{2} \pm S(\sigma_{\pm}) \right\} e^{-i\pi/4} / \sqrt{2}$$

となり、これより水面変動 η は $\eta = A_{\pm} \cos(\beta \zeta_{\pm} - \omega t - \Theta_{\pm})$ (7)

$$A_{\pm} = A |D_{\pm}| = A \left[\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} + C(\sigma_{\pm}) \right\}^2 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} + S(\sigma_{\pm}) \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$\Theta_{\pm} = (\pi/4) - \tan^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} \pm S(\sigma_{\pm})}{\frac{1}{2} \pm C(\sigma_{\pm})} \right] \quad (9)$$

ここに、 $\sigma_{\pm} = \xi_{\pm} / (\pi \nu_{\pm})^{1/2}$, $\nu = \beta^{-1} \int_0^{\xi} \tan^2 \theta d\zeta$, $S(\sigma) = \int_0^{\sigma} \sin \frac{\pi \tau^2}{2} d\tau$, $C(\sigma) = \int_0^{\sigma} \cos \frac{\pi \tau^2}{2} d\tau$ である。ただし、 A_{∞} : 深海底の振幅、 $\alpha_{\infty} = k_{\infty} \cos \theta_{\infty}$, A : 対象点の振幅である。

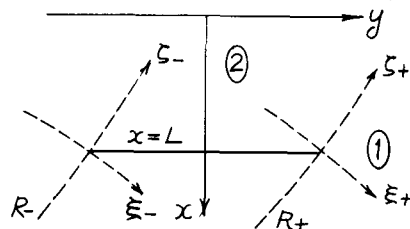


図-2 離岸堤の配置と新座標系

3. 実験装置及び実験方法 実験は長さ16.5m, 幅9m, 深さ0.6mの平面水槽を用いて行った。水槽の一端には1/10 勾配の斜面を設け、斜面と一定水深部の接点に離岸堤を設置した。(図-3 参照)

実験波の条件は造波板からの再反射波を測定しないため測定時間が限定されることを考慮して周期 $T=0.7\text{sec}$, 水深 $h=25\text{cm}$ における入射波高と $H=3\text{cm}$ とした。斜面上の波高は, 水深 $h=18\text{cm}$, 13cm , 8cm および 5cm の位置で X 軸(図-3 参照)に沿って測定した。

4. 実験結果とその考察 図-4.(a)~(d)は実験結果(○印)と理論値(実験)とを比較したものであつて, 図中の縦軸 K_d は回折・屈折現象によつて生じた波高と入射波高との比を表わすものであり, 横軸の X あるいは X/L は図-3に示すように波の進行方向と直角方向の水平距離である。 $X<0$ を回折領域, $X>0$ を入射領域として, 実験結果を検討しよう。まず, 回折領域であるが, いずれの水深においても実験値と理論値は

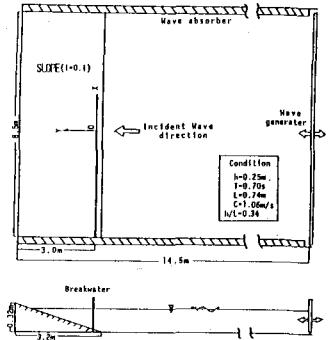


図-3 実験水槽の概略図

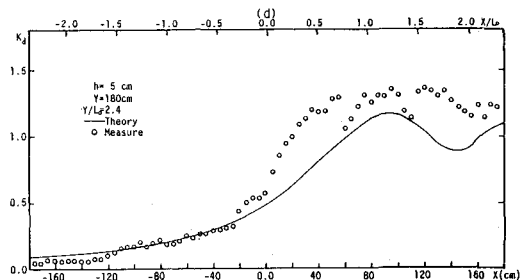
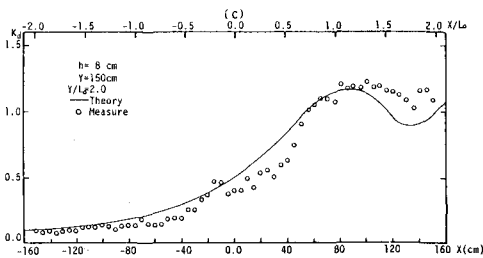
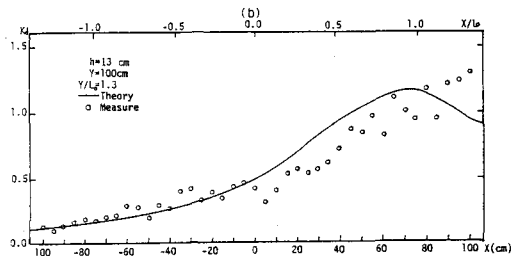
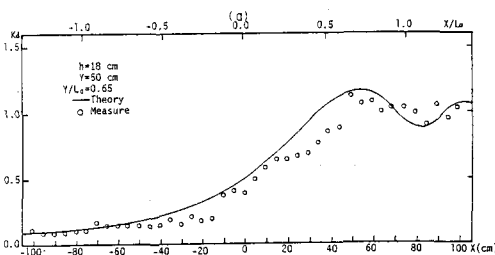


図-4 回折・屈折係数 K_d の X 方向の変化(理論と実験値との比較)

かなりよく一致していることがわかる。つぎに入射領域における結果を要約するとつぎのようになる。1) 回折領域から入射領域への遷移域では急激な波高の増大がみられるが, $h=5\text{cm}$ の結果を除き理論と実験値とはかなりよく一致している。2) $X/L>0.5\sim 1.0$ の範囲では, 実験値における X の周期性が理論とはかなり一致していない。この原因はよくわからない。3) Meiらによると, この理論は砕波に近くで近似の精度が悪くなると指摘しているが, $h=5\text{cm}$ の波高は砕波に近い。それにもかかわらず, 理論と実験値とで良好な一致がみられる。

5. 結 語 斜面上における波の回折と屈折の組合せ理論について実験的に検証した結果, 一様勾配斜面に設置された離岸堤という条件ではあるが, この理論がかなりの精度で商用できることが明らかとなった。現在, この理論を用いて離岸堤背後における浅海波の変形計算を進め, 汀線変化シミュレーション・モデルに適用してトンボロの発達過程の数値計算を進めている。この結果については機会があれば他日に発表する予定である。

- 1) Liu, P.L.F. and Mei, C.C.: Water Motion on a Beach in the Presence of a Breakwater 1. Waves, JGR, Vol. 81, No. 18, 1976, pp. 3079-3084