

任意反射・任意透過の防波堤による波浪変形の数値計算

京都大学工学部 岩垣雄一, 酒井哲郎, ○運輸省 佐藤孝夫

1. まえがき 任意形状の港湾内における波高分布を数値計算によって求める手法としては、運輸省港湾技術研究所や SOGREAH で開発されたものがあり、これらは反射率が任意の場合にも使用できる。しかしながら、最近環境問題がやかましく言われるようになって、その解決策として透過性の防波堤が開発されつつある。また従来の渚堤は一種の透過性の防波堤と考えられるし、浮防波堤や空気防波堤も同様である。ここでは、任意反射率のみでなく任意透過率をも有する防波堤による平面的な波浪変形を数値計算によって求める手法として、港研で開発された数値波動解析法の拡張を試みる。

2. 数値波動解析法(港研方式) 港研で開発された数値波動解析法は、SOGREAH のものが定常状態を考えて境界値問題として解くのに対して、非定常問題として境界条件の他に初期条件をも考慮して逐次計算を行っていく方法である。その基礎式は加速度項を含んだオイラーの式と連続式を線流量 Q_x, Q_y を用いて変形した式(1)である。ここで、 Q_x, Q_y, c

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_x}{\partial t} &= -c^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \frac{\partial Q_y}{\partial t} &= -c^2 \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} &= -\frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\partial Q_y}{\partial y} \end{aligned} \right\} (1) \quad \left. \begin{aligned} Q_x &= \int_{-h}^0 u dz \\ Q_y &= \int_{-h}^0 v dz \\ c^2 &= g/k \cdot \tanh kh \end{aligned} \right\} (2) \quad \begin{aligned} &\text{は式(2), (3)で与えられる。} \\ &x, y \text{ は静水面における直角座標, } z \text{ は鉛直上向にと, } \eta \text{ は水位, } u, v \text{ はそれぞれ } x, y \text{ 方向の水粒子速度成分, } h \text{ は水深, } k \text{ は波数で角振} \end{aligned}$$

$\omega^2 = gk \tanh kh \dots (4)$ 動数 ω との間には式(4)の関係がある。任意反射率境界での境界条件は、図-1(透過波 η_t はないとする)に示すように境界に斜めに

入射する波の反射を考え、入射波 η_i による境界に直角方向の流量(の場合は Q_x)と反射波 η_r による流量の合計としての流量 irQ に関

して、境界上の10点での時間 t における流量 irQ_{10}^t と1メッシュ(ΔS)離れた1点での時間 t_1 だけ前の流量 $irQ_1^{t-t_1}$ との間には、式(5)の関係があることを利用している。すなわち、従来の完全反射の場合の

$$irQ_{10}^t = A_1 \cdot irQ_1^{t-t_1} \dots (5) \quad \text{条件 } Q_{x10} = 0 \text{ にかわって, 式(5)で}$$

$$A_1 = (1-KR) \cdot \left\{ (1+KR)^2 \sin^2(kAS \cdot \sin \beta_1) + (1-KR)^2 \cos^2(kAS \cdot \sin \beta_1) \right\}^{-1/2} \dots (6)$$

$$\tan \theta t_1 = (1-KR) \cdot (1+KR)^{-1} \cdot \tan(kAS \cdot \sin \beta_1) \dots (7) \quad \text{えられる } t_1 \text{ 時間前の1メッシュ前方}$$

3. 任意透過率境界への拡張 図-1で透過波 η_t をも考えた場合、 η_t による Q_x を tQ_{10} とおくと、簡単な考察によって10点における入射波のみによる流量 iQ_{10} 、10点における入射波の合計の流量 irQ_{10} 、さらには irQ_1 との間には式(8)の関係があることがわかる。式(8)の最後の

$$tQ_{10} = K_T \cdot iQ_{10} = K_T \cdot (1-KR)^{-1} \cdot irQ_{10} = K_T \cdot (1-KR)^{-1} \cdot A_1 \cdot irQ_1^{t-t_1} \dots (8) \quad \text{関係は式(5)を利用して}$$

おり簡単のために $t=0$ としている。 K_T は透過率である。点20での η_t による Q_x すなわち tQ_{20} は、図-1からわかるように透過波が $B \sin \beta_1$ の距離を進むのに要する時間だけ前の tQ_{10} になる。式で表現すると式(9)になる。式(9)のオズ式には式(8)の関係を用いている。同様のこと

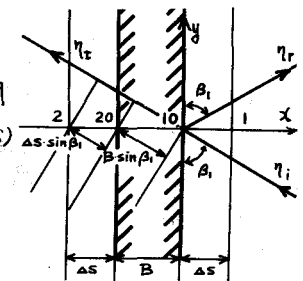


図-1

$tQ_{20} = tQ_{10}^{-B \sin \beta_1 / c} = K_T (1 - K_R)^{-1} A_1 \cdot irQ_1^{-T_1 - B \sin \beta_1 / c} \dots (9)$ は、図-1の左側からの入射に対して成立する。式(5), (9)に対応する式は、式(10), (11)になる。結局境界上の Q_{10}, Q_{20}

$irQ_{20} = A_2 \cdot irQ_2^{-T_2} \dots (10)$ における境界条件は、それぞれ x 方向流量を式(12),

$tQ_{10} = K_T \cdot (1 - K_R)^{-1} A_2 \cdot irQ_2^{-T_2 - B \sin \beta_2 / c} \dots (11)$ (13)で与えればよいことがわかる。式(12), (13)

$Q_{10} = irQ_{10} + tQ_{10} \dots (12)$ の右辺の各量は式(5), (9), (10), (11)より Q_1, Q_2 の入・反射

$Q_{20} = irQ_{20} + tQ_{20} \dots (13)$ 波の x 方向流量 irQ_1, irQ_2 から求められるが、数値計算で

$Q_1 = irQ_1 + tQ_1 \dots (14)$ 計算されるのは式(14), (15)で与えられる irQ と tQ の合計の流量

$Q_2 = irQ_2 + tQ_2 \dots (15)$ である。しかしながら、例えば Q_2 は図-1からわかるように

$tQ_2 = tQ_{20}^{-\Delta S \cdot \sin \beta_1 / c} \dots (16)$ $\Delta S \cdot \sin \beta_1 / c$ 時間だけ前の tQ_{20} である(式(16), (17))ので、 Q_1 および Q_2 の

$tQ_1 = tQ_{10}^{-\Delta S \cdot \sin \beta_2 / c} \dots (17)$ 入・反射波による流量と透過波による流量に分離できる。

4. 数値計算結果と検討 この手法の基本的な問題点は β の取り方にある。今規則波のみを対象としても2つ以上の他境界からの反射波がある場合は、一般に β を特定の値に限定できない。不透過な場合については、港研でいくつかの場合についてこの問題を検討(7)あり、特に半無限堤に直角入射する場合は、前面での β は 90° 、背面は物理的に不自然な結果が出ないためには、反射率を1とすればよいとしている。一方、透過をも考えた3.のモデルについては、同様の問題を改めて検討する必要がある。そのために図-1の右側を半無限堤の入射側として波が直角入射する半無限堤の両側の K_R, K_T を等しく($K_R + K_T = 1$)、また $\beta_1 = 90^\circ$ とあい、 K_R を0.8から0.2おきに0.2まで変化させ、それぞれについて、 β_2 を $0, 30, 45, 75, 90^\circ$ と変えて数値計算を行い、従来の回折理論を透過堤に拡張した近似解と比較した。この詳しい誘導はここでは省略したい。その結果、 $K_T = 0.2, 0.4$ の時には $\beta_2 = 90^\circ$ 、 $K_T = 0.6, 0.8$ の時には $\beta_2 = 30^\circ$ の時に最も近似解に近い値が求められた。図-2はその一例で、 $K_T = 0.2, K_R = 0.8, \beta_2 = 90^\circ$ の時の平面的な回折係数 K_d の分布を近似解と比較したものである。これによると、 $K_d = 0.5$

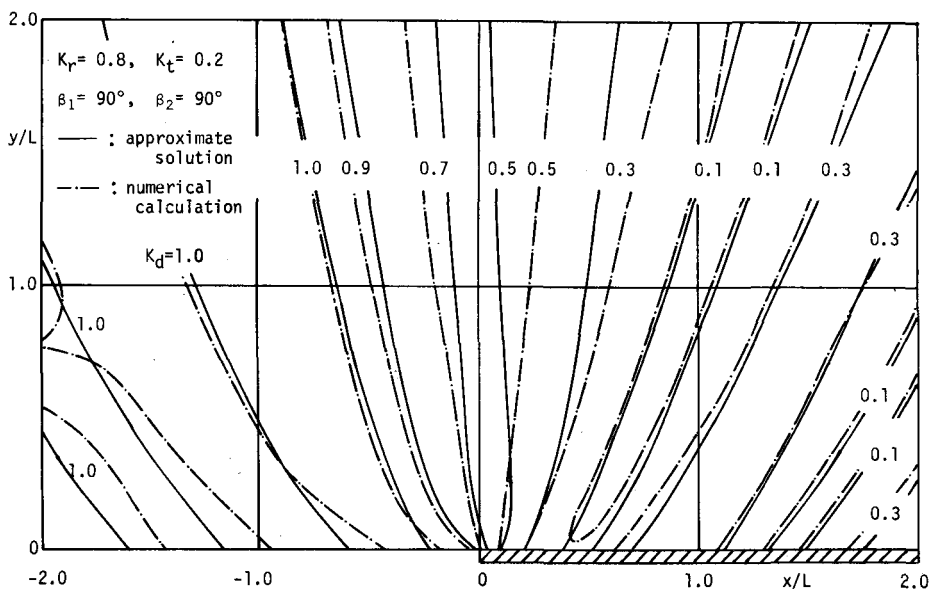


図-2

付近と壁面であつたに違ひが見られる程度でほとんど同じ傾向を示している。

参考文献；
 谷本・小舟・小松；
 港研報告，Vol.14，
 No.3，1975.9，
 PP.35～58