

直接計算しなくても、その手前の格子点での値の時間的変化から求められることを表わしている。

3. 任意反射率・任意透過率の防波堤に対する境界条件

いま 図—1 において、右側境界面を通しての透過をも考える。式 (7) のうち、 $(1-K_{r1})$ の項の中の 1 が入射波流量に対応する項、 $-K_{r1}$ が反射波流量に対応する項であることから、入射波のみの流量は $1/(1-K_{r1}) \cdot Q_{10}$ で与えられる。したがって境界面での透過波 Q_t による流量は、 $K_{t1}/(1-K_{r1}) \cdot Q_{10}$ で与えられる。ここに K_{t1} は境界面での透過率である。堤体幅 B の反対側境界 “20” ($x=-B$) での透過波流量 tQ_{20} は、堤体幅 B を透過波が通過するのに必要な位相差を考慮して、次式で与えられる。

$$tQ_{20} = K_{t1}/(1-K_{r1}) \cdot irQ_{10}^{-B \sin \beta_1/c*} \dots\dots\dots (11)$$

ここで Q_{20} の添字 “ t ” は透過波によることを示し、同様にこれまで添字をつけていなかった Q_{10} にも入射波と反射波によることを示す添字 “ ir ” をつけている。 c_* は堤体内における透過波の波速である。

同様のことは、図の左側から入射する波による反射、透過についても言える。すなわち、式 (8), (11) に対応して、

$$irQ_{20} = A_2 \cdot irQ_{10}^{-\tau_2} \dots\dots\dots (12)$$

$$tQ_{10} = K_{t2}/(1-K_{r2}) \cdot irQ_{20}^{-B \sin \beta_2/c*} \dots\dots\dots (13)$$

ここで添字の “2” は、左側からの入射波によることを示す。なお式 (8) を添字をつけて書き直すと、

$$irQ_{10} = A_1 \cdot irQ_{10}^{-\tau_1} \dots\dots\dots (3')$$

A_2 , τ_2 は、式 (9), (10) において添字 “1” を “2” に変えた式で与えられる。両境界での境界条件は、両境界での x 方向流量を Q_{10} , Q_{20} として次式で与えられる。

$$Q_{10} = irQ_{10} + tQ_{10}, \quad Q_{20} = irQ_{20} + tQ_{20} \dots\dots\dots (14)$$

式 (11), (13) より tQ_{10} , tQ_{20} はそれぞれ irQ_{10} , irQ_{20} で与えられ、式 (3'), (12) より irQ_{10} , irQ_{20} はそれぞれ irQ_{10} , irQ_{20} で与えられる。これらは各格子点における流量のうち、入射波および反射波によるものであり、各格子点における流量

$$Q_1 = irQ_1 + tQ_1, \quad Q_2 = irQ_2 + tQ_2 \dots\dots\dots (15)$$

から、透過波による流量 tQ_1 , tQ_2 を差し引く必要がある。これらは、それぞれ透過波が 1 メッシュ間隔 Δs を通過するのに必要な位相差だけ遅れた tQ_{10} , tQ_{20} と考え、次式で与えた。

$$tQ_1 = tQ_{10}^{-\Delta s \sin \beta_2/c} \dots\dots\dots (16)$$

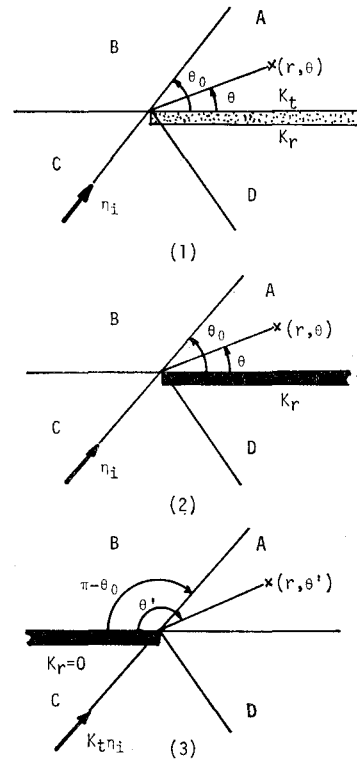
$$tQ_2 = tQ_{20}^{-\Delta s \sin \beta_1/c} \dots\dots\dots (17)$$

こうして、透過のある場合の境界条件が与えられる。他の計算方法は、谷本らの数値波動解析法と同じである。

なお、ここで述べた透過がある場合の防波堤による波の変形の数値計算法の妥当性を検討するための水理実験が不可能であったので、ここでは Penny and Price⁶⁾ の不透過完全反射半無限堤による波の回折の厳密解をもとにして、任意反射率・任意透過率の半無限堤による波の変形の近似解を求め、これと比較する。

4. 任意反射率・任意透過率の半無限堤による波の変形の近似解

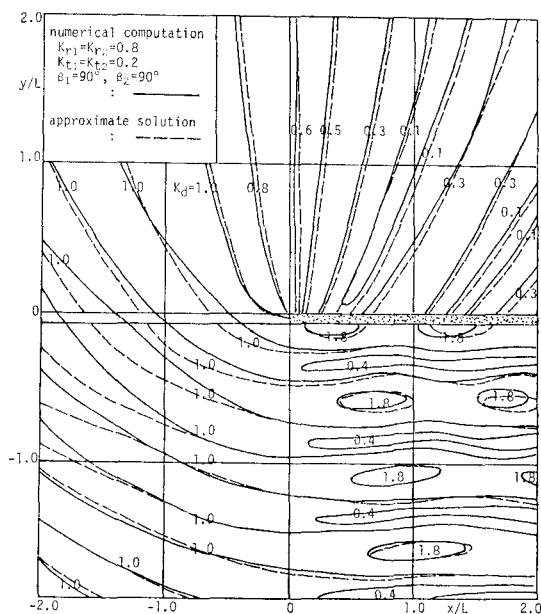
図—2 の (1) のように反射率 K_r 、透過率 K_t の右側半無限堤に入射角 θ_0 で波が入射する場合を考える。この場合の波の変形を、(2) の反射率 K_r の不透過半無限堤による回折と、(3) の仮想的な反射率 0 の左側不透過半無限堤に振幅が本来の入射波の振幅の K_t 倍の波が $\pi-\theta_0$ の入射角で入射する場合の回折との和と考える。ただし (3) の場合の防波堤前面すなわち C , D 領域での入射波成分は除去する必要がある。(2) の場合については、すでに高山・神山⁴⁾がその近似解を求めている。彼らは Penny and Price が求めたラプラスの式を満たす速度ポテンシャル $\phi = A \cosh k(z+h) \cdot F(r, \theta) \cdot e^{i\omega t}$ の F の解を変形し、入射波に関する項と反射波に関する項に分け、反射率が K_r の場合は反射波に関する項に K_r を乗じて次式を得た。



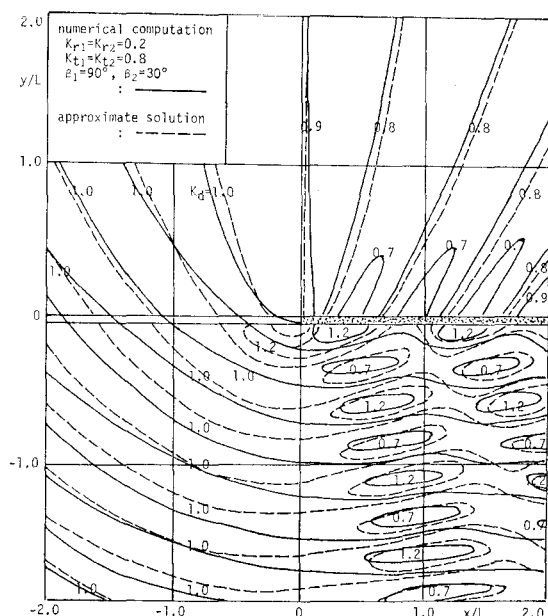
図—2 任意反射率・任意透過率の半無限堤

面での回折波の進行方向を考えると、防波堤背面近傍では背面に沿って進行すると考えられ、 $\beta_2=0^\circ$ が妥当と考えられるが、実際に計算を行ってみると、堤体近傍で極端に大きな波高が得られたので、以後は検討しなかった。

図—4 (1), (2) は、4 種類の反射率、透過率の値の組み合わせのうちの 2 種類について、 β_2 の値による波高



(1)



(2)

図—5 任意反射率・任意透過率の半無限防波堤による波浪変形の数値計算例 (無限領域、直角入射)

比分布の相違を示している。検討は、防波堤背後の $y/L=+0.0$ の他に $y/L=1.0$ および防波堤直角方向の $x/L=1.0$ についても行ったが、ここでは $y/L=+0.0$ についてのみ示している。(1) は透過率が 0.2 の場合である。図中の曲線は、4. で述べた任意反射率・任意透過率の半無限堤による波の変形の近似解である。図から明らかに、 β_2 の値の相違による数値解の相違はほとんどなく、近似解とほぼ一致している。あえて言えば $\beta_2=90^\circ$ の場合が最も近似解に近い。ここに示していない透過率が 0.4 の場合は、数値解の間での相違および近似解との相違いずれも、透過率 0.2 の場合よりやや大きくなり、堤体背後に沿う数値解の変動の振幅の方が近似解の振幅よりも大きい。この場合も、数値解のうち振幅が最も小さく近似解に近いのは $\beta_2=90^\circ$ の場合である。同様にここに示していない透過率が 0.6 の場合、 $\beta_2=45^\circ$ と 75° の結果は堤体背面に沿う先端から約 1 波長間で非常に大きい波高比を示した。ただし堤体からその背後に一波長離れた堤体に沿う方向 $y/L=1.0$ では、 $\beta_2=45^\circ, 75^\circ$ の場合も $\beta_2=30^\circ, 90^\circ$ の場合と同程度の値を示しており、極端に大きい値が生じるのは防波堤背後の限られた領域においてのみである。いずれにせよ、この場合は $\beta_2=90^\circ$ よりも 30° の方が近似解に近い。最後に図の (2) は透過率 0.8 の場合である。この場合は $\beta_2=75^\circ, 90^\circ$ の場合に、堤体背後の限られた領域で極端に大きい波高比が生じているので示していない。この場合は $\beta_2=30^\circ, 45^\circ$ のいずれの場合も同程度の値を示している。

6. 数値計算例

図—5 (1), (2) は、5. での β_2 の値に関する検討結果をもとに、透過率が 0.5 より小さいときは β_2 を 90° に、0.5 以上では 30° にとって数値計算した、無限領域中の透過性半無限堤に直角入射した場合の波高比分布を、4. の近似解と比較したものの例である。ここに示さなかった透過率が 0.4, 0.6 の場合も含めて、一般に防波堤背後および前面においては、数値計算結果と近似解とはほぼ一致している。

なお、この研究は文部省科学研究費 (試験研究) による研究の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 佐藤昭二・合田良実: 海岸・港湾, I, 3.6.2 折返し回折図法, 彰国社, pp. 72-77, 1971.
- 2) Barailler, L. and P. Gaillard: New developments in mathematical models of sea waves: Calculation of wave diffraction over an uneven bottom, Translation No. 69-3, U.S. Army Engineer Waterways

- and Experiment Station, Corps of Engineers, 1969.
- 3) 谷本勝利・小舟浩治・小松和彦: 数値波動解析法による港内波高分布の計算, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 35-38, 1975.
- 4) 高山知司・神山 豊: 不規則波の回折計算, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 112-116, 1977.
- 5) 井島武士・周 宗仁・湯村やす・田淵幹修: 任意形状の透過および不透過防波堤による波の散乱と波力, 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 79-88, 1973.
- 6) Penny, F. R. S. and A. T. Price: Part 1, The diffraction theory of sea waves and the shelter afforded by breakwater, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A. 244, pp. 236-253, 1952.
-