

II-350

放物型方程式を用いた透過性構造物周辺の不規則波浪場の数値計算法

東亜建設工業(株)

正会員○早川 淳

東京大学 工学部

〃 磯部 雅彦

(社) 水産土木建設技術センター

三橋 宏次

静岡市水産漁港課

海野三津男

1. はじめに

これまで侵食防止や波浪低減効果を得るために、離岸堤や潜堤などの透過性構造物の建設が数多く行われてきた。透過性構造物を平面波浪変形計算で取り扱う場合、計算される水面変動に所定の透過率を乗じて境界条件として取り扱う方法が一般的であった。ここで波が構造物を透過する現象は、構造物を通過する間にエネルギーを消費し、結果として透過後の波高減衰を生じるものと考えられる。そこで本研究では、この物理現象にそった考えで、透過性構造物をエネルギー減衰帯で取り扱った、新たな簡易的計算手法を提案することを目的とする。本研究では平面波浪場に対する波の変形として重要な波の屈折、回折、砕波を取り扱え、実務向きと考えられる放物型方程式を用いて検討を行った。

2. 算定式の誘導

いま、磯部(1986)が提案した波向線座標系による放物型方程式に、透過性構造物によるエネルギー減衰係数を組み込むこと考える。エネルギー減衰係数 f_b の評価は、透過性構造物に波が直角に入射する1次元状況において所定の透過率を得るように定める。すなわち、まず波峯方向を無視した基礎方程式を考える。

$$2iK_\xi \frac{1}{h_\xi} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + \left(k^2 + k_\xi^2 - 2K_\xi k_\xi + i \frac{\omega}{G} f'_D \right) \psi = 0 \quad (1)$$

ここに、 (ξ, η) 、 (h_ξ, h_η) はそれぞれ波向き線方向および波峰線方向座標およびそのスケールファクター、 $G = c c_s$ (c : 波速、 c_s : 群速度)、 ω は角周波数、 i は虚数単位、 k , K は実水深および平行等深線で近似した仮の水深に対応する波数を表している。また、 f_b は透過性構造物によるエネルギー減衰係数である。ここで、 ξ 方向の差分を長さの次元をもたせて行うために、 $\Delta x = h_\xi \Delta \xi$ と置くことにより、式-(1)は次式のように差分化される。

$$2iK_\xi \frac{\psi_2 - \psi_1}{\Delta x} + \left(\alpha + i \frac{\omega}{G} f'_D \right) \frac{\psi_1 + \psi_2}{2} = 0 \quad (2)$$

$$(\alpha = k^2 + k_\xi^2 - 2K_\xi k_\xi)$$

上式を ϕ_2 について解くと以下の関係が得られる。

$$\psi_2 = \left\{ \frac{2iK_\xi}{\Delta x} - \frac{1}{2} \left(\alpha + \frac{\omega}{G} i f'_D \right) \right\} / \left\{ \frac{2iK_\xi}{\Delta x} + \frac{1}{2} \left(\alpha + \frac{\omega}{G} i f'_D \right) \Delta x \right\} \psi_1 = A \psi_1 \quad (3)$$

つまり、式-(3)における係数部 A は距離 Δx 伝播する間に失われるエネルギー減衰率を表している。いま、図-1に示すような幅 B を持つ透過性構造物を考える。この場合、透過性構造物内の計算点数 n は計算格子間隔 Δx との関係から $n = B / \Delta x$ となる。これより、構造物通過後すなわち n ステップ後に、所定の透過率(K_T と置く)を得るためには、 $|A|$ との K_T の間には以下の関係が成立する必要がある。

$$|A| = K_T^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

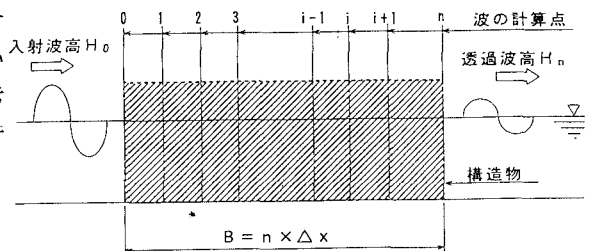


図-1 構造物と計算点

よって、透過性構造物に対するエネルギー減水係数 f_b は式-(3)、(4)より次式となる。

$$f_D' = \frac{4K_t G}{\omega} \frac{\left(1 - K_T^{\frac{1}{n}}\right)}{\left(1 + K_T^{\frac{1}{n}}\right)} \frac{n}{B} + \frac{G\alpha^2}{16\omega K_t} \frac{1}{K_T^{\frac{1}{n}}} \frac{n}{B} \quad (5)$$

また、 α は仮の波数と真の波数との差による補正項で、その絶対値が小さいものとする、以下のように表される。

$$f_D' \approx \frac{4K_t G}{\omega} \frac{\left(1 - K_T^{\frac{1}{n}}\right)}{\left(1 + K_T^{\frac{1}{n}}\right)} \frac{n}{B} \quad (6)$$

式-(6)は透過性構造物の幅の違いにかかわらず、構造物通過後に所定の透過率が得られる。数値計算においては計算点が透過性構造物内に位置する場合は式-(6)で得られる減衰係数を用いて計算を行い、それ以外の計算点ではこれまでの砕波による減衰係数を用いて計算する。また、不規則波の計算においては式-(6)中の K 、 G 、 ω はピーク周波数に対応する値を用い、 K_T は各成分波に対して一律の値を用いている。

3. 計算結果

はじめに式-(6)の妥当性を確認するために透過による波高変化のみを考えた次元一定水深における計算を行った。図-2は幅10mの透過性構造物通過前後の波高変化を示している。これより構造物通過後の波高は所定の透過率に相当する波高変化を示している。つぎに、砕波を含む計算結果を示したものが図-3である。ここでは砕波点の位置を変化させるために、一様勾配斜面（1/50）上で入射波高を変化させて計算を行った。これより砕波位置の違いにかかわらず構造物を通過した波は所定の透過率に対応する波高を示していることがわかる。本モデルは透過堤のみならず不透透堤への適用も可能である。そこで、 $K_T = 0$ と置くことにより半無限堤背後の回折について解析解との比較を行ったものが図-4である。図中の破線が解析解を、実線が数値解をそれぞれ示している。防波堤の直背後では回折波による波の回り込みが再現できないため、両者に相違が見られるが、それ以外のところでは両者は一致している。最後に、現地への適応例を示す。静岡県用宗海岸にて離岸堤（幅約10m、全長約100m、消波ブロック積み）周りの波浪観測を約1ヶ月にわたり行った。図-5は離岸堤背後の波高と入射波高との関係を示したものである。図中の・印が観測結果を表し、○印は透過率0.4、△印は0.6とした場合の計算結果を示している。これにより当離岸堤の透過率としては0.4程度であることがわかった。

4. おわりに

放物型方程式に透過性構造物をエネルギー減衰帯として取り扱った新たな算定法を組み込み、数値計算によりその妥当性を検討した。さらに現地データとの比較により、現地離岸堤の透過率について明らかにした。

【参考文献】磯部：放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・砕波変形の計算法，第33回海岸工学講演会論文集，pp134-138，1986

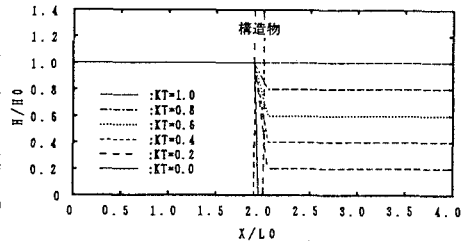


図-2 透過率の違いによる波高変化

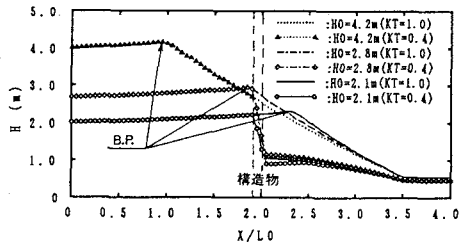


図-3 一様勾配斜面における波高変化

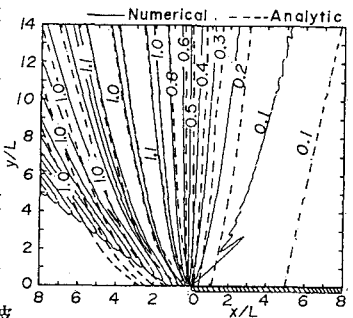


図-4 回折の解析解と数値解の比較

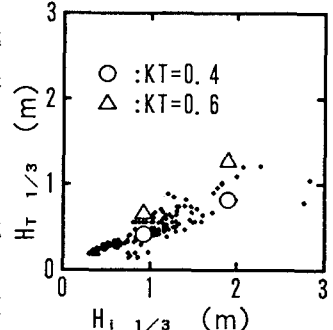


図-5 透過波高と入射波高の関係