II-356　港内静穏度における水理実験と数値解析の比較

日本テトラポッド(株)　正員　小沢保臣
日本テトラポッド(株)　正員　○三橋紀男

1. まえがき

適切な港湾施設の配置を検討するためには、港内波高の分布特性を十分把握しておく必要がある。従来、この種の問題解決には、主として水理模型実験により検討が行われてきたが、近年電子計算機の急速な進歩にともなって、数値モデルによる港内波高分布の計算法が研究開発され、今日では実際の港湾（漁港）の解析にも広く用いられるようになってきた。

数値解析法には、波の伝播過程を逐次計算する数値波動解析法[1]、Green関数を用いて解く方法[2]等がある。著者らはこれらの方法のうち最も実用的と考えられるGreen関数を用いた"ソブレア方式[2]"を改良し、汎用性のあるプログラムの開発に努力してきたが、今回実際の応用例として相馬港および大洗港にこの計算法を適用し、水理模型実験結果との比較からその実用性の検討を行ったのでここに報告する。

2. 計算方法

任意形状の港湾における港内の波高分布を求める計算方法を計算領域が一様水深の場合について述べる。自由表面の水位変動 $\zeta(x,y,t)$ は、微小振幅波理論により(1)式のように表わされる。

$$\zeta(x,y,t)=\bar{\zeta}(x,y)\cdot e^{-i\sigma t} \qquad (1)$$

ここに、$\sigma={}^{2\pi}/_{T}$，$i=\sqrt{-1}$

計算領域が凸形状の場合、この領域内における任意の点Iの水位（x,y）は、境界上K点の内向き法線の水位勾配 $\partial\bar{\zeta}/\partial n$ からGreen関数を用い(2)式のように表わされる。また、境界上J点の外向きの水位勾配 $\partial\bar{\zeta}^*/\partial n$ は(3)式で与えられる。

$$\bar{\zeta}_I=\sum_{K=1}^{N}S_{IK}\left(\frac{\partial\bar{\zeta}}{\partial n}\right)_K \qquad \text{----------} \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial\bar{\zeta}^*}{\partial n}\right)_J=\sum_{K=1}^{N}R_{JK}\left(\frac{\partial\bar{\zeta}}{\partial n}\right)_K \qquad \text{-----------} \quad (3)$$

Green関数を含む S_{IK}，R_{JK} は領域の形状によって決まるが、半平面の場合にはHankel関数を用いた次式で表わすことができる。

$$S_{IK}=\begin{cases}-\dfrac{i}{2}H_0^{(1)}(kr_{IK})\,\Delta S_K & (r_{IK}\neq 0) \quad \text{----} \ (4)\\[2ex] -\dfrac{i}{k}\,\bar{P}\left(\dfrac{k\cdot\Delta S_K}{2}\right) & (r_{IK}=0) \quad \text{----} \ (4')\end{cases}$$

$$\bar{P}(x)=\int_0^x H_0^{(1)}(u)\,du$$

$$R_{JK}=\begin{cases}-\dfrac{ik}{2}H_1^{(1)}(kr_{JK})\cos\psi_{JK}\,\Delta S_K & (J\neq K) \quad \text{---} \ (5)\\[2ex] 0 & (J=K) \quad \text{---} \ (5')\end{cases}$$

ここに、ΔS_K：Kを中点とする境界要素の長さ，N：要素数，$H_0^{(1)}(x)$：0次第1種のHankel関数，$H_1^{(1)}(x)$：1次第1種のHankel関数，$k={}^{2\pi}/_{L}$，r_{IK}，r_{JK}：それぞれ点IK，JKの距離，ψ_{JK}：点Jにおける境界線の法線とJKとのなす角である。一方、境界条件は、(a)沖側の境界上では入射波の諸元（$\partial\bar{\zeta}/\partial n$，位相）を与える。(b)仮想境界上では $\partial\bar{\zeta}/\partial n=-\partial\bar{\zeta}^*/\partial n$，また防波堤等の反射率をKrとすれば、$\partial\bar{\zeta}/\partial n=-Kr\cdot\partial\bar{\zeta}^*/\partial n$ なる関係が成り立つものとする。以上、(3)式および境界条件(4)，(5)式から反復計算により $\partial\bar{\zeta}/\partial n$ を求め、(2)式から港内の波高分布が計算される。なお、上式は凸形状の領域にのみ適用できるものであることから、実際には港湾をいくつかの凸形状

の領域に分割して計算することになる。

3. 解析結果

これまでに実験結果が得られているいくつかの港湾について計算精度の検証を行ってきたが、ここではその一例として相馬港ならびに大洗港の解析結果を示す。実験値は規則波によるもので、計算値との比較を行うために越波による伝達波高はないものとした。

計算に用いた境界上の反射率は既往の実験結果等を参考に決定し、直立構造の反射率(Kr)は90%、消波工のKrは30%として計算した。計算対象領域は、先に述べたように凸形状のいくつかの小領域に分割され、これらの小領域はさらに小さな線分要素(ΔS)に分割される。この線分要素の長さと波長(L)との比は港内波高の計算精度に関係するが、実験値との照合の結果、ΔSをL/4以下とすれば十分な精度が得られることがわかっているので、今回の計算ではΔSをL/4とした。また、港内の波高計算点の格子間隔は、L/4とした。

図-1・a),b)は相馬港の港内波高を実験値と比較したものである。実験および計算結果は、入射波高を1.0としたときの港内静穏度を等波高比線で表わしたものである。計算値は港内水深を一様(-7.5m)として計算したものであるが、同図より明らかなとおり両結果はほとんど一致しているといえる。

図-2・a),b)は大洗港の解析結果を実験値と比較したものである。港奥部および沖防波堤背後で計算値の方が若干大きな値を示すものの、全体的にはほぼ満足できる結果が得られている。

4. 結語

水理模型実験との比較により計算精度の検証を行った。その結果、本計算手法の実用性が確認された。今後は、任意水深領域の計算手法を検討し、その実用化を図る予定である。最後に本計算を行うにあたり、お世話になった福島県相馬港湾建設事務所ならびに茨城県三浜港湾事務所の方々に深謝の意を表するものである。

参考文献: 1) 谷本勝利, 小舟浩治: 数値波動解析法による港内波高分布の計算, 第22回海講, 1975.

2) L. Baraillet, P. Gaillard: Evolution récente des modéles mathématiques d'agitation due a la houle. Calcul de la diffraction en profondeur non uniforme, La Houille Blanche. No.8 1968.

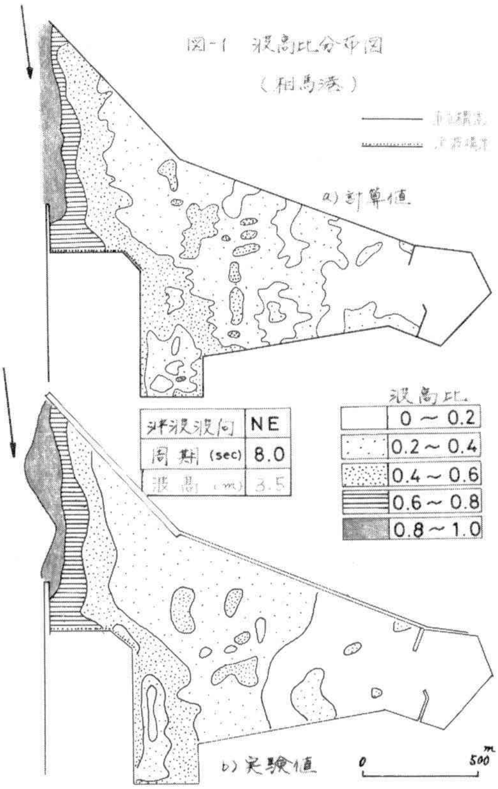

図-1 波高比分布図 (相馬港)

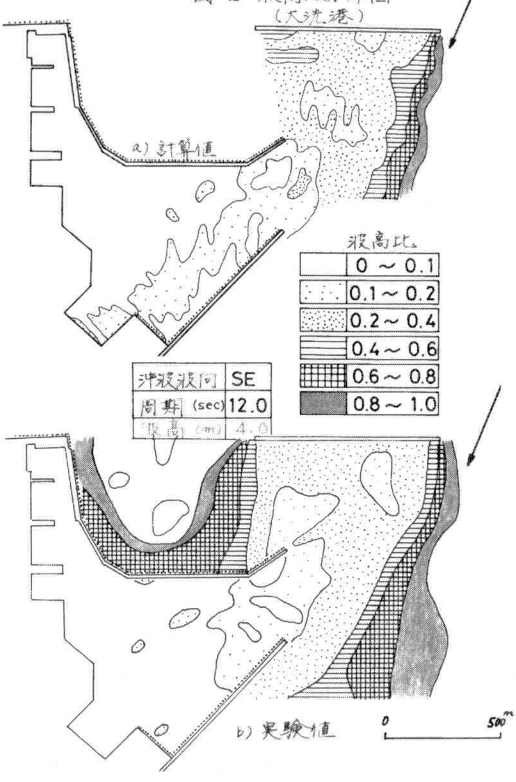

図-2 波高比分布図 (大洗港)