

Ⅱ-2

非定常緩勾配方程式を用いた港内波高分布の計算

筑波大学大学院 学生員 郭 文秀
 韓国明知大学工学部 片 宗根

1. はじめに

港湾周辺での波の屈折・回折および反射に関して、理論的な研究が進んできたが、総合的な波高分布の推定は主に水理模型実験によって行われてきた。しかしながら、実験には多大な経費と労力を要するため、計算機の進歩に伴い、波高分布の計算に向けて各種の数値計算法が提案され、様々な計算対象に対応できるようになった。本研究では、静穏水域を波が進行する場合を想定し、静水状態から出発して、時間ステップ毎に差分計算を繰り返す方法によって、最終的な定常状態の解を求める。ここでは、流速を海底から水面まで積分した非定常緩勾配方程式を基礎方程式とする。また、港湾構造物の反射条件を考慮するため任意反射率境界の計算法を導入し、その際に必要な境界での波向を線流量楕円と水面変位の関係から決定する。実際の港湾に対しての計算結果を水理模型実験の結果および高山モデルに基づく計算結果と比較し、本モデルの妥当性を検討する。

2. 基礎方程式

緩勾配方程式は、屈折・回折・反射を同時に扱うことができるが、2階楕円型の偏微分方程式であり、数値的に扱いにくい。そこで、緩勾配方程式との等価性を保ちつつ、数値的に取り扱いやすい形としたものが非定常緩勾配方程式である。西村ら(1983)は流速を水深方向に積分した線流量を導入することにより、緩勾配方程式を、運動方程式と連続式に相当する1階の連立偏微分方程式系に変換した。この式を本モデルの基礎方程式とし、時間ステップ毎に数値計算を行う。

$$\frac{\partial \bar{Q}}{\partial t} + C^2 \nabla \eta = 0$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla \cdot (n \bar{Q}) = 0$$
(1)

ここに、 $\bar{Q}$ は海底勾配の0次のオーダーを満たす線流量ベクトル、 η は水面変位、 C は波速、 n は浅水度係数である。一方、緩勾配方程式との等価性よりも線流量の物理的意味合いを重視した渡辺ら(1984)の類似のモデルも存在する。

3. 数値計算および他方法との比較

数値計算法としては、基礎方程式(1)を Staggered mesh scheme を用いて離散化し、差分法を用いた。計算対象港湾は韓国の厚浦港(図-1)である。この港の3次元地形図を図-2に示す。計算結果の比較のために、港内域を図-3のように区分する。

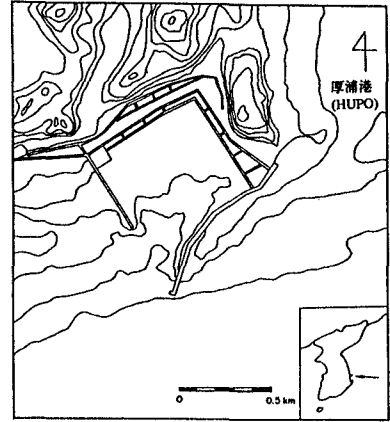


図-1. 厚浦港の平面図

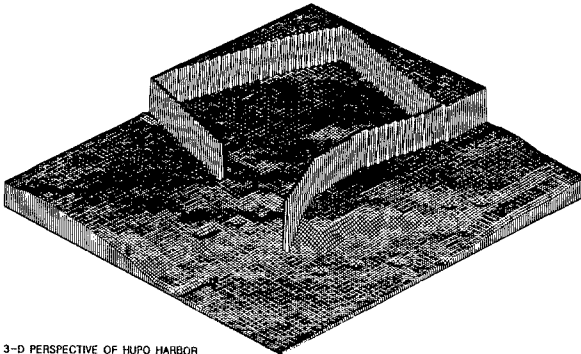


図-2. 厚浦港の3次元透視図

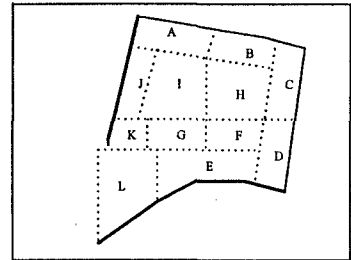


図-3. 港内域の区分

キーワード：港内波高分布、波浪変形、数値計算法、非定常緩勾配方程式、水理模型実験

連絡先：〒305 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学構造工学系西村研究室, TEL. 0298 (53) 5486, FAX. 0298 (53) 5207

計算条件としては、1988年の施工完成時(CASE 1)、および主防波堤と副防波堤をそれぞれ100mずつ延長した後(CASE 2)の2ケースを考える。計算格子は間隔を8.33mとして160本×157本の直交格子とした。計算時間間隔は $\Delta t = 0.25$ sec, 入射波の周期は14.0sec, 入射波高は1.0m, また外海領域の水深は24.0mとし、反射率は直立構造物境界では0.9, 消波構造物境界では0.4とした。

本モデルによるCASE 1および2の計算値を、それぞれ表-1および2に示した。表中の値は比波高の区域別平均値である。ここに、比波高とは局地的な波高の入射波高に対する比である。

表-1. 平均比波高の比較(CASE 1)

区域	水理模型実験		高山 モデル	本 モデル
	不規則波	規則波		
L	0.31	0.21	0.24	0.19
K	0.38	0.29	0.18	0.31
J	0.22	0.15	0.20	0.27
A	0.22	0.18	0.19	0.19
B	0.21	0.28	0.15	0.13
C	0.23	0.16	0.19	0.13
D	0.19	0.18	0.17	0.12
E	0.15	0.09	0.14	0.10
G	0.21	0.34	0.16	0.20
I	0.22	0.19	0.19	0.22
H	0.21	0.21	0.16	0.12
F	0.17	0.18	0.19	0.19

表-2. 平均比波高の比較(CASE 2)

区域	水理模型実験		高山 モデル	本 モデル
	不規則波	規則波		
L	0.24	0.26	0.23	0.21
K	0.16	0.23	0.12	0.21
J	0.12	0.07	0.10	0.12
A	0.14	0.08	0.12	0.13
B	0.17	0.08	0.11	0.11
C	0.13	0.11	0.15	0.12
D	0.13	0.11	0.13	0.08
E	0.10	0.08	0.11	0.08
G	0.13	0.19	0.13	0.13
I	0.12	0.10	0.14	0.14
H	0.12	0.12	0.14	0.13
F	0.11	0.13	0.15	0.13

CASE 1(表-1)について、本モデルと韓国建設部国立建設実験所で実施した水理模型実験(1988)の結果を比較すると、全般的によく一致していることがわかる。双方でE領域の比波高が小さいのは、港口部での回折における遮蔽領域に当たるためである。本モデルの計算結果で、J領域の比波高が比較的大きくなっているのは、港口での回折波がK, J部分の防波堤に沿って直接港内に進入するためである。

本モデルと半無限堤のSommerfeldの解析解を重ね合わせる近似解を用いる高山モデル(1981)の計算結果を比較すると、K, J領域で多少差異が現れているものの、全般的には類似の結果が得られている。また、CASE 2(表-2)を見ると、比波高が全般的に小さくなっており、防波堤延長の効果が確認される。

4. 結論

非定常緩勾配方程式を基礎方程式とし、任意反射率境界を考慮した本モデルの計算結果は、水理模型実験の結果とよく一致し、高山モデルによる計算結果とも類似している。比較的規模が小さく、多重反射が生じるような港湾を対象する場合、本モデルは有用と思われる。

参考文献

- 1) 伊藤喜行, 谷本勝利, 1971. 数値波動解析法とその応用-構造物周囲の波, 第18回海岸工学講演会論文集, 67-70.
- 2) 高山知司, 1981. 波の回折と港内波高分布に関する研究, 港湾技研資料, No. 367.
- 3) 西村仁嗣, 丸山康樹, 平口博丸, 1983. 直接数値積分による波の場の解析, 第30回海岸工学講演会論文集, 123-127.
- 4) 丸山康樹, 鹿島達一, 1985. 砕波減衰を考慮した砕波帯内外の波浪場計算法の提案とその適用, 電力中央研究所報告書, No. 384041.
- 5) 渡辺 晃, 丸山康樹 1984. 屈折・回折・砕波減衰を含む波浪場の数値解析法, 第31回海岸工学講演会論文集, 103-107.
- 6) 韓国建設部国立建設実験所, 1988. 厚浦港水理模型実験報告書.
- 7) Berkhoff, J.C.W., 1972. Computation of combined refraction-diffraction, Proc. 13th, ICCE, ASCE, 471-490.
- 8) Copeland, G.J.M., 1985. A practical alternative to the mild slope equation, Coastal Eng., 9, 125-149.