# 重み付差分-境界要素結合法による透過型潜堤の数値解析

加納正道	九州産業大学 正員	中村直史	正員	九州産業大学
黒木健実	福岡大学 正員	奥薗英明	正員	九州産業大学
赤坂順三	九州産業大学 正員			

# 1.はじめに

筆者らは、これまでに透過型潜堤による消波効果の解析を取り上げ、自由表面を含む問題を境界要素法(B EM)を用いて解析を行った<sup>1)</sup>。更に、透過型潜堤の間隙を通過する回転流や乱流の影響を把握する目的で、 自由表面流れ問題に重み付差分法(WFDM)を適用し、WFDMとBEMを結合した解析手法について検討を 行い、重み付差分-境界要素結合法として提案<sup>2)</sup>を行っており、本報では、数値解析結果を模型実験結果との 比較・検討することで、数値解析手法の有効性を示す。

#### 2. 二次元造波模型実験

透過型潜堤実験は、図1に示すような二次元造波模型装置を用いて行った。堤体条件に関しては、直立潜堤の天端のみにスリットを設けたもの、天端および側壁部両面にスリットを設けたもの、三種類の模型<sup>1)</sup>を一つずつ用いて比較を行った。入射波は、規則波でかつ非砕波を対象とし、その他の実験条件については文献2)に示しているが、水深hは37 cm、周期Tは1秒程度とした。



図2 解析領域

また、潜堤の前後に波高計を設置して、入射波高、伝達波高を測定し、伝達率を求めた。更に、潜堤周辺の 流況把握のためフロートを投入し、VTR撮影を行った。なお、フロートの動きを明確に把握するためにブラ ックライトを用いて撮影を行っている。

### 3. 重み付差分-境界要素結合法

実験結果を再現するための数値解析手法として、渦なし流 れ領域に BEM を用いるが、透過型潜堤近傍の領域について は、渦あり流れとして WFDM を適用する重み付差分-境界要 素結合法を用いる。その解析領域を図2に示している。

## 3.1 基礎方程式

BEM 解析領域(すなわち二次元渦なし流れ領域)では、 時間依存型の速度ポテンシャル (x,z,t)に関する Laplace 方 程式を用い、WFDM 解析領域(すなわち二次元渦あり流れ 領域)においては、連続の式と Navier-Stokes 方程式を用い る。



キーワード 数値流体力学,透過型潜堤,重み付差分法,境界要素法,移動境界問題

連絡先 〒813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1 九州産業大学工学部都市基盤デザイン工学科 TEL 092-673-5688

# 3.2 境界条件

WFDM解析領域とBEM解析領域との接合境界 (すなわち ro-irro, irro-ro)における境界条件について 示す。 ro-irro上では、BEM側のポテンシャル から 計算される流速値(u, w)とベルヌーイの圧力方程式 より示される圧力(P)(式(2))で接続する条件として 与え、 irro-ro上では、WFDMより得られる流速値un をもとにBEMにフラックスに関する条件(式(3)) を与えた。ここにu,wはそれぞれx,z方向の流速成分 を表し、gzは重力加速度、また法線方向をnで示して いる。(その他の境界条件については、文献 2)に記述 している。)

$$\phi^{t+\Delta t} = \phi^{t} + \Delta t \{ 1/2(u+w) + g_{z}w + P/\rho \}$$
ro-irro $\pm$  (1)  
$$P = \rho \{ (\phi^{t+\Delta t}, \phi^{t}) / \Delta t - 1/2(u+w) - g_{z}w \}$$
ro-irro $\pm$  (2)

$$\partial \phi / \partial n = -u_n$$
 irro-ro $\perp$  (3)

### 3.3 二次元重み付差分モデル

渦あり流れ領域で流速uを求めるための重み付差 分式を次式(4)に示す。また、式(4)に対応す る重み付差分モデルを図3に示している。ここに、F はNavier-Stokes方程式の非同次項として取り扱っ た圧力項、外力項、粘性項の総和を表している。ま た、a<sub>1</sub>~a<sub>3</sub>, b<sub>1</sub>~b<sub>3</sub>は、重みを表す。(この重みを求 める方法については、文献3)に記述している。)

$$a_{i,j}u^{t} = a_{1} \cdot a_{i,j}u^{t-\Delta t} + a_{2} \cdot a_{i+1,j}u^{t-\Delta t} + a_{3} \cdot a_{i+2,j}u^{t-\Delta t} + b_{1} \cdot a_{i+1,j}F^{t-\Delta t/2} + b_{2} \cdot a_{i,j}F^{t-\Delta t/2} + b_{3} \cdot a_{i-1,j}F^{t-\Delta t/2} + b_{3} \cdot a_{i-1,j}F^{t-\Delta$$

#### 4.自由表面問題へのWFDMの適用について

図4にWFDM解析による波の伝播状況を示す。 WFDMに不規則な四辺形格子を採用することで、 時々刻々と変化する水面を表現することができ、 その結果、波が良好に伝播される状況が確認でき ている。

### 参考文献

また、図5にWFDM解析による自由水面流れの様 子を示した。波の伝播に伴い、流速ベクトルが回転 し前後往復運動を再現できている。さらに、図6に 潜堤付近の流速ベクトルを示している。図6に示し た時刻では、透過型潜堤のスリット部付近に渦流が 発生しており、これは造波模型実験においても確認 されている。





図6 潜堤付近の流速ベクトル(WFDM解)

#### 5.おわりに

重み付差分法による潜堤解析は、自由表面をとも なう渦あり流れを良好に再現できている。現在、実 験結果などとの比較を行っており、重み付差分-境界 要素結合法を用いた潜堤解析結果および解析結果の 定量的な評価などについては発表時に行う。

1) 加納ら:透過型潜堤による消波効果に関する解析,平成 14 年度土木学会西部支部講演概要集

- 2)加納ら:重み付差分-境界要素結合法による潜堤解析,第58回土木学会年次学術講演会概要集,2003
- 3) 中村ら:二次元重み付差分法の浅海流への適用,土木学会論文集 No.747/II-65,pp.125-134, 2003