

II-85

境界要素法における波浪透過境界条件について

岩手大学○学生員 松村 洋 劉 曉東
正 員 笹本 誠 界 茂樹
正 員 平山 健一

1. はじめに

波動の数値解析に於ける無反射透過境界の設定方法が、いくつか提案されている。良く用いられる境界条件として、Sommerfeldの条件式があるが、定常な波に対しては有効であるが、非定常な波には適用出来ない。そこで、本研究では、境界要素法による波動解析に於ける透過境界条件を検証する。非定常状態に於ける波の透過境界を提案し、その適用性を検証した。

2. 基礎方程式と境界条件

線形波浪場において、領域内の支配方程式と各境界面における境界条件は次式により示す。

$$\text{領域内：} \quad \partial^2 \Phi / \partial x^2 + \partial^2 \Phi / \partial z^2 = 0 \quad (1)$$

自由表面

$$\text{力学的条件：} \quad \partial \Phi / \partial t + g\eta = 0 \quad (2)$$

$$\text{運動学的条件：} \quad \partial \Phi / \partial n - \partial \eta / \partial t = 0 \quad (3)$$

$$\text{底面固定境界：} \quad \partial \Phi / \partial n = 0 \quad (4)$$

$$\text{造波移動境界：} \quad \Phi_n = f(x, z, t) \quad (5)$$

なお、 t は時間、 n は領域内より見て外向きの境界上に立てた法線、 $\eta(x, t)$ は自由表面の形状を表す関数である。

3. 透過境界の設定方法

波が境界面上を透過する条件を与えるとは、次の時間ステップでの境界面上のポテンシャルあるいはその微係数を予測することに他ならない。図-1中の境界面上のA点に於ける $k+1$ ステップでのX方向流速は、

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^{k+1} = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^k + \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) \right\}^k \Delta t \quad (6)$$

で求められるが、右辺第二項を決定する条件はない。そこで、この値を

図-1

他の境界面上での値から近似することを考える。自由表面上では、 k ステップでの Φ 及び $\partial \Phi / \partial t$ は(1)～(5)の条件から既に求められており、図-1中のA点に極めて近いB～C点の間では、

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) \right\}^k = \left\{ \left(\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \right)^k - \left(\frac{\partial \Phi_C}{\partial t} \right)^k \right\} / \Delta x \quad (7)$$

が、計算される。これが、A点での $\left\{ \partial(\partial \Phi / \partial x) / \partial t \right\}^k$ を近似できるものとすれば、 $k+1$ ステップでのA点の $\partial \Phi / \partial x$ が予測できる。以下に示す計算例は、深海波を対象としているので、底面でのx方向流速は0とし、その間を線形近似してあるが、底面に於いても上記の方法を用いれば、浅海波に対しても適用できる。

4. 解析結果

数値計算では、水深1.2m、長さ10mの水路でflap型造波機により、周期1秒の規則波を発生させた。時間ステップは、周期の1/20である。

図-2は、水路端を固定境界面とした場合と透過境界面とした場合の比較であり、造波後、5.15、20秒後の空間波形を示してある。固定境界面の場合は境界面付近から次第に波高が増大し、反射波の影響が現れるのに対し、透過境界面の場合には波形がほぼ一定に保たれている。

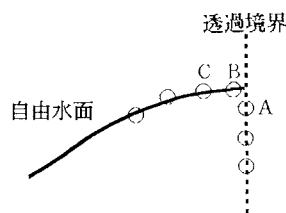


図-3は、水路長を30mとし、水路端を固定境界とした場合の20秒後の空間波形である。この時点では、固定境界からの反射波は造波機から10mまでの区間にまでは達していないので、この間の波形は定常進行波のものとみなせる。水路長さ10mの透過境界面での結果とこれを比較すると、位相が若干ずれているものの、良く一致しており、本方法が透過条件として有効であることを示している。

5. あとがき

本研究で提案した境界要素法に於ける透過境界条件の設定方法は、改良すべき点は残されているものの有効であることが示された。この方法を用いることにより、狭い計算領域でも反射波の影響を受けずに計算が出来るため、計算時間を短縮することが出来る。また、砕波を含む現象の場合には砕波が発生すると計算を持続できなくなるが、砕波点直前に透過境界面を設定することによって数値解析することが可能となる。

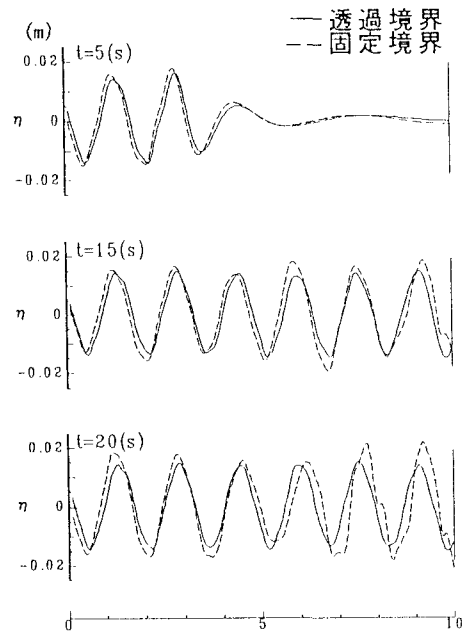


図-2

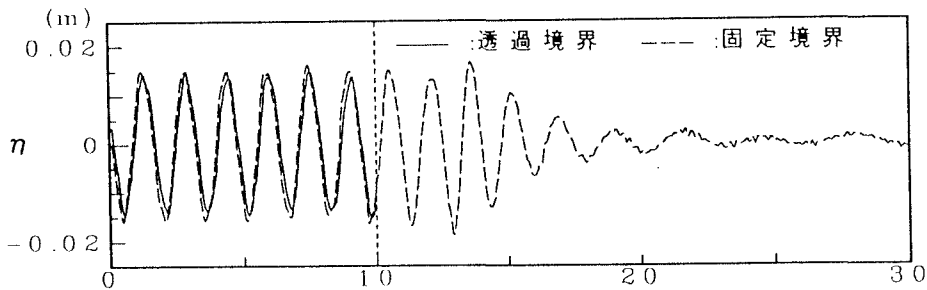


図-3

参考文献

- 1) 日野幹雄・仲座栄三：数値波動解析における新しい無反射境界スキームの平面二次元問題への適用，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 262～266，1988.
- 2) 大山 巧・灘岡和夫：数値波動水槽における開境界処理のための数値消波フィルターの開発，第37回海岸工学講演会論文集，pp. 16～20，1990.