

京都大学工学部 学生員 ○本多 和彦
 京都大学防災研究所 正会員 間瀬 肇
 京都大学防災研究所 フェロー 高山 知司

1. はじめに

浅海域を伝播する波は水深変化や構造物の影響を受け、屈折、浅水変形、回折、反射および碎波変形などの波浪変形が起こる。このような波浪変形を推算・予測することは、海域に存在する構造物の設計外力評価や漂砂・海浜変形の解析における外力評価を行うにあたって重要なことである。また、実際の海洋波は多方向不規則波であるので、波浪変形の推算を行う際には、波の不規則性や多方向性を考慮しなければならない。本研究では任意水深地形における入反射波の相互干渉を考慮した KP 方程式を用いて、数値計算モデルを導出する。また、鉛直壁前面のステム波の発達および人工島前面における入反射波の干渉に関する解析を行う。

2. 任意海底地形上の空間発展型連立 KP 方程式

以下の入反射波の相互干渉を考慮した任意海底地形上の空間発展型連立 KP 方程式を用いて、数値モデルを導出した。

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_n}{\partial x} - in(k_1 - \hat{k}_1)A_n + \frac{(Cg_n)_{x'}}{2Cg_n}A_n - ink_1 \left(\sqrt{\frac{k_n h}{\tanh k_n h}} - 1 \right) A_n - i \frac{\{(CCg)_n A_{n_y}\}_y}{2(kCCg)_n} \\ + \frac{3ink_1}{8h} \left(\sum_{l=1}^{n-1} A_l A_{n-l} + \sum_{l=1}^{N-n} A_l^* A_{n+l} \right) - \frac{(Cg_n)_{x'}}{2Cg_n} B_n \exp(-2ink_1 x) + \alpha_n A_n = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B_n}{\partial x'} - in(k_1 - \hat{k}_1)B_n + \frac{(Cg_n)_{x'}}{2Cg_n}B_n - ink_1 \left(\sqrt{\frac{k_n h}{\tanh k_n h}} - 1 \right) B_n - i \frac{\{(CCg)_n B_{n_y}\}_y}{2(kCCg)_n} \\ + \frac{3ink_1}{8h} \left(\sum_{l=1}^{n-1} B_l B_{n-l} + \sum_{l=1}^{N-n} B_l^* B_{n+l} \right) - \frac{(Cg_n)_{x'}}{2Cg_n} A_n \exp(-2ink_1 x') + \alpha_n B_n = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 A_n, B_n はそれぞれ入射波および反射波に関する成分波の複素振幅、 $\hat{k}_1$ は基本波数の代表値、 C は成分波の波速、 Cg は成分波の群速度、 h は水深、 N は成分波の個数、 α_n は碎波減衰係数、添字の x, x', y は微分を表し、 x' は座標変換 $x' = -x$ を表す。この KP 方程式は、波形と比べて空間的な変化の緩やかな複素振幅を求めるので、Boussinesq 方程式と比べて格子間隔を広くすることが可能である。さらに、得られた複素振幅を用いて逆フーリエ変換を施すと、経時的な水位変動を求めることが可能であるので、Boussinesq 方程式と比べて計算時間は短くなる。

3. 鉛直壁前面のステム波の発達

実海底地形を対象とした鉛直壁前面における多方向不規則波のステム波の発達(マッハ反射)を数値シミュレーションによって調べ、別途行われた水理実験の結果と比較することで、本理論モデルの妥当性を検証す

る。計算における格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 0.25\text{m}$ ，時間間隔は 0.08 sec ，入射角は 10° および 20° ，周波数スペクトルは Bretshneider-Mitsuyasu 型スペクトル，有義波高は 5.0 cm ，有義波周期は $0.89, 1.12, 1.34$ および 2.00 sec ，方向集中度パラメータ $S_{\max}$ は $\infty, 75$ および 25 とし，これらの諸条件を組み合わせ検証した。図-1には鉛直壁(x 軸)前面の水深分布，図-2および図-3には計算結果の一例を示した。図中の数値は入射有義波高で無次元化した有義波高である。図-2において， $y < 6\text{ m}$ の領域では水深が 20 cm 以上であり浅水変形の影響はほとんど見られないが， $y < 6\text{ m}$ の領域では屈折，浅水変形およびステム波の発達といった影響により複雑な波高分布となっている。また，鉛直壁に沿ってのステム波の波高が $x = 12\text{ m}$ 付近で最大となった後，碎波の影響による波高の減少が見られる。図-3では，鉛直壁直前において鉛直壁に垂直方向に波峰の発達(ステム波)が見られる。図-4は鉛直壁に沿っての波高変化に関する計算結果と実験結果を比較したものである。両者の差異は大きいものではなく，本モデルは多方向不規則波のマッハ反射をかなりよく表現できていることがわかる。

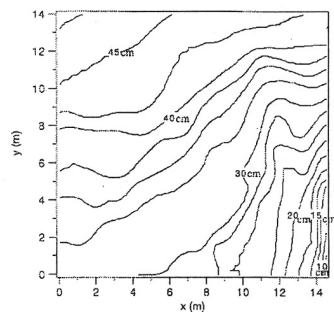


図-1 鉛直壁前面の水深分布

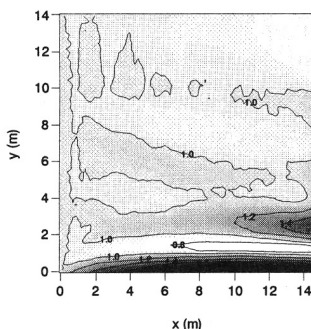


図-2 波高分布 ($S_{\max} = \infty$)

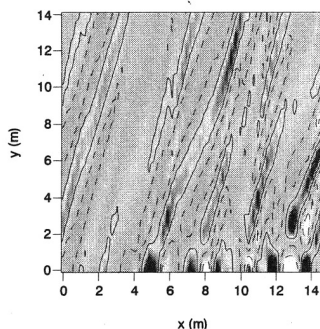


図-3 スナップショット($S_{\max} = \infty$)

4. 入反射波の相互干渉

具体的に大規模人工島周辺の波高分布の計算を行った。計算における格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 10\text{ m}$ ，時間間隔は 0.08 sec ，一様水深 12.0 m とし，対象とする波は一方向波，周波数スペクトルは Bretshneider-Mitsuyasu 型スペクトル，有義波高は 1.0 m ，有義波周期は 10.0 m ，入射角は 20° とした。その計算結果を図-5に示す。人工島の左側には入反射波の相互干渉により波高が増大していることがわかる。また，人工島の上側にはマッハ反射による波高の増大が見られる。さらに人工島の右側には波が回折していることがわかる。

5. あとがき

任意海底地形上における多方向不規則波のマッハ反射に関して，本モデルによる計算結果と実験結果を比較したところ，両者の対応は良好であった。海洋構造物が存在する領域に本モデルが適用可能であることを検証した結果，入射波と人工島からの反射波との相互干渉および回折の影響を表現できていることがわかった。

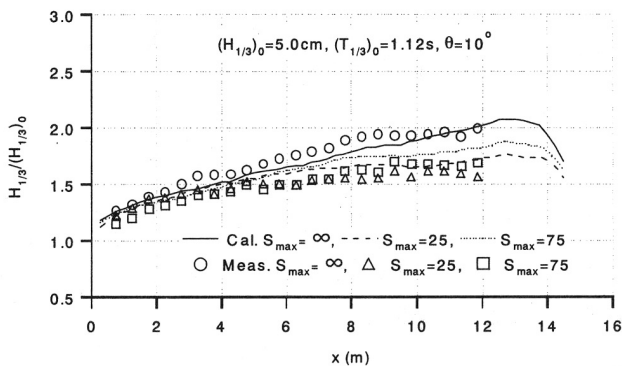


図-4 鉛直壁に沿っての波高分布

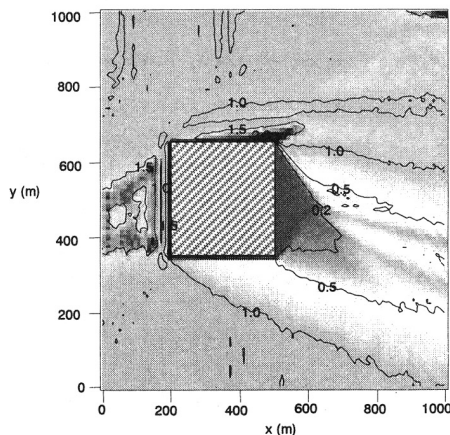


図-5 人工島周辺における波高分布