

1 はじめに

沿岸部に位置する河口低平農地は面積が大きく生産性が高い反面、洪水をはじめ、津波や高潮といった水災害の危険性が高い。このため、河口低平農地における広域的な防災対策には、地区内の災害リスクを適切に評価し、ハザードマップの作成や排水システムの整備を行う必要がある。

一方、有限要素法による洪水氾濫解析で多く用いられている Kawahara et al.¹⁾の移動境界モデルは、解析精度が地盤標高データの精密さに左右される。一般に入手が容易な 50m メッシュ標高データでは、水田地帯などのデータが十分でなく、従来の移動境界モデルでは氾濫域を過大評価する場合がある。著者らは、これまで有限要素法による解析領域の変動に伴い境界部分の要素のみが変形する移動境界アルゴリズムを開発してきた²⁾。本報では、この移動境界アルゴリズムを用いた氾濫解析モデルを構築し、解析精度を検証するとともに、水路から越水する状況の再現を試みた。

2 要素移動アルゴリズムの概要

本報で用いる要素移動アルゴリズムの詳細は文献を参照することとし、ここではアルゴリズムの概要のみを示す。本アルゴリズムでは、水際線上の節点を水際線とともに移動させ、他の節点は固定する。水際線の移動により水際線付近の要素のアスペクト比が閾値を越えた場合、図 1 の例のように近傍の節点を水際線上に移し、移動していた節点を初期の位置に戻す操作を行う。水際線の移動に伴い、水際線上の節点のみを移動させる解析手法には Okamoto et al.³⁾により提案されているものがあるが、Okamoto et al. の手法が要素配置に規則性を有するものを対象としているのに対し、本アルゴリズムは、不規則な要素配置でも適応できるところに特徴がある。

3 氾濫解析モデルの構築

上記の要素移動アルゴリズムを移動境界手法として組み込み、氾濫解析モデルを構築した。氾濫解析では二次元浅水長波モデルを用い、空間方向は三角形一次要素を用いた有限要素法により、時間方向には 2 段階陽の解法⁴⁾で離散化した。また、時間方向の離散化に質量行列に混合質量行列を用いることで計算の安定化を図った。なお、本モデルでは、水際線上の節点は移動するため、その移動速度を運動方程式の移流項に組み込んだ。

4 氾濫解析モデルの検証

本モデルの検証のため、Shuto⁵⁾の一樣斜面における波の遡上の水理模型実験を再現し、実験結果と比較した。本実験を対象とした数値解析は、Okamoto et al. の解析においても検証に用いられている。このため、本報でもこれとできる限り同じ条件で計算を行った。解析を行った斜面の概要は図 2 のとおりであり、斜面勾配は

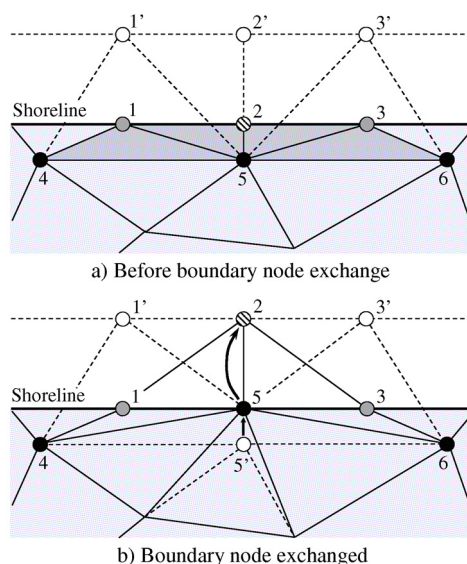


図 1: 水際線上の節点の交換の例
Example of boundary node exchange

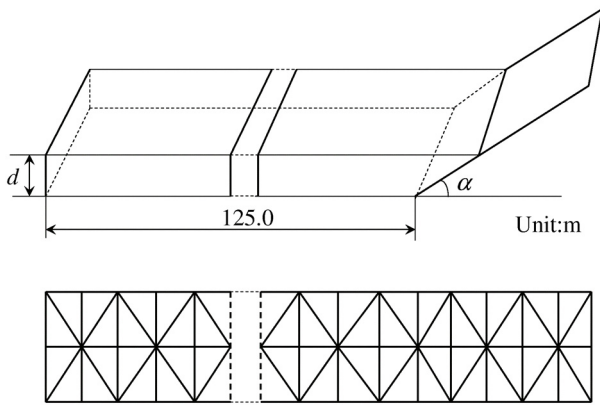


図 2: 計算領域と有限要素
Analysis area and finite elements

$\tan \alpha = 1/30$, 初期水深は, $d = 0.25, 0.30$ および 0.35m の 3 ケースとした. 斜面始端の最大水深 H' および波の遡上高 R を, Okamoto et al. の解析結果とあわせて実験結果と比較したのがそれぞれ, 図 3 と図 4 である. 図 3 に示す H' 結果は, Okamoto et al. の解析結果とほぼ同様の値が得られた. 一方, 図 4 に示す R に対しては, Okamoto et al. の解析結果で特に遡上高を過小評価している部分のケースでも本モデルでは良好な結果が得られている. これは, 本モデルで使用した要素移動アルゴリズムが波の遡上による境界の移動に柔軟に対応できているためと考えられる.

5 氾濫解析への適用

氾濫解析の例として, 要素分割された 2 領域の間の直線水路 (空白部分) 末端の排水能力が不足し, 下流側から越水する状況を想定した解析の例を示したのが図 5 である. 本モデルの解析では水際線をなめらかに再現することができ, 従来の移動境界モデルで問題だった水域, 陸域の判定の際に生じる水の消滅, 生成がなく, 排水施設の容量を把握するのに有効であると考えられる.

参考文献

- 1) Kawahara・Umetsu(1986) Finite element method for moving boundary problems in river flow, *Int. J. Num. Meth. Fluids*, **6**, pp. 365–386.
- 2) 桐ら (2004) 有限要素法による移動境界流れ解析のための要素移動アルゴリズム, 日本計算工学会論文集, **7**, pp.51-58.
- 3) Okamoto et al.(1992) Two-dimensional wave run-up analysis by selective lumping finite element method, *Int. J. Num. Meth. Fluids*, **14**, pp.1219–1243.
- 4) Kawahara et al.(1982) Selective lumping finite element method for shallow water flow, *Int. J. Num. Meth. Fluids*, **2**, pp.89–112.
- 5) Shuto(1967) Run-up of long waves on a sloping beach, *Coastal Eng. Jpn.*, **10**, pp.23–38

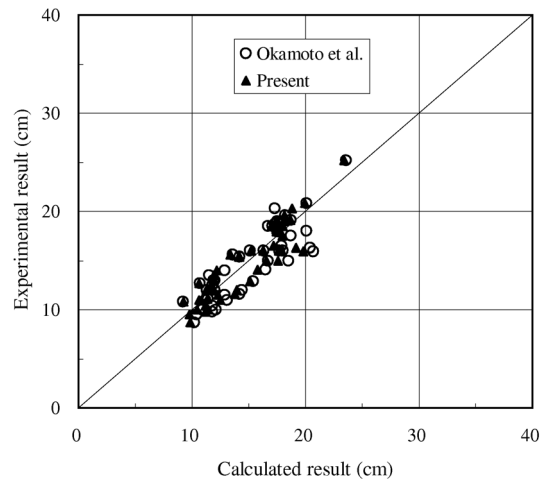


図 3: 斜面始端最大水深 (H') の比較
Comparison of the maximum depth at the edge of slope (H')

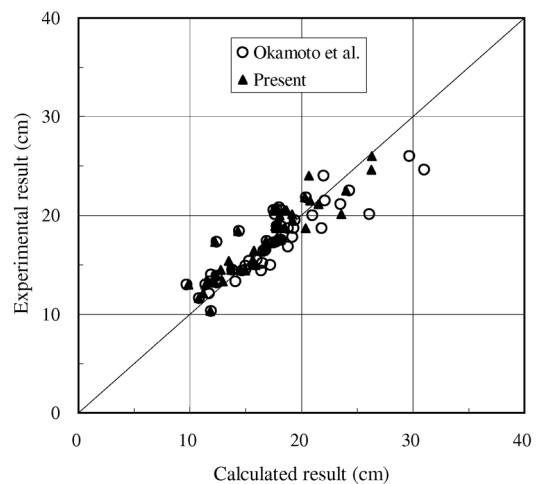


図 4: 波の遡上高 (R) の比較
Comparison of height of wave runup (R)

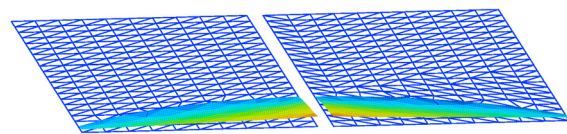


図 5: 直線水路からの氾濫状況の解析例
Example of analysis result of flooding from straight channel