

ため池決壊氾濫解析への有限要素法適用に向けた検討  
 An Application of FEM on Flood Analysis of Small Earth Dam Break

○小嶋 創\*・向後 雄二\*・島田 清\*・正田 大輔\*\*・鈴木 尚登\*\*  
 Hajime KOJIMA・Yuji KOHGO・Kiyoshi SHIMADA・Daisuke SHODA・Hisato SUZUKI

1 はじめに

東日本大震災を契機として、ため池決壊時のハザードマップの作成を目的とした氾濫解析手法の研究が進められている。小嶋ら<sup>1)</sup>は、差分法を用いて、過去の決壊事例の氾濫解析を行った。その結果、氾濫原にある別のため池や排水路等の地物がため池決壊時の氾濫流況に大きな影響を与えることがわかった。そこで本研究では、非構造格子を用いてこれらの地物の形状をより精度よく表現することを目的として、ため池決壊氾濫解析への有限要素法の適用性を検討した。

2 解析手法

2.1 基礎方程式とその離散化

浅水流方程式を用いた平面二次元非定常流解析を行う。重み付き残差法によって積分形式で表された浅水流方程式を式(1)~(3)に示す。

$$\int_A w \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \right\} dA = 0 \quad (1)$$

$$\int_A w \left\{ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \right\} dA = 0 \quad (2)$$

$$\int_A w \frac{\partial h}{\partial t} dA - \int_A hu \frac{\partial w}{\partial x} dA - \int_A hv \frac{\partial w}{\partial y} dA + \int_S \{wF_x, wF_y\} \cdot n dS = 0 \quad (3)$$

ここに、 $u, v: x, y$  方向の流速、 $h$ : 水深、 $t$ : 時間、 $H$ : 水位 ( $H = h + Z_b$ ,  $Z_b$  は地盤標高)、 $g$ : 重力加速度、 $n$ : マニングの粗度係数、 $w$ : 重み関数、 $A$ : 解析領域、 $S$ : 解析領域境界、 $F_x, F_y$ : 領域境界面上で与えられる流量フラックス ( $= uh, vh$ )、 $n$ : 解析領域境界の法線ベクトルである。

式(1)~(3)を、空間方向には三角形一次要素を用いたガラーキン法、時間方向には二段階陽の解法<sup>2)</sup>を用いて離散化した。計算の安定化を図るため、Selective lumping 法<sup>3)</sup>を用いて人工的な数値粘性を付加した。付加される数値粘性の大きさは、ランピングパラメータ  $e (0 \leq e < 1)$  の設定値に依存する。

2.2 水際移動境界処理手法

氾濫解析では、既に氾濫流が到達している

(以下、Wet)領域と到達していない(以下、Dry)領域を識別するための処理を要する。ここでは、Bates<sup>4)</sup>、富所ら<sup>5)</sup>を参考にして以下の処理を施した。

要素を構成する節点のうち最大の水深をもつ節点の水位を基準として、これより地盤高が高い節点を Dry (Fig. 1-(a))、低い節点を Wet (Fig. 1-(b))と判定する。全節点が Dry と判定された要素は解析対象外とする。Wet 節点と Dry 節点が混在する要素(以下、水際要素)が次の計算ステップにおける Wet/Dry 判定の対象となる。また、計算の安定化のため、水際要素では式(1)、(2)の移流項および重力項を無視して解析する。

3 解析条件

福島県内の M 池が決壊したものと仮定し、その下流に帯状の解析領域(幅 150 m、延長 346 m)を設定した。解析領域の標高分布コンター図を Fig. 2 に示す。堤体から約 200 m 下流を道路盛土が横断しており、堤体-盛土間の農地は平均勾配 3% 程度の下り斜面となっている。計算節点は約 2 m 間隔で規則的に配置し、隣接する 3 節点を結んで解析領域を三角形要素に分割した。総節点数は 12975 個、総要素数は 25456 個である。各節点に対して、航空レー

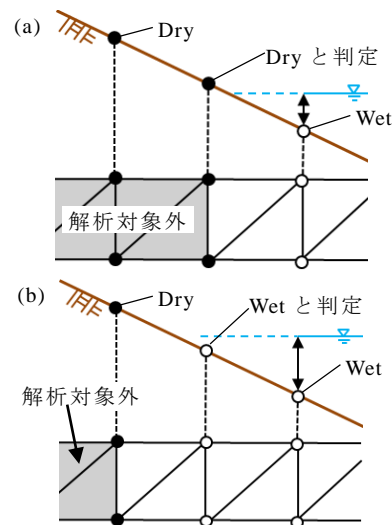


Fig. 1 水際移動境界処理手法

\*東京農工大学大学院 \*Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*\*国立研究開発法人 農研機構 \*\*National Agriculture and Food Research Organization

キーワード: 水利構造物・有限要素法・ため池決壊氾濫解析

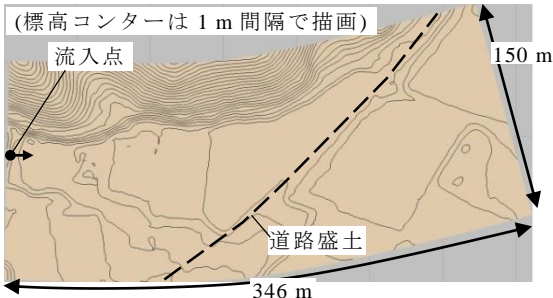


Fig. 2 解析領域標高分布

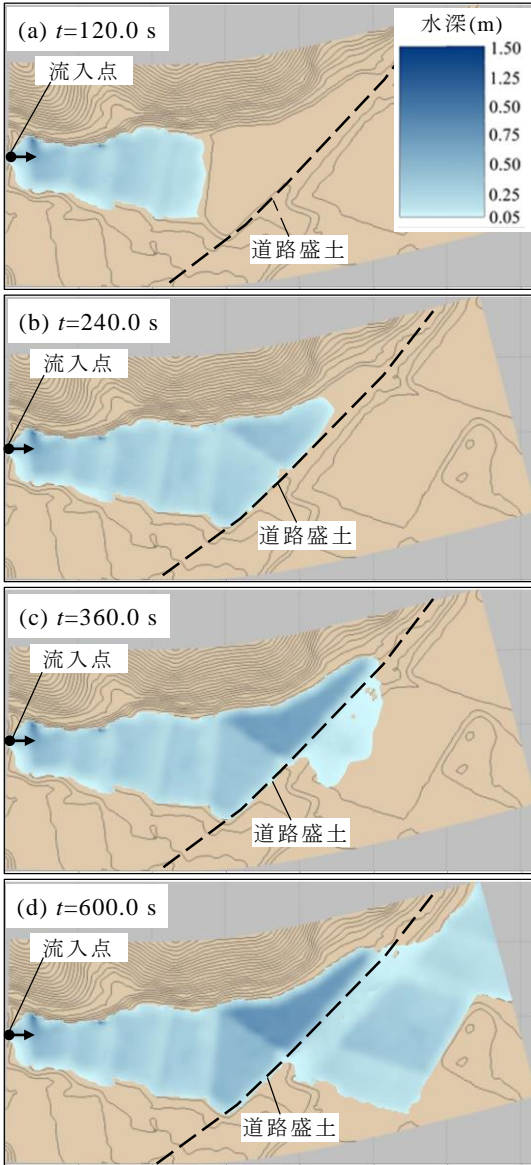


Fig. 3 解析結果水深分布

ザ測量による DEM データ(解像度 2 m)から内挿した標高値を与えた。上流端境界において、ため池堤体直下に位置する要素に  $10.0 \text{ m}^3/\text{s}$  の一定流入流量を与えた。粗度係数は全領域  $n=0.04$  とし、計算時間刻み  $\Delta t=0.025 \text{ s}$ 、ランピングパラメータ  $e=0.90$  とした。総解析時間は  $600.0 \text{ s}$  とした。

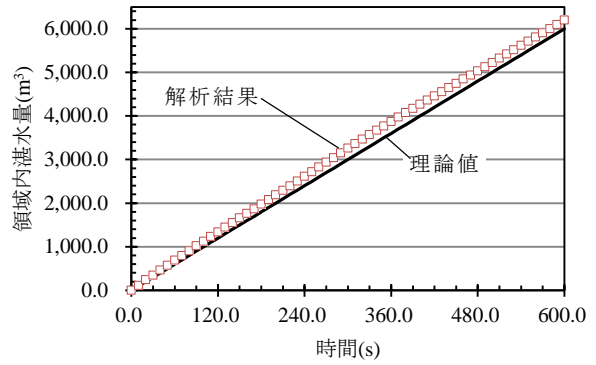


Fig. 4 領域内湛水量の時間変化

#### 4 結果と考察

解析結果の水深分布を Fig. 3 に示す。これを見ると、流入した水は堤体直下の農地を流下し、 $t=240.0 \text{ s}$  頃に下流の道路盛土に到達し、一時的に滞留した。さらに、 $t=360.0 \text{ s}$  にはこれを乗り越えて下流へと拡大している。このように、解析結果においては地形勾配に従う流れが表現された。これより、道路盛土など局所的な地形の凹凸を反映した氾濫解析に対して、本手法を適用しうることが確認できた。

解析結果における領域内湛水量の時間変化を Fig. 4 に示す。図中には、同量の理論値(=流入流量の累積値)を併せて示した。これを見ると、解析時間全体を通して、領域内湛水量が理論値に対して過大となっていることがわかる。解析終了時( $t=600.0 \text{ s}$ )における理論値との差異は  $198.0 \text{ m}^3$  であった。これは、同時刻における理論値の 3.3% に相当する。

#### 5 おわりに

ため池決壊氾濫解析に対する有限要素法の適用性を検討した。ため池の下流域を対象として解析し、本手法が局所的な地形の凹凸を反映した氾濫解析に適用しうることを確認した。

高次要素の導入等により解析精度の向上を図るとともに、過去の決壊事例を対象とした解析を通して、手法の妥当性を検証することが今後の課題である。

#### 引用文献

- 1) 小嶋ら(2016): 農業農村工学会論文集, 302(84-2), I\_93- I-101.
- 2) 川原(1986): 日科技連.
- 3) Kawahara, et al.(1982): *International journal for numerical method in fluids*, 2, 89-112.
- 4) Bates(2000): *Hydrological processes*, 14, 2073-2088.
- 5) 富所ら(2003): 水工学論文集, 46, 361- 366.