

洪水解析に基づくため池周辺の家屋被害の推定 Estimation of house damage around reservoir body based on flood analysis

和田 光真 (香川大院・工) 吉田 秀典 (香川大・創造工)

Mitsumasa WADA, Kagawa University

Hidenori YOSHIDA, Kagawa University

FAX: 087-864-2188, E-mail: sl5d401@stu.kagawa-u.ac.jp

Reservoirs are expected to be protected against mega earthquake damages. The immediate collapse of reservoirs due to a large earthquake, the houses around the reservoir are estimated damage due to the same fluid power as the tsunami. However, it is difficult to apply real damage to various types of reservoirs. Therefore, numerical analysis can be considered by an effective method for predicting damage. In this study, the flood analysis is conducted with reference to the damage example of a house collapsed by strong fluid force due to few data of reservoirs damage. Analyzes the hydrodynamic forces of the flood and suggests ways to use the results to determine house collapse.

1. 序論

内閣府によると 30 年以内に南海トラフ添いの大規模地震が発生する確率が 80 % とされている。この被害想定地域内においては、農林水産省による試算によると、防災上重要なため池が全国 63,772 か所のうち中四国および近畿地方沿岸部における合計が 39,104 か所で全体の約 61 % を占める¹⁾。このように多数存在するため池について耐震補強等のハード対策を全てに対して実施するのは困難であるため、ソフト対策として標高分布を基にした浸水マップ等によるリスク評価も同時進行されている。しかしながら、これらのほとんどは、家屋の倒壊判定までは示されていない。大地震あるいは大雨等によってため池の堤体が崩壊した場合、通常の河川氾濫と異なり、堰き止められていた貯留水が鉄砲水となって一気に溢れ出すため、ため池の近傍に住む住民にとって住居からの避難は不可能に近い。避難が困難な状況下においては、建物内にて垂直避難等が命を守る手段となるが、氾濫水によって家屋が倒壊あるいは流出する可能性も否定できない。ため池の堤体の崩壊にともなう洪水と家屋の倒壊等にする事例は東北太平洋沖地震等の大規模地震に集中しているが、被害記録からは建物倒壊の要因は不明で、詳細な検討が行われていない。そこで本研究では、ため池が崩壊することにより発生する流出水によって建物の崩壊判定までを評価する手法の提案を考えているが、手法の妥当性を検証するための実例がないため、便宜的に豪雨災害によって建物が倒壊被害を受けた実例を参考に再現解析を実施し、提案手法による建物の倒壊予測と実際との比較を通して、提案手法の妥当性ならびに有用性を検証する。具体的には、汎用流体解析ツールを利用した洪水解析を実施し、その解析結果を建物の倒壊判定に用いる。本研究にて妥当性と有用性を確認した後に、今後、提案手法をため池のケースに適用し、ため池周辺の建物の被害予測の実施を通して、住民の垂直避難の可否等を検討する。

2. 基礎理論の概要

洪水解析の解析ツールは、数値流体力学オープンソースコードの OpenFOAM²⁾を用いる。流体理論は VOF 法に基づく界面捕獲法による不混和流体で非圧縮・等温混相流とする。非圧縮性流体の連続式、Navier-Stokes 式、自由表面の移流方程式をそれぞれ以下に示す。

$$\nabla \mathbf{v} = 0. \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}. \quad (2)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla(\alpha \mathbf{v}) = 0 \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{v}$ は速度ベクトル、 t は時間、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 $\mathbf{f}$ は外力項、 α は VOF 関数の体積分率($0 \leq \alpha \leq 1$, $\alpha = 0$: 気相のみ、 $\alpha = 1$: 液相のみ)である。乱流として SST $k-\omega$ モデルを採用し、そのパラメータを Table 1 に示す。ここで、 v_c は代表速度、 I は乱れ強度、 L は代表長さ($L = 0.07D$, D : 混合層厚)とすると、乱流エネルギーは、 $k = 3/2(|v_c|/L)^2$ 、比散逸率は、 $\omega = k^{0.5}/L$ で与えられる。

Table 1 Initial parameters

Turbulence parameter		Initial value
Representative velocity	v_c [m/s]	2.00
Turbulence intensity	I [%]	5.00
Depth of mixed layer	D [m]	10.00
Turbulence energy	k [m ² /s ²]	1.50×10^{-2}
Specific dissipation rate	ω [s ⁻¹]	0.17

次に、浸水深から建物の倒壊判定を実施する。倒壊の判定基準は、ため池作成ガイドライン³⁾より流速を縦軸、浸水深を横軸として建物の耐力曲線を示し、その内外によって被害の判定を実施する。しかしながら、OpenFOAM の 3 次元数値解析による判定手法は示されていないため、本研究において、洪水解析によって得るメッシュ内部の水分量を示す指標である体積分率 α から浸水深 h を下式により算出する。

$$h = \alpha \cdot V/A \quad (4)$$

ここで、 V は 3 次元解析要素の体積、 A は要素の体積における底面積を示す。さらに、3 次元洪水解析から得られた流速を被害の判定式に代入し、解析要素における建物の被害判定を実施する。

3. 解析概要と解析結果

解析は、平成 30 年の西日本豪雨災害を受けた真備町の実例を対象とした。対象地域においては、河川の堤体が崩壊したことにより堤体近傍の家屋が倒壊した。解析モデルの境界条件は、地表面底面を非流出境界、周囲を流出境界、上空は大気境界として解析した。解析モデルを Fig. 1 に示す。ここでは、実況と近づけるため、地表面は国土地理院から取得した 5 m メッシュの標高データを用いた。また、災害時の地形として、河川の途中で流木等が詰まり、そこから堤防が決壊したものと仮定し、堤防が決壊した位置において上流(Y 方向)から流れ続ける水が左右(X 方向)に流出することを想定して地表モデルを作成した。Y 方向から流入する水の量は継続的に供給され、開水路として定常状態になるまで解析を実施した。解析結果を

Fig. 2 に示す. 解析結果の詳細を把握するため, 同図に示す任意地点 A および B から流速と体積分率 α をサンプリングした. また, 抽出した体積分率 α より (4)式を用いて浸水深を計算した. それらの地点における流速と浸水深を比較したところ, 堤防から 30 m 離れた地点 A においては, 流速が 2~3 m/s 程度となり, 堤防から 20 m の地点 B においては, 流速が 4~5 m/s となった. 浸水深についても同様に, 地点 A においては 1.0 m となったが, 地点 B においては 2.0 m と 2 倍程度の差が見られた.

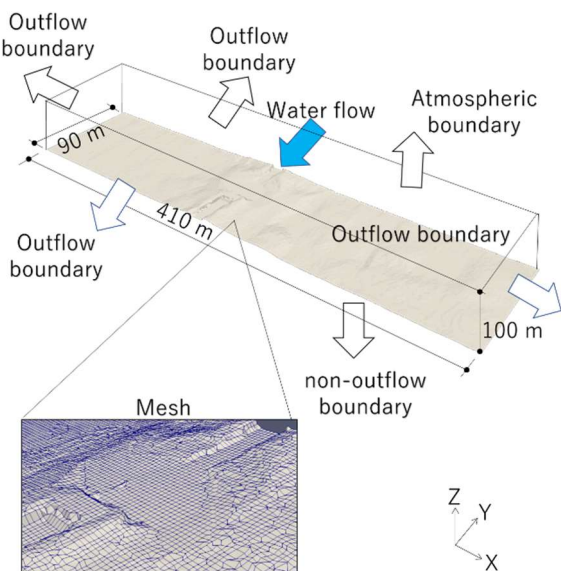


Fig. 1 Model of flooded analysis

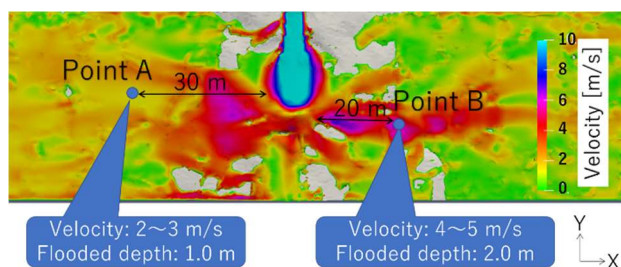


Fig. 2 Result of flooded analysis

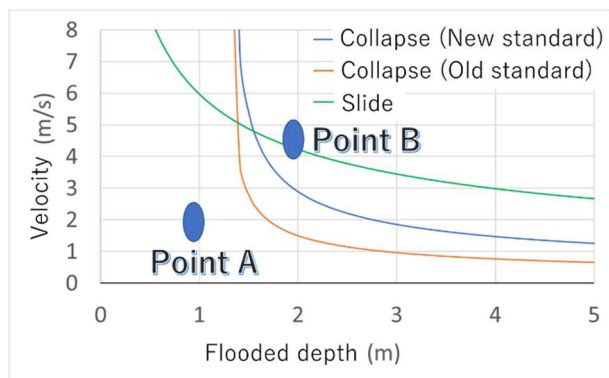


Fig. 3 Result of flooded analysis

次に, 地点 A および B において文献³⁾の耐力式を参考に建物の倒壊判定を実施した. 結果を Fig. 3 に示す. 同図にけ

る地点 A では倒壊しない判定となり, 地点 B では耐力曲線を超えて倒壊するという判定結果となった. これらの判定結果を解析要素毎に実施して平面として表示したものを Fig. 4 に示す. なお, 図の中央部分の赤いエリアは河川を示しており, 判定結果としては除外する. 河川以外の赤いエリアが一般木造家屋の倒壊判定の分布を示している. また, 解析結果との比較のため, 実際の被害を撮影した空中写真(国土地理院)を同図に示す. 空中写真において, 地点 A では建物周囲に堆積物が残存しているものの建物が倒壊するまで至っていないが, 河川堤防付近の地点 B では実際に建物が倒壊している. これは, 解析において浸水深および流速が地点 A の 2 倍程度あったことが影響していたことが予測される. 以上より, 本研究による解析手法によって実際の被害を再現できることが示された. 再現解析によって堤防が突如決壊して流出した氾濫水がその流出速度と浸水高さが衰えない状態で建物に衝突すると, 一般的な木造住宅においては倒壊の被害を受ける可能性が高いことが示された. 実例との比較により, 提案手法は, 概ね洪水にともなう家屋の倒壊を再現できていることが判明した. これより, 本提案手法を用いて家屋の倒壊を評価することはおおむね妥当であり, 将来的には, 提案手法を用いて, 地震のみならず, 大雨によってため池が崩壊した際の避難について議論が可能になるものと考ええる.

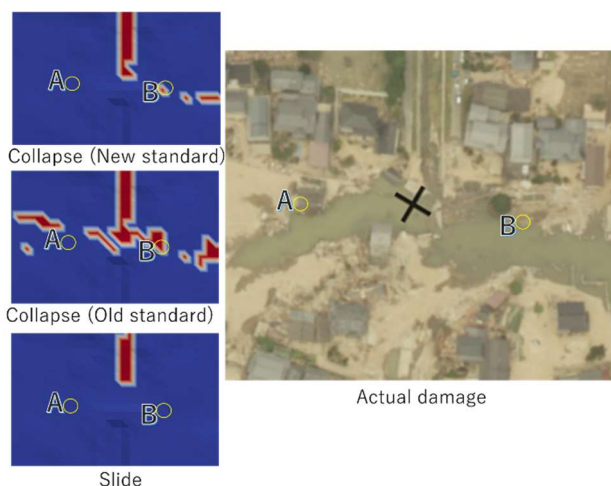


Fig. 4 Comparison of damage of analysis results and actual damage situation in Mabi-cho

4. まとめ

本研究は, ため池堤体近傍の建物倒壊判定を実施するため, 流出水の流速および浸水深を洪水解析から抽出し, それを用いて建物倒壊の判定を実施した. その検証として実際の災害事例の再現解析を実施し, 結果, 洪水解析による木造建物の倒壊の危険性と実際の被害とを概ね一致させることができた. 今後は, この手法によりため池周辺建物の倒壊判定を実施し, ため池災害のリスクを示す予定である.

参考文献

- 1) 農林水産省 web ページ「ため池」, http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/, (2020 年 3 月 6 日閲覧可)
- 2) OpenCFD Ltd (ESI Group): OpenFOAM, <http://www.openfoam.com/>, (2020 年 3 月 6 日閲覧可)
- 3) 農林水産省 農村復興局 防災課, ため池ハザードマップ作成の手引き, 2013.5.