

# ため池決壊時における浸水シミュレーション

## FLOOD ANALYSIS AT STORAGE RESERVOIR BREAK

久保 莉<sup>1)</sup>, 和田 光真<sup>2)</sup>, 吉田 秀典<sup>3)</sup>

Shiori KUBO, Mitsumasa WADA and Hidenori YOSHIDA

- 1) 香川大学大学院工学研究科 (〒 761-0396 高松市林町 2217-20, E-mail: s16G412@stu.kagawa-u.ac.jp)  
 2) 香川大学大学院工学研究科 (〒 761-0396 高松市林町 2217-20, E-mail: s15D401@stu.kagawa-u.ac.jp)  
 3) 香川大学工学部 (〒 761-0396 高松市林町 2217-20, E-mail: yoshida@eng.kagawa-u.ac.jp)

The tsunami accompanied by the 2011 Tohoku-Pacific Earthquake brought about serious damages. Though the damages by storage reservoirs are hard to spot rather than those by the tsunami, 8 dead men and 124 damaged homes were caused by the break of the Fujinuma storage reservoir in Sukagawa city, Fukushima. As there is a high possibility of the occurrence of great earthquake occurred in the Nankai Trough, the hazard maps relevant to 57 storage reservoirs are prepared by Takamatsu city through the flood analyses for the storage reservoirs in Takamatsu city so as to reduce the damages of a storage reservoir break. However, it is difficult to evacuate appropriately since only the maximum flood height and difficulty in walking are identified in the hazard map. Therefore, in this study, the flood analysis at a storage reservoir break is conducted to grasp the inundated area and flood height for any time. In result, the flood area is more or less similar to the hazard map prepared by Takamatsu city. Alternatively, the hitting time of outflow water and maximum flood height are grasped from the analysis though they are locally different from those listed in the hazard map. Moreover, the analysis suggests that the temporary evacuation to second floor or rooftop of a house is more effective than that to an evacuation site just after the occurrence of great earthquake in the area near storage reservoirs, and that the evacuation site after the confirmation of stop of flooding is desirable.

**Key Words:** Storage Reservoir, Flood Analysis, OpenFOAM

### 1. はじめに

わが国は地震多発国で、これまでに多くの地震被害を経験している。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では死者、行方不明者が2万人にも及ぶ甚大な被害となつた。このうち、大半を占めているのが津波による被害であるが、地震によってため池が決壊し、発生した内陸津波による大きな被害ももたらされている。東北地方太平洋沖地震で被害を受けたため池は2,000ヶ所を超えており、最も被害の大きい福島県須賀川市江花にある藤沼貯水池ではほぼ満水の約1,500,000m<sup>3</sup>の水が流出した。氾濫水が下流の居住地区を襲った結果、死者8名、家屋被害124戸という被害が発生した<sup>(1)</sup>。津波は発生から陸を遡上するまでにある程度の時間を要するが、ため池の場合、決壊と同時に水が押し寄せてくるため、地震発生後、津波よりも水が押し寄せてくるまでの時間が圧倒的に短い。

近年では、東海・東南海・南海地震が同時に発生する可能性が高くなっている。南海トラフ巨大地震が発生した場合、香川県全域で震度6弱、高松市中心部では震度6強と予想されており、これまでに経験したことのない揺れに見舞われる可能性がある。南海トラフ巨大地震による強い揺れや長周期地震動に伴う液状化によってため池が決壊した場合、県土の総面積に対するため池密度が日本最大である香川県では大きな被害がもたらされる可能性がある。これを受けた高松市は、貯水量が100,000m<sup>3</sup>以上の大規模ため池と高松市東部地区にある中規模ため池、計57ヶ所についてため池の堤体決壊を想定した氾濫解析を行い、それを基にハザードマップを作成している<sup>(2)</sup>。しかし、このハザードマップには、最大浸水深とその時点における歩行困難度しか記載されていないため、適切な避難行動を取ることができない。本来は、ある任意の地点における水の到達時刻や水の勢いが治まる時刻を把握する必要がある。また、巨大地震発生時においては、建

物の倒壊・損傷や液状化などによる道路閉塞も生じる可能性があるため、わずかな浸水であってもあらかじめ検討していた避難経路が使用できない場合がある。そこで、ため池付近における地震発生後の適切な避難方法を検討するためには、複数の災害を考慮した避難行動シミュレーションを実施することが望まれる。地震による被害状況を考慮した避難行動シミュレーションの研究として、藤田らは統合地震シミュレータ (Integrated Earthquake Simulator, IES) を用いて地震発生時における建物被害を考慮した避難行動シミュレーションを行っている<sup>(3)</sup>。避難行動シミュレーションを行うにあたって、あらかじめ GIS などのデジタルデータを基に都市モデルを構築し、その仮想都市において構造物応答解析を行っている。解析において建物の層間変形角がある一定値を超えた場合にその建物の周辺の道路が通行不可能となるような条件を設定し、その結果を避難行動シミュレーションに反映させることで、被害の有無や被害状況の違いによって生じる避難行動や避難時間の変化について検討している。しかし、地震発生時には建物被害だけでなく、津波による浸水被害や、液状化などさまざまな災害が同時に発生するため、これら複数の災害を考慮する必要がある。そこで、本研究では複数の災害を考慮した避難行動シミュレーションを実施する予定であるが、災害の 1 つであるため池の決壊に着目し、ため池決壊時の浸水シミュレーションを行い、得られた浸水状況の妥当性を検証するために高松市ため池ハザードマップと比較する。

## 2. 基礎理論の概要

本研究では、3 次元流体力学ツールの OpenFOAM<sup>(4)</sup> を用いて、ため池決壊時の浸水シミュレーションを行う。用いるソルバーは混相流解析が可能な interFoam である。interFoam は、界面捕獲法における解析手法のうち、VOF (Volume Of Fluid) 法を採用している 2 相流ソルバーであり、非圧縮性・非定常・等温の流体を対象としている。interFoam の基礎方程式は以下の Navier-Stokes 方程式、連続式、そして移流方程式である。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{F} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

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

ここで、 $\rho$  は密度、 $\mathbf{v}$  は流速ベクトル、 $p$  は圧力、 $\mu$  は粘性係数、 $\mathbf{F}$  は外力ベクトル、 $t$  は時間、そして  $\alpha$  は液相の体積分率である。 $\alpha$  が 0 のときは気相のみを、1 の時は液相のみを示す。なお、密度  $\rho$  と粘性係数  $\mu$ 、動粘性係数  $\nu$  は以下のように表される。このとき、液相、気相に関する密度と粘性係数、動粘性係数はそれぞれ  $\rho_l$ 、 $\rho_g$ 、 $\mu_l$ 、 $\mu_g$ 、 $\frac{\mu_l}{\rho_l}$ 、 $\frac{\mu_g}{\rho_g}$  である。

$$\rho = \alpha \rho_l + (1 - \alpha) \rho_g \quad (4)$$

$$\mu = \alpha \mu_l + (1 - \alpha) \mu_g \quad (5)$$

$$\nu = \alpha \nu_l + (1 - \alpha) \nu_g \quad (6)$$

また、Navier-Stokes 方程式において、右辺第 3 項の外力項を表面張力項  $\mathbf{F}_s$  と重力項  $\mathbf{g}$  に分けると次式のように表される。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{F}_s + \rho \mathbf{g} \quad (7)$$

表面張力は Brackbill らが提案した CSF (Continuum Surface Force) モデル<sup>(5)</sup> によって表されるため、次式のようになる。

$$\mathbf{F}_s = \sigma \kappa \mathbf{n} \quad (8)$$

このとき、 $\sigma$  は表面張力係数、 $\kappa$  は界面の曲率、そして  $\mathbf{n}$  は注目セル周囲の流体率の勾配である界面の法線ベクトルである。なお、界面の曲率は界面の法線ベクトルの発散で、 $\kappa = -\nabla \cdot \mathbf{n}$  と表される。さらに、同式右辺第 2 項の粘性項  $\nu \nabla^2 \mathbf{v}$  は、粘性応力テンソル  $\tau = \mu \nabla \mathbf{v}$  を用いて  $\frac{1}{\rho} \nabla \tau$  と表すことができる。以上より、本研究で使用する Navier-Stokes 方程式は以下のようになる。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho \mathbf{F}_s + \rho \mathbf{g} \quad (9)$$

本解析では、液相と気相の 2 相を扱うため、それぞれの領域に対する移流方程式を立てる。このとき、液相と気相における流速をそれぞれ  $\mathbf{v}_l$ 、 $\mathbf{v}_g$  とする。

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \mathbf{v}_l) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot ((1 - \alpha) \mathbf{v}_g) = 0 \quad (11)$$

以上より、流速  $\mathbf{v}$  を次式と再定義する。

$$\mathbf{v} = \alpha \mathbf{v}_l + (1 - \alpha) \mathbf{v}_g \quad (12)$$

式 (10)、(11)、(12) より、液相と気相の流速の差を相対速度  $\mathbf{v}_c$  とすると、移流方程式は式 (13) となる。

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \mathbf{v}) + \nabla \cdot ((1 - \alpha) \alpha \mathbf{v}_c) = 0 \quad (13)$$

また、圧力と速度の算出には、Navier-Stokes 方程式と連続式を用いて行うが、非圧縮性流体を扱うことから、本研究では PIMPLE 法を用いることとする。PIMPLE 法は、SIMPLE 法 (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) と PISO 法 (Pressure-Implicit with Splitting of Operators) を組み合わせた手法である。SIMPLE 法は、圧力と速度の初期値から予測値をそれぞれ算出し、両者が収束するまで補正する手法である。一方、PISO 法は、SIMPLE 法と同様の補正を行った後、再度圧力と速度の補正を行い、予測値が収束するまで再度補正を行う手法である<sup>(6, 7)</sup>。PIMPLE 法は、PISO 法の時間ステップの間に SIMPLE 法のループを入れたものである。つまり、一度 PISO 法によって速度と圧力を求めたのち、それまでの手順を残差が小さくなるまで、再度同過程を踏むということである。

なお、空間離散化には有限体積法を用い、時間項には 1 次精度前進差分法、対流項には 2 次精度 TVD (Total Variation Diminishing) 法、非定常項には 2 次精度風上差分法、その他の項には線形補間を採用する<sup>(6, 7)</sup>。

### 3. ため池決壊時の浸水解析

#### 3.1. 解析対象エリアと解析メッシュ

本研究において対象とするため池は高松市中部に位置する平池である。平池は、貯水量  $1,240,000\text{m}^3$  と非常に大きいため池である。築造は 1178 年とされており、その後、災害や改修の結果、400 年前に現在地に移ったとされている。近年では、1967 年から 2 年間にわたって全面改修が行われているが、それ以降、改修は行われていない。

本研究では、Fig.1 に示す高松市ため池ハザードマップを参考に解析領域を決定する。ここで、ため池堤体付近を解析領域に含めると、平池の右手（東側）にある前池に大半の水が流入することが考えられる。実際にはそのような結果になるかもしれないが、本研究では平池北側に散在する住宅地に焦点を置いていることから、前池を含まないように、Fig.1 に示すような、南北  $1222\text{m} \times$  東西  $1477\text{m}$  の領域を解析対象とした。ため池の水の流出は、この領域の南側面から生ずることになるが、高松市ため池ハザードマップでは、堤体のうちの  $300\text{m}$  が決壊したと想定していることから本研究でもこれにならった。ただし、ハザードマップではこの  $300\text{m}$  区間がどこであるかを明示していない。そこで本解析では、解析領域の南側面において、高松市ため池ハザードマップにおいて、最大浸水深が周囲よりも大きな値を示す東西  $300\text{m}$  区間に、氾濫水の流出エリアを設定した。解析エリアの南部は田畠が多く住宅は少ないが、東・北東部は住宅の多いエリアとなっている。なお、南部から北部にかけて約  $5\text{m}$  下がる緩やかな傾斜面となっていることから、平池決壊時には北部へ流出することが予想される。

解析領域の下面となる地表面については、国土地理院が提供する  $5\text{m}$  間隔の数値標高データを採用する<sup>(8, 9)</sup>、本解析では、1 メッシュにおける液相の体積率である  $\alpha$  値を基に浸水深を判定するため、メッシュ高さを予想される浸水深よ

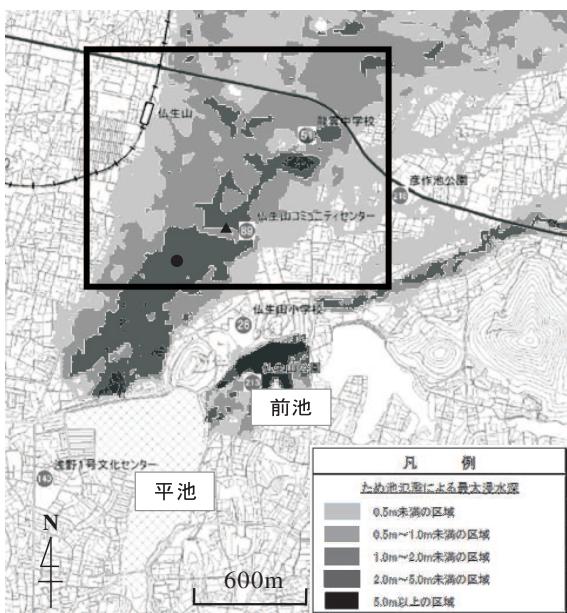


Fig. 1 Hazard map produced by Takamatsu city<sup>(2)</sup>

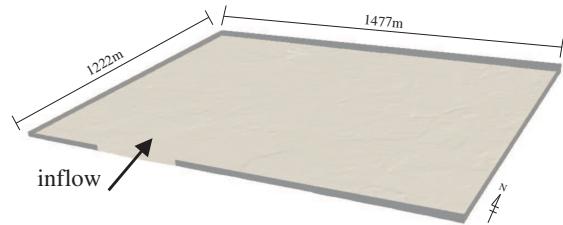


Fig. 2 Analysis area

Table 1 Analysis conditions

液相	動粘性係数 $\nu_l(\text{m}^2/\text{s})$	$1.00 \times 10^{-6}$
	密度 $\rho_l(\text{kg}/\text{m}^3)$	$1.00 \times 10^3$
気相	動粘性係数 $\nu_g(\text{m}^2/\text{s})$	$1.48 \times 10^{-5}$
	密度 $\rho_g(\text{kg}/\text{m}^3)$	1.00
表面張力係数 $\sigma(\text{kg}/\text{s}^2)$		0.07
重力加速度 $g(\text{m}/\text{s}^2)$		9.81
乱流・層流モデル		laminar

りも高い、数値標高データと同じ間隔である  $5\text{m}$  とした。したがって、メッシュは概ね  $5\text{m} \times 5\text{m} \times 5\text{m}$  の立体メッシュとした。なお、メッシュの大きさを半分にし、簡易的に浸水解析を行ったが、その際の浸水深は  $5\text{m}$  の場合と概ね一致していたため、本解析ではこのメッシュサイズを採用する。本解析では、上述した地表面（下面）と上面を有するような 3 次元の解析領域を用意して解析を行う。そのため、解析領域において、標高が最も高いところで T.P.45m 程度で、ため池の水を高さ  $11\text{m}$  とすることから、解析領域の上面を T.P.60m とした。さらに、本解析において対象とする液相、気相に関する諸条件や使用するモデルについては、Table 1 に示す。

#### 3.2. 境界条件

各側面の境界条件については、数値標高モデルを反映させた下面は非流出境界面、上面は大気側境界面、そして 4 側面は流出境界面とする。

また、流出水の量は、ため池の貯水率が比較的高い 5 月～9 月における平池の平均貯水量が約 80% であることから<sup>(10)</sup>、本解析においても貯水量の約 80% である  $990,000\text{m}^3$  とし、南北  $300\text{m} \times$  東西  $300\text{m}$  の領域にそれと同面積で高さが  $11\text{m}$  分の水を Fig.2 に示す inflow area から一気に溢れるダムブレイク方式で解析領域に流入させる<sup>(11)</sup>。

#### 3.3. 解析結果および考察

本研究では、平池決壊後、任意の時刻・地点における浸水領域を把握するため、決壊から 30 秒、60 秒、90 秒、120 秒後の浸水状況を Fig.3～Fig.6 に示す。浸水の有無については、液相の体積率である  $\alpha$  値を基に判断する。なお、水を平池よりも北側に設定していることや、水の初期高さを  $11\text{m}$  としていることから、浸水深や浸水域等は、ハザードマップに示されたものと完全に合致する訳ではないが、本解析は、任意の時刻における浸水域や浸水深を把握すること目的と



Fig. 3 Condition in flood (Time=30s)



Fig. 5 Condition in flood (Time=90s)



Fig. 4 Condition in flood (Time=60s)



Fig. 6 Condition in flood (Time=120s)

しているため、その一例として以下に考察を述べる。Fig3より、決壊直後は水に最も勢いがあることから決壊からわずか30秒で、北方向へ400m程度浸水域が広がっていることがわかる。また、その後は時間経過と共に北へ進むのではなく、徐々に東へ逸れながら浸水域を拡大させていることがわかる(Fig4, Fig5)。これは、決壊箇所から西側の標高が約40mであるのに対し、東側の標高が35mと、西から東へ勾配が下がっているためである。また、Fig5, Fig6からわかるように、決壊後、ため池から流出した水が浸水域が扇状に広がるのではなく、北へ進んでから徐々に東へ広がっているのは、決壊箇所の南東側に小さな山があり、この周辺の標高が高くなっていることに起因している。こうしたことから、浸水域は真東や西側へは広がらず、当初は北へ、その後徐々に北東へ広がっている。なお、解析領域には含まれていないが、解析エリアの南側に位置し、東西を山に囲まれている仏生山小学校は、高松市ため池ハザードマップでは浸水しないとされている。これは、解析領域南東部における標高が40m以下であるのに対して、仏生山小学校付近の標高は41~43mとなっており、解析領域南東部よりも比較的標高の高いエリアとなっているためである。そのため、平池から北側へ流出した際にも、仏生山小学校付近まで水が到達しないと予測される。さらに、120秒を超えると、浸水しているエリアのうち、 $\alpha$ 値が0.5以下となる部分が大半となり、ため池から流出した水が広域に拡散していることがわかる(Fig6)。ここで、高松市ため池ハザードマップ(Fig.1)において、浸水深が0.5m以上であるエリアと、本解析結果において $\alpha$ 値が

0.1以上の領域を比較すると、どちらも北東へ浸水が広がっていることや、高松市ため池ハザードマップにおける浸水深の分布と $\alpha$ 値の分布から、両者の浸水状況が類似していることがわかる。

次に、任意の地点における決壊から120秒までの浸水状況として $\alpha$ 値の推移を示す。本研究では、高松市ため池ハザードマップにおいて水深が1.0~2.0mと推定されているエリアのうち、住宅の密集している地点(Fig.1 ●印、以降地点Aとする)と、同マップにおいて水深が0.5m~1mと推定されている、仏生山コミュニティセンターから西へ150m進んだ地点(Fig.1 ▲印、以降地点Bとする)における $\alpha$ 値を示す。Fig.7に、これら2地点における10秒ごとの $\alpha$ 値を示す。

決壊から120秒経過するまでの $\alpha$ 値の平均は地点Aで0.41、地点Bで0.11となった。また、 $\alpha$ 値が最も大きくなつたのはどちらも決壊から60秒の時点で、その際の $\alpha$ 値は地点Aで0.59、地点Bで0.19となった。

本研究では、メッシュをすべて5m間隔で作成していることから、各地点における $\alpha$ 値に5mをかけた値をそのエリアにおける浸水深として考える。地点Aでは、 $\alpha$ 値が最大で0.59であることから、浸水深は約3.0mとなる。さらに、地点Bも同様に考えると浸水深は約1.0mとなる。高松市ため池ハザードマップにおいて、地点Aの最大浸水深は1.0~2.0m、地点Bの最大浸水深は0.5~1.0mの間の値をとっているが、解析においても、地点Bについてはほぼ同様の浸水深が得られている。他方で、地点Aは、高松市ため池ハザードマップよりも1.0m深い浸水深となった。ため池が決壊し

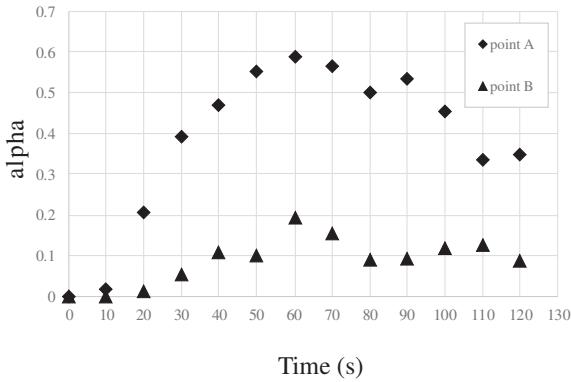


Fig. 7 Time v.s.  $\alpha$  at pointA and pointB

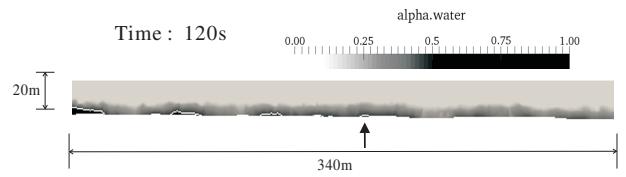


Fig. 11 Water depth at a point A (Time=120s)

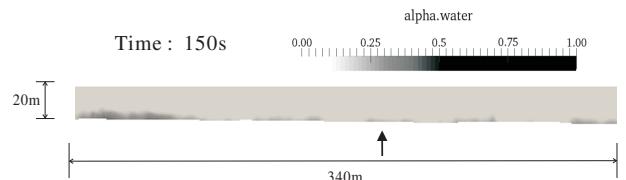


Fig. 12 Water depth at a point A (Time=150s)

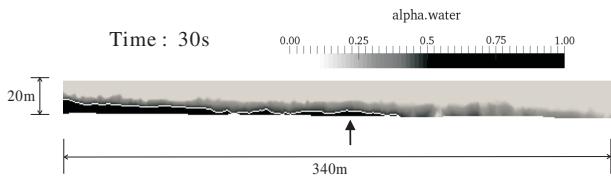


Fig. 8 Water depth at a point A (Time=30s)

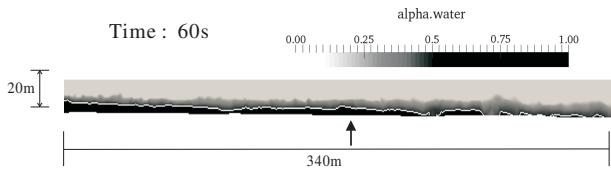


Fig. 9 Water depth at a point A (Time=60s)

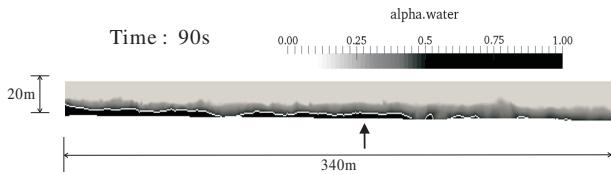


Fig. 10 Water depth at a point A (Time=90s)

た際に流出する水を、本来のため池堤体付近ではなく、地点Aに近い解析領域の流入境界に設けたことで、地点Aに到達するまでは水の拡散が顕著ではなく、到達する水の量が多くなるため、上述のようになつた。

最後に、地点Aを南北方向に縦断する断面における浸水深をFig8~ Fig12に示す。これらの図は、決壊から30秒、60秒、90秒、120秒、150秒後の地点Aを含む南北340m区間の断面図である。図においては左が南側、右が北側となり、地点Aは図中の矢印で示す場所に該当する。なお、断面図において $\alpha$ 値が0.5以上であるところ(図内白線)までを完全に浸水していると仮定する<sup>(12)</sup>。地点Aにおける浸水深は決壊から30秒後に約2.0m、60秒後に約3.0m、90秒後に約2.5m、120秒後に約1.0mである。また、決壊から150秒後における $\alpha$ 値は0.5を超えていないため、150秒後はほとんど浸水がないと考えられるが、 $\alpha$ 値が0.1となっているこ

とから、浸水深は0.5m程度となる。一般的に浸水深が0.5mである場合は、大人は膝程度まで浸水していると考えられる<sup>(13)</sup>。また、同地点での各時刻における流速は北方向に、それぞれ1.42m/s、1.43m/s、0.82m/s、0.65m/s、0.58m/sとなつた。解析では、決壊から60秒~90秒の間では高松市ため池ハザードマップに記されている浸水深の1.0m~2.0mよりも大きな値を示している。浸水深が2.0m~3.0mとなると、2階の床、もしくは2階の軒下付近まで浸水するため<sup>(14)</sup>、非常に危険である。このとき、浸水深が3.0mとなるのは、決壊からわずか60秒後でとなつてゐるため、平池に近い地点Aにおいては、地震発生直後、平池決壊の恐れがある場合、地震が治まつたと同時に遠くの避難場所へ避難するのではなく、一時的に自宅の2階や屋根の上にて氾濫水が治まるまで待機した方が良い場合もある。しかし、水深が2.0m以上となる場合、建物が倒壊する恐れが非常に高まるため<sup>(15)</sup>、建物が倒壊した場合に備え、ライフジャケットなど、水に浮くものを用意しておく必要があつる。また、決壊から90秒後と150秒後の水深を比較すると、わずか60秒で浸水深は約2.0m低下し、0.5m程度となつてゐるが、この時点でも安易に避難行動を始めるべきではない。国土交通省水管理・国土保全局の資料<sup>(16)</sup>によると、水深が0.5m以上である場合は車が浮き、決壊から150秒間でさまざまな場所へ押し流されている可能性がある。そのため、押し流された車が避難行動の妨げになる場合がある。さらに、避難にあたつては、水深だけでなく避難者の身長や水の流速も考える必要がある。避難が困難になるのは、成人男性は0.7m、成人女性は0.5m、子供は0.2m以上の浸水がある場合というデータがある<sup>(17)</sup>。そのため、水深が1.0m以上となる決壊から30秒~120秒の間は避難が困難であるのは明白であるが、水深が0.5m程度まで下がる150秒後の時点でも、大人の膝までつかる程度の水深<sup>(13)</sup>であることから、女性や子供は避難時に特に危険が伴う。これに加え、浸水深が0.1m程度であつてもマンホールや用水路等の位置がわからず転落する恐れがある<sup>(18)</sup>。このように、車が浮く可能性があることや、流速が0.58m/sであることをふまえると、男性であつても、この時点で避難場

所へ移動することは危険である。したがって、決壊から 150 秒以上経過し、周囲に浸水がないことを確認してから避難を開始することが望まれる。

#### 4. 結言

巨大地震によるため池の決壊から人命を守るには任意時刻における浸水域や浸水深等を知ることが重要であるが、高松市ため池ハザードマップでは任意の地点における最大浸水深のみをプロットしていることから、任意の時刻における浸水域や浸水深はわからない。そのため、浸水シミュレーションによって、これらを把握する必要があろう。本研究では、OpenFOAM によって香川県高松市のほぼ中央に位置する平池を解析対象とし、この池の決壊の浸水シミュレーションを行った。その際の浸水状況を一定時刻ごとに可視化し、その際の浸水域や浸水深について検討した。また、その結果の妥当性を検討するために高松市ため池ハザードマップとの比較を行った。シミュレーションの結果、流入条件が異なるにも関わらず、浸水域は高松市ため池ハザードマップと類似している。解析において特筆すべき点は、その最大浸水深となるのはため池決壊からどの程度経過した時点であるか把握することができたことである。ため池の決壊による浸水は津波と異なり、地震発生から浸水が始まるまでの避難行動に割ける時間が非常に短いにもかかわらず、短時間で浸水深が 3.0m 上昇する可能性があるということも判明した。そのため、ため池付近の住民は巨大地震等の発生により、ため池が決壊する恐れがあると判断した場合には、避難場所へ避難するのではなく、浸水に備えて自宅の 2 階もしくは屋根の上など、地上から 3.0~ 4.0m 以上の場所へ一時的に避難するということも視野に入れるべきであろう。他方で、水位が大幅に低下した場合であっても、水深や流速によっては歩行が困難となる場合もあるため、完全に水が引いてから避難場所へ避難することが適当であるという見も得た。しかしながら、本研究では、構造物や田畠等の影響を反映していない。実際には、構造物等があると、波が構造物に衝突する等によって水の進行速度が異なる可能性があるため、それらの反映を行う必要がある。今後は、本解析結果を基に、ため池の決壊によって浸水が起きた状況下での避難行動シミュレーションを実施するとともに、構造物の倒壊や損傷による道路閉塞が生ずる可能性があることから、こうした複数の障害が避難行動に与える影響についても検討する予定である。

#### 参考文献

- (1) 渡辺健, 渡邊浩樹: 藤沼ダムの決壊原因と復旧方針について, 農業農村工学会 技術リポート, pp.1-2, 2015
- (2) 高松市ため池ハザードマップ ため池別作成図面一覧(平池) 浸水想定区域図 <http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/sangyou/toti/hazardmap-top.html> (平成 28 年現在閲覧可)
- (3) 藤田零, 吉田秀典, 堀宗朗, M.M.L.Wijerathne: 地震による建物被害を考慮した避難行動シミュレーション, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.71, No.2 (応用力学論文集 Vol.18), pp.I\_643-I\_654, 2015
- (4) OpenFOAM Foundation : OpenFOAM User Guide 2.3 Breaking of a dam, <http://www.openfoam.org/docs/user/> (平成 28 年現在閲覧可)
- (5) Brackbill, J. U., D. B. Kothe and C. Zemach: A Continuum Method for Modeling Surface Tension, J. Comp. Phys., Vol.100, pp.335-354, 1992.
- (6) 清水義也: 半導体洗浄機モデル内流れに関する研究, 岡山大学大学院, 博士論文, 107p, 2015
- (7) 上浦鉄平: 肥型船舶首まわりの渦流れに伴う流体现象の CFD シミュレーション, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.19, pp.9-18, 2014
- (8) 川本治, 鈴木尚登, 福原正斗, 吉迫宏, 井上敬資, 鈴木智広: ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して, H25 農業農村工学会全国大会講演会講演要旨集, pp.360-361, 2013
- (9) 小嶋創, 向後雄二, 島田清, 正田大輔, 鈴木尚登: ため池決壊を想定した氾濫解析における地形標高データ解像度の影響, H26 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.806-807, 2014
- (10) 香川県水資源対策課: 降雨および貯水率の状況, <http://www.pref.kagawa.lg.jp/content/etc/subsite/mizu/index.shtml> (平成 28 年現在閲覧可)
- (11) 川崎浩司, 松浦翔, 坂谷太基: 3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM による自由表面解析手法の妥当性に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, I-748-I-753, 2013
- (12) Christian Kunkelmann: Numerical Modeling and Investigation of Boiling Phenomena, Darmstadt University of Technology, Ph.D. Thesis, 122p, 2011
- (13) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部: 内水浸水想定区域図作成の手引き, pp.11-12, 2015
- (14) 国土交通省中部地方整備局: 安全で確実な避難の確保, p.83, 2013
- (15) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室: 浸水想定区域図作成マニュアル (改訂版), p.27, 2014
- (16) 国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課水防企画室: 洪水ハザードマップ作成の手引き (改訂版), p.36, 2015
- (17) 西原巧: 洪水災害時における地域避難システムの設計と評価 (1), 水利科学, No.147, pp.12-21, 1982
- (18) 内閣府: 大雨災害における避難のあり方検討会報告書, p.11, 2010