

# ため池ハザードマップ作成のための 浸水想定区域算定マニュアル 1版

1.はじめに	1
2.氾濫解析（二次元不定流解析）について	3
(1) 氾濫解析の概要と従来一般的な解析条件設定方法	3
(2) 基本的な解析条件設定項目	4
・メッシュ属性①地盤高	4
・メッシュ属性②粗度係数	9
・境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ	12
・解析領域・決壊点設定時の留意事項	18
・簡易氾濫解析の限界	22
(3) より詳細な解析条件設定項目	27
・線状構造物の反映	28
・建物の反映	29
・降雨の反映	31
・重ねため池の氾濫解析	33
3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例	36
(1) 平成29年被災ため池（吉ヶ谷池；福岡県朝倉市）	37
(2) 平成30年被災ため池（中島池；福岡県筑前町）	42
参考：二次元不定流解析の基礎理論	

#### ○免責事項

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）は、本マニュアルの記載事項に起因してご使用者に直接または間接的損害や不利益が生じて、いかなる責任も負わず、また、一切の損害賠償等を行わないものとします。

# 1.はじめに

○本マニュアルでは、ため池ハザードマップ作成のために必要な浸水想定区域の算定方法について解説する。ため池の浸水想定区域を求める手法の一つとして、「ため池ハザードマップ作成の手引き（農林水産省）」には、二次元不定流解析による氾濫解析が挙げられている。

○この二次元不定流解析による氾濫解析とは、平面上における水の流れを運動方程式と連続式に基づいて算出する方法である。この手法では、任意のため池が決壊した場合の水深や流速について時間を追って表示することができ、経過時間内の最大水深、浸水時間、洪水の到達時間も計算することができる。

○本マニュアルでは、

- ・ **二次元不定流解析による氾濫解析でため池の浸水想定区域を求める際の解析条件の設定方法や、留意事項について解説**する。
- ・ 過去の決壊ため池における検証事例に基づき、**解析結果の妥当性確認のための現地確認において着目すべきポイント等**について解説する。

○本マニュアルは、二次元不定流解析に基づく解析プログラムないしソフトウェアを用いてため池の氾濫解析を行おうとする土地改良技術者や、当該業務を発注する自治体職員の参考情報とされることを想定して作成したものである。

# 1.はじめに

## 本マニュアルの解説項目

### 基本的な解析条件設定項目（簡易氾濫解析(参照：p.3) に対応）

- ・ **メッシュ属性①地盤高**(参照： p.4～8)  
→ 国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル (DEM)5mメッシュに基づき設定
- ・ **メッシュ属性②粗度係数**(参照： p.9～11)  
→ 氾濫域を代表する土地利用に基づき値を設定
- ・ **境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ**(参照： p.12～17)  
→ ため池の諸元(堤高・貯水量)に基づき算定されるピーク流量をもつハイドログラフを設定

### より詳細な解析条件設定項目

（簡易氾濫解析で妥当な結果が得られないと判断される場合(参照： p.22～26)に適宜追加設定）

- ・ **線状構造物の反映** (参照： p.28)  
→ ブロック塀等により流れが遮られる条件を、メッシュ境界の流量フラックスを0として反映
- ・ **建物の反映** (参照： p.29～30)  
→ オルソ画像や建築物の外周線データを用いて、合成等価粗度係数や不透過メッシュで反映
- ・ **降雨の反映** (参照： p.31～32)  
→ 各計算メッシュの水深に降雨強度相当の値を加算する方法で反映
- ・ **重ねため池の氾濫解析** (参照： p.33～35)  
→ 下流側ため池の初期水位・洪水吐断面諸元等に基づき水収支計算で決壊判定

### 決壊ため池における浸水域の現地調査事例 (参照：p.36～45)

- ・ 氾濫解析による浸水域は特定の条件設定に基づく計算の結果であるため、現地の実状を踏まえて解析結果を検討し、必要に応じて条件設定項目の追加を含めた修正を行うことが不可欠。
- ・ 過去の決壊事例において大きな浸水深が生じた箇所に特徴的な微地形や、数値標高モデル (DEM)に表現されない地物等に着目して現地調査を行う。

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### (1) 氾濫解析の概要と従来一般的な解析条件設定方法

二次元不定流解析による氾濫解析では、

- ・ 氾濫流の到達が予想される範囲を含む解析領域を設定・メッシュに分割し
- ・ 各メッシュに属性値(地盤高、粗度係数)を与え、
- ・ 破堤点からの流出流量に相当する流量の時間変化(ハイドログラフ)を解析領域に対する流入境界条件として設定

することで、運動方程式、連続式に基づき各メッシュの水深や流速を、時間を追って計算する。

- ため池決壊時の二次元不定流解析による氾濫解析の条件設定方法としては、解析メッシュの属性や流入境界条件を、ため池諸元及び基盤地図情報等の公表データに基づき簡略化して設定する「**簡易氾濫解析**」が提案され、従来一般的に用いられてきた（川本ら、2013a、b）。
- 簡易氾濫解析における条件の設定方法は以下の通りである。
  - ・ メッシュ属性①地盤高  
→ 国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル 5mメッシュに基づき設定
  - ・ メッシュ属性②粗度係数  
→ 氾濫域を代表する一律値を解析領域全体に設定
  - ・ 境界条件  
→ Costa式によるピーク流量が解析初期に生じるハイドログラフに従い、ため池の総貯水量を解析領域に流入させる
- 「ため池ハザードマップ作成の手引き」では、簡易氾濫解析による浸水想定区域の算定結果について、地形図や現地踏査と照合し、必要に応じて修正を加える必要があるとされている。

参考：

- ・ 川本ら（2013a）：詳細地形等を考慮したため池決壊時の簡易氾濫解析手法，農研機構普及成果情報。
- ・ 川本ら（2013b）：ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して，農業農村工学会誌、81(8)，pp.616-619。

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ●メッシュ属性 ①地盤高

##### 【ポイント】

計算メッシュに与える地盤高については、国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデルの5mメッシュが整備された地域においてはその使用が妥当と考えられる。ただし、人工構造物が表現されない等の特性に留意し、氾濫流況に影響を与える微地形・地物が妥当に反映されているかを精査することが必要である。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●メッシュ属性 ①地盤高

#### ○地盤高設定に用いるデータ

- ・ 氾濫解析にあたっては、氾濫流の到達が予想される範囲を包含する解析領域を設定、これを計算メッシュに分割する。各計算メッシュには地盤高や粗度係数といった属性値が与えられる。このうち地盤高は、国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル等の**地形標高データ**に基づき設定する

#### ○国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル

- ・ 5 mメッシュ（以下、5mDEM）、と10 mメッシュ（以下、10mDEM）がある（1 mメッシュもあるが整備地域に限られる）。これらは空間解像度が異なるだけでなく、作成方法にも差異がある。

数値標高モデルの種類と概要

種類	名称		作成方法		ファイル単位	主な整備範囲		標高点格子の間隔	標高精度 (標準偏差)
5m メッシュ	5mメッシュ (標高)	DEM5A	航空レーザ測 量	基本測量	3次 メッ シュ	都市域等	<a href="#">地理院地図 で見る</a>	0.2" × 0.2" (約5m四方)	0.3m以内 ※1
			公共測量	河川流域等					
	5mメッシュ (数値地形)	DEM5B	写真測量	基本測量		都市域周辺等	<a href="#">地理院地図 で見る (桃 色表示の範 囲)</a>	0.2" × 0.2" (約5m四方)	0.7m以内 ※2
		DEM5C				一部の島嶼部等			<a href="#">地理院地図 で見る (水 色表示の範 囲)</a>
10m メッシュ	10mメッシュ (火山標高)	DEM10A	火山基本図 の等高線	基本測量	2次 メッ シュ	<div>地形図等高線に現れない微 や地物は反映されない</div>			
	10mメッシュ (標高)	DEM10B	地形図の等高 線						



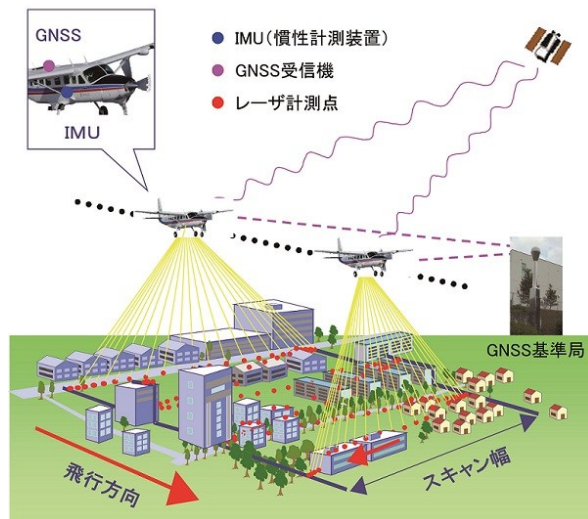
# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●メッシュ属性 ①地盤高

#### 【参考】航空レーザ測量の仕組み

- ・航空レーザ測量は「レーザ測距・GNSS・IMU」という3つの技術の合体から実現している。レーザ測距装置は、レーザ光を発射して地表から反射して戻ってくる時間差を調べて距離を決定する装置である。GNSS受信機は、航空機の位置(x,y,z)を知るための装置である。IMU(慣性計測装置)は、いわゆるジャイロを改良したもので、飛行機の姿勢や加速度を測ることができる。この測定値によりレーザ光の発射された方向を正しく補正することが可能となる。
- ・これら、「レーザ測距・GNSS・IMU」の3つの技術で、地表まで達したレーザ光（「レーザ計測点」という）の位置(x,y)と高さ(z)を正確に算出することが可能となる。



（国土交通省国土地理院「航空レーザ測量の仕組み」に基づき記述。  
図については引用）



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●メッシュ属性 ①地盤高

【参考】航空レーザ測量の仕組み

（続き）

・航空レーザ測量のレーザ光は、地面ばかりでなく、建物や樹木の上で反射して戻ってくる。このため、航空レーザ測量で直接得られる高さのデータは、建物や樹木の高さを含んでいる。このような高さのデータよりグリッド化した地表モデルを数値表層モデル、通称**DSM(Digital Surface Model)**という。

・これに対して、一般の地図のように地表の高さを示したい場合は、これらの建物や樹木の高さを取り除くことが必要である。この建物や樹木の高さを取り除く作業を「フィルタリング」と呼ぶ。フィルタリングを行って得た地表面だけの高さのデータからグリッド化した地表モデルを数値標高モデル、通称**DEM(Digital Elevation Model)**という。



（国土交通省国土地理院「航空レーザ測量の仕組み」に基づき記述。図については引用）

※DEMには、フィルタリングの過程で除去されるために家屋等の人工構造物および樹木等は表現されない。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ● メッシュ属性 ① 地盤高

#### ○ 地形標高データの解像度に対する考え方

- ・ 航空レーザ測量に基づく地形標高データが国土地理院や各航測会社等から入手可能である。また、ドローンセンシングにより新たに取得したデータを用いることも考えられ、これらのデータには、空間解像度が5 mより高いものも存在する。
- ・ 高解像度の地形標高データには、当然、より微細な地形・地物の情報まで表現される。しかし、これらの情報をもれなく氾濫解析上に反映するには計算メッシュも同程度以上に細かく分割する必要があり、相応の計算負荷（所要時間・メモリ使用量）を要する。
- ・ また、測量方法そのものの特性上適切に表現されない地物の影響により、高解像度データの使用が必ずしも実状に即した浸水域算定につながらなかった事例もある（例えば小嶋ら, 2016）。

以上を考慮すると、氾濫解析の計算メッシュに与える地盤高については、基盤地図情報 5mDEMが整備された地域においてはその使用を標準とし、**氾濫流況に影響を与える微地形・地物が妥当に反映されているかを精査**することが合理的と考えられる。

（ただし、5mDEMが未整備、あるいは整備後の地形改変等の理由で5mDEMの使用が不適当と判断される場合にあっては、10mDEMで代替する、あるいは新たに地形標高データを取得し使用することが必要となる。）

参考：

・ 小嶋ら（2016）：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震によって決壊した農業用ため池の氾濫解析，農業農村工学会論文集，84(2)，pp.I\_93-I\_101.

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ● メッシュ属性 ② 粗度係数

##### 【ポイント】

計算メッシュに与える粗度係数については、浸水域内の土地利用を反映した地目別の値を与えることが望ましいが、簡便には、代表的な土地利用に対応する値を一律に与えた場合でも、おおむね妥当な浸水深が得られると考えられる。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●メッシュ属性 ②粗度係数

粗度係数は地表面の粗さの程度をあらわし、各計算メッシュに与えられる属性値の一つである。粗度係数は運動方程式において底面摩擦力の大きさを算出するため用いられる。

「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室、国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室、2017）」では、土地利用条件に応じた目安として右の値の範囲を提示している。

土地利用	粗度係数 $m^{-1/3} \cdot s$
農地	0.02～0.060
林地	0.03～0.060
水域	0.025
空地・緑地	0.025～0.05
道路	0.015～0.047

（「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」より）

また、風間(2008)は、国土数値情報の土地利用種別に対応した値（右の表）を提示している。

地目	粗度係数	地目	粗度係数
田	0.060	その他の用地	0.050
その他の農用地	0.050	河川地および湖沼	0.030
森林	0.060	海浜	0.030
荒地	0.050	海水域	0.030
建物用地	0.050	ゴルフ場	0.050
幹線交通用地	0.047		

（風間（2008）より）

参考：

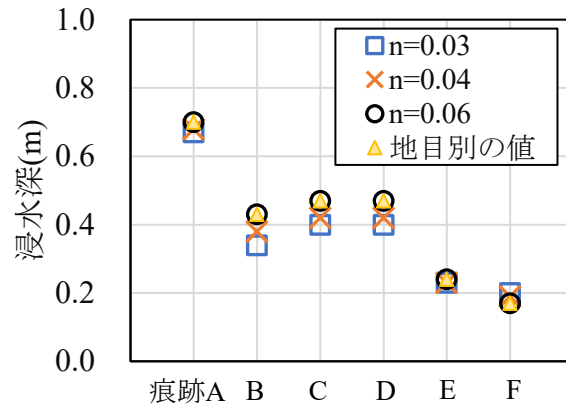
- ・国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室、国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室（2017）：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）。
- ・風間聡：AR5へ向けた影響評価ならびに適応策研究，土木学会水工学委員会水文部会「21世紀気候変動予測核心プログラム」，2008

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

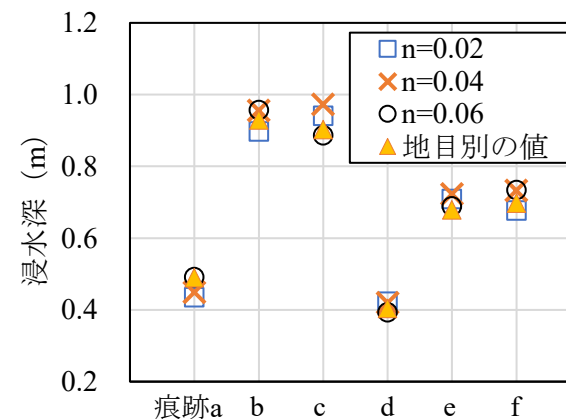
### ●メッシュ属性 ②粗度係数

- 平野部の決壊事例（中島池）、および中山間地の決壊事例（吉ヶ谷池）において、地目別の粗度係数を設定したケース、ならびに全領域一律の値として農地の値の範囲（0.02～0.06）内で3水準設定したケース（計4ケース）について、それぞれ解析結果の浸水深の違いを調べた。



痕跡箇所

平野部の決壊事例（中島池）



痕跡箇所

中山間地の決壊事例（吉ヶ谷池）

- 両事例とも、粗度係数の違いによる痕跡箇所の浸水深の差異は10 cm未満であった。このことから、氾濫解析時の粗度係数設定に関しては、浸水域内の土地利用を反映して地目別の値を与えることが望ましいが、**簡便には浸水域内の代表的な地目に対応する値を一律に与えた場合でも、おおむね妥当な浸水深が得られる**と考えられる。

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ●境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

##### 【ポイント】

決壊点からの貯水流出を表す解析領域への流入流量境界条件の設定にあたっては、Costa式等の経験式から得られるピーク流量をもつ任意形状のハイドログラフを設定する。ただし、ピーク流量発生時刻を遅らせることで最大浸水深が大きくなる場合があるため、ピーク流量発生時刻の異なる複数ケースのハイドログラフに基づく解析を行い、結果を比較検討することが望ましい。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

- ・ 氾濫解析では、決壊点に位置する計算メッシュに対して、決壊に伴う流出貯水量相当の水量を流入させる流量境界条件を与える。
- ・ ため池の決壊に伴う流出流量の時間変化（=ハイドログラフ）は堤体の壊れ方等にも依存し、事前に一意に定めることは不可能である。
- ・ したがって、ため池決壊時の浸水想定にあたっては、**経験式に基づくピーク流量をもつ任意形状のハイドログラフを仮定**の上、氾濫解析が行われる。

### ○ピーク流量算定式

- ・ ダム決壊時の最大流出流量を算定する経験式は多く提案されている。  
このうち堤高や貯水量と関連づけた経験式の例を以下に示す。

Costa, J. (1988) Floods from Dam Failure. Flood Geomorphology, 436-439.

$$Q_p = 325(H \cdot V)^{0.42}$$

$Q_p$ : 最大流出流量 (m<sup>3</sup>/s)

$H$ : 堤高 (m)

$V$ : 決壊時貯水量 (m<sup>3</sup>, ただし算出時は 10<sup>-6</sup>を乗ずる)

Froehlich, D. (1995) Peak Outflow from Breached Embankment Dam. J. Water Resources Planning and Management, 121, 90-97.

$$Q_p = 0.607 \cdot V_w^{0.295} H_w^{1.24}$$

$Q_p$ : 流出流量 (m<sup>3</sup>/s)

$H_w$ : 決壊断面の高さ (m)

$V_w$ : 貯水量 (m<sup>3</sup>)

決壊断面の高さは事前には定まらないため、危険側の算定方法としては、堤高に置き換えることが考えられる。

(正田ら、2014)



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

#### ○ピーク流量算定式の選択について

- ・危険側の条件設定とする観点からは、前出の2式のうち、より大きなピーク流量を与えるものを選ぶ方法が考えられる。
- ・一方、過去の決壊事例の再現解析では、Costa 式を用いた解析で妥当な浸水範囲や浸水深が得られることを確認している事例が複数ある（正田ら、2014；小嶋ら、2019；小嶋ら、2021a）ことから、これを選択することも合理性があると考えられる。

- 正田ら(2014)は、平成25年度の豪雨による決壊ため池を対象に、Costa式、Froehlich式に加え、土地改良事業の費用対効果算定手法で示された式(下に示す)を用いてピーク流量を計算・比較した。

$$Q_p = 4.5 H_w^{5/2}$$

$Q_p$  : 最大流出流量 (m<sup>3</sup>/s),  $H_w$  : 決壊断面の高さ (m)

- ・土地改良事業の費用対効果算定手法で示された式においては貯水量の違いは考慮されず、比較的堤高の高いため池においては算定ピーク流量が他2式に比べてかなり大きくなる。

ため池	堤高 $H$ (m)	貯水量 $V$ (m <sup>3</sup> )	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)		
			Costa式	Froehlich式	参考：土地改良事業における効果算定の式
A	4.0	2,200	44.52	32.79	144.00
B	15.0	12,500	160.90	281.92	3921.40
C	4.7	22,500	126.50	79.52	215.50
D	5.2	12,000	101.36	74.88	277.47
E	8.2	10,800	117.41	127.70	866.46
F	4.0	45,000	158.16	79.88	144.00
G	7.0	35,000	180.03	148.46	583.39
H	5.8	9,000	94.04	78.77	364.57
I	3.5	1,200	32.63	23.24	103.13

※各式の決壊断面高さ $H_w$ は堤高に置き換えて算出

参考：正田ら（2014）：平成25年度豪雨による決壊ため池の氾濫解析検証，農工研技報，215，pp.91-101.

小嶋ら（2019）：中山間地域のため池決壊氾濫解析でのアンダーパス表現，農業農村工学会誌，87(5)，pp.15-18.

小嶋ら（2021a）：痕跡調査に基づくため池決壊氾濫解析手法の信頼性検証，農業農村工学会論文集，89（2），pp.I\_259-I\_270.

農林水産省農村振興局整備部（2007）：改訂版 新たな土地改良の効果算定マニュアル，大成出版，p.383

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ●境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

#### ○ハイドログラフの形状について

・既往の研究事例には

①ピーク流量を解析初期にもつ指数関数形状(小嶋ら、2021a)

②ピーク流量を総流出時間の中間にもつ二等辺三角形形状

(正田ら、2015；小嶋ら、2019；小嶋ら、2016)

のハイドログラフを用いた事例がある。

#### ①の算定式（時刻 $t$ (s)における流量）

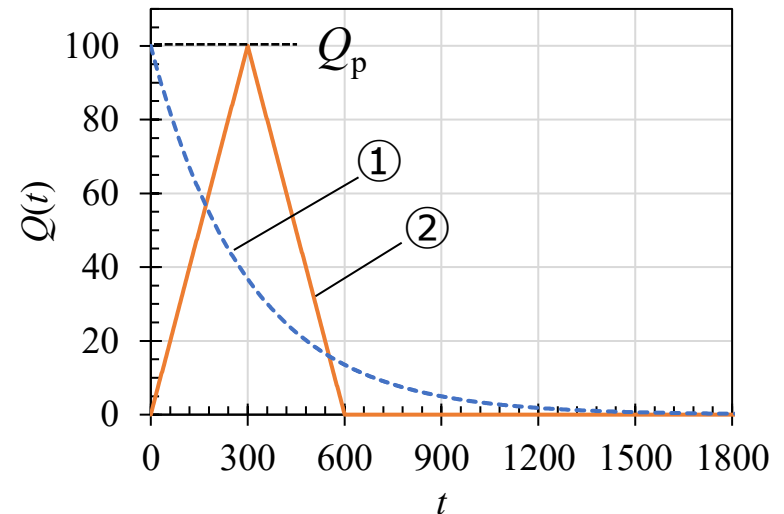
$$Q(t) = Q_p \exp(-Q_p t / V)$$

ここに、 $Q_p$ ：ピーク流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $V$ ：貯水量 ( $\text{m}^3$ )

#### ②の算定式（同）

$$Q(t) = \begin{cases} 2Q_p t / T & (t \leq T/2) \\ -2Q_p (t/T - 1) & (T/2 < t \leq T) \\ 0 & (T < t) \end{cases}$$

ここに、 $T$ ：総流出時間(s) ( $=2V/Q_p$ )



流入ハイドログラフの例  
( $Q_p=100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $V=30,000 \text{ m}^3$ として算定)

参考：

- ・正田ら（2015）：決壊ため池における豪雨を考慮した氾濫解析手法の検討，農業農村工学会誌，83(4)，pp.35-38.
- ・小嶋ら（2019）：中山間地域のため池決壊氾濫解析でのアンダーパス表現，農業農村工学会誌，87(5)，pp.15-18.
- ・小嶋ら（2016）：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震によって決壊した農業用ため池の氾濫解析，農業農村工学会論文集，84(2)，pp.1\_93-1\_101.
- ・小嶋ら（2021a）：痕跡調査に基づくため池決壊氾濫解析手法の信頼性検証，農業農村工学会論文集，89（2），pp.1\_259-1\_270.

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ●境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

##### ○ハイドログラフ算定時の貯水量の扱いについて

流入ハイドログラフの算定に用いる貯水量については、データベース等に記載された総貯水量を用いることが基本と考えられるが、堤体越流による決壊時には常時満水位に対応する総貯水量より多くの水量が流出する場合も想定し得ることに留意する必要がある。

一方、掘込式のため池においては、決壊に伴い総貯水量の全量が流出することは考えにくいことから、堤高と地盤高から想定される決壊断面高さに対応する貯水池容量を用いる等、決壊時の状況も考慮しつつ、ハイドログラフの算定に用いる貯水量を設定することが望ましい。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## (2) 基本的な条件設定項目

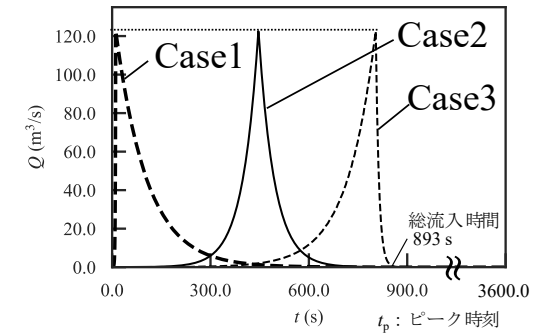
### ● 境界条件 決壊点の流入ハイドログラフ

- 谷地形に立地し、下流浸水域に狭窄部を有するため池の氾濫解析において、指数関数算出式によるハイドログラフを与えたCase 1と、その算出流量を並べ替え、ピーク流量発生時刻（以下、ピーク時刻）を

- ・ 総流入時間の50%としたCase2、および
- ・ 総流入時間の90%としたCase3

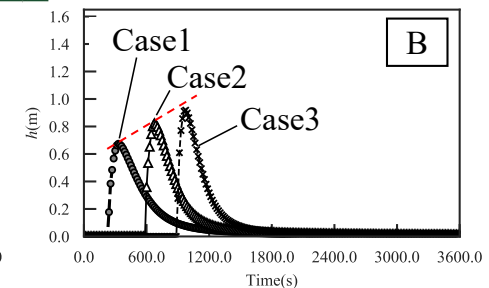
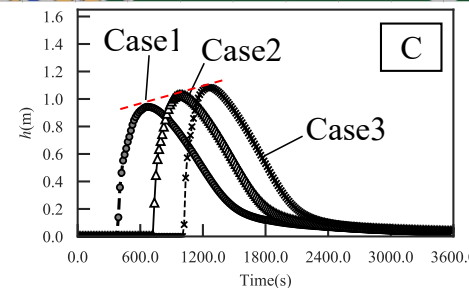
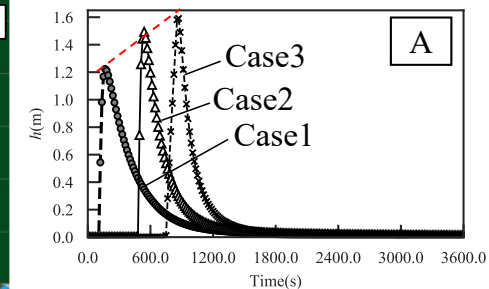
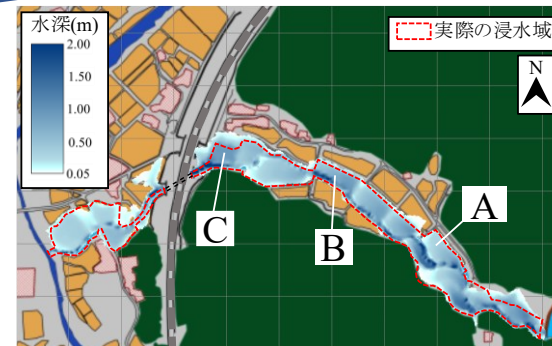
を用いてそれぞれ解析した(小嶋ら、2021b)。

※ピーク流量はCosta式による値に統一。



解析に用いた流入ハイドログラフ

- 各ケースの解析結果における浸水深の時間変化（A～C地点）を比較（右図）
- ・ 流入ハイドログラフのピーク時刻が早いケースほど、各地点への氾濫流の到達時刻は早かった。
- ・ 一方、最大浸水深は、流入ハイドログラフのピーク時刻を遅らせたケースほど大きくなっていることがわかる。



## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ● 解析領域・決壊点設定時の留意事項

##### 【ポイント】

解析領域の設定にあたっては、解析結果の浸水域を包含するよう十分に広く設定することが不可欠であり、氾濫流が解析領域の境界に到達した場合には、解析領域を拡大した上で再解析し、改めて結果を検討することも必要である。

決壊点の設定にあたっては、ため池堤体の天端付近に設定した場合、流入させた氾濫流が貯水池側に流れ込んでしまい妥当な解析結果が得られない場合があることに留意する。

また、堤長の長いため池（皿池タイプのため池）では、決壊点の位置によって浸水域が異なる場合があるため、決壊点を変えた複数ケースの解析を行い、結果を比較検討する必要がある。

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ● 解析領域・決壊点設定時の留意事項

##### ○ 解析領域の設定について

- ・ 解析領域は、当然、解析結果の浸水域を包含するよう十分に広く設定する必要がある（降雨を反映する場合には集水域も包含する必要がある（詳しくは「降雨の反映」の項目を参照））。
- ・ 得られた解析結果については、解析終了時までの最大浸水深分布だけでなく、途中の浸水深分布についても出力・可視化し、その経時変化から、解析終了時までに浸水域の拡大が収束していることを確認する。
- ・ その過程で氾濫流が解析領域の境界に到達した場合には、解析領域を拡大した上で再解析し、改めて結果を検討することが不可欠である。



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

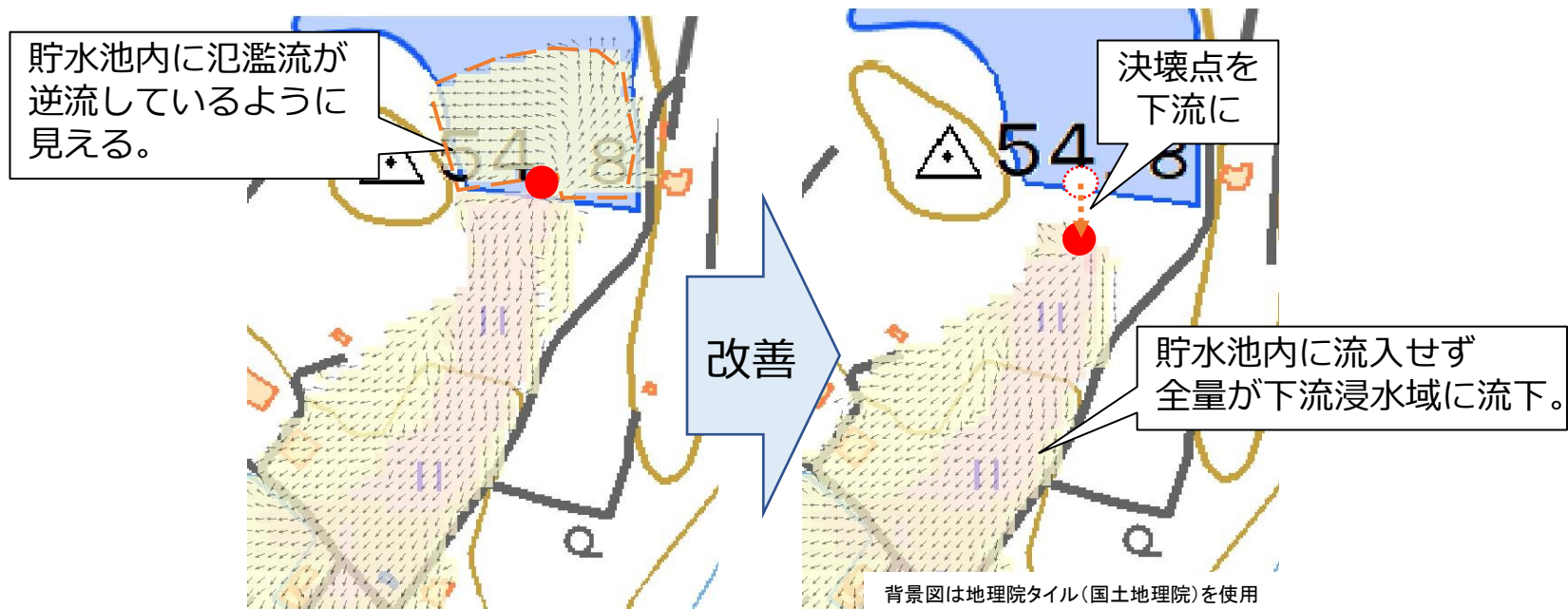
## （2）基本的な条件設定項目

### ● 解析領域・決壊点設定時の留意事項

#### ○ 決壊点の設定について①

- ・ 決壊点をため池堤体の天端付近に設定すると、流入させた氾濫流が貯水池側に流れ込んでしまい、下流浸水域に流下する水量が過小となり妥当な解析結果が得られない場合があることに留意する。

→ そのような際には、決壊点近傍の標高分布を確認し、下流側（標高の低くなる方向）に決壊点の位置をずらして解析を行うことで改善がみられる場合が多い。





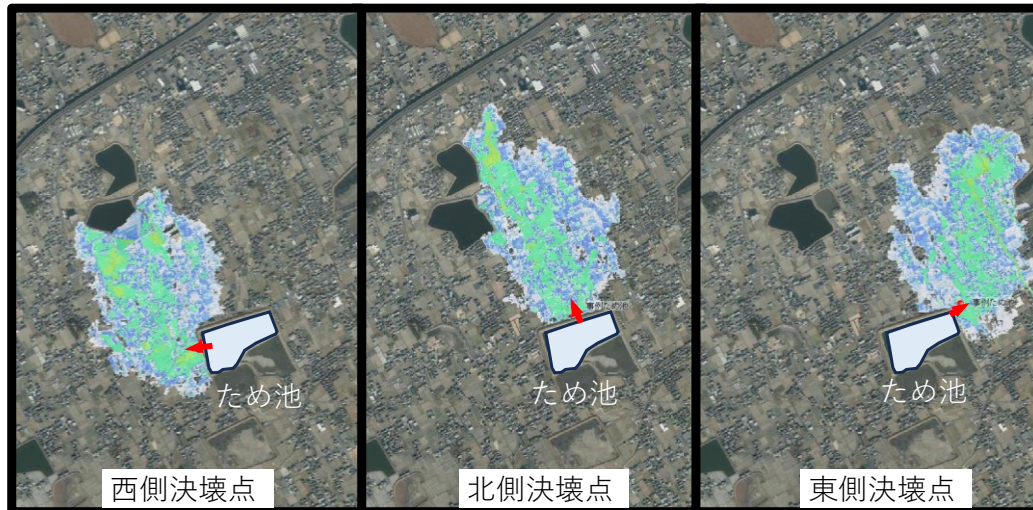
# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ● 解析領域・決壊点設定時の留意事項

#### ○ 決壊点の設定について②

- ・ 決壊点の位置は、洪水吐や取水施設の周辺といった堤体の構造的弱部を選定する方法がある。
- ・ ただし、皿池タイプのため池等堤長が長く、特に平野部に位置するため池では、決壊点の位置によって氾濫流の流下方向や浸水範囲が異なる場合がある。
- ・ したがって、決壊点位置を変えた複数ケースの解析結果を比較し、最も危険側となる解析結果を採用する、あるいは複数ケースの浸水域を重ね合わせる等を検討する必要がある。



決壊点位置による氾濫解析結果浸水域の違いの例  
（川本ら、2013に基づいて作成、背景図は地理院タイル）

参考：

- ・ 川本ら（2013）：詳細地形等を考慮したため池決壊時の簡易氾濫解析手法，農研機構普及成果情報。
- ・ 川本ら（2013）：ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して，農業農村工学会誌、81(8)，pp.616-619。

## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （2）基本的な条件設定項目

#### ● 簡易氾濫解析の限界

##### 【ポイント】

簡易氾濫解析では、人工構造物をはじめとするDEMの特性上表現されない地物や、降雨流出による影響は解析上に反映されないため、実状に即した解析結果が得られない場合がある。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

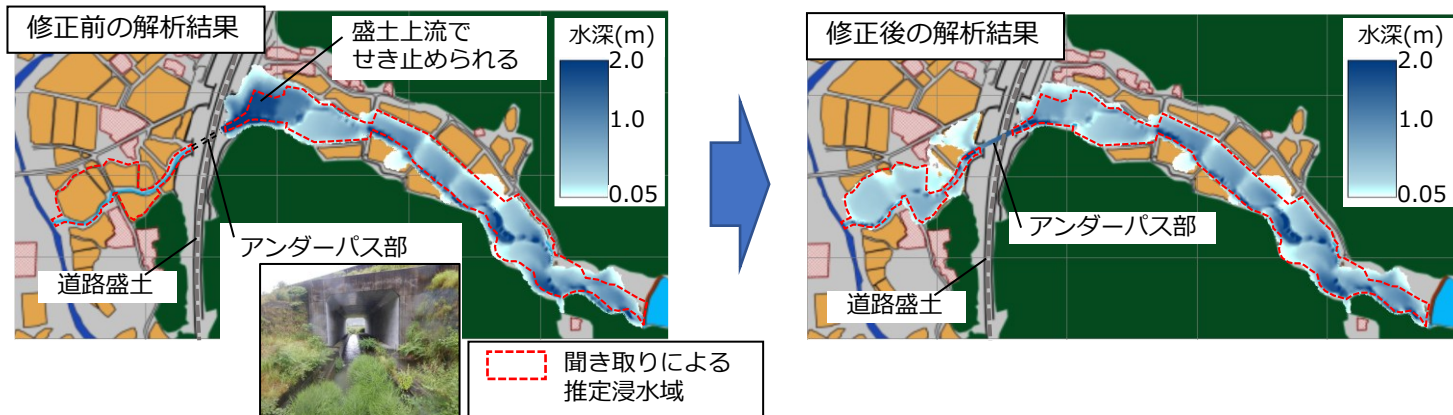
### ● 簡易氾濫解析の限界①

※航空レーザ測量等で作成されたDEMを用いた場合に、測量手法の特性上、道路盛土等の下を通るアンダーパス状の水路やボックスカルバートは反映されず、当該部分のメッシュ地盤高が盛土天端の値となることがある。その様な場合には、水路を通る流れが表現されずに上流側で氾濫流がせき止められ、妥当な浸水域が求められない。

- ・ そうした場合には、当該箇所のメッシュ地盤高を修正する、または、解析ソフトに組み込まれた排水路等のモデルがある場合にはそれらを使用する等の方法により、解析にあたって適切に反映させる必要がある。

※過去の決壊事例においては、氾濫流がアンダーパス状の水路内を流下した事例(小嶋ら,2019)のほか、ボックスカルバートが閉塞した事例 (Shoda et al.,2015 ) が報告されている。

アンダーパス状の水路部について標高修正して解析した事例(小嶋ら, 2019)



参考：

- ・ 小嶋ら (2019) : 中山間地域のため池決壊氾濫解析でのアンダーパス表現, 農業農村工学会誌, 87(5), pp.15-18.
- ・ Shoda et al.(2015) : Prediction of Inundation Areas Due to Failure in Small Earthfill Dam Using Numerical Analysis, JARQ, 49(2), pp.97-102.



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

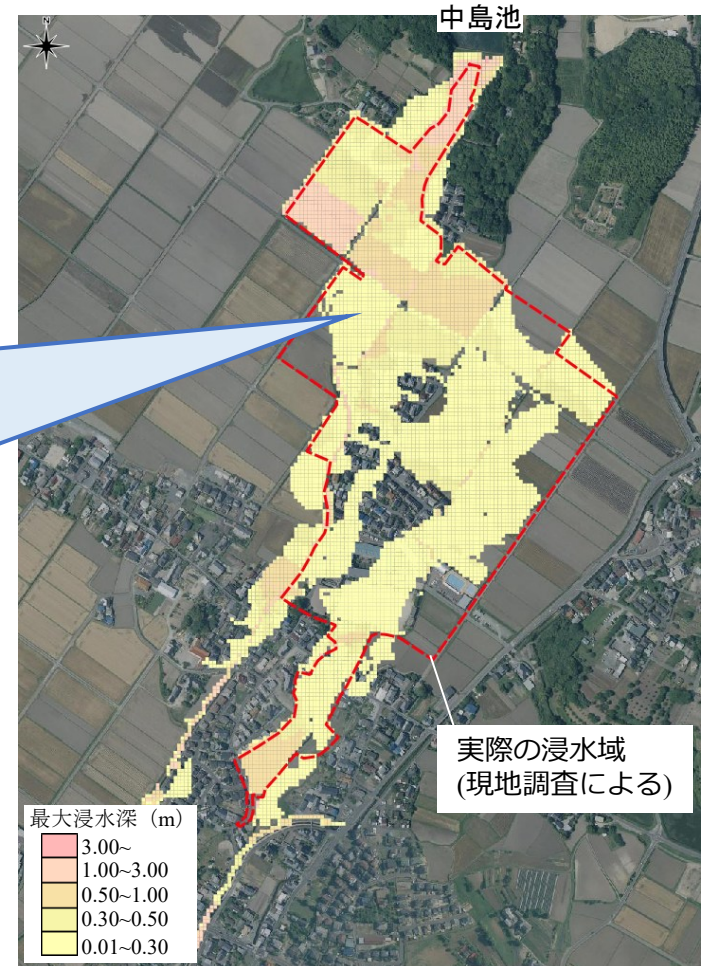
## （2）基本的な条件設定項目

### ● 簡易氾濫解析の限界②

- 平成30年7月豪雨における決壊ため池（中島池；福岡県筑前町）の事例（p.41~参照）に簡易氾濫解析を適用し、被災直後の現地調査で把握した浸水域や最大浸水深と解析結果を比較した。

簡易氾濫解析結果の浸水域は、  
現地調査時に土砂の堆積範囲から  
推定した浸水域(赤線)と概ね一致。

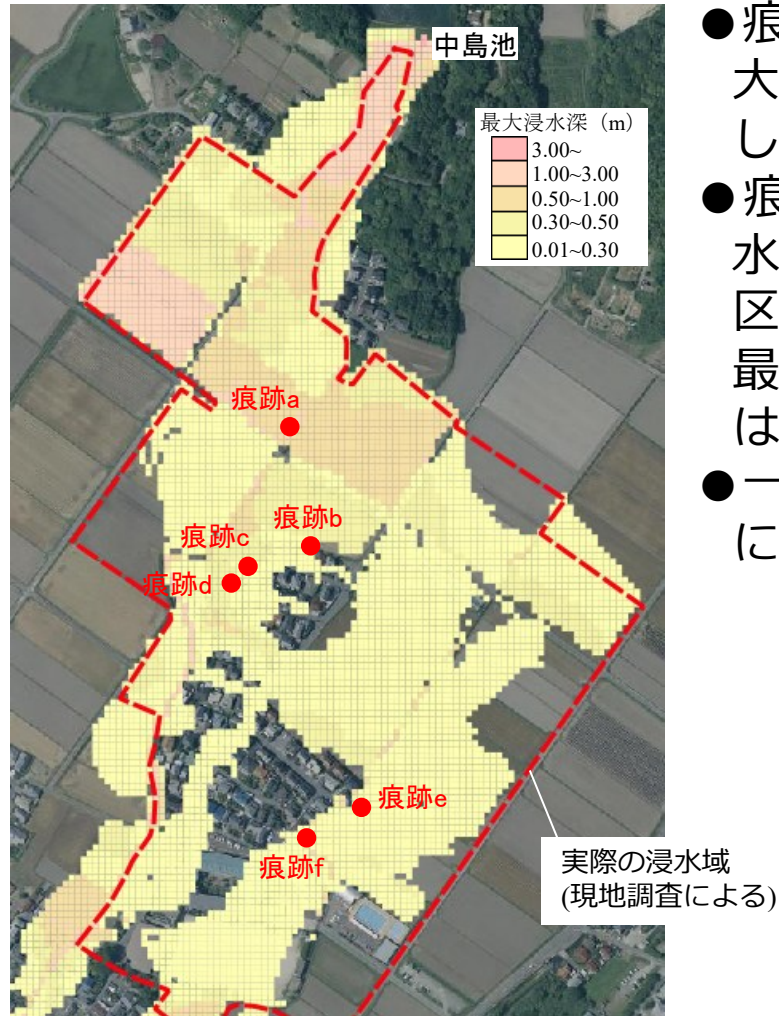
広範囲の農地に  
堤体土由来と  
考えられる  
まさ土の堆積がみられた。



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

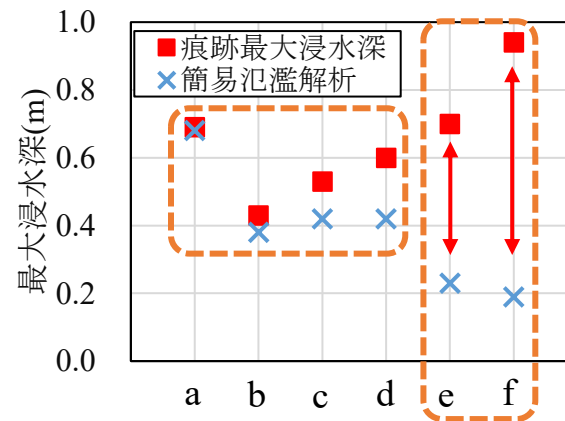
### ● 簡易氾濫解析の限界②



簡易氾濫解析の結果

背景図は地理院タイル(国土地理院)を使用

- 痕跡高さと地盤高の現地測量結果から求めた痕跡最大浸水深と、簡易氾濫解析結果の最大浸水深を比較し、妥当な結果が得られているか検証した。
- 痕跡a~dにおける解析結果の最大浸水深は、痕跡浸水深との差異が18 cm未満であった。洪水浸水想定区域図作成マニュアルに示された浸水ランクの幅は、最も狭い階級で20 cmであることから、この浸水深は実用上妥当な範囲と考えられる。
- 一方、痕跡e、f では、痕跡と解析結果の最大浸水深に大きな差異が生じた。



痕跡箇所

最大深の比較

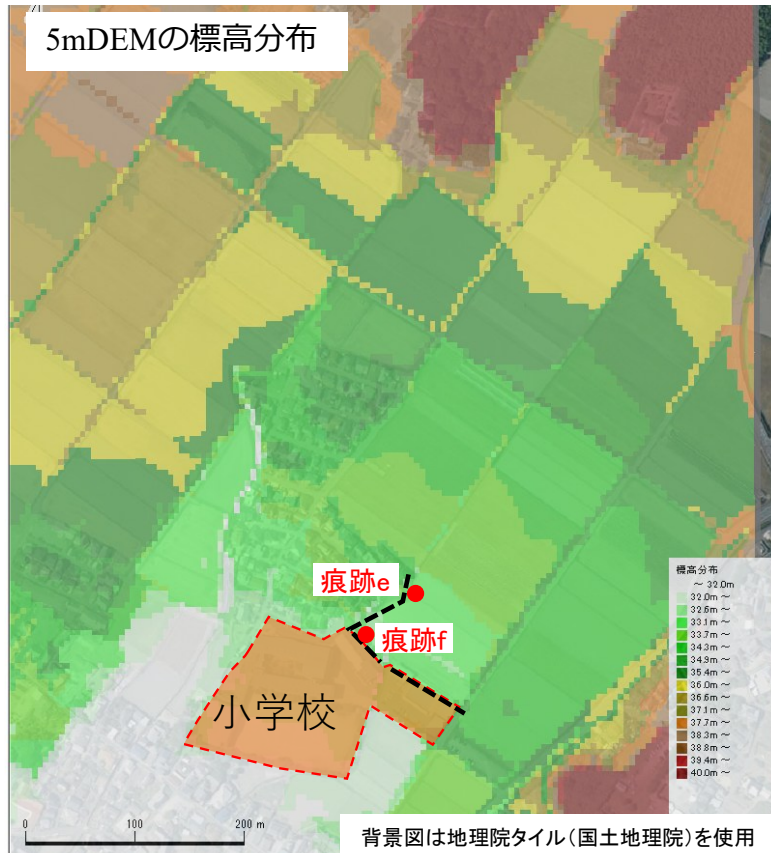


# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （2）基本的な条件設定項目

### ● 簡易氾濫解析の限界②

- 以上を踏まえ改めて実際の氾濫流況を検討したところ、痕跡eとfが位置する小学校の北側は緩やかな谷地形となっており、中島池の決壊当時は降雨流出水が集中したと考えられる。また、氾濫流は小学校敷地北側境界のブロック塀やその背後の建物に遮られて堰上げが生じたと考えられるが、それら地物はDEMに表現されず、解析に反映されていない。



## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （3）より詳細な条件設定項目

#### 【ポイント】

簡易氾濫解析では実状に即した解析結果が得られない場合には、現地の状況を踏まえ、DEMには表現されないが氾濫流況に影響を与える地物や、降雨流出の影響を反映する等により、解析結果が改善する場合がある。

詳細な解析条件設定にかかる所用コスト等も鑑みて、必要に応じて改善策を適用することが望ましいと考えられる。



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （3）より詳細な条件設定項目

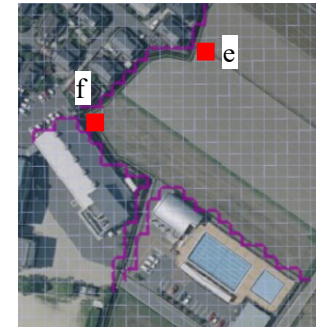
### ● 線状構造物の反映

- ・洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）には、「メッシュ幅に対して盛土幅が小さく地盤高で十分表現できない連続盛土については、浸水位が盛土高を超えない場合は不透過境界、超える場合は越流が生じるものとしてモデル化する」と記載されている。
- ・DEMに現れない人工構造物のうち、流れを遮るブロック塀等の線状構造物についても、上記の方法で解析モデル上に組み込むことが妥当と考えられる。
- ・平野部の決壊事例（中島池；前出）の氾濫解析では、氾濫流を遮ったブロック塀等の構造物について、その前面に位置する計算メッシュの境界を横切る流量フラックスをゼロとし、氾濫流がこれを越えて流下しない条件を設定した。
- ・構造物を考慮しない場合には、構造物近傍の痕跡（e、f）で解析結果は痕跡水深と乖離したのに対し、構造物を反映した場合には改善がみられた※。

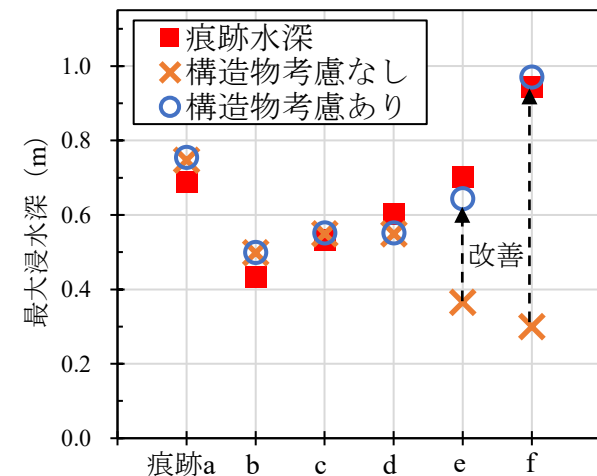
境界条件の設定例



「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」より



背景図は地理院タイル（国土地理院）を使用



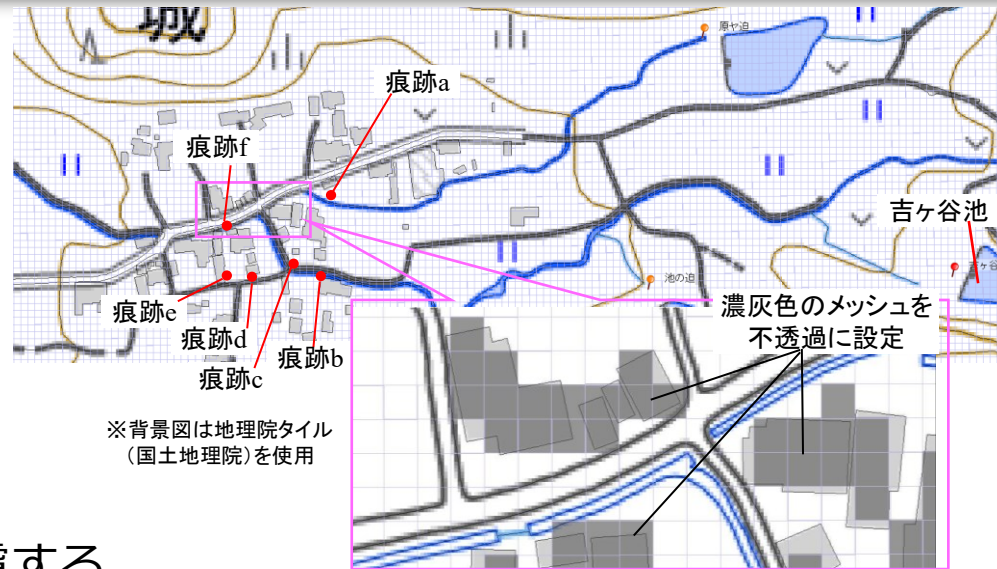
※本ページ中の解析結果では、p.33~に記載の方法により降雨を反映した条件のもと、線状構造物反映の影響を示している

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## (3) より詳細な条件設定項目

### ● 建物の反映

- 中山間の決壊事例(吉ヶ谷池；p.33～)を対象として、以下2通りの方法で建物を反映した氾濫解析を行い、解析結果の浸水深がどのように異なるかを調べた。(小嶋ら，2024)



### A. 建物占有率を設定する方法

- ・ 宅地における建物による抵抗力を考慮する  
手法として、栗城ら（1996）による合成等価粗度係数を用いる方法がある。
- ・ そこでは、メッシュ毎の粗度係数 $n$ を建物占有率 $\theta$ （メッシュに占める建物面積の割合）および浸水深 $h$ に応じた値として以下の式により求める。  
( $n_0$ は底面の粗度係数)

$$n^2 = n_0^2 + 0.02 \frac{\theta}{100 - \theta} h^{4/3}$$

### B. 不透過メッシュを設定する方法

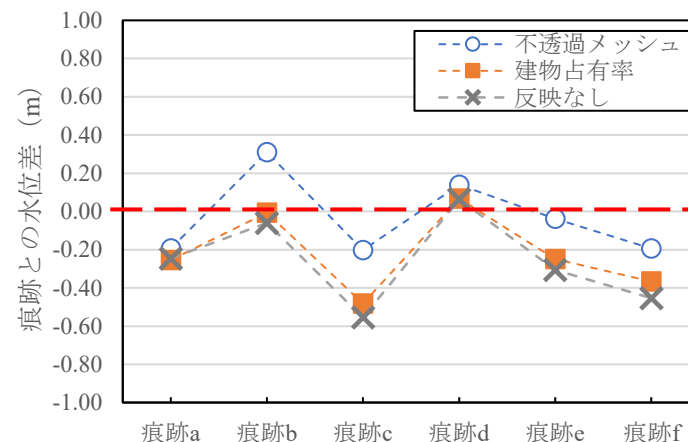
- ・ 個々の建物が氾濫流を遮り流路断面が減少する効果を反映するため、建物に当該する計算メッシュを不透過、すなわち、当該メッシュに流入・流出する流量フラックスを0とする境界条件を設定する。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （3）より詳細な条件設定項目

### ● 建物の反映

- 痕跡から把握された最高水位との差を検討
  - ・ 建物を不透過メッシュとして反映した場合には、解析結果の水位は痕跡に対して-20 cm～+30 cmの範囲となった。
  - ・ 一方、建物占有率として反映した場合、および、反映しなかった場合の浸水深はこれより小さく、痕跡に対して50 cm以上過小となる箇所も見られた。



引用

・ 小嶋ら（2024）：中山間傾斜地谷部の決壊事例に基づくため池決壊氾濫解析手法の検討，農業農村工学会論文集，92（1），1\_29-1\_40.

- ※ 反映すべき家屋の抽出には、オルソ画像や建築物の外周線データ(国土地理院基盤地図情報基本項目)が有用と考えられる。ただし、家畜舎等、壁がなく氾濫流が透過する建物は除外するなど、実態に合わせた修正は不可欠と考えられる。
- ※ 浸水面積が大きな事例では、全ての建物を抽出し不透過メッシュとして反映するには相当の作業コストを要すると考えられる。所用コスト等も鑑みて、必要に応じて適切な方法で建物を反映することが望ましいと考えられる。

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## （3）より詳細な条件設定項目

### ● 降雨の反映

- ・ 豪雨によるため池決壊時の浸水域は、ため池の決壊による氾濫流以外にも、隣接流域等からの降雨流出の影響を強く受ける場合がある。
- ・ 浸水域に対する集水面積が大きな事例では、浸水想定時に降雨を反映した解析を実施し、浸水域ならびに浸水深に与える影響を検討しておくことが望ましいと考えられる。
- ・ 降雨の反映方法としては、各解析メッシュで計算される水深に対して、当該時刻の降雨強度に相当する水深を加算することで、比較的簡便に降雨の影響を反映した研究事例（正田ら，2015；小嶋ら，2021a）がある。
- ・ ただし、この方法では解析領域外から流れ込む降雨流出は反映できないため、解析領域は集水域全体を含む必要がある。この場合でも、詳細な降雨流出特性は表現されないことに留意する必要がある。
- ・ また、（洪水浸水想定区域図作成マニュアルに従って）既往最大規模の降雨を与えて解析した場合、ため池の決壊による浸水域が他の浸水域に埋没する場合が想定される。このような場合には、ため池の決壊に伴う浸水域と他の浸水域を個別に求めた上で、重ね合わせ表示する等の対応を検討する必要がある。

参考：

- ・ 正田ら（2015）：決壊ため池における豪雨を考慮した氾濫解析手法の検討，農業農村工学会誌，83(4)，pp.35-38.
- ・ 小嶋ら（2021a）：痕跡調査に基づくため池決壊氾濫解析手法の信頼性検証，農業農村工学会論文集，89（2），pp.1\_259-1\_270.
- ・ 小嶋ら（2024）：中山間傾斜地谷部の決壊事例に基づくため池決壊氾濫解析手法の検討，農業農村工学会論文集，92（1），1\_29-1\_40.



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

## (3) より詳細な条件設定項目

### ● 降雨の反映

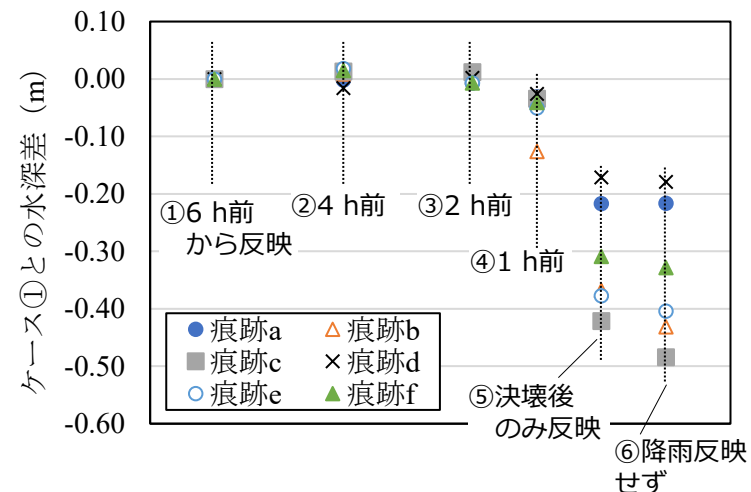
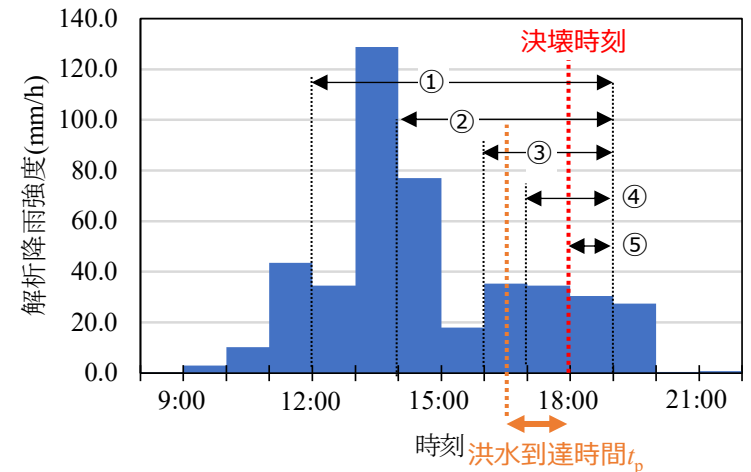
- ・ 中山間の決壊事例(吉ヶ谷池)を対象として、決壊以前の先行降雨を含めて反映させた氾濫解析を行った事例がある(小嶋ら,2024)。
  - ・ 含める先行降雨の長さを変えて(右図①～⑤)解析し、浸水痕跡箇所における水深計算値を比較した。
  - ・ 角屋・福島の式※で算出される洪水到達時間を超える長さの先行降雨を反映したケース(①～③)の間では浸水深に大きな差異がなかった。
  - ・ これに対し、それ以降のケースでは浸水深が過小で、決壊時刻以降の降雨のみを反映させたケース⑤では、全く反映させなかったケース⑥に近い値となった。
- この事例に鑑みると、氾濫解析で降雨を反映する場合には、洪水到達時間を目安として、先行降雨を含めることが望ましいと考えられる。

※参考：角屋・福島の式

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35}$$

$t_p$  : 洪水到達時間 (min) 、 $C$  : 定数(自然山地では290)、  
 $A$  : 集水面積 (km<sup>2</sup>) 、 $r_e$  : 平均有効降雨強度 (mm/h)

→ 吉ヶ谷池決壊前2時間の平均降雨強度 (34.9 mm/h) に  
対応する洪水到達時間  $t_p$  は81 minとなった



## 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

### （3）より詳細な条件設定項目

#### ● 重ねため池の氾濫解析

- ・ 重ね(親子)池とよばれる、谷筋に連続するため池では、上流側ため池の決壊が引き金となり、氾濫流が流れ込んだ下流側ため池も決壊(連鎖決壊)した場合、下流域で被害が拡大する。
- ・ 重ねため池の浸水想定区域算定にあたっては、決壊時の貯水流出による下流域の被災リスクを最大に見積もる考え方（農林水産省農村振興局整備部、2007）に基づき、最下流のため池位置に、重ねため池の合計貯水量を仮想的に与えて氾濫解析を行う方法がある。
- ・ 一方で、下流側ため池に流入した氾濫流が洪水吐から流出する等によって決壊には至らず、結果的に、下流側ため池が氾濫流を受け止め下流域に対する減災効果を発揮する場合も想定される。
- ・ このような流出の過程を踏まえた浸水想定区域の算定方法として「連鎖決壊解析」の手法が提案（正田ら、2018）されている。

※参考

- ・ 農林水産省農村振興局整備部（2007）：改訂版 新たな土地改良の効果算定マニュアル、大成出版社、p.308
- ・ 正田ら（2018）：重ね（親子）ため池における連鎖的な決壊判定手法，農研機構普及成果情報，

# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

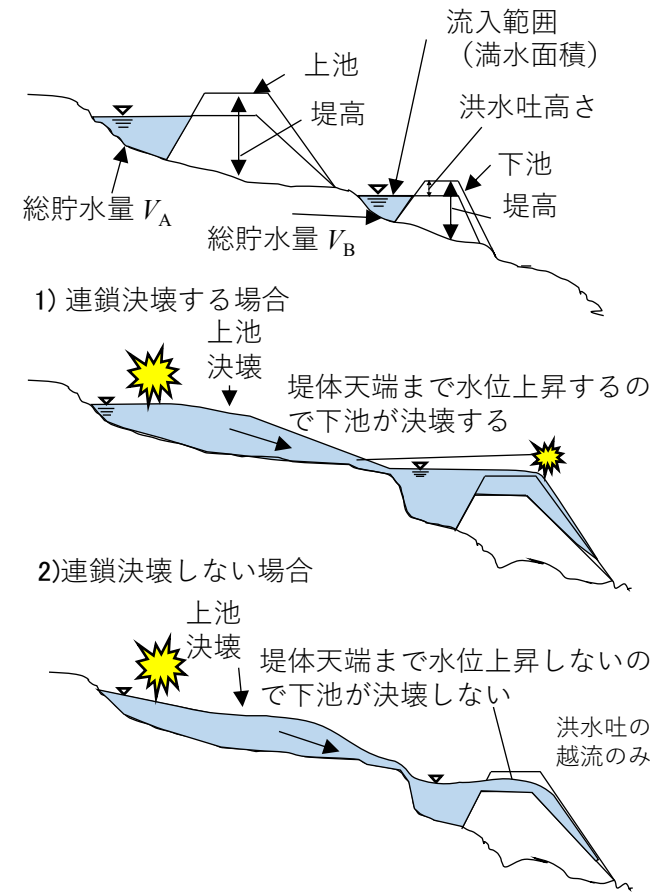
## (3) より詳細な条件設定項目

### ● 重ねため池の氾濫解析

- ・連鎖決壊解析手法は、氾濫流を受け止める下流側ため池の決壊の有無を判断した上で浸水想定区域を求める手法である。
- ・そこでは、下流側ため池の貯水位が堤体を越えるか否かについて、氾濫流の流入量と洪水吐放流の水収支計算により貯水位を求め、貯水位が堤体を越えた時点において、下池が決壊すると判定(貯水位が堤体天端高に達しない場合は決壊せず、洪水吐の流出のみが下流に流下)する（右図）。

※下流側ため池における水収支計算においては、初期水位、洪水吐の断面諸元及び流量係数を与える必要がある。

- 初期水位については、常時満水位（洪水吐の敷高）を仮定する方法がある（正田ら、2017）。
- 洪水吐の流量係数については、土地改良事業設計指針「ため池整備」等を参考に、当該ため池の洪水吐形状を鑑みて適切に設定することが望ましいと考えられる。



連鎖決壊の模式図

※連鎖決壊判定手法は、農研機構と(株)ニタコンサルタントによる共同研究成果（特許第6793924号）です。

参考：

・正田ら（2017）：直列ため池の連鎖決壊時における氾濫解析手法の提案，農業農村工学会誌，85（12），pp.15-18.



# 2. 氾濫解析（二次元不定流解析）について

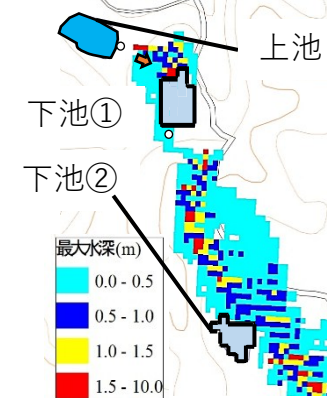
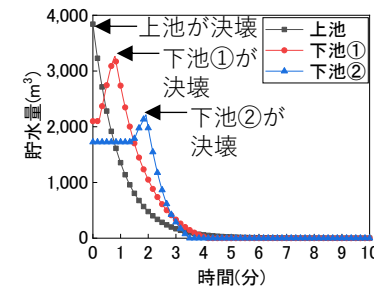
## (3) より詳細な条件設定項目

### ● 重ねため池の氾濫解析

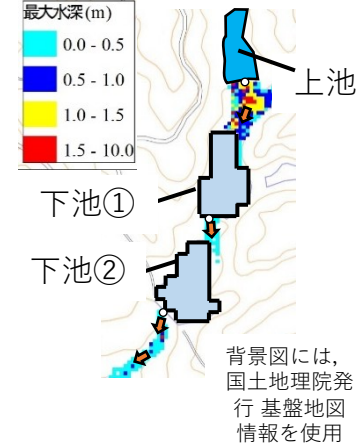
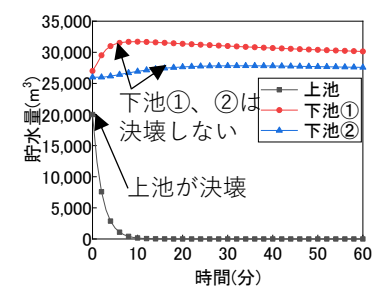
- ・ 実際に重ね(親子)池が被災した 2 事例を対象とし、連鎖決壊解析手法の妥当性を検証した。
- ・ 事例 1 は上流側のため池(上池)の決壊が発生した後に下池が決壊した事例、事例 2 は上池が決壊するが、下池が決壊しなかった事例。
- ・ 本手法を適用したこれらの事例では、重ね池における氾濫流の流出過程を踏まえた被災状況が再現できたと考えられる（右図）。

※連鎖的な決壊判定手法は、農研機構と(株)ニタコンサルタントによる共同研究成果（特許第6793924号）です。

事例1
上池 決壊する
下池① 決壊する
下池② 決壊する



事例2
上池 決壊する
下池① 決壊しない
下池② 決壊しない



連鎖決壊判定手法の適用事例

参考：

- ・ 正田ら（2018）：重ね（親子）ため池における連鎖的な決壊判定手法，農研機構普及成果情報。
- ・ 正田ら（2017）：直列ため池の連鎖決壊時における氾濫解析手法の提案，農業農村工学会誌，85（12），pp.15-18.

# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## 【ポイント】

### ●現地調査の目的

「ため池ハザードマップ作成の手引き」では、簡易氾濫解析による浸水想定区域の算定結果について、地形図や現地踏査と照合し、必要に応じて修正を加える必要があるとしている。

簡易氾濫解析よりも詳細な条件設定のもとで氾濫解析を行った場合であっても、**解析結果は特定の条件に基づく計算の結果**であり、氾濫流の挙動に影響を与える全ての条件は反映し切れないと考えられるため、**現地の実状を踏まえた解析結果の検討は不可欠**である。

### ●現地調査時の着目点

過去の決壊事例においては、以下の微地形周辺で大きな浸水深が生じており、特に注意が必要である。

- ・ 地形の狭窄部
- ・ 水路等の合流点周辺
- ・ 降雨流出水が集中する谷地形

また、DEMに表現されない家屋やブロック塀などの人工構造物、アンダーパス状の水路等の地物の有無についても確認し、氾濫解析上への反映を検討する必要がある。

# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

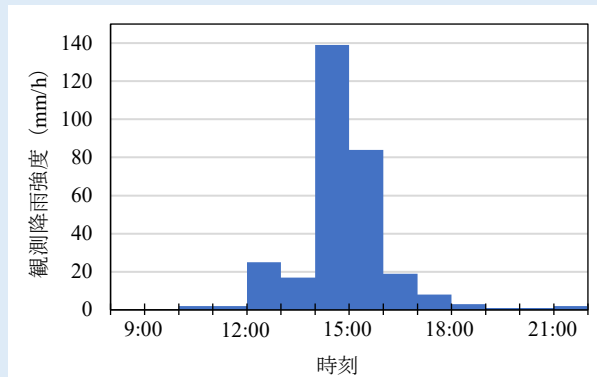
## ①平成29年被災ため池（吉ヶ谷池;福岡県朝倉市）

### ●ため池の概要

- ・堤高 7.9 m
- ・総貯水量 5 千 $\text{m}^3$
- ・流域面積 0.103  $\text{km}^2$

### ●2017年7月5日の豪雨で堤体左岸側が決壊

- ・決壊幅12.3 m
  - ・残存した堤体に越流の痕跡確認されず
- ### ●同年7月25日・9月14～15日に現地調査
- ・浸水痕跡（流下物の引掛り、土砂付着）を確認
  - ・地域住民への聞き取りで浸水家屋を把握



降雨の状況（最寄公設観測所）



決壊断面を下流から望む



# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ①平成29年被災ため池（吉ヶ谷池;福岡県朝倉市）

### ●最高水位を把握できた浸水痕跡

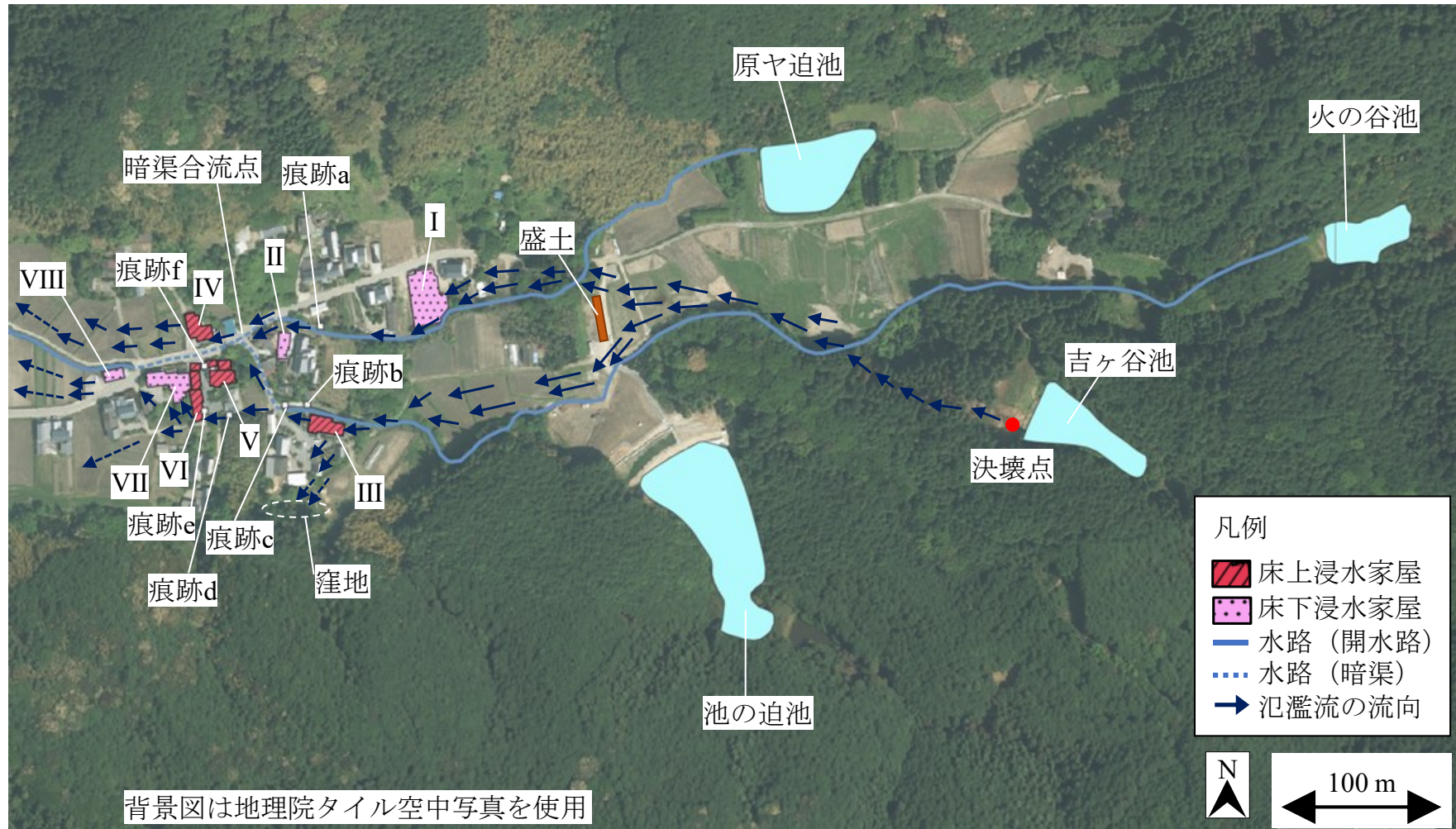




# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ①平成29年被災ため池（吉ヶ谷池;福岡県朝倉市）

●現地調査から確認した流向と浸水痕跡・浸水家屋の位置





# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ①平成29年被災ため池（吉ヶ谷池;福岡県朝倉市）

### ●大きな浸水深（床上浸水）が生じた箇所の特徴(1)

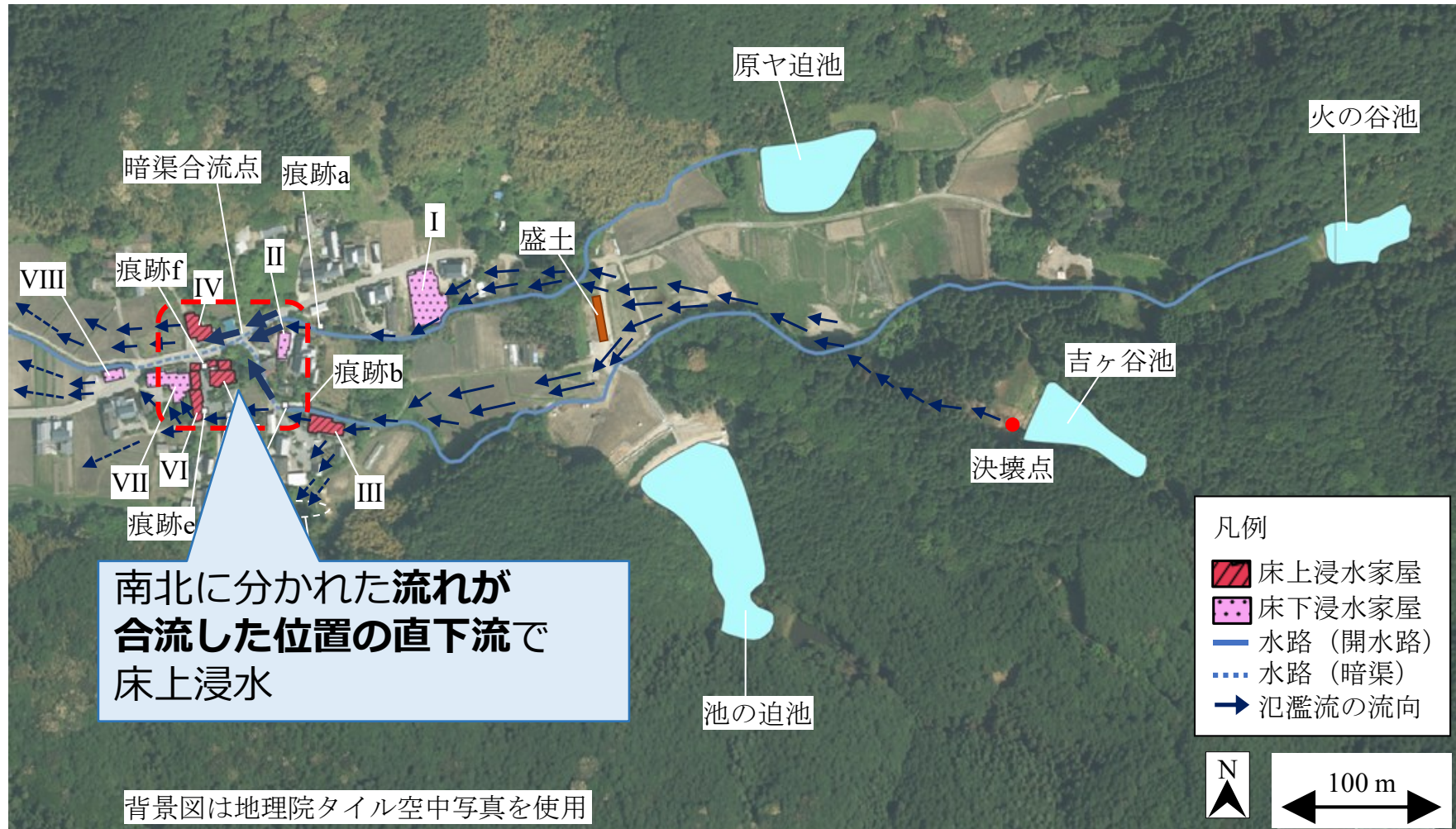




# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ①平成29年被災ため池（吉ヶ谷池;福岡県朝倉市）

### ●大きな浸水深（床上浸水）が生じた箇所の特徴(2)



# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ②平成30年被災ため池（中島池;福岡県筑前町）

### ●ため池の概要

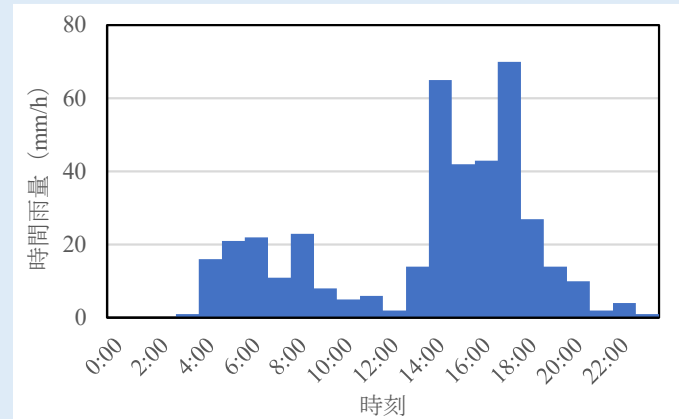
- ・堤高 7.0 m
- ・総貯水量 30 千 $m^3$
- ・流域面積 0.074  $km^2$

### ●2018年7月6日の豪雨で堤体右岸寄りが決壊

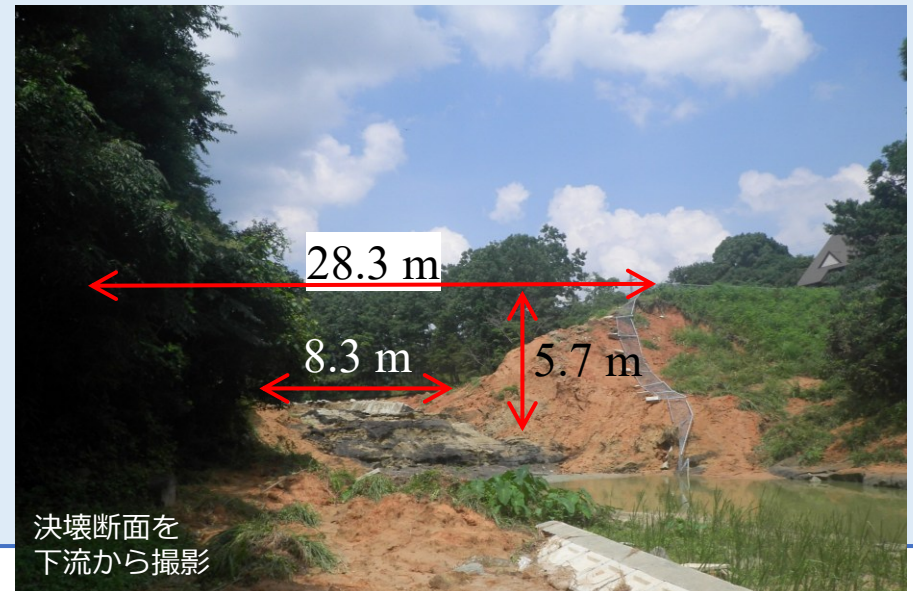
- ・地域住民の証言によると、決壊は同日の15:05から15:30の間
- ・残存堤体に越流痕跡は確認されず

### ●同年7月23～24日に現地調査

- ・浸水痕跡（流下物の引掛り、土砂付着）を確認、浸水範囲や流向を把握



降雨の状況（国土交通省原田観測所）



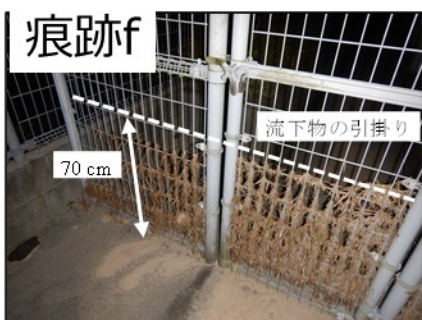
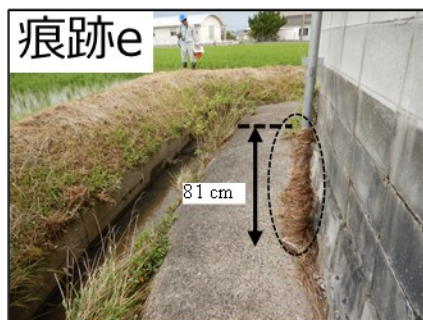


# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ②平成30年被災ため池（中島池;福岡県筑前町）

### ●最高水位を把握できた浸水痕跡

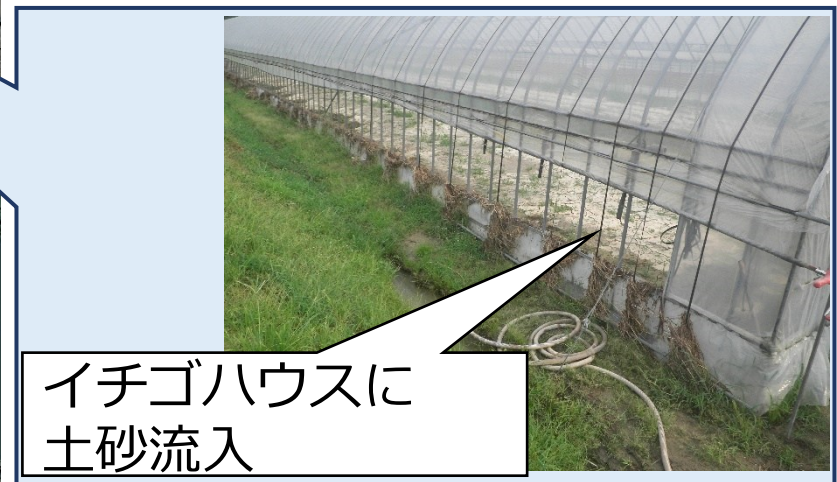
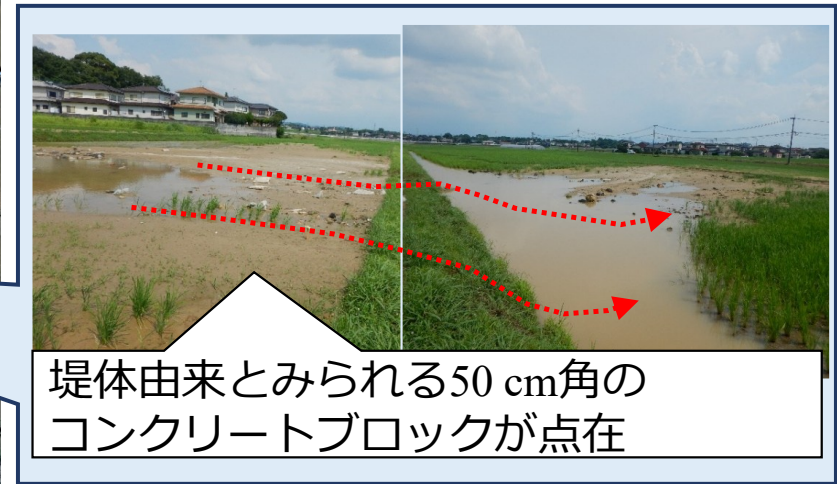
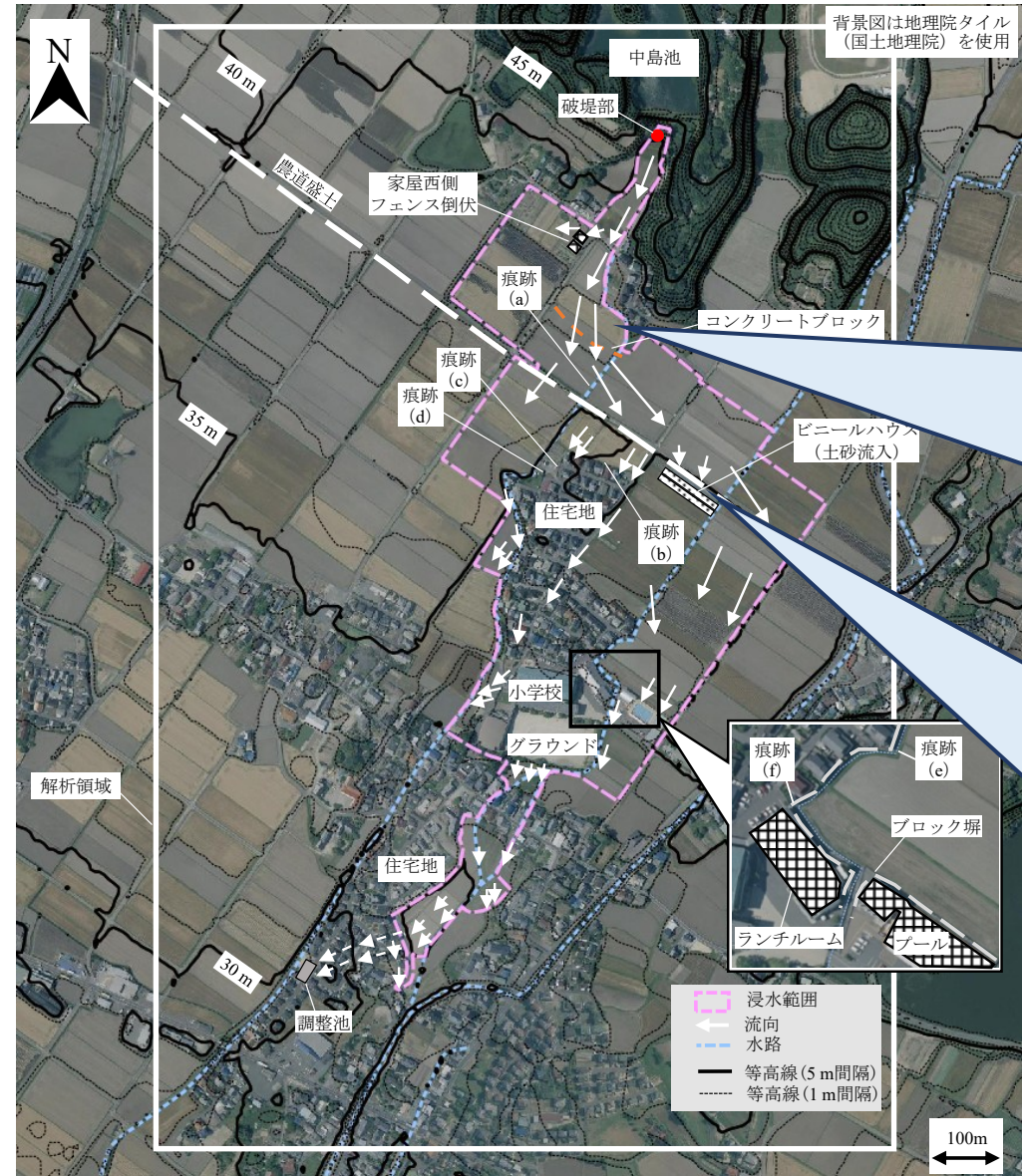
敷地境界フェンスや民家の生け垣への流下物（稲わら等）の引掛り等の浸水痕跡を複数確認





# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ②平成30年被災ため池（中島池;福岡県筑前町）



背景図は地理院タイル  
(国土地理院)を使用



# 3.決壊ため池における浸水域の現地調査事例

## ②平成30年被災ため池（中島池;福岡県筑前町）

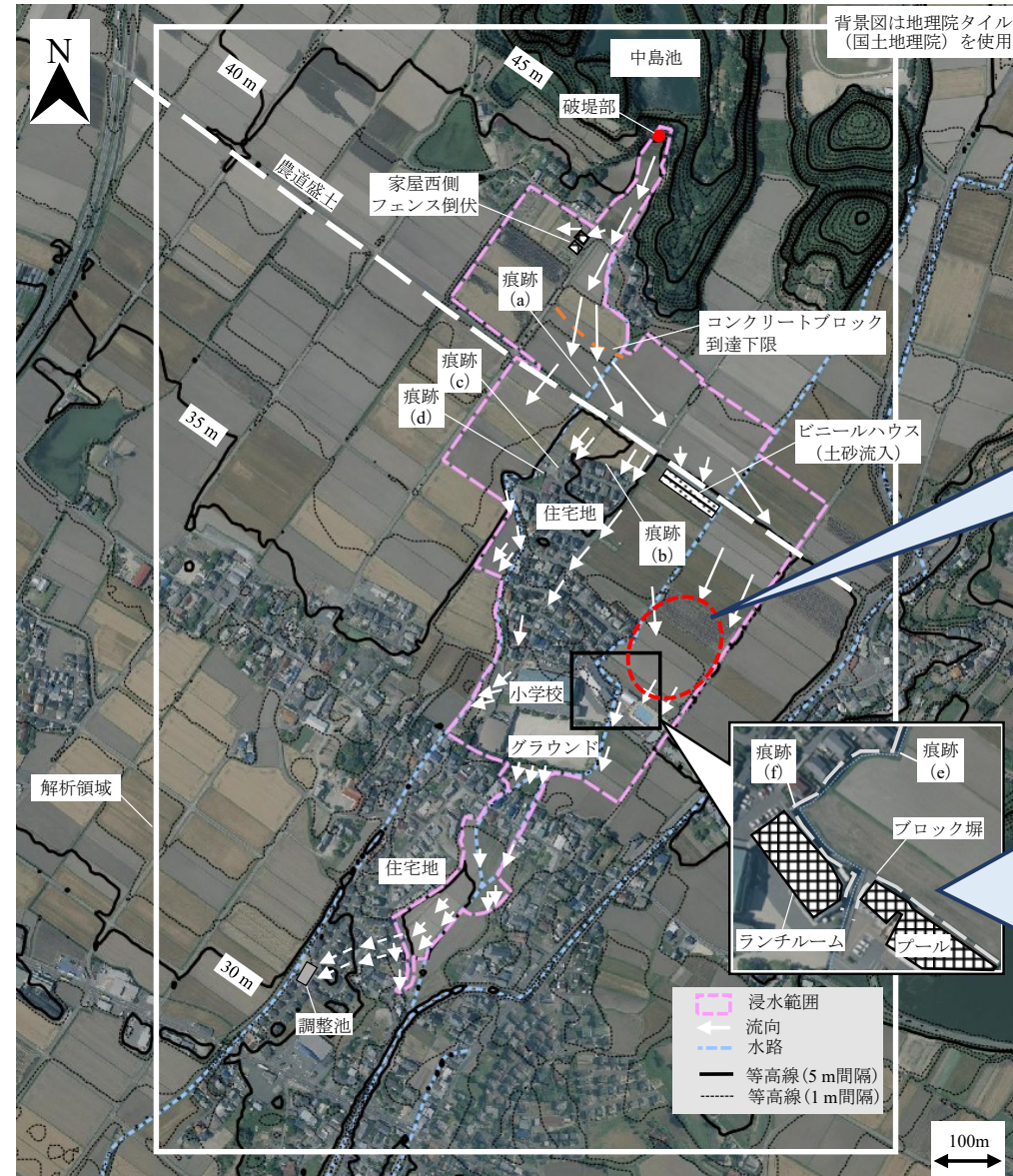
### ●大きな浸水深が生じた箇所の特徴

緩やかな谷地形で、中島池の決壊による氾濫流や、隣接集水域からの降雨流出水が集中

ブロック塀+背後の建物が流れを遮り堰上げが生じ、大きな浸水深が発生



背景図は地理院タイル  
(国土地理院)を使用





## 氾濫解析（二次元不定流解析）

- ・不定流とは、時間の経過に伴って流量（水深や流速）が変化するものをいう。
- ・二次元不定流解析の式と、基本的な流れの分類を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{連続式}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_{xb}}{\rho} &= 0 \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\tau_{yb}}{\rho} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

流れの分類		概要
定流	等流	時間的・空間的に流量一定
	不等流	空間的に流量一定
不定流		時間的・空間的に流量が変化

運動方程式

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xb} &= \frac{\rho g n^2 u (u^2 + v^2)^{0.5}}{h^{1/3}} \\ \tau_{yb} &= \frac{\rho g n^2 v (u^2 + v^2)^{0.5}}{h^{1/3}} \end{aligned} \right\} \text{マニング式から導出}$$

・ここで、 $t$ : 時間,  $h$ : 水深,  $H$ : 水位,  $u$ および $v$ :  $x$ および $y$ 方向の流速,  $M, N$ は流量フラックスで $M=uh$ ,  $N=vh$ ,  $\tau_{x \text{ or } y b}$ : 境界面摩擦応力,  $g$ : 重力加速度,  $\rho$ : 水の密度,  $n$ : 氾濫原の粗度係数

## 氾濫解析（一次元不定流解析）

- 説明を簡単にするため、式を以下のように簡略化（X方向の流れだけを扱う一次元不定流解析の式に）し、単純な地形条件での計算結果を次頁に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \cancel{\frac{\partial N}{\partial y}} = 0 \quad \text{連続式}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \cancel{\frac{\partial (vM)}{\partial y}} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_{xb}}{\rho} &= 0 \\ \cancel{\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\tau_{yb}}{\rho} &= 0} \end{aligned} \right\} \text{運動方程式}$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xb} &= \frac{\rho g n^2 u (u^2 + \cancel{v^2})^{0.5}}{h^{1/3}} \\ \cancel{\tau_{yb} = \frac{\rho g n^2 v (u^2 + v^2)^{0.5}}{h^{1/3}}} \end{aligned} \right\} \text{マニング式から導出}$$

## 氾濫解析

### (一次元不定流解析)

- 右図のように、5mの水深が斜面上部4メッシュに設けた状態を初期条件として、下記の一次元不定流解析により水深を計算する。

#### 連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0$$

#### 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (vM)}{\partial x} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\tau_{xb}}{\rho} = 0$$

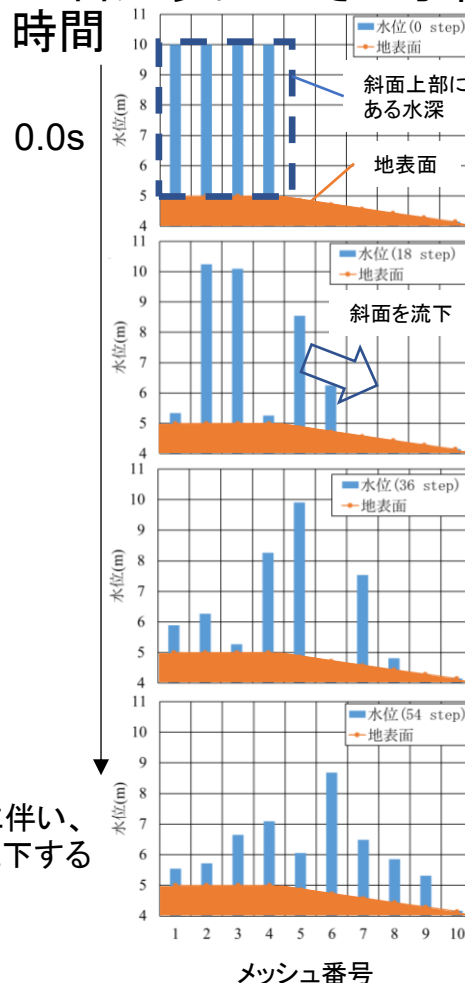
#### マニング式から導出

$$\tau_{xb} = \frac{\rho g n^2 u^2}{h^{1/3}}$$

- 時間の経過に伴って水深が標高に従い斜面を流下する。
- 各時間の水深の変化から、流速も計算できる。

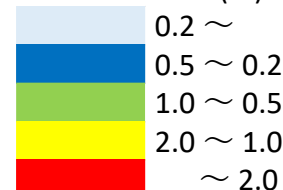
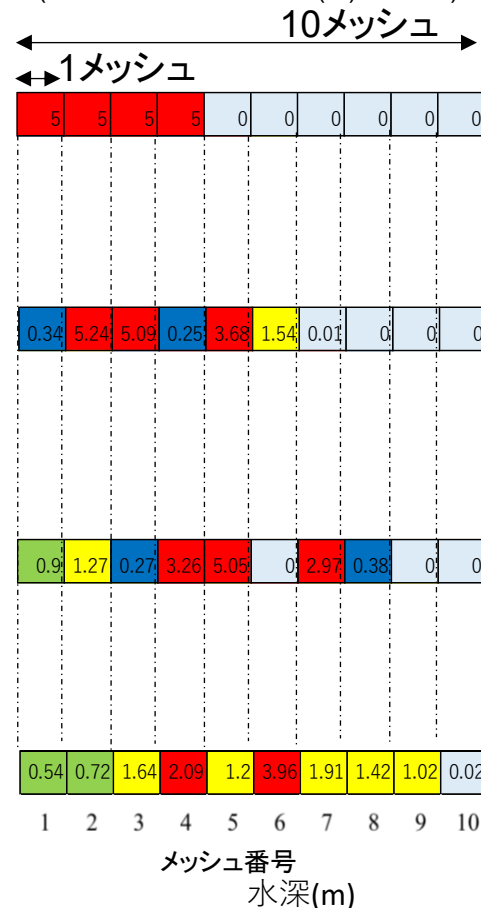
### 各時間の水位（左）・水深分布（右）

#### 各メッシュでの水位



#### 水深分布図

(メッシュ内の数字は水深(m)を表す。)



- ・ Daisuke SHODA, Osamu KAWAMOTO, Hiroshi YOSHISAKO, Keisuke INOUE (2015) : Prediction of Inundation Areas Due to Failure in Small Earthfill Dam Using Numerical Analysis, JARQ, 49(2), pp.97-102.
- ・ 川本治, 鈴木尚登, 吉迫宏, 井上敬資, 正田大輔 (2013a) : 詳細地形等を考慮したため池決壊時の簡易氾濫解析手法, 農研機構普及成果情報.
- ・ 川本 治, 鈴木 尚登, 福原 正斗, 吉迫 宏, 井上 敬資, 鈴木 智宏 (2013b) : ため池決壊時の簡易氾濫解析の改善に関して, 農業農村工学会誌, 81(8), pp.616-619.
- ・ 風間聡 (2008) : AR5へ向けた影響評価ならびに適応策研究, 土木学会水工学委員会水文部会「21世紀気候変動予測核心プログラム」.
- ・ 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室, 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室 (2017) : 洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第4版) .
- ・ 小嶋 創, 向後 雄二, 島田 清, 正田 大輔, 鈴木 尚登 (2016) : 平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震によって決壊した農業用ため池の氾濫解析, 農業農村工学会論文集, 84(2), pp.193-1101.
- ・ 小嶋 創, 竹村 武士, 松田 周, 廣瀬 裕一, 吉迫 宏, 正田 大輔, 李 相潤 (2019) : 中山間地域のため池決壊氾濫解析でのアンダーパス表現, 農業農村工学会誌, 87(5), pp.15-18.
- ・ 小嶋 創, 吉迫 宏, 竹村 武士, 正田 大輔, 寺田 剛, 小徳 基, 安芸 浩資, 三好 学 (2021a) : 痕跡調査に基づくため池決壊氾濫解析手法の信頼性検証, 農業農村工学会論文集, 89 (2) , pp.1259-1270.
- ・ 小嶋創, 松田周, 廣瀬裕一, 李相潤, 竹村武士, 吉迫宏, 正田大輔 (2021b) : 谷池型ため池の決壊氾濫解析における流入ハイドログラフピーク時刻の影響, 第75回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨, 47-49.
- ・ 小嶋 創, 吉迫 宏, 竹村 武士, 李 相潤, 正田 大輔, 三好 学, 安芸 浩資 (2024) : 中山間傾斜地谷部の決壊事例に基づくため池決壊氾濫解析手法の検討, 農業農村工学会論文集, 92 (1) , 129-140.
- ・ 栗城稔, 末次忠司, 海野仁, 田中義人, 小林裕昭 (1996) : 氾濫シミュレーション・マニュアル (案) —シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—, 土木研究所資料第3400号.
- ・ 農林水産省農村振興局整備部 (2007) : 改訂版 新たな土地改良の効果算定マニュアル, 大成出版社, p.308.
- ・ 農林水産省 農村振興局 防災課 (2013) : ため池ハザードマップ作成の手引き.
- ・ 正田大輔, 川本 治, 鈴木尚登, 吉迫 宏, 井上敬資, 小嶋 創 (2014) : 平成 25 年度豪雨による決壊ため池の氾濫解析検証, 農工研技報, 215, pp.91-101.
- ・ 正田 大輔, 吉迫 宏, 井上 敬資, 堀 俊和 (2015) : 決壊ため池における豪雨を考慮した氾濫解析手法の検討, 農業農村工学会誌, 83(4), pp.35-38.
- ・ 正田 大輔, 堀 俊和, 吉迫 宏, 安芸 浩資, 長尾 慎一, 三好 学 (2017) : 直列ため池の連鎖決壊時における氾濫解析手法の提案, 農業農村工学会誌, 85 (12) , pp.15-18.
- ・ 正田大輔, 堀俊和, 吉迫宏 (2018) : 重ね (親子) ため池における連鎖的な決壊判定手法, 農研機構普及成果情報.