

アンダーパスに一次元解析を導入したため池決壊氾濫解析

Flood Analysis of Small earthen dam with 1-D Analysis Taking Account of Underpass

○小嶋 創*・竹村武士*・吉迫 宏*・松田 周*・廣瀬裕一*・正田大輔*・李 相潤*

KOJIMA,H., TAKEMURA,T., YOSHISAKO,H., MATSUDA,S., HIROSE,Y., SHODA,D. and LEE,S.

1. はじめに

近年の豪雨災害の頻発を受け、改めてハザードマップの作成等ため池の防災対策が注目されている。ハザードマップ作成時の浸水域予測手法である氾濫解析では、対象地域の地形・地物を表現するため、航空レーザー測量や写真測量による数値標高モデル(以下、DEM)が用いられる。著者ら¹⁾は、道路等の下を通る水路(以下、アンダーパス)がDEMに現れず、当該水路を流下する氾濫流の挙動が再現できないことを示し、中山間の谷頭に位置する典型的なため池の決壊事例の氾濫解析で、道路盛土下のアンダーパス表現方法を検討した。

本報では、アンダーパス表現方法として一次元解析を用いた方法を試行し、既報¹⁾で提案した越流公式による方法と解析結果を比較した。

2. 解析手法

2.1 氾濫解析モデルの概要

解析には有限要素法による氾濫解析モデル²⁾を用いた。本モデルの支配方程式は、重み付き残差法により弱形式で表現された浅水流方程式である。そのうち連続式については、Gaussの発散定理を用いて流量フラックスの境界積分項を導き、解析領域の任意の位置への流入・流出点の設定を可能とした。支配方程式の離散化手法としては、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的解法³⁾を用いた。

2.2 アンダーパスの表現方法

DEMにその形状が現れないアンダーパスを解析上に反映するため、アンダーパスの上・下流端で解析領域を2つに区切り、上流側領域の下流端(アンダーパス入口)には流出境界条件を、下流領域の上流端(同出口)には流入境界条件を与えた。これによりアンダーパス上流の氾濫水を下流に排水することとし、アンダーパス区間の流量算出には下記2通りの方法を試行した。

・方法(1): 上流側領域からの流入流量 Q_m 算出には水路流入式洪水吐の流量算出式(以下、越流公式、式(1))を用いた。これは、氾濫流が上流側の滞留域からアンダーパスに流入する際に限界水深が生じるとの仮定による。

$$Q_m = KBH_m^{3/2} \quad (1)$$

ここに、 K : 流量係数、 B : 水路幅、 H_m : 上流側領域の下流端水位とアンダーパス入口の水路床標高の差である。

式(1)で計算された Q_m をアンダーパス出口から流出させた。手法の詳細は既報¹⁾を参照されたい。

・方法(2): アンダーパス区間の流れを矩形断面水路の一次元非定常流とした。この区間の支配方程式は式(2)、(3)である。これらを、数値粘性項を付加したMacCormack法⁴⁾で離散化した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(uq)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} gh^2 \right) = ghi_0 - \frac{gn^2 q^2}{hR^{4/3}} \quad (3)$$

ここに、 h : 水深、 u : 流速、 q : 単位幅流量、 g : 重力加速度、 i_0 : 水路勾配、 n : 水路の粗度係数、 R : 径深である。

アンダーパス区間では、式(1)による流量を上流端境界条件として、下流端で計算される流量をアンダーパス出口からの流出流量とした。

3. ため池決壊氾濫解析への適用

3.1 対象事例

2016年9月の豪雨で決壊したM池(堤高8.3m、堤長89.2m、総貯水量11,800 m^3)を対象とした。M池は中山間地域によく見られる深い谷地形の谷頭部に立地し、谷地形の出口(M池の約700m下流)には道路盛土が横断している。M池洪水吐からの接続水路は谷底を蛇行した後M池下流約1kmで河川に合流する。この間道路盛土との交差箇所にアンダーパス(水路断面: 幅4m×高さ2m、延長約60m)区間を有する。

決壊時の浸水域は、決壊直後の状況を目撃者した地元農家に聞き取りを行って把握した¹⁾。

3.2 解析条件

解析領域は、浸水域を包含するようM池堤体直下から河川に至る領域とした。各計算要素の節点には、国土地理院基盤地図情報の5mメッシュDEMから内挿した標高値と粗度係数 $n=0.04$ を与えた。

上流端(決壊点)における流量境界条件については、Costa式⁵⁾から算出したピーク流量をもつ二等辺三角形のハイドログラフに従い、M池の総貯水量を

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

キーワード: ため池・ハザードマップ・氾濫解析・数値標高モデル・アンダーパス

流入させた。下流端（河川合流点）では、暫定的に境界条件として水深 $h=0\text{m}$ を与えた。計算時間刻みは $\Delta t=0.015\text{s}$ とした。

アンダーパス区間に方法 (1) または (2) を用いたケースをそれぞれ解析した。両ケースとも式 (1) の流量係数は $K=1.35\text{m}^{1/2}/\text{s}$ 、水路幅は $B=4.0\text{m}$ とした。方法 (2) では、アンダーパス区間の空間差分格子幅は $\Delta x=2\text{m}$ 、水路の粗度係数は $n=0.015$ とした。

3.3 解析結果

解析は、両ケースとも浸水域の拡大が収束した $t=3,600\text{s}$ まで行った。この間に生じた最大浸水深の分布を Fig. 1 に示す。図には聞き取りによる浸水域を併せて示した。図を見ると、両ケースともに、アンダーパス下流側も含めて浸水域を概ね再現する結果が得られている。

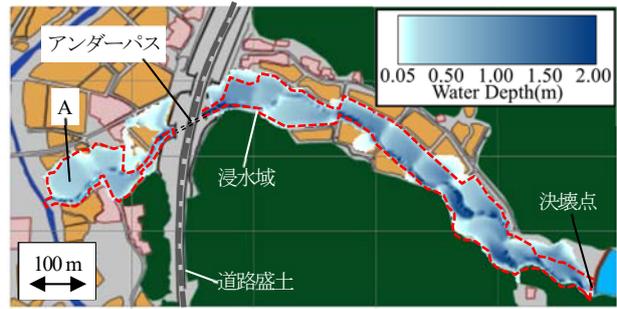
アンダーパス出口における流量の変化を Fig. 2 に示す。方法 (1) では $t=420.0\text{s}$ に流出が始まり、 $t=570.0\text{s}$ に最大流出流量は $17.7\text{m}^3/\text{s}$ に至っている。方法 (2) では、方法 (1) より流出開始が 30s 遅く、最大流出流量は $17.3\text{m}^3/\text{s}$ であった。

浸水域下流端の水田 (Fig. 1 中地点 A) における浸水深を Fig. 3 に示す。氾濫流の到達時刻は方法 (1)、方法 (2) でそれぞれ $t=630.0\text{s}$ ・ 660.0s 、最大浸水深に達する時刻はそれぞれ $t=870.0\text{s}$ ・ 900.0s と、両ケース間で 30s の差異が生じた。一方最大浸水深は両ケースとも約 0.40m でほぼ同じであった。

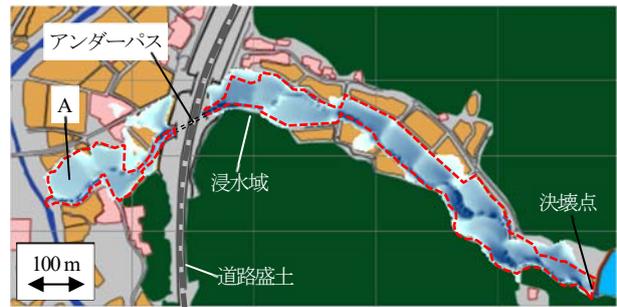
4. おわりに

中山間におけるため池決壊事例を対象に、道路アンダーパスを表現する 2 種類の方法を試行した。両者とも解析結果は浸水域をおおむね再現した。次元解析を用いたケース (方法 (2)) では、越流公式のみを用いたケース (方法 (1)) よりアンダーパスからの流出開始時刻が遅いために下流の水田への氾濫流の到達時刻がわずか (30s 程度) に遅かった。一方、当該位置の最大浸水深にはほとんど差異はなかった。このように、本事例における方法 (1)・(2) の差異は小さく、実用上問題とならない程度に留まった。しかし、アンダーパスの形状により解析結果に今回よりも大きな差異が生じる可能性もある。それぞれの方法の適用範囲等を明らかにするためには、さらに決壊ため池の情報を収集し、解析例を蓄積する必要がある。

また、ここではアンダーパス区間の流量算定方法として、暫定的に越流公式 (式 (1)) を用いた。より妥当な流量算定のためには、今後水理模型実験等による検討を要する。



(a) 方法 (1)



(b) 方法 (2)

Fig. 1 最大浸水深分布
Maximum water depth distribution

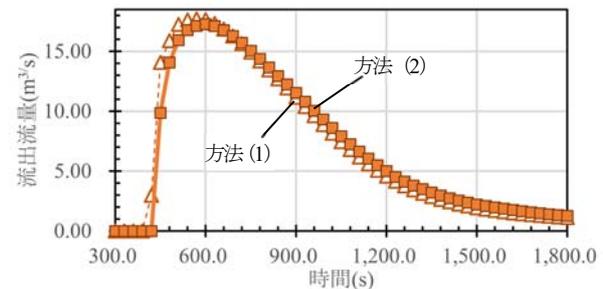


Fig. 2 アンダーパスからの流出流量
Outflow rate from underpass

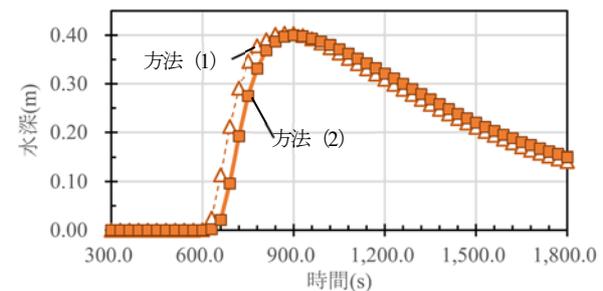


Fig. 3 浸水域下流端水田の浸水深
Water depth on paddy field shown in Fig. 1 as "A"

引用文献： 1)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), 投稿中. 2) 小嶋創, 向後雄二, 島田清, 正田大輔, 鈴木尚登, 斎藤広隆 (2017) : ため池決壊氾濫解析における流入ハイドログラフ形状の影響, H29 農業農村工学会大会講演会要旨集, 654-655. 3)川原睦人 (1985) : 有限要素法流体解析, 日科技連. 4)藤井孝藏 (1994) : 流体力学の数値計算法, 東京大学出版会. 5) Costa,J.E.(1988):Flood Geomorphology, John Wiley&Sons, 439-463.