

住宅地への土石流氾濫による家屋被害評価に関する研究

山口大学大学院理工学研究科 ○永野博之・羽田野袈裟義・朝位孝二・赤松良久

山口大学工学部 岡本 拓也

1. はじめに

従来、避難所への早期移動を原則に、ソフト対策の議論がなされてきた。しかしながら、避難のタイミングを逸した状況下や避難が困難な災害時要援護者の多い施設直上の溪流において土石流が発生し、必ずしも避難が想定どおりに行われない場合もある。そのような状況では、次善の策として、自宅あるいは近隣家屋の上層階への避難も考えられるが、避難先の候補となる建物を議論するには個々の家屋についての被害評価を適切に行うことが必要となり、土石流氾濫解析においては基礎式中で家屋群を考慮する必要がある。

家屋群の影響を考慮した土石流氾濫解析については、メッシュ内の家屋占有率と通過率による流量フラックスの補正により連続式中で建物の影響を考慮した川池ら(2000)¹⁾の研究や、連続式中における建物の占有率に加え運動方程式中で建物の形状抵抗を考慮することで建物の影響を考慮した朴ら(2004)²⁾の研究がある。しかしながら、家屋群の影響を考慮した土石流氾濫解析の事例は少なく、家屋群の影響を考慮することがどの程度氾濫解析結果に影響するかについて、十分な知見は得られていない。本研究は、2009年7月防府市で発生した土石流災害について二次元氾濫計算を行い、家屋群の考慮の有無が氾濫解析結果に与える影響について検討するものである。

2. 家屋群を考慮した土砂氾濫解析

2.1 基礎式

本研究では、朴ら(2004)の提案する手法にならい家屋群の影響を考慮するが、摩擦抵抗の評価には、本研究で対象とする災害について永野ら(2011)³⁾により推定された結果を適用するため流速係数を用いた。また、土石流の侵食・堆積の評価には高岡(2004)⁴⁾の提案する侵食速度を導入し、河床の侵食・堆積の判定に用いられる平衡流砂量の評価には、橋本ら(2003)⁵⁾の流砂量式を用いた。用いた基礎式は以下のようである。

x 方向の運動方程式:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(UM)}{\partial x} + \frac{\partial(VM)}{\partial y} = -gh(1-\lambda)\frac{\partial(h+z)}{\partial x} - (1-\lambda)\frac{U\sqrt{U^2+V^2}}{\phi^2} - \frac{N_d D_x}{\rho_t} \quad (1)$$

y 方向の運動方程式:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(UN)}{\partial x} + \frac{\partial(VN)}{\partial y} = -gh(1-\lambda)\frac{\partial(h+z)}{\partial y} - (1-\lambda)\frac{V\sqrt{U^2+V^2}}{\phi^2} - \frac{N_d D_y}{\rho_t} \quad (2)$$

全相の連続式:

$$(1-\lambda)\frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

固相の連続式:

$$(1-\lambda)\frac{\partial C_* z}{\partial t} + \frac{\partial(C_T M)}{\partial x} + \frac{\partial(C_T N)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

ここに、 t : 時間、 M : x 方向の単位幅流量($M=Uh(1-\lambda)$)、 N : y 方向の流量フラックス($N=Vh(1-\lambda)$)、 U : x 方向の断面平均流速、 V : y 方向の断面平均流速、 g : 重力加速度、 h : 水深、 z : 地盤高、 ϕ : 流速係数、 λ : 建物の面積密度、 N_d : 建物の数密度($1/m^2$)、 D_x : 建物の流体力の x 成分、 D_y : 建物の流体力の y 成分、 i_b : 河床の侵食・堆積速度、 C_T : 流砂濃度、 C_* : 堆積層における土砂濃度である。

運動方程式中で右辺第 3 項に示される建物の流体力の x 成分 D_x と y 成分 D_y は以下のように表される。

$$D_x = \frac{\rho_t}{2} U A C_d \sqrt{U^2 + V^2} \quad (5)$$

$$D_y = \frac{\rho_t}{2} V A C_d \sqrt{U^2 + V^2} \quad (6)$$

ここに、 A : 流れに直角な建物の浸水断面積、 C_d : 抗力係数である。流れに直角な建物の浸水断面積 A は、次の式で表される。

$$A = h d_L \quad (7)$$

ここに、 d_L : 流れに直角な建物の浸水断面積の平面方向のスケールである。本研究では、各メッシュ内に位置する建物の占有部は、流向に対して直角な正四角柱として簡易な取扱いを行ったため、抗力係数 C_d は 2.05 とし、流れに直角な建物の浸水断面積の平面スケール d_L は次の式で表される⁶⁾。

$$d_L = \sqrt{\lambda / N_d} \quad (8)$$

また、固相の連続式中の流砂濃度 C_d は次の式で求めた。

$$C_T = q_s / \sqrt{M^2 + N^2} \quad (9)$$

2.2 氾濫計算

前述の基礎式を用いた二次元土石流氾濫計算を 2009 年 7 月山口県防府市石原地区において発生した土石流災害に適用する。対象溪流は同地区で土石流が発生した 3 溪流のうち最も西側に位置する溪流（本研究では石原 A とする）である。家屋群の考慮の有無が計算結果に与える影響を検討するため、家屋群を考慮する条件が異なる 3 ケースの計算を実施した。計算ケースは表-1 のようである。

表-1 計算ケース

Case-1	家屋群の影響を考慮しないケース ($\lambda=0$)
Case-2	家屋群の影響を連続式のみで考慮するケース(運動方程式中の右辺第 3 項を無視, λ : 変数)
Case-3	家屋群の影響を運動方程式および連続式中で考慮するケース (λ : 変数)

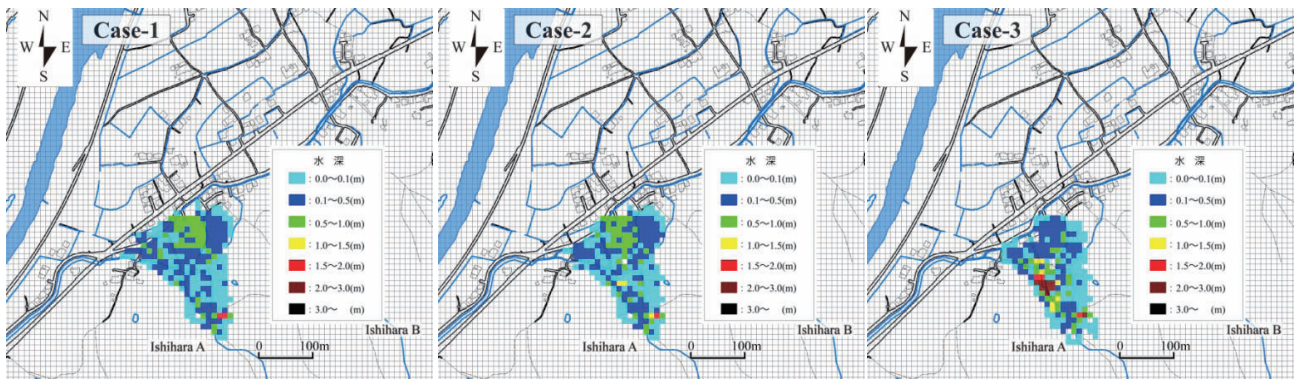


図-1 計算結果（水深，計算開始より 180 秒後）

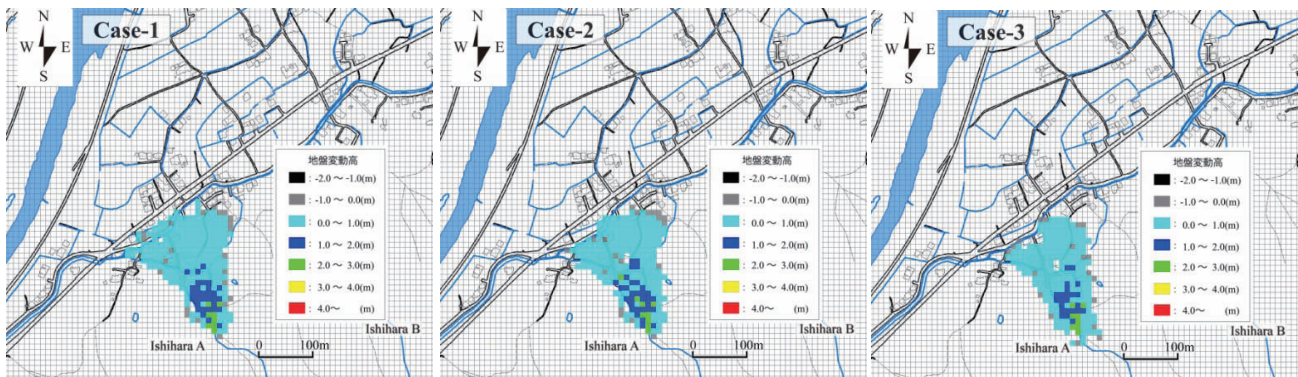


図-2 計算結果（土砂堆積深，計算開始より 180 秒後）

氾濫計算は，空間格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 10\text{m}$ とし，平成 17 年に計測された LP データより地形データを作成した．氾濫開始地点では，永野ら(2011)による 1 次元シミュレーションより算出された流量，土砂濃度を境界条件として与え，代表粒径等の計算に用いる諸量は同研究で設定された値を用いた．計算は，崩壊発生時刻と推定される 7 月 21 日 12:00 を計算開始時刻とし，13:00 までの 1 時間を計算対象時間とした．

2.3 計算結果

土石流氾濫における水深および土砂堆積深の計算結果を図-1 および図-2 にそれぞれ示す．図-1 に示すように，氾濫範囲は家屋群の影響を考慮しない Case-1 および連続式中のみで家屋群の影響を考慮する Case-2，運動方程式および連続式中で家屋群の影響を考慮する Case-3 の順に狭くなる．また，計算終了時の氾濫範囲と災害後に撮影された空中写真の比較では，Case-3 の氾濫範囲が最も適合した．氾濫範囲内での水深の分布については，Case-1 および Case-2 では氾濫範囲中北側の下流住宅地で 0.5m~1.5m 程度の水深が分布するのに対し，Case-3 では氾濫範囲の中央部付近で 1.5m~3.0m 程度の水深となり下流側の氾濫範囲のほとんどの部分で 1.0m 以下となる．また図-2 に示すように土砂堆積深は，Case-1 および Case-2 に比較して Case-3 は上流側での堆積が顕著である．Case-3 で堆積が顕著な地点は，図-1 中で大きな水深が分布した地点の直上流であり，この地点は被災家屋が位置していた地点である．以上の結果から，連続式に加え運動方程式中においても家屋の影響を考慮することが適切であると考えられる．

3. おわりに

本研究では，家屋群の影響を考慮した土石流氾濫解析を行い，家屋群の考慮の有無が計算結果に与える影響について検討を試みた．その結果，流量フラックスの補正による考慮に加え，家屋群の形状抵抗を考慮した解析が有効であることが示唆された．今後の課題として，建物の形状抵抗について水理実験等による検証が考えられる．

謝辞：本研究は，（財）河川環境管理財団の河川整備基金助成事業「広島県庄原市・山口県防府市で発生した土石流の実態と今後の対策に関する研究」（研究代表者 羽田野袈裟義）によって実施した．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 川池健司，井上和也，戸田圭一，中川一，中井勉：急傾斜都市における土砂・氾濫災害の解析，京都大学防災研究所年報，第 43 号 B-2，pp.333-343，2000．
- 2) 朴埵瑛，橋本晴行，高岡広樹，山崎一彦：1993 年 8 月島原市街地に流出した土石流の氾濫解析，第 2 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.139-144，2004．
- 3) 永野博之，橋本晴行，黒田佳祥，池松伸也：1 次元流動シミュレーションによる土石流の流出土砂量の評価について，平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.298-299，2011．
- 4) 高岡広樹：高濃度流れによる河道侵食と土砂流出に関する研究，九州大学博士論文，2004．
- 5) 橋本晴行，朴埵瑛，池松伸也，田崎信忠：急勾配移動床水路における種々の流砂形態に対する統合的流砂量式，水工学論文集，第 47 巻，pp.571-576，2003．
- 6) 椿東一郎：水理学Ⅱ，森北出版，p.57，1974．