平成26年広島豪雨災害を対象とした土石流を含む内水氾濫解析

建設技術研	肝究所	正会員	○髙橋巧武
岡山大学		正会員	赤穗良輔
岡山大学	フェロ	1一会員	前野詩朗
岡山大学		正会員	吉田圭介

1. 序論

氾濫流の変形過程に影響を与える地形的要因として内水氾濫が発生するような豪雨時には中山間地域で土 石流が発生することが予想され、土石流の影響により周辺の氾濫挙動が変化することが考えられる.土石流 の流れに関する研究は活発に行われており、内水氾濫についての計算手法も多く提案されているが、土石流 と氾濫水を複合した解析は行われていない.

平成 26 年 8 月 19 日から 20 日にかけて広島県で発生した集中豪雨では,20 日午前 3 時から 4 時にかけて 各地で土石流が発生した.また,夜間のために詳しい水深などは分かっていないが,同時間帯に三入雨量観 測所で 101mm/h を記録しており,市街地では内水氾濫が発生していたことが予想される.

そこで本研究では土石流が氾濫水に与える影響について検討するため,平成26年に発生した広島土砂災害 を対象に,土石流と内水氾濫の同時解析を行った.

2.数値解析

降水の有効雨量は、日本学術会議で示された手法¹⁰を参考に計算した.これは降雨強度に流出応率を乗じ て有効雨量を計算する方法である.流出率は土地利用状況に応じて定められ、総雨量が飽和雨量を超えると 新たな流出率(以下,飽和流出率)を与える.有効雨量の計算式を以下に示す.

$$re(t) = \begin{cases} f_1 \times r(t) & \text{if } \sum r(t) < Rsa\\ fsa \times r(t) & \text{otherwise } \sum r(t) \ge Rsa \end{cases}$$
(1)

ここで,r(t)は降雨強度, Rsaは飽和雨量, re(t)は有効雨量, f」は一時流出率, fsaは飽和流出率である.

豪雨時の内水氾濫解析として解析領域を非構造三角形格子で分割し、二次元浅水流方程式を用いた再現計算を行った.各方程式は、Godunov系統の有限体積法より離散化²⁰した.本研究では降雨の影響について、以下に示すように連続式の右辺に有効雨量の項を追加し、式(1)の有効雨量を直接表面流出量として扱った.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = re(t)$$
(2)

また本研究の土石流解析は、江頭ら³⁰のモデルを用いた二次元計算を行った.以下にその方程式を示す. 計算格子は内水氾濫解析で用いた非構造格子と同一である.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial u} = \frac{E}{c_*}$$
(3)

$$\frac{\partial ch}{\partial t} + \frac{\partial chu}{\partial x} + \frac{\partial chv}{\partial y} = E \tag{4}$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial huu}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh\frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m}\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m}$$
(5)

キーワード 内水氾濫,土石流,集中豪雨,広島土砂災害

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科

TEL 086-251-8167

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hvv}{\partial y} = -gh\frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m}\frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m}$$
(6)

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*} \tag{7}$$

ここで、hは流動深、u、vはx、y方向の流速、 z_b は河床位、gは重力加速度、Eは浸食速度、cは土石流中の 平均土砂濃度, c*は静止堆積層の体積濃度, Pは圧力である. 各パラメータの定義については江頭ら 3の文献 等を参考にされたい.

土石流の計算により求められる河床変動量が2.1.で計算される氾濫水の挙動に影響を与えるものと考え、 本研究では浅水流方程式を毎ステップ土石流モデルで計算される河床高 zb に更新して計算を行った.

3. 土石流の数値実験

現地適用を行う前に、図-1に示すような1000m×600mの地形を用いて、土石流による氾濫水の影響を確認 するために現地の状況を模した簡単な数値実験を行った. y方向の中心より上部の勾配はy方向に0.5, x方向 にyの関数0.1yとし、y方向の中心より下部の勾配はx方向に0.001、y方向は勾配なしとした. 図中の黒四角は 土石流の源頭部を表しており、433.8m³の崩壊土砂量を与えた.また、右側の矢印部分で水深0.5mの境界条件 を与えており、100分間解析を行い水位が安定した後土石流の計算を開始した.

図-2に土石流発生から200秒後の土砂堆積高を示す。斜面部で地盤の浸食が発生し、解析範囲の勾配が急 変する場所で土砂の堆積が生じていることが分かる.また、土石流発生から約50秒後以降では堆積範囲に 大きな違いは見られなかった. 図-3は、解析範囲下半分の水深コンター図と流速ベクトルを示している. 土 石流発生100秒後には、堆積範囲周辺で外向きの流速が発生していることが分かる。その後、堆積部分を中 心として同心円状に波が発生し、下流部から安定した流れに戻っている. 土石流発生から 200 秒後には上流 部で土石流による流速の増加が残っており、土砂堆積部周辺で迂回するような流れが発生していることが分



堆積高[m] 0.8 0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4 図-2 土石流の堆積高

図-1 数値実験の地形条件



図-3 水深コンターと流速ベクトル

かる.このような試行計算により土石流による氾濫水への影響が示されたため,第5章で現地適用を試みる.

4. 平成26年広島土砂災害の数値実験

図-4(a)に計算領域の地盤高を示す.土石流による被害が大きかった広島県安佐南区八木地区を対象とし、太田川堤防から阿武山山頂付近までを解析範囲とした.地盤標高の設定には太田川河川事務所から提供していただいた 2m メッシュの地盤高データを用いた.図-4(b)には市街地と山地の分割を示しており、マニングの粗度係数は、市街地を 0.03、山地を 0.06 とした.

解析に適用した雨量は、国土交通省が運用するXRAINのデータを用いた.19日18時から20日4時にかけて 一連の降雨が発生しているため、本研究では19日18時から20日4時の10時間の氾濫解析を行った.また、流 出モデルに用いる流出率は、西澤ら⁴⁾の値を参考に山地と市街地に分割して設定しており、一次流出率、飽 和雨量、飽和流出率を表-1に示す.



計算開始から9時間30分後の20日3時30分から土石流を考慮した場合,考慮しない場合の2パターンの解析 を行った.土石流の発生時間は実際には数分程度の差があったものと思われるが,本研究では図-4(a)に示 す①から⑤から同時に発生するものとした.①から⑤の崩壊土砂量は現地の調査報告より^{5),6),7)},それぞれ表 -2の値を用いた.阿武山の表層土厚は,松四ら⁸⁾の研究を参考に1mとし,土石流の浸食量の最大値を1mとし た.

図-5に土石流発生から1分ごとの内水氾濫解析と比較した水深差(上),流速差(下)の分布を示す.濃い グレーの範囲は土石流による地盤変動箇所である.図中の流速分布より,土石流のフロント部で水が押し出 され,斜面で周辺より速い流速が出ていることが分かる.その結果,土石流が発生してから3分後には,土 石流のフロント部から150mから350m離れた山の麓にかけて最大10cm以上の水位上昇が発生している.

目黒らの避難モデル⁹によると,成人男性の歩行限界値は,水深0.7m,流速2.5m/sとなっている.内水氾濫 解析と土石流発生から180秒後の解析を比較し,土石流解析のみが歩行限界値を越えた場所を図-6に赤色で 示す.水深は平地部で歩行限界に達する場所が分布している.一方流速は斜面部で歩行限界に達する場所が 分布しており,水深よりも広い範囲で避難に影響していることが分かる.以上のことより,土石流は氾濫水 に少なからず影響を及ぼし,避難計画の観点からも重要な要因であるといえる.

5. 結論

本研究では、仮想地形を用いた数値解析を行うことにより、氾濫水が土石流による地形変動の影響を受け、氾濫形態が大きく変化することが確認された.また、平成26年の広島土砂災害に適用し、土石流を考慮しない場合と考慮する場合を比較したところ、氾濫水が土石流によって押し出されることによる土石流下流

表-1 有効雨量のパラメータ

表-2 土石流の初期条件



図-5 内水氾濫解析と土石流を考慮した解析の比較



図-6 避難危険個所

側地域での水深,流速の増加がみられた.また,内水氾濫解析では避難可能と判断される場所も,土石流 を考慮することにより避難が困難になる可能性があることが示された.

参考文献

- 1) 日本学術会議:河川流出モデル・基本高水評価検討等分科会,http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/ bunya/doboku/takamizu/haifusiryou08.html.
- 2) 秋山壽一郎, 浦勝, 重枝未玲, アキレス K.ジャ:1 次元浅水流方程式の FDS に基づく数値解析法, 水 工学論文集, 第44巻, pp.473-478, 2000.
- 3) 江頭進治,伊藤隆郭:土石流数値シミュレーション,第12巻,第12号,2004.
- 4) 西澤政彦, 館紀昭: 流出解析モデルにおける有効雨量に関する一考察, 下水道研究発表会講演集, 第 46巻, p.368-370, 2009.
- 5) 土木学会: 2014 年広島豪雨災害報告書(最終版), http://committees.jsce.or.jp/report/taxonomy/term/43
- 6) 土田孝,森脇武夫,熊本直樹,一井康二,加納誠二,中井真司:2014年広島豪雨災害において土石流 が発生した渓流の状況と被害に関する調査,地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp.33-52, 2016.
- 7) 土志田正二,新井場公徳:2014年8月20日の豪雨による広島市の土石流災害の被害状況とその特徴, 季刊消防防災の科学, No.119(2015冬号), pp.39-45, 2015.