

清水寺地域における集中豪雨時の土石流氾濫解析

Numerical analysis of debris flows in torrential rain at Kiyomizu temple area

速見智¹・大塚亮介²・里深好文³

Satoshi Hayami, Ryousuke Otsuka and Yoshifumi Satofuka

¹立命館大学 理工学研究科環境都市専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate student, Graduate school of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²株式会社日水コン (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1(新宿スクエアタワー))

Nihon Suido Consultants Co. Ltd.

³立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

This paper describes the numerical simulation of debris flow caused by local downpour at Kiyomizu temple area. Kiyomizu temple is a historical heritage, including the national treasure and important cultural property. In the past, Kiyomizu temple was damaged by flood disaster and landslides several times. Mountain stream on the east side of Kiyomizu temple has been designated as area where disasters caused by debris flow may occur by Kyoto prefecture. Then, we apply numerical simulation model Kanako2D on the debris flow runoff process in this watershed. The calculated results show that the risk of debris flows disaster caused by torrential rain is low.

Keywords : debris flow, numerical simulation, torrential rain, Kiyomizu temple area,

1. はじめに

清水寺は清水山の中腹に13km²の境内を持ち、国宝・重要文化財を含む歴史的建造物群である。「清水の舞台」で有名な清水寺本堂は400年近く前(1633年)に再建された建物であり、その歴史的価値は高く国宝に指定されている。また、清水寺は京都では最も観光客が集まる場所であり、歴史的な価値だけではなく、経済的な観点からも重要な地域であるといえる。

過去に清水寺の周辺では、度々、斜面崩壊などによる土砂災害が発生している。1972年7月12日に発生した豪雨では、清水寺背面斜面の崩壊によって、境内にある釈迦堂や地藏堂が全壊するなどの被害があった。近年、清水寺の周辺は都市化に伴う都市型の短期的集中豪雨が発生する可能性が高まり、周辺部が急峻な山地地形である本地域は土砂災害の危険性が高まっているといえる。

そこで、本研究では清水寺東側溪流において今後発生しうる土石流の予測を行うため、流域の降雨流出量の推定を行い、斜面崩壊などによって溪流へ大量の土砂が供給された場合に発生する土石流の氾濫解析を行った。土石流氾濫解析によって氾濫現象の予測を行い、清水寺地域において土石流が発生した場合の土石流の到達範囲を示した。

2. 研究対象地域

研究対象地域は図1に示す清水寺本堂東側から流入する溪流および、その下流の地域500m×500mの範囲である。本溪流および清水寺本堂北側の2溪流は京都府により土石流による被害の恐れがある地域¹⁾に設定され

ている。対象地の流域面積は約 0.03km^3 の小溪流であり、平均河床勾配は $1/6$ となっている。河道幅は上流から中流にかけて約 $2\sim 3\text{m}$ ほどの区間が続き、中流から下流にかけて河道幅がしだいに大きくなり、最下流部では約 15m になる。写真1は対象溪流の中流部を撮影したものであり、写真2は対象溪流の測岸斜面を撮影したものである。無降雨時には溪流には表面流は現れず、降雨時に表面流の流出が確認できる。溪流は深い谷地形になっており、斜面崩壊などによって測岸部より、溪流部へ大量の土砂が流入することが考えられる。

本研究に用いた地形データとしては、国土地理院から公開されている電子国土データを元に作成を行った。

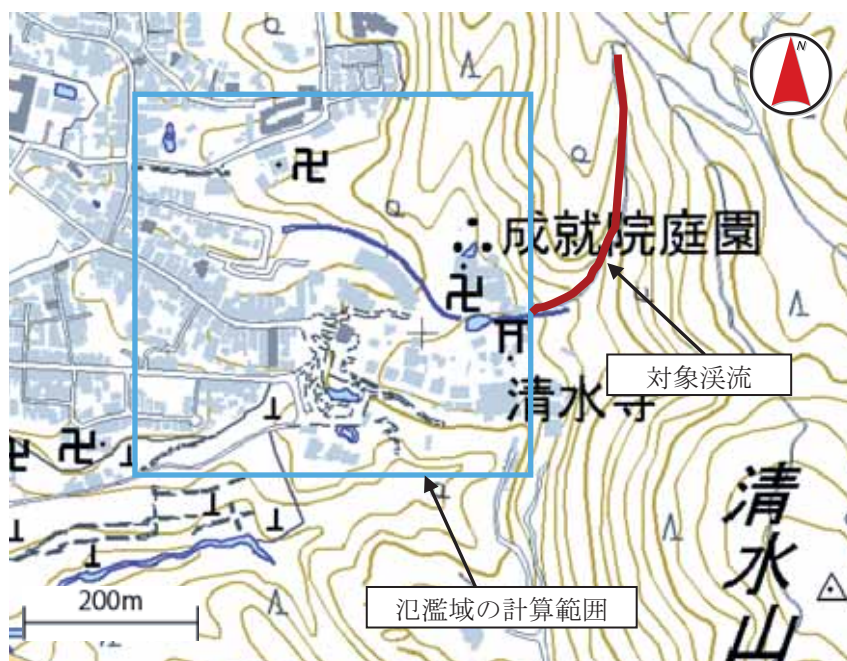


図1 研究対象の溪流及び氾濫域



写真1 対象溪流(下流から上流部を撮影)



写真2 対象溪流の測岸部(溪流左岸)

3. 土石流ピーク流量の推定

土石流氾濫解析では過去の観測記録を超える降雨があったと仮定して、その降雨によって引き起こされる土石流の解析を行った。土石流の氾濫解析を行うために、研究対象流域において今後発生する可能性がある集中豪雨による清水のピーク流量を求めた。清水のピーク流量の予測にはアメダスの実測データを用いた。表1はアメダスの京都の観測点における最大1時間雨量の上位5イベントを抽出してきたものである。実測データから最大1時間降雨量は1980年8月26日に観測された 88mm/hr であることが分かった。

表1 アメダス京都観測点・最大1時間降雨量 上位5イベント

日最大1時間降雨量 (mm)	88 (1980/ 8/26)	83.4 (1918/ 8/15)	80.9 (1941/ 6/28)	78.5 (1980/ 8/27)	76.5 (2010/ 8/12)
-------------------	--------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

流域のピーク流量を算出する際に、降雨強度を変化させて3つのケースについて計算を行った。1つ目のケースは京都のアメダス観測点で計測された最大1時間降雨量を上回る1時間降雨量100mm/hrを設定した。2つ目は日本で記録した最大1時間降雨量は153mm/hrであるため、その値を設定した。最後のケースは1つ目と2つ目のケースの中間の値である125mm/hrを設定した。

清水のピーク流量は合理式²⁾³⁾にて求めた。流出係数は山地流域であるため0.7と設定し、ピーク流量を算出した。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} frA \quad (1)$$

ここで：清水の流量(m³/s)、 f ：流出係数(=0.7)、 r ：降雨強度(mm/hr)、 A ：流域面積(km²)を表している。式(1)で示した流量は清水のピーク流量であり、土石流のピーク流量はより大きな値となると考えられる。そこで、土石流のピーク流量は下記の式⁴⁾によって求めた。

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - C_d} \cdot Q_p \quad (2)$$

ここで Q_{sp} ：土石流ピーク流量(m³/s)、 C_* ：渓床堆積土砂の容積土砂濃度(=0.65)、 C_d ：土石流濃度である。土石流濃度は下記の平衡濃度式⁵⁾で求めることとする。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (3)$$

本溪流に平衡濃度式を適応すると、 C_d が0.3よりも小さくなったため、土石流濃度は $C_d=0.3$ を用いて氾濫解析を行った。

上記の条件のもとで土石流氾濫解析を行う3つのケースについて、土石流ピーク流量を求めると、表2のようになる。

表2 ピーク流量および土石流ピーク流量

	Case1	Case2	Case3
降雨強度(mm/hr)	100	125	153
ピーク流量(m ³ /s)	0.58	0.73	0.89
土石流ピーク流量(m ³ /s)	1.17	1.46	1.79

4. 土石流氾濫解析

(1) 土石流氾濫解析の概要

土石流氾濫解析は汎用土石流シミュレータである Kanako2D⁶⁾を用いて、清水寺地域における土石流氾濫の予測計算を行った。Kanako2D は土石流の流下・発達域である急勾配領域を1次元計算で、氾濫堆積区間である緩勾配領域を2次元計算で行う。それらの計算結果を結合することによって、上流部から氾濫域にかけて、土石流の流下、発達、氾濫、堆積の現象を計算可能なシミュレータである。

(2) 計算条件

氾濫解析に用いた各パラメータは表3のようになっている。氾濫解析では前章で得られた土石流ピーク流量をもとに3つのケースについて土石流氾濫解析を行った。図2は計算に用いたハイドログラフを示したも

のである。土石流流量のピークは過去の災害事例をもとに時刻を3ケースとも同時刻に設定して、三角形形状のハイドログラフを与えている。現地踏査から、一次元領域における溪流の縦断形状および河道幅は図3および図4の様に設定した。また、一次元領域の最下流部には流量と流砂量を出力する観測点を設けた。

表3 計算に用いたパラメータ

パラメータ	数値
計算時間(秒)	1800
計算の時間間隔(秒)	0.01
粒径(m)	0.1
砂礫の密度(kg/m ³)	2650
流体相密度(kg/m ³)	1180
河床の容積濃度	0.6
重力加速度	9.8
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マンシングの粗度係数	0.03
1次元領域計算点個数	31
1次元の計算点間隔(m)	10
2次元の計算グリッド数	60×60
2次元のx方向計算点間隔(m)	10
2次元のy方向計算点間隔(m)	10

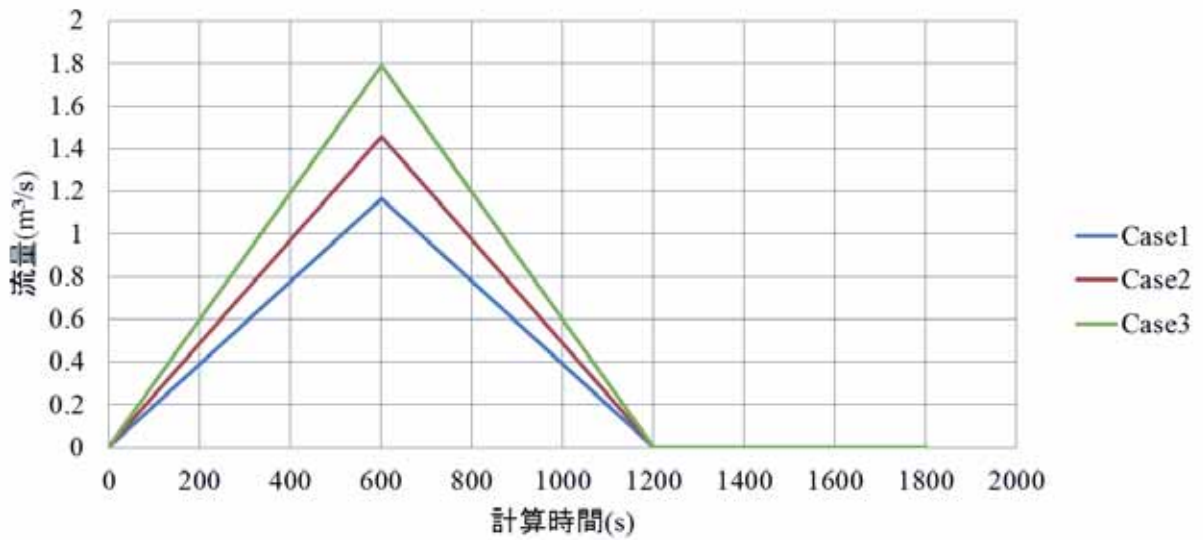


図2 入力したハイドログラフ

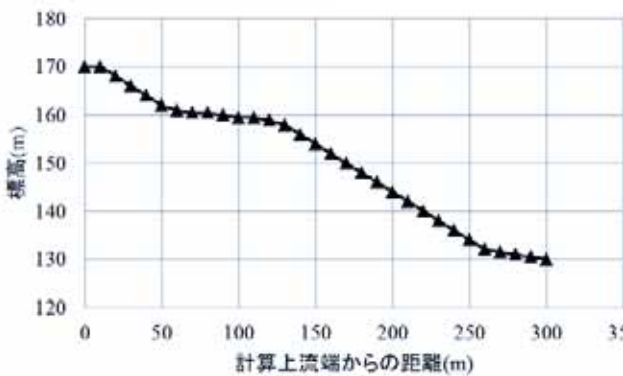


図3 対象溪流縦断形状

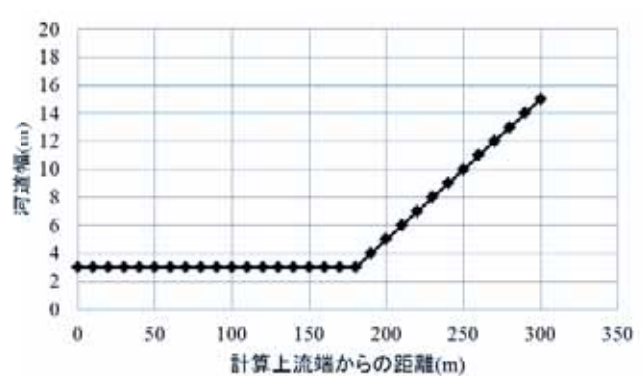


図4 対象溪流の河道幅

(3) 計算結果・考察

図 5~図 7 は一次元領域の最下流点に設けた観測点における流量と流砂量のグラフである。流量については入力したハイドログラフのピーク流量が大きいほど、一次元領域の最下流点での流量が増加している。流砂量についても土石流のピーク流量が大きいほど、ピークの流砂量が大きくなることが示されている。したがって、1 時間降雨量が増大するに伴って、溪流の土石流流量が増大することが示された。

図 8 は土石流のピーク流量が最も大きい Case3 における 2 次元計算領域の堆砂量を示したものである。図中の赤い円が清水寺の本堂がある場所である。図 8 から 1 時間降雨量が 150mm を越えるような降雨が発生した場合でも土石流は清水寺本堂周辺には到達せず、その直上にて堆積している。また、その堆積厚も最も大きい場所で 0.3m 程度であることが分かった。土石流が 2 次元領域に広く氾濫しない原因は、上流の溪流が緩勾配であるため、土砂が溪流を流れ下らずに堆積するためである。また、流域面積が小さいためピーク流量がさほど大きくならず、氾濫域で土砂を流下させられないためである。

計算結果から、清水寺本堂の東側溪流では過去の降雨記録を超えるような降雨が起こり土石流が発生した場合にも、清水寺境内には大きな被害を及ぼすことがないと予測される。

1 時間降雨量が 150mm を越えるような降雨量が発生した場合は、清水寺の背面斜面の崩壊や洪水氾濫が発生する可能性も高まる。清水寺地域では過去の降雨にて斜面崩壊や洪水氾濫による災害が発生しているため、土石流による災害よりも発生の可能性が高いと予測される。今後、清水寺地域で災害対策を施すには、斜面崩壊や洪水氾濫による災害を防止・軽減する対策を優先して行うべきであると考えられる。

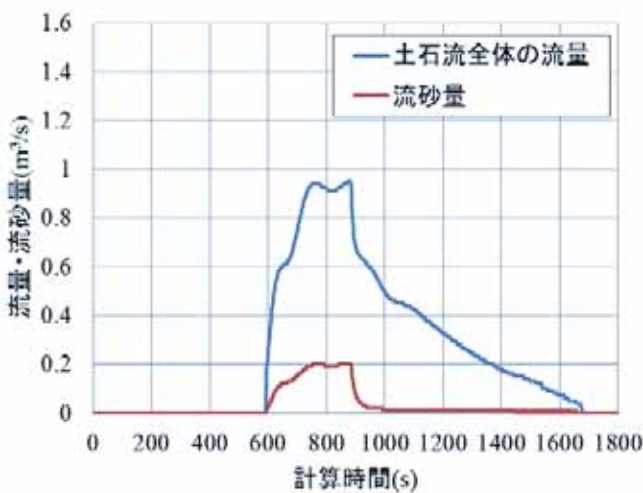


図 5 Case1 土石流全体の流量と流砂量の関係

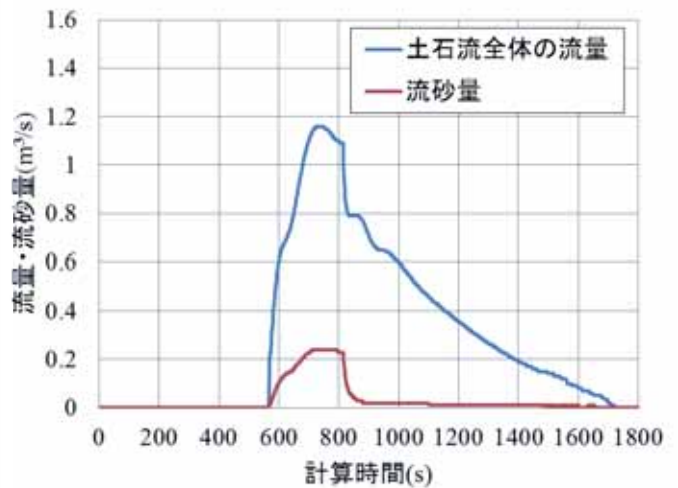


図 6 Case2 土石流全体の流量と流砂量の関係

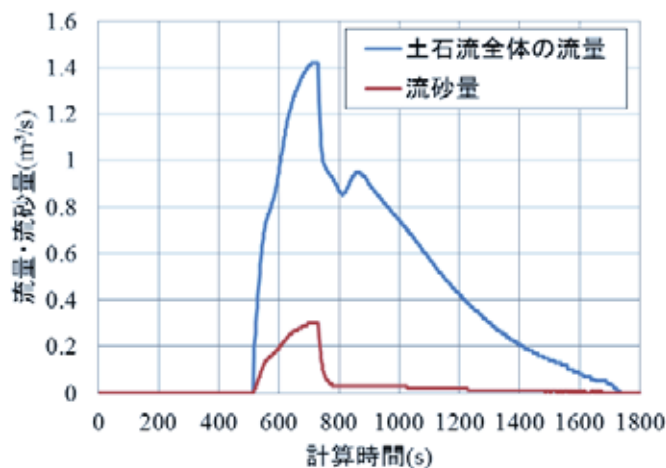


図 7 Case3 土石流全体の流量と流砂量の関係



図8 土石流氾濫解析領域の堆積状況

5. 結論

本研究では京都府京都市にある清水寺へ流入する東側溪流について、降雨流出量の予測を行い、予測した土石流のピーク流量をもとにKanako2Dによる土石流氾濫解析をおこなった。対象溪流は流域面積が比較的小さな流域であるため、雨水の流出量が大きくなり、土石流のピーク流量はさほど大きくならないことが分かった。また、緩勾配の溪流であるため、溪流上部で発生した土石流は溪流上に堆積または清水寺境内の直上にて堆積するため、清水寺の境内にはほとんど到達しないことが分かった。土石流の堆積厚は最も降雨量の大きい153mmのケースについても大きいところで0.3m程度であり、清水寺境内に被害を与える可能性が低いことが分かった。

参考文献

- 1) 京都府建設交通部砂防課：土砂災害警戒箇所点検マップ，2004.
- 2) 国土交通省 国土技術総合研究所：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説，2007.
- 3) 水山高久・瀬尾克美：山地小流域の洪水到達時間および短時間降雨強度と継続時間の関係，砂防学会誌，Vol.37，No.3，pp.20-22，1984.
- 4) 芦田和男・高橋保・澤田豊明：山地流域における出水と土砂流出-5-穂高砂防観測所の観測結果，京大防災研年報，19-B，pp.345-360，1976.
- 5) 高橋保：土石流の発生と流動の機構，土と基礎，Vol26，No.6，pp.45-50，1978.
- 6) 砂防・地すべりセンター：Kanako2D Ver.2.01 利用マニュアル，2010.