

## 清水寺周辺地域の降雨流出予測

Prediction of rainfall runoff in the Kiyomizu-dera area

速見智<sup>1</sup>・里深好文<sup>2</sup>

Satoshi Hayami and Satofuka Yoshifumi

<sup>1</sup>立命館大学院 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

<sup>2</sup>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

Kiyomizu-dera is a historical building which gathers many tourists. In tourist resort, we need different ways from disaster prevention. In recent years, a heavy rain increasing urban areas. In order to reduce the damage of a flood disaster, it is required to predict the damage prediction and to perform an effective measure. Generally, the runoff analysis of rain water input geographical feature data. However, the calculation results don't include the influences of the land use of a spot. In this research, we use geographical feature data including the land use of Kiyomizu-dera area, and calculated rainfall runoff analysis.

**Keywords :** *two dimensional flow analysis , disaster in urban area, heavy rain, Kiyomizu-dera area*

### 1. はじめに

我が国は温暖湿潤の気候であり、梅雨期や台風期に多くの降雨が発生する。また、国土の 2/3 が山地地形になっており、造山活動が活発であるため、その地形は急峻となっている。近年我が国では気候変動により、過去の観測記録を上回る豪雨や、都市の突発的かつ局地的な豪雨が多くなっている。2011年には、8月25日にマリアナ諸島付近で発生した台風12号の影響によって、紀伊半島の広い範囲で総降雨量1000mmを超える雨が観測された<sup>1)</sup>。特に奈良県上北山村では72時間雨量が1652.5mmと国内の観測記録を大幅に上回る雨量が観測された。この大雨によって河川の氾濫や土砂氾濫に伴う多くの被害が発生し、世界遺産の一部である熊野那智大社（和歌山県那智勝浦町）では土砂の流れ込みにより本殿の一部が埋没するなどの被害が出た。

豪雨の際、洪水氾濫や土砂氾濫の被害を軽減していくためには、その被害を予測し、効果的な対策を行うことが必要である。従来の雨水流出解析では、地形図から読み取ったデータを用いることが多く、実際の地形条件に十分対応しているとはいえない。そこで、本研究では清水周辺地域の地形データに建物と道路を配置した上で雨水の流出解析をおこない、地形データの与え方による予測結果の違いについて検討を行った。

## 2. 対象地域(清水寺地域の概要)

清水寺は清水山の中腹に 13km<sup>3</sup> 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。清水寺は京都市の観光地の中では最も訪問者が多い場所であり、40 代以上の観光客が 6 割を占めている<sup>2)</sup>。本堂から参道の入り口までは飲食店や土産物屋が多く、参道は観光客によって混雑した状況となっている。

清水寺から参道入り口の東大路通にかけての平均勾配は 1/10 となっており、急勾配の斜面に境内と参道が存在している(図 2.1)。清水寺の地域は周囲を山に囲まれており急勾配な地域であるため、降雨時には雨水が急速に流出していく。特に、豪雨によって排水施設の容量を超える降雨があった場合、雨水は参道上を流出していくことが予測される。参道への流入が多くなった場合、清水寺周辺の家屋・商店は浸水被害を受けることが考えられる。また、観光客は清水寺周辺の災害に関して危機意識が低く、高齢者の割合が多いことから、観光客が洪水の被害を受ける可能性が高い。清水寺本堂北側の 2 つの小溪流は土石流危険溪流に指定されており、土石流によって被災する可能性が高い。

このような災害を防ぐためには、清水寺周辺の土地利用を考慮した降雨の流出予測が必要となる。そこで、本研究では、清水寺周辺地域に関して、地形条件のみを考慮した場合と地形条件に合わせて建物と道路の配置までを考慮した場合について流出解析を行った。

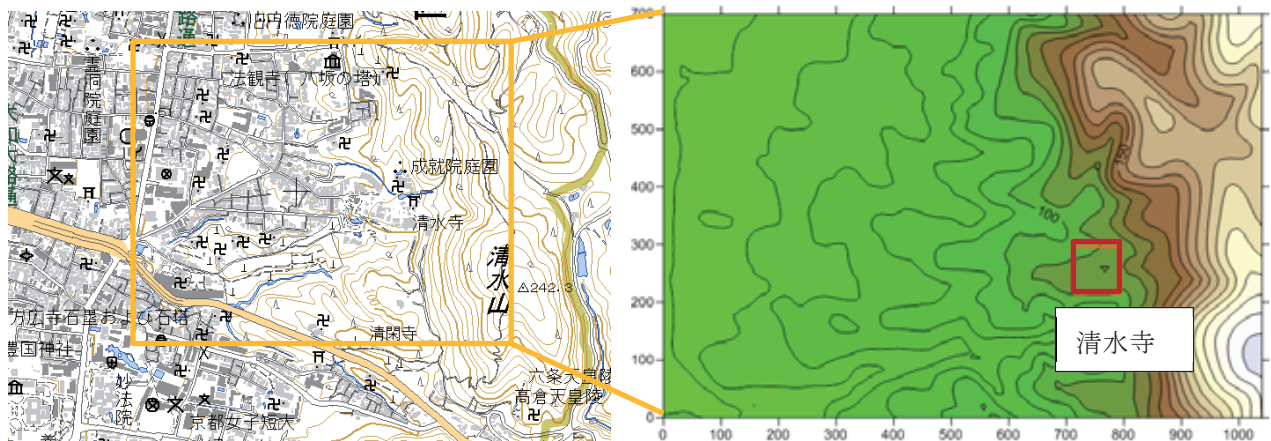


図 2.1 清水寺周辺地区(左図)及び地形図(右図)

## 3. 清水寺地域における雨水流出解析

### (1) 計算方法及び基礎方程式

本解析では降雨を入力条件として二次元氾濫モデルによる数値シミュレーションを行っている。スタッガード格子法を用いてモデルを作成し、格子点には位置の座標と標高、水深のデータを持たせている。格子点と格子点をつなぐ交換点では、格子点間の標高、水深の違いから流速を計算している。今回、計算が発散することを抑制するために、補正係数を導入した。なお、格子点の座標情報を基に各格子点間の関係性を認識させるようにしている。各計算メッシュにおいては、土地利用条件に応じて、格子点への流入と流出を許可するところと、格子点からメッシュの領域外への流出のみを許可するところとに区分している。本解析では建物が存在するメッシュではメッシュの領域外への流出のみを許し、メッシュの領域外からは流入できないように設定した。また、それ以外の道路や山地部のメッシュでは流出および流入が可能とした。解析のメッ

シュ間隔は 20m とした。

流出解析には以下の方程式を用いた<sup>3)</sup>。

(a) 連続式

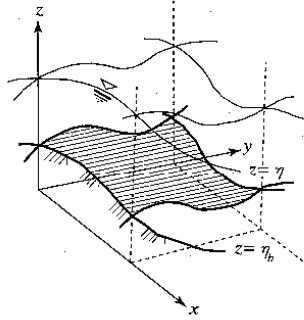


図 3.1 平面 2 次元流れの模式図

図 3.1 のような座標系をとったとき、連続方程式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

これを底面  $z = \eta_b$  から水面  $z = \eta$  まで積分し、境界条件を代入すると

$$\int_{\eta_b}^{\eta} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz = \frac{\partial}{\partial x} \int_{\eta_b}^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{\eta_b}^{\eta} v dz + \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \eta_b}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

となる。

$(\eta - \eta_b) = h$ 、 $M = Uh = \int_{\eta_b}^{\eta} u dz$ 、 $N = Vh = \int_{\eta_b}^{\eta} v dz$  と書くと、流速を深さ方向に関して平均化した連続方程式は

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

となる。ここに、 $h$  は水深、 $M$  は  $x$  方向の、 $N$  は  $y$  方向の単位幅流量（フラックス）、 $U$ 、 $V$  は、それぞれ、 $x$  方向および  $y$  方向の水深について平均化した流速である。

(b) 運動方程式

$x$  方向の運動方程式として

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta_{xx} \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta_{xy} \frac{\partial(vM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial(h + z_b)}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (4)$$

同様に、 $y$  方向の運動方程式は

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta_{yx} \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta_{yy} \frac{\partial(vN)}{\partial x} = -gh \frac{\partial(h + z_b)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (5)$$

を用いる。ただし、 $\beta_{xy} = \beta_{yx}$ 、 $\beta_{yy} = \int_{\eta_b}^{\eta} v^2 dz / (hV^2)$  である。底面のせん断応力項は、

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (6)$$

$$\frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (7)$$

とする。ただし  $n$  はマンニングの粗度係数、 $\rho$  は水の密度である。

## (2) 計算条件

計算の雨量には 2008 年 7 月 28 日に兵庫県で発生した都賀川災害<sup>4)</sup>の 10 分間雨量を用いた(図 3.2)。都賀川は六甲山系の河川の一つであり、河川の勾配が 1/40 から 1/50 と急勾配の河川である。都賀川の災害では、市街地の狭い流域へ短期間に大量の雨が降り、都賀川へ雨水が急激に流入したため、観測点によっては川の水位が 10 分間で約 1.3m 上昇し場所があり、川の中にいた 5 名が命を落とすという事故が発生している。このような突発的かつ局地的な強い雨が発生することは、都市化した清水寺周辺地域についても想定される。他の入力条件は表 3.1 のように設定した。

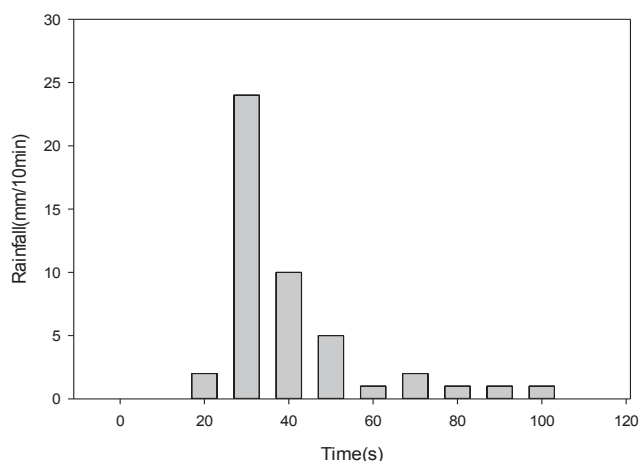


図 3.2 解析に用いた 10 分間雨量

表 3.1 解析に用いたパラメーター

パラメーター	数値
計算時間(s)	7200.0
計算間隔(s)	0.001
水の密度(kg/m <sup>3</sup> )	1.00
重力加速度(m/s <sup>2</sup> )	9.8
マンニングの粗度計数	0.03
2次元 x 方向の間隔(m)	20.0
2次元 y 方向の間隔(m)	20.0

## (3) 結果と考察

地形のみを考慮した場合の計算結果を地形図上に示したものが図 3.3 となり、その計算結果を清水寺周辺地域の地図上に示したものが図 3.4 である。建物や道路の配置を考慮した場合の計算結果は、降雨開始から 40 分後の水深を図 3.5 に、50 分後の水深を図 3.6 に示した。

地形のみを考慮した場合の流出解析では谷部に降雨の流出が集中していることが分かる。一方で、建物や道路等の土地利用をも考慮した場合の解析では、谷部以外の場所にも浸水する箇所が見られ、地形のみを考慮した場合よりも、より雨水が集中することが分かった。清水新道の南側にある通妙寺、實報寺などの寺院が集中する区画や清水寺北側の小溪流では土地利用を考慮しない場合についても大きな流出が見られ、清水寺周辺の中では比較的洪水災害に対して弱い地域であるということが言える。清水新道の北側を通る松原通やそこから南北に延びる通りの流出は土地利用を考慮した場合に流出が大きくなっている。これは、建物が密集しており、水の行き場が少なく、通りの上を雨水が流出していくことを示している。このことから、豪雨の際には清水寺に繋がる参道に雨水が流入し、参道の家屋や商店が浸水する可能性が高く、参道を通る多くの観光客の避難を考慮した対策が必要であると考えられる。また、清水寺周辺のように家屋が密集する領域では、地形条件だけではなく土地利用までを考慮した数値解析が必要となることが示されたといえよう。

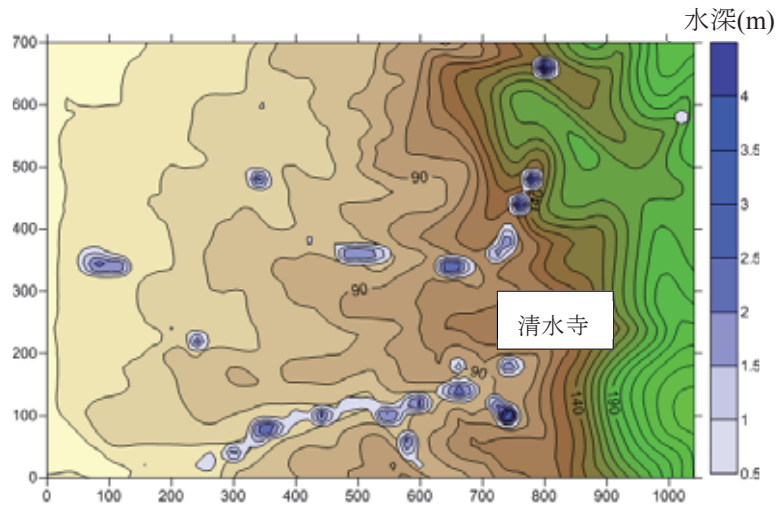


図 3.3 土地条件のみ考慮した場合(地形図) 降雨開始後 50 分



図 3.4 土地条件のみ考慮した場合(地図) 降雨開始後 50 分

降雨開始から 30 分後と 40 分後に 10 分間雨量 24.0mm と 10.0mm が与えられているために、降雨開始から 40 ～50 分にかけて流出の変化が最も大きくなった。谷部分の水深が大きな変化をしていることが確認される。清水寺の北側にある小渓流からの流出に大きな変化があり、清水寺背後の斜面からの土砂災害につながる可能性がある。また、清水新道の南側の寺院が集中する区画でも水位変化が大きく、局地的豪雨に対しての対策が必要な地域であることが分かった。

清水寺入り口につながる松原通りの北側の参道では降雨開始から 40 分の時点では大きな流出は見られないが、その 10 分後に水深が 3 倍となっており、急激な水深の変化が見られる。参道では短時間に急激な流れの変化があることが予測され、都賀川で発生した水難事故と同様に、観光客がこのエリアから避難することが間に合わない可能性が考えられる。そのため、この地域では、排水施設の増強などの対策が必要となると考えられる。



図 3.5 土地利用を考慮した場合 降雨開始 40 分後

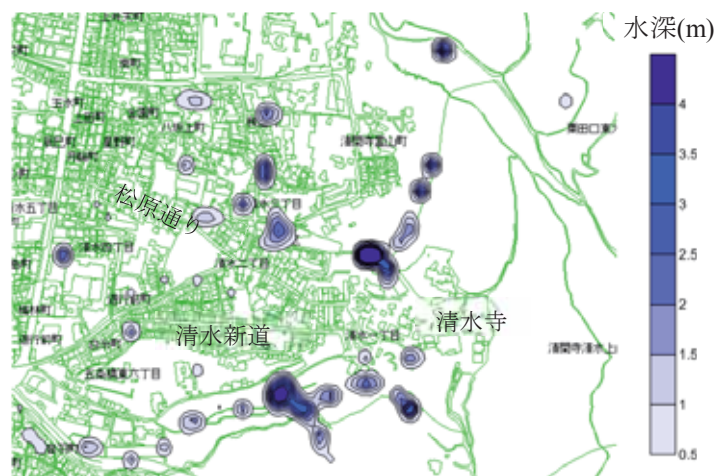


図 3.6 土地利用を考慮した場合 降雨開始 50 分後

#### 4. おわりに

清水寺周辺地域において 2 次元モデルによる降雨流出解析を行った。清水寺周辺地域は清水山に囲まれているため、谷部にある場所では雨水の流出が集中し、豪雨に対して脆弱であることが分かった。松原通などの観光客の多い参道では、突発的な豪雨の場合、短時間で急激な流出量の変化が確認された。また、市街化されている場所では、道路や参道に雨水が集中することになり、道路や参道の家屋や商店、清水寺を訪れる観光客に大きな危険が生じる可能性が示された。

今回の解析では地表面への雨水の浸透や排水設備の効果は考慮せずに解析を行ったため、窪地では実際よりも水深が大きく評価されている可能性がある。今後は、清水寺周辺の排水設備の整備状況を踏まえた上で、より詳細な降雨の流出解析を行い、清水寺周辺での災害対策について検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：平成 23 年に発生した土砂災害、2012 年
- 2) 京都市：京都市観光年報平成 22 年、2010 年
- 3) 高橋保：洪水の水理—被害の評価と対策—、近未来社、p70~102、2010 年
- 4) 国土交通省：中小河川における水難事故防止策検討WG 報告書、2008 年