

白川流域の洪水による歴史的建造物への影響評価 —熊本地震および阿蘇山噴火を考慮した流出解析—

Damage prediction of historic buildings by flood in the Shirakawa River

梶山敦司¹・里明信²・里深好文³

Atsushi Kajiyama, Akinobu Sato and Yoshifumi Satofuka

¹立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-12)

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

²国土交通省近畿地方整備局港湾空港部港湾空港整備・補償課(〒650-0024 神戸市中央区海岸通29)

Kinki Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Ports and Airports Department

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1-12)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

The Kumamoto Prefecture experienced two significant earthquakes in 2016 that affected even the houses and historical buildings. Furthermore, many facilities along the Shirakawa River were also damaged owing to the earthquake, raising concerns that collapse and flooding will cause even more damages. Therefore, a predictive calculation was carried out to estimate the degree of damage that can occur if flooding occurred resulting from torrential rains that the region had experienced over the past few years. From the results, the amount of flooding in the area with many historical sites was estimated to be around 1 to 2 m at most.

Keywords : *flood disaster, numerical simulation, KANAKO1D, KANAKO2D, Kumamoto Prefecture*

1. はじめに

熊本県では、平成28年4月14日および平成28年4月16日に熊本県熊本地方を震央とする震度7を記録する地震が2度発生した。2度の地震によって、熊本県内にある文化財にも大きな被害が発生している。熊本市の報告¹⁾によると甚大な被害を受けた文化財は、熊本城を含む4施設があげられており、被害の大きかった文化財は、夏目漱石内坪井旧居跡をはじめとして10施設があげられている。

また、2度の震災によって、国土交通省九州地方整備局の報告(平成28年4月24日15:00)²⁾によると、熊本市内の市街地中央部を流れる白川において、堤防などの河川設備にも被害が発生している。このことから、近年日本列島において頻発している集中豪雨(たとえば、「平成23年7月新潟・福島豪雨」、「平成26年8月豪雨」など)に伴う洪水によって、堤防が決壊し氾濫することが懸念されている。

一方、山間部では2度の震災によって、白川上流域において崩壊が多数発生しており、白川内に土砂が流入する状況となっている。また、地震後に、熊本県東部に位置する阿蘇山の噴火し、白川流域内に土砂が堆積、下流に土砂が流出する状況となっている。今後、崩壊および噴火による土砂が下流に流れ、下流域の水の流れに影響を与えると考えられる。

本研究では、2度の地震によって甚大な被害を受けた重要文化財、有形文化財および白川沿いに点在する江戸時代以降に建造された町屋などの歴史的な建造物(以下、歴史的建造物と呼ぶ)が、さらに近年発生している豪雨に伴って、地震により脆弱化した堤防を決壊させたと想定し、氾濫の影響を受ける可能性について予測した。また、地震に伴い上流域で発生した崩壊および阿蘇山の噴火による土砂による流出の影響も予測した。

2. 対象地域の概要

(1) 対象地域

本研究では、熊本平野の北部を流れる白川を対象とした。白川、熊本平野および阿蘇山の位置図を図1に示す。白川は熊本県の中央部を東西に流下する延長74km、流域面積480km²の一级河川である。阿蘇山(阿蘇カルデラ)を源流とし、下流部は熊本平野の北部(熊本市の市街地)を横断し有明海に注ぐ。なお、近年の氾濫は、平成24年7月九州北部豪雨時に発生している。

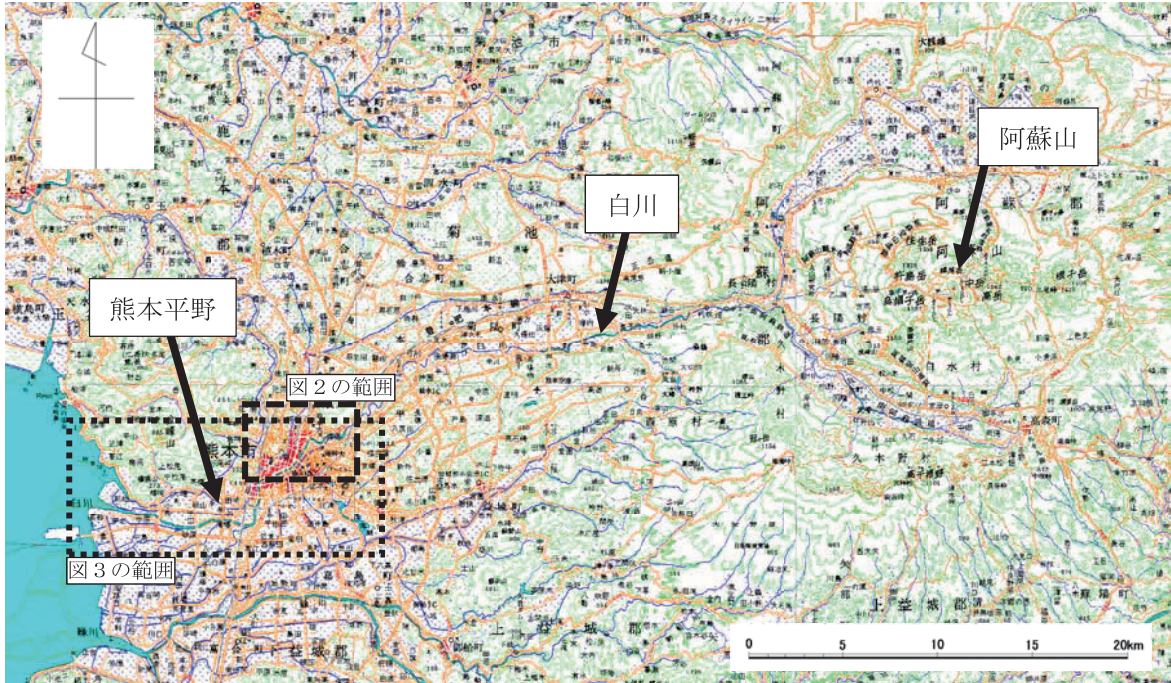


図1 対象地域の位置図 (国土地理院の電子地形図20万分¹)に追記して作成した。)

(2) 歴史的建造物

本研究では、熊本平野に分布する文化庁(国)指定の『重要文化財(建造物)および有形文化財(建造物)』⁴⁾、熊本県指定の『重要文化財(建造物)および記念物(史跡)』⁴⁾を歴史的建造物として、氾濫の影響の有無を評価した。また、国および熊本県の文化財として指定を受けていないが、江戸時代以降に建造された町屋などが残り、熊本市において城下町の風情が感じられる地域として町並みづくりが実施されている新町地区・古町地区⁵⁾についても氾濫の影響の有無を評価した。図2に、熊本平野北部の歴史的建造物の位置を示す。

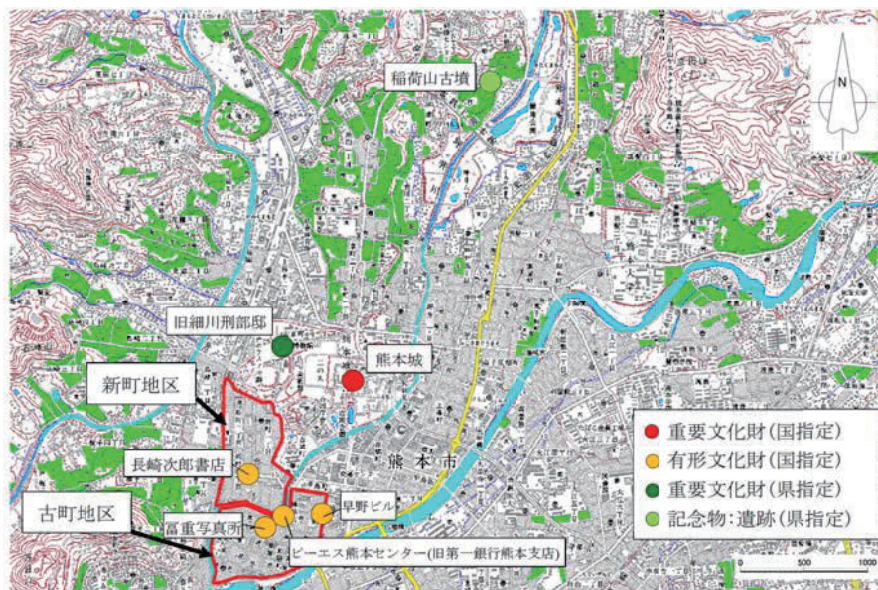


図2 歴史的建造物の分布位置図 (国土地理院の電子地形図5万分¹)に追記して作成した。)

(3) 震災による堤防の被災状況

国土交通省九州地方整備局により平成28年4月24日15:00に発表された資料²⁾によると平成28年熊本地震により、緑川、白川流域を中心に最大震度7を観測し、緑川、白川、菊池川の3河川で138箇所の被災が確認されている。また、白川流域の国土交通省管理区間では、32箇所で被災が確認されている。図3に白川流域の被災位置図を示す。



図3 白川流域の国土交通省管理区間の堤防などの被災状況

(平成28年4月24日15:00国土交通省九州地方整備局発表資料²⁾より引用し一部追記した。)

3. 流出解析

(1) 流出解析手法

本研究では、流出解析にはKANAKO1D⁷⁾およびKANAKO2D⁸⁾を用いた。白川上流域から下流域の解析には、KANAKO1Dを用い次元解析を実施した。流出解析には、KANAKO2Dを用いて二次元解析を行った。

なお、今回解析に用いたKANAKO2Dは、DEM(Digital Elevation Model)等の詳細な地形データを利用することで従来よりも正確なシミュレーションを行うことが可能なシステムである。

(2) 地形情報

次元計算データは、国土交通省国土政策局「国土数値情報(河川データ：熊本)⁹⁾」をもとに、対象範囲の流路を抽出し、河床標高を付与した。また、河道幅は「国土地理院の基盤地図情報のうち水涯線¹⁰⁾」をもとに、計算点における河道幅を抽出した。

次元計算データは、「国土地理院の基盤地図情報のうち数値標高5メッシュ¹¹⁾」をもとに、20mメッシュの数値標高モデル (DEM) を作成した。

(3) 氾濫解析範囲

KANAKO2Dの流出解析の氾濫解析開始地点は、以下の3つの項目をもとに設定した。

- ・ 歴史的建造物の分布状況(白川の右岸側に分布する)
- ・ 次元解析結果(図4)による水位状況(13K500~15K500地点間の水位が高い)
- ・ 白川の河川堤防被災状況(右岸側の被災は、11K500,12K500,14K500地点に認められる)

歴史的建造物は白川右岸に分布するため、次元解析結果の水位が高い箇所(13K500~15K500地点の水位が高い)と右岸側の堤防が被災を受けた箇所(11K500,12K500,14K500地点)から、地点が一致する14K500地点を氾濫開始地点とし、氾濫解析範囲を設定した。図5に、歴史的建造物の分布、河川堤防の被災状況および設定した氾濫解析範囲を示す。

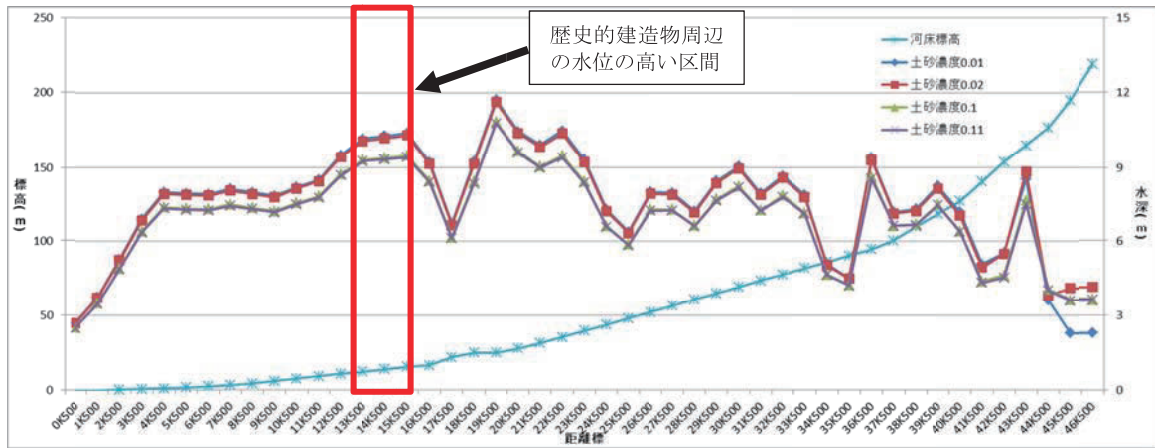


図4 一次元解析結果

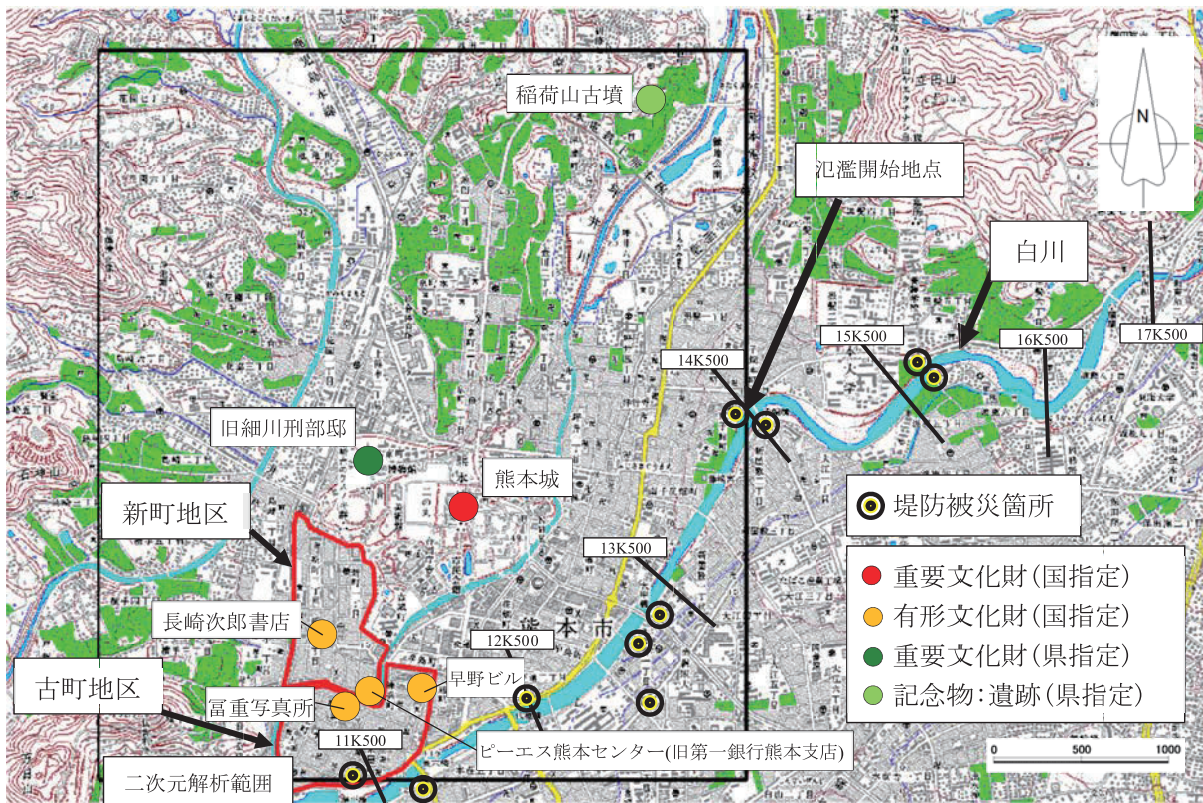


図5 白川沿いの歴史的建造物の分布と氾濫解析範囲
(国土地理院の電子地形図5万分¹⁾に追記して作成した。)

(4) 解析条件

a) ハイドログラフ

解析に用いたハイドログラフは、白川流域上流部の建設予定である立野ダムの計画洪水調節図(図6)¹²⁾をもとに作成した。二次元計算で用いたハイドログラフは、一次元計算を行った結果をもとに、氾濫開始地点14K500地点のハイドログラフを作成した。

b) 土砂濃度

土砂濃度は、4 ケース計算した。各ケースの想定を以下に示す。

- ケース 1: 土砂濃度 0.01 (震災・噴火前を想定)
- ケース 2: 土砂濃度 0.02 (火山噴火による影響を想定)
- ケース 3: 土砂濃度 0.10 (震災後の土砂生産量を想定)
- ケース 4: 土砂濃度 0.11 (震災後の土砂生産量および火山噴火による影響を想定)

土砂濃度 0.01 は、一般的な洪水の氾濫に用いられる数値であり、震災・噴火前の数値として用いた。

火山噴火による影響は、平成 28 年度 10 月 8 日に福岡管区気象台の地域火山監視・警報センターが作成した阿蘇山の火山活動解説資料¹³⁾をもとに、噴火によって堆積した降灰量をもとに推定した。

震災後の土砂生産量は、河川砂防技術基準(案)計画編¹⁴⁾より河川上流域の砂防工事が施工中の場合に用いられる土砂混入率 10%の値を代用し、土砂濃度 0.1 とした。

c)各種パラメーター

一次元解析に用いた各種パラメーターは、HyperKANAKOのデフォルト値(表1)を用いた。なお、計算時間は、流路長などを考慮し約7.0日(600,600秒)とした。

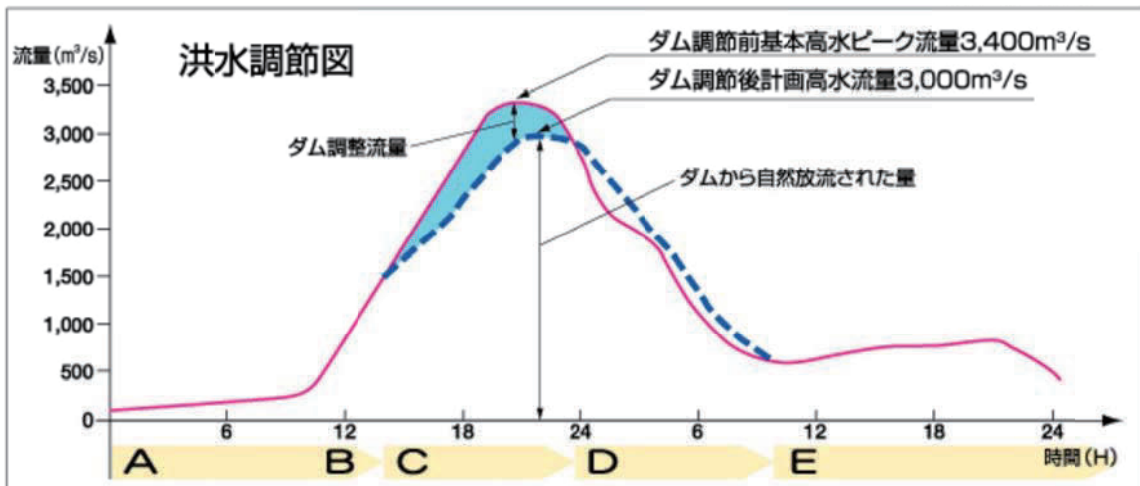


図6 立野ダムの洪水調節図

(国土交通省九州地方整備局立野ダム工事事務所ホームページ¹²⁾より引用)

表1 解析パラメータ

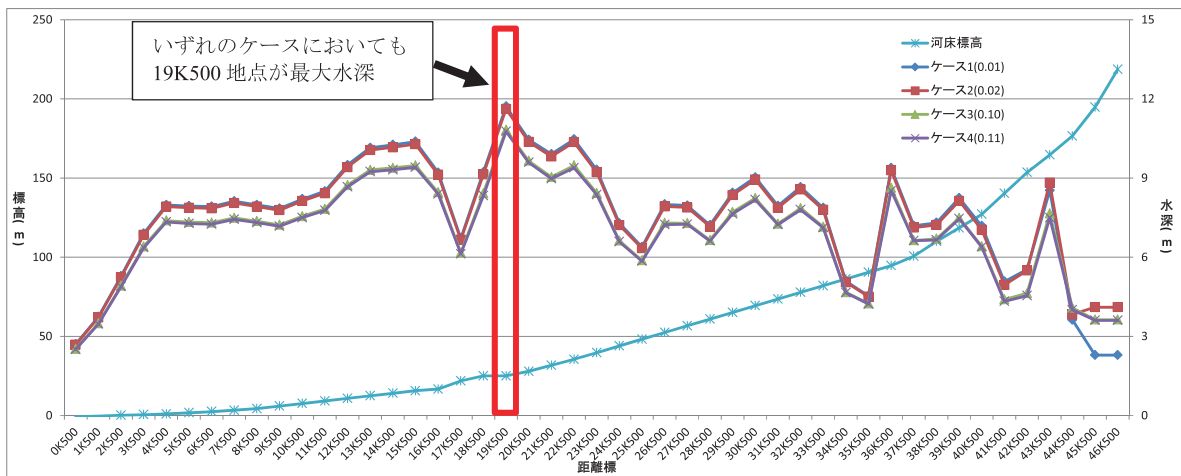
項目	値
計算時間(秒)	600600
計算時間間隔(秒)	0.01
砂礫の密度 σ (kg/m ³)	2650
水の密度 σ (kg/m ³)	1000
重力加速度(m/s ²)	9.8
水深の最小値(m)	0.01
河床の容積濃度	0.65
マニングの粗度係数	0.03
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
堆積速度における慣性力を考慮した時の係数	0.9
土砂の粒径(m)	0.2
砂の内部摩擦角(度)	37
2次元のx計算点間隔(m)	20
2次元のy計算点間隔(m)	20
2次元計算における流動の闘水深(m)	0.01
2次元平面の不安定土砂厚(m)	0
側岸侵食速度係数	1
側岸勾配(度)	37

4. 解析結果と考察

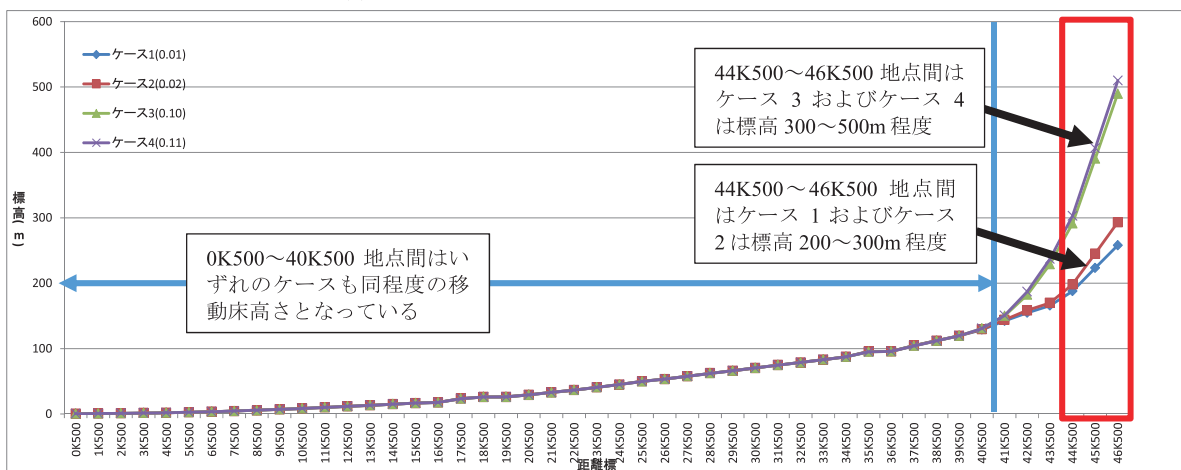
(1) 一次元解析結果

一次元解析結果を図7に示す。図7(a)に最大水深と河床標高の関係を示したが、いずれのケースにおいても19K500地点が最大水深となっている。各ケースの水深は、ケース1およびケース2の最大水深は12m程度となっていることに對し、ケース3およびケース4の最大水深は10m程度と低くなっている。

一方、図7(b)に移動床高さを示したが、移動床は計算開始地点の44K500~46K500地点間において、ケース1とケース2は200~300m程度となっていることに對し、ケース3およびケース4は移動床が300~500m程度となっており異常に高い。反対に、その下流域である0K500~40K500地点間については、全てのケースにおいて移動床高さが同程度の値になっており差は認められなかった。この結果は、流入地点付近の勾配が緩いため、土砂濃度が高いケース3およびケース4中の土砂が下流に流下せず堆積したためと考えられる。また、土砂が堆積したことによって、流量が減少したことから、ケース3およびケース4の場合の最大水深がケース1およびケース2の最大水深に比べて低くなったものと考えられる。



(a)各土砂濃度の最大水深と河床標高の関係



(b)各土砂濃度の移動床高さ

図7 一次元解析結果

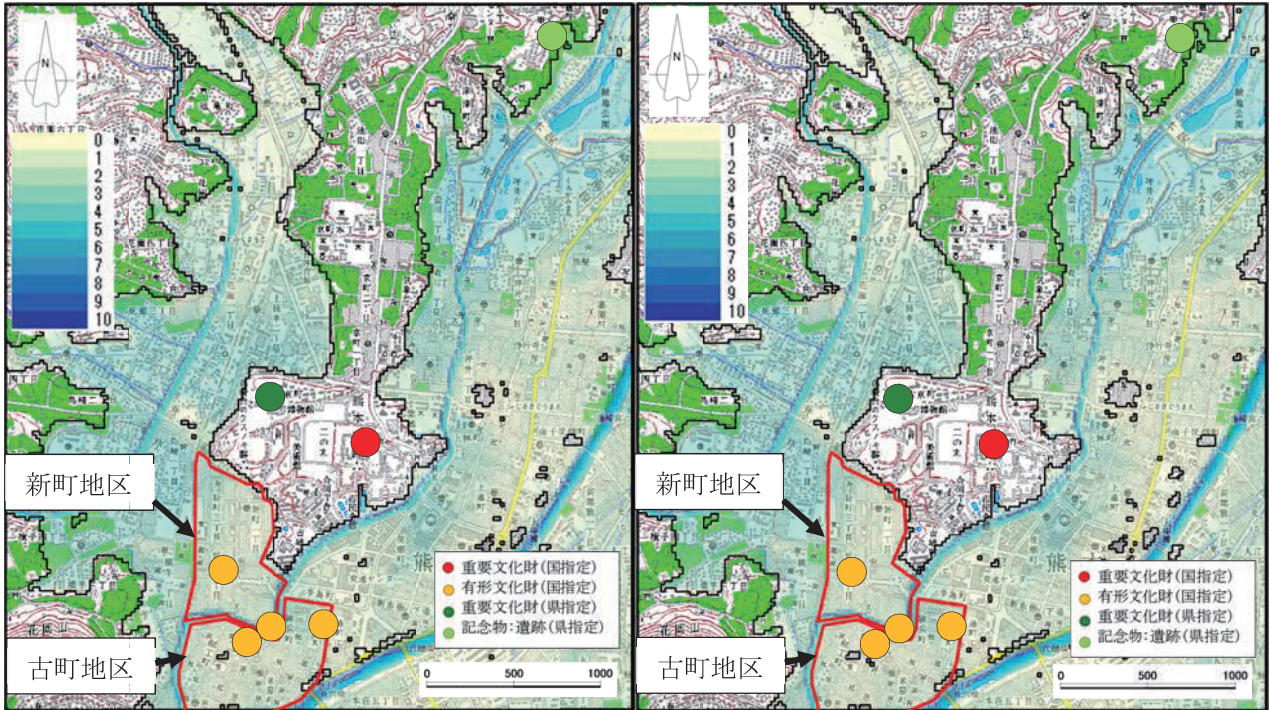
(2) 二次元解析結果

a) 浸水エリアと最大水深

一次元解析結果を踏まえ、歴史的建造物の分布状況および河川設備の被災状況をもとに設定した氾濫開始地点において、平面二次元の流出解析を実施した。流出解析結果を図8に示す。また、表2に各ケースの最大水深を示す。最大水深は一次元解析結果と同様の傾向を示し、土砂濃度が高いほど最大水深が低くなる傾向を示すが、その差は最大で0.5m程度の違いとなっている。また、流出範囲は、最大水深の結果と同様、図8に示したようにケース1~ケース4と土砂濃度が高くなるほど浸水想定範囲が小さくなっていることがわかる。

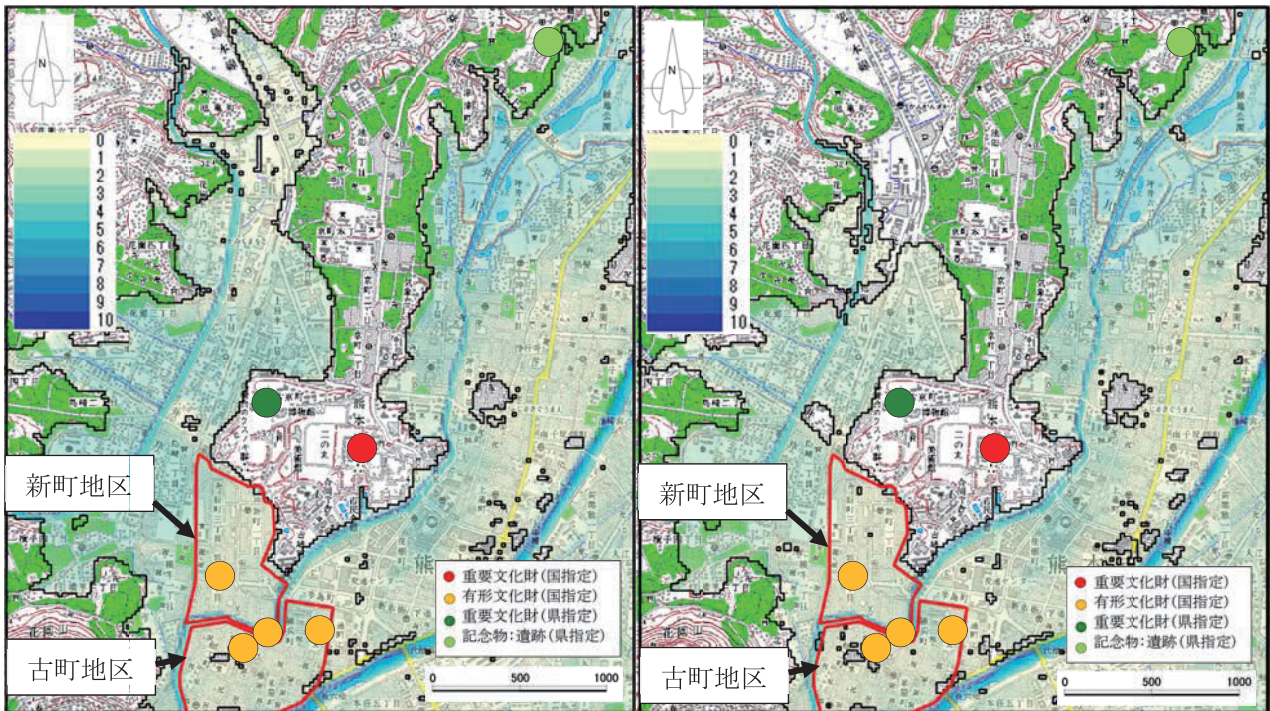
表2 二次元解析結果

ケース	最大水深(m)
ケース1 (土砂濃度 0.01)	12.3
ケース2 (土砂濃度 0.02)	12.2
ケース3 (土砂濃度 0.10)	11.8
ケース4 (土砂濃度 0.11)	11.7



(a) ケース1：土砂濃度0.01

(b) ケース2：土砂濃度0.02



(c) ケース3：土砂濃度0.10

(d) ケース4：土砂濃度0.11

図8 二次元解析結果と歴史的建造物の分布
(国土地理院の電子地形図5万分¹⁾に追記して作成した。)

b)歴史的建造物への影響

流出解析結果から、熊本城はいずれのケースにおいても洪水による直接的被害はないものと考えられる。また、稲荷山古墳も同様に被害を受けないものと考えられる。一方、4つの国指定重要文化財および新町地区・古町地区は、いずれのケースにおいても1~2m程度浸水する結果となった。

熊本城および稲荷山古墳が被害を受けない理由は、平野部の丘や山を利用して築城された平山城と呼ばれる城であり、熊本地方において京町大地と呼ばれる北から延びる台地上の南端に位置する高台に建設されているためと考えられる。その反対に、4つの国指定重要文化財および新町地区・古町地区は、いずれも低地に位置するため浸水被害が発生するものと推定される。

5. 結論

本研究では、白川流域の流出解析を行うことによって、熊本県において発生した2度の地震を経験した歴史的建造物が、近年発生している集中豪雨に伴う洪水によってどの程度影響を受ける可能性があるか予測した。予測に際し、上流域において地震によって発生した崩壊による土砂および阿蘇山噴火による火山灰による影響についても解析ケースに加えた。予測結果から上流域において発生した土砂は、1回の洪水では下流域の流出に悪影響を与えないことがわかった。しかし、いずれのケースにおいても、高台に位置する熊本城および稲荷山古墳を除き、4つの国指定重要文化財および新町地区・古町地区は1~2m程度の浸水被害が生じる可能性が高いことがわかった。

本研究では、白川上流域の崩壊土砂量について、崩壊土砂量の把握が困難であったため土砂混入率を代用して設定した。一次元解析結果において、計算開始地点付近に土砂が大量にたまる状況となっており、現実には即していない可能性があることから、今後、崩壊土砂量を見込む方法については検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 熊本市：平成28年熊本地震による文化財の被害状況について、
https://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=14700&sub_id=1&flid=99232
- 2) 国土交通省九州地方整備局河川部：平成28年熊本地震(最大震度8)における白川・緑川等の被災及び復旧状況について、http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1461988842.pdf, 2016
- 3) 国土地理院：数値地図200000(地図画像)「熊本」「大分」
- 4) 熊本県：指定文化財に関する記事(平成27年10月)，
https://www.pref.kumamoto.jp/hpkiji/pub/List.aspx?c_id=3&class_set_id=1&class_id=1768
- 5) 熊本市：新町・古町地区の城下町の風情を感じられる町並みづくりガイドライン(平成29年5月)，
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=5905&e_id=6
- 6) 国土地理院：数値地図25000(地図画像)「熊本」
- 7) 中谷加奈, 里深好文, 水山高久：GUIを実装した土石流一次元シミュレータ開発, 砂防学会誌, Vol.61, No.2, pp.41-46, 2008
- 8) Nakatani, K., Wada, T., Satofuka, Y. and Mizuyama, T.: Development of “Kanako 2D (Ver.2.00),” a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface. : International Journal of Erosion Control Engineering, Vol.1, No.2, pp.62-72., 2008
- 9) 国土交通省国土政策局：国土数値情報(河川データ：熊本)
- 10) 国土地理院：基盤地図情報(水涯線)
- 11) 国土地理院：基盤地図情報(数値標高5メッシュ)
- 12) 国土交通省九州地方整備局立野ダム工事事務所：洪水調節図, <http://www.qsr.mlit.go.jp/tateno/damujigyo/aramasi02.html>
- 13) 気象庁福岡管区気象台地域火山監視・警報センター：阿蘇山の火山活動解説資料(平成28年10月)，
http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/16m03/503_16m03.pdf
- 14) 日本河川協会：国土交通省河川砂防技術基準同解説, p230, 2008.