

野田川水系加悦奥川の洪水氾濫予測

Prediction of inundation in the Kayaoku river watershed

里深好文¹・山崎祐介²・野々山怜³

Yoshifumi Satofuka, Yusuke Yamazaki and Satoshi Nonoyama

¹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

²株式会社ハイドロソフト技術研究所 解析技術グループ (〒550-0015 大阪市西区南堀江1-7-4 パロスビル7F)

Project Manager, Hydro-soft Technology Institute Co., Ltd

³名古屋市 住宅都市局 (〒460-8508 名古屋市中区三の丸三丁目1番1号)

Technical Staff, Nagoya City Hall

The Kayaoku river is one tributary of the Nodagawa river. The small watershed is covered by weathered granite, the sediment yields and sediment runoff are very active. We apply numerical simulation model SERMOW and Kanako2D on the rainfall runoff process and inundation process in this watershed. The calculated results show that the duration of flood and river channel blockade by the drift woods are strongly affect on the flooding process.

Keywords : *Kayaoku river Inundation, two dimensional numerical simulation, riverbed variation, sediment runoff*

1. はじめに

京都府与謝郡与謝野町加悦地区を貫流する加悦奥川は京都府が管理する野田川の支川である。平成16年10月20日の台風23号は1時間最大38mm、総雨量195mm(加悦町滝観測点)の豪雨をこの流域にもたらした。加悦地区内においても河川水の氾濫による浸水被害が生じたが、この洪水氾濫は野田川本川の左岸が越流・決壊したことによるものであり、加悦奥川からの越流氾濫は報告されていない。この豪雨災害を契機として野田川流域では河川改修が進められ、野田川本川の河川整備はほぼ完了している。さらに、2009年8月9日から10日にかけて、台風9号の影響により野田川流域は再び洪水の危険にさらされた。10日の午前1時半頃、加悦奥川宮野橋周辺で溢水した。同日午前2時50分には加悦区、加悦奥区に避難勧告が発令され、31名が避難している。結果的に人的被害は生じなかったものの、床上浸水1棟、床下浸水60棟等の被害が生じている。この災害は地域住民の加悦奥川河川改修の必要性に対する認識を強めることとなり、現在、河川改修のための計画策定が進められつつある。

一方、加悦奥川に架かる橋梁の天神橋は、重要伝統的建造物群保存地区である「ちりめん街道」の玄関口となっている。したがって、歴史的建造物の町並みや景観に配慮した河川整備が要求される。橋梁を含む伝統的建造物および景観の保全と治水安全度の向上を両立させる必要があり、河道掘削や河道拡幅といった通常のハード対策には制約が多い。

さらに、加悦奥川の上流は風化花崗岩を主体とする小流域であり、豪雨時には斜面崩壊や土石流の発生および大量の流木の流下が懸念される。これらの現象は小河川である加悦奥川の洪水疎通能を著しく低下させることから、流域の治水安全度の向上を図る際には注意が必要である。

本研究では、加悦奥川流域に豪雨が発生した際に、どのような洪水氾濫現象が生じるのかを数値シミュレーションによって検討している。解析に使用したシミュレーションモデルはこれまでにいくつもの流域に適

用されており、かなりの精度で土砂流出過程ならびに洪水氾濫過程を再現できることが確認されている^{1),2)}。とくに、斜面崩壊や土石流によって河道へ大量の土砂が供給された場合や、天神橋地点において流木により河道が閉塞した場合といった、通常の河川計画においては検討されることが少ない条件を設定して、伝統的建造物群保存地区周辺で発生する洪水氾濫について調べている。

2. 加悦奥川の概要

加悦奥川は流域面積約11km²、河道長約7kmの小河川である。上流域は標高300m程度の花崗岩質の山々に囲まれ、平均河床勾配は約1/23となっていて、与謝野町加悦伝統的建造物群保存地区を西から東へと貫いている（図1参照）。伝建地区の西側（上流側）で加悦奥川はクランク上に折れ曲がり、この周辺の川幅は5～11mで、深さ2～3m程度の掘りこみ河道となっている。加悦奥川本川の野田川は天橋立によって閉鎖的な海域となっている阿蘇海に流れ込んでいることから、大規模な出水時にはせき上げの影響を受けやすい。野田川の水位上昇に伴い、加悦奥川もせき上げの影響を強く受けることになり、本川合流点の手前数100mの区間は疎通能が不足した状況に陥りやすい。図2に国土数値情報の10mメッシュDEMデータをもとに作成した加悦奥川流域の等高線図を示している。図中の赤線は流域界であり、縦軸と横軸の単位はメートルである。

野田川水系河川整備基本方針³⁾においては河川整備の目標を「30年に1回程度発生すると予想される降雨規模に対して生じる洪水を安全に流下させる」としており、支川である加悦奥川において目標となる洪水流量は115m³/sとなっている。これに対し、野田川水系河川整備計画⁴⁾では、今後20～30年間で上記の目標を達成することは予算的、時間的に困難であるため、「5年に1回程度発生すると予想される降雨規模」の出水に対し民家浸水被害の解消を図ることを目指しており、洪水流量を80m³/sとしている。



図1 加悦奥川位置図

3. 加悦奥川流域における降雨流出解析

洪水氾濫予測のためには、強雨時に流域に降った雨がどのように流出するのかを知る必要がある。ここでは、著者らが開発した降雨土砂流出予測モデルであるSERMOW¹⁾（Sediment Runoff from Mountainous Watershed）を用いて加悦奥川の洪水ハイドログラフに関する解析を行う。

(1) 計算条件

SERMOWにおいては流域を一組の河道網とそれに接続する複数の斜面群によって表現する。各斜面においては降雨を入力条件としてキネマティックウェーブ法による降雨流出解析を行い、斜面の下端における降雨流出ハイドログラフを計算する。その結果を側方からの流入条件として、河道部における1次元流出解析

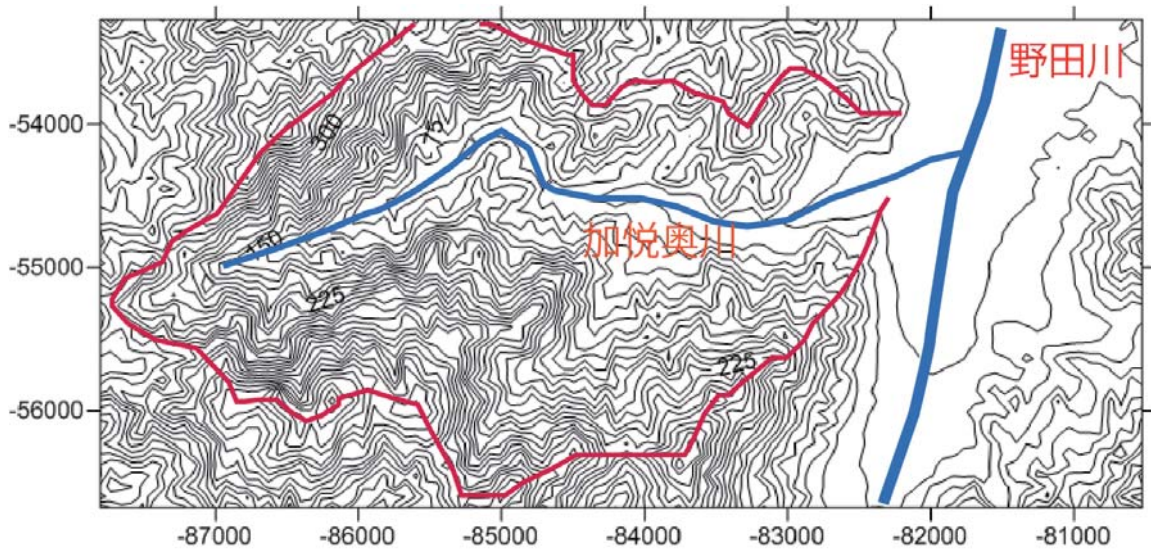


図2 加悦奥川流域の等高線

を行うことにより、流域末端（すなわち野田川との合流点）における洪水ハイドログラフを求めている。なお、本計算においては土砂の輸送と河床変動は考慮していない。加悦奥川の流域分割と河道計算点の配置を図3に示している。河道計算点の間隔は50mである。降雨の供給条件と斜面における粗度係数（等価粗度）を変化させて、case 1～case6の計算を行った。等価粗度は斜面に降った降雨が河道へ流出する速さに影響する係数であり、本来は現地で計測される洪水波形とモデルによる推定値とを比較することにより決定すべきものであるが、加悦奥川にはこういったデータはないため、一般的な値である0.5を用いている。ただし、降雨流出が通常よりも遅い場合（たとえば森林土壌が極端に発達している場合等）にどういった流出過程になるかを知るために、粗度係数を5.0とした場合も計算している。降雨は一定の降雨強度が3時間継続するものとし、洪水災害や土砂災害が発生した近年の事例を参考にして、30mm/hrと50mm/hrの2通りについて計算した。河道上流端の河幅については実測データがないので、3mとした場合と地形図から読み取られる幅に設定した場合の2通り計算している。各ケースの計算条件を表1にまとめて示す。

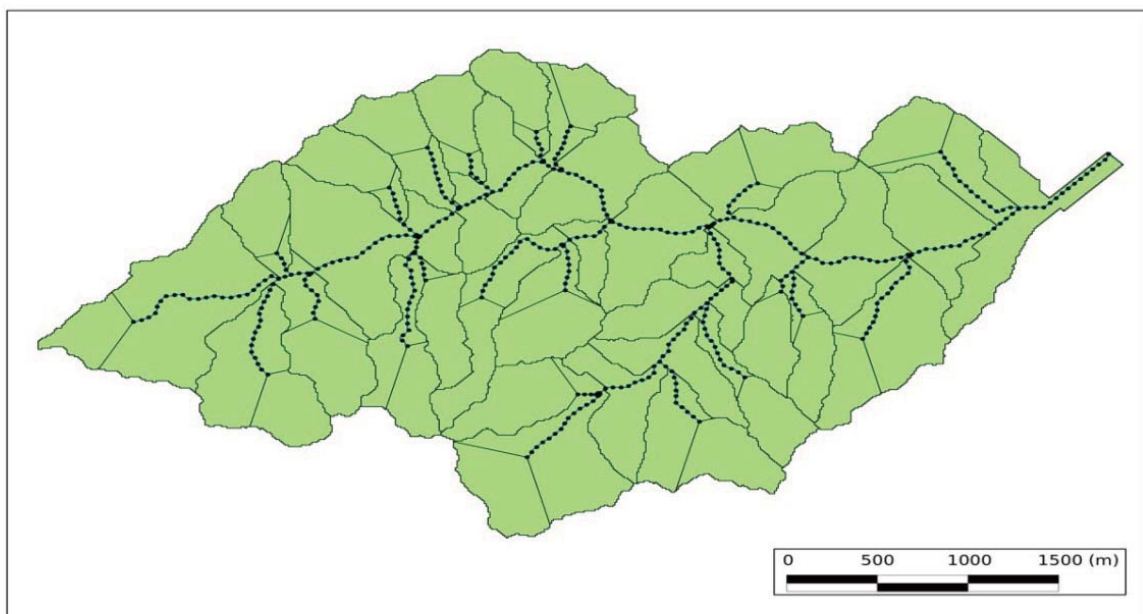


図3 加悦奥川の流域分割と河道計算点の配置

表-1 計算条件

	粗度係数	降雨	上流端川幅
case1	5	30mm×3時間	3
case2	5	50mm×3時間	3
case3	0.5	30mm×3時間	3
case4	0.5	50mm×3時間	3
case5	0.5	30mm×3時間	流域幅
case6	0.5	50mm×3時間	流域幅

(2) 計算結果と考察

図4は時間雨量50mm/hを3時間供給したときの加悦奥川下流端における洪水流出ハイドログラフに関する計算結果を示している。この計算においては野田川本川の水位上昇によるせき上げの影響は考慮していないので、この値を用いてダイレクトに加悦奥川下流域の洪水時水位を求めることは問題があるが、後述する氾濫計算の入力条件（流入条件）とするには十分であると考えている。なぜなら、氾濫計算の上流境界地点から下流端までの区間に大きな支川の流入はなく、両地点の洪水時流量にはさほど違いはないものと考えられるからである。図4を見ると、等価粗度を0.5として、上流端川幅を3mとしたときに、洪水ピーク流量が約100m³/sとなっている。加悦奥川の計画洪水流量が115m³/sであること、また、当面の河川整備の目標である洪水流量が80m³/sであることと比較すれば、本計算によって得られた結果は加悦奥川の洪水ピーク流量をほぼ妥当に再現しているといえよう。以後の洪水氾濫予測においてはこの結果をもとに、洪水ピーク流量が100m³/sである場合について解析を行う。

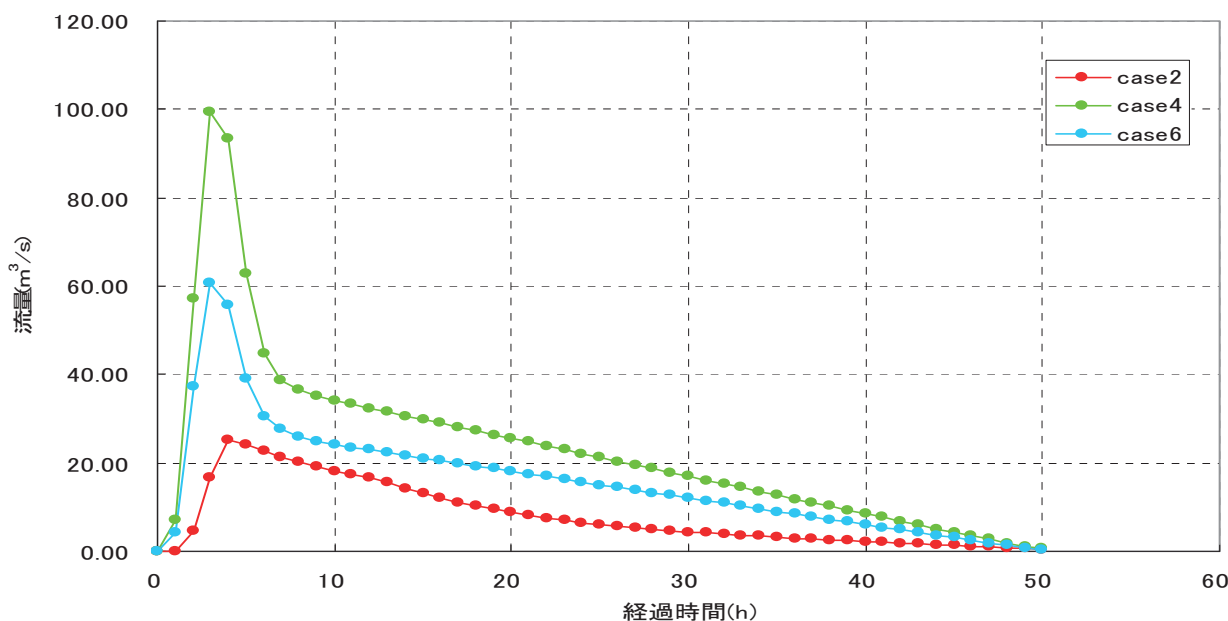


図4 時間雨量 50mm/h を 3 時間与えた場合の下流端流出ハイドログラフ

4. 汎用土石流シミュレータKanakano2Dによる加悦奥川流域における洪水氾濫解析

本解析で使用する氾濫予測シミュレータKanakano2Dは、急勾配の谷部から流出した土石流が扇状地において氾濫する過程を再現することができる。すでに複数の流域において災害記録と比較することにより、ほぼ妥当な再現計算が可能であることが示されている²⁾。汎用土石流シミュレータKanakanoは京都大学大学院農学研究科森林科学専攻山地保全学分野において開発され、財団法人砂防・地すべり技術センターのホームページを通じて無償で公開されている。開発当初³⁾は谷筋に沿った土石流の流下・発達・堆積過程を1次元的に取り扱うものであったが、その後1次元計算と2次元計算の結合モデル⁶⁾を組み込むことによって、谷出口より下流における2次元氾濫過程が解析可能となった（これをkanako2Dと呼んでいる）。ここでは、前章で得ら

れた洪水ピーク流量をもとに上流からの入力条件を決定し、kanako2Dにより加悦地区における洪水氾濫過程の予測を行う。

(1) 計算条件

流入流量は前章で得られた50mm/hの降雨強度を3時間にわたり流域に与えた場合の洪水ピーク流量100m³/sを採用する。また、洪水継続時間の影響を明らかにするため、洪水継続時間を10分程度と短く設定した洪水波形を与える場合と、約30分にわたりピーク流量を定常的に与える場合について計算を行った。なお、豪雨時には上流域で斜面崩壊等により多量の土砂が河道へ流入するものと考え、従来の災害事例を参考にして、流入流量に10%の土砂が混入しているものとした。この設定により、河道内の河床は時間の経過とともに上昇することとなった。さらに、大量の流木が上流域で発生した場合を想定して、流木によって天神橋地点で河道が閉塞する場合の計算も行っている。実際には、天神橋よりも上流に複数の橋梁があるため、必ずしも天神橋が最も流木による河道閉塞が生じやすい地点であるとは言えないが、伝建地区への影響が最も大きくなると考え、この場所を選択した。

2次元氾濫計算の範囲を図5に示している。このデータは図2に示した10mメッシュのデジタル地形情報をもとに作成したもので、図中の青色で囲まれた部分を河道であるとして2m分周辺地盤高よりも切り下げている。流木により河道閉塞が生じた場合の計算では、図5に示された「橋」の地点の地盤高のみを周辺地盤と同じ高さには設定している。図5の左端の中央部分から水と土砂が供給され、2次元氾濫過程が逐次計算される。下流端は野田川本川があるとは考えず、等流状態であるとしている。

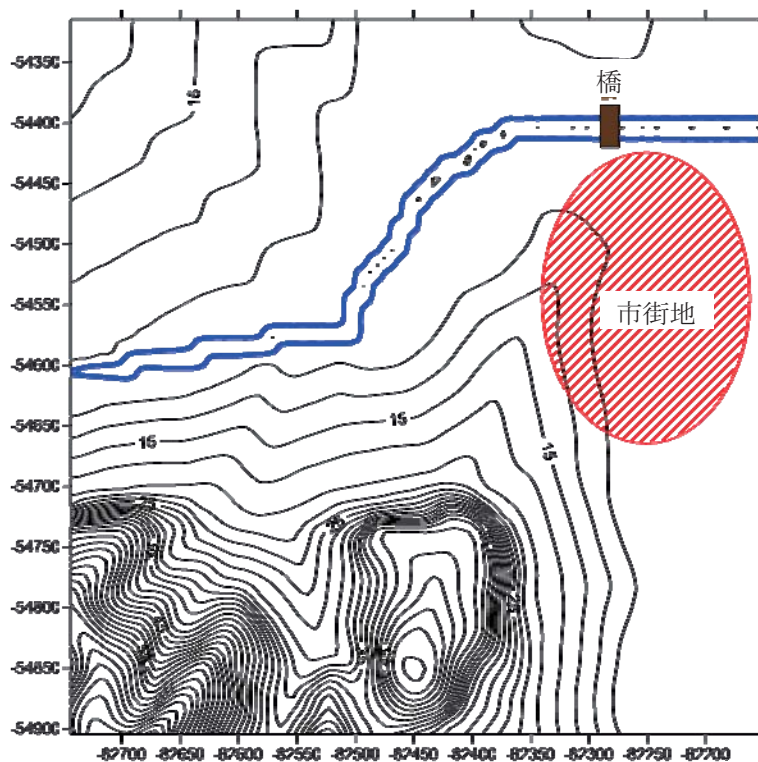


図5 氾濫計算範囲

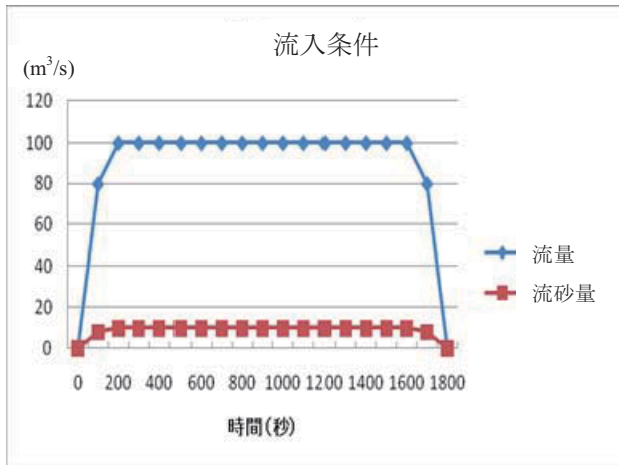
(2) 洪水氾濫に関する計算結果と考察

図6は約30分間にわたり洪水流量100m³/sを供給したケースにおける氾濫範囲に関する予測結果を示し、図7は洪水継続時間を10分程度と短く設定したケースの予測結果を示している。また、図8は「天神橋」地点で河道内閉塞した場合の計算結果を示している。ただし、このケースにおいては洪水ピーク流量は時間雨量30mm/hに相当する55m³/sとしており、他のケースの半分程度のピーク流量となっている。

図6を見ると、クランク状に河道が屈曲した地点の左岸側で大規模に氾濫していることがわかる。また、下流域でもわずかに溢流していることが見てとれる。すなわち、現在計画されている流量80m³/sを上回るよ

うな出水時には、伝建地区周辺で広範囲に洪水氾濫が生じることが推定される。

図7を見ると、流域に顕著な氾濫が生じていないことが分かる。これは洪水継続時間が短いために、河床上昇の程度が小さく、河道の洪水疎通能がそれほど損なわれなかったためであると考えられる。洪水の継続時間の違いが氾濫予測結果に大きな違いを生じさせることが示されたことは、加悦地区の治水に対する安全度の向上を考える上で、意味深いといえる。通常の河川計画においてこういった「河床変動」や「洪水継続時間」を考えることは少なく、今後さらに検討していく必要があると思われる。



- <計算条件>
- ・流入流量：100m³/s（定常的供給）
 - ・流木による河道閉塞なし

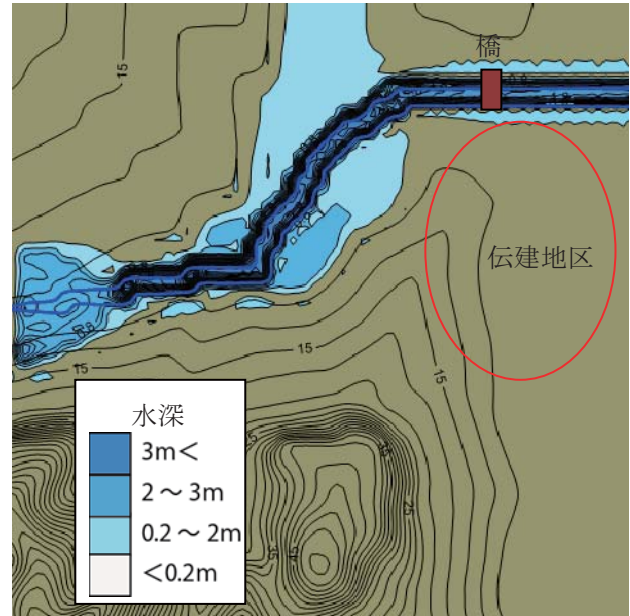
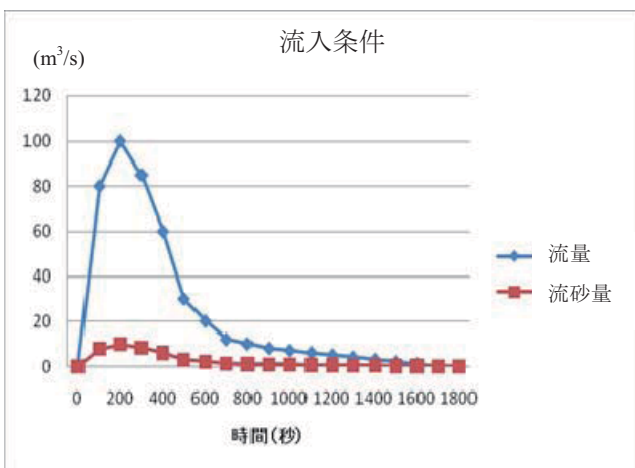


図6 洪水氾濫予測結果（流量100m³/s、定常的供給、河道閉塞なし）



- <計算条件>
- ・ピーク流量100m³/sの洪水波形
 - ・流木による河道閉塞なし

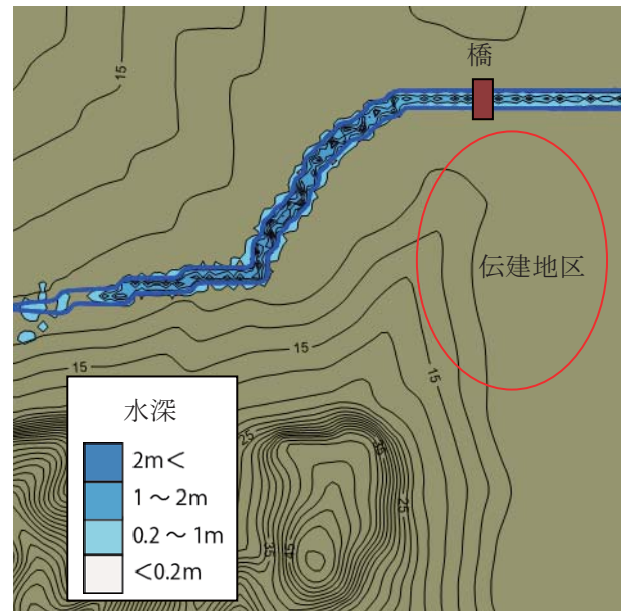
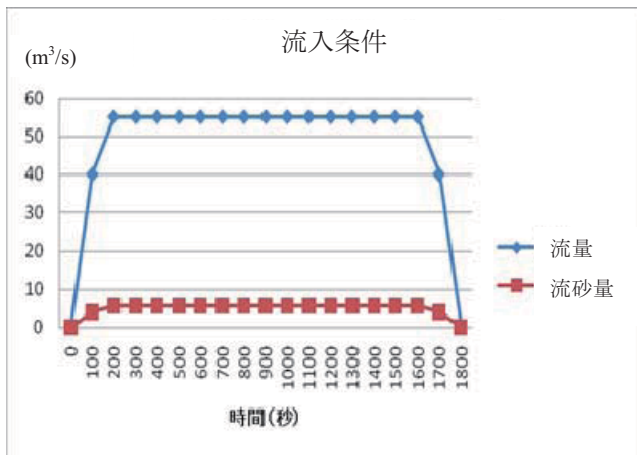


図7 洪水氾濫予測結果（ピーク流量100m³/sの洪水波形、河道閉塞なし）



- <計算条件>
- ・流量：55m³/s（定常供給）
 - ・流木による河道閉塞あり

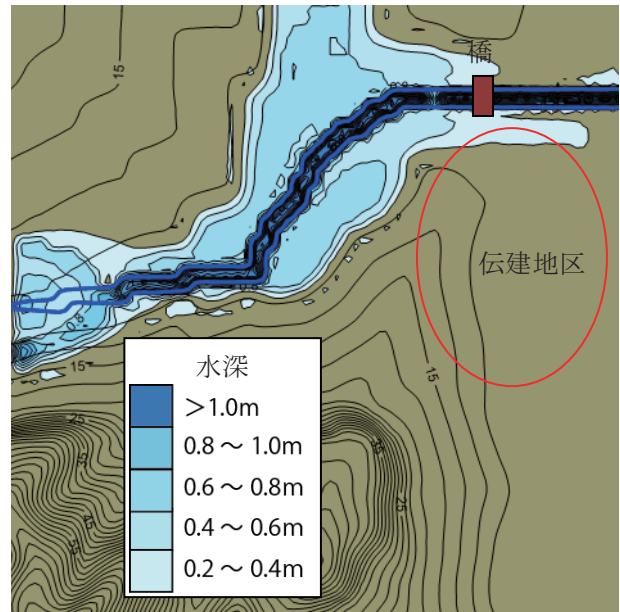


図8 洪水氾濫予測結果（流量55m³/s、定常的供給、河道閉塞あり）

図8を見ると、供給流量が上記2ケースの半分程度であるにもかかわらず、大規模な洪水氾濫が生じ、伝建地区の一部にも深さ20cmから40cm程度の氾濫域が広がっていることがわかる。加悦奥川周辺の勾配は大きいので、40cmの浸水深さであったとしても、避難に大きな障害となる可能性があり、注意が必要であろう。

図9に2009年山口県防府市豪雨災害時の流木による河道閉塞状況を示している。こういった河道閉塞は他の豪雨災害時においても多数確認されている。河道閉塞によって流水が流域内に氾濫するだけでなく、避難の際のルートがふさがれてしまっていることは、このような小規模な流域の水防災を考える上で無視することはできないと思われる。風化花崗岩地域では豪雨時に表層崩壊が多発することは珍しくなく、流木の発生および流下は想定すべきであるが、現在の河川計画においては十分な検討がなされていないことが多い。洪水のピーク流量だけを考えるのではなく、住民にとって何が危険になるのかを広範囲に想定する必要があると考える。



図9 流木による河道閉塞状況

5. おわりに

京都府与謝郡与謝野町加悦地区を流れる加悦奥川の洪水氾濫に関して、既存の解析ソフトSERMOWとkanako2Dによる予測計算を行った。その結果、洪水継続時間が短い場合にはピーク流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ であったとしても現況の河道で氾濫は生じないことが分かった。しかしながら、洪水継続時間が長くなると、上流からの土砂流入により河床上昇が引き起こされ、結果的に大きな洪水氾濫が生じることが明らかになった。また、流木による河道閉塞が生じると、洪水氾濫範囲はより大きくなり、伝建地区の一部にまで到達する可能性があることが示された。今後、土砂流出対策や流木対策を行った場合など、計算条件を種々変更して予測計算を行うことにより、加悦地区の洪水氾濫過程および対策の効果について理解が深まると考えている。

謝辞：kanako2Dによる氾濫計算に関して、京都大学大学院農学研究科助教中谷加奈先生に御助力いただいた。また、加悦奥川の現地調査や河川整備の情報収集に関して与謝野町の方々に種々ご協力いただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 高橋保・井上素行・中川一・里深好文：山岳流域における土砂流出の予測，水工学論文集，第44巻，pp.717-722，2000年.
- 2) 中谷加奈・Sumayrono・里深好文・水山高久：汎用土石流シミュレータKanakoの実地形への適用，水工学論文集，第53巻，CD-ROM，2009年.
- 3) 京都府：野田川水系河川整備基本方針，2007年.
- 4) 京都府：野田川水系河川整備計画，2008年.
- 5) 中谷加奈・里深好文・水山高久：GUIを実装した土石流 I 次元シミュレータ開発，砂防学会誌，第61巻-第2号，pp41-46，2008年.
- 6) 和田孝志・里深好文・水山高久：土石流計算における1次元・2次元シミュレーションモデルの結合，砂防学会誌，第61巻-第2号，pp36-40，2008年.