

災害報告

2013年9月京都・滋賀水害調査報告

竹林 洋史*

1. はじめに¹⁾

9月16日8時前に愛知県豊橋市付近に上陸した台風18号によって、京都府や滋賀県などで大雨となった。2013年9月18日10時30分現在の内閣府の情報及び平成25年9月18日6時現在の国土交通省の情報によると¹⁾、この大雨と暴風、竜巻等により、土砂災害、浸水害、河川の氾濫等が発生し、岩手県、福島県、福井県、三重県、滋賀県、兵庫県であわせて死者3名、行方不明者5名となり、四国から北海道の広い範囲で損壊家屋800棟以上、浸水家屋5,000棟以上の住家被害が生じた。本調査は、土木学会水工学委員会の京都・滋賀水害調査団として、また京都大学防災研究所突発災害調査費のサポートを受け、2013年9月20日及び9月21日に現地調査を実施し、その調査結果の概要を

示すものである。

主な調査地を図1に示す。羽東師橋、嵐山、亀岡は外水氾濫、栗東市下戸山は斜面崩壊が発生していた。

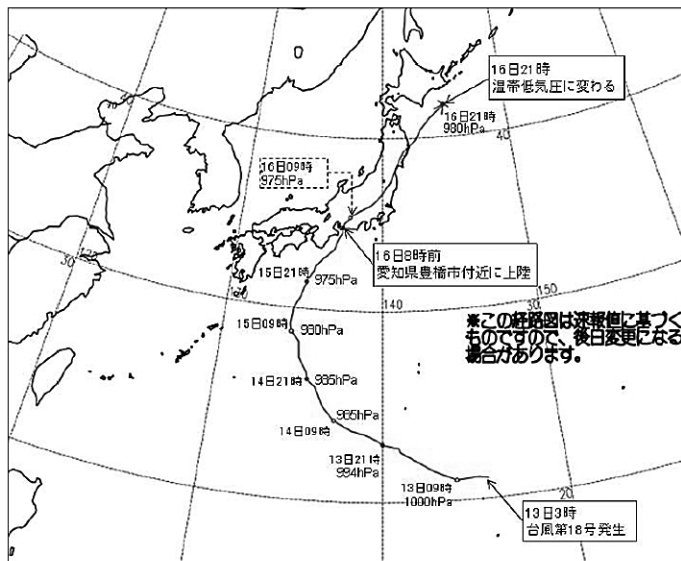
2. 気象条件¹⁾

図2に台風18号の移動経路を示す²⁾。9月13日3時に小笠原諸島近海で発生した台風第18号は、発達しながら日本の南海上を北上し、15日18時には暴風域を伴った。台風は、その後も北上を続け、潮岬の南海上を通過して、16日8時前に暴風域を伴って愛知県豊橋市付近に上陸した。台風の接近・通過に伴い、日本海から北日本にのびる前線の影響や、台風周辺から流れ込む湿った空気の影響、台風に伴う雨雲の影響で、四国から北海道の



図1 主な調査地点

* 京都大学防災研究所流域災害研究センター土砂災害研究領域



経路上の○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。

図2 台風18号の移動経路²⁾

広い範囲で大雨となった。図3に、9月15日～16日の最大1時間降水量、総降水量、9月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の比の平面分布を示す。9月15日から16日までの総雨量は、三重県宮川で575.5mm、奈良県上北山で542.5mmとなるなど、近畿、東海地方を中心に400mmを超えたほか、統計期間が10年以上の観測地点のうち、最大1時間降水量で13地点、最大3時間降水量で25地点、最大24時間降水量で35地点、最大48時間降水量で25地点が統計開始以来の観測史上1位を更新した。外水被害が発生した京都府桂川流域や斜面崩壊が発生した滋賀県栗東市については、図3(b)に示すように、総降水量は300mm程度と他の地区と比べてそれほど多くないが、図3(c)に示すように、9月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の比が大ききな値となっており、その地域では過去に経験したことのないような大雨となった。

3. 鴨川左岸域

3.1 羽東師橋左岸域

図4に、羽東師橋左岸域の様子を示す。図4(a)に示すように、9月20日の時点では鴨川の土

砂濃度は既に低下しているが、桂川の土砂濃度は依然として高いことがわかる。また、日吉ダムにおいて大量の流木が集積されたことと合わせて考えると、日吉ダム上流域で多くの斜面崩壊が発生し、土砂が河川に供給されたことが予想される。

図4(b)はアスファルト舗装が流れてきた状況である。アスファルトは比重が1～2の間であり、土砂などに比べて非常に小さい。また平板状であるため、流水によって流出しやすい特性がある。

図4(c)は羽東師橋下流の左岸域で見られたパイピングの跡である。月の輪工法によって堤内地の水位を上げ、破堤を防いだようである。

図4(d)～(f)は堤防及び橋脚に見られた痕跡水位である。羽東師橋左岸側は、桂川の湾曲の外岸側に位置している。そのため、上流側の図4(d)では堤防天端から痕跡水位まで120cmであったが、橋脚付近の図4(e)では堤防天端から痕跡水位まで60cmとなっていることがわかる。図4(f)を見ると、痕跡水位は危険水位を約1m上回っていることがわかる。

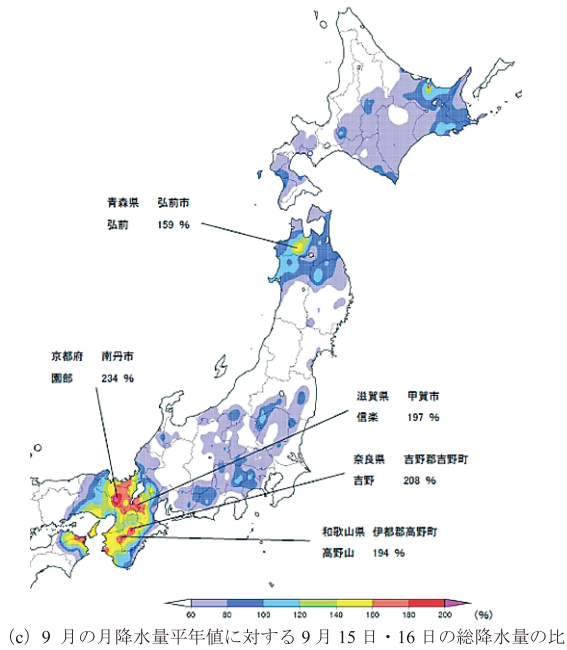
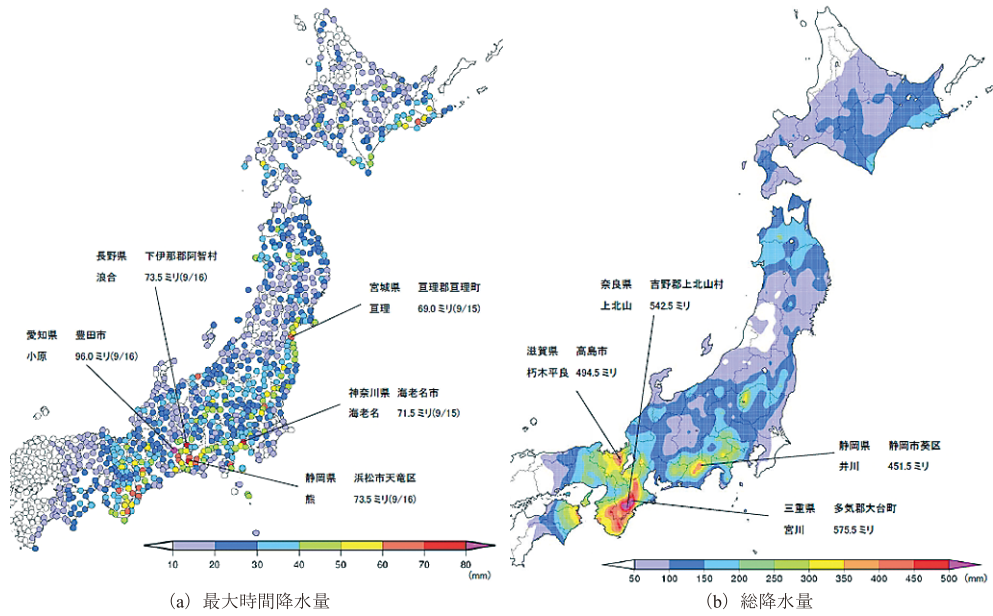


図3 台風18号による降水特性¹⁾

3.2 羽東師橋上流左岸域

図5に、羽東師橋上流左岸域の越水地点の様子を示す。越水は、図5(a)に示す地点で発生した。図5(a)は越水を防ぐための土のうを示す。

この地点は周辺よりも若干堤防高さが低くなっている。また、越水地点のすぐ下流左岸側に水門開閉用の龍門橋が設置されている。龍門橋には多くの流木とゴミが引っかかったようであり、パワー

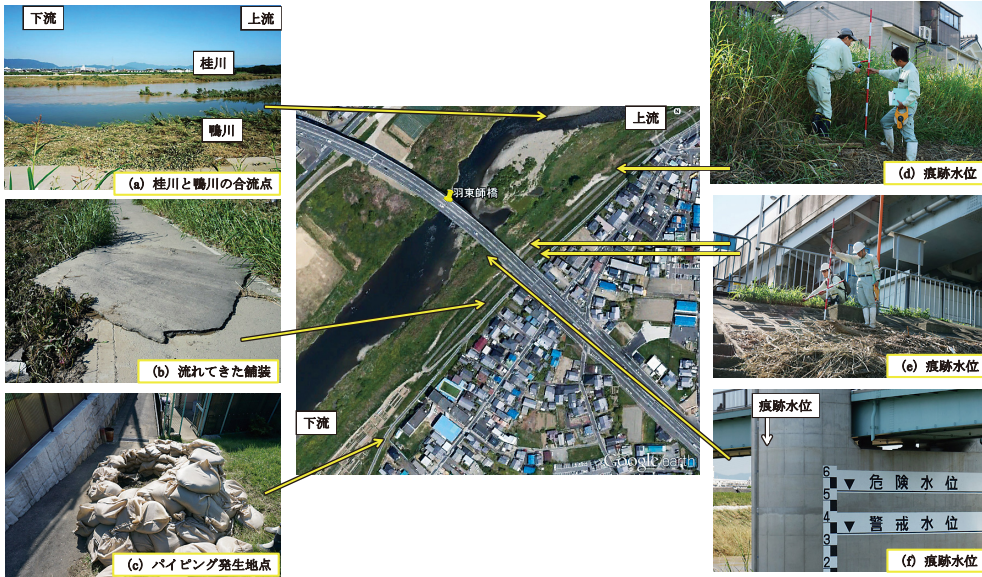


図4 羽東師橋左岸域



図5 羽東師橋上流左岸域

ショベルによる除去が行われていた。つまり、本地点での越水は、堤防天端が低いことと龍門橋に流木やゴミが引っかかることによる河積の減少による水位上昇が原因と考えられる。被災者の話によると、越水した時間帯は9月16日午前であり、図5(c)に示すように、越水の最大水深は約50cmと考えられる。また、図5(d)に示すように、越水地点から約80m東の地点での最大水深は約30cmであった。この地点の地盤は東へ下りの勾配を持っており、ある程度の流速を有して約30cmの深さで流れたと考えられる。なお、この周辺ではマンホールや側溝の蓋の流出、電柱の破損、側溝周辺の地盤の浸食などが確認された。

4. 嵐山

4.1 渡月橋

図6に渡月橋の様子を示す。今回の出水の最高水位時には、兩岸付近の橋桁まで水が達したことが確認されている。図6(c)は橋桁の装飾の破損

の様子がわかる。このような破損は、兩岸付近にのみ見られた。これは、図6(b)に示すように、橋桁が上に凸の形状となっており、兩岸付近で低く、河道中央付近で橋桁が高くなっているためと考えられる。また、このような構造は、水平な橋桁の橋梁よりも橋の流出や橋桁による水位上昇の抑制には有利である。つまり、河岸付近の橋桁が水に浸かり始めても河道中央付近の橋桁は水面の上であり、河岸付近で流下を抑制された流れの一部を河道中央で流下させることが可能であるとともに、橋梁上流域の水位上昇を抑制できる。河岸と同じ高さの水平な橋桁の場合は、河岸付近の橋桁が水に浸かり始めると河道中央付近も同時に水に浸かり始め、橋桁上流域の水位は急激に上昇するとともに、橋桁に架かる水圧が高くなり、橋桁が流出しやすくなる。

渡月橋は、景観にも配慮した構造となっており、その対策も取られている。図6(c)に示すように、渡月橋は4本の柱が一組となって、一箇所



図6 渡月橋

の橋脚を構成している。このような構造は流木が引っかかって橋梁に架かる流体力を増加させ、流出の危険性を高めるため、現在の設計基準では推奨されていない。このような構造に対する対策として、図6 (b) に示すように、流木止め（流木避け）が橋脚の上流約2mの所に設置されている。流木止めによって、先に流木を捕捉し、橋脚本体に引っかかる流木を減少させるとともに、上方の空間の自由度が大きい場所（橋桁の無い場所）で流木の向きを変え、橋梁断面で流木を通過させやすくする効果があると考えられる。また、図6 (c) に示すように、橋脚底部においては、4本の柱を連結させており、橋脚の強度を高めるとともに、流木の引っかかりを最小限にしていることが分かる。

4.2 渡月橋左岸

図7 に渡月橋周辺の桂川兩岸での様子を示す。図7 (d) に示すように、電灯に残された傷跡から、一の井堰上流では約160cmの深さで越水した可能性がある。図7 (a) に示すように、観光船の乗船場付近の護岸は沈下していた。また、図7 (a) に示すように、地盤が浸食されて樹木の根が露出した箇所や図7 (f) のように樹木が流出した箇所も見られた。渡月橋下流域では、図7 (e) に示すように砂利がほとんど流出し、砂利の下の地盤が露出している箇所が見られた。しかし、図7 (c) に示すように、発災からわずか4日後の9月20日の時点で左岸側のお土産物店はほとんど開業しており、観光客も非常に多かった。

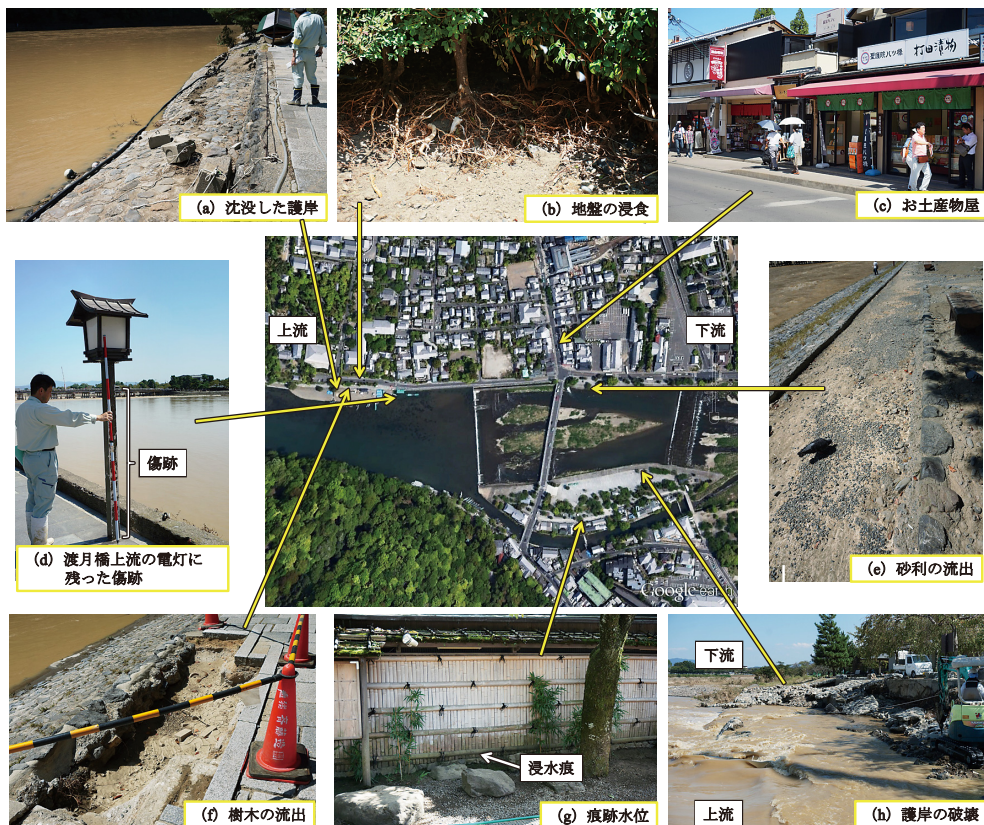


図7 渡月橋兩岸付近

4.3 渡月橋右岸

ピーク流量時は、中の島は完全に浸水したようであり、図7 (g) に示すように約60cm程度の深さの浸水痕が見られた。また、6号井堰上流左岸側の護岸が大きく破壊していた。この部分は、河岸が北へわずかにせり出しており、渡月橋の下を流れた水の水衝部となるところである。また、渡月橋右岸から迂回して中の島を流れた迂回流が桂川に戻る地点に相当していた可能性もある。図8は平面2次元流れの基礎方程式を用いて再現された橋梁周辺の迂回流の数値解析の例である。なお、本解析は渡月橋の水理条件で行われたものではない。橋脚には流木等が引っかかり、橋脚断面における断面障害率が63%の状態を仮定している。橋梁上流域において水面の堰上げが発生し、橋梁両岸での水面勾配が大きくなり、迂回流の流速が大きくなっている。また、迂回流が本川へ戻る地点は、水面勾配が急で流速がさらに大きくなるため、護岸が破壊されやすい。

5. 亀岡

5.1 亀岡駅周辺

図9に亀岡駅周辺の様子を示す。図9 (a) は亀岡市・木下卓氏が9月16日午前5時頃に亀岡商工会館の2Fから北に向かって撮影した氾濫の様子である。トラックと機関車は、桂川左岸の堤防上に置かれていたものである。図9 (d) は、図9 (a) のトラックのすぐ東に置かれてた機関車である。これらより、最大で約1.2mの越流水深で洪水流が氾濫したことがわかる。なお、図9 (f) に示すように、この地区の堤防には開口部が

あり、完全に閉めきっているわけではない。また、図9のGoogle Earthの画像からも分かるように、桂川と亀岡駅の間は水田として利用されており、遊船乗り場の建物などはあるが、人家は見られない。つまり、この地区の堤防は、ある一定以上の洪水に対しては水を氾濫させる霞堤となっていることがわかる。

図9 (b) は曾ヶ谷川と桂川の合流点付近の橋の様子である。図より、橋の上流側に多くの浮遊物が引っかかっている。また、図9 (d) より、機関車に引っかかっている浮遊物は、河川側や河川上流側ではなく、堤内地側に引っかかっている。これは、これらの領域において氾濫時の流れが、河道内からの流れよりも氾濫原からの流れが卓越していたためである。前述の図9 (a) を見ると、浮遊物のトラックへの堆積状況やトラック周辺の水面の浮遊物を見ると、水の流れが写真の左奥から右手前方向であることがわかる。つまり、図9 (a) 撮影時は、洪水ピーク流量に近い時間帯であり、流向が氾濫原から桂川河道方向に向かっていたことがわかる。

図9 (e) は、保津川下りの遊船置場を開削している様子である。普段は、遊船乗り場の対岸の砂州を開削して、遊船置場としている。対象地点は、湾曲内岸に形成された砂州であるため、土砂が堆積しやすい場所である。そのため、今回の出水により、遊船置場に土砂が堆積したため、早急に開削を実施していたものと考えられる。

図9 (c) は、亀岡駅南に設置されている水害標識塔である。今回の出水では、標識塔設置場所の地盤高程度の高さまでしか水は来ていない。しか

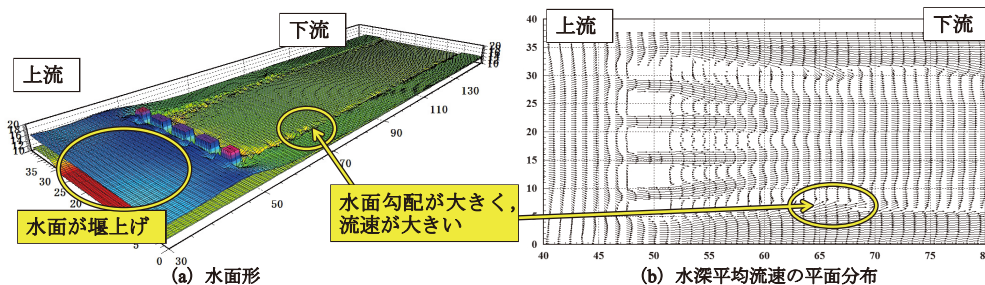


図8 橋梁周辺の迂回流の計算例

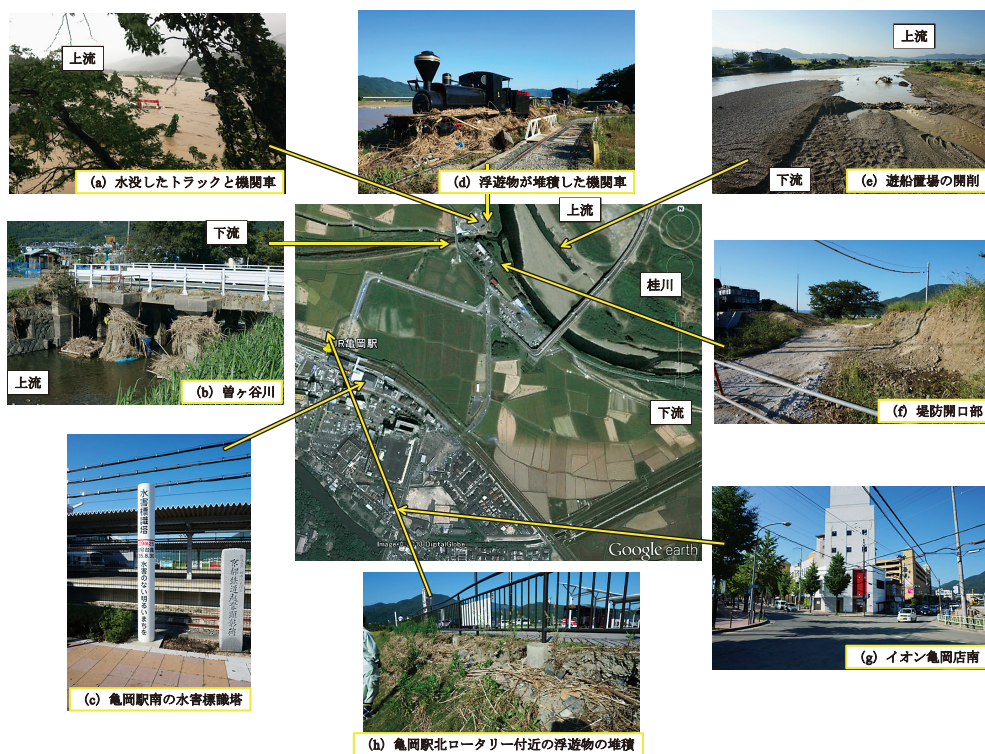


図9 亀岡駅周辺

し、後の解析で示すように、日吉ダムによって洪水ピーク流量をカットしていなければ、水害標識塔で示された最高水位を超えた可能性もある。

図9 (h) は亀岡駅北のロータリー周辺に堆積した浮遊物質である。最高水位時には、北ロータリーもわずかに水が浸かったとのことである。

図9 (g) は、亀岡駅南側地区のイオン亀岡店の南に位置する交差点である。この交差点は、地盤高が低くなっており、痕跡水位から約1mの深さで浸水したことがわかった。

5.2 トロッコ亀岡駅（保津峡入口）周辺

図10にトロッコ亀岡駅（保津峡入口）周辺の様子を示す。図10 (a) は保津峡入口付近の右岸側に残った植生の浸食高さ（痕跡水位）である。図より、保津峡に入っていくに従って、浸食高さが急激に低くなっていることが分かる。これは、勾配の緩やかな亀岡盆地に貯留した速度水頭の小さ

い水の流れが、川幅が狭くて勾配が急な保津峡に流れ込み、位置水頭が速度水頭に変換されて、水位が急激に下がっていることを示す。この結果からも、亀岡盆地の広い領域に洪水が氾濫し、氾濫水の流速が遅かったことがわかる。

図10 (b) に示すように、保津峡左岸側の道路は少なくとも50cm以上は冠水したことがわかる。

図10 (c) は、ラフティング業者によるラフティング再開のための調査の様子である。ラフティング業者によると、調査翌日の9月21日からの営業再開のための事前調査ということであり、ラフティングは比較的短期間で営業を再開できることがわかる。

5.3 亀岡盆地の氾濫解析

本出水による保津橋地点の桂川のピーク流量は $3200\text{m}^3/\text{s}$ と考えられている。一方、(独)水資源機構によると、日吉ダムによる貯水によって、

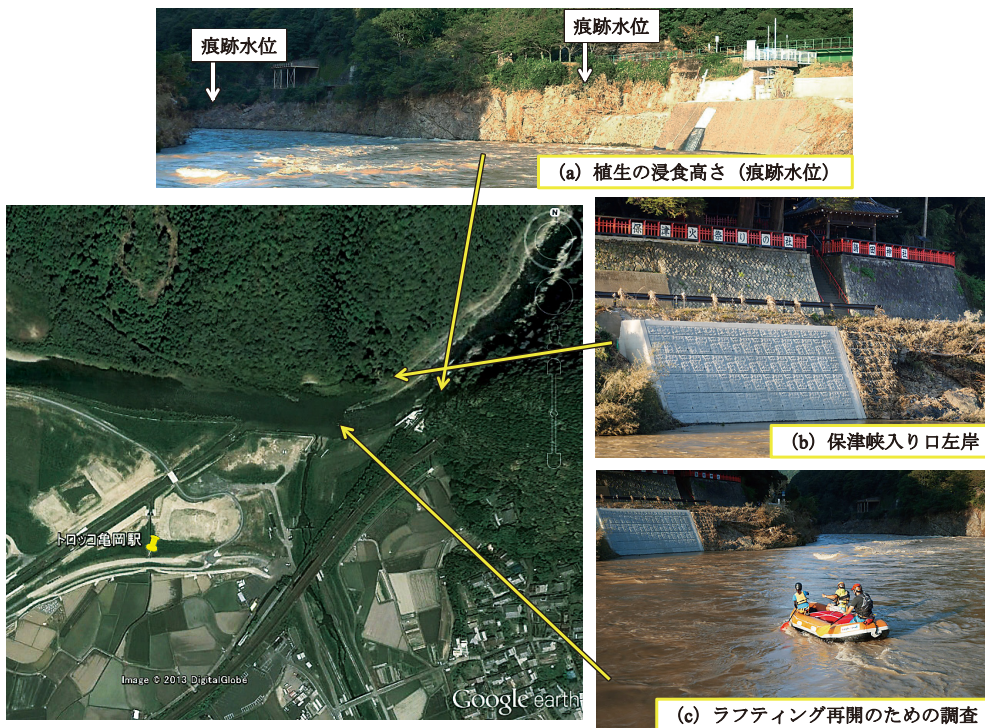


図10 トロッコ亀岡駅（保津峡入口）周辺

ピーク流量は $1500\text{m}^3/\text{s}$ カットされている。そこで、Case 1として $3200\text{m}^3/\text{s}$ 、Case 2として $4700\text{m}^3/\text{s}$ ($3200\text{m}^3/\text{s} + 1500\text{m}^3/\text{s}$) の定常給水条件における氾濫範囲及び浸水深の平面分布を平面二次元流れの数値解析によって計算した。図11に地形データを示す。地形データは、国土地理院による5mメッシュデータを用いた。解析格子は、約 $20\text{m} \times 20\text{m}$ である。水が流出する保津峡の下流端水深は等流水深とした。マンニングの粗度係数は0.035 (単位: 長さにm, 時間にs) を空間的に一様に与えた。

図12に浸水深の平面分布を示す。図12 (a) のイオン亀岡店南の交差点付近を見ると、約2mとなっており、実測データよりも大きな値となっている。これは、流れを非定常流れでは無く定常流れとして計算していること、国土地理院による5mメッシュデータであるため、最も河床位が低い流路内の地形が適切に評価できていない可能性があること、適切なマンニングの粗度係数の値が与え

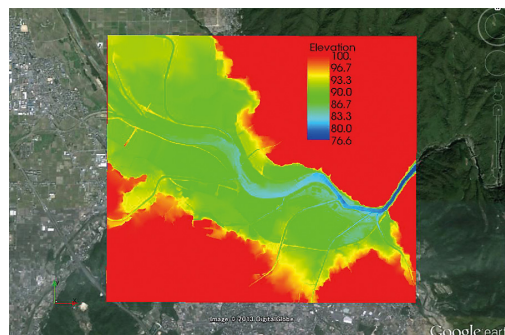


図11 解析に用いた地盤形状 (背景画像は Google Earth, コンターは iRIC を使用.)

られていないこと、解析格子が大きく、保津峡の河道内の横断方向のメッシュ数が少なくなり、水が流出しにくい条件となっていた可能性があること等が考えられる。これらについては、今後、詳細なデータを収集して再検討を行う。

図12 (a) と (b) の浸水域の平面分布を比較す

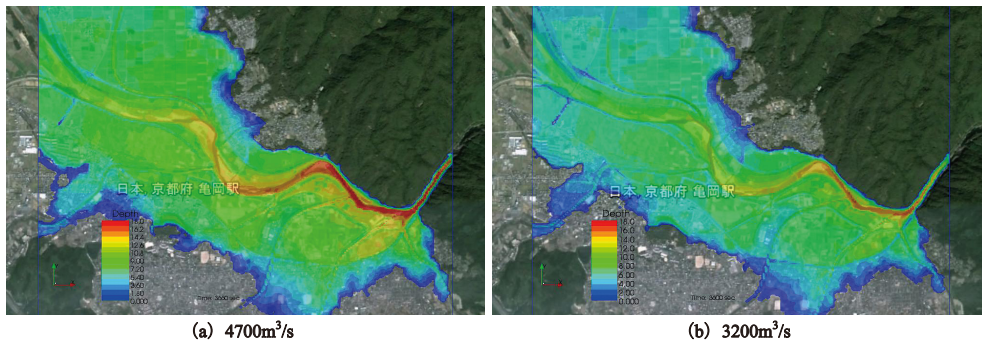


図12 水深の平面分布（数値解析，背景画像は Google Earth，コンターは iRIC を使用.）

ると、4700 m^3/s での計算結果の方が3200 m^3/s での計算結果よりも浸水域はわずかに広がっているが、流量に1.5倍の違いがあるにもかかわらず、両者に大きな違いはない。これは、氾濫域の南北および東側の境界付近は、地盤高が急激に高くなっており、流量が増加しても水深が増加するだけで平面的に水が広がることができないためと考えられる。なお、氾濫域の最大浸水深の両条件での違いは約2.4mであり、一般家屋の1フロア程度の高さである。ただし、この値についても、前述のような理由で実際にはこれよりも小さい値となると考えられる。

図13に水深平均流速の平面分布を示す。亀岡には、天然記念物のアユモドキが生息している。密漁の危険があるため正確な場所を示すことはできないが、本解析結果より、アユモドキの産卵場付近における水深平均流速は、約1 m/s であった。亀岡市環境政策課によると、6月の産卵により生まれた個体は既に十分な遊泳能力を持っており、今回の出水スケールで保津峡まで流されてしまった個体は非常に少ないと考えられるとのことである。

また、曾ヶ谷川河口付近及びその北側の堤防については、水の流れが氾濫原から桂川に向かっていくことがわかる。これは、図9 (a) の流向と一致している。

6. 栗東市下戸山

図14に栗東市下戸山地区の斜面崩壊の様子を示

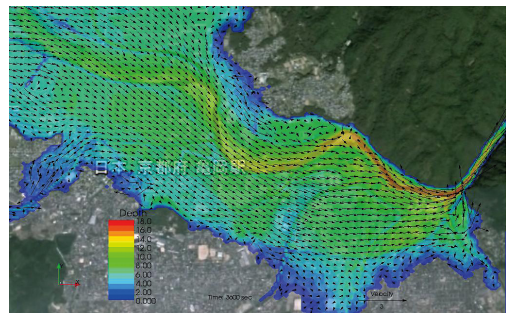


図13 3200 m^3/s の時の水深平均流速と水深の平面分布（数値解析，背景画像は Google Earth，コンターとベクトルは iRIC を使用.）

す。今回の豪雨により、安養寺では下古山地区の南斜面だけではなく、北斜面や西斜面でも斜面崩壊が発生している。安養寺山は山裾からの高さは約100mであり、南斜面では3箇所斜面崩壊が発生しており、全て、山頂に近い高さから発生していた。図14 (b) に示す最も西の斜面崩壊による土砂が家屋に衝突し、1名の方が亡くなっている。斜面崩壊の大きさは、幅約20m×深さ約3mである。斜面崩壊は、9月15日23時45分ごろ発生し、2階建て家屋の1階に1名、2階に1名がいた。亡くなられたのは1階の1名であり、2階の1名は大きな怪我もなく無事であった。図14 (b) の重機の右に写っている家屋は、被災した家屋の2階部分である。2階家屋の損傷がそれほど大きくないこと等から、家屋に衝突した時点での土砂の流動深は、2.5m以下程度であったと考えられ



図14 栗東市下戸山地区の斜面崩壊

る。図14 (d) に示す斜面崩壊が最も規模が大きく、4箇所の斜面からの崩壊が一つに集まって山裾に流れてきている。被災現場付近の方の話によると、崩壊は少なくとも4回に分かれて発生しており、4箇所の斜面崩壊と数が一致している。1回目は、16日夜中0時以降であり、4回目は16日午前2時30分より前とのことである。16日の早朝の時点では、山裾の家屋は傾いておらず、その後の土砂の流出によって傾いたとのことであった。こちらの斜面崩壊は、山裾部分で幅約20m×深さ約3mであった。最も東の斜面崩壊は、五百井(いおい)神社の裏斜面で発生していた。この崩壊は、他の崩壊と比べて幅は若干狭く、深さは若干深かった。

図3 (a) と (b) に示すように、栗東市周辺は、9月15日～16日の1時間最大雨量は30～40mm。積算降水量は300mm～350mmと大きな値であるが、他の地域と比べて特別に大きな値ではない。一方、図3 (c) に示すように9月の月降水量平年値に対する9月15日・16日の総降水量の比を見る

と、180～200%の領域に位置しており、最も値の大きい地域の一つとなっている。つまり、栗東市下戸山地区で崩れた斜面は、他の豪雨常襲地帯であれば既に崩壊している斜面であり、これまであまり強い雨を受けていなかったため、斜面崩壊が発生した可能性がある。また、安養寺山は、かつてマンガンやウランの鉱山であり、西の斜面崩壊発生地点の山裾に坑道の入口がある。鉱山は1963年にすでに閉鉱している。現時点では十分な情報は収集できていないが、鉱物採取時の廃土を安養寺山に捨てていたのであれば、比較的崩壊しやすい斜面となっていた可能性もある。

7. おわりに

2013年9月に発生した台風18号による京都・滋賀水害に対する災害調査の結果を報告した。本調査により、河道内構造物への流木・ゴミの集堆積による氾濫の助長の可能性、橋梁を迂回する流れの危険性、狭窄部上流域の盆地における氾濫の特徴、過去の豪雨経験の少ない場における斜面崩壊

発生の危険性等について興味深い知見が得られた。本報告は速報版であり、ここに記載されたものの一部は、現時点では十分に検討できていない。これらについては、今後詳しく検討が行われる予定である。

謝 辞

本調査では、京都市羽束師橋周辺、渡月橋周辺、亀岡市、栗東市下戸山地区の皆様には、被災からの復興にお忙しい中、親切にご対応頂き、被災時の詳細な情報をご提供頂いた。京都府南端土木事務所、亀岡市環境政策課、京都大学防災研究所・角哲也教授、堀智晴教授からは、調査の前に現地の状況について情報をご提供頂いた。寒地土木研究所の阿部孝章氏には、亀岡盆地の氾濫解析のサポートを頂いた。また、京都大学防災研究所突発災害調査費、土木学会水工学委員会水害対策小委員会調査費（建設技術研究所、パシフィックコンサルタンツ、アジア航測、日本工営、建設環境研究所）のサポートを受けて実施された。ここに記して、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁：台風第18号による大雨，2013.
- 2) 気象庁：台風経路図2011，2011.
- 3) 国土交通省：川の防災情報（<http://www.river.go.jp/>）.