

技術参考 1. (共通編)

<技術参考 1-1: 複数河川同時計算を行っている例>

【群馬県の事例】

群馬県では水位周知河川等以外の全ての河川において、浸水想定計算を実施し計算結果を公表している。計算に当たっては圏域ごとに一律な降雨を与えて、複数河川における同時越水を考慮している。河川ごとに複数の破堤地点を想定して計算した上で、地点ごとの浸水深は各計算結果の最大包絡値を採用している (図.技 1-1-1)。

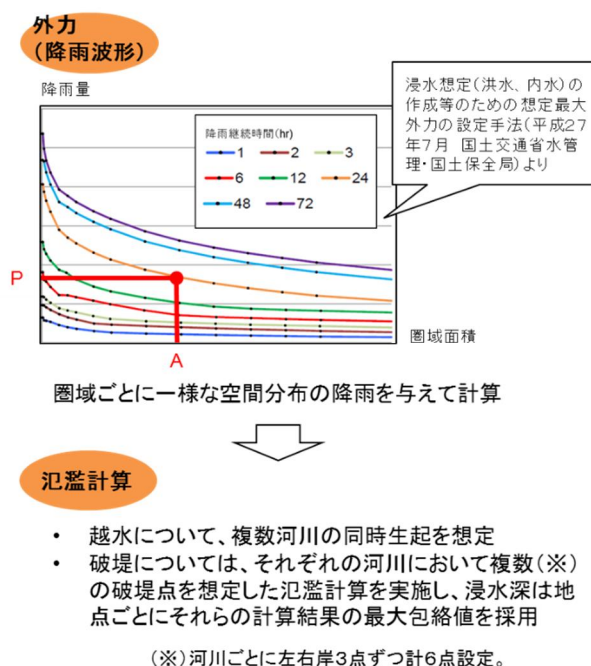
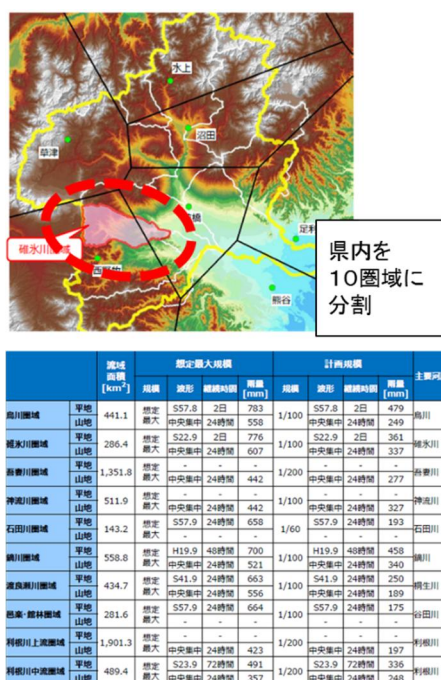


図.技 1-1-1 複数河川同時計算事例

(参考文献)

✓ 群馬県 県土整備部 河川課 資料

✓ 浸水想定 (洪水、内水) の作成等のための想定最大外力の設定手法 平成 27 年 7 月 国土交通省 水管理・国土保全局

＜技術参考 1-2 : UAV 写真測量＞

小規模河川において、横断測量が実施されていない場合が多いため、航空レーザ測量 (LP) から得られた河道断面データ (LP オリジナルデータ) を用いることを基本とする。

しかし、航空レーザ測量は以下の課題がある。

①LP データがない河道区間がある

- ✓ 国土面積約 38 万 km^2 のうち約 10 万 km^2 で航空レーザ測量データがない (H31.1 時点)

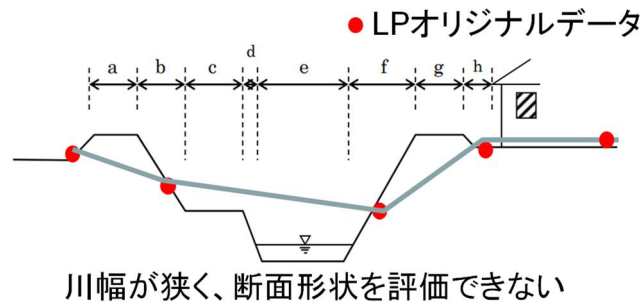
②川幅が狭い場合は、LP データの点群密度が河道形状を十分に捉えられない場合がある

- ✓ 航空レーザ測量の計測密度は、「航空レーザ測量データポータルサイト」(公益財団法人日本測量調査技術協会) で確認できる

③航空レーザ測量実施後に河道の形状が大きく変化している場合がある

- ✓ 定期的に航空測量が実施されていないことから、計測実施後に、大規模洪水の発生により河道形状が大きく変化している場合や、治水対策として河道の拡幅等を実施している場合がある

＜計測密度の制約＞



上記の課題に対し、地表面の標高を把握する手法として、従来の地上横断測量に加え、Unmanned Aerial Vehicle (以下、UAV) とレーザを組み合わせた UAV レーザ測量が開発されているが、計測費用が高価である。

一方、UAV 搭載カメラで撮影した画像を用い、写真合成により 3 次元形状を復元する技術 (以下、SfM : Structure from Motion) により地形を把握する UAV 写真測量 (図.技 1-2-1) はコスト的に優れている (図.技 1-2-2)。対地高度 50m の距離で UAV を飛行させ、市販の 2,000 万画素のカメラを用い UAV 写真測量を行うと、地形の 3 次元点群は約 400 点/ m^2 の計測密度で取得でき、川幅が狭い場合でも十分なデータを得ることが可能である。

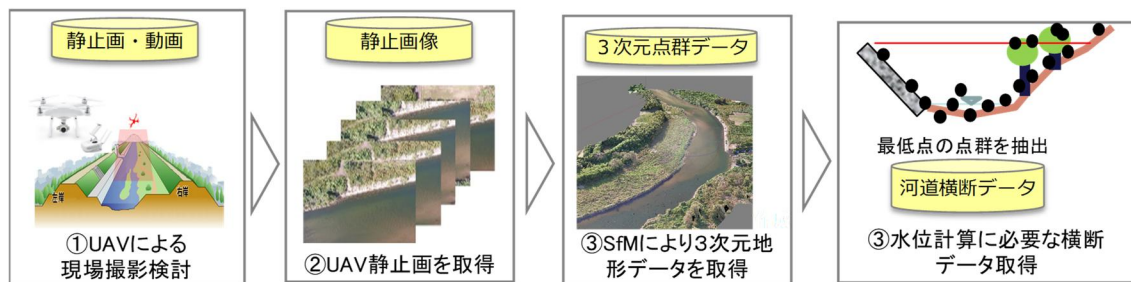


図.技 1-2-1 UAV 写真測量による河道断面データ取得（作業フロー）

区分	横断測量⇒横断面図作成	UAV写真測量⇒横断面図作成
内容	 ・地上測量、樹木調査 ・横断面図作成	 ・UAV写真測量、SfM処理 ・3次元点群抽出、横断面図作成
作業コスト	3	1
安全性	低い	高い
備 考	※調査対象の河川流路延長1.7km、川幅約10m	

図.技 1-2-2 UAV 写真測量と地上測量のコスト比較例

UAV 写真測量では、植生の影響を極力除外するために、写真撮影時期を冬季に実施すること、垂直写真に加え斜め写真を取得することが求められる（図.技 1-2-3 参照）。UAV 写真測量から得られた 3 次元点群の標高誤差は、植生の影響が少ない河川の場合、1.1～9.8%（実測値と UAV 写真測量値の RMSPE）であった（表.技 1-2-1 参照）。

なお、冬季でも落葉しない植生が繁茂している場合は、地表面を捉える点群がないため、手動による補正が必要である。

小規模河川における UAV 写真測量による河道断面データの取得方法の詳細については、以下の参考文献を参照されたい。



図.技 1-2-3 UAV 写真測量の計測方法

表.技 1-2-1 植生の影響が少ない河川での流下断面積の計測値の比較例

対象河川		精度 検証 項目	撮影ケース		
			①	②	③
			鉛直下方	鉛直下方	鉛直下方
			45m俯角80度	40m俯角70度	35m俯角60度
A県 K川	二級河川	流下断面積 RMSPE(%)	3.5	3.5	3.9
C県 N川	二級河川		1.1	1.1	2.0
C県 T川	一級河川		4.3	4.2	4.2
C県 N川	一級河川		9.8	8.8	8.5
平均RMSPE(%)			4.7	4.4	4.7

N=14 断面

(参考文献)

- ✓ 齋藤正徳, 市川健, 湧田雄基, 天谷香織, 那須野新, 小田嶋健太, 池内幸司, 石川雄章: UAV 写真測量における多時期計測データを用いた河道管理手法の検討, 河川技術論文集, 第 24 巻, pp.257-262, 2018.
- ✓ 市川健, 齋藤正徳, 那須野新, 天谷香織, 佐藤慶治, 檜舘晋, 山田和宏, 佐々木史恵, 池内幸司: 植生が繁茂した中小河川における UAV 写真測量を用いた河道形状把握手法の開発, 河川技術論文集, 第 26 巻, 2020.
- ✓ 国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル (案), 2017.
- ✓ 国土地理院: UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案), 2020.
- ✓ 国土地理院: 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル (案), 2019.

＜技術参考 1-3：複数河川をまとめた圏域単位で浸水想定を行う場合の考え方＞

河川単位で浸水想定を行うことを基本とするが、主要な氾濫原が複数河川の合流点周辺に位置するなど浸水特性や水害リスク情報活用を鑑みて、複数の河川流域の一部または全部を合わせた流域として設定することがより合理的と判断される場合には、複数流域を適切に組み合わせた流域として設定することができる。（図.技 1-3-1）

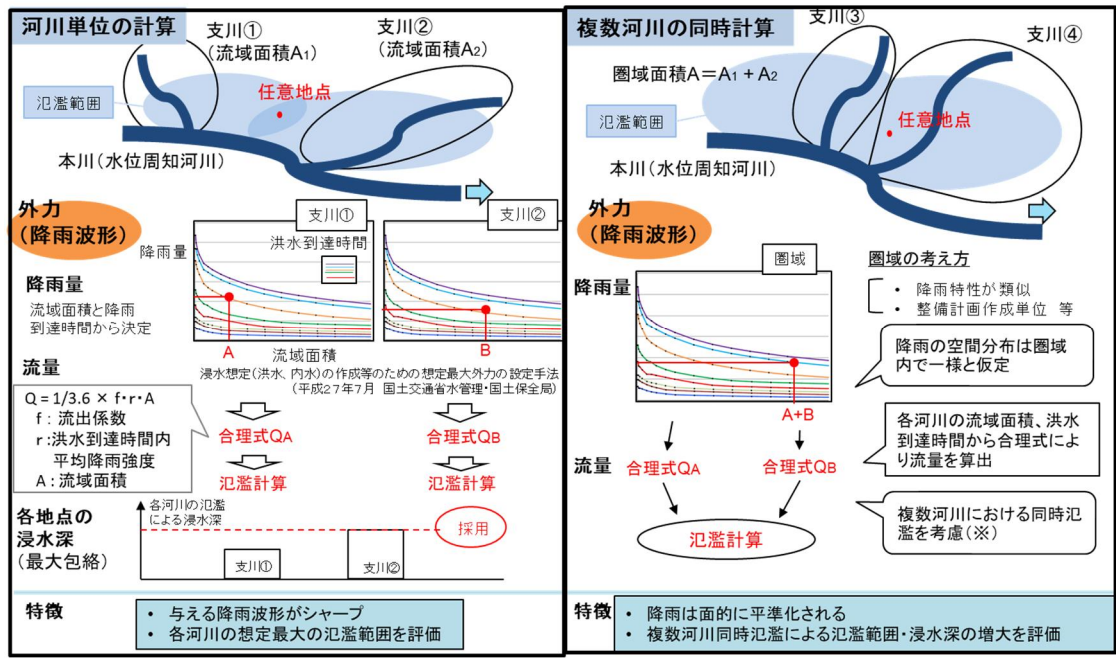


図.技 1-3-1 河川単位の浸水想定と複数河川一括での浸水想定の方の比較

（参考文献）

- ✓ 浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法 平成 27 年 7 月 国土交通省 水管理・国土保全局

＜技術参考 1-4：近隣河川で設定されている想定最大規模降雨、過去の実績降雨を踏まえた総合的判断により降雨強度を設定した事例＞

【長崎県の事例】

長崎県においては、実績降雨の引き延ばし等により設定している近隣の「水位周知河川等」の想定最大規模降雨を踏まえ、「浸水想定（洪水、内水）の作成のための想定最大外力の設定手法（平成 27 年 7 月 国土交通省水管理・国土保全局）」に基づく降雨強度 150mm/h 程度を上回る 210mm/h 程度を採用している。これは、昭和 57 年の長崎豪雨における実測降雨量 187mm/h を踏まえた総合的な判断に基づき設定したものである。

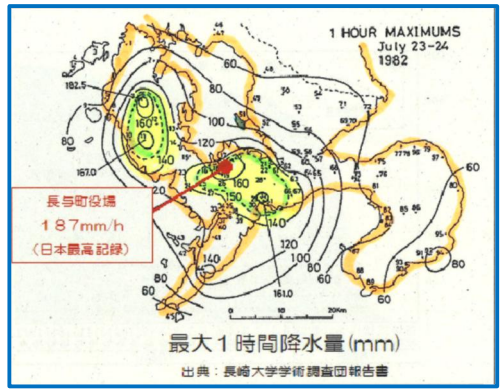
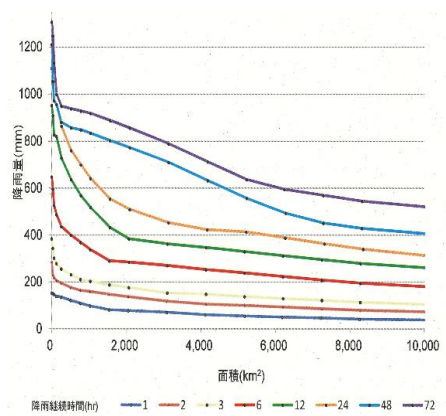


図.技 1-4-1 長崎豪雨時の雨量



地域ごとの最大降雨量(九州北西部)
単位：面積(km²)、雨量(mm)

1時間		2時間	
面積	雨量	面積	雨量
1	153	1	283
32	150	33	230
64	146	65	218
129	139	130	204

図.技 1-4-2 平成 27 年設定手法における九州北西部の想定最大規模降雨

(参考文献)

- ✓ 長崎県 土木部 河川課 資料
- ✓ 浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法 平成 27 年 7 月 国土交通省 水管理・国土保全局

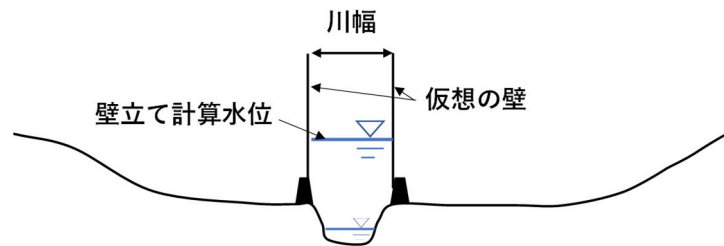
1 <技術参考 1-5: 対象流量に対する壁立て水位計算により算定される最高水位>

2 現況河道に対象流量（4.3）で算定した最大流量を与えて、河道から洪水が溢れない壁立
3 て条件（図.技 1-5-1 参照）の下で水位計算により最高水位を算定するものとする。

4 河道形状と粗度係数は、河道の縦横断測量データ（3.1）および河道の粗度係数（3.2）で
5 設定した値を用いる。

6 水位計算手法としては、河川計画検討等で採用している水位計算法（一次元、準二次元不
7 等流計算、等流計算等）、または当該河川の特性にあった計算方法を用いる。例えば、等流
8 計算では勾配変化点や断面形状が急変する区間での水位計算精度が劣るので、不等流計算
9 を用いることが望ましい。

10 不等流計算の下流端条件については、河口や合流点等の下流端の特徴に応じ、想定最大規
11 模の洪水時の水位を適切に評価できるような条件（たとえば、本川に合流するような河川で
12 は本川の洪水浸水想定区域に対象河川が流入する箇所を河口と見立てて出発水位を設定す
13 る、河口では計画高潮位とし、洪水流量のピークと重なるように設定する等）を設定する。



14
15
16 図.技 1-5-1 壁立て条件
17

＜技術参考 1-6：洪水浸水想定区域図作成のための氾濫解析手法例＞

【降雨－流出－氾濫一体化モデル（土木研究所 RRI モデルを活用）】

RRI モデルは、山地・平野を問わず、流域全体をグリッドセルに分割し、降雨流出から洪水氾濫まで流域を一体的に解析することを目的に土木研究所が開発した流出・氾濫一体型モデルである。

降雨分布や標高、土地利用などに関するデータを入力情報とし、河道流量や水位に加え、任意の氾濫原の浸水深なども出力が可能である。

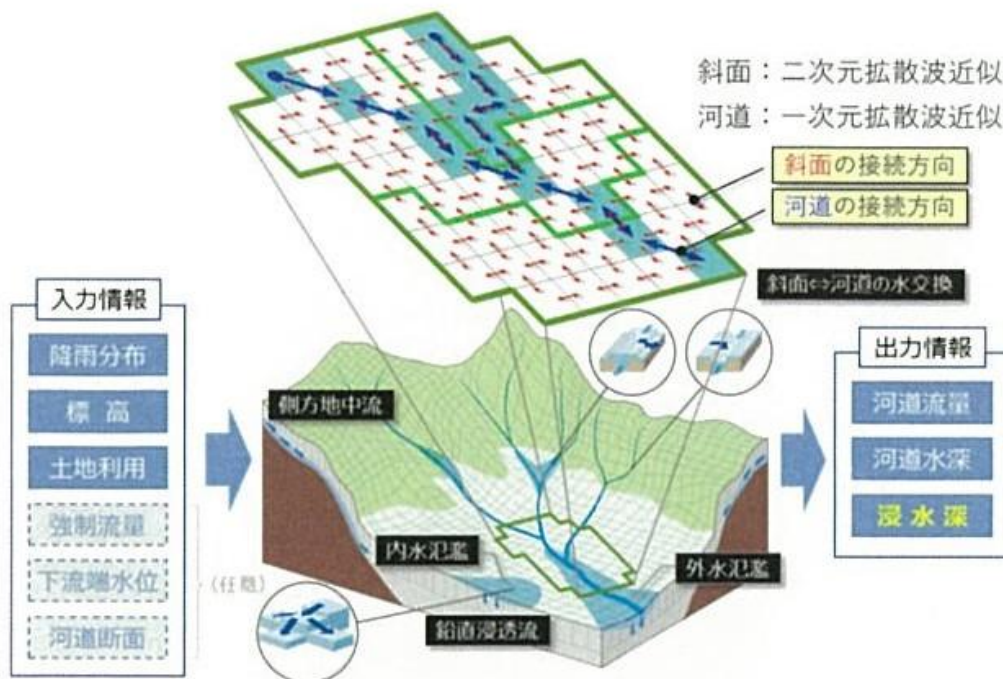


図.技 1-6-1 RRI モデルの概念図

（RRI モデルの特徴）

- ✓ 分布型モデルの発展形として、当該セルの浸水位と周辺のセルの浸水位を比較しながら、逐次流下方向を決定し、さらに河道と斜面との水交換も行う
- ✓ 地形起伏の複雑な山地域でも計算可能な二次元拡散波近似式を使用
- ✓ 降雨流出モデル、河道追跡モデル、洪水氾濫モデルを一体的に解析することで広域の洪水現象を容易かつ高速に再現できる
- ✓ 計算の迅速性に主眼を置き、氾濫解析は二次元拡散波近似式を用いているため、二次元不定流ほど厳密には解いていない

1 (参考文献等)

- 2 ✓ 降雨流出氾濫（RRI）モデル, 土研新技術ショーケース 2016 in 東京
3 https://www.pwri.go.jp/jpn/results/2016/tokyosc/pdf/SC2016_tokyo09.pdf
4 ✓ 栗林・大原・佐山・近者・澤野 (2017): 「洪水カルテ」による地区ごとの洪水脆弱性評
5 価および対応案の検討手法の提案, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.73, No.1, 24-
6 42.
7 ✓ 近者・関本・阿部・岩崎・崔・小島・中村・佐山 (2019): 降雨流出氾濫一体解析を用
8 いた全国ベースでの洪水予測の試み, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.75, No.2,
9 I_1321- I_1326.

10

11

【降雨－流出－氾濫一体化モデル(平面二次元モデル)】※群馬県の事例

群馬県は、全ての河川を対象に山地部および平地部の洪水特性に応じた異なる浸水解析モデルを構築し、国土地理院の地形データ等をもとに氾濫解析を実施している。

想定最大規模及び計画規模の降雨により洪水が発生した際の浸水想定範囲を「群馬県水害リスク想定マップ」として作成。平地河川は横断測量データがあるため、国土交通省のマニュアルに基づき検討、一方、山地河川は河道・氾濫原一体の二次元不定流モデルにより解析を実施している。

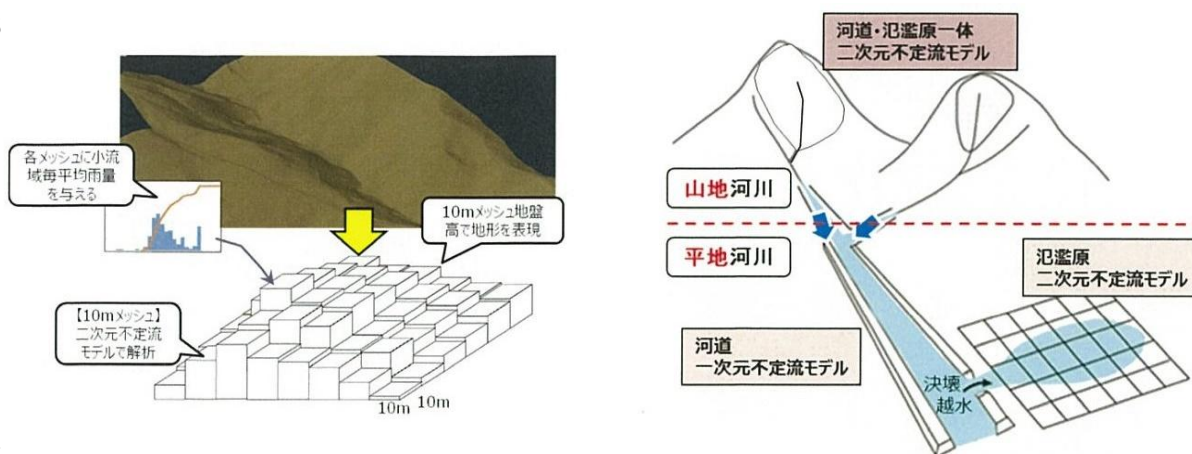


図.技 1-6-2 群馬県のモデルの概念図

(山地河川モデル)

- ✓ 国土地理院の数値標高データや国交省の LP データ等を用いて、10m メッシュの地盤高を表現
- ✓ 解析モデルは地下浸透を考慮せず、各メッシュに降雨を与え、河川と流域一体の平面二次元不定流計算を実施
- ✓ 代表的な流域で再現検証を行い、粗度係数を設定
- ✓ 流域内の水位観測所における常時水位から基底流量を推定し、河道上流部の初期流量とした
- ✓ 山地河川流域に位置する治水ダムはダム貯水池を別途モデル化（山地河川モデルによりダム流入量を計算し、ダム H-V、H-Q から放流量を算出し、ダム直下のメッシュに与えている）

(参考文献等)

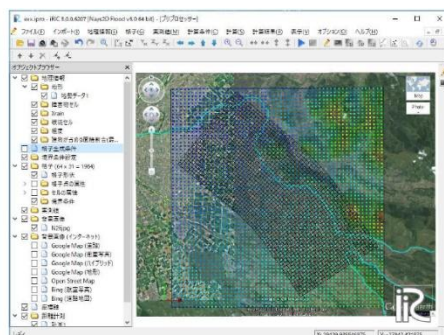
- ✓ 岡部隼也：県管理全河川における水害リスク調査について、関東地整平成 30 年度スキルアップセミナー発表資料

【河道・氾濫一体化モデル（iRIC2D Flood を活用）】※北海道の事例

iRIC（河川の流れ・河床変動解析ソフトウェア）の平面二次元の河川流モデル「Nays2D」を氾濫解析用にアレンジした「Nays2D Flood」は地形の高低差で氾濫が流れ拡がる現象を計算、上流端および左右岸の任意の複数の箇所から非定常流量の流入条件を容易に設定できる。

河道データを必要としないため、データが未取得な小規模河川などの氾濫形態の概略的な解析が可能。

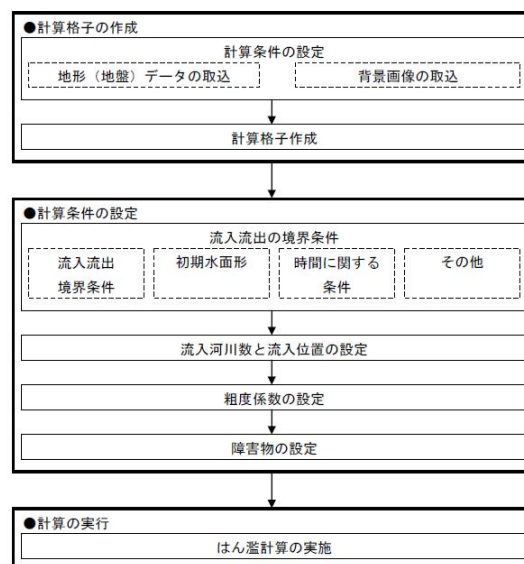
計算格子の作成例



■樋門・カルバート・ポンプ・建物障害率を考慮

■堤防、道路、盛土は障害物として設定

氾濫計算の手順



結果の可視化例

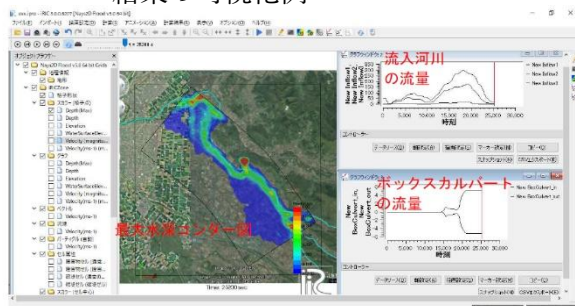


図.技 1-6-3 iRIC による氾濫計算の実施例

（出典）

- ✓ 中小河川を対象とした洪水はん濫計算の手引き（案）平成 26 年 3 月 国土交通省 北海道開発局、独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所
- ✓ iRIC ホームページ <https://i-ric.org/solvers/nays2dflood/>
一般社団法人 iRIC-UC 令和 5 年 7 月 4 日閲覧

＜技術参考 1-7：下流端水位の設定＞

下流端水位の設定に関しては、合流先の河川の水位状況等を踏まえて適切に設定することが重要である。本手引きで対象とする想定最大規模洪水の際に支川の流域面積等により合理式で求められる流量を支川下流端で与えた際の等流水深と、本川の想定最大規模洪水流下の際の最高水位を那珂川水系で比較した。

比較にあたっては、那珂川本川の直轄区間における想定最大規模洪水流下の際の最高水位と、那珂川本川に直接流入する支川における想定最大規模洪水流下の際に流域面積等により合理式で求められる流量から H-Q 式により求められる水位を対象とした。

図.技 1-7-1 に示すとおり、支川の下流端水位（等流水深から算定）の方が本川の最高水位よりも低い場合が確認され、支川単独では本川の水位の影響を反映できないことがあることが確認された。

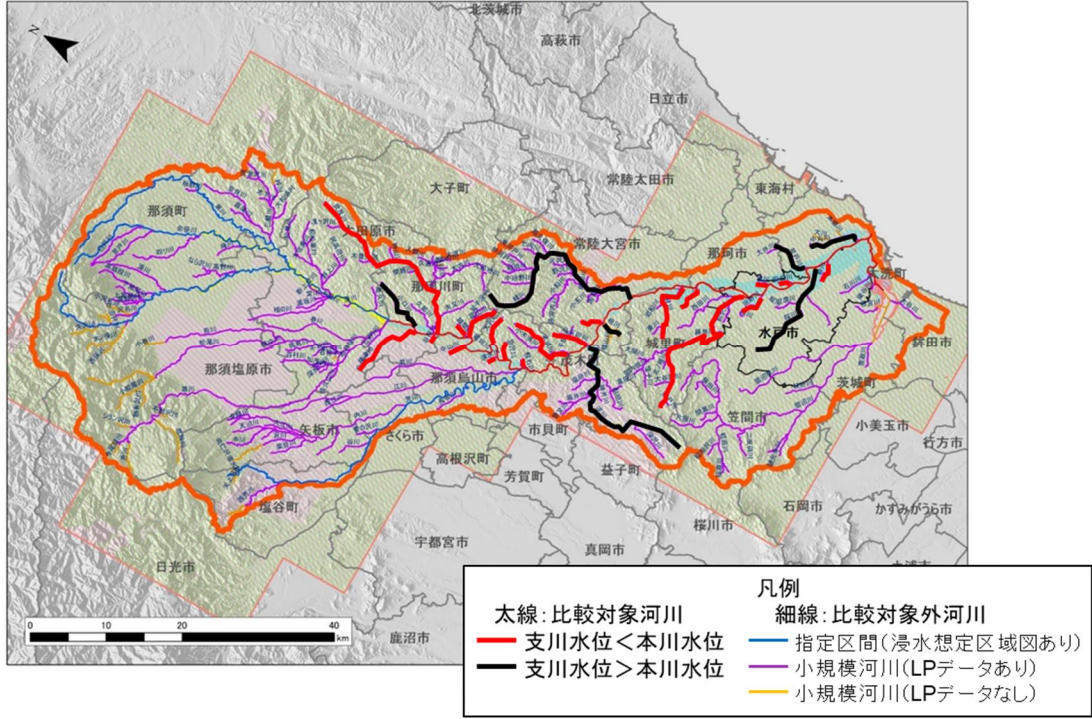


図.技 1-7-1 本川直轄区間最高水位と支川下流端水位（自己流の等流水深より）の比較結果

＜技術参考 1-8：流下型氾濫解析結果を用いた洪水浸水想定区域図の作成＞

第 6 章 6.2 の図 6-3 に示す手法のほか、「中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き(第 2 版)」技術参考 11 を踏まえ、次のように浸水位・浸水深分布を算定することができる。

① 浸水想定区域の外縁線

上下流の水位計算断面における計算水位に基づき、それらの間に断面を内挿し、その水位と地形の交点を見出し、上下流を連続的に結び浸水想定区域の外縁線を作図する。なお、浸水想定区域の地形に凹凸や連続盛土構造物があり、上記交点が複数になる場合には、上下流の連続性を勘案して浸水想定区域の外縁線を設定する。

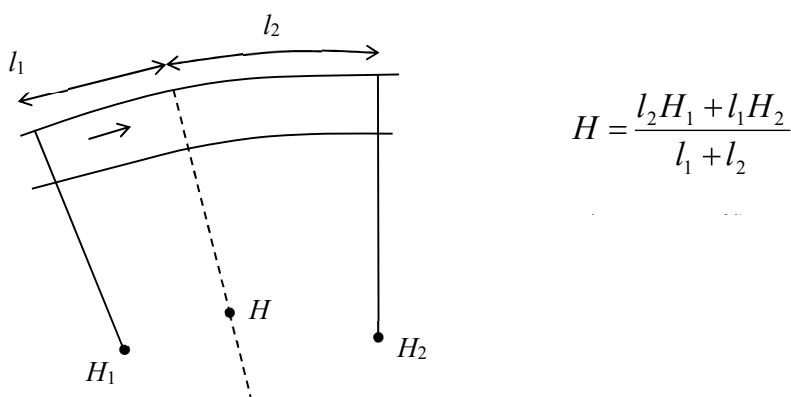


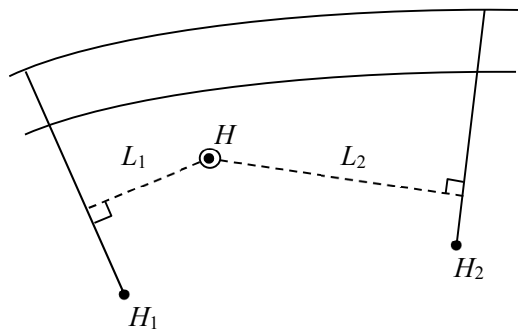
図.技 1-8-1 流下型氾濫の内挿断面ごとの浸水位算定

または、以下の方法で機械的に求めることができる。

② 任意点の浸水位・浸水深の算定方法

上下流の水位計算断面の間の任意点の水位 H は、上下流水位計算断面の水位 H_1 、 H_2 と各断面からの距離 L_1 、 L_2 を用い内挿により求めることができる。この水位から地盤高を引けば浸水深が得られる。したがって、地盤高メッシュデータを利用する場合、この方法により地盤高データ位置での浸水深を求めれば、比較的容易に浸水深の等値線を作図することができる。

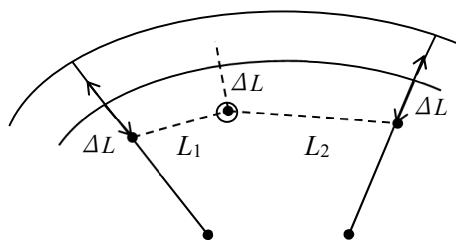
- ・ 曲率が小さいとき



$$H = \frac{L_2 H_1 + L_1 H_2}{L_1 + L_2}$$

図.技 1-8-2 流下型氾濫の浸水位算定（曲率が小さい場合）

- ・ 曲率が大きく上記の方法では内挿に用いる距離が合理的でないとき



求めたい点の河道中心からの距離 ΔL と同じ距離を上下流断面でとり、そこから求めたい点までの距離を L_1 、 L_2 とし、上式を適用する。

図.技 1-8-3 流下型氾濫の浸水位算定（曲率が大きい場合）

（参考文献）

- ✓ 中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き（第 2 版） 平成 28 年 3 月 国土交通省
水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室

＜技術参考 1-9：現況確認による照査＞

航空レーザ測量データを用いて機械的に計算した結果は、現地の地形状況を十分には反映できない場合があるため、公表する前に計算結果の確認が必要である。例を図.技 1-9-1 及び図.技 1-9-2 に示す。

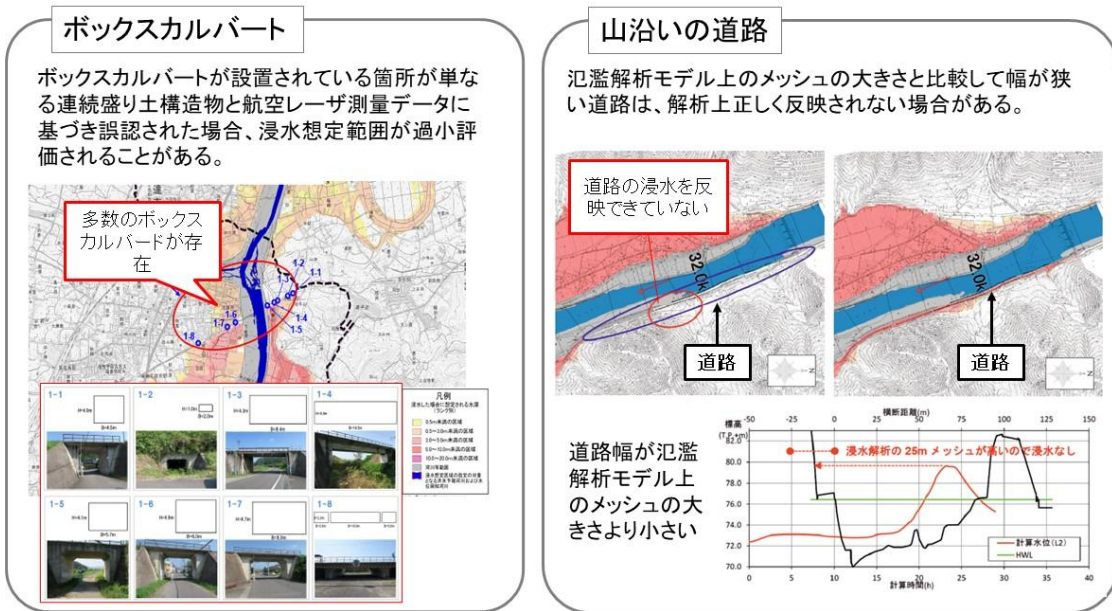


図.技 1-9-1 氾濫水の挙動を十分には反映できていない例

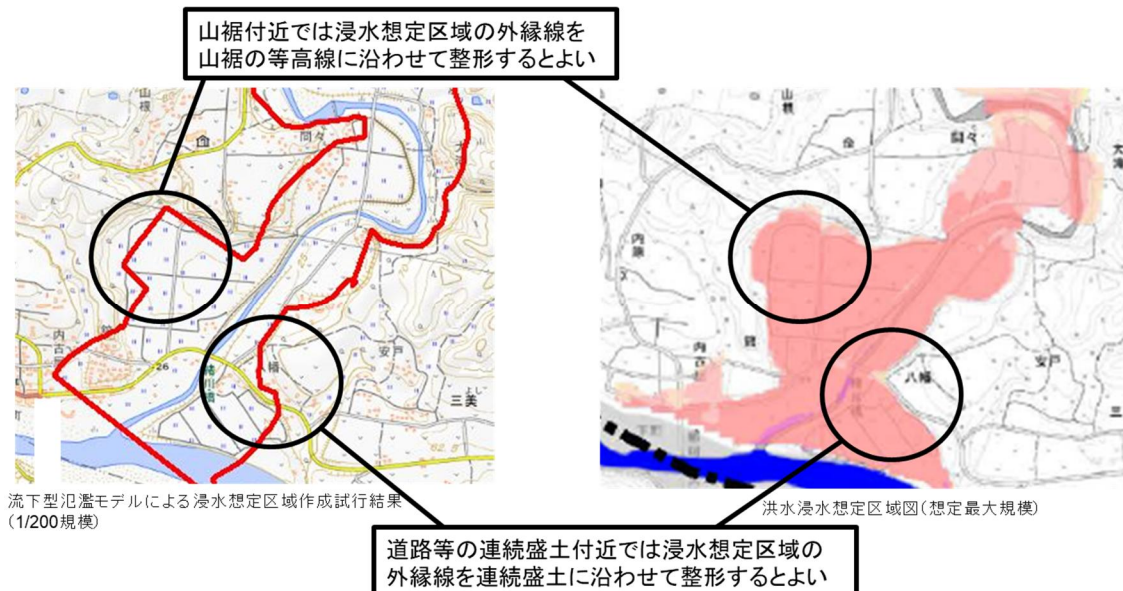


図.技 1-9-2 浸水想定区域の外縁線に地形・地物を十分には反映できていない例

＜技術参考 1-10：拡散型氾濫への一次元不等流計算の適用性＞

合理的かつ効率的な洪水浸水想定区域図作成のため、様々な工夫により検討が進められることが想定される。その中で、拡散型氾濫となる地域に、比較的簡便な方法である河道-氾濫原一体型の一次元不等流計算を適用し、その際、氾濫流の流下断面幅を便宜的に設定（壁立て）すること、工夫の一つとして考え得る。

本技術参考では、浸水域の横断範囲の、河川流下方向の広がり大きい拡散型氾濫地域に対し、壁立てにより氾濫流の流下幅を設定した一次元不等流計算（河道-氾濫原一体型）を適用した場合の留意事項を、事例とともに示す。

モデル流域の地形を図.技 1-10-1 に示す。浸水しうる範囲の横断幅が、河川流下方向に大きく広がっていく地形条件を有していることが理解される。

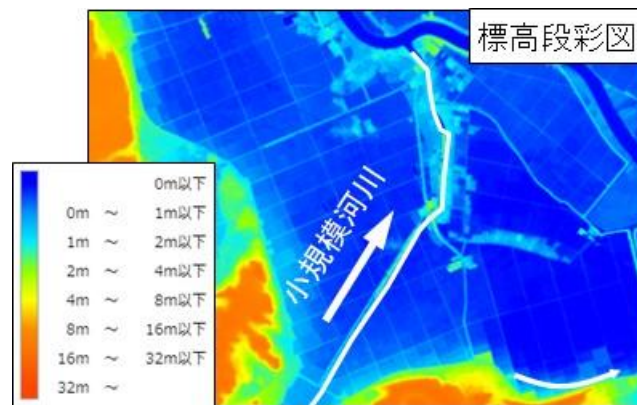


図.技 1-10-1 モデル流域の地形（標高段彩図）

本手引き図 6-2 を参考に、河心線から川幅の 10 倍の位置を端点（壁立て）として一次元不等流計算により得た浸水深分布を、図.技 1-10-2（左図）に示す。一方、平面二次元不定流計算により求めた浸水深分布を、図.技 1-10-2（右図）に示す。

1）浸水深分布の特徴

図.技 1-10-2（左図）に示す一次元不等流計算の結果は、その計算方法の特徴から各計算断面での水位横断分布が一様であり、平坦な地形から、浸水深は横断方向に明瞭な分布を持っていない。一方、図.技 1-10-2（右図）に示す平面二次元不定流解析の結果は、拡散型の氾濫形態となる地形分布が表現されていることから、河心線から横断方向に離れた場所ほど、浸水深が小さくなる傾向が見て取れる。

2）計算手法によって現れる浸水深分布の違い

計算手法によって現れる浸水深分布の違いは、特に河心線から横断方向に離れるほど大きく現れる傾向にある。河心線から横断方向に離れた範囲において、一次元不等流計算による浸水深は、平面二次元不定流解析による浸水深より大きくなっていることがわかる。これは、

一次元不等流計算において、流下範囲の端部を規定（壁立て）していること、また、氾濫流の向きが1方向（河心線の縦断方向のみ）であり、横断方向の氾濫流が生じない計算方法としていることから、氾濫範囲内の単位幅流量が、平面二次元不定流解析より大きくなるためである。一方、一次元不等流計算の計算範囲外では浸水が発生しないため、平面二次元不定流解析より浸水深が小さくなる。

3) 留意事項

上記より、拡散型氾濫のうち、浸水域の横断範囲の広がり大きいことが想定される流域に、壁立てによる一次元不等流計算を適用することは、実際に生じうる浸水深分布と乖離があることに留意が必要である。そのため、氾濫形態の適切な判読に基づき、適応する解析手法を選択されたい。

標高が大きく変化せず、比較的平坦な地形において、一次元不等流計算による計算範囲の境界付近の浸水深が比較的大きい場合、浸水深の分布が横断方向に不連続となっている可能性がある。この場合、氾濫形態に適応した解析手法を選択していない可能性があるため注意が必要である。

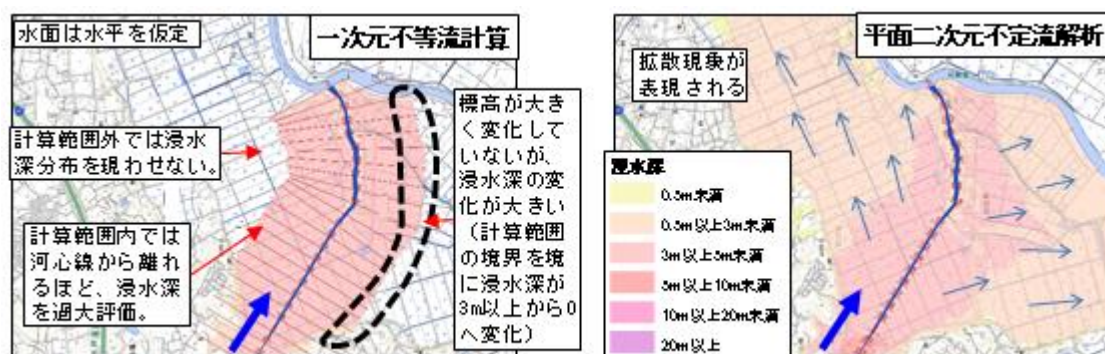


図.技 1-10-2 2つの解析手法による浸水深分布の比較例

＜技術参考 1-11：異なる解析手法により算定された浸水深分布の接続＞

【技術参考 1-10】に例示したように、上流側の氾濫形態は流下型氾濫、下流側の氾濫形態は拡散型氾濫となる場合、上流は本手引き 6 章による一次元不等流計算を、下流は「洪水浸水想定区域図マニュアル（第 4 版）」による平面二次元不定流解析といった、異なる解析手法を適用することも考えられる。このとき、適用した解析手法の切替区間において、浸水深分布の不連続性が大きくなる可能性がある。本技術参考では、異なる解析手法により算定された浸水深分布を連続的に接続する方法の考え方及び留意点を示す（図.技 1-11-1）。

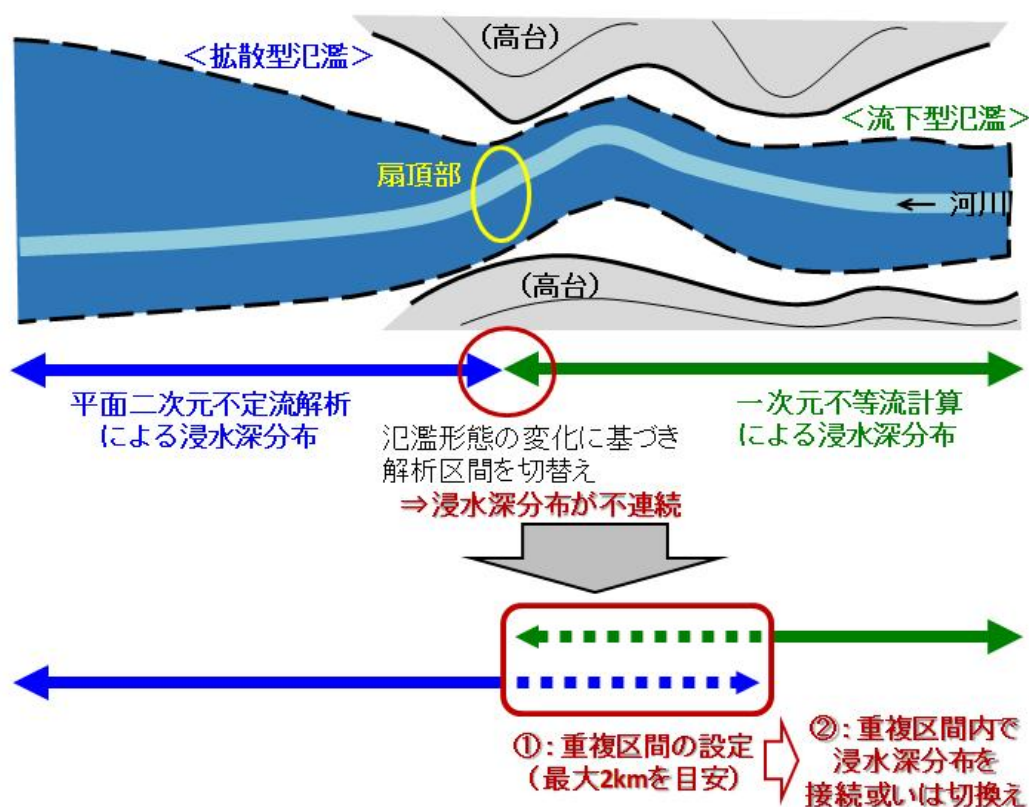


図.技 1-11-1 異なる解析手法により算定された浸水深分布の接続に関する課題

1) 接続方法①：解析区間の重複

異なる解析手法により算定された浸水深分布を接続する、或いは切り替えるため、解析の重複区間を設定する。設定にあたっては、下流側（拡散型氾濫）に適用する平面二次元不定流解析の計算区間を、最大 2km を目安として、上流側（流下型氾濫）の一部区間まで延伸させることを基本とする（図.技 1-11-1）。なお、延伸させる平面二次元不定流解析区間の上流端は、氾濫原の平面形状が直線的に分布する区間内に設定することが望ましい（図.技 1-11-2）。



図.技 1-11-2 流下型氾濫において氾濫原が直線的に分布する区間の例

2) 接続方法②：浸水深分布の接続・切替え

上記1)により、重複区間において、異なる解析手法により算定された2つの浸水位縦断分布が得られる。これら浸水位縦断分布の近接状況等を踏まえ、浸水位分布の接続・切替えを行った上で、浸水深分布を得ることを基本とする。

- i) 山付き等、浸水が途切れる区間がある場合、その区間で浸水深分布を切り替える。
- ii) 浸水位縦断分布が重なる区間がある場合、その区間で浸水深分布を切り替える。
- iii) 上記 i)、ii) 以外の場合、浸水位分布が近接する区間（以下、浸水位近接区間）を抽出し、その区間で浸水位分布を縦断方向に擦り付け、接続させることを基本とする。

3) 留意事項

【接続方法①：解析区間の重複】

- 流下型氾濫となる上流側に、重複区間を設定することが望ましい。
- 延伸させる平面二次元不定流解析区間の上流端は、氾濫原の平面形状が直線的に分布する区間に設定することが望ましい。

【接続方法②：浸水深分布の接続・切替え】

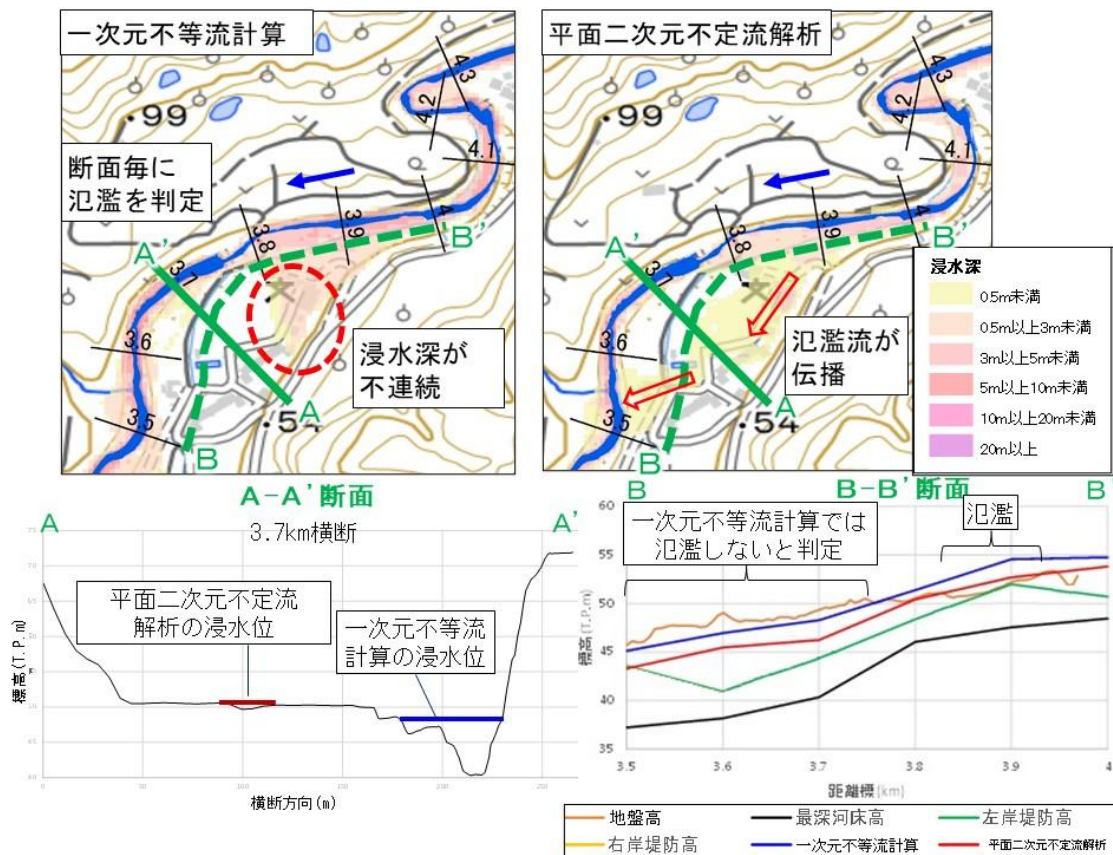
- 2) の iii) に示す、浸水位近接区間において浸水位分布を接続させる場合、a)～c)に示す方法等が考えられるが、選択する方法によって、浸水位近接区間内の浸水深分布

- 1 に差異が生じうる。このため、浸水位近接区間内の資産等分布状況を踏まえながら、
- 2 浸水深分布の接続を行うよう、留意が必要である。
- 3 a) 2つの浸水位の平均を与える方法
- 4 b) 浸水位近接区間内における浸水位分布を線形に与える方法
- 5 c) 縦断距離に応じて2つの浸水位の重みを変化させ擦り付けていく方法
- 6

1 <技術参考 1-12：流下型氾濫形態における一次元不等流計算による氾濫流の伝
2 播>

3 本手引き 6 章 6.2 による一次元不等流計算では、氾濫形態が流下型であり、想定最大規模
4 の洪水時において、一連の区間に渡って河道満杯水位を大きく超える流れが想定される場
5 合の氾濫解析手法を示している。

6 本技術参考では、両岸の堤内地が山に囲まれており、氾濫形態が流下型で、河道水位の状
7 況によっては氾濫流の分派が推察される河川を対象に、一次元不等流計算と平面二次元不
8 定流解析の 2 つの解析手法による浸水深分布と断面図を図.技 1-12-1 に示す。



9
10 図.技 1-12-1 2つの解析手法による浸水深分布と断面図
11

1) 浸水深分布の特徴

図の左上に示す一次元不等流計算結果では、左岸側の堤内地において、3.8km 断面より上流側で浸水が生じているが、下流側では浸水が生じておらず、3.8km 断面を境に浸水深が不連続となっている。一方、図の右上に示す平面二次元不定流解析の結果は、3.5km 断面から 3.9km 断面の左岸側において、河道から離れた地点において連続して浸水が生じている。

2) 計算手法によって現れる浸水深分布の違い

計算によって現れる浸水深分布の違いは 3.5km 断面～3.8km 断面の左岸側の堤内地における浸水深分布に表れている。これは平面二次元不定流解析の計算では 3.8km～3.9km 付近左岸で生じた氾濫流が堤内地を流下し、3.5km～3.6km 付近において氾濫流が河道へ流入する現象が表現されているのに対し、一次元不等流計算では、一度氾濫した流水が、氾濫原をそのまま流下する現象を取り扱うことができず、平面二次元不定流解析の計算で氾濫流が流下した地点の標高より低い水位が算出されたためである（図の左下の断面図参照）。

3) 留意事項

上記より、一次元不等流計算では、平面二次元不定流解析では表現可能であった氾濫原上の氾濫流の伝播を表現できない可能性があることに留意が必要である。

一次元不等流計算から得られる浸水深分布において、氾濫原の浸水深が比較的小さく、計算断面の前後で浸水深分布が不連続に変化（ある断面を境に浸水深が急に 0 になる等）している場合、本技術参考で取り扱うようなことが生じている可能性がある。この場合、必ずしも平面二次元不定流解析を行う必要はないが、横断方向へ連続的な盛土（氾濫流の流下を阻害する要因）の存在等を確認するほか、周辺の資産状況等を踏まえつつ、適切な解析手法を選択されたい。

<技術参考 1-13：平面二次元不定流解析におけるメッシュサイズの留意事項>

洪水浸水想定区域図作成マニュアル（以下、マニュアル）では、平面二次元不定流解析の計算は 25m メッシュで行い、洪水浸水想定区域の指定に用いる最大浸水深データ（破堤地点別に算出された浸水深に対する最大包絡の浸水深データ）は 5m メッシュに換算したものをを用いることが原則とされている。

本技術参考では、小規模河川において、事例に基づき、マニュアルに記された計算手法及び浸水深分布の作成方法を適用した際に留意が必要となる事項等を示す。

事例として行った計算手法と浸水深分布の作成方法を表.技 1-13-1 へ示す。流下型氾濫に分類される小規模河川を対象に、異なる計算メッシュサイズが、同一解像度ケース 1 及びケース 2 による浸水深分布を作成し、結果を比較した。

表.技 1-13-1 計算手法と浸水深分布の作成方法

	計算手法	浸水深分布の作成方法	備考
ケース 1	平面二次元不定流解析 25m メッシュ	浸水位（25m メッシュ）を 5m メッシュの浸水深に換算	マニュアルと同一の手法
ケース 2	平面二次元不定流解析 5m メッシュ	浸水位（5m メッシュ）のメッシュサイズを変更せずに浸水深へ換算	

1) 計算メッシュサイズの違いによる浸水の有無

図.技 1-13-1 の上段に、ケース 1 と 2 の浸水深分布を示す。図中赤点線で表示した範囲において、25m メッシュで計算したケース 1 では浸水が生じておらず、ケース 2 では河道沿いに浸水が生じている。流下型氾濫に分類される小規模河川では、河道から横断方向に離れるに従い、地盤高が増加していく地形的特徴がある。このため、図.技 1-13-1 の下段に示す地盤高分布からもわかるように、計算メッシュサイズが 25m と大きい場合、高い地盤の影響を受けやすく、計算メッシュに与える地盤高が大きくなり、浸水が起こりにくい傾向となる。

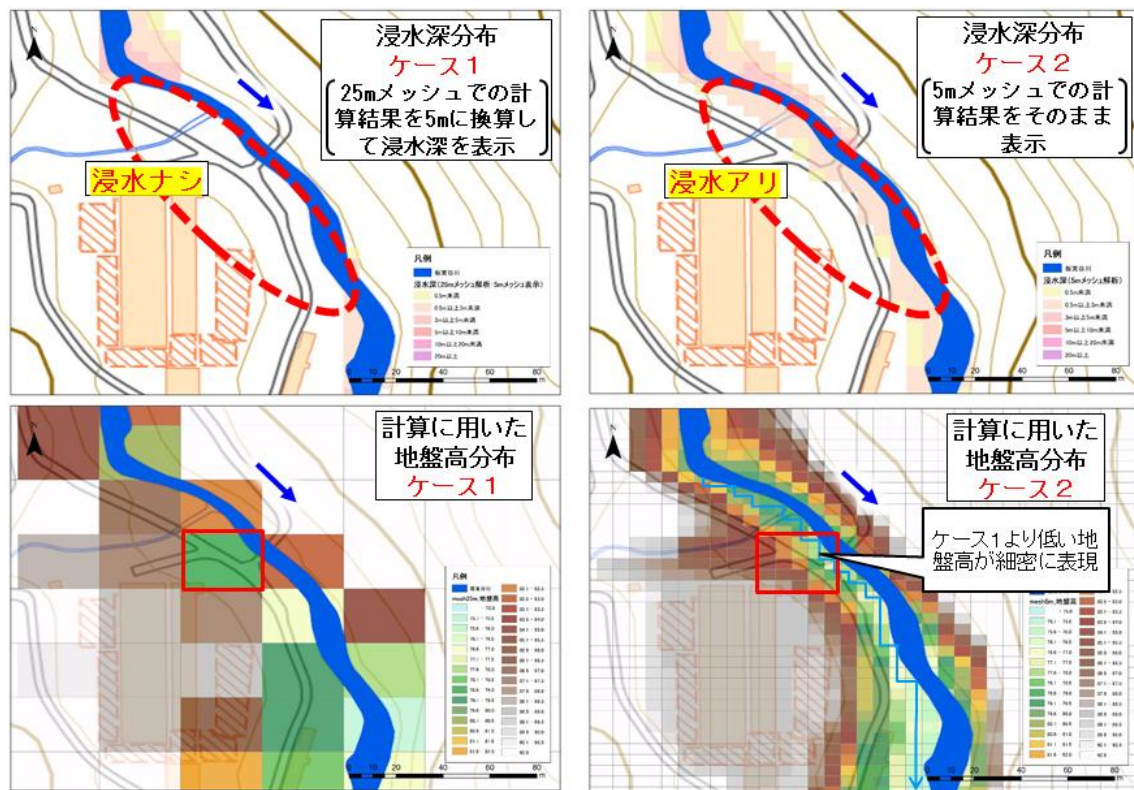


図.技 1-13-1 計算メッシュサイズの違いが浸水の有無に与える影響

2) 計算メッシュサイズの違いによる浸水深分布の差異

図.技 1-13-2 に、比較的勾配が大きく、流下型氾濫となる小規模河川を対象に、2つのケースを適用した結果を示す。急勾配のため、浸水深は小さくなる傾向にあり、ケース1（計算メッシュ 25m）で氾濫する結果が得られたとしても、その浸水深は小さい場合が多い。ケース1のように、浸水深を 5m メッシュに換算して表示した場合、25m メッシュ内の地盤高変化が大きく、浸水深分布がまばらとなり、不適切に表現されることに注意が必要である。一方、ケース2（計算メッシュ 5m）では、計算段階から地盤高の変化を細密に捉えており、浸水深分布が連続的に表現され、氾濫流が氾濫原を連続的に流下している。

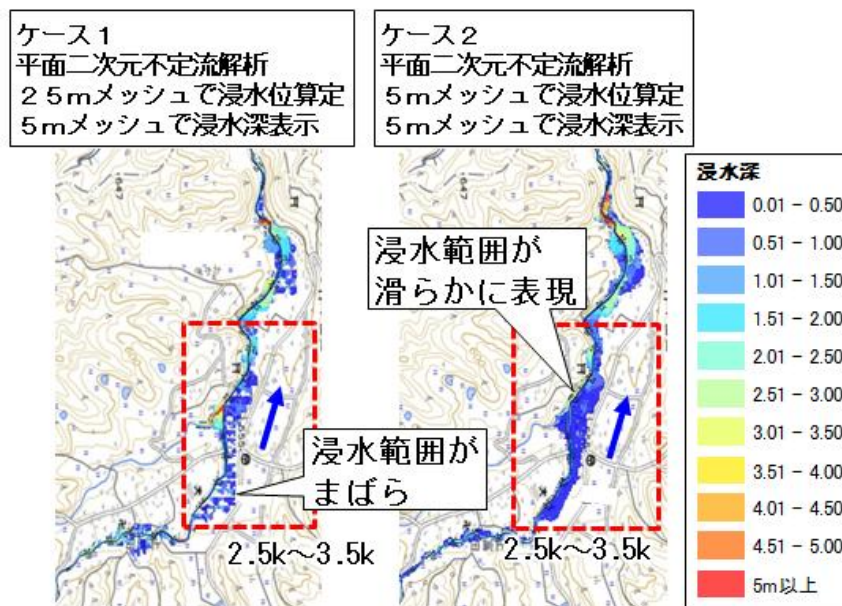


図.技 1-13-2 計算メッシュサイズの違いによる浸水深分布の差異

3) 留意事項

以上より、浸水の範囲が横断方向に小さく、比較的縦断勾配が大きく、地形変化が大きく表れる傾向にある流下型氾濫においては、マニュアルに示す方法（ケース1）ではなく、計算段階から5mメッシュを適用するケース2の方法が、より実際に近い浸水深分布を得られることに留意が必要である。

＜技術参考 1-14：航空レーザ測量データ使用時の留意事項＞

1) 樹木や橋梁等の障害物による航空レーザ測量（LP）データ計測密度の低下

航空レーザ測量（LP）による計測点の空間密度にはばらつきがある。特に、レーザ光が空隙を通過しにくい樹木繁茂域や、レーザ光が反射されにくい水面範囲では、計測された LP データの空間密度が著しく低下する場合がある（図.技 1-14-1）。また、河道を渡河する橋梁をレーザが通過することができず、橋梁下部の河床高を捉えることができない（図.技 1-14-1）。

このように地盤高や河床高の計測密度が著しく小さくなる場合、現地に見合う適切な標高が得られていない可能性がある。そのため、取得された航空レーザ測量による点データの空間分布を確認するとともに、測量と同時に撮影される航空写真を用いて障害物の有無についても確認し、必要に応じ、浸水深算定に用いる地形モデルを修正する必要がある。

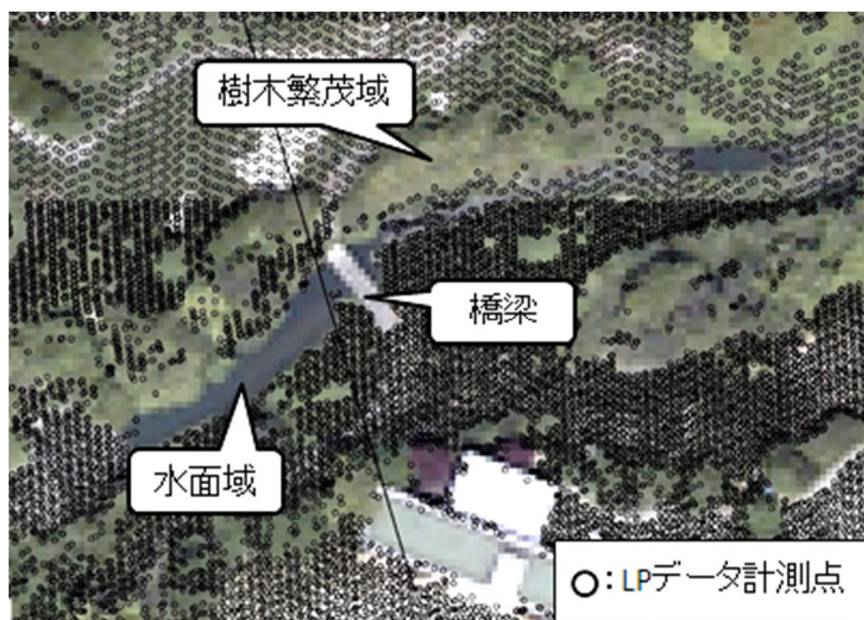


図.技 1-14-1 計測された LP データの空間分布と障害物の例

2) 計測密度の低い LP データから作成された 5mDEM データ

約 5m メッシュの中心点標高である 5mDEM データが、LP データから作成されている場合、5mDEM の標高の精度は、1) メッシュ内にレーザ測量の計測点がある場合で 0.3m 以内、2) 計測点がない場合で 2.0m 以内（ともに標準偏差）※1 とされている（図.技 1-14-2）。

基となる LP データの計測密度によって、5mDEM の標高精度が大きく変わり、浸水深算定に影響を及ぼす可能性がある。そのため、5mDEM を用いて浸水深算定の地形モデルを作成しようとする場合は、基となる LP データの空間分布を確認し、必要に応じ地形モデルを修正する必要がある。

※1 国土地理院 HP、基盤地図情報サイト FAQ、Q3-3

<https://www.gsi.go.jp/kiban/faq.html#3-3>

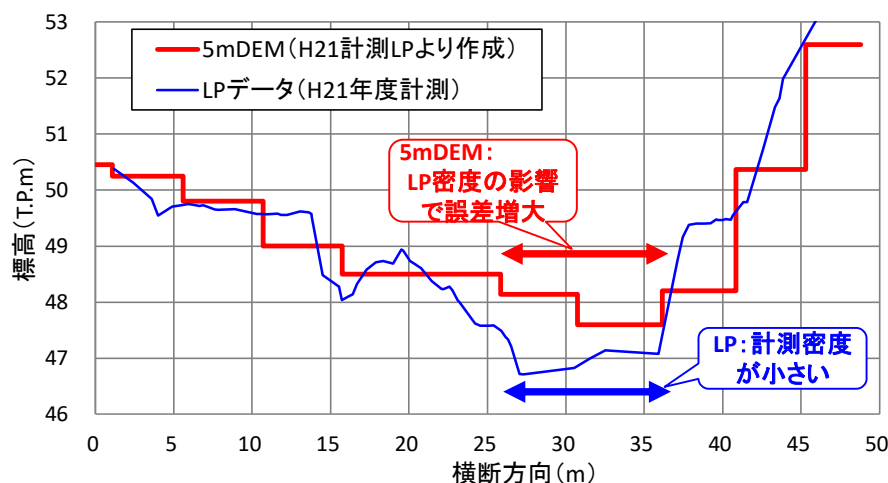


図.技 1-14-2 計測密度が低い LP データから作成された 5mDEM を用いた横断形状の例

3) 河床高の再現精度が計算結果に及ぼす影響

図.技 1-14-2 に例示した 5mDEM のように、河床高分布が実際より高く表現されたデータを用いて計算した場合、河道部分の流下能力が適切に評価されず、相対的に氾濫しやすくなることで浸水深が増大し、広範囲に浸水する結果となる場合がある。

このことから、より適切な浸水深分布を得るためには、1) 及び 2) で示すような状況が生じていないかを確認し、必要に応じて測量を別途行う、或いは、河道内の河床高を修正することが必要である。

4) 留意事項

○樹木繁茂、橋梁、水面といったレーザ光の通過・反射を妨げるものがある場合、その範囲内における LP データの空間密度が小さくなり、地盤高あるいは河床高が適切に計測されていない場合がある。またこういった状況の LP データを基として作成された 5mDEM データの標高は、従属的に精度が低くなる。

○このため、計測された LP データの空間分布（密度）や、作成された地形モデルと実際の地形の乖離状況を確認し、必要に応じてデータの修正等を行う必要がある。

＜技術参考 1-15：測線設定に関する留意点＞

主に氾濫幅が山地で規定される谷底平野において、河道の流下能力に対して想定最大規模流量が十分大きい場合が多い。このような場では、想定最大規模流量流下時、河道および氾濫原を一体的に流下する洪水氾濫流が生じ、全体的な流向は、河道法線ではなく氾濫原の平面形状の影響を受けることが多い。そのため、流水のみを考慮した浸水位評価時、並びに本編第7章に示す土砂堆積の起点評価時の測線設定にあたっては、以下の点に留意することが重要である（図.技 1-15-1）。以下、「中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き（第2版）」での記載内容を中心に解説する。

- 1) 「中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き（第2版）」に基づき、氾濫流の流下方向に直交するよう、測線位置を設定する。
- 2) このとき、河道部分を横断する測線は河道法線に直交せず、河道部流下断面積が過大に評価され、浸水位が過小評価される場合がある。この場合、図.技 1-15-1 に示すように、河道範囲の測線部分を、河道法線に直交するよう角度補正する。

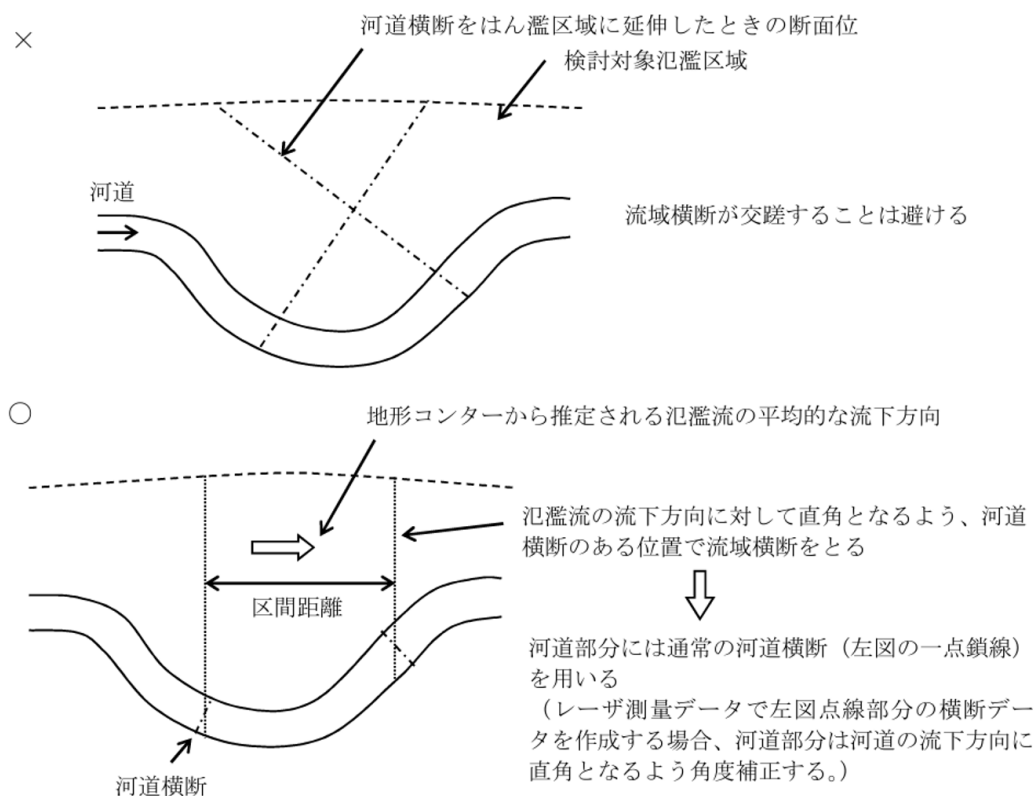


図.技 1-15-1 河道・氾濫原一体流れを対象とした場合の測線設定
（中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き（第2版）、図-5.5）

技術参考 2-1. (大量の土砂・流木堆積の影響考慮 (浸水位評価) 編)
＜技術参考 2-1-1：山地からの土砂・流木生産、
下流河道での流下・堆積過程を一体的に取り扱うモデル＞

【iRIC ソルバー「RRI on iRIC」における降雨－土砂流出 (RSR) モデル】

降雨－土砂流出 (RSR) モデルは、RRI モデルに土砂・流木の生産・供給・輸送過程を拡張した流域一体型の解析モデルである。降雨に伴う斜面崩壊・土石流による土砂および流木の発生、河道への供給、下流への流出を一体的に解析し、得られた水・土砂・流木のハイドログラフを平面二次元河床変動計算等の境界条件として活用できる。

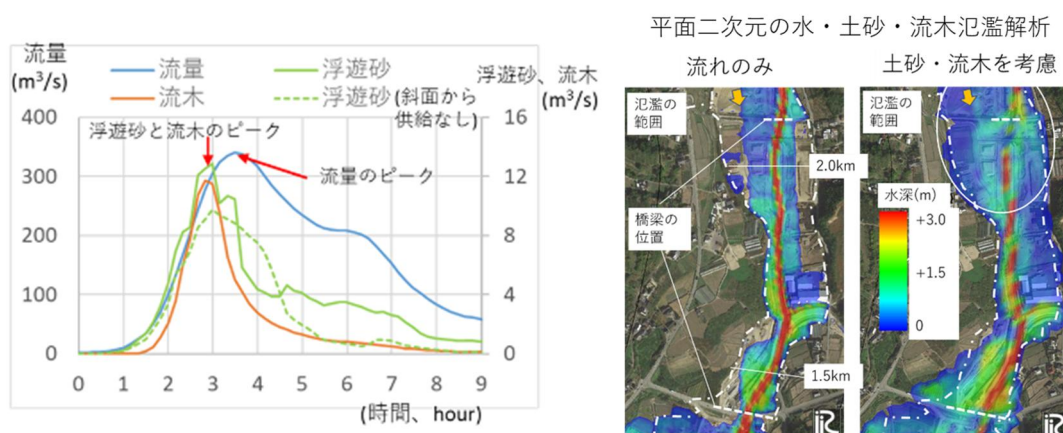


図.技 2-1-1-1 RSR モデルによる洪水・土砂・流木のハイドログラフ評価と
河道・氾濫原計算への活用イメージ

(RSR モデルの特徴)

- ・降雨流出、土砂・流木生産、河道への供給、下流への輸送を流域単位で一体的に解析できる。
- ・単位河道を直列・並列に配置し、流域任意地点の洪水流量、流砂量、流木量を時系列で評価できる。
- ・算出した水・土砂・流木のハイドログラフを、Nays2DH 等の平面二次元河床変動計算に引き継げる。
- ・ソルバーは RRI on iRIC として公開されており、既存の RRI 解析環境を活用しやすい。

(必要となるデータ、条件設定)

- ・対象期間の時空間的降雨データ
- ・RRI モデルの降雨流出計算に必要な河道条件およびパラメータ
- ・山地斜面および河床材料の粒度分布
- ・表層土壌厚、粘着力、等

- ・流木生産を扱う場合は、立木密度、等
- ・崩壊箇所を事前に指定する必要はない。

(留意事項)

土砂・流木生産領域から下流河道、氾濫域までの流下・堆積過程を一体的に取り扱うことが可能であり、土砂・流木の影響が大きい流域でのハザード評価に有効であるが、以下の点に留意する必要がある。

- ・モデルの構築にあたっては、河床の移動床厚さおよび山地斜面の最大侵食深、流入土砂粒度分布、立木密度のほか、ダム貯水池の堆砂、浮遊砂の濃度、河床変動など、可能な限り現地データを集めるとともに、レジーム則などにより川幅を設定し流砂・河床変動を検討した上で、必要に応じて川幅を変化させるなど、慎重に再現性を検討する必要があること。
- ・斜面崩壊計算を行う場合、地形データのメッシュサイズは 10 m 以下を目安とすること。

(参考文献)

- 1) Harada, D., & Egashira, S. (2023). Method to evaluate large-wood behavior in terms of the convection equation associated with sediment erosion and deposition. *Earth Surface Dynamics*, 11(6), 1183-1197.
- 2) iRIC ソルバー「RRI on iRIC」および降雨－土砂流出（RSR）モデル関連資料.

＜技術参考 2-1-2：本事象に関する基礎的知見＞

1. 本事象に関する実態分析（筑後川水系赤谷川）

平成 29 年 7 月九州北部豪雨により、筑後川水系赤谷川で生じた河道等の変化実態を示す。

（1）出水前後の河床形状（縦断形、横断形）の変化¹⁾

出水前後の河道部平均河床高縦断分布の変化を図.技 2-1-2-1 に示す。出水前の赤谷川の河床勾配は筑後川合流点～1.7km 付近で約 1/100、1.7～4.0km で約 1/50、4.0km より上流では約 1/40 であった。これに対し出水後の平均河床高縦断分布は、河口から 5km 以上と長い区間において、概ね河岸高程度まで上昇していることがわかる。出水前後の河床横断形の変化例を図.技 2-1-2-2 に示す。主に河道部分について、河岸高程度まで土砂が堆積していることがわかる。1 出水中に大きな変化をもたらすことが本事象の特徴である。

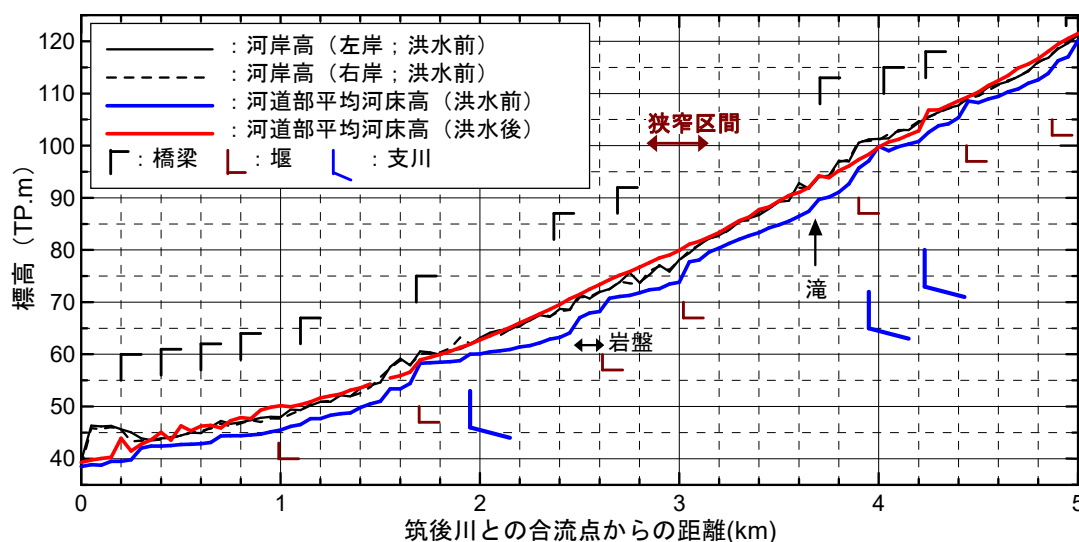


図.技 2-1-2-1 出水前後の河道部平均河床高縦断分布の変化
(赤谷川、平成 29 年 7 月九州北部豪雨)

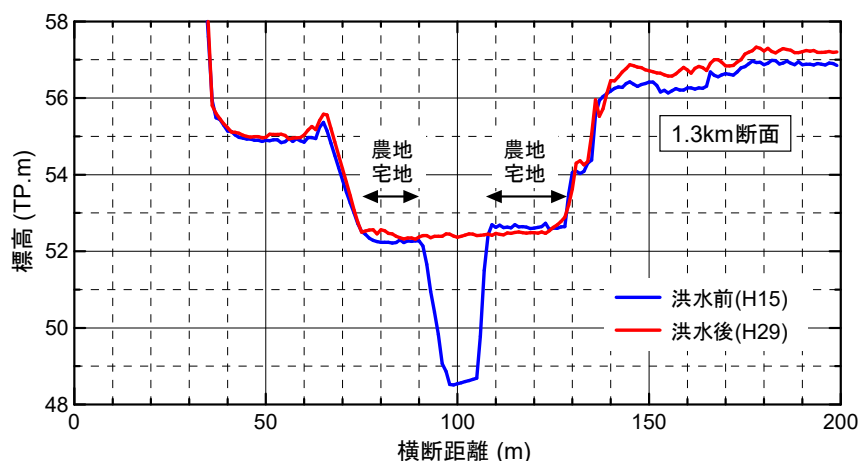


図.技 2-1-2-2 出水前後の河道・氾濫原横断形の変化（赤谷川）

- 1 (2) 堆積土砂の粒径
- 2 赤谷川河道部に堆積した土砂の粒度分布を図.技 2-1-2-3 に示す。主に中砂～粗砂、極粗砂～細礫が堆積していることがわかる。
- 3

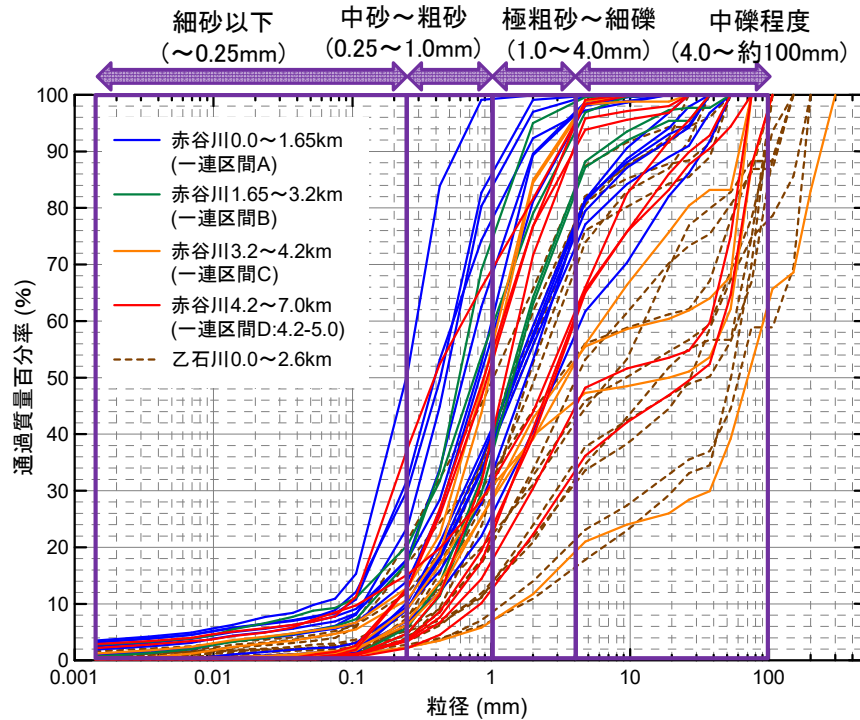


図.技 2-1-2-3 赤谷川河道部に堆積した土砂の粒度分布

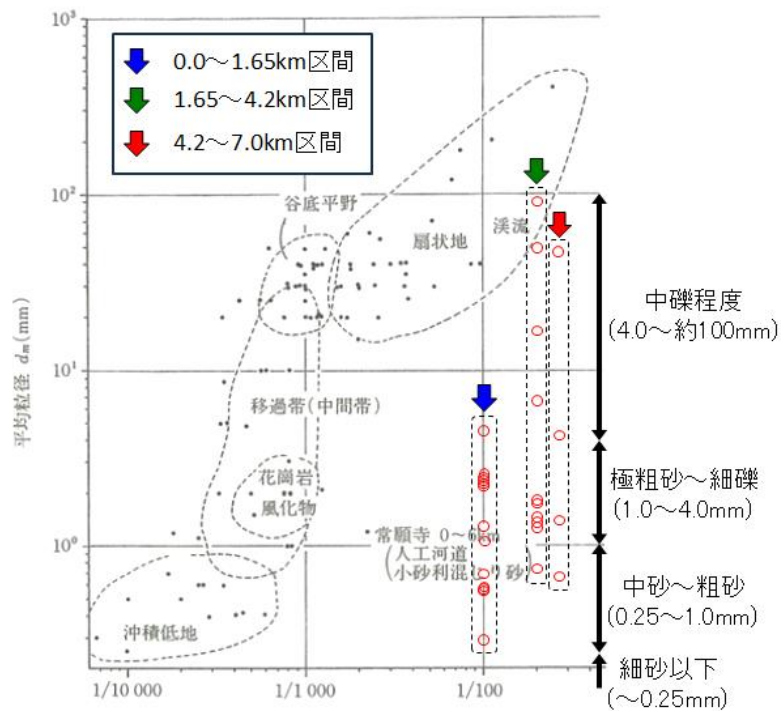


図.技 2-1-2-4 1 級水系河川の河床勾配～平均粒径の関係²⁾と赤谷川堆積土砂

4

1 出水前の河床材料データを入手できなかったため、山本²⁾による1級水系河川の平均粒径
2 ～河床勾配関係と、赤谷川河道部に堆積した土砂平均粒径を比較した(図.技 2-1-2-4)。こ
3 の図から、赤谷川における出水前の河床に堆積していた平均粒径は100～200mm程度と推
4 定される。一方、出水により長い河道区間に堆積した土砂は、推定された元の河床材料に比
5 べ、1～2 オーダー小さいことが見て取れる。

7 (3) 赤谷川の実態から見てきた本事象の基本的特徴

8 上記(1)及び(2)から理解される本事象の特徴を、以下に記す。

- 9 ✓ 河口から数km(赤谷川では5km以上)と長い区間において大量の土砂が堆積し、
- 10 概ね河岸高程度まで河道を埋塞する。
- 11 ✓ 1出水中という短い時間において、長い河道区間の土砂埋塞が進行する。
- 12 ✓ 堆積した土砂の粒径は、元の河床主材料に比べ1～2オーダー小さい(赤谷川では中
- 13 砂～細礫の粒径集団が堆積)。

15 2. 長い河道区間への土砂堆積プロセス

16 長い河道区間に及ぶ土砂堆積プロセスを把握するため、土砂水理実験を行った。前章にお
17 いて、元の河床主材料に比べ非常に小さい土砂(以下、細粒土砂)が堆積することがわかっ
18 た。前述した赤谷川の河床勾配や基本的特徴を踏まえると、堆積する細粒土砂は、洪水中に
19 十分な浮遊状態で、かつ高濃度で流送されることが考えられた。これらを踏まえ、フルード
20 数が大きい流れ場において、浮遊状態で流送される高濃度の細粒土砂(0.11mm)を供給し、
21 堆積プロセスを調べた。実験条件の詳細は参考文献¹⁾を参照されたい。

23 (1) 土砂堆積区間の上流延伸過程¹⁾

24 実験水路下流側に堰を設置し、土砂堆積の状況を観察した結果、以下に示す堆積区間の上
25 流延伸過程を辿ることがわかった(図.技 2-1-2-5)。

- 26 a) 堰直上流では水位せき上げが生じ、せき上げ区間に土砂が堆積する。
- 27 b) 土砂堆積の影響により、水位せき上げ区間が上流に延伸する。
- 28 c) 新たに生じた水位せき上げ区間に土砂が堆積する。
- 29 d) 上記b)及びc)を繰り返し、堆積区間が上流方向に延伸する。

30 堆積区間が長い縦断延長となったすべてのケースにおいて、a)～d)に示す堆積区間の上流
31 延伸過程を辿る。この堆積区間の上流延伸速度は、1時間あたり、水位のせき上げ影響を受
32 けない等流区間の水深の500倍以上となり、細粒土砂の濃度が高いほど上流延伸速度が大
33 きくなる(図.技 2-1-2-6)。図.技 2-1-2-2の河岸高比高は河床から約4mであり、この断面
34 で換算すると、土砂堆積区間の上流延伸は1時間に2km以上と速やかに進行する現象であ
35 ることがわかる。

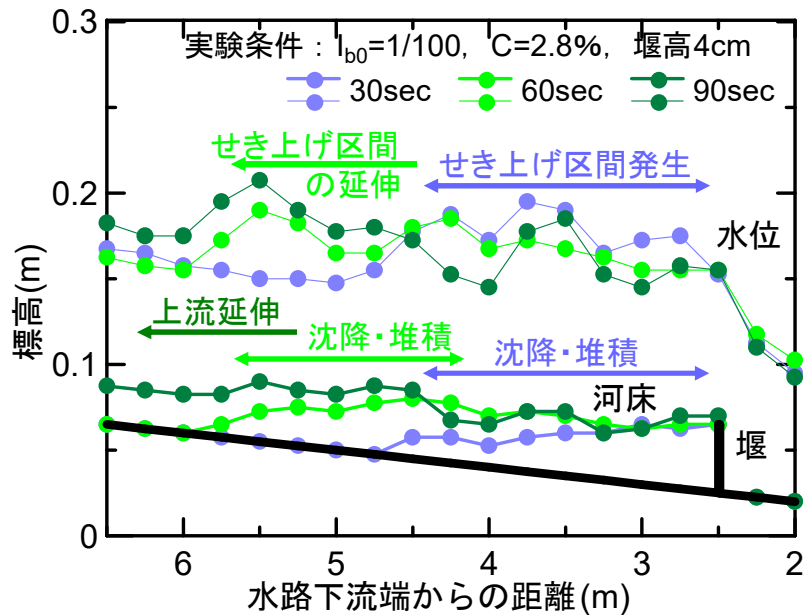


図.技 2-1-2-5 土砂堆積区間の上流延伸プロセス

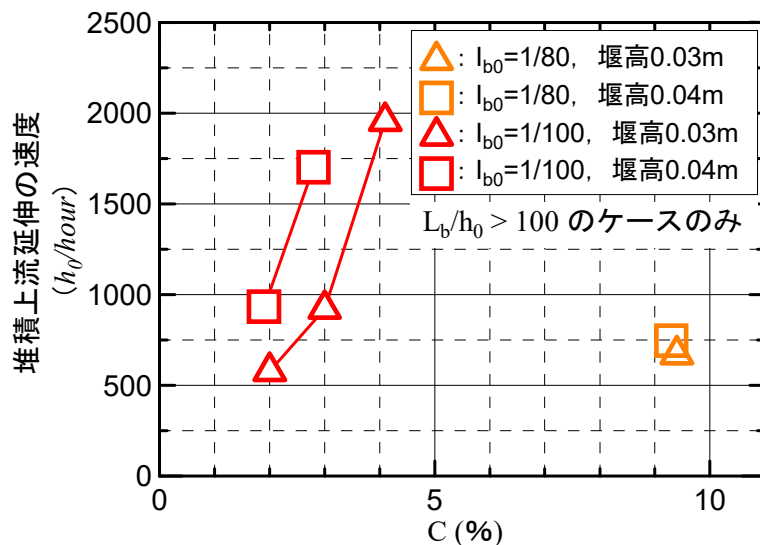


図.技 2-1-2-6 細粒土砂の濃度と堆積区間上流延伸速度

(L_b : 河床勾配、 h_0 : 水路の平均水深、 C : 土砂濃度)

1

2 流量及び土砂濃度が同一であっても、堰を設置しない場合は、土砂堆積は生じず、浮遊状
 3 態で流送される細粒土砂はそのまま流下していった。このことを踏まえると、局所的な土砂
 4 流送能力の減少区間が土砂堆積の起点となり、これが長い上流区間での土砂堆積状況の支
 5 配的要因となることが考えられる。したがって、この事象を評価するためには、土砂堆積の
 6 起点を適切に評価・抽出することが重要である。実験では堰が土砂堆積の起点となったが、
 7 例えば流木を捕捉した橋梁地点においても、浮遊土砂の流送能力が局所的に低下し、堆積の
 8 起点となり得ることが分かる。

(2) 土砂堆積区間の上流延伸過程の発生条件¹⁾

長い区間で土砂堆積が発生する条件、つまり、土砂堆積区間が、堆積の起点から上流方向に延伸する条件を示す。これまでに示した土砂堆積区間の上流延伸過程から、十分な浮遊状態で流送された細粒土砂が、水位せき上げなど局所的に流送能力が減少する区間において、土砂の運動形態が大きく変化し、この区間において急激に堆積が進行することで、土砂堆積の起点が発生する。このことを踏まえ、土砂の運動形態を説明する摩擦速度・沈降速度比 u_*/w_0 ³⁾ と、土砂濃度 C の関係に着目し、土砂堆積区間の上流延伸過程の発生条件を調べた。 u_*/w_0 と浮遊砂の河床変動モデルとの対応関係を図.技 2-1-2-7 に示す⁴⁾。浮遊土砂の濃度分布に Lane-Kalinske 分布⁵⁾を仮定し、底面濃度 C_b を算定した。高濃度土砂の沈降干渉を考慮した高橋・里深の式⁶⁾により、沈降速度 w_0' を算定し、堆積速度 $w_0' C_b$ を求めた。高橋・里深の式⁶⁾中の係数 β は、内田⁷⁾を参考に $\beta = 3.5$ とした。河床からの浮上量 q_{su} は板倉・岸の式⁸⁾により求めた。水深平均濃度は $C_0 = 2\%$ とした。図.技 2-1-2-7 から、高濃度土砂の場合、 u_*/w_0 が大きい範囲では浮遊砂は河床に堆積せず通過し、 u_*/w_0 が小さい区間では速やかに堆積することがわかる。

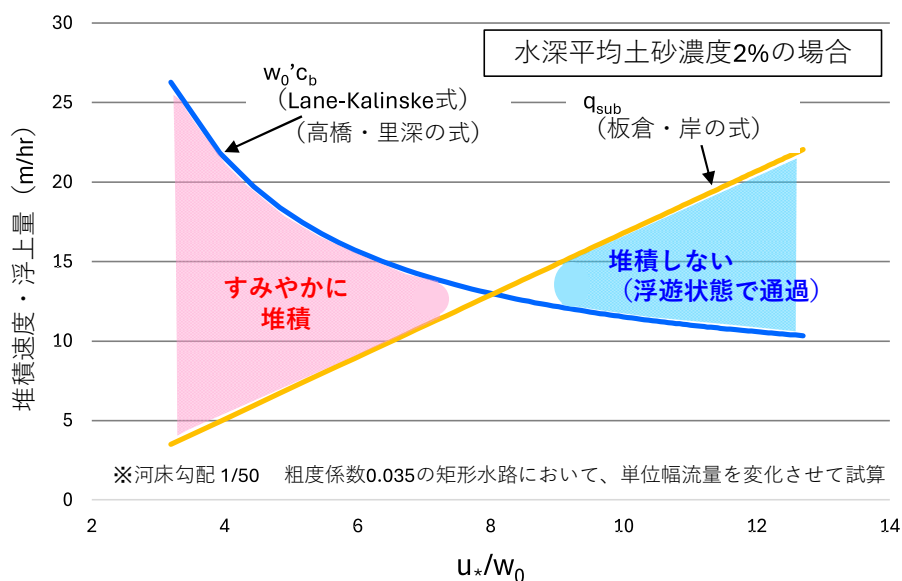


図.技 2-1-2-7 浮遊砂の河床変動モデルと u_*/w_0 の関係

土砂堆積区間の上流延伸が発生した実験ケースを対象に、 $u_*/w_0 \sim C$ の関係を調べた (図.技 2-1-2-8)。また、等流区間及び土砂堆積の起点の模式図を図.技 2-1-2-9 に示す。上流側にある等流区間 (図中◇) において上層と下層に多少の濃度差を持つ浮遊砂的運動形態³⁾となるような u_*/w_0 (7~10 程度) であっても、 u_*/w_0 が局所的に減少する区間 (図中×) があれば、この区間を土砂堆積の起点として堆積区間が上流方向に延伸した。

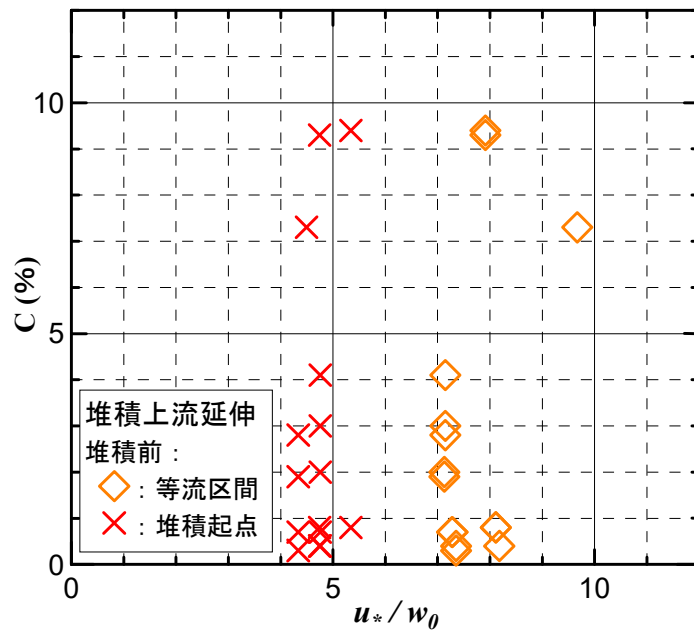


図.技 2-1-2-8 土砂堆積区間の上流延伸プロセス

1

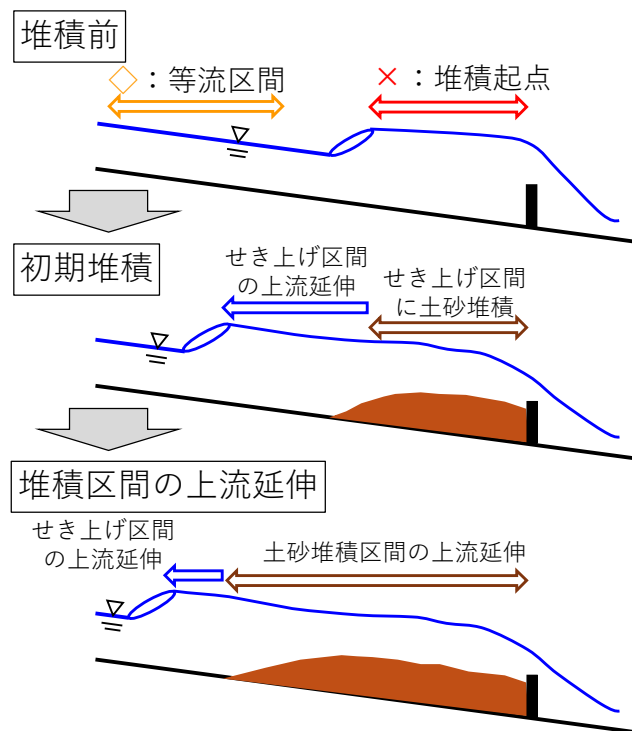


図.技 2-1-2-9 土砂堆積区間の上流延伸プロセスと
等流区間、土砂堆積の起点に関する模式図

2

3

1 土砂堆積区間の上流延伸プロセスが発生せず、長い土砂堆積区間とならなかった実験ケ
 2 ース（以下、非延伸ケース）との比較を示す。まず、土砂堆積の起点となり得る区間に着目
 3 した比較を図.技 2-1-2-10 に示す。全体の流況（等流区間の u_*/w_0 ）が類似していても、局
 4 所区間（堰直上流の u_*/w_0 ）で u_*/w_0 がある一定の数値より小さくなると（実験では $u_*/w_0 \leq$
 5 5）、当該区間を起点として堆積区間が上流に延伸した。このことから、 u_*/w_0 が一定の閾値
 6 を下回った場合に、土砂堆積の起点となることがわかる。また、土砂濃度が大きくなっても、
 7 この閾値に変化が見られない。次に、等流区間に着目した比較を図.技 2-1-2-11 に示す。一
 8 方で、局所区間で、 u_*/w_0 が一定の数値より小さく、堆積の起点となりうる条件であっても、
 9 全体の流況に示す等流区間の u_*/w_0 が一定以上の場合、堆積区間の延伸が生じない。このこ
 10 とから、土砂堆積区間の上流延伸プロセスは、上流延伸範囲に上限を持ち、細粒土砂の流送
 11 能力が一定程度以上大きくなると、プロセスが進行しないことがわかる。土砂濃度が大きく
 12 なっても、この閾値に変化が見られない。例えば河床勾配が非常に大きくなる山地溪流等の
 13 河川では、 u_*/w_0 の値が大きくなり、土砂堆積区間の上流延伸プロセスが生じにくいことが
 14 考えられる。

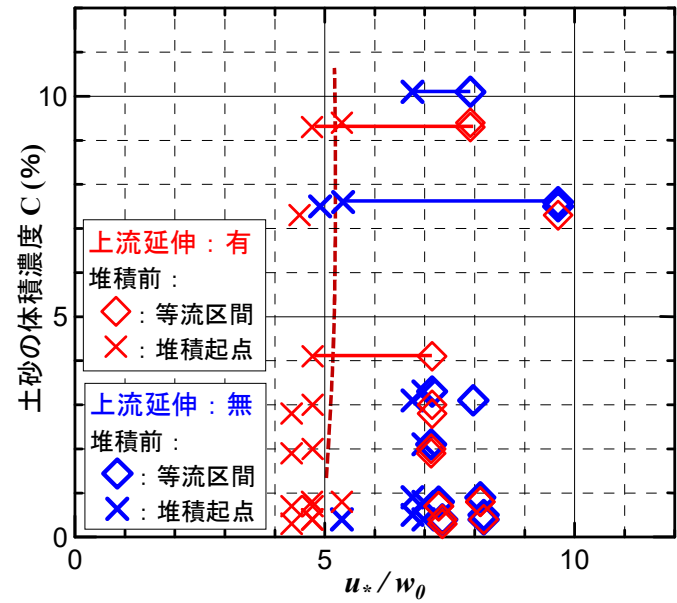


図.技 2-1-2-10 長い土砂堆積区間が生じなかったケースとの比較①
 （堆積起点における u_*/w_0 の違い）

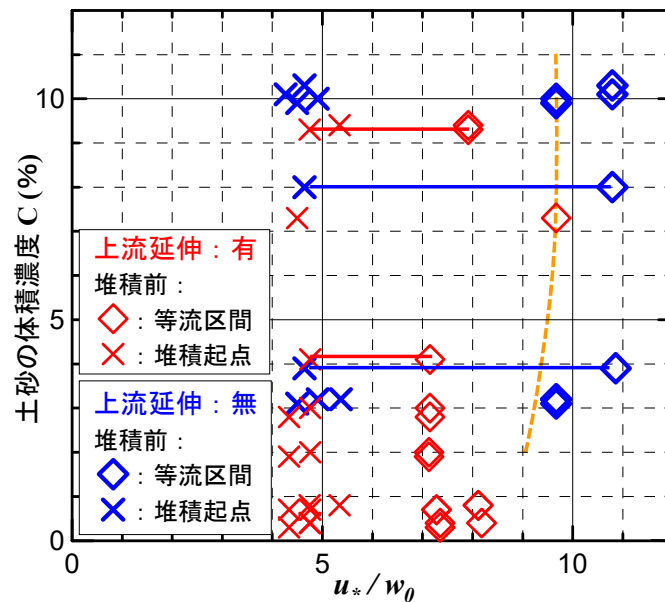


図.技 2-1-2-11 長い土砂堆積区間が生じなかったケースとの比較②
(等流区間における u_*/w_0 の違い)

以上を踏まえると、高濃度の細粒土砂が供給された場合、 u_*/w_0 に代表される水理量の条件が整えば、大きな流送能力となる洪水ピーク付近であっても土砂堆積の上流延伸プロセスが生じ、速やかに堆積が進行することが理解される。

(3) 上流延伸プロセス中の河道埋塞現象¹⁾

河道からの氾濫が土砂堆積状況に及ぼす影響を調べるため、(2)の実験ケースを基として、兩岸に氾濫原を有する掘込河道を設定し、平面2次元河床変動計算を行った。河床変動モデルのうち、浮遊砂については(2)で記した方法とし、掃流砂は芦田・道上の式⁹⁾を用いた。氾濫原においては固定床とし、堆積を考慮せずそのまま土砂が通過する条件とした。その他の条件詳細については、参考文献¹⁾を参照されたい。

計算結果を図.技 2-1-2-12に示す。堰直上流区間への土砂堆積開始及び堆積上流延伸の初期(～150s)は、前述した土砂堆積区間の上流延伸プロセスが生じる。その後、堰上流での堆積区間延長の増大に伴い、氾濫による河道内通過流量が減少していき、堰上流の長い区間で堆積高が増大していく。やがて河道を埋塞し、堤内地を含めた単断面流れに移行した(～830s)。これは、土砂堆積区間の上流延伸プロセスの進行に伴い、氾濫流量の増加、つまり河道内流量の減少による掃流力の低下が、河道内における過剰堆積を引き起こし、やがて河道を埋塞する状態まで堆積したものと考えられる。また、氾濫流量の増大に伴い、堰下流区間においても、上流から下流方向に土砂堆積が進行していることがわかる。これは、河道部上流及び氾濫原から流送された土砂が、堰直下流区間における小さな河道内流量及び掃流

- 1 力の下で流送されずに堆積したためであり、土砂堆積区間の上流延伸プロセスに比べ、その
- 2 進行速度は小さい。

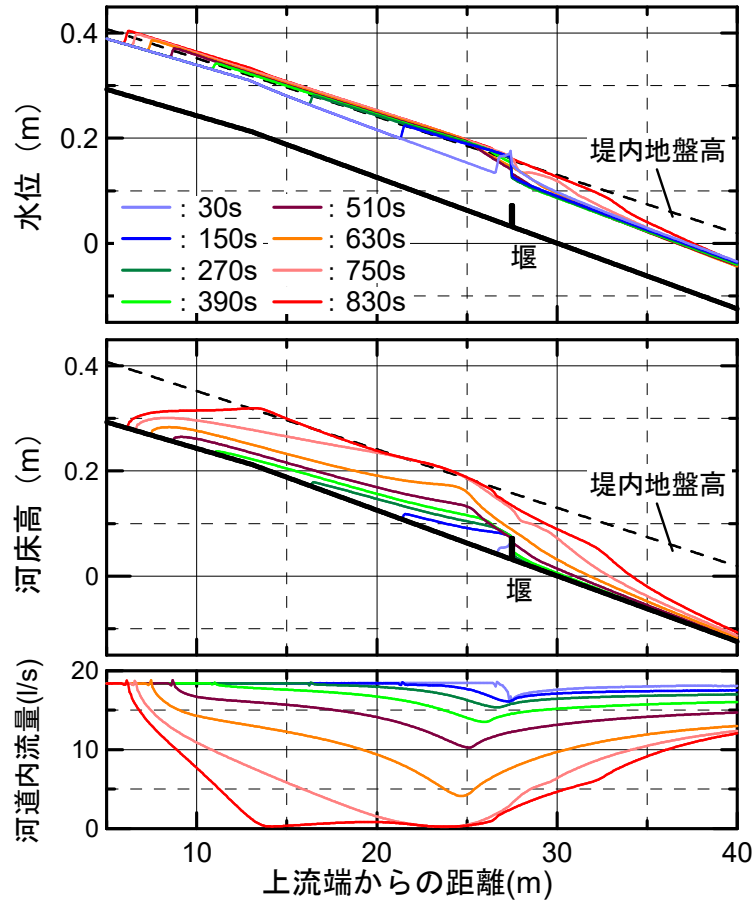


図.技 2-1-2-12 河道からの氾濫が堆積高に及ぼす影響の計算結果

3

4 3. 本事象に関する基礎的知見（まとめ）

5 <本事象の基本的特徴（実態分析）>

- 6 ✓ 河口から数 km（赤谷川では 5km 以上）と長い区間において大量の土砂が堆積し、概
- 7 ね河岸高程度まで河道を埋塞する。
- 8 ✓ 1 出水中という短い時間において、長い河道区間の土砂埋塞が進行する。
- 9 ✓ 堆積した土砂の粒径は、元の河床主材料に比べ 1～2 オーダー小さい（赤谷川では中砂
- 10 ～細礫の粒径集団が堆積）。

11

12 <本事象のプロセス（実験、計算）>

- 13 ✓ 以下に示す堆積区間の上流延伸過程を辿る。
- 14 a) 堰直上流では水位せき上げが生じ、せき上げ区間に土砂が堆積する。
- 15 b) 土砂堆積の影響により、水位せき上げ区間が上流に延伸する。

c) 新たに生じた水位せき上げ区間に土砂が堆積する。

d) 上記 b) 及び c) を繰り返し、堆積区間が上流方向に延伸する。

✓ 堆積区間の上流延伸速度は、1 時間あたり、水位のせき上げ影響を受けない等流区間の水深の 500 倍以上となり、細粒土砂の濃度が高いほど上流延伸速度が大きくなる。

✓ 堆積区間の上流延伸過程において、土砂堆積により河道内流量が減少し、掃流力が低下することで、河道内における土砂の過剰堆積を引き起こす。やがて河岸高まで堆積し、河道を埋塞する状態に達する。

<本事象の発生条件（実験）>

✓ 本事象を評価するためには、土砂堆積の起点を適切に評価・抽出することが重要である。

✓ 本事象の発生条件は摩擦速度・沈降速度比 u_* / w_0 により評価が可能である。

✓ u_* / w_0 が大きく減少し、一定の閾値を下回った局所区間が、土砂堆積の起点となる。

✓ 堆積の起点となりうる地点があったとしても、全体の流況を表す等流区間の u_* / w_0 が一定以上の場合、堆積区間の上流延伸が生じない。

✓ 細粒土砂濃度が大きくなっても、土砂堆積の起点となる閾値、及び、上流延伸プロセスの上限となる閾値に変化が見られない。

✓ 高濃度の細粒土砂が供給された場合、 u_* / w_0 に代表される水理量の条件が整えば、大きな掃流力が生じる洪水ピーク付近であっても土砂堆積の上流延伸プロセスが生じ、速やかに堆積が進行することが理解される。

（参考文献）

- 1) 武内慶了・山本陽子・海老原友基・井上清敬・板垣修：急勾配河道区間に大量の細粒土砂が供給された場合の堆積・延伸過程，河川技術論文集，第 29 巻，pp.305-310，2023.
- 2) 山本晃一：沖積河川—構造と動態—，技報堂出版，p.101，2010.
- 3) 諏訪義雄・平舘治・谷口丞：澗沼川洪水観測施設における流砂観測結果の評価から明らかになった流砂観測の留意点，土木技術資料，第 44 巻，第 1 号，pp.62-67，2002.
- 4) 湯浅亮・大野純暉・中村賢人・小峯健太郎・村井雅姿・武内慶了：中小河川における大量の土砂・流木の影響を考慮した実用的な浸水範囲推定手法，河川技術論文集，第 32 巻，pp.481-486，2026.
- 5) Lane, E. W. and Kalinske, A. A. Engineering calculations of suspended sediment, Trans. AGU, Vol.22, pp.603-607, 1941.
- 6) 高橋保・里深好文：石礫型及び乱流型土石流の一般理論とその実用化モデル，砂防学会誌，Vol.55, No.3, pp.33-42, 2002.
- 7) 内田太郎：高濃度下の土粒子の沈降・流下について，基礎水理シンポジウム，土木学会，2016.

- 1 8) Itakura, T. and Kishi, T. Open channel flow with suspended sediment, Proc. of ASCE, J.
2 of Hyd. Div., Vol.106, No.HY8, pp.1325-1343, 1980.
3 9) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文
4 報告集，第 206 号， pp.59-69， 1972.
5

＜技術参考 2-1-3：本事象の影響を考慮することが望ましい流域及び河川区間＞

近年、顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した事例等を調査し、本事象の影響を考慮することが望ましい流域及び河川区間について調べた。

（１）本事象の影響を考慮することが望ましい流域を調査する際の指標

近年、長い河川区間において顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した河川を抽出した。同一イベントにおいて、その河川の近傍に位置するが同様の事象が発生しなかった河川および、その河川が合流するが同様の事象が発生しなかった河川も抽出し、当該事象発生の有無を説明する指標を分析した。顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が生じた河川には、全川ではなく一部区間でこれが生じた河川も存在した。このため、一部区間で生じた河川については、顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が生じた区間と生じなかった区間を分割した上で、指標の分析を行った。

1）流域面積～山地面積割合

上記抽出事例について、下流端における流域面積と山地面積割合の関係を調べた（本編、図 7-5）。流域面積については、国土数値情報流域界・非集水域データ（国土交通省国土政策局）から、GIS を用い調べた。山地面積割合については、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ（国土交通省国土政策局）を用い、当該流域内の森林と荒地の面積の合計を流域面積で除すことにより求めた。

図 7-5 より、流域面積が 20km² 程度以下、山地面積割合が 80% 程度以上の範囲で、顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した河川が分布することがわかった。この指標が持つ物理的意味については、例えば以下が考えられる。まず、山地面積割合について述べる。同一規模の豪雨であっても、山地面積割合が増大するほど、山地斜面からの土砂供給量が増大するという土砂供給ポテンシャルを表しているものと考えられる。次に流域面積について述べる。一般に、流域面積が大きくなるほど、小流域のピーク流量発生時刻が分散し、ピーク比流量が小さくなる傾向となる。ピーク流量発生時刻の分散により、流域面積が大きい河川では、ピーク時の土砂供給濃度が高くなりにくい傾向にあると考えられる。また、流域面積が大きくなるほど支川数が増大し、大量の土砂が山地部から供給されたとしても、支川に一定程度堆積しやすくなり、その結果として大量の土砂が供給されにくくなると考えられる（図.技 2-1-3-1）。

一方、この範囲内に、顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生しなかった河川も分布する。この要因として、近隣の河川流域ではあるものの降雨規模が相対的に小さかったこと、上流域に砂防堰堤が敷設されており、山地部で生産された大量の土砂の一部が、砂防堰堤により捕捉され、堰堤下流の河川に多くの土砂が供給されなかったことが考えられる。

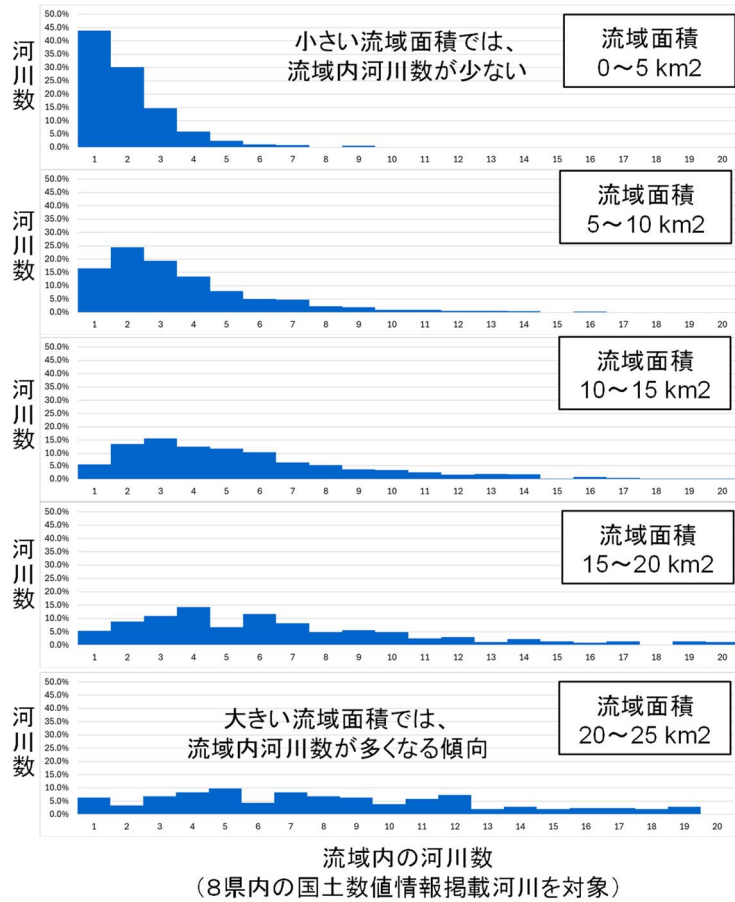


図.技 2-1-3-1 流域面積と流域内河川数の関係

2

3

2) 山地部の地質分類と発生状況

4

5

顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した事例について、山地部地質分類との関係を調べた（図.技 2-1-3-2、図.技 2-1-3-3）。

6

7

8

9

顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した事例では、山地部の代表的な地質が堆積岩（砂岩、礫岩、泥岩等）や火成岩（花崗岩、花崗閃緑岩等）である場合が多いが、変成岩である場合も存在する。このことから、発生の有無を地質分類により判断することは困難であると考えられる。

配の最大値を調べた（表.技 2-1-3-1）。調査にあたっては、対象河川の河床高縦断分布や航空写真（いずれも堆積前後）から、堆積区間および河床勾配を読み取った。この堆積前河床勾配の最大値は、堆積区間の上流端における河床勾配と概ね一致する。当該河川に合流する支川・溪流からの土石流による堆積と判断された区間は、整理の対象から除外した。一方、抽出した各河川の堆積区間には、相対的に大きな粒径が掃流状に流送され、堆積した区間も含まれる。

表.技 2-1-3-1 より、本事象が生じ得る河川区間の上流端河床勾配は、1/20 程度と考えられた。

表.技 2-1-3-1 細粒土砂の堆積区間における河床勾配の最大値（堆積前河道）

河川名（都道府県）	発生年月	堆積区間における河床勾配の最大値
赤谷川（福岡県）	平成 29 年 7 月	1/30 程度以上
白木谷川（福岡県）	平成 29 年 7 月	1/19 程度
大屋大川（広島県）	平成 30 年 7 月	1/22 程度
五福谷川（宮城県）	令和元年 10 月	1/22 程度
塚田川（石川県）	令和 6 年 9 月	1/25 程度

＜技術参考 2-1-4：橋梁の流木捕捉実態に関する全国調査結果＞

（１）流木捕捉橋梁に関する全国実態調査の概要

流木が橋梁に捕捉され堆積した全国の事例を調査し、全 63 事例を収集した。調査概要を以下に示す。

＜調査対象橋梁が位置する河川＞

- ・一級水系のうち、国が管理する支川
- ・一級水系のうち、都道府県管理区間
- ・二級水系の河川

＜対象期間＞

- ・過去 10 年間に生じた事例（平成 27 年～令和 6 年）

＜調査項目＞

- ・対象期間内に流木捕捉が発生した橋梁・堰等の横断工作物の諸元
- ・流木捕捉の状況を記録した写真・映像等
- ・周辺の浸水状況、家屋被害状況、人的被害状況
- ・当該河川の川幅・河床勾配・平面形状 等

（２）大量の流木堆積が生じた橋梁の条件

収集した 63 事例のうち、河道全体に流木が堆積し、橋梁から上流区間にも流木が広く堆積した状態が 19 事例あった（図.技 2-1-4-1）。本事象の土砂堆積起点となる可能性が高く、また、大量の流木堆積自体が周辺の浸水位上昇をもたらすことを踏まえ、抽出された 19 事例について、流木堆積が生じた条件を調べ、洪水浸水想定区域図作成に流木堆積の影響を考慮することが重要である。そのため、19 事例について、橋梁の諸元等条件を調べた。これらの橋梁は、最小径間長が 20m 未満であるか、最小径間長が 20m 以上であっても桁下高が当該洪水時の河道水位を下回っていた。この実態を踏まえ、本事象の土砂堆積起点となる可能性が高く、それ自体が周辺の浸水位上昇をもたらすような大量の流木堆積が生じる橋梁の条件は、1)最小径間長が 20m 未満の橋梁、又は、2)桁下高が当該地点の洪水水位より低い橋梁として設定することとした（本編、図 7-8）。解説・河川管理施設等構造令（技報堂出版）¹⁾には、大量の土砂の流出があった際の事例、流木が集団で流下した際の事例、及び計画高水位を超える出水により水位が桁下以上になった際の事例を除けば、最小径間長が 20m 以上ある橋が埋塞された事例は確認されていない、とされており、本技術参考で得られた知見と整合する。



図.技 2-1-4-1 大量の流木堆積が生じた事例

(3) 堆積後の流木堆積高

橋梁部への流木堆積状況に関する現地写真を調べた結果、大量に流木堆積した橋梁において、橋梁路面高から最大約 3m の高さまで流木が堆積していることがわかった (図.技 2-1-4-2)。



図.技 2-1-4-2 堆積流木の高さに関する事例

(参考文献)

1) 国土技術研究センター編：解説・河川管理施設等構造令，技報堂出版，2010.

＜技術参考 2-1-5：本手法のモデル河川への適用例＞

1. 筑後川水系赤谷川への適用例

本編 7.4 に示す土砂・流木堆積の影響を考慮した浸水深分布の作成手法を、筑後川水系赤谷川に適用した事例を示す。本編の図 7-7（本手法のフロー）に示す手順に沿った構成としている。本稿では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨で生じた被害実態に対する再現性を確認することにより、本手法の適用性を調べた。従って、対象流量は想定最大規模流量ではなく、当該洪水時のピーク流量を用いていることに留意が必要である。

① 河道・氾濫原・山地等のデータ収集

3 章に記された河道・氾濫原等のデータに加え、橋梁、堰堤、床固等横断構造物の諸元を収集した。また、上流山地斜面に堆積する土砂の粒径調査も実施した。粒度分布については⑥に示す。

② 検討対象流量の設定

本稿での事例は、実際に生じた洪水氾濫の再現性確認が目的であるため、想定最大規模流量でなく、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時のピーク流量を用いた。

③ 流木捕捉橋梁の抽出及び流木堆積後断面の設定

最小径間長が 20m 未満、又は、桁下高が対象洪水水位未満（土砂堆積前河道により水位を算定）の橋梁を抽出した。抽出された橋梁に対し、本編図 7-9 に例示するように、橋梁の横断範囲内において、橋梁路面高+3m の高さまで流木が堆積するものとして、橋梁部堆積流木の断面形状を設定した。抽出された流木捕捉橋梁を図.技 2-1-5-1 に示す。

⑤ 堆積起点評価のための 1 次元不等流計算

上記④で作成したモデルに対し、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の実績流量（洪水浸水想定区域図作成にあたっては想定最大規模の流量）を与え、水位や河道部の摩擦速度 u_* (m/s) の縦断分布を計算した（図.技 2-1-5-1）。このとき、土砂堆積の起点となる箇所の抽出を目的とすることから、計算断面に与える粗度係数は、河道部の状況に応じた粗度係数として、 $n=0.034$ を与えた。なお、流木が堆積すると推定された橋梁断面における u_* を算定する際、1 次元不等流計算により得られた水位と、流木堆積前の河床高の差分として得られる水深を用いた。 u_* の算定にあたっては、式(2-1-5-1)を用いた。

$$u_* = \sqrt{gh_r I} \quad (2-1-5-1)$$

ここに、 g ：重力加速度(m/s²)、 h_r ：河道部水深(=水位と河道部河床高の差、m)、 I ：流下断面全体でみたエネルギー勾配（ ）である。

⑥ 堆積する土砂の粒径設定

1) 堆積し得る複数の粒径を幅広く設定

細砂から中礫に渡る 11 通りの粒径を設定した（0.03mm、0.05 mm、0.07 mm、0.2 mm、0.5 mm、1.0 mm、2.0 mm、3.0 mm、4.0 mm、5.0 mm、10.0 mm）なお、参考として、赤谷川の河床勾配は 1/165～1/46 であった（図.技 2-1-5-1）

2) 本事象を引き起こし得る土砂の粒径範囲の把握

本事象が発生するためには、 u_*/w_0 が縦断的に大きく減少し、堆積の起点となる局所区間が存在することが必要である。上記 1) で設定した粒径の沈降速度 w_0 (m/s) 及び⑤で得た u_* (m/s) の縦断分布を用いて、 u_*/w_0 の縦断分布を算定した（図.技 2-1-5-3）。なお、 w_0 は式(2-1-5-2)に示す Rubey 式^{1),2)}を用いた。

$$w_0 = \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36}{d_*}} - \sqrt{\frac{36}{d_*}} \right) \sqrt{(\sigma_s - 1)gd} \quad (2-1-5-2)$$

ここに、 σ_s ：土粒子の比重、 $d_* = (\sigma_s - 1)gd^3/\nu^2$ 、 ν ：水の動粘性係数(m²/s)である。

堆積の起点となる箇所の抽出方法例を示す。図.技 2-1-5-3 下段に示すように、 u_*/w_0 が流下方向に大きく減少している区間内の下流断面において、 u_*/w_0 が閾値を下回る地点を土砂堆積の起点として評価した。閾値に一定の幅を有するが、 u_* の算定精度や、土砂が高濃度で流下することによる沈降干渉効果の不確実性が含まれているため、この閾値を一意に決めることが困難である。本検討において、実際に堆積の起点となったと考えられた断面が抽出されるための u_*/w_0 の閾値を調べた結果、概ね 5～7 程度であった。

上記 1) で設定した 11 通りの粒径のうち、堆積の起点となり得る粒径範囲を調べた結果、0.5～3.0mm の土砂粒径範囲が抽出された（図.技 2-1-5-3 下段）。

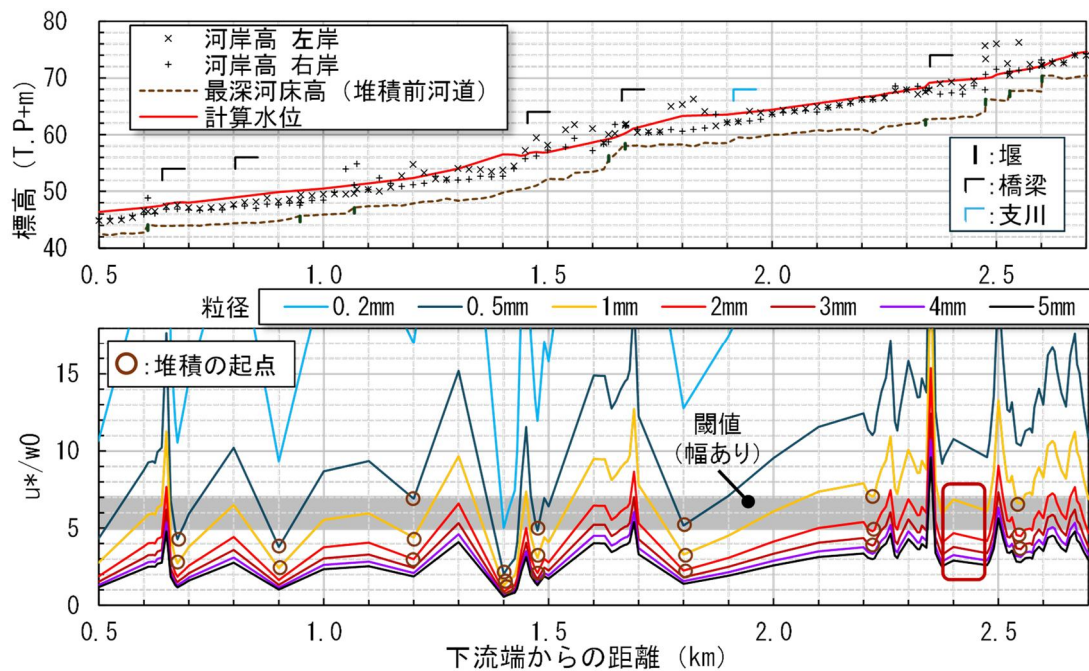


図.技 2-1-5-3 本事象を引き起こし得る土砂の粒径範囲の把握（赤谷川）

3) 得られた粒径範囲が山地斜面に少なからず堆積していることの確認

赤谷川上流域の山地斜面に堆積する土砂の粒度分布を図.技 2-1-5-4 に示す。変成岩、深成岩から成っており、それぞれの粒度分布をプロットしている。図.技 2-1-5-4 から、本事象を引き起こし得る土砂の粒径範囲（0.5～3.0mm）が、山地斜面土砂に少なからず含まれていることが確認できる。

4) 対象粒径の設定

山地部に堆積した土砂の粒度分布を、本事象を引き起こし得る土砂の粒径範囲内での粒度分布に修正する。新しく得られた粒度分布から得られる d_{60} を、対象粒径として設定した。本検討では、対象粒径を1mmとした。（図.技 2-1-5-5）

実際に赤谷川河道部に堆積した土砂の粒度分布と、⑥で求めた粒度分布の関係を図.技 2-1-5-6 及び図.技 2-1-5-7 に示す。赤谷川 4.0km 付近に合流する乙石川から供給され堆積した中礫程度（4～100mm）が多く含まれる 3.5km 及び 3.8km 地点を除き、多くの河道地点で、粒径範囲及び粒度分布が良く整合していることがわかる（図.技 2-1-5-6）。

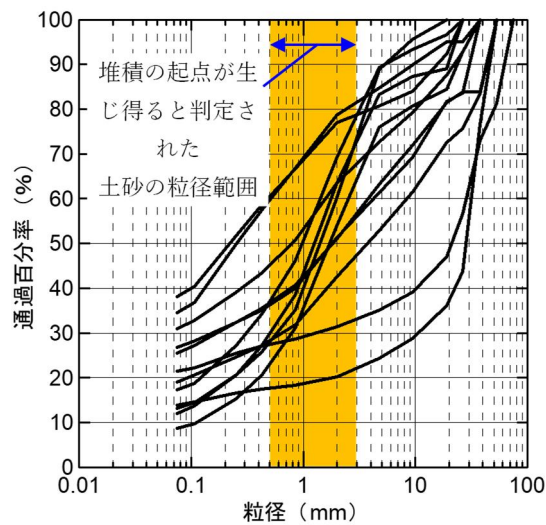


図.技 2-1-5-4 山地斜面に堆積する土砂の粒度分布（赤谷川）

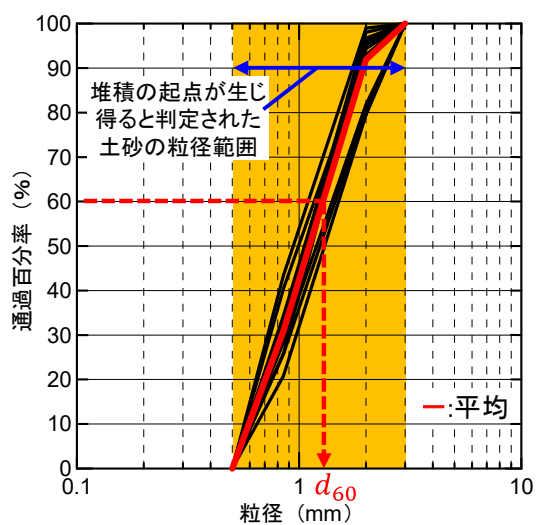


図.技 2-1-5-5 設定粒径範囲内での粒度分布（赤谷川）

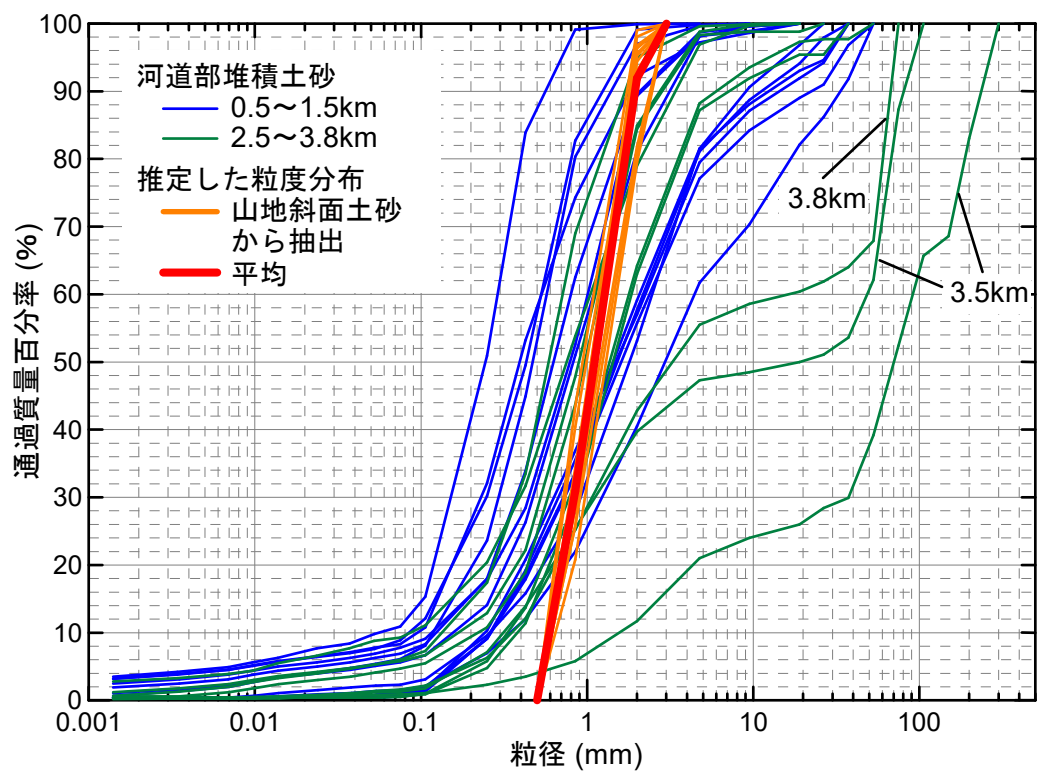
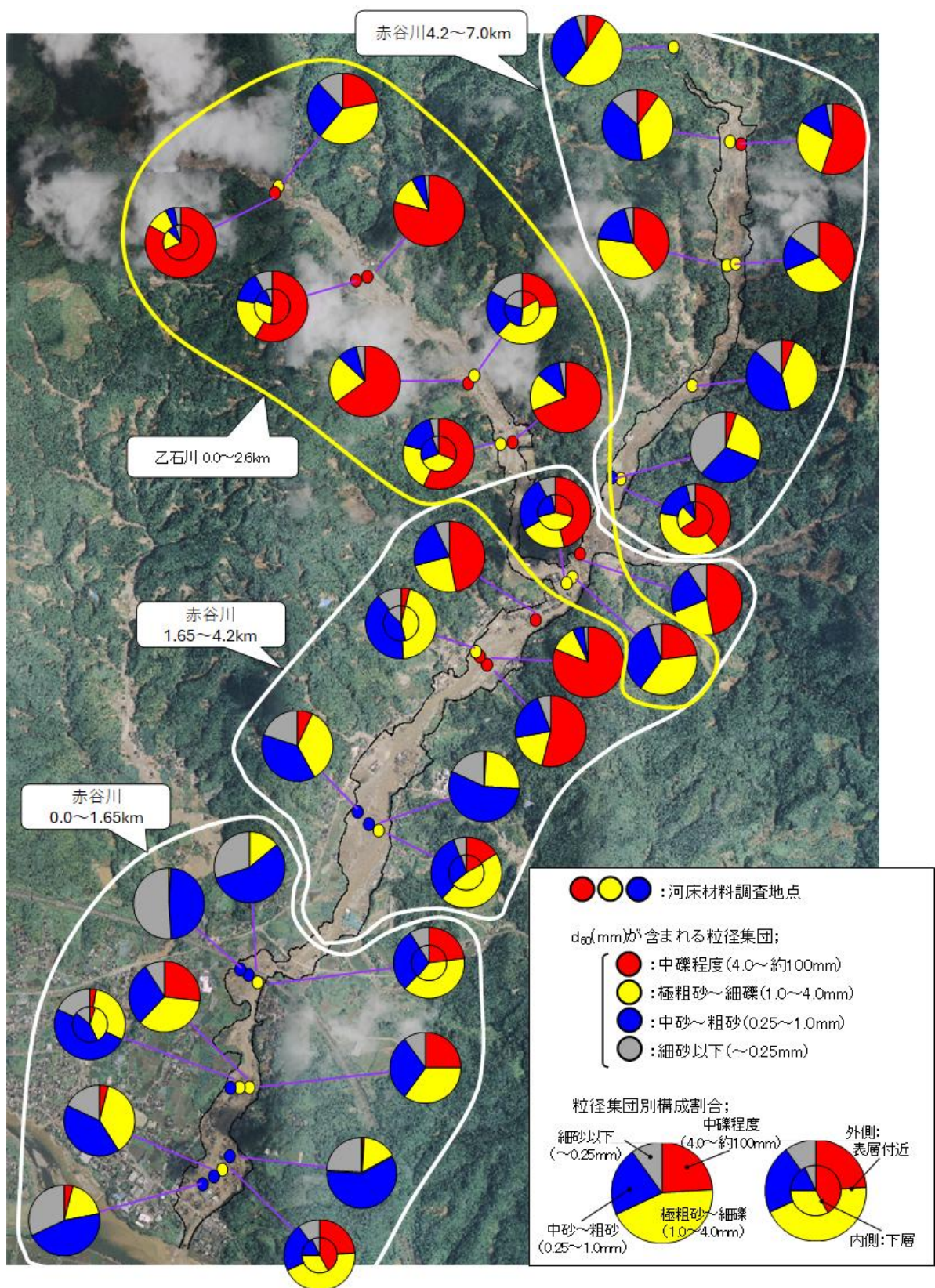


図.技 2-1-5-6 赤谷川河道部に堆積した土砂と推定土砂の粒度分布比較

1
2



1
2

図.技 2-1-5-7 赤谷川河道部に堆積した土砂の粒径集団別構成割合とその平面分布

⑦ 土砂堆積起点の評価

対象粒径を用い、土砂堆積起点の評価を行った。評価の方法は、上記⑥2)と同様とした。図.技 2-1-5-8 に示すように、流木堆積するとした橋梁を中心に、堆積の起点が抽出された。また、図.技 2-1-5-8 に示す筑後川本川との接続区間における背水影響区間 (0.0～0.65km) については、区間全体の u_*/w_0 が5未満と小さく、高濃度の細粒土砂が優位に堆積する水理条件であることが図.技 2-1-2-7 から見て取れる。このため、筑後川本川との接続区間における背水影響区間については、土砂堆積するものとして設定した。

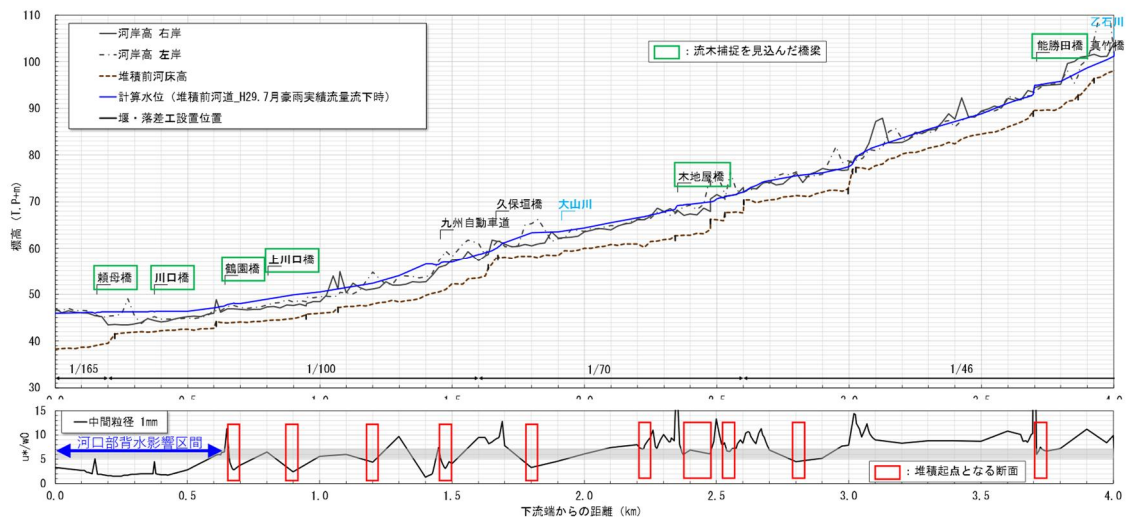


図.技 2-1-5-8 土砂堆積の起点推定結果 (赤谷川)

⑧ 土砂・流木堆積後の河道の縦横断形状の推定

土砂堆積の起点から上流方向に堆積区間が延伸し、河岸高まで埋塞するプロセスに基づき、筑後川本川との接続区間における背水影響区間に土砂が堆積するものとして、堆積後の河床高縦断分布を推定した (図.技 2-1-5-9)。上記④との違いは、河道部への土砂堆積の有無のみであり、橋梁部の流木堆積の考慮や氾濫原の地形は共通している。堆積後横断形状の推定結果例を図.技 2-1-5-10 に示す。赤谷川では、実洪水時に合流先河川水位が低かったため、河口区間には十分土砂が堆積しなかった。河口区間を除き、堆積後の河床高縦断形は、実績を概ね良く再現していることがわかる。

- 1 河道部への土砂堆積を考慮することにより、堆積前に比べ水位が高くなっており、痕跡
- 2 水位も良く説明できていることがわかる。

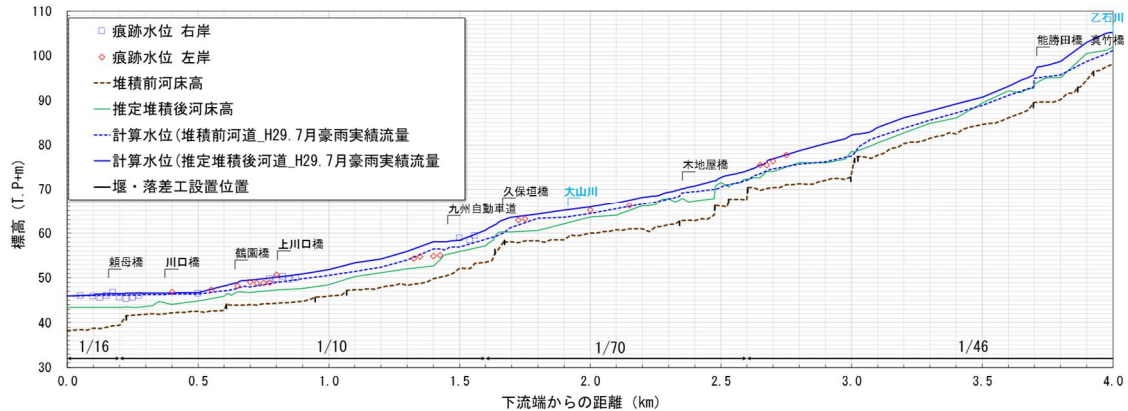


図.技 2-1-5-11 河道への土砂堆積を考慮した場合の水位縦断分布（赤谷川）

- 3
- 4 ⑩ 土砂・流木堆積の影響を考慮した浸水深分布の図化

5 得られた水位縦断分布から、浸水範囲及び浸水深の平面分布図を作成した（**図.技 2-1-5-**

6 **12 及び図.技 2-1-5-13**）。土砂堆積を考慮しない場合（左図）では、実績より小さい範囲で

7 の浸水範囲となっていることがわかる。一方、土砂堆積を推定した場合（右図）では、実

8 績浸水範囲を良く再現できていることがわかる。但し、ごく一部の範囲で実績より小さい

9 範囲の浸水となった。洪水後の航空写真等により詳細を調べた結果、これら範囲は、周囲

10 の氾濫原より一段高く、背後山地からの土砂流出による被害によるものであり、赤谷川か

11 らの洪水氾濫による浸水範囲ではないことが推定された。

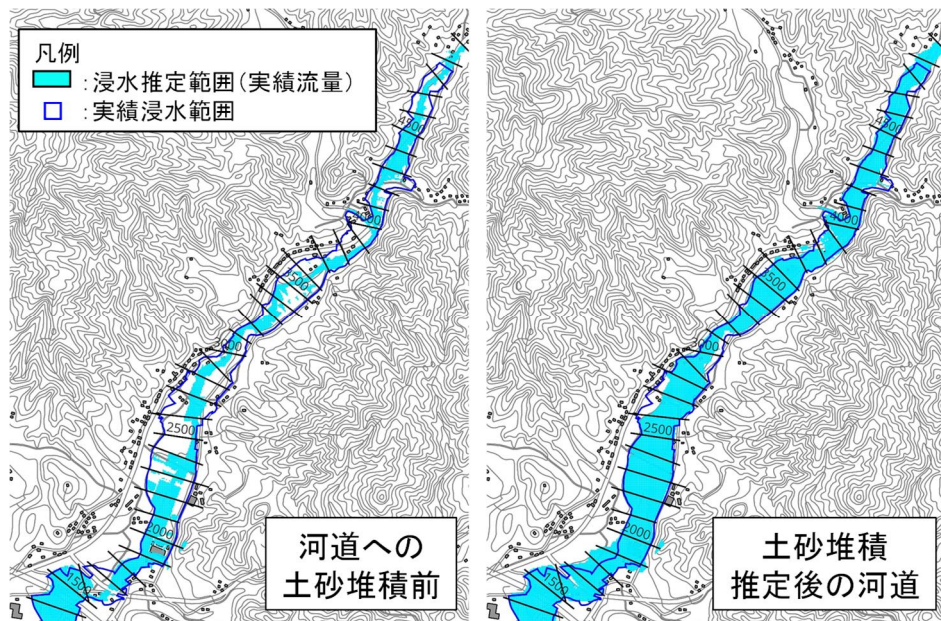


図.技 2-1-5-12 浸水範囲の図化（赤谷川）

（左図：河道への土砂堆積前、右図：土砂堆積推定後の河道）

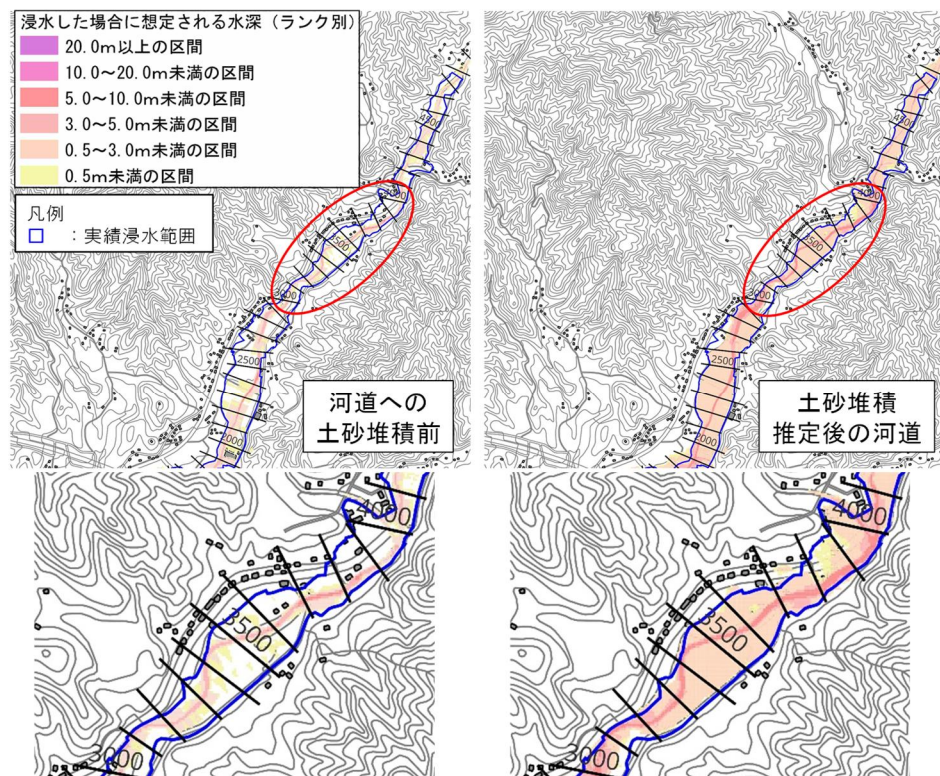


図.技 2-1-5-13 浸水深の図化（赤谷川）

（左図：河道への土砂堆積前、右図：土砂堆積推定後の河道）

1

2

2. 塚田川への適用例

(1) 堆積後の河床高縦断分布推定（塚田川）

令和6年9月能登半島豪雨後に実施した現地調査の土砂堆積状況から、対象粒径を $d = 1\text{mm}$ と設定した。この粒径を対象に、 u_* / w_0 の縦断分布を算定し、土砂堆積の起点を抽出した（図.技 2-1-5-14）。なお、最小径間長が20m未満、又は、桁下高が対象洪水水位未満（土砂堆積前河道により水位を算定）の橋梁に流木が堆積するものとした。流木が堆積すると判定された橋梁断面については、本編図 7-9 に例示するように、橋梁の横断範囲内において、橋梁路面高+3mの高さまで流木が堆積するものとして、橋梁部堆積流木の断面形状を設定した。令和6年能登半島地震により河口部が隆起し、河口部背水影響区間（0.0～0.065km）には低下背水が生じ、その結果、この区間の u_* / w_0 は大きく、有意な土砂堆積が生じにくい流況であった（図.技 2-1-5-14）。このため、塚田川では、0.065kmより下流の河口部背水影響区間では土砂堆積が生じないものとした（図.技 2-1-5-14）。

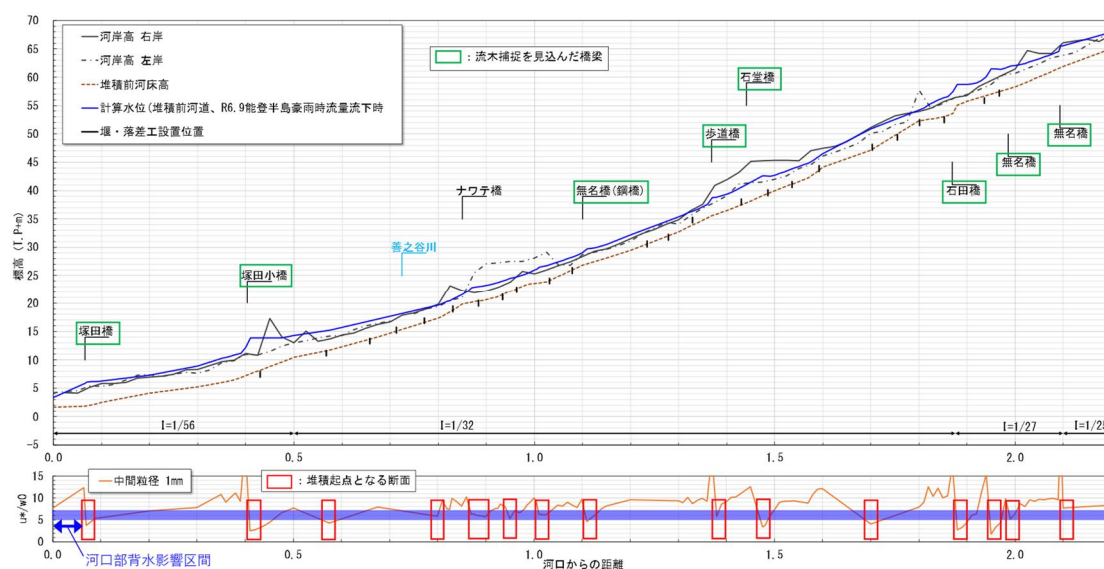


図.技 2-1-5-14 土砂堆積の起点の推定結果（塚田川）

(2) 土砂及び流木の河道堆積を考慮した1次元不等流計算（塚田川）

赤谷川において、⑨堆積後断面での1次元不等流計算時に、計算断面全体に与える粗度係数は $n=0.10$ 程度であった。この設定値の妥当性を調べるため、塚田川（令和6年9月能登半島豪雨）においてもこの値を適用し、痕跡水位の再現性を確認した。

現地調査時の採取材料から対象粒径を $d=1\text{mm}$ と設定した。その上で、建物や樹木群の死水域設定、流木捕捉橋梁の推定、土砂堆積の起点評価、堆積後の河道の縦横断形状の推定については、手引き 7.4.1 に基づいた。なお、(1) に記したとおり、低下背水により閾値を

上回る u_*/w_0 が連続する河口部背水影響区間(0.0~0.065km)については、土砂堆積が生じないものとして堆積後断面を推定した。

計算断面には、氾濫原に流木堆積等が見られた塚田小橋(0.4km)より上流区間の粗度係数は $n=0.10$ を、それより下流区間では $n=0.05$ を与え、1次元不等流計算を実施した。図.技 2-1-5-15 に示すとおり、痕跡水位を良く再現できていることが確認できる。粗度係数 $n=0.10$ としたことで高い再現性が得られた要因として、氾濫原の地被状況も考慮した合成粗度や氾濫原に堆積する流木抵抗のほか、大量の土砂が流水に混入することによる単位時間当たりの通過体積量が増加していること等が考えられる。

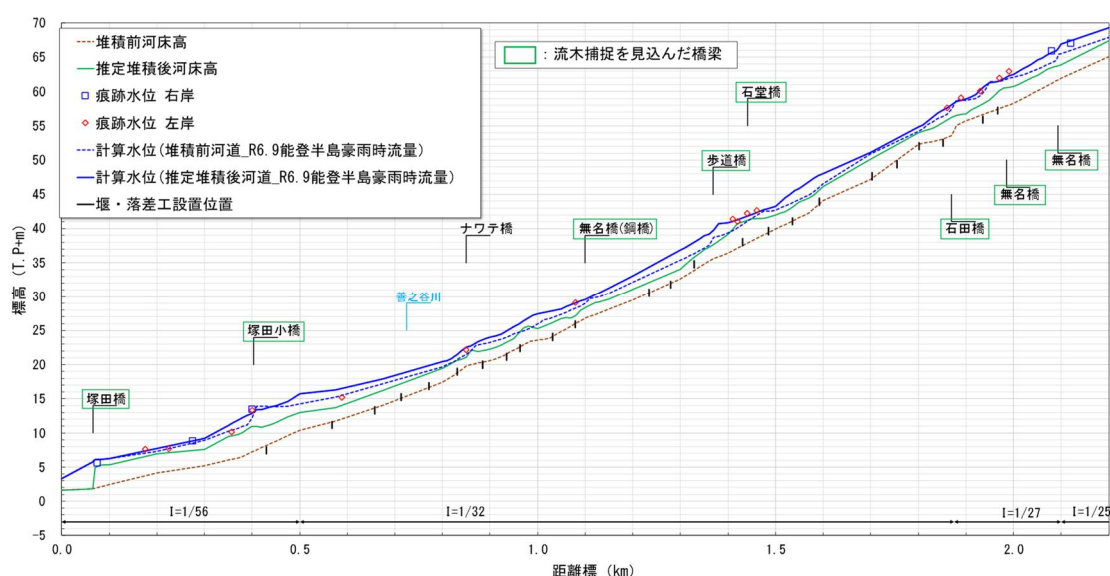


図.技 2-1-5-15 河道への土砂堆積を考慮した場合の水位縦断分布(塚田川)

(3) 浸水範囲の再現性

次に、得られた水位計算結果から、浸水範囲を図化した(図.技 2-1-5-16)。土砂堆積を考慮しない場合(上図)では、実績より小さい範囲での浸水範囲となり、氾濫原の浸水深分布も小さいことがわかる。これに対し土砂堆積を推定した場合(下図)では、実績浸水範囲を良く再現できていることがわかる。

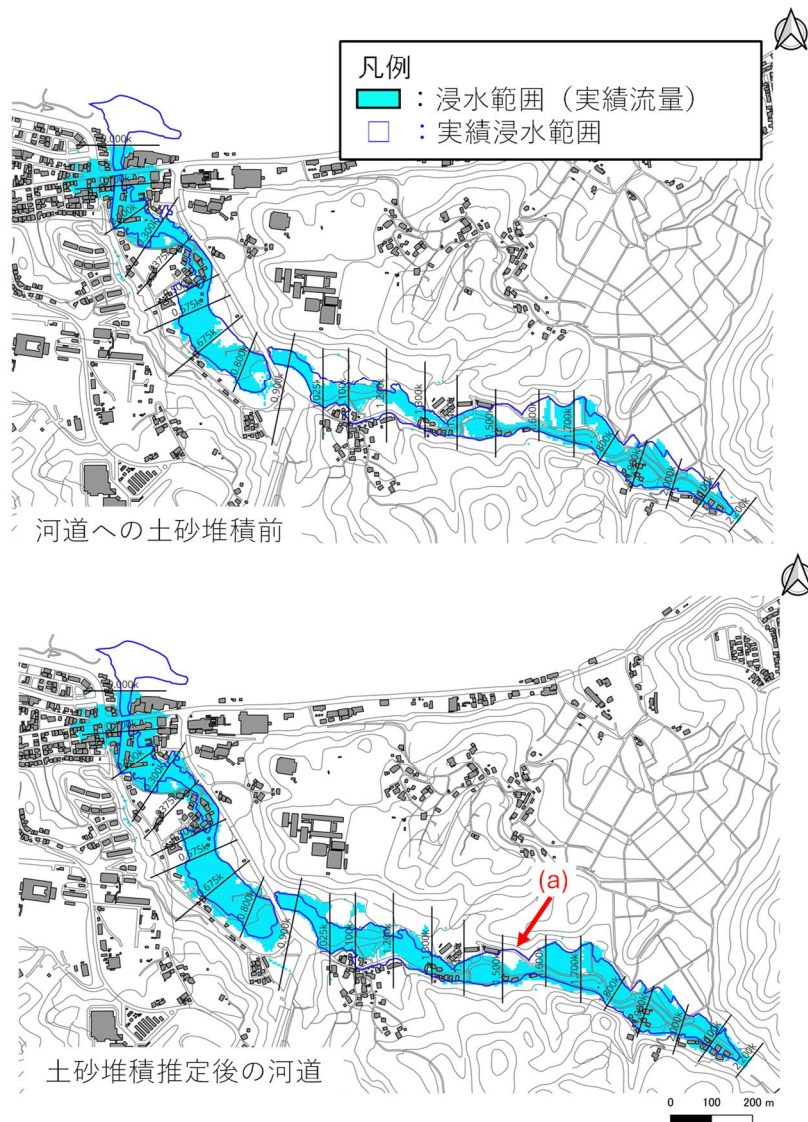


図.技 2-1-5-16 浸水範囲の図化（塚田川）

（上段：河道への土砂堆積前、下段：土砂堆積推定後の河道）

（４）上流での氾濫流が氾濫原を流下することによる浸水範囲（留意事項）

土砂・流木の堆積状況を推定した場合においても、一部範囲で浸水しない計算結果となる場合がある（図.技 2-1-5-16、下段の(a)）。この要因について示す。浸水しなかった範囲(a)の地盤高は、痕跡水位や土砂・流木の堆積推定後河道における計算水位より、一段高い位置にある（図.技 2-1-5-17）。洪水後の航空写真等を判読した結果、上流側 1.85km 付近の橋梁に流木が大量堆積し、右岸側の農地に氾濫した。この氾濫流は迂回するようにそのまま氾濫原を流下し、浸水しなかった範囲(a)に到達したことが読み取れた（図.技 2-1-5-17 下段、氾濫流の流下イメージ）。この現象は 1 次元不等流計算では記述できない現象である。このため、以下のことに留意する必要がある。

【留意事項】

- ✓ 上流側で氾濫した流れは、一次元不等流計算水位よりも高い氾濫原をそのまま流下する場合がある。
- ✓ 当該区間において浸水が生じていない氾濫原が存在する場合、その氾濫原の上流側の氾濫原で浸水する計算結果が得られていれば、当該区間の算定水位よりも高い領域で氾濫流が氾濫原を流下する可能性を考慮する必要がある。
- ✓ 当該エリアの浸水位については、上流区間での氾濫流量を求め、等流近似、あるいは、畔等線状盛土高に越流水深を加える方法が考えられる。

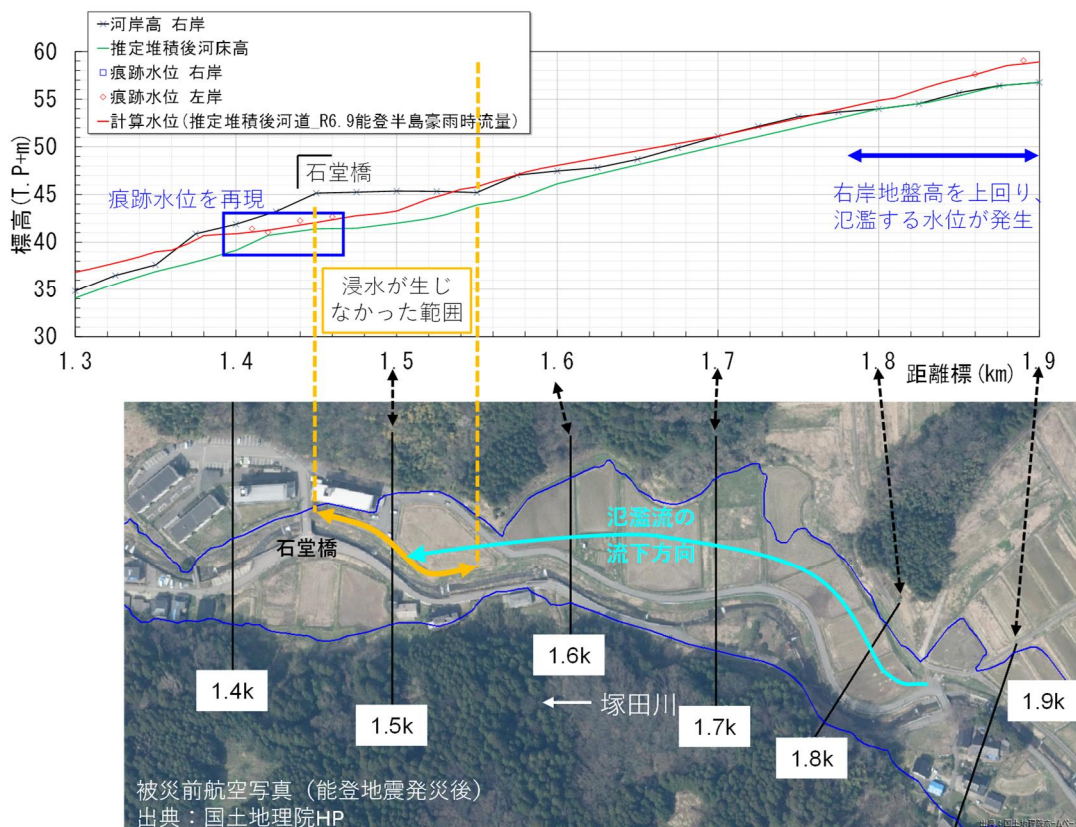


図.技 2-1-5-17 上流側での氾濫がそのまま氾濫原を流下する事例（塚田川）

3. 白木谷川、鈴屋川への適用例

(1) 白木谷川流域（筑後川水系、福岡県）への適用

上記1. 及び2. と同様の方法により、平成29年7月九州北部豪雨時に白木谷川流域で生じた浸水範囲の再現性を確認した。土砂災害警戒区域及び土砂災害特別警戒区域に本現象による浸水範囲を重ね合わせた（図.技 2-1-5-18）。土砂及び流木の河道堆積を推定したことにより、実績浸水範囲の再現性が向上したことが確認できる。しかし、一部範囲で浸水範囲を再現できなかった（図.技 2-1-5-19）。洪水後の航空写真から、浸水範囲を再現できなかった範囲では、氾濫原をそのまま流下したとみられる滞筋が複数確認できる。このことから、上流にある建物と樹木の間から氾濫流が生じ、氾濫原をそのまま流下したものと考えられる。この現象は、塚田川（2.（3））と同様と考えられる。

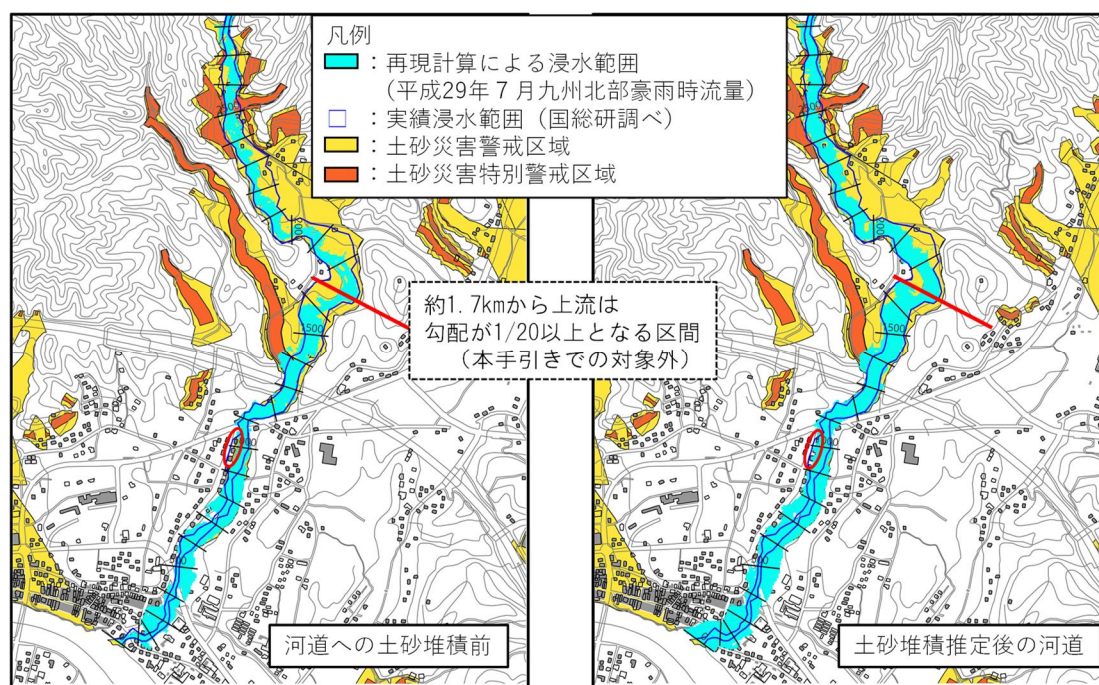
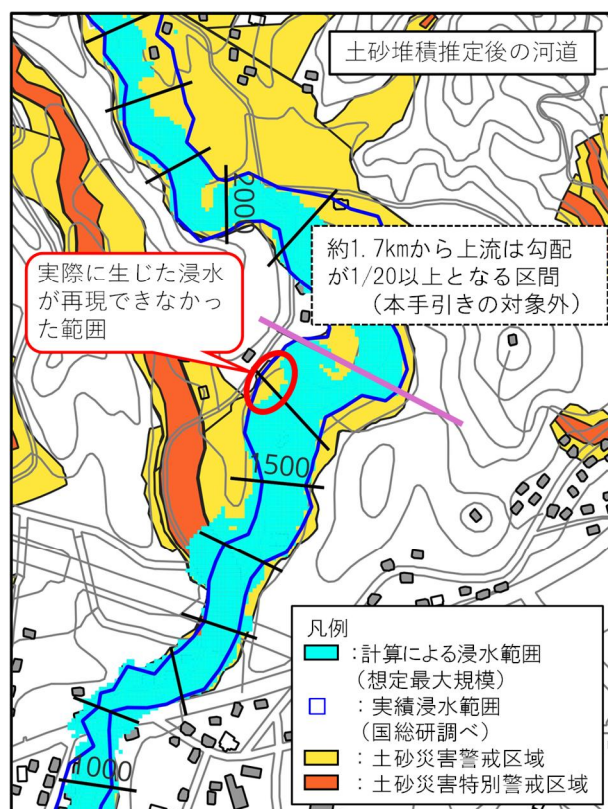
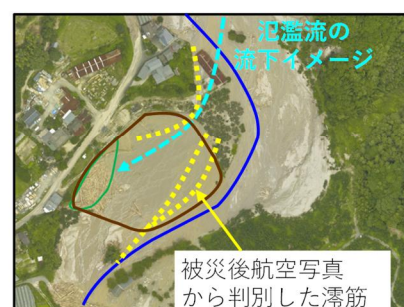


図.技 2-1-5-18 浸水範囲の図化（白木谷川）
（左図：河道への土砂堆積前、右図：土砂堆積推定後の河道）



- ・ 浸水しなかった範囲の被災後航空写真では、複数の滞筋が確認できる（黄色点線）。
- ・ 氾濫流の一部（水色点線）が建物・樹木間を通過し、塚田川と同様に上流部から棚田部を流下したと推定される。



被災後航空写真 (2017年)
出典：国土地理院HP

図.技 2-1-5-19 上流側での氾濫がそのまま氾濫原を流下する事例（白木谷川）

1

2 (2) 鈴屋川流域（町野川水系、石川県）への適用

3 上記1. 及び2. と同様の方法により、令和6年能登半島豪雨時に鈴屋川流域で生じた浸
 4 水範囲の再現性を確認した。土砂災害警戒区域及び土砂災害特別警戒区域に本事象による
 5 浸水範囲を重ね合わせた（図.技 2-1-5-20）。土砂や流木の堆積前河道では、多くの箇所
 6 実績を下回る浸水範囲となったが（図中赤丸の範囲）、大量の土砂及び流木の河道堆積を推定
 7 したことにより、実績浸水範囲の再現性が向上したことが確認できる。しかし、一部範囲で
 8 浸水範囲が再現されなかった（図中黒丸の範囲）。この範囲は、洪水前に発生した能登半島
 9 地震に伴う山地崩壊箇所である。地盤高を確認すると、最大で推定浸水位より7m程度高い
 10 位置にあり、この範囲が洪水により浸水したとは考えにくい。このことから、鈴屋川におい
 11 て大量の土砂及び流木の河道堆積を推定したことにより、実績浸水範囲を十分再現した結
 12 果が得られたと言える。

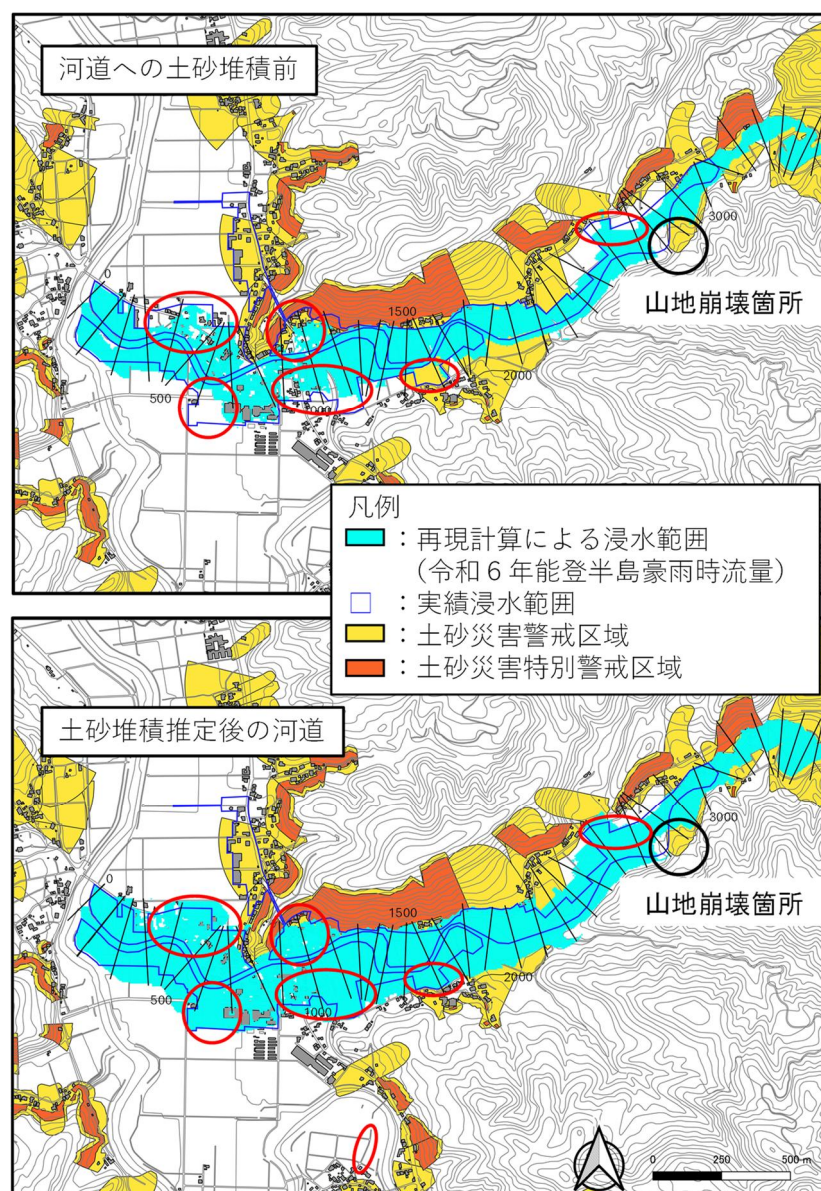


図.技 2-1-5-20 浸水範囲の図化（鈴屋川）

（上段：河道への土砂堆積前、下段：土砂堆積推定後の河道）

4. 地質分類に着目した本手法の適用性（まとめ）

筑後川水系赤谷川及び白木谷川（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）、塚田川水系塚田川（令和 6 年能登半島豪雨）、町野川水系鈴屋川（令和 6 年能登半島豪雨）を対象に、手引きに示した本手法を適用し、河川水位や浸水範囲で見た再現性が高いことが確認された。対象とした 4 河川の山地部における主な地質分類を表.技 2-1-5-1 に示す。山地部の主な地質分類が異なるものの、浸水範囲から見た本手法の適用性が高いことが確認できる。なお、本手法に基づき、河道に堆積する土砂の対象粒径を設定した結果、4 つの河川とも 1mm 程度となった。

表.技 2-1-5-1 再現計算対象とした河川流域の山地部における主な地質分類

対象河川名	都道府県	豪雨災害	山地部の主な地質分類
赤谷川 (筑後川水系)	福岡県	平成 29 年 7 月 九州北部豪雨	火成岩、変成岩
白木谷川 (筑後川水系)	福岡県	平成 29 年 7 月 九州北部豪雨	火成岩
塚田川 (塚田川水系)	石川県	令和 6 年 能登半島豪雨	堆積岩
鈴屋川 (町野川水系)	石川県	令和 6 年 能登半島豪雨	堆積岩

(参考文献)

- 1) Rubey, W.W. : Settling Velocities of Gravel, Sand and Silt Particles, Amer. Jour. Sci., Vol.25, pp.325-338, 1933.
- 2) 土木学会水工学委員会水理公式集編集小委員会：水理公式集（2018 年版），土木学会，p.283，2019.

＜技術参考 2-1-6：地質分類ごとの粒径分布＞

図.技 2-1-3-3 に示す地質の分類ごとに、山地斜面に堆積する土砂の粒径分布の調査結果例を示す（図.技 2-1-6-1～図.技 2-1-6-3）。火成岩、変成岩については、主に崖錐堆積物（上層、中層、下層）の粒径分布を示している。なお、細粒分が少なからず流出していると考えられる土石流堆積物の粒径分布調査結果は対象外としている。堆積岩については、深層崩壊箇所の滑落崖面に付着していた破碎土壌の粒径分布を示している。

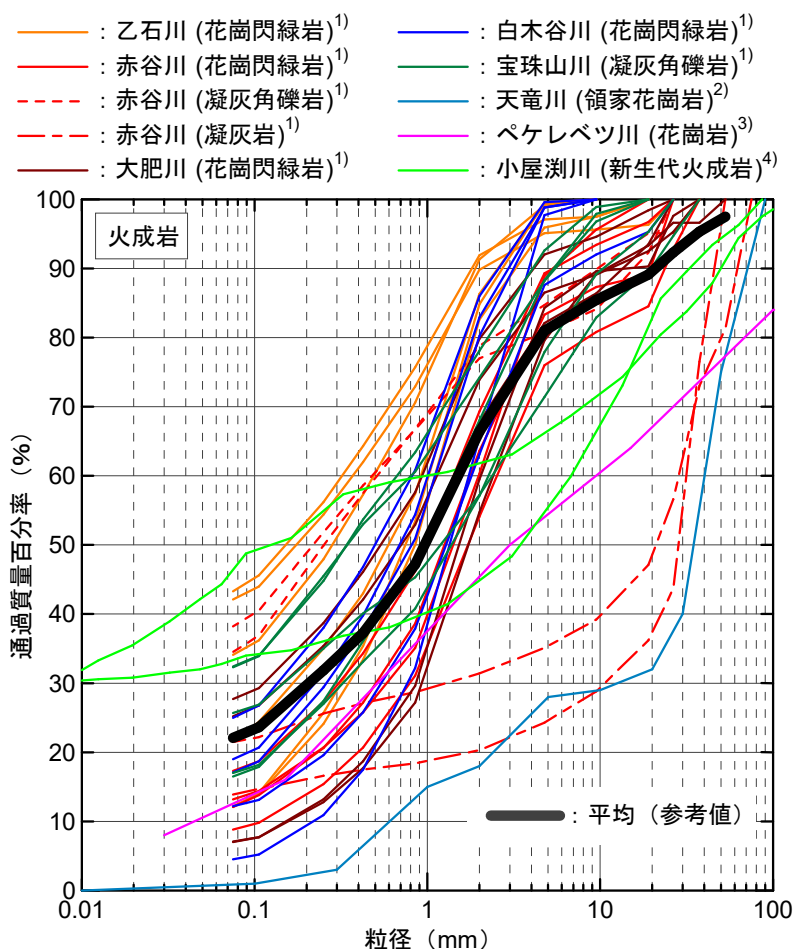


図.技 2-1-6-1 山地斜面に堆積する土砂の粒径分布の調査結果例（火成岩）

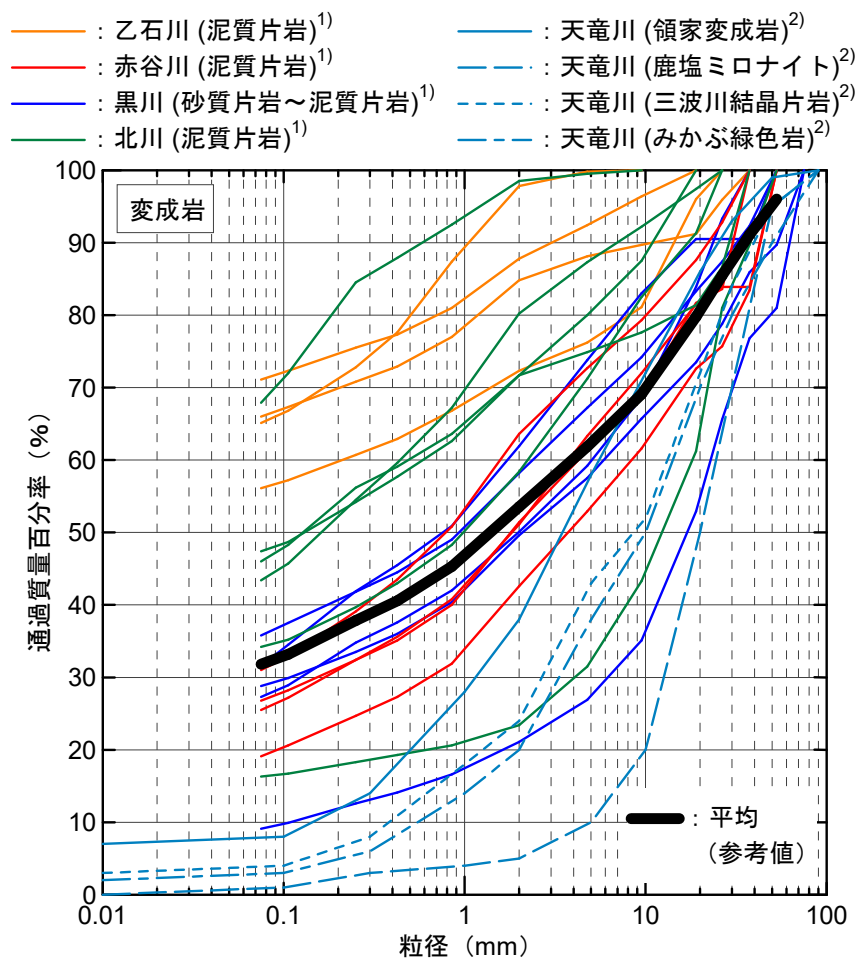


図.技 2-1-6-2 山地斜面に堆積する土砂の粒径分布の調査結果例 (変成岩)

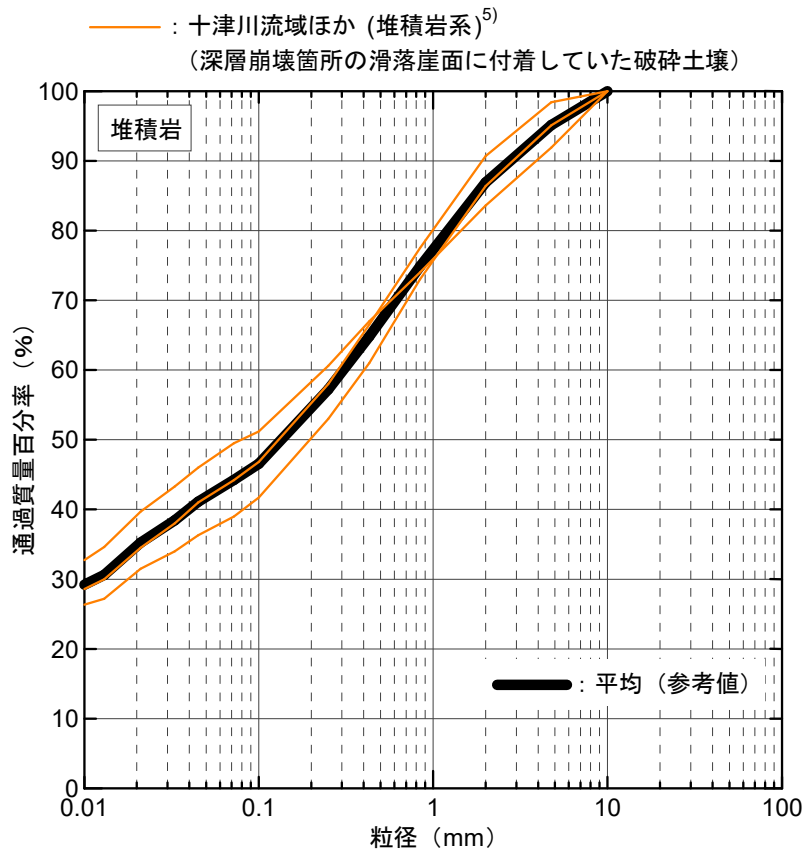


図.技 2-1-6-3 山地斜面に堆積する土砂の粒径分布の調査結果例 (堆積岩)

(参考文献)

- 1) 国総研水害研究室による調査結果 (2018 (H30))
- 2) 高秀秀信・久津見生哲・藤沢寛：水系における土砂動態システムについて，第 27 回水理講演会論文集，pp.767-772，1983.
- 3) 木戸理歩・井上卓也・山野井一輝：山地流域における河岸侵食による川幅の拡大と遮蔽効果を考慮した土砂流出モデル，土木学会論文集，Vol. 81, No. 16, 24-16056, 2025.
- 4) 小林拓也・高橋和樹：現地調査報告－令和 6 年 7 月の大雨に起因する災害調査－，sabo，Vol.137，pp.8-11，2025.
- 5) 木下篤彦・北川眞一：平成 23 年台風 12 号による深層崩壊のメカニズムに関する検討，平成 24 年度近畿地方整備局研究発表会論文集，防災・保全部門，No.3，pp.1-6，2012.

＜技術参考 2-1-7：海域や合流先河川との接続区間の背水影響区間における土砂堆積状況＞

海域や合流先河川との接続区間の背水影響区間は、区間全体の掃流力が小さくなる傾向にあることから、技術参考 2-1-2 とは異なり、掃流力が急激かつ局所的に減少することによる堆積の起点がなく、本事象が生じない場合がある。このため、長い河道区間において大量の土砂及び流木が堆積した事例を調査し、実態から背水影響区間の堆積高を設定する方法とした。

海域や合流先河川との接続区間の背水影響区間の堆積後河床高と河岸高との関係を整理した結果を図.技 2-1-7-1 に示す。海域や合流先河川との接続区間の背水影響区間では、合流先河川とのピーク水位発生の日時間差や合流点形状の違い等により、洪水後の堆積形状にばらつきがあった。この中で、堆積後河床高の最大値は、河岸高と同等であった（図中、下馬沢川）。下馬沢川河口部の洪水後の状況を図.技 2-1-7-2 に示す。想定最大規模における洪水浸水想定区域図作成の趣旨に鑑みれば、起こり得る最大の被害を見積もることが重要である。このことから、既往事例で生じた、河岸高を基準とした堆積後河床高の最大値を設定することが合理的である。

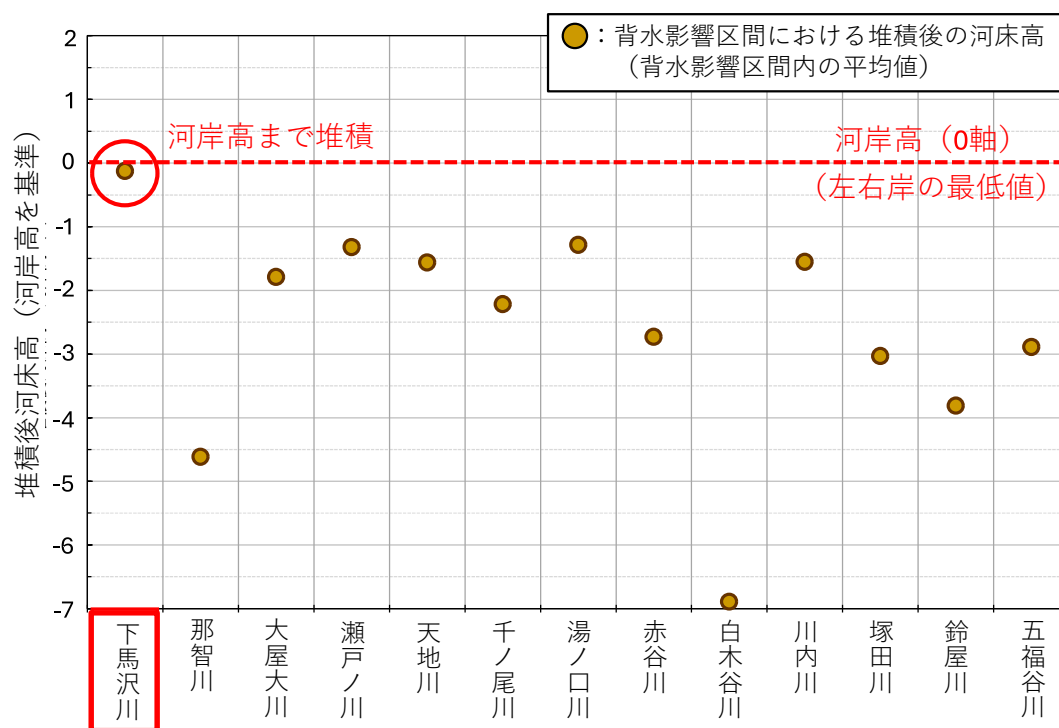


図.技 2-1-7-1 海域や合流先河川との接続区間の背水影響区間における河岸高を基準とした堆積後河床高の実績



図.技 2-1-7-2 下馬沢川（天竜川水系、長野県）河口部における洪水後の土砂堆積状況

- 1
- 2
- 3

＜技術参考 2-1-8：本事象の影響が現れやすい地形的特徴＞

大量の土砂・流木堆積の影響を考慮した場合としなかった場合の 1 次元不等流計算結果から得られた浸水範囲の比較を図.技 2-1-5-12、図.技 2-1-5-13（赤谷川）に示す。評価結果としての浸水範囲が拡大したのは、河道幅に比べて氾濫原幅が大きい区間に多く見られる。一方、山付き等、氾濫原幅が小さい区間では、浸水深は大きくなるものの、浸水範囲が拡大しにくいことがわかる。一般に、氾濫原幅が広い区間には建物等資産が分布する場合が多いことから、このような地形を持つ区間において、大量の土砂・流木堆積の影響を考慮した洪水浸水想定区域図を作成することが望ましい。

＜技術参考 2-1-9：その他の留意事項＞

1) 河道・氾濫原一体型の平面 2 次元不定流計算を用いる場合

河道・氾濫原一体の平面 2 次元不定流モデルを採用する場合、7.4.1 ⑤（堆積起点評価のための計算）に示す、河道部における摩擦速度 u_* (m/s)の縦断分布算定時において留意が必要となる。河道部における u_* (m/s)の縦断分布は、土砂堆積の起点となり得る地点を見落としなく抽出するために重要である。そのため、河道横断方向に複数の計算メッシュが存在する場合、 u_* (m/s)の最小値を抽出することが望ましい。

なお、河道・氾濫原一体型の平面 2 次元不定流計算による浸水深分布評価事例（橋梁部の流木堆積、河道部土砂堆積による浸水範囲の変化）を、**図.技 2-1-9-1**に示す。

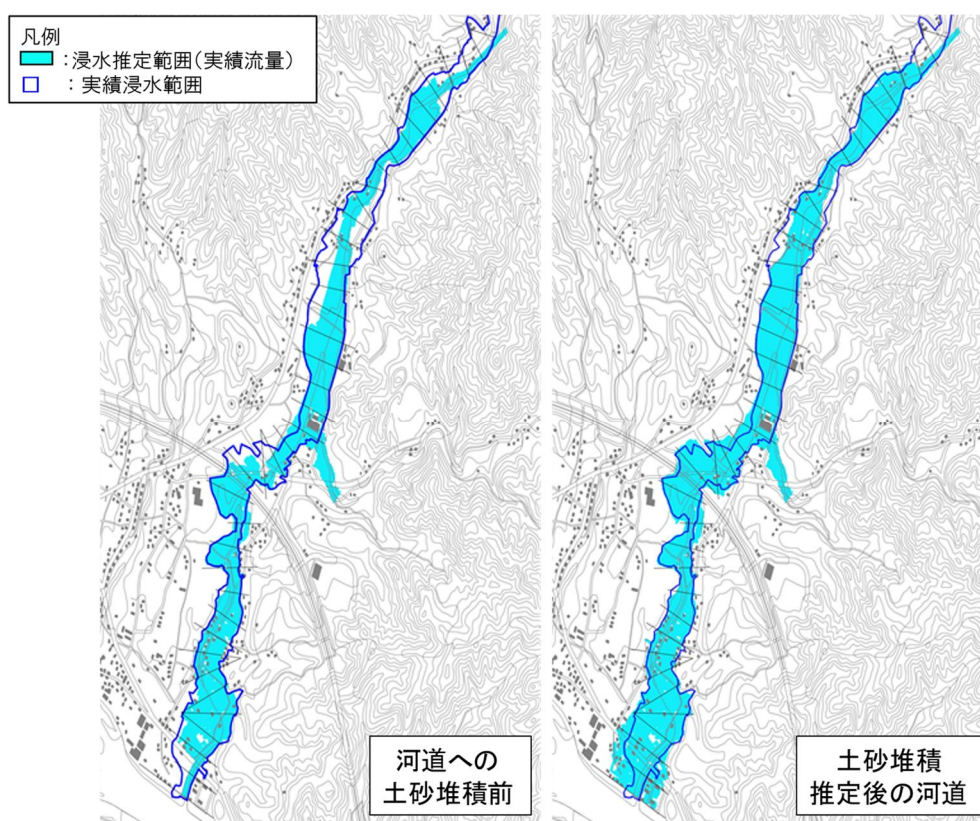


図.技 2-1-9-1 河道・氾濫原一体型の平面 2 次元不定流計算結果を用いた実績浸水範囲の再現性確認事例（赤谷川）

〔左図：河道への土砂堆積前、右図：土砂堆積推定後の河道
河道への土砂・流木状況（右図）は、1 次元不等流計算結果に基づき推定〕

1
2 **2) 1次元不定流計算と平面2次元不定流計算を組み合わせる場合**

3 河道を1次元不定流計算、氾濫原を平面2次元不定流計算により計算を行って
4 いる場合には、7.4.1 ⑨（堆積後断面での計算）の実施時に留意が必要である。
5 橋梁部の流木堆積、河道部の土砂堆積を考慮した水位計算を行う際、河道部通過
6 流量が大きく減少し得ることから、河道からの氾濫流量を、越流公式等により別
7 途計算することの合理性が小さくなる。また、片側の氾濫原から河道部に横流入
8 してきた流れが対岸の氾濫原に移流するなど、平面二次元性の高い流れ場になる
9 ことが想定される。このような事象は、計算水位や浸水範囲に影響を与えるため、
10 河道・氾濫原一体の平面2次元不定流モデルに変更する等の対応が望ましい。
11

技術参考 2-2. (大量の土砂・流木堆積の影響考慮(家屋流失評価) 編)

＜技術参考 2-2-1：大量の土砂・流木を伴う洪水氾濫による家屋流失の状況＞

筑後川水系赤谷川(平成 29 年 7 月九州北部豪雨：福岡県)及び塚田川水系塚田川(令和 6 年能登半島豪雨：石川県)において、大量の土砂・流木を伴う洪水氾濫により流失した家屋の分布を図.技 2-2-1-1 及び図.技 2-2-1-2 に示す。被災前後の航空写真を比較し、被災前には確認できた家屋が、被災後には確認できないものを家屋流失事例として整理した。両図から、家屋流失は上流・下流に関係なく生じていることが確認できる。



図.技 2-2-1-1 家屋流失の状況(筑後川水系赤谷川・平成 29 年 7 月九州北部豪雨)



図.技 2-2-1-2 家屋流失の状況（塚田川水系塚田川・令和 6 年能登半島豪雨）

＜技術参考 2-2-2：家屋流失が発生しやすいエリアの地形的特徴＞

平成 29 年 7 月九州北部豪雨での筑後川右岸支川流域（赤谷川・白木谷川・寒水川・北川・奈良ヶ谷川）における家屋流失事例（N=51）をもとに、家屋流失が比較的発生しやすいエリアの地形的特徴を定性的に分析・整理した。家屋が流失するほどの強い氾濫流の発生要因を、地形と関係づけて考察した結果、以下に示す 6 つの地形的特徴を有するエリアに分類した。

＜地形的特徴＞

- A 橋梁の近傍エリア（図.技 2-2-2-1）
 - B 氾濫原の幅が狭いエリア（図.技 2-2-2-2）
 - C 氾濫原における周囲より一段低いエリア（図.技 2-2-2-3）
 - D 湾曲部外岸下流側のエリア（図.技 2-2-2-4）
 - E 氾濫原の幅が急拡幅しているエリア（図.技 2-2-2-5）
 - F 湾曲部内岸側のエリア（図.技 2-2-2-6）
- （この他、河道の側方侵食に伴い流失した家屋あり）

※それぞれのエリアの事例は次頁より掲載する。

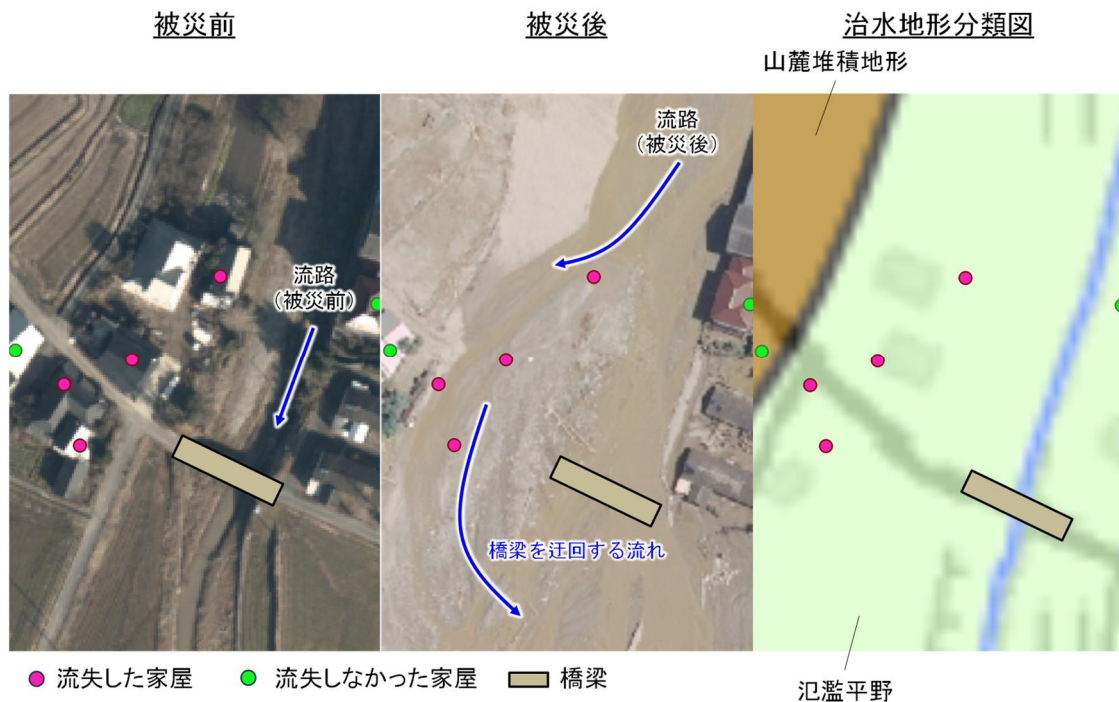


図.技 2-2-2-1 地形的特徴 A の事例（橋梁の近傍エリア）

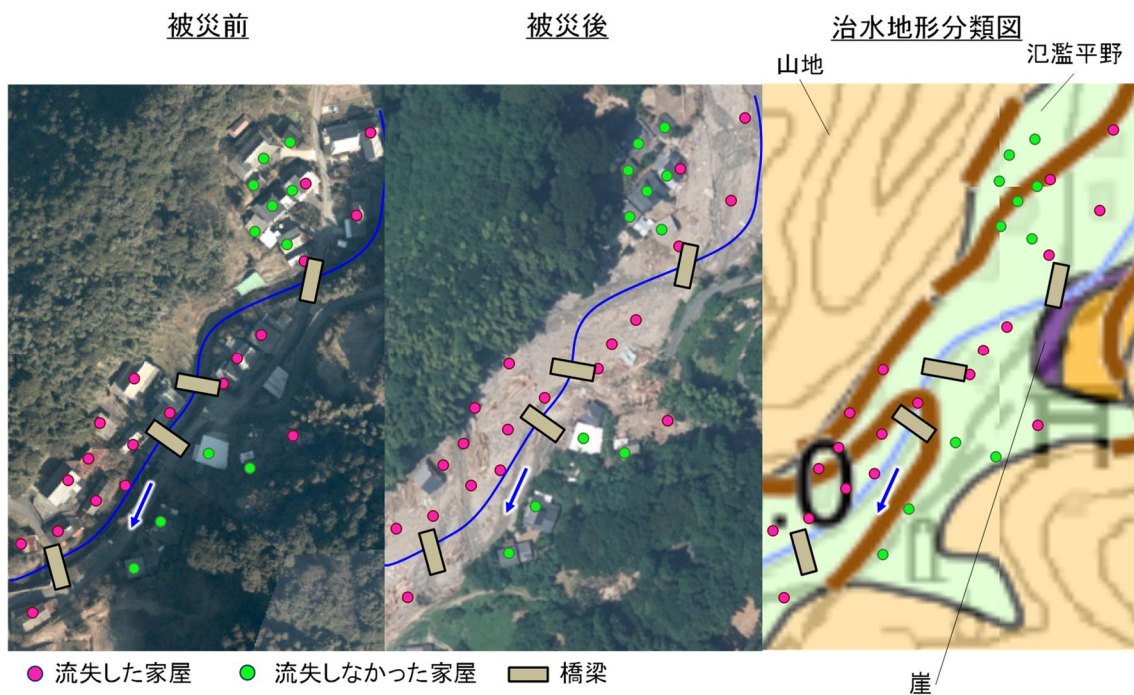


図.技 2-2-2-2 地形的特徴 B の事例（氾濫原の幅が狭いエリア）

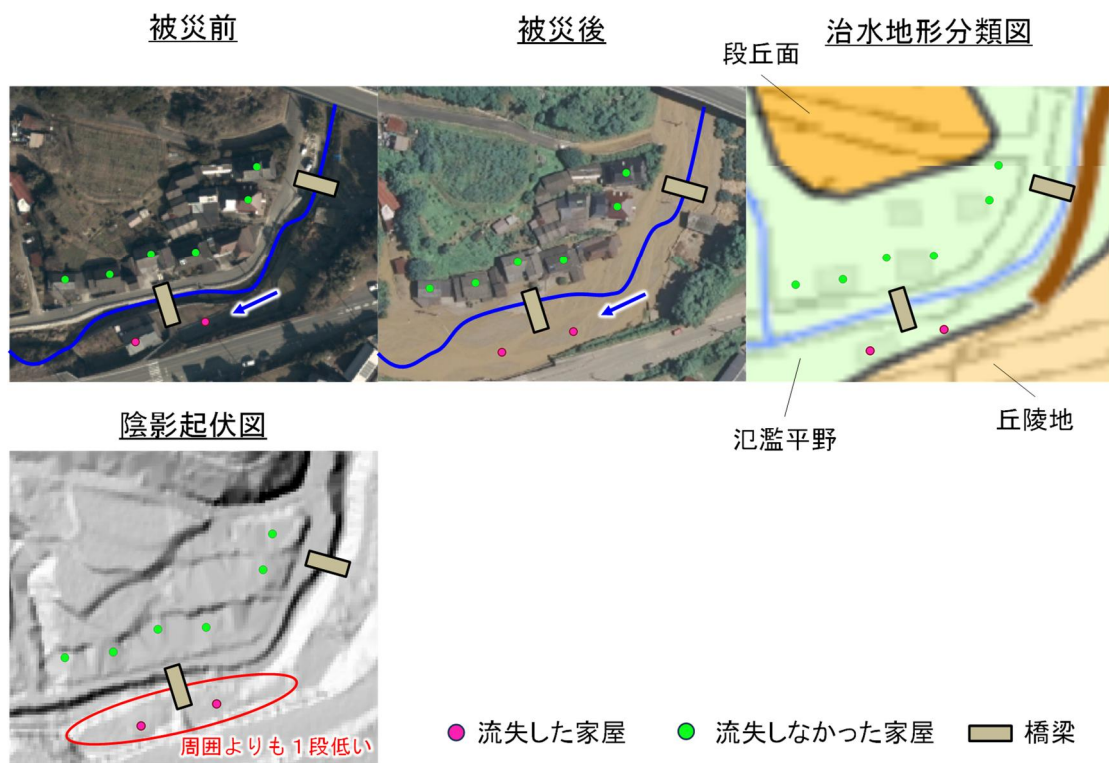


図.技 2-2-2-3 地形的特徴 C の事例（氾濫原における周囲より一段低いエリア）

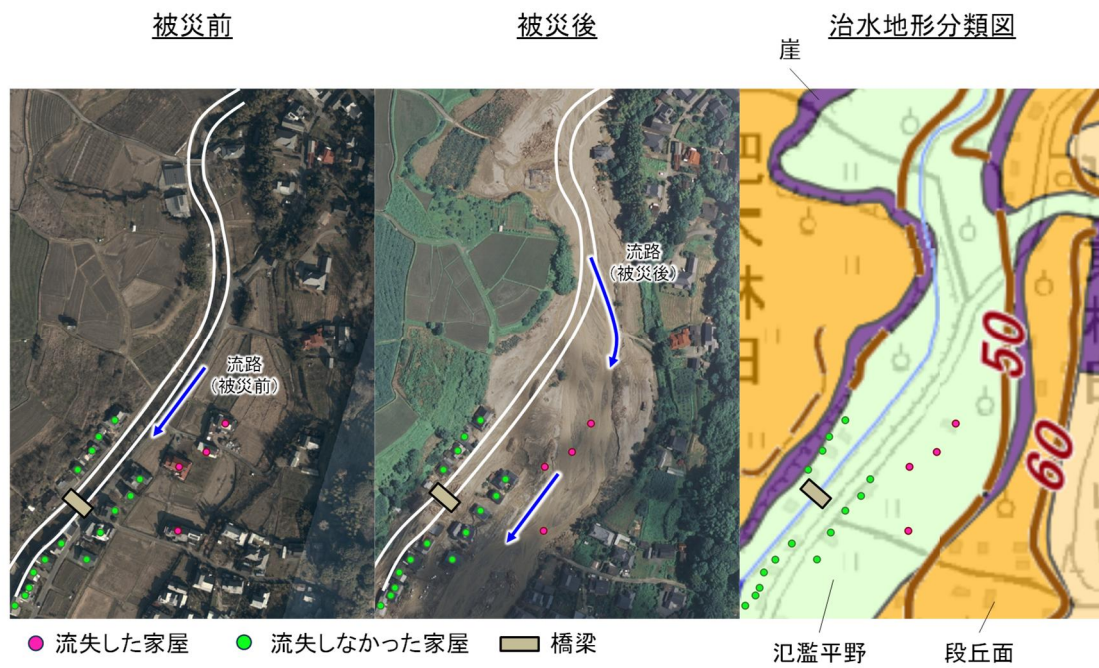


図.技 2-2-2-4 地形的特徴 D の事例（湾曲部外岸下流側のエリア）

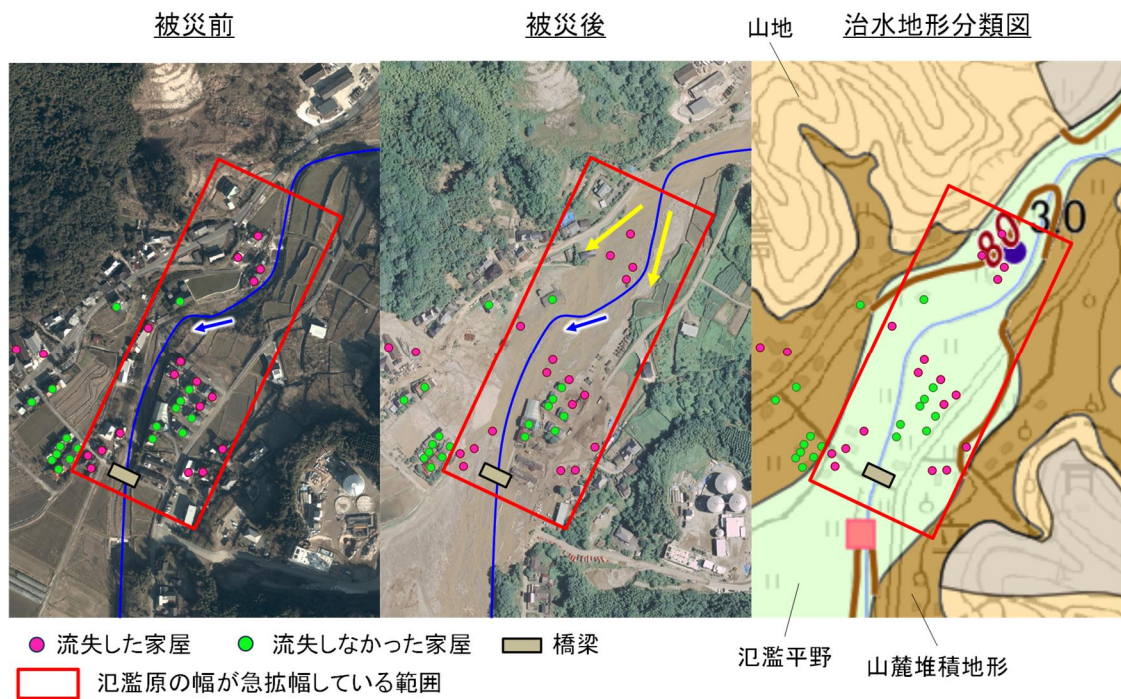


図.技 2-2-2-5 地形的特徴 E の事例（氾濫原の幅が急拡幅しているエリア）

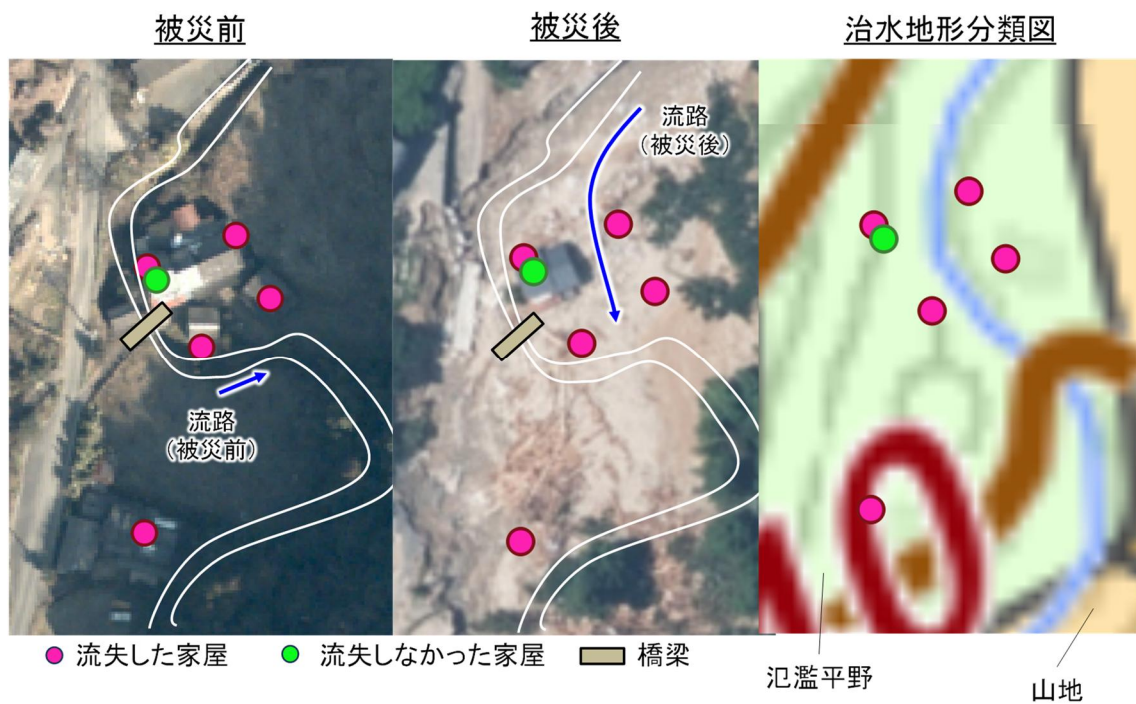


図.技 2-2-2-6 地形的特徴 F の事例（湾曲部内岸側のエリア）

1 地形的特徴に基づく分類を、筑後川水系赤谷川及び塚田川水系塚田川に適用し、家屋流失
2 が生じうるエリアを推定した。結果を図.技 2-2-2-7 及び図.技 2-2-2-8 に示す。両図より、
3 流失した家屋がいずれかの分類に含まれており、この地形的特徴に基づく分類の妥当性が
4 確認できる。また、概ね氾濫原の全域がいずれかの分類に含まれていることも確認された。
5

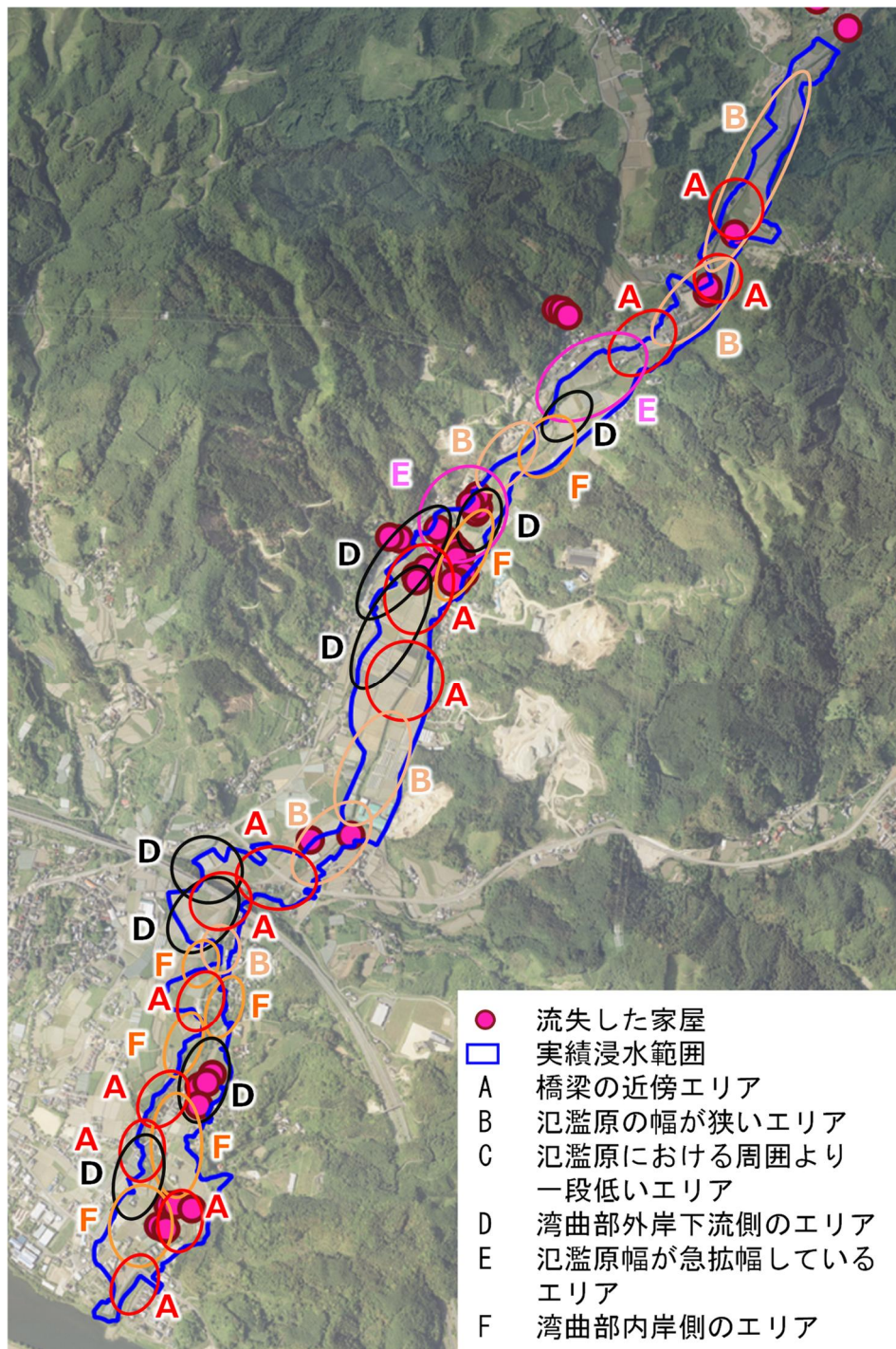


図.技 2-2-2-7 筑後川水系赤谷川に適用した結果

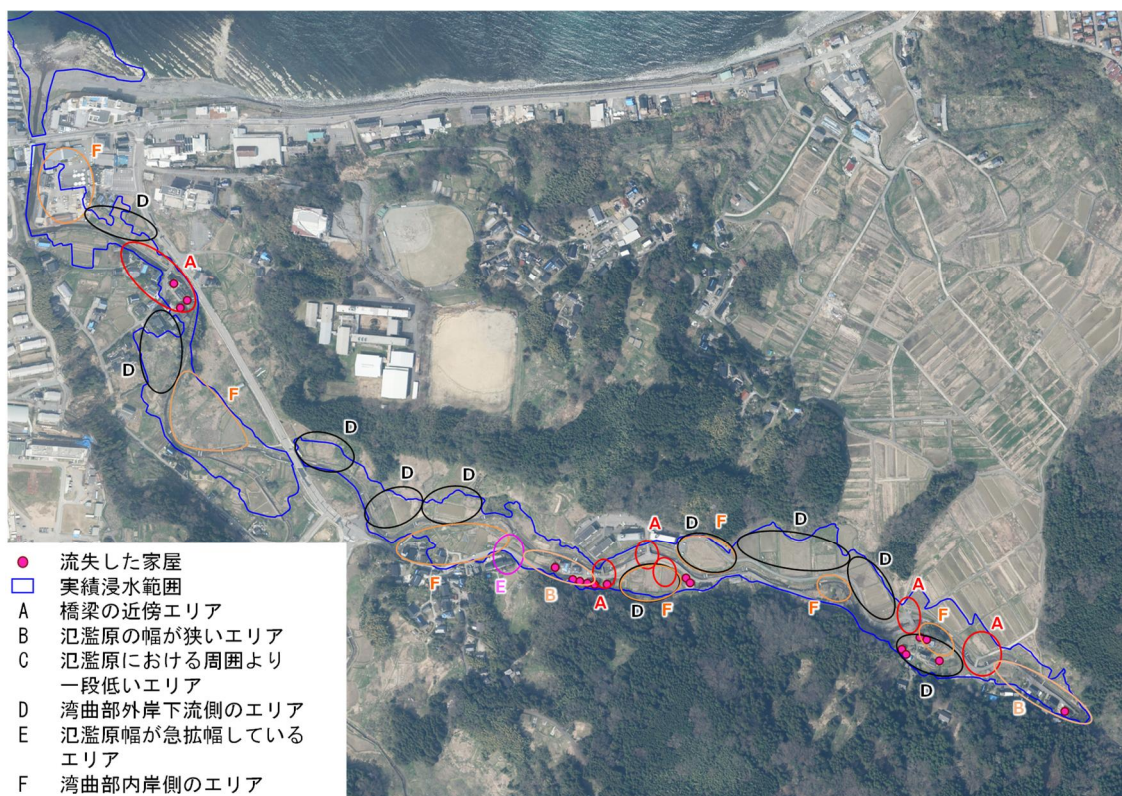
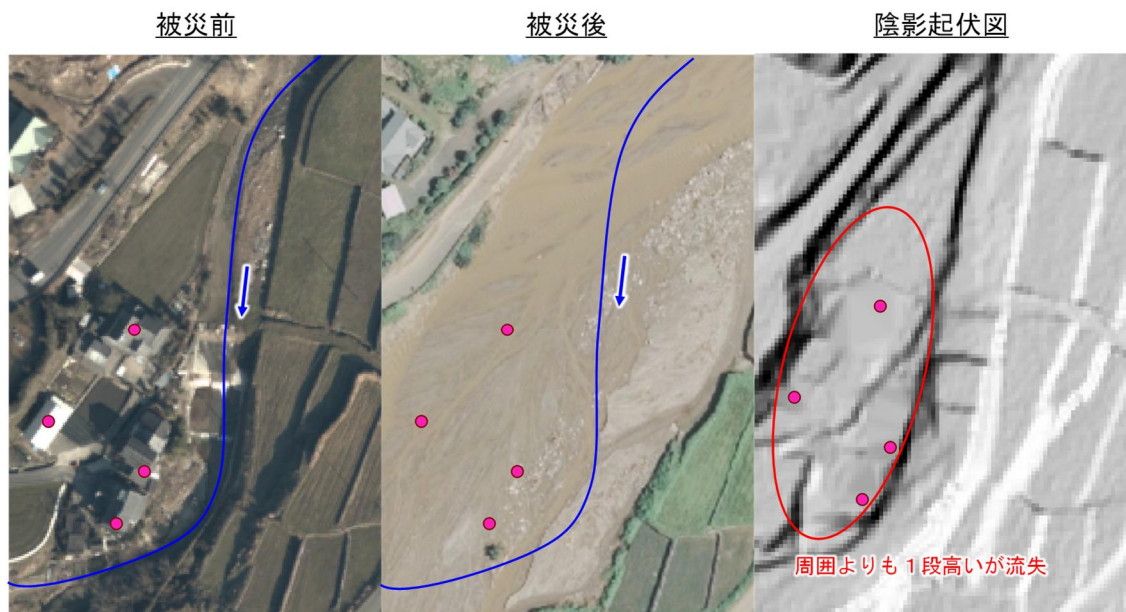


図.技 2-2-2-8 塚田川水系塚田川に適用した結果

なお、周囲よりも高い位置にあるものの、家屋が流失している事例（図.技 2-2-2-9）、家屋周辺の地盤が洗掘され、家屋が流失している事例が認められた。

以上より、地形的特徴に基づく定性的な評価を行った結果、氾濫平野のほぼ全域で家屋流失の危険があることが確認された。



● 流失した家屋

図.技 2-2-2-9 周囲より高い位置にあるものの家屋が流失している事例

(出典)

- 1) 大野純暉・中村賢人・湯浅亮・白山昌義・土屋大輔・武内慶了：中山間地流域における家屋流失評価に向けた河道埋塞を伴う氾濫流についての水理的考察，河川技術論文集，第 32 巻，pp.475-480，2026.

＜技術参考 2-2-3：建築物の耐力と家屋流失の関係性＞

建築物の耐力に関する定性的な評価として、筑後川水系赤谷川を対象に、インターネットで公開されている外観に関する情報や航空写真を用いて、目視で把握した建築物の外観をもとに建築年代を推定した。そのうえで、平成 29 年 7 月九州北部豪雨による建築物の流失・非流失との関係を確認した。表.技 2-2-3-1 に、航空写真から流失・非流失の状態が確認された建築物の件数と、そのうちインターネットで外観を把握できた建築物（分析対象とする建築物）の件数を整理したものを示す。分析の結果、流失した建築物は比較的古い年代のものが、流失しなかった建築物は比較的新しい年代のものが、それぞれやや多い傾向にあった（表.技 2-2-3-2）。

一方、大きな氾濫流が発生したと思われる場所において、建築年代が比較的新しいと思われる建築物でも流失している事例、建築年代が比較的古いと思われる建築物でも流失していない事例の両方が見受けられた。

表.技 2-2-3-1 分析対象とする建築物の件数整理

	航空写真から流失・非流失の状態が確認された建築物の件数※	うちインターネットで外観を把握できた建築物の件数
流失した建築物	43 件	26 件（60.5%）
流失しなかった建築物	146 件	111 件（76.0%）

※土石流による流失可能性が考えられる支川の乙石川、小河内川、大山川流域での事象を除いた件数

表.技 2-2-3-2 建築物の建築年代と流失・非流失との関係

	建築年代が比較的古い 建築物（n=66）	建築年代が比較的新しい 建築物（n=71）
流失した建築物 （n=26）	16 件（61.5%）	10 件（38.5%）
流失しなかった建築物 （n=111）	50 件（45.0%）	61 件（55.0%）

このほか、建築物の耐力が流失の有無に関係したと考えられる事例として、生け垣やブロック塀等の外構の存在や、建築物の連担の有無が流失に影響したと考えられる事例もある。

以上より、相対的に安全な建築物を提示するためには、

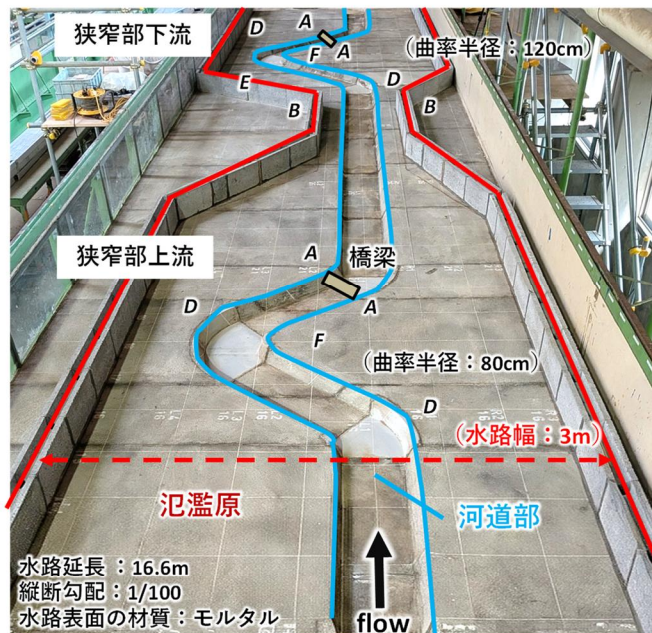
- ・ 建築物周辺の水位・流速を適切に説明する流況解析結果（外力）
 - ・ 建築物の建築構造や建築年代、周辺のブロック塀や生垣の存在状況等（耐力）
- を重ね合わせ分析した事例の蓄積が必要である。

＜技術参考 2-2-4：水理模型実験による現象の把握＞

家屋流失が発生しやすい地形的特徴＜技術参考 2-2-2＞をモデル化し、水理模型実験により、地形的特徴の分類ごとに氾濫流況を調べた。

＜実験水路の概要及び実験条件＞

図.技 2-2-4-1 及び表.技 2-2-4-1 に、実験水路の概要及び実験条件を示す。橋梁を設置した部分の断面は、流木の堆積を考慮し、河道範囲全域を埋塞させる形とした。土砂堆積は、河道埋塞を考慮する形で、氾濫原と同じ高さになるようにした。なお、表.技 2-2-4-1 における河道地形の③・④については、各橋梁を起点として、土砂・流木の堆積に伴い、河道埋塞区間が延伸する過程の一時点における断面を表現している。



水路横断形状（横断勾配は水平）

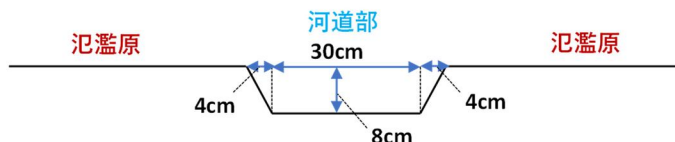


図.技 2-2-4-1 実験水路の概要

（図中 A～F は、技術参考 2-2-2 で整理した地形的特徴の分類と対応している）

1

表.技 2-2-4-1 実験条件（流量・河道地形）

流量（定常 2 ケース）		
① 河道部の直線区間で河道満杯となる流量（Q1）		
② 想定最大規模を想定した流量（Q2）		
河道地形（固定床 4 ケース）		
	狭窄部上流	狭窄部下流
① 土砂堆積なし		
② 上下流区間の湾曲に橋梁を1基ずつ設置（土砂堆積なし）		
③ ②の条件下で、一部区間に土砂堆積		
④ ②の条件下で、長い区間に土砂堆積		

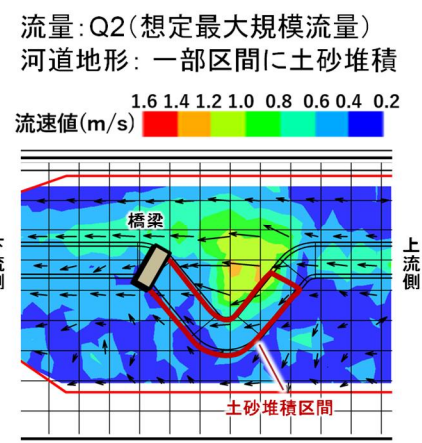
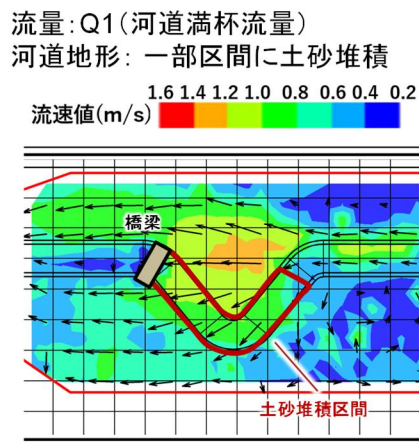
2

3

1 <実験結果>

2 1) 流量規模の違いが氾濫流況に及ぼす影響

3 図.技 2-2-4-2 に、同一の土砂堆積条件のもとで、流量規模を変えた場合の氾濫流況の違いを示す。下流側に狭窄部があり、下流方向に氾濫原幅が狭くなる場合、流量が大きくなる
4 ほど背水影響区間が広がるため、流量が小さい時の方がかえって強い氾濫流が発生する範
5 囲や氾濫流の流速が大きくなる場合があることが明らかになった。なお、この特徴は橋梁や
6 土砂堆積の有無によらず生じたことから、流量規模によって高流速域が変化することが考
7 えられる。これらのことから、氾濫流の高流速域を定量的に評価するためには、幅の広い流
8 量規模を考慮する必要があると考えられる。



12 図.技 2-2-4-2 流量規模の違いが氾濫流況に及ぼす影響

13 (図はいずれも狭窄部上流)

2) 河道部の土砂堆積区間の違いが氾濫流況に及ぼす影響

図.技 2-2-4-3 に、同一の流量条件のもとで、土砂堆積区間長を変えた場合の氾濫流況の違いを示す。同じ流量流下時においても、土砂堆積区間の違いによって高流速域となる範囲が異なる。これより、氾濫流の高流速域を定量的に示すためには、洪水中に時々刻々と変化する土砂・流木の堆積状況を考慮する必要がある。

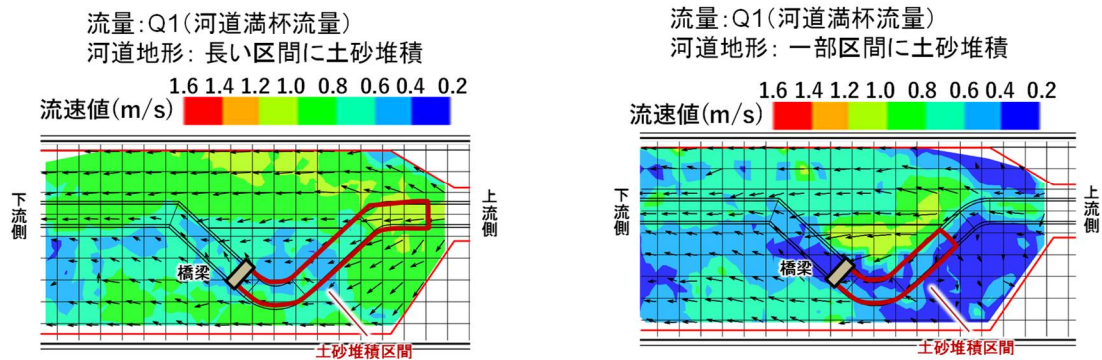


図.技 2-2-4-3 堆積区間の違いが氾濫流況に及ぼす影響

(図はいずれも狭窄部下流)

3) 河道からの氾濫開始地点において発生する局所的な上昇流

図.技 2-2-4-2 や図.技 2-2-4-3 で示した高流速域の上流側では、図.技 2-2-4-4 に示すように、流れの剥離によって死水域が生じていることや、水衝部となっている氾濫開始エリアにおいて鉛直方向の流れが卓越することによる局所的な水位上昇が生じていた。家屋流失が生じるような高流速域を定量的に評価するためには、局所的な水位上昇を計算可能な手法を用いる必要があると考えられる。

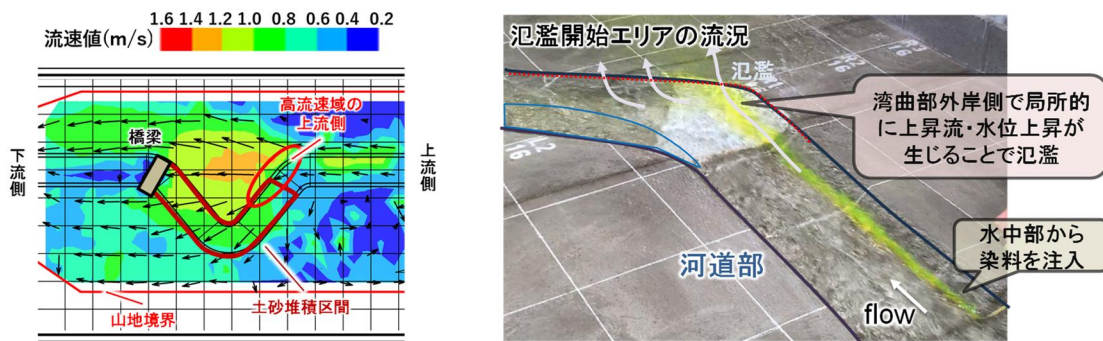


図.技 2-2-4-4 河道満杯流量流下時の湾曲部入口部における流況

(参考文献)

- 1) 大野純暉・中村賢人・湯浅亮・白山昌義・土屋大輔・武内慶了：中山間地流域における家屋流失評価に向けた河道埋塞を伴う氾濫流についての水理的考察，河川技術論文集，第 32 巻，pp.475-480，2026.