

洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形の変化



河川研究部 河川研究室 研究官 川口 広司 室長 末次 忠司

1. はじめに

近年、大規模な市街地が沿川に存在する下流域では多くの区間で河道整備が進んでおり、洪水に対する安全度は高くなりつつある。一方、山間部を流れる上流域については河道改修事業が進捗中の河川が比較的多い。また、上流域では高速の洪水流による大規模な河床変動・河岸侵食が多く見られる。

被災する可能性が高い、被災した場合に大きな被害を被るといった危険度が高い箇所を優先的に改修する等、流域スケールで河道整備を効果的に進めるには、現況河道の流下能力や堤内地の浸水危険度を評価すると共に、写真1のような未だ評価の不十分な土地や家屋の流失・幹線道路の切断を引き起こす侵食の危険性が高い箇所を予測することが重要である。

侵食を引き起こすメカニズムについては現地調査や現地試料を用いた実験等により様々な研究が行われているが、局所的な流れや流木による河積阻害等が顕著な上流域の河道では、流れと河床変動、河岸侵食の相互作用を定量的に把握することは難しく、被災メカニズムの解明が必要である。

本研究は、上流域の災害要素について現地観測、水理模型実験、数値解析を相互に補完しながら評価し、洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形変化過程の評価手法の確立を目指すものである(図1)。

本稿では、1998年に那珂川の支川余笹川で発生した洪水により大規模な河岸侵食が見られた国道4号橋付近を対象として、洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形の変化過程について定性的に把握できた成果について述べている。



写真-1 余笹川洪水氾濫による国道294号切断と氾濫原・河道地形の変化



図-1 本研究の目的

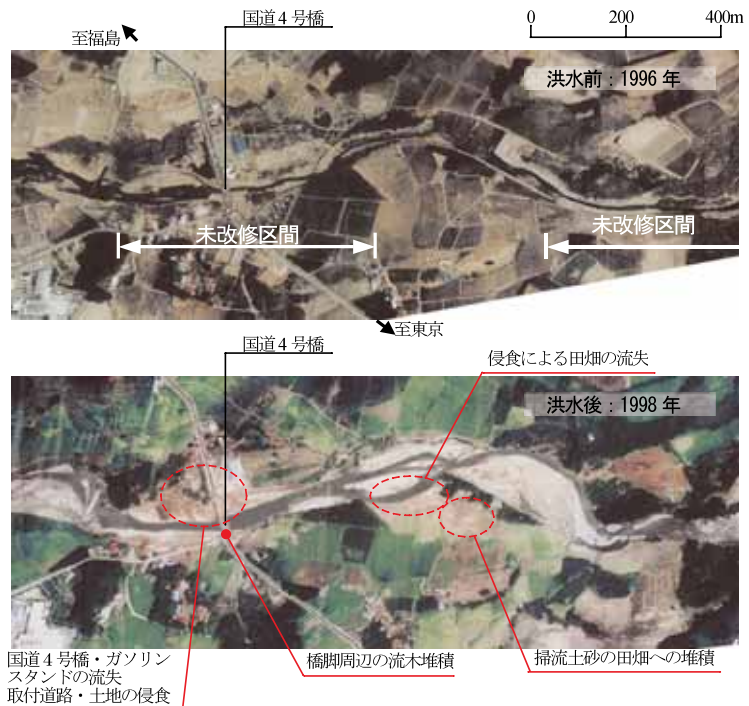


写真-2 洪水前後の河道状況

2 . 余笹川洪水前後の氾濫原・河道地形の変化

1998年8月末に栃木県北部で記録的な豪雨（最大時間雨量90mm、総雨量1,200mm以上）が発生し、福島県及び栃木県で250棟の家屋が全・半壊、15,000棟近くの家屋が浸水した。県内を流れる那珂川の支川余笹川は河床勾配が約1/100程度の急流河川であるため、高速で流下する洪水流によって橋梁及び取付道路が流失し、氾濫原の侵食とそれに伴う家屋や田畑の流失被害も多くの箇所で見られた。

写真 2 は下流の支川四ツ川との合流点直上流から国道4号橋付近の区間約1.5kmにおける洪水前後の航空写真である。なお、図 2 に示す縦断距離は、四ツ川との合流点からの距離である。同区間は河道拡幅、護岸及び床止めの設置等の河川改修が進捗中であり、国道4号橋上下流（1.0km～1.6km付近）及び0km～0.4km付近は未改修となっていた。国道4号橋上流の改修済み区間の被害はほとんどなかったが、国道4号橋付近及びその下流については写真 2 中に示すような被害が見られた。

上流域のように河床勾配が急な河道では、氾濫原・河道地形の変化が大きく、地形変化と洪水氾濫流は相互に作用し合っている。以下では、現地観測と水理模型実験により洪水時の国道4号下流の河床変動と下流右岸の河岸侵食について、実験と2次元数値解析により洪水時の流れ場と河岸侵食について考察を行い、1998年8月の余笹川洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形の変化過程を明らかにしている。

3 . 氾濫原・河道地形変化の再現実験

検討対象箇所における洪水氾濫流は未改修の橋梁部における流木による河積阻害、沿川堤内地に存在する樹木群の影響を受けたと考えられる。このため、実験では樹木群を再現するために植生模型（円柱群及び多孔質体）を用い、樹木群が流失した箇所については植生模型を段階的に除去した。また橋梁部には木板による阻害を段階的に設置した。実験は河床に土砂を敷いた移動床模型により洪水後の流況及び河道の状況を再現し、洪水時の経時的な氾濫原・河道地形変化の把握を試みた。

模型の縮尺は1/70で、河床材料、実験流量等も模型縮尺にあわせて縮小している。実験に用いた河床材料は、現地河床材料の粒度分布を参考にして選定した。実験流量は検討区間近傍で洪水時の流量が観測されていないため、下流の痕跡水位を検証データとして推定した実績洪水波形

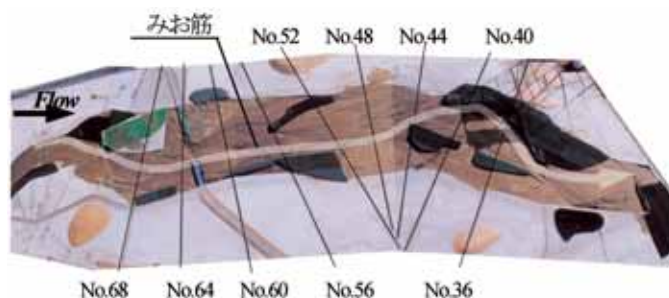


写真 - 3 実験洪水後河道状況

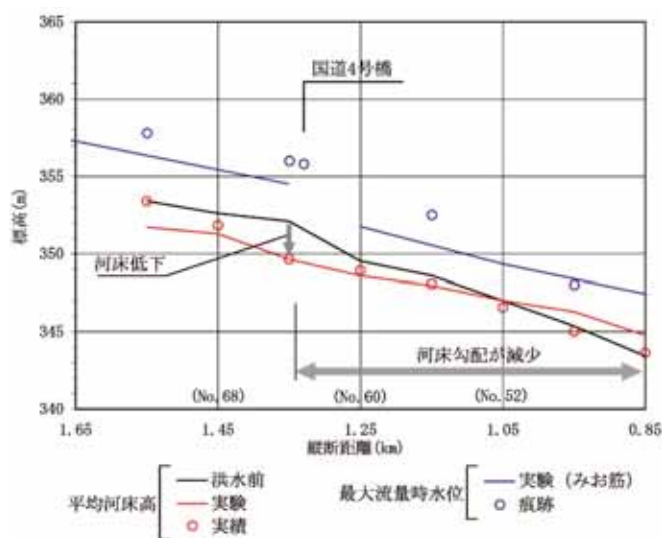


図 - 2 実験及び実績の縦断水位・河床高

(ピーク流量：1,343m³/s) を用いた。

写真 3 は通水終了後（写真 2 下と同時点）の河道状況写真である。橋梁左岸の取付道路及び堤内地が流失、橋梁下流右岸は河岸が侵食されており、通水終了後の氾濫原・河道地形は現地河道と概ね同様の傾向を示していた。

図 2 は通水終了後及び実績洪水後の水位・河床高を河道縦断方向に比較した図である。国道4号橋地点において、橋梁に集積した流木により生じた局所的な河床低下の傾向は実験により再現されている。また、実験及び実績の洪水前後の平均河床高を見ると国道4号橋付近で河床が低下し、橋の下流では洪水後の河床勾配が洪水前と比較して緩くなっている。一方、実験水位及び実績の洪水痕跡水位をみると橋梁上流で水位が堰上げられている。これらより、国道4号橋の流木による閉塞が引き起こす水位差が急縮流を発生させ、橋梁近くの下流及び河岸に作用するせん断力を高め、特に河岸侵食により大量に発生した土砂が下流の比較的掃流力の低い領域で堆積したと考えられる。

図 - 3 は実験時に計測した河床形状から求めた国道4号

橋下流約400mの断面No48及び国道 4 号橋下流約700mの断面No36における堆積及び侵食の時間的変化を示している。これらの断面では実績洪水及び実験において大規模な河岸侵食が発生していた。堆積面積 A_s 及び侵食面積 A_e は図 - 3 上の横断模式図に示す洪水前河道断面から変化した面積であり、侵食面積変化量 V_e はある断面における侵食面積 A_e の変化速度 (V_e が大きいと侵食の進行が速い) である。図より、大規模な河岸侵食が発生した断面では洪水の初期から流量ピーク時までの段階で土砂が堆積、河床が上昇している時に侵食の進行が速くなっていることが分かる。

一般的に河道の変動は流量、水深、せん断力、河道形状、河岸の構成材料等の複合的な要因により決まるが、ここまでの検討から、1998年 8 月末に発生した余笹川洪水による国道4号橋下流における地形変化は、橋梁の流木閉塞に伴う掃流土砂が下流に堆積するという河道縦断的な河床変動が強く影響していると判断できる。

4 . 洪水時の流れと河床変動・河岸侵食の相互作用

河床変動・河岸侵食と流れの特性の関係を把握するため、実験で計測された河道地形を用いて平面 2 次元数値解析を行い、洪水中の水面形及び流れ場を詳細に調べた。解析には、実験で見られた河床勾配が急で水面形・流向・流速が大きく変化する流れ (常射流が混在する流れ) でも計算が可能な方法 (MacCormack法) を用いた。

図 4 は、流量ピーク時における国道 4 号橋下流での実験及び解析の流速ベクトル (図中の赤い矢印) と水位コンター及び氾濫域である。計算による流速ベクトルは実験で流速を計測した点についてのみ表示している。

流速を比較すると全体的に実験の方が大きく流れもやや直線的になっているものの、右岸の河岸侵食と関係する測線 No48付近で流れが右岸を乗り越えNo44 ~ No40付近で左岸側に流心が偏る傾向は実験及び解析ともに見ることが出来る。

また、実験及び解析の水面形を見ると、測線No52から測線No48付近で水面勾配が一旦緩くなり、測線No44より下流で再び大きくなる傾向がともに見られる。

数値解析モデルの仮定や実験条件 (特に流木が橋梁で集積する状況) に不確実性があるため氾濫原・河道の地形変化に対して定量的な議論をすることは難しい。しかし、河岸侵食を含む河道の変動を引き起こした洪水における定

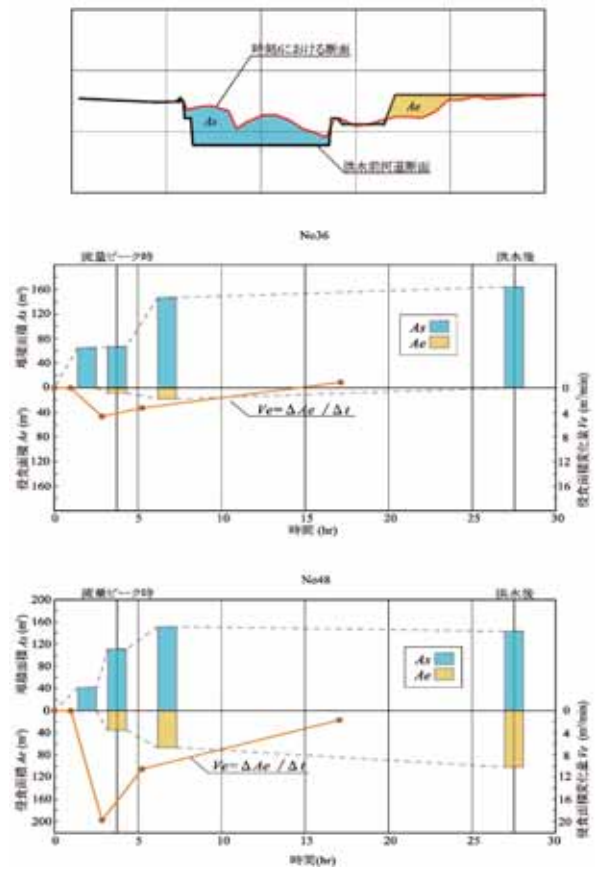


図 - 3 河道の土砂堆積量と侵食変化量の経時変化

性的な流れの特性については概ね再現できていると考えられる。

図 - 5は数値解析モデルによる洪水初期及び流量増加時における国道 4 号橋直下流の水位コンターと流速ベクトル及び水深分布 (氾濫域) である。洪水初期の水面形状を見ると、断面No48付近から断面No52付近までの区間はほぼ一樣な水面勾配となっている。また、流速ベクトルを見ても右岸に向かい、田畑を侵食するような流れはほとんど見られず、河道に沿った流れとなっていることが分かる。

流量増加時における水面形状を見ると、断面No48上下流で水面勾配が急激に小さくなっており、断面No52付近では右岸の水位が河道内の水位に対して低くなっている箇所が見られる。断面No48付近は流量増加時に土砂堆積により河床が上昇しており、土砂堆積が断面No48付近における水面勾配の減少を引き起こしていると考えられる。

さらに、流量増加時の流速ベクトルを見ると、断面No48付近における水位勾配の減少、さらに断面No52付近左右岸の水位差による横断方向の水面勾配の増加により、断面No52の付近で右岸側に向かう流速ベクトルが生じて

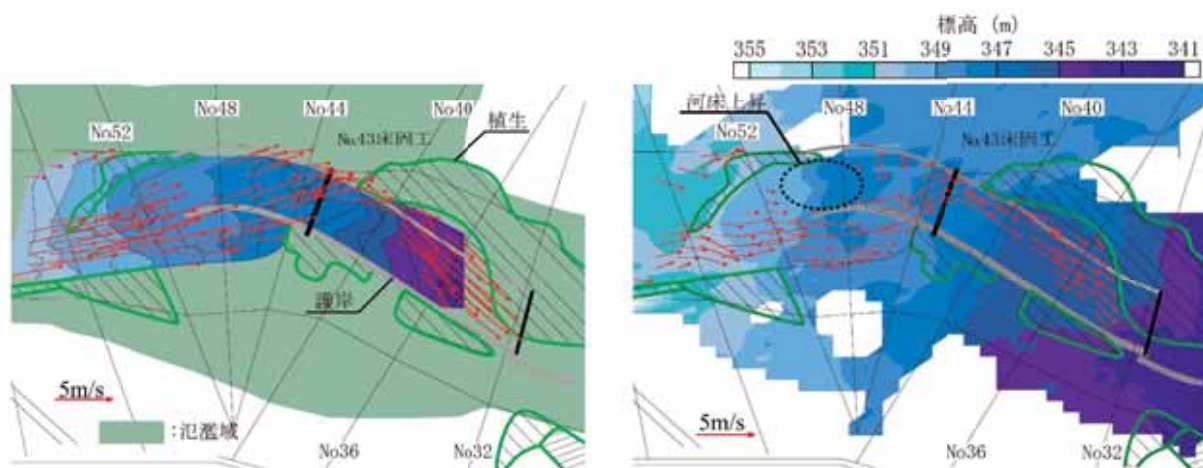


図-4 流量ピーク時の水面形と流速ベクトル（左：実験 右：計算）

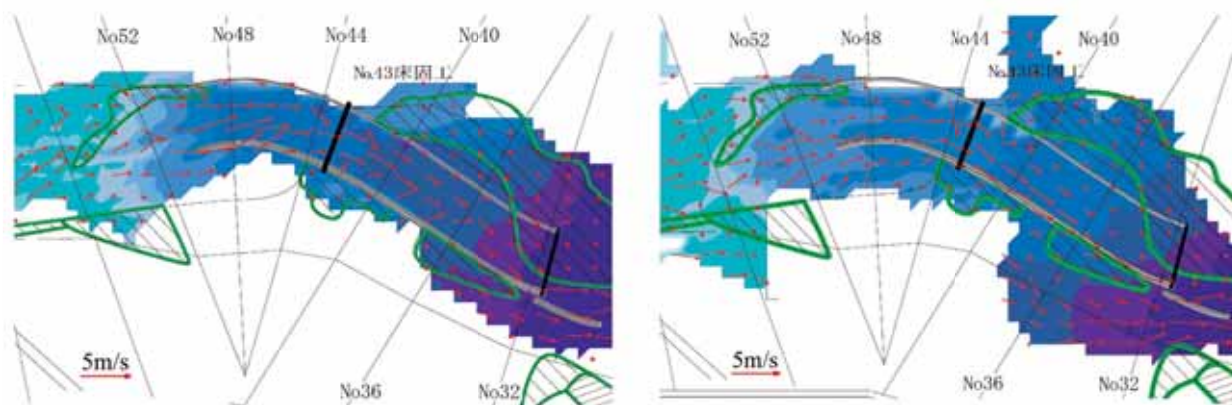


図-5 洪水初期及び流量増加時の水面形と流速ベクトルの計算結果（左：洪水初期 右：流量増加時）

いる。断面No48付近の河床上昇が進行するに従いこの傾向は顕著になり、流量ピーク時には図4に見られるように流心が右岸側へ移動している。

以上のように、前述した実験でみられたような河床変動によって水面形・流速・流向が大きく変化して、河岸及び堤内地の侵食が発生したと考えられる。

5. おわりに

1998年の余笹川洪水における流木による橋梁閉塞と河床変動及び河岸侵食についての現地調査、模型実験、数値解析を用いた検討から以下の結論を得た。

- 1) 1998年の余笹川洪水では、橋梁閉塞による急縮流により特に河岸が侵食された。河岸侵食により発生した土砂が橋梁下流の河床を上昇させた結果、河床勾配が緩くなった。国道4号橋下流右岸の河岸侵食は、河床の上昇に伴い進行した。
- 2) 国道4号橋下流では、河床勾配の減少により流れに

沿った方向の水面勾配が緩くなり、横断方向の水面勾配が急になることにより、流れは河岸を乗り越えて流下した。

- 3) 上流からの掃流土砂量が多く、河床が上昇するような箇所では、流心の移動による河岸の侵食が発生する。上流域で多大な被害を及ぼす洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形の変化を予測するには、現段階では既往の洪水により侵食がどのような要因で発生したかという被災原因の解明を積み重ねていくことが重要である。侵食の危険性が高い箇所や侵食により大きな被害が発生する可能性が高い箇所の予測を可能とし、被災に伴う浸水やライフラインの途絶、侵食・高流速による被害等を総合的に評価出来れば、河道整備をより効果的に進めることが出来ると考えられる。

【参考文献】

- 1) 栗山卓也・川口広司・末次忠司・日下部隆昭・最上谷吉則：平成10年余笹川洪水による国道4号橋梁上下流の河床変動と河岸侵食，水工学論文集，第48巻，2004