

◆ 報 文 ◆

河道マネージメントの観点からみた氾濫原地形の変化

末次忠司* 日下部隆昭** 川口広司***

1. はじめに

今後の河道改修事業（治水目的）においては、河道のマネージメントを考慮した改修事業が重要である。すなわち、河道及び河川構造物の状況を定期的に監視して健全な状態に保持するとともに、河川構造物が被災した場合に発生が予想される流域の被害を考慮しながら事業を進めることが必要である。

そのためには、(1) 洪水外力と被害発生拡大に至るプロセスを整理し、流域の被災を軽減する技術を重点的に検討する、(2) 上流域や急流河川で顕著に見られる高流速の氾濫流により田畑や土地が侵食される被害（土砂・高流速被害）のメカニズムを実被害との比較検討を通して明らかにしていく、(3) 幹線道路・電気・水道・ガス・通信（電話）等のライフラインを含む都市機能施設、市役所等の防災機能施設、病院・学校等の災害弱者施設、危険物貯蔵施設の被害及びこれらの機能停止による波及被害を河道縦断的に評価・検討することが重要である。

これまで本研究室では、①近年発生した洪水災害の事例分析から、洪水外力作用～被害発生拡大に至るプロセス¹⁾を整理した。②護岸基礎浮き上がりに伴う洪水流による護岸背面土砂の抜け出しは基礎浮き上がり高さの違いに関わらず発生し、浮き上がりが高ければ背面土砂の抜けだし速度が速いことを錘センサーによる護岸の実物大実験から明らかにした²⁾。③河川流域を対象としてライフライン施設等の浸水時に想定される被害内容・波及被害について調査を行い、確率年別・河道縦断的に整理・検討した。④土砂・高流速被害について1998年洪水の余笹川を対象として検討を行なった^{3, 4)}。以上の検討結果の詳細は参考文献に記載しているので本文では割愛した。

本報文では、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得られた成果について記述している。

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-1は下流の支川四ッ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-1に示す縦断距離は、四ッ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-1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

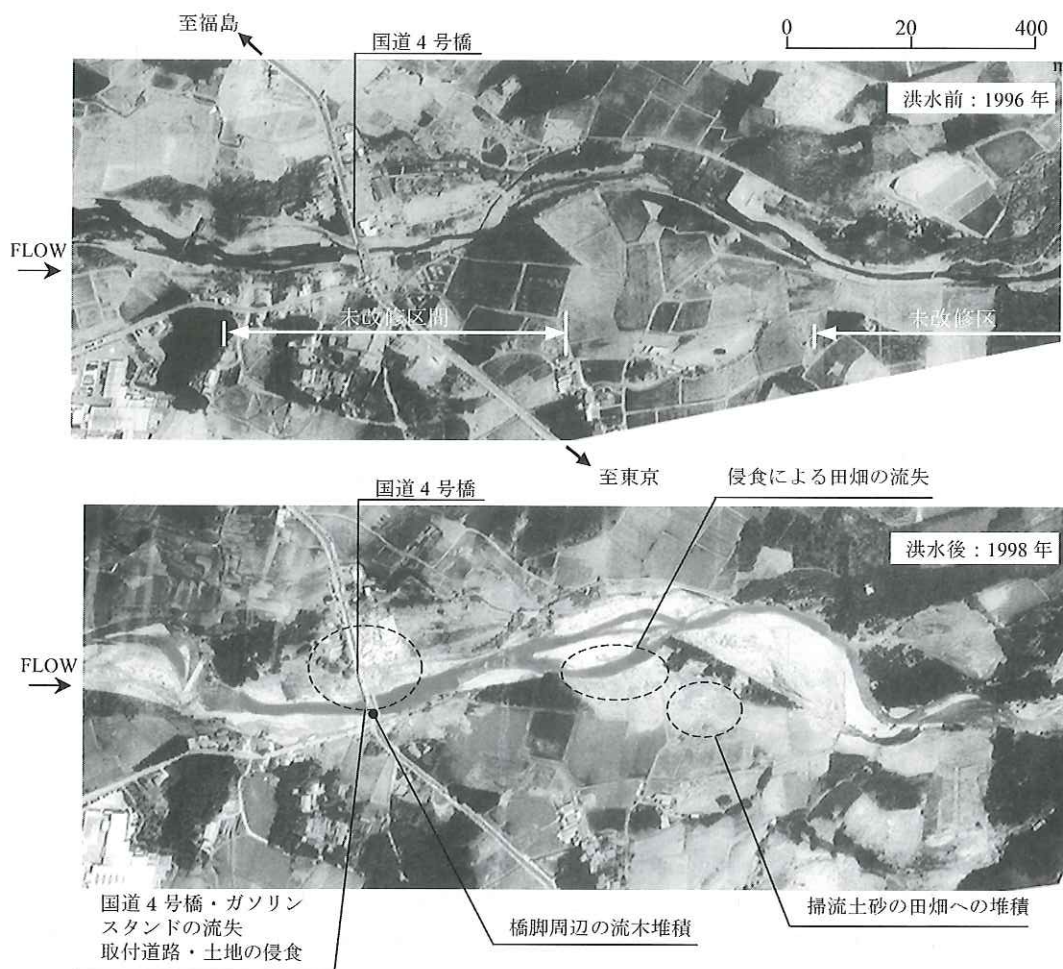


写真-1 洪水前後の河道状況

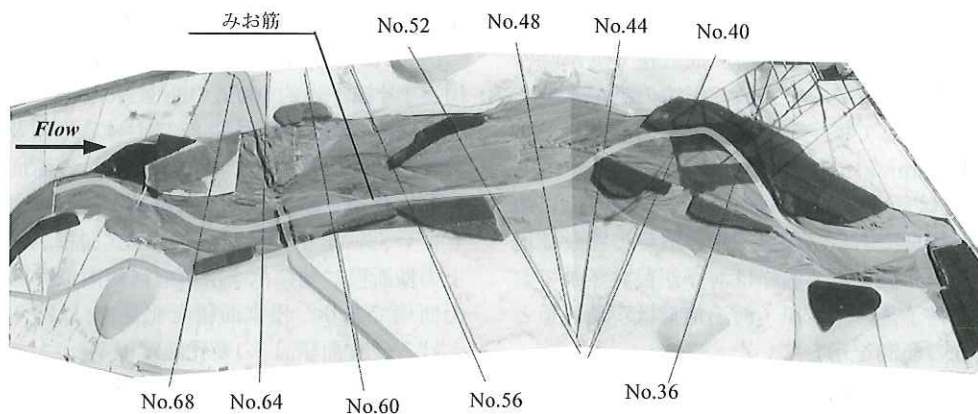


写真-2 実験洪水後河道状況

(氾濫原) 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

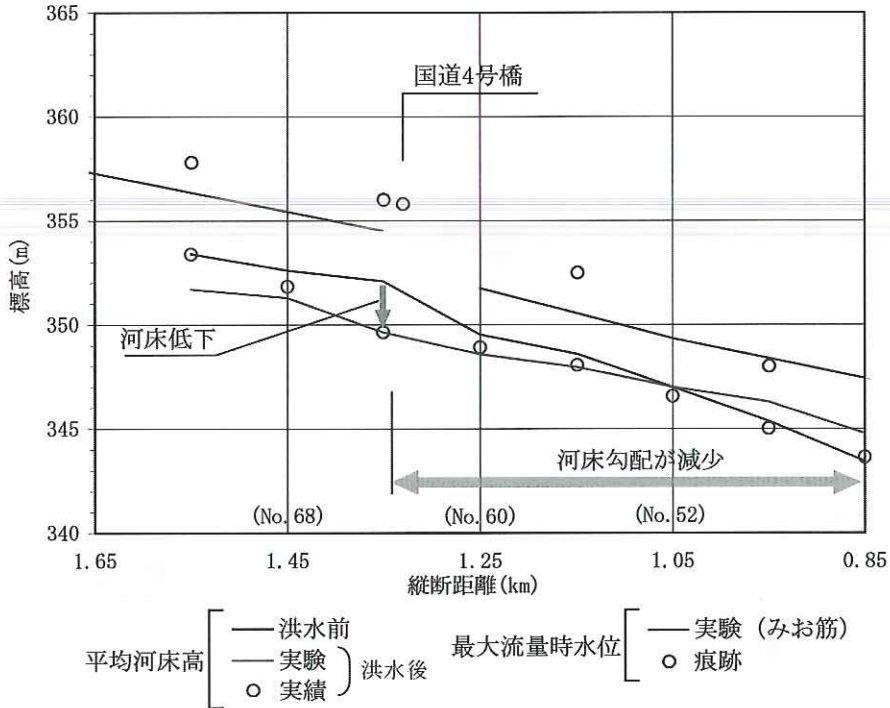


図-1 実験及び実績の縦断水位・河床高

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障害を段階的に実施した。実験は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（ピーク流量：1,343m³/s）を用いた。

写真-2は通水終了後（写真-1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-1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、橋梁近くの河床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-2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-2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

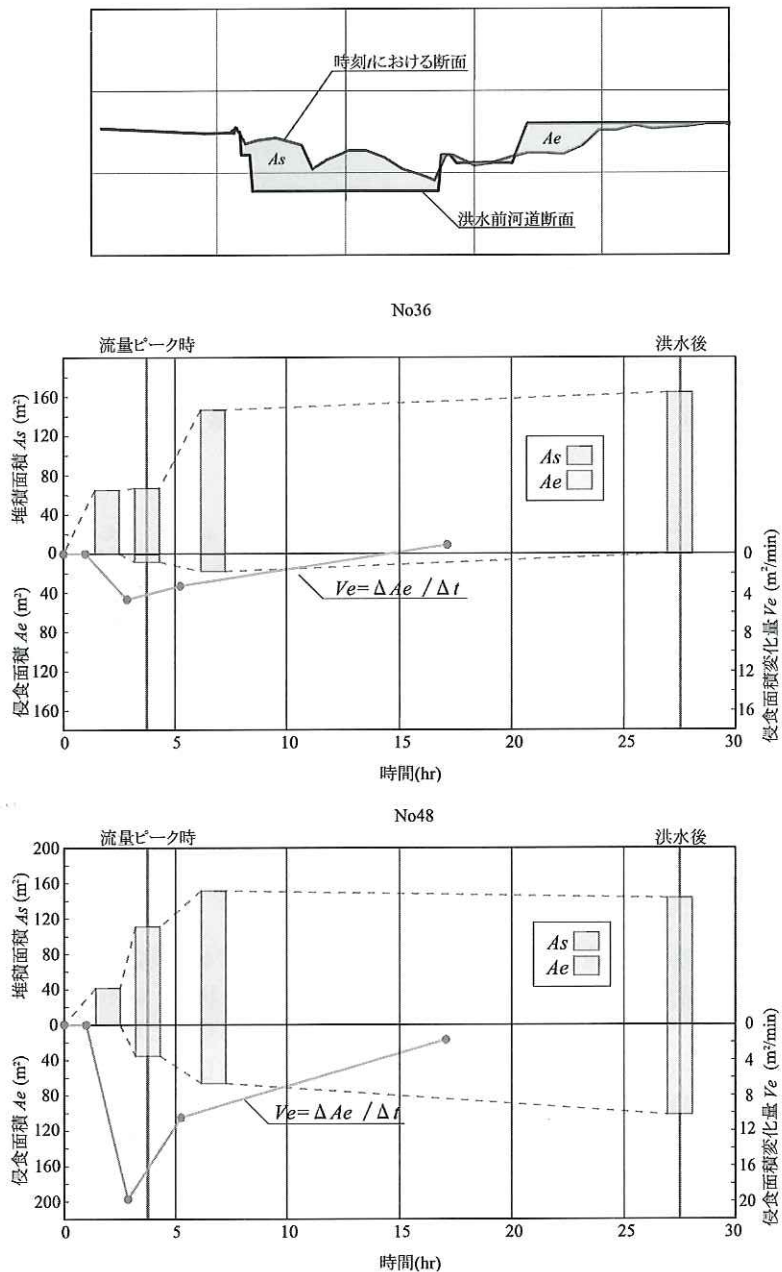


図-2 河道の土砂堆積量と侵食変化量の経時変化

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、洪水時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

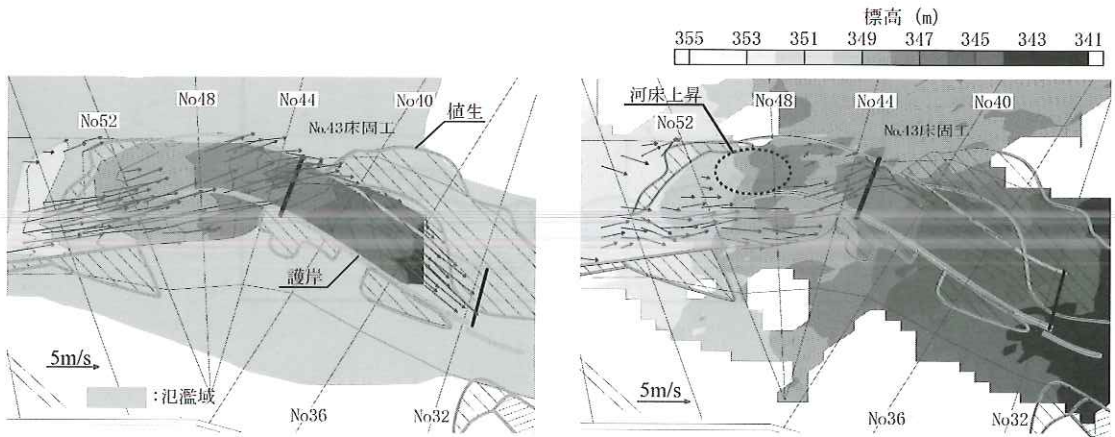


図-3 流量ピーク時の水面形と流速ベクトル (左:実験 右:計算)

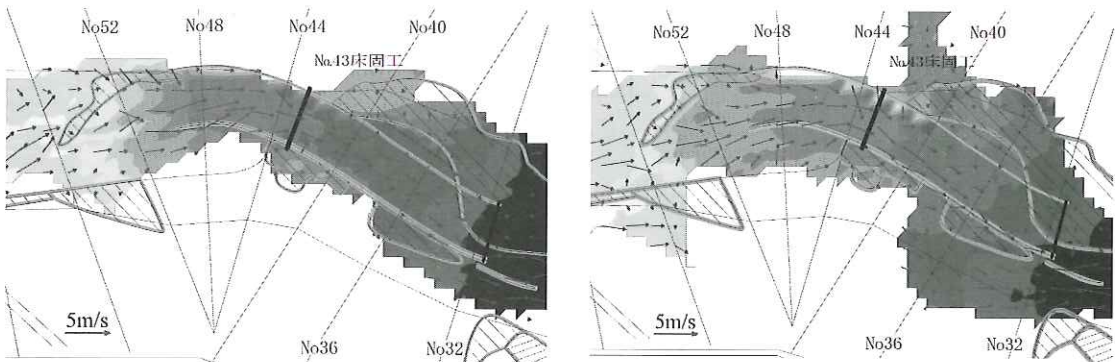


図-4 洪水初期及び流量増加時の水面形と流速ベクトルの計算結果 (左:洪水初期 右:流量増加時)

河床勾配が急で水面形・流向・流速が大きく変化する常射流が混在する流れでも計算が可能なMacCormack法を用いた。

図-3は、流量ピーク時(1,300m³/s程度)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。また、斜線は植生模型を表している。

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中における定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-4は数値解析モデルによる洪水初期(350m³/s程度)及び流量増加時(700m³/s程度)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. まとめ

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。橋梁付近の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号橋梁下流では、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、河道整備やマネジメント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) 藤田光一・諏訪義雄：減災システム整備における河川堤防技術、河川技術に関する論文集、Vol.6, pp.1-6, 2000.
- 2) 東 高德・諏訪義雄・藤田光一・末次忠司：護岸基礎浮き上がりに伴う背面土砂の流出破壊プロセスの実物大再現実験と護岸の点検・設計への反映、土木学会年次学術講演会講演概要集第2部、第56巻、pp.238-239, 2001.
- 3) 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.
- 4) 川口広司・末次忠司：洪水氾濫に伴う氾濫原・河道地形の変化、国総研アニュアルレポート2004

末次忠司*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長、工博
Dr. Tadashi SUETSUGI

日下部隆昭**



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官
Takaaki KUSAKABE

川口広司***



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官、博(工)
Dr. Hiroshi KAWAGUCHI