

河川狭窄部における深掘れ発生要因に関する検討

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○原 悠二
 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 富永 晃宏

1. はじめに 木曽川では、砂利採取やダムの建設に伴い土砂供給量が減少し、河床低下が確認されている。またいくつかの箇所では河床低下に伴い粘性土の露盤化、剥離により露出した砂層の局所的な洗掘が発生しており、最大20m程度の深掘れも確認されている。このような洗掘の拡大は周辺の構造物の不安定化や破損を招く可能性があり、他の河川で発生することも懸念される。本研究では、木曽川上流から37km地点における特に洗掘深の大きい箇所を対象とし、流路の収縮が洗掘にどのような影響を与えるかに着目して移動床実験と数値計算により検討した。

2. 実験方法 実験水路は長さ14m、幅 $B=59.3\text{cm}$ の勾配可変型開水路を使用し、水路勾配 $I=1/1000$ とした。実験は移動床実験で、平均粒径 $d_m=0.611\text{mm}$ の一樣砂を厚さ11cmで敷き詰め実験を行った。上流からの土砂供給を行っていない。図-1に示すように、木曽川上流から37km地点の大規模洗掘が発生した区間では右岸の突出と左岸砂州の張り出しが特徴的であり、実験ではこれらをモデル化した。以下、実験においては河岸の張り出し部を右岸側水制、左岸側水制と記述する。設置する水制は、右岸側から張り出し角度が 60° 、左岸側から 30° となるように高さ10cm、厚さ3mmのアルミ板を組み合わせて設置した。水制設置箇所は右岸側水制と左岸側水制が20cm重なるようにした。張り出し長さ La 、 Lb は可変とした。流量はインバータモーターにより調節し、流量 $Q=8.5\text{lit/s}$ の際に移動床区間の上流端で水深 $h=5\text{cm}$ となるように調節した。ここで、平均流速 $U_m=28.7\text{cm/s}$ 、フルード数 $Fr=0.41$ である。通水開始から120分後の河床の高さをレーザー距離計を用いて x 軸方向に1cm間隔、 y 軸方向に0.5cm間隔に計測した。左岸側水制2つの水制の位置関係を図-2に、実験ケースを表-1に示す。



図1-現地写真

表1-実験ケース

	$La(\text{cm})$	$Lb(\text{cm})$
case1	15	6
case2	15	0
case3	6	15
case4	0	15
case5	12	6

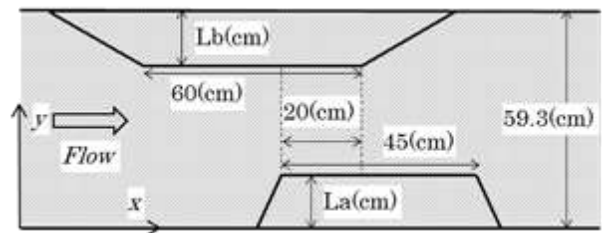


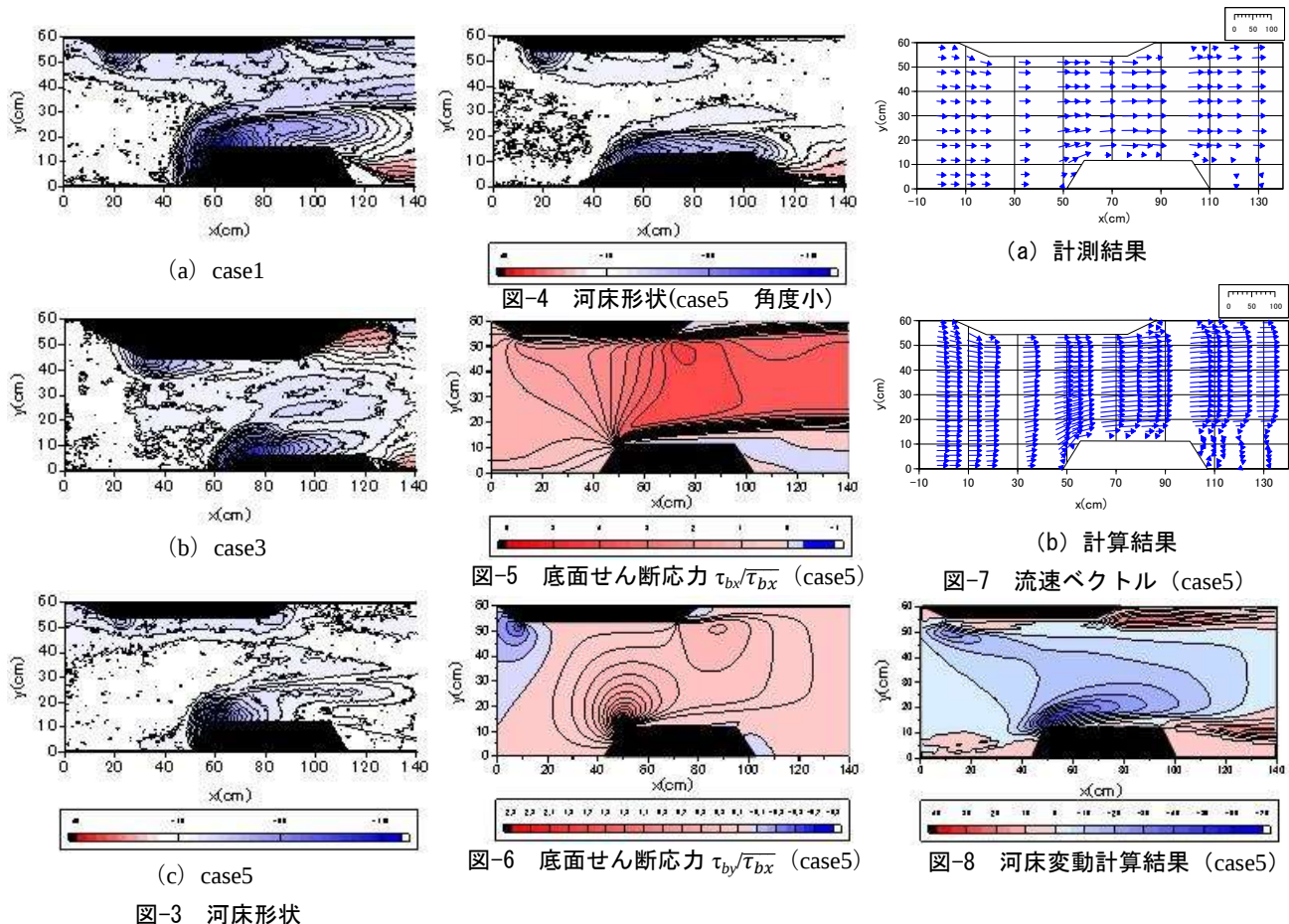
図2 水制の位置関係

3. 実験結果 図-3に実験の河床形状コンターを示す。

case1については、張り出しの大きい右岸側の剥離の影響が強く、水路流速が加速され右岸側水制周辺で洗掘が発生していることがわかる。特に右岸側水制上流側では最大10cm程度の洗掘が見られた。また、流路中央付近では最大2cm程度河床低下している。右岸側水制背後では洗掘箇所の掃流砂が堆積していることが確認された。一方、左岸側では堆積は見られない。これは張り出しが大きい右岸側水制の水はね効果によるものと考えられる。左岸側水制上流端付近でも洗掘は見られるが、最大4cm程度で右岸側ほど剥離流の影響は出ていない。次にcase3について考察すると、洗掘深は左岸側で最大4.5cm、右岸側で9cm程度となっている。張り出しは左岸側の方が大きい右岸側の剥離流による洗掘深が大きくなっていることより、張り出しの大きさよりも角度が流れに影響を与えることがわかる。流路中央付近では、case1と同様に2cm程度の河床低下が確認された。水制背後ではどちらも掃流砂の堆積が確認できた。case5についても、右岸側、左岸側共に剥離流による洗掘が見られ、どちらも水制上流側のエッジ部に洗掘が生じている。右岸側水制付近では最大8cm程度の洗掘が確認できた。

いずれのケースも右岸側剥離流の影響が強く、張り出し角度が流れに大きく影響することが推察される。そこで、case5において右岸側水制の角度を弱めて実験を行った。結果を図-4に示す。流路全体で洗掘深が小さくなっており、右岸側の洗掘は通常時よりも浅い洗掘となった。流路中央の洗掘深も小さくなっており、右岸側水制の剥離流が弱くなったことにより流路全体の洗掘深が小さくなっていることがわかる。

本実験ではそれぞれ張り出し部先端付近の局所洗掘が支配的となり、現地における水路中央のみにおける洗掘を再現することはできなかったが、流路中央に流れが集中し河床低下が生じることは確認できた。



4. 数値計算と固定床実験 狭窄部における底面せん断応力の変化を検討するため水深平均の $k-\epsilon$ モデルによる計算を試みた。図-5、図-6 に数値計算で得られた case5 での無次元化した τ_{bx}/τ_{bx} 、 τ_{by}/τ_{bx} のコンターを示す。

右岸側水制の水はねによって水制前方の τ_{bx}/τ_{bx} が大きくなっていることが分かる。右岸側水制の水はねと左岸側水制の水はねによって流路中心付近に流れが集中し、流路中心付近で高い値を示している。最も高い値は左岸側であり、右岸側水制の剥離流が左岸側まで到達していることが推察される。一方、右岸側水制背後では τ_{bx}/τ_{bx} が負の値を示しており、逆流域が存在することを表している。 τ_{by}/τ_{bx} が大きい箇所と洗掘箇所はよく一致しており、右岸側水制上流端で洗掘が発生し、水はねと狭窄で加速された流れにより洗掘が拡大していくと考えられる。

数値計算と移動床実験を比較するに当たって、case5 での流速を測定し、数値計算の流速と比較することで数値計算の整合性を確認した。流速ベクトルを図-7に示す。実験、数値計算共に最大流速は $x=60\text{cm}$ 、 $y=15\text{cm}$ 付近で、最大洗掘深が確認できた箇所と一致する。流速分布の傾向は概ね再現できている。しかし、実験では最大 40cm/s であるのに対し計算では 50cm/s 程度まで確認できる。これは数値計算の粗度係数を大

きくすることや、水深を実験と同様に与えることができれば改善されると考えられる。多少の差異はあるものの、数値計算の整合性を確認することができた。

河床変動計算で、流砂量式は Mayer-Peter-Muller の式を、無次元有効せん断応力は 芦田・道上の式をそれぞれ適用した。図-8 に河床変動計算結果を示す。洗掘の発生箇所は実験と一致するが、実験では見られなかった水制背後の堆積が存在する。これは、実験より狭窄部の流速が速く計算されていることで掃流砂が増大し、流れが緩やかな水制背後に堆積したことが考えられる。本計算では水制前面の馬蹄渦の影響は考慮されていないため、洗掘深は実験結果より小さく、洗掘は流下方向に拡大している。

5. おわりに 水制によって流路が収縮する際に、流れに大きく影響を与えるのは水制の張り出し角度であり、最大洗掘深も張り出し角度が大きい水制周辺で発生する。現地では張り出し部周辺で局所洗掘が見られることから、底面せん断応力は狭窄により流路中央で高い値を示し、粘性土剥離の原因となっている可能性がある。そこで、河床変動計算において局所洗掘発生抑制のため固定床の条件を水制周辺に与えたところ、流路中央で洗掘が発生した。実験では水路中央の深掘れを再現はできなかったが、狭窄により流路中央での深掘れが発生する可能性が示唆される。