

水制周辺部の河床変形に関する実験的検討

FLOW AND BED TOPOGRAPHY AROUND IMPERMEABLE SPUR DYKES

武藤裕則¹・北村耕一²・A.T.M. KHALEDUZZAMAN²・中川 一³
MUTO Yasunori, KITAMURA Koichi, A.T.M. KHALEDUZZAMAN and NAKAGAWA Hajime

¹正会員 PhD 京都大学助手 防災研究所附属災害観測実験センター (〒612-8235 伏見区横大路下三栖東ノ口)

²学生会員 京都大学大学院修士課程 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒606-8501 左京区吉田本町)

³正会員 工博 京都大学教授 防災研究所附属災害観測実験センター

Laboratory experiments were carried out in a straight channel with movable bed in order to study bed deformation around spur dykes. The channel has an asymmetric compound cross section, whose flood plain is partially removed and impermeable spur dykes are set, in which 10 successive rectangular embayments are enclosed. Water surface profile and bed level change were firstly measured, then velocity measurements were conducted after fixing the bed geometry. Interaction between flow patterns and bed deformations are discussed. The maximum scouring depth appearing in the vicinity of dykes are evaluated by adopting an empirical equation for a cylinder. Sediment volumes from/into one embayment are calculated from the measured results. A necessary number of embayments effective in showing good deposition area in one group is indicated from these results.

Key Words: spur dyke, embayment, experiment, bed deformation, sediment transport, bed load

1. はじめに

良好な河川生態空間を有するわんどを念頭に、近年各地で水制が新たに設置されている。わんどは、古いものでは明治初年に設置された水制の周辺部に土砂が堆積した結果形成されたとされており、現在そこで見られる生態空間は、このような土砂堆積過程に伴う長い時間が涵養した産物と捉えることができよう。一方新設水制・わんどの場合、期待される河川環境、なかんずく土砂の堆積による多様な地形の創出を短期間で期待することは困難である。このことは、水制による土砂の捕捉機構が十分明らかにされておらず、その面における水制の設計法が確立されていないことを示している。換言すれば、水制周辺部の土砂動態を明らかにすることで、上述の時間経過という要素をある程度排した上での河川生態空間の創出に関する技術的な議論が可能になるものと思われる。そこで本研究では、これらのことをねらいとして水制周辺部の河床変形について検討するため、移動床水路における実験を行った。

2. 実験装置および方法

実験は図-1に示すように水路床勾配 1/700 に固定した 1m 幅直線水路の片側に設置した幅 30cm、高さ 15cm の高水敷を一部 15cm 切り欠き、そこに 45cm 毎に水制模型を設置しアスペクト比 3 の水制域を 10 連ならべた。河床材料には平均粒径 1.54mm、比重

2.24、岩垣¹⁾による無次元限界掃流力 0.0365 のスラジライトを用い、水路床より 10cm の厚さに敷き詰めることで低水路水深を 5cm とした。実験は水制を越流するいわゆる複断面状態の流れを含む 3 種の水位について行った。水理条件を表-1に示す。所定の流量を通水しながら適宜上流側に河床材料を供給し、平衡状態となった後に通水を停止した。レーザ距離

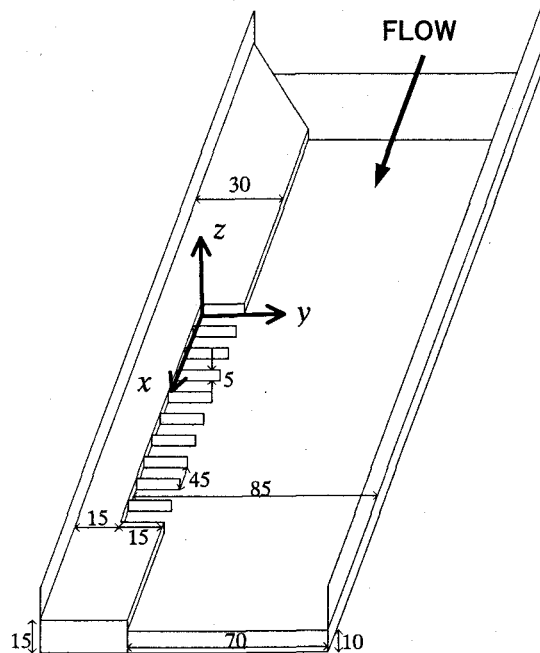


図-1 実験水路の概要および座標系 (単位 cm)

表-1 水理条件表

	流量 Q (liter/s)	初期水深 H (cm)	相対水深 Dr=(H-h)/H	断面平均流速 u (cm/s)	摩擦速度 u* (cm/s)	無次元掃流力 τ_*	レイノルズ数 Re	フルード数 Fr
Case-1	8.23	4.30	---	27.34	2.45	0.0350	11800	0.42
Case-2	14.00	6.15	0.187	30.10	2.93	0.0500	18500	0.39
Case-3	20.76	7.63	0.345	33.87	3.27	0.0621	25800	0.39

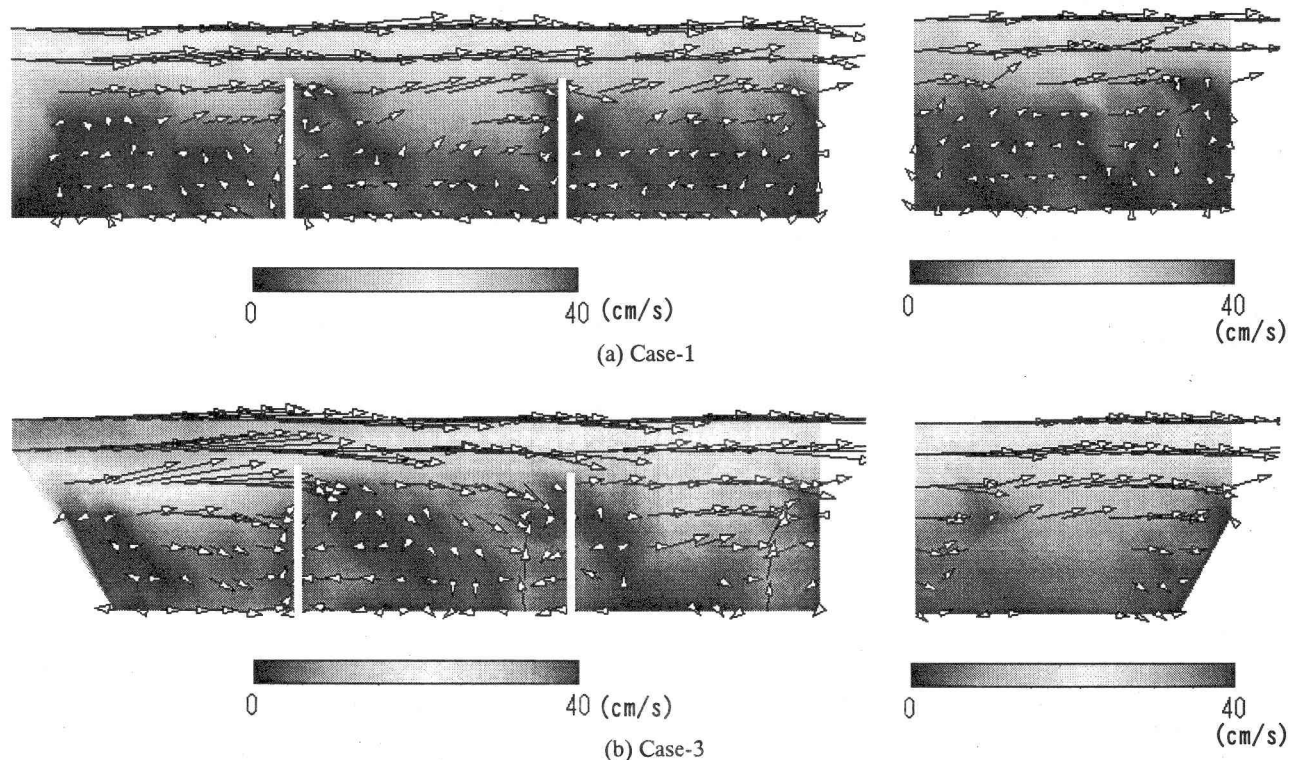


図-2 速度計測結果 (左: 第1～第3水制域, 右: 第6水制域)

計によって河床形状を計測した後河床をセメントで固定し、ポイントゲージおよび2成分電磁流速計によって水面形および速度分布を計測した。

3. 実験結果および考察

(1) 速度分布

図-2に第1から第3水制域にかけてと第6水制域における速度の計測結果を示す。なお、速度の計測位置は低水路半水深 ($z=2.5\text{cm}$) である。いずれの水位条件においても、最上流第1水制域から第3水制域にかけては水制域内に誘起される速度の絶対値は最上流部で最も大きく、下流へ向かうに従って小さくなる。この区間は、秋草ら²⁾の指摘した遷移区間に相当するものと考えられる。一方、第4水制域以降ではほぼ定常状態となり、第6水制域における結果に示されるような一定の流況パターンが水制域の群内における位置によらず見られた。なお、今回の計測結果では、非越流状態 (Case-1) においてこれまでその存在の指摘³⁾されてきた大規模な循環渦があまり明確に見られない。これは水制域に誘起さ

れた速度が非常に小さかったためと考えられる。一方、越流状態においても、水制域内の下層ではそのような大規模循環流の存在がうかがえる結果となっている。

(2) 平衡河床形状

図-3に平衡状態における河床形状の計測結果を示す。速度分布の計測結果で見られた大規模循環流の規模・強さの変化に伴い、第1から第3水制域にかけては河床も最上流から下流へ向かうに従って変形規模が小さくなる。低水路のみ通水した場合 (Case-1) 水制域内では河床はほとんど変化せず、水制前面部と先端においてわずかに洗掘が見られた。複断面流れの場合 (Case-3) でもほぼ同様の位置に洗掘が見られたが、その規模は面積・深さともに拡大した。また水制域の中央付近から高水敷側へ向かって顕著な堆積域が形成された。このような洗掘・堆積域の形成傾向は、福岡ら⁴⁾や江頭ら⁵⁾の実験結果と合致するものである。これらの結果から、個々の水制域スケールでは、水制近傍は洗掘域が顕著であることからそこより下流側への土砂の供給源となっ

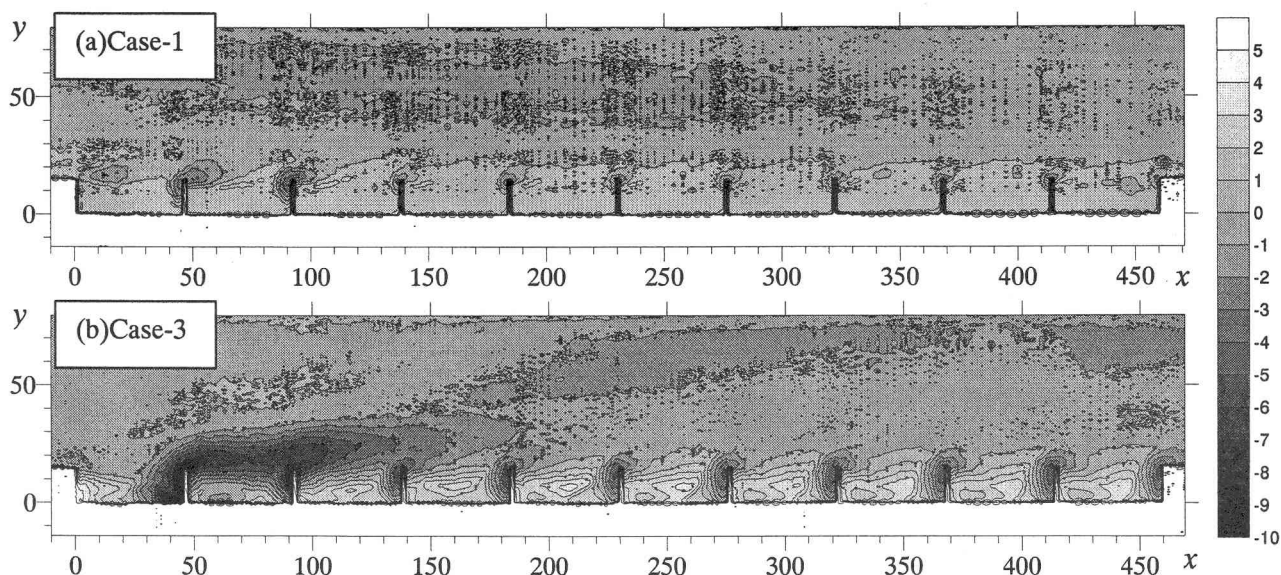


図-3 平衡状態における河床形状計測結果（初期河床からの変化量，単位 cm）

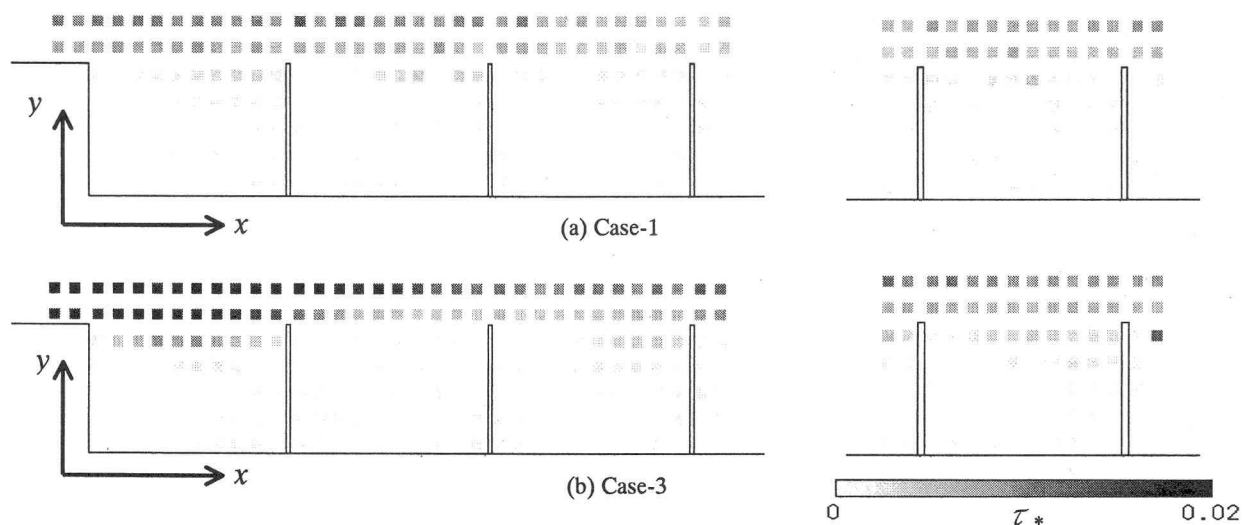


図-4 速度計測結果から算定される無次元掃流力分布（左：第1～第3水制域，右：第6水制域）

ており，一方水制域中央部は堆積することから上流からの土砂の捕捉域となっている。

次に，図-2 に示した速度の計測結果より算定される掃流力の分布を示したものが図-4 である。ここで，掃流力の算定にあたっては速度の鉛直分布は対数則を仮定し，速度の代表値は低水路半水深（ $z=2.5\text{cm}$ ）における値を用いている。図より明らかなように，算定された掃流力は低水路部で大きく水制域内で小さい。速度の計測結果からもある程度推測されるが，特に水制域内における掃流力は非常に小さく，この算定値からは河床材料はほとんど動かないこととなる。しかしながら実際には例えば水制周辺部において洗掘域が見られることから，そのような領域には局所的な流れや乱れの効果によって大きな掃流力が瞬間的に働いているものと考えられる。したがって，水制域における河床変動予測を行うためには，各点における掃流力を生み出す機構を，瞬間的な構造も含めて，正確に把握する必要があると考えられる。

(3) 水制周辺部の洗掘深の評価

図-3 に示した河床形状からは，水制先端部よりやや水制域よりの点（ $y=12\text{cm}$ 付近）で個々の水制域内における最大洗掘深が表れることがうかがえる。水制周辺部における平衡状態での最大洗掘深に関してはこれまでいくつかの検討例があるものの⁹⁾未だ不明の部分もあり，また今回のように水制群を扱った例は少ない。そこで本研究では，これまでで最も系統的に検討された例⁷⁾が存在する円柱橋脚における結果を援用し，今回計測された洗掘深が同様の水理条件下で円柱を対象とした場合どの程度に相当するかを円柱の径により評価した。結果を表-2 に示す。なお，円柱径の評価にあたっては，中川・鈴木⁸⁾による次式を用いた。

$$\frac{Z_{sd}}{D} = 3.4 - 0.9 \log_{10} \frac{D}{d} \quad (1)$$

ここに， Z_{sd} ：最大洗掘深， D ：円柱径， d ：河床材料の平均粒径。これより，今回最大の洗掘深を計測した Case-3 の場合でも相当円柱径は 4.27cm となり，

河動幅（＝低水路幅）70cm に対して 6.1%となる。したがって、今回の水制の設置状況および水理条件下では、水制周辺部における最大洗掘深は通常の橋脚（阻害率 10%以下）における場合とほぼ同程度以下と見積もられる。なお、今回の評価結果は静的洗掘を対象としたものであり、動的洗掘の場合や水制の配置を変更した場合などには異なった結果となることが予想され、さらに詳細な検討が必要である。

表-2 洗掘深より算定される相当円柱径

	洗掘深 Z (cm)	相当円柱径 D (cm)	相当阻害率 (%)
Case-1 (最大)	4.04	1.63	2.33
Case-1 (定常)	2.03	0.73	1.04
Case-3 (最大)	8.98	4.27	6.10
Case-3 (定常)	5.47	2.34	3.34

(4) 水制域間の土砂輸送に関する考察

図-3 に示した平衡状態の河床形状からも明らかのように、上流部に位置する第 1～第 3 水制域では洗掘領域がやや卓越している。一方、第 4 水制域以降では堆積領域が卓越傾向である。すなわち、土砂の移動は各水制域内で完結しているわけではなく、今回のような水制群の設置状況の場合には、土砂供給源としての遷移域水制群（第 1～第 3 水制域）の役割がうかがえる。

図-6 は Case-3 について各水制域における初期河床からの変動量から堆積ないしは洗掘容量を算定し縦断方向に図示したものである。なお、低水路部における河床低下量を系全体からの流出量として補正してある。図より、遷移域に位置する第 1～第 3 水制域では全体として河床低下が著しく、一方定常域となる第 4 水制域以降は河床は上昇傾向にある。このことは、水制群による土砂捕捉機能を発揮させるためには、遷移域に加えて定常域を確保するだけの水制域数（今回の場合 4 水制域以上）が必要なことを示している。また、図より河床材料の平均移動距離を算定すると約 130cm となり、水制域 3 つ分（3@45＝135cm）にほぼ等しい。したがって、定常域に入ってから以降も複数個以上の水制域数を確保するのが望ましいことが示されている。

4. おわりに

得られた主な成果を列挙すると以下のようなものである。

- 1) 水制域における土砂動態を明らかにするため、掃流砂のみを対象として実験的に検討した。その結果、水制を越流する流れによって水制域の中央付近から高水敷側へ向かって堆積域が形成されることが確認されたが、このような掃流砂の動態のみでは環境上重要とされる水際域へ向かっての緩斜面の形成過程は十分に説明できないことがわかった。
- 2) 速度分布から算定される掃流力は実際のそれに

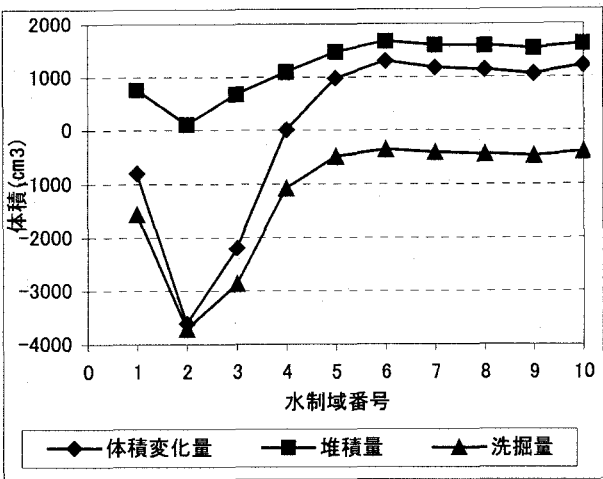


図-6 Case-3 における洗掘および堆積量の縦断変化

比してかなり小さい。このことは、掃流力分布の正確な計測のほか、モデルにおける掃流力の評価方法についても検証の必要性を示唆している。

3) 水制周辺部に表れる最大洗掘深について、同様の水理条件下で相当する洗掘深を与える円柱の径により評価した。相当円柱径を低水路幅で除した阻害率は 1.0～6.1%となることから、今回の条件では水制による最大洗掘深は通常の橋脚における場合とほぼ同程度以下と考えられる。

4) 各水制域における初期河床からの変動量を算定した結果、遷移域に位置する第 1～第 3 水制域では河床低下傾向にあり、定常域となる第 4 水制域以降は河床は上昇傾向にある。また、河床材料の平均移動距離は複数の水制域の長さにあたると算定された。したがって、水制に土砂捕捉機能を発揮させるには、遷移域と定常域をそれぞれ十分に確保するために、ある程度の群数とすべきであることが示された。

実河川と比較した場合、ここに示した河床変動結果はその典型例を再現し得ていない。これは、ここでの検討対象に含まなかった浮遊砂や流れの非定常性などに起因するものと思われる。また、本研究により水制群としての機能が遷移域によって大きく左右されることが指摘されたが、その詳細は未だ不明である。以上を今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) 岩垣：土木学会論文集，41，pp.1-21，1956.
- 2) 秋草，吉川ら：土木研究所報告，107 の 6，1960.
- 3) 例えば，Muto, Imamoto and Ishigaki: Proc. 12th APD-IAHR, Bangkok, Thailand, 2000.
- 4) 福岡，西村ら：水工学論文集，42，pp.997-1002，1998.
- 5) 江頭，大槻ら：好ましい河川環境に関わる土砂水理研究（財団法人河川環境管理財団），pp.6-1-33，2002.
- 6) 土木学会水理委員会編：水理公式集（平成 11 年版），pp.215-216，1999.
- 7) 同上 pp.218-222，1999.
- 8) 中川，鈴木：京大防災研年報，17B，pp.725-751，1974.

(2003. 4. 11 受付)