

II-35

出水前後における水制近傍の河床材料調査について

北海道開発局 正員 崇田 徳彦
 北海道大学 正員 清水 康行
 北海道大学 正員 板倉 忠興

1. はじめに

水制背後の土砂堆積は一般に2次流や乱流拡散により土砂が堆積される。これに加え、主流に流速差が存在する場では不安定性により周期渦が発生し拡散に大きな影響を与えている¹⁾。しかしながら、これらの現象がそれぞれどのような役割を果たし土砂堆積を促進しているのかは明らかにされていない。また、水制を含む基礎実験や数値解析の検討^{2)~7)}は、大半が不透過水制に着目したものであり、透過水制に着目した研究⁸⁾は少ない。なぜならば、透過水制として設置されていても流木や土砂等によりほぼ不透過水制となっていると考えられているためである。ただ、実際の河川においては水制は不透過となっておらず、大半が施工時のままの透過型である。

本研究では出水前後における水制周辺の河床材料を測点毎に採取し、実際に堆積している河床材料から水制によって生じる土砂堆積機能について検討した。さらに、河床高を面的に測定することにより、出水前後の河床変化について検討した。

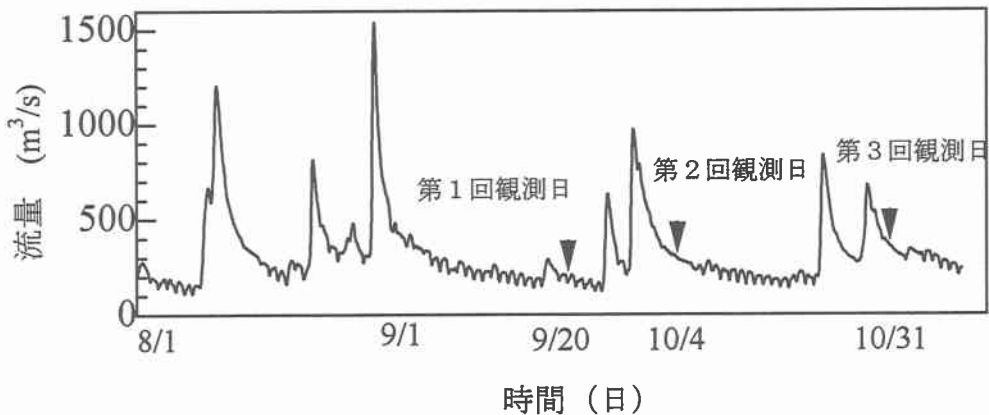


図-1 流量と観測日の関係

2. 調査概要

着目した水制は、著者等^{9~10)}が平成6年度に調査した水制(透過)である(現地状況については参考文献⁹⁾参照。また、前回の調査後、水制の延長や増設は行われていない。調査日は平成7年9月20日、10月4日及び11月1日であり、流量と観測日の関係を図-1に示す。

この地区の年平均流量は $250\text{m}^3/\text{s}$ である。1回目と2回目の観測日の間に発生した最大流量は約 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ であり、着目した水制のほぼ天端高に達する流量である(写真-1参照)。また、2回目と3回目の観測日の間に発生した最大流量は約 $800\text{m}^3/\text{s}$ である。観測日の流量は9月20日が約 $200\text{m}^3/\text{s}$ 、10月4日が約 $270\text{m}^3/\text{s}$ 、11月1日が約 $340\text{m}^3/\text{s}$ である。

3. 計測装置

流速及び河床の測定には超音波多層式流速計 ADCP(米国 RD Instruments 社製)を用いた。また、河床材料採取には写真-2に示す採取器を用いた。構造は棒の先に重りがついており採取地点を正確に落下させることが可

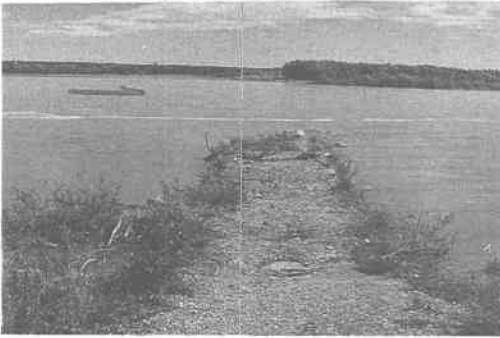


写真-1 9月28日出水状況

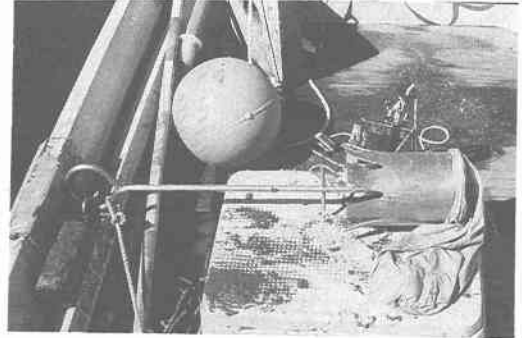


写真-2 河床材料採取器

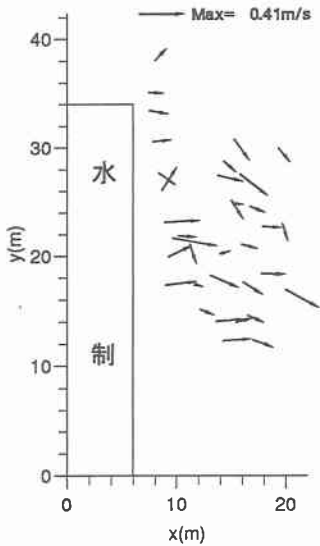


図-2 水制直下流
流速ベクトル図

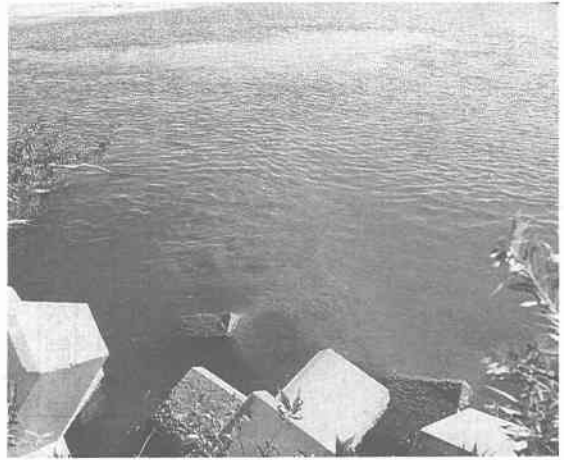


写真-3 水制直下流流況写真

能であり、採取口が広がっていることで表面だけでなく確実に河床材料を捕捉することが可能である。さらに採取袋は木綿を使用し極力小さい河床材料も採取可能となっている。

4. 調査結果

4-1. 水制の透過性

写真-3は水制上から水制直下流側を撮ったものである。水制を通過した流れが浮遊砂を運んでいる様子が良く表されている。また、図-2は11月1日の水制直下流域の流速ベクトル図(水面から120cmの地点)である(尚、座標の定義は後述の図-4に準ずる)。測定条件は0.5秒間隔の3秒平均であるために、流向にばらつきはあるが、水制を通過した流れが水制下流域に向かっていく様子が良く表されている。しかも、最大流速は約40cm/s程度あることから、浮遊砂を輸送するには十分な流速であると考えられる。図-3は直線水路に不透過水制を設置した時の水深平均流速ベクトル図⁶⁾である。これによると、図-2の結果のように水制背後直下流からさらに下流に向かうような流れは存在しない。つまり、水制を通過する流れも水制背後の土砂堆積に重要である。

4-2. 河床材料調査結果

測定点周辺の平面図を図-4に示し、調査結果を表-1に示す。

(1) 水制前域の調査結果

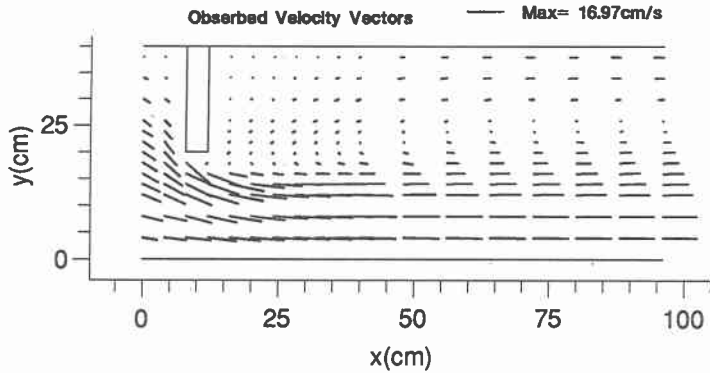


図-3 不透水水制流速ベクトル図

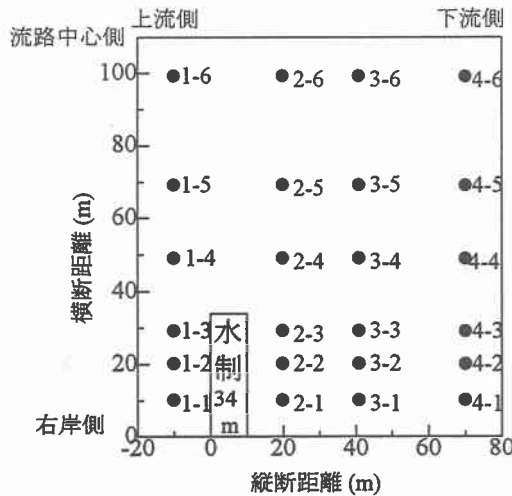


図-4 測定点平面図

水制上流側の測点1-2および1-3では、礫分が観測日より成分比が異なっている。水制上流側は、流量の変化がそのまま掃流力に影響を与えるため、出水流量の違いによる河床変化は非常に大きい。このため、観測日によって河床材料成分の変化が大きいものと考えられる。

測点1-1によると、3回の観測日の平均粒径は0.16mであり、水制下流側の測線2-3、3-3と同じ粒径である。wash loadの成分比を測点1-1と測点2-3および3-3と比較すると多少測点1-1の方が低い、ほぼ同じ成分比である。このように、水制上流側においても、水制による流速の抑制作用により浮遊砂が堆積される。

(2) 水制背後の調査結果

3回の観測日を通じて、測点2-1、2-2、2-3、3-1、3-2、3-3、4-1および4-2では、砂分とシルト分が大半を占めている。ただ、3回目の観測日の測点4-2は他の測点と異なりシルト分が少ない。考えられる理由として、測点4-2は水制からの縦断距離が70m下流であり、ちょうど水制長の2倍程度の位置である。このため、出水時には流れが非常に不安定となっていることが考えられる。また、上記の考え方と全く同じ理由から、測点4-3は礫分が多く構成されていると考えられる。

10月4日の観測日において、測点2-1、2-2、3-1、3-2、4-1、4-2では、砂分の占める割合が減少しシルト分の占める割合が増加している。このように水制背後の剥離域内側に堆積する土砂はほとんどがwash loadである。wash

測点	礫分 ~2mm (%)			砂分 75 μ m~2m (%)			シルト分 5~75 μ m (%)			粘土分 5 μ m~ (%)			wash load (%)			最大粒径 (mm)			平均粒径 (mm)				
	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	9/20	10/4	11/1	all	
1-1				78.6	78.5	87.9	13.3	14.5	4.8	8.1	7.0	7.3	39.1	42.7	26.9	2.0	2.0	2.0	0.16	0.14	0.18	0.16	
1-2	53.6	9.6	33.2	42.0	85.3	62.7	0.8	1.3	1.0	3.6	3.8	3.1	5.4	7.7	5.3	37.5	26.5	37.5	4.33	1.00	3.60	3.00	
1-3	66.7	8.4	52.7	27.5	87.8	44.9	1.3	0.4	0.4	4.5	3.4	2.0	6.8	3.8	3.0	37.5	26.5	26.5	5.63	1.25	3.86	3.58	
1-4	3.9	9.2	10.2	91.2	86.6	85.2	0.9	0.2	0.8	4.0	4.0	3.8	6.7	4.3	5.6	19.0	19.0	19.0	0.64	1.07	1.21	0.97	
1-5	13.6	7.3	7.5	81.4	88.3	88.2	1.4	0.5	0.5	3.6	3.9	3.8	5.6	4.4	5.4	19.0	19.0	19.0	1.25	0.97	1.04	1.09	
1-6	12.8	8.2	16.3	82.7	87.5	79.4	0.3	0.7	1.3	4.2	3.6	3.0	5.0	4.3	4.8	19.0	19.0	26.5	1.20	1.07	1.84	1.37	
2-1				48.4	33.5	47.1	40.7	50.1	39.6	10.9	16.4	13.3	72.6	83.5	75.0	2.0	2.0	2.0	0.09	0.07	0.08	0.08	
2-2				70.8	46.1	26.2	21.0	40.5	56.5	8.2	13.4	17.3	53.5	72.8	87.7	2.0	2.0	2.0	0.12	0.09	0.06	0.09	
2-3				59.8	87.5	68.0	31.1	6.2	22.7	9.1	6.3	9.3	61.5	26.6	51.4	2.0	2.0	2.0	0.13	0.24	0.15	0.17	
2-4	6.8	10.8	11.4	88.4	85.2	83.9	0.9	0.3	0.9	3.9	3.7	3.8	6.0	4.1	5.3	19.0	26.5	26.5	0.90	1.43	1.41	1.25	
2-5	8.7	9.4	9.6	86.3	85.8	84.5	1.1	1.3	1.3	3.9	3.5	4.6	5.1	4.9	6.6	19.0	26.5	19.0	1.01	1.29	1.07	1.12	
2-6	17.2	12.1	23.9	78.4	83.7	72.2	1.1	0.7	0.8	3.3	3.5	3.1	5.4	4.7	4.9	19.0	26.5	37.5	1.51	1.58	2.78	1.96	
3-1				29.1	7.8	9.8	56.5	72.7	73.2	14.4	19.5	17.0	84.3	96.9	97.1	2.0	2.0	2.0	0.07	0.04	0.04	0.05	
3-2				42.2	5.2	11.3	46.2	71.4	70.5	11.6	23.4	18.2	73.6	98.2	95.3	2.0	2.0	2.0	0.09	0.03	0.04	0.05	
3-3			0.4	66.1	43.5	68.3	22.2	39.3	21.4	11.7	17.2	9.9	45.4	64.4	39.4	4.75	2.0	19.0	0.22	0.13	0.25	0.20	
3-4	5.6	7.6	12.9	89.9	68.1	82.6	0.4	13.5	0.6	4.1	10.8	3.9	4.9	24.7	5.0	19.0	26.5	19.0	0.85	1.08	1.43	1.12	
3-5	4.7	9.1	9.2	90.3	86.8	84.9	1.3	0.6	1.5	3.7	3.5	4.4	6.1	4.2	6.6	19.0	19.0	19.0	0.73	1.06	1.21	1.00	
3-6	12.8	17.9	29.2	82.5	74.6	66.6	0.9	1.4	1.2	3.8	6.1	3.0	5.4	8.5	5.3	19.0	26.5	26.5	1.30	1.89	2.64	1.94	
4-1				35.3	9.0	10.2	51.1	71.0	70.0	13.6	20.0	19.8	78.8	95.6	96.3	2.0	2.0	2.0	0.08	0.04	0.04	0.05	
4-2				49.6	21.8	76.8	39.4	62.2	15.6	11.0	16.0	7.6	69.4	86.7	38.4	2.0	2.0	2.0	0.10	0.06	0.16	0.11	
4-3			41.3	59.8	92.0	54.1	30.3	1.9	2.0	9.9	6.1	2.6	58.8	16.4	6.1	2.0	2.0	26.5	0.13	0.25	4.07	1.48	
4-4	5.9	7.8	10.7	89.1	88.5	84.0	1.4	0.4	1.5	3.6	3.3	3.8	6.5	3.7	5.7	19.0	26.5	19.0	0.78	1.12	1.30	1.07	
4-5	6.4	10.2	19.2	88.6	85.2	76.4	1.4	0.9	1.1	3.6	3.7	3.3	5.6	6.3	5.0	19.0	26.5	19.0	0.88	1.36	1.67	1.30	
4-6	17.1	15.7	13.3	78.2	80.1	82.7	1.7	0.8	0.6	3.0	3.4	3.4	6.0	5.8	4.9	19.0	26.5	26.5	1.44	1.65	1.70	1.60	

(注, wash load は0.1mm 以下の粒径とする。平均粒径の all は3回の観測日の平均である。)

表-1 ふるい分け試験結果

load は浸食を受けていない裸地河岸から発生することからも、水制より上流域での出水による河岸浸食が水制背後の土砂堆積に重要な影響を与えていると推定される。

3回の観測日を通じて、測点2-4、2-5、2-6、3-4、3-5、3-6、4-4、4-5および4-6の wash load の成分比は殆ど変化してなく、5~6%である。言い換えると、出水前、出水後に関わらず、剥離域外側の流れの安定している測点2-5、2-6、3-5、3-6、4-5および4-6で、wash load は微量である。これに加えて、剥離域近傍の流れが非常に不安定になっている地点であっても、主流方向に流速差があまり生じない剥離域外側の測点2-4、3-4および4-4では、wash load は微量である。

測点2-1、2-2、3-1、3-2、4-1および4-2(剥離域内側)の平均粒径(all)は、0.55~0.11mm であり、測点2-3、3-3および4-3(剥離域)の平均粒径(all)は0.17~1.48mm である。さらに測点2-4、2-5、2-6、3-4、3-5、3-6、4-4、4-5および4-6(剥離域外側)の平均粒径(all)は1.12~1.96mm である。このように剥離域内側、剥離域および剥離域外側で河床材料の性質が異なっている。剥離域内側では拡散により土砂成分が決定し、剥離域では2次流により土砂成分が決定し、剥離域外側では主流流速により土砂成分が決定されるものと考えられる。

4-3 河床高調査結果

図-5、-6及び-7は平成7年9月20日、10月4日及び11月1日の河床高の鳥瞰図である。x軸は水制からの流下距離、y軸は右岸からの横断距離、z軸は標高を表している。鳥瞰図が抜けている地点が水制設置箇所である。どの観測結果も水制背後の剥離域を連ねる形でマウンドが形成されているのがわかる。この現象は水制によって生じる2次流によって形成された現象であると考えられる。

9月20日(図-5)と10月4日(図-6)を比較すると水制下流側で40~50cmの土砂が堆積している。また、これと同様に水制上流側でも40~50cmの土砂が堆積している。これは、水制上流側でも水制が流速抑制の働きをするために、堆積するものと考えられる。これを裏付ける観測結果として、9月20日の観測結果を縦断方向に次ぎの水制(着目水制から130m下流)、横断方向に計測可能(水深80cm)までの鳥瞰図を図-7に示す。これによると、水制下流100mからさらに下流では、土砂が堆積している。これは着目水制の影響により発生した土砂堆積ではなく、次の水制による流速抑制により堆積していると考えられる。

10月4日(図-6)と11月1日(図-7)を比較すると、水制下流側30m付近までは堆積傾向にあるが水制下流側

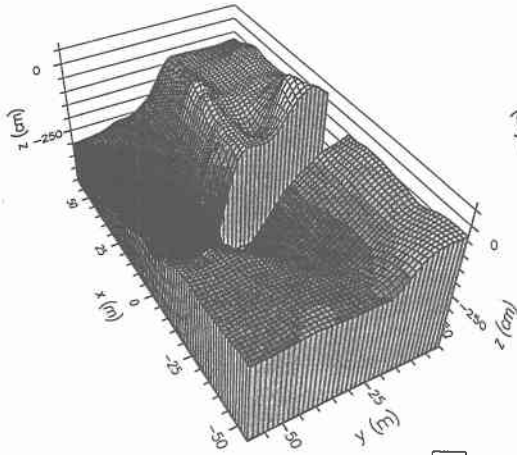


図-5 9月20日の河床高の鳥瞰図

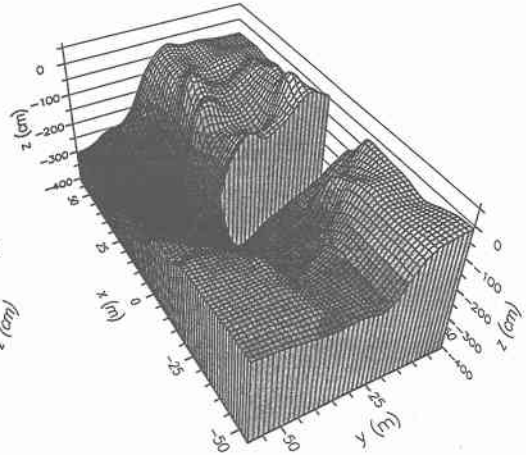


図-6 10月4日の河床高の鳥瞰図

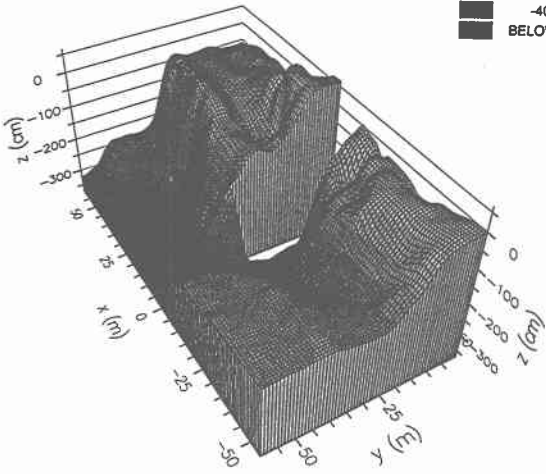
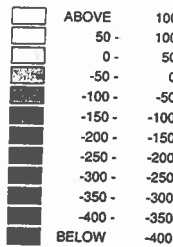


図-7 11月1日の河床高の鳥瞰図

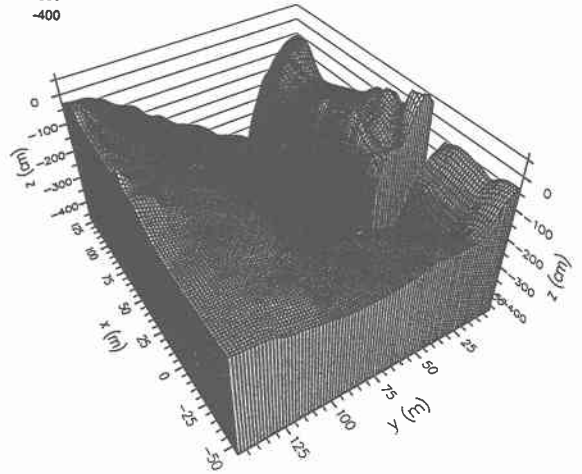


図-8 9月20日全体の河床高の鳥瞰図

30mよりさらに下流では河床高が若干であるが、低くなっている。これは、水制背後でも出水時には掃流力が大きいために洗掘傾向にあり、出水後には埋め戻しが起きる。この現象がまだ上流から伝搬していないためと考えられる。

図-9は平成6年10月14日の観測結果⁹⁾と平成7年9月20日の観測結果を比較したものである。グラフは横断距離24mの地点を縦断的に河床高を比較したものである。平成7年9月20日から平成6年10月14日までに、水制下流側30m付近までは1m程度土砂が堆積しているのがわかる。この間、水制背後の土砂堆積に有意と考えら

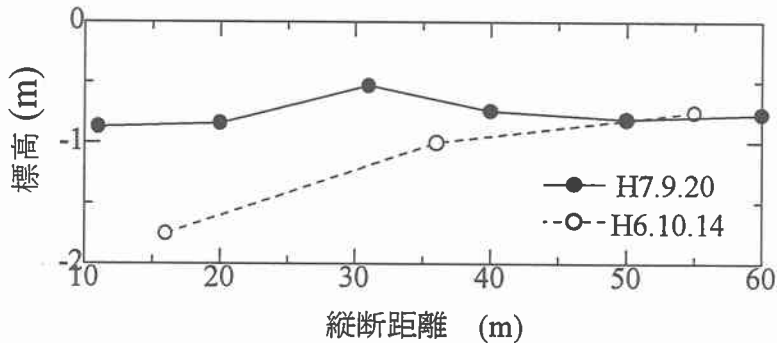


図-9 平成6年10月14日と平成7年9月20日の河床高の比較

れる出水は、図-1の日付以前では融雪出水のみである。このことから、1回の出水による河床変化が40cm程度あることから、出水が水制背後の土砂堆積に有意と考えられる。

5. 結論

水制背後の土砂堆積には水制の透過性が非常に重要であることが示された。また、水制背後に堆積する土砂は wash load が大半を占めることから、wash load の供給源が必要である。水制による土砂堆積は水制背後だけでなく、水制上流側にも生じていることが示された。つまり、水制（透過型）は縦断的な流れの変化を与える。この働きもまた水制近傍の土砂堆積に重要であることが示された。

今後、急流河川に設置されている水制についても、調査を行う必要がある。

参考文献

- 1) 池田駿介, 太田賢一, 長谷川洋: 側岸部植生境界の周期渦の発生機構, 土木学会論文集, pp.47~54, No.443, 1992
- 2) 板倉忠興, 黒木幹男, 森明巨: 水制の機能と効果に関する研究, 水域経営に関する基礎的研究, pp.101~121, 1991
- 3) 道上正規, 檜谷治: 水制周辺の平面2次元河床変動計算に関する研究, 水工学論文集, pp.61~66 第36巻, 1992
- 4) 福岡捷二, 渡辺明英, 西村達也: 水制工の配置方法の研究, 土木学会論文集, pp.27~36, No.443, 1992
- 5) 清水康行, 西本直史: 水制による河床変化の数値計算, 開発土木研究所報告, pp.1~24 No.98, 1993
- 6) 崇田徳彦, 清水康行: 水制を含む流れの準3次元数値計算モデルの開発, 土木学会論文集, pp.31~39, No.497, 1994
- 7) 崇田徳彦, 清水康行, 橋本識秀: 水制を含む流れの実験的研究, 年次学術講演会概要集, pp.180~181, No.47, 1993
- 8) 柿崎恒美, 長谷川和義: 水制のある開水路中の横断運動拡散係数の測定, 水工学論文集, pp.281~286 第36巻, 1992
- 9) 崇田徳彦, 渡邊康玄, 清水康行: 水制周辺の流速分布について, 水工学論文集, pp.577~582 第39巻, 1995
- 10) 崇田徳彦, 渡邊康玄, 清水康行: 弯曲河道に設置されている水制周辺の現地調査について, 北海道支部論文報告集, pp.188~193 第51号, 1995