

軟岩の洗掘を考慮した河床変動手法の開発

A Numerical Calculation Method of River Bed Deformation That Considers Scour of Soft Rocks

水工事業本部

水工第1部 井上 卓也¹⁾
水工第1部 濱木 道大²⁾



1)



2)

概要(Abstract)

石狩川上流部の旭川市を貫流する区間は河床が急勾配であり、河床低下が顕著である。このため、河床低下による既設護岸の浮き上がりや河川構造物の根入れ不足などが生じており、安全性に対する影響が懸念されている。当該区間は、河床低下により、砂礫河床から軟岩が露出した河床へと変化してきているが、河床は安定化する傾向にはなく、滞筋の固定化による局所洗掘や砂州の樹林化が見られ、河川環境も大きく変化している。

本論文は、対策検討に必要な数値解析モデルの精度向上を目的として、軟岩の洗掘速度について実験を行い、その結果を基に開発した、軟岩の洗掘を考慮した河床変動計算手法について記述するものである。

1. はじめに

近年、全国的に源流から河口までの土砂動態の変化により河床低下が問題となっている河川が多く見られる。旭川市街地付近の石狩川本川においては、河床低下が進行し河床を覆っていた砂礫が一扫され、低固結の基盤岩(軟岩)が露出する区間が増加している(図-1)。

軟岩は、ある程度の固結度を有しているが、強い水流に対して脆弱であり、一度侵食を受けると流水や流砂が集中し、局所的な深掘れを形成しやすい特徴を有している。このため、砂礫の消失による魚類の産卵環境及び生息環境の悪化だけではなく、局所的な深掘れによる橋脚の根入れ不足、護岸の浮き上がりなどが問題になっている。

将来の河道特性を把握するために、河床変動解析等による河床低下量の予測を行うが、通常の河床変動解析では岩盤の局所洗掘を適切に評価することは困難である。このため、岩盤層における局所洗掘について、その原因やメカニズム、岩盤の流水や流砂に対する強度など、変動を考える上で未解明な部分の取り扱いが課題となっている。

そこで、軟岩の洗掘強度について現地実験を行い、その結果を基に、軟岩の洗掘を考慮した河床変動計算手法の開発を行った。



図-1 河床低下区間



写真-1 露岩状況：河口から160.2km付近(左)
洗掘による護岸の浮き上がり(右)

2. 現地実験水路による岩盤強度試験¹⁾

(1) 実験概要

流水や流砂による軟岩の洗掘特性について把握するために、石狩川本川(河口から160.2km左岸付近)の低水路内の露岩箇所を掘削して現地実験水路を作成し(図-2)、給砂条件と流量条件を変化させ計8ケースの実験を行った。

実験水路は幅 $B=0.8\sim 1\text{m}$ 程度、深さ $h=1\text{m}$ 程度、

河床勾配 $i=1/30$ とし、本川の平均年最大流量時 ($Q=613\text{m}^3/\text{s}$) の低水路平均摩擦速度 26.5cm/s と同程度の摩擦速度が得られることを目標とした。

なお、岩盤の洗掘の要因としては、乾湿の繰り返しが考えられるが、最深部は常に水没しているため、局所洗掘に関する乾湿の繰り返しによる影響は少ないと考え、水路河床面が乾燥しないように、実験中は少量の水を流し続けることとした。

(2)実験結果

実験におけるケース毎の実験条件と実験結果を表-1 に、実験における通水前後の河床変動高コンター図を図-3 にそれぞれ示す。なお、表中の平均洗掘速度は、砂礫堆積部分を除いた各ケースでの全測点平均値である。

これらの結果から、給砂量(単位幅流砂量)が大き

くなると、軟岩の平均洗掘速度も大きくなることが判明した。また、写真-2 の様な実際の川でも確認されている「みずみち」が形成され、そこに流水や流砂が集中し、局所洗掘が進行することが判明した。

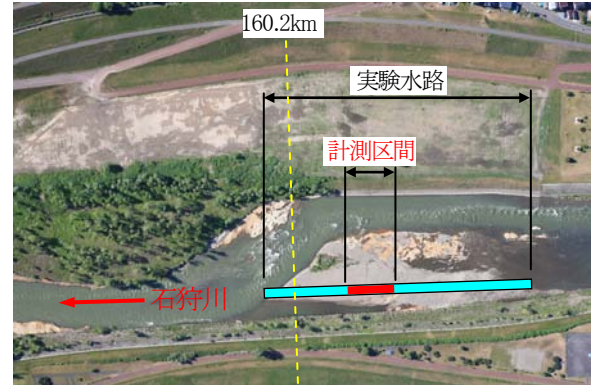


図-2 実験水路 (位置図)

表-1 実験の条件と結果(洗掘速度)

Case	通水時間	平均流量	平均水深	平均流速	給砂量 (単位幅流砂量)	給砂土砂の 平均粒径	平均洗掘速度 ※堆積除く
	T (s)	Q (m^3/s)	H_s (m)	V (m/s)	gb (m^2/s)	d (mm)	D (m/s)
Case1	21600	0.15	0.13	1.45	1.63E-04	28.40	1.38E-07
Case2	14400	0.24	0.15	2.05	4.08E-04	28.40	2.34E-07
Case3	14400	0.15	0.15	1.31	4.08E-04	12.00	3.40E-07
Case4	14400	0.14	0.14	1.33	8.15E-04	12.00	3.51E-07
Case5	14400	0.30	0.18	2.13	6.80E-04	28.40	4.56E-07
Case6	10800	0.30	0.18	2.07	1.02E-03	28.40	6.46E-07
Case7	10800	0.40	0.24	2.17	1.02E-03	28.40	6.74E-07
Case8	10800	0.42	0.25	2.18	1.63E-03	28.40	7.59E-07

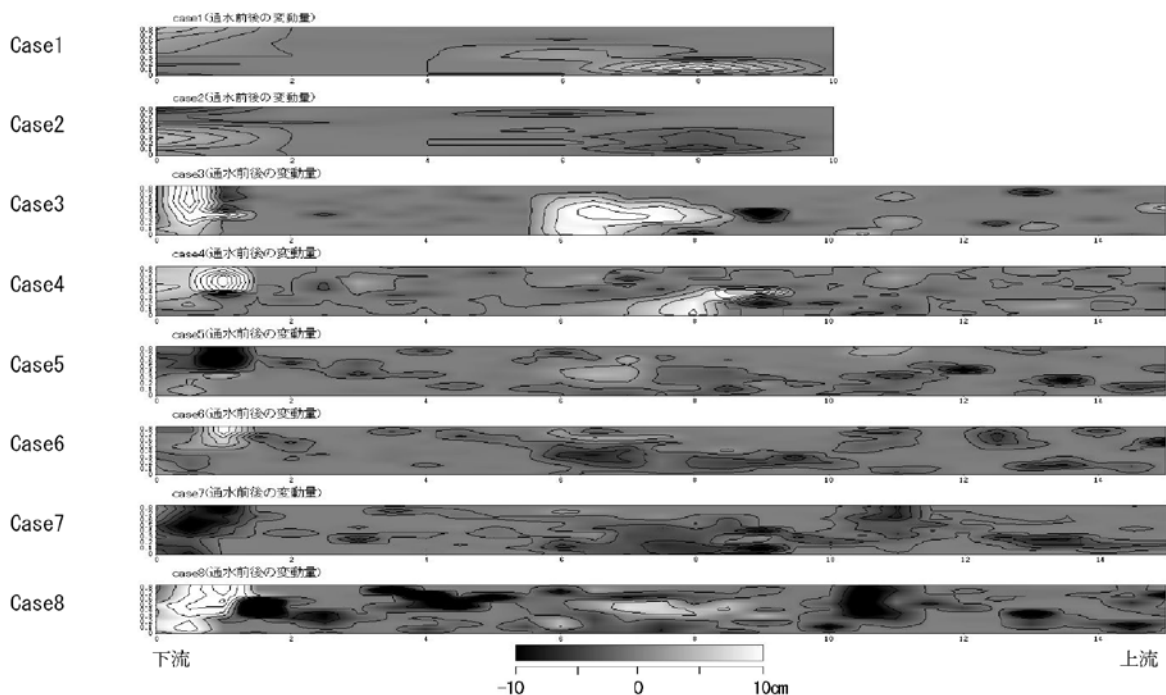


図-3 通水前後の河床変動高コンター図



写真-2 実験終了後の水路 (みずみちの形成)

3. 軟岩の洗掘速度と水理量の関係

軟岩の洗掘速度と水理量の関係式を作成するために、コンクリート河川構造物の砂礫による摩耗予測手法²⁾を参考に、洗掘速度と単位幅流砂量との関係について以下のように仮定した。

- ① 岩盤の洗掘は、主として水流中の砂礫の衝突による。
- ② 岩盤の洗掘量は、岩盤面に衝突する砂礫の運動量に比例する。

上記の仮定により、洗掘深 D_0 は式(1)で表される。

$$D_0 = \alpha_1 \cdot T \cdot N \cdot m \cdot V_0 \quad (1)$$

ただし、 D_0 は単位幅当たりの洗掘量(m)、 α_1 は比例定数、 T は砂礫による衝撃の継続時間(s)、 N は単位時間幅当たりの洗掘現象に関与する砂礫の数(個/s/m)、 m は流砂1個当たりの質量(g)、 V_0 は流砂の速度(m/s)とする。

ここで、単位時間幅当たりの洗掘現象に関与する砂礫の数 N は、単位幅当たりの通過掃流砂量を q_b (m^2/s)、流砂1個当たりの体積 v (m^3)、流砂が衝突する確率を p とすると、以下の式で表される。

$$N = q_b \cdot p / v \quad (2)$$

さらに、流砂の速度 V_0 は流速 V に比例すると仮定すると、単位幅当たりの洗掘速度 D (m/s) は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} D &= \frac{D_0}{T} = \alpha_1 \cdot N \cdot m \cdot V_0 \\ &= \alpha_1 \cdot (q_b \cdot p / v) \cdot (v \cdot \rho_s) \cdot (\alpha_2 \cdot V) \\ &= \alpha \cdot q_b \cdot V \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 ρ_s は砂の密度、 α 及び α_2 は比例定数である。

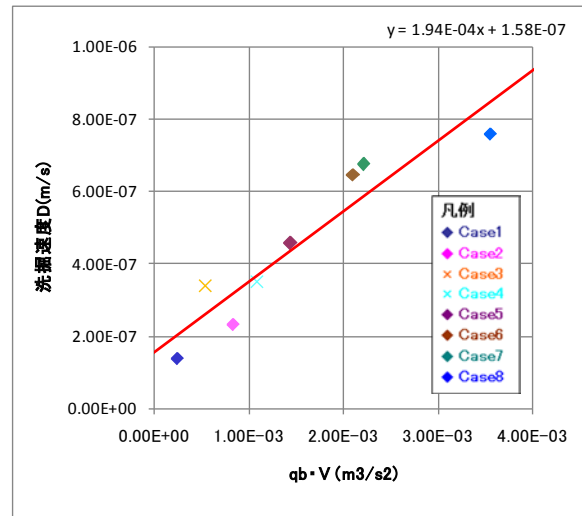


図-4 洗掘速度と単位幅流砂量×流速との関係

ここで、実験結果から図-4のように、近似直線を用いて単位幅当たりの洗掘速度 D (m/s) の関係を表すと、実験を行った範囲内において以下の通りとなる。

$$D = 1.94 \times 10^{-4} \cdot q_b \cdot V + 1.58 \times 10^{-7} \quad (4)$$

4. 軟岩の洗掘を考慮した平面 2 次元河床変動計算手法の開発³⁾

(1) 軟岩上の河床変動

軟岩上の河床変動量は以下の仮定のもと算出する。

- ① 河床高が岩盤面以上のときは、砂礫河床における一般的な平面 2 次元河床変動モデル⁴⁾を用いる。
- ② 河床高が岩盤面以下のときは、式(4)より算出した軟岩の洗掘高を河床変動高とし、流入した砂礫は下流へ通過させる。
- ③ ただし、河床高が岩盤面以下でも、砂礫が堆積傾向のときは、砂礫の堆積高と式(4)より算出した軟岩の洗掘高の合計値を河床変動高とする。

(2) 再現計算

軟岩の洗掘を考慮した平面 2 次元河床変動計算手法の妥当性を検証するために、露岩の顕著な石狩川本川旭川市街地付近(河口から 160km~163km)の再現計算を行った。

再現期間は平成 13 年から平成 18 年までとし、初期河床形状、樹木繁茂状況は平成 13 年度調査時のデータを用い、初期河床材料は最も新しい平成 8 年

度調査時のデータを用いた。

(3) 計算結果の考察

計算結果の平均河床高縦断面図と最深河床高縦断面図を図-5に、計算結果の横断面図を図-6にそれぞれ示す。

河床高縦断面図を見ると、軟岩の洗掘を考慮した場合(Case2)は、軟岩の洗掘を考慮しなかった場合(Case1)に比べ、最深河床高の再現性が向上する結果となった。

また、横断面図を見ると、軟岩の洗掘を考慮しなかった場合(Case1)、軟岩特有の一度侵食を受けると、みずみちに流砂が集中し、局所的な深掘れが進行するという特徴を十分に再現できていない。これに対し、軟岩の洗掘を考慮した場合(Case2)、局所洗掘の位置は若干ずれるものの、洗掘深は概ね一致する結果となった。

5. まとめ

- ① 実験結果より、軟岩の洗掘は流砂による影響が大きいことが判明したため、軟岩の洗掘は衝突する砂礫の運動量に比例すると仮定し、洗掘速度の関係式を作成した。
- ② 再現検証より、上記関係式を導入することによって露岩区間の河床変動を十分な精度で再現可能であることが確認された。また、軟岩の洗掘を考慮することにより軟岩の洗掘を考慮しない場合に比べて、露岩区間の再現性が向上することが確認された。
- ③ 本研究で開発した軟岩の洗掘を考慮した河床変動計算手法により、未解明の部分が多かった露岩区間の河床変動について、定量的な将来予測及び対策の検討が可能となった。

参考文献

- 1) 松本勝治, 田代隆志, 根本深: 石狩川上流における河床低下について, 第52回北海道開発技術研究発表会資料, 2009.
- 2) 大野善雄, 林 栄港: コンクリート河川構造物の摩耗予測の一手法, 電力土木, No211, 1987.
- 3) 井上卓也, 渡邊康玄, 齋藤大作, 根本深, 松本勝治, 江崎國夫, 濱木道大: 軟岩の洗掘を考慮した河床変動計算手法の開発, 河川技術論文集, 第15巻, 2009.
- 4) 清水康行, Marco Tubino, 渡邊康玄: 自由砂州と交互砂州の共鳴条件における河床変動計算, 水工学論文集第36巻, 1992.

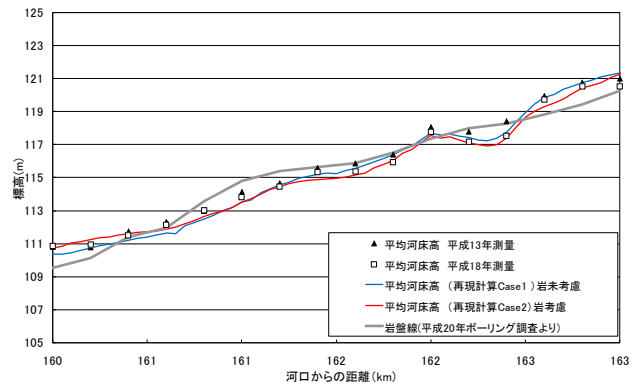


図-5(1) 平均河床高縦断面図

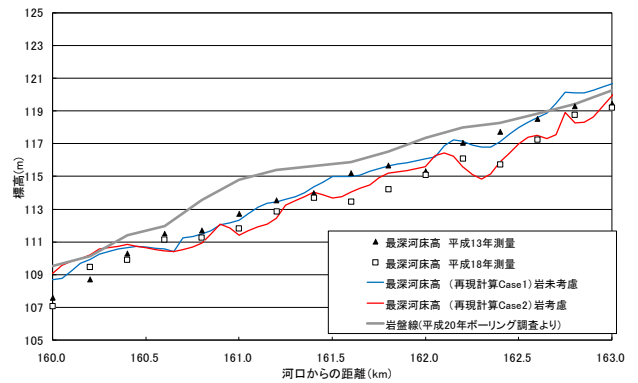


図-5(2) 最深河床高縦断面図

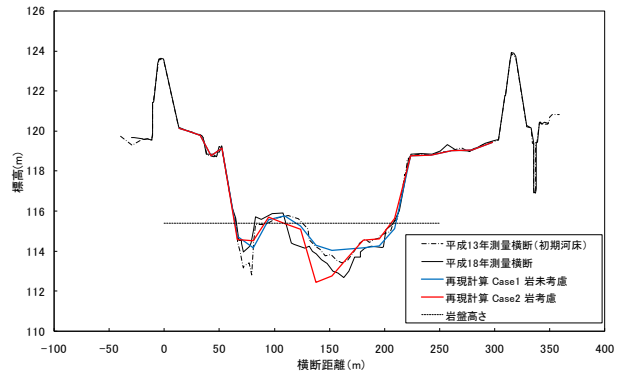


図-6(1) 横断面図(河口から161.2km地点)

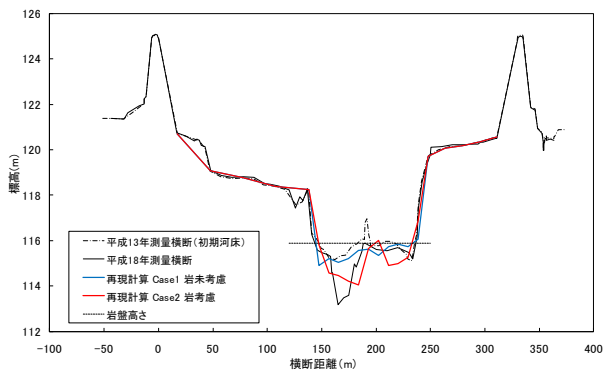


図-6(2) 横断面図(河口から161.6km地点)