

混合粒径実験において土砂供給量が河道変形に及ぼす影響

Effects of sediment supply on channel deformation in mixed grain size experiments

北海道大学大学院工学院 学生員 ○宮本具征 (Tomoyuki Miyamoto)
(国研) 寒地土木研究所 正会員 井上卓也 (Takuya Inoue)
(国研) 寒地土木研究所 正会員 水垣 滋 (Shigeru Mizugaki)
北海道大学大学院工学院 正会員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

2016 年 8 月の一連の豪雨により、北海道上川郡清水町のペケレベツ川では急激な河道変化がわずか一夜のうちに生じた (図-1)。その後の調査により、上流で生産された大量の土砂が下流に堆積していたことが分かり、上流における土砂供給量と下流の河岸侵食には何らかの関係があることが示唆されている。

井上・水垣²⁾はこの関係に着目し、ペケレベツ川上流部を想定した移動床実験 (河床勾配 0.035) を行った。さらに、下流部を想定した同様の実験 (河床勾配 0.023) が小川ら³⁾により行われている。これらの実験により、土砂供給の増加に伴い河岸侵食規模が拡大すること、土砂供給の増加に伴い蛇行波長が短縮すること、土砂供給の増加に伴い粒径の粗い砂が砂州上層に堆積すること、土砂供給量が河岸侵食に与える影響は、勾配が急なケースにおいてより顕著になること、土砂供給の影響は上流端付近で大きく、下流へ行くほど小さくなることが分かっている。

しかし既往研究^{2), 3)}では、通水前後の最終的な地形変化を評価しており、時系列的な変化過程が未確認である。特に、粒径分布と粒径分布と地形変化の分析は定性的なものに留まっており、定量的な評価には至っていない。

そこで本研究では、小川ら³⁾が実施した実験を再分析し、地形の時間的な変化を追うことにより、土砂供給量が河道変化に及ぼす影響、および粒径分布と地形変化の関係の把握を試みた。

2. データの精度確認・修正

小川ら³⁾が実施した実験の水力条件を表-1 に示す。また、実験に用いた水路を図-2 に示す。なお、河床材料の水中比重は 0.55 であり、粒径 0.4mm、0.7mm、1.0mm 及び 1.4mm の粒子がそれぞれ約 1%、45 %、45%、9%の比率で混合されている。通水時間は、Case1 は 12 分、Case2 は 8 分であった。

小川らの実験の経時的な変化を分析するにあたり、Photo Scan (Agisoft) を用いて実験水路の数値標高モデル (以下 DEM ; Digital Elevation Model) を作成した。本研究では、1 つの DEM 当たり 100 枚超の写真から実験水路の地形を 3 次元的に再現した。作成したデータは以下に示す定性的・定量的な精度評価を行い、精度が不十分であるデータは、標定点の数を増やすとともにその位置を調節し、精度が目標値 (±1mm 程度) になるまで修正を行った。



図-1 ペケレベツ川の様子
(2016 年 9 月 1 日 PASCO)

表-1 小川ら³⁾の実験条件

ケース	流量 [ml/s]	給砂量 [ml/min]	河床勾配 [-]	通水時間 [min]
Case1-1	21	0	0.023	12
Case1-2		6.46		
Case1-3		12.9		
Case2-1	60	0		8
Case2-2		50		
Case2-3		100		

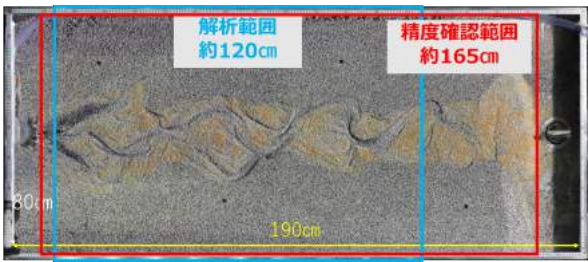


図-2 実験水路
(Little River Research & Design 製)

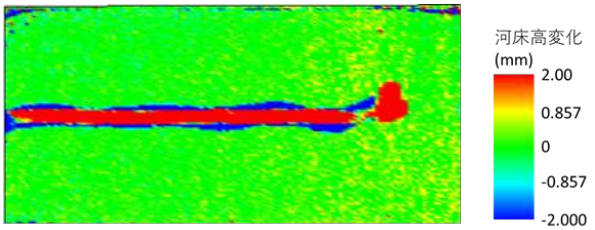


図-3 DEM 定性評価の様子

2-1. DEM の定性評価

初期地形および通水後地形の DEM それぞれを読み込んだメッシュを作成し、その差分をとった。この際、水が到達していない（＝河床高変化が生じていない）領域における通水前後の変量が 1 mm 以内になることを目標に、DEM の再作成を繰り返した（図-3）。

2-2. DEM の定量評価

ArcGIS を用いて、DEM を定量的に評価した。水未到達領域において 10cm 四方の領域を左右岸それぞれ 3 つずつ、計 6 つ切り取り、精度が目標値をクリアしているか定量的に評価した。最終的に解析に用いたほぼすべてのデータで、95%が目標を上回る差分 0.5 mm 以内に収まった。

3. 土砂供給量と地形変化

Case1 について、実験終了時の水路の様子を図-4 に示す。また、上流からの距離と実験終了時の川幅の関係をグラフ化したものを、図-5 に示す。

図-4 より、土砂供給のある Case1-2、1-3、2-2、2-3 では、最も粒径の粗い黄色の砂が表面に堆積していることが分かる。また図-5 より、土砂供給量の増加に伴い上流区間における河岸侵食幅の増大が起きていることが分かる。Case1 では、土砂供給量を 2 倍にすると、川幅が約 1.2 倍広がった。なお、Case2 シリーズでも Case1 シリーズと同様に土砂供給の増加に伴い上流側の川幅が拡大する傾向にあった。

図-6 は Case2-2 および Case2-3 の通水開始 4 分後の様子である。これより、土砂供給 50ml/分の Case2-2 に比べ、土砂供給 100ml/分の Case2-3 では河道の蛇行波長が短くなっていることが分かる。

4. 地形時間的変化

4 分毎の平面的地形変化を図-7 に示す。また、赤線部における上流部分の横断地形の変化を図-8 に示す。また図中の表記について、例えば 4-0 分であれば、通水開始 0 分～4 分間の変量を意味している。

図-8 より、上流端からの土砂供給がない Case1-1 には通水開始 4 分以降、上流区間の地形変化がほとんど生じていない一方で、土砂供給のある場合（Case1-2、Case1-3）は実験を通して地形変化が続いていることが分かる。このことから、土砂供給がない場合、地形は比較的早い段階で平衡状態に至るが、土砂供給がある場合、地形はなかなか平衡状態へ至らず、河岸の侵食が進行することが確認された。また、Case1 シリーズと Case2 シリーズを比較すると、流量・給砂量が共に多い Case2 シリーズの方がより速く地形が変化していることが確認された。

図-8 の横断図より、初期地形から 4 分後、8 分後、12 分後と、前の時間帯の地形で河床高の低い箇所では堆積が生じ、その外側の河岸で侵食が生じていることが確認された。

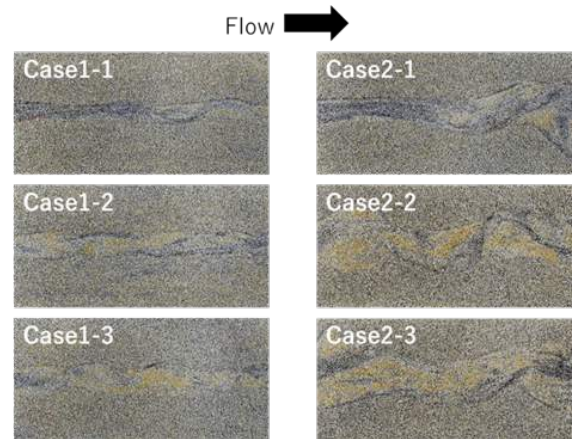


図-4 実験終了時の水路の様子

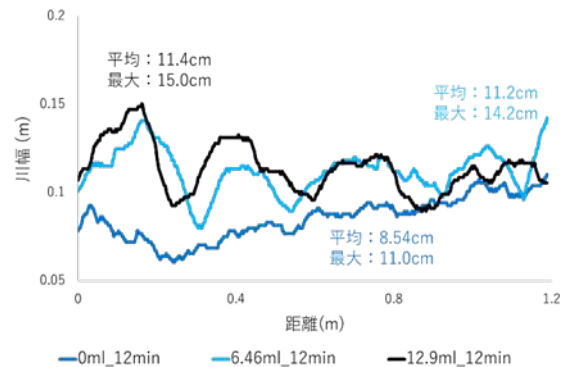


図-5 Case1 における土砂供給量と川幅の関係

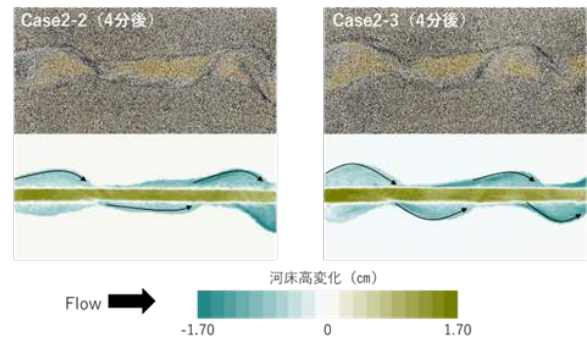


図-6 土砂供給量の増加による蛇行波長の短縮

5. 粒径変化と地形変化の関係

実験後の写真では、粗い砂が砂州上に堆積していることは明らかであった。そこで、「河床変化高と平均粒径変化量には正の相関がある」と仮説を立て、2 者の相関係数を算出した。係数一覧を表-2 に示す。表の通り、実験結果の印象とは異なる値となっている。また、流量・給砂量の多い Case2 では、Case1 と比べ相関性が低く、「ほとんど相関がない」結果となった。

実験後の印象と相関係数値の差が生じた原因としては、データを採取する時間間隔が 4 分では長すぎたのではないかと考える。河岸侵食を受けたところに粗い砂が堆積し、その箇所の地形変化がトータルで見ると負であった場

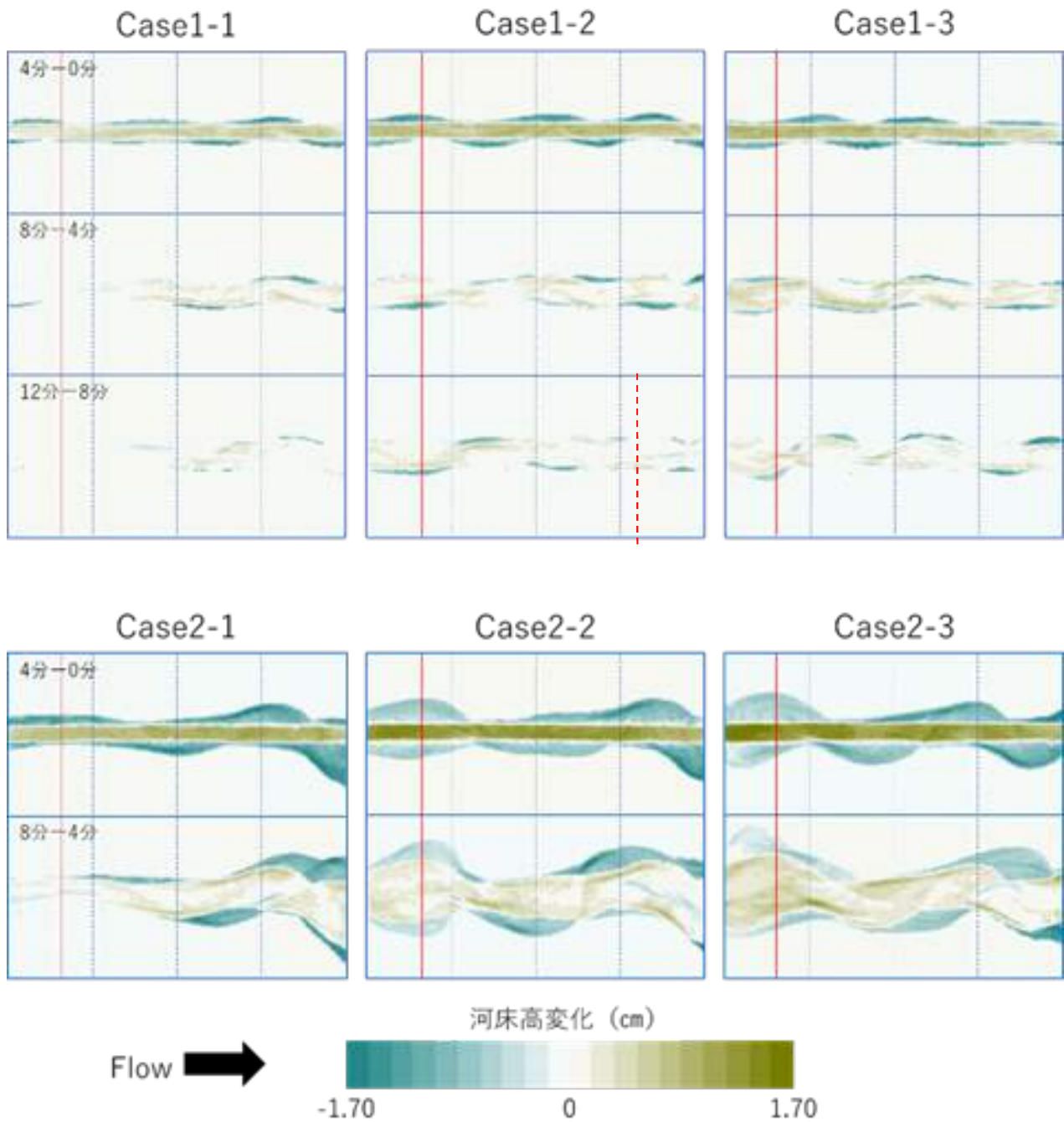


図-7 地形の時間的变化量
青点線は位置関係を分かりやすくするためのもの

合、侵食した時点・堆積した時点それぞれで地形を観測して入れば「堆積した箇所に粗い砂がある」となるはずである。しかし、地形観測の時間間隔が長い場合、「侵食した箇所に粗い砂がある」となってしまう。

また Case1 と Case2 とで相関係数の値に差が生じたことについて、地形変化の進むスピードが Case2 でより早かったことが 1 つの原因ではないかと考える。

5. まとめ

本研究では、「土砂供給量と下流の地形変化の関係」、「粒径分布と地形変化の関係」について、精度の確認されたデータを用いて解析することができた。

前者については、土砂供給のあるケースでは、土砂供給のないケースと比べ地形がなかなか平衡状態へ至らず、河岸侵食が進行していくことが確認された。また、河岸侵食の進行する地点付近では堆積が生じ、砂州が河岸方向へ発達していく様子が確認された。

後者について、本実験の水理条件においては地形変化と粒径変化に弱い正の相関が確認されたものの、確からしい結果を得ることはできていない。今後は、実河川スケールにおいても粗い砂の堆積がみられるか、どのような条件で粗い砂が堆積するかを検証し、地形変化と粒径分布の関係を把握する必要があると考える。

表-2 河床変化高と平均粒径変化量の相関係数

case	時間帯	サンプル数	相関係数
1-1	0-4分	2541	0.22
	4-8分		0.12
	8-12分		0.07
1-2	0-4分		0.06
	4-8分		0.20
	8-12分		0.20
1-3	0-4分		0.26
	4-8分		0.24
	8-12分		0.20
2-1	0-4分		0.09
	4-8分		0.12
2-2	0-4分		0.24
	4-8分		0.13
2-3	0-4分		0.18
	4-8分		0.07

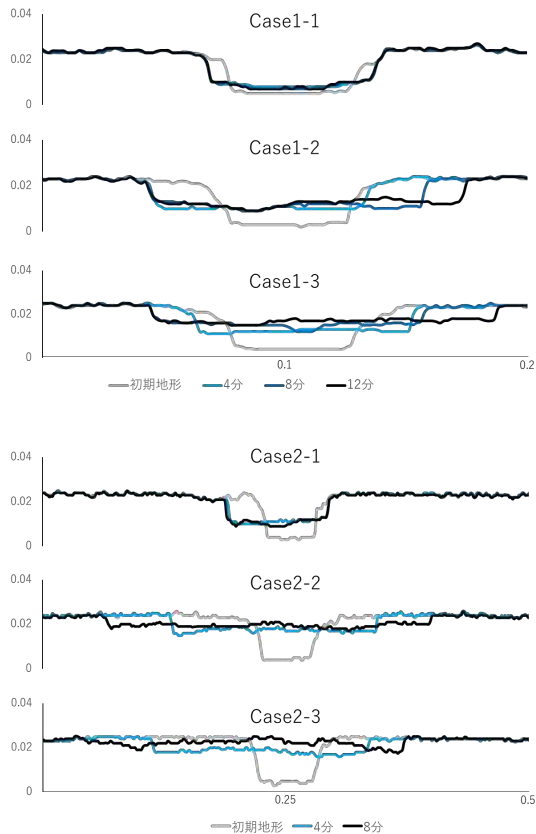


図-8 赤線部の横断面
縦軸：河床高 (m)、横軸：川幅 (m)

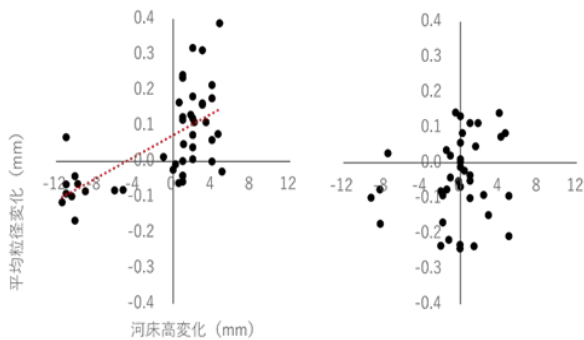


図-9 Case1-2 の 8 分後—12 分後における河床変化高と平均粒径変化の関係

(左) 上流部 (図-7 中の赤実線部)

相関係数 0.62

(右) 下流部 (図-7 中の赤破線部)

相関係数 0.18

参考文献

- 1) 2016 年 8 月北海道豪雨災害調査団報告書、2017.
- 2) 井上卓也、水垣滋：流砂系シナリオの変化と蛇行の挙動、平成 29 年度砂防学会研究発表会、2017.
- 3) 小川大和、清水康行、井上卓也、水垣滋、長谷川和義、上流端からの土砂流入量が下流流路の変動特性に与える影響について、土木学会北海道支部平成 29 年度年次技術研究発表会、2018.