

河川における掃流砂の観測と流砂量評価技術に関する研究

株式会社大林組 正会員 ○浅野 文典 国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所 曾山 和宏
 中央大学研究開発機構 正会員 内田 龍彦 中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. はじめに

本研究では、掃流砂量の観測技術と、掃流砂量の評価法の検討を目的に石礫河川である常願寺川河川敷水路で安定な河道の形成および、掃流砂量観測を行った。安定河道形成時の河道形成流量、河幅などの横断形状、河床材料粒度分布、河床勾配と掃流砂量の関係について検討し、石礫河川に対する福岡の無次元掃流砂量式の適用性について検討する。

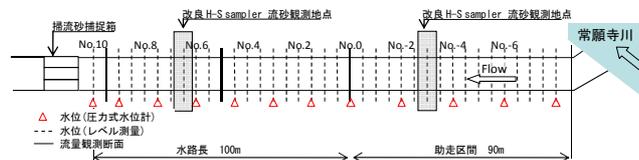


図-1 実験水路平面図

2. 現地実験の概要

2010年の常願寺川現地実験における実験水路は、6.1kmの砂州を素ぼり掘削することにより設けた。図-1に実験水路の平面図を示す。水路断面は幅4.9m、河床幅1.0m、高さ1.3mの自然河岸からなる拡幅可能な単断面形を有しており、初期水路の縦断勾配は実験箇所平均河床勾配相当の1/200である。実験水路の上流端及び本川からの土砂供給はない状態で通水し、実験水路下流端には水路に流れる流砂を全量捕捉できる施設として、縦6.2m、横2.2m、深さ1.0mの鋼製ボックスを3基設置した。観測項目は、水位、流量、河床縦横断形状、河床材料粒度分布の時空間変化及び掃流砂量である。



写真-1 改良 H-S sampler

3. 改良 H-S sampler と掃流砂捕捉箱を用いた掃流砂量観測

写真-1に、用いた掃流砂採取器を示す。従来の Helley-Smith bedload sampler¹⁾(以下 H-S sampler)の正方形でなく、20cm×10cmの横長の形にしているため改良 H-S sampler と呼ぶ。土砂を捕捉する袋は1mmメッシュである。観測は、写真-2に示すようにバックホーのバケット先端に掃流砂採取器をワイヤで吊し、通水中に水路の中央に一定時間静置(1分~2分)し、掃流砂を捕捉した。流入口の上部に付けたロープを上流のから引っ張ることで流向に対し垂直な方向で河床に静置した。



写真-2 改良 H-S sampler による流砂観測状況

写真-3に、実験水路下流端に設置した掃流砂捕捉箱を示す。掃流砂量は、掃流砂捕捉箱内の通水中の堆積状況の時間変化を測定することで算出した。堆積状況の観測は、現地に配備したクレーンに人が搭乗可能なゴンドラを取り付け、掃流砂捕捉箱上空に静置し、24の区間に分けた掃流砂捕捉箱の各地点で堆積高を測定した。掃流砂量は、通水中の掃流砂捕捉箱内の堆積変化量を、観測時間間隔で除すことにより算出した。堆積土砂の空隙率は、 $\lambda=0.4$ を用いている。

写真-3に、実験水路下流端に設置した掃流砂捕捉箱を示す。掃流砂量は、掃流砂捕捉箱内の通水中の堆積状況の時間変化を測定することで算出した。堆積状況の観測は、現地に配備したクレーンに人が搭乗可能なゴンドラを取り付け、掃流砂捕捉箱上空に静置し、24の区間に分けた掃流砂捕捉箱の各地点で堆積高を測定した。掃流砂量は、通水中の掃流砂捕捉箱内の堆積変化量を、観測時間間隔で除すことにより算出した。堆積土砂の空隙率は、 $\lambda=0.4$ を用いている。

4. 流砂量観測結果と福岡の無次元掃流砂量式との比較

図27に単位幅流砂量の観測結果を示す。通水2回目は、土砂移動状況を把握するため、掃流砂捕捉箱の蓋を外し堆積の様子を観察した。土砂移動が激しく、通水中に、掃流砂捕捉箱が満杯になった。通水3回目は、改良 H-S sampler と掃流砂捕捉箱で観測したが、図-2に示すように観測結果に差異が生じている。掃流砂捕捉箱による観測値は、観測時間 毎(10~20分程度)の間に捕捉箱に滞積した流砂量を繰り返し測り、測定された観測値の平均値として算出している。一方、改良 H-S Sampler で測定された流砂量が少なく変動が大きいのは、実験当初の観測技術が未熟なため、Sampler 流入口を流れに対し垂直な向きに固定出来なかったこと、また、Sampler を大きな粒径集団の上に設置し、河床と sampler の間に隙間ができ、細かい粒径集団を捕捉できていないこと等が考えられる。通水5回目は、観測法の工夫により主流に向けて改良 H-S sampler を静置出来たため、通水3回目と比較すると、観測データのバラツキが少なく、ほぼ安定した観測結果が得られている。

福岡の無次元掃流砂量式は、先の論文²⁾で提示した式を使いやすい式形に修正し、式(1)、式(2)で与えている。

キーワード 現地実験, 流砂量観測, 掃流砂量

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1611

$$\frac{Q_B}{\sqrt{sgId_r^5}} = 0.02 \left(\frac{Q}{\sqrt{sgId_r^5}} I \left(1 - \frac{I_c}{I} \right) \right) \quad (1)$$

$$\frac{q_B}{\sqrt{sgId_r^3}} = 0.02 \left(\frac{q}{\sqrt{sgId_r^3}} I \left(1 - \frac{I_c}{I} \right) \right) \quad (2)$$

ここで、 Q_B ：掃流砂量、 s ：は砂礫の水中比重、 d_r は60%粒径の河床材料、 I ：河床勾配、 I_c ：河床材料の移動限界を与える河床勾配、単位幅流砂量 q_B 、単位幅流量 q である。

4. で示した常願寺川観測データを用いて、式(1)の適用性について検討する。掃流砂量は安定な河幅、断面形を有する河道で、十分信頼性の高い観測ができた通水5回目の掃流砂捕捉箱及び改良H-S samplerによる観測データを用いる。図-3に掃流砂量観測値と福岡の式の関係を示す。図中には式(1)の導出に用いた河川データも併せて示している。常願寺川現地実験掃流砂データも式(1)により表現できる。式(1)は、石礫河川においても適用可能な流砂量式となっていることが分かる。

5. 流砂量観測技術・評価技術の高精度化

流砂量を掃流砂捕捉箱に集め、堆積量の時間変化を測り単位時間当たりの掃流砂量を算定する方法は確実な方法である。しかし、大きな容量の箱を必要とし、小河川を除いては実行が難しい。一方、Samplerを用いる方法は、多くの課題があるが、有力な方法の一つである。実河川では、橋梁上からSamplerをつりさげ、流砂量を採取することになるが、荒天時の観測作業は交通規制を含め、相当の制約を受けることになる。掃流砂観測機器は、対象地点の河床材料特性に応じた仕様の機種を用いる必要がある。また、現地では静置状態を確認することが困難であるため、各点で数回観測した平均値として流砂量を算出し、明らかに傾向が異なる観測データは除外することで、観測精度の向上を図ることになる。また、横断方向複数点で観測し全体の流砂量を算出することが望まれる。必要なことは、継続的に流砂量観測を行い、経験を積み上げ、信頼のできるデータを得ることである。このような流砂量観測と並行して、現地河川での河床変動解析を通して、掃流砂量の評価法の改善を図ることが出来る。

河道の洪水関連データと解析技術の向上は、掃流砂量の評価法の改善をもたらしている。河道で起こっている水理現象は、確実に水面形に反映することから、観測された水面形の時間変化が解となるように非定常二次元洪水流（または準三次元）と二次元河床変動の式を掃流砂量式を介して一体的に解き、河床変動の時間変化を明らかにすることにより、掃流砂量式の検証が進められている。土砂に関する上流端境界条件には、河川の全掃流砂量を説明する式(1)を用いる。また、二次元河床変動計算には、式(1)に代えて式(2)を用いる。これらの河床変動解析を洪水後の河床変動観測結果と比較することによって、流砂量式の適否を判断することになる。この解析方法を用いて行われた石狩川での昭和56年8月大洪水時の河床変動計算では、掃流砂量式として式(1)式(2)が成立することが示されている³⁾。

参考文献 1) Helley, E.J., and Smith, Winchell: U. S. Geological Survey Open-File Report, 1971. 2)浅野文典, 福岡捷二, 水工学論文集 第55巻, 2011. 3)岡村誠司, 福岡捷二: 第66回年次学術講演会講演集, 2011 (投稿中)



写真-3 掃流砂捕捉箱

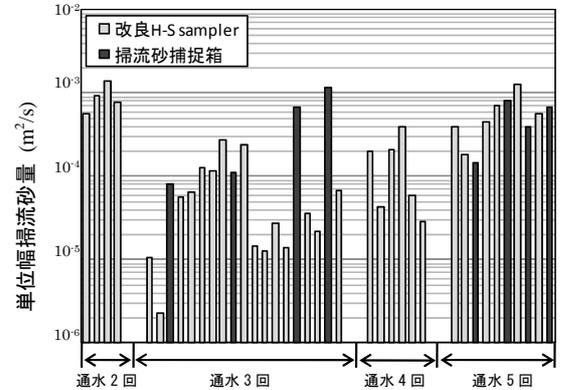


図-2 流砂量観測結果(単位幅流砂量)

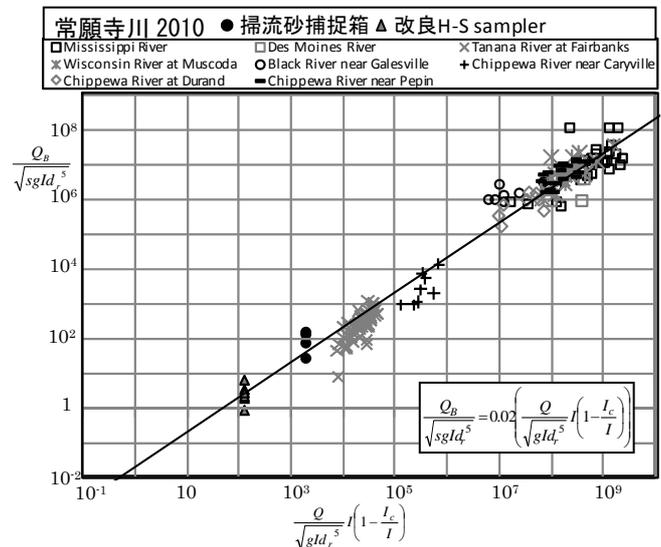


図-3 勾配を乗じた無次元流量と無次元掃流砂量の関係