

掃流砂量計と連通管を用いた掃流砂量の観測のための現地水路実験

日本工営株式会社 ○松田 悟・長山 孝彦・伊藤 隆郭
京都大学防災研究所 堤 大三・宮田 秀介・藤田 正治
政策研究大学院大学 水山高久

1. はじめに

ロードセルを上流側，下流側に配置した躯体（図 1）を水中に沈め，流下する砂礫重量の計測値と上下流それぞれの計測値の時系列変化から砂礫移動速度を求め，掃流砂量を直接計測する掃流砂量計（特許登録：特許第 6084896 号）について，これまで室内試験，現地試験が実施されている^{1)~6)}。

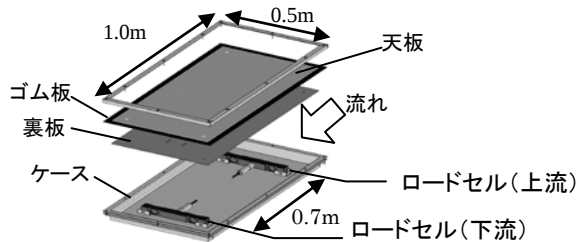


図 1 掃流砂量計の構造

室内試験では，計測可能な領域が検討され，対象とする粒径や重量について約 10 mm の粒径，空中荷重で 0.3 kg が計測の最小値であることが示されている³⁾。また，掃流から土砂流および集合流体に移行する領域で土砂の移動速度が相互相関関係から推定することが困難となることが示された³⁾。現時点では，室内実験で機器の適応範囲が示されており，現地適用性を確認するため，山地河川での試験設置として，京都大学穂高砂防観測所足洗谷実験水路に掃流砂量計が設置されている¹⁾，融雪出水や雨季の出水を経てきているが，機器の設置方法や強度に関する現地適用性に関する課題に対しての補修・改良を行いながら，現地水路試験を実施し，現地計測における課題抽出を図っている^{2)・6)}。現在，松田ら（2016）で示された課題の解決のための改良を進めており，本発表は，その改良後の実験結果および観測データについて報告するものである。

2. 礫通過時の内圧対策

(1) 多孔質金属フィルターによる対策

松田ら（2016）における実験では，礫通過時に荷重が減少し，それによる掃流砂量の推定が困難である事例が示された。本研究では，課題とされていた躯体内部での内圧発生対策として，天板に多孔質金属フィルターを設置し，躯体内部と水の行き来と水圧の連続性確保が可能となるように改良した（2016 年 7 月 4 日実施，図 2）。

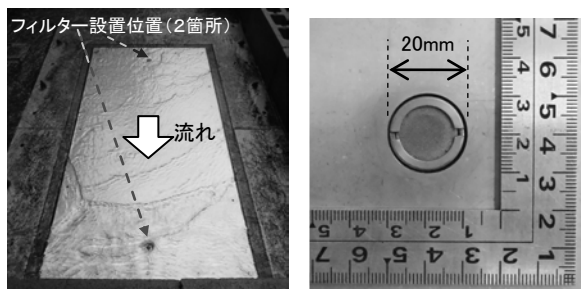


図 2 フィルター設置位置（左）とフィルター（右）

(2) 連通管による対策

後述するが，多孔質フィルターによる対策後の実験及び観測値から内圧が抜けきらずに礫通過時にロードセル計測値が下がる事例が確認された。このため，躯体に連通管を設置し（図 3），より内圧が抜けやすい構造とした。

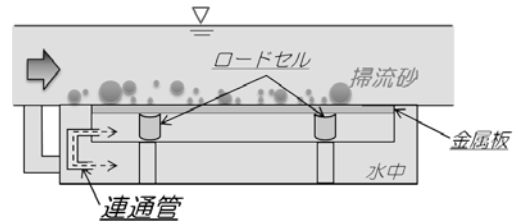


図 3 連通管のイメージ図

3. 現地水路での計測データ

(1) フィルター設置後の水路実験

フィルター設置の改良後，2016 年 7 月 5 日に穂高砂防観測所足洗谷実験水路にて現地水路実験を実施した。掃流砂量計上（1.0 m × 0.5 m）を通過するように上流から礫を流し，取得された上流，下流ロードセルで計測した荷重データから掃流砂量を推定した。流下させた礫は水路下流端において網で捕捉し，推定された掃流砂量との比較に用いた。現地試験の水路，給砂した礫の条件は，後藤ら（2014）と同様であるため，そちらを参照されたい。計測データの処理については，松田ら（2016）と同様に，式（1）で定義される掃流砂量を基に，水路下流端で捕捉される土砂との比較のため，単位流下幅あたりの重量を式（2）で求めた。

$$Q_b = \int (w_1 + w_2) / 2 \, dt \cdot \frac{1}{B \cdot L} \cdot \frac{1}{\frac{\sigma}{\rho} - 1} \cdot v_s \cdot B \quad \cdots \cdots (1)$$

$$Q_{mass} = \sigma \cdot \int (w_1 + w_2) / 2 \, dt \cdot \frac{1}{B \cdot L} \cdot \frac{1}{\frac{\sigma}{\rho} - 1} \cdot v_s \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに Q_b ：掃流砂量， Q_{mass} ：単位流下幅あたりの重量， w_1 ：上流ロードセル計測荷重， w_2 ：下流ロードセル計測荷重， v_s ：上流と下流の計測荷重の相互相関関係より礫の移動速度， B ：流下幅， L ：流下長さ， σ ：砂礫の密度， ρ ：水の密度である。なお， v_s については，上下流のロードセル間距離 L_a （本研究では $L_a = 0.7$ m）を式（3）に示す相互相関関数 $C_{w_1 w_2}(\tau)$ が最大となる時間のずれ τ で除して求める。相互相関をとる際の T は，式（3）のように無限であるが，本実験においては，礫を流下させた時間に dt （本実験では $dt = 0.01$ 秒）の 10 倍から 10^2 倍の時間を加えた値で算出した。

$$C_{w_1 w_2}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int w_1(t) w_2(t + \tau) \, dt, \quad v_s = L_a / \tau \quad \cdots \cdots (3)$$

実験で得られたデータから掃流砂量計の上を通過した土砂量を算出し，下流端での捕捉土砂量とそれぞれ単位時間，単位幅あたりの掃流砂量として比較を行った結

果を表 1 および図 4 に示す。図 4 には過年度の実験結果も併せて示している。なお、図中の G1&G3 は実験砂礫の G1 と G3 を凡そ 1 : 1 の体積割合で混ぜたものである。実験結果から下流端での捕捉土砂(実際流れた量)と掃流砂量計による推定値が 1 : 1 の関係にならないケースが散見され、大きいものでは下流端での捕捉量のおよそ 14 倍を示す。捕捉土砂に比べて大きく推定される原因としては、式 (2) における Q_{mass} の算出に必要なパラメータのうち、式 (3) の相互相関関係で求めた v_s が 3.5 m/s を示すなど、過大に推定されている可能性や w_1 , w_2 の値が礫通過後も下がらない、つまり荷重が過剰に作用していることが考えられる(図 5)。過年度の実験結果と同様に、礫が通過中に掃流砂量計が負の値を示すケースも確認され(例えば、図 6)、フィルターの設置だけでは水の内圧が抜けきらないことが示唆される。

表 1 下流端での捕捉土砂と推定値

ケース	バケツ投入量 (kgf/s)	網での捕捉量 (kgf/s/m)	流砂量推定値 (kgf/s/m)	推定礫移動速度 (m/s)
G1_run1	3.00	1.96	7.38	2.06
G1_run2	2.95	1.95	13.57	2.06
G1_run3	3.07	2.03	27.51	3.50
G2_run1	2.84	1.86	0.01	1.75
G2_run2	2.90	2.03	0.19	1.75
G2_run3	2.92	2.05	0.42	1.75
G3_run1	2.97	1.91	1.15	1.75
G3_run2	3.06	2.14	7.11	2.19
G3_run3	3.04	1.94	2.46	2.12

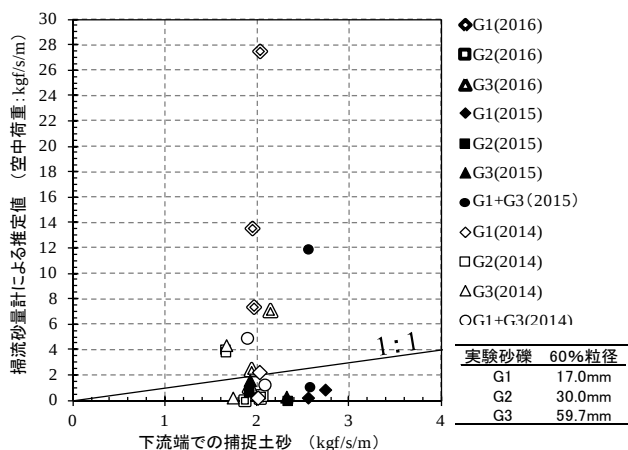


図 4 下流端での捕捉土砂と推定値の比較

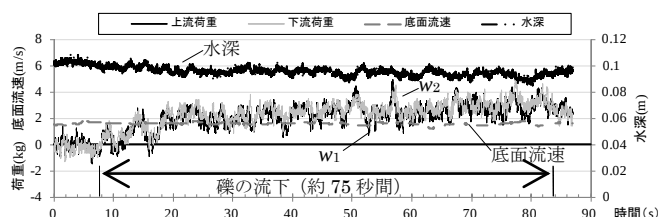


図 5 G1_Run3 の計測値 (100Hz の生値)
(下流端での捕捉量のおよそ 14 倍を示す例)

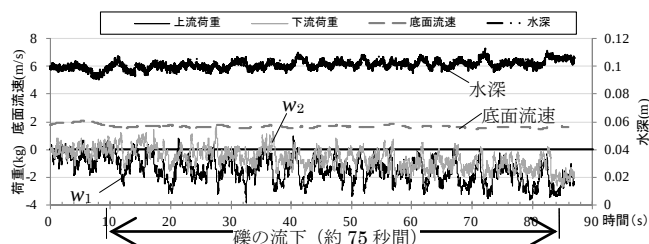


図 6 G2_Run1 の計測値 (100Hz の生値)
(礫通過時にロードセル計測値が負の値をとる例)

(2) 連通管設置後の観測データ

連通管設置後の降雨時 (2016 年 12 月 27 日, 最大時間雨量 9.5 mm/h, 連続雨量 40.5 mm, 栃尾雨量観測所) の付近のデータ (図 7) および水路に設置されたカメラ画像 (図 8) を確認したが、砂礫の移動を伴う増水は確認できなかったが、水深の増加に伴いロードセル計測値が減少する事例が確認された。今後、現地水路実験により確認する予定である。また、融雪出水や雨季の出水での継続したデータ取得を実施する。

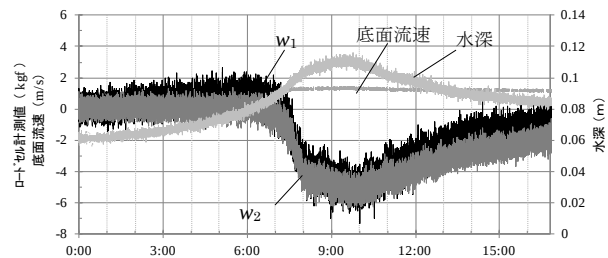


図 7 連通管設置後の出水時観測値 (100Hz の生値)



図 8 2016 年 12 月 27 日の出水時画像

4. おわりに

新しい流砂計測機器としての掃流砂量計の現地水路での計測データを示した。課題への対策を検討しているが、現地での出水が少なく、機器の現地適用性の議論をするにはデータ数が少ないことから、今後も現地での実験や出水時のデータ検証を継続して行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、JSPS KAKENHI Grant Number JP 15K07502 (代表者：伊藤隆郭) により推進している。また、出水時の画像を京都大学穂高砂防観測所より提供いただいた。現地試験に際しては、日本工営(株)の諸兄の協力を得た。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 後藤健・長山孝彦・杉山実・伊藤隆郭・宇都宮玲・横山康二・堤大三・藤田正治・水山高久(2013): 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp. B-96 - B-97. (題目省略, 以下同様)
- 2) 後藤健・長山孝彦・伊藤隆郭・宇都宮玲・宮田秀介・堤大三・藤田正治・水山高久(2014): 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp. B-66 - B-67.
- 3) 後藤健・長山孝彦・伊藤隆郭・宇都宮玲・堤大三・宮田秀介・藤田正治・水山高久(2015): 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp. B-68 - B-69.
- 4) Goto K., Itoh T., Nagayama T., Utsunomiya R., Tsutsumi D., Mizuyama T. (2016): Journal of Mountain Science, Vol 13(2), pp.369-376.
- 5) Itoh T., Gotoh K., Utsunomiya R., Nonaka M., Nagayama T., Tsutsumi D., Fujita M., Miyata S., Mizuyama T. (2014): Proceedings of International Symposium in Pacific Rim, Interpraevant in Nara, Japan, 25-28 November. pp. O-17_1 - O-17_10.
- 6) 松田悟・長山孝彦・伊藤隆郭・後藤健・宇都宮玲・藤田正治・堤大三・宮田秀介・水山高久(2016): 平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp. B-88 - B-89.