

土砂移動が活発な常願寺川における流水・流砂の連続的な把握と流域監視に繋がる土砂流出解析

北陸地方整備局 立山砂防事務所 大坂 剛, 金子 秀樹, 高橋 至, 寺崎 賢一
日本工営(株) 長山 孝彦, 松田 悟, ○古谷 智彦, 水谷 佑, 伊藤 隆郭
政策研究大学院大学 水山 高久 京都大学大学院防災研究所 藤田 正治

1. 結論: 山地河川における出水・流砂の連続的な計測法の試み¹⁾が行われ, 流水と流砂の不連続性や浮遊砂を除いた掃流砂やウォッシュロード²⁾(以下 W.L. と示す)と水量との関係が明らかになってきた. 常願寺川本川と支川(称名川, 湯川, 真川)を対象とし, 掃流砂と W.L. の観測法を固定して, 水理・水文量に対する流砂の応答を評価してきた²⁾. また, 津之浦下流砂防堰堤を対象とした浮遊砂流の計測法の試み^{3), 4)}を通じ, 流砂形態ごとの粒径別流砂量の把握を試みている. 一方, 平時から中小規模の降雨を対象として, 流域スケールでの流れと粒径別流砂量の把握に関するツール^{5), 6)}を用いて, ある程度実用的なレベルに達してきた. これらの試行結果を示す.

2. 流砂量のモニタリング

2.1 時系列データ: 2017 年 7 月 1 日に発生した出水時の, 妙寿砂防堰堤, 空谷砂防堰堤, 津之浦下流砂防堰堤, 称名 20 号床固工, 本宮砂防堰堤における観測データ(水位・ハイドロフォンのパルス数)及び, 津之浦下流砂防堰堤において推定した掃流砂量を図-1 に示す. また, ハイドロフォン観測データから推定した粒度分布(図-2, 後述)より, 粒径階別の掃流砂量を求めた. 掃流砂量は, 図-3 に示すキャリブレーション式を用いて算定した. なお, 2015 年度には継続的な掃流砂観測の試みとして, ロボ型ハイドロフォン(肉厚型)を津之浦下流砂防堰堤に設置している. 肉厚型ハイドロフォンに関しても, 標準型(3mm 厚)と同様に出水時の観測データからキャリブレーション式を作成した(図-4). また, 図-1(a~c)に示す掃流砂量計のデータを見ると, 津之浦下流砂防堰堤のハイドロフォンが飽和域に達していることが分かる.

2.2 粒度分布: ハイドロフォン音響データは衝突する礫の運動量と相関関係にあることを利用し, 出水中の粒度分布を求め, 同時間帯における観測柵(津之浦下流砂防堰堤)の捕捉土砂の粒度分布と比較した(図-2). これによると D_{60} 付近の推定値は, 捕捉土砂と類似する結果が得られた.

2.3 W.L. と掃流砂: 本宮で観測された出水ピーク時の流量と浮遊砂量(細粒成分)及び掃流砂量の関係を図-5~8 に示す. 図-5 より, 2017 年における流量に対する細粒成分の応答は過年度の出水の中でも流砂量が大きい範囲にある. また, 図-7 では出水データと比較するため, 平衡流砂量式(本宮における $D_{60}=30\text{mm}$)を記載している. これによると, 平衡流砂量式から予想される流砂量に比べ, 本宮では掃流砂量は少ない.

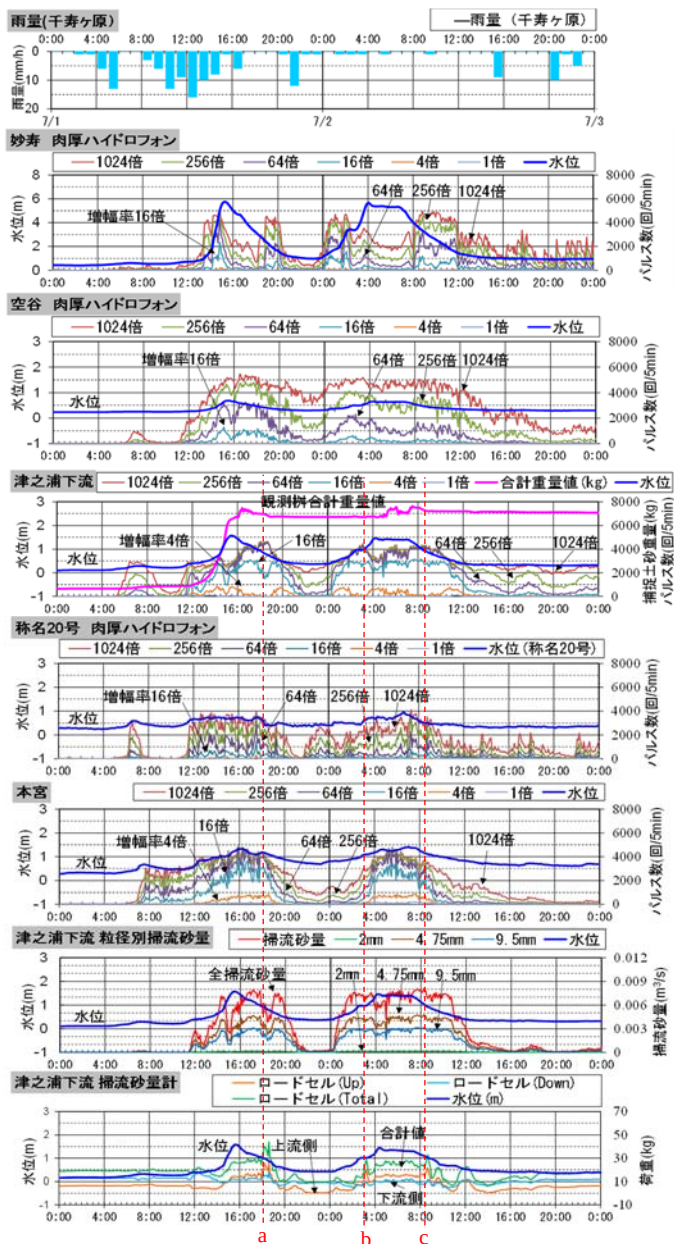


図-1 流水・掃流砂観測の例(2017 年 7 月 1 日)

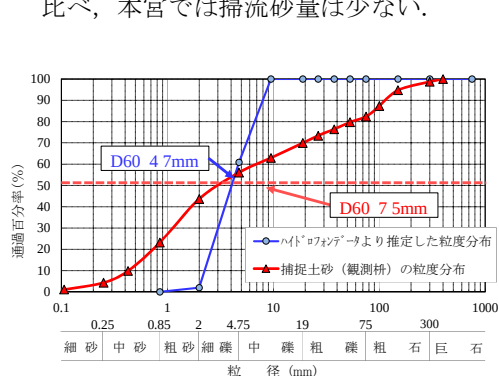


図-2 掃流砂の粒度分布の推定
(2017 年 7 月 1 日出水)

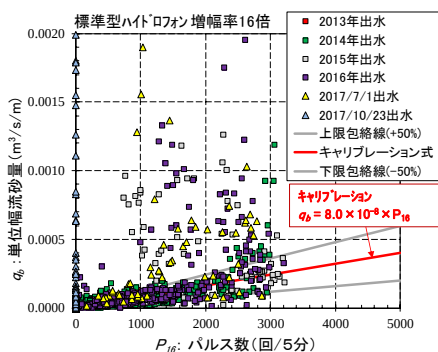


図-3 ハイドロフォンパルス数と
単位幅掃流砂量の相関
(津之浦下流砂防堰堤)

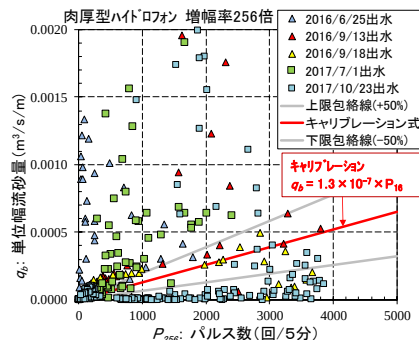


図-4 肉厚型ハイドロフォンを用いた
掃流砂量算定の試み
(津之浦下流砂防堰堤)

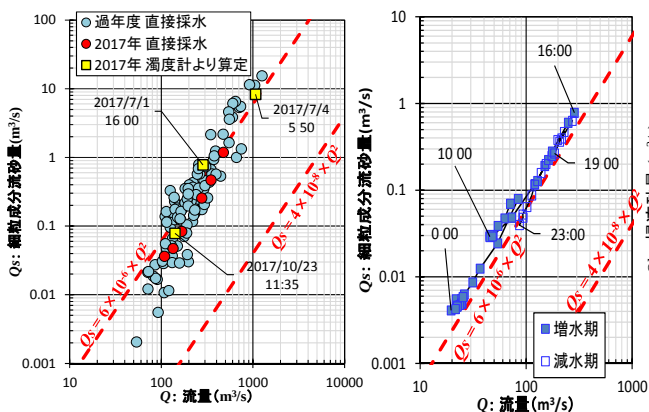


図-5 流量とW.L.の関係
(本宮砂防堰堤)
(出水ピーク時データ抜粋)

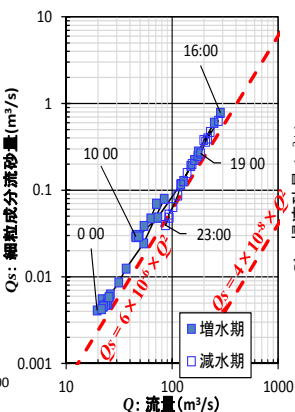


図-6 流量とW.L.の関係
(本宮砂防堰堤)
(2017/7/1 出水時)

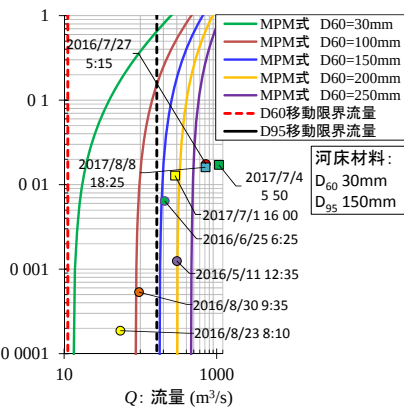


図-7 流量と掃流砂量の関係
(本宮砂防堰堤)
(出水ピーク時データ抜粋)

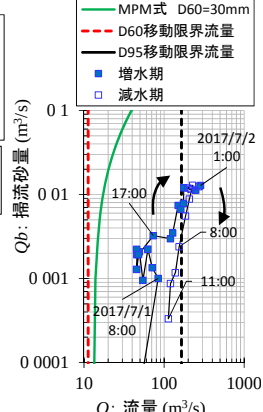


図-8 流量と掃流砂量の関係
(本宮砂防堰堤)
(2017/7/1 出水時)

平衡流砂量式を用いて、 D_{50} 粒径を逆算した結果、粒径が10倍程度の大きさになった。これは、現河床における流砂の活性度が低いことを示す。観測データから、全期間の掃流砂、浮遊砂(細粒成分)の流砂量を整理した(表-1左)。

3. 単位河道モデルを用いた流出解析: 中小規模の土砂流出に対して、江頭・松木の単位河道・単位斜面モデル⁵⁾を基礎とする、数値計算モデル⁶⁾を用いた流出解析を昨年度より実施している⁷⁾。以下では、今年度での検討の際の条件変更箇所を示す。

【対象流域】本宮砂防堰堤地点における集水域(201km²) (図-9)

【降雨】2006年8月1日～2016年7月31日(千寿ヶ原)

【供給土砂】流域内土砂生産源における土砂粒度分布($D_{50}=3.3\text{mm}$, $D_{95}=43.1\text{mm}$)

【計算方法】2006年～2016年の10年分の降雨を4回繰り返し流域に与えた。1年ごとに流出土砂量を合計し、同量を次年度の供給土砂量として与えた

3.3 計算結果: 本計算での出水時における掃流砂量(Q_b)、浮遊砂量(Q_s)、流量(Q)および水深(h)の観測値・計算値比較を図-10に示す。浮遊砂量(Q_s)は観測データが無いので計算値のみを示し、観測データは、濁度をもとに算定したW.L. (Q_w)と比較した。計算値は、表-1と比較した(表-1右)。掃流砂量が月間 $10^2(\text{m}^3)$ オーダーや、浮遊砂成分が月間 $10^2 \sim 10^3(\text{m}^3)$ のオーダーであることが示され、幾つかの月間の流出土砂量は説明できるようである。また、掃流砂の計算値を見ると、 $10^1 \sim 10^2(\text{m}^3/\text{月})$ のオーダーの流出土砂量の再現性が悪く、巨礫も含む河床材料の粒度分布等に対する設定法の検討が必要である。浮遊砂とW.L.に対するモデル上の扱いや、流出解析における浸透パラメータのチューニングについても改良を行っていきたい。

4. 結論: 常願寺川での流水・流砂情報の縦断的な連続観測や集中的なデータ収集システムの構築が進み、流砂観測による流域監視が可能となってきた。また、浮遊砂や流域全体の粒径別流砂量の把握のために、平水から中小規模の降雨に対して、単位河道モデルにより降雨に対する流砂の応答を再現し、観測データを補完するようなシステムを展開している。幾つか解決すべき課題もあるが、流域内の土砂動態の把握と総合土砂管理への方向性を、更に検討する予定である。

謝辞: 単位河道モデルによる解析においては、京大藤田研の諸兄の助力を得た、記して感謝いたします。

参考文献: 1) 堤大三ら: 京大防災研年報, 51号B, 661-668, 2008, 2) 酒谷幸彦ら: 平成22年度砂防学会研究発表概要集(以下、概要集), 494-495, 2010, 3) 田井中治ら: 平成23年度概要集, 528-529, 2011, 4) 三上幸三ら: 平成24年度概要集, p510-511, 2012, 5) 江頭進治ら: 水工学論文集, 44, 735-740, 2000, 6) 山野井一輝ら: 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 70, No. 4, I_925-I_930, 2014, 7) 古谷ら: 平成29年度概要集, p6-7, 2017.

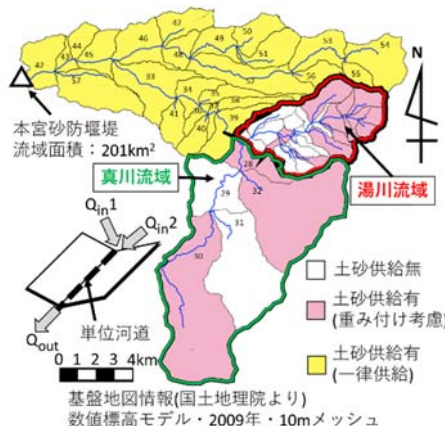


図-9 単位河道・斜面と土砂生産条件

表-1 月別の流砂量観測結果(左)及び数値計算結果の比較(右)(本宮砂防堰堤)

本宮	観測値(m³)		計算結果(m³)	
	掃流砂	浮遊成分	掃流砂	浮遊成分
2014/3	149	7,596	4,764	913
2014/4	0	521	76	105
2014/5	7	16,709	17	71
2014/6	304	10,529	452	236
2014/7	72	7,368	21	131
2014/8	405	14,935	20,415	20,857
2014/9	0	232	2	150
2014/10	482	15,329	21,611	5,145
2014/11	53	3,197	113	358
2014/12	53	1,571	333	842
2015/3	3	1,294	43	154
2015/4	1,383	48,125	1,769	372
2015/5	57	1,134	20	67
2015/6	0	38	100	137
2015/7	258	1,873	1,299	311
2015/8	0	欠測	4,262	13,890
2015/9	1		286	2,127
2015/10	153	17,255	1,616	973
2015/11	7	4,276	272	1,168
2015/12	115	11,737	6,526	2,392
2016/1	0	8,790	6	261
2016/2	4	8,226	81	228
2016/3	0	857	0	30
2016/4	103	6,351	95	184
2016/5	206	11,216	547	233
2016/6	55	7,961	72	149
2016/7	377	52,356	52,156	8,256
2016/8	11	5,374		
2016/9	480	13,191		
2016/10	101	3,758		
2016/11	0	369		
2016/12	25	1,576		
2017/1	0	206		
2017/2	0	1,871		
2017/3	0	286		
2017/4	112	5,180		
2017/5	30	3,113		
2017/6	0	3,943		
2017/7	229	168,071		
2017/8	577	95,669		

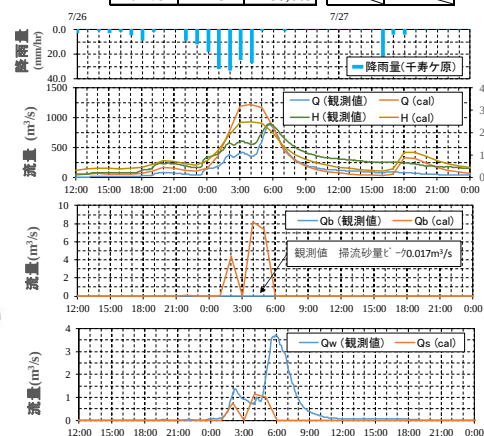


図-10 計算結果と観測値の比較
(2016年7月26日出水)