

# 土砂移動形態に着目した土砂移動モニタリング手法に関する一考察

日本工営株式会社 ○田方 智, 長山孝彦, 杉山 実  
筑波大学生命環境科学研究科 宮本邦明

## 1. はじめに

流砂系全体の総合的な土砂管理計画の策定とその対策を講じることが提案されて久しい<sup>1)</sup>。これを受けて、流砂の質・量および時空間的な観測が行われるようになってきている<sup>2)</sup>。一方、流砂観測手法については、1950～1960年代には、先駆的な試験観測や計測装置の開発<sup>3), 4)</sup>が行われ、その後、1960年代後半以降、USGS等の計測技術<sup>5)-7)</sup>の導入、京大防災研での掃流砂測定機器の開発と開発<sup>8), 9)</sup>などによって、種々の流砂観測機器・技術の進展をみた<sup>10), 11)</sup>。しかしながら、山地河川における流砂量の計測は、流砂そのものの観測が困難であるばかりか、流砂と流水の挙動が1対1に対応しないことが多く<sup>12)</sup>、広い粒度分布をもつ土砂を対象とした計測の自動化<sup>13)</sup>を図ると、計測機器が大がかり<sup>14)</sup>になる場合が多い。今後、省力・省コストかつ簡易な土砂移動観測手法とその確立が必要と思われる。本検討では、これを念頭におくと共に、土砂移動形態を考慮して、従前より実施されてきた土砂移動観測手法・計測法をレビュー・整理すると共に、各々の特徴を比較検討し、課題や問題点を抽出した。

## 2. 対象とする土砂移動形態

流域において生起する主要な流砂の形態は、土石流(泥石流)、掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロードである。これらは、山腹斜面や河道の勾配に着目して図-1のように分類できる。崩壊・土石流といった降雨に対して不連続な現象を除けば、山地河川での流砂は、土石流堆積物から生産されることになる。流水(流量)による連続的な現象であり、将来的に流砂モニタリングの成果を流量の連続関数として予測に用

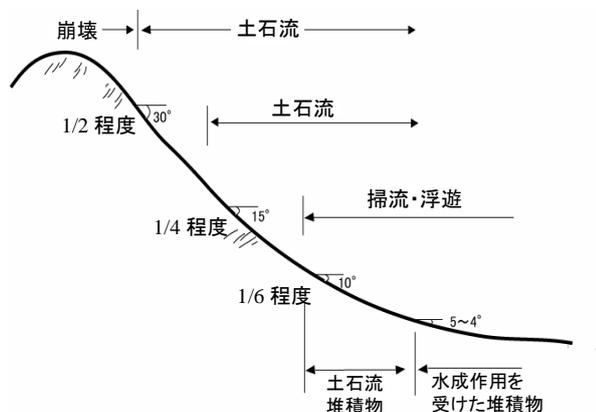


図-1 流域における流砂形態(土砂移動形態)の概要  
(芦田ら<sup>15)</sup>の図に一部加筆)

いることを想定して、本検討では掃流砂、浮遊砂(ウォッシュロード含む)について整理するものとした。

## 3. 土砂移動形態別のモニタリング手法の整理とモニタリング手法の比較検討

これまでの研究をレビューすると、計測位置・計測メディアおよび装置についてはこれまでも総合的な検討がなされており<sup>11)</sup>、基本的には現在も変わっていないようである。

### (1) 掃流砂

昭和 20～30 年代に建設省(当時)土木研究所河川研究室により開発された土研式掃流土砂採取器<sup>5)</sup>や建設省(当時)北陸技術事務所サンプラー等による直接採取による方法が実施されている。直接土砂を採取するため、粒度分布の把握が可能であるが、河床面での流砂の漏れ、計測できる流速の限界、計測時間の問題があり、出水中の連続観測には難点がある。

一方、実用的に用いられるようになった手法として音響法(ハイドロフォン)がある。金属パイプ衝突音の周方向の特定周波数帯を抽出し、砂礫の運動量と音の振幅値の線形性を仮定して流砂量を求める方法となる。流砂の流速の直接測定、音圧振動のフィルタリングの改良および粒径別流砂量への変換が確立されると、安価で設置・メンテナンスが容易であること、出水中の連続的なデータ取得が可能であり連続的な水理量と併せた解析が可能となる。

ついで、センサー機器の向上に伴い、超音波(河床波や粒子の運動)<sup>17)</sup>や IC タグ(砂礫の移動追跡)<sup>18)</sup>やレーダー(流砂計測等の新たな試み)<sup>19)</sup>がなされている。これらセンサーによる流砂量の把握は全粒子に近い追跡が必要となるため、実用化の面が今後の課題であるといえる。

流砂形態を考慮した土砂移動を把握していくにあたって、粒径、水理量(流速、流量等)が必要となる。それらを適用範囲、連続観測の可能性などの指標を用いて観測手法の特徴を列挙することによって比較検討を行った。表 1 は、掃流砂モニタリング手法を比較したものであり、直接法である掃流砂採取器、ピット、間接法であるハイドロフォン、研究途上の間接法非接触型である超音波、IC タグ、レーダーによる手法を記載した。

### (2) 浮遊砂(Wash loads 含む)

浮遊砂観測装置については USGS により試験的

な機器が数多く提案され<sup>7)</sup>、プロペラ式採水器や簡易採水器 B 型等<sup>5)</sup> (建設省(当時)土木研究所河川研究室)、自吸式ポンプ、Time-integrated sampler<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup> (出水中の安全・安定性の確保のため)の改良などの直接採取方法による計測がなされている。流水中の計測に関連する問題は掃流砂と同様で、吸込流速と流れの流速が等しくない場合の校正方法等に関する問題が残されている。ただし、微細な粒子を対象とする計測では、種々の機器・計測方法があるが、山地河川での大・中規模の出水では、粒径の大きい(数 cm 程度)土砂成分も浮遊することもある。それらを計測する考え方および手法については、今後の課題であるといえる。

濁度計を設置して流水の濁度を計測し、濁度から校正曲線を用いて土砂濃度を間接的に求める方法がある。特に、Wash loads 成分は、広い粒度分布を有さないため、濁度計による計測が可能である。濁度計はキャリブレーションが必要であるものの、機器が安価であり、掃流砂の間接法と同様に水量と連続的にデータ取得が可能である。上流域での大規模土砂移動の検知<sup>22)</sup>などの危機管理対策や治山・砂防事業等の評価のための指標<sup>23)</sup>としても有用である。ただし、浮遊砂成分との分離をする考え方などの課題を残している。

#### 4. おわりに

流砂形態を考慮し、今後の掃流砂・浮遊砂(Wash loads 含む)に関する計測方法・機器計測システムの開発を想定し、既往の機器開発や計測手法を概観し、

各々の特徴を整理した。掃流砂と Wash loads は、幾つかの手法の組み合わせ<sup>24)</sup>で水量に対して連続的な観測や流砂の量と質の観測が可能なのである。一方、砂防河川における浮遊砂の測定方法・手法は、精度良く、簡易・安価な方法が確立されておらず、更なる検討が必要である。

**謝辞:**本検討にあたり、国総研危機管理技術研究センター水野秀明様には資料提供およびご助言を頂きました。記して感謝致します。

#### 【参考文献】

- 1) 河川審議会総合土砂管理小委員会：流砂系の総合的な土砂管理にむけて、1998、2) 仲野ら：砂防学会誌、54、1、2001、3) 大石：新砂防、37、1960、4) 大石：新砂防、47、1962、5) 土屋：土木技術資料、6-10、1964、6) 須賀ら：土木技術資料、12-4、1970、7) Edwards T. K. et al.: Tech. Water-Resour. Inves. USGS 1999、8) 流砂量計開発グループ：京大防災研年報、14B、1971、9) 芦田ら：京大防災研年報、18B、1975、10) 小倉ら：自然災害科学、7-2、1988、11) 栗原ら：砂防学会誌、44、5、1992、12) 水山：土木学会論文集、754/II-66、2004、13) 西井ら：砂防学会研究発表会概要集、1994、14) 浦ら：砂防学会誌、54、3、2001、15) 芦田ら：京都大学学術出版会、2008、16) 澤井ら：水工学論文集、41、1997、17) 横山ら：水工学論文集、50、2006、18) 角ら：水工学論文集、51、2007、19) 高原ら：砂防学会誌、61、5、2009、20) 国総研：国総研資料、266、2005、21) 国総研：国総研プロジェクト研究報告、16、2007、22) L. Dhanio et al.: 砂防学会誌、61、4、2009、23) 水山ら：新砂防、47、3、1994、24) 堤ら：京大防災研年報、51B、2008。

表 1 掃流砂観測の比較検討表(直接法・間接法)

	直接法		間接法			
	掃流砂採取器	ビット式	音響法(マイクロフォン)	超音波	ICタグ技術	レーダー
計測方法	クレーンやバックホウを用いて採取器を水中に挿入し、流水中の砂礫を捕捉してその量・粒径を計測する。	河床に小型の観測桁や大型の採取箱等を設け、流水中の砂礫を捕捉してその量や粒径を計測する。	適当な径の金属パイプの中にマイクロフォンを入れ、河床に設置する。このパイプに砂礫があたる時の音を解析することで流砂量等を測定するもの。	水面にセンサーを設置し、水中に超音波を発生して河床波上の粒子の運動や河床波の前進状況を計測する。	砂礫にマイクロチップを埋め込み、その位置観測を行う。	受信アンテナと送信アンテナの間にレーダーを照射し、礫等が通過するときの反応を解析する手法である。
作業性	・流水の流速の影響により水中への挿入が難しい。 ・河床で水平に保つこと、流水方向と平行に設置することが難しい。 ・河床が砂礫の場合、採取口と河床の間に隙間ができ、掃流砂が漏れてしまう。	・大型になると施工や維持管理が煩雑となる。 ・出方で満砂する度に空にする必要がある。	・予め固定することができ安定的である。 ・計器ごとにキャリブレーションが必要である。	・流れが穏やかな河川区間での活用は見込めるが、出水時に流速が速く水面が乱れる砂防区間で水面に固定できるか課題である。	・流砂量を把握するためには、膨大な礫数にチップを埋め込む必要がある、煩雑である。	研究段階
適用範囲	・粒径：【採取器 II 型】0.1~4cm、【金網式採取器】1~8cm <sup>21)</sup> ・流速：【採取器 II 型】0.5~4m/s、【金網式採取器】1.5~4m/s <sup>21)</sup> ・適用範囲に構造的な制限がある。	ビットの採取口の大きさによるが概ね適用可能である。	適用範囲については研究途中であるが、比較的大きな粒径(数十cm程度)まで対応できる可能性はある。	研究段階	研究段階	研究段階
連続観測	1回の計測に時間がかかり、連続的なデータ取得が難しい。	連続的に重量や河床位を計測できる機器と併用できれば可。しかし、ビットが満砂になるまでに限られる。	連続的なデータ取得が可能である。	連続的なデータ取得が可能である。	○	○
粒径把握	掃流砂を直接採取できる、ある程度把握できる。	掃流砂を直接採取できるので、ある程度把握できる。	現段階では流砂の粒径分布の把握が難しいため、ビット等で土砂を採取する必要がある。現在、研究がなされており、近い将来に実現可能であると考えられる。	○	△	△
実用化	古くより現地に用いられている。	○	○	○	×	×