HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	山地河川における掃流砂観測に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	後藤, 健
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第12257号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61920
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ken_Goto_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学）　　氏名　後藤　健

学 位 論 文 題 名
山地河川における掃流砂観測に関する研究

山地河川は、流域全体にとって主要な土砂の生産源である。したがって、治山・砂防対策のみならず、流域全体での総合土砂管理の為に、山地河川より生産される土砂の時系列変化を把握する必要がある。山地河川は急勾配であることから、粗粒の土砂の生産量が多い。すなわち掃流砂量の時系列変化を可能な限り正確に観測することが必要となる。現在は観測計器の改良が進み、掃流砂を直接観測出来るようになったものの、観測方法や機器の設置方法に明確な指針はまだあまりない。そこで本研究では、出水時における掃流砂量と粒径の時系列変化を直接観測する手法を開発し、その適用範囲を明らかにすることによって、山地河川における土砂移動の新たな観測手法を提案することを目的とした。本研究の成果を集合運搬や浮流運搬による土砂移動観測の成果と組み合わせることで、山地河川での流砂量の時系列変化を把握でき、これによって治山・砂防対策のみならず流域全体での総合土砂管理が可能となる。

第 1 章では、これまでの流砂量と粒径の測定手法のレビューを行い、山地河川で適用可能な掃流砂量と粒径の直接観測には円管を用いた音響法が優れていることを示した。円管を用いた音響法（パイプハイドロフォン）とは、長さ 2m の金属製の円管の片側にマイクロフォンを設置したもので、これを砂防堰堤の水通し部などに設置する。この円管に砂礫が衝突した際の音を測定し、その波形分析より掃流砂量を推定し、粒径も同時に推定出来る。ただ、設置及びデータ取得が容易であるという利点のある一方、土砂移動が活発な領域では衝突音の分離が困難という欠点もある。そこで、このような領域では、土石流観測で用いられるロードセル計測を併用することが有効であることを示した。これは、河床に設置した滑らかな金属板にロードセルを装着し、砂粒重量を測定し、掃流砂量を推定するものである。ただ本観測手法は、表面の滑らかな金属板により流砂環境を撹乱しないという利点のある一方、粒径が観測出来ないという欠点もあるため、超音波やカメラとの組み合わせで効果を発揮できる。これら円管による音響法及びロードセルを用いた掃流砂の測定手法で、掃流砂の体積を求め、これに掃流砂の移動速度の評価を行うことにより、掃流砂量へと変換した。

第 2 章では、室内実験において、円管による音響法の特性を定量的に明らかにした。まず、円管に衝突する掃流砂の運動量と音響波形の円周方向での共振周波数の最大振幅値との間に線形関係が成り立つことを見出し、その線形関係を利用して掃流砂の量と粒径を推定する手法を確立した。すなわち、音響波形と運動量との線形関係から、掃流砂の移動速度と密度をもとに衝突した粒径を推定した。次に、粒径と掃流砂の衝突個数から掃流砂の体積を求め、これに掃流砂の移動速度を乗じることで掃流砂量と粒径を推定した。また、本観測手法は、運動量と線形関係の成立する範囲においては適用可能であるが、運動量の最大値をマイクロフォンのアンプで調整することにより、その範囲が調整可能であることも示した。

第 3 章では、室内実験において、ロードセルによる測定手法の特性を定量的に明らかにした。これは、流下方向長さ 1m、幅 0.5m、厚さ 0.1m の金属製の躯体の上下流に 2 基のロードセルを設置した機器（掃

流砂量計と呼ぶ）を水没させて、流れの影響を除去し、河床上の掃流砂のみを測定するものである。掃流砂量計で測定した掃流砂の水中重量から掃流砂の土砂体積を求め、これに掃流砂の移動速度を乗じ、時間積分によって掃流砂量を推定した。掃流砂量計は、掃流砂の移動速度が、一定距離をおいたロードセル 2 基の重量波形の相互相関関係から求まるように設計されている。ただし、流砂が一様に流下し、重量波形の相互相関関係が得られない場合でも、第 4 章で示す掃流砂の移動速度の評価手法を用いて、掃流砂量の推定は可能である。

第 4 章では、掃流砂移動速度の評価手法を、簡易的な固定床上における経験式で表すことを検討した。本研究で開発する観測手法では、測定断面が出水で変化しない固定床であることが望ましい。移動床上の掃流砂については、多くの知見が蓄積されており、移動速度の評価も実用レベルに達しているが、固定床の掃流砂については、これまで知見は乏しい。掃流砂の時系列観測のためには、移動速度を簡易に求められる実用的手法が求められている。そこで、固定床の水路実験において河床付近の水流の流速と掃流砂の移動速度に相関関係があることに着目し、掃流砂の移動速度が摩擦速度の 0.5 乗に比例することを用いて掃流砂の移動速度評価手法を考案した。

第 5 章では、円管による音響法と掃流砂量計による測定手法を、粒径の異なる 4 種類の一様砂を用いた水路実験で検証した。円管による音響法では、供給量に対して掃流砂量が粒径ごとに一定のずれを生じるが、無次元掃流力を用いれば補正係数を評価できること、またセンサーの検知率も無次元掃流力に依存することから、掃流砂量の推定が可能であることがわかった。ただし、掃流砂が浮遊を始める領域では、音響法が適用出来なくなることもわかった。また、問題点として、現地では設置箇所ごとに音響波形の最大振幅値と衝突音の運動量との線形関係が変化するので、設置箇所ごとに線形関係のキャリブレーションが必要である。また、円管背後に発生する後流により円管への掃流砂の再衝突が発生し、その衝突回数が全掃流砂の 75%に達することから、再衝突防止策を射流場での実験結果から明らかにした。掃流砂量計による測定手法では、4 種類の一様砂を用いた水路実験で、誤差 10%以内で掃流砂量を推定出来ることがわかった。また、現地では、センサー部の構造の補強と躯体内部への土砂の侵入防止が必要となったが、それらの改修により安定したデータの取得が可能となった。

第 6 章では、第 1 章でレビューしたこれまでの掃流砂観測手法に対して、本研究での観測手法の優位性と適用範囲を比較し、土砂移動形態や粒径の測定手法とセンサーの精度など、近年の技術の進展を考慮しつつ、流砂の観測手法について総合的に考察を行った。特に、河床変動に寄与する掃流砂に着目し、任意の断面を通過する掃流砂量とその粒径を正確かつ時系列に把握するため、円管による音響法及び掃流砂量計による測定手法を比較しつつ、場の条件に応じてこれらを併用することの有効性も論じた。円管による音響法は、粒径別の掃流砂量の推定が可能であるが、無次元掃流力が 0.1 から 0.2 以上では音響法の適用が困難になる。一方、掃流砂量計による測定手法では、掃流砂量の水中重量の測定とロードセルの重量波形の相互相関から掃流砂の移動速度を予測できるが、粒径が約 10㎜以下かつ重量が 300 g/s 以下では重量を測定出来ないため適用が困難である。また、掃流砂量計のみでは粒度分布の測定が出来ず、複数の機器を組み合わせて測定手法の多重化を図ることにより、流砂観測が可能となる。任意断面を通過する全流砂量が把握できると、その区間内の河床変動量や粒径の情報を適用し、水文・水理諸量を用いて水・土砂流出モデルと連携すれば、流域内の時々刻々の土砂管理や流域全体での土砂管理が行える。今後の流域総合土砂管理に向けて、本研究の成果がその一助になり得ると確信する。