

ハイドロフォンによる流砂観測に基づく流砂移動の特性変化に関する分析

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○小林拓也 鈴木拓郎 吉田佳佐 菊井稔宏  
 国土技術政策総合研究所 内田太郎  
 利根川水系砂防事務所 神野忠広

1. はじめに

近年、総合的土砂管理が重要視されており、流砂系においては流砂移動の定量的な評価が求められている。土砂移動量を評価する手段として、ハイドロフォン等を用いた流砂水文観測が全国で実施され始めている。

そこで、本研究では土砂移動実態をより詳細に把握し、流域毎の流砂移動特性とその支配要素を解明する事を目的として、ハイドロフォン等で観測された全国各地の流砂水文観測データを基に、流砂量と各種水文データとの関連性について分析を行なった。

2. 分析の方法

本研究では、ハイドロフォンによる掃流砂量と粒径の観測値および水位計による水位の観測値を基に、無次元掃流力と無次元流砂量を算出し、出水毎の両者の関係について分析した。なお、鈴木ら<sup>1)</sup>の検証によると、ハイドロフォンによる粒径の観測値については誤差が生じる可能性を指摘しているが、掃流力と粒径の関係を調べたところ、観測された粒径は掃流力の上昇に伴い大きくなり、また限界掃流力から換算した粒径の理論値以下に分布していたことから、信頼できる値であると判断して利用した。

また、平衡流砂量式に基づく無次元流砂量の理論値と、ハイドロフォンによる掃流砂の観測値との比較を行った。平衡流砂量式については芦田・高橋・水山式(ATM式)<sup>2)</sup>を用いた。

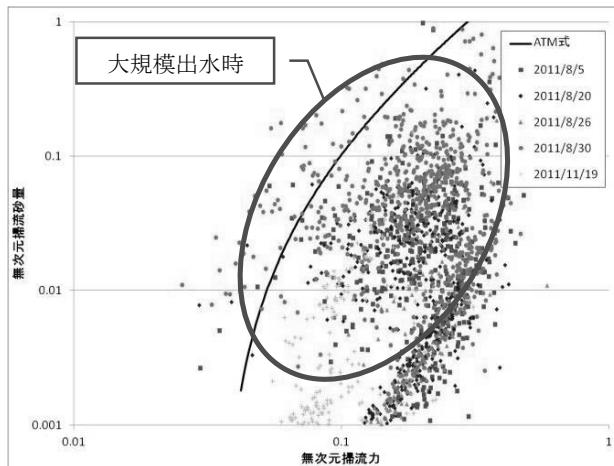
3. 結果と考察

3.1 無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係の流域特性

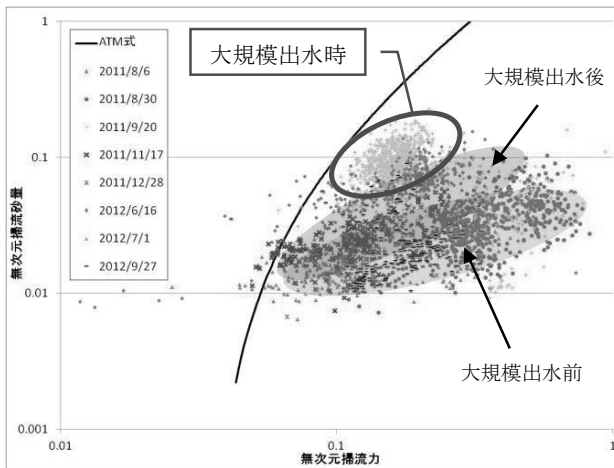
出水時における、無次元掃流力に対する無次元掃流砂量の関係は、観測所毎に異なる傾向を示す事が認められた。図1に利根川水系砂防事務所の三原観測所と、富士川砂防事務所の濁川下流第9床固観測所の例を示す。図中のプロットはそれぞれの観測所にて観測された無次元掃流力と無次元掃流砂量の観測値を出水毎に色分けしてプロットしたもので、図中の黒線は流砂量式による理論値を表している。

観測所により、理論線付近にプロットの分布が集中する箇所(例:三原)と、理論値よりも小さい領域にプロットの分布が集中する箇所(例:濁川第9床固)に大別された。これは、堀田・厚井<sup>3)</sup>が述べている、流域の土砂貯留量の違いによる土砂流出プロセスの違いが表れているものと考えられる。前者は、当該掃流力条件下において移動可能な河床にある土砂量(以下、移動可能土砂量)が十分に存在するため、掃流力が増加するに従い掃流砂が増加し、常に平衡状態に近い状態となる箇所であると考え事ができる。後者は、移動可能土砂量が少ない箇所のため、掃流力が増加しても流砂量が増加せず、非平衡状態が主となる箇所であると考え事が出来る。よって、各観測所のプロットの分布傾向は、それぞれの観測所の近傍、あるいは上流域における河道内への土砂供給(生産)の特性及び状況を反映しているものと考えられる。

なお、いずれの観測所のデータも、無次元掃流砂量の上限值は概ね理論線と一致しており、ハイドロフォンによる掃流砂観測の精度の高さが窺えた。



利根川水系砂防事務所 三原観測所



富士川砂防事務所 濁川下流第9床固観測所

図1 無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係

3.2 観測所の上流域における大規模土砂生産現象による掃流砂量の変化

紀伊山地で大きな災害をもたらした2011年の台風12、15号により、全国各地で大規模な出水が発生している。そこで、移動可能土砂量が変化した可能性があるとして、台風12、15号による大規模出水の前後での流砂量の変化を分析し、大規模出水が生じた場合の流砂移動特性の変化について分析・考察した。分析により、数カ所の観測所にて、大規模な出水の前後で無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係に変化が生じることが確認された。図1に示した、移動可能土砂量が少ない箇所である富士川砂防事務所 濁川下流第9床固観測所の例を示す。

まず台風に伴うイベントにおいて、それ以前の対応傾向に倣わない大きな無次元流砂量が観測された(図中の○枠)。平時の出水では理論値に比べて少ない流砂量しか発生していないが、大規模な出水の場合には理論線(平衡状態)に近づくほどの流砂量が生じている

事が確認出来る。これは、台風 12, 15 号のイベントにおいて上流部で土砂生産が生じ、土砂が河道に供給され、その土砂が下流域に伝播したことで一時的に掃流砂が増加したためと考えられる。

次に、大規模出水後では、大規模出水前に比べて掃流力に対する掃流砂量が全体的に増加する傾向がみられた(図中網掛)。流砂量の増加傾向は 2012 年前半のイベントまで継続しているが、徐々に大規模出水前の対応関係に戻っており、2012 年 7/1 のイベントの途中から大規模出水前の対応関係に戻っている事が確認出来る。これは、台風 12, 15 号に伴う土砂生産により河道内に供給された土砂が、堆積・移動を繰り返して徐々に流下してきたことによる応答と考えられ、2012 年の 7 月のイベントまで台風 12, 15 号により供給された土砂が残っていたものと考えられる。

### 3.4 河床変動測量に基づく土砂生産現象の確認

濁川下流第 9 床固観測所の上流部においては毎年河床変動測量を実施しており、年間の土砂変動量を算出している。図 2 に土砂変動量の推移を示す。H23~25 の変動量に着目すると、平成 23 年 2 月から 24 年 2 月の間で河道内土砂量が増加しており、平成 24 年 2 月から 25 年 2 月の間で減少して平成 23 年以前の土砂量に戻っている。これは、平成 23 年の台風 12, 15 号による大規模な出水に伴って土砂生産現象が発生し、河道内に土砂が供給され、平成 24 年の間にそれらが流下して平成 25 年には平成 23 年以前の状態に戻ったという、流砂量の変動時期との整合が取れている。

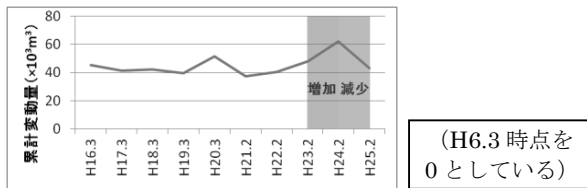


図 2 河道内土砂変動量の推移(濁川(現 神宮川))

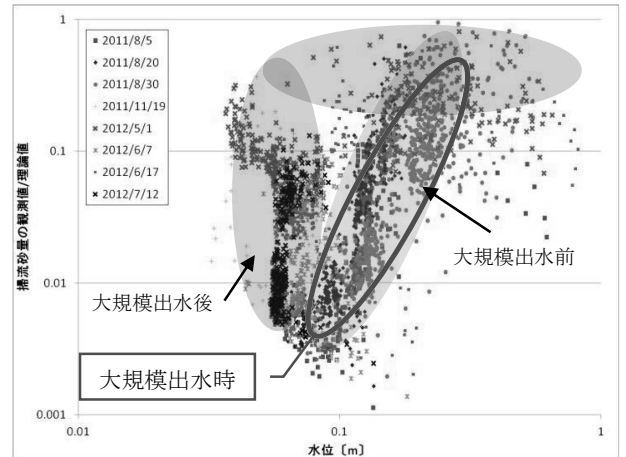
### 3.3 観測所の上流域における大規模土砂生産現象による平衡特性の変化

一方で、移動可能土砂量が多い箇所においては、図 1 からは大規模な出水前後での無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係に明瞭な変化が見られなかった。これは平常時から移動可能土砂量が多いため、土砂生産による影響を受けにくいためと考えられる。しかしながら、図 1 では無次元掃流砂量の理論値と、観測された掃流砂量の水別での関係については把握出来ていなかった。そこで、無次元掃流砂量の理論値が平衡状態であると考えると、平衡非平衡の状態を無次元掃流砂量の観測値/理論値で表す事とし、台風 12, 15 号の大規模出水前後での水位毎と平衡非平衡状態の変化を確認した。

利根川水系砂防事務所 三原観測所における水位と無次元掃流砂量の観測値/理論値の関係を図 3 に示す。図中の○枠は大規模出水時のプロットの分布範囲を、網掛けは大規模出水前と後のプロットの分布傾向をそれぞれ示したものである。大規模出水時における平衡非平衡の関係は大規模出水前と変わらないが、大規模出水後では水位が小さい領域(0.1m 以下)でより平衡状態に近づきやすい状態となり、その状態が継続している事が確認できる。これは、移動可能土砂量が多い箇所では、常に一定の量と粒径の土砂が供給されているが、台風 12, 15 号に伴う大規模出水により供給された土砂がそれ以前に供給されていた土砂と構成が異なる

か、あるいは土砂貯留の場所が変わり、観測所近傍に移動可能土砂が供給されたため、水位毎の平衡非平衡の特性に変化が生じたと考えられる。このような平衡非平衡特性の変化についても、移動可能土砂量が少ない観測所で見られた傾向と同様に、徐々に大規模出水以前の状態に戻ると推測される。

なお、移動可能土砂量が少ないとされる観測所においても、移動可能土砂量が多い箇所と変化の傾向は異なるが、大規模出水による水位毎の平衡非平衡特性の変化が確認されている。



利根川水系砂防事務所 三原観測所  
図 3 水位毎の平衡非平衡特性の変化

## 4. 総括

- 流砂観測により、平常時における流砂量が多い観測所と少ない観測所を分類する事が出来る。流砂量の多寡は、観測所の近傍、あるいは上流域の移動可能土砂量に依るものと考えられる。
- 上流域で土砂生産現象が発生した場合に、
  - ①移動可能土砂量の少ない観測所では、無次元掃流力に対する無次元掃流砂量の関係が変化する。
  - ②移動可能土砂量の多い観測所では、無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係には明瞭な変化は見られないが、水位と無次元掃流砂量の観測値/理論値の関係は顕著に変化する。
 また、土砂生産現象の発生後はそれぞれの関係が変化した状態が暫く続くが、供給された土砂が流下しつくすと土砂生産現象の発生前の状態に戻る。

## 5. 参考文献

- 1) 鈴木ら：音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証, 砂防学会誌, Vol.66, No.1, p.4-14, 2013
- 2) 芦田ら：山地河川の掃流砂量に関する研究, 新砂防, 107号, p.9-17, 1978
- 3) 堀田・厚井：山地からの土砂流出の変遷の実態-流域の土砂貯留量の変化に着目して-, 砂防学会誌, Vol.63, No.5, p.52-61, 2011