

六甲山系における水文・土砂動態観測手法の整理

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 光永健男・辻田英幸\*1・橋本広稔\*2・田村仁志\*3

筑波大学 内田太郎

国土技術政策総合研究所 泉山 寛明

国土防災技術株式会社 ○永田葉子・土佐信一・塩尻賢一

\*1 現：近畿地方整備局河川部 \*2 現：大戸川ダム工事事務所 \*3 現：国営明石海峡公園事務所

1. はじめに

六甲山系では、多くの水文流砂観測が行われてきている<sup>1</sup>が、山地の流量・流砂の観測は依然として難しく、現地の状況に応じて試行錯誤しながら観測データを取得していることが実態である。そのため、今後の観測の精度向上、効率化に資するためにこれまでの観測手法（設置位置、設置方法など）を整理した。

2. 観測の種類

ここでは、以下に示すように流量観測と流砂観測に大別して観測手法の整理を行った。

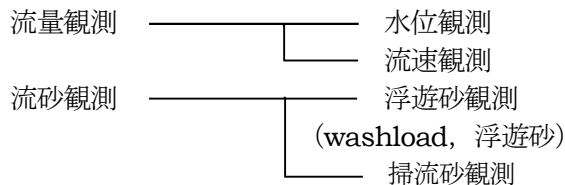


図1に水深と流砂の区分と各流砂観測との対応を示す。ここでは、掃流砂(①②)を観測するものを「掃流砂観測」とし、浮遊砂(③)とwash load(④)を観測するものを併せて「浮遊砂観測」とする。

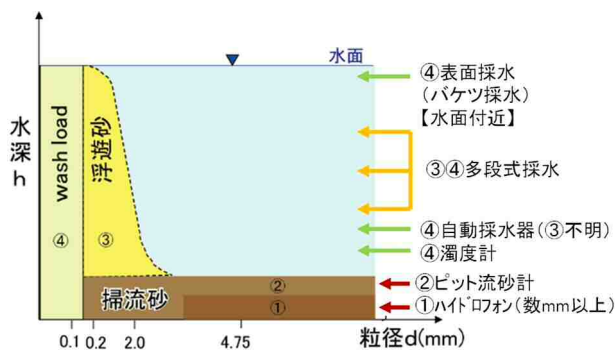


図1 流砂の区分と観測方法

3. 流量観測手法の整理

六甲山系では流域面積 0.001km<sup>2</sup> から 7.4km<sup>2</sup> の流域で流量観測を行っている。流量観測を行うためには、河床変動が小さく横断構造物がある地点が望ましいが、六甲山系の上流では砂防堰堤、治山ダム（谷止工）とも未満砂が多いため、表1に示す方法により、流量観測を行った。また、このときの観測例と観測の留意点を表2に整理した。

流域の下流部では、満砂した砂防堰堤の水通しを越流する流量を観測していることが多い。このような観測のときの水位観測の実態、流量換算の課題などについては既報<sup>2</sup>

に示した。

流域の下流部で観測を行っている満砂した砂防堰堤・治山ダムの場合には通常時に全面に流水がなく、流路が複数に分かれる、出水時の流路が不明など、断面平均水位の計測・流量換算を実施するうえで問題がある箇所が多い。流砂観測を併用しない場合は湛水した砂防堰堤や副堤での観測が有利である場合もある。また、流速観測を併用できれば溪流保全工での観測が精度高く観測できる場合がある。

表1 流域上流部での流量観測方法

観測方法・設置位置	換算方法	流域面積
量水堰や堰板を河道に設置 水抜き暗渠に堰板を設置	三角堰	0.1km <sup>2</sup> 以下
	四角堰 全幅堰	0.7km <sup>2</sup> 以下
水抜き暗渠に水位計を設置	マニング式	0.9km <sup>2</sup> 以下

表2 流域上流部での流量観測例と留意点

	観測例	留意点
河道に堰を設置	①量水堰を設置	○精度高く観測できる ▲設置の難易度が高い(適地も少ない) ▲土砂の流入など維持に手間がかかる ▲0.7km <sup>2</sup> 位置は大出水で2回流亡
	②堰板を設置	
水抜き暗渠を利用	③堰板を貼り付け	▲大出水で暗渠高さ以上の水位となると換算が困難(背面閉塞の可能性) ▲大出水時は観測していない水抜き暗渠から出水したり、天端を越流して流量全体を把握できない場合がある
	④マニング式で換算	

4. 流砂観測手法の整理

六甲山系でこれまでに実施した主な流砂観測の方法とその特徴を表3に整理した。以下に主な観測の留意点について示す。

(1) 濁度計観測の留意点

これまでバケツ採水など出水時の現地観測を行っているが、労力が大い、出水時に安全に観測できる場所がなく、観測が実施できない流域があるなどの問題があり、濁度計など計器観測に移行していく必要がある。ただし、濁度計は機種により観測可能な範囲が異なり、また同じ濃度の浮遊砂に対して異なる濁度値を示すため、あらかじめ機種の特性を把握して設置する必要がある。センサーは水面よりやや深い位置のほうが安定したデータが取れることが多いが、溪床に近いと出水時の河床変動により埋設し、測れないことも多い。センサー設置の適地は課題が多い。

表 3 流砂観測方法と特徴

観測方法	観測項目	方法	特徴 (○利点, ▲欠点)
濁度計	濁度 [washload]	流水に光を照射して、反射または透過の度合いを計測	○連続観測が可能 ○省電力でメンテナンスが容易 ▲ノイズや異常値が多い
バケツ採水	濃度 粒径 [washload]	・出水時に橋梁などから河川水を採取 ・採取した河川水の浮遊砂濃度や浮遊砂の粒径を分析	○任意の時間・量の試料採取が可能。事前準備が不要 ▲表面水のみ ▲出水時に現地に行く必要あり
自動採水器	濃度 粒径 [washload*1]	・一定時間ごとに内蔵のポンプで流水をくみ上げ、容器に定量の水を入れる ・分析は上と同じ	○通信装置を付加すれば出水時に遠隔操作で採水が可能 ▲ホース設置深度のみ
多段式採水	濃度 粒径 [浮遊砂]	・固定した配管で深度ごとの水を採取 ・分析は上と同じ	○任意の時間・量の採取が可能 ○水深方向の濃度等の違いを確認可能 ▲出水時に現地に行く必要あり ▲観測可能な場所が少なく、試料採取
浮遊砂サンプラー	粒径 [浮遊砂]	・溪床に採取口径5mm程度のサンプラーを設置し、出水後に試料を回収する	○採取等の手間は比較的小さい ▲試料の採取日・時刻が不明
ピット流砂計	荷重 粒径 [掃流砂]	・流砂の荷重を計測(図2) ・入った土砂を回収し、粒度分析を行う	○流砂を直接採取し、時刻歴の荷重変化を確認できる ▲満砂になると観測できない ▲ピットから土砂を出さないこと次の観測ができない
ハイドロフォン	掃流砂量 粒径*2 [掃流砂]	・マイクを内蔵した金属管に掃流砂が衝突する時の音響データを解析して掃流砂量に変換	○連続観測が可能 ○設置をすれば維持管理は容易 ▲パルス方式は個別に換算式が必要

\*1 自動採水器はwashloadがほとんどと考えられるが浮遊砂も含んでいる可能性がある  
\*2 パルス方式ハイドロフォンでは粒径は把握できない

## (2) 直接採水の留意点

直接採水(バケツ採水, 自動採水器, 多段式採水)に共通する留意点として採水間隔があげられる。観測箇所の流域面積や雨の降り方により判断する必要がある。自動採水器は遠隔操作で観測を開始し, 任意時刻に採水できるように設定できると利便性が高い。

多段式採水の実施方法などは, 田村ら(2016)<sup>3</sup>のとおりである。このような観測を実施できる箇所は少なく, また配管の詰まりなどもあり, 観測の難易度が高い。

## (3) ピット流砂計観測の留意点

六甲山系では現在5基のピット流砂計観測が行われている。ピット流砂計は溪床を掘り下げて箱を置き, 箱上面のスリットから落下する流砂の荷重を計測するものである(図2)。出水後にこの土砂を回収し, 粒度分析を行うことにより, 流砂の粒径も把握することができる。流砂観測の直接的な手法であるが, ピットが満砂するまでしか観測できず, 次の観測前に土砂を排出する必要がある。

六甲山系の5基のうち, 3箇所は荷重計の上に底板を置く方式(仮に「底板式」と呼ぶ), 2箇所が内箱を置く方式(仮に「二重箱式」)である。底板式の場合, 底板の上下の水圧を合わせるために圧力調整管が必要である(写真1)。圧力調整管の破損や詰りにより, 観測できなくなったこともあり, また, 二重箱式の場合は箱を吊り上げることができ, 土砂排出時の労力が低減できる。そのため, 維持管理上, 二重箱式にメリットが多いと考えられる。

またピットのスリットは側方から流砂が入る場合にはスリット側面にガイドを設置する必要がある(写真2)。

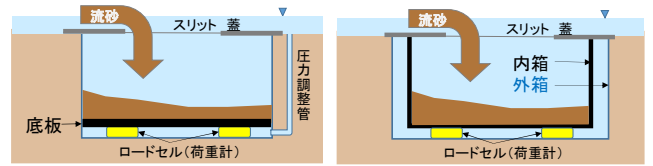


図 2 ピット流砂計模式図(左: 底板式, 右: 二重箱式)



写真 1 ピット流砂計(底板式)



写真 2 ピット流砂計の蓋の改良

## (4) ハイドロフォン観測の留意点

六甲山系では合成音圧方式とパルス方式のハイドロフォンによる流砂観測を実施しており, そのうちパルス方式ハイドロフォンは数年ごとの点検で出力低下が確認され, 調整を行っている。出力低下状況は設置からの経過年数だけではない違いが見られ, 設置位置の環境などが影響している可能性がある。流砂量換算に影響するため, 定期的な出力状況の確認は必要であると考えられる。

## 5. まとめ

いくつかの観測箇所ではタイムラプスカメラを併用したところ, 異常値の原因の特定や観測結果の評価に非常に有用であった。また, 電源確保が困難で流速観測を実施できていない流域上流の観測所において, 電池で稼働するトレイルカメラによる画像(動画)を用いた流量(流速)観測の試行を予定している。このような画像観測の併用は, 出水時の実態把握とともに, 流量観測の課題としてあげた出水時の流路が不明などの問題点の解決につながり, さらに観測精度向上や維持管理の省力化等にも資するものと考えられる。

また異常値の検定や機器の更新のタイミングなどについても今後検討を進めたい。

<sup>1</sup> 田村ら(2018): 六甲山系における山地河川の浮遊砂の計測と特性, 砂防学会誌 71 巻 1 号 p3-14

<sup>2</sup> 田中ら(2019): 山地河川における流量観測の問題点と課題, 2019 年砂防学会研究発表会概要集, p377-378

<sup>3</sup> 田村ら(2016): 六甲山系における浮遊砂観測の課題と対応, 砂防学会誌 69 巻 4 号 p3-9