

根谷川における土砂動態把握のための土砂堆積高計測装置の開発と適用

中電技術コンサルタント株式会社	正会員	○佐伯 雄一
中電技術コンサルタント株式会社	正会員	中田 一騎
広島大学	正会員	内田 龍彦

1. はじめに

近年の気候変動による降雨量の増加により、河道内の洗堀や土砂堆積等による被害の頻発化が懸念されている。河道内の土砂動態を把握する手法には、出水前後のモニタリング調査、ハイドロフォン、ロードセル等を用いた手法が挙げられる。しかしながら、出水前後のモニタリング調査では、出水前後の河床変動について大局的な変化を捉えるのみであり、土砂動態を経時的に把握することが困難である¹⁾。また、ハイドロフォンやロードセルを用いた手法では、土砂動態を経時的に把握できるが、計測機器が非常に高価であるとともに、電源が必要である事や、計測精度に問題があるとされている。そのため、安価かつ、連続的に土砂動態を計測できる計測装置が必要とされている。

そこで、2020年に細井らが、水で充填されたゴムチューブ内に圧力式水位計（以下、圧力計と略）を封入し、土砂堆積による圧力をゴムチューブ内の圧力計で計測する土砂堆積高計測装置を開発している²⁾。この計測装置の計測原理は、水で満たされた容器内外に圧力計を設置することで、土砂堆積後、容器内の圧力計は土砂の全応力を、容器外の圧力計は間隙水圧を計測し、その差によって土砂堆積高を求めるものである（図-1）。

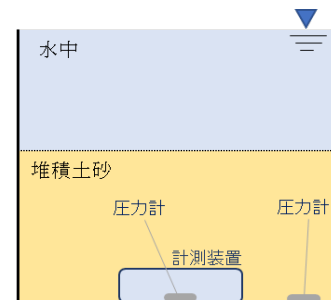


図-1 土砂堆積高計測装置の原理

また、2021年に中田らが、同装置を太田川水系根谷川の観測柵内（図-2）の土砂堆積高計測へ適用し、結果として小規模出水時における掃流砂の土砂動態把握の有用性が確認された。しかしながら、2021年の根谷川への適用結果は、大規模出水時の計測結果が実測値と大きく乖離しており、また計測期間中、時間の経過とともに計測値の圧力が減少する傾向や、圧力分散（図-3）が原因と考えられる計測精度の低下がみられたことから、計測装置の改良が必要である³⁾。



図-2 根谷川における観測柵

そこで、本研究では、2020年に開発された計測装置の課題である、中・大規模出水時の計測精度の低下に加え、時間の経過とともに減少する圧力と、圧力分散による計測精度の低下に対して、計測精度を向上させることを目的に、新たに計測装置を開発した。この新たに開発した計測装置を用いて、2022年の出水時における土砂動態の把握を試み、その有用性について検討した。

2. 現地実験

(1) 土砂堆積高計測装置の概要

2020年に開発された装置の概要を（図-4 左）に示す。この装置は、ゴムチューブの容器内に圧力計を封入し、土砂堆積による圧力をゴムチューブ内部へ伝達するためにゴムチューブの上部にプレートを設け、この計測装置を観測柵底面の中央部に設置し計測が行われた（以降、中央設置型と略）。その結果、計測装置のプレート外へ土砂の荷重が分散され、実現象との乖離が大きくなる事が課題となった。（図-3 参照）



図-3 圧力分散の概念図

キーワード 土砂堆積高計測装置、水位計、観測柵、土砂堆積高の推定

連絡先 〒730-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3-30 中電技術コンサルタント株式会社 地図・情報本部環境部

T E L 082-256-3356

これに対し、中央設置型で確認された課題を解決するために、新たに開発した計測装置の概要を(図-4 右)に示す。この装置は中央設置型で用いたものと同様のゴムチューブを4つ用い、その上部に観測柵底面の概ね全体を覆うプレートをした(以降、全域設置型と略)。なお、4つのゴムチューブはすべてに圧力計を封入した。

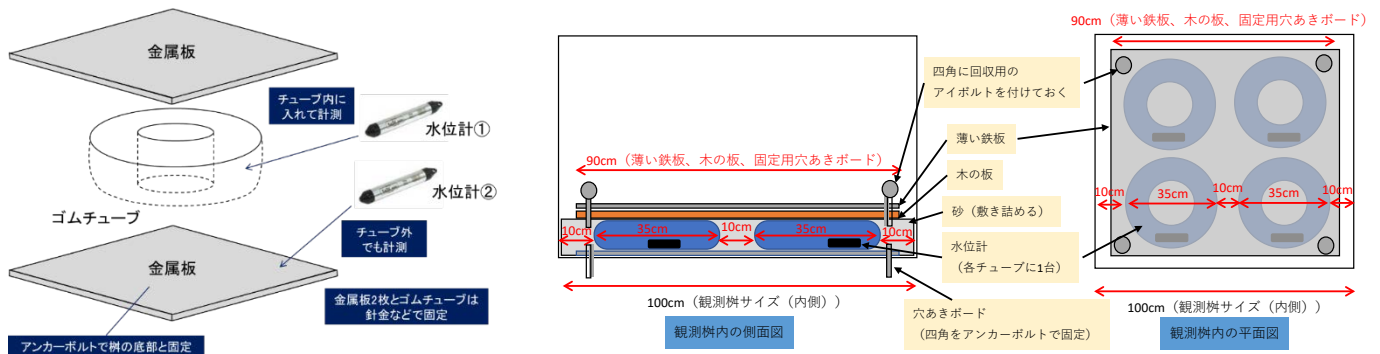


図-4 土砂堆積高計測装置 (左: 中央設置型、右: 全域設置型)

(2) 土砂堆積高の推定式の作成

土砂堆積高計測装置は、強度のあるゴムチューブを用いていることから、同じ計測装置を何度も使用することが可能である。そこで、根谷川の観測柵内で実験を行い、実際に計測装置上に堆積させた土砂堆積高と、計測装置で計測した土砂堆積高との関係式を作成し、計測装置で計測した結果を関係式で補正した。

全域設置型の現地実験は、2022年6月24日に行った。現地実験の方法は、計測装置を観測柵底面に設置した後、一定の堆積高になるように土砂を投入し、整地後の5分間で土砂堆積高を計測した。計測装置の設置直後の状態を土砂堆積高0cmとし、観測柵が満砂になるまで10cm毎に土砂を堆積させた。なお、現地実験の計測条件は、圧力計の計測インターバルを1分とし、大気圧補正を行った。

中央設置型の現地実験は2020年8月7日に実施されており、同様に現地実験結果から、土砂堆積高を推定する関係式が作成されている。

以上の現地実験結果をもとに作成した関係式を(図-5)に示す。関係式を作成する際、全域設置型は4つの圧力計の計測値の平均値を用いて作成した。関係式はそれぞれ決定係数R²が約1.0と非常に高い相関であった。しかし、実際に堆積させた堆積高と、土砂堆積高の計測値を比較すると、中央設置型装置と同様に全域設置型装置も、土砂堆積高が高くなるにつれて計測値の応答が鈍くなる傾向が確認された。

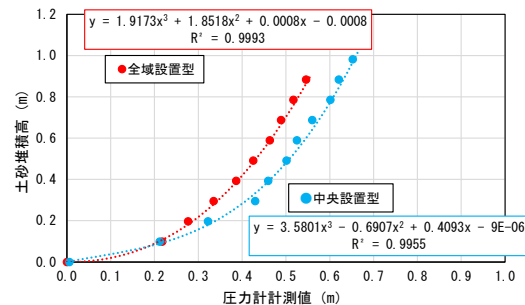


図-5 計測装置の計測値と土砂堆積高の関係

3. 2022年出水時の土砂動態把握と計測装置の有用性検討

(1) 計測装置の設置

計測装置は、2022年6月24日に根谷川下流部の観測柵内底面に設置した。(図-6)この時、計測装置上部のプレートと底面の隙間に粒径の大きい砂礫が入り、砂礫が計測装置上部に堆積した土砂の圧力を支持する可能性があるため、初期条件として、予め粒径の小さい土砂を計測機器が埋没する程度まで敷均した。

計測期間は2022年6月24日から10月26日までとした。また、観測柵内は4区分されており、中央設置型を右岸下流側、全域設置型を左岸下流側に設置した。

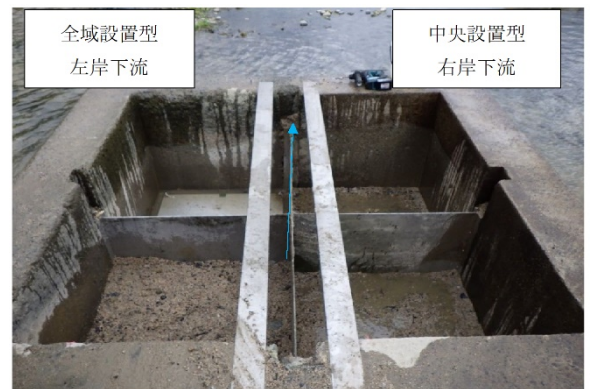


図-6 計測装置の計測値と土砂堆積高の関係

(2)計測期間中の出水状況

根谷川における計測期間中の出水状況は、観測柵より約 3.0km 下流に設置されている新川橋水位観測所の観測データを用いた。新川橋水位観測所によると、6月24日に計測装置を設置して以降7月8日、7月14日に平水時と比較して水位が約 0.5m 上昇した。その後、7月19日に水防団待機水位(1.1m)を超える出水が起こった。その後、満砂となった観測柵内の土砂を撤去し、計測装置内の圧力計のデータ抽出を行い、再び8月10日から計測を開始した。8月10日以降の出水状況は、8月18日、9月3日に平水時と比較して水位が約 0.5m 上昇した後、9月19日に台風14号の影響で氾濫注意水位(1.7m)を超える出水が起こった。

(3)計測装置による土砂堆積高の推定

土砂堆積高計測装置で計測した土砂堆積高と現地観測による堆積高の整理結果を(図-7)に示す。なお、計測装置の堆積高は現地実験結果から作成した推定式を適用したものである。この結果から、降雨に対応して土砂の堆積高が変化していることが確認できた。また、全域設置型の7月、9月の両計測期間中で確認された計測最大値は、出水時の現地観測値と概ね同程度となり、出水時の土砂堆積高計測精度が向上した。一方で、全域設置型においても中央設置型と比較して計測精度が向上したものの、中央設置型同様に時間の経過とともに土砂の圧力が指数関数的に低下している事象が確認された。

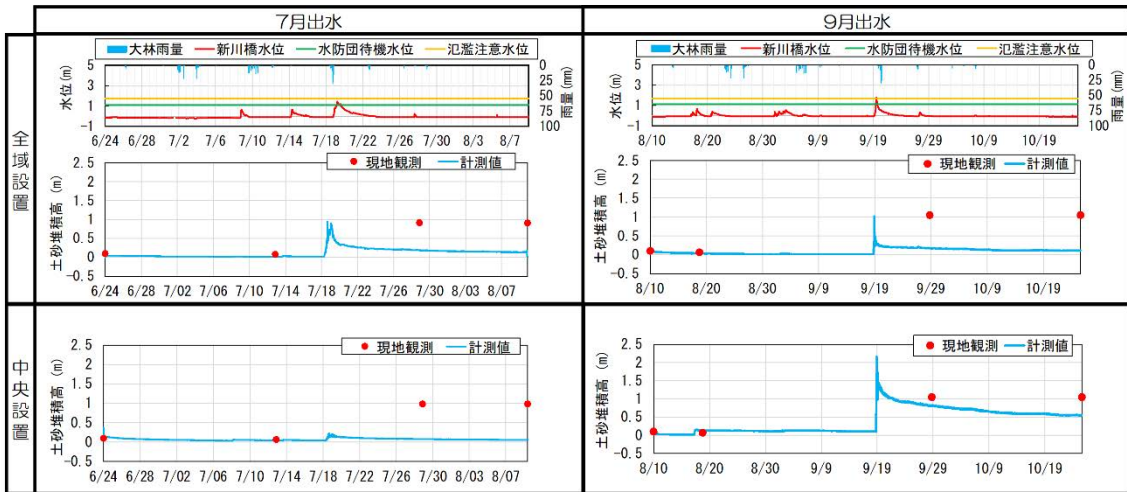


図-7 計測装置による計測結果

(4)時間減衰補正式の作成

圧力が時間とともに減少する中央設置型に対して、2021年に中田らによって、圧力減衰を補正する補正式が作成されているが、中・大規模出水後の時間減衰を抑制することができなかった。そこで、新たに時間減衰の補正式を作成した。補正式は、2022年の出水規模で最も大きく、圧力減衰も最も大きい結果となった9月の出水をもとに作成した。作成した時間減衰補正式の決定係数 R^2 は両設置型ともに 0.8 以上と非常に高い相関であった。また、作成した補正式の適用区間を変更して補正を行うことで、出水規模に関わらず時間減衰を補正することが可能となった。

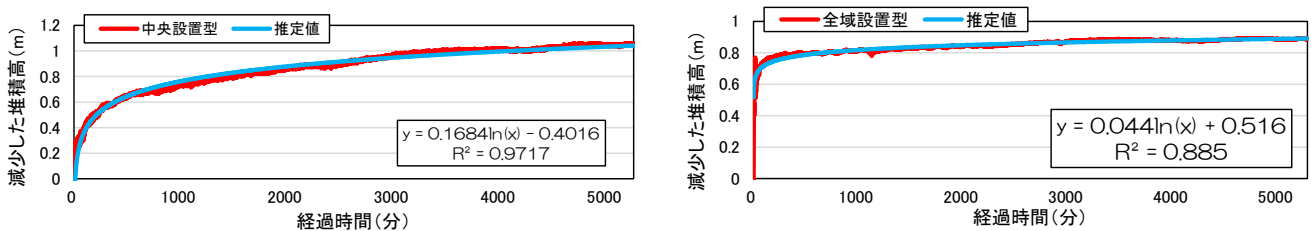


図-8 時間減衰補正式

(5)時間減衰補正後と現地観測結果の比較

新たに作成した時間減衰補正式を適用することで、適用前と比較して時間減衰を抑制することができた。中央設置型では、7月出水時は過小評価、9月出水時は過大評価となり、現地観測の土砂堆積高と比較して乖離がみられたが、全域設置型では、時間減衰補正式を適用することで計測精度が向上し、土砂堆積高をある程度正確に評価することが可能となった。

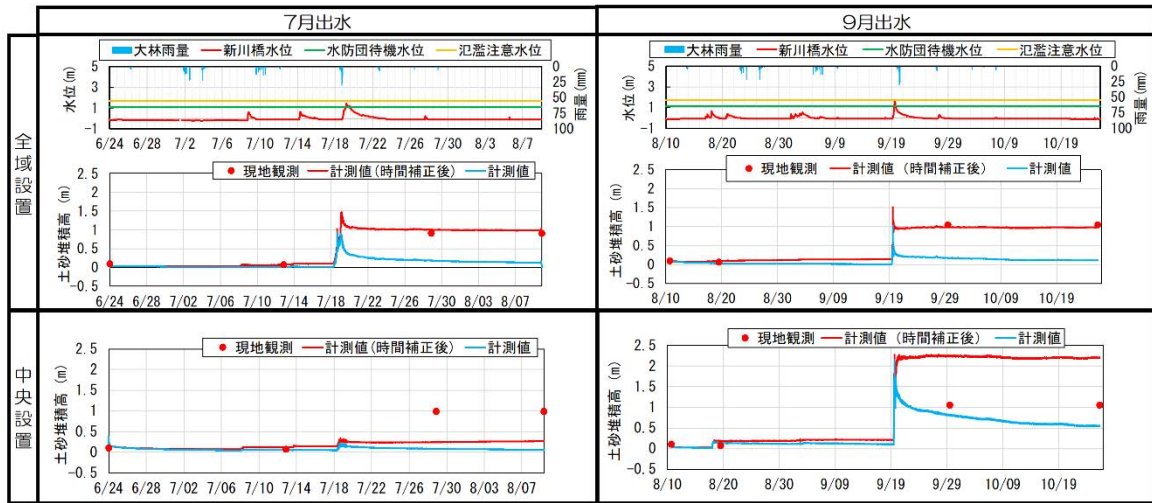


図-9 時間減衰補正後の計測結果

5. おわりに

本研究では、礫床河川における土砂動態把握のために、2020年に開発された計測装置の改良を行い、新たに簡易的な計測装置を開発した。また2020年に開発された計測装置と、新たに開発した装置の両装置を2022年の根谷川へ適用し、出水時の土砂動態把握を試みた。以下に本研究で得られた結果と今後の課題を示す。

- 1) 全域設置型では、補正を行うことで小規模出水だけでなく、中央設置型で課題とされていた中・大規模出水時の土砂堆積高をある程度正確に評価することが可能となった。
- 2) 現地実験結果より、堆積させた土砂堆積高が高くなるにつれて、計測装置の圧力の上昇幅が減少していく傾向がみられた。この要因として、あらかじめ計測装置の周りに敷均した土砂が、ゴムチューブが押し縮められることにより、プレート上部からの圧力を受け、締め固められた結果、土砂が装置上部の応力を保持することとなり、計測装置の圧力の上昇が抑制されたと考えられた。
- 3) 計測期間中、全域設置型、中央設置型の両装置で時間の経過とともに圧力減少がみられた。これは、ゴムチューブが長時間荷重を受け、チューブ内の水が少しずつ抜けていることが原因であると考えられる。そのためチューブ内の漏水量が増加するにつれてチューブの張力が大きくなり、堆積土砂の保持される応力が大きくなっていることが予想される。

今後の課題として、計測の前後でゴムチューブの重量を計測し、漏出水量と減衰圧力の関係を把握する必要がある。また、現地で計測装置を適用するために、応力分散が起こりにくい計測器や計測方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 末次忠司，日下部隆昭，坊野聡子：土砂管理施策のためのキーノート～土砂動態の時空間的上連続性を考慮した流域管理に向けて～，国土技術政策総合研究所，河川研究室，国総研資料第231号，P3. P57-65，2005年3月
- 2) 細井啓示，大森嘉郎，中田一騎，内田龍彦，永井秀和：土砂堆積量観測装置の開発と適用，第73回(令和3年度)土木学会中国支部研究発表会，第II部門，II-30，2021
- 3) 中田一騎，細井啓示，内田龍彦，永井秀和：根谷川における土砂動態観測装置の出水時への適用と土砂堆積厚推定式の改良，第74回(令和4年度)土木学会中国支部研究発表会，第II部門，II-24，2022