

根谷川における土砂堆積量観測装置の出水時への適用と土砂堆積厚推定式の改良

中電技術コンサルタント株式会社	正会員	○中田 一騎
一般財団法人 水源地環境センター	正会員	細井 啓示
研究第三部		
広島大学	正会員	内田 龍彦
NEXCO 西日本	正会員	永井 秀和

1. はじめに

従来手法における河川の土砂動態の把握は、出水前後のモニタリング調査等により、河床の変化（侵食・堆積）を調査することで把握してきた。また、国内河川における土砂動態の把握のその他手法としては、観測柵、ハイドロフォン等を用いた手法が採用されている。しかしながら、出水前後のモニタリング調査や観測柵では、連続的な土砂動態の把握が困難である。一方、連続的な土砂動態の把握が可能なハイドロフォンやロードセル等は、観測機器自体が非常に高価であるとともに、電源を必要とすること、さらに観測精度が低いことに課題があった¹⁾。これに対し、安価で土砂動態の連続観測が可能な測定機器が求められている。

そこで、2020年に細井ら²⁾が、水で充填されたゴムチューブ内に水位計を設置し、土砂堆積による圧力をゴムチューブ内の水位計で観測する土砂堆積量観測装置を開発した（図-1）。本観測装置を根谷川（広島市内を流れる一級河川太田川水系の支川）の国管理区間上流付近の頭首工直下（4k800 付近）に設置されている観測柵内³⁾（縦横 2.0m×高さ 1.0m）の底面に設置し、土砂動態を把握する実験が行われた。また、観測装置の観測値（ゴムチューブ内外の水位計の計測値の差）と理論値（投入した土砂の堆積厚＝圧力）から、土砂堆積厚の観測値を補正する推定式が考案された²⁾。

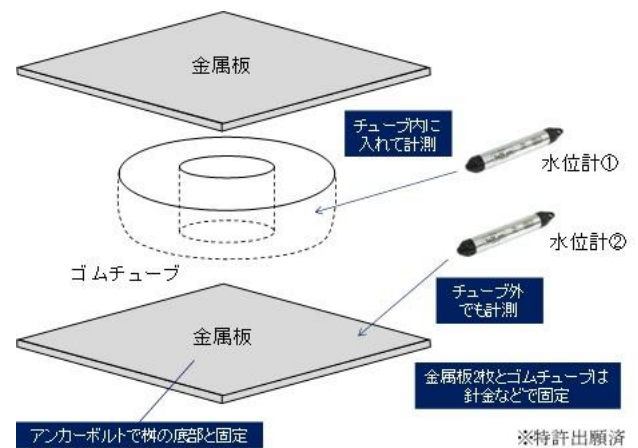


図-1 土砂堆積量観測装置の概要

しかしながら、2020年に観測装置を設置した観測期間中に発生した出水はいずれも小規模出水であり、観測柵内に堆積した土砂堆積厚は約 0.1m と少なく、観測装置の有用性を確認するまでに至っていない。また、観測期間中において、時間の経過とともに、ゴムチューブ内の水位計の計測値が小さくなる（土圧が減衰する）現象が生じて、観測精度が低下したことから、観測装置の改良、土砂堆積厚の推定式の改良等が必要であると考えられた。

そこで、本研究の目的として、2020年に開発された土砂堆積量観測装置（以下、本観測装置と略）を用いて、2021年の出水時における土砂動態の把握を試みた。また、2020年で考案された土砂堆積厚の推定式に時間軸の補正式を加えた改良式を検討・検証した。

2. 2021年出水における土砂動態の把握と有用性検討

本研究の対象フィールドは、2020年と同様に、根谷川に設置されている観測柵内とした（図-2）。また、堆積した土砂の圧力が時間の経過とともに減少するため、本観測装置の初期条件を変更した。それは、2020年では、本観測装置をそのまま観測柵内に設置していたのに対して、本研究では、予め本観測装置が埋まる程度

キーワード 土砂堆積量観測装置、水位計、土砂堆積厚の推定

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 地圏・情報本部環境部

TEL 082-256-3356

まで細かい粒径の土砂を敷き詰めた（図-3）．これにより，土砂流入時における圧力伝搬がよりスムーズになると考えられた．

本観測装置の設置・観測期間は，2021年7月21日～2021年12月21日である．観測期間中における出水は，2021年8月9日，8月11日～14日に氾濫注意水位を超える大規模な出水が起こった（図-4）．観測期間中のうち，観測枠内に堆積している土砂の堆積厚を2021年7月21日（設置時），8月10日（8月9日出水後），9月7日（再設置時），12月21日（撤去時）に計測した．

観測期間中のうち，7月21日～9月7日までの土砂堆積厚の推定値（既往の研究で考案された推定式による）を図-5に，9月7日～12月21日までの土砂堆積厚の推定値を図-6に示す．

土砂堆積厚の推定結果の概要と考察を以下に示す．

①観測期間中において，出水のイベント時には土砂堆積厚が増加したが，2020年と同様に時間の経過とともに土砂堆積厚の推定値が減少する傾向にあった．特に出水後では，土砂堆積厚の推定値の減少量が大きかった．

②理論値（観測枠内に堆積した土砂堆積厚）と推定値を比較すると，理論値より低い傾向にあった．特に，出水後では，理論値約1.0mに対して推定値約0.12m～0.15mと乖離が大きかった．これは，大規模出水時の観測枠内に堆積した土砂の粒径（ $D_{60}=8\text{mm}\sim 26\text{mm}$ ）が小規模出水時に堆積した土砂の粒径（ $D_{60}=2\text{mm}$ ）と比較して大きく，本観測装置の上端で微小な空洞が形成され，また，本観測装置の表面積（ $\phi 0.5\text{m}=0.2\text{m}^2$ ）は観測枠内の表面積（縦横 $1\text{m}\times 1\text{m}=1\text{m}^2$ ）と比較して約1/5以下であることから，本観測装置の計測範囲外に土砂の荷重が分散された可能性が考えられる．

なお，本観測装置の設置（7月21日），または再設置時（9月7日）の理論値約0.1mに対して，推定値では約0.05m～0.11mと大規模出水と比較して精度が良かった．

③8月11日～14日の出水，9月4日の出水では，土砂堆積厚の推定値が大きく振動（増減）していた．特に，8月11日～14日の出水のうち，土砂堆積厚の推定値が理論値の上限（観測枠内の高さ1.0m）を超える値を示す期間があった．これは，8月9日出水で既に観測枠内は満砂状態であったことから，8月11日～14日，9月4日出水時に観測枠上端で巨礫が通過，衝突による振動が本観測装置まで伝搬した可能性が考えられる．

以上のことから，本観測装置は，土砂動態を定性的に把握することができるが，土砂堆積厚の推定値の精度上の観点から，定量的な把握が課題であることが分かった．



図-2 本研究の対象フィールド

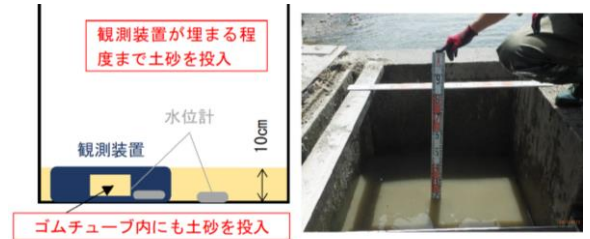


図-3 本研究の初期条件

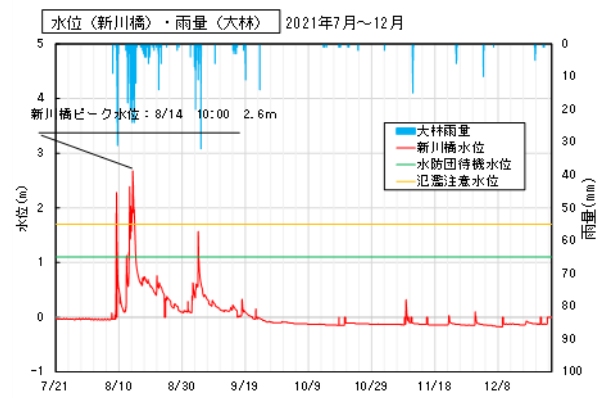


図-4 観測期間中の水位（新川橋）

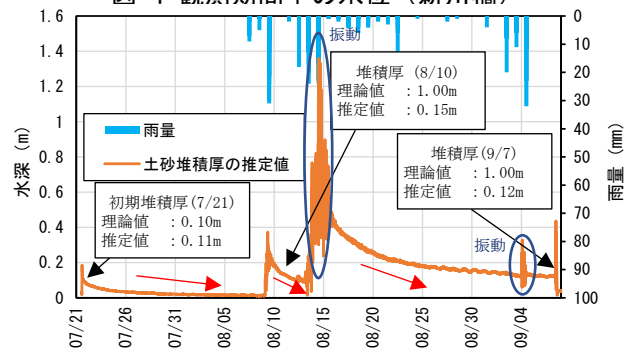


図-5 土砂堆積厚の推定値（7/21～9/7）

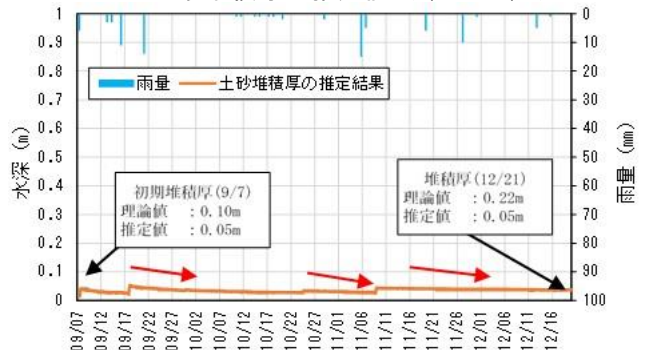


図-6 土砂堆積厚の推定値（9/7～12/21）

3. 土砂堆積厚の推定式の改良とその適用

本研究では、2020年と同様に時間の経過とともに、平水時、出水時ともに土砂堆積厚の推定値が減少しているため、圧力の減衰を考慮した土砂堆積厚の推定式の改良とその適用を試みた。図-5、図-6を参照すると、土砂堆積厚の推定値は、指数関数的に減少している。そこで、本研究では、2021年の土砂堆積厚の減衰から、圧力減衰補正式を開発した。圧力減衰補正式の考え方を下記（図-7）に示す。

ある時刻 t における土砂堆積厚 A_t は、出水等の影響がない限り初期堆積厚 A_0 のまま保存されていると考えられる。しかしながら、本観測装置では、何らかの理由で時間とともに指数関数的に減少しているため、本観測装置による土砂堆積厚の推定値 A_2 と減少した堆積厚 A_1 を加えた補正式 ($A_0 = A_1 + A_2$) を開発した。なお、土砂堆積厚の推定値 A_2 は、2020年で開発された式である。そのため、本研究で開発した補正式は、時間経過による土砂堆積厚の減少量 A_1 である。

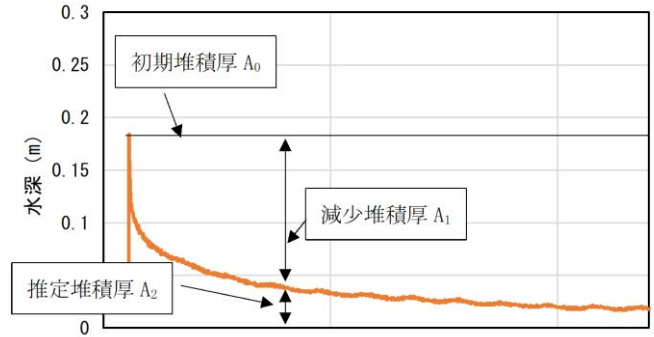


図-7 補正式の考え方（例）

時間経過による土砂堆積厚の減少量 A_1 の推定式を作成するあたりに、出水中、出水直後の振動の影響等により、推定式の精度が著しく低下すると考えられることから、本観測装置を設置した7/21から出水前（8/8）の期間で作成（図-8）した。図-8（右）を参照すると、決定係数 R^2 は、0.98 と非常に高い相関があるため、時間の経過とともに減少する土砂堆積厚の推定値を指数関数で表現できていることを意味している。

開発した時間減衰補正式を加えた土砂堆積厚の推定式を用いて、2021年の本観測装置により観測された期間に適用した。その結果のうち、7月21日～9月6日までを図-9（左）に、9月6日～12月21日を図-9（右）に示す。また、適用後の結果概要と考察を以下に示す。

- ①改良した土砂堆積厚の推定式は、大規模出水（8月9日、8月11日～14日）を除き、平水時または小規模出水で、土砂堆積厚の推定値が時間の経過とともに減少せず、改良前と比較して推定精度が向上したと考えられる。そのため、本観測装置を再設置した9月7日から回収時の12月21日では、設置時の理論値、回収時の理論値と概ね一致しているため、この期間中における土砂動態を定量的に把握することができたと考えられる。
- ②改良した土砂堆積厚の推定式は、大規模出水時には土砂堆積厚の推定値が時間の経過とともに減少しているが、改良前の推定式と比較して土砂堆積厚の減少量が低下していることが分かった。そのため、大規模出水期間中においても、土砂堆積厚の推定精度が向上したが、依然として、理論値（1.0m）と比較して乖離が大きいいため、根本的な改善が必要であると考えられる。

以上のことを鑑みると、改良した土砂堆積厚の推定式は、改良前と比較して土砂堆積厚の推定精度が向上し、平水時または小規模出水時では、土砂動態を定量的に把握することが可能であると考えられる。

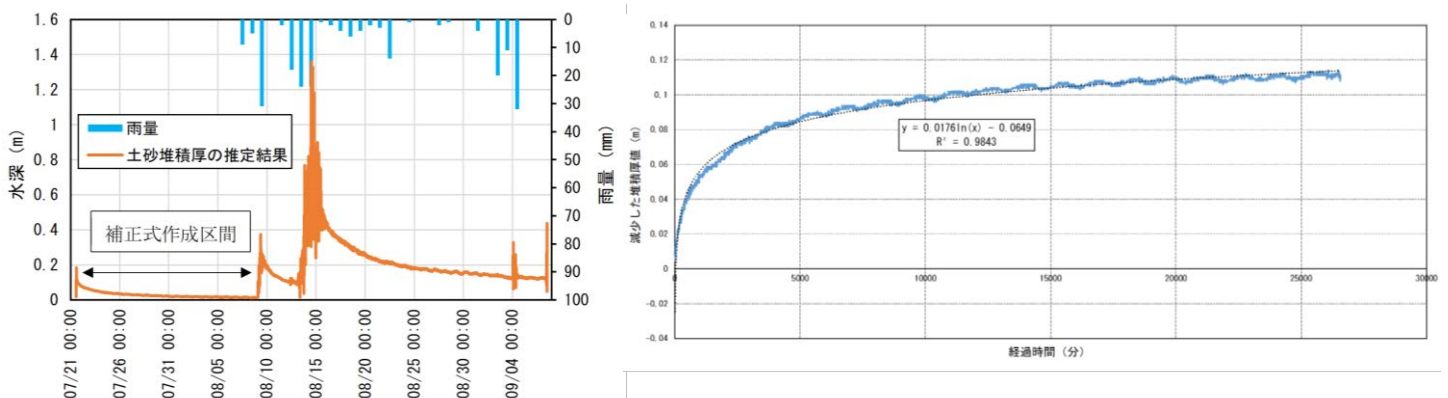


図-8 時間減衰補正式の開発（左：補正式作成区間，右：開発した補正式）

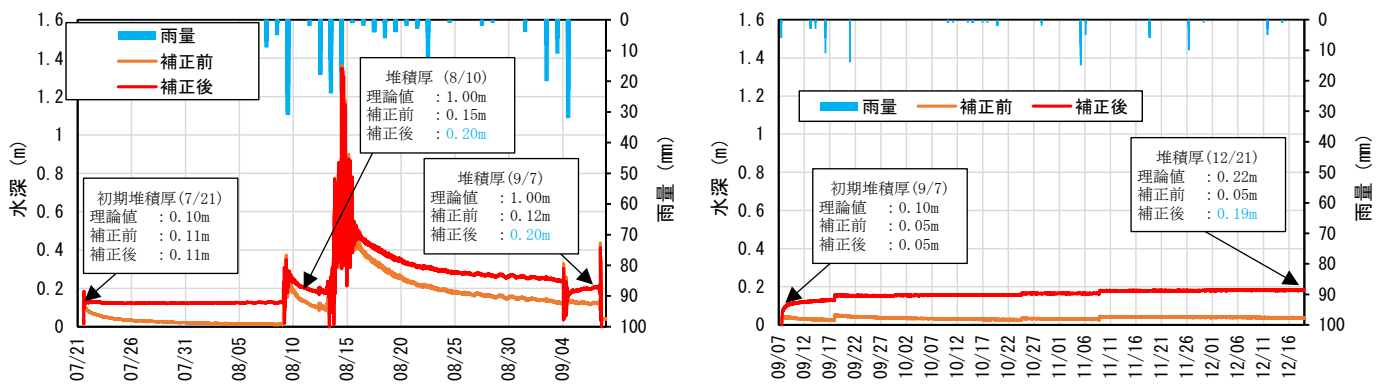


図-9 2021年の観測期間における改良前と改良後の比較（左：7/21～9/6，右：9/6～12/21）

4. 今後の課題

本研究では、2020年に開発された土砂堆積量観測装置を用いて、2021年における根谷川へ適用し、土砂動態把握手法の有用性について検討した。また、2020年に課題として挙げられた時間の経過とともに減少する土砂堆積厚を補正するよう改良した土砂堆積厚の推定式を開発した。その結果と今後の課題を以下に示す。

- ・時間減衰を考慮した土砂堆積厚の推定式は、改良前と比較して土砂堆積厚の推定精度が向上した。また、平水時または小規模出水時では、土砂堆積厚の推定精度が向上し、連続的に土砂動態を把握することができたため、根谷川への適用の有用性を確認できた。
- ・大規模出水時では、時間減衰を考慮した土砂堆積厚の推定式を用いても、理論値との乖離が大きかったが、改良前と比較して土砂堆積厚の推定精度が向上した。
- ・大規模出水時での理論値との乖離が大きい要因として考えられるのが、出水時中の流入土砂の粒径が大きく、本観測装置の表面積（計測範囲面積）は観測柵内の表面積と比較して約1/5以下となっているため、本観測装置上端で微小な空洞が形成され、本観測装置の計測範囲外に土砂の荷重が分散された可能性が考えられる。そのため、この要因を解消しない限り、大規模出水中の土砂動態を定量的に把握することは難しいと考えられる。
- ・今後の課題として、上記で示した要因を解消する手段として、観測柵内の表面積と本観測装置の計測範囲面積の乖離を小さくする必要があり、そのためには計測範囲が観測柵内の底面を網羅できるような観測機器に改良する必要がある。

謝辞

本研究対象フィールドである根谷川での効果検証において、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所に協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 長谷川祐治, 宮田秀介, 今泉文寿, 中谷加奈, 堤大三: 流砂の衝突回数を考慮したハイドロフォンデータによる解析手法の提案と現地への適用, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No.4, P I_523-I_528, 2017
- 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) 阿部智, 中野光隆, 末本剛志, 若尾拓志, 内田龍彦: 大規模土砂災害発生後の河川の適切な維持管理に向けた浮遊砂動態の分析, 河川技術論文集, 第24巻, P161-166, 2018年6月