

土砂堆積量観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	○細井 啓示
中電技術コンサルタント株式会社	正会員	大森 嘉郎
中電技術コンサルタント株式会社	非会員	中田 一騎
広島大学	正会員	内田 龍彦
広島大学大学院	学生会員	永井 秀和

1. はじめに

従来、河川における土砂動態は、出水前後の観測結果（UAVによる3次元測量など）を用いて河床の堆積、侵食を把握することで行ってきた。一方、土砂動態を高精度に予測するためには、洪水時における河川流量に応じた掃流砂量を把握することが理想であるが、洪水中は測量などによる観測はできない。そのため国内の河川では、観測柵の設置やロードセル、ハイドロフォンなどの観測機器を設置することで土砂の堆積量や通過量を観測する方法が取られている。しかし、観測柵では洪水時の経時的な土砂動態は把握できず、また観測機器では連続観測が可能ではあるものの、機器が大変高価であること、電気を供給するための配線が必要であること、さらには観測精度に課題があるという指摘もある。^{1) 2)}

以上を受けて本研究では、洪水時の流砂量の変化を安価で連続的に測定するための土砂堆積量観測装置（以下、本装置と略）を開発し、その適用性について野外実験にて検討を行った。本装置の主な構成は、柔軟性のある袋（ゴムチューブ）に水を充填し、その袋内に水位計を封入したものである。これにより、ロードセルなどの特殊な装置を用いず、水位計により堆積した土砂の土圧を計測し、堆積した土砂の高さの増減を連続的に把握することが可能となる。また、本研究で使用した水位計は、一般的に河川の水位計測に用いられている製品であるため、入手が容易で、また先に挙げた観測機器と比較して、極めて低コストである。

2. 土砂堆積量観測装置の概要

本装置の模式図を図-1に示す。ゴムチューブの中には、水位計（S&DL mini（応用地質株式会社製））と河川水を入れ、ゴムチューブの外にも水位計を設置した。本装置を河床や土砂観測柵などの底部に設置することにより、堆積土砂の土圧と河川水の水圧の和がゴムチューブ内の水圧として計測される。一方で、ゴムチューブ外の水位計は観測柵内の水圧のみを計測するものである。ゴムチューブ内外に設置している水位計の計測圧力の差から、堆積土砂の土圧が算出される。また、金属板については、ゴムチューブの伸縮で発生した張力による内部水圧の低減を抑制し、土圧の計測をより高精度に行うためのものである。

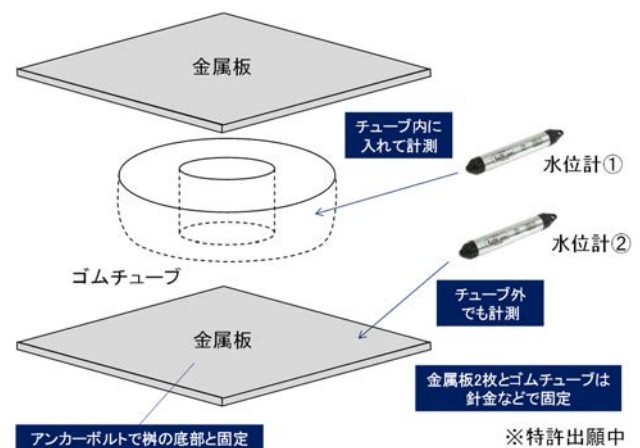


図-1 土砂堆積量観測装置の概要

3. 予備実験

3.1 実験方法

予備実験では、本研究対象フィールドの土砂を載荷した場合における本装置の動作状況を確認すること、お
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 地図・情報本部環境部

TEL 082-256-3356

よび土砂堆積厚と水位計計測値との関係を把握することを目的とした。

本研究の対象フィールドは、根谷川（広島市内を流れる一級河川太田川水系の支川）の国管理区間上流端付近の頭首工直下（4k800 付近）に設置されている、掃流砂を捕捉するために設置した観測柵³⁾（縦 2.0m×横 2.0m×高さ 1.0m）内とした。観測柵および本装置の設置状況を図-3 に示す。実験手順は、以下に示すとおりである。

- ①観測柵内に木枠を設置し、木枠内に本装置を設置した。
- ②木枠内に土砂（砂と礫で構成）を約 0.1m ずつ段階的に投入し、各土砂厚について 5 分間静置した状態において、土圧と水圧を測定した。
- ③実験中は常に土砂を完全な湿潤状態にするため、木枠内の水深は図-4 に示すとおり、常時、観測柵内が満水状態の 1.0m とした。



図-3 観測柵・装置設置の状況

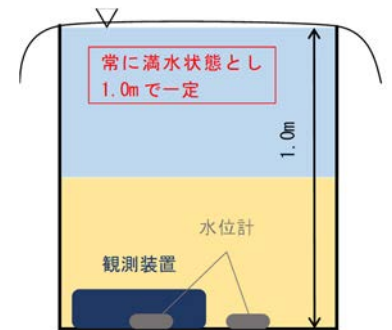


図-4 予備実験方法の概要

3.2 実験結果

予備実験時におけるゴムチューブ内の水位計計測値（土圧＋水圧）とゴムチューブ外の水位計計測値（水圧）の時間変化は図-5 に、前者から後者を差し引いた水位計計測値（土圧）は図-6 に示すとおりである。土砂堆積厚ごとの 5 分間の水位計計測値差の平均値（土圧の平均値）と土砂堆積厚の関係は、図-7 に示すとおりである。これらの結果から、以下のことを確認することができた。

- ・ゴムチューブ外に設置された水位計の水位は、土砂が堆積しても理論値（観測柵内の水深）である 1.0m と概ね整合した（図-5）。
- ・土砂堆積厚が増加すると、水位計計測値もそれに応じて高くなっていったことから、本装置は土砂の堆積厚と関係性があることを確認することができた（図-6）。
- ・土砂投入後の静置した状態において、水位計計測値の差が時間とともに低下する現象が確認された（図-6）。これは、土砂の自重による締固めにより間隙水が抜け、土粒子間の上向きのせん断力が少しずつ大きくなっているためと考えられる。
- ・土砂堆積厚が厚くなると、水位計計測値差の変化量が小さくなった（図-6①）。これは、土砂堆積厚が厚くなると、ゴムチューブの張力が大きくなり、内部水圧が低減するためと考えられる。また、土砂堆積厚が薄い時、土砂のせん断力は小さく、本装置は土砂の荷重を塊として受けているため、水位計計測値差の変化量は大きいと考えられる。しかし、土砂堆積厚が厚くなっていくと、土砂の自重によりせん断力は大きくなり、本装置は土砂を粒子として荷重を受けるため、水位計計測値差の変化量は小さくなるものと考えられる。
- ・水位計計測値差の平均値（土圧の平均値）と土砂堆積厚の関係は、曲線近似式で表現できることが確認できた（図-7）。

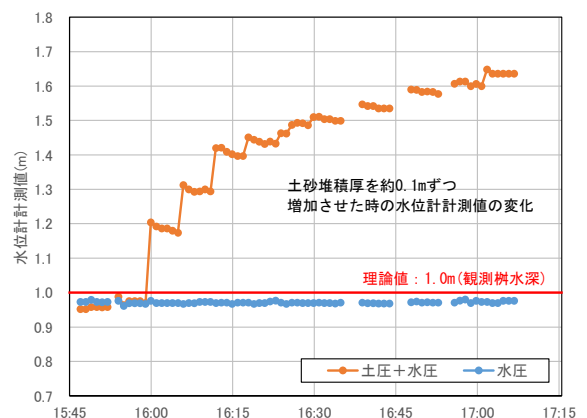


図-5 土砂堆積厚の変化に伴う各水位計の計測値

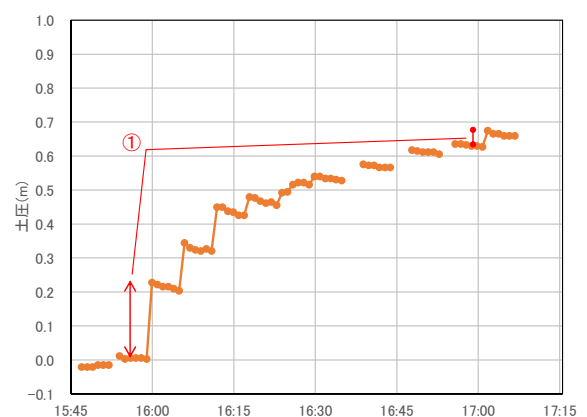


図-6 土砂堆積厚の変化に伴う土圧の変化

4. 現地観測

4.1 観測方法

令和2年9月14日～12月15日において、予備実験を行った観測枠内に本装置を設置し、出水による土砂堆積状況の時間変化を把握した。なお流出防止のため、本装置はアンカーボルトで観測枠の底部に固定した。

4.2 観測結果

ゴムチューブ内の水位計計測値(土圧+水圧)、ゴムチューブ外の水位計計測値(水圧)および近傍の大林雨量観測所の雨量は図-8に、図-8の9/18出水期間を拡大したものは図-9に、ゴムチューブ内外の水位計計測値を差し引いた値(土圧)は図-10に示すとおりである。なお図-10の水位計計測値差を図-7の推定式により変換した土砂堆積厚および観測枠の下流3kmにある新川橋水位観測所の水位を図-11に示す。また、図-11において、10/22～10/23に土圧が変化しているが、この期間の土砂堆積厚と水位の変化は、図-12に示すとおりである。現地観測結果より、以下のことを確認することができた。

- ・出水時には観測枠の高さ1.0m以上の水位となり、10/22の出水以降は、水位が徐々に低下していった(図-8)。これは出水時には堰を大きく越流して水が流れたが、出水後は河川流量が減り、観測枠内が水で満たされない、水位が1.0m未満の状態となっていたためと考えられる。
- ・9/18、10/22の出水により水位計計測値の差が増加していることが認められ(図-10)、本装置により土砂が堆積したことを確認できた。
- ・土砂堆積厚の推定値と現地での目視観測による土砂堆積厚を比較すると、土砂堆積厚の推定値は、目視観測による堆積厚より小さくなった(図-11)。この理由として、推定式は、予備実験において密度の大きい砂および礫を使用して作成されたのに対し、観測期間中に堆積した土砂は密度の小さいシルト質であったため、この材質の違いにより、同じ土圧(土砂の荷重)であっても堆積厚(土砂の体積)が異なると考えられる。

- ・10/22の出水により土砂堆積厚が水位と連動して変化していることが認められ(図-12)、本装置により土砂堆積厚の時間変化を把握できることが確認できた。

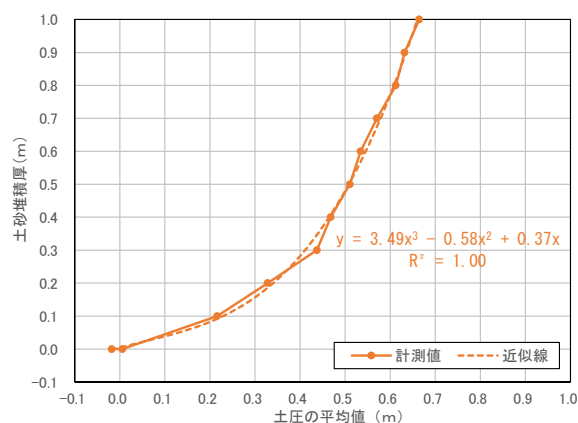


図-7 土砂堆積厚の推定式

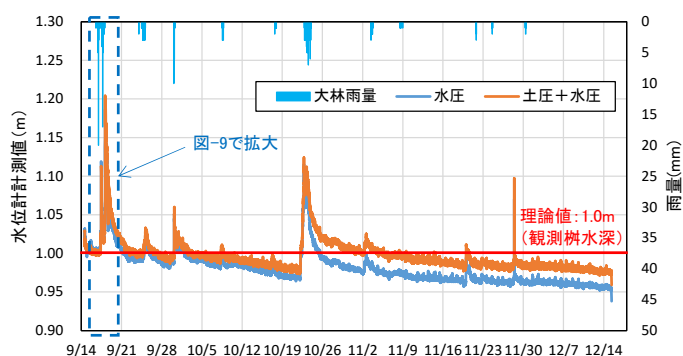


図-8 土砂堆積厚に伴う水位計計測値の変化

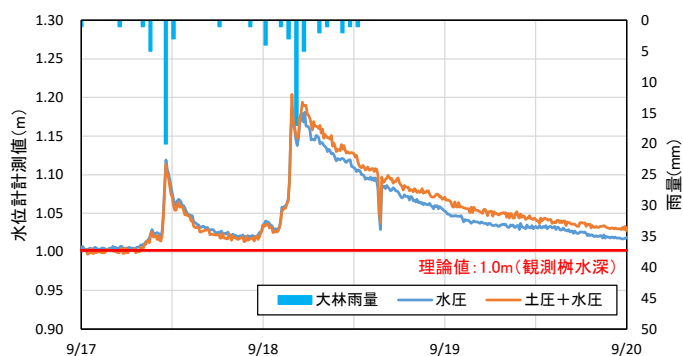


図-9 土砂堆積厚に伴う水位計計測値の変化(拡大)

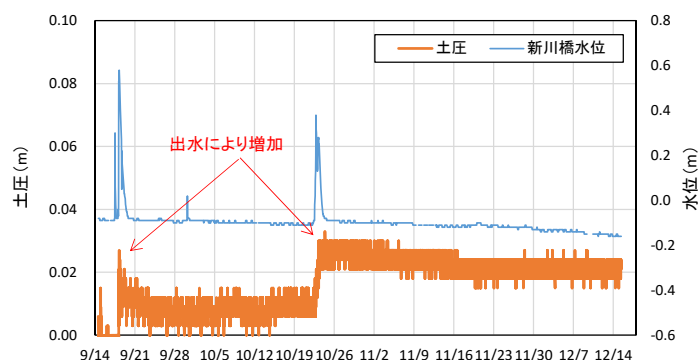


図-10 土砂堆積厚に伴う土圧の変化

5. まとめ

本研究では、安価で、かつ洪水時の流砂量の変化を連続的に測定するための土砂堆積量観測装置の開発を行い、その適用性について検討を行った。得られた成果を以下に示す。

- ①予備実験において、土砂堆積厚を変化させると、水位計計測値差（土圧）もそれに応じて増加しており、現地観測においても、出水により水位計計測値差（土圧）が増加していることが認められた。これらのことから、本装置により土砂堆積厚の時間変化を把握できることが確認できた。
- ②予備実験において、土砂投入後の静置した状態で、水位計計測値差（土圧）が時間とともに小さくなっていった。また、土砂堆積厚が厚くなると、水位計計測値差（土圧）の変化量が小さくなる傾向にあった。これらは、土砂の自重により、せん断力が大きくなることにより生じた現象だと考えられる。

- ③現地観測において、土砂堆積厚の推定値は、現地

での目視観測による堆積厚より小さくなっていった。この要因の一つとして、推定式の作成時と現地観測時における堆積土砂の密度の違いにより、同じ土圧（土砂の荷重）であっても堆積厚（土砂の体積）が異なっていたためと考えられる。いずれにしても今回の観測期間中においては、小規模な出水しか発生せず、土砂堆積厚も目視レベルで0.1m程度と少なかったため、今後、大量の土砂が移動するような、より規模の大きい出水において観測データを収集することが必要である。

- ④将来、土砂堆積厚の推定精度を向上できれば、今回実施したように観測柵における掃流砂量の把握だけでなく、実際の河川内の河床に本装置を設置することで、洪水時における河床高の推移過程を把握することが可能となる。このように掃流砂量と実際の河床高の推移過程を正確把握することにより、河床変動予測計算において、供給土砂量を経時的に精度よく与えることができ、また緻密な河床変動の観測により再現計算検証の精度を向上させることができるなど、河道の維持管理において重要な河床変動予測の精度向上に寄与することが期待できる。

謝辞

本計測手法の根谷川での検証実験において、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) 井内拓馬, 内田太郎, 吉村暢也, 鶴田謙次, 田中健貴, 蒲原潤一, 桜井亘: ハイドロフォンを用いた掃流砂観測における流水によるノイズ・非衝突の影響に関する水路実験, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 3, P4-14, 2016
- 2) 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
- 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

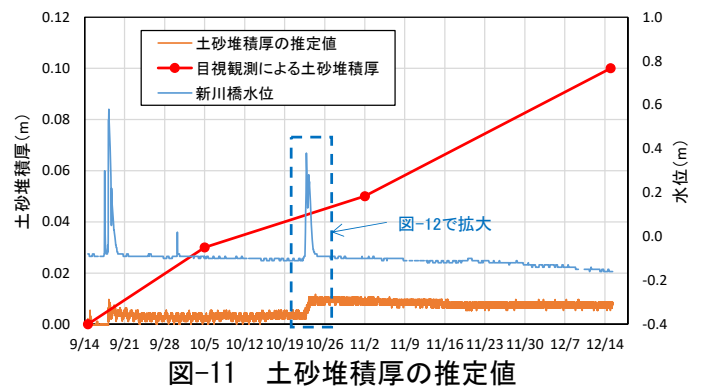


図-11 土砂堆積厚の推定値

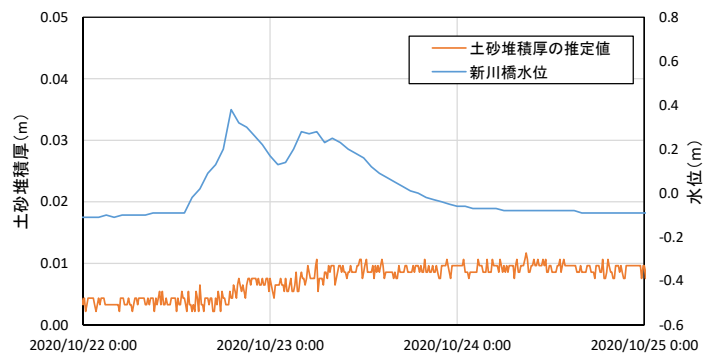


図-12 土砂堆積厚の推定値（拡大）