

土石流断面計測の精度向上に向けたセンサーの開発

(独) 土木研究所 ○能和幸範^{※1}, 木佐洋志^{※2}, 山越隆雄^{※3}, 石塚忠範

※1 現 榊拓和, ※2 現 日本工営㈱, ※3 現 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部

1. はじめに

土石流の監視・観測技術の向上はこれまでも多く行われているが気象変動等により土砂災害における被害が増加している状況の中、防災・減災に対するソフト対策が重要視され、コスト削減かつ観測技術の向上、防災対策に有意義な情報を取得する新技術開発が期待されている。本研究では、土石流の水位・流量算出に必要な情報を精度良く観測するセンサーの開発を行った。土石流断面の計測は、非接触水位計(超音波式・電波式等)による平均水位とドップラー式流速計(超音波式・電波式等)のデータから土石流断面、流量換算を行う自動計測や監視カメラの画像判読による解析技術が活用されてきた。しかし既存の水位計は計測対象範囲が狭く溪流横断面を網羅していないことから誤差や欠測が発生する可能性も懸念されてきた。土石流のリアルタイム自動計測を行い、流路の断面形状を精度良く観測する技術を開発することを目的として土石流波高計測システム(仮称)の開発を進めた。

2. 開発に使用したセンサーの概要

本システムにて使用するセンサーを写真-1に示す。従来のレーザー計測は気象(降雨、霧等)による影響を受けやすく厳しい環境下では計測が出来ない場合があったが近年ではロボット用センサー技術等による優れた性能のセンサーが開発されている。水面の計測は比較的反射強度が強い、センサーの真下(垂直部のスポット)の1地点計測による水位計が開発されてきているが、測域センサーのように斜距離計測が行なえるレーザー光の計測は実績がなく、水に光が潜る現象や表面乱反射にて反射波が弱くなり計測が難しいと思われていた。土石流の場合は土砂濃度が多く濁度が非常に高くなり表面反射が強くなることに着目し、また近年の技術によりセンサーの性能が向上していることから土石流表面計測の可能性について最新技術による実験および観測を行った。



写真-1
測域センサー

今回の土石流断面計測に利用したセンサーは30m距離計測が可能であり精度は5cm以内である。赤外線レーザー光を0.25度ステップで発射して760個(190度走査)の距離データを取得し1断面を計測する。1秒間に20断面の計測が可能である。これまでの1地点水位計とは異なり溪流の横断方向に760か所の距離計測が可能であることから土石流の水位を点ではなく線的な情報にて取得する事ができる。つまり、土石流の流動

時の断面を時々刻々に観測できると考えられる。

3. 濁度によるレーザー反射強度の基礎実験

レーザー距離計は、原理的にレーザー光を距離計測対象面に照射して戻る反射波の強さ(反射強度)が重要である。送信したパルス信号と安定した強度で受信したパルス信号の時間を計測し、更に安定した距離データの精度も大切である。水面をレーザー距離計にて計測する場合、特性として透明な水面や反射対象角度により反射強度の劣化が著しく不安定なデータや計測不能になることが想定される。安定した反射強度がある対象物(火山灰・砂利等)の反射強度を基準として比較することにより濁度の違いによる水面のレーザー反射状況(安定性)と距離データ誤差についても確認する。水面がどの程度の濁度により安定した計測が行えるか、その濁度が土石流に対して十分な濁度(低濃度)であることを基礎的実験にて確認をした。写真-2のように、水槽内の水位を測域センサー(高さ2mの位置)で計測し、反射強度や距離誤差を計測した。反射強度とは通常は保守データとして安定した受信があるかを確認するために数値化して各機種毎に表現(数値)範囲が違う。反射強度が強く安定する反射面と比較したい反射面



写真-2 実験状況

状況との相対値により判断する。反射強度の数値を利用して基準値と濁度変化をさせた水面の反射強度の強さと安定性を確認した。

① 安定した観測のために必要とされる反射強度

基準となる安定した反射強度結果を材料の違いによる反射強度のデータ図-2に示す。結果、比較的光が潜



図-2 材料の違いによる反射強度の確認

りこまなく反射面の角度が一定であり微量の凹凸がある段ボール面が強く、次に同じく潜りや凹凸による乱反射が少ないプラスチックが強い。一方火山灰は隙間に光が潜り込むことや砂利の場合は様々な反射角の面ができ乱反射により受信強度が若干弱くなる。4例の反射面に違いがあるものの安定した反射強度と距離データが得られることから、本実験にて使用したセンサーの場合レーザー光の安定した計測が行われる反射強度は平均値(変動幅考慮)1000程度以上と考えられる。

② 水槽濁度実験

濁度による水面のレーザー反射強度の安定性について反射強度が強い垂直計測の結果を図-3に、反射強度が弱くなる斜距離計測の結果を図-4に示す。

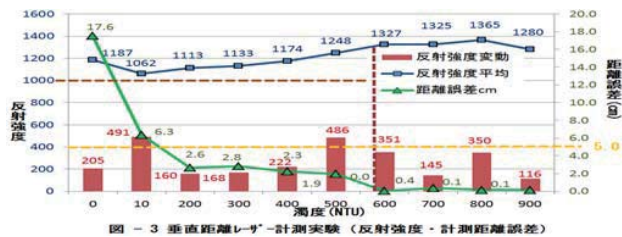


図-3 垂直距離レーザー計測実験（反射強度・計測距離誤差）



図-4 斜距離レーザー計測実験（反射強度・計測距離誤差）

垂直計測では、水面が透明の場合に光の潜りや乱反射により計測誤差が多く濁度 200NTU 程度に濃くなると距離データは、機器精度である 5cm 以内の誤差範囲に安定する。受信強度も前項の安定した計測の基準とした反射強度の 1000 程度に対し確保できているが傾向として特に精度が良くなる濁度 600NTU 以上は誤差 1cm 未満と極めて安定したデータとなる。

斜距離計測では、垂直計測と同様に水面が透明の場合に計測誤差が多く発生して濁度 25NTU 程度から距離データは 5cm 以内の誤差範囲に入るが反射強度が少なく安定領域には達していない。反射強度は、垂直計測時程強くないが変動幅が少なく変動幅を考慮しても 1000 程度を超えて安定する。距離データの精度も 1cm 未満と極めて良くなるのは、垂直計測時と同様に濁度 600NTU 程度以上と思われる。

水槽濁度実験の結果、透明な水面ではレーザー光の反射強度は小さく計測誤差も多くなり不安定な観測であるが濁度 600NTU を超えると安定した計測が可能と考えられる。この濁度 600NTU の値は、実験にて使用した水槽(水 250ℓ)に火山灰 6kg の量を混ぜた濁度である。また大雨による河川の洪水時等においても 1000~1200NTU 程度の濁度が観測されている。桜島等の土石流は遥かに大きな濁度が想定されることから土石流の断面計測が十分に可能であると考えられた。

4. 桜島有村川による土石流断面計測

桜島の有村川 3 号堰堤にて土石流観測への適用可能性を確認するために現地観測を行い、土石流の水位計測を実施した。平成 24 年 6 月 21 日に土石流が発生し、土石流の断面がレーザー距離計測により初めてリアルタイム計測されデータ記録された。その時の土石流の断面計測結果を図-5に示す。灰色の線は土石流が発生していない非出水時に計測

した結果であり、砂防堰堤水通し面の堆積土砂の形状が見られる。茶色の線が土石流計測結果を示す。横軸が約 2000~3000mm において、水通しから高さ最大約 1700mm の計測がされている。写真-3 に土石流落下時の写真を示す。有村川で発生した土石流は左岸側を流下しており、図-5 の観測結果と符合する。測域センサーは土石流の断面を計測することが十分可能であると確認された。

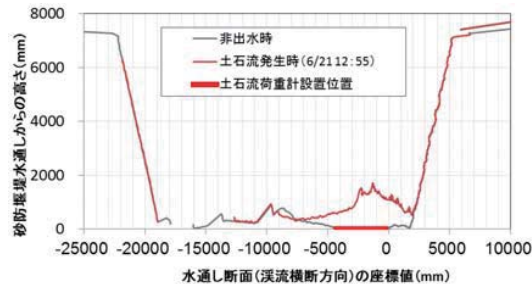


図-5 測域センサーによる観測結果



写真-3 土石流発生状況

5. まとめ

基礎実験により濁度が 600NTU 程度以上であれば計測の可能性が高くなることが判明し、桜島有村川にて初めて最新のレーザー距離計測技術を活用して高精度な土石流断面計測にも成功した。この技術を活用すれば土石流のリアルタイムな時系列データの取得が可能になると考えられる。今後は更なるデータの収集、蓄積、解析を進めることにより土石流断面計測の精度向上が期待される。さらに、処理機能(平均水位・流量演算等)を追加することによりリアルタイムに精度良く土石流計測が可能システム構築が可能となる。平成 24 年度に桜島有村川 3 号堰堤では、国内初の観測となる荷重計とのセットにより土石流の高精度観測が開始された。今後も更なる土石流観測の精度向上が行われることを期待したい。

最後に、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所をはじめ、桜島砂防出張所の皆様には現地作業のご支援、ご指導を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 山越隆雄, 能和幸範, 木佐洋志, 石塚忠範, 高橋英一, 大坂 剛, 宇都宮 玲, 横山康二, 水山高久『桜島における土石流荷重計による単位体積重量測定』砂防学会誌, Vol.65, No6, (2013) 研究ノト