

## レーダセンサによる土石流観測結果

日本無線株式会社 菅原博樹, 新村茂之, 〇時枝幸伸, 岸 克人, 松木 功, 藤瀬辰司

### 1. はじめに

土石流の検知には従来からワイヤセンサが用いられている。ワイヤセンサは切断によって土石流を検知するセンサであるため、検出後の運用のためにはワイヤの再設置が必要となる。我々は、再設置を必要としないレーダセンサによる非接触式の土石流検知を目標に、2003年度から松本砂防事務所管轄 上々堀沢観測所にてレーダセンサによる土石流観測を継続している。2004年7月18日、土石流が発生し、レーダセンサで土石流現象をとらえることができた。本稿では、レーダがとらえた土石流データを紹介し、自動検知への可能性について述べる。

### 2. レーダセンサ

土石流の開始時には、段波とよばれる水位と流速の急激な上昇現象が現れるといわれている。段波で始まり、次第におさまっていく一連の土石流現象を観測するため、我々はレーダセンサを設置した。レーダセンサは、図1のように電波を送信して、物体で反射して戻ってきた電波を観測するセンサである。

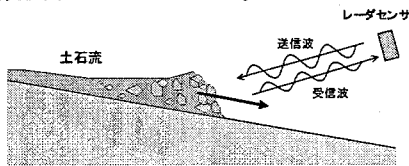


図1 観測の概念図

観測に使用したレーダセンサは、距離を観測するために周波数変調した連続波 (FMCW) を、また、速度を観測するために一定周波数の連続波 (CW) を送信する。それらの計測原理を図2に示す。FMCWの場合、電波の反射時間のため、送信波と受信波の周波数が異なる。その周波数差を計測すれば電波の往復時間、すなわち、距離が算出できる。CWに関しては、移動体で反射した電波はドップラ効果によって周波数が変化している。この場合も送信波と受信波の周波数差を計測することによって速度を算出することができる。

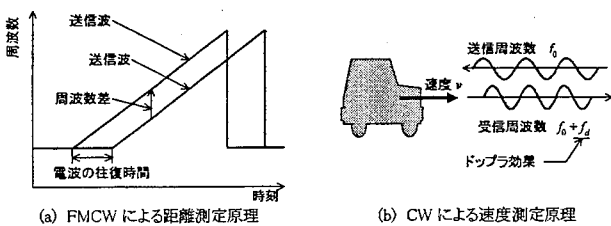


図2 レーダセンサによる測定原理

使用したレーダセンサの仕様を表1に示す。このセンサは特定小電力無線局の仕様に準拠しているため、無線局免許の取得なしに使用することができる。

表1 レーダセンサの仕様

送信周波数	24.05 ~ 24.25GHz	空中線利得	23dBi
送信電力	7mW	空中線ビーム幅	約10°
占有帯域幅	76MHz	測定距離	5 ~ 30m
変調方式	FMCW/CW	測定速度	1 ~ 40m/s

### 3. 観測設備

観測設備は、図3に示すように、レーダセンサ、データ収集装置、ワイヤセンサで構成される。レーダセンサは、対象物から反射される電波を受信し、屋内に設置されているデータ収集装置に受信信号を伝送する。データ収集装置は、信号を取り込み、信号処理と表示処理をする。ワイヤセンサは、土石流発生時のセンサ信号を保存するタイミングをデータ収集装置に通知する。土石流が発生し、ワイヤセンサが切断するとデータ収集装置はデータ保存を開始し、一時保存されているデータを含め、土石流発生直前2分から20分後 (計22分間) の信号を記憶装置に保存する。

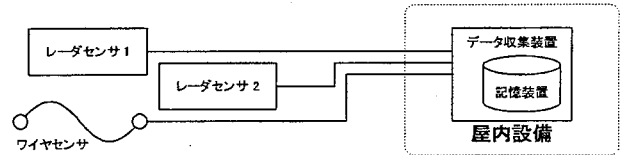


図3 土石流観測設備

観測設備は、国土交通省松本砂防事務所管轄 上々堀沢観測所に設置させていただいている。この観測所は、焼岳中腹に位置し、土石流が頻発する場所である。今回の観測では、図4のようにレーダセンサを2台設置した。レーダセンサ1は上流を浅い角度で見えるように、レーダセンサ2は下方45度傾斜させ対岸を見るように設置した。センサの直下には、データ収集タイミングをつくるワイヤセンサが設置されている。

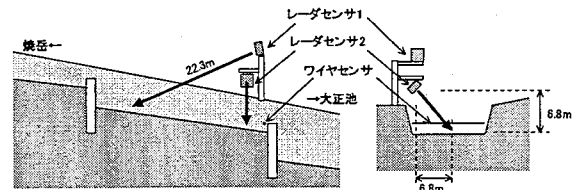


図4 レーダセンサ設置図

### 4. 観測結果

観測装置を設置した上々堀沢観測所において、2004年7月18日早朝、土石流が発生し、レーダセンサによる観測データを収集できた。収集した距離情報、速度情報のそれぞれを以下に示す。

#### 4.1 距離情報

上流方向を観測するレーダセンサ1による距離情報を図5に示す。グラフ中の時刻は、ワイヤセンサ切断か

らの経過時間である。また、このグラフは、センサからの距離ごとの反射強度を表し、白い部分は強い反射を表現している。まず、ワイヤセンサ切断の直前に、反射が大きくなり、反射強度の山が近距離方向にシフトするのが観測されている。これが、土石流段波の観測結果と考えられる。それと比べると目立たないが、類似した傾向が時刻 100 秒付近と 320 秒付近にも見られる。これは土石流の第 2 波、第 3 波である。これらの事象は、現場の監視カメラの映像にて照合することができた。

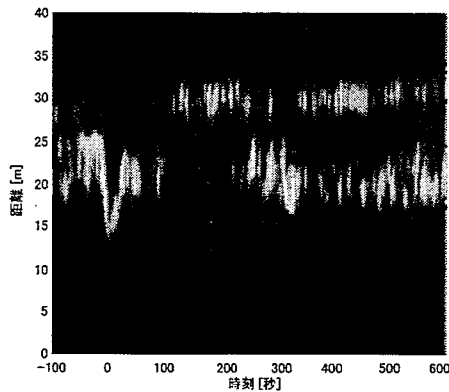


図 5 レーダセンサ 1 による距離情報

対岸に向かって深い角度で観測するレーダセンサ 2 がとらえた距離情報を図 6 に示す。このグラフでもワイヤセンサ切断の時刻で急激な距離変動が見られている。しかし、センサ 1 とは異なり、各段波の発生時刻で反射強度が低下している。これは、センサが段波に正対していないため段波での反射を効果的にとらえられないこと、さらに、土石流発生時の水面の揺らぎにより、反射強度も平常時よりも低下したことが原因と考えられる。

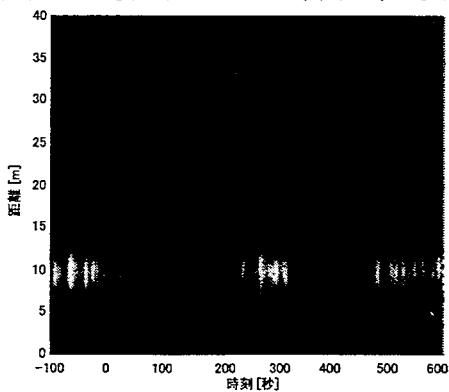


図 6 レーダセンサ 2 による距離情報

#### 4.2 速度情報

今回の土石流では、レーダセンサ 1 が図 7 のような速度情報をとらえることができた。このグラフによると、ワイヤセンサ切断の直前に速度の上昇傾向が見える。速度は 20km/h 程度まで上昇した後、17km/h 程度におさまり、次第に反射強度が低下している。一方、レーダセンサ 2 については、十分な反射強度をもつ速度情報を観測することができなかった。

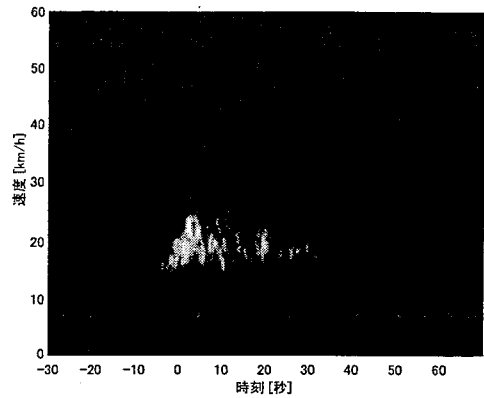


図 7 レーダセンサ 1 による速度情報

#### 4.3 距離変動・反射強度

レーダセンサ 1 が観測した距離情報 (図 5) から、最も反射が強い距離とその反射強度を抽出し、図 8 にプロットする。第 1 波 ~ 第 3 波のそれぞれについて急激な距離変動が発生し、反射強度上昇が観測されている。このような特徴的な距離変動と反射強度上昇を検出することによって土石流発生時の自動判定が可能になることが期待できる。

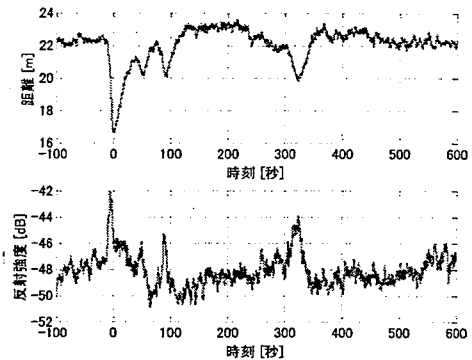


図 8 距離と反射強度の変化

### 5. 考察

レーダセンサによって、土石流発生時の距離変動と速度変動を観測することができた。設置条件としては、レーダセンサ 1 のように上流を向けた方が、段波発生時に反射強度が高くなり、距離変動が現れるので、土石流観測には好都合である。段波発生時に観測される急激な距離変動と反射強度上昇を検知することにより、土石流の自動検知が可能になることが期待される。

レーダセンサによる土石流検知は、ワイヤセンサのような災害後の再施工を必要としないため、運用のコストを下げることができる。また、一連の土石流の中でも、第 2 波以降の余波をとらえられることは非常に興味深い。土石流余波の検知は、ワイヤセンサでは不可能であり、これが可能になることは安全対策として重要である。

#### 謝辞

本実験に関して、上々掘沢観測所を提供くださった国土交通省松本砂防事務所殿に深く感謝いたします。また、京都大学防災研究所 諏訪助教授殿へ、観測結果に対する助言を賜りましたことを感謝いたします。