

84 空間フィルタ速度計による土石流表面速度の測定

1988年9月12日焼岳上々堀沢での観測結果

滋賀大学 板倉 安正 京都大学 諏訪 浩

1. 空間フィルタ速度計測法

空間フィルタ速度計測法が、土石流のような破壊力の大きい、そして、不規則な流れに対する非接触方式の表面速度測定法として有効であることはすでに指摘し、また、自然に発生した土石流についてその測定に成功してきた。^{1) 2) 3) 4)} 空間フィルタ速度計測法の利点は、流れを真上から見おろすように測定できること、及び、結像光学系を用いているため、視野の特定が容易であって、実際の流れの挙動と表面速度の変化との対応がつけ易いことにある。今回、観測した1988年9月12日に焼岳東斜面上々堀沢で発生した土石流については、この利点を十分に生かして観測し、解析することができた。

空間フィルタ速度測定法の原理は、出力電気信号の中心周波数を推定することに帰着されるが、これには、短時間内のスペクトル解析に有効なMEM（最大エントロピー法）を適用した。しかしながら、不規則な自然の流れに空間フィルタ法を適用した場合の測定精度については、これまで十分な解析がなされていなかった。そこで、不規則動画像を用いるコンピュータシミュレーションによってこれを検討し、不規則な流れに対する定量的な速度測定を可能にした。

2. 1988年9月12日に焼岳上々堀沢で発生した土石流

1988年9月12日午前3時12分頃より約40分にわたって、以前より建設省松本砂防工事事務所と共同で観測を継続している焼岳東斜面上々堀沢において土石流が発生し、この観測に成功した。

空間フィルタ速度センサは、口径200mm、焦点距離300mmの光学系に、スリットの長さ19mm、スリット幅10.5mm、本数5本の有極性パラレル・スリット・レティクルが取り付けられていて、さらに、30dBのアンプによって電気信号が出力されるようになっている。出力信号の一例を図1に示す。この信号は、5msecでサンプリングされ、0.5sec毎に、すなわち、データ数100個毎に連続してA/D変換され、MEMでスペクトル解析される。結果の一部を図2に示す。このピーク周波数を土石流のイメージ角速度に比例する周波数とし、これと、別の角度から撮影したビデオより求めたセンサから土石流表面までの距離の値を用いて表面速度を算出した。図3は、別に測定したもう一つの非接触測定法である電磁波ドップラー法の結果と比較して、空間フィルタ速度計測法の値として示したものである。

同図より、この時間内に8波の断続した土石流の発生を認めることができる。そして、それぞれの土石流は、この沢におけるこれまでの典型的な観測例と同様に、先端速度は小さく、その後最大値に達した後徐々に減速していく傾向を示している。とくに、午前3時35分前後には、土石流に先行する速度の大きな泥水状の流れの存在と、先端部の速度の急激な減少、さらに、その後の最大速度に達する様子を同時刻に観測に成功したビデオ画面との対比から明らかにすることができた。これらの結

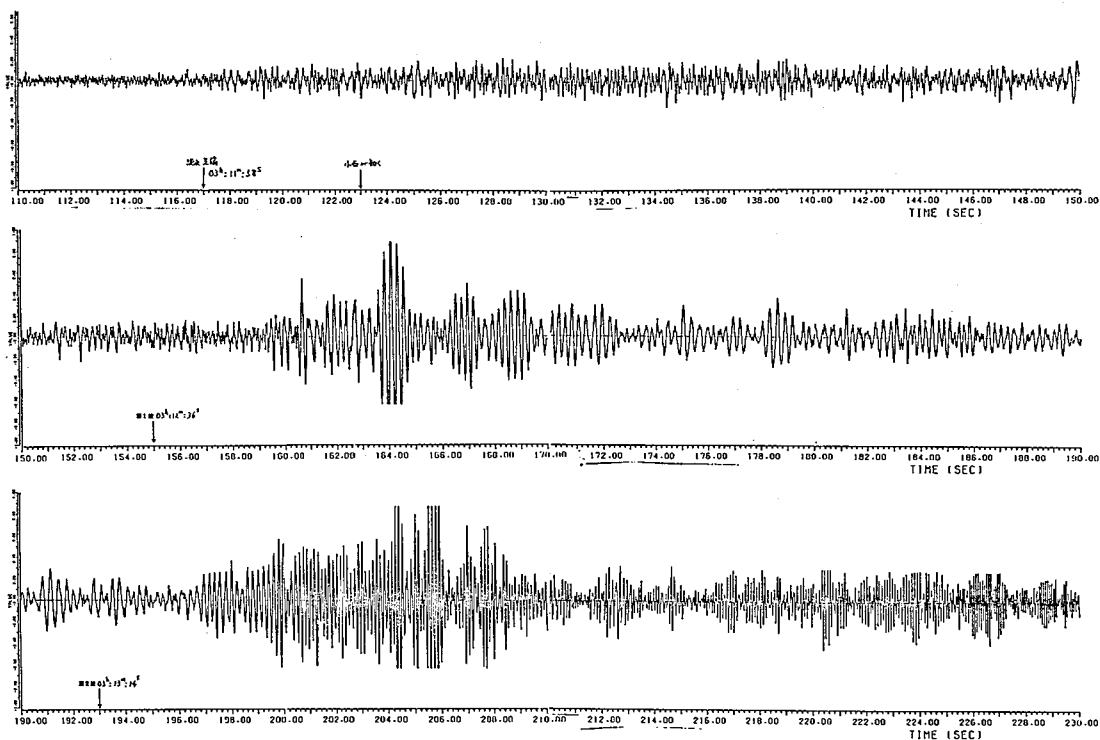


図1 出力波形の一例 (1988年9月12日の土石流)

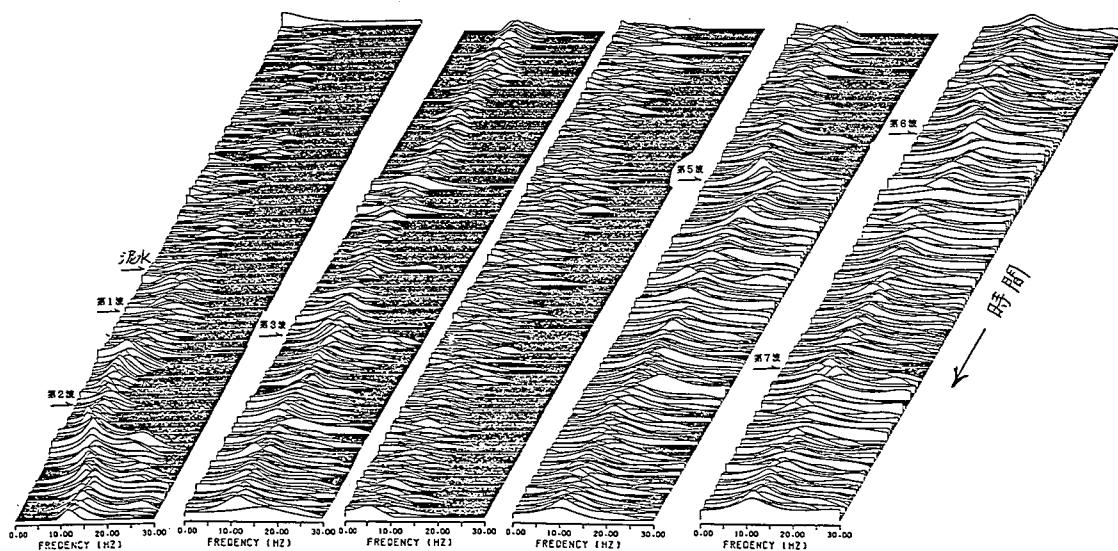


図2 スペクトル解析結果の一例 (1988年9月12日の土石流)

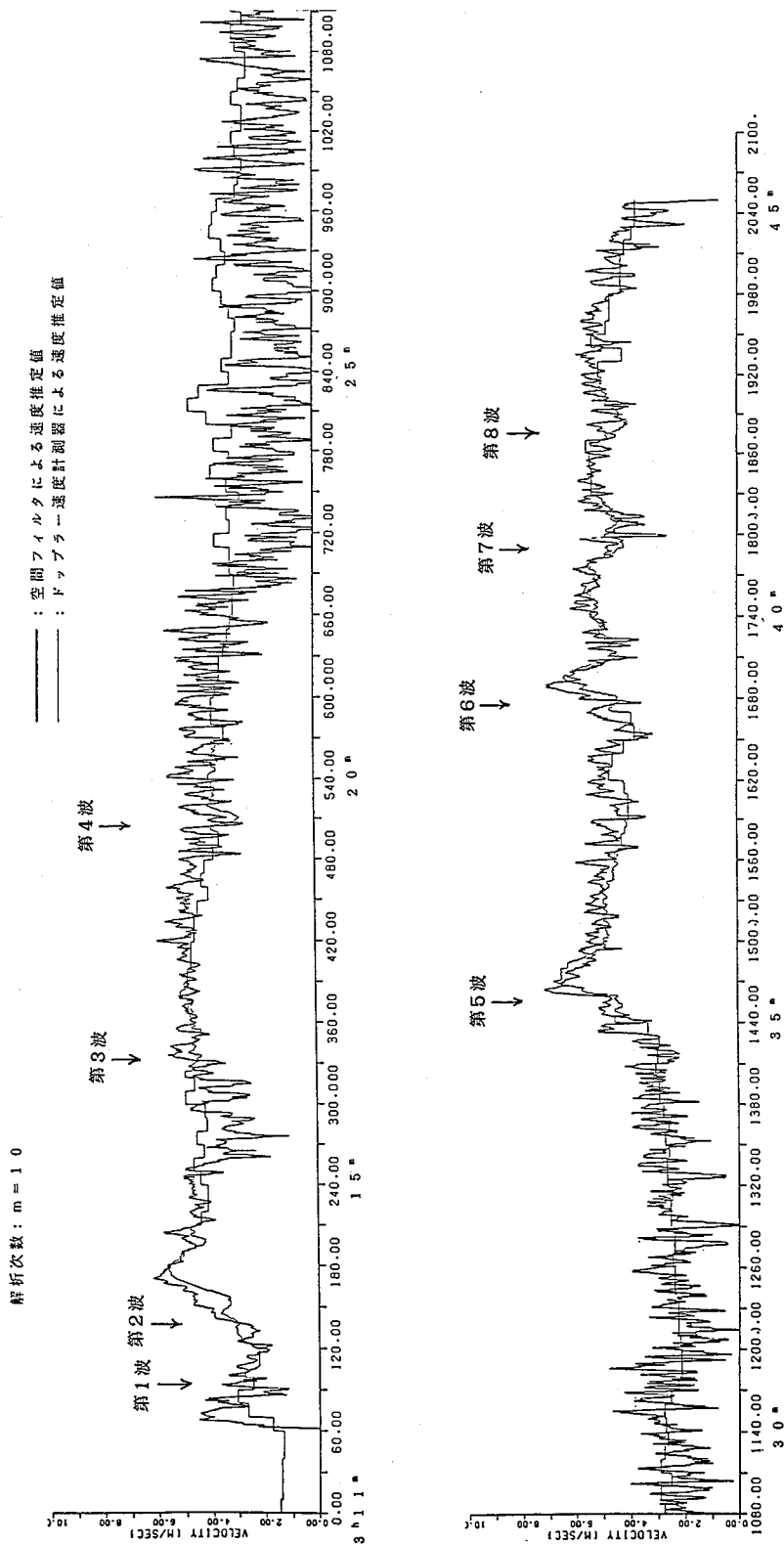


図3 表面速度の時間変化 (1988年9月12日の土石流)

果は、センサの光軸と流れのベクトルが直交している特徴を生かして、土石流の動的挙動を詳細にとらえたものである。

3. 不規則動画像シミュレーション

定常な流れに対する空間フィルタ速度計測法の測定精度については解析がなされているが、^{5) 6)} 土石流のように速度が比較的速く変化する流れ（不規則流）については、検討されていなかった。筆者の内板倉は、不規則動画像を用いるコンピュータシミュレーションによって、これを行った。⁷⁾

不規則動画像は、時空間一様確率場として、予測理論により発生され、この画像の性質は、時間相関、空間相関、移動速度のパラメータを変えることによって設定可能である。

まず、表面パターンは不規則であるが、流れの速度は一定である場合について、測定精度は5%以内の確率誤差で与えられることがわかった。次に、速度を変化させて、抽出した周波数が設定値とどれだけ差があるかを、2乗平均誤差として評価した。この場合も、定常な流れの場合とほぼ同じ値であることが確認された。したがって、空間フィルタ速度計測法は、土石流のような不規則な流れに対しても有効であって、その測定精度はほぼ5%である。ただこの場合、流れのパターンは、空間フィルタ速度センサの視野内にある間は、大きく変化しないものとし、また、パターンの平均サイズはスリット幅より小さいとしている。不規則な表面パターンの変化が速い場合には、速度成分の抽出が困難なことが、このシミュレーションによって確認された。さらに、パターンの平均サイズがスリット幅より大きくなると、測定精度が悪くなることも示された。これらは、空間フィルタ速度センサの設計に関わる問題であるが、今回試作したセンサは、観測現場に適合していたといえる。

土石流のような不規則な流れに対して有効な速度測定法が確立されたことは、今後の土石流の流動現象の解明とその防災対策に役立つものと期待される。そのためには、センサをさらに改良して、横断方向の速度分布が得られるようにすることや測定の精度を高めることが求められる。

おわりに、土石流の観測にご尽力頂いている建設省松本砂防工事事務所の関係各位、並びに、観測と解析にご指導を頂いた岡山理科大学奥田節夫教授（京都大学名誉教授）、京都大学小倉久直教授、及び、京都工芸繊維大学笠原正雄教授、さらに、実際の解析を進めてくれた京都工芸繊維大学大学院生竹内雅浩君（現ソニー株）に謝意を表す。

文献

- 1) 小川、他：京都府大演習林報告 23, pp71/79 (1979)
- 2) Itakura, et. al: Fluid Control and Measurement pp781/786 Pergamon (1987)
- 3) 板倉、他：計測自動制御学会論文集 25, PP504/506 (1989)
- 4) 竹内、他：電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研資料 SANE88-32(1988)
- 5) 堤、他：電気学会 102-3, pp713/719 (1982)
- 6) 小林：計測自動制御学会 19-4, pp409/417 & pp571/580 (1980)
- 7) 竹内、他：計測自動制御学会 第6回流体計測シンポジウム PP53/58 (1989)