振動センサーによる土石流・地震・ノイズ識別検知に関する開発

A STUDY OF DETECTION FOR DEBRIS FLOWS, EARTHQUAKES AND NOISE BY VIBRATION SENSOR

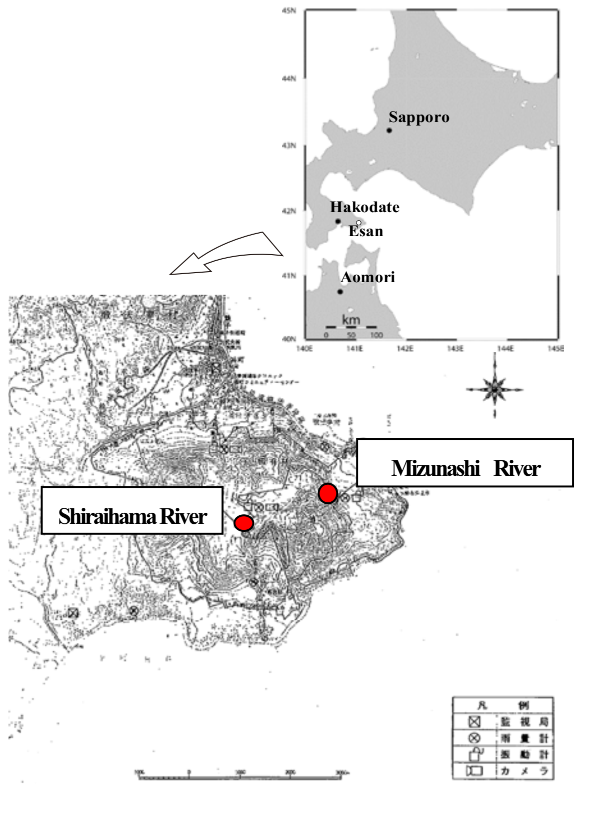
大角恒雄 *・長山孝彦 **・槙納智裕 ***
Tsuneo OHSUMI, Takahiro NAGAYAMA and Tomohiro MAKINOU

Sensing technology for debris flows is essential for effective automatic detection systems. However, it is important that the sensor can discriminate between debris flows and similar sources of signals, such as earthquakes or noise. In this study, a system for detecting debris flows that employs a vibration sensor and Fourier spectrum and envelope-analysis is reported. The envelope analysis showed that earthquakes and noise cause spiked envelope waves. Debris flows, however, caused a gentle and continuous envelope. The difference in shape was significant. We applied the envelope ratio in order to evaluate the difference in shape. All recorded data were classified by envelope ratio and the accuracy of this method is described.

Keywords : *Debris flow, earth flow, vibration sensor, Fourier spectrum, envelope analysis*

1. はじめに

降雨災害、大型台風災害が頻発する近年、土石流災害が懸念される地域で被害を軽減するためにはハード的対策である砂防設備に加え、ソフト的対策として警戒避難システムの確立が重要な課題となっている。土石流検知には広く用いられる手法として、ワイヤーセンサーが挙げられる。しかし、ワイヤーセンサーは一度切断されてしまうと新たに張り替えできない限り、引き続いて流下する土石流を検知できない。また、張り替えるには作業員の二次災害による危険性が伴う(山田ら [1])。さらに、流木、着雪、着氷等による切断も誤動作の原因として挙げられる。監視カメラ等は有効な手段であるが、降雨・濃霧時等の障害による見通しの問題が考えられる。流下物を直接検知する接触型センサーもあるが、火山堆積物が多く河床変動が激しい地点では計測に支障をきたす。一方、非接触型センサーとして、振動センサーを用いた土石流検知手法が注目されている。しかし、振動センサーによる土石流検知は発災を自動検知するのに有効である反面、振動センサーには土石流と地震波・ノイズを識別する必要が生じる。たとえば、2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震では芋川周辺に大規模斜面崩壊が生じ、その後も余震が続く状態であった。地震と土石流とを識別できない現状においては、土石流自動警報システムの構築は困難であった。ここでは、土石流と地震・ノイズを識別する手法として、振動数特性と地震学・火山学で広く使われているエンベロープの特性を生かして、エンベロープ比を用いた識別手法を提案した。



図－1　恵山観測渓流位置

観測対象地域としては、北海道の南東端(函館より 30km 東方)に位置する恵山火山を源とし、南西側に

* 中央研究所　総合技術開発部
** コンサルタント国内事業本部　国土保全事業部　砂防室
*** 北海道帯広現業所

流下する白浜川と東側へ流下する水無沢川にそれぞれ機器を設置した(**図－1、2**)。当該地に設置された土石流検知システムにおいて振動センサーを用い適用性を検討した事例をここに報告する。土石流(土砂流を含む)と地震およびノイズとの識別検知の対象とする事象は、機器設置初年度(2003年8月～2004年1月)に計測された水無沢川事例の分析によって識別指標を提案し、その指標をもって次年度観測期間(2004年6月～9月)における水無沢川地点と白浜川地点での観測結果の比較を行った。

2.　観測渓流の選定

恵山火山周辺での土砂移動現象の把握、予測するための基礎資料を得ること目的として、観測対象地域周辺での航空写真をはじめとした既往基礎資料の解析、現地地表踏査を実施した。

対象内での土砂移動実績を把握することを目的とし、全38渓流を対象とした地表踏査を実施し、土石流監視対策としては以下の考察を得た。

1)　土石流監視の検知からの避難時間を懸案すると路線延長が比較的長い渓流としては、八幡川、白浜川である。
2)　土砂移動の発生した場合に発災危険性の高い渓流は水無沢川である。
3)　恵山火山を囲む恵山町・椴法華村のうち、土砂移動の頻発している渓流は白浜川と水無沢川である。

よって、対象渓流は白浜川と水無沢川とした。

3.　振動データと流量等との関係

上記水無沢川では、2003年8月28日に小規模な土砂移動が観測された。この土砂移動の前後で河道測量および現地調査が行われているがその結果、最下流端(河口)までは土砂移動が達していないものの、区間延長100m当たり、数10～200m^3程度の土砂が移動、堆積したことが分かった。なお、水無川全体では約560m^3の土砂生産(主として河岸浸食)があり、崖上部からの流出土砂60m^3程度と合わせて、620m^3の土砂が堆積したと考えられる。このうち、振動センサーを設置しているSP1,200～SP1,300間では合計200m^3程度の土砂が移動していたことが分かった。一方でこの土砂移動発生直後に、その痕跡を記録するために土砂の流下確認調査を実施している。構造物や河床の大礫には流水痕跡が残っており、その高さを計測し前述の横断測量結果に合わせた。その結果、痕跡(**図－3**)からは、1～2m^3/secのピーク流量であったことが想定された。次に振動波形観測によれば、対象日時の2003年8月28日に数分間の無信号期間を1回挟む合計14分半以上の振動が観測されている。この振動波形はその周波数特性より土砂移動に伴うものと判断できた。そのため、この時に2山のピークをもつ14分間に及ぶ土砂移動があったと想定した。

以上の観察に基づく想定結果から、それぞれ以下のように条件を設定し、山地河川で適合性の良い流砂量式である林･尾崎式[2)]を用いて、この砂移動での流砂量を試算した。

①　見かけの土石流流量として、ピーク流量を1～2m^3/secと仮定
②　振動波形観測では、14分半以上の2山のピークを持つ土砂移動であったことが想定されたが、ここではハイドログラフと振動波形の関係が明確に出来ていないため、2m^3/secピークとした15分の三角形ハイドロの土砂移動があったと仮定
③　現地の河床材料粒径等を用いる

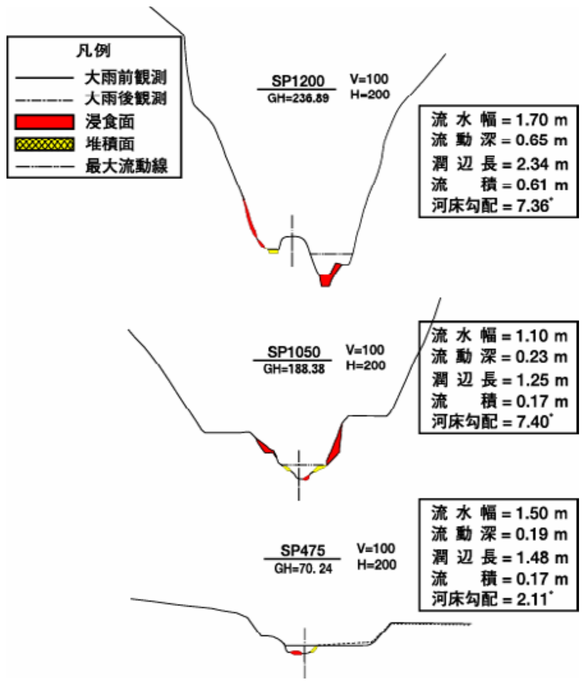
その結果、およそSP1,200地点(上流域；振動計設置位置)で200m^3程度となり、測量調査結果とも、調和的な土砂量が得られた。

今回の観測において、この現地観測情報と振動継続時間情報を合わせることで、おおよその流量と流出土砂量を想定した。

Shiraihama River　2004.08.30

Mizunashi　River　2004.08.30

図－2　振動センサー設置地点



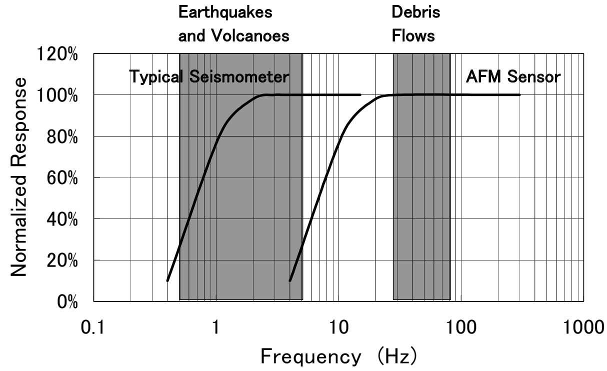
図－3　河道断面観察状況

4. 計測概要

2000 年 11 月 21 日に発生した富士山大沢崩れ(崩壊面積 $1km^2$、崩壊土量 7,500 万 m^3)の振動波形がいくつかの機関で観測されている[3)]。その中で、独立行政法人防災科学技術研究所富士高感度地震観測網[4)]の観測波形では、継続時間 1 時間以上にわたり、観測波が断続的に発生している。この事象は規模として最大級のランクであるが、1995 年 1 月 15 日に発生した兵庫県南部地震波の主要動が 10 秒足らずであったことを考えると、通常の地震観測を行う観測装置では記録がすべて収録できない。

また、振動特性も地震波と大きく異なる。土石流の振動特性を示した振動センサーの観測波形の解析を述べた論文が幾つか報告されている。諏訪・清水[5)]は、計測強度は電気量で示され、振動の絶対値が示されていないが、雲仙で観測された土石流振動波形をパワー・スペクトルを用いて特性把握している。さらに、諏訪・山越ら[6)-10)]は、焼岳東斜面の上堀々沢において、1970 年から土石流流動特性を調べる為の観測研究を行っている。焼岳では、ピーク流量が $100m^3$/sec 程度の土石流が通過するときに、100gal に達すること、また、土石流先頭部の接近時には、振動の卓越周波数が 10 ～ 30Hz の帯域に、先頭部が観測点を通過して遠ざかるときには、卓越周波数が 60 ～ 80Hz の帯域に移行することが明らかになっている。さらに USGS では、Lahar-Detection System として、AFM(Acoustic-flow Monition)[11),12)]を開発している。このシステムを紹介する Web サイト(http://volcanoes.usgs.gov /About/What/Monitor/Hydrologic/LaharDetect.html)にも一般的な地震波(火山性も含む)の周波数帯域(0.5 ～ 6Hz)と土石流の周波数帯域(30 ～ 80Hz)が示され(**図－ 4**)、AFM センサーとして 10 ～ 250Hz の広帯域を測定するシステムを紹介している。

この土石流の高振動数の特性を考えると、通常地震観測における時間刻みは、地震波が 1/100 秒程度に対し、土石流振動観測は 1/500 秒程度の記録に追従できる装置が必要となる。継続時間も兵庫県南部地震では十秒程度であるのに対し、1 時間を超える継続時間が必要となる。1 時間の土石流発生で 18 万個のデジタルデータが発生し、さらに同じ日に何回かの小規模土石流が前後に発生することとなる。よって、上記条件を満足するハードディスクを有する収録装置が必要となる。また、通常の地震計よりも高い振動数(100Hz 前後まで)を検知できる広帯域の感知精度(0.1 ～ 100Hz ± 3dB)を満足し、地盤振動を基礎を介さずに直接計測できる振動計として、ボアホールタイプサーボ型振動計(東京測振：SV355 改良型)を用いた。収録装置は、上記継続時間に対応できる Windows 2000 の環境で作動できる装置を開発した。また、商用電源の使用は現時点では困難なため、太陽電池とバッテリーによる電源供給とした。当該地点では携帯電話の受信が可能であり、携帯電話による観測状況および検知状態を現地から発信して確認した。



図－ 4　地震計と AFM センサーの検知周波数特性

5. 数式および数字記号振動波形の周波数特性

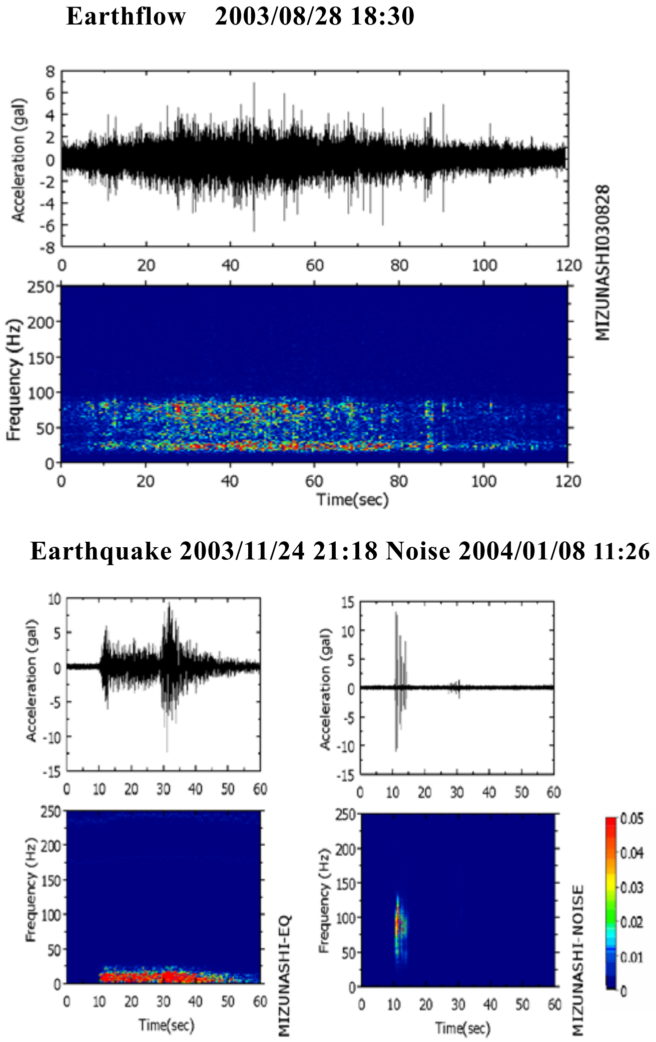
水無沢川地点のフーリエ・スペクトルを土砂流(起動時刻：2003/08/28 18:37)と地震(起動時刻：2003/11/24 21:18)とノイズ時の微動 (起動時刻：2003/08/22 16:01)に適用した。土砂流は 20Hz、80Hz 付近の成分が広範囲に分布している。20Hz の成分はほぼ全域にわたって分布し、80Hz の成分は最大値を挟んで前後に 10 秒程度ずつ分布している。地震波は全域にわたって 10Hz 以下の成分となる。ノイズは地震波よりも高い振動数を持つことがスパイク的なもので、継続時間は短い。水無沢川地点の土砂流(起動時刻：2003/08/28 18:37)とノイズ時の微動 (起動時刻：2003/08/22 16:01)を時刻歴波形とフーリエ・スペクトルで周波数分析し、時刻歴波形の下に示した(**図－ 5**)。

18：30：23 では、図中①～③の事象ともスペクトル形状は類似しており、20Hz、80Hz のピークを持つ。応答が小さくなり、一見ノイズのようであるが 18：37：13 と 18：44：59 においてもスペクトル形状であり，前節で述べた 14 分間に及ぶ土砂移動があったと想定される根拠となった。また、天候の異なる 2003/08/22 16:01:17 のノイズ時における微動記録(**図－ 5 口内**)のスペクトルとは大きく異なる。

連続的なフーリエ・スペクトルを上記水無沢川地点の土砂流、地震波、ノイズを比較した(**図－ 6**)。土砂流は 20Hz、80Hz 付近の成分が広範囲に分布している。20Hz の成分はほぼ全域にわたって分布し、80Hz の成分は最大値を挟んで前後に 10 秒程度ずつ分布している。地震波は全域にわたって 10Hz 以下の成分となる。ノイズは地震波よりも高い振動数を持つことと継続時間が短いスパイク的なものであることが特徴である。

これらの特性は、感知した振動数のピークがどの帯域であるかの判断ができればノイズ、土砂流の区別が可能となり、また、10Hz 以上のハイパスフィルターをかけること

で、土石流の検知にも有効であることが推測される。これは警戒装置の自動判断化へとつながるものである。



図－６　土砂流　８月28日(上図)と地震(下図左)と雑振動(下図右)とのフーリエスペクトルの比較

6.　エンベロープ解析の応用

地震観測において、取得した振動の特徴把握や微動源の震源を決定する手法として、エンベロープ解析法[13),14)]がある。エンベロープとは振動の包絡形状を表すものであり、その解析手法を上記３事象に適用した。

土砂流は全体的になだらかな連続的な振動の包絡形状となる。地震波はＰ波とＳ波の到達時刻に大きな応答が生じる包絡形状となる。ノイズ発生時はスパイク的な包絡形状となる。当該解析が土石流のような連続的な事象を判断する手法として有効であることがわかった。

(1) エンベロープ解析法

エンベロープとは振動の包絡形状を表すものである。実際の解析では、取得した振動記録をもとに、特定の周波数帯に着目するフィルタリング処理や平滑化等の数値計算を行い、エンベロープを求めた。エンベロープを求めるにあたり、振動記録の自乗平均振幅(Mean Square)やその平方根(Root Mean Square)からエンベロープを算出し、その形状の特徴を調べることが多い。両者はそれぞれMSエンベロープ、RMSエンベロープと称される。本検討では、Ｐ波とＳ波の検出に解析事例が多い、RMSエンベロープを採用した。算出法は、振動記録に対して、対象とする周波数帯のみを抽出するフィルタリング処理を施し、振幅の自乗の移動平均(平滑化を意味する)を取り、それの平方根を求める。

本検討では、対象とする周波数帯の設定を下記の方針に基づくものとし、２種類のRMSエンベロープを求めるものとした。

① 地震時で数Hz程度の周波数が卓越することから、10Hz以下に着目する。

② 土砂流時およびノイズで数十Hz以上の周波数が卓越することから、10Hz以上に着目する。

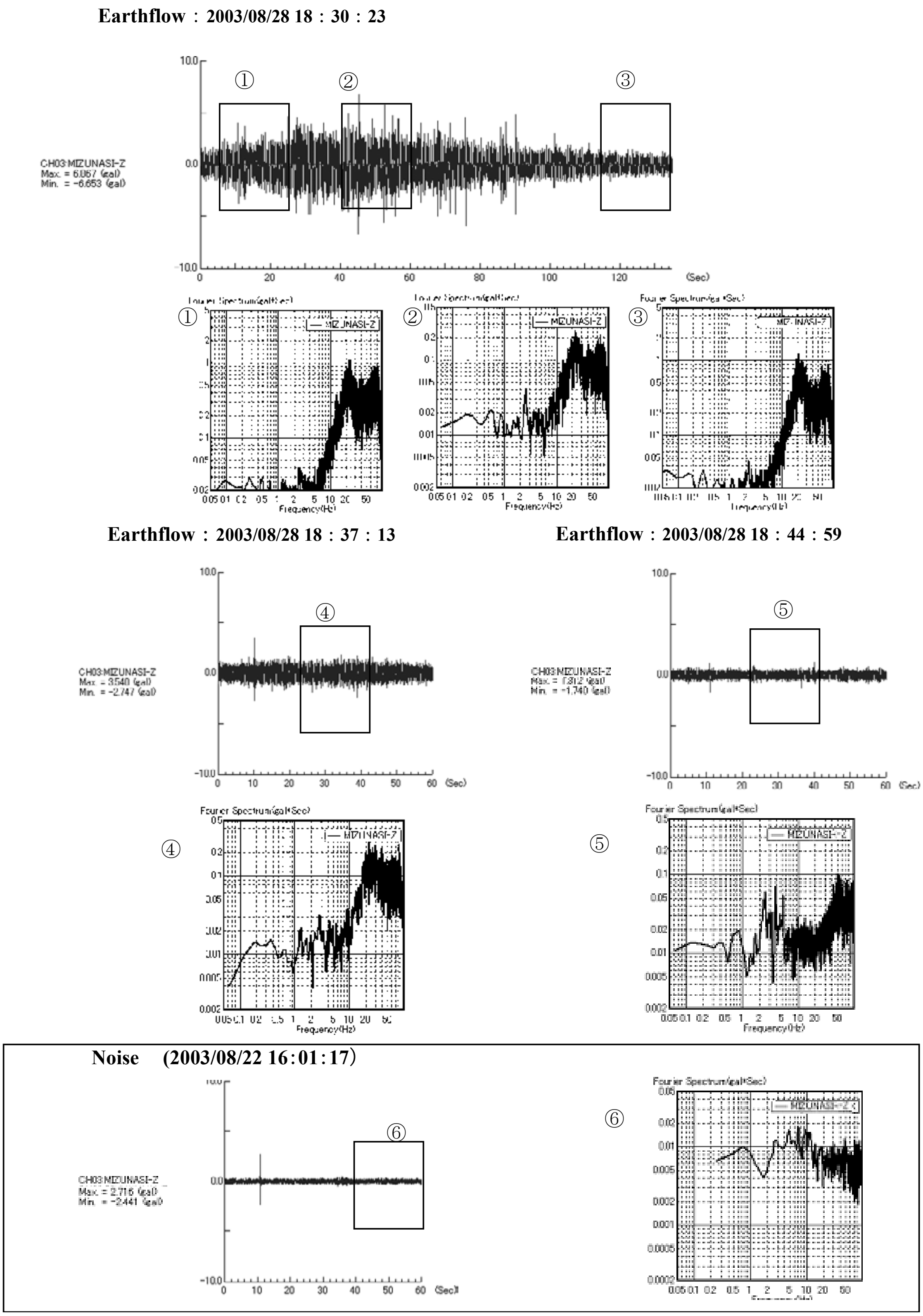
また、移動平均のデータ個数は100個(振動記録のサンプリング周波数500Hzであるので、0.2秒にあたる)とした。

図－７に土砂流観測記録を10Hz以上・以下でフィルタリング処理を施した時刻歴波形(**図－７上図**)とRMSエンベロープ解析結果(**図－７下図**)を示す。フィルタリング波形が元波形(**図－６**)と差異がないことから観測波形の主成分が高全体的になだらかな連続的な振動の包絡形状となる。

エンベロープ波形解析は**図－８**に地震観測記録を10Hz以上・以下でフィルタリング処理を施した時刻歴波形(**図－８上図**)とRMSエンベロープ解析結果(**図－８下図**)を示す。上記同様、元波形と差異がないことからも観測波形の主成分が10Hz以下であることがわかる。エンベロープ波形解析は、地震波ではＰ波とＳ波の到達時刻に大きな応答が生じる包絡形状となる。

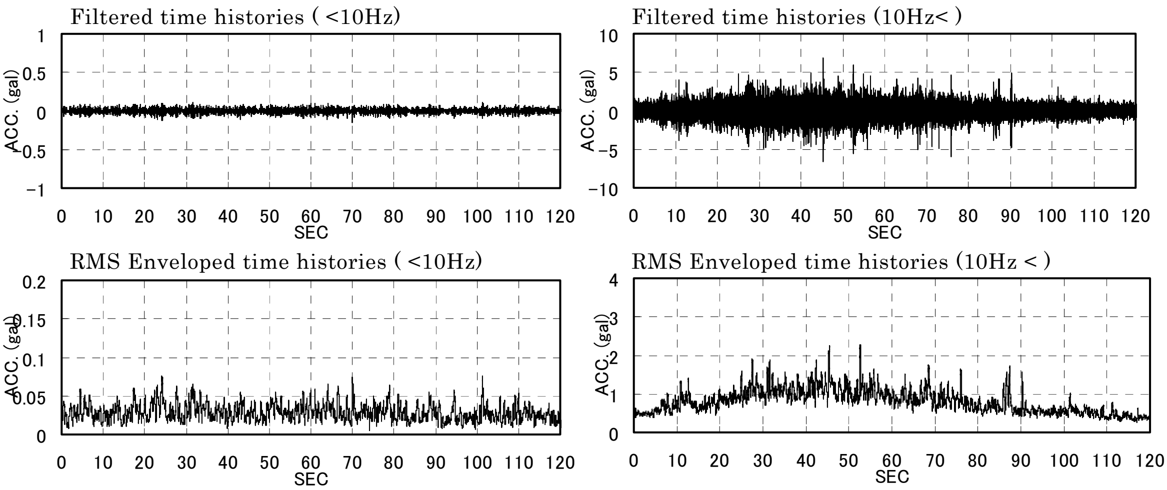
図－９にノイズ発生時観測記録を10Hz以上･以下でフィルタリング処理を施した時刻歴波形(**図－９上図**)とRMSエンベロープ解析結果(**図－９下図**)を示す。上記同様、元波形と差異がないことからも観測波形の主成分が高振動数側であることがわかる。エンベロープ波形解析は、ノイズ発生時はスパイク的な包絡形状となる。

上記特徴をリアルタイムに分析し、自動化することによって、土石流のような連続的な事象を判断する手法として有効であると思われる。

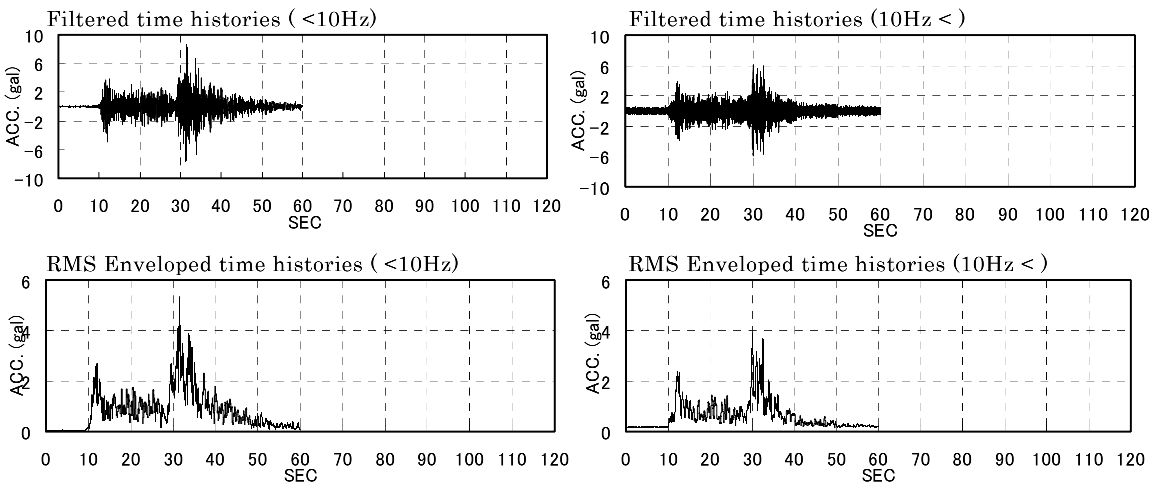


図－5 土砂流 8 月 28 日と他のノイズとの周波数特性比較

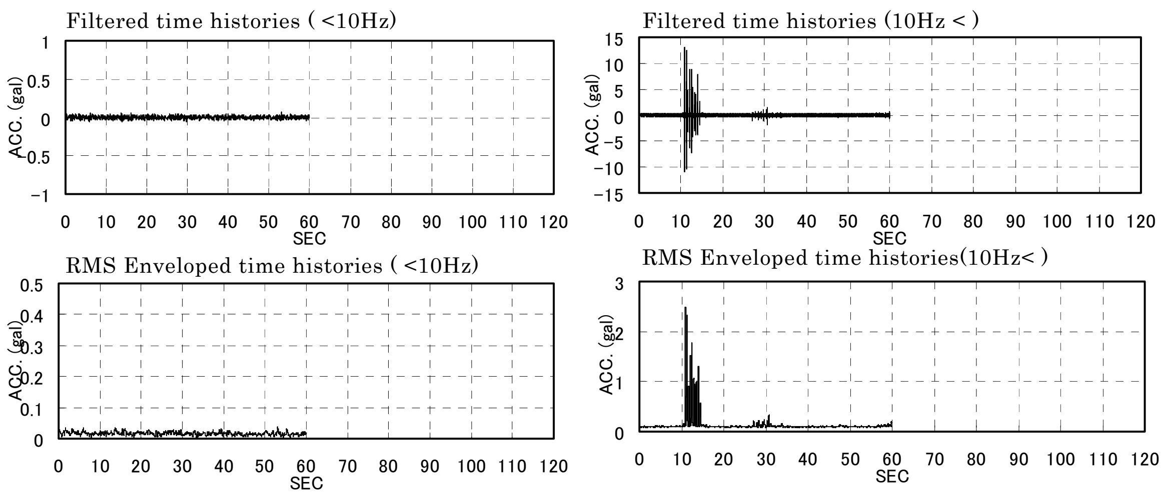
土砂流 18：30：23 では、事象ともフーリエ・スペクトル形状は類似しており、20Hz、80Hz のピークを持つ。応答が小さくなり一見雑振動のようであるが、18：37：13 と 18：44：59 においてもスペクトル形状であり、同じ土砂流と判断した。比較として、天候の異なる雑振動時(2003/08/22 16:01:17) の微動記録（□内）を示した。



図－7　水無沢川　土砂流　2003/08/28 18:30



図－8　水無沢川　地震　2003/11/24 21:18



図－9　水無沢川　雑振動　2004/01/08 11:26

7. 土石流識別検知の検討

当該地点では土砂流の周波数特性は**図－ 5** から 20Hz、80Hz 付近の成分が広範囲に分布していることがわかっている。20Hz の成分は観測波形全域にわたって分布し、80Hz の成分は最大値付近に 10 秒にわたり継続している。地震波は観測波形全域にわたって 10Hz 前後の成分となり、ノイズは高い振動数を持つがスパイク的である。これらの特性は、感知した振動数のピークがどの帯域であるかの判断ができればノイズ、土砂流の区別が可能となる。連続的な土石流とスパイク的なノイズとを識別するために遅延回路（記録装置は起動時から 10 秒さかのぼって記録する機能）の 10 秒を考慮し、さらにノイズは継続時間が短いのでノイズの振動成分をはずすため、起動時から 20 秒後の 10 秒間を用いた。その 10 秒間をハイパスフィルターで、10Hz 以下をカットしたものを A、10Hz 以上をカットしたものを B として、記録 A を B で除した結果（平均エンベロープ比）を比較した（**図－ 10 ～ 12**）。これにより、地震波は小さな値となる。地震波は平均 0.7 程度で最大でも 0.5 である。ノイズは発生時間から周辺の気象観測機器の点検と観測点周辺の生痕から動物のものと思われる。エンベロープ値は平均値 7 であり、ばらつきも小さい。土砂流は 10 程度以上の値となる。以下に観測記録に平均エンベロープ比をすべて算定し、**表－ 1 ～ 3** に示す結果を得た。この数値による判定を自動化すれば、警戒装置のリアルタイム化へとつながるものである。

8. まとめ

水無沢川における振動センサーの観測データに関し、以下の一考察を得た。

（1）土石流が頻発するような場所や噴火等で土砂移動が頻発し堆積土砂による河床変動の大きな所で維持管理が困難な場合は、ワイヤーセンサー等による感知は調整が必要であり、振動センサーの設置が適している。

（2）土石流（土砂流も含む）とノイズの観測波は 20Hz 以上、地震波は 10Hz 以下にピークを持つ。この特性は他の計測事例、たとえば富士大沢川で発生した土石流 [4] の傾向とも一致している。この傾向は感知した振動数のピークがどの帯域であるかの判断ができればノイズ、地震と土石流（土砂流も含む）の区別が可能である。

（3）エンベロープ解析により、地震波、ノイズの観測波はスパイク的な包絡形状となるのに対し、土砂流の観測は全体的になだらかな連続的な振動の包絡形状となる。

（4）エンベロープ比を用いると地震波は平均 0.7 程度で最大でも 1.5 である。ノイズは発生時間、観測点周辺の生痕から動物のものと思われ、白浜地点の平均値 6.9 と水無川地点の平均値 7.9 からのばらつきも小さい。土砂流は 10 程度以上の値となる。また、ノイズは継続時間が短いのでノイズの振動成分をはずすため、起動時から 20 秒後の 10 秒間を用いる手法は有効であった。

9. 今後の課題

今後の課題としては、雨量計との連動等を併用することで検知精度はさらに向上するものと思われる。観測記録に平均エンベロープ比をすべて算定し、以下の結果を得た。この数値による判定をマクロ化すれば、警戒装置の自動判断化へとつながるものである。他の河川に振動センサーを設置する場合は、設置地点の地盤条件、土石流の型（たとえば泥流型か石礫型か）、埋設方法（地中埋設か地表設置か）で異なり、計測結果よりトリガーレベルを設定する必要がある。また、設置位置の計測値と河床での振動レベルの把握は、本検討では設置時の常時微動計測による振動レベルの把握および伝達関数を算出したことは有効であった。

画像転送等を併用することで検知精度はさらに向上するが、画像転送が可能な携帯電話使用可能な地域であればシステムは容易であるが、衛星携帯等の利用であればランニングコストと消費電力が大きいシステムであり、商用電力の使用の制限も受けることとなる。源頭部のような電源の制約がある地域では、燃料電池等の開発によりリアルタイム性が飛躍的に向上されるであろう。

また、土砂流と判定された事象を蓄積し、**3 章**で述べた振動データと流量等との関係が確立できれば、観測記録の最大値から土石流規模を推定することが可能となる。

今回の手法は土石流フロントが振動計を通過してから判定に 20 秒を要するが、土砂流の段階で河川の変状を検知し、警戒避難につなげてゆくことは、土砂災害軽減のために不可欠な警報手段であろう。

参考文献

1）山田孝、南哲行、水野秀明：総合的な土石流検知手法の構築、土木技術資料、41-6、pp.20-23、1999.

2）林泰造、尾崎幸男、和泉雄一：掃流砂量と掃流砂量の遅れの距離について、水理講演会論文集、第 25 巻、pp. 9-19、1981.

3）石田哲也、浅井健一、浅野広樹、渡正昭、小泉市朗、井上公夫：富士大沢川で発生した土石流の地盤振動特性、砂防学会研究発表会概要集、pp.172-173、2003.

4）鵜川元雄、大竹政和：富士山直下の異常な微小地震活動について、地震、37 巻、pp.129-133、1984.

5）諏訪浩、清水浩：雲仙に発生した土石流と火砕流による地盤振動の特性：文部省科研費（No.03306010）報告書「1991 年

雲仙における土石流の調査研究」(研究代表者：平野宗夫、p.111)、pp.40-51、1992.

6) 諏訪浩、山越隆雄、佐藤一幸：地盤振動計測による土石流の規模推定、平成 11 年度砂防学研究発表会概要集、No.49、pp.100-101、1999.

7) 諏訪浩・山越隆雄・佐藤一幸：地盤振動計測による土石流の規模推定、砂防学会誌(新砂防)、Vol.52、No.2、pp.5-13、1999.

8) 諏訪浩、山越隆雄、奥西一夫：H7-H9 焼岳土石流観測および解析、京都大学防災研究所技術資料、No.26、pp.124-129、1999.

9) 奥田節夫、諏訪浩、奥西一夫、仲野公章、横山康二：土石流の総合的観測　その 3、京都大学防災研究所年報、第 20 号 B-1、pp.237-263、1977.

10) 奥田節夫、諏訪浩、奥西一夫、横山康二、小川恒一、浜名秀治：土石流の総合的観測　その 5、京都大学防災研究所年報、第 22 号 B-1、pp.157-204、1979.

11) Hadley, K.C. and LaHusen, R.G., Technical manual for an experimental acoustic flow monitor : *U.S.Geological Survey Open-File Report* 95-114, 25 p, 1995.

12) Dorava, J.M. and Meyer, D.F., Hydrologic hazards in the lower Drift River basin associated with the 1989-1990 eruptions of Redoubt Volcano, Alaska : *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* v.62,pp.387-407, 1994.

13) 佐藤春夫：地震波のエンベロープ解析：現状と今後の課題、物理探査、第 51 巻、pp.453-470、1998.

14) 小原一成:S 波エンベロープ拡大現象、地震、第 2 輯、第 54 巻、pp.159-170、2001.

15) 大角恒雄、長山孝彦、槙納智裕：振動センサーによる土石流検知データの周波数分析およびエンベロープ解析への適用、土木学会西部支部　第 2 回土砂災害に関するシンポジウム、pp.17-22、2004.

16) 大角恒雄、長山孝彦、槙納智裕:振動センサーによる土石流・地震・ノイズ識別検知に関する一考察、砂防学会誌、Vo l.59、No.3、pp.29-34、2006.

表－１　土砂流・地震・ノイズの識別とエンベロープ比：白浜川

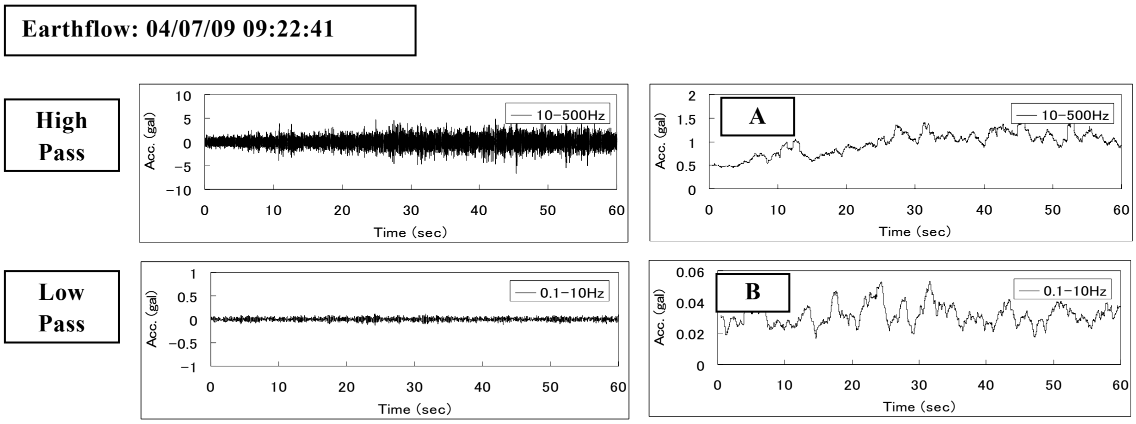
	Triger Time	Event	A/B	Duration Time
1	04/06/10 12:34:43	Noise	8.380	
2	04/06/10 12:50:18	Noise	8.761	
3	04/06/10 13:01:04	Flow	15.122	60 sec
4	04/06/11 03:12:56	Quake	0.446	Tokachi S *M*5.2
5	04/06/15 03:39:12	Noise	5.058	
6	04/06/15 04:56:28	Flow	16.480	60 sec
7	04/06/22 03:21:56	Noise	8.310	
8	04/06/22 13:09:02	Noise	6.667	
9	04/07/04 21:31:45	Quake	0.468	
10	04/07/20 05:59:26	Quake	0.727	Tokachi S *M*5.0
11	04/07/26 03:34:32	Quake	1.547	Aomori E *M*4.3
12	04/07/26 07:57:51	Flow	10.526	
13	04/07/26 07:58:52	Noise	7.736	
14	04/08/03 15:28:14	Noise	6.847	
15	04/08/03 15:37:12	Noise	7.251	
16	04/08/03 17:44:55	Noise	6.070	
17	04/08/09 06:59:30	Noise	5.605	
18	04/08/15 09:03:17	Flow	10.415	60 sec
19	04/08/15 12:02:22	Flow	16.008	60 sec
20	04/08/19 22:17:56	Noise	7.790	
21	04/08/21 19:55:45	Noise	7.407	
22	04/08/30 13:04:53	Flow	9.485	230 sec
23	04/09/01 09:19:42	Noise	5.608	
24	04/09/01 10:33:59	Noise	5.118	
25	04/09/02 05:28:58	Flow	18.768	1,517 sec
26	04/09/08 05:31:02	Flow	11.278	18,000 sec
27	04/09/10 13:22:57	Quake	0.629	Tokachi S *M*5.1
28	04/09/22 20:04:22	Quake	0.672	Aomori E *M*4.8

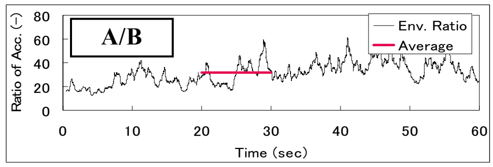
表－２　土砂流・地震・ノイズの識別およびエンベロープ比：水無沢川

	Triger Time	Event	A/B	Duration Time
1	04/06/11 03:12:37	Quake	0.545	TocachiS *M*5.2
2	04/06/15 03:46:35	Noise	7.305	
3	04/07/04 21:31:32	Quake	0.843	Urakawa *M*4.9
4	04/07/09 09:22:41	Flow	28.286	180 sec
5	04/07/20 05:59:14	Quake	0.685	Tokachi S *M*5.0
6	04/07/21 09:39:17	Quake	0.499	Tocachi S *M*5.4
7	04/07/26 03:34:33	Quake	1.254	Aomori E *M*4.3
8	04/07/26 20:43:56	Noise	8.593	
9	04/07/28 05:09:58	Quake	1.290	Uraga *M*4.3
10	04/08/10 15:14:43	Quake	0.484	Iwate *M*5.8
11	04/09/05 03:25:38	Quake	1.213	Uraga *M*4.5
12	04/09/09 23:37:09	Quake	0.926	Uraga *M*4.6
13	04/09/10 13:22:20	Quake	0.613	Tocachi S *M*5.1
14	04/10/08 04:27:11	Quake	0.860	Tocachi S *M*5.1
15	04/10/09 14:44:47	Quake	0.999	Tomakomai *M*4.1

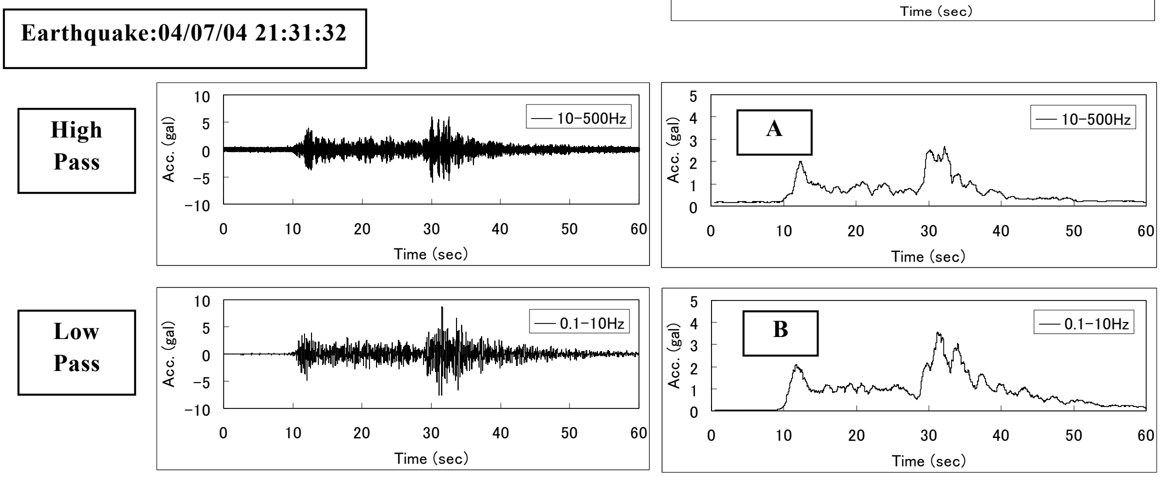
表－３　土砂流、地震、ノイズのエンベロープ比の比較

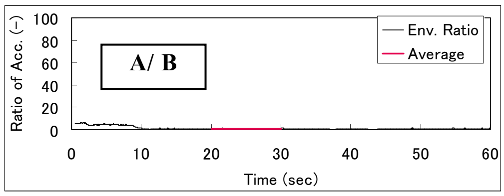
	Station	Earth -flow	Earth -quake	Noise
Envelope Ratio	Siraihama	13.51	0.748	6.901
	Mizunashi	28.29	0.768	7.949



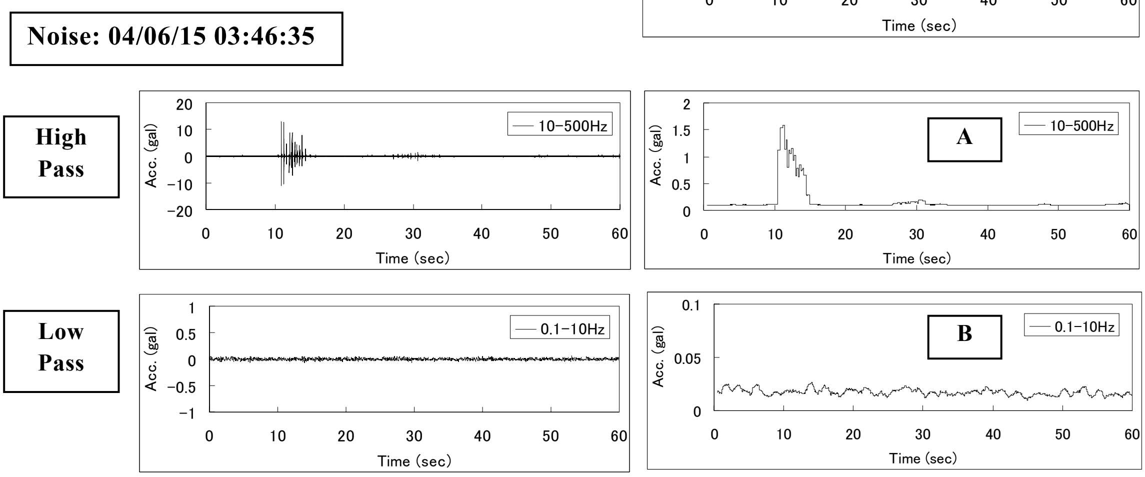


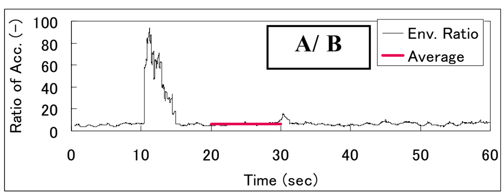
図－ 10　観測波形およびエンベロープ波形 : 水無沢川(土砂流)





図－ 11　観測波形およびエンベロープ波形 : 水無沢川(地震)





図－ 12　観測波形およびエンベロープ波形 : 水無沢川(ノイズ)