

(独)土木研究所 ○武澤永純 柳町年輝 山越隆雄、栗原淳一

1. はじめに

流下する土石流の振動により土石流を検知する振動検知式土石流センサー（以下、振動センサーと呼称）はワイヤーセンサーのような維持管理に関するデメリットが少ないものの、検知基準のより適切な設定手法や、地震や振動ノイズ等他のノイズとの分離が課題とされており、研究が進められている。ここで、土石流の発生は突発的であり、既往の土石流の振動波形を見ると、波形の初期段階で急激になっている¹⁾。このような土石流の先端部分の波形特性を活かして検知基準を設定することで、既往の研究で提案されている振動センサーの検知基準よりもより早く土石流を検知する事が可能と考える。著者らはそれらについて、既往の土石流振動観測事例を用いて検討を行った。

2. 土石流の振動と流量の関係について

本研究で対象とした事例は、長野県の焼岳上々堀沢で1988年から2005年の間に発生した土石流と富士山大沢川で2000年、2004年に発生した土石流である^{2)~7)}。これらの期間に発生した土石流は、焼岳で41事例、富士山で2事例、計43事例である。図より流量と振動の間には一定の相関関係が見られる。これらの、土石流のピーク流量と最大加速度の関係を図1に示す。図より流量と振動の間には一定の相関関係が見られるが、同程度の流量でも加速度に差が生じている。また、土石流の発生日によってグループ化できるようなも見える。流量規模が同じでも加速度に差が生じる理由として以下のことが考えられる。まず、土石流の振動の大きさは、土石流内の岩塊が河床と強く衝突することに影響されると考えられるので、流速（または流量）が大きければ、岩塊の運動量も大きくなり、地盤への衝突や岩塊同士の衝突により生じる振動が大きくなると考えられる。逆に火山泥流のように細粒材料の割合が多い場合、礫が地盤に激しく衝突する割合が小さいために振動も小さくなる。一方、岩塊の割合が高くなるにつれ振動が大きくなるが、岩塊同士が互いに噛み合うように流下する場合には、流体内部での岩塊同士の衝突が抑制され、振動が大きくなるケースも考えられる。

3. 移動平均と波形勾配について

2. で示した土石流の事例について、振動波形の増幅傾向に着目した検討を行った。土石流振動波形について1秒単位の最大値を計算し、その最大値の時刻歴データについて移動平均を計算した。また、単位時間あたりの加速度の上昇割合を「波形勾配」と定義し（図2）、観測データから波形勾配の時刻歴変化を算出した。波形処理の1例を図3に示す。この例では移動平均の時間を10sec、波形勾配の単位時間 Δt を3秒としている。波形勾配が一定の閾値を超過したものを土石流として検知することが可能と思われる。

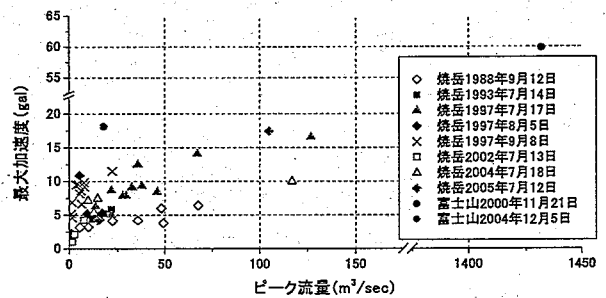


図1 土石流のピーク流量と最大加速度の関係

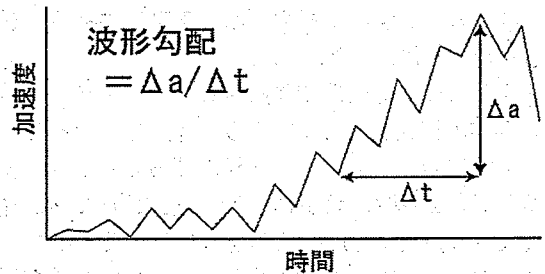


図2 波形勾配のイメージ

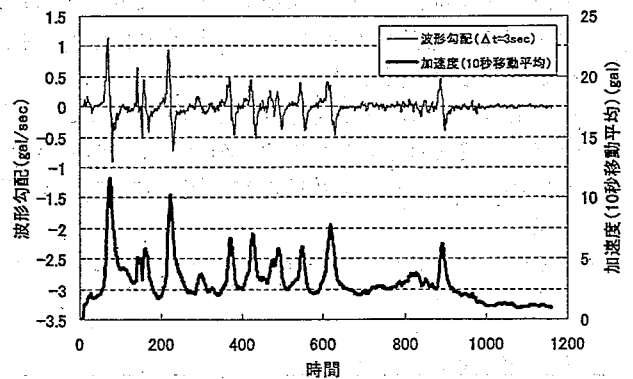


図3 振動の波形勾配（左軸）と加速度（右軸）の推移の例（焼岳：1997年7月17日）

4. 最適な移動平均と波形勾配の設定について

3. で得られた結果を、焼岳で観測された土石流の 41 事例を対象に移動平均と波形勾配を用いた土石流検知の検証を行った。移動平均を 1,3,5,10, の 4 パターン、波形勾配の単位時間を 1,3,5,10, の 4 パターンとし、検知基準 0.1,0.2,0.4,0.6,1.2gal/sec を超過した波形数を計測した。波形については、報告書の中で土石流（段波）と示されている部分の振動が検知基準を超過したものを“検知”、土石流とは示されていない部分の振動について検知基準を超過したものを“誤検知”とした。

この結果を表 1 に示す。検知数が 41 の場合、全ての土石流を検知したことになる。表より、今回の検討では波形勾配の単位時間を 10sec、移動平均の単位時間を 10sec として、波形勾配の閾値を 0.1gal/sec とすれば、土石流が精度よく検知でき、かつ誤検知が少なくなると考えられる。

また、移動平均 10 秒の場合の波形勾配とピーク流量との関係を図 4 に示す。図より、波形勾配 0.1gal/sec を検知基準と考えた場合、流量 50m³/sec 以上の土石流を検知する事が可能と考えられる。ただし、今回の検討で検知できなかった土石流の中には、波形勾配が小さいが流量の大きいものも存在するため、これらを検知できる方法を考案するために、さらなる検討が必要と考える。

5. 振動の継続時間について

4. より、波形勾配と移動平均を用いて、土石流をある程度検知することが可能となったが、誤検知もいくつか生じてしまうことがわかった。そこで、検知基準の精度向上のために 4. で述べた波形勾配の単位時間 10 秒、移動平均 10 秒において、波形勾配が 0.1gal/sec 以上を有する土石流・ノイズの継続時間を整理したものを図 5 に示す。ここで示すノイズとは 4. の検討で誤検知と識別されたものを指す。これより、移動平均加速度が大きくなると、継続時間も長くなる事がわかる。ノイズ・土石流における加速度と継続時間の関係を見ると、土石流の方が加速度の増加による継続時間の延長の程度が大きい事がわかる。これは、ノイズの波形は主として継続時間が短いパルス的な波形であるため、加速度が大きくなっても継続時間は長くないものと考えられ、継続時間からノイズを棄却できる可能性が示唆される。

最後に本研究にあたり、京都大学農学研究科水山教授にご指導いただいた。また、焼岳上々堀沢の振動センサーのデータについては国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所並びに京都大学防災研究所諏訪助教から快くご提供頂き、振動データの解析については京都大学防災研究所諏訪助教に指導いただいた。また、国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所より富士山大沢川の振動データを提供いただいた。ともに厚くお礼申し上げます。

【参考文献】 1) 諏訪 浩、山越隆雄、佐藤一幸 (1999)：地盤振動計測による土石流の規模推定、砂防学会誌、Vol.52、No.2、pp.5-13. 2) 建設省北陸地方建設局松本砂防事務所 (1989)：焼岳・浦川における土石流調査関係資料集 XIV、技術資料 No.22、1989. 3) 京都大学防災研究所・建設省北陸地方建設局松本砂防事務所 (1999)：平成 3～6 年焼岳土石流観測および解析、技術資料. 4) 京都大学防災研究所・建設省北陸地方建設局松本砂防事務所：平成 7～9 年焼岳土石流観測および解析、技術資料. 5) 京都大学防災研究所 (2003)：平成 14 年度焼岳土石流観測および解析受託業務報告書、2003. 6) 京都大学防災研究所 (2005)：平成 16 年度焼岳土石流観測および解析受託業務報告書. 7) 京都大学防災研究所 (2006)：平成 17 年度焼岳土石流観測および解析受託業務報告書.

表 1 波形勾配と移動平均の計算結果

波形勾配(秒)	移動平均(秒)	1		3		5		10	
		検知	誤検知	検知	誤検知	検知	誤検知	検知	誤検知
1	0.1	41	100以上	41	100以上	40	100以上	38	64
	0.2	41	100以上	38	100以上	37	73	32	22*
	0.4	38	100以上	34	29	25	15	19	5
	0.6	34	66	24	15	20	6	8	2
	1.2	23	13	10	3	5	2	2	1
3	0.1	40	100以上	39	100以上	37	49	37	19
	0.2	38	92	35	37	33	16	27	4
	0.4	31	23	23	8	21	3	10	1
	0.6	22	9	20	2	14	1	5	1
	1.2	7	2	4	1	3	0	1	0
5	0.1	39	100以上	37	55	37	37	36	11
	0.2	36	35	33	16	31	8	26	3
	0.4	24	9	20	2	19	1	7	0
	0.6	17	2	13	1	6	1	7	0
	1.2	4	1	3	0	3	0	0	0
10	0.1	37	35	36	19	36	12	35	5

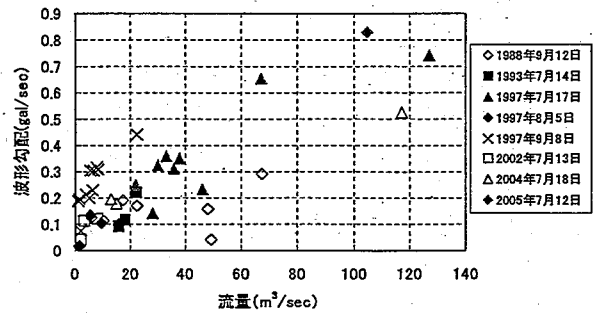


図 4 波形勾配と流量との関係

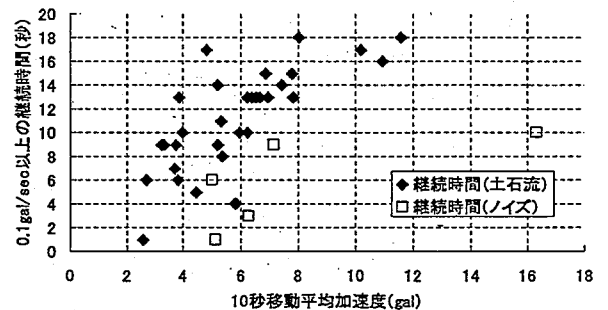


図 5 土石流・ノイズの 0.1gal/sec 以上の継続時間と加速度との関係