

振動検知式土石流センサー
設置マニュアル
(案)

平成 17 年 7 月
独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム

はじめに

振動検知式土石流センサーは、土石流検知センサーとして全国に112基設置されている（平成15年4月国土交通省砂防部保全課調べ）。設置事例は決して多いとは言えず、それらセンサーによる土石流検知事例もほとんど報告されていない。設置にあたっての留意点がこれまで明示されず、また、検知基準の設定方法が不明であったことがその原因であると考えられる。しかし、現在最もよく使われているワイヤーセンサーと比べても有用な点が数多くあり、今後の急速な普及が望まれる土石流検知センサーの一つである。なお、ここでいう振動検知式土石流センサーは従来慣用的に「土石流振動センサー」または「振動センサー」と呼ばれてきたものを指す。

一方で、振動検知式土石流センサーは土石流の発生状況（土石流タイプや自然河道か三面張り等の河床状態による違い）によって振動の卓越振動数や伝播性、減衰性が異なるため、土石流検知警報レベル（しきい値）の設定が障害となっている。

本マニュアルには、現時点までに得られている知見、データをもとにして、地盤振動を利用した土石流検知センサーの設置に関する留意点を記した。これらの知見、データはマニュアルとして振動検知式土石流センサーの設置手法を定めるのにあたり、全ての留意点の規範となるものではないが、振動検知式土石流センサーの普及を妨げている設置手法、検知基準設定手法の曖昧さを可能な限り払拭して同センサーの普及を促進するために、本マニュアルを現時点における試行的な案として示すものである。

今後、このマニュアル（案）によって同センサーの普及が進み、土石流の検知実績が積み重ねられ、ここで提示した設置手法および検知基準設定手法がさらに改良されることを切望する。

振動検知式土石流センサー設置マニュアル（案）

目次

1. 総説	1
2. 振動検知式土石流センサーの概要	2
3. 振動検知式土石流センサーの設置目的	3
4. 振動検知式土石流センサーの構成	5
5. 振動検知式土石流センサー据付上の留意点	7
5.1 振動式土石流センサー受感部の据付位置選定にあたっての留意点	7
5.2 受感部の据付に関わる留意点	8
6. 検知基準の設定	10
7. 振動式土石流センサーの管理	15
7.1 定期点検の実施	15
7.2 誤作動時の対応	16
7.3 運用上の留意点	17
参考文献	18

巻末資料

1. 事例集
2. 土石流の流量と振動の関係式における係数の同定根拠について
3. 地盤内部減衰調査手法
4. 地盤内部減衰定数（ α ）の調査事例について
5. 検知基準の設定事例
6. 振動検知式土石流センサーの検知感度の現地確認方法

1. 総説

本マニュアル（案）は、土石流の発する地盤振動を観測することによって土石流の発生を検知するセンサー（振動検知式土石流センサー）の設置、管理にあたっての基本的な考え方と、その方法を述べるものである。

【解説】

本マニュアル（案）では、振動検知式土石流センサーに特有の留意点、すなわち振動センサーの据付方法と、土石流発生を判定するための検知基準の定め方について主として解説するものである。

なお、本マニュアル（案）は、原則として、新規に設置する振動検知式土石流センサーのみでなく既に設置してある振動検知式土石流センサーにも適用する。また、ここで示す検知基準の定め方は、後述する検知基準値が振動の物理量（kine、gal）^{カイン ガル}によって設定可能なセンサーにのみ適用可能である。

2. 振動検知式土石流センサーの概要¹⁾

振動検知式土石流センサーとは、土石流の流下に伴って生じる地盤振動を観測することによって土石流を検知し、警戒信号を発するものである。

【解説】

一般に、土石流には石礫が数多く含まれており、中には1 mを超えるような巨礫が含まれていることもある。そのような石礫が秒速数m～十数mの速度で流下するため、土石流は周辺地盤に振動を与える。振動検知式土石流センサーはこの地盤振動を捉え、警報を発するものである。

3. 振動検知式土石流センサーの設置目的

振動検知式土石流センサーは、土石流により被害を受ける可能性のある保全対象の上流側に設置し、土石流を早期検知することを目的とする。

【解説】

以下の場合には、振動検知式土石流センサーの利用が特に有効である。

(1) 土石流が頻発する（連続して発生する）場合

現在最も広く使われているワイヤーセンサーは検知精度が高いものの、一度土石流が発生してワイヤーが切断された後には、それが張り替えられるまで全く土石流の検知が不可能となる。したがって、連続して発生する土石流を検知する場合には、非接触型センサーである振動検知式土石流センサーの利用が有効である。

(2) 危険性のため、溪流内に立ち入って作業することが困難な場合

現在最も広く使われているワイヤーセンサーでは、ワイヤーを張るために溪床に立ち入らなければならないため、溪床の立ち入りが危険性を伴う場合には、振動検知式土石流センサーのように遠隔から土石流の検知が可能なセンサーの利用が有効である。

(3) 融雪期の土石流発生検知を目的とする場合

融雪期の土石流を検知するためには、積雪期間中の現場設置、メンテナンスを行うことが極めて困難であることから、積雪・融雪期を通じて現場に放置しておくセンサーでなければならない。地上部にセンサーを露出させる必要のあるものは、積雪・融雪の際に破損する恐れがあり、振動検知式土石流センサーのように地下に設置するタイプのものが望ましい。

(4) 河床が大きく昇降する場合

山地河川では、中小の出水によって、河床が大きく昇降する場合がある。そのような場合、土石流の通過する高さからねらいを定めて検知するタイプの土石流センサーでは検知できない恐れがある。このような場合、地中を伝播する振動を検知する振動検知式土石流センサーが有効である。

以下の場合には、適用は困難である。

(1) 土石流の発する振動が著しく小さい場合

土石流の規模が著しく小さい、もしくは土石流がほとんど石礫を含まない場合には、地

盤振動がほとんど発生しないため、振動検知式土石流センサーの利用は困難である。

(2) 振動ノイズが大きい場合

周辺の振動ノイズレベルの方が土石流による振動よりも高い場合、ノイズを検知せず、土石流の振動のみを検知するのは困難である。

4. 振動検知式土石流センサーの構成

振動検知式土石流センサーは、受感部、処理部、伝送部、電源部から構成される。

【解説】

(1) 受感部

振動検知式土石流センサーの受感部には、振動を感知するセンサーが用いられている。計測する振動の物理量によって下記の3通りに分類される。

- ・変位計
- ・速度計
- ・加速度計

基本的にどのタイプでも振動センサーとして利用し得るが、これまでの使用実績では、加速度計と速度計が用いられている。

以下、加速度計と速度計の特徴を列挙する。

<加速度計>

○一般に地震や構造物の強震観測に多く用いられ、最大加速度から地震の震度が求められている。

○加速度波形の単位は gal(=cm/sec²)であり、地球上で感じられる重力加速度 (1 G = 980gal) 等で使われており、直感的にその強さを把握しやすい。

<速度計>

○一般に遠方の地震や火山性振動等の観測に用いられ、微弱で周波数の低い(長周期)振動を計測するのに優れている。

○速度波形は1階微分で加速度波形に、1階積分で変位波形に変換されるので、振動の加速度、速度、変位の3者を求めるには適している。

(2) 処理部

受感部で得られた信号を処理して土石流の発生の判定を行う部分である。土石流発生の判定基準が単純な場合には、単純な電気回路によって信号処理して検知信号を次の伝達部に渡す。しかし、判定基準が複雑な場合には、IC、マイクロコンピュータ等を置き、そこで信号処理を行った上で検知信号を発する。

(3) 伝達部

処理部から伝送された振動のデジタル信号または発生検知信号を監視局や警報装置等に伝送する装置。

伝送装置は有線式と無線式に大別され、有線式には一般電話回線網を利用したもの、自営メタルケーブル・光ケーブルにより伝送を行うもの等があり、無線式にはテレメータ無

線・無線 LAN 等があり、それぞれの設置条件や回線容量等により選別される。

また、伝達部の代わりに処理部にメモリーが接続され振動を記録する装置も多いが、振動波形の記憶容量の関係上、数日～数ヶ月に一回メモリーに書かれたデータを回収しなくてはならない。

(4) 電源部

電源部は受感部、処理部、伝達部に電源を供給する装置で、商用電源が利用可能な現場においては通常の直流電源装置等が用いられる。商用電源の利用が不可能な現場においては、一般的には太陽電池＋バッテリー等が用いられる。太陽電池＋バッテリーの構成で用いる場合は機器の総消費電力量、設置場所の日照量などによりその容量が決定される。

5. 振動検知式土石流センサー据付上の留意点

5. 1 振動検知式土石流センサー受感部の据付位置選定にあたっての留意点

振動検知式土石流センサー受感部は、土石流の振動を確実にとらえることが可能であるとともに、土石流以外の振動ノイズや電氣的ノイズが影響しない位置、そして、その他土石流の検知を行うに当たって支障が生じない位置を選定して設置する。

【解説】

(1) 土石流の振動を確実にとらえる位置

①河道との距離

土石流の流心から 30m以内の距離に据え付けすることを基本とする。これまでの全国の実績によると、土石流の流心から 30m以内に据え付けられている場合がほとんどである。流心から 50m以上離して据え付けた例もあるが、検知に失敗した事例が多い。

②据付地盤について

土石流による地盤振動は、振動が伝達する地盤の性質や地形的要因によってその振動特性が大きく変化する。周囲に比べて著しく軟弱な地盤であるなど、土石流の振動が著しく減衰することが懸念される箇所はなるべく避ける。

(2) 振動、電気等の外部ノイズが影響しない位置

以下に示す場所の付近は外部ノイズが発生すると考えられるため、なるべく距離を置いて据え付ける。

- 建築物、橋梁、電柱など振動を発生させる構造物
- 樹木並びに樹木の根元周辺
- 鉄道、人通りや交通の激しい道路付近
- ポンプ、コンプレッサー、長期にわたる工事現場等、大きな振動を発生させるものの付近
- 地下タンク、下水道等地下埋設物付近
- 高圧線の直下、大電流の流れる電力線、大電流を消費する施設
- その他なんからの振動、電氣的ノイズが発生する可能性がある場所

ただし、これらの位置において、事前にノイズ評価観測を行い、ノイズの影響を受けないと確認できた場合はこの限りではない。

(3) その他、土石流の検知を行うに当たって支障が生じない位置

以下に挙げる箇所はなるべく避けるものとする。

- 地下水や流水などにより冠水しやすい箇所
- センサー受感部が土石流等により洗掘され、流出する恐れのある箇所
- 他人に悪戯されやすい箇所
- 設置や保守管理の困難な箇所

5. 2 受感部の据付に関わる留意点

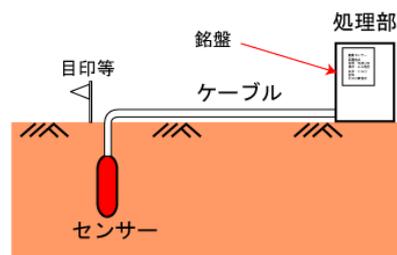
振動検知式土石流センサー受感部は土石流の発する振動が確実に伝わるように据え付けるとともに、振動ノイズから可能な限り遠ざけるように据え付ける。

【解説】

振動検知式土石流センサー受感部の据え付けにあたっては、以下のように、設置方法毎の特性に留意して行う。なお、受感部は地中に直接埋設して設置するタイプと、地表等平坦面に据え付けるタイプがある。ここでは前者を地中埋設型、後者を地表設置型と定義する。以下に、両者について設置に際しての留意点を示す。

(1) センサーを直接地中に埋設する場合（地中埋設型）

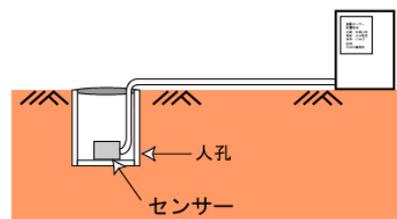
- センサーを地中埋設した後、周辺地盤を締め固めて地盤との密着度を高めるようにする。
- 埋設場所には、センサーの設置位置を見失わないように看板等を立てて目印を設置する。センサー設置日時、センサー設置業者、型番、連絡先等を記しておくことが望ましい（例えば処理部）。



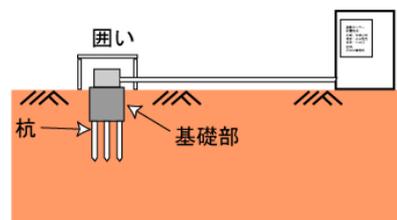
センサーを地中に埋設する場合

(2) 対象位置にコンクリート基礎または人孔を打設して、その上にセンサーを設置する場合（地表設置型）

- 地盤にコンクリート基礎を打設する場合は、基礎と地面がよく接地するように配慮しなければならない。
- 基礎台は台全体の1/2以上が地面下に埋没するようにし、台が容易に揺れないことを確認する。
- センサーには囲い等を設置して、管理者以外はセンサーに触れられないようにしておくことが望ましい。
- 落石、動物の衝突などによる振動での誤作動を防



人孔を打設してその上にセンサーを設置する場合



基礎を打設してその上にセンサーを設置する場合

図1 振動センサー設置例

ぐためには、受感部をなるべく地中に埋設することが望ましい。その時には人孔を介してセンサーと地盤との密着を図る。

(3) 砂防堰堤やコンクリート護岸等、既存構造物に設置する場合※

- センサー設置の留意点は、(2)に準ずる。
- 土石流によってセンサーが被災しない場所に設置する。
- センサーを堰堤に固着させる、もしくはセンサーを水平に設置することを目的として、基礎を打つこととする。
- 管理者以外はセンサーに触れられないようにしておくことが望ましいが、その際、管理の障害や流木等による引っかかりがないことに配慮した構造とする。

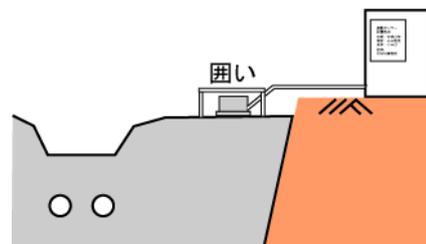


図2 振動センサー設置例（堰堤）

※砂防堰堤等のコンクリート構造物に設置すれば、土石流が発生した場合に敏感に土石流による振動を検知できるものと考えられるが、その一方で、振動ノイズも敏感に感知する恐れがある。

(4) 受感部と処理部間の信号ケーブルに関する留意点

- 土石流等により信号ケーブルの切断が懸念されるため、電力線及び信号ケーブルを地中埋設または保護管による保護する施工方法が望ましい。(特に積雪地域では、積雪による断線が懸念される)
- 受感部と処理部間の信号ケーブルはノイズや雷等の影響があるので、短く施工するのが望ましい。(しかし、処理部が土石流などによって流出しない程度の距離を確保する)
- 受感部と処理部間の信号ケーブルは、機器の仕様によって最大延長可能距離が異なるので注意が必要である。

(5) 処理・伝達・電源部等に関する留意点

- 設置環境によっては商用電源を使用できない場合が多く、消費電力の低い機器の選定およびバッテリー+太陽電池等の電源方法の選定を視野に入れた設置を検討する。
- 寒冷地域では、機器の使用温度に留意し、設置場所や設置方法、機器の動作温度等に注意する必要がある。

6. 検知基準の設定

振動検知式土石流センサーの検知基準は、センサー据付地点周辺地盤の振動伝播特性を考慮し、検知しようとする土石流が起こす地盤振動の大きさより低く、ノイズレベルより高く設定する。

【解説】

振動検知式土石流センサーの検知基準は、図3の決定のフローに示すように決定する。

(1) 検知対象とする土石流の検知対象規模 (Q) の設定

振動検知式土石流センサーは、センサー設置地点より下流にある保全対象に被害を及ぼす可能性のある土石流を検知しなければならない。そこで、そのような土石流の最小規模を検知対象規模として設定する。

(2) センサー据付位置の決定

5. 1節に定めた方法で据付位置を決定する。土石流の流心からセンサー据付位置までの斜距離を設置距離 (D) として定める。

(3) 検知基準の設定

すでに据え付けてあるセンサーによって土石流の振動データが得られている場合 (3A) とそれ以外の場合 (3B) に分けて検知基準の設定方法を以下に述べる。

(3A) 既往検知事例から求めたQ-P関係に基づいた検知基準の設定

検知基準を定めようとする振動センサーによってすでに土石流振動データとハイドログラフが得られており、そのデータに基づいて検知基準を決定する場合は、図4のとおり土石流流量 (Q) と土石流によってセンサー据付地点に伝えられる振動の強度 (P) に関する相関図を作成し、検知対象規模の土石流が伝える地盤振動の大きさ (P) を求め、それを検知基準とする。

ただし、既設センサーの位置を変える (設置距離 (D) を変える) 場合には、後述する

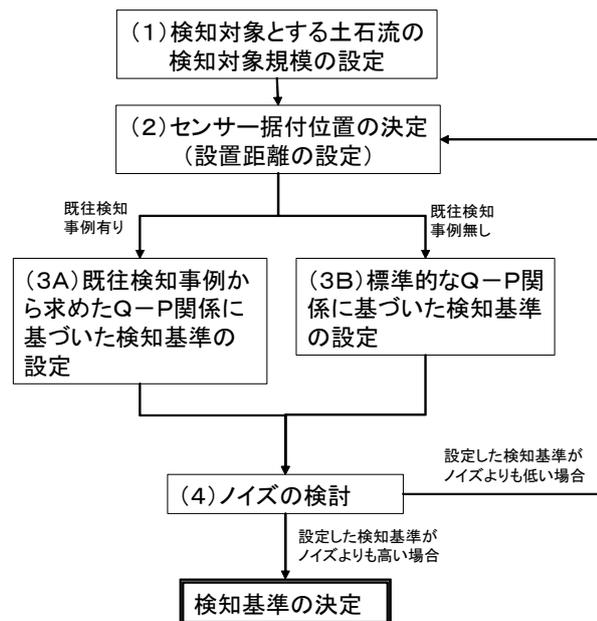


図3 検知基準決定のフロー

計算式(5)により、新しい設置距離(D)の据付地点に伝わる振動の強度(P)を計算して求めることとする。

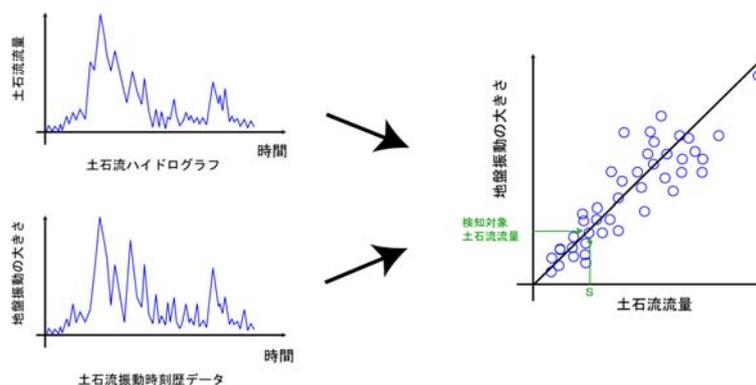


図4 土石流流量と地盤振動の相関図

(3B) 標準的なQ-P関係に基づいた検知基準の設定

(3A) 以外の場合は、既往の土石流振動観測事例に基づいた土石流の流量と地盤振動の大きさの間の標準的な関係等から検知基準を導く。

諏訪ら(1999)は、焼岳上々堀沢で発生した土石流の振動を実測したデータに基づいて、土石流の発する地盤振動と流量の間には以下のような関係があることを示した²⁾。

$$P = KQ^{1.5} \quad \dots (1)$$

Q: 土石流の流量 P: 土石流の流下によって発生する地盤振動の強度 K: 係数

係数Kは、土石流のタイプ、地盤の内部減衰特性などによって本来異なると考えられるが、現時点では、そのような場合分けができるほど土石流の振動計測データは多くない(4事例、巻末資料1参照)。そこで、既往の全てのデータから、土石流のタイプ、地盤特性によらない標準的なKの値を図5の通りに定めた(巻末資料2参照)。

ここに定めた結果を用い、センサーを据え付ける溪流において、検知対象規模土石流によって、河

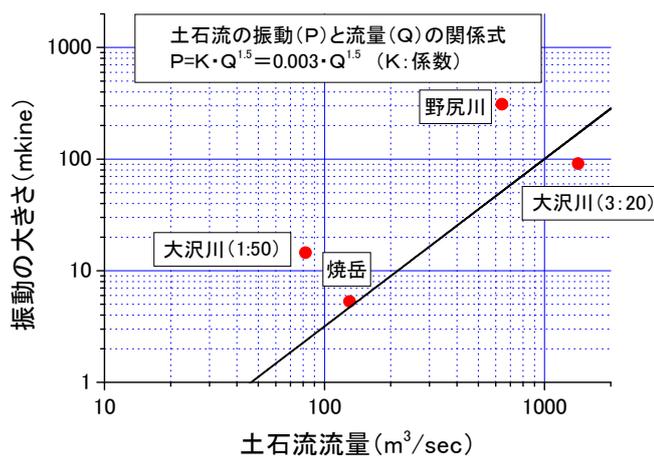


図5 既往の観測事例から推定した土石流の振動と流量の関係(標準距離(25m)における値)

道中心から標準距離（25m）だけ離れた地点に伝播する振動の強度（ P_{25m} ）を推定することができる。

$$P_{25m} = 0.003Q^{1.5} \quad \dots (2)$$

ここで、 Q : 土石流の流量 (m³/sec) P_{25m} : 流量 Q の土石流によって河道中心から標準距離（25m）だけ離れた地点に伝えられる振動の強度 (mkine、ミリカイン^{*}) である。

^{*}ミリカインとは振動速度を示す単位で kine (カイン: cm/sec) の 1/1000 である。

次に、以下の手順で、センサー据付箇所周辺の地盤特性に基づき、設置距離（ D ）だけ離れた地点に土石流によって伝えられる振動の強度（ P ）を推定する。

波動の距離減衰は一般に波形の質によるエネルギー拡散と地面の土を振動させることによる内部摩擦減衰の両者に依存する度合いが大きく、ほぼ次式で示される³⁾。

$$p = u \cdot d^{-n} \cdot e^{-\alpha d} \quad \dots (3)$$

ここで、 d : 河道中心からの距離 (m) p : 距離 d の地点に伝わる振動強度 u : 基準点における振動強度 α : 媒質の内部減衰定数 n : 幾何減衰定数、である。

一方、基準点における振動強度が同一であり異なる地点（距離 d' ）について同様に、以下のように示すことが出来る。

$$p' = u \cdot d'^{-n} \cdot e^{-\alpha d'} \quad \dots (4)$$

ここで、 d' : 河道中心からの距離 (m) p' : 距離 d' の地点に伝わる振動強度 である。

式（3）、（4）より u を消去することにより、式（4）を得る

$$p = p' \cdot \left(\frac{d}{d'} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(d-d')} \quad \dots (5)$$

この（5）式に、 $p' = P_{25m}$ 、 $d' = 25m$ を代入し、以下に示す方法によって α 、 n を定めれば設置距離（ $d = D(m)$ ）での、検知対象規模の土石流によって伝えられる振動強度（ P ）を推定することができる。

$$P = P_{25m} \cdot \left(\frac{D}{25} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(D-25)} \quad \dots (6)$$

n 、 α は以下の通りに定める。

・幾何減衰定数（ n ）の設定

幾何減衰定数 n は振動の種類によって、表面波（ $n=0.5$ ）、実体波（ $n=1$ ）のように異なる。ここで、百数十メートル程度以内の距離で伝達する振動は、表面波と実体波の複合した波動と考え、その幾何減衰定数は、公害振動の分野で近距離地盤振動を扱う場合に使われることの多い、 $n=0.75$ という値を用いることとする⁴⁾。

・地盤内部減衰定数（ α ）の推定

センサー据付位置近傍の地盤の内部減衰定数（ α ）は、以下の2つの方法のいずれかによって定める。

①現地実験により求める方法

センサーの据付位置近傍で、振動の減衰調査を実施することにより、内部減衰定数（ α ）を求める。現地実験の方法は巻末資料3に詳述する。

②現地の地盤特性から推定する方法

センサー据付位置周辺の地盤材料の種類から、表1より内部減衰定数（ α ）を推定する。この表の数値の根拠となるサンプル数が少ないため、利用する際は参考程度にとどめておくこととする。表1の元となっているデータについては巻末資料4に示す。

表1 地盤材料と α の関係

地盤材料区分	α
岩盤	0.03
風化岩～土	0.02～0.04
礫混じり土	0.05～0.09

（4）ノイズレベルの検討

センサー据付箇所近傍で想定されるノイズ（人、獣の歩行、車両の通過、工事に伴う振動等）を実際に発生させ、据え付けたセンサーによって地盤振動の大きさを観測する。その結果に基づいて、据え付けたセンサーに対するノイズレベル（ N ）を把握する。

（5）検知基準の設定

検知対象規模の土石流による地盤振動の大きさ（ P ）とノイズレベル（ N ）を比較することによって、検知基準（ T ）を以下の通りに定める。

- 1) $P > N$ の場合には、検知基準を、 $P > T > N$ となるように定める。
- 2) $P \leq N$ の場合には、据付位置を流心に近づける、またはより地下深い位置に据え付ける等した後、(3B)、(4)に示した検討を再度行う。その結果 $P > N$ となれば、検知基準を(1)と同様に定める。
- 3) 据付位置を変更しても、 $P < N$ のままである場合で、他に好適地が無い場合には、本マニュアルに基づく振動検知式土石流センサーの適用は見送り、より高度な検

知手法*を検討する。

以上述べた（１）～（５）の手順による、検知基準設定事例を巻末資料５に示す。

※高度な検知手法としては、様々な方法が考えられる。たとえば、振動の大きさのみでなく、地盤振動継続時間を併せて考慮することによって検知精度の向上（見逃し・空振りの減少）を図った事例もある。また、地盤振動の卓越周波数によって他の現象と区別する、複数のセンサーを組み合わせて運用することによって精度の向上を図ることも考えられる。このような高度な検知手法は、今後、さらに検討の余地があり、現場毎に自由に開発、発展させてゆくべきである。

7. 振動検知式土石流センサーの管理

7. 1 定期点検の実施

定期的に振動検知式土石流センサーの点検を行う。

【解説】

振動検知式土石流センサーは、精密な計測機器なので、定期的に点検を行う必要がある。定期点検の時期としては、毎年土石流が発生する時期の前（梅雨期前、融雪による土石流の可能性がある場合には積雪期前、等）に点検を行う。ただし、溪流の地盤振動特性が変化したと考えられる場合（土石流が発生して溪流の状態が大きく変化した／砂防工事が実施された等）、誤動作が増えてきた場合（近傍で工事が実施されるようになり振動ノイズが増えた等）には、直ちに点検を実施し、必要に応じて再設置をする、もしくは検知基準を見直すものとする。

定期点検は、以下の点について実施するものとする。

(1) 受感部感度の点検

振動センサーが現場で作動しているかどうかを確認するために、例えば河道の流心等所定の位置で地盤を振動させ、溪流に設置されている振動センサーが観測する振動波形を確認する。

これを振動センサー設置直後および振動センサーの定期点検の際に行うことで、振動センサーの動作確認、及び振動センサーが設置時と同様な環境で観測していることが確認できる。

具体的な受感部の感度の点検方法を巻末資料6に示す。

(2) 検知基準の点検（検知基準の再設定）

誤動作が増えてきた場合には、直ちに振動ノイズ等を観測し本マニュアルの検知基準の設定方法手順に従い検知基準の設定を見直す。

また、本マニュアル（案）によらずに設置された振動検知式土石流センサーの場合においても、直ちに本マニュアルに示す手順によって検知基準の設定を見直す。本マニュアルによる基準値が元の基準値よりも大きな値を示す場合で、頻繁に誤作動を起こす等の問題が生じていない場合には、元の基準値のままで運用する。

7. 2 誤作動時の対応

振動検知式土石流センサーが誤作動した場合には、直ちにその原因を明らかにし、適切な処置を行う。

【解説】

ここでいう誤作動とは、以下に述べる誤検知と不検知を指す。

○誤検知の場合

土石流が発生していないにもかかわらず、検知信号（受感部が計測した振動が検知基準を上回る際に発する信号）が発せられた場合には、ただちにその振動波形データを回収し、誤検知の原因を究明し適切な対処を行う必要がある。

例えば、電氣的なノイズによる誤検知は電源部にノイズフィルターやシールドを施す等により対処する。

また、振動ノイズによって誤検知が頻繁に発生する場合には、振動検知式土石流センサーを振動ノイズから遠ざけるように再設置する。

○不検知の場合

土石流が発生したにもかかわらず検知信号が発せられなかった場合には、ただちにその振動波形データを回収し、以下の通りに対応する。

①本マニュアル（案）によらずに設置された振動検知式土石流センサーの場合

本マニュアル（案）第6章に示す手順によって検知基準の設定を見直す。

②本マニュアル（案）によって設定された振動検知式土石流センサーの場合

土石流振動データが得られている場合には、そのデータに基づき、本マニュアル（案）第6章に示す手順によって検知基準の設定を見直す。

土石流振動データが得られなかった場合には、ノイズによる誤検知が増大し過ぎない程度に検知基準をなるべく引き下げるとともに、次に発生する土石流の地盤振動波形が得られるように万全の準備（受感部感度の点検等）をする。

7. 3 運用上の留意点

運用中は、振動検知式土石流センサー単独では使用せず、他のセンサーと併用することを基本とする。また、土石流による振動データの取得に努める。

【解説】

基本的に、運用中は他のセンサー（ワイヤーセンサー）などと併用する。ただし、緊急対応のために設置する場合で、他センサーの設置が困難な場合には、単独で使用することもあり得る。また、運用中は、より精度の高い検知基準を設定するために、土石流の検知を行う一方で、土石流が発生した場合に確実に振動波形を取得できるような設備を備えるものとする。

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, 1999, pp. 20-23.
- 2) 騒音・振動 (上): 日本音響学会, pp. 203-205, 1979.
- 3) 諏訪浩・山越隆雄・佐藤一幸: 地盤振動計測に伴う土石流の規模推定, 砂防学会誌, Vol. 52, No. 2, pp. 5-13, 1999.
- 4) 公害振動の予測手法: 井上書院, p.237, 1986.

卷 末 資 料

巻末資料 1 事例集

はじめに

本事例集は、振動検知式土石流センサーの検知基準決定のための参照データ集とすることを目的として、これまでに得られた土石流による地盤振動データ等を整理して示すものである。現時点で掲載した件数は4件である。

- 1) 1997年9月16日鹿児島県桜島野尻川 1件（発生時刻9:08）
- 2) 2000年11月21日富士山大沢川 2件（発生時刻1:50、3:20）
- 3) 1997年7月17日焼岳・上々堀沢 1件（発生時刻13:26）

今後、新たな計測事例が得られる毎に更新する予定である。

問い合わせ先

(独) 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム

〒305-8516 つくば市南原1-6

電話：029-879-6785

Fax：029-879-6729

事例 1

土石流の発生溪流	鹿児島県桜島町野尻川
土石流の発生日	1997年9月16日
ピーク流量 (Q^*)	641 m ³ /sec
振動の大きさ (P^*)	65mkine
検知センサー設置位置の流心からの距離 (D^*)	66m
地盤種別	風化岩～土 (火山灰土)
土石流のタイプ	泥流型
地盤の内部減衰定数 (α^*)	0.02
幾何減衰定数 (n^*)	0.75
データ取得者	国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所 土木研究所 米国地質調査所
留意事項	速度センサーで得られたデータである。データサンプリングが1分間に4～5回の間隔で行われていたため、得られた振幅は、実際の振幅よりも過小に評価されている可能性がある。

「事例 1」に関する詳細状況

平成 9 年 9 月 16 日に桜島野尻川において発生した土石流では、野尻川砂防 5 号堰堤溪岸法肩と広場境界から 26m (Close)、66m (Middle)、108m (Far) とそれぞれ異なった距離に設置した 3 基の振動センサーによって、流下する土石流の振動を同期的に観測した非常に貴重なデータが得られている。また野尻川 5 号砂防堰堤に設置されたビデオによって土石流の流量も観測されている。

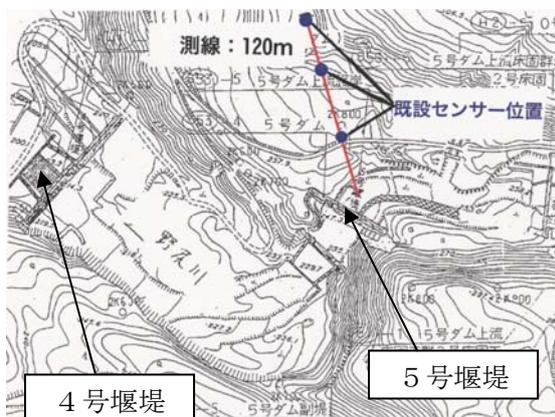


図 1 桜島野尻川 5 号砂防堰堤近傍における振動センサー設置位置

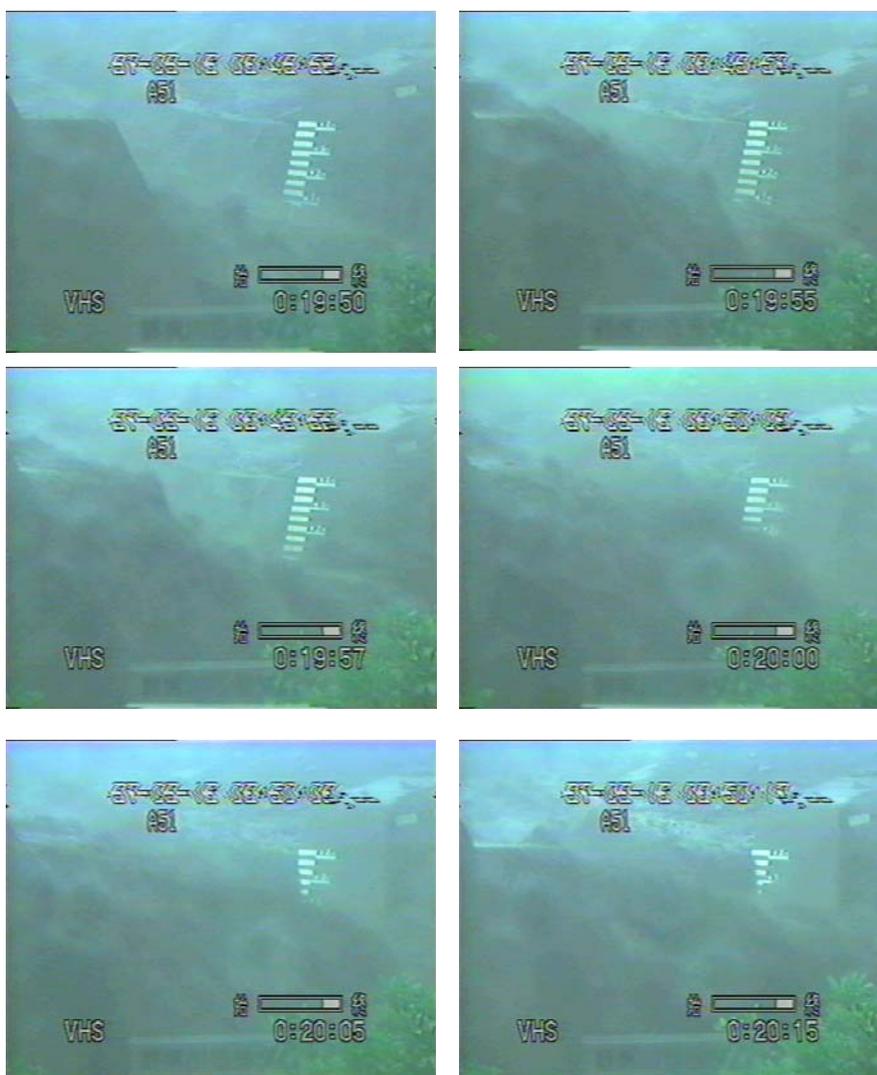


写真 1 野尻川 5 号砂防堰堤を通過する土石流 (8 : 50 頃)

土石流の流量と振動の大きさ

図2に野尻川5号砂防堰堤の右岸側に設置されたビデオカメラによって判読した当該地点の土石流ハイドログラフを示す。土石流観測ビデオは鮮明でなく、また目標物の確認も困難であったため、画像の中で判別できるものを抽出して、ハイドログラフを求めた。これより、野尻川5号砂防堰堤では $641\text{m}^3/\text{sec}$ のピーク流量があったことが確認できた。

図3に各センサーの振幅速度の時刻歴を示す。センサーは弾性波探査用ピックアップで地盤の振動速度のデータを1秒間に4回観測し、15秒間隔でデータの最大値を記録している。センサーの最大振幅は河道の近くから78、65、16mkineと低減している。ただし、Closeのセンサーでは計測値(78mkine)が飽和している可能性がある。

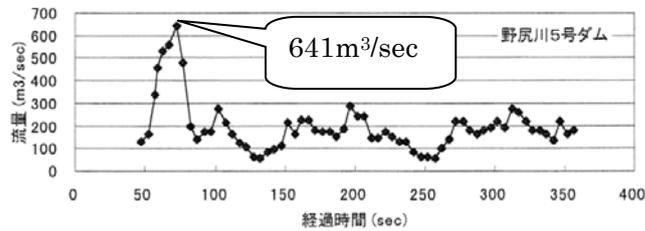


図2 野尻川5号砂防堰堤のハイドログラフ

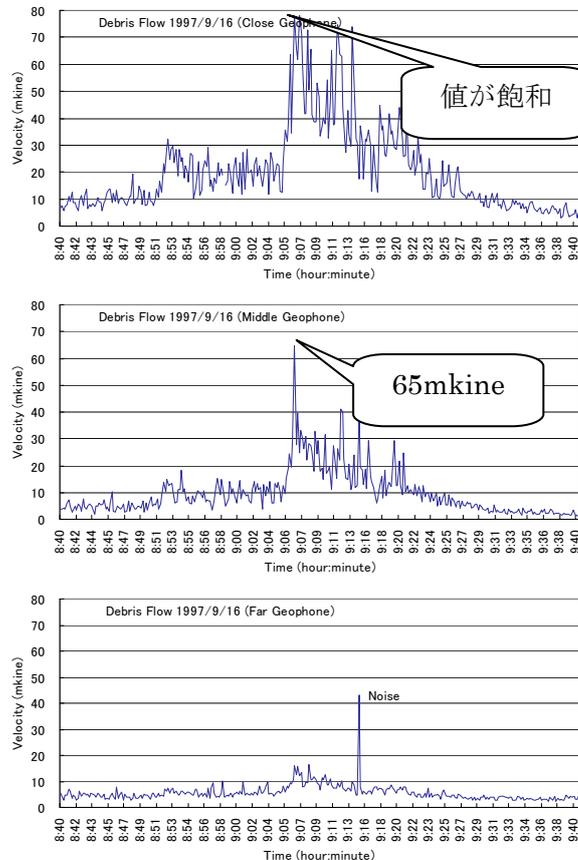


図3 各振動センサーの地盤振動速度の時刻歴波形

センサー据付地点近傍の地盤振動減衰特性

同溪流の据付地点から想定される土石流の流心線への最短距離を結ぶ測線において、地盤振動の内部減衰定数を調査した。

図4に検討位置を示す。図の直線で示した位置が調査測線である。弾性波探査用の速度計（ジオフォン）を野尻川5号砂防堰堤堤防と広場の境界から2m間隔で46m離れた位置まで配置し、右岸側境界においてかけやで地盤を振動させた（図5）。

計測した結果を縦軸に振幅、横軸に距離を示したグラフにプロットし、距離減衰式を用いて振動の減衰傾向を調べた（図6）。

以下、振動の距離減衰式を示す。

$$P = U \cdot D^{-n} \cdot e^{-\alpha D}$$

P : 距離 D (m) の地点における振動振幅
 U : 基準点振幅
 α : 媒質の内部減衰係数
 n : 幾何減衰定数

n を0.75、 α を0.01~0.06まで変化させて、野尻川5号砂防堰堤の地盤の振動減衰傾向を比較した（図7）。その結果、当該地点の減衰傾向を最もよく表現する内部減衰係数 α は0.02とすることが適切と考えられる。

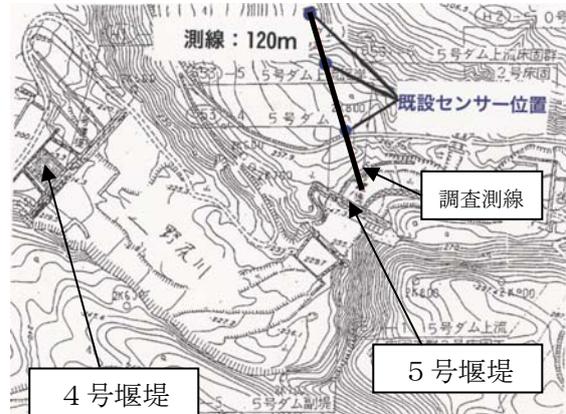


図4 桜島野尻川5号砂防堰堤近傍における地盤内部減衰調査の測線



図5 地盤内部減衰定数調査手法の様子

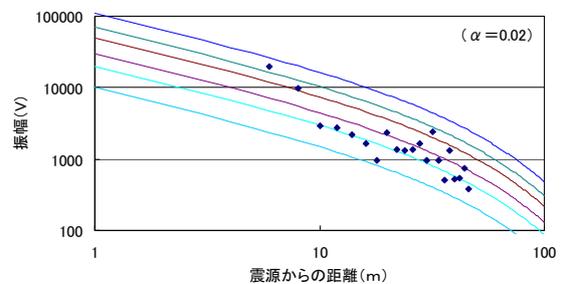


図6 地盤内部減衰調査手法による地盤振動の減衰傾向 ($\alpha = 0.02$)

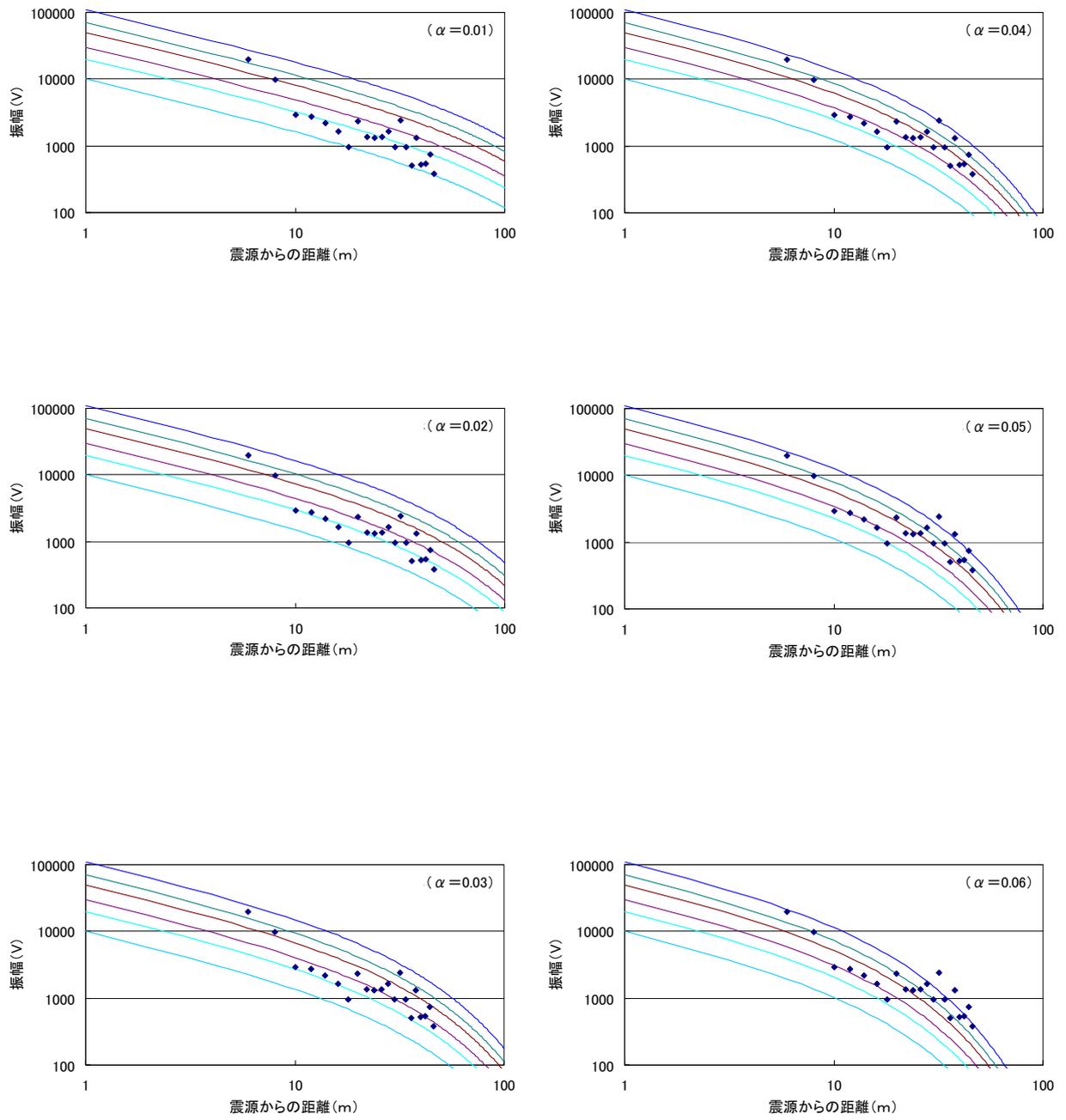


図7 桜島野尻川5号砂防堰堤の振動の減衰傾向

事例 2 - 1

土石流の発生溪流	富士山大沢川
土石流の発生日	2000年11月21日 1時50分頃
ピーク流量 (Q^*)	$8.3 \text{ m}^3/\text{sec}$
振動の大きさ (P^*)	加速度: 3.5 gal (上下方向成分) 速度: 14.5 m/kine (上下方向成分)
検知センサー設置位置の 流心からの距離 (D^*)	2.5 m
地盤種別	岩盤
土石流のタイプ	石礫型
地盤の内部減衰定数 (α^*)	0.03
幾何減衰定数 (n^*)	0.75
データ取得者	国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所 土木研究所
留意事項	地盤の内部減衰定数は別表から推定した。

事例 2 - 2

土石流の発生溪流	富士山大沢川
土石流の発生日	2000年11月21日 3時21分頃
ピーク流量 (Q^*)	1423 m ³ /sec
振動の大きさ (P^*)	加速度：60 gal (上下方向成分) 速度：91 m/kine (上下方向成分)
検知センサー設置位置の 流心からの距離 (D^*)	25 m
地盤種別	岩盤
土石流のタイプ	石礫型
地盤の内部減衰定数 (α^*)	0.03
幾何減衰定数 (n^*)	0.75
データ取得者	国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所 土木研究所
留意事項	地盤の内部減衰定数は別表から推定した。

「事例 2-1、2-2」に関する詳細状況

平成 12 年 11 月 20 日に富士山大沢川において発生した土石流では、岩樋観測所上流地点において河道の流心から 25m 離れた位置に設置した 1 基の振動センサーによって、流下する土石流の振動を観測したデータが得られている。また同観測所の上流、下流地点に設置されたビデオによって土石流の流量も振動と同期的に観測されている（図 1、図 2 参照）。

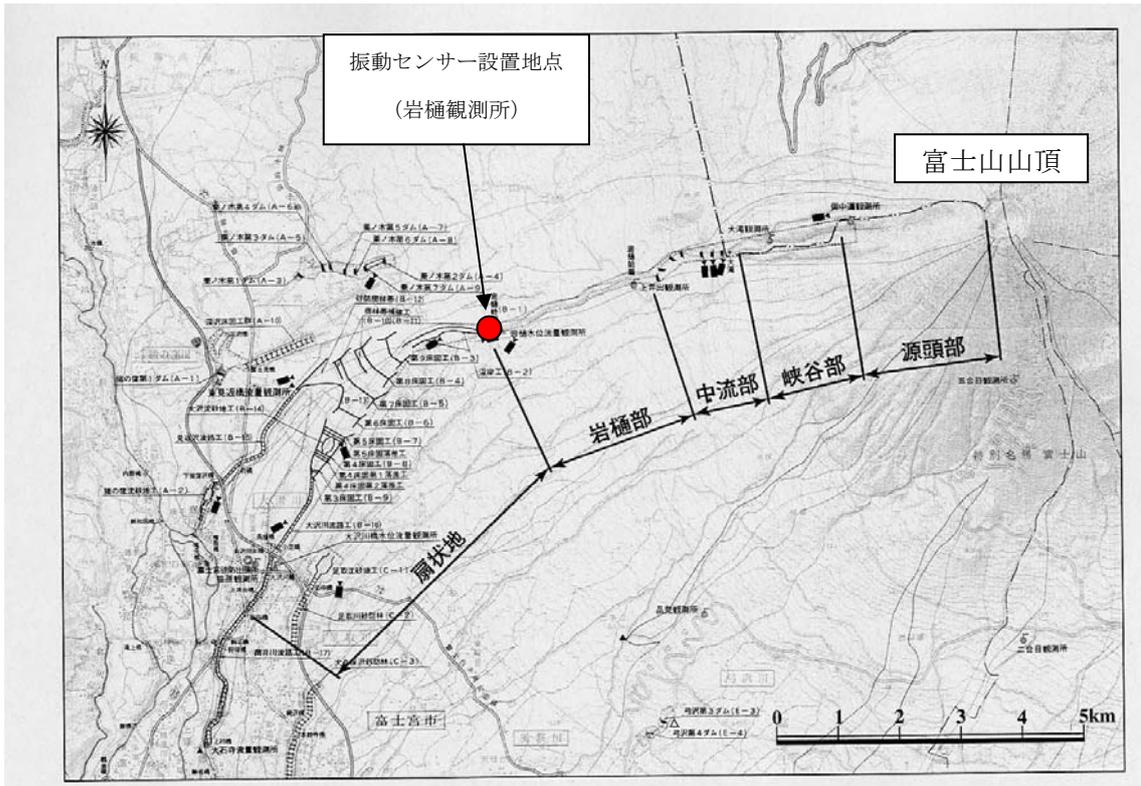


図 1 富士山大沢川と振動センサー設置位置図

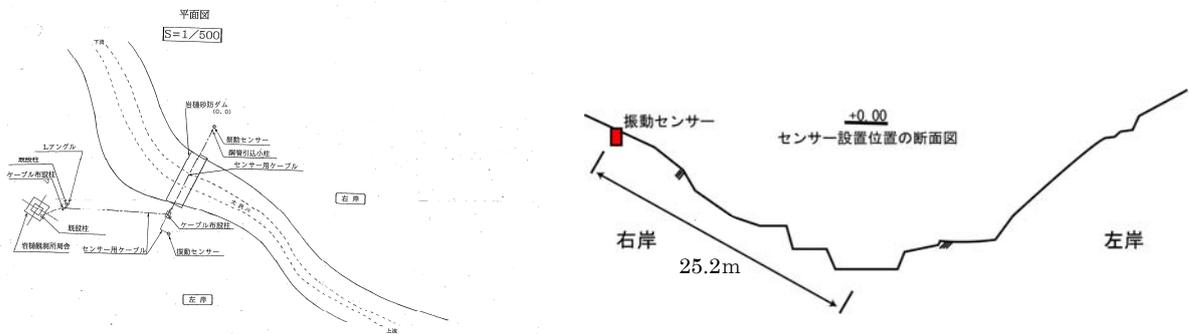


図 2 振動センサー設置状況

土石流の流量と振動の大きさの関係

図3に富士山大沢川岩樋観測所に設置されたビデオカメラによって判読した土石流ハイドログラフを示す。土石流観測ビデオは鮮明でなく、また目標物の確認も困難であったため、画像の中で判別できるものを抽出して、ハイドログラフを求めた。これより、富士山大沢川で発生した土石流は2つの段波が確認できる。図より、1:50 ごろに $83\text{m}^3/\text{sec}$ 、3:20 ごろに $1423\text{m}^3/\text{sec}$ のピーク流量があったことが確認できた。

図4に岩樋観測所近傍に設置された振動センサーの時刻歴波形を示す。これより、1:50 ごろに上下方向で最大 35gal (14.5mkine)、3:20 ごろでは 60gal (91mkine) を観測した。

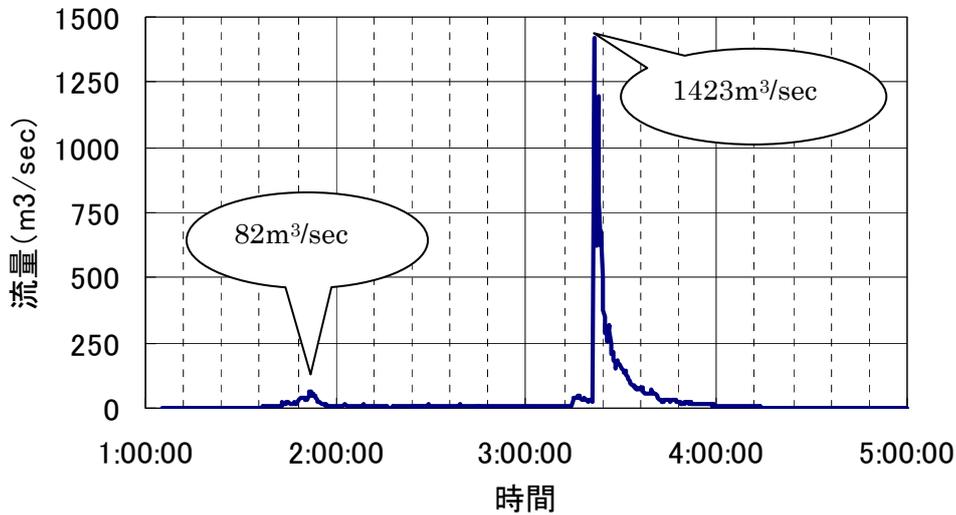


図3 岩樋観測所の土石流のハイドログラフ

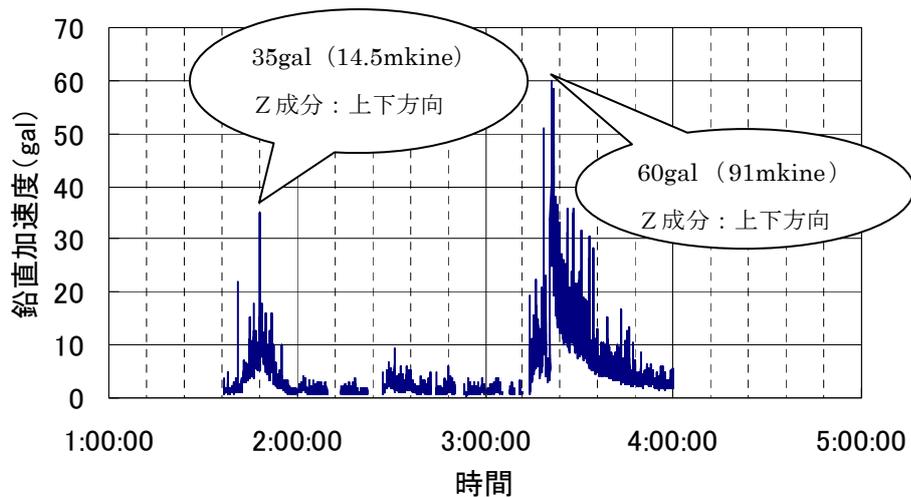


図4 岩樋観測所の土石流の振動時刻歴波形

別表 地盤材料と α の関係

地盤材料区分	α
岩盤	0.03
風化岩～土	0.02～0.04
礫混じり土	0.05～0.09

富士山大沢川では地盤内部減衰調査手法を行っていないため、上に示す表より、 α を推定する。

富士山大沢川岩樋観測所周辺において表層は溶岩で構成されている。よって、表より地盤材料区分は「岩盤」と考えられる。これより、地盤内部減衰定数 α は0.03と推定した。

事例 3

土石流の発生渓流	長野県南安曇郡安曇村上高地 焼岳・上々堀沢
土石流の発生日	1997年7月17日 13時26分頃
ピーク流量 (Q^*)	130 m ³ /sec 程度
振動の大きさ (P^*)	加速度: 2.7 gal (上下方向成分)
検知センサー設置位置の 流心からの距離 (D^*)	12 m
地盤種別	礫混じり土
土石流のタイプ	石礫型
地盤の内部減衰定数 (α^*)	0.09
幾何減衰定数 (n^*)	0.75
データ取得者	国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所 京都大学防災研究所
留意事項	

「事例3」に関する詳細状況

平成9年7月17日に焼岳・上々堀沢において発生した土石流では、河道の流心から12m離れた位置に設置した1基の振動センサーによって、流下する土石流の振動を観測したデータが得られている。また同溪流に設置された流速計、水位計によって土石流の流量も振動と同期的に観測されている（図1、図2参照）。

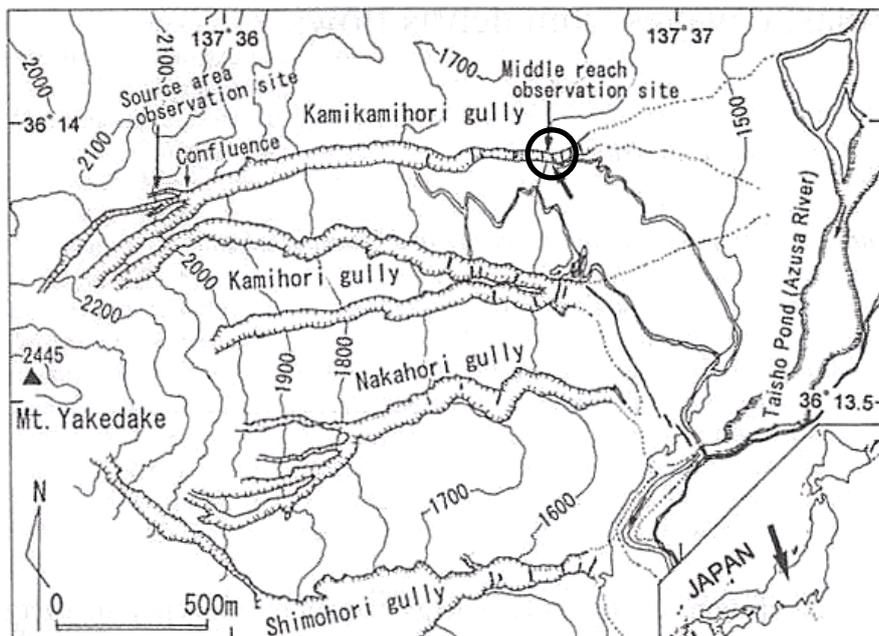


図1 焼岳・上々堀沢と振動センサー設置位置図¹⁾

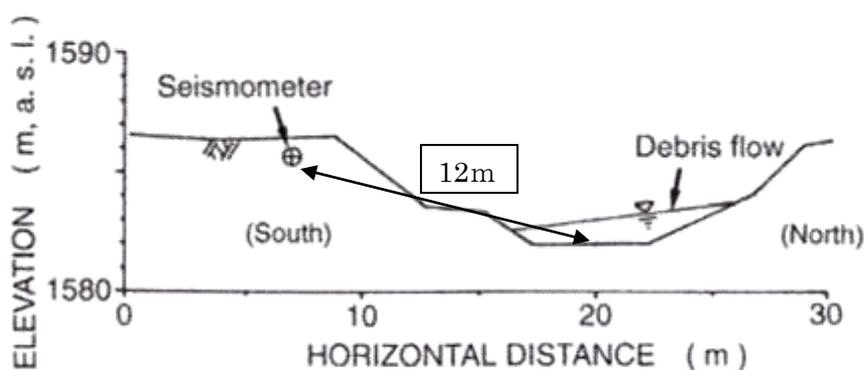


図2 振動センサー設置状況¹⁾

土石流の流量と振動の大きさの関係

図3に流速計、水位計から求めた土石流ハイドログラフおよび振動加速度の時刻歴波形を示す。13:26ごろに流量 $130\text{m}^3/\text{sec}$ 程度の土石流が流下し、河道の流心から12m離れたセンサーで振動加速度 2.7gal が観測された。

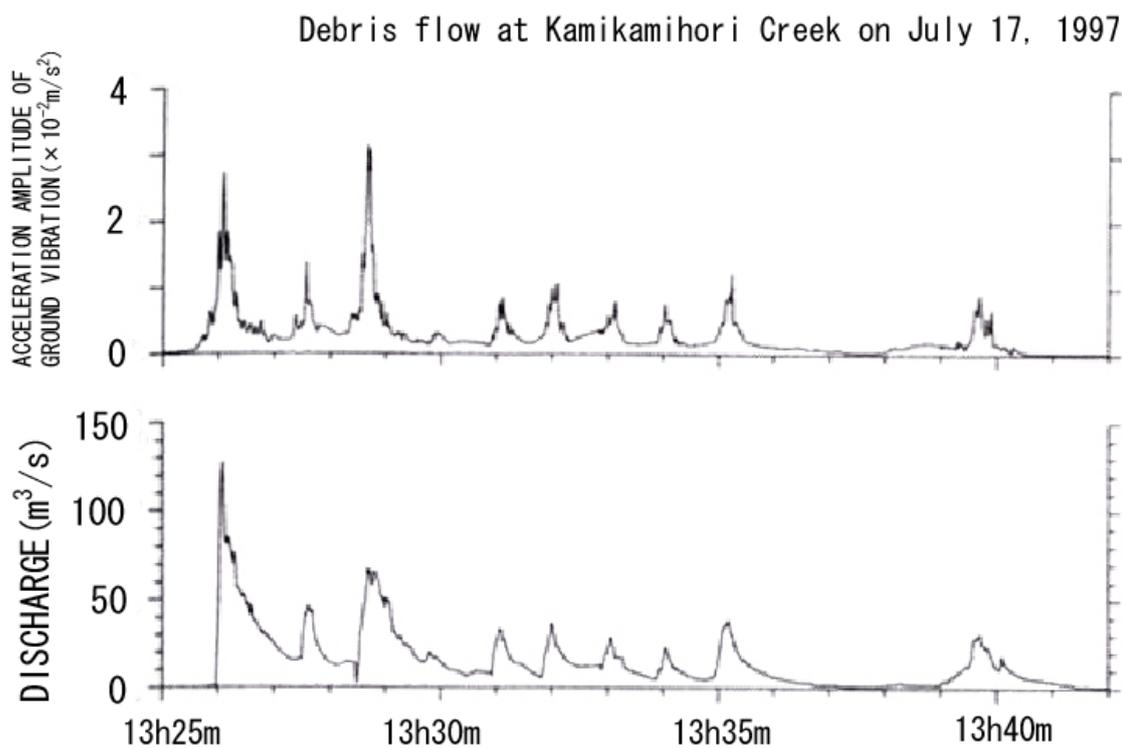


図-3 焼岳・上々堀沢の土石流のハイドログラフおよび振動時刻歴波形¹⁾

センサー据付地点近傍の地盤振動減衰特性

同溪流の据付地点から想定される土石流の流心線への最短距離を結ぶ測線において、地盤振動の内部減衰定数を調査した。

図4に検討位置を示す。図の赤線で示した位置が実験位置である。弾性波探査用の速度計（ジオフォン）を上々堀沢の河道の流心（図5）から2～3mの間隔で23m離れた位置まで配置し、河道の流心においてかけやで地盤を振動させた。

計測した結果を縦軸に振幅、横軸に距離を示したグラフにプロットし、距離減衰式を用いて振動の減衰傾向を調べた（図6）。

以下、振動の距離減衰式を示す²⁾。

$$P = U \cdot D^{-n} \cdot e^{-\alpha D}$$

P : 距離 D (m) の地点における振動振幅

U : 基準点振幅

α : 媒質の内部減衰係数

n : 幾何減衰定数

n を0.75、 α を0.03～0.013まで変化させて、焼岳・上々堀沢周辺の地盤の振動減衰傾向を比較した（図7）。その結果、当該地点の減衰傾向を最もよく表現する内部減衰係数 α は0.09とすることが適切と考えられる。

参考文献

1)H.Suwa & J.Akamatsu : Energy radiation by elastic waves from debris flows , Debris-Flow Hazards Mitigation : mechanics, Prediction, and Assessment, Rickenmann & Chen(eds) , ©Millpress , pp.895-904,2003.

2)塩田正純(1986)「公害振動の予測手法」, 井上書院, 237p.



図4 焼岳上々堀沢における地盤内部減衰調査の測線



図5 焼岳上々堀沢の河床の状況

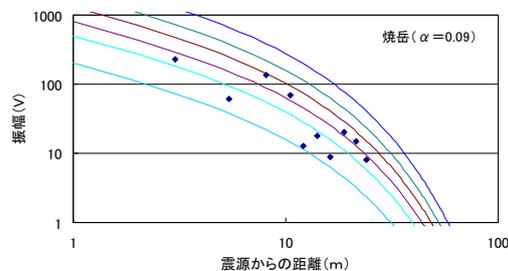


図6 振動の減衰傾向 ($\alpha = 0.09$)

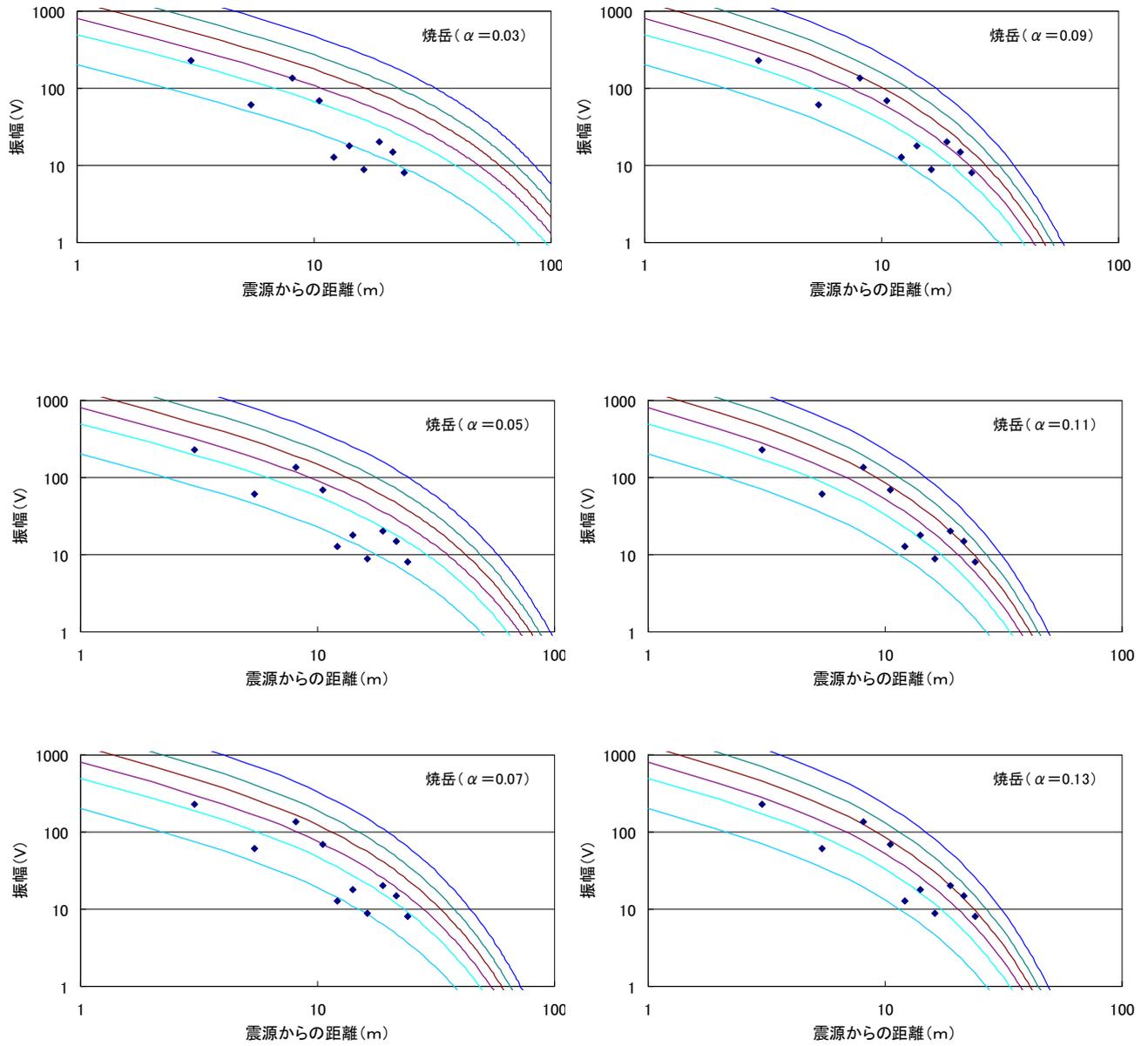


図7 焼岳・上々堀沢の振動の減衰傾向

巻末資料2 土石流の流量と振動の関係式における係数の同定根拠について

本マニュアルP.11に、既往の観測事例から求めた振動 P と土石流の流量 Q の関係式、 $P = KQ^{1.5}$ について示したが、式中の $K=0.00317$ の根拠を図1に示す。グラフの縦軸は振動の大きさ (mkine)、横軸は土石流流量 (m^3/sec)、である。

グラフの色線は前述した土石流の振動と流量の関係式に基づき、 $K=0.001, 0.003, 0.005, 0.01, 0.03, 0.05$ の時の、土石流の振動と流量の関係を示している。これより、 K の値は $0.003 \sim 0.01$ までの範囲にあると考えられる。しかし、既存の観測事例と最もよくフィッティングする値は $K \approx 0.003$ となる。

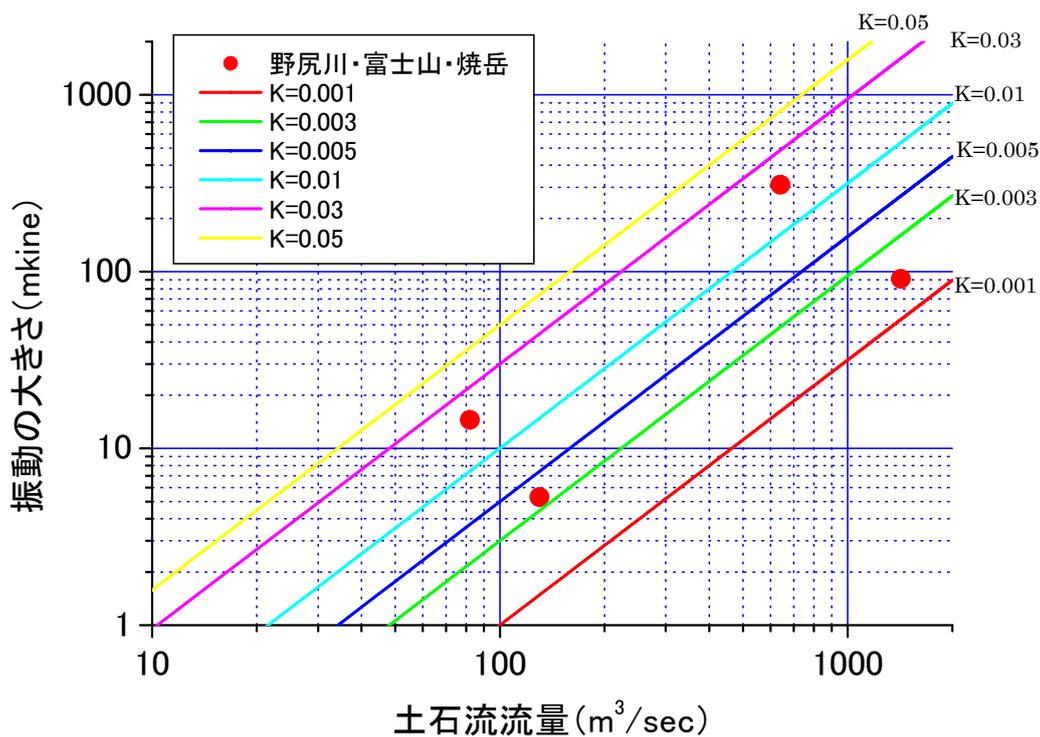


図1 既往の土石流の振動事例から $P = KQ^{1.5}$ の線を引いたもの

巻末資料3 地盤内部減衰調査手法

センサー設置位置から河道の流心に向かって地盤振動計測器を設置する。そして河道の流心において地盤を振動させ、振動の距離による減衰を把握する。データとして得られた距離減衰の傾向から地盤の内部減衰定数を求める。

この手法の手順および詳細を以下に示す。

- (1) 現地実験
- (2) 実験結果の整理
- (3) 地盤内部減衰定数の推定

1) 現地実験

まず振動センサー設置位置を決定し、河道の流心からセンサー設置地点までの斜距離Dを計測する(図1)。次に振動センサー設置位置から河道の流心線に向かって、直線的に地盤振動計測器を設置する(図2)。

地盤振動計測器は河道の流心から振動センサーをまたぐような形で複数設置する。計測器の設置間隔は2～3mが望ましい。

※ 図2では仮に計測器を5つ設置した例を示している。

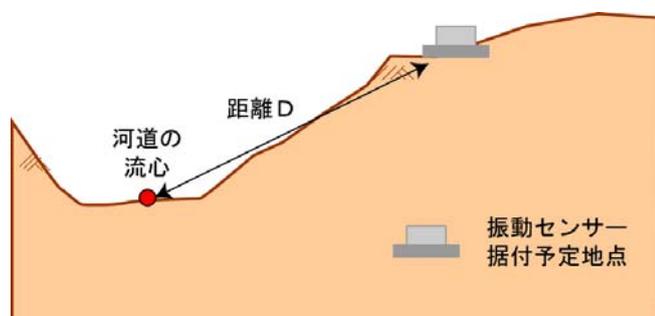


図1 センサー設置位置の設定

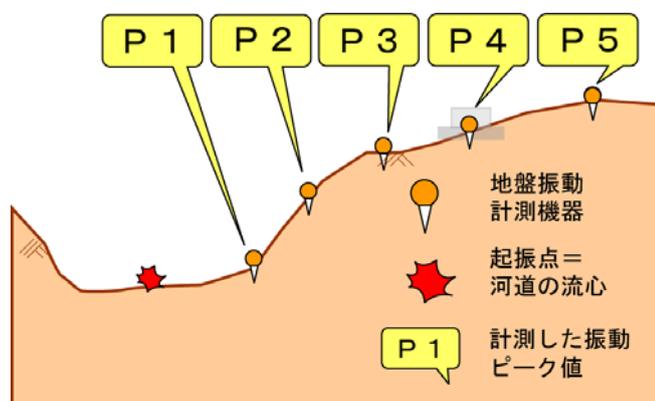


図2 地盤振動の減衰特性を調査する測線における地盤振動計測器の配置

計測器設置後はかけや(大きな木槌)等で地盤を振動させる。地盤に振動を与える方法は必ずしもかけやを用いる必要はないが、起振点からもっとも離れた計測器に振動が伝達する程度の起振力を有していなくてはならない。

なお、計測のばらつきを抑えるため、起振は複数回行うこととする。

(2) 実験結果の整理

図3のように、縦軸に各計測器の振動の大きさ (P)、横軸に起振源からの距離 (D) を示したグラフに実験結果をプロットする。

(3) 地盤内部減衰定数の推定

図4に地盤内部減衰定数の推定方法を示す。推定には振動の距離減衰式を利用して、(2)のグラフに距離減衰曲線を描く。以下に振動の距離減衰式を示す。

$$p = p' \left(\frac{d}{d'} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(d-d')}$$

p' , d' : 起振源近傍での振動のピーク値と起振点までの距離、 p , d : 任意の位置での振動のピーク値と起振点までの距離 n : 幾何減衰定数 (=0.75)、 α : 地盤内部減衰定数

この式の p' に、起振点近傍 d' での振動の大きさを数パターン設定する (図4左上)。数パターン設定する理由として、計測値にばらつきが生じると、1本の距離減衰曲線で α を目視によって推定することは難しいためである。グラフのプロットに適合するような α (図4では α = 小・中・大の3種類) を設定し、 d の値を変化させることで数本の距離減衰曲線を描く。

この場合、図4より α = 「中」は他の2つと比べて、プロットした結果に最も合致していると考えられる。よって、この地盤の地盤内部減衰定数は「中」と見なすことが出来る。

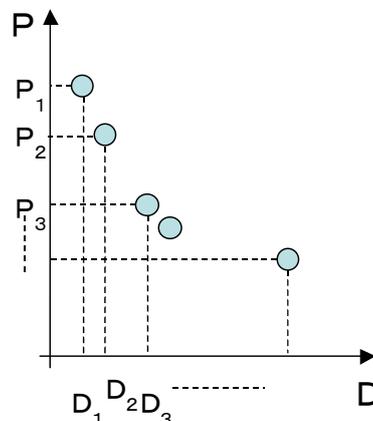


図3 振動の距離減衰のグラフ化

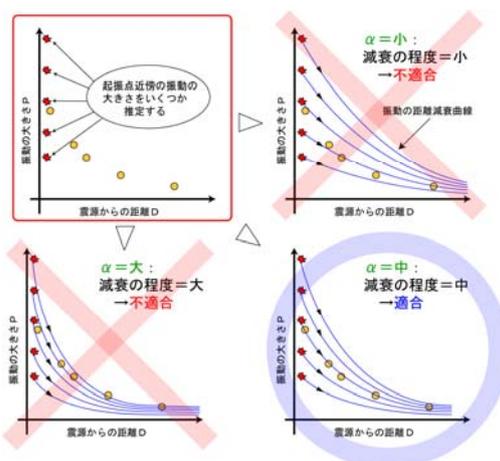


図4 地盤内部減衰定数の推定

巻末資料4 地盤内部減衰定数 (α) の調査事例について

土木研究所では、表1に調査実施サイトとして示す土石流が発生する溪流等のサイトにおいて、地盤内部減衰特性調査を実施した。各サイトにおいて実施した地盤内部減衰特性調査結果を図1～6に示す。横軸は震源からの距離 (m)、縦軸は振動センサーの出力電圧値である。電圧値は定数倍されることにより、振動強度に変換されるが、ここでは減衰特性のみを考慮するため、電圧値のまま示すこととした。また、図1～6には、各サイトの調査結果に対して様々な α の値に対応する減衰曲線を描き、土木研究所が目視によって最適であると同定した減衰曲線を示した。このようにして得た最適な α の値は、表1の最右列に列挙した。

α の値は0.02～0.09の間で大きくばらつく結果となった。しかし、振動の内部減衰特性への影響という観点で大きく3つの地盤区分に分けたところ、 α の値は、それぞれの区分に対してあるまとまりの分布を示した。礫混じり土ではやや高い0.05～0.09という値が、岩盤および風化岩～土では0.02～0.04という低い値が得られた。

表1 各サイトにおける地盤分類と地盤内部減衰定数 α

サイト	地盤分類	α
野尻川8号堰堤上流部	岩盤	0.03
野尻川5号堰堤右岸	風化岩～土	0.02
土研構内		0.04
第1黒神川	礫混じり土	0.05
浦川・唐松沢		0.06
焼岳・上々堀沢		0.09

以下、図1～図6に各サイトの振動減衰傾向と内部減衰定数の結果について示す。

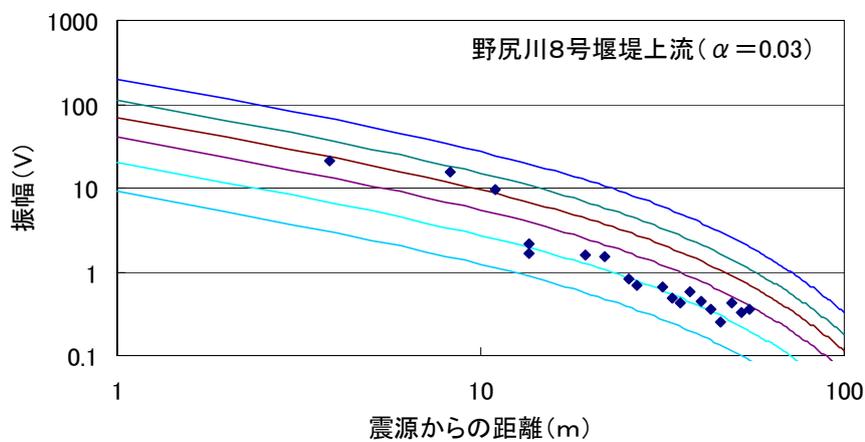


図1 野尻川8号堰堤上流における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.03$)

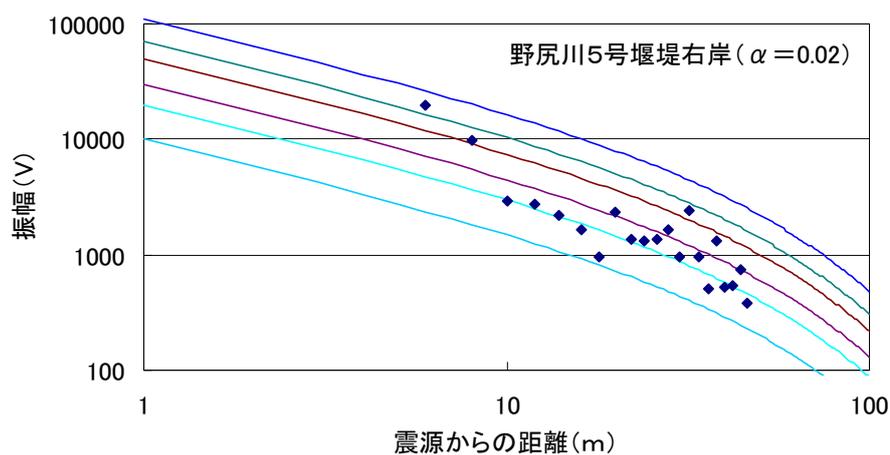


図2 野尻川5号堰堤における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.02$)

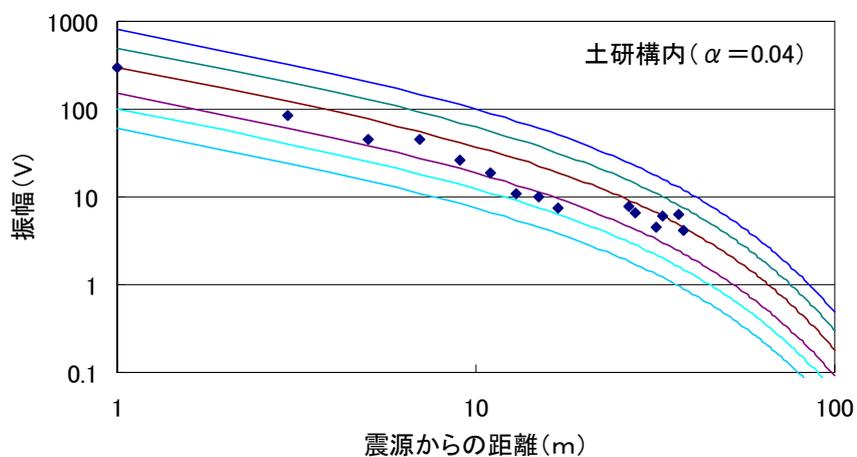


図3 土研構内における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.04$)

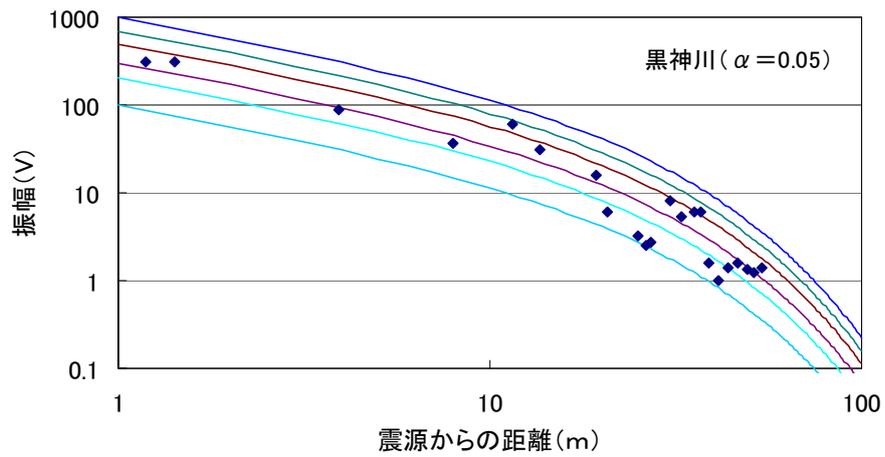


図4 第1黒神川における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.05$)

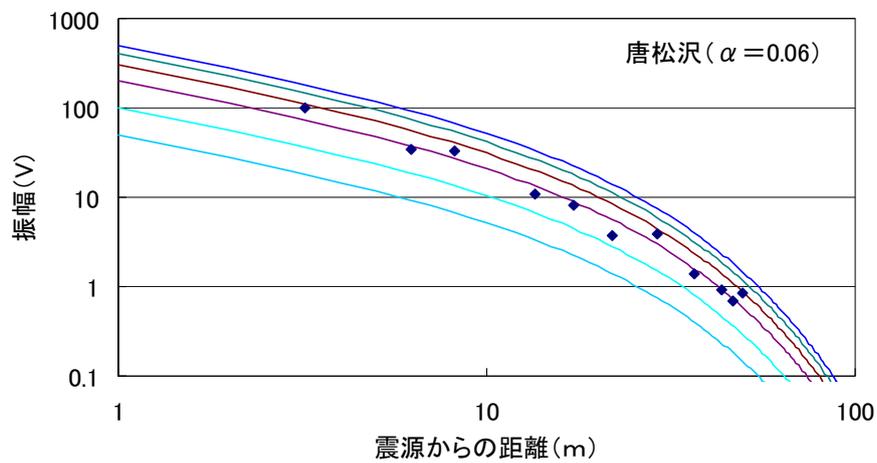


図5 浦川唐松沢における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.06$)

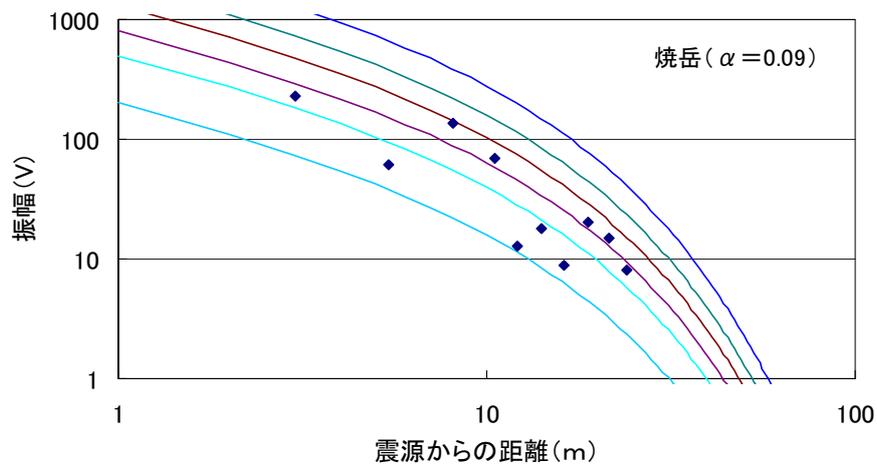


図6 焼岳・上々掘沢における振動減衰傾向と内部減衰定数 ($\alpha = 0.09$)

巻末資料5 検知基準の設定事例

ここでは、任意の溪流Aに振動センサーを設置した場合について、検知基準を設定するために実施する作業内容を示す。

図1に検知基準の設定フローを示す。検知基準を設定する際には以下に示す(1)～(3)の作業を行う必要がある。

- (1) 検知対象とする土石流の検知対象規模の設定
- (2) センサー据付位置の決定(設置距離の決定)
- (3) 検知基準の設定(3A, 3B)

ここで、各項目の詳細について説明する。

- (1) 検知対象とする土石流の検知対象規模の設定

溪流Aに設置する振動センサーは、下流の保全対象に被害を与え得る土石流規模が検知できれば良い。

溪流Aで土石流が発生した場合、下流の保全対象に被害を及ぼす土石流規模を氾濫シミュレーション等で検討を行った結果、 $100\text{m}^3/\text{sec}$ であることが分かった。よって、検知対象土石流規模を $100\text{m}^3/\text{sec}$ とした。

- (2) センサー据付位置の決定(設置距離の決定)

センサー設置位置は、なるべく河道に近い位置でセンサー自身が土石流に被災しない位置とする。現場の状況及びメンテナンス時の利便性も考慮し、工事用道路の近傍に設置することとした。前述した項目に該当する位置は、河道の流心から斜距離で12m離れた位置である(図2、図3参照)。

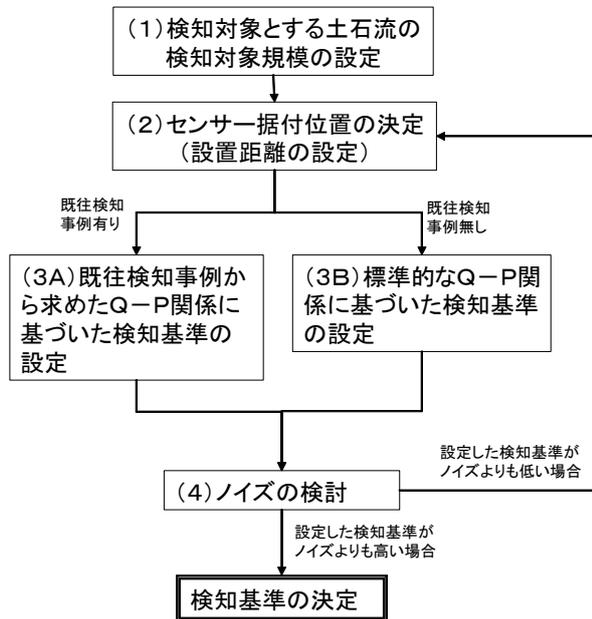


図1 検知基準の設定フロー

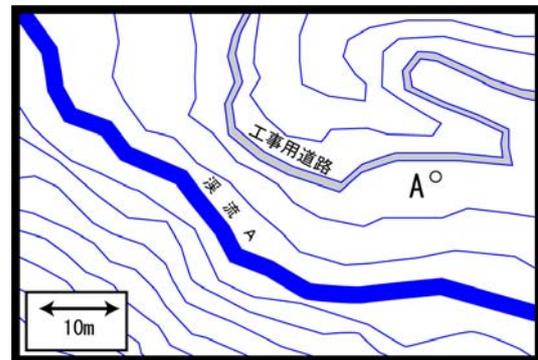


図2 センサー設置位置(A)

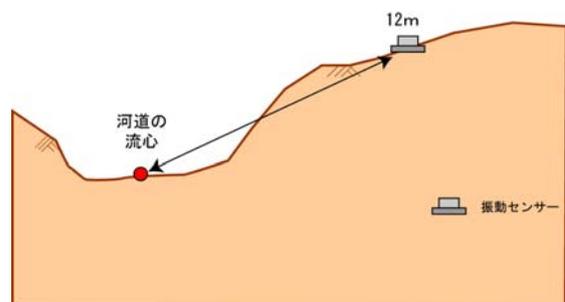


図3 振動センサー設置位置と距離

(3) 検知基準の設定 (3A, 3B)

この溪流では過去に土石流の検知事例が存在しないため、「3B：標準的なQ-P関係に基づいた検知基準の設定」を用いる。

① P_{25m} の決定

マニュアル P.11 の式 (2) より、検知対象土石流規模によって河道中心から標準距離 (25 m) だけ離れた地点の振動の大きさを推定する。以下に式 (2) を示す。

$$P_{25m} = 0.003 Q^{1.5} \quad \dots (2)$$

ここで、検知対象土石流規模 $100\text{m}^3/\text{sec}$ を代入すると、

$$P_{25m} = 0.003 Q^{1.5} = 0.003 \times 100^{1.5} = 3(\text{mkine})$$

よって、標準距離での振動の大きさは 3mkine であることが分かった。

② 地盤内部減衰定数 α の推定

地盤内部減衰定数 α は「巻末資料 3」に基づいて推定する。

河道の流心から振動センサー設置位置に向かって振動計測器 (ここでは速度を計測) を $2 \sim 3\text{m}$ 間隔で設置する (図 3 参照)。振動計測器は現場の状況に合わせて、河道の流心から 1m 、 4m 、 7m 、 10m 、 12m 、 15m の位置に設置した。

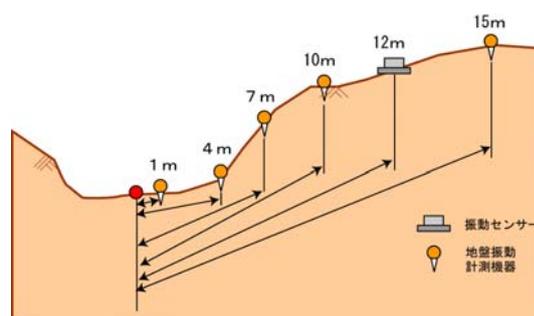


図 4 α を求めるための現地実験における振動計測器の設置例

振動計測器の設置後は流心において、かけや (木製のハンマー) で地盤をたたいて振動を発生させた。その結果、振動計測器毎に P 1 ~ P 6 の振動 (振動の大きさ) が得られた (図 4 参照)。

この結果をグラフにプロットし、6 パターンの振動の距離減衰曲線を描いたものを図 5 に示す。振動の距離減衰曲線を描くためには、基準となる振動の大きさを仮定しなければならない。距離減衰式を以下に示す。

$$p = p' \times \left(\frac{d}{d'} \right)^{-n} \times e^{-\alpha(d-d')}$$

p : 震源から d 離れた場所の振動の大きさ d : 震源からの距離 p' : 震源から d' 離れた場所の振動の大きさ (基準の振動とする) d' : 震源からの基準の振動までの距離 α : 地盤内部減衰定数 n : 幾何減衰定数

震源から 1m 離れた位置で 60mkine 、 100mkine 、 150mkine 、 300mkine 、 500mkine 、

800mkine の基準となる振動 p' を仮定し、 $n=0.75$ 、 $\alpha=0.02$ 、 0.03 、 0.04 の3パターンについて、振動の距離減衰曲線を描いた*。図5にその結果を示す。図より $\alpha=0.03$ のグラフが、かけやでたたいた地盤振動の減衰をよく表していることがわかり、振動センサー設置地点の地盤内部減衰定数は 0.03 であることが分かった。

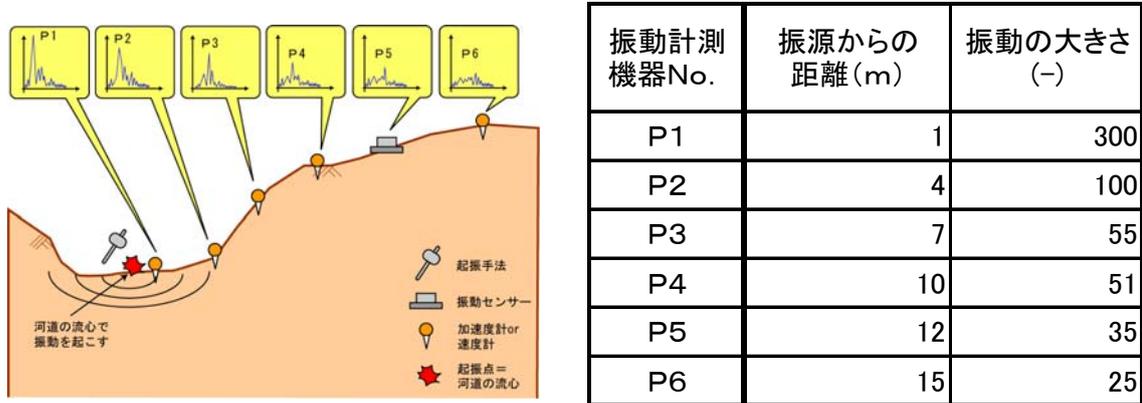


図5 地盤内部減衰調査手法の結果

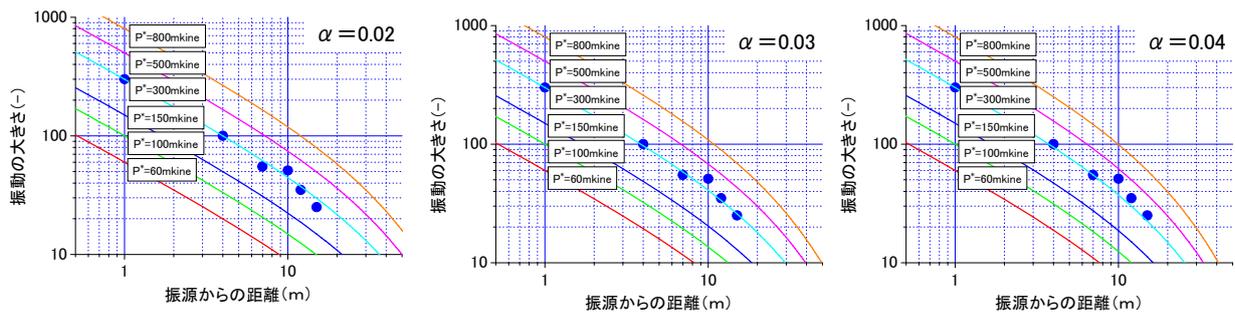


図6 振動の距離減衰特性 (左: $\alpha=0.02$ 、中: $\alpha=0.03$ 、右: $\alpha=0.04$)

*基準となる振動の大きさが 60mkine 、震源からの距離が 1m 、 $n=0.75$ 、 $\alpha=0.03$ の場合、震源から 5m と 10m での振動の大きさは以下のとおりとなる。

$$p = p' \times \left(\frac{d}{d'}\right)^{-n} \times e^{-\alpha(d-d')} = 60 \times \left(\frac{5}{1}\right)^{-0.75} \times e^{-0.03(5-1)} = 15.91$$

$$p = p' \times \left(\frac{d}{d'}\right)^{-n} \times e^{-\alpha(d-d')} = 60 \times \left(\frac{10}{1}\right)^{-0.75} \times e^{-0.03(10-1)} = 8.15$$

D の値を連続的に変化させて、それらを線で結んだものが距離減衰曲線となる。

③検知基準の決定

マニュアル P.12 の式 (6) より、設置距離 $D(\text{m})$ での、検知対象規模の土石流によって伝えられる振動の大きさ (P) を推定する。以下に式 (6) を示す。

$$P = P_{25m} \cdot \left(\frac{D}{25}\right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(D-25)} \quad \dots (6)$$

P_{25m} : 標準距離 (25m) だけ離れた地点の振動の大きさ、 α : 地盤内部減衰定数

D : 震源からの距離 (=12m)、 n : 幾何減衰定数 (=0.75)

ここで①、②より $P_{25m} = 3$ 、 $\alpha = 0.03$ であるため、式に代入すると、

$$\begin{aligned} P &= P_{25m} \cdot \left(\frac{D}{25}\right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(D-25)} \\ &= 3 \cdot \left(\frac{12}{25}\right)^{-0.75} \cdot e^{-0.03(12-25)} \\ &= 3 \times 1.734 \times 1.477 = 7.683 \end{aligned}$$

よって、溪流Aで流量 $100\text{m}^3/\text{sec}$ の土石流による振動を河道から 12m離れた位置で検知する場合、検知基準は 8mkine である。

ここで、現地で実際にノイズの検討を行った。振動センサーの近傍には工事用道路があり、自動車の通行による振動ノイズが考えられる。よって振動センサーでその振動を計測したところ 10mkine を観測した。この場合、この地点で振動センサーを用いる場合、誤作動が多発することが考えられるため、別の箇所で検討を行うこととした。

(2) ' センサー据付位置の決定 (設置距離の決定)

センサー据付け位置 (A) では、振動ノイズによる誤作動が多発する可能性がある。よって、工事用道路から離れており、かつ、なるべく河道に近い位置でセンサー自体が土石流に被災しない位置を選定する。前述した条件を満たす箇所について

(B) (河道の流心から斜距離で 12m離れた位置) を候補箇所とする (図7、8)。

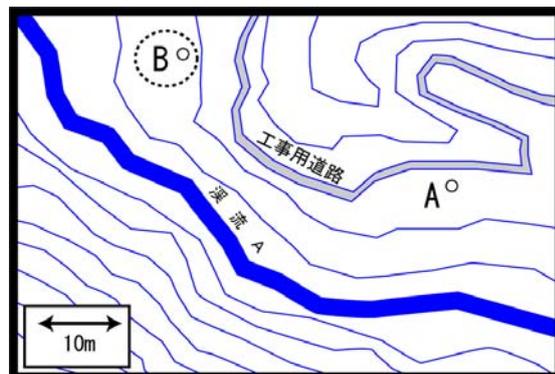


図7 振動センサー設置位置 (B)

(3) ' 検知基準の設定 (3A, 3B)

この溪流では過去に土石流の検知事例が存在しないため、「3B: 標準的なQ-P関係に基づいた検知基準の設定」を用いる。

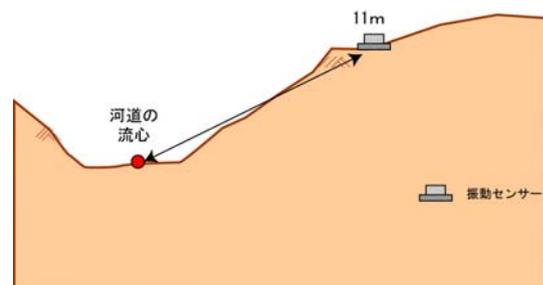


図8 振動センサー設置位置と距離

①' P_{25m} の決定

①と同様である。

②' 地盤内部減衰定数 α の推定

作業内容は同様なのでここでは省略する。地盤内部減衰定数を調査した結果、 $\alpha = 0.03$ であった。

③' 検知基準の決定

マニュアル P.12 の式 (6) より、設置距離 $D(\text{m})$ での、検知対象規模の土石流によって伝えられる振動の大きさ (P) を推定する。以下に式 (6) を示す。

$$P = P_{25m} \cdot \left(\frac{D}{25}\right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(D-25)} \quad \dots (6)$$

P_{25m} : 標準距離 (25m) だけ離れた地点の振動の大きさ、 α : 地盤内部減衰定数

D : 震源からの距離 (=12m)、 n : 幾何減衰定数 (=0.75)

ここで①'、②' より $P_{25m} = 3$ 、 $\alpha = 0.03$ であるため、式に代入すると、

$$\begin{aligned} P &= P_{25m} \cdot \left(\frac{D}{25}\right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(D-25)} \\ &= 3 \cdot \left(\frac{11}{25}\right)^{-0.75} \cdot e^{-0.03(11-25)} \\ &= 3 \times 1.851 \times 1.522 = 8.452 \end{aligned}$$

よって、溪流Aで流量 $100\text{m}^3/\text{sec}$ の土石流による振動を河道から 11m離れた位置で検知する場合、検知基準は 8mkine である。

ここで、現地で実際にノイズの検討を行った。振動センサーの近傍には工事用道路があり、自動車の通行による振動ノイズが考えられる。よって振動センサーでその振動を計測したところ 6mkine を観測した。この地点で振動センサーを用いる場合、振動ノイズによる誤作動の可能性は低いと考えられるため、溪流Aで振動センサーを設置する場合には (B) 地点に据付けることが適当である。

巻末資料 6 振動検知式土石流センサーの検知感度の現地確認方法

(1) 設置直後の確認

振動センサー設置直後、河道の流心に地盤振動計測機器を設置し、その近傍で地盤を振動させ、起振源近傍並びに振動センサー設置地点で地盤振動を観測する。実施後は起振源近傍、振動センサー設置地点で観測された振動の大きさ $P1$ 、 $P2$ (図 1 では $P1$: 起振源近傍、 $P2$: 振動センサー) を確認する。地盤を振動させる方法は任意 (例えば、決まった重さの重りを決まった高さから落す) であるが、振動センサー設置地点に振動が伝達する程度の起振力を有していなければならない。このとき、 $P1$ と $P2$ の数値、および現地で用いた起振手法を記録しておく。なお、計測のばらつきを考慮して、振動観測は複数回行うこととする。

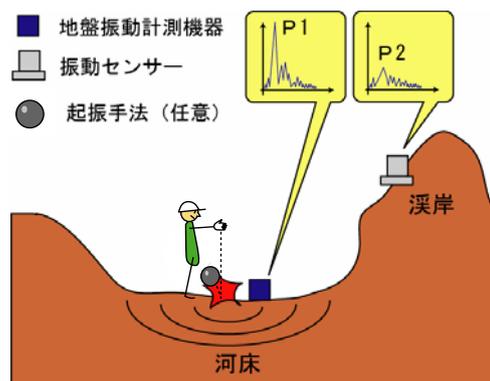


図 1 現地検知感度の確認方法の概念図

(2) 定期点検時の確認

定期点検の際には、センサー設置後に行った起振手法で同様の実験を行い $P1'$ と $P2'$ を観測する。ここで、定期点検時の $P1'$ と $P2'$ 及びセンサー設置直後の $P1$ と $P2$ を比較し、両者が同程度の振動の大きさであることを確認する。仮に $P1$ と $P2$ の比と、 $P1'$ と $P2'$ の比に著しい差異がみられた場合は、センサーに何らかのトラブルが発生している、もしくは現地の状況がセンサー設置直後と比べて変化している*可能性があるため、早急に対応することとする。

※例えば土石流の発生によって河床が大きく変動した場合、土石流の震源となる流心からセンサーまでの距離が変化するため、センサーに伝わる振動の大きさが河床変動前と比べて異なる可能性がある。