

◆特集：自然災害に対応する危機管理技術◆

振動計測による岩盤斜面不安定ブロック抽出手法の検討

浅井健一* 藤澤和範** 小山内信智*** 西本晴男****

1. はじめに

岩盤崩壊は表層崩壊に比べて発生頻度は低いものの、崩壊が発生した場合には甚大な被害が生じうるため、岩盤斜面の対策や監視が必要である。しかしながら、広範囲に分布するすべての岩盤斜面で対策や監視を行うことは技術面でもコスト面でも困難である。したがって、不安定岩盤ブロックを効率的かつ精度良く抽出することが岩盤斜面対策と監視のコストの適正化を図る上で重要である。

通常、不安定岩盤ブロックは、地表踏査等によって亀裂の分布や開口度などを把握することにより抽出する。しかしながら、地中部分の亀裂分布や開口度等を正確に把握するのは難しいため、不安定なブロックを的確に抽出するのは困難である。

このような問題に対し、常時生じている岩盤ブロックの微動（常時微動）及び人工的な振動を与えたときの岩盤ブロックの振動を計測することによって不安定岩盤ブロックを抽出できる可能性が示されている¹⁾。

本研究は、振動計測によって岩盤ブロックの不安定性を評価し、不安定岩盤ブロックを効率的かつ精度良く抽出する手法の確立をめざしており、これまでに実斜面の岩盤ブロックを人工的に不安定化させながら振動の計測を行い、岩盤の不安定性と振動状況の関係についての検討、実際の要対策岩盤斜面をモデルケースとして振動の計測・解析を行い、

不安定岩盤ブロックの抽出手法としての適用性についての検討、及び本手法の応用として岩盤接着工の効果判定についての検討を行った。

2. 計測技術の概要

本手法は、安定岩盤ブロックでは周囲の亀裂が密着していて基盤と一体となっ

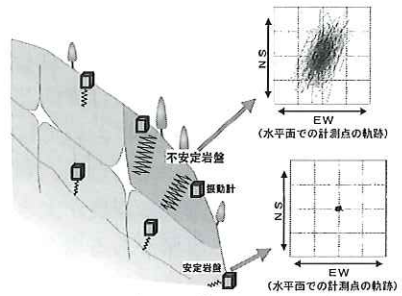


図-1 計測技術のイメージ

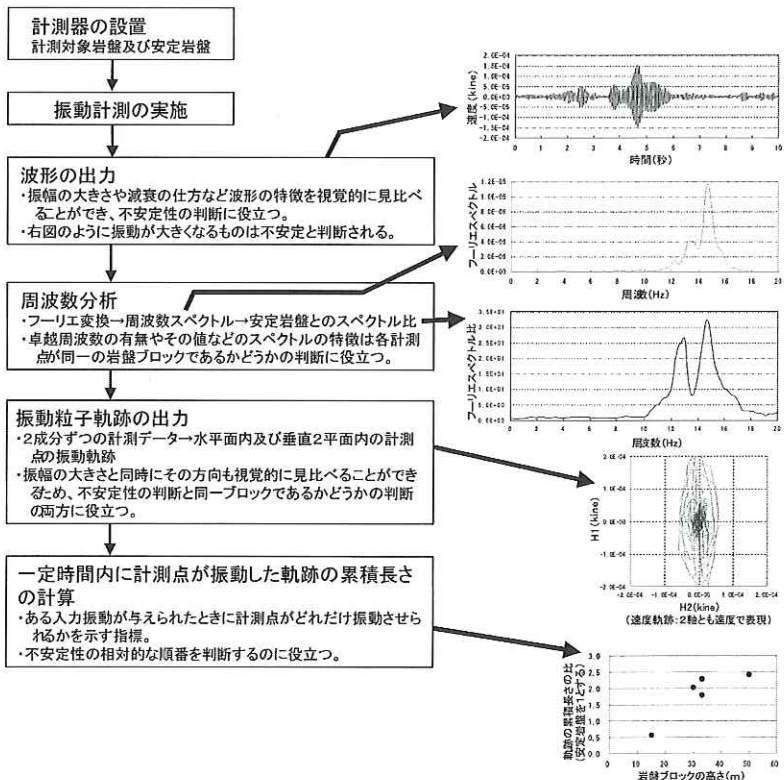


図-2 解析処理の流れ

いるのに対し、不安定岩盤ブロックでは亀裂の開口・劣化が進んで基盤と分離しているため、不安定岩盤の方が安定岩盤よりも大きく振動するという考えに基づいている。

図-1に示すように、対象岩盤に複数の計測点を設けて振動計を取り付け、岩盤ブロックの常時微動及び人工的な振動を与えたときの振動を計測する。このとき、入力振動の大きさが常に同じではないことを考慮し、原則として計測点のうち1つを安定岩盤に設けて比較する必要がある。

解析処理の流れを図-2に示す。この中で、振動粒子軌跡の出力までが一般的な解析であるが、本研究では、岩盤ブロックの不安定性を判断する指標として、入力振動によって岩盤の計測点が一定時間内に実際に動かされた軌跡の累積長さを求め、不安定性の判断材料としての適用性を検討している。

岩盤ブロックの振動は微少であるため、計測には微少な振動を捉えるのに適する速度型（振動を速度で捉える方式）の振動計を用いる。振動計の事例を写真-1に示す。本事例の機種は水平2方向及び上下方向の3成分を計測できるとともに、小型軽量に作られており、振動計の背面についたスパイク（大型の針）をドリルで削孔した穴に差し込み、周囲をパテで固める方法で容易に固定及び撤去できる。この機種は広い範囲の岩盤斜面を次々に計測していくのに適するように考案されたもので、設置作業はロックライミングによって、仮設の足場を構築することなく行うことができる（一方、パテによる固定のため同一計測点に振動計を長期間固定して計測し続けるのには向かない）。

3. 現場計測及び検討結果

本報文では、①岩盤の不安定性と振動状況の関係を検討するため、実斜面の岩盤ブロックを人工的に不安定化させて振動を計測した実験²⁾、②実際の要対策岩盤斜面をモデルケースとして振動の計測、解析を行い、不安定岩盤ブロックの抽出を試みて本手法の適用性を検討した事例^{3) 4)}、③本手法の対策工の効果判定への応用の適用性を検討するため、岩盤接着工施工前後の振動計測を行った事例⁵⁾ について結果を報告する。



写真-1 振動計の事例（右は岩盤に設置した状況）

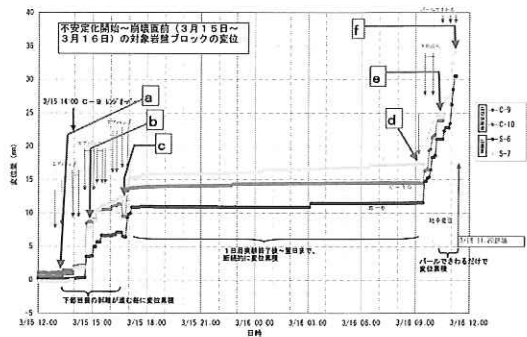
3.1 岩盤ブロックを不安定化させながら振動計測を行った実験的検討

実験計測を行った現場は、転倒型の岩盤崩壊⁶⁾が報告された和歌山県の日高郡日高町の岩盤斜面である。本地区の岩盤ブロックの1つ（高さ約4m、幅約2.5m、厚さ約1mの硬質砂岩で背後に開口亀裂が発達）を対象として、岩盤ブロックの下部をエアバッグで破碎する等の方法で人工的に不安定化させたり、一時的に安定化させたりしながら、

各段階で計測を行った。計測点配置は写真-2に示すように、対象ブロックの上下方向に2点、安定岩盤に1点を配置した。不安定化及び計測の過程を図-4に示す。用いた



写真-2 天鳥橋西地区計測現場（上）及び計測点配置（下）上は下写真に対して右側方から撮影。



測定段階	計測時の岩盤ブロックの特徴等	振動計配置
a	不安定化実験前の初期状態	
b	エアバッグ等の不安定化により、一気に変位累積	
c	岩盤ブロックをエアバッグにより逆に山側に押し上げ、裏面の岩盤と密着させる	振動計1：安定岩盤部 振動計2：岩盤ブロック下部
d	1日自然経過後、夜間に断続的に変位が累積した状態で連続測定	振動計3：岩盤ブロック上部
e	岩盤ブロックをバル等でさわるだけで変位累積	
f	崩壊寸前	

図-4 天鳥橋西地区における不安定化及び計測の過程

振動計は写真-1の機種で、固有振動数は8Hz、サンプリング間隔は5msec (200Hz)である。

得られた振動波形を図-5に示す。各測定段階とも示した波形はすべて車両走行等のない状態での計測結果である。不安定化開始前 (a) に比べて不安定化させた状態 (b) では対象岩盤ブロックの振幅が大きくなり、対象岩盤ブロックを山側へ押しつけて一時的に安定化させると (c) 振幅が小さくなっていることが明瞭に示された。また、山側への押しつけを解除して一晩放置すると (d) 再びbと同様の状態に戻った。これらのことから、岩盤ブロックが不安定な状態では振幅も大きくなるといえる。その後さらにバールを用いて岩盤ブロックを崩壊に至るまで変位させていく段階 (e 及びf) においても安定状態 (a 及びc) に比べて振幅が大きい状態である。ただし、この段階の振幅はdに比べて振幅が若干小さくなっているが、岩盤ブロック自体は安定化に向かったとはいえないため、岩盤ブロックが不安定になると振幅が大きくなる傾向は概略的なものであるといえる。

このほかの解析については文献2)を参照されたいが、振動波形の結果と調和的な傾向を示した。

3.2 要対策岩盤斜面をモデルケースとして計測・解析を行った事例

計測を行った現場 (徳島眉山地区) は徳島県徳島市の眉山北麓に位置する岩盤斜面であり、住宅地の近傍にあって崩壊による住宅地への被害が懸念されることから、不安定ブロック抽出のモデルケースとなりうる地区である。亀裂は結晶片岩の片理面による水平方向の亀裂とそれに直交する垂直方向の亀裂が数多く発達し、これらの亀裂によって多数のブロックに分かれている。開口亀裂も多く、不安定ブロックが多いと想定される。計測点は主要なブロックを網羅するよう、安定岩盤を含めて計13点設け、振動計4台を用いて4パターンの配置に分けて計測を行った。計測点配置について写真-3に示す。用いた振動計は写真-1の機種で、固有振動数は8Hz、サンプリング間隔は5msec (200Hz)である。

計測結果の代表例として、車両走行 (2tトラック) によって人工的に振動が与えられたときの水平面内の振動粒子軌跡を図-6に、各種の振動源による一定時間内での計測点の軌跡の累積長さ (安定岩盤 (P-1) での値に対する比で表現) の

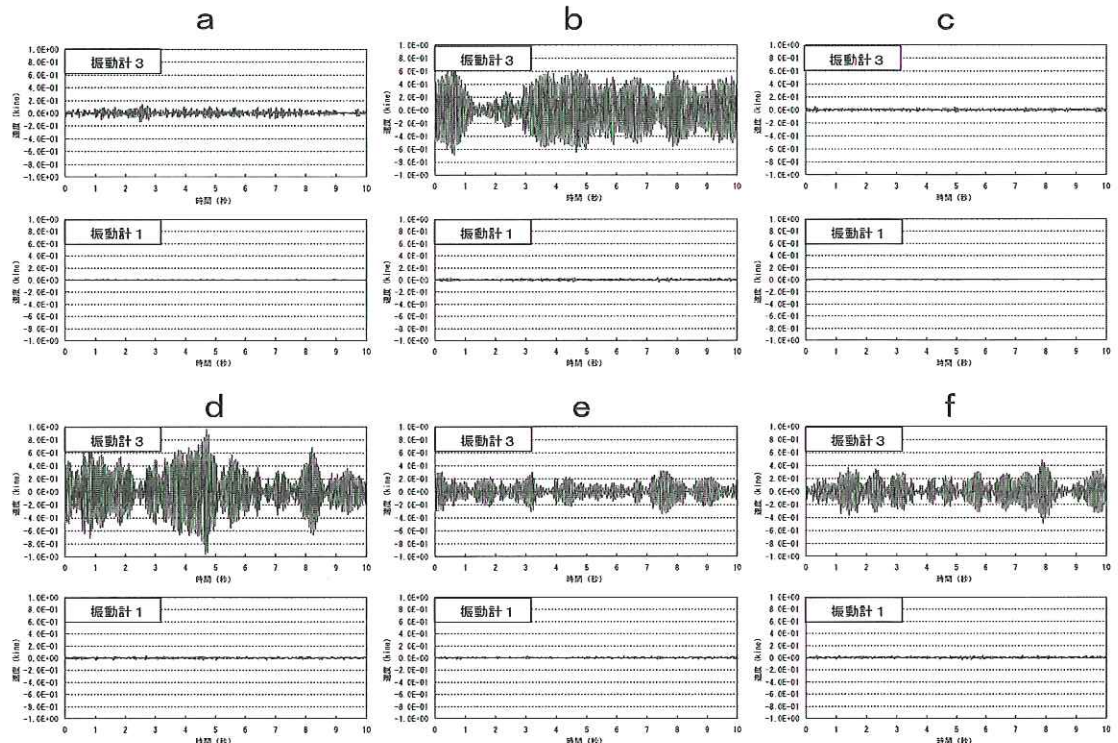


図-5 天鳥橋西地区における振動波形 (車両走行等のない時)

分布を図-7に示す。

計測結果から、岩盤ブロックの不安定性を以下のように判断した。

- (1) P-5、P-9及びP-11は安定岩盤P-1と同様の振動を示し比較的安定していると判断される。
- (2) P-3、P-4、P-6、P-8、P-10、P-13は振幅や軌跡の累積長さの比が大きき、亀裂の分離が進んだ不安定ブロックと判断される。
- (3) P-7は上記P-3、P-4、P-6、P-8、P-10、P-13よりは振幅や軌跡の累積長さの比が若干小さく、不安定度はやや小さいと判断される。
- (4) P-2はP-5、P-9、P-11に次いで軌跡の累積長さの比が小さいが振幅が若干大きい。また、P-12は振幅についてはP-5、P-9、P-11と同様に小さいが軌跡の累積長さの比が若干大きい。そのため、これら2点の安定度はP-5、P-9及びP-11のグループとP-7との間と判断される。

また、特徴的なこととして、斜面中部にあるP-3、P-6及びP-8の振幅や軌跡の累積長さの比は、これらより上部の計測点の振幅より大きく、さらにP-6の場合は振動の方向性も上部のP-7と異なっている。これは上部と一体となって振動しているのではなく、上部とは別の分離したブロックとして振動しているためであると判断される。なぜならば、一体として振動しているのであれば、例えば岩盤ブロック下端を支点として上部ほど大きく振動する関係が成り立ったり、振動の方向性が調和的でないからである。実際の状態として、P-3及びP-6を設けた岩盤ブロックの周囲の亀裂を側面から見ると、文献3)に示すように正面から見た場合と同様に開口し、完全に基盤から分離したブ

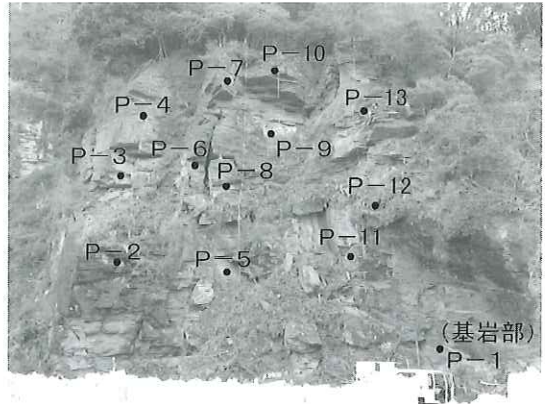
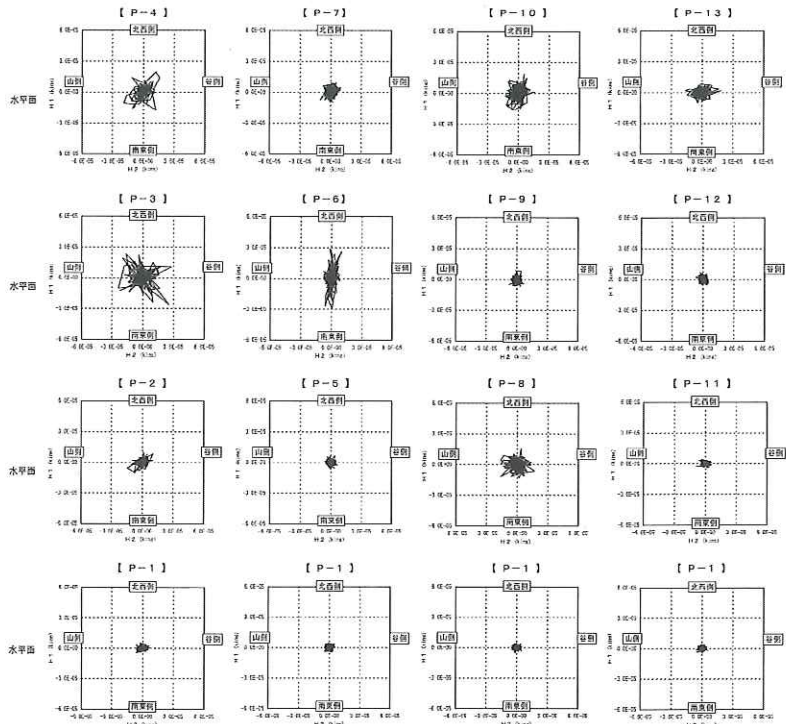


写真-3 徳島眉山地区計測現場及び計測点配置

ックであることから、上記の判断は妥当であって、これらは対策上特に注意を要するブロックと判断されるとともに、振動計測による不安定岩盤ブロック抽出の有効性を示したものとイえる。P-8は側面から見ることはできないが、振動の状況と正面から見た亀裂の開口度から判断すると、P-3及びP-6と同様、背後も含め完全に基盤から分離した状態と判断される。



振動計 パターン1 パターン2 パターン3 パターン4
配置 (P-4・P-3・P-2・P-1) (P-7・P-6・P-5・P-1) (P-10・P-9・P-8・P-1) (P-13・P-12・P-11・P-1)

図-6 徳島眉山地区における振動粒子軌跡 (2tトラック走行時、水平面、4秒間)

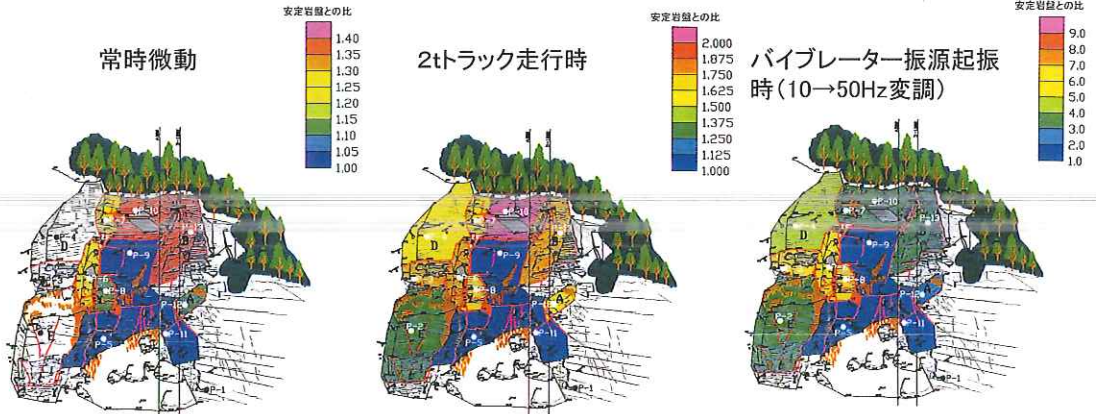


図-7 徳島眉山地区における各種の振動源による軌跡の累積長さの比 (安定岩盤に対する比)
(ただし、常時微動の左側のブロックの計測点P-2、P-3、P-4は欠測)

このような振動の大きさの傾向は、常時微動では明瞭ではないが、バイブレーター振源など他の人工的な振動源では似たような傾向を示した⁴⁾。また、軌跡の累積長さの解析では、常時微動の場合でも他の振動源の時と類似した傾向が示されており、この解析の有効性を示した結果といえる。

3.3 岩盤接着工施工前後に計測を行った事例

計測を行った現場 (橋地区) の岩盤斜面では対策として亀裂に接着剤を注入する岩盤接着工が岩盤下部から上部に向かって施工され、現在は所定の高さまで施工を完了している。この斜面の計測点6点について、岩盤接着工前後で計測し比較を行うことにより、岩盤接着工の効果判定を実施し、比較を行った。計測点配置を図-8に示す。1回目の計測時点では岩盤接着工の進捗は計測点P-1のやや上までで残りは未施工であったが、2回目の計測は、計測点P-3のやや上まで岩盤接着工が完了した時点で行った (図-8参照)。用いた振動計は写真-1の機種で、固有振動数は8Hz、サンプリング間隔は5msec (200Hz) である。

計測結果の代表例として、車両走行時の振動波形を図-9に示す。

1回目の計測では、計測時点で既に岩盤接着工が終了していた計測点P-1は非常に振幅が小さく、一方でP-2及びP-6はごくわずかではあるが振幅がややP-1より大きめとなり、P-3及びP-4は振幅がさらに大きめとなる結果が得られた。

これに対し、2回目の計測では、新たに岩盤接着工が施工された範囲にあるP-2、P-3及びP-6の振幅がP-1と同様に非常に小さい状況に変化し、

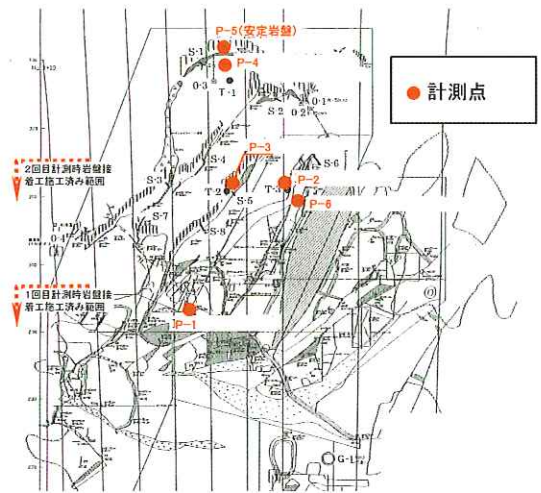


図-8 橋地区計測点配置

一方で岩盤接着工施工範囲外のP-4については1回目と同様に振幅が大きい結果が得られた。これらの振幅の変化は岩盤接着工の進捗と合っており、岩盤接着工による接着効果が現れていることが振動計測によって示された結果となった。

4. まとめ

振動計測による岩盤斜面不安定ブロック抽出手法の検討を行った結果、

- ①岩盤ブロックを人工的に不安定化させて振動計測を行い、岩盤ブロックが不安定になると振幅が大きくなることを確認した。
- ②実岩盤斜面における振動計測によって岩盤ブロックの不安定性の相対的な違いを判断でき、特に周囲の亀裂が完全に開口した岩盤ブロックでは

振幅が周囲より大きいことを確認した。

③ 岩盤接着工施工前後の振動計測によって、岩盤接着工の接着効果が見れているところについては振幅が小さくなることを示すことができた。

今後、アンカー工等の対策工の効果判定への適用性の検討を行うとともに、本手法のマニュアル化を図って行く予定である。

参考文献

- 1) 千田容嗣・寺田秀樹・辻 雅規：常時微動による岩盤ブロックの安定度評価への適用性の検討、平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp.382-383, 2001.5.
- 2) 浅井健一・小山内信智・千田容嗣・仲野公章・寺田秀樹・辻雅規・小野田敏：岩盤ブロックの常時微動と不安定性の関係についての実験的検討、第42回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.563-566, 2003.8.
- 3) 浅井健一・藤澤和範・小山内信智・辻 雅規：振動計測による岩盤斜面不安定ブロック抽出手法の検討、平成16年度砂防学会研究発表会概要集, pp.24-25, 2004.5.
- 4) 浅井健一・藤澤和範・小山内信智・辻 雅規：岩盤斜面不安定ブロック抽出への振動計測の適用、第43回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.527-530, 2004.8.
- 5) 辻 雅規・斎藤秀樹・浅井健一・小山内信智・寺田秀樹：岩盤斜面の安定性評価を目的とした振動測定の実用例、平成15年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.131-132, 2003.11.
- 6) 門間敬一・小野田敏・落合達也・荒井健一・網木亮介・浅井健一：岩盤崩壊モニタリング箇所での転倒崩壊に至るまでの変位挙動の実事例、地すべり、第

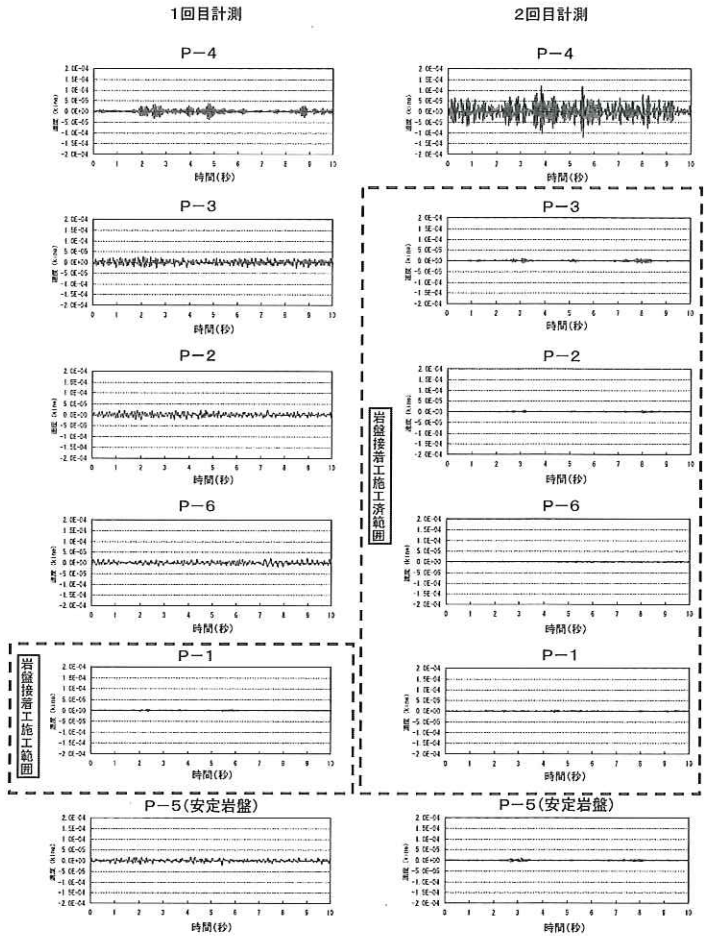


図-9 橘地区における2回の計測の振動波形の比較 (斜面縦断方向、車両走行振動)

39巻第1号, pp.62-69, 2002.6.

浅井健一*



独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム主任研究員
Ken-ichi ASAI

藤澤和範**



独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム上席研究員
Kazunori FUJISAWA

小山内信智***



国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室長、農博
Dr. Nobutomo OSANAI

西本晴男****



独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ長
Haruo NISHIMOTO