

戦-36 道路斜面の崩落に対する応急緊急対策技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：武士俊也，石田孝司

【要旨】

道路斜面が被災を受けた場合や道路法面工事などの際に用いられる仮設防護柵は、斜面からの落石や斜面崩落の規模等を考慮して設置されるものではない。そのため、斜面崩落等の災害時や切土工事等で斜面の緩みが進行することにより、結果として想定外の落石や斜面崩落が発生した場合、仮設防護柵はもとよりその脇を通行する車両等が被災する事例の報告もある。本研究では、仮設防護柵の適用範囲を明確にし、設置時に考慮すべき事項等を仮設防護柵設置の手引き（仮称）としてとりまとめるとともに、仮設防護柵が想定していない規模の斜面崩落等の前兆現象である落石や小崩落の発生を的確に検知し、フェールセーフの道路管理に資するシステム開発を行うことを目的としている。平成 22 年度は、仮設防護柵設置前の斜面点検手法の実態をアンケート等により調査し、また我々の有する点検ノウハウを含めて整理した仮設防護柵設置に先立ち実施すべき斜面点検手法を作成したほか、仮設防護柵の変形・破壊機構を把握するための実験（平成 23 年度実施予定）に資するために仮設防護柵の構造等に関する実態調査を行った。また、平成 21 年度に現地実験等を通して落石による振動波形等の特性把握を行った崩落検知システムを用いた現場実証試験を実施し、その適用性や耐候性、落石検知性能等の確認を行った。

キーワード：仮設防護柵、落石、斜面崩落、斜面点検手法、落石検知システム

1. はじめに

道路斜面の災害対策時や道路法面工事などの際に飛散防止等の目的で多く用いられる仮設防護柵は、斜面からの大規模な落石や斜面崩落から通行車両を保護する目的で設置されるものではない。しかし、降雨や凍結融解、切土工事等により斜面の緩みが進行することで、結果として想定外の規模の落石や斜面崩落が発生し、仮設防護柵脇の通行車両が被災する事例の報告¹⁾がある。そのため、仮設防護柵の適用範囲を明確にすると共に、想定外の現象の前兆現象と考えられる、仮設防護柵が破壊しない程度の小規模な落石や崩落を精度良く検知し、通行車両が被災を受ける前に規制するなどのフェールセーフの道路管理手法の開発が求められている。

本研究は、仮設防護柵の適用範囲（適用条件）を明確にするとともに、仮設防護柵が想定外としている規模の落石や斜面崩落の前兆となる落石や小規模崩落を的確に検知するためのシステム開発を行うことを目的としている。

平成 21 年度には、斜面崩落現象、及び落石検知センサの開発や適用に関連する文献収集と整理を行った。また、仮設防護柵を設置する際にどのような基準が用いら

れているかを調査するとともに、仮設防護柵の適用範囲について検討した。一方で、仮設防護柵用落石等検知システムの開発に向けて、落石等の振動波形を交通振動等と分離するために、仮設防護柵に加速度センサおよび速度センサを取り付けての振動波形把握のための現地実験を行った。

平成 22 年度には、仮設防護柵設置期間中に発生する落石や崩落を予め想定するための斜面点検手法について、施工企業からの聞き取りや斜面技術者の見方などを基にして整理した。また、仮設防護柵に落石が衝突した際の変形・破壊機構を把握するための実験計画に資するため、仮設防護柵の構造に関する実態調査を行った。このほか、平成 21 年度に現地実験を行った崩落検知システムの適用性等の確認を目的とした現場実証試験を行った。

2. 斜面調査・点検手法について

2. 1 実態調査

2.1.1 調査方法

仮設防護柵設置前の斜面調査・点検方法に関する実態把握、および仮設防護柵の構造に関する実態把握のためのアンケート調査を実施した。調査にあたり、(社)全国

特定法面保護協会、及び(社)斜面防災対策技術協会の協力を得て、協会連絡網（電子メール）を通じて各会員各社（設計者、施工者）に依頼を行った。回答は総数 37 回答であった。また、仮設防護柵を設置しての斜面工事の施工実績を有する 6 社を対象として聞き取り調査を実施した。これらの結果を以下に示す。

2.1.2 調査結果

(1) 仮設防護柵設置前の調査・点検手法

ここでは、施工者が仮設防護柵を設置する前にどのように斜面を点検しているかに関する調査結果について整理した結果の一部を以下に記す。

落石の判断に際しては、地表踏査により斜面に存在する不安定な浮石や転石を特定し、斜面形状などから落石エネルギーを推定できるデータを把握している場合が多かったほか、落下経路を把握するための地形測量を併用している場合もあった。ただし、少数ではあるが、道路からの目視で済ませている場合や、仮設ということから斜面調査・点検を実施していないという回答も見られた。浮石や転石が落石に発展する危険性の判断手法としては、比較的新しい落石発生履歴や先駆的な小規模の落石の発生などが確認された場合に危険と判断する、或いは落石対策便覧などを参考として不安定な状態の浮石・転石の確認を行うという回答が多かった。このほかには、斜面やのり面の比高が高く勾配が急な場合や、法面・斜面に露岩が認められる場合、浮石・転石の規模が大きい場合に危険と判断するという回答もあった。

斜面崩落の判断に際しては、踏査により亀裂や段差などの微地形や地質・土質の分布状況を確認するとした回答が多かった。その他としては崩土の分布などを参考に、或いは空中写真判読結果を参考にするとした回答もあった。危険性の判断手法としては、新しい段差地形や引張亀裂、滑落崖の存在を確認した場合や、樹木の傾倒、湧水や湧水跡を求める場合などが挙げられていた。

(2) 調査・点検結果への対応

点検の結果危険と認められる浮石や転石が認められ、想定される落石エネルギーに対して仮設防護柵では対応できないと判断される場合には、固定や小割り除去、仮設防護ネット設置などの発生源対策を行う、或いは計測器を用いた日常管理を行うと回答した会社がある一方で、これらを見捨てて仮設防護柵を設置している例も見られた。また、仮設防護柵の規格決定に関して、「仮設防護柵の H 鋼の規格はダウンザホールハンマー等の削孔機の規格で決まる中、最大径は 500~550mm であるため、独立基礎で設置可能な H300 程度までとなる。そのため、

想定される落石に合わせて H 鋼の規格を上げることは実際にほとんど行わない」との実務的な意見もあった。

その他特記すべき意見として、「施工者は道路防災点検結果や調査・設計時の報告書の内容を知らない場合がある。施工者がこれらの内容を把握しておくことで施工中の安全管理に役立つ場合も多い」とする意見があった。

(3) 斜面調査・点検後に発生した落石や斜面崩落

斜面調査・点検後に落石が発生した場合、その多くは調査・点検の際に想定した位置から発生したが、想定していなかった位置から発生した場合も 1/3 程度みられた。斜面調査・点検時に想定外の落石を見落とさないためのポイントとして挙げられた主要な意見を以下に示す。

- ・豪雨や凍結融解の影響を予測しながら観察する。
- ・斜面下部の地形と硬度を確認した上で跳躍の可能性を考える。
- ・周辺に生息する動物（イノシシなど）の生態を考慮する。
- ・点検範囲に関して、上方（尾根まで）、側方（地形を見て十分に）に注意する。
- ・安定性の評価は、確認した時点からの時間の経緯とともに変化することを念頭に置く。

前記したように、落石については多くは想定した位置から発生していたが、斜面崩落の場合、多くは当初想定しなかった現象が発生していた。斜面調査・点検時に想定外の斜面崩落を見落とさないためのポイントとして挙げられた主要な意見を以下に示す。

- ・斜面表層の状況をより詳細に把握する。
- ・調査の結果斜面が不安定化する可能性があるかと判断された場合には追加でボーリング調査を行う必要がある。
- ・本工事の施工中にも専門技術者を配置して法面の安定性を把握すべき。
- ・湧水がある場合には水抜きも必要。
- ・現場により各種条件が異なるので一律な点検ポイントはない。

2.2 仮設防護柵設置に先立つ斜面調査・点検手法(案)

斜面・法面の恒久対策工は、詳細調査により把握した斜面や落石の安定度や規模に応じて、様々な工法を組み合わせた効率的・効果的な設計と施工がなされる。一方で仮設防護柵は、設計時の仮設の項目として、詳細調査や対策工法および路線の重要性から、また斜面災害時には不安定岩塊の状況などから構造や延長が検討される。ここでは、前記したアンケート調査結果や聞き取り調査結果、また我々の斜面調査ノウハウ等を反映させ、仮設防護柵設置予定箇所位置する斜面において想定される

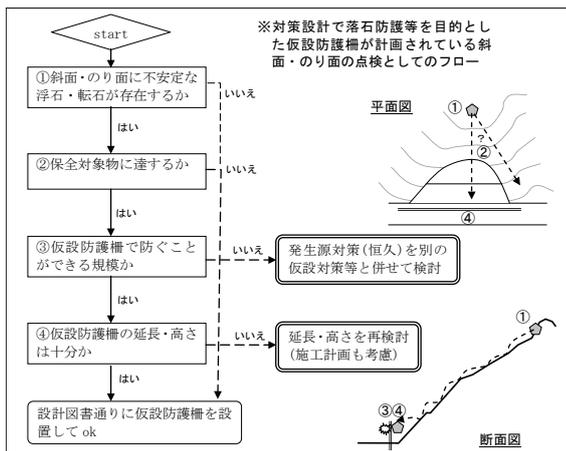


図-1 落石が懸念される箇所における仮設防護柵設置フロー (案)

現象を把握するために、斜面調査・点検手法 (案) とし整理した。その内容を抜粋して以下に記す。

図-1には、落石が懸念される箇所における仮設防護柵設置フロー (案) を示す。仮設防護柵より谷側の通行者に被害を及ぼす程度の現象が発生するかどうかを判断することが重要であり、以降にその点検ポイントを抜粋して示す。

図-2には、浮石・転石の安定度評価の例を示す。このような形でビジュアルに実例を示すことにより、現場担当者が浮石や転石の危険度を評価する際の目安を分かり



図-2 浮石・転石の安定度評価の例

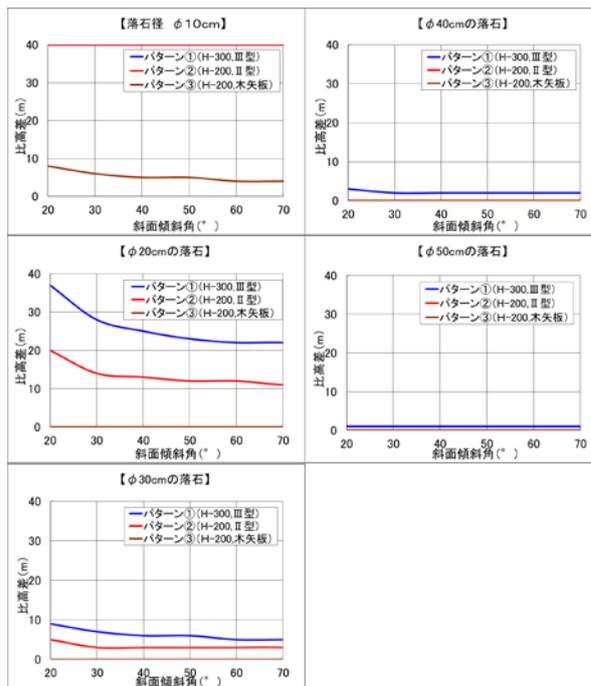


図-3 落石に対する仮設防護柵適用に際しての早見表

やすく示した。なお安定度は落石対策便覧に準じた1~5の5段階評価とし、数値が大きいほど安定状態にある。

次に、仮設防護柵により防護可能な落石の大きさと位置の目安を把握するため、落石対策便覧を参考として算出を行った。検討結果を図-3に示す。ここでは、仮設防護柵の部材の組み合わせとして多かったパターンとして、鋼材 H300 と鋼矢板Ⅲ型を組み合わせたパターン①、鋼材 H200 と鋼矢板Ⅱ型を組み合わせたパターン②、鋼材 H200 と木矢板を組み合わせたパターン③を検討対象とし、斜面傾斜角と落石発生源までの比高差の関係を落石径毎にグラフ化した。なお検討に際しては支柱間隔を2mとしたほか、落石衝突位置は支柱に比べて降伏荷重が小さな横材の中央に衝突することを想定し、横材の部材単体として計算を行った。仮設防護柵の部材が降伏点に至ることなく機能できる落石の目安はその位置 (比高差) や斜面傾斜角によって異なるが、仮設防護柵が破壊せず耐えられる落石径は、H300 に対して多く用いられているⅢ型鋼矢板でφ30cm、斜面勾配が急な場合は落石位置が5m程度までしか機能しないなどのことがわかる。この図-3は、現場において早見表として活用することを想定している。

3. 仮設防護柵の構造に関する実態調査

3.1 概要

2.2 では仮設防護柵の規格に応じて、横材の降伏点から仮設防護柵が破壊せず耐えることのできる落石の目安

を示した。一方で、仮設防護柵全体としてどの程度の落石エネルギーに耐えることができるかを検討する上では、部材単体としての検討では不十分であると考えられた。そのため、実際の仮設防護柵に落石を衝突させた場合のエネルギーの伝達と仮設防護柵の変形機構を明らかにする必要があると考えた。これを把握するためには実物大実験が有効であるため、実験に先立ち、実際に現場で施工されている仮設防護柵の構造や用いる部材の組み合わせ、部材の接合方法を把握すべく、アンケート調査を実施し、仮設防護柵の実態を把握した。

3.2 仮設防護柵の構造の実態

仮設防護柵に用いた支柱の材料を図-4に示す。支柱として最も多く用いられていた部材はH300、次いでH200であり、両者で全体の7割近くを占めた。また、支柱間隔について図-5に示す。支柱間隔は2mのものが多かった。

次に、仮設防護柵に用いた横材の材料を図-6に示す。

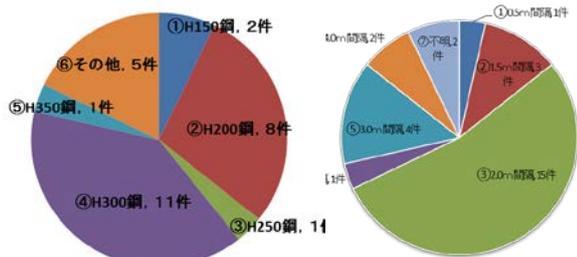


図-4 仮設防護柵に用いた支柱

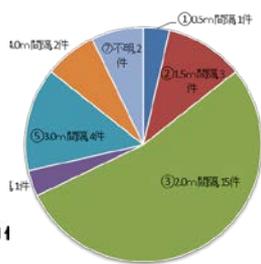


図-5 支柱間隔

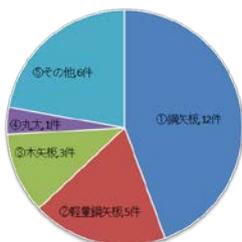


図-6 仮設防護柵に用いた横材の材質

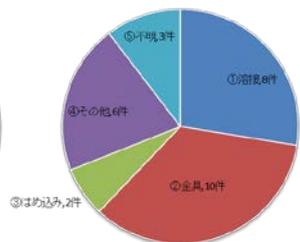


図-7 横材の固定方法

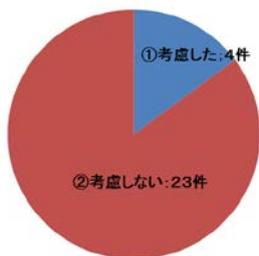


図-8 固定強度の考慮の有無



図-9 固定強度の決定根拠

横材として最も多く用いられていた部材の材質は鋼矢板、次いで軽量鋼矢板であり、両者で6割を越えていた。支柱と横材の組み合わせとしては、前記したとおり、H300と鋼矢板(Ⅲ型)が最も多く、次いでH200と鋼矢板(Ⅱ型)が多かった。

横材の固定方法を図-7に示す。固定方法は金具が最も多く、次いで溶接、はめ込みの順となった。

図-8は支柱と横材の固定に際して、固定強度を考慮して横材を固定しているか否かに関する結果を示す。ここでは固定強度を考慮していないという結果が大半を占めており、その理由としては、固定金具を使用していること、大きな落石等は対象としていないこと、仮設工作物であり固定されていれば良いと考えていることが挙げられていた。なお、図-9には溶接の場合で固定強度を考慮した場合の決定根拠を示した。決定根拠としては、計算により決定が2件、現場代理人の判断が2件、設計書に記載が1件であった。

仮設防護柵の構造と部材規格の決定に際しては、想定される落石の位置と大きさから計算により衝撃エネルギーを計算して決定している場合があるほか、任意仮設の場合多くは発注者が保有する標準形式に準拠し、想定される落石や斜面状況に応じて使用部材の規格を決定している場合が多い。一方、横材の固定方法については決まりがなく、施工者によってまちまちであることがわかった。

4. 崩落検知システムの現場実証試験

4.1 概要

本研究の中では、大規模な落石や岩盤崩落、斜面崩落の前兆現象として発生する落石を仮設防護柵に設置するセンサにより捉え、その情報を道路管理者や道路ユーザーに伝えるためのシステム開発をひとつの目標としている。平成21年度には速度センサおよび加速度センサの2種類を用い、土木研究所構内および2箇所の仮設防護柵設置現場における現地実験を通して、落石による振動波形の特性や、落石衝突位置からの離隔距離による振動の減衰特性などを把握したほか、落石と道路交通など落石以外の振動との分離方法について検討を行うための基礎実験を実施した。これを受けて平成22年度は、落石が想定される斜面下部に仮設防護柵(鋼矢板タイプ)を設置し、約5ヶ月間の現場実証試験を通じて落石検知システムの適用性等について検証した。

4.2 現場実証試験の方法

現場実証試験は、平成22年12月8日より開始し、平

は数 10cm オーダーの緩みも確認された。斜面形状は浅い沢型であり、遷急線までの比高は約 25m である。

4.3 落石発生状況

ここでは、計測を開始した平成 22 年 12 月 8 日から平成 22 年度最後にデータ回収を行った平成 23 年 3 月 11 日までの約 3 ヶ月間の結果を示す。なお、1 月 12 日夕刻から 2 月 22 日までの間は電源トラブルの影響でデータを取得することができなかった。落石発生状況の解析に際しては、衝撃音からほぼ確実に落石と認知できるものを拾い出すこととし、同時刻に複数発生した場合には単独・複数の区別はせずに 1 イベントとしてカウントした。その結果、3 月 11 日までの間に発生したイベント総数は 184 であった。

4.4 現場実証試験の結果 (暫定)

4.4.1 速度型崩落検知センサ

振動波形の一例として、3 月 7 日 14 時 31 分に発生した比較的規模の大きな落石が衝突した際の計測結果を図-11 に示す。図中、ch-1 は仮設防護柵に向かって左端の支柱に取り付けたセンサであり、その右側が ch-2、右端に ch-3 となっている。また、ch-4 は仮設防護柵設置地盤より比高差約 1.5m の岩盤斜面に設置したセンサである。この時の落石はカメラ画像および音声により落石を捉えられており、10 個程度の落石 (うち最大の落石直径約 30cm) が仮設防護柵に衝突していた。Ch-4 の振動波形の継続時間が長いことから、複数の落石が団子状もし

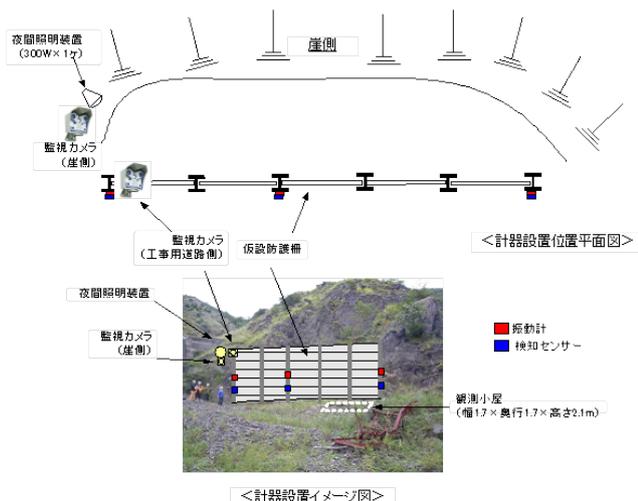


図-10 仮設防護柵における検知センサ等の配置図



写真-1 対象斜面と仮設防護柵

写真-2 支柱に設置したセンサ

表-1 現場実証試験に用いた仮設防護柵の仕様

項目	規格
延長	10.0m (2m x 5スパン)
地上高さ	4.0m
支柱	H形鋼 150 x 150 x 7 x 10
横材	軽量鋼矢板 LSP-I 型 板厚t=4mm

成 23 年 4 月下旬までの予定で、国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所の砂防事業実施区域内 (栃木県日光市足尾町) において実施しているところである。落石が想定された斜面の脚部に軽量鋼矢板を横材とする 5 スパンの仮設防護柵を施工し、ここに落石検知センサおよび検出システムを設置した。検知センサ等の配置図を図-10 に、対象斜面と施工した仮設防護柵を写真-1 に、仮設防護柵に設置した落石検知センサを写真-2 に示す。また、施工した仮設防護柵の仕様を表-1 に示す。崩落検知センサは、速度型崩落検知センサ、加速度型崩落検知センサそれぞれ、仮設防護柵の両端の支柱、および端から 2 スパン離れた支柱の計 3 箇所の支柱に取り付けた。

現場実証試験に際しては、センサが感知した現象が落石か否かを判別するために、仮設防護柵脇にマイク付きカメラと照明を設置し、記録した画像の解析により落石発生日時と規模を確定した。

対象斜面は風化が進行した岩盤斜面であり、斜面上に

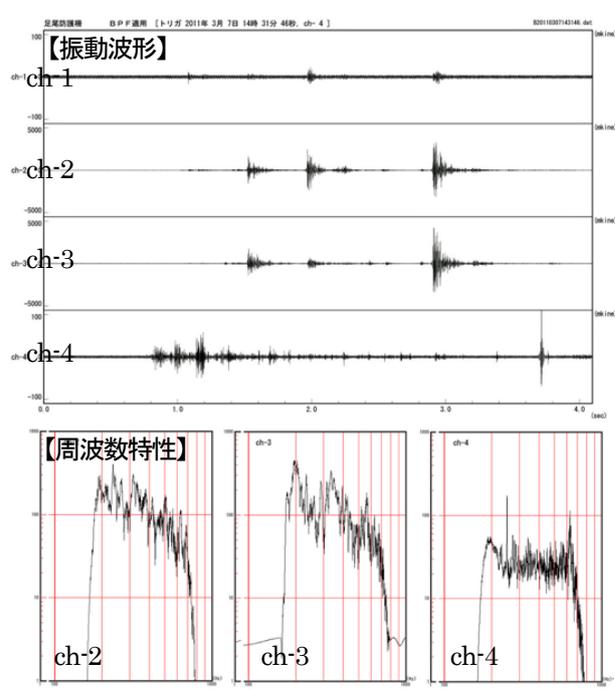


図-11 速度型センサにより検知した落石波形の一例 (2011/3/7 14:31:46)

くは土砂状となって落ちていると捉えることができる。また、ch-1 では大きな振動波形はなく、また ch-2 と ch-3 の周波数特性 (図の下段) がほぼ同じであることは、衝突位置はセンサの中間となる 4 スパン位置に衝突していることを示しており、これはカメラ画像とも調和的であった。

平成 21 年度の現地基礎実験、および今回の現場実証試験の結果、落石の周波数は 200Hz 以上 300Hz 未満の卓越周波数の比率が 85%以上であることがわかった。これらの計測結果を基に、落石とそれ以外の振動を分離する検知システムの構築を図る予定である。

4.4.2 加速度型崩落検知センサ

4.4.1 で一例として示した落石を加速度型崩落センサにより捉えた結果として周波数と加速度応答の関係を図-12 に示す。なお、仮設防護柵に向かって左端の支柱に取り付けたセンサが S-1、右端が S-3 である。落石により 180Hz 付近に卓越周波数が見られた。平成 21 年度の現地基礎実験の結果からは、落石を他の振動と分離するために 200Hz のハイパスフィルターを適用し、適当な振幅しきい値を設定することで落石の判別が可能との結果を得ていた。そのため、180Hz 付近の周波数をカットしないしきい値の設定が必要と考えられる。他の全ての落石事例を検証し、落石とそれ以外の振動を分離する検知システムの構築を図る予定である。

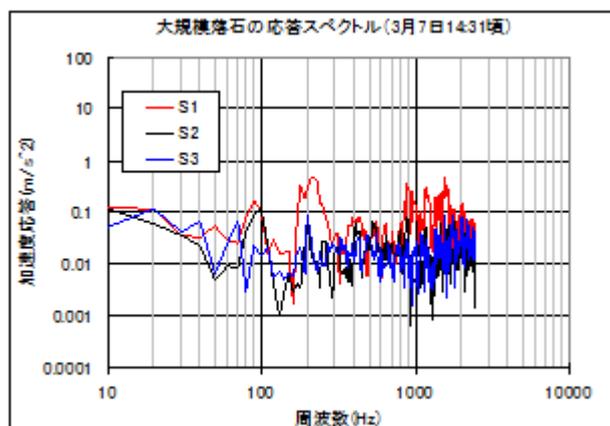


図-12 加速度型センサにより検知した落石波形の一例 (11/3/7 14:31:46)

5. まとめ

仮設防護柵設置前の斜面点検手法の実態をアンケートや聞き取りにより調査・整理するとともに、我々が有する斜面点検ノウハウを整理した。その結果、以下のこと

がわかった。

- (1) 想定される落石の点検に際しては、斜面下部の地形や硬度を確認することで跳躍の可能性を推定する必要がある。
- (2) 豪雨や凍結融解の影響を予測しながら観察することが重要。
- (3) 点検範囲は斜面上方 (尾根まで)、側方 (地形を見て十分に) に注意する など。

また、仮設防護柵により防護可能な落石の大きさと位置の目安を把握するために、仮設防護柵の横材が降伏点に至ることなく機能する落石を計算し、早見表として整理した。その結果、H300 に対して多く用いられているⅢ型鋼矢板では、落石の直径は 30cm、斜面勾配が急な場合には 5m 程度までであることなどがわかった。

なおこれらの内容は、仮設防護柵設置に際しての斜面における落石や斜面崩落を想定するための斜面調査・点検手法 (案) として整理した。

次に、実際に施工されている仮設防護柵の構造を把握するためにアンケート調査を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (4) 仮設防護柵に多く用いられている部材の組み合わせは、H300 とⅢ型鋼矢板、次いで H200 とⅡ型鋼矢板が多い。また横材の固定方法は金具が最も多く、次いで溶接であり、固定に際しては強度を考慮していない場合が多い。

大規模な落石や斜面崩落の前兆となる落石や小崩落の検知システム開発に関しては、平成 21 年度に開発した検知システムを用いた現場実証試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (5) 速度型崩落検知センサ、加速度型崩落検知センサとも、振動の周波数特性から落石とそれ以外の振動を分離することができる。

以上の結果を踏まえ、平成 23 年度には仮設防護柵の変形・破壊機構を把握するとともに、崩落検知システムの構築を図る予定である。

参考文献

- 1) 藤澤和範、小原嬢子: 国道 169 号 (上北山村西原地内) で発生した斜面の土砂崩落災害、土木技術資料 49-5、pp4-5、2007 年 5 月

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EMERGENCY MEASURES OF SLOPE FAILURE AT ROAD SIDE

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Erosion and sediment control
research group

(Landslide research team)

Author : **TAKESHI Toshiya, ISHIDA Koji**

Abstract : Temporary guard fence which is used in case of after slope failure is not considered falling rocks or slope failures. However, there are cases that temporary guard fence or passing vehicle have suffered from falling rocks or slope failure those are beyond expectation. So we analyzed about the applicable condition of temporary guard fence. And we tried to develop the system that could catch the detections of falling rocks that is precursory phenomenon of slope failure. In FY2010, we organized the true state about methods of slope investigation and structure of temporary guard fence. And we put in operation the verification test intend to confirm the applicability and weatherability about the detection system of slope failure. As a result, we have found some functional limit for temporary guard fence, and some characteristics of vibration wave profile about falling rocks.

Key words : temporary guard fence, falling rocks, slope failures, detection sensor, methods of slope investigation