

学 位 論 文 題 名

移動通信網を利用した落石検知システムに関する研究

学位論文内容の要旨

近年、わが国では技術の進歩・発展により、かつては施工が困難とされた急峻な海岸線、峡谷地帯にいたるまで道路網が建設されている。これにより、人の往来、生活物資の輸送は容易となり、都市と僻地間の生活条件の格差は解消されてきた。一方、困難な自然条件を克服して建設した道路網の沿線では、岩盤斜面の崩壊・落石・地すべり・土石流・雪崩等に対する一層の警戒が必要になってきている。このような状況のなかで、本研究の基礎となる部分は平成6年頃から研究を進めてきたものである。特に、1996年2月10日午前8時15分頃、路線バスの乗客ら20人が犠牲となった後志管内古平町の国道229号線、豊浜トンネル岩盤崩落事故後は、早期の実用化を前提にして研究を発展させてきた。著者はこのような不幸な災害を前兆段階で捉えること、そしてまた災害が突発的に発生する場合においても24時間体制の常時無人監視が可能で、被災状況を判読できる多量のダイナミックデータを可及的速やかに伝達する災害検知システムの確立を計ろうとしてきた。そこで有線電話網が敷設されていない地域からのデータ通信が容易な移動通信網と、実用性に富むケーブルセンサを組み合わせた落石検知システムの開発に関する研究を行ってきた。

本研究は、大別すると、「計測原理が公表されていない振動検出用ケーブルセンサ測定原理の解明等ケーブルセンサの出力特性に関する研究」、「移動通信網とケーブルセンサを組み合わせた場合のシステム全体の信頼性に関する研究」の2つの部分からなっている。本論文の第1章は序論であり、主たる研究内容を研究順序に従い第2章から第7章に述べている。第8章は結論である。

第1章では、本論文の目的、研究対象としている落石・岩盤崩落現象について概説し、次に本論文の重要なポイントである落石発生から管理センター等へ通報されるまでの空白の時間、つまり『ブランクタイムの最小化』を可能とするための移動通信技術動向、本論文の構成等を述べている。

第2章では、既往の研究について整理した上で、落石・岩盤崩落の検知方法として有効とされているAE法、および新しい検知技術として著者の研究と同時並行的に研究されてきた光ファイバーケーブルによる検知法について考察し、本研究の位置づけを明らかにした。

第3章では、落石検知システムに用いようとした振動検出用ケーブルセンサ自身に関する基礎研究を行っている。これはケーブルセンサの計測原理に関しての公表された学術論文が存在しないためである。研究の結果として、仕事関

数が異なるケーブルセンサの心線とこれを取り巻く 4 フッ化エチレン (FEP) の機械的接触・分離で生ずる微小な電流が信号出力源になっていると考察している。また、R、C で構成される測定回路の出力電圧式は、電流、電気容量をパラメータとした一階常微分方程式で与えられると述べている。さらに、室内実験により、出力電圧と加速度の相関について確認し、実用化の可能性あることを明らかにした。

第 4 章では、実用化の可能性をさらに調査・研究するために、ケーブルセンサを覆道等へ敷設する前段の予備実験として実施した中規模実験の結果を述べている。その結果として、出力増幅倍率 5 倍のもとで 7.26kg の鋼球落下に対して十分な感度を持ち、その落下位置の標定は、出力波形の立ち上がり・振幅から可能であり、さらにはトポグラフィを用いることにより視覚的にも判別できることを明らかにした。

第 5 章では、移動通信網をデータ通信手段として用いる時の 3 種類のデータ伝送方法、すなわち、PDC 方式 (現行の携帯電話)、PHS 方式、衛星通信方式における、通信試験を実施した。その結果として、45kbyte のデータ伝送を行った場合、各方式とも、実測伝送時間は、理論的な計算値より長くなるが、その差は数 s ~ 10 数 s で実用上支障はないことを明らかにした。

第 6 章では、豊浜トンネルでの岩盤崩落事故、および第 2 白糸トンネル岩盤崩落事故発生箇所の斜面と覆道の位置関係を考慮し、実規模覆道を用いたケーブルセンサの実用化試験を実施した。その結果として、実規模覆道においても、第 4 章で確認したことを踏まえると、ケーブルセンサは加速度計の代替センサとして利用可能といえる。また落下位置は波形の立ち上がり・振幅・トポグラフィのいずれによっても標定できることを明らかにした。

さらに山間部において、現行の携帯電話を使用し移動通信網を利用したデータ伝送試験を実施し、45kbyte の波形データを送信側 PC から受信側 PC の画面に確実に伝送し、波形とトポグラフィを表示できることを確認した。

第 7 章では、岩盤斜面自体にケーブルセンサを敷設する場合、実用上、強度補強が必要である。そのため新たにスチールワイヤ型ケーブルセンサを開発し、感度試験と、実斜面への適用を目的とした実用化試験を実施した。その結果として、もとのケーブルセンサに比べて感度は低下するが、スチールワイヤ型でも斜面沿いに落下するブロックの落下軌跡を十分感知でき、視覚的にもトポグラフィ表示により落下挙動を推定できることから、スチールワイヤ型ケーブルセンサは実環境・実斜面に適用可能であることを明らかにした。

また出力波形の立ち上がり時刻を結ぶ曲線から最大速度残存係数・等価摩擦係数・脚部における落下速度・並進運動エネルギー等を算出することができ、防護工の設計に有効であることも明らかにした。さらに本研究に基づいて、北海道層雲峡に適用されている移動通信網を用いた落石検知システムの実例を示している。

最後に第 8 章では全体を通しての結論を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	樋 口 澄 志
副 査	教 授	佐 伯 浩
副 査	教 授	三 浦 清 一
副 査	教 授	金 子 勝比古
副 査	助教授	氏 平 増 之

学 位 論 文 題 名

移動通信網を利用した落石検知システムに関する研究

近年、わが国では技術の進歩・発展により、かつては施工が困難とされた急峻な海岸線、峡谷地帯にいたるまで道路網が建設され、落石・岩盤斜面の崩壊・地すべり・土石流・雪崩等に対する一層の警戒が必要になってきている。このため、災害監視システムに関する研究が行われてきている。しかし、各種存在するフィールド用センサの適用性に関する研究とデータの伝送・処理に関する研究は不十分な状態にあり、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文は、このような現況の中でフィールドへの実用化が期待できる「振動検出用ケーブルセンサ」と「移動通信網」を組み合わせた落石検知システムの開発と有効性について研究した結果を述べたものである。

本論文第1章では研究の必要性を論じ、第2章では斜面防災に関する計測法の既往の研究結果をレビューし「振動検出用ケーブルセンサ」と「移動通信網」を組み合わせた落石検知システムの新規性と位置づけを明らかにしている。

第3章では、振動検出用ケーブルセンサの測定原理に関する公表論文が存在しないため、計測原理と出力特性に関する基礎研究を行っている。その結果として、仕事関数が異なるケーブルセンサの心線とこれを取り巻く4フッ化エチレン（FEP）の機械的接触・分離で生ずる微小な電流が信号出力源になっていることを明らかにしている。また、R、Cで構成される測定回路の出力電圧式は、電流、電気容量をパラメータとした一階常微分方程式で与えられると述べている。さらに、室内実験により、出力電圧と加速度の相関について確認し、実用化の可能性について有益な知見を示している。

第4章では、実用化の可能性をさらに調査・研究するために、ケーブルセンサを覆道等へ敷設する前段の予備実験として実施した中規模実験の結果を述べている。その結果として、出力増幅倍率5倍のもとで7.26kgの鋼球落下に対して十分な感度を持ち、その落下位置の標定は、

出力波形の立ち上がり・振幅から可能であり、さらにはトポグラフィを用いることにより視覚的にも判別できることを明らかにし、データ処理技術の向上をはかっている。

第5章では、意外なことであるが、移動通信網による多量のデータを伝送する場合の伝送時間に関する公表値はほとんど存在しないため、3種類のデータ伝送方法、すなわち、PDC方式（現行の携帯電話）、PHS方式、衛星通信方式における、通信試験を実施している。その結果として、45kbyteのデータ伝送を行った場合、各方式とも、実測伝送時間は、理論的な計算値より長くなるが、その差は数s～10数sで実用上支障がないことを明らかにしており、今後の幅広い地質工学的応用に対し新しい知見を与えている。

第6章では、豊浜トンネルでの岩盤崩落事故、および第2白糸トンネル岩盤崩落事故発生箇所斜面と覆道の位置関係を考慮し、実規模覆道を用いたケーブルセンサの実用化試験を実施している。その結果として、実規模覆道においても、第4章で確認したと同様、ケーブルセンサは加速度計の代替センサとして利用可能であることを確認している。また落下位置は波形の立ち上がり・振幅・トポグラフィのいずれによっても標定できることを明らかにしている。さらに山間部において、現行の携帯電話を使用し移動通信網を利用したデータ伝送試験を実施している。試験では、45kbyteの波形データを送信側PCから受信側PCに確実に伝送でき、波形とトポグラフィを画面上に表示できることを確認し、著者が開発した落石検知システムが実用可能であることを示している。

第7章では、岩盤斜面自体にケーブルセンサを敷設する場合、実用上、強度補強が必要である。そのため新たにスチールワイヤ型ケーブルセンサを開発し、感度試験と、実斜面への適用を目的とした実用化試験を実施している。その結果として、もとのケーブルセンサに比べて感度は低下するが、スチールワイヤ型でも斜面沿いに落下するブロックの落下軌跡を十分感知でき、視覚的にもトポグラフィ表示により落下挙動を推定できることから、スチールワイヤ型ケーブルセンサは実環境・実斜面に適用可能であることを明らかにしている。また、出力波形の立ち上がり時刻を結ぶ曲線から最大速度残存係数・等価摩擦係数・脚部における落下速度・並進運動エネルギー等を算出することができ、防護工の設計に有効であることも明らかにしており、工学的有効性が高いことを示している。さらに本研究に基づいて、北海道層雲峡に適用されている移動通信網を用いた落石検知システムの実例を示している。

これを要するに著者は、移動通信網を利用した落石検知システムについて、「システムに用いる振動検出用ケーブルセンサのフィールドでの実用性」と「移動通信網によるダイナミックデータの伝送法の有効性」について新知見を得たものであり、落石・岩盤斜面の崩壊・地すべり・土石流・雪崩等に対する予知技術の向上に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。