

I-8 鉄道斜面防災モニタリングシステムに関する研究

Study on Monitoring System for Railway Slope Disaster Prevention

阪本 泰士¹・梅田 博志²・関 雅樹³・古川 浩平⁴

Yasushi Sakamoto, Hiroshi Umeda, Masaki Seki, and Kohei Furukawa

抄録：鉄道斜面では自然斜面が含まれ、降雨による災害発生形態は複雑である。さらに、対象範囲が広く、通信手段等が未整備であったため、コスト高となり、ITによるシステム化はこれまで困難であった。本稿では、最近のITを活用した鉄道斜面防災モニタリングシステムの提案と実用化結果を報告する。提案システム導入の目的は、目視全般検査の補完、防災対策工事実施までの変状監視・検知並びに要注意箇所への災害検知を可能とすることである。システム構成は、安価で多様性のある簡易型検知センサおよび警報受信・通報機さらに動画像と監視データの伝送用のSS無線機からなる。本システムは、新幹線および山間在来線の一部の区間にて実際に設置した。今後の少子化時代における技術者不足の補完として期待される。

Abstract: The slopes along the railway lines occasionally get complex kinds of disaster on the natural slope due to raining. However, systematization using IT has been difficult because of high cost with the vast area and the lack of communication convenience. This study shows the proposal and the result of monitoring system for railway slope disaster prevention making use of the recent IT. This enables the complement for manual inspection, stable watching for the slope until completing the countermeasure and the detection of disaster on crucial slopes. This consists on the cheap and multipurpose equipments, such as a simple detection sensor, alarm sender and receiver, and spectrum spread wireless transfer system which is usable to send animations and data. This has been already introduced on a part of the slopes along the Tokaido Shinkansen and the old railroad lines. This is expected to complement the lack of engineer caused by less birth in the future.

キーワード：斜面防災、モニタリングシステム、IT、維持管理、SS無線

Keywords : slope disaster prevention, monitoring system, IT, maintenance management spectrum spread wireless transfer system

1. はじめに

鉄道輸送の根幹は安全の確保である。輸送サービス面からは輸送ダイヤの正確性も重要事項である。我が国の鉄道は、日本経済の動脈の役割を果たす東海道新幹線もあれば、都市近郊の通勤・通学が中心の在来線、並びに自然環境の厳しい山間部に建設された在来線もある。鉄道構造物の維持管理面では、降雨、地震等の自然災害に対する防災対策、および構造物の経年劣化対策が一般的な課題である。また、最近の諸情勢として、世代交代および少子化による構造物維持管理従事者不足の問題がある。そのため、著者らはこれまで、技術力維持のための組織の見直し、技術教育・育成、並びに構造物維持管理従事者の待遇改善等の施策を実施してきた¹⁾。

鉄道防災では従来から防災管理システムの研究・導入が図られてきた。自然災害時の列車の運行管理に、雨量計、地震計、河川水位計による観測データ並びに要注意箇所へ災害検知機器を設置してきた。これらの観測機器、検知機器並びに情報連絡通信網は運転保安に関することであるため、鉄道事業者固有の財産とし

て設置してきた。一方、最近のITの進展に併せてITを活用した防災検知および情報伝達技術に関する研究も多く報告されている。例えば、変状検知システムとして、関らはGPS活用によるのり面防災システム²⁾を提案している。また、構造物全体のモニタリング維持管理システムとして、阿部らはデータバンクを活用した総合診断システム³⁾を提案している。また、構造物の現場検査データの保存管理システムとして坂田らはICチップ活用の点検支援システム⁴⁾を提案している。

本稿では、鉄道沿線の自然斜面を対象として、降雨時の斜面災害および土石流に関する鉄道斜面防災モニタリングシステムを開発したので報告する。本稿の鉄道斜面防災モニタリングシステムは、安価で簡易であるため、人による検査の補完、防災対策工事実施までの変状監視・検知、並びに要注意箇所の災害検知に適用されることを目的とした。また、提案するシステムは、異なった輸送形態で東海道新幹線と山間在来線の両者に導入可能な汎用性のあるものである。提案システムは、変状の進行監視と災害検知のモニタリングの両方に使用可能であることが特徴である。

- 1 : 正会員 理修 東海旅客鉄道(株) 総合技術本部 技術開発部
(〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33, Tel : 0568-47-5375, E-mail : sakamoto@jr-central.co.jp)
- 2 : 正会員 工修 東海旅客鉄道(株) 新幹線鉄道事業本部
- 3 : フェロー会員 (博) 工 東海旅客鉄道(株) 総合技術本部 技術開発部
- 4 : 正会員 工博 山口大学 工学部 社会建設工学科

表-1 個別検査健全度判定区分

健全度	変状	処置
A	運転保安の安全を脅かす恐れのある重大な変状	対策工 または監視・検知
B	進行すればAランクになる変状	監視・検知
C	軽微な変状	次回全般検査時に重点的に検査
S	変状なし	なし

2. JR 東海の維持管理体制

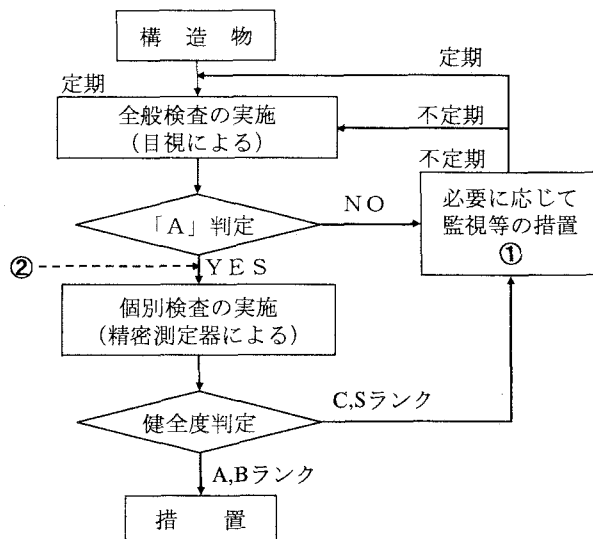
(1) 鉄道土木構造物の検査⁵⁾

JR 東海では、構造物検査の方法、種類、並びに頻度が具体的に実施基準規程に定められている。検査の種類には、全般検査、個別検査並びに広域検査がある。全般検査は、土木構造物の変状もしくは既変状の進行の有無を抽出するための徒歩・目視による検査である。頻度は、2 年を超えない期間毎に実施される。一方、個別検査は、全般検査で「A」判定とされた土木構造物について、その原因や機能低下の程度を把握し、補修・補強方法、施工時期を決定するために行なわれる。通常、検査機器を用いての検査であり、個々の変状等の実態を踏まえ必要の都度行われる。個別検査の結果、A、B、C、S の健全度判定を行なう。判定区分を表-1 に示す。個別検査において、A ランクとされた場合については、速やかに対策を実施することになる。

その他、線路周辺の変化およびその変化が線路に与える影響を把握するため、ヘリコプター等による広域検査がある。広域検査では検査員による空中検査および航空写真利用による検査がある。広域検査の例として、著者らは、長大橋梁の洗掘監視のために河床変動を把握する目的にて、GIS を活用した管理に関する研究⁶⁾ も実施している。しかし、鉄道斜面防災において GIS はまだ研究の緒についた状況である。

(2) 現状での課題

全般検査結果において、発見された事象が、明らかに変状である場合には、個別検査により健全度判定が実施される。しかしながら、検査員の技量・経験の違いにより、全般検査「A」判定とされなければ、個別検査とはならない。しかも、現行の全般検査の実施内容は、目視検査が中心である。そこで、適正に監視対象箇所を抽出する目的のために、人の眼を補完すべき検査機器が必要であった。現行の検査機器は変状別に対応しており、単一目的の監視・検知装置であること



Aランク：対策工または監視・検知 ③
Bランク：監視・検知④

※①～④：提案モニタリングシステムを適用

図-1 JR 東海の検査体制

が多い。しかもコストが高いことから、全般検査「A」判定の段階ではこれら検査機器を設置する検査フローにはなっていない(図-1中の①)。そこで、全般検査「A」判定であるか疑わしい場合にも、全般検査の補完として現地に安易に設置できる検査機器の開発が課題であった。さらに、全般検査「A」判定箇所に対する個別検査までの間の監視・検知装置も必要であった(図-1中の②)。この場合、検査者の労力を考慮すると、変状発生等の情報伝達は現場からの自動発信機能を有することが必要条件であった。また、現行の検査機器は、個別検査の結果でAランクとなった場合、補修・補強工事までの監視・検知として、あるいは補修・補強工事の代わりとしての監視・検知という措置として設置されるのが通例である(図-1中の③、④)。このため、簡易に設置可能な検査機器によるモニタリングシステムの開発が課題であった。

なお、東海道新幹線では、予防保全、事前防災¹⁾の観点から、全般検査「A」判定の段階でも、補修・補強工事が早期に実施されている。しかし、東海道新幹線においても補修・補強工事までの暫定措置として、簡易な災害検知装置の開発導入の意義は大きい。

さらに、今後少子化時代を迎えるにあたり、検査員の質的、量的な確保が困難となることが予測されている。これは、山間在来線において、特に顕著となると考えられる。また、山間在来線では、鉄道斜面の管理対象面積が膨大であるということ、さらに鉄道斜面では全般検査のために接近した検査が必ずしも可能とは限らないことから、全般検査の補完としての新たな鉄道斜面防災モニタリングシステムの導入が必要であった。

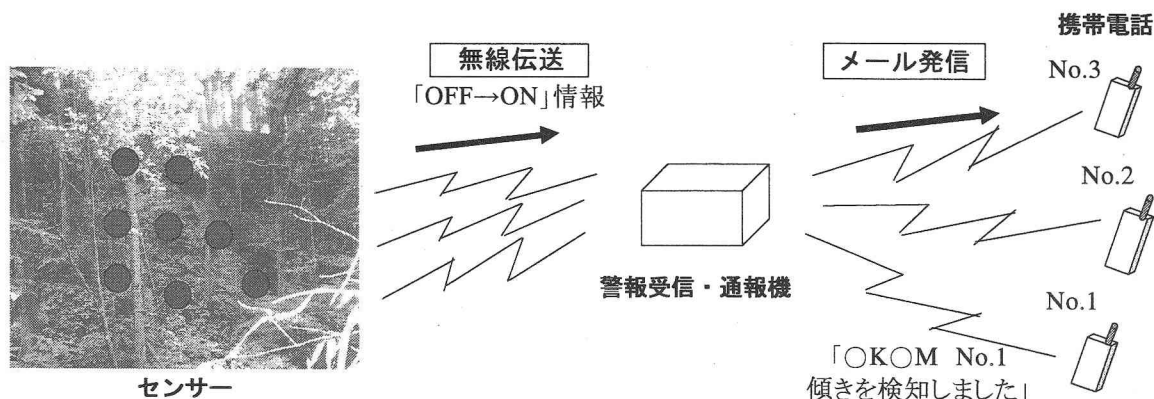


図-2 全般検査の補完

鉄道斜面災害を想定した場合、ITの適用は極めて重要な事項である。近年ITは目覚ましい進展を遂げている。しかしながら、その技術が鉄道斜面防災において、活用されているとは言いがたい。その理由としては、災害発生の可能性のある要注意箇所を抽出することが困難なためである。そこで、要注意箇所を全般検査「A」判定箇所としても良いほど、簡易に設置可能な検査機器によるモニタリングシステムの開発が課題であった。

鉄道斜面以外の土木構造物の分野では、ITの適用が進められている。例として、光ファイバーの活用によるトンネルのひび割れ発生、剥落検知に関する研究⁷⁾が報告されている。一方、既存の斜面防災用の変状監視機器の例としては、地すべり計、孔内傾斜計等があり、検知システムとしては落石検知網、落石検知線等がある。また、山間在来線では、降雨等の自然災害形態が複雑であるため、これらの変状に対応した検査機器を個々に設置することは現実的ではない。そこで、これらの変状に対する多様性のある検査機器の開発が課題であった。

また、鉄道斜面では、電源の確保が困難であり、既存の情報網のインフラ整備がなされていない。このため、安価で簡易な情報伝達手段の開発も不可避な課題であった。

3. 新しい斜面防災モニタリングシステムの役割

(1) 全般検査の補完

山間在来線では降雨時に自然災害を受ける可能性は都市鉄道と比較して高い。鉄道斜面防災は、これまでの長年に亘る防災対策工事の実施により、要注意箇所および被災回数は減ってきている。このような実態から現在の検査体制は、1986年に定められた。この検査体制のもと全般検査「A」判定の箇所は、個別検査を実施することになる。個別検査は多くの労力と時間を費やすことから、全般検査「A」判定はそれほど多く発生するものではないという基本概念にて定められた

検査体系である。

そのため、全般検査「A」判定の基準は必然的に高くなり、現場では個別検査に移行しないで2年に1回が基本の全般検査周期を短くした「不定期検査」にて補完することとなっている。そこで、更なる安全輸送確保のために、現行の全般検査での課題である人の眼を補完する安価で簡易なIT機器を活用した新しい災害発生監視システムを開発した。この結果、「不定期検査」のための検査労力の軽減が図られる。

提案したモニタリングシステムでは、監視・検知データの情報を、当該保守管理責任者が、いつでもどこでも得られることとした。山間在来線では、情報伝達手段としての通信機器およびその電源等が充分には整備がなされていないことが多い。そこで、検知には小型の乾電池、情報伝達手段には310MHzの無線および携帯電話のEメールを使用する(図-2)。

(2) 防災工事実施までの監視・検知装置

これまでの実績から、個別検査の結果に基づき対策工事が実施された全ての箇所において、災害発生の予測が適切であったとは言いがたい。対策工事実施済み箇所の近隣で斜面災害が発生することもあった。過去の経験や現状の地形条件をよりの確に反映できる自然特性(地形、地質、降雨)、災害特性(落石、斜面崩壊、土石流)、防災特性(防災工事の種類、規模)を考慮した鉄道斜面の健全度評価を実施することは困難である。

そこで、個別検査の結果を全体対策工事の優先順位に適用するとした場合、個別検査結果は極めて有効となる。このため、対策工事が必要とされても未対策である箇所について、全般検査の補完に使用した監視・検知機器を確実に設置しておくことは、安全輸送には大きな効果があることは明らかである。新しい斜面防災モニタリングシステムの役割の大きなひとつであることを明記する。

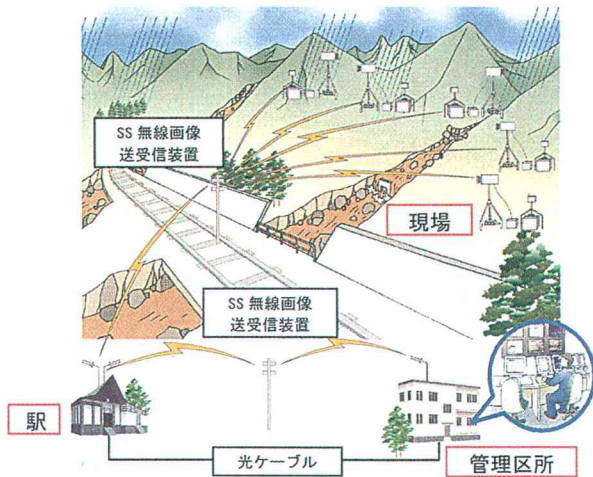


図-3 要注意箇所での災害検知（システム導入後）

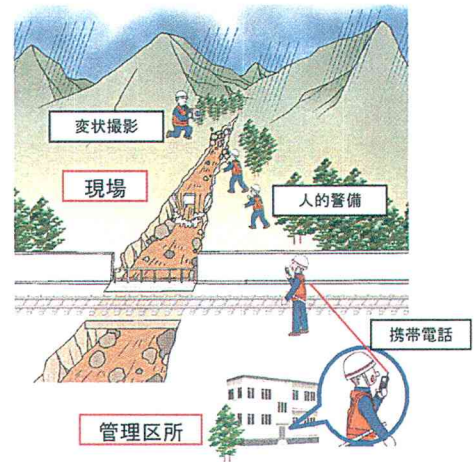


図-4 要注意箇所での災害検知（システム導入前）

(3) 要注意箇所の災害検知

JR 東海の山間在来線の例として、高山線では対象となる鉄道斜面が約 400 箇所あり、溪流も約 200 箇所もある。鉄道斜面の健全度評価のためには、鉄道斜面の降雨時における保有耐力の把握、および降雨量等の複雑な自然現象の外力の想定が必要である。鉄道斜面には、自然斜面が存在すること、また、斜面崩壊や溪流からの土石流は、その発生源が鉄道用地外であることが多いことから、要注意箇所の抽出は難しい。

そこで、要注意箇所の災害検知を目的としたシステムを提案する。全般検査の補完と同じ監視・検知機器を使用する。個別検査結果での要注意箇所に数量を限定することなく、安価で簡易な監視・検知機器を安易に設置していくという概念での提案である。ところで、現行の災害発生の監視は、時間雨量・連続雨量ごとに定められた警備基準値に基づき、現場での人的監視が主流である（表-2）。この状況では、多くの警備人員が必要となるほか、列車の運行規制値は安全のために、低い降雨値にて実施されている。このため、安全の確保はされても運行の定時性は損なわれ、大きなダウンタイムとなっている。

今回提案するモニタリングシステムでは、要注意箇所ごとの変状発生の監視・検知に加えて、近年の規制緩和を活用して 2.4GHz 帯の SS 無線 (spectrum spread wireless transfer system) を適用した。この SS 無線活用により、動画像での監視・検知を可能とした。このシステムによれば、災害発生の監視のための要員をより危険な優先順位の高い箇所に重点配置することが可能となるなど警備の機動性、合理性が高まる。当然のことながら、遠隔操作による動画像は現地保守管理区のみならず名古屋の運行管理部門でも監視が可能である。この点、情報の一元化とともに、万一の災害の場合の応急、復旧体制が速やかに実施されるという利点がある。参考として、システム導入前の現況も示す（図-3、図-4）。

表-2 鉄道における降雨時の運転規制（例）

	時間雨量	連続雨量	連続雨量 + 時間雨量	連続雨量 + 10分間雨量
運転中止	60	-	150+40	300+2
徐行	50	-	150+35	250+2
1種警備	35	140	120+25	-
2種警備	30	125	110+20	-
3種警備	25	110	-	-

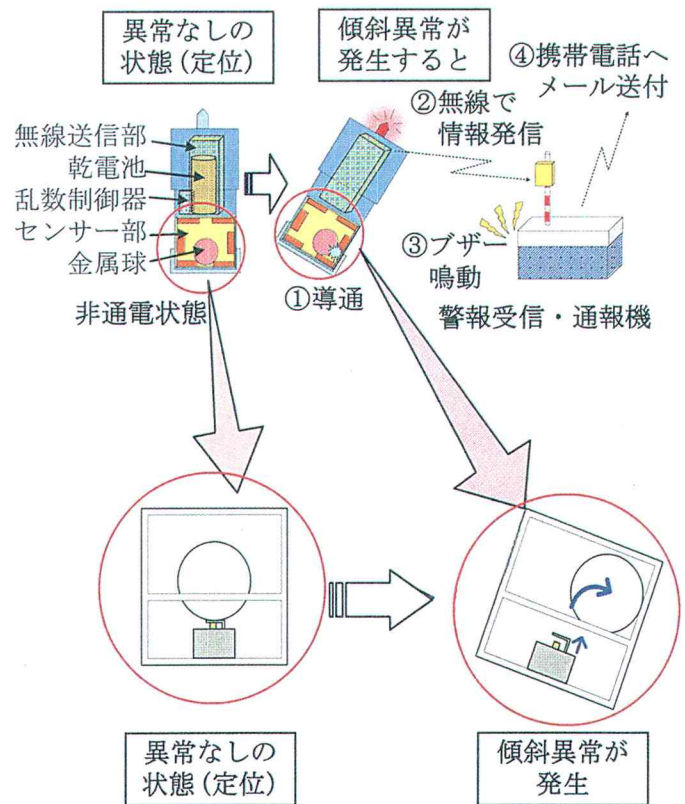
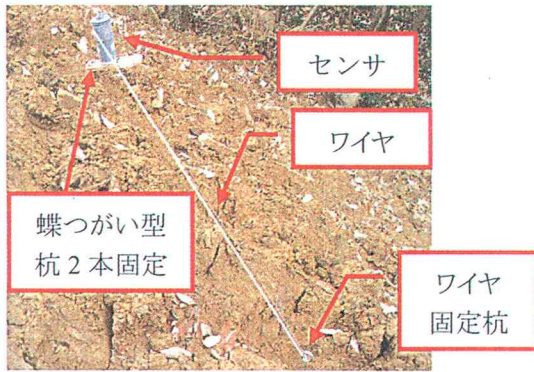


図-5 簡易センサと警報受信・通報機



(a) 斜面崩壊監視

(治具：蝶つがい型，固定方法：杭2本・ワイヤ)

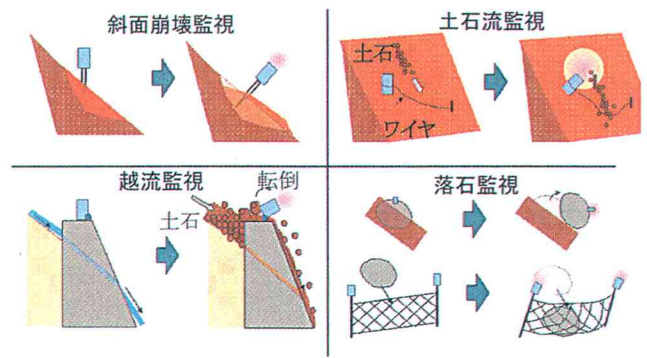


図-6 簡易センサの多様性



(b) 土石流監視 (蝶つがい型)



(c) 越流監視



(d) 取り付け器具

写真-1 多様性簡易型検知センサ
監視適用例と取り付け器具

表-3 センサ部の仕様

項目	仕様
検知傾斜角	約20度以上でON
電源	乾電池
電池寿命	約6ヶ月 (5回/日, 5秒/回発信時)
使用周波数帯	310MHz
電波到達距離	最大50m
概観寸法	Φ68×150
質量	420g

4. モニタリングシステムの機能

(1) 多様性簡易型検知センサ

a) センサの概要

今回開発した多様性簡易型検知センサ（以降、簡易センサ）を図-5、写真-1に示す。簡易センサの多様性は、斜面崩壊監視、土石流監視、越流監視、落石監視と種々の変状に対して当該センサひとつにて全て適用可能なためである（写真-1(a)～(c)、図-6に示す)。検知センサ部の仕様を表-3に示す。重量は420gと軽量である。なお、現地での種々の敷設条件に対応可能なように、取り付け器具が準備されている（写真-1(d)）。

災害発生検知の原理は、斜面の変状（変位、傾斜、回転、伸縮）に伴い、センサ内部の金属球が移動することで、金属球の下部に配置したマイクロスイッチが動作する。その動作情報を310MHzの無線にて、近傍（最大離れ約30m）に設置した警報受信・通報機に検知情報は集約され、そこからEメールで使用携帯電話に検知内容が通報される。なお、警報受信・通報機は、自由に回線数を増やすことが可能である。今回試行実施している当該機器は、5個の簡易センサ情報を、8箇所の携帯電話に検知情報としてのEメールを自動送信することが可能である。Eメールの情報送信例を図-7に例示する。なお、組合せの機器や設置条件によっては、メール以外に肉声応答も可能である。

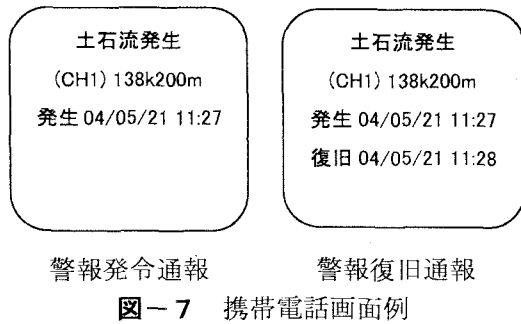


図-7 携帯電話画面例

簡易センサ部からの情報伝達は無線を活用しているため、斜面上において配線等の手間が不要となる。また異常が生じていない通常時は検知するまで電気を使用しない構造によりセンサ部電源は市販の乾電池を使用した。その使用実績から、6ヶ月は十分である。

b) システムの導入と情報伝達での改善内容

今回、本システムは高山線と東海道新幹線の鉄道斜面に設置している。当初、使用した警報受信・通報機では同時に複数個の警報センサが作動すると、警報受信機側でそれぞれ対応する警報センサの無線信号を識別できなくなることがあった。そのため、警報センサ内部にマイコンを配置し、無線信号の発信をランダムに行い、各センサの発信信号が重ならないように改善した。これにより、災害発生箇所を特定することが可能となった。

今回の試験施工において、警報センサは出力の違いにより4タイプ開発した。それぞれ、コストと性能に特徴がある。例えば、警報センサと警報受信・通報機との見通し距離は最小30mから、周波数帯を426MHzに変更して最大250mまであり、性能に差がある。30mまでのタイプでは、コストダウンを図るため無線の代わりに有線ケーブルタイプも開発したが、設置の時間等で労力が必要となり、当初のように無線に統一した。最大250mまでの性能を有するタイプでは、100m程度の距離では山の灌木や起伏で見通しが遮られる箇所でも確実な情報伝達が可能であった。

試験結果から、小規模の災害用では見通し距離が30mで十分である。多くの警報センサを設置するのが本来の目的に合致した設置内容である。一方、大規模な災害発生が予想される箇所では、見通し距離が長いタイプを使用する必要がある。また、警報受信・通報機が受信アンテナの関係で当初予定よりも大型化した。これは受信時の無線干渉の防止と、発信装置の大型化による。今後、干渉の改善と警報受信・通報機のマイコン制御の小型化を図る予定である。

斜面、コンクリート構造物等への設置治具に関しては、杭挿入型においては杭の高さが50cm以上となると風の影響を受ける。蝶つがい型においては、4本の

杭で、固定する方法と2本の杭とで固定する方法を実験したが、傾斜地での斜面崩壊を想定するならば2本の杭での固定で十分であった。ワイヤによる転倒の試験、水流による転倒災害の場合には、蝶つがい型が有効であった。ダム越流部での固定も蝶つがい型タイプをアンカーボルトで固定することにより有効であることが分かった(写真-1(a)(b)(d))。

東海道新幹線での導入目的は、降雨時における運行停止後の災害発生の有無を迅速に確認し、少しでも降雨時のダウンタイムを短縮させることである。東海道新幹線では、高速運転であるため安全には最大限の防災設備投資と十分な専門検査員が配置されている。これまで、ハード、ソフト両面から万全の対策を施している。例えば、降雨対策として、盛土および切り取り法面にはコンクリート張りブロック工、格子枠工、水抜きパイプ工並びに流末処理工事が実施されている。自然斜面に対しては、フリーフレーム工、植生工並びに集水井の設置等の防護工、さらに用地外からの土砂流入防止工等の防災工事は可能な限り実施されている。

ところで、東海道新幹線の降雨時の警備の基本は人的警備である。しかし、時雨量が60mmを超えるような一時的な集中降雨時ではマイコス等からの気象情報を入手して早めに検査員を安全確認のために出勤させても、現地への到着時間も含めるとダウンタイムが発生していた。これは、改善可能であると考えられた。そのため、2004年度から、一部の斜面に人的警備の補完システムとして、新たに有線による遠隔操作による防災用固定ビデオカメラが設置された。さらに、当該斜面の一部に、計器監視・検知という補完の目的として提案した簡易センサが導入され、次年度からの本格稼働によりその成果が期待される状況である。

(2) 簡易動画像伝送システム

a) システムの概要

災害が発生し、警報センサにより変状を検知した場合、災害発生の具体的な状況を動画像にて知ることが運転規制方法の決定、応急、復旧対策工法の決定のために極めて有効である。しかしながら、従来動画像取得のためには多くの初期設備投資費用あるいは毎年の通信経費を必要としてきた。鉄道防災システムでは、整備延長が長い区間となることが多く、情報伝達手段として光ファイバーのような通信設備の整備が必要な場合もあった。さらに、通信設備のためには、一部の区間のみでの導入は合理的でなく、投資判断が全線での実施か、あるいは、全く実施しないかの選択肢であった。理想的には、優先順位を策定し、毎年の適正投資額に合わせた整備が可能なシステムが望まれていた。毎年の部分的な整備でも初期目的が達成可能であり、さらに固定通信設備でないことが必要条件であった。

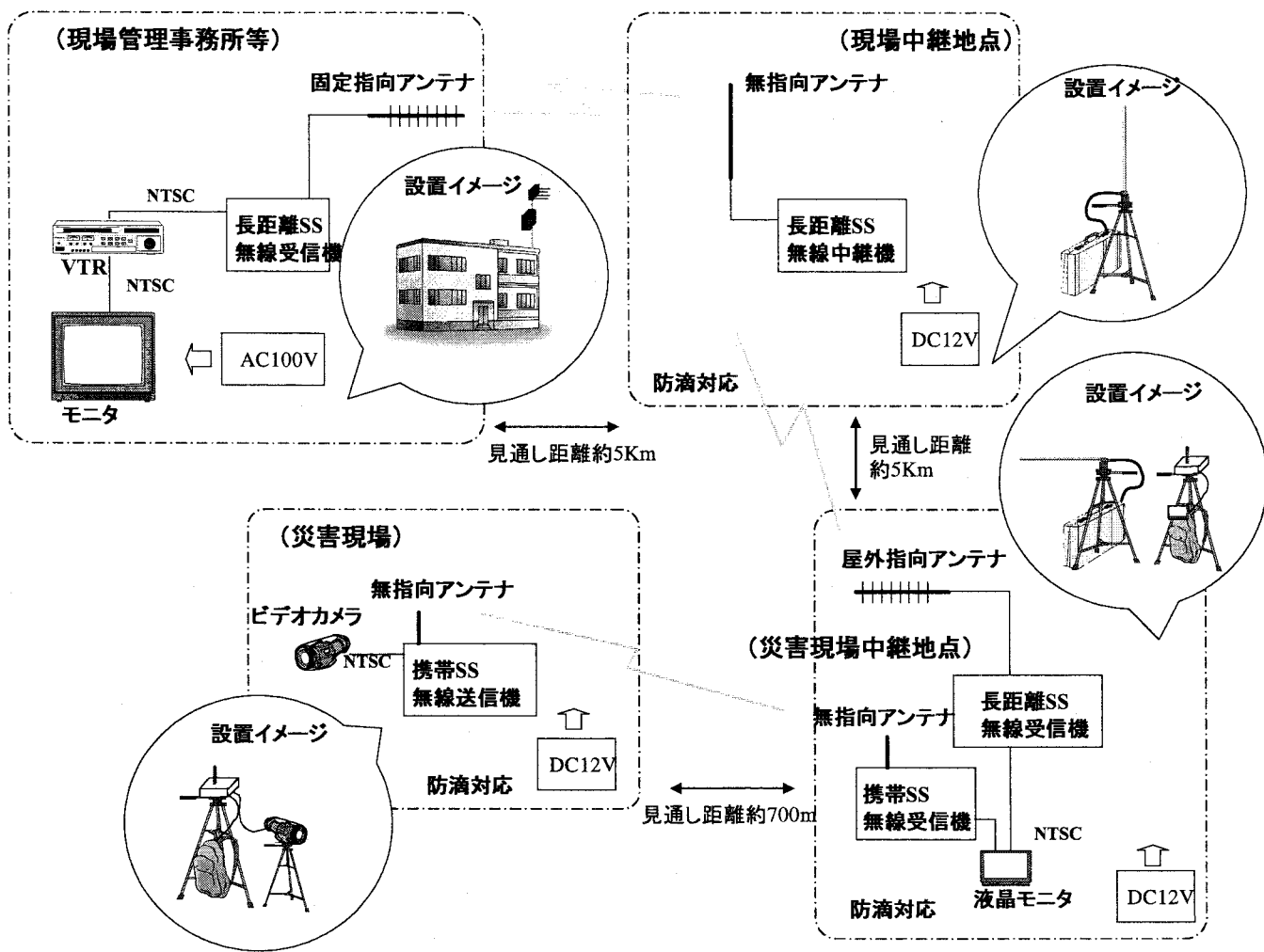


図-8 動画像伝送システム系統図

また、現場の状況をリアルタイムに伝送する手段として、災害時の緊急性から自営の無線方式で、電源はバッテリー駆動型が適する。

その問題点を克服するため、SS無線の活用を検討することとした。SS無線とは情報を薄く広く拡散させて伝送する無線方式で、2.4GHzの周波数帯を活用する小電力無線のため、無線使用免許が不要である。一般には事務室等でのセキュリティ監視システムとして使用例がある。このSS無線の利点としては、屋外での通信回線が不要であること、動画撮影機、送信機、受信機並びにモニター等がパーツとなっており、個々に整備可能であること、各機材の購入費用が比較的安価であることなどがあげられる。このため、新たな鉄道斜面における動画像モニタリングとして適用できた。

今回提案した新たな鉄道防災モニタリングシステムの構成は、①変状発生監視・検知機器としての簡易センサ、②変状発生情報伝達機器としての警報受信・通報機に加えて、③SS無線を用いた簡易動画伝送システム（以下、動画像伝送システム）の3点のシステムの合体による。提案する動画像伝送システムの概要を図-8に示す。

提案する動画像伝送システムは、現場固定式（長距離SS無線機）および可搬式（携帯型SS無線機）について、既存の伝送システム機器の改良を行った。伝送システムの構成は、送信機と受信機からなる。送信機側のカメラで映された動画像をSS無線機を介し受信機側のモニターに映し出す仕組みである。

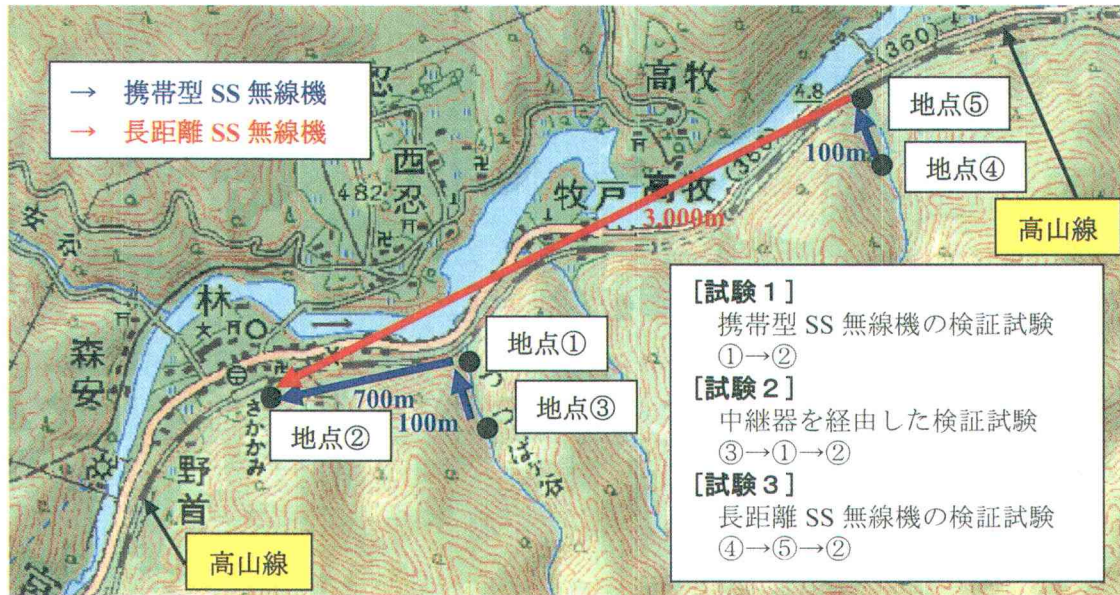


図-9 検証試験



写真-2 携帯型 SS 無線機

伝送距離(m)	2	750	780
送信アンテナ高(m)	1.5	1.5	1.5
受信電波レベル(dBm)	-28	-85	-87
データ種類	実測値	実測値	実測値

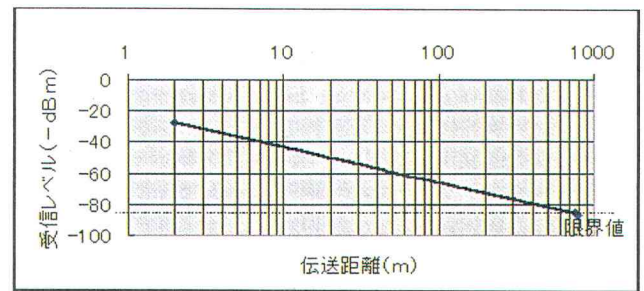


図-10 携帯型 SS 無線機の受信電界強度 (限界値-85dBm)

b) システムの導入と情報伝達での改善内容

高山線沿線において実際の鉄道斜面にて検証試験を行った。現地の状況を図-9に示す。現場は山間部であり、峡谷部の川沿いを高山線が走っている。SS無線機を用いた検証試験として3種類の試験を行った(図-9【試験1】【試験2】【試験3】)。まずはじめに、携帯型SS無線機の検証試験を行った(図-9【試験1】、写真-2)。結果、携帯型SS無線機の送受信機の距離は、地点①から地点②までの約700m程度の見通しが利く範囲において、動画像送受信を問題なく行うことができることを確認した。確認方法として、受信電界強度を測定した。測定結果を図-10に示す。



写真-3 長距離 SS 無線機

表-4 長距離 SS 無線機の仕様

	項目	内容
無線部	無線方式	SRチャープ
	周波数	2.4GHz帯
	送信電力	10mW/MHz
	無線CH数	3CH(2002年度より6CH予定)
無線中継部	アンテナ	高利得アンテナ
	中継方式	時分割デジタル中継
	中継段数	最大4段
画像部	中継伝送距離	1区間5km 最大25km
	符号化方式	ITU-T勧告H.261準拠
	画像解像度	CFI形式:352(画素)×288(ライン)
音声部	伝送フレーム数	最大20フレーム/秒
	符号化方式	ITU-T勧告G.721(ADPCM)準拠
制御部	デジタル入出力	入力32点、出力32点
	通信IF	RS232C/RS485(2CH)
NTT回線部	デジタル回線	INS NET64/128
	アナログ回線	専用線2.4~9.6kbps
電源部	入力電圧	AC100V/DC12V
	消費電力	10W(送信もしくは受信機1台)

また、動画像の他に、前述の簡易センサの接点情報、雨量・水位等の計測データについても同時に伝送できることを確認した。なお、受信機、送信機それぞれ、1つのリュックサックに収納・携帯可能であり、現場での画像をリアルタイムにて伝送可能であり、固定警備巡回には携帯型 SS 無線機が有効であることを確認した。

次に、携帯型 SS 無線機での伝送距離が約 700m 程度であることを確認したので、災害現場の情報を現場管理区所、あるいは列車運行管理部門まで伝送する方法を検討した。1つの方法として、送信機(地点③:災害現場を想定)と受信機(地点②:現場管理区所等を想定)の間に中継器(地点①)を設けることとした(図-9【試験2】)。中継器は携帯型 SS 無線機と類似の機能を有する機器であり、機器費用も同等である。現地試験を行った結果、中継器をはさんだ場合、より長距離の送受信が可能であることを確認した。また、中継器の介在は一機だけでなく、複数でも許されることも確かめられた。これにより、中継器の数だけ遠方までの送受信が可能であることを明らかにした。

さらに伝送距離が 5km もある長距離 SS 無線による伝送距離の拡大も検討した(図-9【試験3】、写真-3)。長距離 SS 無線機は高度な高周波回路を導入し、微弱な電波でも送受信できる性能を有したものである。基本性能を表-4に示す。現地試験では、5km 程度の送受信が可能であることを確認した(図-11)。

一方、長距離 SS 無線機の問題点は、機器がジュラルミンケース1個ほどの大型になること、費用が携帯型に比べ10倍程度であることである。例えば、山間在来線では線区の延長が約180km程度の場合、約30基の長距離 SS 無線を固定して設置することにより、境界の動画像を見ることが可能となる。

対象斜面に対して、複数の中継器による携帯型 SS 無線機を採用するか、固定式の長距離 SS 無線機を使用するかは、事例に合わせて最も合理的な組み合わせを選択することが可能である。

伝送距離(m)	3000	6,000
送信アンテナ高(m)	2	2
受信電波レベル(dBm)	-83	-89
データ種類	実測値	推定値

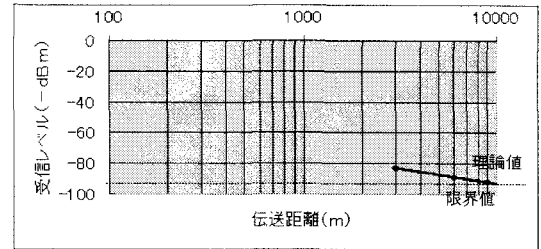


図-11 長距離 SS 無線機の受信電界強度 (限界値-95dBm)

最後に、携帯電話による画像送受信について検討した。SS 無線機より送信された画像が携帯電話にて受信可能であることを確認した。携帯電話のメリットはエリア内であれば、どこにでも、送受信が可能なことである。山間部では携帯電話のエリア外であることも多いので、エリア外では、中継器でつなぎ、エリア内に入った時点で携帯電話による送受信に切り替えるという適用方法が考えられる。

5. 結論

今回提案した鉄道斜面防災モニタリングシステムの開発および試験設置により得られた知見は以下のとおりである。

- (1) IT の適用が遅れていた鉄道斜面防災管理の分野において、新幹線および山間在来線のいずれの場合にも導入が可能なるシステムであることを試験設置によって確認した。導入の可否の判断では、設置費用が安価であることが最も大きい。
- (2) 課題であった鉄道斜面の全般検査「A」判定とはならない箇所「不定期検査」を、IT 活用により効率的に実施することを可能とした。多様性のある一種類の災害検知機器のみの使用により、種々の変状形式の監視・検知が可能となった。今後の少子化時代を迎えるにあたり本提案システムは、列車運行の保安度向上に寄与するものと期待している。
- (3) 簡易センサが数多く設置できることから、技術的にも困難であった要注意箇所の選定ならびに労力の省略化が図られること、列車運行の保安度向上、および災害警備の効率性が図られる。
- (4) 災害発生情報をリアルタイムに携帯電話の E-mail 送信により、複数人に同時に情報を伝送することが可能となる。伝送のための特別な設備、維持管理費用が不要である。しかも、毎年優先順位の高い区間から導入が可能という合理的なシステムの提案である。

- (5) 試作機の情報伝送能力の差により、警報センサと警報受信・通報機との見通し距離は最小 30m から最大 250m まで性能に差がある。通常の現場では 30m までのタイプで十分であり、溪流での土石流等用には最大伝送距離が 250m までの機器を開発し、性能を確認した。
 - (6) SS 無線を用いた動画像伝送システムは、動画像のみならず、簡易センサの接点情報、雨量計のデータについても伝送可能なことを確認した。
 - (7) 動画像の伝送距離は、試験設置の結果、携帯型 SS 無線機では約 700m、長距離 SS 無線機では約 5km という結果を得た。複数の中継器の設置または長距離 SS 無線機を組み合わせることにより、その伝送距離を伸ばすことが可能であることを明らかにした。管内の保守管理区所、名古屋の運行管理部門においてモニタリングを可能とした。
- 3) 阿部雅人：土木学会メンテナンス工学連合小委員会 報告書 第 7 章 次世代の社会基盤メンテナンス工学、pp.293-295、2003 年 6 月。
 - 4) 坂田智巳、矢吹信喜、嶋田善多、上松正史：点検支援システムの発電用ダム巡視点検への適用、土木学会第 58 回年次学術講演会、CS1-004、2003 年 9 月。
 - 5) 建造物保守管理の標準（案）同解説・コンクリート構造、鉄道総合技術研究所、1987 年 4 月。
 - 6) 赤堀浩史・関 雅樹・樋口邦寛・山下和敏・野原博行：新幹線河川構造物の検査管理における GIS の活用、土木学会年次学術講演会講演概要集 CS-246、Vol.55、2000 年 9 月。
 - 7) 小島芳之：光ファイバー、導電塗料によるトンネル覆工常時監視システム、第 162 回鉄道総研月例発表会、2003 年 8 月。

(2004.5.21受付)

6. 今後の展望

本稿は、IT の適用が遅れている鉄道斜面でのモニタリングシステムの実用化提案である。動画像および監視・検知データを伝送可能とする本システムは、降雨以外の地震時の変状把握にも適用可能と考えている。近年、東海地震、南海・東南海地震の発生が予測されている。被害発生等の状況の把握には携帯型 SS 無線機が活用可能である。音声も入れることが可能であり、地震発生後の通信網が遮断された場合の被害状況の把握手段として、常時の鉄道斜面の使用目的箇所から取り外して使用可能でもある。自治体も含めての広域的な活用および共同危機管理体制について本システムの活用を今後広く提案するとともに、さらに研究を深度化していきたい。

謝辞：本研究にあたり、JR 東海の三輪一弘氏には貴重な助言を頂いた。また、機器の改良および資機材の提供に多大なるご協力を頂いた㈱共和電業の村井勝氏他、松下電器産業㈱の糟谷勝氏他に、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 関雅樹：土木学会メンテナンス工学連合小委員会主催 研究討論会「持続可能社会基盤へのパラダイム—メンテナンス工学の挑戦—」より、2002 年 9 月。
- 2) 関雅樹、石川達也、荒鹿忠義、鈴木繁、初本慎太郎：GPS を活用したのり面防災システムの開発、土木学会第 56 回年次学術講演会、VI-145、2001 年 10 月。