

3402 鉄道沿線監視システムの開発

正 [土] ○内藤 孝和 (東日本旅客鉄道株式会社) 正 [土] 波場 志郎 (東日本旅客鉄道株式会社)

後藤 知英 (坂田電機株式会社)

Development of monitoring system for civil engineering structures

Takakazu NAITO, East Japan Railway Company.

Shiro HABA, East Japan Railway Company.

Tomohide GOTO, Sakata Denki Company.

When a large scale natural disaster occurs along the railroad line, countermeasures are often taken by building structures to restrain the direct damage. However, depending on a case, there is a necessary of constant monitoring with sensors to pretend the secondary disasters. In these case, it needs to carry out monitor quickly, but many of the existing systems are aimed for permanent setting, so the workability is not good. In this paper, it shows the development of monitoring system which has a good workability and versatility. We conducted a field test in a cold region's natural slope, and demonstrated the performance, durability and workability of the monitoring system.

Keywords: Monitoring, Railroad, Natural slope, Slope disaster, Self-diagnostic system

1. はじめに

鉄道土木構造物は大規模な災害や構造物の変状が生じた場合、ハード対策を実施するケースが多いが、場合によっては常時監視が必要になる場合が考えられる。

そのような場合、災害検知センサ等による監視を迅速に実施して安全を確保しているが、既存の監視システムは恒久設置を目的として製作されたものであるため、施工性に難があった。そこで、簡易で施工性に優れた鉄道沿線を監視できるセンサシステムの開発を実施した。

2. 鉄道沿線監視システムの概要

2.1 システムの概要

開発システムはワイヤレスの監視センサを鉄道沿線斜面に広範囲に設置し、変状や崩壊を検出して、受信器を通じて監視サーバにリアルタイムに通報するシステムである(図1)。また、センサは土砂崩壊による覆土や洪水による冠水を受けても問題なく通信できる方式にした。さらに自己診断状況をサーバに表示し、システムの健全性が確認できるものとした。

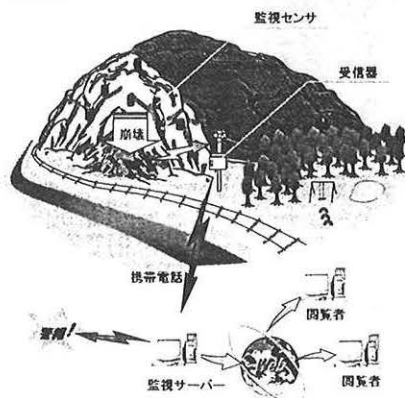


図1 システム概要図

2.2 監視センサ

①概要

試作した監視センサの外観図などを図2に示す。塩化ビニールのケースにバッテリー (5年間使用可)、傾斜センサ、アンテナ、365日のカレンダー時計を内蔵している。

センサの情報発信は、傾斜センサが約45°傾斜した際に異常情報を認識し、情報(個別ID、転倒時刻、転倒情報[転倒の有無])を送信することとした。

センサのタイプは、転倒タイプと回転タイプの2種類のセンサを作成した(図3)。

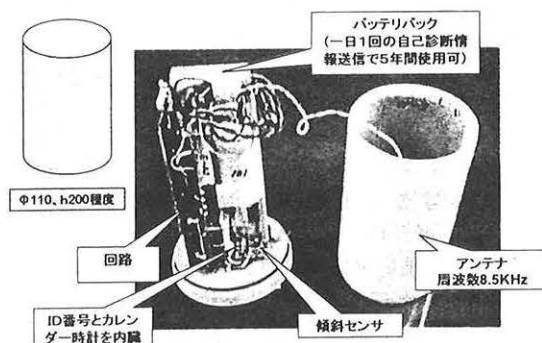


図2 監視センサ写真

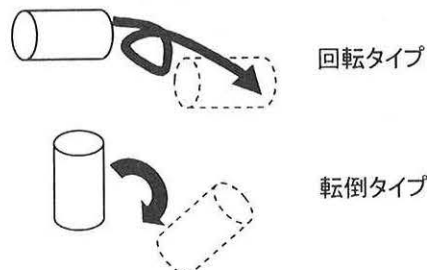


図3 回転タイプと転倒タイプ

今回の開発システムは、主に(財)鉄道総合技術研究所の土砂災害監視システムの基礎技術を使用した。通信に使用される地中無線通信システムは超低周波の電磁波を使用し、地中や水中、雪中において伝送損失が少ないという特徴を有している。

②自己診断機能

監視センサは1日1回監視センサの健全性診断を目的として情報を送信するようにした。受信器側では所定の時刻に監視センサからの情報が送信されることを確認し、監視センサの健全性を判定できるようにした。

2.3 受信器

①アンテナ

受信アンテナは監視センサが送信した信号を受信し、制御装置に伝送する。受信アンテナは監視センサからの情報を全方向から受信可能とする目的で3台で1式とし、直交3軸方向(x,y,z)に向けて配置するようにした。

②制御装置

制御装置は3台の受信アンテナに対応したものとして、3台で1式とした。受信アンテナから伝送された信号を復調し、情報(個別ID、転倒時刻、転倒情報[転倒の有無])として内部に保存する。保存データは表示することができ、外部インターフェースからPCなどへ情報を転送することができるようにした。

③電源装置

電源装置は制御装置の電源でAC100V入出力とした。電源避雷器をもち、電源ケーブルからの雷サージを制限する。また、停電(瞬断)対策として無停電電源装置をもつ。無停電電源装置のバックアップ時間は約20分であるが、電源装置は制御装置の内蔵バッテリーを常時充電するようにして制御装置が連続8時間の動作(監視センサからの信号受信)できるものとした。

3. フィールド試験

試作した監視センサ、受信器などを使用して、長期使用、耐寒、耐雪圧、信頼性などを目的とした現場フィールド試験を実施した。

3.1 試験箇所

フィールド試験は降雪地での使用も考慮し、耐寒及び耐雪圧の試験に適している箇所を選定した。

3.2 設置方法

監視センサの配置図を図4に示す。監視センサは転倒タイプが10台、回転タイプが10台の計20台を設置した。

監視センサは融雪時に滑動すると予想される地盤、岩塊や、擁壁及び砂防堰堤等の構造物にも設置した(写真1~4)。岩塊および擁壁に設置した監視センサに傾斜は殆ど生じないと考えられたが、擁壁の鉄筋の影響を確認する目的で設置した。

監視センサを設置する際に、緊急性を有する現場への設置も想定し、設置器具などはなるべく使用せずに行った。今回、監視センサを設置する材料として木杭、モルタル、樹脂バンド、接着剤等の入手が容易なものを使用した。また、擁壁と砂防堰堤上に設置する際には監視センサを固定する固定板(木製)を用いた。

図4に示す監視センサ、受信器等の設置は10時間程度で完了した。

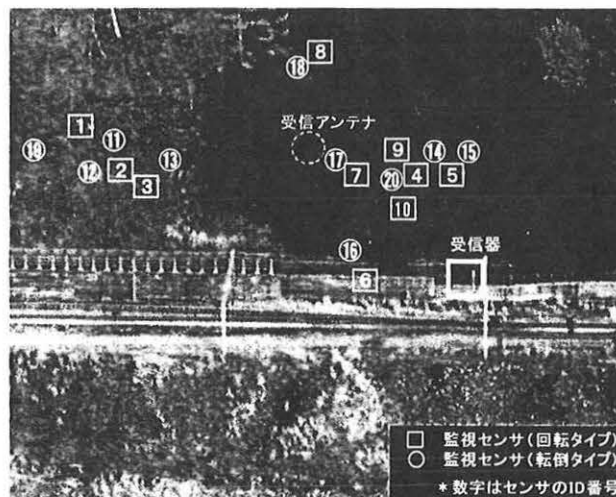


図4 フィールド試験時の監視システム配置図



写真1 センサ斜面設置

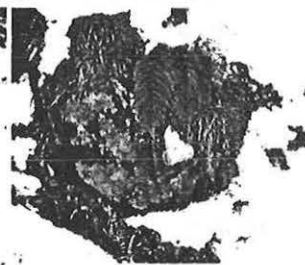


写真2 センサ岩塊設置



写真3 センサ地中設置



写真4 センサの木設置

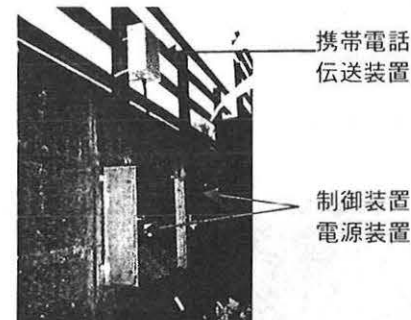


写真5 受信器設置

3.3 試験結果

①試験期間中の気象環境

試験期間中の気象環境を表1に示す。データは最寄りのアメダス気象台から取得した。このような降雪地の厳しい自然環境下において、監視センサの稼動状況、自己診断情報を受信し、耐寒性、耐雪圧性を確認した。

表1 試験期間中の気象環境

気象条件	数値
最高気温	25.8℃
最低気温	-10.4℃
最深積雪値	153cm

②監視センサの転倒状況

フィールド試験開始からの監視センサの転倒状況結果を表2に示す。試験期間中にID1、ID4、ID7、ID9、ID10、ID15、ID17の計7台の監視センサの転倒を検知することが出来た。

表2 監視センサの警報検出結果

ID番号	センサタイプ	転倒回数	移動距離	固定方法
ID1	回転型	1	0.2m	木杭
ID2	回転型	—	—	モルタル
ID3	回転型	—	—	岩塊
ID4	回転型	1	0.2m	地中埋設
ID5	回転型	—	—	地中埋設
ID6	回転型	—	—	擁壁
ID7	回転型	12	2.1m	木杭
ID8	回転型	—	—	木杭
ID9	回転型	51	1.1m	木杭
ID10	回転型	19	0.3m	木杭
ID11	転倒型	—	—	砂防堰堤
ID12	転倒型	—	—	立ち木
ID13	転倒型	—	—	地中埋設
ID14	転倒型	—	—	地中埋設
ID15	転倒型	2	0.3m	木杭
ID16	転倒型	—	—	立ち木の根元
ID17	転倒型	3	0.2m	木杭
ID18	転倒型	—	—	木杭
ID19	転倒型	—	—	地中埋設
ID20	転倒型	—	—	地中埋設

—は転倒無し

転倒した7台の監視センサの転倒状態を、システム撤去時に確認した。その一部状況を写真6～9、図5～6に示す。

転倒した監視センサの設置方法は、ID1、ID7、ID9、ID10、ID15、ID17の6台が地盤に打ち込んだ木杭に固定した場合、残り1台は地中埋設した場合であり、ID1、ID4、ID7、ID9、ID10、の5台が回転型、ID15、ID17の2台が転倒型であった。また、転倒した監視センサの移動距離は、約0.2m～約2.1mであった。

設置状態から転倒した後、ID7、ID9、ID10、ID15、ID17の5台の監視センサが再転倒した情報を送っていた。特に、転倒した後の移動距離が長い監視センサID7、ID9、また急斜面に設置したID10は、繰り返し再転倒した情報を発信していた。

③自己診断機能の稼動状況

試験を実施した斜面監視システムは、転倒が無いときでも、監視センサから自身のIDと傾斜の有無の情報を1日1回送信する自己診断機能を持っている。各監視センサから受信した情報が毎日更新されることで監視センサの健全性が判断できる。また、受信アンテナと制御装置間の伝送がケーブル破断などでできなくなった場合、全監視センサの情報が更新されないため、受信アンテナのアンテナケーブルの健全性も判断できる。

本フィールド試験では自己診断機能により常に監視センサの状態を把握することができ、この機能の有効性が確認できた。

④システムの撤去時の動作確認

機材の撤去時に、監視センサの動作確認試験を実施した。すべての監視センサに手で傾斜を与えたところ、転倒した情報を監視サーバまで転送することができ、センサの正常動作が確認できた。

⑤電池消耗

フィールド試験終了後に監視センサ20台の電池電圧を

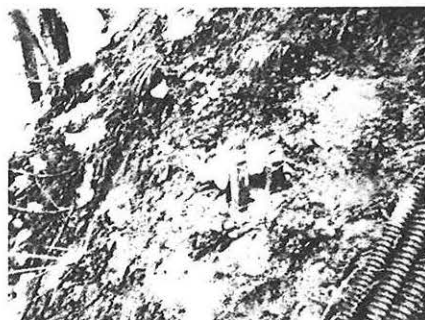


写真6 ID7 監視センサ設置状況



写真7 ID7 監視センサ転倒状況

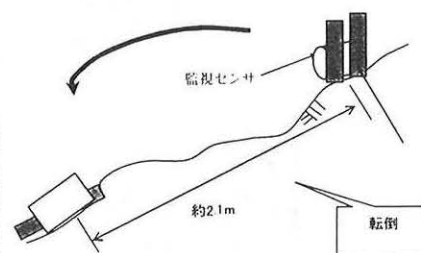


図5 ID7 転倒状況



写真8 ID9 監視センサ設置状況

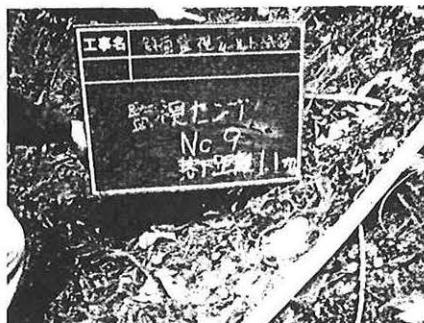


写真9 ID9 監視センサ転倒状況

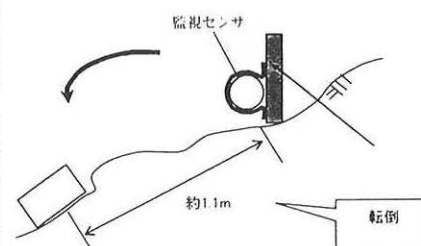


図6 ID9 転倒状況

調査した。その結果、全監視センサは出荷検査基準電圧10.5V以上の値を維持していた。

本フィールド試験による著しい電池電圧低下は見られなかった。

3.4 結果の考察

試作した斜面監視システムは、降雪地の厳しい自然環境下において、監視センサの転倒情報、自己診断情報を受信し、耐寒性、耐雪圧性の確認ができた。また、転倒を検出したのは積雪量が増大する時期であり、上記7台の監視センサは、①積雪圧により木杭が倒された。②融雪により斜面が崩れた。③木枝からの落雪の衝撃により転倒した。以上の3つの事象のいずれかで転倒したものと考えられる。

また、本フィールド試験において、電池寿命を5年と設定した監視センサを用いた。本フィールド試験終了後に監視センサの電池電圧を調査した結果、明確な低下は見られなかった。

さらに、今回のフィールド試験用の機材設置には10時間しか要していなく、施工性の良さも確認できた。

4. 製品化の仕様

本開発品を製品化するにあたって、フィールド試験の結果を踏まえて以下の項目でさらに改良を行った。

・転倒/回転タイプの一体化

フィールド試験に用いた監視センサは転倒及び回転を検出するセンサが別々であったが、製品化するにあたっては機能を一体化させ、一つのセンサで二つの検出機能を持たせることを可能にした。

・検出角度の設定

フィールド試験に用いた監視センサは約45° 傾斜した

際に異常情報を発信する方式であったが、製品化するにあたって角度を調整できる機能を設け、最低15° から調整できるようにした。

・広範囲の監視

受信器の他に新たに受信ユニットを最大3台繋げることで、最大監視延長を1000mに延長させ、最大60台の監視センサの検出が可能になった。

・混信対策

複数個の監視センサが同時に転倒した場合、試作したシステムでは同一周波数を使用していたため、信号が混信してしまうため、警報及び自己診断識別が不可能となる。この問題点を解決するために、発信周波数を監視センサ毎に変えて発信させることで、受信器に於いて同時に識別することが可能になった。

5. まとめ

地中無線通信システムを使用した鉄道沿線監視システムを試作し、フィールド試験にて検出性能、長期耐久性、耐寒、耐雪圧などの試験を行った。その結果、厳しい自然環境下においても監視センサの検出結果の妥当性を確認でき、またシステム全体の長期耐久性と信頼性、作業性を確認することが出来た。

本システムは斜面防災以外の用途にも適用できるため、今後いろいろな可能性を模索していきたいと考える。

謝辞

本機器の開発にあたり、(財)鉄道総合技術研究所には貴重な助言等をいただきました。ここに謝意を表します。

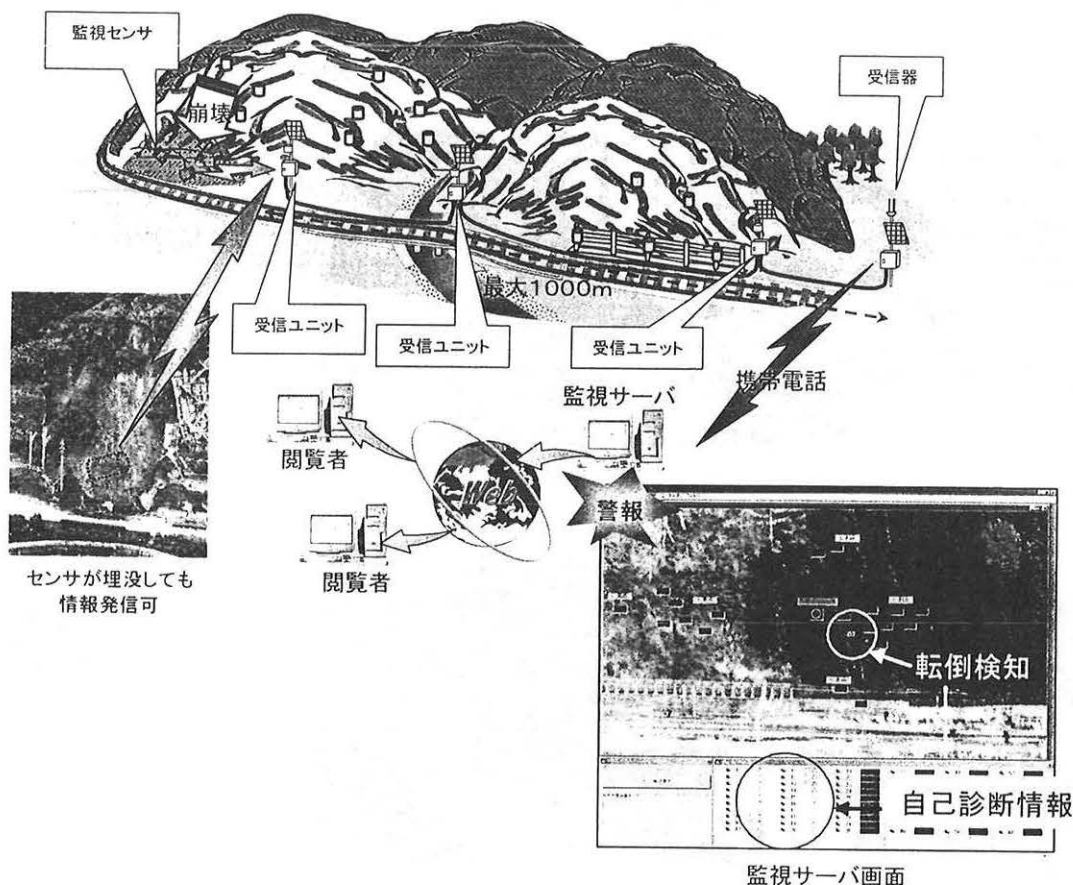


図7 鉄道沿線監視システムの完成図