長大延長を一括監視可能な落石監視システムの開発

岸　滋*

鈴木　修*

島村　誠*

現状の落石検知装置は、その監視延長が最大300m程度に制限されるため、山間部に点在する落石対策箇所へ検知装置を設置するためには、複数の信号・通信・電源機器が必要である。また、落石の発生する恐れのある箇所は積雪地域にも多く、積雪での故障や誤作動のない装置が望まれている。そこで、信号や通信、電源機器を集約して、点在する落石対策箇所を一括監視可能な落石監視システムを開発した。また、積雪地域での性能試験や模擬落石実験により選定したワイヤスイッチ方式センサと、斜面雪圧と沈降圧を考慮した設計により選定したネットフェンスの組合せによる検知装置を開発した。

●キーワード：落石災害、ワイヤスイッチ方式センサ、ネットフェンス

1. はじめに

鉄道沿線での落石災害は、その予測が大変困難なものであり、発生規模によっては重大な列車事故に繋がる恐れがある。現在の落石対策としては、現場技術者の過去の経験や専門技術者の空中写真判読等により落石検査区間を抽出し、抽出箇所への定期検査を実施し、必要に応じて防護工設置するハード対策や検知装置を設置するソフト対策を行っている。

現在使用している落石検知装置は、主に落石が衝突しセンサケーブルが断線することにより、警報出力する断線検知型センサである（図1）。この検知装置では、電圧降下等の影響により監視延長は最大300m程度と制限される。一方、検知装置が必要な区間の中には山間部で数kmにわたり点在する場合があり、これらの箇所に現行の検知装置を設置するためには、複数の電源設備や通信設備が必要となり、工事費が増大する。また落石の恐れのある区間は、積雪地域の線区にも多数見られる。現行の検知装置を積雪地域へ設置すると、斜面雪圧や沈降圧によりセンサの緩みや柵の変形が発生することがあるため、融雪後にセンサや柵のメンテナンスをする場合がある。

そこで、点在する落石区間を一つのシステムで監視することで、付帯する制御装置や信号・通信・電源機器をスリム化したプラットフォームを開発した。また、積雪地域での性能試験や模擬落石実験を通じて、積雪による変形を受けず落石に対して検知可能なセンサを検討し、斜面雪圧と沈降圧を考慮した設計により選定した柵との組合せによる落石検知装置を検討した。

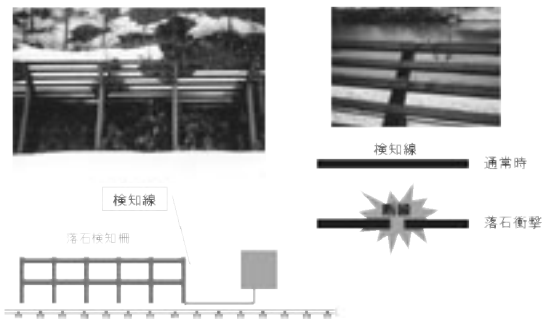

図1　現行の落石検知装置（断線検知型）

2. 落石監視システムの機能目標

本システムが目標とした機能は、以下の通りである。

(1) 監視延長距離：3,000m以上を監視可能
(2) 環境性能：積雪に耐えうる構造
(3) 検知性能：100kg以上の落石を検知

3. 長大延長を一括監視可能なシステム

落石検知装置を連続的に接続するために、付帯する制御装置や信号・通信・電源設備を集約したシステムを開発した。構成及び設置イメージを図2に示す。

このシステムは、親機・子機の階層構成となっており、検知装置を連続的に接続することができる。親機には電源設備と検知した情報を伝送するための通信設備を集約した機能を、子機には中継器の機能を有する構造とした。これにより、各々の検知装置で発生した情報を子機-親機を通じて一括集約することが可能である。

システムの特徴としては、受電するAC100Vの電源を

* JR東日本研究開発センター　防災研究所

AC240Vに昇圧し送電する回路と情報伝送用に光ファイバケーブルを使用することにより、2,000mの区間に対する電源供給及び情報伝送が可能である。親機は、電源設備と検知装置の接続ユニットを2回路実装し、最大2,000mの区間に30台の落石検知装置を接続することができる。子機は、親機からの電源供給により検知装置の接続ユニットを1回路実装し、最大1,000mの区間に15台の落石検知装置を接続することができる。また、親機1台から子機2台分の電源供給及び情報伝送を行うものとしたため、最大4,000mの落石検知装置を連続的に接続するとなった。

なおこのシステムでは、親機・子機に土砂崩壊検知装置など落石検知装置以外のセンサを接続するための外部入力機能を実装している。

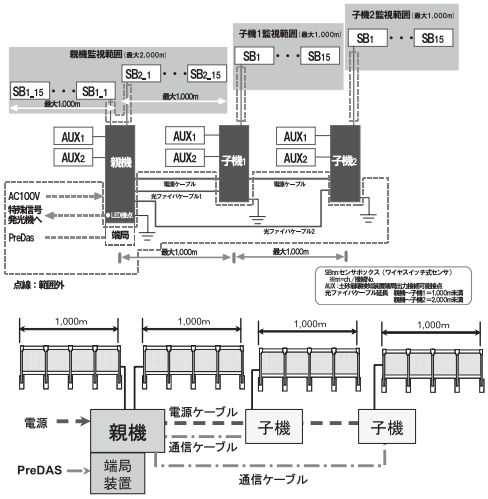

図2　システム構成と設置イメージ

4. 耐積雪性能を有する落石検知装置

4.1　耐積雪性能を有する検知センサ

耐積雪性能（斜面雪圧と沈降圧に対する安定性）を有し落石に対して検知可能な検知センサを検討するために、2種類の検知センサを選定し、積雪地域での性能試験と模擬落石実験による検証を行った。それぞれの特長について下記に示す。

(1) 同軸ケーブル方式センサ

監視対象斜面に設置した検知柵に同軸ケーブルを複数段設置し、落石が検知柵と衝突し、同軸ケーブルを断線することにより検知する方式のセンサである。

(2) ワイヤスイッチ方式センサ

監視対象斜面に設置した検知柵にワイヤロープを設置し、落石の衝撃力を検知柵の破壊量（=移動量）に置き換え、その移動量によりワイヤロープに引張力が加わり、ワイヤロープ先端部に設置している安全スイッチが外れることにより検知する方式のセンサである。

4.1.1　耐積雪性能試験

上述の2種類のセンサを営業線近接に設置した柵に設置して、センサの伸縮量を計測することにより、積雪期と融雪後のセンサの緩みや損傷状態を調査した。試験設備を図3に示す。試験では、伸縮量を常時測定すると共に、融雪後の残留ひずみ量を測定した。

図3　耐積雪性能試験用設備（奥羽本線峠駅構内）

同軸ケーブル方式の場合、設置した複数段のケーブルが常時堆雪状態であった。その結果、最下段のケーブルは最大約80mmの伸縮量を計測し、その他全てのケーブルにおいて20mm以上の伸縮量が計測された。また、融雪後の残留ひずみ量も最下段で約40mm計測されるなど、複数段のセンサのほとんどに残留ひずみが見られた。一方ワイヤスイッチ方式の場合、柵の最上段に設置したワイヤロープは堆雪状態となることほとんどなく、伸縮量及び残留ひずみがなかった。

検知センサとしての信頼性を確保するためには、融雪後の残留ひずみを除去しなければならない。試験結果より、同軸ケーブル方式では融雪後まで残るひずみを除去するためにケーブル張替えなどのメンテナンスが必要であるが、ワイヤスイッチ方式では融雪後のひずみがほとんどないためワイヤの張替え等のメンテナンスが不要と考えられる。よって、ワイヤスイッチ方式が耐積雪性能に優れた構造である。

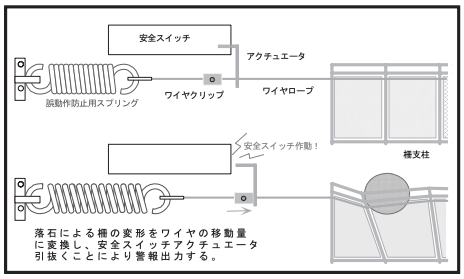

図4　ワイヤスイッチ方式センサ

4.1.2　模擬落石による落石検知性能試験

耐積雪性能に優れているワイヤスイッチ方式センサの

落石検知に対する性能を検証するために、模擬落石試験による性能試験を実施した。試験では、ネットフェンスにワイヤスイッチ方式センサを組み合わせた試験設備を構築して、模擬落石を実施した。試験結果を図5に示す。

試験の結果、ネットフェンスの曲げ剛性が低いため、100kg程度の落石に対して検知柵は大きく変形し、柵の変形量がワイヤロープの引張力として伝達され、検知センサは正常に作動した。この結果より、ワイヤスイッチ方式センサは落石により大きく変形する柵と組み合わせることにより、落石を検知できることを確認した。

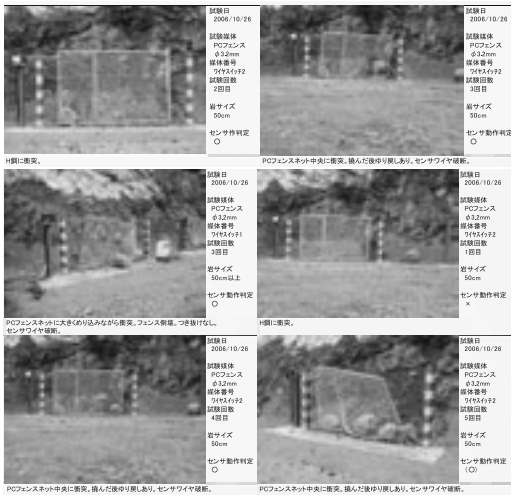

図5　模擬落石実施状況

4.2　耐積雪性能を有する検知柵

模擬落石試験より、ワイヤスイッチ方式センサを検知センサとして用いるためには、落石に対して大きく変形しかつ斜面雪圧や沈降圧では変形しない検知柵が求められる。そこで、模擬落石試験で用いたネットフェンスを検知柵とすることを前提に、耐積雪性能を有する構造とするために斜面雪圧と雪の沈降圧を考慮した設計計算[1)]を実施し、構造の詳細を検討した。構造の検討にあたり、①ネットフェンス・②基礎部に分けて検討を行った。

4.2.1　ネットフェンスの検討

ネットフェンスの設計条件として、当社管内の東北・北陸地方の積雪を目安として、下記の設計条件を用いて検討した。

(1) フェンス高さ：H_0=2.0［m］
(2) 設計積雪深：Hs=0～2.0［m］
(3) 積雪密度：ρ=0.35［t/m^3］
(4) グライド係数：N=2.2
(5) 斜面勾配：ϕ=25°～50°

検討の結果、設計積雪深に基づき、2種類のフェンスを算定した。

(1)　設計積雪深：Hs=1.5m以下（タイプ1）
①支柱：ϕ50.8×2.3mm　②上胴縁：ϕ38.1×1.6mm
③下胴縁：ϕ38.1×1.6mm　④笠木：ϕ48.6×3.2mm
⑤金網：菱形金網ϕ3.2×56mm
⑥支柱間隔：Hs=1.2m以下では2.0m Hs=1.5m以下では1.5m
(2)　設計積雪深：Hs=1.5m以上2.0m以下（タイプ2）
①支柱：ϕ114.3×3.5mm　②上胴縁：ϕ76.3×2.8mm
③下胴縁：ϕ48.6×2.8mm
④金網：菱形金網ϕ4.0×56mm
⑤支柱間隔：1.5m

本システムでは、ワイヤスイッチ方式センサの安全スイッチを内装するセンサボックスを設置するために、検知柵よりも強度のあるH型鋼を検知柵の両端部に設置し、センサボックス及びワイヤロープを固定した。設置イメージを図6に示す。

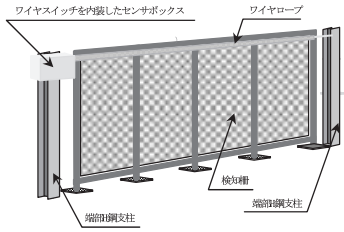

図6　ワイヤスイッチ方式センサー設置イメージ

4.2.2　基礎部の検討

上述した2種類のネットフェンスを使用することを前提に、基礎部の検討を行った。検討では、支柱の検討で用いた設計条件に加え、地盤条件として地盤の掘削・埋め戻しで想定されるN値として、設計N値=7.5を条件に加え検討した。検討の結果、コストダウンを実現するため、設計積雪深1.5m以下の基礎を3種類に分類して、計4種類の基礎寸法を算出した（表1）。

表1　検知柵の標準基礎寸法(上：検知柵　下：センサボックス用支柱)

	設計積雪深（m）	支柱・金網の仕様	標準基礎寸法（mm）	標準基礎深さ（mm）	支柱間隔（mm）
①	0.7未満	タイプ1	□300	500	2000
②	1.2未満	タイプ1	□500	800	2000
③	1.5未満	タイプ1	□600	900	1500
④	2.0未満	タイプ2	□750	1000	1500

	設計積雪深（m）	支柱・金網の仕様	標準基礎寸法（mm）	標準基礎深さ（mm）	支柱間隔（mm）
①	0.7未満	タイプ1	□350	650	2000
②	1.2未満	タイプ1	□500	800	2000
③	1.5未満	タイプ1	□600	900	1500
④	2.0未満	タイプ2	□750	1000	1500

また性能試験から、落石で複数のスパンの検知柵が同時に倒壊することで、ワイヤロープに引張力が加わらないことが懸念された。そこで、落石で変形を受ける支柱

に相対変位が発生する対策を検討した。

具体的には、支柱1本おきに基礎前面（線路側）へ受圧板を挿入し、挿入箇所での基礎前面の負担水平力を大きくした。また検知柵端部のH型鋼は、落石により倒壊や変形することでセンサボックスが故障することを防ぐために、基礎両面（線路側及び斜面側）に受圧板を挿入した。設置イメージを図7に示す。

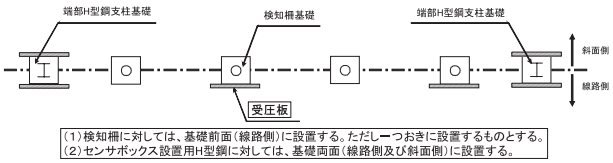

図7　受圧板の設置イメージ

これらの検討により、耐積雪性能を有する検知柵を設計積雪深Hsに基づき①Hs=0.7m未満・②Hs=1.2m未満・③Hs=1.5m未満・④Hs=2.0m未満の4種類の検知柵として作成した。検知柵の選定に当たっては、設置箇所の設計積雪深により柵の仕様を選択するものとした。②Hs=1.2m未満及び④Hs=2.0m未満の標準タイプを図8に示す。

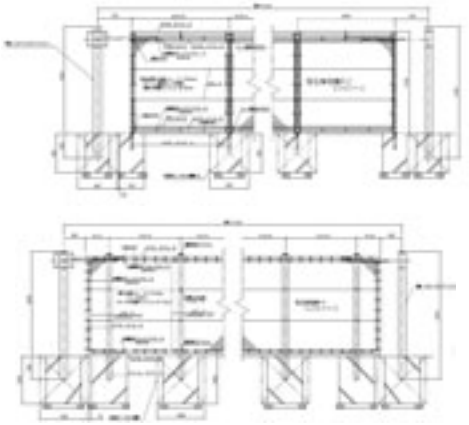

図8　検知柵標準タイプ
（上：設計積雪深1.2m以下　下：設計積雪深2.0m以下）

5. 設置条件、動作条件の検討

これまでに検討したセンサ及び検知柵の実用化に向け、センサ及び検知柵の組合せでの機能確認試験を実施し、設置条件及び動作条件を検討した（図9）。

図9　機能確認試験実施状況

検討の結果、検知柵は設置箇所の延長及び線形条件、斜面形状を考慮して、次の条件を満たす箇所に設置することとした。

(1) 直線区間：最大設置延長L=100m未満
(2) 曲線区間：曲線半径R=400m以上
(3) 屈曲箇所数：山側折れで1箇所以内（図10）

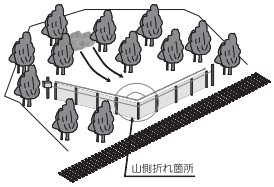

図10　山側折れイメージ

また検知センサについては、機能試験により動作条件を下記のようにした。

(1) 柵倒壊量：傾斜角度30°以上
(2) 柵水平移動量：1,000mm以上
(3) 動作に必要なワイヤ移動量：20mm以上

これまでに開発したプラットフォーム、検知センサ、検知柵を組合せた、長大延長を一括監視する落石監視システムイメージを図11に示す。

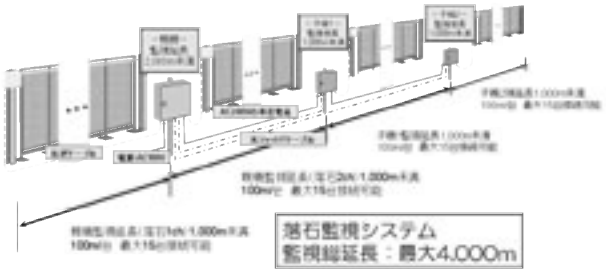

図11　開発した落石監視システムイメージ図

6. 終わりに

落石監視システムの開発により、検知装置に必要な電源設備や通信設備を集約させ長大延長を一括監視することが可能となった。また、斜面雪圧や雪の沈降圧に対して安定性を維持できるワイヤスイッチ方式センサとネットフェンスを改良した検知柵によって、積雪地域にも適用可能な検知装置を導入することが可能となった。

なお本システムは、平成19年度より順次各支社へ導入していく計画となっている。

参考文献

1) 設計要領第五集　交通安全施設編　立入防止柵設置要領　東日本高速道路株式会社　中日本高速道路株式会社　西日本高速道路株式会社　2005.