

橋梁異状検知システムの開発（経緯と実橋梁への適用）

南海電気鉄道株式会社	正会員	○窪田勇輝
株式会社シーエス・インスペクター	正会員	福本哲也

1. はじめに

2017年10月20日～23日にかけて発生した台風と停滞前線による長雨により、大阪府南部の熊取では総降水量が340mmで大阪府1位、10月22日の降水量は281.5mmで観測史上1位と類を見ない大雨となった。その結果、南海本線樽井駅～尾崎駅間にある男里川橋梁においては下り線の橋脚が洗掘により沈下、傾斜し、その直後に当該橋梁に差し掛かった難波発和歌山市行普通列車の1軸が進行方向右側へレールから外れて約15m走行した後、踏切ガードレールによって軌道内に復輪したと推定される脱線事故が発生した。この事故を受けて当社では、ハード対策として当該橋脚の新設、全橋脚に対して洗掘防護工を施工するとともに、ソフト対策として橋脚に異常が発生した際に列車を橋梁内に進入させないシステム（以下、「橋梁異状検知システム」という。）の研究開発を行った。この度、橋梁異状検知システムの開発が完了したので、開発の経緯および実橋梁への適用結果について報告する。

2. 橋梁異状検知システムのイメージ

橋梁異状検知システムの開発コンセプトを図-1 に示す。橋梁に設置したセンサが橋脚の沈下や傾斜といった異常を検知したタイミングで自動的に現地発光機と指令事務所に停止信号を発報し、どちらか早い方で進来してくる列車を停止させるとともに、関係者へは別途メールにより状況報告を行うものである。これらのうち、異常を検知してから関係各署への通報については、既存の防災システムに組み込む方針で関係部署との調整を進めているところである。本論文では橋脚に発生した異常（沈下や傾斜など）を捉えるセンサに主眼を置いてとりまとめを行った。

3. 長期計測による比較検討

センサの選定においては、将来的な他橋梁への展開も見据えて、経済性（初期コスト、保守コスト）、精度、安定性、計測原理など様々な項目に関して比較を行うとともに、年間を通して問題なく計測できるかといった観点から 2018 年 6 月～2019 年 5 月までの 1 年間に渡る長期計測を実施することとした。表 1 に比較検討を行ったセンサの概要と結果を示す。表中のセンサ No.1（傾斜計（高精度））については、当社では近接施工に伴い高い精度での計測が必要となる既設構造物の変位計測において従来より使用してきた実績のある渦電流方式の全方位傾斜計（以下、「基準センサ」という。）で、今回はこのセンサを基準として精度の検証を実施している。センサ No.2（傾斜計（低精度））は小型 MEMS センサを搭載した無線式傾斜計であり、初期コスト

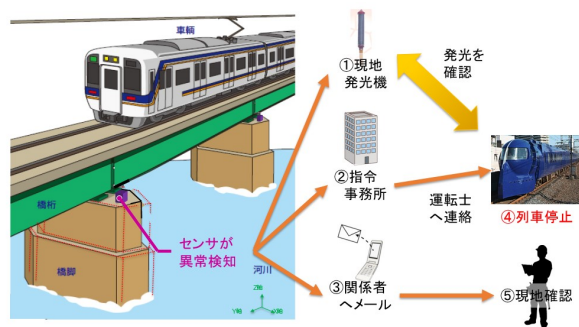
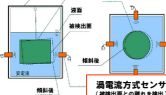


図-1 システムのイメージ

表-1 比較検討の概要

比較検討の例								
No.	センサ	仕様			比較検討			
		計測軸	通信	検知数	経済性		精度	安定性
					初期	保守		
1	傾斜計（高精度） <原理図> 圧電素子（厚りむき方）：半導体 変換部 検出部 出力部 電源部 過電流方式センサ（検出回路心の短絡を防止） 	XY	有線	多	△	×	○	○
2	傾斜計（低精度）  小型MEMSセンサ	XY	無線	多	○	○	△	×
3	傾斜感知器 芯棒が周囲の金属に触れると接点信号がON 	XY	有線	1	△	○	—	○
4	水量加速度計  小型水量加速度センサ	XYZ	無線	多	△	△	○	△
5	デジタルカメラ  モアレ縞のターゲットをカメラで撮影	XZ	無線	多	△	○	○	×

連絡先 〒556-8503 大阪市浪速区敷津東 2-1-41 南海電気鉄道株式会社 工務課 TEL 06-6644-7176

ト、保守コストとも安価であるものの、基準センサと比べると最大30mm程度の差が観測され、また温度変化の影響を受けやすいといった特色が見られた。センサ No.3 (傾斜感知器) は橋脚がある一定以上傾くと接点信号が入力される非段階式タイプで、従来では落石や土石流の検知に使用されていた機器を橋梁に適用したものである。傾斜感知器は初期コストが基準センサと同等であるものの、保守コストは最も安価であり、また1年間を通して誤作動が1回(物理的なものであり、既に解決済)と最も安定性が高いという結果となった。センサ No.4 (水晶加速度計) は傾斜と加速度を同時に計測することができる小型水晶加速度センサを搭載した無線式の機器であり、保守コストは比較的高価であるが、基準センサと比べると最大でも5mm程度の差に収まっており、橋脚の異状を検知するには十分な精度を有していると言える。一方、センサの感度が良いため構造物の微小な挙動も数値に影響することから、どの数値により管理していくかについては検証の余地があると考える。センサ No.5 (デジタルカメラ) は橋脚に設置されたモアレ縞のターゲットをカメラで撮影し、画像解析により変位を算定する機器であり、初期コストは高額であるものの、保守コストは安価である。デジタルカメラは平常時においては、基準センサと比べると最大でも2mm程度の差に収まっており、十分な精度を有しているが、荒天時はターゲット自体が変位するなど突発的な異常値が多発する結果となった。

以上の結果をもとに、列車運行と直結させるシステムに組み込むセンサとして何が適切かを検討した結果、安定性と保守コストに優れたセンサ No.3 (傾斜感知器) を採用することとなった。(図-2)

4. 実橋梁への適用

実橋梁への適用においては、過去の洗掘に関する被災歴や洗掘を受けやすい橋梁を抽出するための採点表の結果を参考に、要注意とされる橋脚を有する橋梁を選定した。図-3に実橋梁へのセンサ設置状況を示す。この橋梁においては低水敷にある橋脚上の上部工端補剛材にセンサを設置するとともに、橋梁前後に特殊信号発光機を設置のうえ、指令事務所に自動で発報できるシステムを構築し、現在運用を開始している。運用開始後、半年以上が経過したが、誤作動等もなく運用を継続している。

5. まとめ

(1) 2017年に発生した洗掘被害に伴う脱線事故を受けて橋脚に異常が発生した際に列車を橋梁内に進入させないシステムを研究開発した。(2) 橋脚の異状を検知するセンサとして5種類を選定し、1年間に渡る長期計測を実施した結果、列車運行と直結させるシステムに組み込むといった観点から、安定性と保守コストに最も優れた機器である傾斜感知器を採用した。(3) 過去の洗掘に関する被災歴や洗掘を受けやすい橋梁を抽出するための採点表の結果を参考に、要注意とされる橋脚を有する橋梁に対して傾斜感知器を設置し、橋梁異状検知システムの運用を開始した。(4) 今回採用した傾斜感知器は橋脚が沈下、傾斜した時点で異常を検知できる仕組みである。今後は、列車運行の更なる安全性向上を目的とし、既存防災システムとの連携や橋梁監視カメラの導入、予兆検知が可能なセンサについて検討を進めて行く予定である。(図-4)

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局 監修, 鉄道総合技術研究所 編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) 基礎構造物・抗土圧構造物, 丸善, 2007

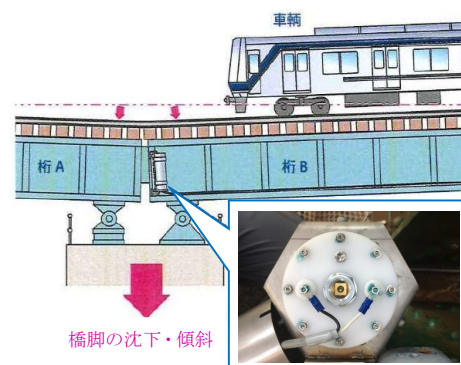


図-2 傾斜感知器の概要図



図-3 センサ設置状況

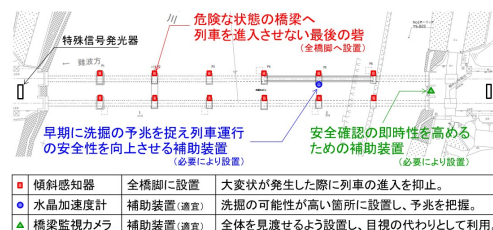


図-4 システム改善イメージ