

講演概要 ICTを活用した鋼橋支点部 モニタリングセンサシステムの開発

関 玲子¹・栗林 健一²・齊藤 岳季³・笠井 諭⁴

^{1, 2, 3}正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地)

¹E-mail:rei-seki@jreast.co.jp

²E-mail:k-kuribayashi@jreast.co.jp

³ E-mail:take-saito@jreast.co.jp

⁴正会員 オムロン ソーシャルソリューションズ株式会社 事業開発本部 新事業推進統括部
(〒108-0075 東京都港区港南2-3-13 品川フロントビル7F)

⁴E-mail:satoshi_kasai@oss.omron.co.jp

鉄道における鋼橋の変状の半数近くが支点部付近で発生している。支点の沈下や可動不良に伴い、主桁に疲労き裂が発生する可能性があるため、支点部の変状を早期に発見することが重要となる。

一方、新幹線の鋼橋は半数程度が BP-A 支承である。既往の研究によると、BP-A 支承は経年使用に伴い固体潤滑剤の固結により可動不良になるという報告がある。しかしながら、BP-A 支承は構造上密閉されているため、内部の点検ができず、可動不良を知得することが困難な状況がある。

そこで、BP-A 支承の可動不良傾向を把握することを目的とし、920MHz 帯無線や Wi-Fi を使用する無線データ回収装置により容易にデータ取得が可能で、電池駆動する支点部モニタリングセンサシステムの開発を行った。実橋に設置し、一定の測定およびデータ取得状況を確認した。

Key Words : steel railway bridge, bearing with bearing plate, monitoring sensor, crack

1. 目的

2031 年度より東北新幹線東京・盛岡間および上越新幹線の土木構造物を対象に、新幹線大規模改修が計画されており、鋼橋については支点部材の取替や鋼材による補強などが計画されている。新幹線鋼橋は固体潤滑剤を使用した高力黄銅支承板をすべり面とする BP-A 支承(図-1)を多く使用しており、既往の文献によると、経年に伴い、固体潤滑剤の固結により可動不良になるという報告¹⁾がある。しかしながら、BP-A 支承は構造上密閉されているため、内部の点検ができず、可動不良の発見が困難な状況があり、ソールプレート溶接部に疲労き裂が発生して、初めて可動不良であることを知りえる状況もある。

そこで、BP-A 支承の可動状況を把握し、可動不良傾向を容易に把握できるモニタリングセンサシステムを開



図-1 BP-A 支承

発し、その動作状況を確認したので、今回報告する。

2. モニタリングセンサシステム開発に伴う仕様検討

モニタリングセンサシステムの開発に向け、仕様の検

討を実施した。

(1) 測定対象

列車通過時に BP-A 支承の橋軸方向における水平変位量と回転変位に伴う鉛直変位量をモニタリングセンサシステムにより測定する。

(2) センサの性能・比較

今回試験設置・測定を実施する橋りょうは支間 40.0m の箱型断面上路合成桁である。当該橋りょうの下り線起点方右側の BP-A 支承を測定対象とした。橋りょうの設計諸元をもとに列車荷重による回転に伴う鉛直変位量および水平変位量を推定した。なお、支承は支承装置中央を中心として回転すると考え、鉛直変位量を算出した。これらの値から、センサの分解能は数 μm 程度必要であると判断した。

また、桁長より、気温変化に伴い 20mm 程度の水平変位が想定されることから、数十 mm 程度の測定範囲を有する必要がある。

さらに、長期測定によるセンサの稼働不良を防止するため、非接触型の変位センサを選択することとした。

非接触型変位センサを表-1 の通り比較検討し、今回は回転に伴う鉛直変位の測定に渦電流式、水平変位の測定にレーザ式を採用することとした。レーザ式センサは汚れ、水による性能への影響を考慮し、カバーにて保護することとした。また、非接触型センサに静電容量式もあるが、費用および形状が大きくなる可能性を考慮し、今回、比較検討対象としなかった。

(3) 測定頻度

後述するが、電池駆動のモニタリングセンサシステムであるため、消費電力の大きい常時測定を行うことが困難であり、また、支承の可動不良によって、急速にき裂発生に進展するわけでもないため、現時点では、1 か月に 1 回 30 分間程度の測定を想定することとした。

(4) 電源機能

支点部への設置が容易なモニタリングセンサシステムとすべく、外部電源を使用せず、電池駆動による稼働とした。定期検査時に電池交換を行うものとし、検査周期である 2 年間、想定測定頻度での安定した測定を可能とする電池容量を検討した。

2 年間、毎月 30 分間の測定頻度などを考慮すると、消費電力は約 240Wh となる。長期間使用に伴う電池の自己放電による容量減少を考慮し、約 400Wh 以上の容量が必要になると考え、今回、アルカリ単一電池 (6000mAh/1.5V) で構成することとし、64 本 (576w) を準備することとした。

(5) データロガー

橋りょう上での列車通過速度を 320km/h、車両 1 両当たりの長さを 25m と想定した場合、1 両通過する際の挙動を把握することを目的とし、10ms 間隔で測定することとした。計 3 つのセンサで、毎月 30 分間を 2 年間測定し続けた場合のデータ数は約 430 万点である。そこで、データロガーは、500 万点程度のデータ保存が可能で、消費電力が比較的小さいものを準備することとした。

(6) スケジュール運転機能

定期的な測定を行うためには、センサやデータロガーを決められたタイミングで起動するスケジュール運転機能が必要となる。スケジュールは、複数パターンが想定されるが、今回の試験設置・測定では 2 年間、毎月 30 分間の測定頻度に相当する約 3 ヶ月、毎日 30 分間を試験的に測定することとしたので、毎日指定時間に電源 ON/OFF が可能な機能を保持するものを選択した。

(7) 地震による起動機能

可動不良傾向を把握することを目的としたモニタリングセンサシステムであるが、支点部は地震時に大きな被害が発生しやすく、点検も容易でないため、地震発生後に桁ずれなど過大な残留変位が発生していないかを確認

表-1 センサの比較

	渦電流式	レーザ式	超音波式
測定原理	電磁誘導によるインピーダンスの変化を測定	レーザの反射に要する時間を測定	超音波発信から受信までの時間を測定
分解能	数 μm 程度	数 μm 程度	数百 μm 程度
測定範囲	10mm 程度	数十 mm 程度	10m 程度
耐環境性	汚れ、水に極めて強い	汚れ、水に弱い	汚れ、水に弱い

するための機能を追加することとした。

地震発生時にシステムを起動させることが必要となるが、起動させる震度を小さく設定すると起動回数が増え、電池の消耗を加速させるため、今回の試験設置・測定では、土木構造物の被害が発生しうる震度5強を起動震度とした。現時点の機能では、地震発生直後からのデータ収集は行えないが、起動震度超過後に測定された変位を地震発生前直前に測定・保存された変位と比較することで、地震による過大な残留変位が発生していないかを容易に把握できる可能性がある。

(8) 無線によるデータ回収機能

橋りょう支点部へのアクセスは容易でないことが多いため、測定データを容易に取得することが可能な方法を検討し、無線によるデータ回収機能を保持することとした。データ回収装置として必要な仕様は、直線距離で50m程度離れた場所から、通信速度は最低2Mbps以上で無線通信できるものとした。

3. 設置・測定

(1) 設置

センサは支承中央との間隔を一定に保つため、支承下部構造側に設置することとした(図-2)。センサの支承への設置は、取り付け穴等の加工を必要とせず、万力形状の治具をボルトの締緩によって、容易な取り付けおよび取り外しが可能な構造とした。今回の設置においては、センサ取り付け治具のゆるみ防止を行わなかったが、設置・測定期間内ではボルトのゆるみは確認されなかった。ただし、2年間以上と長期の測定を実施する場合は、接着剤等を使用したゆるみ防止対策が必要になると考える。

また、モニタリングセンサシステムの測定部や電池を格納した筐体(図-3, 4, 5)は、橋脚上にアンカー等で固定を行わず、振動や地震等によるずれ防止のため、ケーブルでの固定を実施したが、撤去までの期間、顕著なずれは確認されなかった。

(2) 測定・データ保存

前述のBP-A支承に2017年12月にモニタリングセンサシステムを設置し、97日間測定を実施した後、2018年2月に撤去した。測定は当該箇所を計5本の列車が通過する9時49分から10時15分を捉えるべく、その時間帯を中心に測定を実施した。なお、約1か月おきにデータ回収および電池交換を実施した。

スケジュール運転によって、9時49分から10時15分を含む40分間程度測定されたデータは1日を除き、96日分保存されていた。1日保存されなかった理由は電池



図-2 モニタリングセンサ設置状況



図-3 モニタリングセンサシステム設置状況



図-4 モニタリングセンサシステム測定部状況



図-5 電池ボックス

消耗が素因と考える。今回のモニタリングセンサシステムでは、データロガー内のデータをSDカードへ保存するために、電圧降下モジュールを使用している。電池消耗による電圧降下に伴い、電圧降下モジュールより出力された電圧が小さかったため、データ保存が実施されなかったと推定される。ただし、入力電圧が低下しても出力電圧を一定値以上に保持することができる電圧降下モ

表-2 通信試験の結果

地点	水平距離	障害物	無線起動装置のON/OFF 【920MHz帯無線】	無線データ送受信装置 よりデータ収集 【Wi-Fi】
近隣構造物	30m	無	○	○ 快適
近隣地平	110m	無	○	○ 普通
	140m	有（橋脚）	○	×
支承直上 軌道内	0m	無（鉄扉開放）	○	○ 遅い
		有（鉄扉閉鎖）	×	×

ジュールを使用することで、この問題は解決すると考える。なお、保存されなかった1日は電池交換を実施する2日前のデータであった。

測定データは、鉛直および水平変位量ともに、設計諸元より推定した変位量に比べて小さい値を示し、可動不良傾向が疑われる結果を示した。なお、測定結果は測定期間中大きな変化はなく、同様であった。

(3) 無線通信によるデータ取得

無線データ回収装置は920MHz帯無線によりリモートで電源のON/OFFを行う無線起動装置とWi-Fiによりリモートでデータロガー内のSDカードに記録した測定データを収集することが可能な無線データ送受信装置の2つの装置で構成されている。なお、920MHz帯無線の有効距離は500m程度で、Wi-Fiの有効距離は100m程度とされている。データロガーに保存された測定データを無線通信によりデータ取得できるかを様々な条件で検証した（表-2）。

障害物がない場合は100m離れた場所からでも安定したデータ取得が可能であったことから、支点部へのアク

セスを必要とせず容易なデータ取得が可能であることが明らかとなった。

4. 実用化に向けた今後の検討

鋼橋BP-A支承の変位を長期的に測定することで可動不良傾向を把握することを目的としたモニタリングセンサシステムを開発し、安定稼働を確認した。

今後は、温度変化による変位にも追従できることを確認するため、長期測定を実施する予定である。また、本モニタリングセンサシステムを多くの支承へ設置することを想定し、地震時に加速度を測定できる機能等も搭載すべく検討を進めることとする。

参考文献

- 1) 徳永法夫ほか：高力黄銅支承板（BP）支承からゴム支承への取替えに対する有益性に関する一考察，土木学会論文集 No.581/VI-37, pp17-25, 1997.12

(2018.4.6 受付)

DEVELOPMENT OF MONITORING SENSOR SYSTEM FOR BEARING OF STEEL RAILWAY BRIDGE UTILIZING ICT

Reiko SEKI, Kenichi KURIBAYASHI, Takeki SAITO and Satoshi KASAI

More than half of bearings in steel bridges of Shinkansen in JR East are bearings with metal bearing plate (BP-A shoe). According to a previous study, bearing plates of BP-A shoe become unmovable with long-term use. Cracks near the bearing are caused by this movable defect and it is important to detect the defect at an early stage. However, since BP-A shoe is structurally sealed, it can not be inspected inside, and there are situations where it is difficult to detect the movable defect. Therefore, we developed a sensor to monitor the bearing. We installed it on a bridge in service and confirmed reliable measurements.