

講演概要 モニタリングデータを活用した 軌道変位急進性把握システムの開発

西藤 安隆¹・元好 茂²・小西 俊之³・大庭 啓輔⁴

¹正会員 JR東日本研究開発センター 研究員 (〒331-8513 さいたま市北区日進町2丁目479番地)
E-mail:ya-saitou@jreast.co.jp

²正会員 JR東日本研究開発センター 主幹研究員 (〒331-8513 さいたま市北区日進町2丁目479番地)
E-mail:s-motoyoshi@jreast.co.jp

³正会員 JR東日本研究開発センター 上席研究員 (〒331-8513 さいたま市北区日進町2丁目479番地)
E-mail:t-konishi@jreast.co.jp

⁴正会員 JR東日本情報システム (〒171-0031 東京都新宿区大久保3-8-2 新宿ガーデンタワー8F)
E-mail:koba@inet.jeis.co.jp

JR東日本にて開発し、2016年度までに6線区で導入されている「営業列車搭載型線路設備モニタリング装置」で取得されるデータを活用し、修繕に関する意思決定を支援するシステムとして、軌道の急進箇所を算定する機能を開発したので紹介する。位置合わせ手法等の基本理論は（公財）鉄道総合技術研究所の知見を活用しているが、実運用への展開にあたって課題が判明したため、課題解消に向けて検討を行った。具体的には、急進は2データ間の差により判定されるが、修繕後の良化も含まれるため、これを判断する手法について検討した。また、測定データの軌道変位の大きさに依らず一律で急進箇所として出力されてしまうことや光飛び等の影響と考えられる微小な位置ずれによる誤算出箇所の解消に関して検討を行った。

Key Words : Condition Based Maintenance, Smart Maintenance Initiative, decision making support, track irregularity, high frequency monitoring data, sudden deterioration

1. はじめに

現在テクニカルセンターでは、鉄道施設のメンテナンスにおいて、ICT を活用したスマートメンテナンス構想を提唱し、実現に向けて開発を行っている。スマートメンテナンス構想¹⁾とは「CBM の実現」「アセットマネジメント導入」「AI による業務サポート」「統合データベース」の4本の柱で構成されている（図-1 参照）。

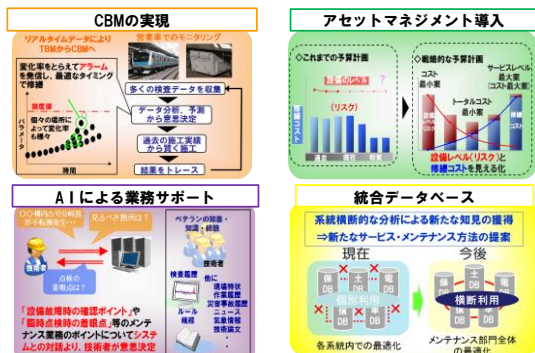


図-1 スマートメンテナンス構想

「CBM の実現」とは、定期的な周期による検査とその結果による修繕の可否を決定する時間基準保全

（Timed Based Maintenance : 以下 TBM）から、一定周期ではなく、高頻度且つ大量にデータを取得することで、修繕の可否を決定する状態基準保全（Condition Based Maintenance : 以下 CBM）へ変更していこうというものである。図-2にCBMのイメージを示す。

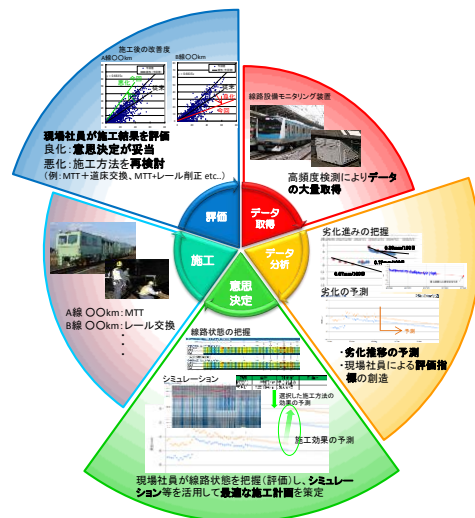


図-2 CBMサイクルイメージ

大量に検測データを取得し、分析することで個々の設備状態を把握するとともに劣化を予測する。この劣化予測から最適な修繕時期等を現場技術者が決定して修繕を実施、その後の設備状態から修繕結果を評価するというサイクルを回すことで CBM が実現可能となる。このように、CBM の実現のためには、大量データを有効活用し、メンテナンスにとって最も重要な修繕の時期、修繕方法、修繕箇所に関わる意思決定を賢くする必要がある。そこで、現在テクニカルセンターでは大量データを活用し、変化の予兆を捉え、修繕計画を提案出来るよう、現場技術者の意思決定を支援するためのシステム（意思決定支援システム）の構築を目指して開発を行っている。

2. モニタリングデータの活用

軌道に関する大量データ取得ツールの一つとして、テクニカルセンターにて開発した営業列車搭載型線路設備モニタリング装置^{2,3)}がある。線路設備モニタリング装置は「軌道変位モニタリング装置」、及び「軌道材料モニタリング装置」から構成されており、営業列車に搭載することで、従来以上の頻度で軌道変位データと軌道材料状態に関するデータの取得可能である。このうち、軌道変位データを活用したシステムとして「軌道変位急進性把握システム」を開発した。

(1) 軌道変位急進性把握システム

軌道変位モニタリング装置の利点は高頻度で軌道変位データを取得できることであり、このデータを比較することで軌道変位の急激な変化を捉えることが可能である。そこで、意思決定支援システムの機能として軌道変位急進性把握システム（以下：急進性把握システム）を検討した。図-3にシステムのイメージを示す。

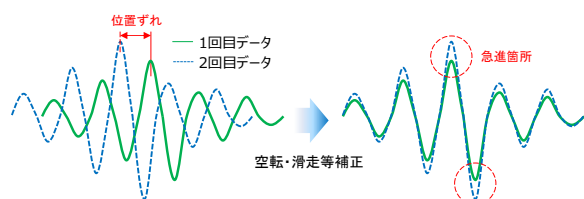


図-3 急進性把握システムイメージ

この急進性把握システムを開発するため、（公財）鉄道総合技術研究所にて開発された相互相関法⁴⁾による位置補正を活用し、（株）日本線路技術に2016年開設されたモニタリングセンターにて位置補正結果や光とび率等から判断されたベストデータの選択を行い、上述のクレンジングされたデータを活用し、1日最大で1本選定されたモニタリングデータを1mごとに比較、式(1)で示すように2データ間の差を算出して、差が一定値以上ある箇所を急進箇所として出力する急進性把握システムの開発を行った。

$$\Delta y = y_{2nd} - y_{1st} \quad (1)$$

ここで、 Δy ：2測定データ間の差、 y_{1st} ：1回目の測定値（対象データ）、 y_{2nd} ：2回目測定値（比較データ）である。

従来は軌道変位チャートを重ね合わせることで急進箇所を把握していたが、非効率な作業となっていた。本機能により、急進箇所を簡易に抽出出来、安定輸送の向上が期待できると考えている。急進性を把握する機能として、下記に示す3つの機能を開発した。

(a) 定期急進性把握機能

本機能は現場社員が1週間周期で行う定例業務を想定して開発した。測定された最新の軌道変位データと約1週間前のデータとの差である Δy （以下：急進値とする）が $\pm 3\text{mm}$ 以上の箇所を急進箇所として算出する。更に抽出された箇所の線名、線別、位置（キロ程）、対象データの測定値、比較データの測定値、急進値等を一覧で表示する。判定対象となる測定項目は、「高低左右」「通り左右」「水準」「軌間」の計6項目である。

(b) フリー急進性把握機能

定期急進性把握機能は定例業務を想定したものであったが、フリー急進性把握機能は、現場社員が自由な発想での急進箇所の抽出や軌道状態を把握することを目的とした機能である。システムから一覧表示される項目は定期急進性と同一であるが、抽出条件となる急進値や活用するデータを選択することが出来る機能となっている。そのため1週間より長いスパンでの軌道状態評価が可能である。なお、急進値は判定対象の測定6項目それぞれで設定が可能である。

(c) 軌道変位チャート

最大4測定データの軌道変位チャートを重ね合わせて表示することが可能な機能である。チャートを確認することで急進箇所前後の軌道状態も把握可能である。

図-4~6に開発した機能の画面イメージを示す。



図-4 TOP画面

線名	線別	位置 (km)	項目	測定値 (mm)	比較値 (mm)	急進値 (mm)	測定日	比較日	速度 (km/h)	備考
1	●●線	200.270m	高低左(標準補正)	6.2 mm	-10.4 mm	-16.6 mm	2017/04/09	2017/03/30	81 km/h	61 km/h
2	●●線	200.260m	高低右(標準補正)	4.9 mm	-10.3 mm	-15.2 mm	2017/04/09	2017/03/31	80 km/h	81 km/h
4	●●線	200.260m	高低左(標準補正)	4.2 mm	-12.1 mm	-16.3 mm	2017/04/09	2017/03/30	78 km/h	75 km/h
5	●●線	300.970m	高低右(標準補正)	3.5 mm	-12.5 mm	-16.0 mm	2017/04/09	2017/03/31	82 km/h	88 km/h
6	●●線	330.010m	高低左(標準補正)	3.4 mm	-10.8 mm	-14.2 mm	2017/04/09	2017/03/31	74 km/h	79 km/h
7	●●線	330.010m	高低右(標準補正)	3.3 mm	-10.9 mm	-14.2 mm	2017/04/09	2017/03/31	74 km/h	79 km/h
8	●●線	200.180m	高低左(標準補正)	3.2 mm	-10.0 mm	-13.2 mm	2017/04/09	2017/03/31	74 km/h	72 km/h

図-5 急進箇所一覧表示



図-6 軌道変位チャート表示

急進箇所を抽出する基本的な考え方は式(1)で良いが、実際の業務を想定すると考慮しなければならない課題がいくつか判明したため、下記にその内容と検討結果を記述する。

(2) 急進判定対象閾値の検討

前述したように、急進性の算出は2測定間の軌道変位の差(Δy)のみに着目して算定を行っているため、測定データの軌道変位の大きさに依らず一律で急進箇所として出力されてしまうという課題がある。そこで図-7に示すように対象とする軌道変位がある範囲内にある箇所の急進箇所として算出することとした。

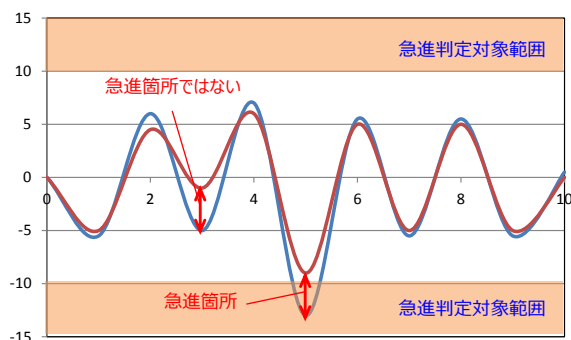


図-7 急進判定対象閾値設定イメージ

範囲を設定した理由は、1)ある程度の変位量を持っている箇所を抽出するため、2)急進箇所付近の判定除外(光とび)箇所などの影響により急進判定の対象となっているが軌道変位が誤検測された箇所を除外するための2点がある。上記目的のため、急進判定閾値の検討を行った。具体的には、最新の軌道変位データを急進判定対象閾値として、閾値が変化した場合に抽出される急進性箇所の個数と抽出箇所のチャートを確認し、精度を確認した。検証した結果を図-8および表-1に示す。なお、検知数は正しく急進算定された箇所、精度は算出数に対する検知数の割合を示している。

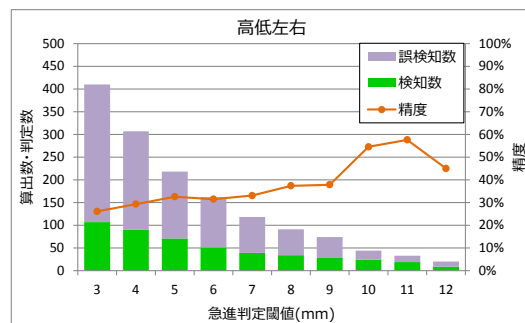


図-8 高低左右の検証結果

表-1 全判定項目の検証結果

急進判定閾値(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
高低左右										
算出数	410	307	218	162	118	91	74	44	33	20
誤検知数	303	217	147	111	79	57	46	20	14	11
精度	26%	29%	33%	31%	33%	37%	38%	55%	58%	45%
通り左右										
算出数	138	96	72	50	33	25	22	16	14	11
誤判定数	104	71	49	39	26	20	17	13	11	9
精度	25%	26%	32%	22%	21%	20%	23%	19%	21%	18%
水準										
算出数	33	24	17	14	11	9	6	2	2	0
誤判定数	33	24	17	14	11	9	6	2	2	0
精度	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-
軌間										
算出数	51	44	24	9	7	5	5	4	4	4
誤判定数	49	43	24	9	7	5	5	4	4	4
精度	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

図および表より、高低は急進判定閾値 10mm を境に精度が著しく向上すること、高低以外の測定項目は閾値の違いによる変化は見られないことから、急進判定閾値を 10mm とした。

(3) 修繕可能性箇所の検討

本機能は軌道変位の差でのみ急進箇所を判定するため、軌道状態が悪くなった箇所だけでなく、修繕後の軌道状態が良くなった箇所についても急進箇所として誤算出されてしまう。本来は修繕実績などから修繕箇所を把握し、急進箇所から除外するのが理想であるが、検出頻度が高いことや、現状タイムリーな修繕実績の体系的な把握が難しく、当該箇所を除外できない課題があった。そこで、修繕箇所を軌道状態から把握することを検討した。修繕を行うと軌道変位値が 0mm に近づくことから急進箇所を判定するデータ同士の軌道変位の σ 値を比較することで修繕の有無を把握できると考えた。 σ 値の比較式を式(2)に示す。

$$\alpha\sigma_2 - \sigma_1 > 0 \quad (2)$$

ここで、 α : 係数、 σ_1 は対象データの軌道変位の標準偏差、 σ_2 は比較データの軌道変位の標準偏差を表す。

式(1)式に該当する箇所については、修繕可能性箇所として取り扱うこととした。算出する標準偏差は当該箇所から前後 12m の軌道変位の標準偏差を採用している。これは TT による継目落ち箇所の修繕といった局所的な修繕から MTT といった比較的長い延長の修繕についても算出できるように考えたためである。係数を乗ずる理由はモニタリング検測の特性上、検測誤差が生じるため、係数を乗せずに算出してしまうと修繕していない箇所

所も修繕可能性箇所として算出されてしまう可能性があるためである。係数の値については、実際の修繕実績がある箇所と算出修繕可能性箇所がどれだけ整合性があるか確認した上で係数を決定した。検討結果の例を表-2に示す。「検知」とは作業実績があり且つ修繕可能性箇所と算出されていた箇所、「未検知」とは作業実績があるが修繕可能性箇所と算出されていない箇所、「誤検知」とは作業実績はないが修繕可能性箇所と算出されていた箇所である。各項目の個数に対する割合も併せてまとめている。

表-2 αの検証結果

		急進判定箇所数 (高低)		918				
		MTT作業実績(m)		257				
箇所①	α		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
	検知	個数	217	185	152	114	80	52
		割合	84.4%	72.0%	59.1%	44.4%	31.1%	20.2%
	未検知	個数	40	72	105	143	177	205
		割合	15.6%	28.0%	40.9%	55.6%	68.9%	79.8%
	誤検知	個数	354	139	103	84	70	53
割合		53.6%	21.0%	15.6%	12.7%	10.6%	8.0%	

		急進判定箇所数 (高低)		100				
		MTT作業実績(m)		30				
箇所②	α		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
	検知	個数	18	16	15	13	11	8
		割合	60.0%	53.3%	50.0%	43.3%	36.7%	26.7%
	未検知	個数	12	14	15	17	19	22
		割合	40.0%	46.7%	50.0%	56.7%	63.3%	73.3%
	誤検知	個数	34	31	19	11	9	9
割合		48.6%	44.3%	27.1%	15.7%	12.9%	12.9%	

検討の結果、当然のことであるが検知率と誤検知率は相関関係があり、実現場の活用を考慮すると検知率も重要だが誤検知率を低くすることが必須となる。そこで、実運用への展開を見据え、検知率を50%以上、且つ誤検知率を30%以下となる係数αを0.8とした。

(4) 10m区間値による判定

モニタリングデータはデータデポおよび相互相関法による位置補正を行っているが、モニタリングデータの特性上、図-9の様な多少の位置ずれがごく一部に確認された。

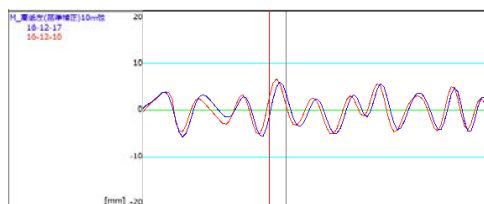


図-9 位置ずれ箇所例

急進箇所判定は1m単位でデータを比較しているため、2データ間の差が急進値以下でも、位置ずれが発生している箇所については全箇所が急進箇所として誤算出されてしまうことがあり、急進箇所の誤算出対策の検討が必要である。データを確認したところ、位置ずれは長い延長で発生している訳はなく、光飛び箇所前後や低速走行時の速度発電機のノイズ発生箇所前後といった特異的な箇所が多く発生しており、位置ずれにより誤算出されている急進箇所は局所的にある程度まとまって抽出されて

いた。そこで、表-3に示す様に1m単位で軌道変位の差を算出した後キロ程を10m単位で区切り(10m区間化)、軌道変位の差が最も大きい箇所をその10m区間の代表として算出することとした。現状10m以上の位置ずれは確認されていないため、10m単位での急進把握を行うことが誤算出の抑制に有効と考えている。

表-3 10m区間値による判定イメージ

No.	WB	キロ程	差	対象日	比較日	フラグ	1mピッチ	10mブロック
1		0k000m	0.8	-0.5	-1.3			
2		0k001m	1.0	-1.5	-2.5		○	
3		0k002m	0.9	-2.3	-3.2			
4		0k003m	0.5	-2.6	-3.1			
5		0k004m	0.2	-2.1	-1.9			
6		0k005m	1.4	-0.9	0.5		○	
7		0k006m	2.5	1	3.5		○	
8		0k007m	3.4	3.2	6.6		○	
9		0k008m	3.5	5.2	8.7		○	○
10		0k009m	2.8	6.5	9.3	計数中止		
11	W	0k010m	1.5	6.4	7.9	計数中止		
12	W	0k011m	0.1	4.8	4.9	計数中止		
13	W	0k012m	0.8	1.8	1	計数中止		
14	W	0k013m	1.1	-1.5	-2.6		○	○
15		0k014m	1.0	-4	-5		○	
16		0k015m	0.5	-5.1	-5.6			
17		0k016m	0.3	-4.6	-4.9			
18		0k017m	0.2	-3.3	-3.5			
19		0k018m	0.3	-2.2	-2.5			
20		0k019m	0.5	-1.8	-2.3			

急進箇所一覧に出力

3. まとめと今後の課題

本稿では、(公財)鉄道総合技術研究所の知見を活用し、大量データの一つであるモニタリングデータによる、現場社員の意思決定を支援するためのシステム(意思決定支援システム)の開発の一つとして、軌道変位急進性把握システムを紹介した。開発の結果、実運用展開可能な機能の開発ができた。本機能により軌道の劣化を容易に、効率良く確認することが可能となるため、安全安定輸送に大きく貢献できると考えている。

一方、今回検討した内容は、現状モニタリングデータの取得が可能な限られた線区での結果である。今後、営業列車搭載型線路設備モニタリング装置の導入線区拡大が計画されており、精度向上に向けて更なる検討が必要と考えている。

今後も継続して意思決定支援システムの開発に取り組み、CBMの推進、更にはスマートメンテナンス構想の実現を目指す所存である。

参考文献

- 1) 横山淳：鉄道におけるイノベーション，JR EAST Technical Review, No.48, pp.1-4, 2014.
- 2) 寺島令，瀧川光伸，堀山功：営業列車搭載用線路設備モニタリング装置の開発，第19回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2012)講演概要集，pp.163-164, 2012.
- 3) 葛西亮平，西藤安隆，小松佳弘，小木曾清高，矢作秀之，小西俊之：線路設備モニタリング装置の概況と今後の方向性，JR EAST Technical Review, No.55, pp.21-24, 2016.
- 4) 田中博文，山本修平，森忠夫，西藤安隆：相互相関法を用いた波形レベルでの軌道変位進み算定手法の開発，第23回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2016)講演概要集，pp.95-98, 2016.

(2017.4.7 受付)