

S2-2-5. 実測データによる通り狂い進み推定モデルの検証

[土] ○ 川口 昭人 (鉄道総研) [土] 三和 雅史 (鉄道総研)

An Evaluation of the Alignment Growth Model by Data Analysis
Akihito KAWAGUCHI (RTRI), Masashi MIWA (RTRI)

In this paper, we confirm that the proposed estimation model for alignment irregularity in the design standard for ballasted track structure is useful by using actual data of JR high-speed line with narrow-gauge. In order to evaluate the model, we compare actual and estimated growth of alignment irregularities and use a statistical modeling approach. From the statistical data analysis, we improve the model to estimate more precisely. Consequently, we can estimate changes in alignment irregularity by the improved model in most cases. Moreover, we propose the method for applying the model for the investigation such as deciding track structure.

キーワード: 有道床軌道, 急曲線, 通り狂い進み, 標準偏差, 推定モデル

Key Words: Ballasted track, Sharp curves, Alignment growth, Standard deviation, Estimation Model

1 はじめに

近年, JR の在来線において, 大きなカント不足量を許容する振り車両の導入による曲線部の高速化が積極的に進められていることに伴い, 曲線部における通り狂いの管理が重要になっている。とりわけ有道床軌道の場合には, 適切な保守計画や設備更新計画を策定するために, 列車の繰り返し通過に伴う軌道狂い進みの推定が必要である。そこで, 本研究では通り狂いに着目し, JR 在来線高速線区における通り狂いの時系列データの解析により, 通り狂い進みの実態を定量的に把握する。そして, 既に提案されている通り狂い進みの推定モデル¹⁾による推定値との比較を通じてモデルの妥当性の検証を行うとともに, 推定モデルの改良の可能性に関する検討を行った結果について報告する。

2 軌道左右変位置と 10m 弦通り狂い標準偏差の関係

文献 1) に示される通り狂い進み推定モデルでは, 図 1 に示すように, 軌道構造条件及び輸送条件を入力条件として, 継目部及び溶接部における軌道左右変位置を算出し, 通り狂い進み量を推定する。本モデルでは, 図 2 に示すような考え方により軌道左右変位置と通り狂い標準偏差を関係付けている。この考え方では, レール中間部では軌道の左右変位置が生じないものとし, 継目部および溶接部で発生する左右変位置の 1/6 が通り狂い進み量 (標準偏差) に相当するとしている。この考え方については, 文献 2) において高低狂い進みに関してその妥当性が示されている。

ここで, 図 3 に, 曲線区間における通り狂いの時間変化の例を示す。図から, 衝撃的な荷重が作用する継目部において通り狂い量が大きく, また通り狂い進みも顕著であることが確認でき, 図 2 の考え方に近い実状がわかる。このことから, 復元通り狂い波形の全振幅を図 2 における軌道

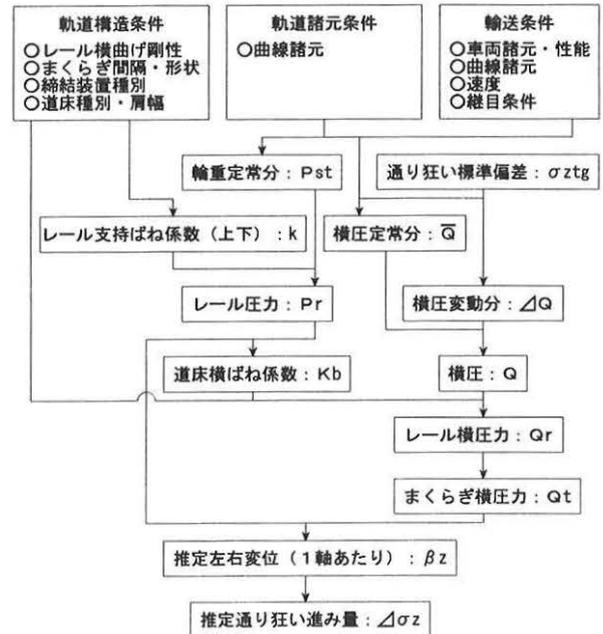
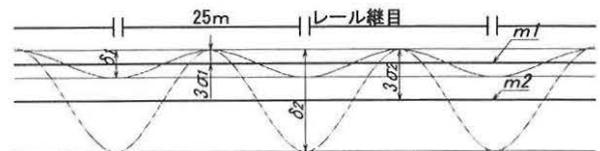


図 1 軌道変位置・通り狂い進み推定法



m1: 時刻 t1 での通り狂い平均値 m2: 時刻 t2 での通り狂い平均値
 δ1: 時刻 t1 での軌道左右変位置 δ2: 時刻 t2 での軌道左右変位置
 σ1: 時刻 t1 での通り狂い標準偏差 σ2: 時刻 t2 での通り狂い標準偏差

図 2 推定通り狂い進みと軌道左右変位置の関係

の左右変位量とみなすこととし、この値と 100m ロット標準偏差との関係を分析する。ここでは、ある時刻における 10m 弦正矢通り狂いの 100m ロット標準偏差 σz と、同区間に含まれる継目部あるいは溶接部における復元通り狂い（全振幅）の最大値 R_{pp} の関係を図 4 のように整理した。その結果、両者の間には相関が認められ、その関係は $R_{pp} \approx 3 \times \sigma z$ で表される。このことから、通り狂い標準偏差を推定する際には、 R_{pp} の 1/3 とすることが妥当であると考えられる。

次に、通り狂い標準偏差の進み量 $\Delta \sigma z$ の 3 倍と復元通り狂い最大値の時間増分 ΔR_{pp} の関係を図 5 のように整理した。その結果、若干のばらつきはあるものの、両者は近い値であることが確認できる。

以下では、軌道左右変位量と通り狂い標準偏差に関する以上の関係を考慮して、通り狂い進みの推定値と実測値の関係を分析する。

3 通り狂い進みの推定値と実測値の比較

3.1 推定通り狂い進みの計算条件

比較対象区間の輸送条件及び曲線半径別解析可能ロット数を表 1 に、また曲線半径別軌道構造条件を表 2 に示す。なお、輸送条件のうち、軸重については特急列車は 10 t、普通列車は 12 t、貨物列車は 17 t とし、列車速度についてはランカーブの値を用いた。また、軌道構造条件のうち曲線半径とカントについては線路台帳に記されている値を用いた。

比較対象とする実測データは、平成 15 年度のマヤ車検測データの曲線部外軌側通り狂いを使用した。ここでは、外乱因子を取り除くため、踏切や無道床橋りょうの介在しない 100m ロットのデータのみを検討対象とした。

3.2 通り狂い進みの推定値と実測値の比較

通り狂い進みの推定値と実測値の比較を図 6 (i) に示す。進み量は 175 日（第 1 - 3 四半期検測間隔）あたりの値で比較した。プロット点は 0 ~ 0.4 mm 付近に集中しており、多くの推定値は実測値に近い。しかしながら、実測値が 0.4 mm を超える範囲では、実測値が推定値を大きく上回っている。そこで、データを区間別、曲線半径別に詳細に分割して整理することで、このような大きな乖離が生じる理由を考察する。

まず、本モデルにおいて輪軸横圧変動分を算出する際に考慮する通り狂い標準偏差をパラメータとして、ある時刻の通り狂い標準偏差（初期通り狂い標準偏差）と 175 日あたりの進み量の推定値および実測値の関係を整理した。その結果の一部を同図 (ii) ~ (viii) に示す。

どのグラフもデータ数は多くはないが、区間 A の R 600 や区間 C の R 400、区間 E の R 600、区間 F の R 300、および区間 G の R 300 については、概ね推定値と実測値は近い。また、初期通り狂い標準偏差に応じて狂い進み量が変化する様子が近いデータを確認できる。一方、区間 D の R 800

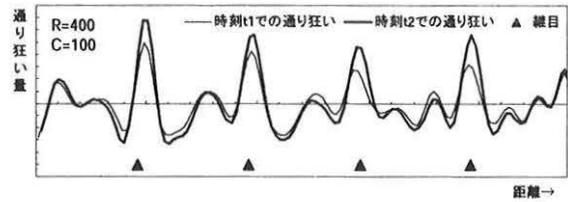


図 3 通り狂い進みの実態 (6-25m 復元波形)

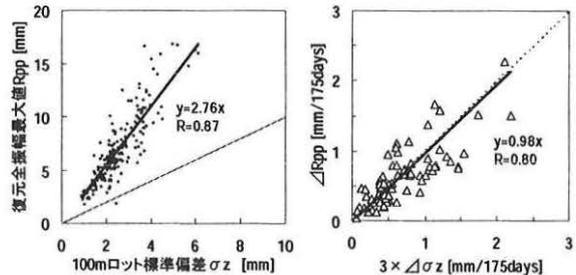


図 4 σz と R_{pp} の関係 図 5 $\Delta \sigma z$ と ΔR_{pp} の関係

表 1 輸送条件及び解析対象ロット数

区間	輸送条件 (百万トン/年)			曲線半径別 解析可能ロット数						
	特急	普通	貨物	300	400	500	600	800	900	1600
A	4.1	3.0	1.1		8		5			
B	4.1	1.8	1.1		3	5	4			
C	4.1	1.8	0.7	7	7	3	3	8		
D	4.1	1.8	0.2		3			5		
E	3.9	1.6	0.2	5		3	4	2	4	
F	3.9	2.1	0.2	6	5		3	2		3
G	3.9	2.8	0.2	5	4		2			

表 2 軌道構造条件

曲線半径	レール種別 (外軌側)	継目 種別	継目 まくらぎ	まくらぎ 種別	締結装置	道床
300	340,370,HH	主に	主に	主に	主に	種別: 砕石
400	340,370,HH 一部EH	普通	PC特殊型	PC6号	9型, 9型改	道床厚: 200~
500	340,370,HH,EH	R400,600,800の 一部溶接	(継目用) 一部	PC6S号	ナブラ型	250mm
600	340,370,EH 一部HH	大粒まくらぎ	並まくらぎ	R800の 一部	R800の 一部	道床厚: 300~
800				並まくらぎ	F型	400mm以上
900	EH			並まくらぎ	F型	
1600				PC3号	S型	

のように実測値が推定値を大きく上回る場合や、区間 A の R 400 のように一部のデータについて実測値が推定値を上回る場合が存在する。

以上のことから、これらの箇所における乖離の原因を以下で考察する。

3.3 通り狂い進みに対する軌道構造条件等の影響

3.3.1 乖離の大きな箇所についての考察

図 7 は、区間 D、R 800 の通り狂いの推移を示したものであり、継目部を中心に大きな狂い進みが確認できる。この区間の内外軌レールとも 1979 年に敷設された EH レールであり、レールの経年による劣化や、EH レールの端部の摩耗残りによる衝撃的な横圧の影響で通り狂いが急進し、

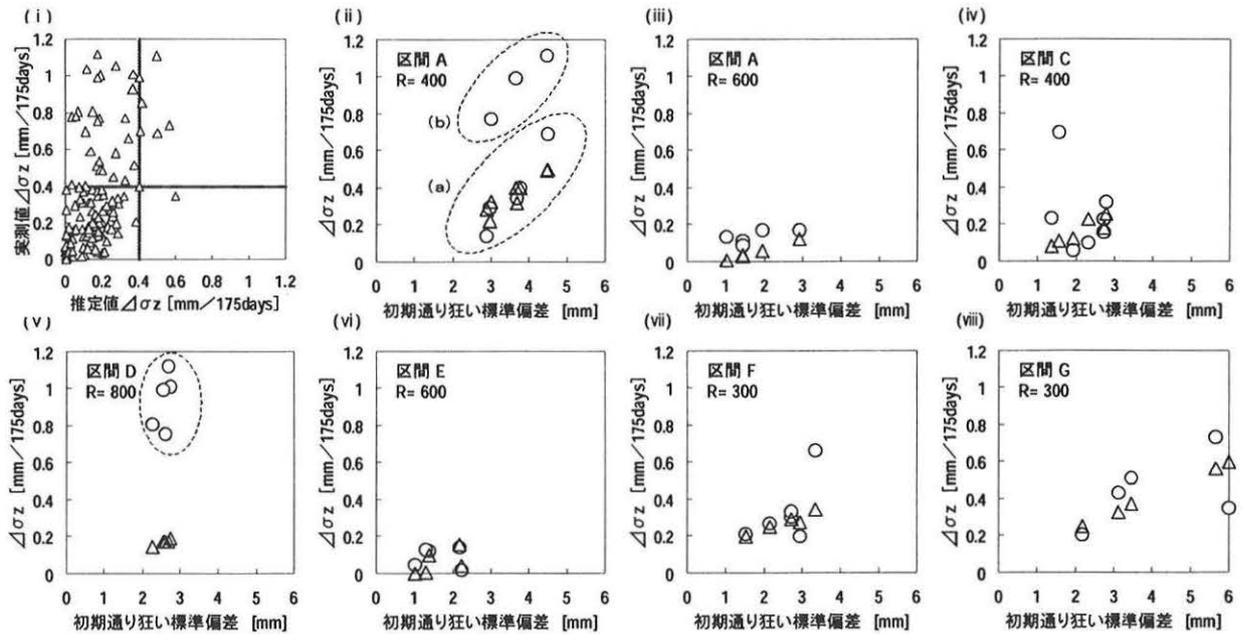


図6 通り狂い進みの推定値と実測値の比較 (凡例 ○: 実測値, △: 推定値)

実測値が推定値を大きく上回ったと考えられる。なお、当該箇所最高速度は120km/h以上であり、このような区間では外軌側には熱処理レールを使用することになっており、早急なレール交換が望まれる。

次に、一部の实測値だけが推定値と大きく乖離している区間A, R400のケースを検証する。この曲線では、外軌側レールは1992~1993年に敷設されたHHレール、継目部のまくらぎは継目用PCまくらぎであることから、軌道構造上の差異はない。そこで、高低狂い(10m弦正矢)に着目すると、図8に示すように、推定値との乖離が大きい曲線部(b)では、継目部において大きな高低狂いが発生している。これは、道床が劣化している可能性を示唆しており、このことが通り狂い進みに影響したと考えられる。

その他の推定値と実績値の乖離が大きい箇所についても、その多くが以上のいずれかの原因に当てはまった。つまり、このような区間においては、本モデルの推定精度は著しく低下すると言える。

3.3.2 継目条件の影響

本モデルでは、継目の有無を考慮して通り狂い進みを推定することができる。ロングレール区間である区間Bの6ロットにおいて推定値と実測値を比較したものを図9に示す。概して推定値より実測値の方が大きいのは、本モデルでは輪軸横圧の継目衝撃分をロングレールの場合には見込まないためと考えられる。つまり、溶接部では多少の衝撃分が発生していると考えられる。推定値は4つのロットにおいては、推定値と実測値との差は小さいが、残る2つのロットにおいては実測値が予測値を大きく上回っている。そこで、初期通り狂いが同程度のロット(図中(a), (b))

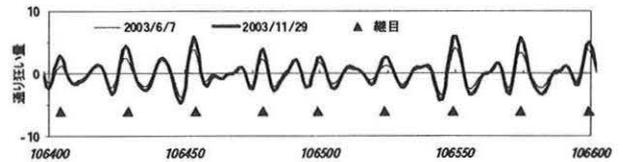


図7 通り狂い進み (区間D, R800m)

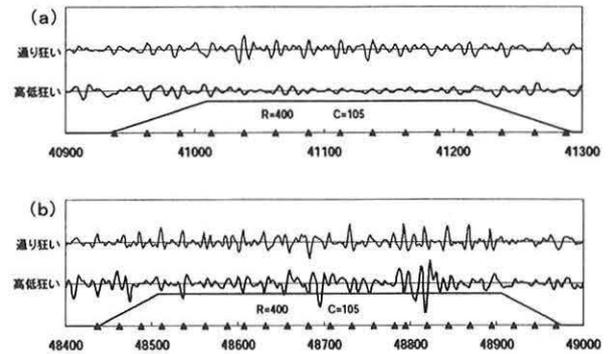


図8 軌道状態の比較 (区間A, R400m)

に関して軌道状態を比較した。図10にロット(b)の軌道状態を示す。図から溶接部における水準狂いが大きいことが解り、この点でロット(a)と異なっていた。また、同図にマヤ車検測の左右継目

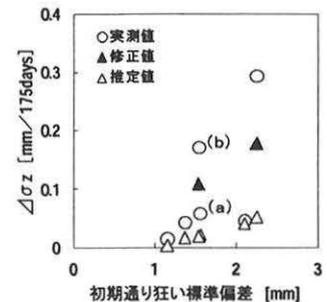


図9 推定値と実測値の比較

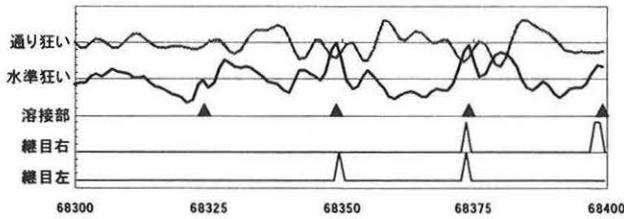


図 10 軌道状態 (区間B, R600m)

データを示すが、ロット (b) では存在しないはずの継目信号が記録されている。つまり、ロット (b) の溶接部の状態は普通継目部と同等程度に不良であり、ロングレール区間に用いる推定式を適用することに問題があることを示している。そこで、同箇所に対して普通継目と同様の輪軸横圧算定式を用いて推定値を算定した値を修正値として、実測値と比較した結果を図 9 中に修正値▲として示す。この場合も実測値の方が大きい差は縮小されることが確認できる。

以上より、本モデルを実態に応じて使い分けることで、ロングレール区間の通り狂い進みについても推定できると考えられる。

3.4 推定値の補正

図 6 に示したように、本モデルの推定値は、実測値より小さい場合がいくつか存在する。そこで、本モデルを軌道の設計等、安全側の検討が必要な際に用いる場合の推定値の補正方法について検討した。ただし、ここでは 3.3 節において本モデルでの予測が困難であるとした外軌側レールが E H レールもしくは旧 H H レールであり、通り狂いの急進箇所である区間のデータは除くこととした。このときの実測値と推定値の比の分布を図 11 に示す。この図から、推定値を 1.2 倍することで、およそ半数の実測値を包含することが分かる。

次に、推定値が極微小な場合のデータについて考察する。それらのデータは、そのほとんどが溶接部であることから、図 12 に溶接部における推定値と実測値の比較を示す。この図から、通り狂い進みがほぼ 0 の推定値に対しても、実際は 0.1mm/175 日程度の進み量が存在するとするのが適当であると考えられる。

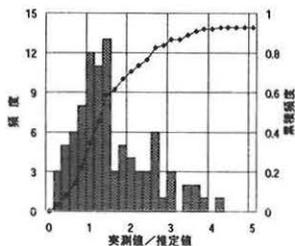


図 11 実測値/推定値の分布

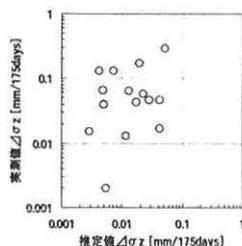


図 12 溶接部の推定値と実測値の比較

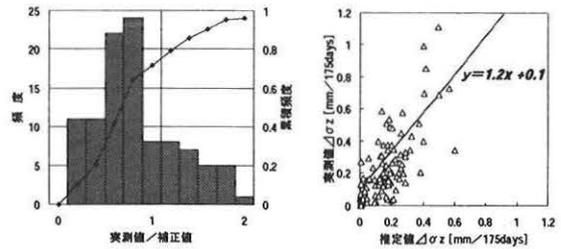


図 13 実測値/補正値の分布 図 14 推定値と実測値及び補正値の関係

以上のことから、推定値を 1.2 倍し、0.1mmを加えた値 (補正値) と実測値との比の分布を図 13 に示す。このとき、実測値が補正値を超過する割合はおよそ 2 割程度であり、安全側の推定が可能となる。

4 まとめ

今回の検討により得られた結果は以下の通りである。

- (1) 100m ロットの 10m 弦正矢通り狂い標準偏差と復元通り狂い全振幅最大値との相関が高いこと、および標準偏差の 3 倍により全振幅最大値すなわち軌道左右変位量の推定が概ね可能であることを確認した。
- (2) 通り狂い進み推定値と実測値を比較した結果、本モデルによりおおよその推定が可能であることと、軌道状態の悪い箇所ほど、通り狂い進みが大きい傾向を表現できることを確認した。
- (3) 旧 H H レール及び E H レール敷設区間では、通り狂い進みの急進性が確認され、本手法による推定精度は低下する。また、継目部の高低狂いが大きく、道床状態が不良である箇所についても推定精度は低下する。
- (4) 本モデルにより安全側の検討が必要な際には、算定される推定値を 1.2 倍し、溶接部の通り狂い進み実測値 (標準偏差) を考慮した定数を加えることで安全側の推定ができる。

5 おわりに

文献 1) に示される通り狂い進みの推定法の精度を、実測データにより検証した例はこれまでなく、今回初めて試みた結果、算定式を修正することで実測値に近い推定値を得られることを確認した。ただし、推定精度の低い箇所も存在したことから、既設線で本モデルを適用する際には、実態を考慮する必要がある。今後は、他の条件の線区においても同様の分析を行う予定である。

[参考文献]

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 [有道床軌道] (案) 1997. 3
- 2) 内田 他：在来線高速線区軌道狂い進みの実態と予測手法の検証 鉄道総研報告 Vol. 12, No. 3, 1998. 3