

軌道狂いにより発生する輪重変動の推定に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 村松 浩成
 鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦

1. はじめに

曲線通過時に発生する輪重、横圧を推定する手法として、車両・線路の各パラメータを入力条件とする輪重横圧推定式が提案されている^{1),2)}。

この式は、曲線通過時の静的な力の釣り合いと実測データ等の解析結果に基づき構成されており、低速走行時の輪重、横圧を概ね推定できることが示されている。しかし、この式には、車体ローリングによる輪重変動は考慮されておらず、局所的な平面性狂いの影響をはじめ、実軌道狂い上での輪重、横圧の推定に関する検討も十分でない。

そこで本研究では、軌道狂いにより発生する外軌側輪重の変動分の推定を試みるとともに、その推定精度に関する検討を行った。なお、ここでは、輪重及び軌道狂いの波長 6m から 25m までの成分を変動分とした。

2. 実軌道狂い上での外軌側輪重の推定

2. 1 輪重推定式による推定

輪重推定式は、以下の 3 つの要素から構成されている。

- (1) 内外軌の静止輪重に対する遠心力による定常的な輪重増減： $\overline{P}_o$ (外軌)
- (2) 緩和曲線でのカント逡減や平面性狂いにより発生する軸ばね・枕ばねの伸縮による輪重増減： $\Delta\overline{P}$
- (3) 曲線通過時に生じる空気ばねのねじれの反力（ $=F_1$ ）の輪重成分： $F_1/\tan 60^\circ$

ここで、外軌側輪重 P_o は式(1)で表される。

$$P_o = \overline{P}_o - \Delta\overline{P} + F_1/\tan 60^\circ \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、式(1)に実軌道狂いから求めたカント、曲線半径、平面性狂い（カント逡減分を含む）を入力すれば、実軌道狂い上での外軌側輪重を推定できる（以下、手法①という）。なお、 $\Delta\overline{P}$ において、平面性狂いに伴う台車 3 点支持による輪重変動率 k_ϕ は、式(2)で表される。

$$k_\phi = k_1 b_l^2 / 4b^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 k_1 ：上下軸ばね定数/1 軸箱（kN/mm）

$2b_l$ ：左右軸ばね間隔（mm）， $2b$ ：左右接触点間隔（mm）

2. 2 軌道狂いの変動分からの推定

走行試験で得られた輪重及び軌道狂いデータを用いて、軌道狂いにより発生する外軌側輪重の変動分の推定を試

みた。検討に用いた主な車両・線路条件を表 1 に示す。

表 1 主な車両・線路条件

静的軸重	70kN	左右軸ばね間隔	1570mm
軸間距離	2.0m	左右接触点間隔	1120mm
上下軸ばね定数/1軸箱	1.4kN/mm	走行速度	30～50km/h
曲線半径	200～350m	カント	60～80mm

輪重変動には、平面性狂いによる変動と、車体ローリングによる変動が想定される。従って、ここでは、2m 平面性狂いの変動分 h と 10m 弦通り狂いの変動分 t を、軌道狂いによる輪重変動の説明変数に用い、外軌側輪重の変動分 ΔP の予測式として、式(3)を仮定した。

$$\Delta P = ah - bt \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 a 、 b は比例定数を表し、平面性狂いは輪重が抜ける向きを正、通り狂いは曲線外向きを正とする。なお、比例定数 b の負号は、曲線外向きの通り狂いがある場合、見かけ上の曲線半径が小さくなり、カント不足量が大きくなって外軌側輪重が増加するためである。

各曲線の外軌側輪重、2m 平面性狂い及び 10m 弦通り狂いの実測値を用いて、回帰分析により比例定数 a 、 b を算出した。以下に、比例定数 a 、 b に関する検討結果を示す。

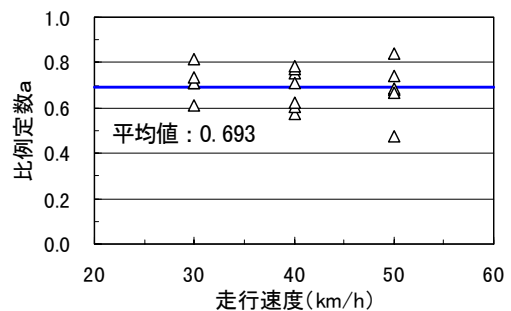


図 1 2m 平面性狂いの比例定数 a と速度の関係

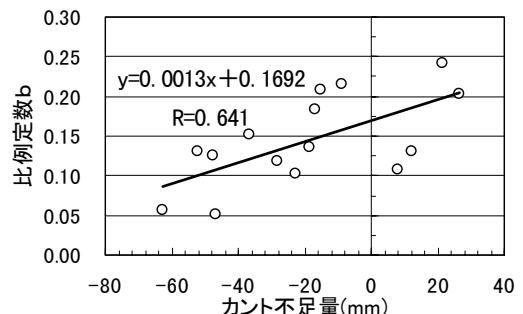


図 2 10m 弦通り狂いの比例乗数 b とカント不足量の関係

キーワード：輪重横圧推定式、輪重変動、平面性狂い、通り狂い

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 軌道管理
 TEL 042-573-7278 FAX 042-573-7296

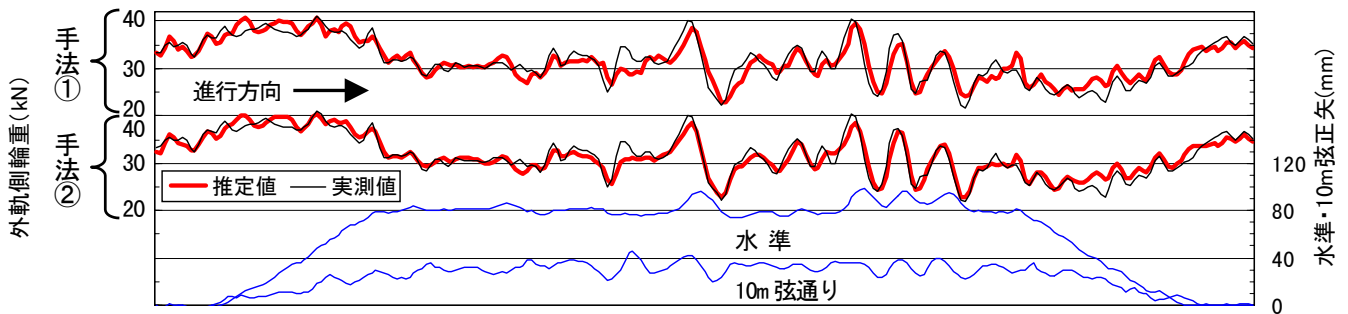


図3 外軌側輪重の実測値と推定値の比較

図1は、2m 平面性狂いの比例定数 a と走行速度の関係を表している。これより、比例定数 a は、速度 50km/h でのばらつきがやや大きいものの、速度依存性は小さいことがわかる。また、比例定数 a の平均値は 0.693 で、この値は、式(2)と表1の車両諸元から求めた輪重変動率 0.688 にほぼ等しい。従って、ここでは、比例定数 a を式(2)で近似することとした。

次に、車体ローリングが車両重心に作用する遠心力の局所的な変化に依存すると仮定すれば、10m 弦通り狂いの比例定数 b は、カント不足量の関数として定義できると考えられる。ここで、図2より、両者の関係はほぼ一次式で近似できる。ただし、図2の回帰式の傾きと切片は車両諸元によって変化すると考えられるため、この回帰式が全ての車種に対応しているわけではない。また、この回帰式を J R 在来線（軌間 1067mm）のカント不足量の最小値 -105mm まで外挿すると 0.0327 となる。従って、式(3)の比例定数 b は全ての速度域で正となる。

以上のことから、本研究で用いた車両の軌道狂いにより発生する外軌側輪重の変動分 ΔP は、式(4)で表される。

$$\Delta P = k_{\phi} h - (0.0013C_d + 0.1692)t \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、式(1)に実軌道狂いの定常分（波長 25m 以上）から求めたカント、曲線半径、平面性狂い（カント通減分を含む）を入力した値と式(4)の和から、実軌道狂い上での外軌側輪重を推定できる（以下、手法②という）。

3. 外軌側輪重の推定精度に関する検討

手法①、手法②による外軌側輪重の推定値と実測値を比較した一例を図3に、同じ曲線の円曲線部における両者の推定誤差の頻度分布を図4に示す。

図3より、手法①、手法②のいずれも概ね実測値を推定できることがわかる。ここで、両者を比較すると、通り狂いが比較的大きい箇所では、通り狂いに起因する車体ローリングによる輪重変動を考慮した手法②の方が精度良く推定できており、図4より、この曲線では推定誤差の標準偏差は手法①の場合の7割程度となっている。

図5は、対象とした全曲線の円曲線部における、手法①、手法②の推定誤差の標準偏差とカント不足量の関係を表している。これより、手法②の推定誤差の標準偏差は、全曲線で手法①を下回り、カント不足量が大きくなるほどその傾向は強くなると考えられる。

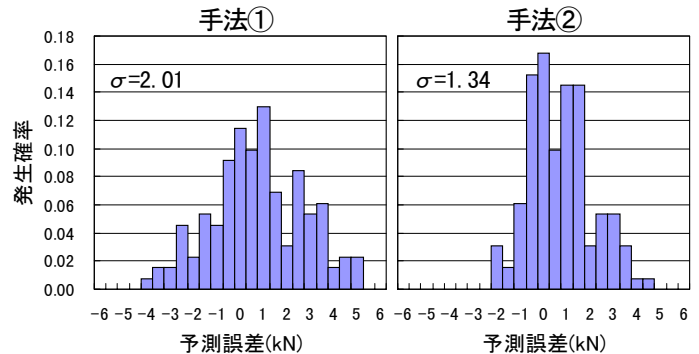


図4 輪重推定誤差の頻度分布

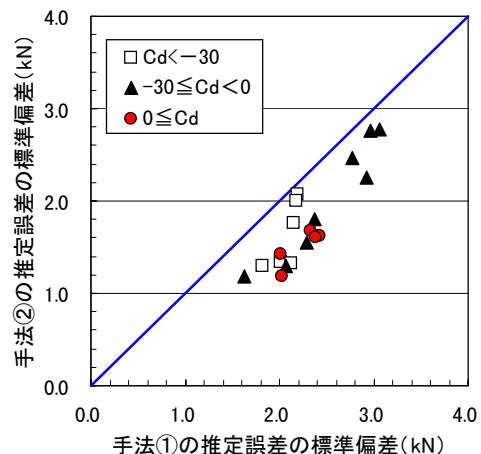


図5 輪重推定誤差の標準偏差とカント不足量の関係

4. まとめ

- (1) 軌道狂いによる外軌側輪重の変動分を、2m 平面性狂いと 10m 弦通り狂いの変動分の関数として定義した。
- (2) 2m 平面性狂いの比例定数 a は、輪重推定式で用いる輪重変動率 k_{ϕ} で近似できる。
- (3) 10m 弦通り狂いの比例定数 b は、カント不足量の関数として表すことができる。ただし、この回帰式の傾きと切片は車両諸元によって変化すると考えられる。
- (4) 手法①により概ね外軌側輪重を推定できるが、通り狂いやカント不足量が大きい場合には、手法②により推定精度の向上が図れる。

[参考文献]

- 1) 事故調査検討会：帝都高速度交通営団 日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書, 2000. 10. 26
- 2) 内田雅夫ほか：輪重横圧推定式による乗り上がり脱線に対する安全性評価, 鉄道総研報告, Vol. 15, No. 4, 2001. 4