

輪重横圧推定式を用いた摩耗進みに関する一考察

○西日本旅客鉄道(株) 正会員 西田幹嗣
西日本旅客鉄道(株) 非会員 鈴木常夫

1. はじめに

曲線区間の外軌側ゲージコーナー付近の連続的な短波長のレール摩耗(以下、偏摩耗と称す)は、曲線区間の損傷レール更替時において、更替レール長が長くなる等、コスト増に繋がることが懸念されている。

そこで、本研究では、杉ノ上ら¹⁾が報告した推定横圧から偏摩耗箇所を予測する手法の精度向上を目的に、過去の軌道狂いのデータを用いて推定横圧を算出し、推定横圧の時系列変化が摩耗進みに与える影響について種々の考察を行った。

2. 推定横圧の算出手法

推定横圧の算出は、曲線通過時の輪重・横圧の発生メカニズムの理論²⁾³⁾と実測データの解析結果をもとに構成された輪重横圧推定式⁴⁾を用いた。推定横圧 Q_0 は、内軌側の摩擦力による轉向横圧 ΔQ_i 、遠心力及び空気ばねのねじれによる輪軸横圧 ΔQ_{AS} 、軌道狂いによる横圧変動分 ΔQ_{AD} の和として(1)式のように表される。(1)式の各項は、表-1に示す定数を用いて(2)式～(6)式より算出される。なお、(6)式の通り狂い標準偏差 σ_z については、摩耗量が点で変化すること、列車動揺との相関が高い20m弦通り狂いデータを用いた方が Q_0 の精度向上になると考えられることから、20m弦基準線補正済みの通り狂いデータを用いて、1m毎に100mロットの σ_z を求めて用いることにした。

表-1 輪重横圧推定式の定数

車両有効重心高さ HG^* (m)	1.69
静的輪重 W_0 (kN)	84.53
外軌車輪の静止輪重比 γ	0.85
走行速度 v (m/s)	36
重力加速度 g (m/s ²)	9.8
総合回転ばね定数 K_ϕ (kN・m/rad)	0.3
台車の総合回転ばね定数 $k_{\phi 1}$ (kN・m/rad)	4.57
左右接触点間隔 $2b$ (m)	1.13
台車中心間平面性狂い Δt_c (mm)	0.04
軸距平面性狂い Δt_a (mm)	0.01
走行速度 V (km/h)	130
輪軸横圧変動係数 K_Q (1/mm/(km/h))	0.00015

$$Q_0 = \overline{Q_i} + \Delta Q_{AS} + \Delta Q_{AD} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\overline{Q_i} = \kappa P_i = \kappa (\overline{P_i} + \overline{\Delta P} - F_i \times \frac{\eta}{\tan 65^\circ}) \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\Delta Q_{AS} = W_0 \left(\frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) + F_i \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\Delta Q_{AD} = 3W_0 k_Q \sigma_z V \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\overline{P_i} = \frac{W_0}{2} \left[\left\{ (2-r) + \frac{v^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \right\} - \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left(\frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right] \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\overline{\Delta P} = \frac{1}{8b^2} \left(\frac{\Delta t_c}{2} \cdot K_\phi + \Delta t_a \cdot K_{\phi 1} \right) \quad \cdots \cdots (6)$$

ここで、 κ :内軌側横圧輪重比、 P_i :内軌側輪重、 $\overline{P_i}$:内軌側輪重定常分(kN)、 $\overline{\Delta P}$:平面性狂いによる静的輪重減少(kN)、 F_i :空気ばねのねじれによる輪軸横圧(kN)、 η : F_i の輪重成分の補正係数、 C :カント(mm)、 G :軌間狂い(mm)である。

3. 推定横圧と摩耗分布の関係

推定横圧と摩耗分布の関係を把握するために、対象とした曲線の諸元を表-2に、推定横圧と現場で1m毎に測定した摩耗分布との関係を図-1～2に示す。

まず、レール長手方向の推定横圧 Q_0 と摩耗量 W に着目すると、曲線Aおよび曲線Bともに Q_0 が卓越している箇所では W も大きくなっており、レール長手方向に対する Q_0 と W の変動には相関があると推察される。次に、 Q_0 が卓越している箇所において、 Q_0 と W の大きさを比較すると、まず曲線Aに着目すると、8k330付近で $Q_0=24.7\text{kN}$ に対して $W=6.5\text{mm}$ 、8k350付近で $Q_0=25.0\text{kN}$ に対して $W=9.2\text{mm}$ となっている。次に、曲線Bに着目すると、7k500付近で $Q_0=27.3\text{kN}$ に対して $W=6.0\text{mm}$ 、7k577付近で $Q_0=23.4\text{kN}$ に対して $W=8.0\text{mm}$ となっていることから、ほぼ同じ Q_0 であっても W が異なっていることがわかった。これらのことから、ほぼ同じ Q_0 でも W が異なる要因は、過去に受けた横圧の履歴によって摩耗速度が異なり、 W に差が出るのではないかと考えられる。そこで、 Q_0 が卓越している箇所において、過去の軌道狂いのデータを用いて Q_0 の時系列変化を求め、摩耗進

表-2 曲線諸元

	曲線A	曲線B
レール種別	50N	
累積通トン	3億8000万トン	
敷設年	1974年	
曲線半径	1200	1400
カント	49	45
正矢	10.5	9

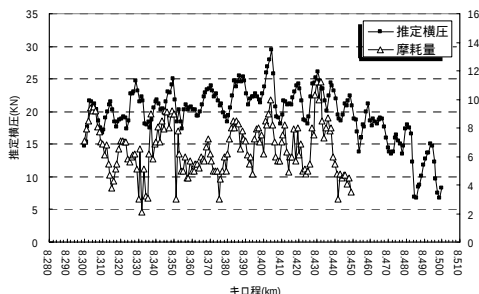


図-1 推定横圧と摩耗分布(曲線A)

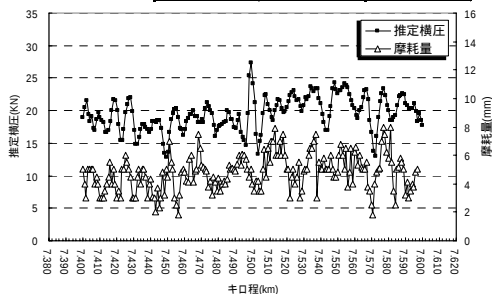


図-2 推定横圧と摩耗分布(曲線B)

キーワード 偏摩耗、輪重横圧推定式、推定横圧、時系列変化

連絡先 〒520-0242 滋賀県大津市本堅田5丁目16番3号 京都支社 湖西保線区 西田幹嗣

TEL:(077)-573-4492 FAX:(077)-573-4494

みを把握するための予測手法を以下に示す。

4. 推定横圧を用いた摩耗進みの予測手法

Q_0 の時系列変化から摩耗進みを予測するためには、 Q_0 と W の時系列データが必要となる。しかし、 W の時系列データがないことから、本研究では Q_0 の時系列変化から摩耗進みを予測することにした。

Q_0 から摩耗進みを把握するために、まず(1)式の Q_0 に着目すると、 Q_0 は(7)式のように曲線の諸元から得られる定常横圧 $Q_{\text{定常}}$ と軌道狂いから得られる変動横圧 $Q_{\text{変動}}$ に分離することができる。もし、軌道狂いがなければ $Q_{\text{定常}}$ のみが作用し、外軌側ゲージコーナー付近には均一な摩耗 $W_{\text{定常}}$ が形成され、また、急激な軌道狂いがあれば、 $Q_{\text{変動}}$ が大きくなり、 $Q_{\text{変動}}$ による摩耗 $W_{\text{変動}}$ が形成される。すなわち、偏摩耗などの局所的な摩耗進みは $Q_{\text{変動}}$ による $W_{\text{変動}}$ に関係があるものと推察され、 W は $W_{\text{定常}}$ と $W_{\text{変動}}$ の和として(8)式に示すように表されると考えられる。

$$Q_0 = Q_{\text{定常}} + Q_{\text{変動}} \cdots (7) \quad W = W_{\text{定常}} + W_{\text{変動}} \cdots (8)$$

ここで、同一曲線内のある測点において摩耗進みが緩やかな測点 X と卓越している測点 Y に対する Q_0 の時系列変化から摩耗進みを定量的に予測する手法を以下に示す。ただし、本研究では Q_0 の時系列変化の傾き m (以下、推定横圧の進み量と称す) が同じ箇所を検討を行うことにした。

ア. 測点 X の D_2 での摩耗量を W_{XD2} 、推定横圧を Q_{XD2} 、測点 Y の D_3 での推定横圧を Q_{YD3} 、 D_4 での摩耗量を W_{YD4} (ただし、 $W_{YD4} > W_{XD2}$ 、 $Q_{XD2} < Q_{YD3}$) とする。

イ. 曲線 X および曲線 Y の Q_0 の時系列変化の図 - 3 ~ 4 を図 - 5 に示すように、 Q_{XD2} と Q_{YD3} が一致するように重ね合わせる。

ウ. 曲線 X の W_{XD2} が W_{YD3} に達するまでの日数は D_4 から D_3 を引いた ΔD となり、摩耗進み量 ΔWd は(9)式のように表わされる。

$$\Delta Wd = (W_{YD4} - W_{XD2}) / \Delta D \cdots (9)$$

以下に、図 - 5 に示す摩耗進みの予測手法の妥当性について考察する。

5. 推定横圧を用いた摩耗進みの予測手法の妥当性の検証

曲線 A の 8k370 と 8k404 における Q_0 の時系列変化を図 - 6 に示す。8k370 と 8k404 の推定横圧の進み量 m は、

0.004KN/日であり、重ね合わせると ΔD は 1150 日となる。

8k370 の W は 7.2mm、8k404 の W は 10.0mm であることから、

7.2mm の摩耗が 10.0mm に到達するまでの $\Delta Wd = 0.730\text{mm/年}$ と予測できる。

同様に、曲線 B の 7k567 と 7k577 を用いて検証すると、 $\Delta Wd = 1.44\text{mm/年}$ と予測できる。さらに、対象箇所を増やして検討すると、表 - 3 に示す結果が得られた。これらのことから、 m がほぼ同じ箇所においては、短期的に ΔWd を予測できることが明らかとなった。また、曲線 B の 7k500 において

は、7k567 と 7k577 の $m = 0.004\text{KN/日}$ より約 2.3 倍大きい $m = 0.009\text{KN/日}$ となっており、今後、急速に摩耗が進行するものと考えられる。

次に、曲線 B において $W = 1.8\text{mm}$ である 7k571 と $W = 8.0\text{mm}$ である 7k577 の W の違いによる Q_0 の時系列変化を図 - 7 に示す。曲線 B の $Q_{\text{定常}} = 9.7\text{KN}$ であり、 $Q_{\text{定常}}$ に対する $Q_{\text{変動}}$ の割合が大きい、7k577 の W が大きくなっていることから、 $Q_{\text{変動}}$ が ΔWd に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。そこで、 m と ΔWd の関係を図 - 8 に示すと、到達摩耗量を 10.0mm とした 2 点を除くと、 m と ΔWd は相関があることが推察された。相関が見られなかった箇所については、データを蓄積し、今後の課題としたい。以上のことから、曲線区間において偏摩耗を抑制し、均一な摩耗量となるように維持管理していくためには $Q_{\text{定常}}$ に対する $Q_{\text{変動}}$ の割合が大きい箇所において $Q_{\text{変動}}$ を抑制する必要があることが分かった。

6. おわりに

過去の軌道狂いのデータから推定横圧を算出し、推定横圧の時系列変化が摩耗進みに与える影響について種々の考察を行った。今後の課題として、摩耗の管理は $W_{\text{定常}}$ と $W_{\text{変動}}$ を合わせた摩耗量 W で評価するが、曲線半径が小さくなると正矢が大きくなり $Q_{\text{定常}}$ が大きくなるため、 $W_{\text{定常}}$ が大きくなると考えられる。そのため、曲線半径が小さくなると、 $Q_{\text{変動}}$ をより厳しく抑えることが肝要となるため、通トン、正矢、曲線半径の関係を考え指標を設定していきたい。

〔参考文献〕

- 1) 杉ノ上大我、植村宏二、「曲線外軌レール側頭部の偏摩耗について」、第 60 回土木学会年次学術講演会概要集、2005.9
- 2) 國枝、鉄道車両の転覆に関する力学的理論解析、鉄道技術研究報告、NO.793、1972.2
- 3) 小柳：二軸ボギー車の静的輪重配分、鉄道技術研究会、NO.505、1965.11
- 4) 内田雅夫ら、「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

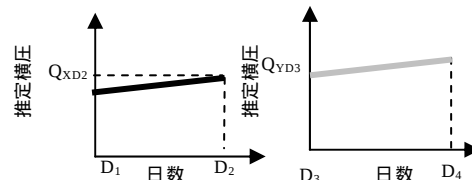


図 - 3 測点 X

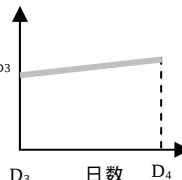


図 - 4 測点 Y

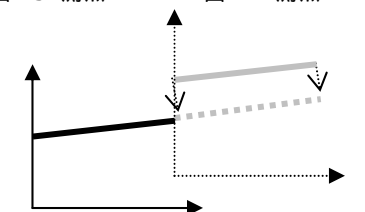


図 - 5 測点 X の摩耗進みの予測図

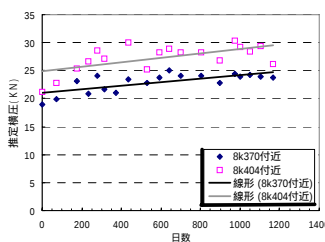


図 - 6 Q_0 の時系列変化

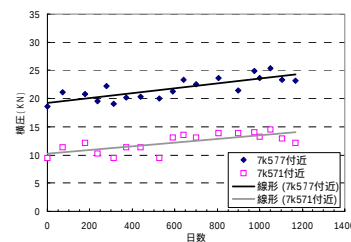


図 - 7 W の違いによる Q の時系列変化

表 - 3 摩耗進みの予測結果

対象箇所	現在の摩耗量 (mm)	到達摩耗量 (mm)	摩耗進み量 (mm/年)	推定横圧の進み量 (KN/日)
8k328	6.5	7.2	1.095	0.0036
		8.5	1.500	0.0040
8k370	7.2	8.5	0.985	0.0036
		10.0	0.730	0.0036
8k386	8.5	10.0	0.684	0.0040
7k567	6.6	8.0	1.440	0.0044

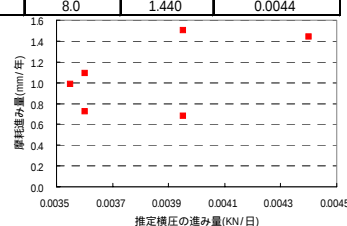


図 - 8 m と ΔWd の関係