

IV-311

曲線通過時の車上データを用いた発生横圧推定方法

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 内田雅夫
（財）鉄道総合技術研究所 吉田 眞

1. まえがき

曲線通過速度向上の可否を軌道強度面から検討する場合、速度向上に伴って増加する車両の横圧がレール締結装置の設計荷重及び犬くぎ押し出し限度等の横圧限度を上回るかどうかを判定することになる。発生横圧の把握の方法としては従来から、地上測定による車軸別の横圧発生状況と車上測定による曲線別の横圧発生状況を組み合わせる方法が用いられてきた。このうち車上測定による曲線別の横圧についてはデータ解析の効率上、全数データの代わりに区間代表値を用いた最大横圧推定値によっていたが、ここでは軌道強度に影響を与える発生横圧をより正確に把握するために、全数データを用いた推定方法を提案する。

2. 従来の区間代表値を用いた最大横圧値推定方法

従来は、外軌側車上横圧波形を20m間隔で分割し各々の最大値を読み取り、これらの平均値 $Q_{20, \max}$ 及び標準偏差 σ を用いて、曲線別の外軌側最大横圧推定値（ $Q_{20, \max} + 2\sigma$ ）を求め、この値がレール締結装置の設計荷重を上回るかどうかを検討する方法を用いていた。しかし、この方法では次のような問題点がある。

- (1) 主として車輪・レール間の摩擦力によって発生する転向横圧は、車輪・レール間が湿潤状態にある時は極端に減少するため、乾・湿が混在する場合はデータがばらつき、速度に対する横圧の増加傾向が正確には把握できない。
- (2) 車両の曲線転向性能と超過遠心力により決定される定常横圧分と、軌道狂いによる車体動揺に伴う横圧変動分が分離できないため、前述の外軌側最大横圧推定値に対する車両特性、曲線諸元及び軌道状態等の寄与度が把握できない。

3. 今回提案する全数データを用いた最大横圧値推定方法

まず、曲線毎の外軌側最大横圧推定値を、20m区間代表値からではなく外軌側横圧の全数データによる平均値 Q_o 及び標準偏差 s を用いて、 $Q_o + 3s$ により求めることとし、以下にその手順を述べる。

(1) 外軌平均横圧と速度及び曲線諸元との関係

一般に、曲線通過時の発生横圧の簡略な推定式（変動横圧分を除く）として次式が用いられる。¹⁾

$$\left. \begin{aligned} Q_o &= \mu \cdot P_i + F \\ Q_i &= \mu \cdot P_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{W}{8} \left(\left(1 + \frac{V^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \right) - \frac{H_o^*}{(G/2)} \left(\frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right) \dots\dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

$$F = 2 \cdot \frac{W}{8} \left(\frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

ただし、 Q_o ：外軌側定常横圧 V ：走行速度
 Q_i ：内軌側定常横圧 g ：重力加速度
 μ ：車輪・レール間の摩擦係数 R ：曲線半径
 P_i ：内軌側輪重 G ：踏面間距離
 F ：超過遠心力による横圧 C ：カント
 W ：車体重量 H_o^* ：有効重心高さ

式(3.1)から、外軌側定常横圧 Q_o を内軌側定常横圧 Q_i （＝転向横圧）と超過遠心力による横圧 F の2つの部分に分けて考える。ここで定常横圧は平均横圧に読み替える。まず、車輪・レール間の摩擦係数の状況を把握するため各試番毎に $\mu = Q_i / P_i$ を求め、乾・湿の区別を行い乾燥時の平均値を求める（図1）。次に、内軌側平均輪重を速度の一次式の形で求め（図2）、両者の相乗により内軌側平均横圧と速度の関係を求める。一方、式(3.1)から内外

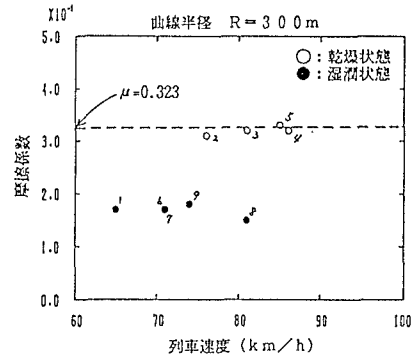


図1 車輪・レール間の摩擦係数（ $\mu = Q_i / P_i$ ）

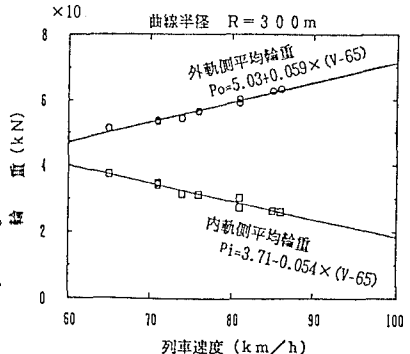


図2 内外軌平均輪重と速度の関係

軌の平均横圧差（ $\bar{Q}_0 - \bar{Q}_1$ ）が超過遠心力による横圧Fに対応する量と考え、式(3.3)から得られるFと速度Vの関係式（Vの一次式に近似）と同一の傾きを持つ関係式を求める（図3）。最後に、内軌側平均横圧と内外軌平均横圧差の和として、乾燥時の平均的な状態における外軌側平均横圧の推定式が求まる（図4）。

次に、式(3.1)、(3.2)及び(3.3)において、

$$\frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} = \frac{V^2 - V_m^2}{gR}, \quad \frac{V^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \ll 1$$

（ただし、 V_m ：均衡速度）

を用いて変形すると、次式を得る。

$$\bar{Q}_0 = \left(\frac{V^2 - V_m^2}{gR} \right) \cdot \frac{W}{8} \times \left\{ 2 + \mu \cdot \frac{H_a^*}{(G/2)} \right\} + \mu \cdot \frac{W}{8} \dots (3.4)$$

式(3.4)は、 $(V^2 - V_m^2)$

を一定にすると外軌平均横圧 $\bar{Q}_0$ が曲率 $1/R$ に比例することを示している。従って、このことを用いて任意の曲線諸元及び速度に対する外軌側平均横圧の予測が可能となる（図5）。

(2) 外軌側横圧の標準偏差と速度ならびに軌道状態との関係

曲線毎の外軌側横圧の標準偏差は概ね速度の一次式として得られる（図6）。また、この結果と横圧変動に大きく影響する外軌側通り狂いP値とを比較（図7）するとある程度の相関が確認でき、目標速度に対応した必要な軌道整備度の推定が可能となる。

(3) 外軌側最大横圧推定値と速度との関係

(1)及び(2)の結果の和により、外軌側最大横圧推定値が速度の一次式として得られる（図8）。この結果を用いて、レール締結装置の設計荷重及び大きく押し出し限度等の横圧限度との比較を行うことになる。

4. まとめ

外軌側最大横圧推定値を、定常（平均）横圧と変動横圧（標準偏差）に分けて、実測データから求める方法を提案した。これにより、車輪・レール間の乾湿状況の違いによる実測値のばらつきを補正することが可能となるとともに、曲線諸元及び速度と平均横圧の関係ならびに外軌側通り狂いと横圧の標準偏差の関係を求めることが可能となる。

〔文献〕 1) 佐藤 裕：横圧に対する軌道強度の研究，鉄道技術研究報告，No.110，1960

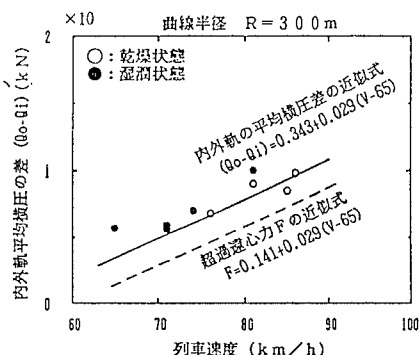


図3 内外軌平均横圧の差と速度の関係

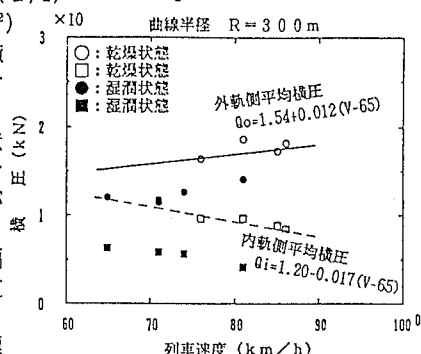


図4 内外軌平均横圧と速度の関係

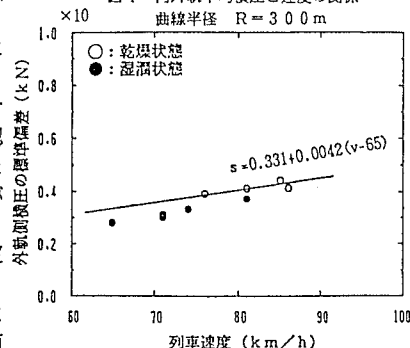


図6 外軌側横圧の標準偏差と速度の関係

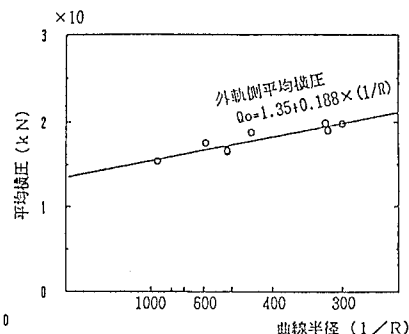


図5 外軌側平均横圧と曲線半径の関係

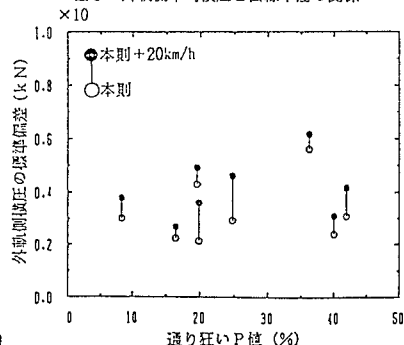


図7 外軌側横圧の標準偏差と通り狂いP値の関係

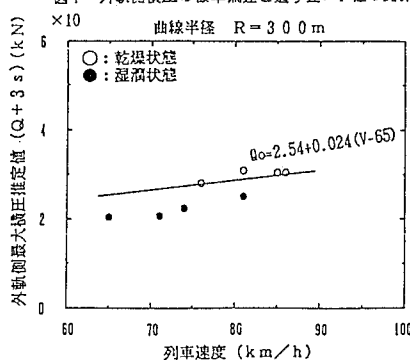


図8 外軌側最大横圧推定値と速度の関係