

IV-95

車体振動加速度を用いた曲線通過時の横圧・脱線係数等の推定方法

鉄道総合技術研究所 正会員 内田雅夫

鉄道総合技術研究所 正会員 矢澤英治

1. はじめに

速度向上試験に伴う脱線に対する走行安全性は、主として車上測定による輪重・横圧に基づく脱線係数により判定されることが多い。しかし、車上測定では特定の車輪軸の輪重・横圧値しか得られないことや試験経費面から容易には実施できないこと等から、一定の条件のもとで車体振動加速度による走行安全性の判定を行う手法が指向されている¹⁾。このことに関しては、従来から上下・左右方向の車体振動加速度（以下、「上下動・左右動」という。）と輪重・横圧の関係を仮定し、上下動・左右動の判定基準値を設定する方法が示されている²⁾が、これらは主に直線部を想定したものであり、曲線部では超過速心力の影響を考慮する必要がある。ここではそれらを考慮して、左右動と輪軸横圧（外軌と内軌の横圧差）、上下動と輪重変動をそれぞれ対応させることによって、曲線外軌側の横圧、輪重、脱線係数を推定する方法について検討した。

2. 曲線通過時の輪重・横圧と速度の関係

一様な曲線諸元（曲線半径、カント）を持つ円曲線中を等速で走行する車両の輪重・横圧は、軌道狂いがなければ定常状態にあり、2つの固定軸を有する台車の前軸に発生する輪重・横圧の定常成分を、曲線諸元、車両重量及び速度から大まかに推定することが可能であることが既に示されている^{3) 4)}。その推定式では、内軌側横圧を車輪／レール間の摩擦力に起因する曲線轉向横圧の形で表し、一方の外軌側横圧を内軌側横圧に超過速心力を主体とする輪軸横圧（外軌側横圧と内軌側横圧の差）を加えた形で表している。ところが、実際に軌道狂いが存在する曲線部を走行する場合、この輪軸横圧には超過速心力による定常分の他に左右動に伴う車体慣性力による変動分が加わる。また、輪重についても上下動に伴う車体慣性力の影響が加わる。ただし、内軌側の横圧・輪重の変動は外軌側に比べかなり小さい。

以上のことから、動的な変動を考慮した外軌側の横圧・輪重を推定するモデル式を以下のように設定する。

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= Q_i + \Delta Q \\ P_0 &= P_0 + \Delta P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 Q_0 ：外軌側横圧（動的） P_0 ：外軌側輪重（定常） P_0 ：外軌側輪重（動的） Q_i ：内軌側横圧（定常）（ここで、 $Q_i = \mu \cdot P_i$ ） ΔP ：輪重変動（上下動による変動分） P_i ：内軌側輪重（定常） ΔQ ：輪軸横圧（左右動による変動分） μ ：車輪／レール間の摩擦に関する係数

なお、 μ は文献4で、 $R > 500\text{m}$ の場合 $\mu = 175 \times (1/R)$ 、 $R \leq 500\text{m}$ の場合 $\mu = 0.35$ が与えられている。

3. 曲線通過時の輪軸横圧と左右動の関係

曲線部をカント不足状態で通過する車両の台車前軸の輪軸横圧と台車床上の左右動（0-peak）の間には、図1のよう

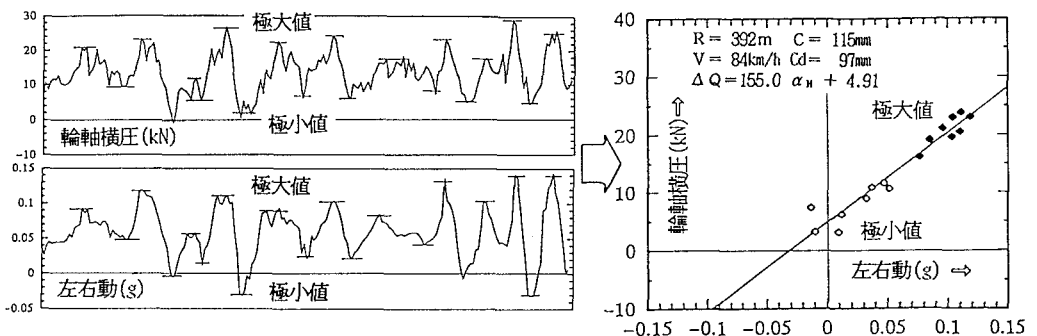


図1 曲線通過時の輪軸横圧と左右動（0-peak）の解析例

な一次的な関係が認められる。左右動には車体の左右方向の振動の他にヨーイングやローリングの影響も加わるが、大まかには左右方向の慣性力が車両質量と左右動の積で表され、その慣性力が輪軸横圧の形で軌道に伝わるものと考えられる。そこで、台車前軸の輪軸横圧 ΔQ と左右動（0-peak） α_H の関係を次のようなモデル式で仮定する。

$$\Delta Q = (M/2) \cdot K_H \cdot \alpha_H \quad (2)$$

ただし、 M ：車両質量、 K_H ：補正係数

補正係数 K_H は、1台車が受け持つ半車体分の左右方向慣性力のうち前軸が負担する割合を示すものと考えられる。そこで、図1で得られた一次回帰式における α_H の係数が(2)式の $(M/2) \cdot K_H$ に相当するものと考え、いくつかの曲線部の走行試験結果に適用して補正係数 K_H を求めた。ある車種の結果（図2）では、 K_H は0.6～1.0の範囲に幅広く分布し、カント不足量の増加に伴い減少する傾向が窺える。他の車種の結果においても均衡速度を超える速度域では0.5～1.0の範囲に分布する。そこで、左右動（0-peak）から輪軸横圧を推定する場合には、安全側の推定になることを前提として、 $K_H = 1.0$ を用いる。

4. 曲線通過時の輪重変動と上下動の関係

前章と同様な手法により、輪重変動 ΔP と上下動（0-peak） α_v の関係について解析した結果、次のモデル式が成り立ち、 K_v は概ね1.0と仮定できることがわかった。

$$\Delta P = (M/8) \cdot K_v \cdot \alpha_v \quad (3)$$

ただし、 α_v ：上下動（0-peak）、 K_v ：補正係数

5. 車体振動加速度を用いた横圧・脱線係数等の推定方法

以上のような曲線通過時の横圧・輪重の変動分と左右動・上下動の関係を前提として、左右動の著大値が発生した箇所においてその近傍の上下動（輪重減少側）を読み取り、横圧の著大値と対応する輪重値を求め、最終的に外軌側の脱線係数を推定する方法（図3）を示した。この手法を実データに適用して推定値と実測値の比較を行った結果、概ね安全側の推定ができることが確認できた。また、曲線通過時の走行安全性の評価に本手法を適用する場合の留意点を次のようにまとめた。

- (1) 左右動から輪軸横圧を推定する場合の補正係数 K_H は、車両種別、速度、軌道狂い等の影響を受けるため、予め走行試験により車両走行特性が把握できていれば、推定精度を上げることができる。
- (2) 左右動の著大値（横圧増加側）に対応する上下動の位相が輪重減少側かどうかには留意する。
- (3) 左右動や上下動に現れにくい横圧や輪重の変動成分は、線形や軌道狂いの状態を予め把握しておいて、走行安全性の判断に反映させる。

〔参考文献〕

- 1) 鐵道総合技術研究所：在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・同解説，1993.5
- 2) 佐藤，三浦：走行安全ならびに乗り心地を考慮した線路構造物の折角限度，鉄研報告No792，1972.8
- 3) 内田，吉田：曲線通過時の車上データを用いた発生横圧の推定方法，土木学会第45回年次学術講演会，1990.9
- 4) 内田，小倉：曲線通過時の列車荷重の一般化に関する検討，鐵道総研報告，1992.11

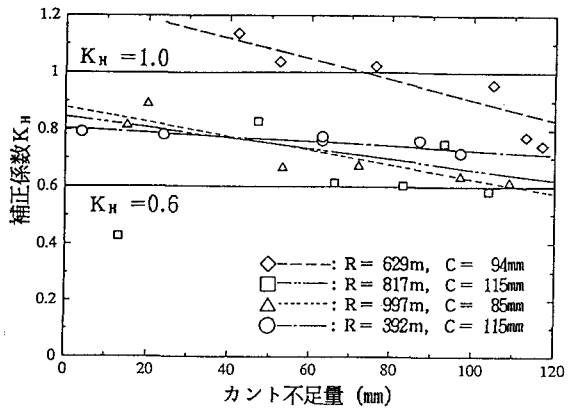


図2 輪軸横圧と左右動の関係における補正係数 K_H の例

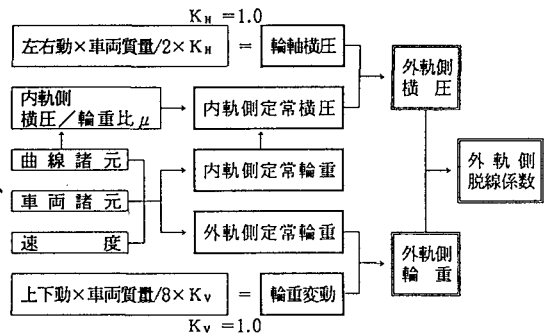


図3 車体振動加速度を用いた脱線係数等の推定フロー