

IV-94

輪重変動の分布特性に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 須永 陽一

鉄道総合技術研究所 正会員 金尾 稔

1. はじめに

新幹線の高速化の実現のために、速度向上とともに増大する輪重変動を抑制することは、走行安全性や軌道の保守の面から重要な課題である。局所的なレール頭頂面凹凸による著大輪重の発生箇所は、軸箱加速度により摘出できることが明らかにされている¹⁾。しかし、レール頭頂面凹凸の管理手法の確立のためには、このような異常値管理ばかりでなく、軌道狂い指数（P値）のような区間代表値を管理指標とすることも必要と考える。以下に、この管理指標を具現化するために要求される輪重変動の分布特性に関する基礎的な検討を行った結果について報告する。

2. 輪重変動と軸箱加速度の関係

輪重変動と軸箱加速度の各々のピーク値を対応させると図1に示すような一義的な関係が得られる。図において極大輪重（P）は、概略的に公称の静止輪重（ P_0 ）とばね下質量（M）を用いて、軸箱加速度（ α ）の測定結果より静止輪重とばね下質量の慣性力の和として推定できる²⁾。

$$P = \kappa_1 P_0 + \kappa_2 M \alpha \quad (1)$$

ここで、 κ_1 と κ_2 は車両と軌道等の条件により決まる係数となる。極小輪重についても同様な関係が得られるが、図1に実線で示した直線回帰よりむしろ破線で示した指数関数的な減少の傾向が認められる。

また、輪重変動は図2の軸箱加速度の波形に示すように、2.5 mないしは5.0 mのレール溶接継目間隔で大きな変動を生じる傾向となり、特殊な分布形状を持つことが想定される。

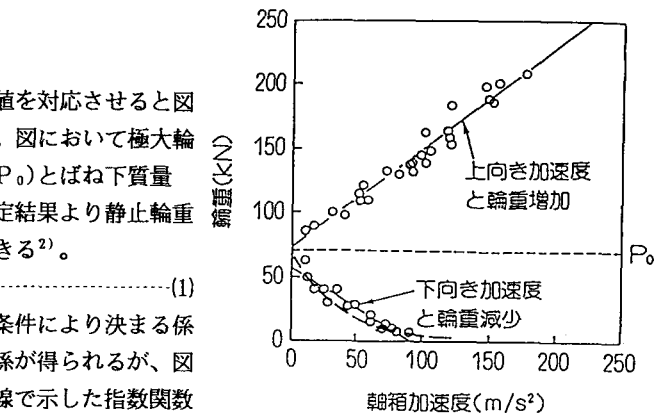


図1 輪重と軸箱加速度の関係

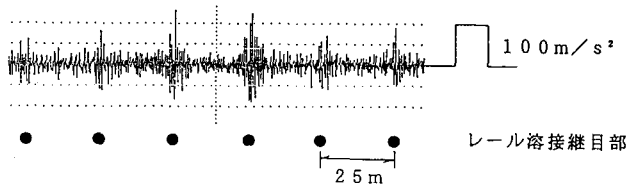


図2 軸箱加速度の波形例

3. 輪重変動の分布特性に関する検討

輪重変動は、一般的に静止輪重（ P_0 ）を平均とする非負関数（確率変数を Φ とすれば、 $\Phi > 0$ ）であり、レール溶接部においては極値となるので、このような確率分布モデルとしては2重指数分布となるグンベル分布やワイブル分布等の極値分布に関する適合性について検討する必要があるが、ここではほぼ同様な検討が可能であり、平均値や標準偏差の算出が容易な対数正規分布を仮定する。

いま確率変数 Φ の自然対数（ $\ln p$ ）が正規分布 $N(\lambda, \zeta^2)$ に従うとき、 Φ は対数正規分布に従い、これは図3に示すように非負の定義域において、正規分布より両裾が広がった分布となる。この確率密度関数 $f(p)$ は、

$$f(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta} \frac{1}{p} \exp\left\{-\frac{(\ln p - \lambda)^2}{2\zeta^2}\right\} \quad (2)$$

と表せ、 λ と ζ は確率変数 Φ の平均が P_0 であり、標準偏差を σ_p とすれば、

$$\lambda = \ln P_0 - \zeta^2/2, \quad \zeta^2 = \ln\{1 + (\sigma_p/P_0)^2\} \quad (3)$$

と与えられる³⁾。(3)式は平均 λ が静止輪重 $\ln P_0$ 。より分散の半分だけ小さく、標準偏差とは確率変数 Φ から得られる変動係数 (σ_p/P_0) により表せることを示している、ばらつきの尺度となるときを輪重変動の管理指標とすることが可能である。

4. 軸箱加速度の標準偏差による輪重変動率の推定

ここで、輪重の変動係数つまり輪重変動率を算出することは一般的に容易ではない。そこで、(1)式において慣性力に対応する右辺第2項が変動成分となるので、 α を軸箱加速度の標準偏差 (σ) に置き換えることにより、輪重変動率は

$$\sigma_p/P_0 = (\kappa_2 M/\kappa_1 P_0) \sigma = A \sigma \quad (A; \text{定数}) \quad (4)$$

と表すことができる。いま一定のロットにおける軸箱加速度の標準偏差と頻度分布は図4のように得られ、標準偏差および頻度分布とも走行速度により大きく異なる。すなわち320 km/hの標準偏差は230 km/hの約2倍に、頻度分布は走行速度が320 km/hの時、より両裾が広がった分布形状となる。また、この軸箱加速度の標準偏差を(4)式に代入し、走行速度別の輪重変動率を求めると図5の結果が得られる。この値を(3)式に代入すれば、輪重変動の標準偏差 σ が求まる。

さらに、(3)式の σ は輪重変動率 (σ_p/P_0) が図5のように小さい時は、 $\sigma \approx \sigma_p/P_0$ と近似することができるので、軸箱加速度の標準偏差 (σ) をそのまま区間代表値として取り扱えることになる。

文 献

- 1) 利倉，東，越野：新幹線の高速化に向けたレール頭頂面凹凸の管理，第47回概要集，IV-366，1992.9
- 2) 須永，内田：輪重変動の立場から見たレール頭頂面凹凸の管理手法，鉄道総研報告，6-11，1992.11
- 3) 亀田，池淵，春名：新体系土木工学2（確率・統計解析）土木学会，1981.11

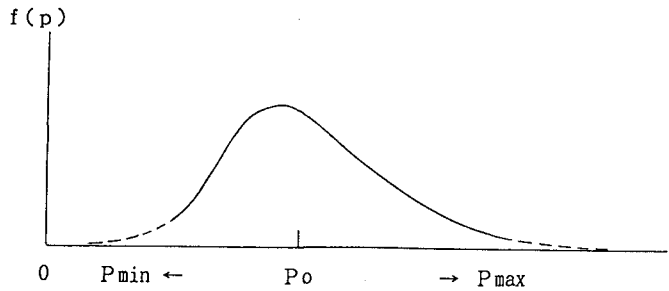


図3 対数正規分布

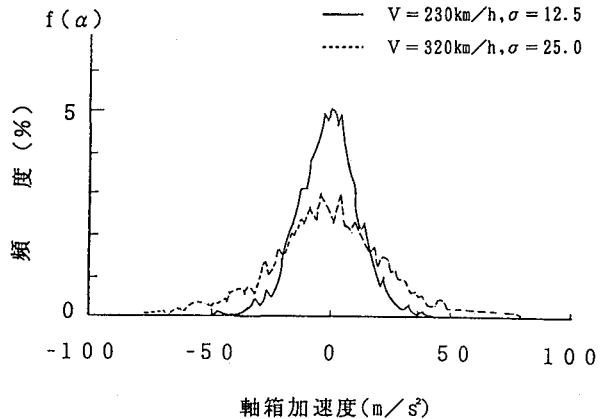


図4 軸箱加速度の頻度分布

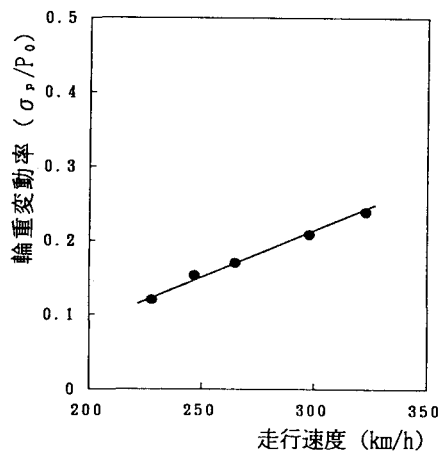


図5 σ から算出した輪重変動率