

## 曲線部における長波長左右動揺の予測手法

鉄道総合技術研究所 正会員 篠脇 諭  
 鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦

### 1. はじめに

曲線中における左右動揺は、軌道狂いが車輪に加える強制変位により発生する加速度成分と、車両重心に作用する遠心力による成分との和で表現される。このうち後者は、設計上の曲線諸元（曲線半径、カント等）と車両の計画速度から算出されるカント不足量の関数であり、円曲線中では定常値として扱われるのが一般的である。しかし実際には通り狂いによる曲線半径の局所的な狂いや、カント通減と平面緩和曲線との位置ずれなどにより、遠心力は時間的に変動し、左右動揺の原因となる。

そこで本稿では、曲線線形の適切な管理を目的として、軌道検測データ（曲線正矢、水準）と特急車両の速度データから、軌道狂いを考慮したカント不足量を求め、これと左右動揺の実測波形から、カント不足量を入力とする左右動揺予測式を提案し、その精度と適用範囲について検討した。以下にその概要を報告する。

### 2. 軌道狂いを考慮したカント不足量の算出

軌道狂いを考慮したカント不足量  $Cd$  は次式で定義される。

$$Cd = \left( \frac{v^2}{127} \cdot \frac{V}{12500} - \frac{C}{G} \right) \cdot G \quad \dots \quad (1)$$

ここで  $G$  : 軌間(mm)  $g$  : 重力加速度( $m/s^2$ )  $v$  : 列車速度(km/h)  
 $V$  : 10m 弦通り正矢(mm)  $C$  : 実カント(mm)

式(1)中の  $V, C$  は軌道検測結果を、 $v$  は動揺測定車両の速度データを用いた。式(1)で得られるカント不足量は、現場の軌道狂いを加味したものであり、次節で説明する左右動揺予測式の入力信号となる。ここで、左右動揺予測式の適用可能な周波数領域を確認するため、上記のカント不足量と左右動揺実測値のコヒーレンスを線形別に算出した。非振子型車両のケースを図1に、振子型車両のケースを図2にそれぞれ示す。全てのケースにおいて波長 25m 以上（周波数 0.04[1/m]以下）の範囲でコヒーレンスが 0.6 を越えたことから、本予測式の適用範囲を波長 25m 以上の成分とした。

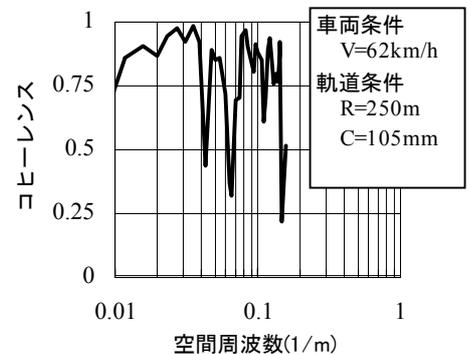


図1 カント不足量と左右動揺実測値の相関関係（非振子型車両）

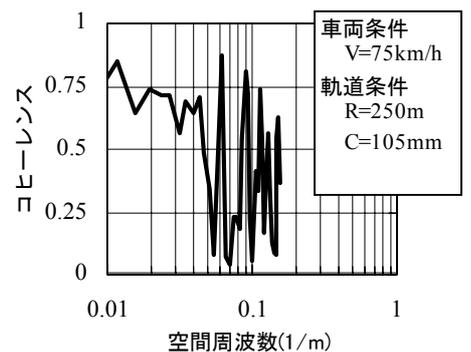


図2 カント不足量と左右動揺実測値の相関関係（振子型車両）

### 3. 左右動揺予測式

左右動揺予測式は、式(2)に示す線形回帰モデルとした<sup>1)</sup>。

$$\alpha_y = \sum_{k=0}^{n-1} h(n-k) \cdot Cd(k) \quad \dots \quad (2)$$

$\alpha_y$  : 左右加速度( $m/s^2$ )

このモデルは FIR 型デジタルフィルタと同じ形をしているが、係数  $h$  と次数  $n$  を統計的に定められることが特徴である。具体的には、 $h$  は最小二乗法により算出し、次数  $n$  は情報量規範によって定め、式(3)で表される AIC を用いた<sup>2)</sup>。

キーワード：左右動揺予測、カント不足量、曲線線形管理

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7278 FAX042-573-7296

$$AIC = -2 \times \text{対数尤度} + 2 \times n \quad \dots (3)$$

$h$ 、 $n$ は車両形式や速度によって異なると考えられたので、振り子、非振り子型車両別に3速度段の計6パターンを計算した。

#### 4. 予測値と実測値の比較

非振り子型車両における予測波形と実測波形を図3に示す。両波形はほぼ一致しており、式(2)は、非振り子型車両の特徴である超過遠心力の平均値や、その変動傾向を精度良く表している。図3中の予測波形と実測波形のコヒーレンスを図4に示す。線形成分から波長25mまでの領域においてコヒーレンスが0.75以上で推移しており、両者の相関が高いことが確認できる。

次に、振り子型車両における予測波形と実測波形を図5に、コヒーレンスを図6に示す。振り子型車両では、左右加速度をうち消すために車体を傾斜するので、予測波形と実測波形の相関は、非振り子型車両ほど高くないものの、波長30m~50m（周波数0.02~0.03[1/m]）前後のコヒーレンスは比較的大きい。これらのことから、波長を限定すれば、振り子型車両でも、式(2)によって左右動揺を予測できる見通しを得た。

#### 5. おわりに

本稿では、曲線部に着目し、軌道狂いと走行速度を考慮したカント不足量を入力データとする左右動揺予測式を提案し、特に非振り子型車両では精度の良い予測が可能であることが確認できた。今後は、本稿で求めた予測式を用いて、列車動揺対策に有効な曲線線形管理方法について検討する予定である。

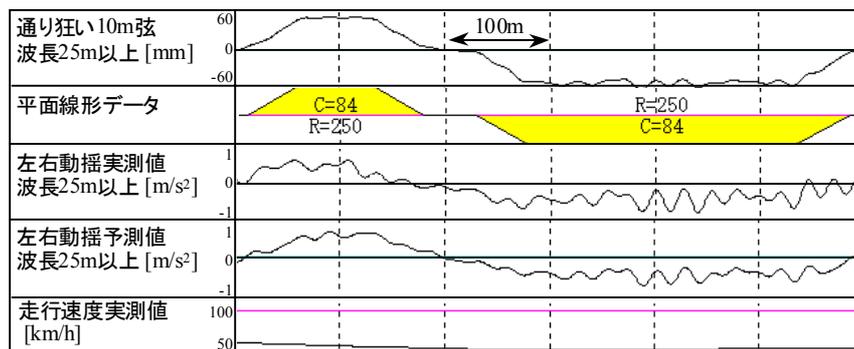


図3 左右動揺の予測値と実測値の比較（非振り子型車両）

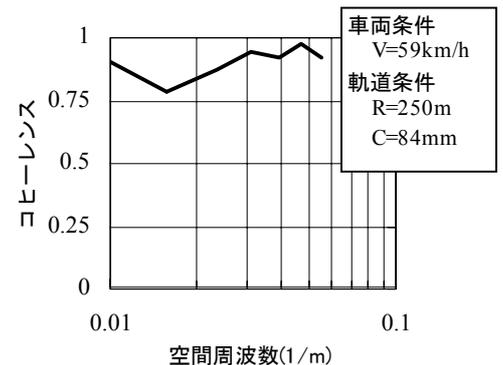


図4 左右動揺の実測値と予測値の相関関係（非振り子型車両）

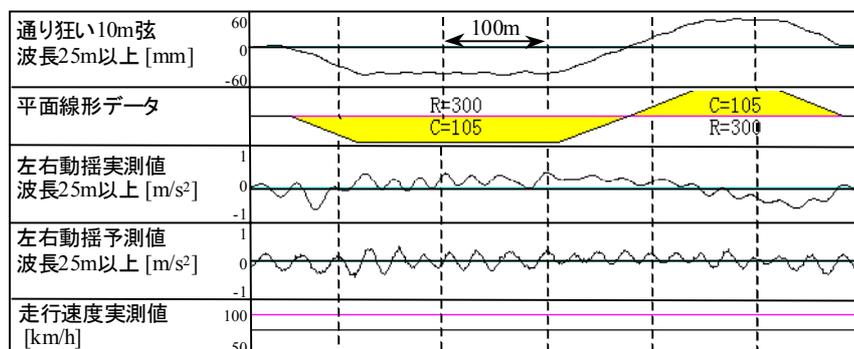


図5 左右動揺の予測値と実測値の比較（振り子型車両）

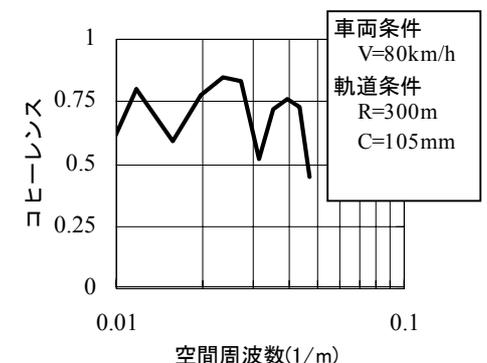


図6 左右動揺の実測値と予測値の相関関係（振り子型車両）

#### 参考文献

- 1) 足立修一：制御のためのシステム同定、p.58、東京電機大学出版局、1996
- 2) 坂元、石黒、北川：情報量統計学、pp42-64、共立出版、1983