

列車動揺予測に対する一手法

（勤務先）西日本旅客鉄道株式会社 神戸保線区（会員種別）正 会 員（氏名）山 下 延 明

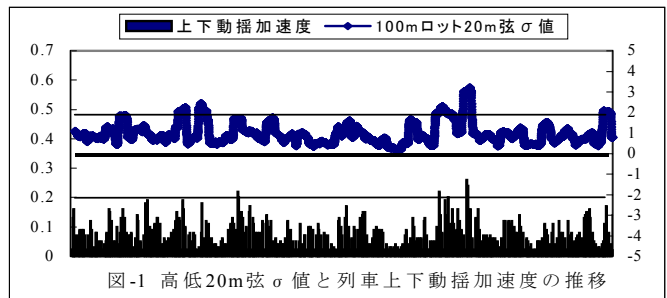
1. 緒言

移動空間としての鉄道の利点は、安全性、正確性、快適性の3要素である。中でも列車の動揺は、快適性に影響を及ぼし、鉄道サービスとしての価値が大きい。しかし、現在の列車動揺予測管理で採用されている100m ロット軌道狂い標準偏差(以下σ値と称す)管理では、動揺の発生箇所が予測できるが、動揺加速度の振幅を予測するには至っていない。そこで本研究では、σ値管理の考え方を応用し、動揺値の指標である加速度を予測するより予測精度の高いモデルを構築したので報告する。

2. 20m 弦軌道狂い値変化量と列車動揺加速度の相関性

2.1. 100m σ 値管理の有効性と問題点

列車の高速化に伴い、20m 弦軌道狂い管理の有効性は既に明らかであり、図-1 のとおり、σ値と列車動揺加速度は高い相関関係にある。しかし、σ値はあるロットの悪さ加減を良く表すが、連続した正矢の変化については表していない。そこでσ値管理に隣接正矢差、つまり正矢値の変化量を考慮することにより動揺加速度の振幅を予測できると考えた。



2.2. 20m 弦軌道狂い値変化量・20m 弦変化量標準偏差・20m ロット最大値

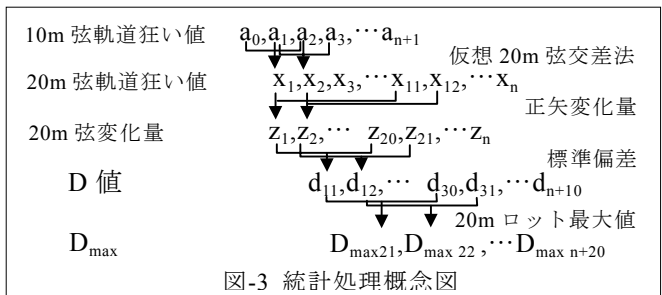
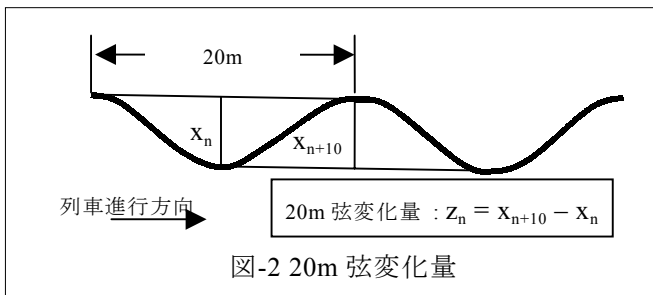
まず、上下動揺について、図-2 のとおり、10m 間の20m 弦軌道狂い値の差を、20m 弦変化量zとして表し、20m 弦高低狂い値の変化量から、上下動揺加速度との関係を検証した。ここで軌道狂い値は、マヤ車10m 弦基準補正データ1m 代表値を利用し、20m 弦軌道狂い値は仮想20m 弦交差法により求めた。n 番目キロ程の20m 弦軌道狂い値をx_nとすると20m 弦変化量z_nは式-1 のとおり、

$$z_n = x_{n+10} - x_n \quad (n=1,2,3 \dots n) \text{ (式-1)}$$

次に、上述の20m 弦変化量は、線路が限りなく直線に(鉛直、水平方向)近いならば、限りなく0に近づくことから、20m 弦変化量は、正規分布N(0,σ)に従うと推定される。そこで、前後20m 間の20m 弦変化量標準偏差(以下D値:d(deviation)と称す)を算出した。n 番目キロ程のd_nは式-2 のとおり、

$$d_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-10}^{n+9} (z_i - \bar{z})^2}{(20-1)}} \quad (z_i: 20m \text{ 弦変化量}, \bar{z}: 20m \text{ ロット平均値}) \quad (n > 11) \text{ (式-2)}$$

加えて、動揺加速度データのキロ程誤差を除去するため、20m ロットD値の最大値の絶対値をD_{max}とする。これらのデータは1m ピッチの連続データであり、その概念図は、図-3 のとおりである。



2.3. D_{max} と列車動揺加速度の相関性

図-4 は、20m 弦管理が有効と思われる列車走行速度120~130km/h の高速区間8km のデータ使用して、列車動揺検査における列車上下動揺加速度0.01[g]以上のデータと、D_{max}との関係を分析したものである。相関係数はR = 0.789 であり、D_{max}と上下動揺加速度の間には、相関性が見られる。次に図-5 は、図-4 と同一列車の通りD_{max}と列車左右動揺加速度との相関を表している。結果、相関係数は0.55 であり、左右動揺についてもある程度の相関が得られた。

[キーワード] 列車動揺, 20m 弦軌道狂い値変化量, D 値, 正規分布

[住所, TEL] 652-0897 兵庫県神戸市兵庫区駅南通 5-5-2, 078-651-9200 (FAX 078-681-7614)

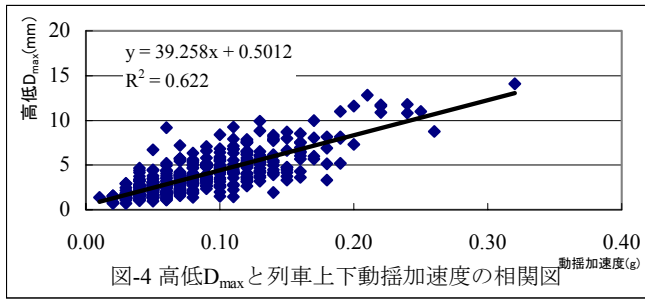


図-4 高低D_{max}と列車上下動揺加速度の相関図

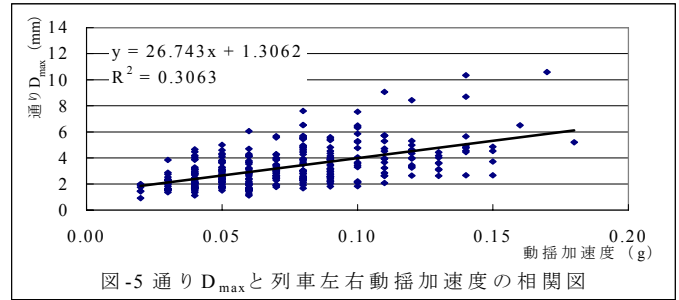


図-5 通りD_{max}と列車左右動揺加速度の相関図

2.4. 従来の列車動揺管理指標との比較と列車整備状態による D_{max} 管理への影響

図-6 は、同一の軌道狂いデータ，列車動揺データを使用して，D_{max} とσ値管理の相関係数を比較したものである．従来のσ値管理より相関性が増しており，予測精度は向上していると考えられる．また，D_{max} と動揺加速度の間には，多くのデータの検証をした結果，列車整備状態に起因する相関性にばらつきがあった．図-7 は，交番検査経過日数と D_{max}，動揺加速度の相関係数との関係を表したものである．この結果，交番検査よりの経過日数が少ないほど，D_{max} と動揺加速度の相関性が確保されると言える．

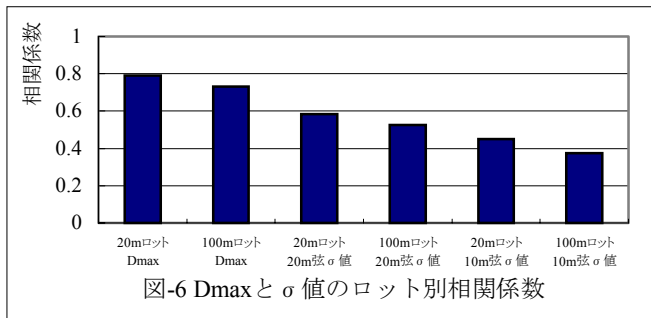


図-6 Dmaxとσ値のロット別相関係数

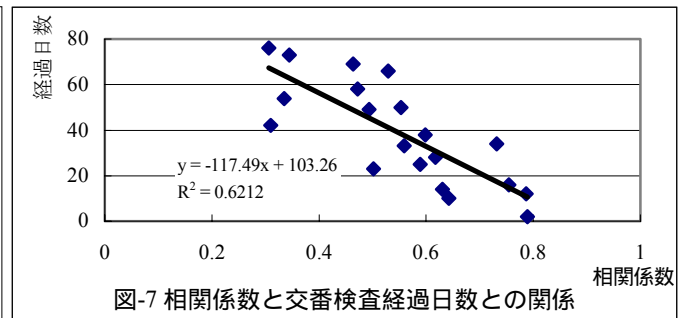


図-7 相関係数と交番検査経過日数との関係

3. 列車動揺発生予測手法

ここでは D_{max} と列車動揺の相関性と，回帰直線がほぼ一致することから，列車上下動揺加速度について予測し，整備目標 D_{max} を設定したモデルを示す．予測式は，回帰式のばらつきも考慮して，式-3 とした．

$$y = 35x + \alpha \quad (-1.00 < \alpha < 2.50)$$

(x: 列車動揺加速度, y: D_{max}) (式-3)

式-3 より，列車動揺加速度 0.20(g)を下回るためには，D_{max} を 6(mm)以下に整備する必要があることを示す．また，上述の予測式を利用して，ある区間の列車上下動揺加速度の予測を行った．図-8 は，高速軌道検測車走行後列車動揺加速度を予想し，一ヶ月後の列車動揺検査による数値と比較を行ったものである．特に D_{max} のピーク値と列車動揺加速度のピーク値が一致していることが解る．このことから，20m 弦軌道狂い値変化量を利用した列車動揺加速度予測は，有効であると考えられる．

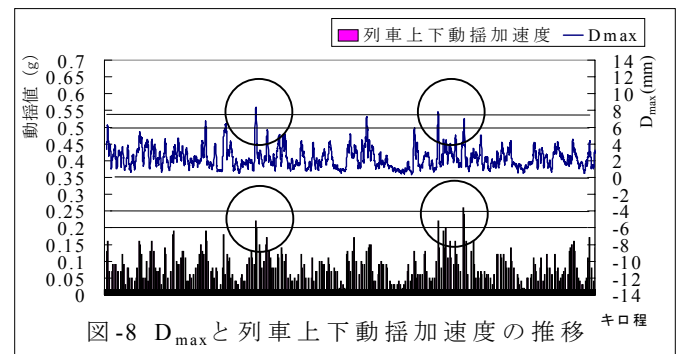


図-8 D_{max}と列車上下動揺加速度の推移

図-8 は，高速軌道検測車走行後列車動揺加速度を予想し，一ヶ月後の列車動揺検査による数値と比較を行ったものである．特に D_{max} のピーク値と列車動揺加速度のピーク値が一致していることが解る．このことから，20m 弦軌道狂い値変化量を利用した列車動揺加速度予測は，有効であると考えられる．

4. 結語

本研究では，σ値管理の考え方を応用し，高速軌道検測車データから 20m 弦高低狂い値変化量と列車上下動揺との相関性を見出すことにより，列車動揺管理の新しい D_{max} という指標を構築した．これに加えて，列車動揺管理においてより精度の高い予測管理を行えることを示した．関係各位に深く感謝する．

【参考文献】

1. 財団法人 鉄道総合技術研究所：新しい軌道管理手法概論,1999
2. 西日本旅客鉄道株式会社鉄道本部施設部：標準偏差を用いたマルタイによる軌道整備,1997
3. 西日本旅客鉄道株式会社技術開発推進部レールウェイテクノセンター,鉄道本部施設部：モデル区成果集（保線）,1998
4. 三和雅史,石川達也,大山達雄：軌道状態推移予測モデルの構築と最適軌道保守計画作成のための全整数型数理計画モデル分析,土木学会論文集 No.681/IV - 52, pp.51-65,2001.7