

ウェーブレット解析を用いた車両の左右動揺と軌道狂いに関する研究

北海学園大学大学院	学生員	○大熊 佑治
北海学園大学工学部	正会員	上浦 正樹
鉄道総合技術研究所	正会員	矢澤 英治

1. はじめに

一般的に速度向上によって車両動揺は増加することが想定される。新幹線の左右動揺について、一部のトンネルで速度向上によって大きな値が発生することが知られている。そこで、このような動揺の発生原因が軌道状態によるものか、軌道状態であればどの検測項目によるものかを明らかにできる可能性がある手法として、ウェーブレット解析による基礎的検討を行った。

2. 解析対象

高速運転区間のトンネルの出入り口付近を対象とした。サンプリング間隔は 0.25m である。

3. 検討方法

本研究では左右動揺と通り狂い、水準狂いの各波形の関係について、各地点ごとに卓越する波長や振幅を推定するために連続ウェーブレット解析¹⁾を行った。ウェーブレット解析ではスケール a は構成される波の波長に関係し内積値はその波の振幅に関係している。以下は波長や振幅を推定するために、マザーウェーブレットとして Morlet 式(1)を用いた場合の波長と振幅を理論的に求める。

$$\psi(x) = \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) (\cos 5x) \quad (1)$$

ここで通り狂いや車両動揺加速度を定常波と仮定し、これらの波の波長 λ とウェーブレット変換のスケール a の関係をフーリエ解析により検討する。空間周波数 ω (rad/m) とよる波形成分 F はフーリエ解析を用いるとスケール a とシフト量 b に関係する式(2)の表現となる。

$$F_{a,b}(\omega) = \int_R \left(\frac{\psi_{a,b}(x)}{\sqrt{a}} \right) \cdot e^{-i\omega x} dx \quad (2)$$

ここで式(1)を用い、実部を用いる場合シフト量 $b=0$ としても実用上問題は無いので実部を対象として式(2)

によって式(3)が導かれる。

$$F_a(\omega) = \int_0^\infty \left(\frac{e^{-\frac{1}{2}(\frac{x}{a})^2} \cos 5\frac{x}{a}}{\sqrt{a}} \right) \cdot \cos \omega x dx \quad (3)$$

この積分は一様収束することからワイエルシュトラスの判定法の適用により式(4)となる。

$$F_a(\omega) = \sqrt{2\pi a} \cdot \left(e^{-\frac{1}{2}(5+a\omega)^2} + e^{-\frac{1}{2}(5-a\omega)^2} \right) \quad (4)$$

この式からスケール a ($a > 0$) による波形成分 F_a の最大値は式(4)においての第1項の最大値は第2項が最大になる時なので式(5)の場合に生ずる。(真の最大値と上記の最大値の比は 1.007 より小さいので、実用上1として問題ないと考えられる。)

$$a\omega = 5 \quad (5)$$

また周波数(ω)と波長(λ)の関係から式(6)を導くことができる。

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (6)$$

以上により式(5)、(6)から波長とスケール a の関係は $\lambda = 1.26a$ である。

この結果を用いて振幅と内積値の関係を求める。一般に振幅が位置の変化にほとんど影響を受けないため、通り狂いなどの波形は式(7)と示すことができる。

$$f(x) = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (7)$$

式(1)において実部を用いシフト量 $b=0$ としても実用上問題のない。よってマザーウェーブレットに Morlet を用いて式(7)をウェーブレット変換すると式(8)が導かれ、これを積分した結果が式(9)である。

キーワード ウェーブレット, 車両動揺, 軌道狂い

連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南2条6丁目1番1号 北海学園大学工学部 TEL011-841-1161

$$W_a(\lambda) = 2A \int_0^\infty \left(\frac{e^{-\frac{1}{2}(\frac{\lambda}{a})^2} \cos 5 \frac{x}{a}}{\sqrt{a}} \right) \cdot \cos \frac{2\pi}{\lambda} x dx \quad (8)$$

$$W_a(\lambda) = A \sqrt{2\pi a} \cdot \left(e^{-\frac{1}{2}(5+a\frac{2\pi}{\lambda})^2} + e^{-\frac{1}{2}(5-a\frac{2\pi}{\lambda})^2} \right) \quad (9)$$

式(5)から波形成分 F_a が最大となるのは $\lambda = 1.26a$ であることを用いると式(9)から W_a と波長 λ により振幅 A を推定することが可能な式(10) が定まる。

$$A = W_a(\lambda) \times \sqrt{\frac{0.63}{\pi \lambda}} \quad (10)$$

4．解析結果

左右動揺と通り狂い復元波形（左右），および水準狂いを用いてウェーブレット解析により各地点(0.25m ピッチ)での波長成分(1m 間隔)に対する振幅を内積値と式(10)より推定した（図1～5）．このコンター図は上から「波形，左方向，右方向，内積」を表しており，赤の濃い部分が振幅大となっている．ゆえに，ある狂いと動揺で赤い色が共通して現れている波長帯は，その狂い起因の車両動揺であろうと判断できる．これらの図から波長 20～40m で卓越してくるのは狂いとの関連が薄く空力の模様より長波長域では，区間全体に通り狂いとの関連が見られる．その中で，比較的通り狂いが小さいが 左右動にいくつかピークが現れる 540～600m 付近については水準との関係もあると推定できる．

5．結論

車両動揺の原因を推定するうえでウェーブレット解析から得られる波形成分の振幅を用いることが有効であることが確認された．

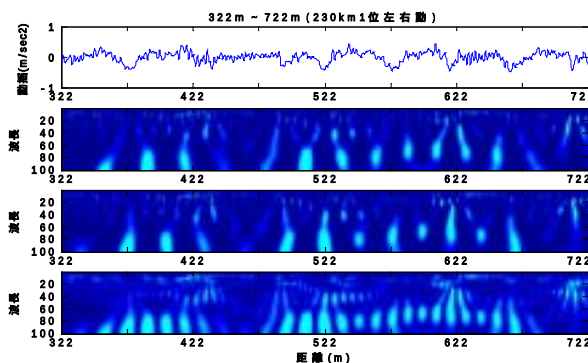


図2 左右動揺(230km/h)

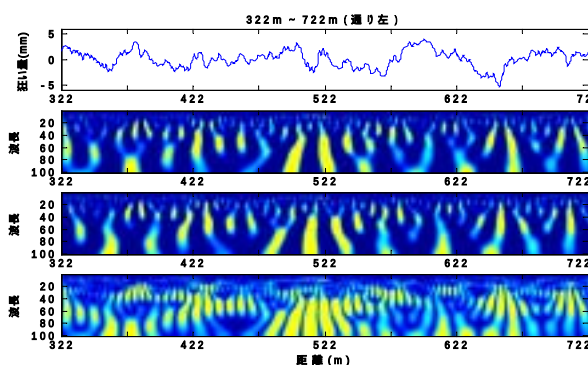


図3 通り狂い(左)

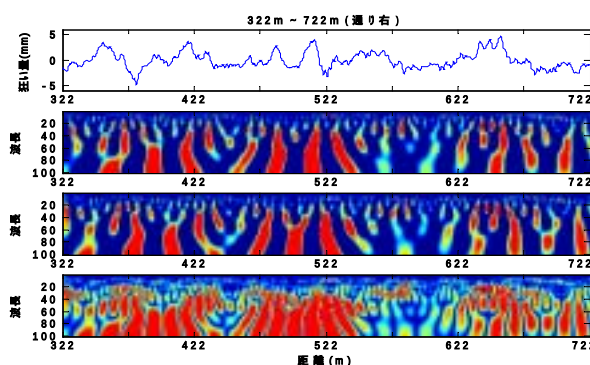


図4 通り狂い(右)

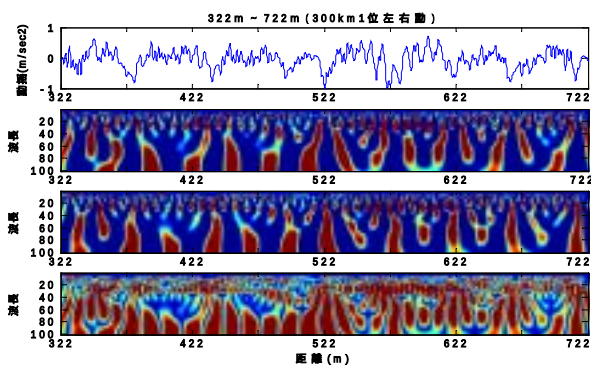


図1 左右動揺(300km/h)

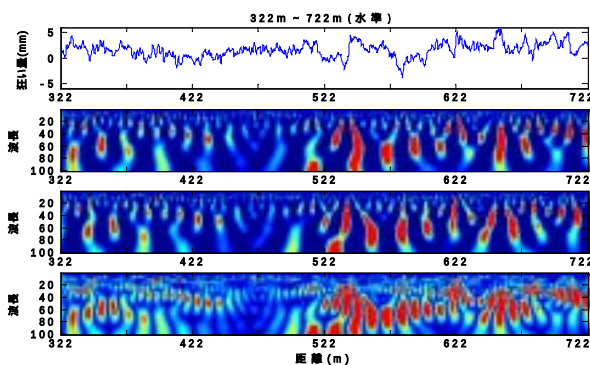


図5 水準狂い

参考文献

- 1) 榊原進:ウェーブレット ビギナーズガイド，東京電気大学出版局，1995