

S2-2-5

東海道新幹線における短波長軌道狂いの実態と

輪重変動・横圧に与える影響の試算

[土] ○小林 幹人 (東海旅客鉄道株式会社) [土] 三輪 昌弘 (東海旅客鉄道株式会社)

Investigations of short-wave track irregularities in Tokaido-Shinkansen and trial calculations of dynamic wheel load and lateral force caused by the different wave length of track irregularities
Mikihito Kobayashi, Masahiro Miwa, Member (Central Japan Railway Company)

Short-wave track irregularities increase dynamic wheel load and lateral force of high-speed trains. In this paper, we made trial calculations of dynamic wheel load and lateral force caused by the different wave length of track irregularities using a multi-body vehicle-track dynamics simulation. Secondly, we investigated the existence of short-wave track irregularities in Tokaido-Shinkansen with the data measured based on asymmetrical chord offset methods by a new track measuring car.

キーワード：東海道新幹線、短波長軌道狂い、輪重変動、横圧、シミュレーション

Keyword: Tokaido-Shinkansen, short-wave track irregularity, dynamic wheel load, lateral force, Simulation

1. はじめに

東海道新幹線における軌道狂い管理は、①乗り心地向上を目的とした長波長管理、②走行安全性確保を目的とした主に10m弦正矢軌道狂いによる管理、③輪重変動の抑制を目的としたレール凹凸管理によって行われている。このうち②の10m弦正矢軌道狂いは最も基本的な軌道狂い管理指標として長い歴史があり、新幹線においても走行安全性を担保する指標として長い実績がある。しかし、厳密には10m弦正矢で同じ狂い値として測定される場合でも、軌道狂いの波長により発生する輪重変動や横圧は異なり、特に高速走行になるほど波長の違いが輪重変動や横圧に与える影響は大きくなる。一方、2001年に東海道新幹線に導入された923形新幹線電気軌道総合試験車（以下、T4編成）は偏心矢測定による軌道検測を行っており、これまで10m弦正矢でわからなかった波長5m以下の短い波長成分の軌道狂いが捉えられるとともに、270km/h走行時の動的な軌道変位についても捉えられるようになった。

そこで本研究ではまず、10m弦正矢で同じ値として測定される場合でも波長や軌道狂いの向きなどの軌道形状により輪重変動や横圧に与える影響が異なることを車両運動シミュレーションによる試算から明らかにする。次にT4編成による偏心矢測定データから捉えられた東海道新幹線における短波長軌道狂い（ここでは主に3～10m波長の軌道狂いを指す）の実態と走行速度による短波長軌道狂いの測定結果の差異、さらに短波長軌道狂いの狂い進みの傾向について調査した結果を述べる。

2. 軌道狂い形状が輪重変動・横圧に与える影響の試算

2.1 試算条件

今回試算を行った条件を表1に示す。軌道狂いの大きさは予防管理目標値（測定当夜に緊急補修を行う管理値）とし、取付けを考慮したサイン一波で形状を模擬した。設定した軌道狂いを図-1に示す。軌道狂いが一波の場合、波長10m以下では10m弦正矢の測定値は波高と同じ値が最大値として検出される。一方、波長12mの場合は10m弦正矢の検出特性により、波高の0.933倍が最大値となり、同じ値で検出される条件にするには波高をやや割増す必要があるが、些少の違いのため、今回は同じ波高で試算を行った。車両モデルは300系定員重量の一車体モデルとし、輪重・横圧の計算は車両運動シミュレーションソフトVAMPIREを使用して行った。なお、結果は全て最大値が発生した先頭軸のものである。

高低狂いに対する輪重のシミュレーション波形例を図-2に、各波長で発生した最大・最小輪重を図-3に示す。これらの図からわかるように、波長が短くなるほど輪重変動は大きくなり、また速度による増加割合も大きくなる。

表-1 試算条件

軌道狂い種別	高低狂い	通り狂い
線形	直線	R=3000m, C=180mm
走行速度	270, 250, 230, 210km/h	
軌道狂いの波長	12m, 10m, 8m, 6m	
軌道狂いの波高	10mm	6mm
軌道狂いの向き	下に凸	曲線外方に凸 曲線内方に凸

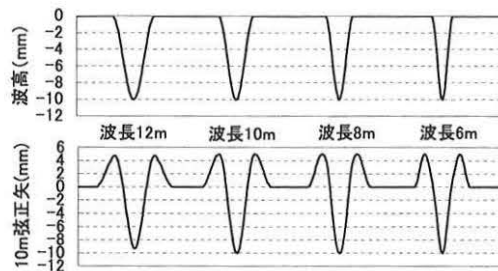


図-1 設定した軌道狂い

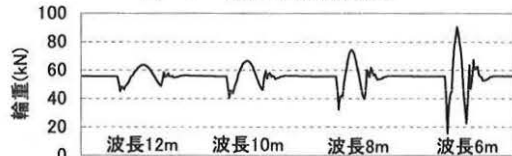


図-2 シミュレーション波形例 (直線, V=270km/h, 波高 10mm)

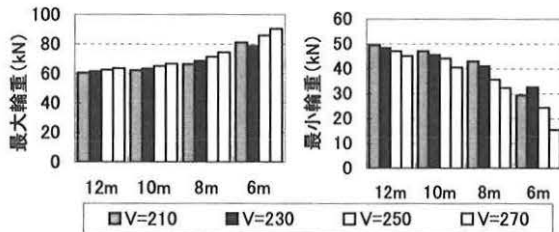


図-3 高低狂いの波長と最大・最小輪重の関係

過去に行われたばね下質量と軌道ばねの1質量モデルによる輪重変動の理論検討¹⁾でも同様の結果が示されており、輪重変動を抑制するためには10m弦正矢が同じでも、波長が短い軌道狂いを優先的に補修の方が効果が高いといえる。

次に曲線中の通り狂いに対する発生横圧のシミュレーション波形例を図-4に、各波長での最大横圧を図-5に示す。速度に伴う増加傾向は通り狂いの向きに関わらず同様だが、波長に対する傾向は曲線外方の狂いで違いが明確でないのに対し、曲線内方の狂いでは、波長が短いほど横圧が大きく表れる傾向が明確になっている。

この違いは最大横圧の発生に至るまでの輪軸の挙動が異なることが原因と考えられる。外軌レールに対する車輪のアタック角とレール/車輪間の相対変位(フランジがレールに近づく場合が+)のシミュレーション波形例と最大横圧の発生位置を図-6に示す。図より、曲線外方の狂いでは狂い形状に追従できずに車輪が一旦レールから離れ、アタック角を増しつつレールに衝撃して最大横圧が発生しているのに対し、曲線内方の狂い場合はそのまま狂いに衝撃するかたちで最大横圧が発生している様子が読み取れる。従って、最大横圧がアタック角と車輪/レール間相対変位の関係から概ね決まると考えると、曲線外方の狂いでは狂い波長が長い場合には車輪がレールと衝撃するまでの間にアタックが増加していくため、波長と最大横圧の関係が明確にならないものと考えられる。なお、アタック角の最大位置と車輪/レール間相対変位の最大位置は曲線外方の狂いの場合でよりずれが大きくなっており、それも波長に対する傾向が異なる一因になっていると考えられる。

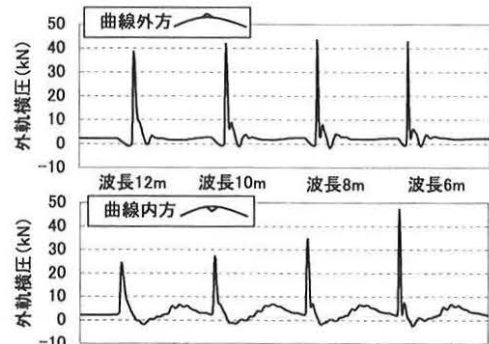


図-4 シミュレーション波形例 (R=3000m, V=270km/h, 波高 6mm)

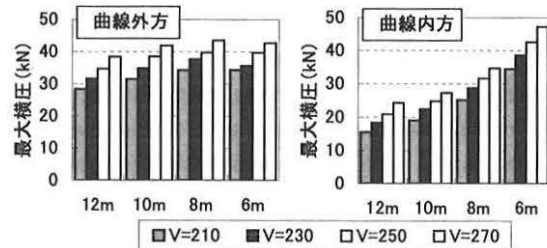


図-5 通り狂いの波長と最大横圧の関係

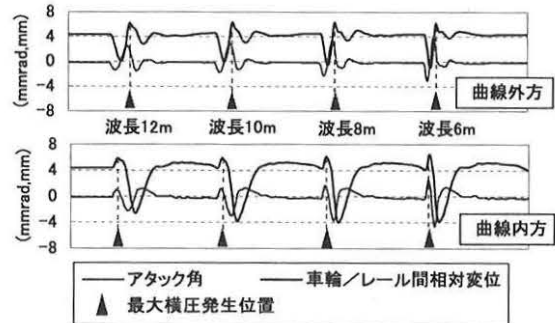


図-6 シミュレーション波形例 (R=3000m, V=270km/h, 波高 6mm)

狂いの向きにより波長に対する傾向に違いはあるものの、総じて波長が短いほど発生横圧は大きくなっており、横圧を抑制するためには輪重変動同様、短い波長の軌道狂いを優先して補修するのが効果的といえる。

3. 東海道新幹線における短波長軌道狂いの実態調査

3.1 短波長軌道狂いのパワースペクトル

前述のようにT4編成の偏心矢軌道狂いデータでは10m弦正矢でみられなかった5m以下の波長の軌道狂いについても捉えることができる。そこで、短波長域の軌道狂い成分の実態を調べるため、偏心矢の弦長から決まる検測特性から高低狂いは3~100m、通り狂いは4~100mの波長域で復元波形を求め、新横浜~名古屋間の高速度区間(延長300km)でパワースペクトルを求めた。なお、以降で示すパワースペクトルは特に言及しない場合、全て同じ手順および区間で求めたものである。復元高低狂い、復元通り狂いのパワースペクトルを図-7に示す。ここでは2005年8月第3マヤ

で測定されたデータによる結果を示す。

図より、まず高低狂いでは5m付近になだらかなピークが存在し、それより短い波長域で値が小さくなっていることがわかる。このことから高低狂いでは5m前後の波長で軌道狂いが多く存在しており、それより短い波長域では軌道の剛性により軌道狂いが小さくなっていると考えられる。5m前後の波長の高低狂いが整正されずに残っている原因の一つにマルチ扛上量の算出を6m以上の波長から行っていることが考えられる。これはT4編成導入後もマルチ扛上量を算出するための復元波形処理を従来通り10m弦正矢から行っているためである。10m弦正矢から求めた波長6m以上の復元高低狂いと偏心矢から求めた波長3m以上の復元高低狂いの比較を図-8に示す。図より、両者は2mm以上違う場合もあり、マルチでこれらの差異を反映した施工を行うことは十分可能と考えられる。僅かな波長の違いではあるが、前章の結果からも明らかなように、短波長軌道狂いは輪重変動や横圧に与える影響が大きいので、今後データ処理方法を変更してより短い波長成分を含んだ扛上量を用いてマルチ施工を行うことが望ましいと考えられる。

一方、通り狂いについては全体的な傾きはほぼ一樣であるものの、10m付近から短波長域にかけて高低狂いにみられない鋭いピークが多数存在する。これらは全てレール長に起因する波長(50/4=12.5m, 50/5=10m, 50/6=8.33m, 50/7=7.14m, 50/8=6.25m...)で発生しており、溶接部で発生している軌道狂いと考えられるため、短波長通り狂いの抑制に対しては溶接部の品質向上が効果的と考えられる。ただし、最も大きなピークを示す波長6.25mについては、台車だ行動

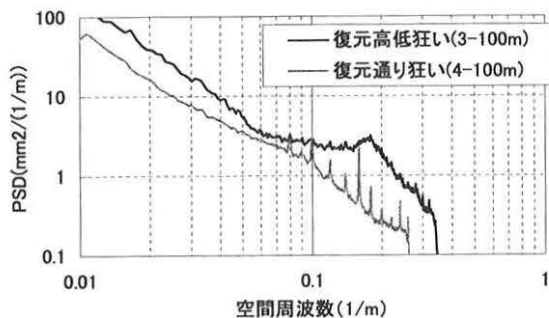


図-7 復元軌道狂いのパワースペクトル (2005年8月)

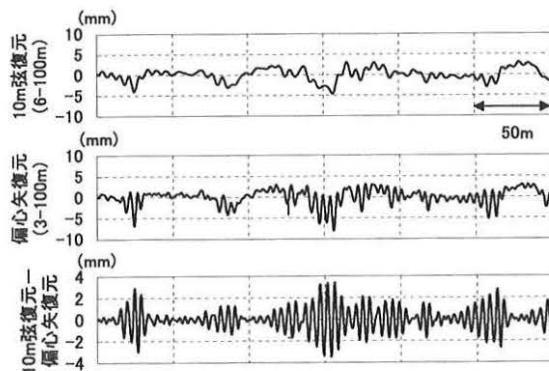


図-8 復元波長域の違いによる復元高低狂いの波形比較

が発生しやすい波長で測定データが影響を受けていることなども考えられ、今後詳細な検討が必要である。

3.2 走行速度と短波長軌道狂いの関係

T4編成は通常270km/h走行で軌道検測を行っているが、導入当初の1ヶ月間、従来のT2、T3編成と同じダイヤで測定を行ったことがあった。そのときの2001年9月第3マヤと270km/hの検測走行を開始した2001年10月第1マヤのパワースペクトルの比較を図-9に示す。これを見ると、高低狂いでは10m付近の波長から270km/h走行の値が大きくなり、波長が短くなるほどその差が拡大する様子がみられる。一方、通り狂いではほとんど違いがないが、5m未満の波長で僅かに同様の傾向がみられる。2つのマヤ走行の間に区間全体で短波長軌道狂いの状態が大きく変化したとは考えにくく、高低狂いの短波長域に表れたパワースペクトルの違いは走行速度の違いによるものと考えられる。実際に走行速度に大きな差異があった区間で復元高低狂いを比較した例を図-10に示す。図より、短波長高低狂いで振幅が大きくなっていることがわかる。走行速度により短波長高低狂いに差がみられるのは軟弱路盤など軌道ばねが小さい箇所と考えられ、その上を車両がより高速で通過することで輪重変動の増大に伴い動的な軌道変位が大きく表れていると考えられる。従って、そのような箇所では営業列車で

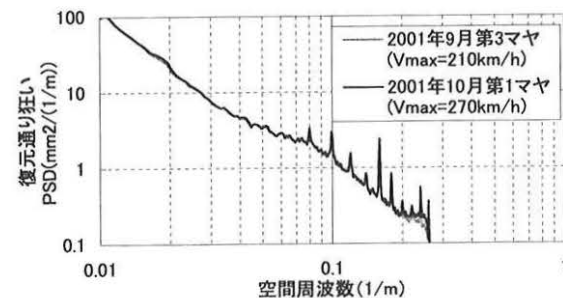
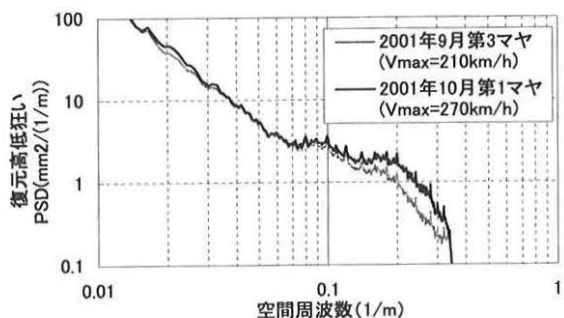


図-9 走行速度による軌道狂いパワースペクトルの違い

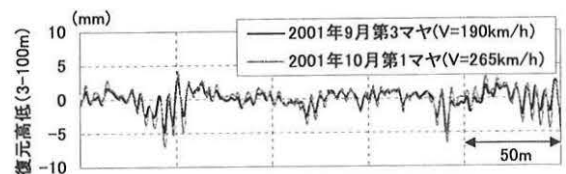


図-10 走行速度の違いによる復元高低狂いの波形比較

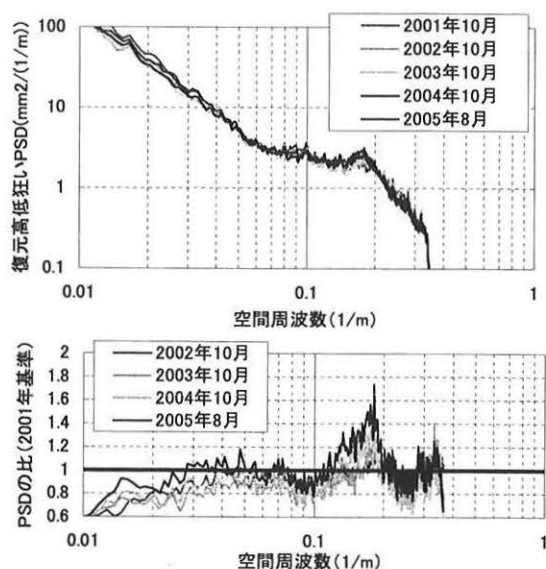


図-11 復元高低狂いのパワースペクトルの推移（1年毎）

生じている動的な軌道変位を正しく捉えるには、軌道検測車についても走行速度や輪重などの車両条件を極力営業列車に近い条件にして測定することが必要と考えられる。ここで図-7と図-9の復元高低狂いのパワースペクトルを比較すると、図-7でみられた5m付近のなだらかなピークが図-9ではあまり明確でないことに気付く。そこで、2001年10月から1年毎に復元高低狂いのパワースペクトルを求めた結果を図-11に示す。ここで、2001年を基準としたパワースペクトルの比をみると、5m付近を中心とした軌道狂いが年々増加しており、2004年、2005年で増加割合が大きくなっている様子が伺える。2003年10月に全営業列車が270km/h化されて以降、短波長高低狂いが増加傾向にあることも考えられ、今後詳細な検討が必要である。

3.3 短波長軌道狂いの狂い進みの傾向

2005年6月～8月の3ヶ月間で保守作業が行われなかった区間（延長5km以上）を抽出し、その区間の6月第1マヤと8月第3マヤのパワースペクトルの比較から軌道狂い進みの傾向を調べた（図-12, 13）。なお、検測時の走行速度の差は10km/h以内の区間とした。まず復元高低狂いのパワースペクトルの比をみると、波長5～6m付近で最も比の値が大きい、つまり軌道狂いが進行している様子が伺える。短波長軌道狂いで輪重変動が大きくなることを考えると、狂い進みについても短波長域で厳しい条件となっていることが考えられる。また、復元通り狂いでは狂い進みが高低狂いに比べて小さいこともあり、今回比較したデータでは波長による差はあまり明確にみられなかった。

4. まとめ

短波長軌道狂いが輪重変動・横圧に与える影響が大きいことを車両運動シミュレーションから明らかにし、速度の

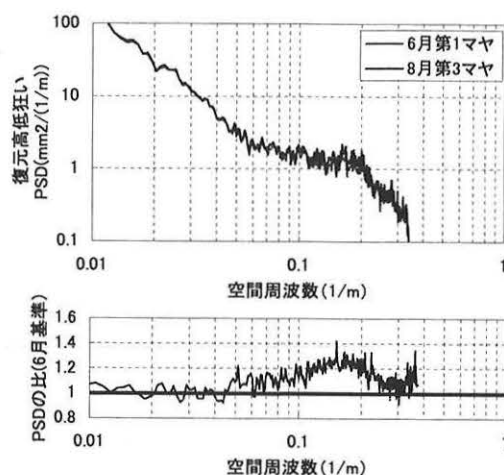


図-12 復元高低狂いのパワースペクトルの変化（3ヶ月後）

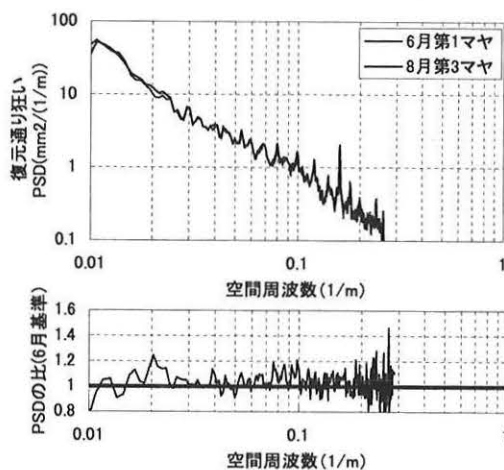


図-13 復元通り狂いのパワースペクトルの変化（3ヶ月後）

増加に伴い動的な変位として大きく表れることを実測データから確認した。また、高低狂いで短波長の狂い進みが大きい傾向がみられ、オール270km/h化以降の最近のデータで短波長高低狂いが増加している傾向が伺えることがわかった。高速化に伴い短波長軌道狂いが輪重変動や横圧に与える影響は大きくなるため、今後10m弦正矢とともに偏心矢から求めた短い弦長による軌道狂い測定値²⁾などを新たな指標として管理していくことも検討に値すると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤吉彦；東海道新幹線において951形式試験電車に発生した著大輪重の原因とその対策，鉄道技術研究報告，No. 824，1972. 9, pp. 21-21
- 2) 森本勝；偏心矢測定による軌道状態の把握手法，鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2002）講演論文集，2002. 12, pp. 417-420