

動的走行シミュレーションを用いた在来線における動的検収の適用条件の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○西島 悠太 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 博文
西日本旅客鉄道（株） 正会員 松本 麻美 西日本旅客鉄道（株） 正会員 原田 祐樹

1. はじめに

在来線における軌道整備後の軌道状態の確認は、施工当日の軌道検測（当日検査）、および整備から約2週間後に実施する軌道検測（引継ぎ検査）により行われている。しかしながら、これらの軌道検測は人力による静的な検測であり、今後の労働力不足と保安上の観点に課題があると共に、動的な軌道変位を確認できないため、品質にも課題がある。

これらの課題を解決するため、営業車により高頻度に測定可能な列車動揺を用いた動的検収の検討を進めている。これまで、軌道整備前後の列車動揺の実データを用いた検証により、その適用可能性を示したが、列車動揺は様々な要因の影響を受けるため、動的検収を適用できない条件が存在すると考えられる。そこで本研究では、汎用のマルチボディダイナミクスツールである SIMPACK を用いた動的走行シミュレーションにより、列車動揺を用いた動的検収手法の適用条件を検討した。

2. シミュレーションの概要

2.1 軌道モデル

図1に、作成した軌道モデルの平面線形および軌道変位波形を示す。平面線形は直線および曲線の2種類とし、その一部区間に軌道変位を付与した。

直線については、延長を800mとした。曲線については、円曲線長を400m、入口および出口の緩和曲線長を100mとし、前後に100mの直線を設け、延長を800mとした。軌道変位は、何れの線形においても、シミュレーション開始地点から400mの位置に付与した。なお、今回の検討では緩和曲線中に存在する軌道変位については検討対象外とした。付与する軌道変位の形状はコサイン波とし、波長は5m、10m、20mの3種類、振幅は高低変位、通り変位ともに0mmから1級線の整備基準値（動的）に相当する23mmの間で変化させた。

2.2 車両モデル

図2に作成した車両モデルを示す。車両モデルは、1個の車体、2個の台車、4個の輪軸で構成される42自由度の1車両モデルとした。車体～台車間などの各結合要素は、ばね・ダンパ要素によりモデル化した。車両諸元は表1に示す近郊形電車のものを用いた。列車動揺を算出する加速度センサは、車両進行方向前方の運転室内に相当する位置に設置した。

3. シミュレーション結果と適用条件の検討

今回実施するシミュレーションでは、高低変位に係る軌道整備に対する適用条件を検討する。検収対象区

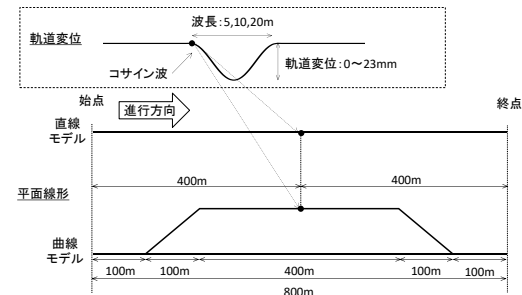


図1 軌道モデルの平面線形および軌道変位

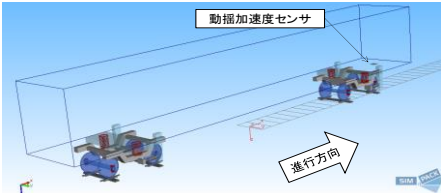


図2 車両モデル

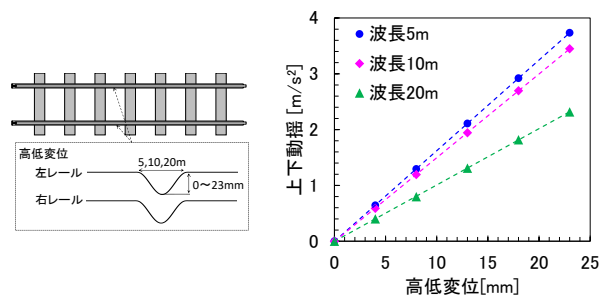
表1 代表的な車両パラメータ

項目	値
軸距	2.1m
台車中心間隔	13.8m
車体質量	25537kg
台車質量	2748kg
輪軸質量	1418kg
左右軸ばね間隔	1.64m
左右空気ばね間隔	1.00m
車輪踏面形状	修正円弧踏面

間の上下動揺に影響を与える要因として、対象区間前後の軌道変位の有無、通り変位の有無、平面線形の違いが考えられるため、これらの影響を検証する。

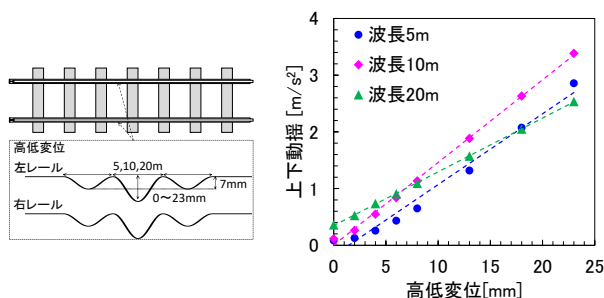
3.1 対象区間前後の軌道変位の影響

図3に、直線において左右レールに高低変位1波を付与した場合のシミュレーション結果を、図4に、同じく直線モデルにおいて高低変位3波を付与した場合のシミュレーション結果を示す。車両の走行速度は120km/hとした。高低変位3波の場合は全て同じ波長の高低変位とし、2波目の高低変位の振幅を変動させ、2波目の高低変位による上下動揺をプロットした。なお、図4は、一例として1波目および3波目の高低変位を7mmとした場合を示している。軌道変位が1波の場合は、図3(b)に示すように全ての波長において、上下動揺と高低変位は線形関係となった。一方、高低変位が3波の場合は、図4(b)に示すように、1波の場合と比較して波長5mでは上下動揺が小さく、波長20mの場合は上下動揺が大きい傾向にあることがわかる。これは、1波目における車両の振動が2波目における振動に影響しているためと考えられる。このことから、検収対象区



(a) 軌道変位 (b) 上下動揺と高低変位

図3 シミュレーション結果
(直線・高低変位1波・ $V=120\text{km/h}$)



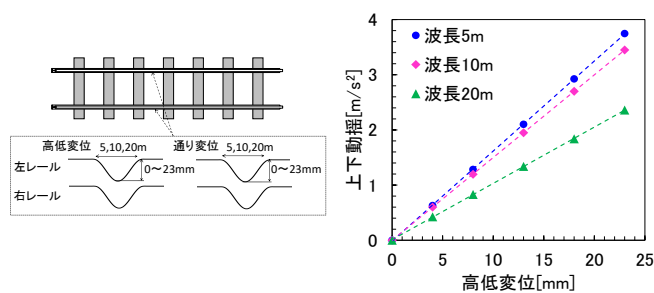
(a) 軌道変位 (b) 上下動揺と高低変位

図4 シミュレーション結果
(直線・高低変位3波・ $V=120\text{km/h}$)

間の近傍に短波長の高低変位が存在する場合、上下動揺では軌道状態を正確に確認できない可能性がある。

3.2 通り変位の影響

図5に、直線において、左右レールに高低変位1波および通り変位1波を付与した場合のシミュレーション結果を示す。通り変位は、左右レールとも同じ方向とし、高低変位と同じ波長で同じ箇所に付与している。なお、通り変位についても、高低変位と同様に0mmから23mmの間で変化させシミュレーションを実施したが、同図には1級線の整備目標値(動的)である13mmの場合を示した。車両の走行速度は、3.1節の検討と同じく120km/hとした。



(a) 軌道変位 (b) 上下動揺と高低変位

図5 シミュレーション結果
(直線・高低変位と通り変位1波・ $V=120\text{km/h}$)

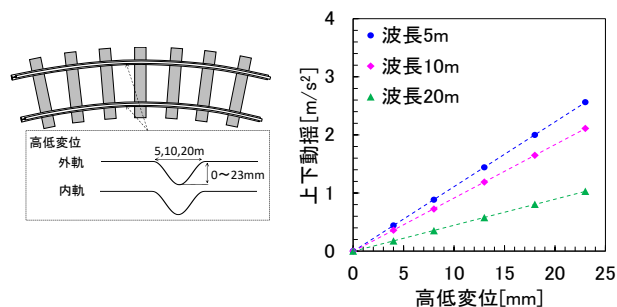
同図より、全ての波長において、通り変位の大きさによらず、図3(b)に表した直線区間における高低変位1波の場合とほぼ同じ結果となった。このことから、通り変位が上下動揺に与える影響は小さいと考えられる。

3.3 平面線形の違いの影響(曲線区間)

図6に、曲線での結果の例として、半径600mにおけるシミュレーション結果を示す。なお、カントは70mm

とし、軌道変位は、内外軌に高低変位1波を付与した。走行速度は曲線の均衡速度である70km/hとした。

同図より、直線の場合と同じく、上下動揺と高低変位は線形関係となったことから、平面線形の違いが上下動揺に与える影響は小さいと考えられる。ただし、曲線半径が小さいほど、走行速度が低下し、上下動揺も小さくなると考えられるため、高低変位の変動による上下動揺の変動を捉えることが難しくなると考えられる。



(a) 軌道変位 (b) 上下動揺と高低変位

図6 シミュレーション結果
(曲線/R600m・高低変位1波・ $V=70\text{km/h}$)

3.4 適用条件の検討

3.1節のシミュレーション結果より、局所的な軌道変位が点在し、前後の軌道変位の影響が小さい路線では、列車動揺を用いた動的検収を実用化できる可能性がある。そのような条件の線区としては、ロングレール主体で連続した継目落ちが生じにくい主要線区が考えられる。一方、軌道変位が連続して存在し、前後の軌道変位の影響が大きい路線への適用は、更なる検討が必要である。そのような条件の線区としては、定尺レール主体で連続した継目落ちが生じやすい地方閑散線区が考えられる。

4. まとめ

本研究で、得られた知見は以下のとおりである。

- 1) SIMPACKを用いて走行シミュレーションを行い、軌道変位や平面線形等が上下動揺に与える影響を検証した。その結果、対象箇所の近傍に短波長の軌道変位が存在する場合は、上下動揺が小さく、対象箇所の近傍に長波長の軌道変位が存在する場合は、上下動揺が大きい傾向にあった。一方、通り変位の有無や平面線形の違いによる上下動揺の差異は小さかった。
- 2) 走行シミュレーション結果から、ロングレール主体で連続した継目落ちが生じにくく、前後の軌道変位の影響が小さいと考えられる主要線区では、列車動揺を用いた動的検収を実用化できる可能性がある。一方、定尺レール主体で連続した軌道変位が生じやすく、前後の軌道変位の影響が大きいと考えられる地方閑散線区への適用は、更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 松本麻美, 他: 在来線における高頻度動揺測定を活用した軌道工事の動的検収手法の提案, 土木学会第74回年次学術講演会