車両運動シミュレーションによる軌道狂いと走行安全性の関係分析

鉄道総研　正会員　○元好　茂
鉄道総研　正会員　古川　敦
鉄道総研　宮本岳史

１．はじめに

鉄道車両の走行安全性の指標として、脱線係数（横圧／輪重)、輪重減少率があり、いずれも走行安全性に直接結びつくものである。一方、通常の軌道保守においては、軌道狂いの整備基準値をもとに走行安全性の判定が行われている。しかし、現在の整備基準値は昭和 42 年の実在軌道狂いの最大値をもとに定められているため、近年の車両や速度条件においては、整備基準値と走行安全性は必ずしも 1 対 1 には対応していない。以上より、軌道狂いと走行安全性の関係を明らかにすることは、効果的な軌道保守を目指す上で重要である。

これに対し本稿では、車両運動シミュレーションを用いて軌道狂いと輪重変動との関係を求めることにより、走行安全性の検討を行った結果を報告する。なお、過去の複合狂いの検討過程[1)]において、走行安全性の指標として輪重減少率が用いられており、本検討もこれに準ずる。動的輪重減少率の目安値は、一般的に用いられている 0.8（80%）とした。

２．車両運動シミュレーションによる輪重変動予測

車両に輪重変動のような応答をもたらすのは、ある点における軌道狂いだけでなく、その手前も含めた連続的な狂いである。このような波形レベルでの軌道狂いに対する車両の応答の予測手法として、本検討では時刻歴シミュレーションを用いた。なお、車両は１車体、２台車、４輪軸の計７要素について各６自由度、レールは車輪位置計８箇所で上下・左右に変位する各 2 自由度の合計 58 自由度でモデル化した一車両モデル[2)]を用いた。図１に車両モデル概要図を示す。

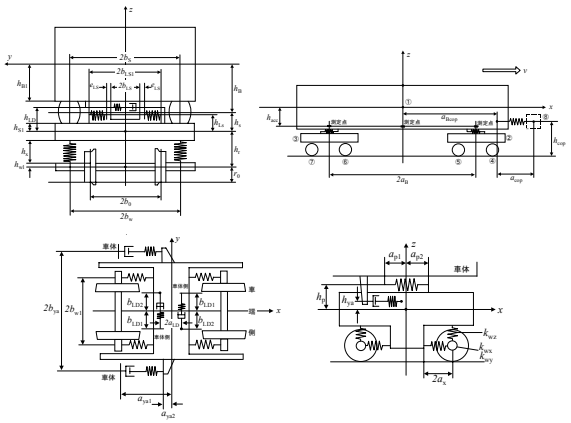


図１　車両モデル概要図

設定した軌道狂い、線形、速度条件を表１に示す。複合狂いの検討過程において、同一波長の水準狂いと通り狂いが逆位相で複合した場合に走行安全性が低下することや、軌道狂いの波長や連続波数の違いによって、同一の振幅であっても走行安全性が変化することがわかっている。従って、本検討で対象とする軌道狂いは水準、通りの２種とし、表のように波長や波数を設定した。

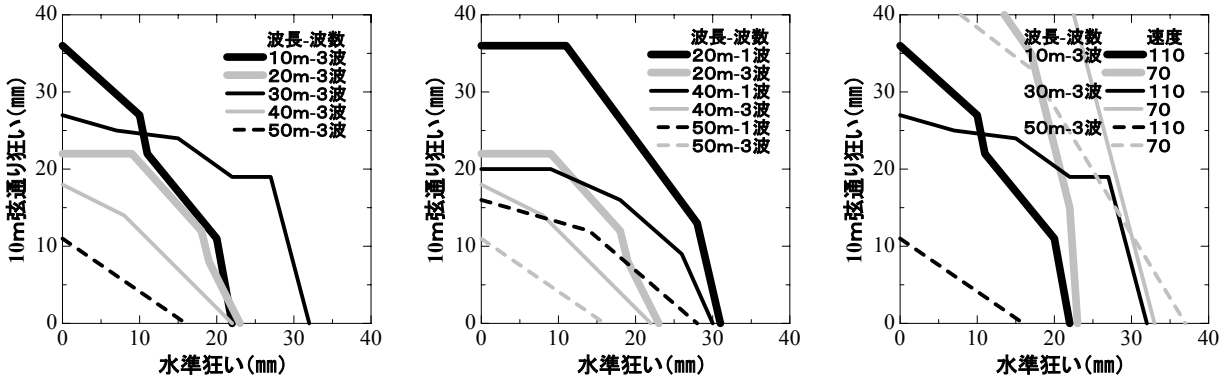
シミュレーションの車両諸元には、鉄道総研構内脱線走行試験に用いた試験車両[3)]（在来線通勤型）のものを用いた。この車両は、最大車体幅を通常よりも 300 ㎜程度大きくしているが、車体長や台車中心間距離等の主要諸元は一般的な通勤電車と同一であり、空気ばね式ボルスタレス台車を用いている。

表１　　各種設定条件　( )内はパターン数

軌道狂い条件	形状等	正弦波 水準と通りの逆位相複合（波長、波数は同じ）
	波長(5)	10m・20m・30m・40m・50m
	連続波数(3)	単独1波・連続2波・連続3波（連続は同一波長）
	振幅	水準、通りをそれぞれ1㎜単位で変化
線形条件		直線区間
速度条件(2)		70km/h ・ 110km/h

以上の各種条件ごとに、軌道狂い上を走行したときの輪重変動をシミュレーションによって求め、輪重減少率が 0.8 となる時の水準狂いと通り狂いの振幅量を算出した。

キーワード　走行安全性，水準狂い，通り狂い，輪重減少，車両運動シミュレーション
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　(財)鉄道総合技術研究所 軌道管理研究室　TEL042-573-7278



(a) 波長別（速度 110km/h）　(b) 波数別（速度 110km/h）　(c) 走行速度別

図２　条件別の輪重減少率 0.8 に対応する水準狂いと通り狂いの組み合せ

３．シミュレーション結果の考察

輪重減少率が目安値である 0.8 となる水準狂いと 10m 弦通り狂いの組み合わせを繋げた線（以下、目安線と呼ぶ）を条件別にまとめたものを図 2 に示す。目安線より内側（振幅の小さい側）が安全側、外側が危険側となる。条件別の考察を以下に述べる。

(1)水準と通りの組み合わせ　目安線は全てにおいて右下がりとなっており、水準と通りが逆位相で複合する際は、両者の組み合わせを考慮して管理することが、各々単独に管理するよりも合理的であることがわかる。

(2)波長　図２(a)の縦軸を見ると、波長 20m と 30m が逆であるものの、全般的には波長が長いほど切片が小さくなる。よって通り狂いは、振幅が同じであれば、波長が長くなるほど輪重変動を起しやすいことがわかる。水準狂いに関しては、波長 50m が厳しく、波長 30m が緩くなり、それ以外には差が見られない。波長が長い水準狂いはロール振動の原因となり、波長の短い水準狂いは平面性狂いが大きくなるために台車 3 点支持の原因となることから、これらが重なり合って生じる輪重減少と水準狂い波長には明確な関係が見られないものと思われる。

(3)波数　図２(b)より、軌道狂いの波数が増すと目安線は厳しくなる傾向にある。波長 10、30m に関しては波数による差が小さかったため図では省略した。このように、波長によって程度の差はあるものの、波数が増すことによって輪重変動が大きくなっていくことがわかった。

(4)走行速度　図２(c)より、走行速度が高くなると目安線は厳しくなるが、その影響は通り狂いのほうが大きい。水準狂い側では、波長 30m 以下では速度による差が無い。これは、固定軸距のように、幾何学的に定まる距離の平面性狂いにより、走行速度に関係無く輪重減少が生じているためと考えられる。但し、ロール振動による輪重減少は車両の固有振動数が関係することから、波長 50m の水準狂いによって速度差が大きくなっているのは、110km/h・波長 50m に対応する約 0.6Hz が、今回検討した車両のローリング固有振動数に近いところにあるものと推定できる。これは、図２(b)の波長 50m において水準の波数による差が顕著であることからもいえる。

４．おわりに

水準狂い、通り狂いの波長、波数及び走行速度の違いが走行安全性に影響を及ぼし、その程度の差は水準と通りによって異なることがわかった。また、水準と通りの組合せを考慮することは合理的であることがわかった。なお、これらを実際の軌道管理に適応するには、さまざまな車種での検討が必要なほか、軌道狂いの波長や連続波数を評価する手法[4]を結びつけた、総合的な管理方法の構築が必要である。

［参考文献］1)池守昌幸：軌道狂い波形の整備に関する研究、鉄道技術研究報告、No.1038、1977.3.
2)宮本、石田、松尾：地震時の鉄道車両の挙動解析（上下、左右に振動する軌道上の車両運動シミュレーション）、日本機械学会論文集（C 編）、1997.12.
3)急曲線における低速域での乗り上がり脱線等の防止に関する検討会報告書、2004.3.
4)元好,古川,神山：局所定常 AR モデルを用いた周期的な軌道狂いの検出、土木学会第 59 回年次学術講演会、Ⅳ-021、2004.9.