

車輪フラットの発生がまくらぎの動的応答に及ぼす影響

鉄道総合技術研究所 正会員 ○後藤 恵一
 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 勉
 鉄道総合技術研究所 正会員 箕浦 慎太郎

1. 目的

車輪の空転、滑走等により車輪踏面に発生する楕円形の擦跡（以下、車輪フラット）は、列車走行時の車輪回転に伴う周期的な振動により乗り心地を悪化させ、また、大きな衝撃荷重の発生により車両部材および軌道部材に悪影響を及ぼすことが知られている。本研究では、車輪フラットを有する車両と軌道の動的相互作用解析手法を構築するとともに、車輪フラットが軌道部材の一つであるまくらぎの応答に及ぼす影響を検討した。

2. 検討方法

本研究では、車両をマルチボディー、軌道を有限要素でモデル化し、車輪／レール間の接触計算に車輪フラットを表現した車輪凹凸形状を考慮することで、車輪フラットを有する車両と軌道の動的相互作用解析を行う手法とした。以下にその概要を示す。なお、本解析には汎用衝撃・構造解析ソフトウェア LS-DYNA (R10.1.0)を用いた。

図1に車両の力学モデルを示す。車両は軌道側の動的応答を適切に評価する上で必要最低単位であると考えられる半車両分をモデル化した。本車両モデルでは、半車体、台車、輪軸を剛体と仮定し、これらをばねとダンパで結合して構築した。車両の走行は各剛体に進行方向（ x 方向）の強制変位を与えて表現した。半車両あたりの自由度は17である。

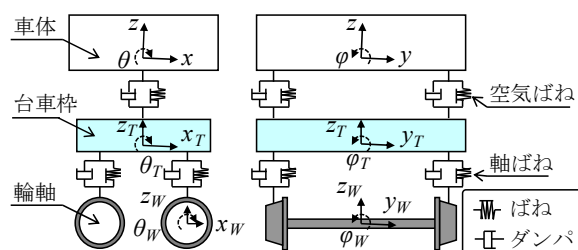


図1 車両の力学モデル（半車両モデル）

図2に軌道の力学モデルを示す。レールおよびまくらぎは梁要素でモデル化し、軌道パッドおよびバラストを表現したばね・ダッシュポットにより接続した。本研究ではこの軌道を約24m分モデル化した。

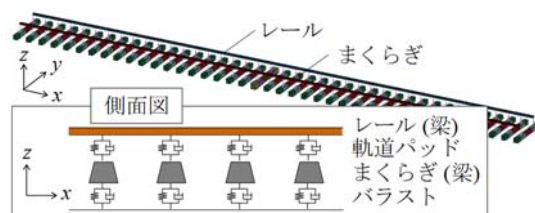


図2 軌道の力学モデル（バラスト軌道）

車輪／レール間の接触は鉛直方向のみを考慮した。その動的相互作用力の計算にはペナルティ法を用い、接触計算点は各車輪中心直下の1点とした。ここで、本接触モデルにより車輪フラットを考慮する場合、図3に示すように実際の接触点と計算上の接触点にずれが生じる。そのため本研究では、車輪フラットの幾何学形状から計算される車輪中心の軌跡を車輪凹凸形状として入力することで、1点接触での車輪フラットの影響を考慮可能とした。

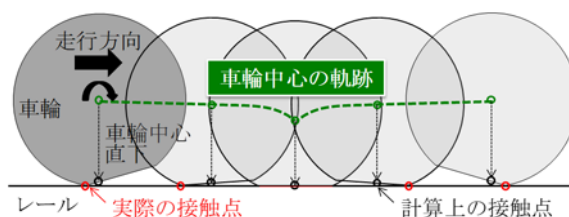


図3 接触計算点と車輪中心の軌跡

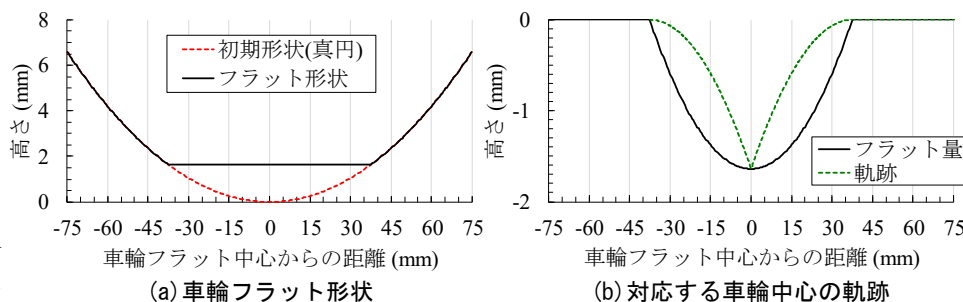


図4 車輪フラット形状と対応する車輪中心の軌跡（フラット長 75mm）

図4に車輪フラット長75mmの場合の車輪形状と車輪中心の軌跡を、図5に既往の研究¹⁾

キーワード 鉄道, 数値解析, 動的相互作用, 車輪フラット, まくらぎ, 衝撃

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 TEL 042-573-7290

と比較する形で本手法での列車速度と動的輪重の関係を示す。両者の解析モデルおよび入力諸元が完全に一致していないため多少の差異がみられるが、本手法がその特徴を概ね捉えており、妥当なものであることが確認できる。

3. 検討結果

車輪フラットがまくらぎの応答に及ぼす影響を評価するために、列車速度および車輪フラット長をパラメータとした検討を実施した。表 1 に代表的な解析諸元を示す。車両は在来線通勤車両を想定し、軌道諸元については文献 2) を基に設定した。

図 6 に車輪フラットが動的輪重およびまくらぎの曲げモーメントに及ぼす影響を示す。まくらぎの曲げモーメントは、レール断面位置（正曲げモーメント）およびまくらぎ中央位置（負曲げモーメント）について示す。まず、図 6(a) に示す動的輪重に着目すると、基本的な傾向として、列車速度が速くなるほど、また、車輪フラット長が長くなるほど応答値が増加する様子を確認できる。さらに、車輪フラット長が 75mm 以上の場合には、列車速度 15km/h 程度の低速域で局所的なピークを生じていることが分かる。この列車速度は、図 6(b) に示す車輪の最小鉛直変位、すなわち車輪の落下量が最大となる列車速度に概ね一致している。車輪フラットの管理基準の一つであるフラット長 75mm の場合、列車速度 100km/h では静的輪重の 5 倍を超える動的輪重が発生することも確認できる。

次に、図 6(c) (d) に示すまくらぎの曲げモーメントに着目すると、車輪フラット長が長くなるほど応答値が増加する傾向は動的輪重と同様であるが、最大の曲げモーメントが発生する列車速度は必ずしも高速域とは限らず、特に図 6(c) に示す正曲げモーメントについては、動的輪重で局所的なピークが生じた列車速度 15km/h で最大となっている。車輪フラット長 75mm の場合、車輪フラットがない場合（フラット長 0mm）と比較して 3.7 倍程度の曲げモーメントが発生していることが確認できる。

4. まとめ

車輪フラットを有する車両と軌道の動的相互作用解析手法を構築し、車輪フラットが動的輪重およびまくらぎの応答に及ぼす影響を検討した。その結果、動的輪重では基本的な傾向として、列車速度が速くなるほど、また、車輪フラット長が長くなるほど応答値が増加した。一方で、まくらぎの曲げモーメントは、動的輪重で局所的なピークが生じる列車速度 15km/h 程度の低速域で最大の曲げモーメントが発生した。

参考文献

- 1) 石田誠, 三浦重, 河野昭子: 車輪フラットによる軌道の動的応答特性, 鉄道総研報告, Vol.11, No.2, pp.27-32, 1997
- 2) 涌井一, 奥田広之: PC マクラギの限界状態設計法に関する研究, 土木学会論文集, No.557/V-34, pp.35-54, 1997

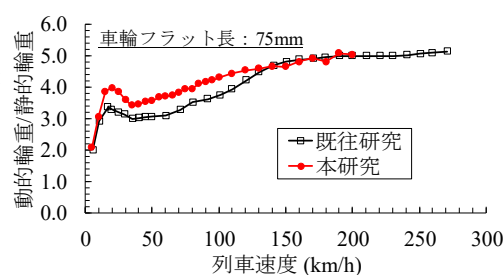
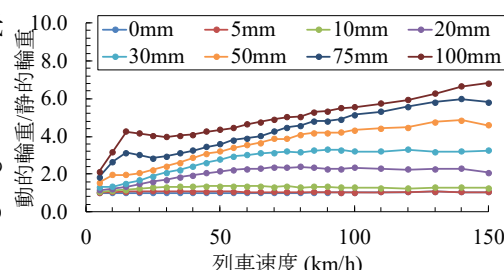


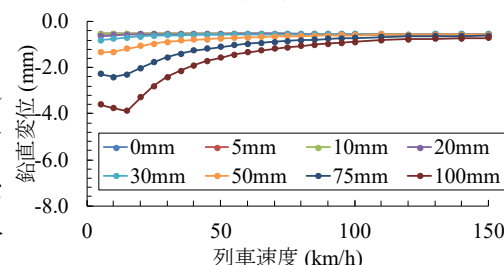
図 5 既往の解析結果との比較

表 1 本検討で用いた代表的な諸元

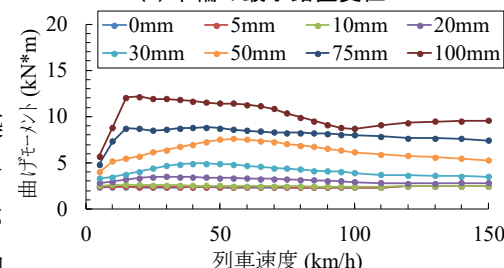
車両 (半車両)	在来線 (輪重 54.3kN) 列車速度: 5~150km/h フラット長: 0~100mm
レール	種別: 50N レール 軌間: 1067mm
軌道パッド (軌道片側あたり)	ばね係数: 100MN/m 減衰係数: 50kN*s/m
まくらぎ	種別: 3PR 間隔: 610mm
バラスト (軌道片側あたり)	ばね係数: 100MN/m 減衰係数: 100kN*s/m



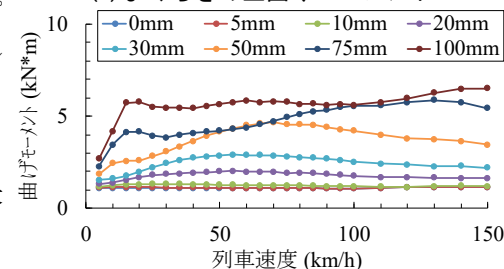
(a) 動的輪重



(b) 車輪の最小鉛直変位



(c) まくらぎの正曲げモーメント



(d) まくらぎの負曲げモーメント

図 6 車輪フラットの影響