

軌道を構成する各種パラメータがPC まくらぎの曲げモーメントに及ぼす影響

鉄道総研 正会員 ○渡辺 勉 鉄道総研 正会員 松岡 弘大
京王電鉄 正会員 飯野 匡暁 京王電鉄 正会員 重岡 剛雄

1. はじめに 軌道は各種軌道部材を組み合わせることにより成立する構造であり、PC まくらぎに発生する曲げモーメント等の応答はこれらの軌道部材の影響を受けてばらつくことが知られている¹⁾²⁾。PC まくらぎはレールや車輪の不整による衝撃荷重の影響や前述のばらつきの影響を包含する変動輪重係数を用いて設計されている³⁾が、個々のパラメータのPC まくらぎの応答への影響度については不明な点が多い。そこで本研究では軌道を構成する各種パラメータがPC まくらぎの発生曲げモーメントに及ぼす影響を現地試験と数値解析により定量的に明らかにしたので報告する。

2. 検討手法 2.1 現地試験 現地試験は在来線の直線ロングレール区間(50kgN レール)で実施した。対象としたPC まくらぎは図1に示す通りであり、設計輪重 P は80kN、変動輪重係数 γ_{vw} は2.0、分散係数0.5で設計されている。

図2にPC まくらぎに作用する輪重とPC まくらぎの発生曲げモーメントの測定方法を示す。PC まくらぎの曲げモーメントはPC まくらぎに貼付したひずみゲージにより測定されたひずみから中立軸を求め、曲げモーメントに換算した。データ収集はナショナルインスツルメンツ製のモジュールに各ゲージを接続し、LAN ケーブルを介してPC に収録した。データ収集プログラムはLabVIEWを用いて構築した。本システムは、測定区間から30m程度離れた地点のPC まくらぎ上に設置した圧電型加速度(リオンPV-85)をトリガーとして自動収録するシステムとした。サンプリング周波数は10kHzとした。

2.2 数値解析 図3に数値解析モデルの概要を示す。数値解析には、車両と構造物との動的相互作用解析プログラムDIASTARSIIIを用いた。車両については車体、台車、輪軸を剛体と仮定し、それらをばねとダンパーでリンクした三次元力学モデルである。軌道については有限要素法によりモデル化した。レールははり要素でモデル化し、節点間隔は1レール締結装置あたり20分割である。レールの頭頂面には現地において長さ1mの測定機を用いて測定したレール凹凸と既往の車輪凹凸分布から復元した車輪踏面凹凸を与えた。PC まくらぎははり要素でモデル化し、節点間隔はPC まくらぎの曲げ変形形状を忠実に再現するため36分割とした。軌道パッドはばね要素とするが、軌道パッドの大きさに応じた荷重分散を考慮するため、ばね要素35要素でモデル化した。バラスト、路盤および路床を含む地盤は、両者を1つのばね要素に集約した。ここでいうPC まくらぎの支持剛性はバラスト、路盤、路床をすべて含むものとする。解析モデル全体で節点数は8338節点、要素数は13012要素である。

数値解析はモーダル法により行った。解析におけるモード次数は、前述の測定周波数10kHz程度までの振動を再現できる次数とし、解析時間刻みは0.1msecである。減衰定数は固有振動モードの同定結果などを参考に0.1とした。

表1に解析ケースを示す。同表に示すように8種類のパラメータについて検討を行うこととした。なお、解析に用いた材料定数は各部材とも公称値を用いた。

3. 検討結果 3.1 現地試験 図4に輪重及び曲げモーメントの測定結果を示す。輪重については車種、乗車率、車輪踏面の微細な凹凸形状等の違いによって応答がばらつくこと、車

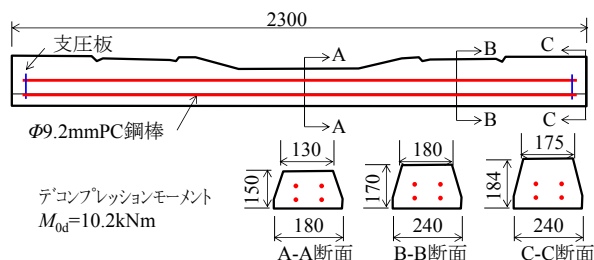


図1 測定対象PC まくらぎ



図2 測定方法

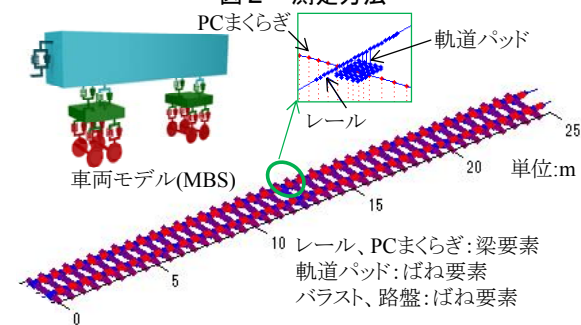


図3 数値解析モデル

表1 解析ケース

列車速度(km/h)	40~110(10m/h刻み)
列車重量	定員乗車, 空車
支持ばね定数(MN/m)	5、10、15($K_{30}=30\text{MN/m}^3$)、22、30($K_{30}=70\text{MN/m}^3$)、45($K_{30}=110\text{MN/m}^3$)
レール	60kg レール, 50N レール
軌道パッドばね定数(MN/m)	56、70(公称値)、84、112、140(公称値の2倍)、168、196、224、252、280(公称値の4倍)
コンクリートのヤング係数(GPa)	33×0.6、33×0.8、33、33×1.2、33×1.5、33×2.0
敷設間隔(本/25m)	31、33、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45
PC まくらぎの浮き	浮きなし(一様支持) ①当該まくらぎが浮き ②当該まくらぎ+隣接2本が浮き ③当該まくらぎの隣接2本が浮き ④当該まくらぎの隣接6本が浮き

キーワード PC まくらぎ, バラスト軌道, 曲げモーメント, 数値解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 南館 213 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7290

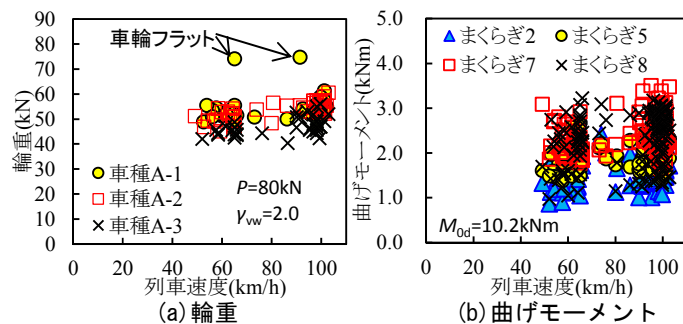


図4 測定結果

輪フラットに起因して 75kN 程度の輪重が発生することがわかる。曲げモーメントについても同様にばらつきが大きい、デコンプレッションモーメントに対しては 35%程度の値となった。

3.2 数値解析 図5にPC まくらぎの鉛直変位とレール下断面の発生曲げモーメントに関する数値解析と実測(図4の車種A-3)の時刻歴波形の比較を示す。同図に示すように、数値解析により実現現象を概ね再現できていることがわかる。

図6に軌道を構成する各種パラメータがPC まくらぎの曲げモーメントに及ぼす影響を示す。図6(a)より、支持ばね定数が小さいほど荷重が線路長手方向に分散するため、PC まくらぎに発生する曲げモーメントは小さくなった。また、PC まくらぎの発生曲げモーメントの速度依存性は小さいことがわかる。図6(b)では、横軸はPC まくらぎの支持ばね定数とした。今回解析で用いた車両の定員乗車と空車状態の輪重比は1.26程度であるが、発生曲げモーメントについてもPC まくらぎの支持ばね定数によらず、同じ比率となった。図6(c)より、50kgN レールと60kgN レールの発生曲げモーメントの比は、支持ばね定数30MN/mにおいて0.90程度となった。図6(d)、図6(e)より、軌道パッドのばね定数の影響、まくらぎのコンクリートのヤング係数の影響は比較的小さくなった。図6(f)より、PC まくらぎの敷設間隔が広がるほど発生曲げモーメントが大きくなることがわかる。敷設本数41本に対して、敷設本数25本では1.56倍程度となった。図6(g)、(h)により、PC まくらぎに浮きが生じると発生曲げモーメントに大きな影響を及ぼすことがわかる。例えば、当該PC まくらぎに浮きが生じた場合(図中①)は一樣支持に比べて0.2倍程度の発生曲げモーメントとなった。また、当該PC まくらぎに隣接する合計6本のPC まくらぎのすべてに浮きが生じたと想定した場合、一樣支持のケースに比べて、支持ばね定数15MN/mにおいて2.8倍程度の発生曲げモーメントとなった。

4. まとめ 本研究ではまくらぎの動的応答を再現可能な数値解析モデルを構築し、パラメトリックスタディを行った。その結果、今回設定した条件では、PC まくらぎの発生曲げモーメントに及ぼす影響はPC まくらぎの支持状態が最も大きく、隣接するまくらぎの浮きを想定すると、まくらぎが一樣に支持された条件に比べて最大で2.8倍程度の曲げモーメントが発生する可能性があることがわかった。

参考文献 1)渡辺他：各種不整を考慮したPC まくらぎの動的応答特性に関する研究，第21回鉄道工学シンポジウム論文集，Vol. 21，pp.205-212，2017 2)渡辺他：PC まくらぎの動的応答性状に対するレール継目部の影響、コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，2016

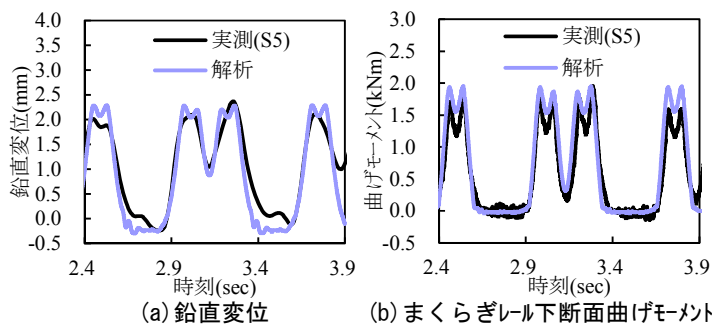
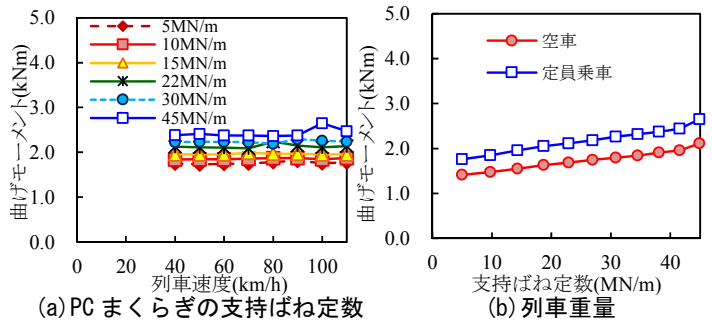
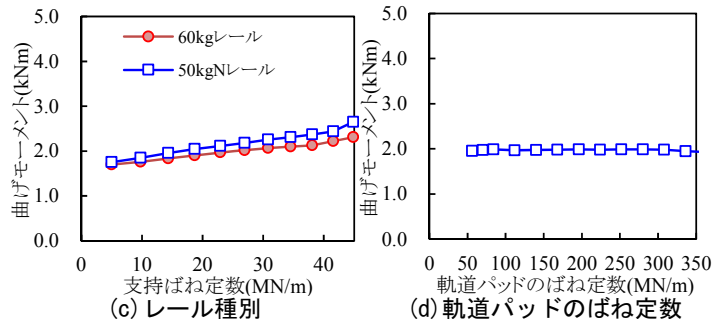


図5 数値解析と実測(図4の車種A-3)の時刻歴波形の比較



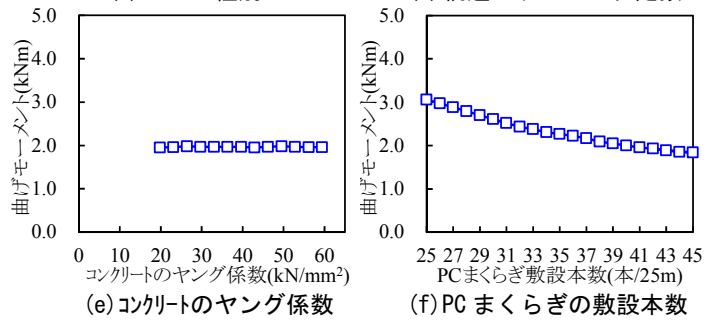
(a) PC まくらぎの支持ばね定数

(b) 列車重量



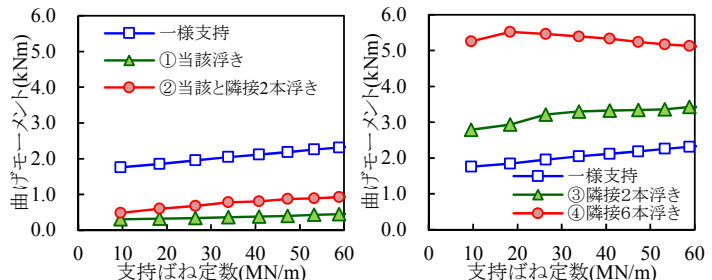
(c) レール種別

(d) 軌道パッドのばね定数



(e) コンクリートのヤング係数

(f) PC まくらぎの敷設本数



(g) PC まくらぎの浮き(その1)

(h) PC まくらぎの浮き(その2)

図6 各種パラメータの影響(数値解析結果)