

構造物境界部におけるラダーマクラギの高低変位抑制効果と敷設方法の検討

(公財)鉄道総研 正会員 ○渡辺 勉
東日本旅客鉄道(株) 大橋 真吾

(公財)鉄道総研 正会員 箕浦 慎太郎
東日本旅客鉄道(株) 正会員 魚地 眞道

1. 目的 バラスト軌道は道床バラストの突き固めを基本とする定期的な保守を前提とした軌道であるが、特にレール継目部、踏切部、構造物境界部などは一般部に比べて多くの保守が必要となる傾向にある。ラダーマクラギはバラスト軌道の保守省力化を第一の目的として開発された縦まくらぎであり、一般部だけではなく、前述の多頻度保守箇所にも適用事例があり、変位抑制効果が確認されている^(例えば)。本研究では、これまで検証事例の少ない構造物境界部におけるラダーマクラギの高低変位を評価するとともに、数値解析による高低変位の抑制により効果的な敷設方法の検討を行ったので報告する。

2. ラダーマクラギの概要 図1にラダーマクラギの概要を示す。本研究で対象としたラダーマクラギの線路方向の長さは5900mm、レール締結間隔は750mm、縦梁は幅460mm、高さ155mmの断面でφ4.22mmの3本鋼より線が20本配置されている。また、軌間保持のための継材D51と端部の沈下抑制のための端部閉合梁が縦梁同士の間にそれぞれ配置されている。コンクリートの設計基準強度 f_{ck} は、一般的なPCまくらぎと同等の50N/mm²である。

3. ラダーマクラギの高低変位の抑制効果 3.1 評価方法 図2にラダーマクラギの敷設状況を示す。線路を横断する開渠を構成するコンクリート擁壁の手前にラダーマクラギを2体敷設した。この箇所は、ラダーマクラギ敷設前にはJISに規定される3号PCまくらぎ(以下、横まくらぎ)が敷設されており、もともと軌道変位が大きくなりやすく保守頻度が高い箇所であった。また、年間の累積通過トン数(以下、通トン)は1300万トンである。

高低変位の評価は、鉄道事業者が所有する線路設備モニタリングシステム²⁾により取得したデータを用いて行った。ラダーマクラギの敷設前の横まくらぎについても同様のデータを用いたが、横まくらぎの初期沈下時のデータを得ることができなかったため、初期沈下が収束した後の漸進的な沈下過程で比較を行うこととした。なお、軌道の沈下進みは既往の研究³⁾より式(1)による表現されるものとした。

$$Y = \alpha(1 - e^{-\gamma X}) + \beta X \quad (1)$$

ここに、 α は初期沈下係数、 β は沈下進み係数、 γ は軌道状態による係数、 Y は変位、 X は通過トン数である。

3.2 評価結果 図3にラダーマクラギ敷設区間における高低変位の最大値と通トンの関係を示す。ラダーマクラギと横まくらぎで比較すると、バラスト交換後の軌道整備回数はラダーマクラギが4回、横まくらぎが6回にも関わらず、ラダーマクラギでは通トン2400万トン程度(約2年)で高低変位が6.5mm程度に対して、横まくらぎでは通トン650万トン程度(約半年)で高低変位が12mmであり、ラダーマクラギにより高低変位が抑制された。また、沈下進み係数 β で比較すると、ラダーマクラギでは0.00198、横まくらぎでは0.0099となり、高低変位の進行がラダーマクラギは横まくらぎの1/5程度に抑制されることがわかる。また、図4には図3におけるラダーマクラギのプロット①(赤丸)と横まくらぎのプロット②(青四角)について、高低変位の波形を示す。同図からも、ラダーマクラギにより高低変位が抑制されていることを確認することができる。

4. 数値解析による構造物境界部におけるラダーマクラギの敷設方法の検討 4.1 検討方法 図5にラダー軌道の解析モ

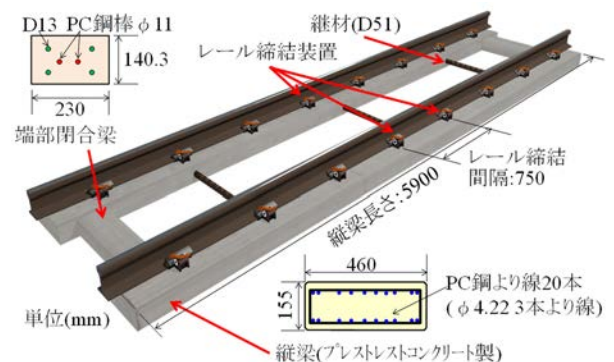


図1 ラダーマクラギの概要

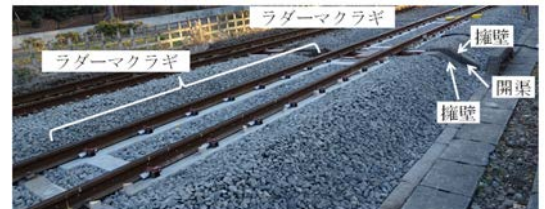


図2 構造物境界部におけるラダーマクラギの敷設状況

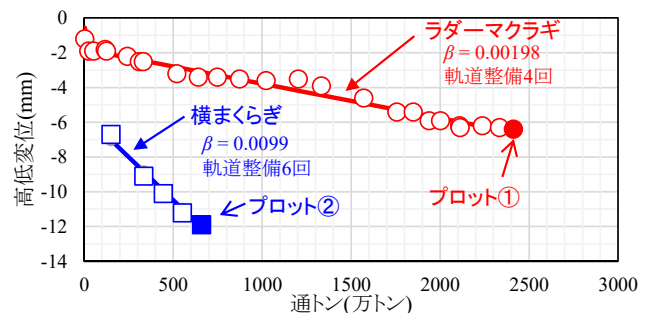


図3 ラダーマクラギ敷設区間における高低変位の最大値と通トンとの関係

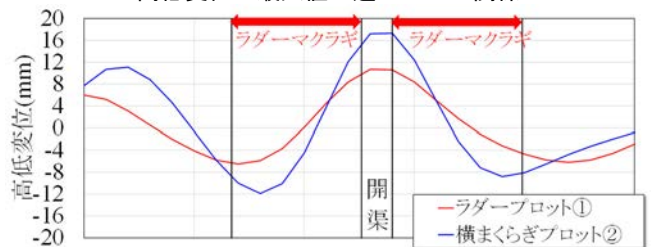


図4 図3のプロット①および②における高低変位波形

キーワード 縦まくらぎ, ラダーマクラギ, バラスト軌道, 維持管理, 保守省力化, ラダー軌道
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

デルの概要を示す。数値解析には車両と線路構造物の動的相互作用解析プログラム DIASTARSIII を用いた。レール、ラダーマクラギははり要素、軌道パッド、路盤はばね要素、バラストはソリッド要素でモデル化した。材料定数は表 1 にまとめて示した。解析の時間刻みは 0.1msec、解析モード次数は 1000Hz 程度までの振動を再現可能な次数とし、走行車両は近年の一般的な在来線の車両(軸重 80kN 程度、軸距 2.1m、車両長 20m)の 3 両編成とし、列車速度は 90km/h とした。

図 6 に解析ケースを示す。構造物境界部の手前にラダーマクラギを敷設したケースと跨いでラダーマクラギを敷設した 2 ケースを設定した。前者が図 2 の敷設方法に相当する。なお、ここでは構造物境界部として、バラスト区間から図 2 に示したような開渠や橋台等のバラストに比べて十分に剛とみなせるコンクリート構造物で支持される箇所に乗り上がる状況を想定した。

解析結果は既往の研究⁴⁾より、バラスト軌道におけるバラストの沈下の進行に及ぼす影響が大きいことが知られているまくらぎ下面圧力に着目して評価することとした。

4.2 検討結果 図 7 に解析結果を示す。図 7 (a) を見ると、レールを介して剛支持部に荷重が流れるため、構造物境界部の近傍におけるまくらぎ下面圧力は中央部に比べて低下する傾向にある。具体的には、ラダーマクラギの中央部でまくらぎ下面圧力の最大値が 55.4kN/m²であるのに対し、構造物境界部側の端部閉合梁の位置で見ると 31.9kN/m²となった。一方、図 7 (b) を見ると、構造物境界からの距離が同じ位置でまくらぎ下面圧力が 11.9kN/m²となっており、ラダーマクラギを構造物境界の手前に敷設する場合に比べて跨いで敷設することにより、まくらぎ下面圧力が 1/3 程度となった。

以上の結果より、ラダーマクラギを構造物境界部に敷設する場合には、構造物境界の手前に敷設するよりも跨いで敷設した方がまくらぎ下面圧力の低減に効果的であると考えられる。これを踏まえたラダーマクラギの敷設方法を図 8 に示す。ラダーマクラギの中央で開渠を跨ぐ方法やラダーマクラギの端部を橋台部に載せる方法などが考えられる。

5. まとめ 本研究で得られた知見は以下の通りである。① 今回の敷設箇所においては、ラダーマクラギでは通トン 2400 万トン程度で高低変位が 6.5mm 程度、横まくらぎでは通トン 650 万トン程度で高低変位が 12mm となり、ラダーマクラギにより高低変位が抑制されるとともに、ラダーマクラギは横まくらぎに比べて高低変位の進行が 1/5 程度に抑制された。② 数値解析により、ラダーマクラギを構造物境界部に敷設する場合には、境界の手前に敷設するよりも跨いで敷設する方がまくらぎ下面圧力の低減に効果的であることを明らかにし、これに基づき構造物境界部におけるラダーマクラギの敷設方法を提案した。

参考文献 1)水野他：列車通過時のレール継目部におけるラダーマクラギの動的応答に関する検討，第 72 回年次学術講演会，VI-472，2017
2)松田他：営業車による線路設備モニタリング，JR East Technical Review, Vol.32, No.8, pp.7-10, 2010
3)佐藤裕：繰返荷重による道床沈下の実験，鉄道技術研究報告，No.65, 1959
4)内田他：軌道狂い進みに着目した有道床軌道の新しい設計法，鉄道総研報告，Vol.9, No.4, 1995

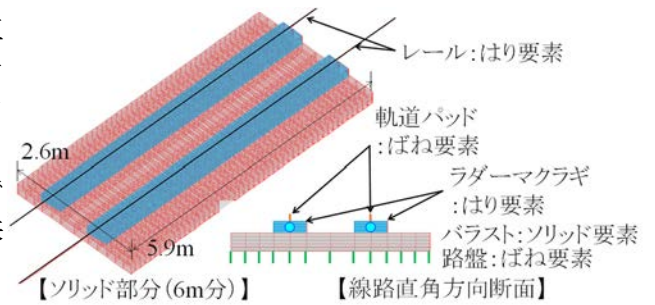
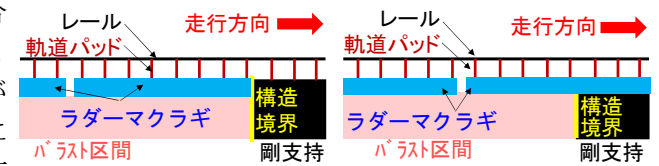


図 5 ラダー軌道の解析モデルの概要

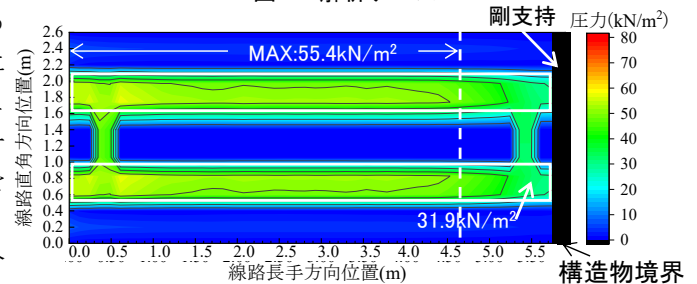
表 1 解析に用いた材料諸元

部材	材料定数等
レール (50kgN レール JIS E1101)	ヤング係数 $E=200\text{kN/mm}^2$ 面積 $A=6.405 \times 10^{-3}\text{m}^2$ 断面 2 次モーメント $I_y=1.960 \times 10^{-5}\text{m}^4$ 単位体積重量 $\gamma=78.5\text{kN/m}^3$
軌道パッド	$K_p=120\text{MN/m}$ (公称ばね定数 $K_p=60\text{MN/m}$)
ラダーマクラギ	ヤング係数 $E=38\text{kN/mm}^2$ 断面高さ $h=155\text{mm}$ 、断面幅 $b=460\text{mm}$ 1 ユニット長 $L_L=5.9\text{m}$ 締結数 $N=8$ 締結(1 レール、5.9m あたり) 単位体積重量 $\gamma=25.0\text{kN/m}^3$
バラスト	ヤング係数 $E=88\text{MN/m}^2 (=0.088\text{kN/mm}^2)$ 厚さ $d=250\text{mm}$ 、単位体積重量 $\gamma=19.0\text{kN/m}^3$ ばね定数 $K_B=200\text{MN/m}$
路盤	地盤反力係数 $K_{30}=50\text{MN/m}^3$ (ばね定数 $K_S=22.0\text{MN/m}$)

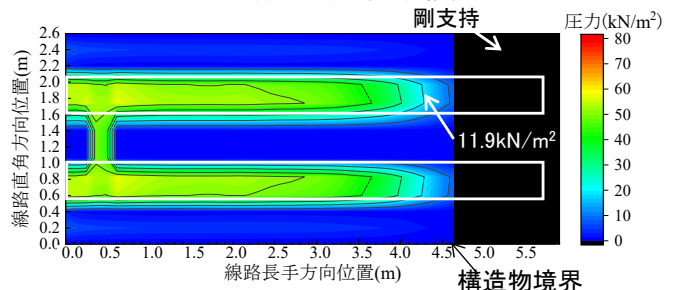


(a) 支持 A (境界部手前敷設) (b) 支持 B (境界部跨いで敷設)

図 6 解析ケース



(a) 支持 A (境界部手前敷設)



(b) 支持 B (境界部跨いで敷設)

図 7 まくらぎ下面圧力に関する解析結果



図 8 構造物境界部を跨いだ敷設方法の例