

### 負荷条件決定逆問題の木まくらぎ軌道の健全性評価への適用可能性に関する研究

筑波大学 機能工学系 亀田 敏弘\*  
 東日本旅客鉄道（株） 峰岸 大介\*\*  
 東日本旅客鉄道（株） 小野 重亮\*\*

#### 1. はじめに

木まくらぎの劣化・腐食に伴い、締結装置の支持力が低下すると軌間保持が不可能となるため、安全確保のために木まくらぎの不良判定は必須である。現状は、目視等の定性的な検査が行われているが、検査者の経験による判定からの脱却ならびに省力化を目的として、一定横圧載荷時の軌間拡大量に基づいて、判定を定量的かつ自動的に行うことは有用と考えられる。今後の計測技術の向上により、横圧載荷地点とその近傍の軌間拡大量が測定可能となれば、逆解析を適用することにより、より詳細に締結部の状態が把握できるため、本研究では、詳細なレール変位の測定を行って、締結部のレール支持力を逆解析により求める手法の適用可能性について検討を行った。

#### 2. 逆解析の理論

締結装置により支持されたレールに横圧が作用する状況を、横圧作用点から十分離れた地点を支点とするはりとしてモデル化すると図 1 のようになる。ここで、添字  $i$  は締結装置の位置を表し、 $p_i$  は締結装置の支持力、 $P$  は作用する横圧である。はり上の地点  $x$  に単位荷重が作用する際の、地点  $a$  におけるたわみを  $f(x,a)$  とすれば、重ね合わせにより、たわみ  $d$  と荷重  $p$  の関係はここで、 $p_i$  は支持力と横圧の合力であることに注意すると以下ようになる。

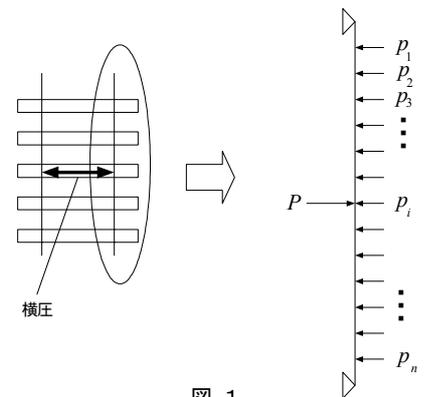


図 1

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_1, x_1) & f(x_2, x_1) \\ f(x_1, x_2) & f(x_2, x_2) \\ f(x_1, x_3) & f(x_2, x_3) \\ \vdots & \vdots \\ f(x_1, x_n) & f(x_2, x_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -p_1 \\ -p_2 \\ -p_3 \\ \vdots \\ -p_n \end{bmatrix}$$

$$\equiv \begin{bmatrix} & & & & \\ & K & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -p_1 \\ -p_2 \\ -p_i \\ \vdots \\ -p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & K & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -p_1 \\ -p_2 \\ P - p_i \\ \vdots \\ -p_n \end{bmatrix}$$

行列  $K$  は対称行列であるため、逆行列は数値計算によって求めることができる。したがって、たわみ  $d$  ならびに横圧  $P$  が既知であれば、次式のように支持力  $p$  を求めることができる。

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_i \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & K^{-1} & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -d_1 \\ -d_2 \\ \vdots \\ -d_i \\ \vdots \\ -d_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix}$$

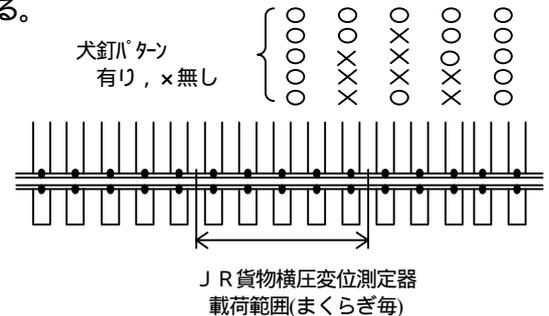


図 2

#### 3. 現場試験

前述の理論の適用可能性を検討するために、品川駅構内使用停止線：高輪 1 1 番線（品川保線技術センター 線閉）にて、実際に計測を行った。載荷によるレール変位と荷重の関係を論ずる際、締結部に存在するギャップの考慮が必要であるとの報告があるため、載荷前に締結部のギャップを隙間ゲージを用いて測定した。横圧載荷には、

\* 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 [kameda@kz.tsukuba.ac.jp](mailto:kameda@kz.tsukuba.ac.jp) TEL 029-853-5114  
 \*\* 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2-0 J R 東日本研究開発センター テクニカルセンター

J R 貨物横圧変位測定器と J R 東日本連続横圧载荷装置の 2 種類を用いて、载荷方法の相違について検討を行えるようにした。载荷力は 4900N (500kgf) とした。レール変位については、15本のまくらぎ区間における頭部変位と底部変位を同時に測定した。逆解析結果と比較するために、载荷後に犬釘の引き抜き抵抗力を計測区間について行った。まくらぎ腐蝕を模擬するために、犬釘を抜くことによって、図2に示すように5通りの状態を設定した。

#### 4. 連続载荷装置による計測データに基づく逆解析

自動化を目標とする場合、連続载荷装置を用いることが望ましいと考えられるため、本報告では連続载荷装置による計測から得られたデータに基づく逆解析結果を示す。連続载荷装置を用いる場合には、付与する横圧は一定であるが、近傍の締結部に载荷した状態での逆解析により得られる支持力をもとに変位と支持力の関係を得ることができる。右に、前節の締結部状態を上から順に Case 1~5 として、各状態における、まくらぎ 6~10 における逆解析結果を示す。計算に用いたデータは、まくらぎ 6 から 10 を連続载荷が通過した際のレール変位データをもとにした。したがって、1地点あたり、5通りの逆解析を行っている。こうして得られた系列の傾きを締結部の健全性に対応させることができる。

逆解析を用いるもう一つの利点として、変位の発生が締結部の劣化によるものなのか、レールと犬釘の間のギャップによるものかを判別できることが挙げられる。具体的には、逆解析により得られた結果を外挿して横軸との交点を求めれば、ギャップ量が算定できる。例えば、実測により、まくらぎ 9 における締結部のギャップ量は隣接する締結部と比べて小さく、引き抜き抵抗力の試験結果から、枕木の状況は健全であり、犬釘変位が極めて小さい特徴がある。Case 1 から Case 3 の逆解析結果において、まくらぎ 9 の上記特徴があらわれており、外挿によるギャップ量の推定の可能性が示唆されたと言ってよい。同様に、締結部 7 はギャップ量が大きい、逆解析結果においても傾きの立ち上がり変位増大後となり、良い整合性を見せている。締結部 8 は Case 1 においてはギャップが存在したが、犬釘の打ち直しによりギャップが消滅したことが、Case 5 の逆解析結果に現れている。

#### 5 おわりに

近い将来、センサ技術の向上により、簡便かつ精度良く輪重作用位置の前後の区間におけるレール変位が測定可能となれば、本研究で提案する逆解析手法により、まくらぎの状態とギャップ量の算定可能性が示せたと考えられる。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、J R 貨物殿から横圧载荷装置の使用についてご指導・ご協力を頂き、厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1]横圧载荷による木まくらぎ状態判定試験，鉄道力学論文集 vol.6, 2002, pp. 49 - 54  
 [2]木まくらぎの締結装置支持力測定試験，J-RAIL2002 講演論文集，2002, pp. 355 - 358

