

レール損傷時の軸力変動に伴う挙動確認試験

JR 東日本 正会員 ○板倉真理佳 神津大輔 久保崇紀

1. 目的

ロングレールは締結装置等に固定され自由伸縮ができないことからレール内部に軸力が生じている。この軸力は日々の温度変化や軌道作業による変動のほか、レール損傷が発生した場合に大きく変動する。レールが損傷すると、理論上は損傷位置のレールは移動しながら軸力が 0 となり、各地点においてもレールが移動しながら軌道の縦抵抗力の合力と釣り合うところまで軸力が変動する。しかし、レール損傷が生じたとき軸力と開口量の関係や軸力変化の影響範囲、伝達時間は過去に実証した記録がないため、レール損傷模擬試験を実施して確認することを目的とした。

2. レール損傷模擬試験概要

2-1. 検証項目

試験においてレールを実際に損傷させて検証することは、繰り返し試験をすることが難しく、安全性にも課題がある。そこで、レールを緊張器にてレール損傷を想定した目標緊張力まで緊張した後にレール締結装置を締結し、緊張力を一気に解放することでレール損傷を模擬した。試験では以下の項目を検証した。

I. 軸力変化の伝達時間および影響範囲

軸力の変化が瞬時に生じるのか、徐々に生じるのか、また、その影響がどの程度の範囲まで伝達するかを確認する。

II. 縦抵抗力 γ を損傷後軸力から推定

レール損傷時の軸力の変化量は縦抵抗力に大きく依存する。理論上、縦抵抗力はスラブ軌道 0.5、バラスト軌道 0.6 としているが、理論値通りとなるかを検証する。

III. 縦抵抗力・開口量・損傷時の軸力変化量の関係
縦抵抗力と開口量、軸力変化量が理論式と同じ関係性にあるか確認する。

IV. 縦抵抗力が大きい際の発生軸力の変化

縦抵抗力はレール締結装置の締結状態や砕石量等の影響を受けると考えられる。縦抵抗力が理論値より大きい場合の軸力変化量について検証する。

2-2. 試験方法

全長 60m のスラブ軌道 (60kg レール, 直 8 直 4 混合) およびバラスト軌道 (50N レール, e クリップ) の試験用軌道において、レール損傷時の片側を模擬することとし、レール損傷想定箇所から 50m 区間が有効長となるように試験を行った (図 1)。試験は以下の方法で実施した。

- ① 全レールの締結装置を緩解
- ② 緊張器で引張り
(ローラーを挿入, カケヤによる軸力均一化)
- ③ 全レール締結装置を締結
- ④ 緊張器を解放 (レール損傷を模擬)
- ⑤ 各ひずみゲージの値を測定

市販の単軸ひずみゲージをレール損傷想定位置から 10m 毎に設置した。ひずみゲージはレール腹部の中立軸上に設置し各レールの断面係数を乗じることで軸力に変換した。

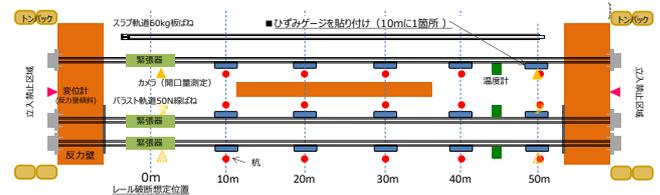


図1 レール損傷模擬試験

2-3. 試験条件

試験の緊張力は、最小値をレール損傷時の想定開口量が 20mm となる時、最大値を最低レール温度で損傷した時として想定軸力を算出したところ、表 1 に示す値となったため、400kN~700kN までを 100kN 刻みで実施した。

表 1 最大・最小緊張力

| 緊張力 | 最大 | 最小 | 記事 |
|--------|-------|-------|----------|
| スラブ軌道 | 651kN | 404kN | 60kg レール |
| バラスト軌道 | 693kN | 403kN | 50N レール |

3. 試験結果

3-1. 軸力変化の伝達時間および影響範囲

レール損傷模擬試験後の軸力変化の伝達時間については、全ての試番においてレール損傷想定位置からの距離によらず、0.5 秒程度で大きく変化し、その後 2 秒程度で軸力変化が収束した。

キーワード レール損傷, 軸力, 縦抵抗力, 締結力

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進 2 丁目 479 番地 TEL 048-651-2389

次に、軸力変化の影響範囲について、損傷後の各地点の軸力を図2に示す。図中の破線は各地点の想定軸力を示している。損傷位置から50m先まで軸力の変化を捉えているものの、いずれも破線より上方にあり、軸力変化量が小さかった。試験結果より算出した縦抵抗力は当初想定より大きく、ばらつきが生じることを確認した。

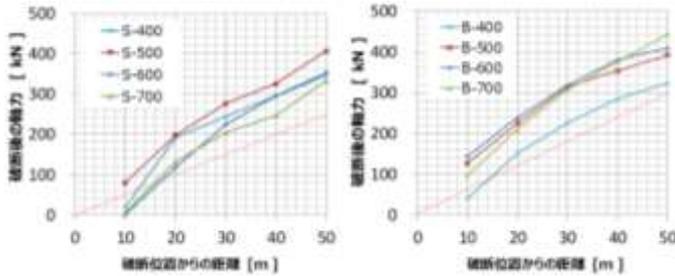


図2 損傷後の各地点の残留軸力
(左：スラブ軌道 右：バラスト軌道)

3-2. 縦抵抗力 γ を損傷後軸力から推定

損傷後の軸力から推定した縦抵抗力は、各試番での試験環境が同じになるように試験を実施したが、試番ごとにばらつきが生じ、全体の平均値でスラブ軌道では想定0.5に対し0.76、バラスト軌道では想定0.6に対し0.86と、どちらの軌道でも想定より約1.5倍であった。緊張力により多少のばらつきが生じたが今回の試験では各試番1回ずつの実験であったため、今後サンプルを増やして検証を行う必要がある。

3-2. 縦抵抗力・開口量・軸力変化量の関係

縦抵抗力、開口量、軸力変化量の関係は式1により得られる。式1に実験から換算した γ を代入し得られる開口量と軸力変化量の関係(50m地点の例)を図3の実線に、実験時の開口量と軸力変化量の実測値をプロットで示す。

$$P = EA\beta\Delta t - Ly = \sqrt{eEA\gamma} - Ly \tag{式1}$$

P：レール損傷前軸力、 γ ：レール縦抵抗力、E：レールのヤング率、A：レール断面積、e：損傷時開口量、 Δt ：温度差

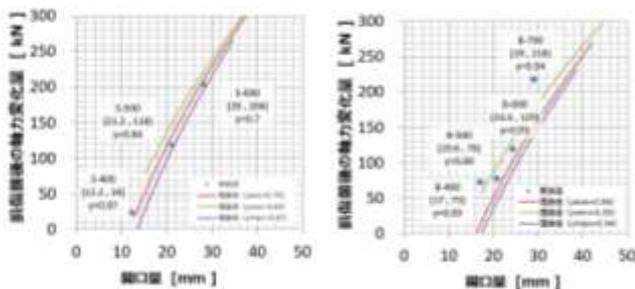


図3 50m地点の開口量-軸力変化量
(左：スラブ軌道 右：バラスト軌道)

図より縦抵抗力が決まれば損傷時の開口量・損傷時

の軸力変化量の関係は最大緊張力700kNの試番を除いて概ね理論式に近い関係が得られていることを確認した。従って、縦抵抗力に依存して開口量や軸力変化量が決まると言える。

3-2. 縦抵抗力が大きい際の発生軸力の変化係

スラブ軌道で締結トルクを全締結1.5倍とした場合(試番S-700)の損傷前後の軸力変化量を表2に、損傷後の軸力から推定した縦抵抗力 γ を表3示す。所定締結時と比較し軸力変化量は小さくなり、縦抵抗力が約2倍となった。在来線の施工においてはトルク管理を行っていないため、トルクのばらつきの影響を無視することはできない。そこでトルクのばらつきの程度を評価するための簡易試験として直8型締結装置をインパクトレンチにより締結し、トルクレンチで締結力を確認した。被験者は3名のうち2名は軌道工事管理者の経験を有する。鉄道経験は7年、9年、10年であり、10締結ずつ「いつも通り」締結するように指示をした。試験の結果、被験者間の平均締結トルクに大きなばらつきが見られ、同一被験者であっても締結トルクに大きなばらつきが見られた。また所定トルク60N・mに対して1.08倍~1.90倍とかなり強く緊締していることが分かった。

表2 損傷前後の軸力変化量(スラブ軌道)

| (kN) | 開口量 | 10m | 20m | 30m | 40m | 50m |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ⓢ-700 | 21mm | 565 | 323 | 171 | 84 | 26 |
| S-700 | 36mm | 717 | 556 | 471 | 427 | 334 |

表3 各地点の軸力から求まる縦抵抗力 γ (スラブ軌道)

| | 0-10m | 10-20m | 20-30m | 30-40m | 40-50m | 平均 |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| Ⓢ-700 | 1.1 | 2.1 | 1.5 | 0.9 | 0.5 | 1.38 |
| S-700 | 0.1 | 1.3 | 0.7 | 0.4 | 0.9 | 0.64 |

4. まとめ

- (1) レール損傷後の軸力変化は損傷位置からの距離によらず直ちに伝達されるが、軸力変化量は理論値より小さい。
- (2) 試験結果から算出される縦抵抗力はスラブ軌道、バラスト軌道ともに想定値の1.5倍程度であり、試験環境をそろえても緊張力毎にばらつきが生じた。締結トルクが大きいと縦抵抗力はさらに大きくなる。
- (3) 実験結果から得られる縦抵抗力と開口量、軸力変化量の関係は理論式と同等であった。
- (4) 締結装置の締結力を1.5倍にした場合、得られる縦抵抗力は約2倍となった。

参考文献

1) 保線工学編集委員会, 保線工学(上), pp303-311, 2017