

## レール破断時の軸力変動に伴う挙動確認試験



板倉 真理佳\*1



神津 大輔\*1



小松 佳弘\*2



元好 茂\*1



小西 俊之\*3

### Verify an axial force change behaviour of a rail breakage

Marika ITAKURA\*1, Daisuke KOUZU\*1, Yoshihiro KOMATU\*2, Shigeru MOTOYOSI\*1 and Toshiyuki KONISHI\*3

\*1 Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

\*2 Facilities Department, Omiya Branch Office \*3 Facilities Department, Sendai Branch Office

#### Abstract

We conducted a rail defect simulation test because it have never tested that relationship between axial force and opening amount when rail defect, effect range of axial force change and transmission time. It turned out from the result of the test that axial force after rail defect changes almost instantly, variation in longitudinal resistance affects the amount of change in axial force and the range of axial force change decreases when the fastening force increases.

●**Keywords:** Rail defect, Axial force, Longitudinal resistance, Fastening force, Wire tie

## 1. 緒言

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した。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。

## 2. レール損傷模擬試験の概要

### 2・1 試験目的

試験では以下の項目を検証することを目的とした。

#### 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碎石量等の影響を受けると考えられる。縦抵抗値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

JR東日本研究開発センターの試験線には、全長60mのスラブ線(60kgレール、直8直4混合)およびバラスト線(50Nレール、eクリップ)の試験用軌道がある。試験では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(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。

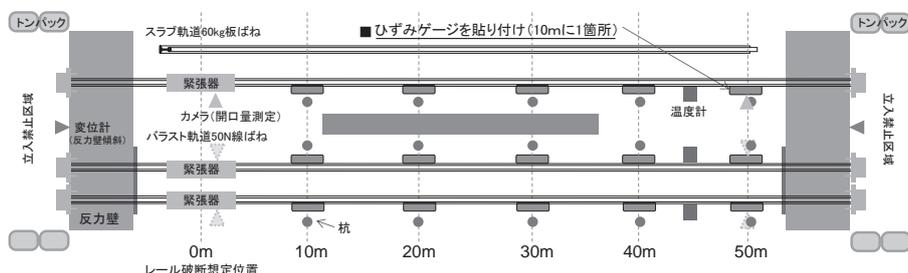


図1 レール損傷模擬試験

## 2・3 試験条件

試験の緊張力は、最小値をレール破断時の想定開口量が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試験条件を決定した。試験の緊張力や50mの試験軌道における想定開口量は以下により算出した<sup>1)</sup>。

### (1) 緊張力の算出

$$P = EA\beta\Delta t \quad \text{式(1)}$$

$$e_{\text{開口量}} = \frac{EA\beta^2\Delta t^2}{\gamma} \quad \text{式(2)}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{e\gamma}{EA\beta^2}} \quad \text{式(3)}$$

$$P = \sqrt{eEA\gamma} \quad \text{式(4)}$$

### (2) 開口量が20mmとなる時のレール移動量等

$$\Delta t = \sqrt{\frac{e\gamma}{EA\beta^2}} \quad \text{式(5)}$$

$$X = \frac{EA\beta t}{\gamma} \quad \text{式(6)}$$

$$e_{\text{移動量}} = \frac{EA\beta\Delta tL - \frac{1}{2}L^2\gamma}{EA} = \beta\Delta tL - \frac{1}{2}\frac{L^2\gamma}{EA} \quad \text{式(7)}$$

$$P = EA\beta\Delta t - L\gamma = \sqrt{eEA\gamma} - L\gamma \quad \text{式(8)}$$

ただし P: レール損傷前軸力、 $\gamma$ : 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、 $\Delta t$ : 温度差、X: 可動区間長

※縦抵抗力はスラブ0.5、バラスト0.6、在来線の設定温度はスラブ軌道25℃、バラスト軌道35℃を想定

式(1)～式(7)より得られるスラブ軌道およびバラスト軌道の最大・最小緊張力を表1に示す。スラブ軌道、バラスト軌道ともに最小緊張力は400kN、最大緊張力は700kNであるため、400kNから100kN刻みで700kNまで試験を実施した。スラブ軌道の試番をS-400～S-700、バラスト軌道の試番をB-400～B-700と記す。

各試番での試験環境が同じになるように、スラブ軌道ではレール締結装置を締結する際には新幹線において使用しているトルク緊解器を用いて全締結トルク値を確認しながら締結した。なお、レールと軌道パッド間で正常なふく進抵抗力を得るため事前に軌道パッドを全交換した。バラスト軌道で試験を実施する際には、各試番実施後には縦ランマによる締固めを実施した。また、2.1(1)項IVで示した検証のため、スラブ軌道のレールが締結装置の上を滑る構造に着目して締結トルクを1.5倍、緊張力700kNの試番を設定し検証を行った。

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. 試験結果と考察

レール損傷模擬試験は平成30年2月5日～2月9日にJR東日本研究開発センターの試験線で実施した。

#### 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、緊張力を解放した後の各地点の軸力の経時変化を図2に示す。図は全試番の中から例として緊張力400kNで実施した結果(S-400、B-400)を示している。レール損傷想定位置からの距離によらず、およそ2秒程度で軸力変化が収束し、他の試番においても同じ傾向であった。

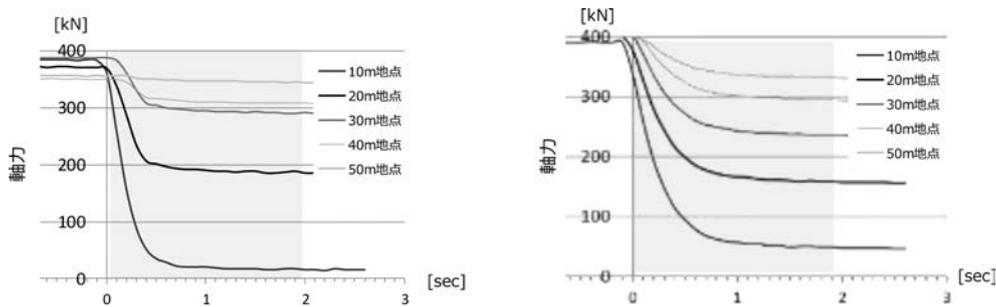


図2 緊張力開放後の軸力の経時変化 (左：S-400 右：B-400の例)

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3、損傷前からの軸力変化量を表2～3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。

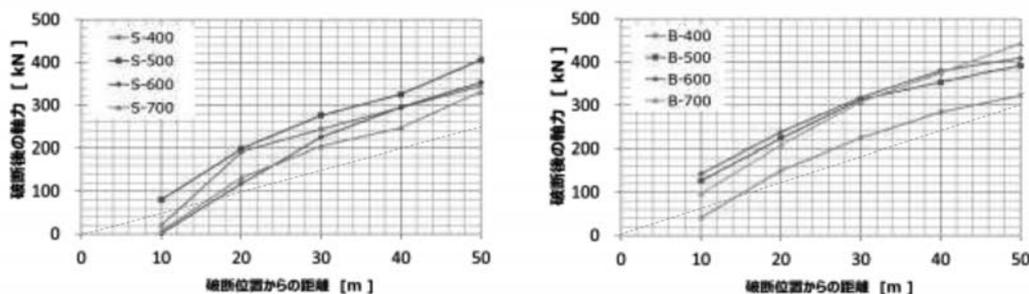


図3 損傷後の各地点の残留軸力 (左：スラブ軌道 右：バラスト軌道)

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
S-400	12mm	366	185	156	65	24
S-500	22mm	439	334	257	181	118
S-600	28mm	603	462	370	275	204
S-700	36mm	717	556	471	427	334

表3 損傷前後の軸力変化量 (バラスト軌道)

(kN)	開口量	10m	20m	30m	40m	50m
B-400	16mm	352	258	186	124	73
B-500	24mm	365	262	176	127	78
B-600	38mm	447	336	250	169	120
B-700	44mm	588	479	380	299	218

### 3・2 縦抵抗力 $\gamma$ 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。また、スラブ軌道では緊張力が大きいほど縦抵抗力は小さく、バラスト軌道では緊張力が大きいほど縦抵抗力が大きく算出される。スラブ軌道とバラスト軌道の抵抗する方式の違いが表れている可能性があるが、今回の試験では各試番1回ずつの実施であったため、今後サンプルを増やして検証を行う必要がある。

### 3・3 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(8)により得られる。レール損傷模擬試験後の開口量と軸力変化量の関係(50m地点の例)を図4～図5に示す。グラフ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。

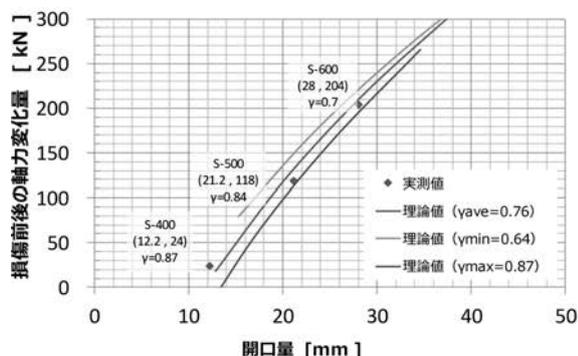


図4 50m 地点の開口量-軸力変化量 (スラブ軌道)

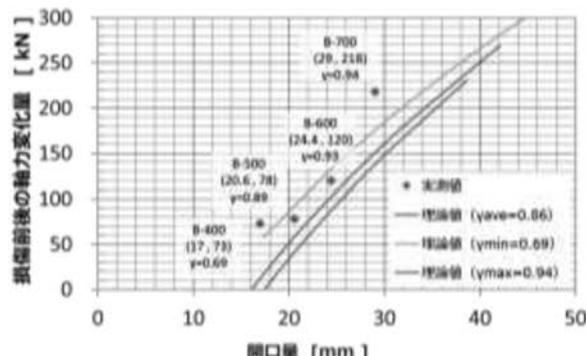


図5 50m 地点の開口量-軸力変化量 (バラスト軌道)

### 3・4 縦抵抗力が大きい際の発生軸力の変化

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 $\textcircled{S}$ -700)の損傷前後の軸力変化量を表4に、損傷後の軸力から推定した縦抵抗力 $\gamma$ を表5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名でうち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4 損傷前後の軸力変化量 (スラブ軌道)

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

表5 各地点の軸力から求まる縦抵抗力 $\gamma$  (スラブ軌道)

$\gamma$	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	平均
$\textcircled{S}$ -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. 結言

- (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。本試験により今後のロングレール管理における有益な情報を得ることができた。

### 参考文献

- 1) 保線工学編集委員会、保線工学(上)、pp303-311、2017