

地下鉄トンネル内ロングレールにおける軸力の挙動特性把握

東京地下鉄株式会社 正会員 ○星 幸江
東京地下鉄株式会社 正会員 武藤 義彦
東京地下鉄株式会社 古谷 健
株式会社カネコ 正会員 福田 徹

1. はじめに

東京地下鉄は、195.1km の営業線を有しており、その約 85%がトンネル区間である。軌道においては振動・騒音の軽減、乗り心地の向上及び保守の省力化の観点から、ロングレールを採用することが一般的になっている。そのため、当社では、トンネル内は温度変化が小さく、温度変化に伴い発生する軸力も小さいという観点からロングレール化を行っている。これまで、トンネル内ロングレール区間においてロングレール特有の張り出し等の事象は発生してはいないが、当社では、トンネル内レール温度変化が及ぼす影響の定量的な解析¹⁾や、ロングレール端部の伸縮量の検証²⁾等を重ねてきた。今回は、さらにトンネル内ロングレールの特性を把握するため、急曲線や急勾配といった地下鉄特有の線形条件下におけるレール温度や軸力等の測定を実施した。加えて、敷設してあるロングレールを実際に切断し、切断時の開口量や軸力の挙動を詳細に把握することで、トンネル内ロングレールの安全性の再検証を行ったのでその結果を報告する。

2. 測定概要

本測定は、測定目的を考慮し、東京メトロ南北線内の 6 区間 18 測点を選定し（表 1）、レール軸力、レール温度、大気温度、大気湿度を測定した。地下鉄特有の線形条件として、急曲線は曲線半径 R=160（測点 No.2, 4）及び R=164（測点 No.1, 3）、急勾配は 35‰（測点 No.5, 6）を選定した。測定期間は平成 27 年 2 月からの 1 年間で、測定間隔は 10 分である。

切断試験は、東京メトロ南北線内の直線区間（測点 No.7～18）において、図 1 に示す位置（19k200m 左レール）を切断した。切断は平成 28 年 1 月に行い、測定間隔は切断する直前に 1 分へ変更した。

軸力は、測定開始時を 0 と想定した相対値であり、測定開始時のレール温度は表 1 の通りである。

3. 地下鉄特有の線形条件下における軸力測定

急曲線区間である曲線半径 R=164（測点 No.1）の測定結果を図 2-1 に示す。レール温度は 15℃から 35℃の間で推移し、温度差は通年で約 20℃であった。これまで他の営業線で行ったトンネル内での測定同様、大気温度と比べて安定した結果となった。図 2-2 に測点 No.1 の軸力分布図を示す。図中の点線が 60 レールの理論上の軸力推移であるが、レール温度に対しほぼ理論値通りの変化を示しており、急曲線区間でも直線区間等の一般的な線形と同様の軸力推移であることが確認できた。また、測定された軸力値を参考に、最低座屈強さの簡略式^{3) 4)}から座屈安定性を推定すると、急曲線区間でも所定の道床抵抗力が確保できれば問題ないと言える。曲線半径 R=160（測点 No.2, 4）についても、同様の傾向であった。

次に、急勾配区間である測点 No.5, 6 の軸力分布図を図 3-1, 3-2 に示す。急曲線同様、レール温度に対し

キーワード トンネル内ロングレール、レール軸力、レール温度、急曲線、急勾配、レール切断試験

連絡先 〒116-0003 東京都荒川区南千住 2-21-19 東京地下鉄株式会社 日比谷線工務区 TEL 03-3807-2920

表 1 測点一覧

測点 No.	線別	キロ程	左右	レール種別	線形条件	開始時レール温度(℃)
1	A	0k170m	左	60	急曲線(R=164)	18.0
2	B		左		急曲線(R=160)	17.9
3	A	0k290m	左		急曲線(R=164)	17.2
4	B		左		急曲線(R=160)	17.3
5	B	11k118m	右	60	急勾配(35‰)	11.6
6	B	11k248m	右			9.2
7	A	19k150m	左	60	直線 (冬季切断試験)	18.3
8	A	19k180m	左			18.1
9	A		右			18.3
10	A	19k195m	左			18.4
11	A		右			18.1
12	A	19k205m	左			18.4
13	A		右			18.1
14	A	19k220m	左			18.3
15	A		右			18.1
16	A	19k250m	左			18.1
17	A		右			18.3
18	A	19k280m	左			18.2

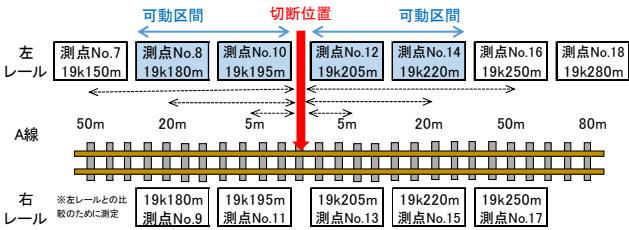


図 1 切断箇所の詳細

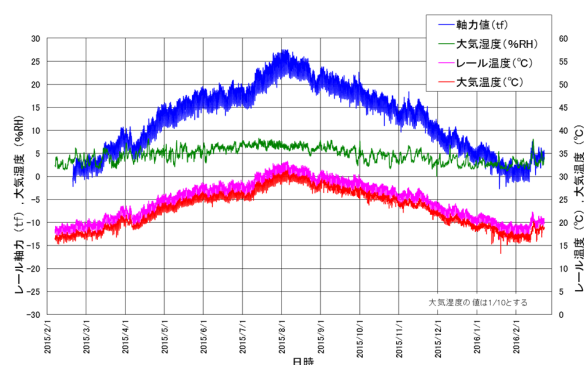


図 2-1 レール温度・軸力の年間推移（急曲線：測点 No. 1）

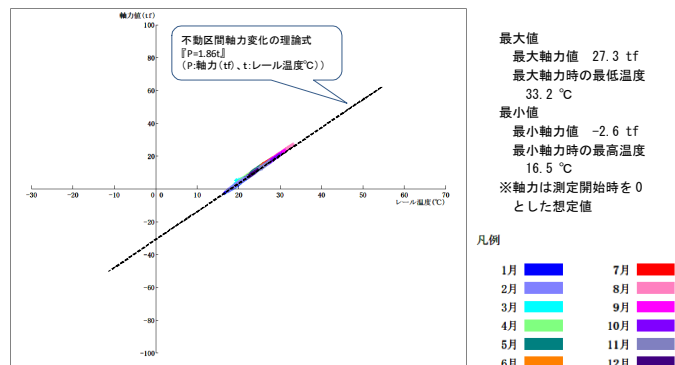
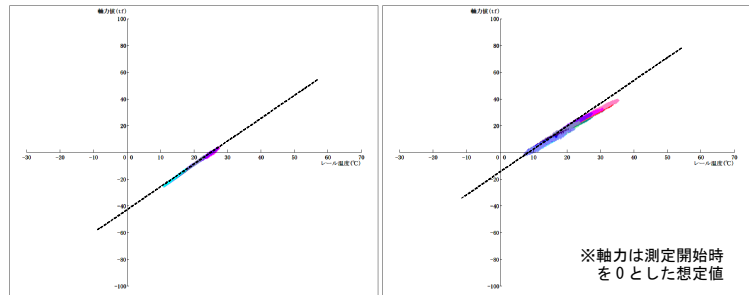


図 2-2 軸力分布図（急曲線：測点 No. 1）

ほぼ理論値通りの変化を示している。勾配の上部にあたる測点 No.6 で、夏季においてレール温度に対する軸力が低下しており、軸力が他の箇所では蓄積されている可能性も考えられるが、9tf 程度であり座屈の心配はない。本現象を評価するためには、今後、他の急勾配区間での測定が必要である。

図 3-1 軸力分布図
(急勾配（下部）：測点 No. 5)図 3-2 軸力分布図
(急勾配（上部）：測点 No. 6)

4. 冬季切断試験における検証

レール切断後の各測点における測定結果を表 2 に示す。切断直後に目視や聴覚レベルでの変化はなく、遊間量は 3.5mm (切断刃 3mm) であった。切断箇所から 50m 離れた測点 No.7, 16 ではほとんど変化はなく、20m 離れた測点 No.8, 14 では変化が見られた。過去の測定から道床縦抵抗力を 1800kgf/m と仮定し、レール温度変化を今回の実測値 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ とすると可動区間長は 15m である。そのため、道床縦抵抗力は仮定した値より低いことが予想される。また、切断箇所から 5m 離れた測点 No.10, 12 では約-6tf の軸力変化が見られた。軸力 6tf の変化を温度差に換算すると約 3°C であり、そこから伸縮量を計算すると 0.5mm である。ほぼ理論値通りの挙動を確認することができた。

表 2 切断試験後の軸力変化

測点No.	測点No.7 19k150m	測点No.8 19k180m	測点No.10 19k195m	測点No.12 19k205m	測点No.14 19k220m	測点No.16 19k250m	測点No.18 19k280m
切断後予想	不動区間	可動区間	可動区間	可動区間	可動区間	不動区間	不動区間
切断前軸力 (tf)	8.9	9.4	6.9	6.2	2.8	3.0	1.7
切断後軸力 (tf)	8.6	7.7	0.0	0.0	0.1	3.0	1.7
切断前温度 (°C)	17.3	17.0	17.1	17.1	17.0	16.5	16.5

5. まとめと今後の展望

今回、急曲線や急勾配といった地下鉄特有の線形条件下におけるトンネル内ロングレールの軸力挙動を明らかにし、急曲線や急勾配区間においても直線区間と大差ない挙動を示すことが確認できた。全ての測点における一年間のレール温度変化は約 $+5^{\circ}\text{C}$ から $+35^{\circ}\text{C}$ の間で、大気温度と比べて安定していた。そのため、軸力は約 30tf の範囲で推移しており、今回の測点では座屈や破断の心配はないと言える。

冬季切断試験では、トンネル内ロングレールを実際に切断し、切断時の軸力変化、温度変化を詳細に測定することで実際の挙動を明らかにすることができた。

今回の検証から、軸力測定によるロングレール管理の有効性を確認できた。今後は、各種検査の必要性の検討等に活用し、軸力管理の可能性を広げていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 星子遼, 浅野直人, 豊巻剛: 地下鉄トンネル内におけるレール温度等の変動によるロングレールへの影響について, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 平成 24 年 9 月。
- 2) 磯崎光, 大澤純一郎, 小林実, 竹村瑞希: トンネル内ロングレール端部の継目に関する一考察, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 平成 27 年 9 月。
- 3) 佐藤吉彦, 小林悟: 60kg レールの最低座屈強さの簡略式, 鉄道技術研究報告 No.759, 1971 年 10 月。
- 4) 徳岡研三他: 列車走行安全のためのレール継目遊間の管理に関する研究, 土木学会論文集, No.604/IV-41, p.59-72, 1998 年 10 月。