

## 地下鉄におけるレール損傷と発生要因分析の事例について

東京都交通局 正会員 ○加藤 幸彦<sup>1</sup>  
 日本大学理工学部 正会員 藤井 敬宏  
 前 東京都交通局 正会員 古田 勝

## 1. はじめに

首都圏における通勤路線のレールの寿命は、20～25年とされている。この年数は、高度なメンテナンスを行うことで、引き延ばすことが可能であるが、実際には気候条件や列車の急停車急発進によりレールが損傷し、寿命よりも早い年数でレール交換するものが多い。そこで、レールがどのような箇所でのどのような要因で損傷が発生しているかを把握することで、レール損傷の確認が迅速化され、対処法が得られる。また、レール損傷に関しては、損傷の発生原因に着目した力学的な研究<sup>1)</sup>は多いが、路線の敷設条件や利用者数などの特性に関連づけ、発生の傾向と要因を分析した事例は、ほとんど行われていない。

本報告では、東京都内の地下鉄路線について、線路巡視及び軌道検査時に確認された5年間のレール損傷を分析対象としている。発生要因分析の方法は、数量化Ⅰによる損傷原因とレール敷設箇所の軌道条件からレール損傷率を、判別分析からレール損傷の要因を特定することにより、レール損傷の発生傾向を定性的、定量的に明確化した。

なお、分析対象とするレール損傷は、通常の列車運行に支障するもので無く、軽微な損傷であり、より安全で乗り心地を確保するため、定期交換限度よりも早期にレール交換を行った箇所を対象としたものである。

## 2. 分析対象の地下鉄路線の概要

分析対象の都営地下鉄三田線は、目黒～西高島平を結ぶ地下鉄路線であり、東京都交通局が運営している。このうち、三田～西高島平駅間は、1968～1976年に開通、白金高輪～三田駅間が2000年に開通している。駅数は27駅を有し、運行本数は6両編成車両×37本、利用者数は2008年現在1日平均550,688人である。

## 3. レール損傷の発生要因分析

## (1) 調査概要

対象の路線において、レール損傷がどの箇所が発生

したかを把握するため、保線管理所のレール損傷報告書を利用して集計を行うこととした。

- ① 損傷発見日
- ② キロ程
- ③ 本線・側線・分岐区分
- ④ 線形（曲線・直線区分、曲線半径、内軌・外軌レールの区分）
- ⑤ 道床（バラスト、コンクリート直結、スラブ）
- ⑥ 損傷類内容

これらの項目とランカーブ、線路略図及び乗降客のOD表とを照合し、列車速度、加速・減速・惰性走行、縦断勾配、レール材質、駅部・駅間の区分、通過トン数、駅間乗降客数などを基礎資料として整理した。

## (2) レール損傷の発生件数

2002～2007年度（2003年度を除く）の5年間のレール損傷報告書より、損傷類内容を頭頂面傷類、錆びつき類、摩耗類、裂傷類の4項目にまとめた。裂傷類内容による損傷件数を表-1に示す。

表-1 損傷類内容大項目区分

| 項目名(目的変数) | 損傷類内容 | 件数(件) | 項目名(目的変数) | 損傷類内容 | 件数(件) |
|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| 頭頂面傷類     | シェリング | 46    | 裂傷類       | 破端    | 1     |
|           | さし目割れ | 6     |           | 破底    | 0     |
|           | 頭頂面傷  | 46    |           | 横裂    | 1     |
| 錆びつき類     | 腐食    | 74    |           | 縦裂    | 0     |
|           | 電食    | 14    |           | 水平裂   | 2     |
| 摩耗類       | 偏摩耗   | 2     | 全件数       |       | 201   |
|           | 波状摩耗  | 9     |           |       |       |

## (3) カテゴリー変数の設定

レール損傷データの集計は、軌道条件に基づきカテゴリー変数を設けて集計を行った。集計結果を表-2に示す。なお、カテゴリー変数の区分けは、サンプル数が均等に分布するように考慮した。

表-2 軌道条件

| 項目名(説明変数) | カテゴリー名    | 損傷件数(件) | 項目名(説明変数) | カテゴリー名         | 損傷件数(件) |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------------|---------|
| 曲線半径      | 100～400m  | 35      | 乗降客数      | 90,001人以上      | 108     |
|           | 401～800m  | 32      |           | 70,001～90,000人 | 64      |
|           | 801m以上    | 35      |           | 70,000人以下      | 29      |
|           | 直線        | 99      |           | ロングレール         | 111     |
| 縦断勾配      | 下り        | 79      | 材質        | 普通(25m)        | 35      |
|           | 上り        | 99      |           | 普通(25m未満)      | 24      |
|           | 平坦        | 23      |           | HH             | 16      |
|           | 0～30km/h  | 22      |           | その他(分岐等)       | 15      |
| 列車速度      | 31～60km/h | 94      | 駅部駅間      | 駅部             | 47      |
|           | 61km/h以上  | 85      |           | 走行             | 154     |
|           | 減速        | 90      | 掘削方法      | 箱(開削)          | 139     |
| 加減速       | 加速        | 51      |           | シールド           | 37      |
|           | 惰性        | 60      |           | 高架             | 25      |

キーワード レール損傷、地下鉄、乗降客数、数量化Ⅰ類、判別分析

連絡先 1: 〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1 東京都庁 TEL03-5321-1111 (代表)

(4) 解析方法<sup>2)</sup>

本報告で用いた要因分析の方法は、1段階目に数量化Ⅰ類を用い、2段階目には判別分析を用いた2段階の推計を行うこととした。

1) レール損傷率の推計 (数量化Ⅰ類)

レール損傷率の推計は、量的データと質的データが混在し、かつ、レールに生じる全ての損傷率を推計するのに適する分析方法とし、数量化Ⅰ類を用いている。設定変数として、目的変数はレール損傷率、説明変数をカテゴリーデータ化された軌道条件とする。

なお、レール損傷率は、同一の軌道条件において発生する損傷件数 (件/km) と定義している。

2) レール損傷内容の比較 (判別分析)

量的データと質的データが混在し、かつ、損傷内容の4項目それぞれを比較するのに適する分析手法として判別分析を用いている。設定変数として、目的変数はランクデータ化された軌道条件、説明変数は損傷内容4項目とする。

(5) 解析結果

1) レール損傷率の推計

解析結果として図-1にカテゴリースコアを示す。解析を行うにあたり、加重評価を避けるため、関連の高い「縦断勾配」と「トンネル掘削方法」の2項目間から「トンネル掘削方法」の項目を削除している。

図-1の目的変数に対する説明変数の重みは、普通(25m未満)、HH(熱処理レール)、駅部区間のレールが損傷への影響として高くなっている。なお、分析の精度指標として示される決定係数は0.58、重相関係数は0.76が得られている。

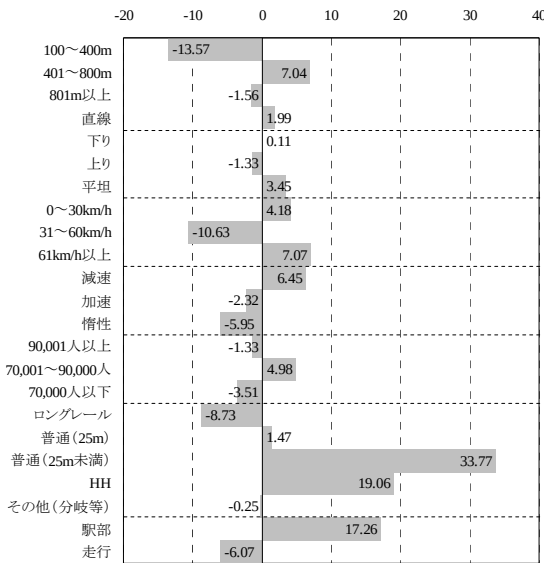


図-1 カテゴリースコア

2) レール損傷内容の比較

判別分析から得られた結果を表-3に示す。

- ① 項目比較の精度として、損傷類4項目のうち2項目を比較する組み合わせにおいて、裂傷類に関わる3種類は、全てにおいて高い精度を示している。裂傷類は他の損傷種類よりも傾向が独立していることを示している。
- ② F値の比較により、影響要因として大きく影響している項目は曲線半径である。また、摩耗類に関わる比較においては、乗降客数の項目が影響しており、人の重量が損傷に対して影響しているものと考えられる。
- ③ F値の累計で比較すると、裂傷類と摩耗類の累計値が48.17と高く、判別には多種の項目の要因が複合的に影響しているものと考えられる。

表-3 判別分析結果

| 項目比較     | 裂傷類<br>×<br>摩耗類 | 頭頂面傷類<br>×<br>摩耗類 | 錆びつき類<br>×<br>摩耗類 | 裂傷類<br>×<br>頭頂面傷類 | 裂傷類<br>×<br>錆びつき類 | 頭頂面傷類<br>×<br>錆びつき類 |
|----------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 精度       | 97.83           | 70.97             | 77.78             | 91.18             | 100.00            | 70.64               |
| 相関比      | 0.48            | 0.22              | 0.20              | 0.18              | 0.85              | 0.10                |
| 累計       | 48.17           | 30.04             | 16.85             | 14.97             | 12.31             | 7.36                |
| F値<br>順位 | 1 乗降客数 18.70    | 曲線半径 17.64        | 乗降客数 5.92         | 曲線半径 7.24         | 曲線半径 4.18         | 加減速 2.04            |
|          | 2 曲線半径 14.43    | 材質 5.63           | 縦断勾配 4.15         | 材質 2.14           | 材質 2.29           | 乗降客数 1.39           |
|          | 3 縦断勾配 5.94     | 駅部駅間 2.62         | 材質 2.35           | 縦断勾配 2.10         | 加減速 1.87          | 駅部駅間 1.22           |
|          | 4 材質 5.50       | 掘削方法 1.81         | 加減速 2.09          | 掘削方法 1.28         | 列車速度 1.67         | 材質 1.07             |
|          | 5 列車速度 1.69     | 縦断勾配 1.08         | 掘削方法 1.36         | 乗降客数 0.93         | 乗降客数 1.56         | 曲線半径 0.80           |
|          | 6 加減速 1.45      | 列車速度 0.94         | 駅部駅間 0.84         | 駅部駅間 0.50         | 掘削方法 0.32         | 掘削方法 0.46           |
|          | 7 駅部駅間 0.24     | 加減速 0.22          | 列車速度 0.08         | 列車速度 0.44         | 縦断勾配 0.26         | 縦断勾配 0.27           |
|          | 8 掘削方法 0.22     | 乗降客数 0.10         | 曲線半径 0.06         | 加減速 0.34          | 駅部駅間 0.16         | 列車速度 0.11           |

4. まとめと今後の課題

(1) まとめ

レール損傷の種類と敷設条件とを対応させ、数量化Ⅰを用いてレール損傷率の推計、判別分析を用いて損傷内容の比較を行い、レール損傷の発生傾向と特徴を示した。これにより、線路巡回時における要注意箇所などを考慮することが可能となった。

(2) 今後の課題

本報告は1路線のみを対象としたが、類似する複数の路線を対象に行うとともに、レール敷設経過年数との関連づけを行うことにより、レール交換時期および維持管理計画に反映させる提案が可能となるものと考ええる。

参考文献

- 1) 石田誠・長藤敬晴：レールシェリングと軌道環境の関係, RTRI REPORT Vol. 2 No. 8, 1988 年度 8 月
- 2) 竹内光悦・酒折文武：Excel で学ぶ理論と技術 多変量解析入門, ソフトバンククリエイティブ株式会社, 2006 年 12 月