

地下鉄急曲線区間における軌道変位の経年変化に関する分析

齋藤 利行 (首都大学東京大学院)

古田 勝 (日本工営株式会社)

堀井 泰紀 (東京都交通局)

Analysis on annual change of the track irregularity in sharp curve section of Subway track

Toshiyuki Saito, (Tokyo Metropolitan University)

Masaru Furuta, (Nippon Koei Co., Ltd.)

Yasunori Horii, (Bureau of Traffic Tokyo Metropolitan Government)

A large number of subways based on the old law, Local railway construction regulation. In this regulation, Minimum radius of horizontal curvature was 160 meters. The maintenance of sharp curve section of track has much work to do. In this study, we analyzed the progress of the track irregularity of sharp curve section using the basic data which detected from the track inspection car. Here, the track irregularity is gauge, cross level, alignment, longitudinal level and twist. In addition, we compared with the track irregularity and the maintenance values for vertical and lateral train carbody vibration, and confirmed that management of this section being appropriate.

キーワード：軌道変位，列車動揺，維持管理

(track irregularity, train carbody vibration, maintenance management)

1. はじめに

軌道は、列車走行の繰り返し荷重を受け各部に変位・変形を生じさせる、このようなメカニズムから「軌道変位」が発生する。特にバラスト軌道では「緩み」が進行しやすいため、軌道変位を頻繁に解消しなければならないという課題を抱えている。⁽¹⁾⁽²⁾そこで重要となるのが、生じる変位の種類とその進行を正確に把握することであり、タンピングなどの軌道の整備作業が適切であるかが問題となる。

旧法令の地方鉄道建設規程⁽³⁾に基づき建設された地下鉄路線では、建設時の制約から曲線半径 160～250m 程度の急曲線区間(以下、急曲線区間という。)が存在し、直線及び緩曲線区間と比較して軌道変位の進行が著しいために保守管理の課題となっている。

軌道変位の測定は、軌道検測車を用いて年 2 回行い、計測されたデータを基に整備基準値を設け管理を行っているが、その維持管理における見極め時期を明確化することは、現場作業を的確に行うための急務な課題である。

本研究では軌道の急曲線区間を対象に、軌道変位と整備の関係性について、P 値などの統計的な手法を用いて検討することにする。

2. 急曲線区間における軌道の問題点

急曲線区間では、ボギー台車の内外輪差の解消が困難であることから、レールに作用する横圧が大きいことが指摘されている。また、高架線部の半径 400m 以下の曲線では、夏・冬間の気温差と軌道の座屈に対する安定性の関係から、ロングレールにすることが困難である。⁽⁴⁾その結果、25m の定尺レールを使用することになり、レール継目が多くなることで、軌道変位が生じやすい構造となっている。

3. 分析の方法

本研究では、図 1 に示す高架部に敷設された半径 211m、円曲線延長 380m(以下、A 区間と示す。)と半径 167m 円曲線長 380m(以下、B 区間と示す。)について、軌道検測車(MATISA 製, PV-7)で測定した 4 年間の軌間、水準、通り、高低及び平面性の 25cm ごとのデータをテキストファイルに変換し、表計算ソフトにより各データについて、測定値と設計値の差を軌道変位として扱い、分析を行うことにした。

分析の手順としては、①軌道変位の分布を表示、②軌間及び水準など 5 項目の時系列変化を把握、③統計手法(平均値、標準偏差、P 値の算出)による分析、④現場保守と列車動揺との関係、の順で行った。

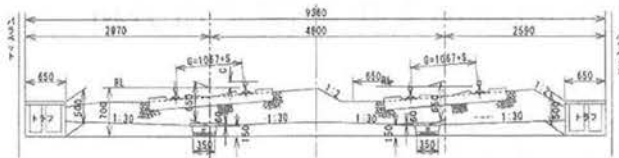


図1 対象区間のバラスト軌道の構造

4. 変位に関する区間全体の分布

軌道検測車で測定された軌間及び水準(図2), 通り, 高低及び平面性の5項目のデータについて, 各軌道変位を同一のグラフに表し, 傾向を確認した。

図2は, A区間における2005.12の「距離と変位」に関する全体の分布傾向を示している(通り, 高低及び平面性も作成)。変位5項目の特徴は, 急曲線区間においても半径250m以上の区間や直線区間同様, 個別対応整備を必要とする小区間の出現がみられた。なお, 保守は区間管理⁽⁵⁾で行っていることから対象区間の傾向を次章以降で紹介する。

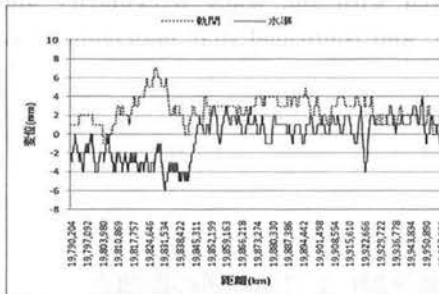


図2 軌間及び水準の距離と変位の関係(全データの一部)

5. 軌道変位の時系列変化

分析対象区間の軌間, 水準, 通り, 高低及び平面性の軌道変位について, 度数分布図を作成し傾向を示す。

(1) 軌間変位の分布

軌道変位の度数分布図を図3及び図4に示す。

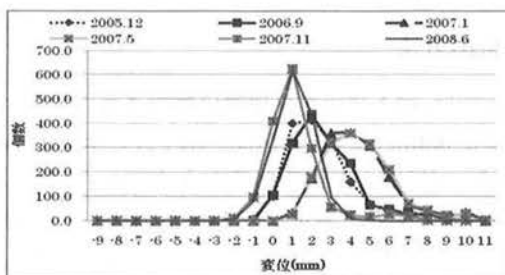


図3 A区間の軌間変位の度数分布の推移

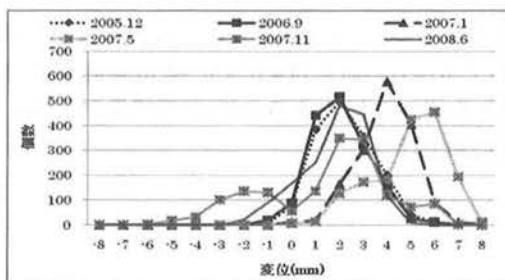


図4 B区間の軌間の度数分布図の推移

両区間とも分布形状がプラス側にシフトし, 分布が移動し, 再び戻っている。これは, 軌間が拡大した後に, 現場の補修作業により整備されたことを示している。

(2) 水準変位の分布

水準変位の分布図を図5及び図6に示す。

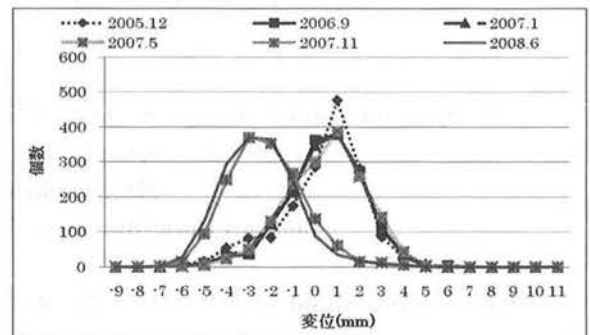


図5 A区間の水準変位度数分布の推移

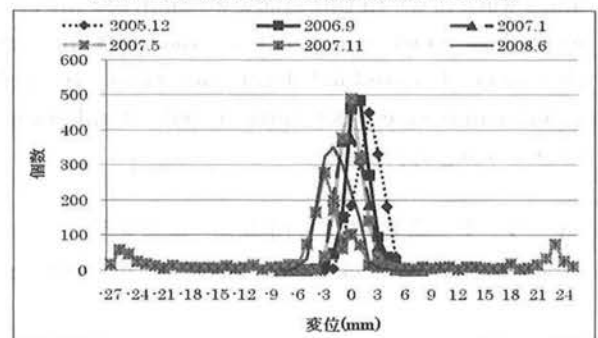


図6 B区間の水準変位度数分布の推移

A区間(図5)の水準変位は, マイナス側にシフトし, 2008年には中央値が-4mmと沈下が進んでいる。B区間も同様な傾向となっている。

(3) 高低, 通り及び平面性変位の分布

高低変位の推移を図7及び8に示す。

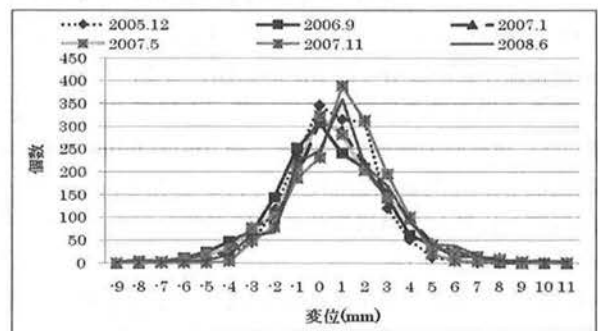


図7 A区間の高低変位の度数分布推移

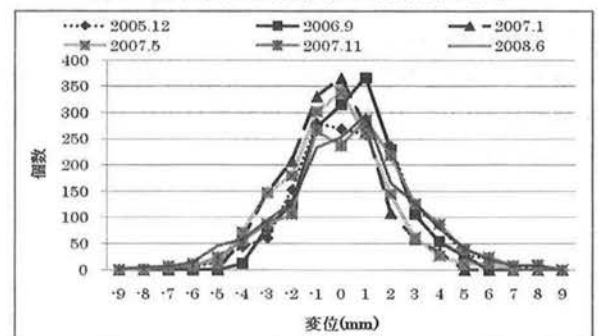


図8 B区間の高低変位の度数分布推移

図から高低変位の変動が小さく推移し、良好な状態であることを示している。分析対象期間の2005から2008年にA区間では3回、B区間では2回の整備作業が行われていることから、作業の結果が反映されたものと考えられる。

なお、通り及び平面性も高低と同様な分布を示した。

6. 軌道変位の統計分析

軌間、水準、通り、高低及び平面性の変位を平均値・標準偏差・P値を算出して時系列に図示した。また、統計による傾向の確からしさを検証するため、現場で行われた修繕時期に関して問い合わせた(表1)。

表1 A及びB区間の軌道整備作業

区間	区分	年月	作業内容
A区間	作業Ⅰ	2006.6	総つき固め
	作業Ⅱ	2007.6	むら直し
	作業Ⅲ	2007.11	総つき固め
B区間	作業Ⅰ	2005.12	総つき固め
	作業Ⅱ	2007.9	レール交換

なお、むら直しとは、高低及び水準変位を整正する小規模な保線作業をいう。

(1) 平均値の推移

軌道変位の平均値の推移について、A区間を図9に、B区間を図10に示す。

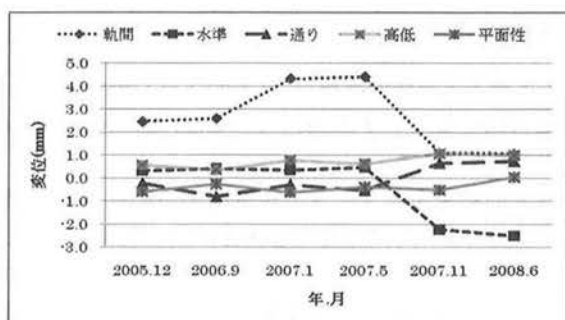


図9 A区間の軌道変位の平均値の推移

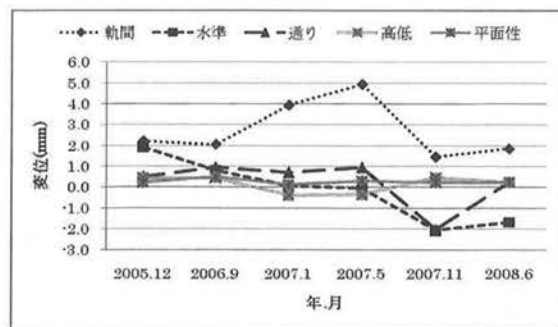


図10 B区間の軌道変位の平均値の推移

両区間とも、2007年5月から2007年11月にかけて、軌間は改善傾向が見られ、現場での作業と一致している。しかし、水準変位においては、改善の傾向が認められない。

(2) 標準偏差の推移

標準偏差の推移を図11及び12に示す。

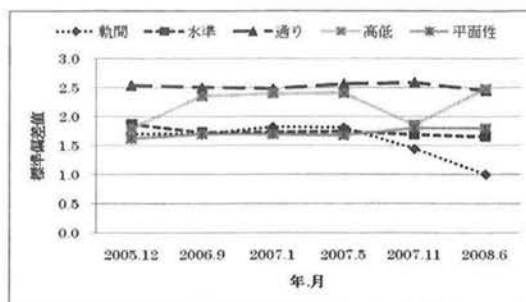


図11 A区間の標準偏差の推移

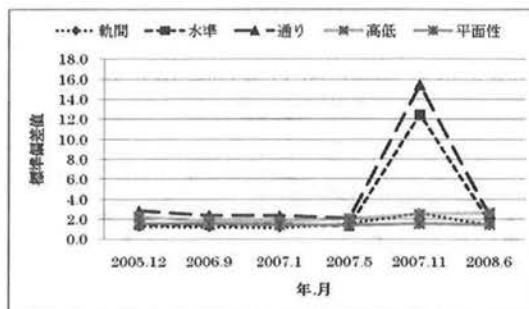


図12 B区間の標準偏差の推移

A区間は、3回の整備作業を行っているが、標準偏差の変化は少ない。B区間は、水準及び通りにおける偏差値の拡大が認められる。

(3) P値の比較

P値⁽⁵⁾は、測点数nのうち、軌道変位が±3mmを超える度数fについて、次式により算出した値である。その推移を図13及び図14に示す。

$$P(\%) = \frac{f}{n} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

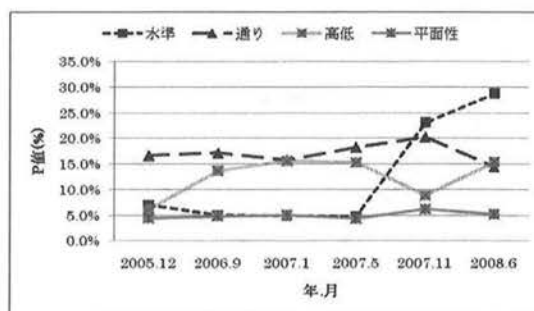


図13 A区間のP値の推移

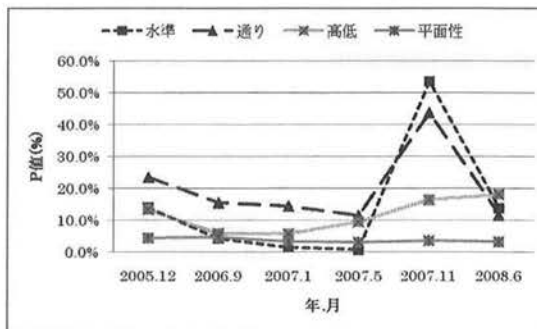


図14 B区間のP値の推移

図から読み取れる内容を整理すると以下の4点である。

① P値は、平均値及び標準偏差と比較して推移の変動が大

きく、軌道の状態を顕著に表している指標である。

- ②軌道整備作業を行うことにより一部を除き P 値が小さくなり、良好な状態に管理されている。
- ③特に、列車の乗り心地に影響のある高低及び平面性が一定の値に保持されている。
- ④A 区間及び B 区間とも高低が一定の値を保持しているにもかかわらず水準変位の P 値が大きくなっている。これは、急曲線区間の保守管理の難しさが数値に表されている。

7. 高低変位と列車動揺

A 区間について、高低変位の P 値を図 15 に、列車動揺の推移を図 16 に示す。同様に図 17 及び図 18 に B 区間を示す。

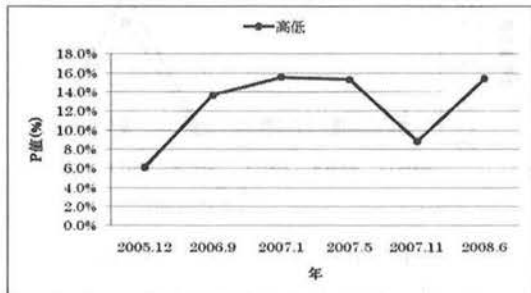


図 15 A 区間の高低変位 P 値の推移

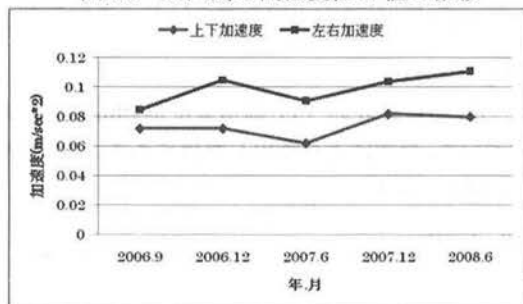


図 16 A 区間の列車動揺の推移

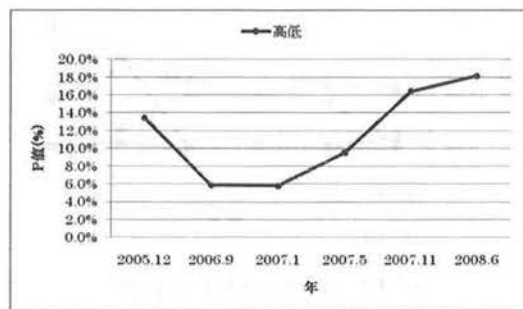


図 17 B 区間の高低変位 P 値の推移

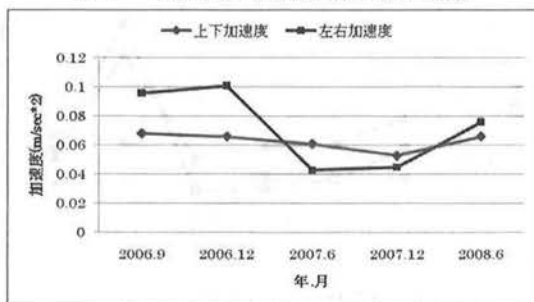


図 18 B 区間の列車動揺の推移

図 15～図 18 に示すとおり、高低変位の P 値は列車動揺の

傾向と概ね一致している。急曲線区間の保守管理においては、高低変位の管理が重要であることを示している。

8. 結論

(1) 軌道変位の分布

急曲線区間においても軌間拡大及び沈下が区間全体のレールに均一に進むのではなく、変位が進行する小区間の存在が確認された。

(2) 軌道変位の時系列変化

急曲線区間において軌間及び水準の軌道変位の進行は極めて著しい。よって、軌間及び水準に関しては、頻繁な整備の必要性を示唆した。

(3) 軌道変位の統計分析結果

P 値は、平均値及び標準偏差と比較して推移の変動が大きく、軌道の状態を顕著に表している指標である。また、軌道整備作業により P 値の改善が認められたことから、分析対象区間は良好な状態に管理されている。しかし、例外も認められ、急曲線区間の保守管理の難しさが数値に表されている。

(4) 列車動揺との比較

列車速度が低い急曲線区間においても、列車の乗り心地に影響のある高低変位と列車動揺の関係が深いことが認められた。

8. 今後の課題

以上を踏まえ今後の課題は、以下の 3 点である。

- ①軌道変位が著しい小区間については、そのメカニズムの解明が必要である。
- ②本研究の結果をロングレール区間あるいは、直線区間と比較することにより、更に急曲線区間の特徴を得ることができる。
- ③本研究では 2 区間のみを事例として取り上げたが、類似区間についても同様の分析を行い、軌道保守に反映させる必要がある。

参考文献・注釈

- (1) 古川敦, 山崎雅仁, 桶谷栄一: 「バラスト軌道における軌道変位の進みの照査方法」, 土木学会特集論文, RTRI REPORT Vol.22, No.8 p.5 (平成 20 年 8 月)
- (2) 相川明, 池永貴史: 「軌道沈下量予測に関する研究の現状と問題点について」, 大分工業高等専門学校紀要, 第 42 号, p. 35, (平成 17 年 11 月)
- (3) 昭和 63 年 3 月の「普通鉄道構造規則」が施行される以前の技術法令は、「日本国有鉄道建設規定」と「地方鉄道建設規程」があり、国営鉄道と民営鉄道で別々の基準により建設を進めていた。
- (4) 須田征男, 長門彰, 徳岡研三, 三浦重: 「新しい線路—軌道の構造と管理—」, 社団法人 日本鉄道施設協会, p. 551 (平成 9 年 3 月)
- (5) 宮本俊光, 渡辺偲年編: 線路—軌道の設計・管理—, 山海堂, P506, 507 (昭和 55 年 7 月)