

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

路面電車の軌道メンテナンスを改善する

日本における路面電車は、最盛期には60を超える地域で運行されていましたが、現在は17都市・19事業者での運営となっています。これは、自動車の普及による渋滞などで縮小を余儀なくされたためです。しかし、近年海外では路面電車が新しい交通システムとして位置づけられ、日本でも一部都市で低床電車導入による街の活性化などが期待されています。一方、軌道管理という点からは、道路内に軌道部材が埋め込まれているため、検査や保守作業に多大な労力を要し、自動車荷重による劣化が生じるなど、普通鉄道に見られない困難があります。ここでは、軌道の保守の現状と留意点、その維持管理をサポートすべく開発中の超小型軌道検測装置などについて紹介します。



矢澤 英治
Eiji Yazawa
軌道技術研究部
軌道管理研究室
主任研究員
【専門分野】 軌道の検査・計測装置の開発、乗り心地・走行安全性の評価



清水 惇
Atsushi Shimizu
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
【専門分野】 列車動揺管理、走行安全性の評価

軌道整備基準値と検査の体系

まずはじめに、いま軌道がどの程度の状態にあるのかを把握すべく、11の事業者にご協力いただき、聞き取り調査を行いました¹⁾。先年、普通鉄道では技術基準を性能規定化する過程で、軌道変位(狂い)の管理値を計画保守の目安である「目標値」と、即時修繕の目安である「基準値」の2本立てとする体系が推奨されました。表1はこのうち、基準値を調査した結果で、高低・通りは通常の鉄道と同じ10m弦による表示です。項目によっては事業者間で最大10mm程度の差があることがわかります。路面電車は普通鉄道と異なる「軌道法」という法律に基づいて運営されていますが、普通鉄道のような体系の整理はまだなく、本調査で「基準値」と示された値には、事実上「目標値」の性格のものが含まれています。実際、普通鉄道も運営している事業者Aでは鉄道線と同じ基準値を用いると同時に、より小さな目標値が別途定められ、これを他事業者と比較すると値の開きはありません。また、現状で平面性の基準値を定めて測定しているのは4事業者のみです。低速で急曲線を

走行する路面電車の場合、平面性は走行安全上の注意が必要な管理項目ですが、実際の軌道の線形は路面の排水勾配の確保が優先され、適用が難しい現状が垣間見えます。

急曲線用の軌道構造と分岐器

護輪軌条

表2に分岐器と一般区間の各種寸法の設計値・管理値を示します。急曲線部には一般に図1のように「護輪軌条」(※参照)という構造が使われています。これは外軌側の車輪フランジをレールに接触させるとレールが激しく摩耗するとともに、乗り上がりを起こしやすくなるため、より鉛直面に近く安全な内軌側車輪の背面で車両を誘導するものです。一般的な脱線防止ガードは通常内軌側の車輪とは接することなく、外軌側のフランジが乗り上がりはじめたのを止めるときにはじめて接触

※ 護輪軌条

事業者によっては「護輪レール」「摩耗防止ガード」「摩耗防止レール」などと呼ばれていますが、本稿ではこの表記に統一しました。

表1 軌道整備基準値の例

事業者 (軌間) (mm)	軌間	整備基準値 (mm)						備考
		水準		高低	通り		平面性	
		直線	曲線		直線	曲線		
A (1435)	+25/-5	20	20	20	20	20	12	2m平面性 スラック \geq 10mm時, 軌間 +15/-5
B (1435)	+15/-5	10	10	20	20	30	—	
C (1435)	+15/-5	10	10	20	20	20	—	
D (1435)	+7/-4	8	9	10	10	15	20	2m平面性
E (1435)	+7/-4	8	9	11	10	15	18	5m平面性
F (1067)	+7/-4	11	11	11	11	11	18	5m平面性 平面性は専用軌道のみ
G (1067)	+6/-4	10	10	15	15	20	—	溝付きレールは軌間 +7/-4
H (1067)	+7/-4	10	10	20	15	15	—	溝付きレールは軌間 +6/-2
I (1067)	+7/-4	9	9	9	9	9	—	
J (1067)	+7/-4	9	9	9	9	9	—	
K (1067)	+8/-4	8	10	9	7	9	14	2.5m平面性

表2 分岐器等の設計値・管理値の例

事業者	分岐器		一般区間	
	バックゲージ (mm) 括弧内は溝レール	フランジウェイ幅 (mm)	フランジウェイ幅 (mm)	
			建築限界	摩耗防止の管理値
A	1393 ~ 1398	42	85	48 ~ 65
B	1393 ~ 1402	36 ~ 41	—	—
C	1394 ~ 1402	35 ~ 38	—	38+ スラック
D	1397 ~ 1402	40 ~ 60	—	32 ~ 38
E	1390 ~ 1402	33 ~ 45	63	1395 (バックゲージ)
F	1022 ~ 1030	38 ~ 46	65	38
G	1027 ~ 1030	41	—	—
H	1022 ~ 1030 (1027 ~ 1030)	38 ~ 42	42	—
I	1024 ~ 1032	38	65	54 ~ 100 ※
J	1024 ~ 1030	42	—	—
K	1020 ~ 1032	38 ~ 46	54	65

※事業者 I のフランジウェイ幅 100mm は、脱線防止ガード区間を含むものと思われる。

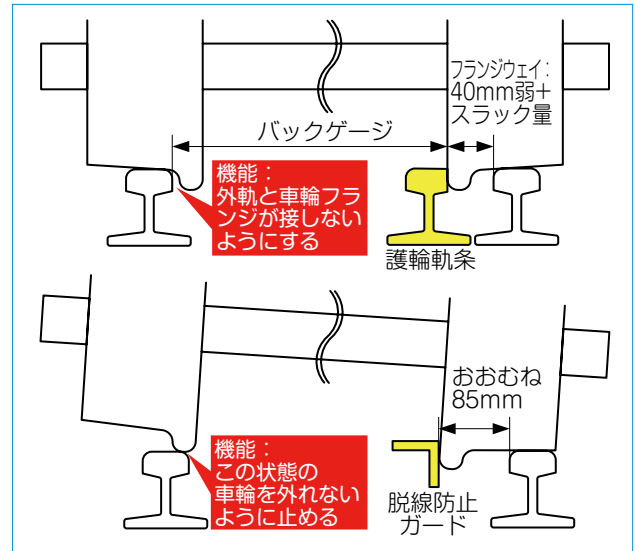


図1 護輪軌条と脱線防止ガード

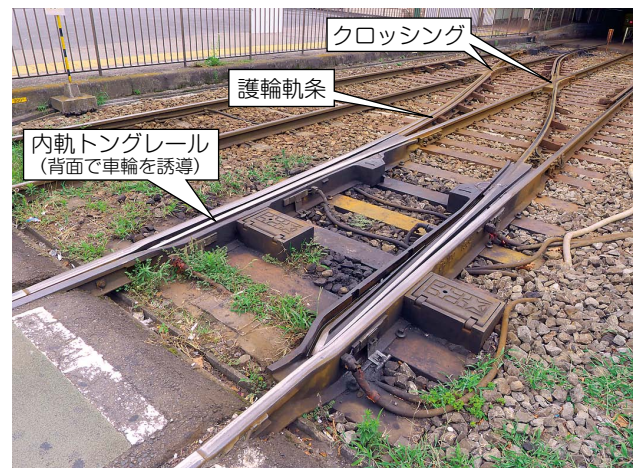


図2 急曲線用分岐器の例
(見やすいよう舗装のない区間のものを示す)

するという仕組みですから、フランジウェイの幅が大きく異なります。護輪軌条はフランジが反対側のレールに接しないようにする点で、分岐器部の各種ガードレールに近い仕掛けですから、フランジウェイ幅も表2のように分岐器同様の40mm程度+スラック(☞参照)となります。そして、急曲線用の

分岐器を作ると、図2のようにトングレールからリードを経てクロッシングまで全体が護輪軌条で覆われたかのような形になります。特徴があるのはトングレールで、分岐側への開通時には内軌トングレールの背面が護輪軌条の役目をするようになっていきます。したがって、軌間とバックゲージ(☞参照)、

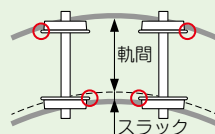
ひいてはフランジウェイを、その分岐器の設計思想の通りに管理することが、安全上非常に重要となります。

急曲線分岐器の製造上の制約

このような急曲線用の分岐器の部材は、複雑な曲面を機械加工で作ることが困難であったことと、往々にして交差点の形状に応じたオーダーメイドとなるために、長らくマンガン鋼の鋳物が主流でした。その摩耗による寸法変化をどのように補修するか、これは大きな問題です。調査の結果でも、極力その部分を避けレール材やL形鋼で作られている部材を中心に交換整備する、摩耗部を肉盛り補修する、あるいは部材を全交換するなど、保守の方法はさまざまでした。特にマンガン鋼の部材

☞ スラック

台車に固定された車軸が曲線を通過できるように、設計値として軌間を拡げる量です。特に右図のように、車輪が○の4点でレールに接し、車軸が向きを変えずに滑り通るようになる値を「最小スラック」と呼びます。



☞ (軌道の) バックゲージ

軌道では図1のようにガードレール側の側面から反対側のレール側面までを「バックゲージ」と呼びます。車輪の背面間距離もバックゲージと呼ぶ場合がありますので、混用しないよう注意が必要です。

の交換に至った場合、部材の鋳造の費用が高価であることから、標準設計導入によるコストダウンの要望も聞かれましたが、一方で既にある交差点の形状への対応も必要であることから、標準化の限界も見えてくるようです。この点では、コンピューター制御による機械加工が自在に行える時代が来ていることから、この種の分岐器を得意とする欧州メーカーからの輸入が行われています(図3)。またレール鋼と溶接クロッシングによる分岐器の国内生産も一部で試行されているようです。

潤滑と摩耗防止が重要

近年、一部に「あえて軌間を縮小し、レールに内軌側車輪背面と外軌側フランジを同時に接触させて荷重を分散する」という考え方があるようですが、その設定値は2軸台車の最小スラックを下回ることには注意が必要です。この条件では、車軸が曲線に沿って転向してくれる十分に性能の良い台車でないと、車輪が内軌・護輪軌条・外軌のすべてに当たり、不自然な荷重の発生や摩耗を生むこととなります。この手法は少なくとも耐摩耗レールの使用と適切なレール-車輪間の潤滑が必須で、そこに性能の良い台車を組み合わせた場合に限り成り立つ技術と考えるべきでしょう。

また、脱線防止の機能上、分岐器の内軌トングレール、および護輪軌条の背面は可能な限り鉛直面に近く保つ必要があります。実際、この部分が車輪背面の形に摩耗してトラブルに至った例も散見されますので、ここでも適切な潤滑は必須となります。しかし現状ではその方法や周期もまちまちです。車上から潤滑剤の噴射を試みている事業者もありますが、前後の線形によっては動作しないなど、完璧ではないようです。専用軌道区間ですと地上設備で散水するという手もありますが、道

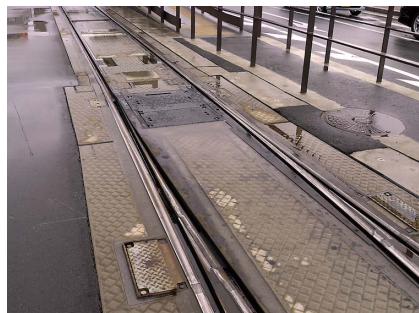


図3 樹脂固定軌道と入力分岐器



図5 芝生舗装

路上では現実的ではありません。道路上の軌道敷内に設置できるコンパクトな地上設備での塗布が実現すればブレイクスルーとなるでしょう。

車の荷重に負けないために

ところで、この道路内に敷かれた軌道は、路面がアスファルト舗装や敷石の場合、それをめくると、下から一般的なバラスト道床の軌道が現れます。これをたわみ構造と称し、実際、電車のみならず、侵入してくる車の荷重でたわみます。この荷重に打ち勝つために、路面下にコンクリート道床を構築したものがあり、剛質構造と呼びます。ここで路面までコンクリート舗装にすれば耐久性には非常に優れたものですが、車両の走行に伴うきしり音や、継目部での音が響きます。

そこで図4のようにレールの周囲のみ、あるいは路面だけは全面アスファルト舗装として騒音を抑制している事業者もあります。実際、走行音は下がりますので、この部分に弾性を持たせることが重要とわかります。この発想を突き詰めていくと、コンクリートブ



図4 レールの周囲のみアスファルト舗装

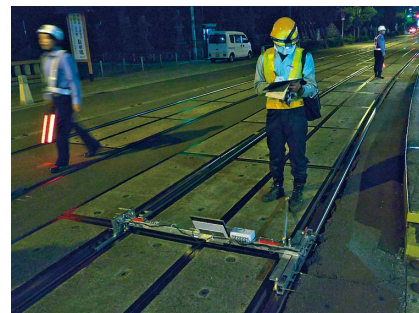


図6 超小型軌道検測装置

ロックを並べた上にレールを樹脂で固定するという着想に至ります。図3は欧州からの技術導入によるものですが、低騒音でメンテナンスフリーを実現しています。既存のコンクリート舗装の剛質構造でも、締結装置を整備した上でレール近傍に樹脂充填を行い、良好な結果を得ている例もあります。

なお、普通鉄道の省力化軌道でも起こることですが、このように道床にコンクリートを用いる構造は、滞水する箇所への排水に注意しないと、路盤土の流出、あるいは締結装置の腐食を招き、逆に保守上の隘路になります。その結果、たわみ構造に戻したという例も散見されますので、施工時に配慮が必要です。

一方、本来軌道敷内への自動車の通行は基本的に禁止という場合には、都市緑化をかねて芝生で舗装するという方法もあります(図5)。非常時に緊急自動車が通れる強度は有しながら、通常時に侵入しようとする自動車がほぼ皆無となるため、多くの場合PCまくらぎへの交換と同時に施工されることと相まって軌道のメンテナンスは激減

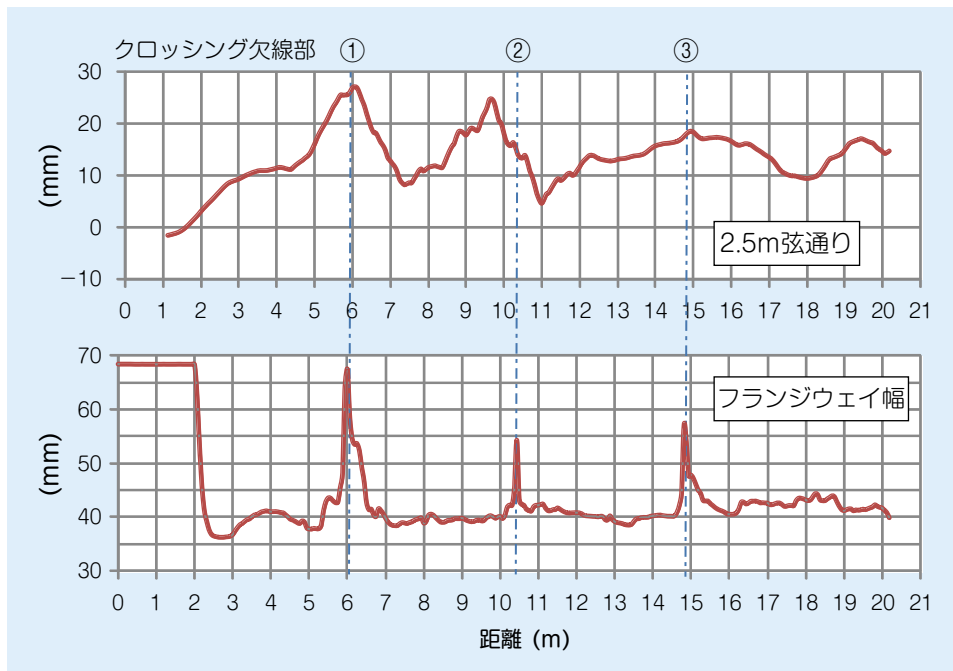


図7 特殊分岐器の検測例

します。ただし、車両が芝を踏むと空転の原因となりますので、刈り込みなど別の管理は必要となります。

路面上の急曲線を測る

さて、合理的な軌道管理の実現には、まず正確な軌道検測を行うことが必要です。しかし既存の検測装置では舗装の不陸に引っかかる、あまりの急曲線で装置が載らない、そもそも自動車交通と電車の双方の合間をかいくぐるのが困難です。このため、直線と緩い曲線で機械を使うとしても、必ずどこかを手作業による測定で補完している実情が浮かんできました。その手作業も、曲線半径が40mであれば10m弦での曲線正矢量が300mm強になり、舗装が測定邪魔をします。そこで、鉄道総研では、急曲線や併用軌道においても測定が可能な、超小型・軽量の軌道検測装置を開発中です²⁾。開発コンセプトは次の通りです。

- (a) 軌間、水準、フランジウェイ幅、分岐器バックゲージが測定可能。
- (b) 徒歩（時速4km以下）による検測が可能。

- (c) 2名での持ち運び、組み立て・分解等の取り扱いが可能。
- (d) 軌道に設置した時点で測定開始可能。
- (e) 半径20m以上の曲線で走行・測定可能。
- (f) 舗装の不陸対策として、軌間内はレール面から高さ方向に40mmの空間を確保。

図6はプロトタイプ機を稼働させているところです。重量は12kgで、一人で載線可能、さらに自動車や電車を避けるため、すぐに外して軌道敷の外に逃げるのが可能です。

この装置での検測例を図7に示します。分岐側半径45mの特殊シーサスクロッシングを測定したものです。あまりに曲線半径が小さいので、ここでは通りを2.5m弦で表示し、細かな変位が読み取れるようにしています。この区間はその小さな半径と、分岐器全体に付けられているガードレール類の関係で測定が困難でしたが、本装置によって、分岐器全体の通りがどのような状態にあるかを始めて明らかにできました。ここまで述べてきたとおり

安全上重要な、ガードレール・護輪軌条とのバックゲージ・フランジウェイも同時に測定可能です。今後、測定機構の細部を若干見直した上で、商品化を図りたいと考えています。

おわりに

活性化が期待されながらも路面電車をめぐる環境は厳しいのが現状です。新しい軌道構造が提案されても、なかなか採用できないのが実情ではないかと思われます。せめてこの記事がこれからの施策の参考になり、特に超小型軌道検測装置でこれまで困難だった測定が可能になることによって、合理的なメンテナンスを行えるようになればと願っています。RRR

文献

- 1) 清水惇, 古川敦, 矢澤英治: 路面電車の軌道管理に対する聞き取り調査, 土木学会第66回年次講演会講演概要集, IV-110, 2011
- 2) 清水惇, 矢澤英治: 簡易型軌道検測装置の性能評価, 日本鉄道施設協会誌, Vol.51, No.9, pp.26-30, 2013