

LRT 用新型軌道構造の評価に関する研究(第2報)

- 営業線での敷設と試験 -

交通システム部

佐藤 安弘

大野 寛之

水間 毅

1. はじめに

従来の路面電車の軌道構造を改善するものとして、欧州で開発された新型軌道構造が注目され、我が国にも導入されつつある。"INFUNDO"と呼ばれるこの軌道は、砕石やまくら木及びレール締結装置を持たない、従来の軌道とは全く異なる構造で、それらの機能をコンクリート床版や樹脂などによって実現するものである。この新型軌道を営業線で導入する以前にその特性を明らかにし、日本の LRT 車両などが走行しても問題がないことを確認するため、試験的に敷設された同軌道構造を用いて低床式 LRT 車両を走行させ、基本的な特性について明らかにしたことを昨年度報告した¹⁾。

今年度は、営業線の一部に同軌道構造が敷設されたことから、これまで確認できなかった曲線部や分岐部の特性について走行試験を行ったので、報告する。

2. INFUNDO 軌道の概要

INFUNDO 軌道の主な構成部材は、レール、レール周囲を覆う樹脂、鉄筋コンクリートスラブなどである。その概念図を図1に示す。レールより少し大きめの溝がついたコンクリート床版を施工し、溝の底にはコルクパッドを敷き、レールを設置しリングやくさび状のコルクでレールの位置決めをする。レールの左右に並行してパイプを入れ、最後に樹脂を溝の隙間に注入して施工していく。

コンクリートスラブの版厚は自動車タイヤによる集中荷重をも考慮して、通常のコンクリート道路舗装の構造に準拠している。長手方向(線路方向)は連続鉄筋コンクリート構造であり、微細なひび割れをほぼ一定間隔で発生させるため、目地構造を不要

としている。

INFUNDO 軌道の特徴として、砕石の突き固めやレール締結装置ボルトの点検等の保守が不要になること、レールウェブを樹脂で覆っているため、振動が減衰することから低騒音、低振動が期待できること、アスファルト舗装の併用軌道に比べて舗装の補修がほとんど不要になること、などがあげられる。

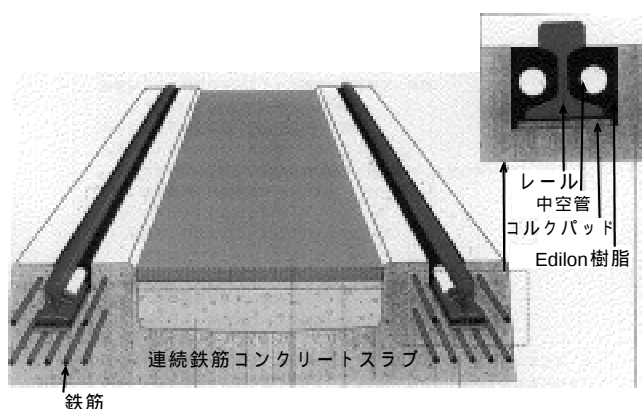


図1 INFUNDO 軌道の概念図

3. 試験の概要

3.1. 評価項目の検討

上記のような新しい構造を採用するに当たり、評価すべき項目を表1の通り整理した。これらのうち、昨年度は、直線部速度 35km/h 程度までについて強度上や走行安全上の問題がないことが確認されたが、曲線区間などでの確認が未実施であった。そこで今回は、下記の営業線で施工された区間で短期的に把握可能な曲線部や分岐部の特性について試験を行うこととした。

表 1 評価項目

短期的に評価できる項目
・各部の強度上の問題がないこと(スラブの強度、レールの強度)
・走行安全上の問題がないこと(レールの変位、変形(沈下、小返り、ゲージ拡大))
長期的観測項目(現状軌道におけるレール交換あるいはレール研削のスパンで考慮)
・レール摩耗量が想定範囲内であること
・波状摩耗等異常な摩耗のないこと
・軌道狂いの発生がほとんどないこと
・コンクリート部分のひび割れ、剥離等、劣化や破損のないこと
・樹脂部分のひび割れ、剥離等、劣化や破損のないこと
・レールの腐食等の異常な劣化がないこと

3.2. 試験区間の軌道および車両の概要²⁾³⁾

熊本市交通局上熊本停留場付近の線路の一部に INFUNDO 軌道が施工された。これは、上熊本への車両基地建設及び停留場の位置変更に伴う線路付け替え工事によるもので、本線付け替え区間の内延長 110m が INFUNDO 軌道となった。試験区間は半径 50m を含む曲線区間と 8 番相当のシーサスクロッシングである(図 2 参照)。レールは溝付きレール(SEI 41GP 型)を使用し、軌間は標準軌である。

供試車両は図 3 に示すような熊本市交通局 9700 型 LRT 車両である。設計自重は 206kN であるが、試験の際は 92kN の砂袋を搭載し、満車相当の重量とした。

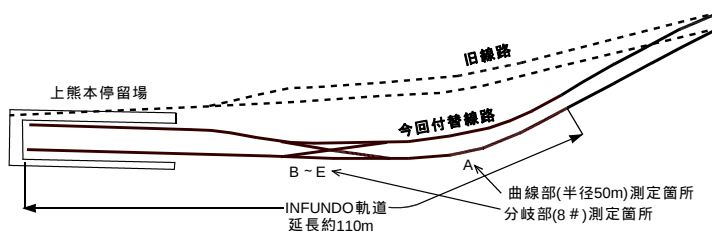


図 2 試験区間概要図

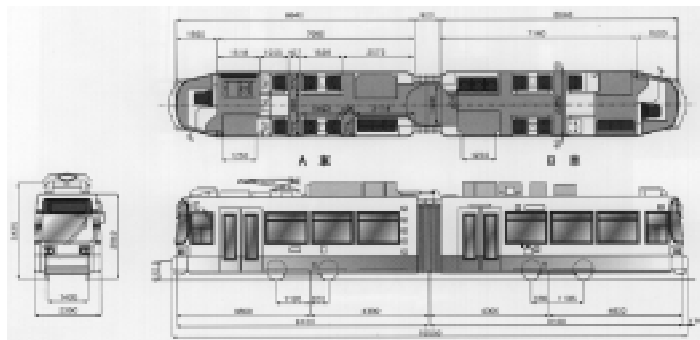


図 3 供試 LRT 車両

3.3. 測定項目

評価項目に従い、INFUNDO 軌道の特性を得るために、レール変位、スラブ変位、レール応力、スラブ応力等を測定した。測定項目を表 2 に示し、測定箇所を図 4 及び図 5 に示す。レールがスラブに埋設された形のため、そのままでは測定センサの取り付

けができないことから、必要箇所に箱抜きを行った。

表 2 測定項目

分類	測定項目	番号と測定箇所	部位
強度関係	レール応力	A-1:曲線部外軌	レールフランジ端部
		A-2:曲線部内軌	レールフランジ端部
		B:分岐部トングレール付近	レールフランジ端部
		C:分岐部リードレール	レール頭部側面
		D:分岐部基本レール	レールフランジ端部
	スラブ表面応力	曲線部	上面中央縦
			上面中央横
変位関係	レール上下変位 (スラブとの相対変位)	A-1:曲線部外軌	
		A-2:曲線部内軌	
		B:分岐部トングレール付近	
		C:分岐部リードレール	
		E:分岐部クロッシング	
	レール左右変位 (スラブとの相対変位)	A-1:曲線部外軌	
		A-2:曲線部内軌	
	スラブ上下変位	A-1:曲線部外軌	スラブ端部
		スラブ左右変位	

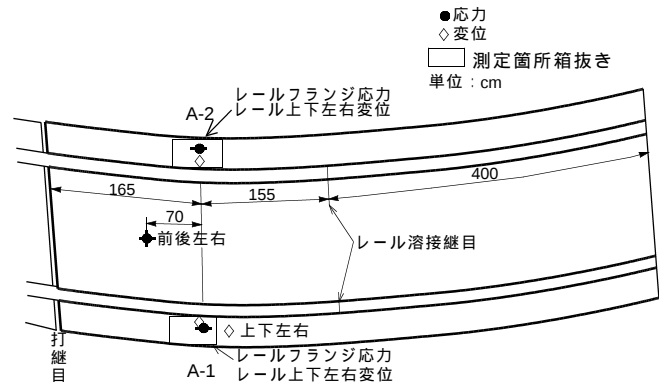


図 4 曲線部測定箇所

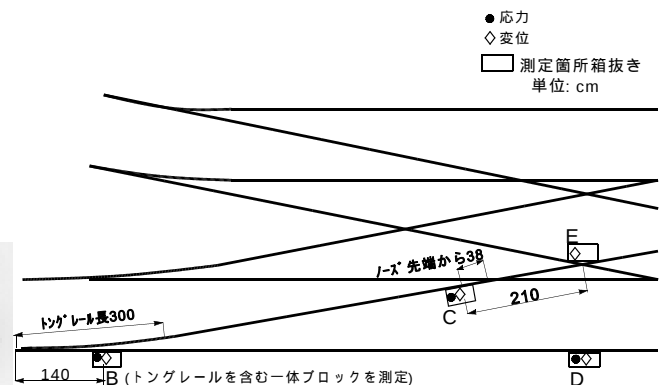


図 5 分岐部測定箇所

3.4. 試験項目

走行試験として、主に曲線部の走行と分岐器分岐側の走行とに分け、曲線部では、5,10,20,25km/h でそれぞれ車両が定速で通過したときの各部応力、変位等の測定を行った。分岐部では速度 5,10,15km/h で実施した。このほか、曲線部、分岐部それぞれにおいて力行加速、トラックブレーキ、電気ブレーキ(常用最大)、散水によるレール湿潤状態での電気ブレーキを行い、それぞれ測定を行った。

4. 試験結果

LRT 車両が当該測定箇所を通過したときの最大値を試験条件ごとに求めた。なお、力行加速やトラックブレーキなどの場合は速度が一定ではないので、速度によらず最大値を求めた。

曲線部におけるレール底部の応力の測定結果を図 6 に示す。列車速度向上に伴うレール応力の変化が顕著に表れるが、これは主として速度向上とともに遠心力の影響で外軌側では輪重が増加し、内軌側では輪重が減少することによるものである。また、力行、ブレーキ等の走行モードにより応力が大きくなる傾向は見られない。ブレーキ時に応力のばらつきが見られるのは、測定点を車輪が通過するときの速度にばらつきがあるためと思われる。

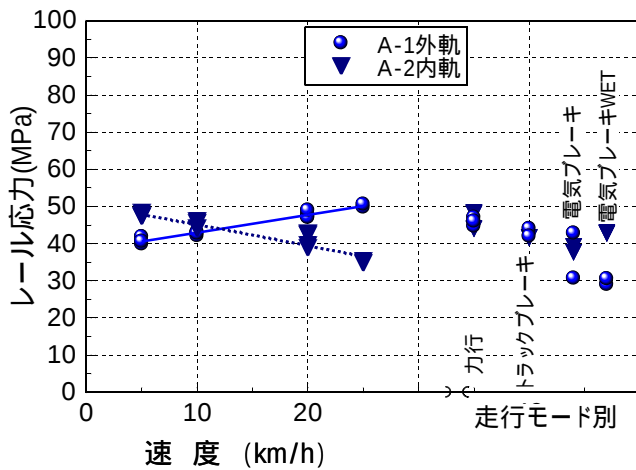


図 6 曲線部レール応力

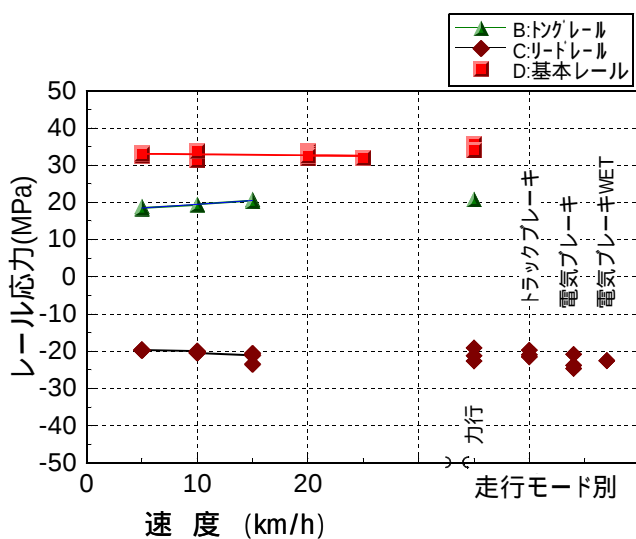


図 7 分岐部レール応力

分岐部におけるレール応力の測定結果を図 7 に示

す。測定箇所の関係で C 点ではレール頭部にひずみゲージを貼付していることから応力がマイナスとなっている。B 点のトングレールは、分岐の外軌側に当たり、速度増加に伴う遠心力による影響と思われる応力の影響が認められる。他の箇所では、速度による影響はほとんど見られない。また、力行、ブレーキ等の走行モードにより応力が大きくなる傾向は見られない。

スラブ応力の測定結果を図 8 に示す。スラブ応力については、車輪の位置に応じて圧縮側応力も生じるが、絶対値がおおむね引張側の方が大きいこと、コンクリート強度に対しては引張側の方が厳しい条件であることから、引張側の値で評価する。縦方向(線路に平行な方向)は、速度による影響は見られないが、横方向(線路直角方向)は、速度の増加とともに応力は若干減少する傾向が見られる。これは、軌道垂直断面において、曲線部での内外軌の輪重バランスの変化とともに応力分布が変化するためと見られる。また、ブレーキ等の走行モードにより応力が大きくなる傾向は見られない。

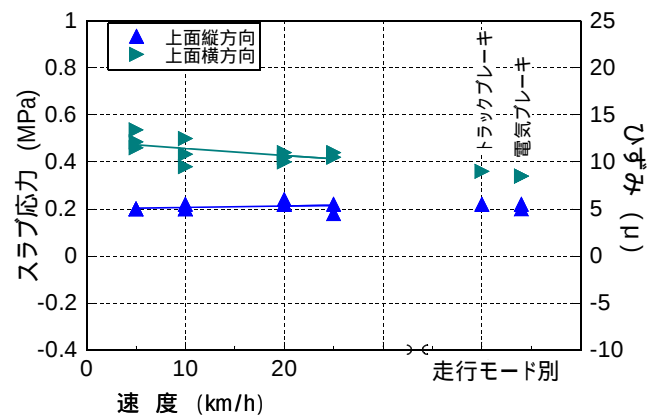


図 8 スラブ応力

図 9 は、曲線部及び分岐部におけるスラブに対するレール上下変位量測定結果を示す。曲線部外軌側では速度の増加とともにレールの沈下量が大きくなっている。これは、主として速度向上とともに遠心力の影響で外軌側では輪重が増加することによるものであり、図 6 に示した応力の傾向と符合するものである。分岐部の各測定点においては、列車速度や力行、制動による影響は顕著ではない。

図 10 は、曲線部及び分岐部におけるレール左右変位量測定結果を示す。台車の曲線轉向横圧により、

内軌外軌ともレールは軌間外側に変位しているが、内軌側では速度が増加すると変位が減少する傾向がわずかに見られる。これは、輪重の減少に伴い横クリープ力(内軌横圧)も減少するためである。また、レールに直接作用するトラックブレーキ動作時に変位が大きくなる傾向が見られる。

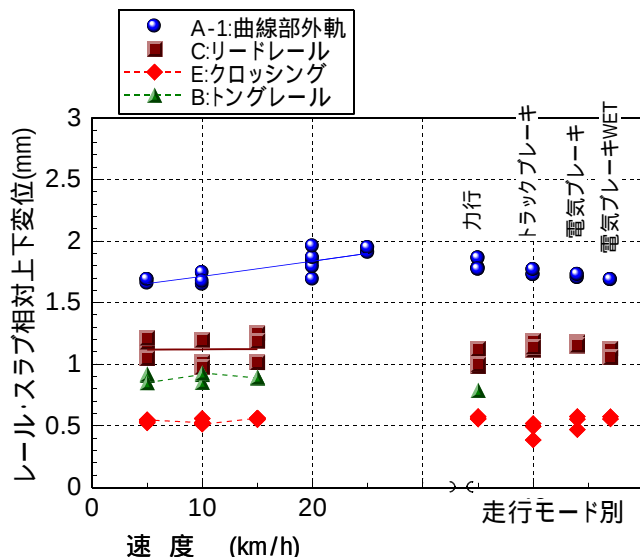


図9 レール上下変位

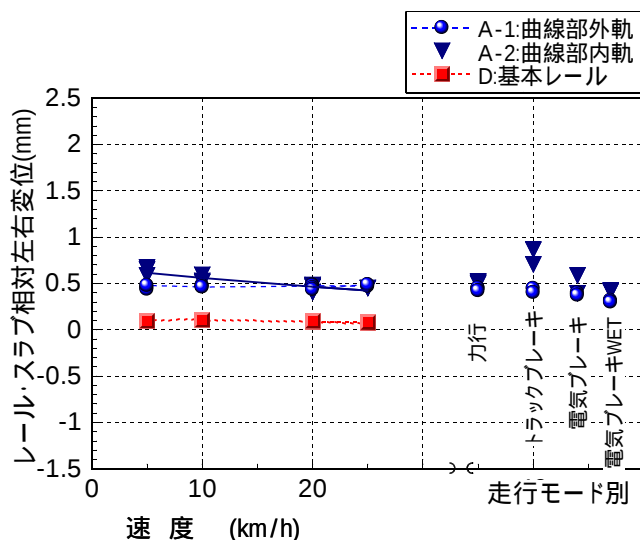


図10 レール左右変位

これらのほか、スラブの路盤に対する上下変位の最大値は 0.08mm、左右変位の最大値は 0.15mm とわずかであった。

5. 考 察

昨年度¹⁾⁴⁾と同様、高速鉄道用の省力化軌道のための走行判定標準として提案されている数値⁵⁾を準用し参考値として評価を行うと以下になる。比較的速度の低い LRT としては、かなり余裕のあ

る参考値といえる。

レール底部応力は最大 51MPa であり、参考値 300MPa より小さいため、強度上の問題はないものと思われる。

スラブ表面応力は最大 0.54MPa であり、参考値 3MPa より小さいため、強度上の問題はないものと思われる。

スラブ上下変位は最大 0.08mm であり、左右変位最大値の 0.15mm とともに参考値の 1mm より小さいため、走行上の問題はないものと思われる。

レール上下変位は最大 1.96mm であり、まくら木とレール間変位の参考値 1mm を上回っているものの、本構造はまくら木のない構造であり、レール左右変位は 0.87mm と小さいこと、スラブ自体の上下変位量を考慮したレール変位の参考値 3mm を下回っていることから問題はないものと考えられる。

6. あとがき

我が国の営業線に初めて敷設された INFUNDO 軌道に対して低床式 LRT 車両を走行させ、レール応力、レール変位等を測定した。その結果、各部の応力変位等はほぼ参考値を下回っていることから、強度上等の問題がないものと考えられる。

これまで確認できなかった曲線部や分岐部の特性について、今回、走行試験を行い確認することができた。しかしながら、直線区間で最高速度が 35km/h を大幅に上回るような試験は未実施であり、今後の導入線区で必要に応じて、試験などによりその性能を確認することが望ましい。

今後は、レール摩耗、軌道狂い、樹脂の劣化の有無等長期的な観測も引き続き望まれる。

最後に、熊本市交通局をはじめ、株式会社新潟鐵工所、清水建設株式会社、日本道路株式会社ほか、試験関係者に謝意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤ほか、第 1 回交通研発表会講演概要 (2001.11)
- 2) 佐藤ほか、第 57 回土木学会全国大会講演概要 (2002.10)
- 3) 宮崎、鉄道車両と技術 No.75 (2002.8)
- 4) 佐藤ほか、鉄道技術連合シンポジウム (2001.12)
- 5) 鉄道技術研究資料, 第 41 巻, 第 8 号 (1984.8)