

# LRT 用新型軌道構造の評価に関する研究

交通システム部

佐藤 安弘 松本 陽 水間 毅

## 1. はじめに

路面電車の軌道は、従来我が国では砕石とまくら木によるレール支持構造をとり、特に道路上に敷設された併用軌道においては、その上を石版またはアスファルトで舗装したものが多く、このため、普通鉄道に比して保線作業が困難で、またアスファルトのひび割れ等舗装の痛みもしばしば見られる。近年、ライトレール(LRT)車両がいくつかの都市に導入されており、車両の改善が目立っている。このような状況の中、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。この新型の構造は、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。したがって、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必要がある。そこで、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、レール応力、レール変位等の基本特性を測定し、この新型軌道(Infundo)の基本的な特性について明らかにしたので報告する。

## 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まず地盤上に施工し、溝の底にはコルクパッドを敷き、レールの長手方向 1.5m 程度ごとにレールの左右位置決め用のリングを入れ、くさび状のコルクでレールの位置決めをする。上下左右とも  $\pm 1\text{mm}$  の精度で施工できる。レールのウェブ部の左右に並行して塩ビ製の

パイプを入れる。そして、Edilon 社製樹脂を溝の隙間に注入し、連続的にレールと溝との隙間を埋めていく。パイプは樹脂の注入量を節約するとともに、各種ケーブルの配線路としても使用できる。

コンクリートスラブの施工方法は 3 種類あり、スリップフォーム方式：数日間の交通止めが可能で連続打設が可能な場所(曲線半径 50 m 以上)に適用。工費が安い。プレキャスト版方式：交差点などに適用。交通止め期間が最小限。現場打ち方式：が適用できない箇所。にそれぞれ適用される。

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最小 20cm、路盤の支持力係数は  $K_{30} = 196\text{MN/m}^3$  以上を標準とし、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。

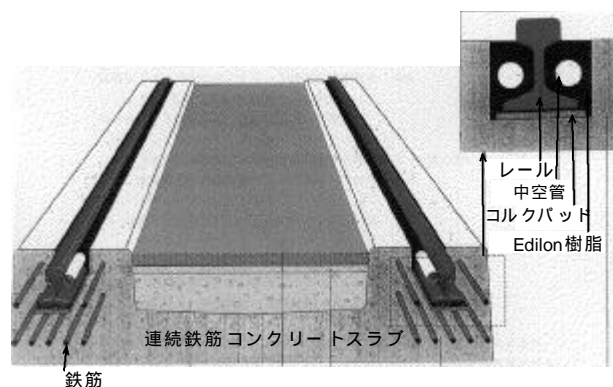


図 1 Infundo 軌道の概念図

### 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の通り検討した。これらのうち今回は、下記の試験施工された区間で短期的に把握可能な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. 試験軌道および車両の概要

(株)新潟鐵工所新潟構機工場内の線路の一部に Infundo 軌道が試験施工された。試験区間は直線平坦で、砕石道床木まくら木からなる区間の中間部 20m を Infundo 軌道としている(写真1参照)。なお、試験線は狭軌および標準軌併用の3線軌条となっているが、供試車両は標準軌のため、外側のレールを走行する。

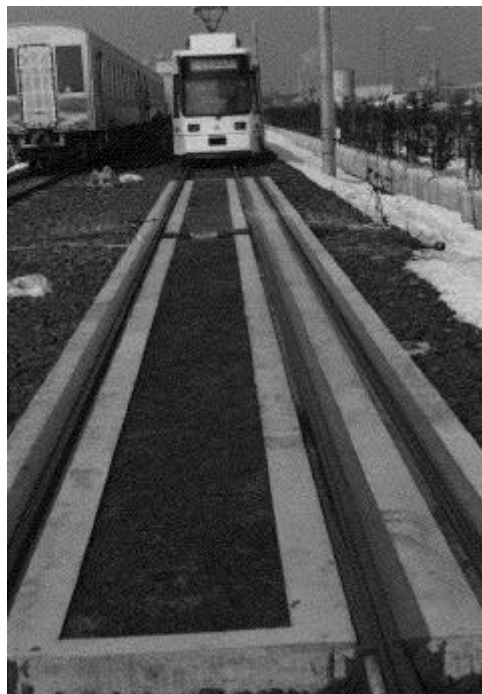


写真1 試験施工された Infundo 軌道

供試車両は図2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 の水槽を搭載し、満車相当の重量とした。

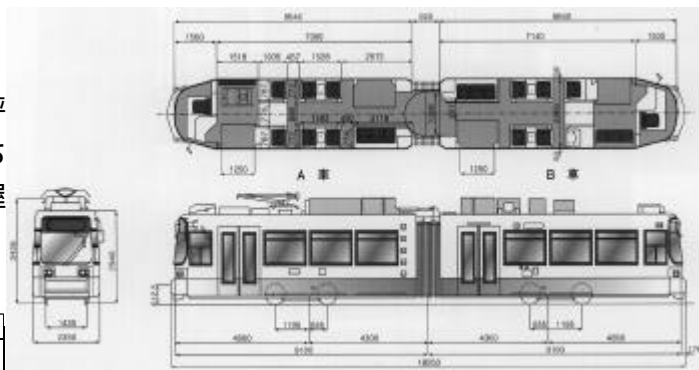


図2 供試 LRT 車両

#### 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3に示す。

表2 測定項目

	測定項目	部位
強度関係	レール応力	レールフランジ端部
	スラブ表面応力	上面中央縦
		上面中央横
		上面端部横
		端面レール下方横
変位関係	レール上下変位	床版端部のレール露出箇所
		中央部
	レール左右変位	中央部
	スラブ上下変位	中央部
		端部
		中央部
振動関係	レール上下振動加速度	中央部
	スラブ上下振動加速度	中央部レール近傍

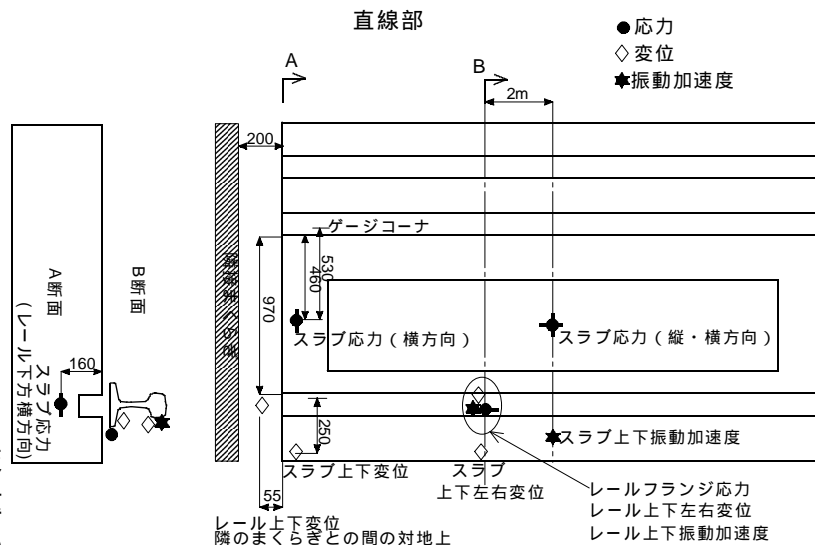


図3 測定箇所

### 3.4. 試験項目

まず、静的試験として、レール小返り剛性を測定した。レール頭頂部横方向に力を加える機構を有する特殊治具を用い、油圧により横圧相当の力をスラブ中央付近のレールに静的に加え、荷重とレール横変位の関係を求めた。次に、走行試験として、5,10,20,30,35km/h でそれぞれ車両が通過したときの各部応力、変位等の測定を行った。このほか、Infundo 軌道上でのトラックブレーキ、力行加速を行った。

## 4. 試験結果

### 4.1. 静的試験結果

治具を用いて横圧相当の荷重を静的にレールに負荷した場合のレール頭部の左右変位は、図4に示すとおり、両者はほぼ比例しており、レール小返り剛性は18MN/mであった。

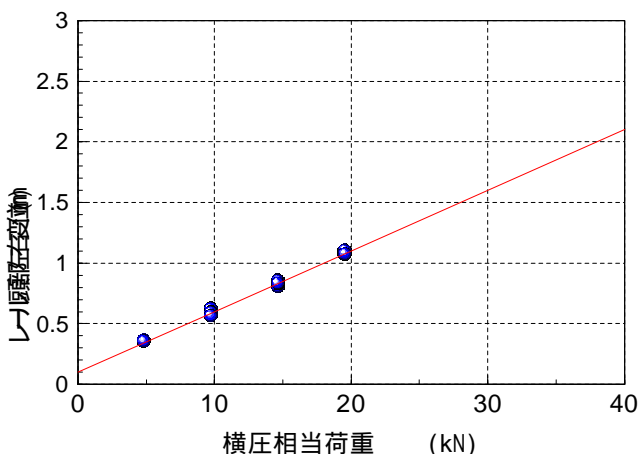


図4 レール左右変位（静的試験）

### 4.2. 走行試験結果

LRT 車両が当該軌道上を通過したときの最大値を試験条件ごとに求めた。なお、トラックブレーキおよび力行加速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。

レール底部の応力の測定結果を図5に示す。列車速度向上に伴うレール応力の増加はわずかであるが、スラブ手前から最大力行を行ったとき63MPaで最大値となった。

スラブ応力の測定結果を図6に示す。スラブ応力については、上面中央部の縦方向（線路方向）が圧縮方向となっているが、そのほかの上面中央部の横方向、端部の横方向、スラブ端部レール下方の横方向とも、引張方向に作用している。列車速度や力行、

制動による影響は顕著ではない。最大値は、トラックブレーキにより非常制動をかけた場合の上面中央部の縦方向応力で、0.88MPa(圧縮)であった。

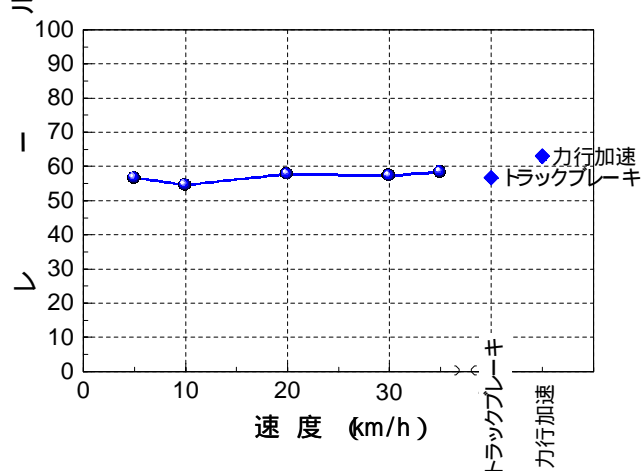


図5 レール応力

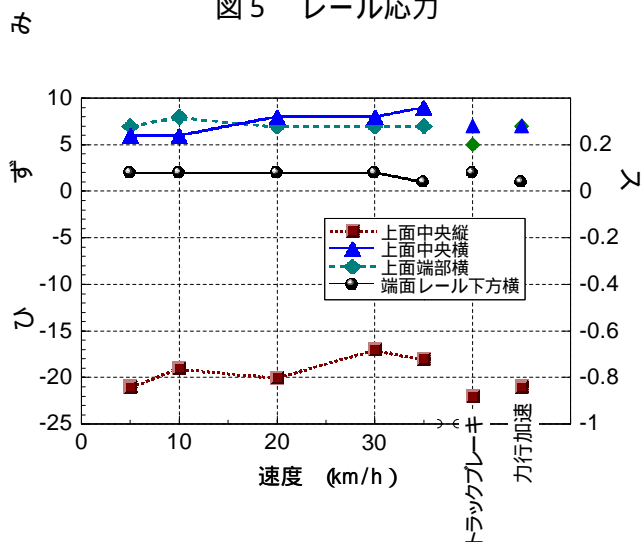


図6 スラブ応力

図7は、スラブ中央および端部のスラブに対するレール上下変位量測定結果を示す。在来軌道では、レールをまくら木で断続的に支持するのに対し、Infundo 軌道ではレールを連続的に支持するといふ違いがあり、在来軌道と隣接するスラブ端部での変位の方が、スラブ中央部に比べ2倍程度大きくなっている。スラブ端部では、レールが露出して隣接まくら木との中間部でレール変位を測定していること、隣接まくら木を含む在来軌道の沈下の影響もあると思われる。列車速度や力行、制動による影響は顕著ではない。最大値は速度5km/hの時に発生し、スラブ中央部およびスラブ端露出部のスラブに対するレール上下変位最大値はそれぞれ1.15mm、2.50mmであった。

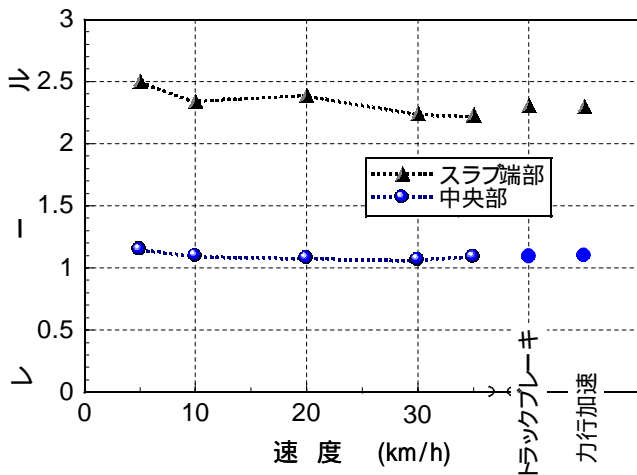


図7 レール上下変位

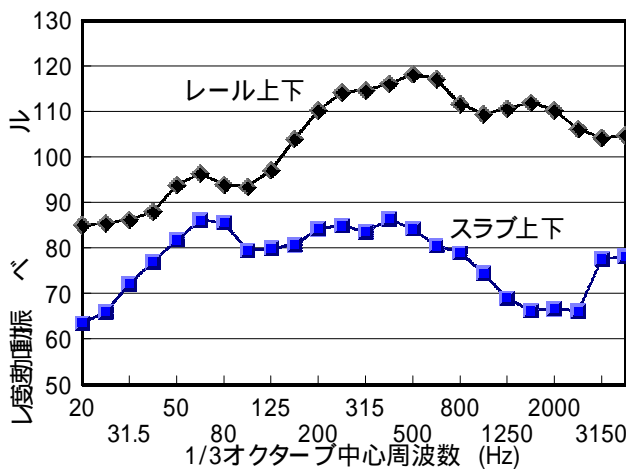


図8 振動加速度の周波数分析結果

レールおよびスラブの鉛直振動加速度レベルの1/3 オクターブ周波数分析結果を図8に示す。最もレベルが高くなる35km/h走行時の平均値を示している。レール振動加速度に顕著なピークは見られないが、500Hz近傍のレベルが高くなっている。また、スラブについては、63Hz近傍にピークが見られる。

これらのほか、スラブ中央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0.2mm、スラブ端部の上下変位の最大値は0.5mmであった。また、レール小返りの最大値は軌間内側への0.3mmであった。

#### 4.3. 考察

この種の新しい軌道に対する明確な評価基準がないため、高速鉄道用の省力化軌道のための走行判定標準<sup>1)</sup>として提案されている数値を準用し参考値とした。したがって、比較的速度の低いLRT用としては、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63.0MPa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0.88MPa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。

スラブ上下変位については、中央部最大値の0.08mmと端部最大値の0.5mmはいずれも参考値の1.0mmより小さいため、走行上の問題はないものと思われる。

レールの上下変位最大値1.15mmは、まくら木とレール間変位の参考値1mmをわずかに上回っており、レール支持ばね係数としては比較的柔らかい方であるが、問題となる値ではない。しかし、スラブ端部においては、スラブに対するレール上下変位最大値2.5mmにスラブ自体の上下変位量0.5mmを加えれば、参考値3mmと等しくなる。このことから、Infundo軌道を部分的に導入するときは、特にスラブ端部の境界付近でレールに負担がかからないよう設計、施工に注意する必要がある。

今回の試験区間は直線であるため、超過遠心力や曲線走行による横圧が共に存在しないことから、スラブ横変位並びにレールの小返り量は共に小さい値となっている。

#### 5. あとがき

試験的に敷設されたInfundo軌道を用いて低床式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、基本的にはLRT用軌道として用いて問題がないものと考えられる。

試験場所の都合上、今回は最高速度が35km/hであり、車両性能上の最高速度よりかなり低い範囲での確認となっている。また、直線部のみであり曲線条件での評価が未実施である。このため、必ずしもInfundo軌道の性能を全て評価したものとはならない。今後、高速域や曲線区間での試験実施が期待されるとともに、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望まれる。

最後に、株式会社新潟鐵工所をはじめ、施工及び試験関係者に謝意を表す。

#### 参考文献

1) 鉄道技術研究資料, 第41巻, 第8号, 1984.8