

論文の内容の要旨

論文題目 営業線土路盤上に適用する 省力化軌道の研究

氏 名 埜 光雄

21 世紀の鉄道は日本における少子、高齢化の社会情勢の影響を受け、鉄道のメンテナンスにおいて、特に省力化が求められている。既に新幹線などの新線建設時にできる限り、スラブ軌道などの省力化軌道の導入を図ってきた。しかし、営業線の土路盤上のバラスト軌道を省力化軌道に取り替えるには、営業線の列車運行に影響がないように、数時間の線路保守間合で、施工する必要があり、かつ、敷設コストも経営的に合理的なものでなければならなかった。土路盤上の軌道としても省力化性能が優れ、経費的にも合理的なTC型省力化軌道を開発し、日本で最も稠密な線区である山手線に 1998 年から本格導入した。

この論文は、営業線土路盤の軌道として本格導入した TC 型省力化軌道の開発にあたっての研究内容について論ずる。以下、論文の概要を記す。

第 1 章 研究の背景

明治 5 年の新橋・横浜間の日本の鉄道開業以来、バラスト軌道が日本のみならず、世界の鉄道で使用されている。バラスト軌道は列車の通過に伴い軌道破壊が少しずつ進み、保守を前提とした軌道である。一方、より一層の鉄道の安全、安定輸送の確保や列車の高速化などのサービスレベル向上といった目的から、近年、保守のレベルアップが求められるようになった。また、日本が少子、高齢化社会に移行することに伴い、より少ない保守従事員での効率的な保守が重要な課題となってきた。

これら課題を踏まえ、21 世紀においても鉄道を維持発展させるために、線路構造の抜本的な革新が必要である。

第 2 章 省力化軌道の研究の必要性

保線技術者は保線作業の機械化、情報技術(IT)の導入による検査技術革新などの取り組みだけでなく、線路構造の革新を求めて研究・開発を進めてきた。代表的な線路構造としては、スラブ軌道が挙げられる。山陽新幹線、東北・上越新幹線、長野新幹線などの建設時には積極的に導

入されてきた。

しかし、すでに営業に使用されている鉄道線路は、ほとんどがバラスト軌道であり、これらの線路構造の革新が大きな課題であった。この課題は 30 年以上前から保線技術者の大きな開発・研究テーマであり、特に、東京、大阪の大都市稠密線区用省力化軌道の研究・開発が進められてきた。省力化軌道の開発の達成目標は、省力化性能がよいこと、営業線の保守間合で短時間の施工が可能であることなどの施工性がよいこと、そして、敷設コストだけでなく、ライフサイクルコスト(LCC)が安いことなどである。この目標に向けて、各種の省力化軌道が提案され、試験敷設されてきた。

JR 東日本発足後、本格的に山手線に敷設する省力化軌道の候補として鉄道総合技術研究所(以下総研という)が開発した E 型舗装軌道を山手線原宿構内に敷設し、調査測定をおこなった。E 型舗装軌道は省力化性能についてはほぼ満足するものの、施工期間中一時的に徐行を必要とし、また、精度のよい軌道の仕上がりをするのが難しいなどの施工性に課題があり、さらには敷設コストが高く、本格的に敷設投資を進めることができなかった。

ここで、今までの経験を踏まえ、省力化性能、施工性、経済性(コストダウン)などの視点に基づき、新しい省力化軌道の研究・開発に取り組む事になった。

第 3 章 新しい省力化軌道の開発

新しい省力化軌道の研究を開始するにあたり、過去の知見を整理し、省力化性能、施工性、経済性から省力化軌道の案を検討した。経済性、施工性の観点から、省力化性能を落とさずに、E 型舗装軌道のまくらぎ幅(73.3cm)よりまくらぎ幅を小さくし、填充材をセメントアスファルト系からセメント系に変更するなどの新しい提案が出された。それに基づき、5 種類の試験軌道のビブロジー試験をおこない、かつ、平面二次元スラブ軌道モデルを使用し、まくらぎ幅、軌道ばね定数、まくらぎ下ばね定数、締結装置間隔を組み合わせ、それぞれのうち一つを変数として他を固定してシミュレーション計算をおこなった。

ビブロジー試験及びシミュレーション計算から、まくらぎ幅 40cm 以上、締結間隔はまくらぎ折損に対して許容範囲内となる値とした。さらに道床圧力と填充層強度の関係から、セメント系填充材が望ましいことが分かった。

しかし、この点に関して結論を得るために現場試験敷設による詳細な挙動確認および、路盤も含めた構造解析が必要であった。

第 4 章 東海道貨物支線での省力化効果試験

まくらぎ下 200mm のバラスト内にセメント系填充材を注入する軌道構造としたが、軌道の仕上がり精度を向上するため、填充前の軌道整備に MTT(軌道を整備する大型機械)を使用することができ

るようにしたため、MTTの機械性能から施工可能限度であるまくらぎ幅60cmとするか、それとも、まくらぎの製作コストが安く、かつMTT作業がしやすい40cm幅にするかの課題が残った。このような省力化軌道を、機械化施工型軌道と呼ぶことにした。

また、原宿駅構内に敷設されたE型舗装軌道と同等の省力化性能を確保しながら、施工性、およびコストダウンに挑戦した軌道として、総研からSUグラウト補強型舗装軌道が提案された。この軌道はセメントアスファルト填充層厚をE型舗装軌道の80mmから30mmとして浅層化し、道床下部を貧配合セメントグラウトで補強した軌道で、かつ、MTT施工が可能ないようにまくらぎ幅も最大60cmにしたものである。以上のような省力化軌道を東京貨物ターミナル駅構内の東海道貨物支線に敷設し、調査、測定をおこなった。測定結果から、40cm幅のまくらぎを使用し、セメント系填充層厚200mmの機械化施工型軌道(略称名40C200)が、省力化性能、施工性、経済性に優れていることが判明した。

第5章 山手線での試験

東海道貨物支線の敷設結果を踏まえ、山手線への実用導入軌道を決定するために、敷設試験をおこなった。

比較区間として、渋谷～原宿間にバラスト系軌道、大崎駅構内にまくらぎ幅40cmセメント系填充層厚200mmの機械施工型省力化軌道(40C200)を敷設した。その後、この軌道を開発担当のテクニカルセンターの名を取り、TC型省力化軌道と呼ぶこととした。さらに、比較のためにまくらぎ幅を同じく40cmとし、セメントアスファルト系填充層厚30mmおよび、貧配合セメントグラウトで補強したSUグラウト補強型舗装軌道も敷設し、比較調査試験をおこなった。

第6章 省力化軌道の応力解析

構造解析を2次元有限要素法と3次元有限要素法で行い、山手線の測定結果を検証した。

(1)2次元解析

①弾性解析結果によると、TC型省力化軌道はE型舗装軌道とほぼ同等の応力変位特性を有している。

②有限要素法による弾性解析結果値は、実測値と同様な傾向を表わしており、この解析手法はこのような省力化軌道の設計の目安として使用できる。

さらに、TC型省力化軌道の応力特性を解析するため、3次元解析を実施した。

(2)3次元解析

①3次元解析によると、まくらぎ幅が広がるほど路盤内最大ひずみ、填充層内圧力および填充層内最大変位が小さくなるので、広い方がよいという結果がでた。

② 填充層の応力から見た場合は填充層厚 150mm 以上必要である。施工精度を考慮すると、200mm の填充層厚が妥当であると考えられる。

第 7 章 まとめ

これら、ビブロジー試験、有限要素解析、東海道貨物支線、山手線での試験敷設の結果から以下のことが解明された。

(1) 試験結果や、施工性、コストなどを踏まえ、山手線用に設計した TC 型省力化軌道は、ほぼ弾性範囲の挙動を示している。構造解析と実測値もよく適合しており、路盤のひずみも 10^{-3} のオーダーにあることが確認され、山手線では、10 年程度軌道狂いの整備が不要であることが分かった。

(2) 営業線用省力化軌道の填充材はセメント系填充材が有効であり、まくらぎと填充層が一体となり、レール下に帯状のコンクリート版を構成することにより、バラスト軌道の半分の路盤圧力とすることができることが解明された。

(3) 道床振動加速度と路盤圧力の相関が良く、道床振動加速度が大きくなると、路盤圧力が大きくなることが解明された。したがって、路盤圧力を小さくするには道床に填充材を填充し、固めることにより、道床振動加速度を小さくすればよいことが分かった。

(4) 山手線のほとんどの路盤は経年によるバラストのめり込みにより、 K_{30} 値で 70 MPa/m(7kgf/cm³) 以上の強度に路盤改良されているとみなすことのできる。したがって、省力化軌道の敷設に問題はないと思われる。

この研究の成果として、線路のバラストにセメント系填充材を注入し、填充層厚 200mm の無筋コンクリートと、幅 40cm の PC まくらぎが一体化した帯状の軌道構造とすることにより、列車通過時の荷重に対し軌道を弾性変形化することが可能となることが解明され、山手線で TC 型省力化軌道の本格施工が 1998 年から開始された。

これにより填充系省力化軌道を土路盤上に敷設するという長年の保線技術者の夢を達成することができた。

TC型省力化軌道

