

省力化軌道の開発

JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 線路構造G
村尾 和彦、相原 宏任



線路メンテナンス部門においては、既設の営業線バラスト軌道の軌道保守作業量を低減させるために国鉄時代を含め1965年以前より省力化軌道の研究開発に取り組んできました。営業線の列車運行に影響がないように、2～3時間の線路保守間で施工が可能であり、それに加え敷設後のメンテナンスコストを削減する合理的な敷設コストが求められ、テクニカルセンターでは、省力化性能に優れ、経費的にも合理的な「TC型省力化軌道」を開発しました。JR東日本管内で最も稠密な線区である山手線に1998年から本格的に導入し、敷設延長を順次伸ばしています。本稿ではTC型省力化軌道の概要および更なる敷設線区の拡大に向けた技術的な取組みについて紹介します。

1 はじめに

線路はレール、マクラギ、道床バラストといった要素で構成されています(図1)。列車荷重を効果的に分散させ、路盤へと伝えています。列車走行による繰り返し荷重を受けることにより道床バラストや路盤が沈下してきます。列車が走る軌道のレール面に凹凸が発生しますと、乗り心地が悪くなるだけでなく、最悪の場合には列車脱線に至る恐れがあります。

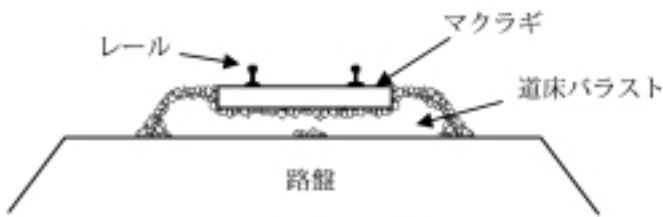


図1：線路を構成する要素

線路メンテナンス部門では軌道面の凹凸やレールなど軌道材料の機能について、定期的に検査を行っています。検査の結果、定められた基準値を超過すると判断された場合は、マルチプルトライタンパー(MTT)などの大型機械を用いた道床バラストの突き固めや細くなった道床バラストの交換などの適切な修繕工事を行い、列車の走行安全性を確保しています。これらの検査と修繕工事は列車走行に伴い、切れ目なく続く作業であり線路のメンテナンスには必要不可欠なものとなっています。

したがって、列車の走行安全性を確保しつつ、道床バラストの突き固めなどの軌道保守作業を低減させることができれば、コストダウンに大きく寄与することとなります。

1965年以前から道床バラストのメンテナンス作業量を低減するために省力化軌道の研究開発が行われていました。テクニカルセンターでは、1991年のセンター発足当時から各種の省力化軌道の研究開発に取り組み、1997年に「TC型省力化軌道」の開発に至りました(図2)。



図2：TC型省力化軌道

1998年から山手線田端～新宿～田町間においてTC型省力化軌道の本格的な敷設を第I期工事として行いました。その後、第II期工事として、2002年より山手線田端～東京～田町間、中央快速線、総武緩行線、京浜東北線への敷設工事を現在も進めています(図3)。

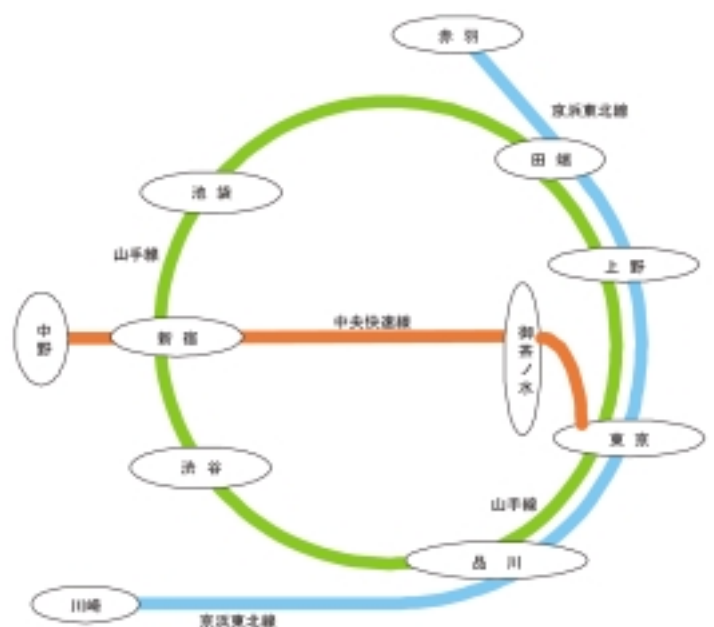


図3：TC型省力化軌道敷設線区(第II期工事終了時)

2 過去の開発経緯

既設線省力化軌道の研究開発は国鉄時代を含め1965年以前より取り組まれ、道床バラストの隙間にアスファルト系填充材を注入する舗装軌道など数多くのタイプが提案、敷設されてきました。しかしながら、土路盤上に敷設するため路盤の沈下などにより軌道面に凹凸が発生したり、短い保守作業間合では施工延長が伸びず、材料費も高いため、敷設コストが高くなるといった理由から本格的な導入には至っていませんでした。

E型舗装軌道(図4)は鉄道技術研究所によって1983年に開発され、短時間の保守作業間合で施工できるように改良されたもので、1990年から山手線の原宿構内に試験敷設されました。しかし敷設コストが高いことと、施工期間中に列車を徐行させる必要があり、精度の高い軌道に仕上げることが困難であるため施工性に課題が残り、本格的な敷設は見送られました。

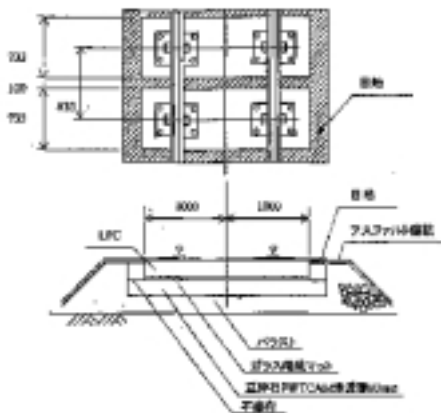


図4: E型舗装軌道

3 TC型省力化軌道

TC型省力化軌道は、道床バラストと幅400mmのPCマクラギをセメント系填充材で一体化させて、厚さ200mmの無筋コンクリートを有する軌道構造としています(図5)。

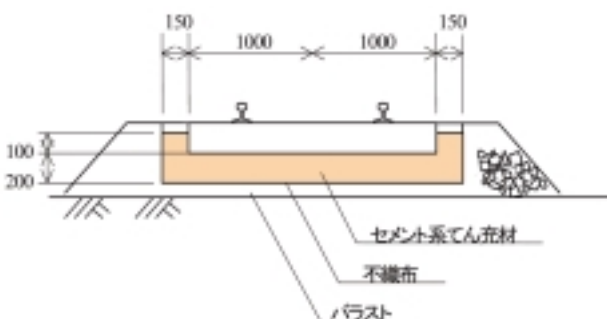


図5: TC型省力化軌道断面図

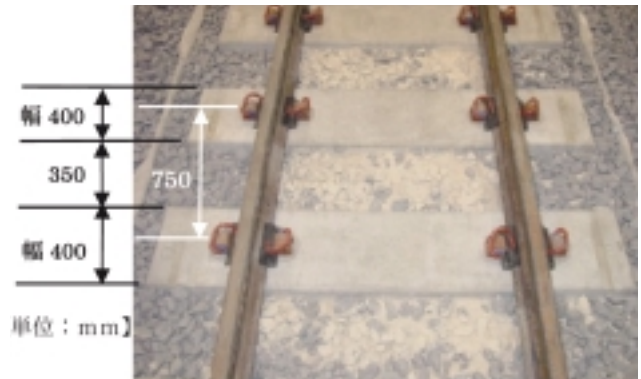


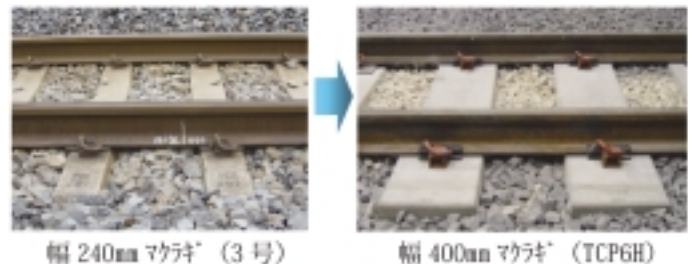
図6: マクラギ配置図

3.1 材料の開発

E型舗装軌道と同程度の省力化効果を発揮し、投資効果のある敷設コスト、列車徐行を必要としない施工方法を主なコンセプトとして開発が行われました。

(1) PCマクラギ

通常の線路で使用されている幅240mmのPCマクラギ(3号)から幅400mmのPCマクラギ(TCP6H)へと大版化することで列車荷重の分散効果を高めました。また大型機械(MTT)での軌道整備が可能となり、仕上り精度の高い軌道を施工することができます。



幅240mm マクラギ(3号) 幅400mm マクラギ(TCP6H)

図7: PCマクラギの開発

(2) セメント系填充材

アスファルト系の填充材から、セメント系の填充材とすることで無筋コンクリートの填充層を形成し、材料費の低コスト化をはかっています。填充作業にはオンレールの填充プラント車を使用し、作業性を高めています。

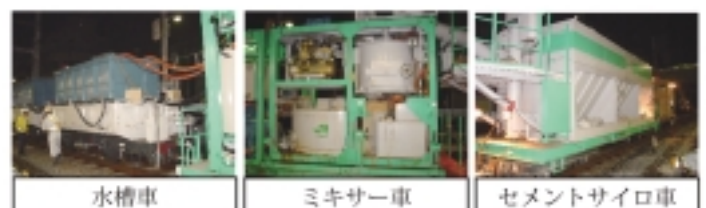


図8: 填充プラント車の編成

3.2 施工手順

TC型省力化軌道の主な施工手順を紹介します。

- ① 道床バラストをバックホウ等により掘削し、既設PCマクラギと道床バラストを撤去します。



- ② 掘削した道床バラストの上面を十分に締固めた後、セメント系填充材の型枠の役目を果たす不織布を敷込みます。



- ③ 幅400mmの新しいPCマクラギを敷設します。



- ④ 碎石運搬車(ミニホキ車)により新しい道床バラストを補充します。その後、当日の軌道整備を実施します。



- ⑤ 後日、仕上り精度を向上させるため、大型機械(MTT)を使用して、軌道整備を実施します。



- ⑥ 填充プラント車によって練り混ぜられたセメント系填充材を軌道に注入します。



図9：TC型省力化軌道の施工手順

3.3 施工機械の開発

施工費のコストダウンに向け、施工機械を開発しました。

- (1) 新型道床掘削機と大型道床運搬車

道床掘削機はブーメラン形状の掘削用カッターで道床バラストを掻き出し、排出させる機械で掘削性能は50m/hを有しています。また、その増大した道床掘削量に対応した大型道床運搬車(ホッパー車)もあわせて開発しました。

この開発により敷設作業1晩あたりの施工延長が平均45mとなり、バックホウ等と比較して大幅な能力向上が図られました。2003年1月から1編成を導入しています。



図10：新型道床掘削機



図11：大型道床運搬車

- (2) 新型填充プラント車

填充作業の施工延長を伸ばすために、填充プラント車の大型化にも取り組みました。これまでの填充プラント車は作業1晩あたり60mの施工でした(図8は60mプラント車)。

セメントを積込むサイロと混ぜ合わせるアジテータをそれぞれ大型化して、1晩あたりの施工延長100mを可能としました。2002年3月に1編成を導入しています。

3.4 メンテナンスコストの削減効果

TC型省力化軌道を敷設することにより、特に道床バラストに関する項目での削減効果が大きくなります。

道床バラストの軌道材料交換経費、道床バラストの突き固め作業による軌道保守費、大型機械(MTT)の機械経費などが主な削減効果として挙げられます。

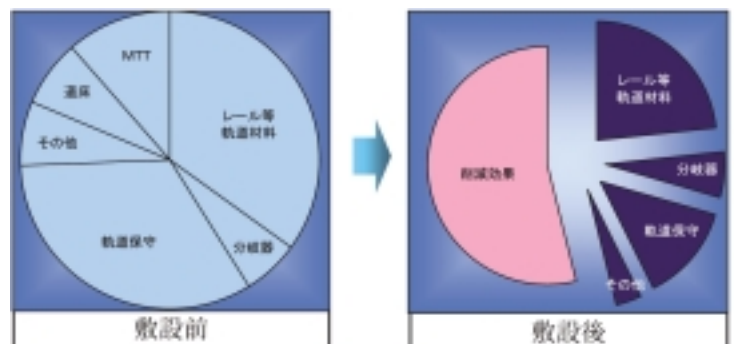


図12：メンテナンスコストの削減効果

4 実物大軌道試験装置の概要

JR東日本研究開発センターでは列車荷重が軌道に及ぼす影響の確認や新しく開発する軌道構造の性能確認試験を行うために実物大軌道試験装置を2001年12月から導入しています。この載荷試験装置は実物大の試験軌道に対して荷重を載荷することができ、軌道各部の応力を測定することができます。また列車通過荷重を模擬した連続載荷加振による促進試験が可能となっています。

4.1 載荷装置

載荷装置は1列あたり4箇所を鉛直荷重及び水平荷重が載荷できるよう油圧アクチュエーターを鉛直方向に8台(4台×2列)、水平方向に4台、合計12台を備えています。軌道には左右レールがありますが、マクラギによる力の伝達により水平方向は片側からの4台で載荷しています。

載荷可能な最大荷重は油圧アクチュエーター1台あたり鉛直方向に動的125kN、静的160kN、水平方向に動的65kN、静的80kNです。載荷荷重の1割程度の大きさの重畳波を100Hzまで重ね合わせることが可能です。重畳波により実際に軌道が車輪から受ける輪重の変動分を模擬することで、列車荷重載荷時の軌道の挙動をより効果的に把握できます。

表1：試験装置の主な仕様

項目	内容
載荷装置数 (アクチュエーター)	鉛直方向 8台 水平方向 4台
最大荷重 (載荷装置1台当り)	鉛直方向 動的 125kN 静的 160kN 水平方向 動的 65kN 静的 80kN
最大振幅	鉛直方向、水平方向とも ±50mm
加振周波数	0 ~ 35Hz 重畳波として 100Hz までの正弦波を重ね合わせることが可能
コンクリートピット	L=20m × W=7m × D=3m 10m：土路盤の敷設が可能 10m：スラブ軌道の敷設が可能
総重量	試験装置及びコンクリートピットの合計 約 2,800 t

4.2 防振装置

試験にあたっては長期間にわたり繰返し荷重を載荷するため、試験装置により発生する振動が外部にまで伝達するのを防止する必要があります。そのためコンクリートピット下に配置した空気バネ69基で、試験装置及びコンクリートピット全体を支持しています。この空気バネでコンクリートピット全体を約30mm浮上させた状態で載荷試験を実施し、発生する振動の外部への伝達を遮断しています。



図13：試験装置全景

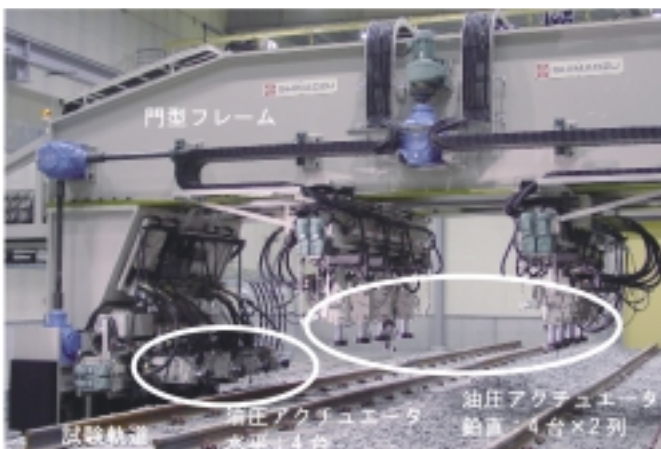


図14：載荷装置



図15：防振装置

5 TC型省力化軌道のバリエーション開発

敷設対象線区をさらに拡大するため(図16)、また更なるコストダウンを実現するために、種々の軌道条件に適合したTC型省力化軌道のバリエーション開発に向けた検討を行っています。

5.1 貨物荷重に対応したTC型省力化軌道

電車のみが走行する線区から機関車が走行する線区へとTC型省力化軌道の敷設対象線区を拡大することにより、下記のようなメリットが得られます。

- ①首都圏における道床作業を低減させることができます。
- ②保守作業の騒音・振動が発生せず環境に配慮できます。
- ③敷設線区を面として拡大することにより、首都圏のMTTの配備台数の削減などの効果が期待できます。



図16：今後の敷設拡大予定線区

(1) 軌道構造の検討

電車荷重と比較して、荷重がはるかに重い機関車や貨物列車が走行する線区へ敷設する貨物荷重対応型省力化軌道の開発は、軌道構造設計の検討フロー(図17)の手順で実施しました。

(2) 有限要素法によるモデル解析

新たな軌道構造を開発する際、解析モデル(図18)を用いて、どのような部分に大きな力がかかるのかを確認しています。モデル解析によって、填充層の底部が構造上の弱点箇所となることがわかります。この点を解消するためには、填充層材料強度の向上および改良の必要があります。

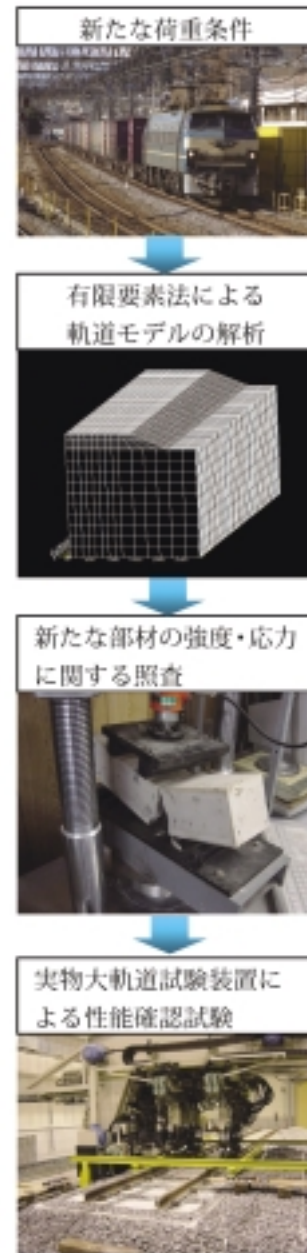


図17：軌道構造設計の検討フロー

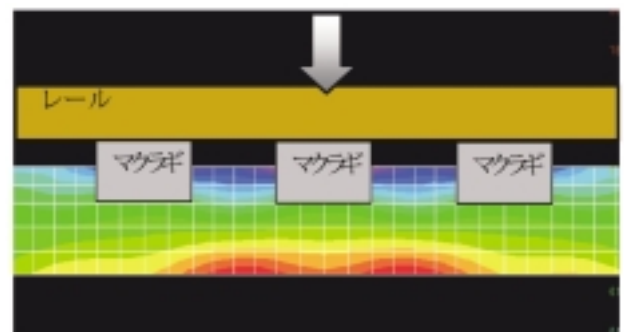


図18：モデル解析のイメージ図

(3) 填充材強度向上の検討

モデル解析により判明した填充材の強度向上に向け、各種の材料試験をメーカーと協力して実施しました。その後、填充プラント車による練混ぜや流動性など作業や施工性の検討も行いました。填充材の強度向上を材料試験により確認し、実物大軌道試験装置で性能確認試験を実施しました。

(4) 実物大軌道試験装置による性能確認試験

実物大軌道試験装置では、荷重をゆっくりと載荷する静的載荷試験や列車通過を繰り返す動的載荷試験を実施します。

静的載荷試験では、軌道構造全体として各部の応力や変位などの相互作用の挙動を確認しています。

モデル解析で判明した構造上の弱点となる填充層底部に対して測定機器（ひずみ計）を埋め込み、データの分析・評価により解析モデルとの整合性や安全性を確認します。

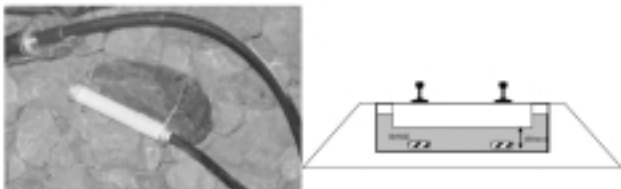


図19：填充層ひずみ計と埋設位置

動的載荷試験では、想定する線区において1年間あたり通過する列車荷重（年間通過トン数と呼びます）の20年分相当を目安として繰り返し荷重を載荷する促進試験をします。20年分の列車荷重を約3ヶ月間で載荷することができます。

繰り返し列車荷重による載荷が終了した時点で、試験軌道の状態を詳しく考察し、載荷による変位や耐久性などの性能を確認することができます。

(5) 営業線における整合性確認試験

新たに開発した構造の試験軌道を営業線に敷設しました。実物大軌道試験装置と営業線で得られた試験データを比較することで、整合性を確認することができます。



図20：営業線に敷設した試験軌道

5.2 高架橋上に敷設するTC型省力化軌道

構造面での更なるコストダウンを行うため、高架橋上に敷設する省力化軌道の開発を行っています。

土路盤は切取・盛土などの土構造物であり、コンクリート路盤は高架橋などの剛性が高い路盤のことです。路盤の剛性が高いことから、填充層のたわみ（ひずみ）量が小さくなり発生する曲げ引張応力も小さくなります。その点に着目して材料費や施工費のコストダウンを検討しています。

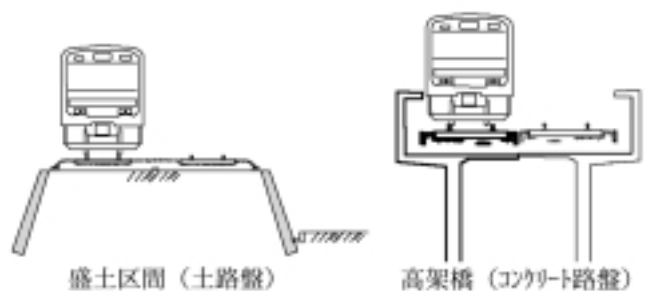


図21：高架橋上に敷設する省力化軌道

6 おわりに

テクニカルセンターでは、1997年に「TC型省力化軌道」を開発し、1998年からの本格的な導入後も、新型施工機械の開発により、コストダウンをはかってきました。

現在も適用線区の拡大に向けた貨物荷重対応型省力化軌道や更なるコストダウンを目指す高架橋上に敷設する省力化軌道などのバリエーション開発を行っています。

今後も有限要素法によるモデル解析や実物大軌道試験装置を活用し新たな軌道構造の開発に取り組んでいきます。

参考文献

- 1) 埜 光雄：「営業線用型省力化軌道の開発」土木学会論文集（1999、10）
- 2) 阿部秀明他：「実物大軌道試験装置を用いた軌道状態試験方法に関する研究」土木学会第58回講演概要集、IV-051、pp.101-102、2003。
- 3) 尾高達男他：「実物大軌道試験装置による省力化軌道の開発」J R E A 第46巻 11月号、pp.23-25、2003
- 4) 北條重幸：「第二期TC型省力化軌道工事の取組み」新線路 第57巻 7月号、pp.8-11、2003