

既設線用舗装軌道の開発・実用化

○安藤勝敏¹・三浦 重²・須長誠³・関根悦夫⁴・小関昌信⁵・高木言芳⁶・原田豊⁷

¹正会員 (財)鉄道総合技術研究所 軌道技術開発推進部(〒185 国分寺市光町2-8-38)

²正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 軌道技術開発推進部(〒185 国分寺市光町2-8-38)

³正会員 工博 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術開発事業部(〒185 国分寺市光町2-8-38)

⁴正会員 工博 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術開発事業部(〒185 国分寺市光町2-8-38)

⁵正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 総合技術開発推進部(〒185 東京都品川区広町2-1-19)

⁶正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 総合技術開発推進部(〒100 東京都千代田区有楽町2-10)

⁷正会員 東亜道路工業株式会社 技術研究所(〒232 横浜市南区中村町5-318)

近年、列車速度の向上や列車本数の増加とともに、有道床軌道における軌道破壊が増大し、良好な軌道状態を維持するために多くの人手と経費が必要となっている。一方、わが国は急速に高齢化社会を迎えようとしており、労働嗜好の変化と相まって将来保守作業員を確保することが益々困難になりつつある。このような背景の下で、大都市圏を対象として、夜間の3時間程度の間合いに敷設可能な省力化軌道を開発した。ここでは、その開発経緯と試験結果について述べる。

Key Words : low-maintenance track, quick hardening cement asphalt mortar, settlement

1. まえがき

鉄道における有道床軌道の保守は多くの人手に支えられてきたが、社会情勢の変化に伴って線路保守間合いの逼迫、夜間作業に伴う騒音問題など保線を取巻く環境は益々厳しくなりつつある。また、労働嗜好の変化に伴って保守要員を確保することが困難になることが予想され、従来の人力依存による保守体制の抜本的な改善は鉄道会社にとって緊急課題となっている。この対策の一つに既設線を保守の少ない省力化軌道に更新することが考えられ、1972年頃から開発が進められてきた。代表的なものにB型舗装軌道、てん充道床軌道等があり全国に試験敷設されたが、国鉄改革の影響もあってその後進展しなかった。民営分割後、保守作業量を減らすことが保線における重要課題となり、1989年以降2～3年後を目途に大都市圏に本格的に敷設することを目標として、新たな省力化軌道の開発・実用化を進めた。

本論文では、開発すべき省力化軌道の候補として従来最も実績があり、レール破線を必要とせず大版まくらぎと道床強化から成る舗装軌道について着目し、本格的に現場敷設を行うための具体的な検討、および現地試験を実施した結果について報告する¹⁾。

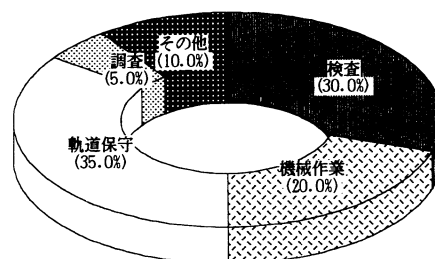


図-1 線路保守における人工充当割合²⁾

2. 軌道保守の概要

既往の調査によれば、鉄道の営業経費の内訳は各社によって多少の差は見られるものの、概ね保守費21～30%、運転費12～14%、運輸費30～34%となっている²⁾。これらの経費に占める人件費の割合は、運輸費については30%程度であるが、保守費と運輸費では50%を越すものとなっており、全体として保守に多くの人手を要していることが窺われる。また、これらの経費および人手の削減の観点からみると、運輸費や運転費が技術の開発要素が比較的少ないのに対し、メンテナンスは作業形態が他職種、他産業に比べて遅れているほか、本来的に技術開発要素を多く含んでおり、改善余地が大きい。

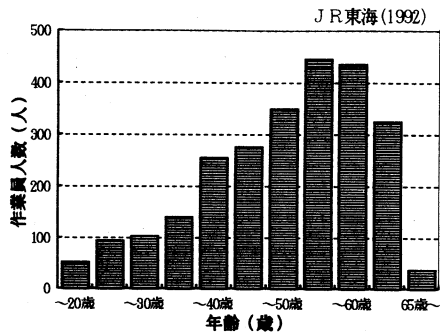


図-2 保守作業員の年齢構成³⁾

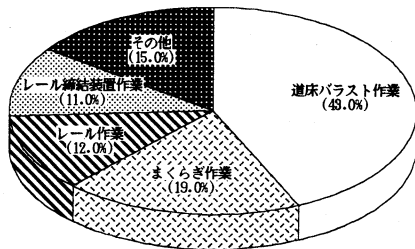


図-3 在来線における軌道保守作業の内訳

長大な地上設備を有し、保守作業の中でも特に多くの保守を要する線路関係の平均的な人工の内訳を示したのが図-1である。これから明らかなように、軌道保守および検査に多くの人手を要しており、これらの削減がポイントとなる。次に、図-2³⁾は東海道新幹線の保守に携わる保守作業員の年齢構成を示したもので、この図から高齢化が進んでおり、特に若者の保線離れが顕著である。

図-3は大都市圏の在来線における軌道保守作業の内訳を示したもので、最も多いのが道床バラスト作業の43%、以下まくらぎ作業、レール作業、レール締結装置の順である。これから、保守の省力化を図るには、道床部分を改善することが必要である。

3. B型舗装軌道の概要

既開発の省力化軌道のうち最も実績のあるB型舗装軌道⁴⁾は、開業後数十年を経過して路盤の圧密沈下やバラストの路盤へのめり込みが完了している営業線において、レールを破線しないで敷設することを目指して開発された。構造は図-4に示すとおりで、LPCと呼ばれる大版まくらぎの採用と加熱溶融した特殊アスファルト（以下PTACと略称）をバラスト中に注入して道床バラストの結合力を強化し、道床圧力および振動を軽減することで沈下抑制を図っている。また、雨水遮断のため表層を常温型アスファルトで舗装している。軌道に沈下が生じた場合には、レール締結装置（高低調整量+50mm）で調整することを基本的な考え方としている。

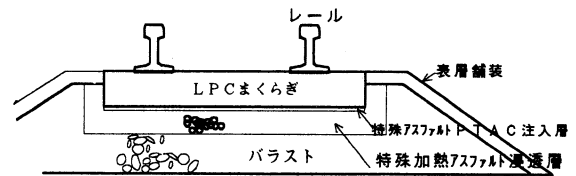


図-4 B型舗装軌道

4. 既設舗装軌道の調査結果

既設舗装軌道の現状と問題点を明らかにするため、1989年に山手線、常磐線、京浜東北線、総武線など首都圏の10カ所で現場調査を実施した。これらの軌道は1975～1979年に敷設され、約10年が経過していたものである。

調査の結果を要約すると、全般に保守量は少なく、省力化効果は顕著である⁵⁾。しかし、排水処理が悪くて噴泥を生じた箇所があるほか、表層アスファルトの劣化およびLPCまくらぎとの間で目地切れが多く認められた。また、レール継目部および有道床軌道との接続部の軌道状態は一般部と比べて悪く、LPCが前後に移動した箇所もあった。盛土区間の沈下は概ね30mm以内に収まっている反面、高架橋上においても不同沈下を生じている箇所があった。

引き続き2箇所の敷設箇所において、一部のLPCを撤去し、注入材の施工状況を確認するとともに、各軌道構成材料を採取し分析を行った。その結果、PTACのバラスト内注入厚さは60～150mmで、設計値120mmと比べて注入量不足の箇所が見られたのははじめ、注入施工時にPTACが側方に流出した形跡が認められた。しかし、採取したPTAC層については、アスファルトの各種材料試験（針入度、軟化点、粘度、圧縮強度、弾性係数および密度等）を実施した結果、動粘度、圧縮強度および弾性係数が施工時と比べて若干大きくなっている以外には、いずれも規格値を満足していた。従って、経年による劣化はほとんどないと判断された。

次に、表層アスファルトについては空隙率が大きく、雨水遮断の役割を果たしていないこと、LPCに吊上げ用インサート孔がないため補修および撤去時の取扱いが不便であること等も明らかになった。

また、土路盤上の敷設箇所から採取した土層の下バラストの分析結果によれば、全般に土砂混入が多く（図-5）、沈下の顕著な箇所では道床バラストの適正粒度範囲を外れたものも見られた。

さらに、舗装軌道に沈下を生じた箇所の路盤調査結果によれば、バラストのめり込んだ路盤面の支持力 K_{30} 値（半径30cmの載荷板を用いた平板載荷試験

表-1 B型舗装軌道の10年後調査結果

良好な点		問題点	
省力化	全般に保守量少なく、省力化効果が顕著。	施工性	・強度発現が遅い。 ・注入厚の管理困難。 ・労働安全上の危険性あり。
材料耐久性	10年経過後の注入材PTCAMの物性変化なし。	構造	・目地切れ発生多い。 ・表面含む排水性悪い。
強度	道床横抵抗力が大。	路盤	・支持力等の適用条件が確立されていない。
		工費	・注入材、LPC材料費高い ・夜間作業のため割高。
		その他	・レール継目、EJ付近に変状多く、補修法が未確立。

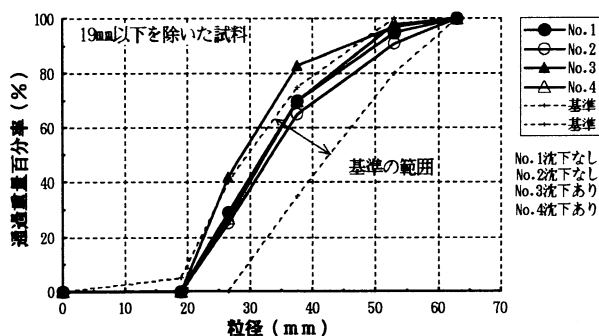


図-5 バラスト粒径加積曲線

値)は70MPa/m以上あるが、その下の路床面では40MPa/m以下であった。一方、沈下がほとんどない箇所の K_{30} 値は路盤、路床とも70MPa/m以上を示した。

以上の調査結果をもとに従来のB型舗装軌道の問題点を整理した結果を表-1に示す。

5. 敷設に伴う舗装軌道の改良と特性試験

(1) 実用化のための候補選定と検討事項

1970年代の山手線における舗装軌道の施工は京浜東北線との並行区間であり、線路変更によって約7時間の作業間合いが確保できたが、今後の大量敷設の前提条件としては、3時間弱の夜間間合いで施工することが要請された。したがって、養生1時間でてん充材の所要強度を発現させる必要がある。

図-6はB型舗装軌道のPTAC温度と強度の関係を示したもので、旧国鉄の規格値は40℃で0.065MPa以上を満足することが定められていた。一方、図-7はPTAC注入後の温度下降測定状況を示したもので、規格値の確保される40℃に達するまでに2時間以上を要することが分かる。また、この材料と施工法では注入厚の管理が困難で、不安定な浸透層を形成する可能性が高いこと、PTACが高温なため労働安全上危険が伴うこと、コストが高いこと等が大きな課題と考えられた。以上から、B型舗装軌道を採用するのは問題点が多いと判断された。

一方、1983年に図-8に示すE型舗装軌道のプロトタイプ⁶⁾が国鉄鉄道技術研究所によって提案され、

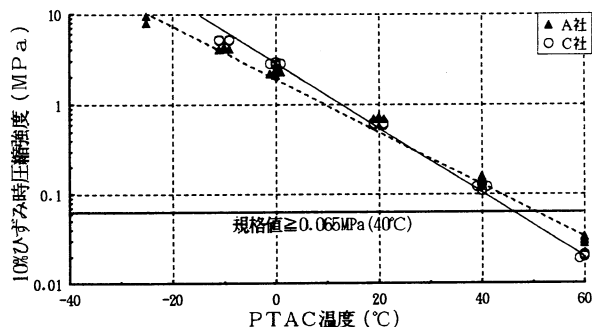


図-6 PTAC温度と圧縮強度の関係

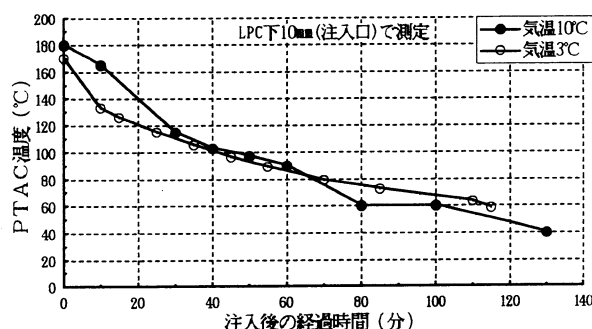


図-7 PTAC注入後の温度下降測定例

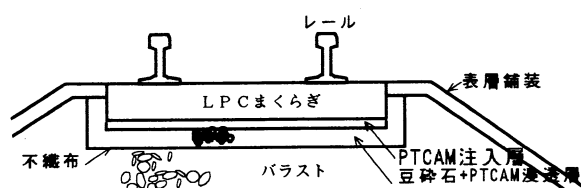


図-8 E型舗装軌道プロトタイプ

実験所レベルの試験が終了していた。この軌道の特徴は、注入材を加熱アスファルトから常温型の超速硬セメントアスファルト系複合材（以下PTCAMと略称）に変更して注入の容易さおよび早期強度の確保を図るとともに、型枠代わりに不織布を用いて注入厚管理を容易にした点にある。2～3年後に山手線へ適用する省力化軌道としては、当面この軌道が最有力候補と考えられた。

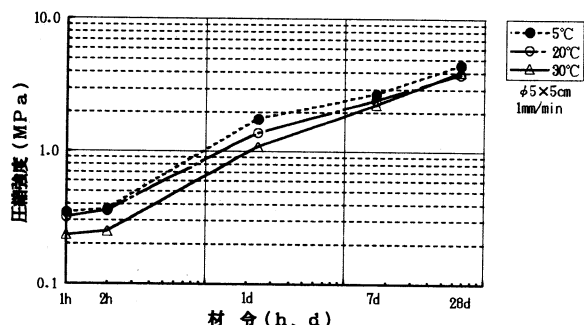
そこで、著者らは実際に大都市圏において本格的導入を図るため、てん充材の改良、軌道構造の基本的特性に関する検討、急曲線における安全性、適用路盤条件の明確化などの現場敷設を前提とした実用化に関する以下のような検討を行った。

(2) てん充材の改良とその特性

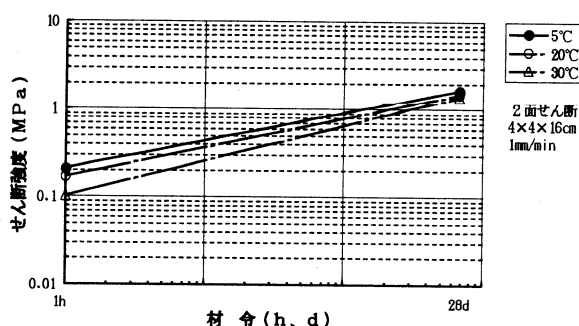
E型舗装軌道用のてん充材として最初に開発されたPTCAM⁷⁾は、従来のPTACと比較して常温施工が可能となり、浸透性が良好で、早期強度の発

表-2 P T C A Mの配合(kg/cm³)

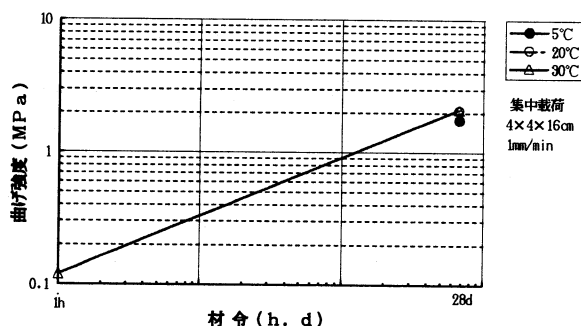
普通セメント	アスファルト乳剤	ポリマー	細骨材	添加水	凝結調整剤	急硬性混和材	消泡剤	アルミニウム粉末
299	458	100	398	120	5.98	100	0.398	0.012



(a) 圧縮強度と材令の関係



(b) せん断強度と材令の関係



(c) 曲げ強度と温度の関係

図-9 P T C A Mの材料特性

現が速やかで、硬化物の感温性が小さく、耐衝撃性に優れている点が特徴である。この材料の配合は、ジェットセメント、アスファルト乳剤、ポリマー、細骨材、水、ジェットセッター、消泡剤およびアルミニウム粉末から成り、種々の材料試験の結果、常温施工の条件で1時間強度が0.14MPa、28日強度が3.85MPa程度の強度特性を有するものであった。

山手線における敷設には当初このタイプが適用されたが、厳冬期における施工では1時間で所要強度の発現が困難であった。そこで、施工性と急硬性の更なる向上および低廉化を図るため、気温-5℃前後の施工条件でも所要強度を満足に発現し、かつポンプ圧送が可能な表-2に示す現行タイプを開発した。

この現行タイプは、わが国独自開発（国内外で特許）によるもので、気温-5～40℃の年間を通じての施工において、コンシステンシー（Jロートのフロータイム=6～8秒）と可使用時間（5～30分）を保持した後、材令1時間の圧縮強度が0.2MPa以上となり、列車走行に耐える強度を十分に確保できる。

材料強度特性試験結果の一例を図-9(a)～(c)に示すように、P T C A Mは温度の高い方が圧縮強度はやや低く、30℃の場合の1時間強度は0.230MPa、28日強度は4.00MPaを示す。せん断強度についても同様に温度の高い方が強度は低く、30℃の場合1時間強度は0.10MPa、28日強度は1.60MPaを示す。曲げ強度についても同様な傾向で、30℃の場合1時間強度は0.12MPa、28日強度は2.10MPaを示す。

この試験結果から、P T C A Mの材令28日におけるせん断/圧縮、曲げ/圧縮の強度比はそれぞれ40、50%であり、一般のセメントコンクリートの約20%と比較して約2倍である。また、実際の荷重に対応する静的変形係数は約200MPaで、概ね2桁ほど小さい値を持ち、応力～ひずみ曲線は非線形の粘弾性体特性的な挙動を呈する等の特徴を有している。

これにより、3時間間合いで軌道延長45m程度の注入を行い、養生1時間後に初列車を安全に支持できる構造実現への要請に応えることが可能となった。

(3) 軌道構造の基本的特性に関する力学的検討

舗装軌道の沈下は敷設される路盤の支持条件によって影響されるが、従来その適用条件は明確ではなかった。そこで、支持条件、軌道材料および軌道構造が舗装軌道の基本的特性に与える影響を明らかにするため、以下のような力学的検討を行った。

a) 高架橋上における応力解析

高架橋上の舗装軌道を想定して、図-10に示す解析モデルを用いて軌道の変位・応力解析を行った。計算には60kgレール、軌道パッドばね係数=20～80 MN/m、P T C A Mの支持ばね定数=700MN/m³、まくらぎ間隔=83.3cm、輪重=88.2kNを前提とした。

図-11はL P Cの大きさと軌道パッドばね係数が軌道に与える影響について計算した結果を示したもので、現行のまくらぎ幅73.3cmの場合、P T C A Mに生ずる圧縮応力は0.07MPa程度である。この値は図-9に示した1時間圧縮強度の約1/3である。また、軌道パッドのばね定数を小さくすればレール上下変位は増加し、荷重分散が良くなることからレール圧力およびP T C A Mの圧力が減少することが分かる。

b) 土路盤上における応力解析

土路盤上に舗装軌道を敷設する場合を想定し、図-12に基づく有限要素モデルを用いて、表-3のケー

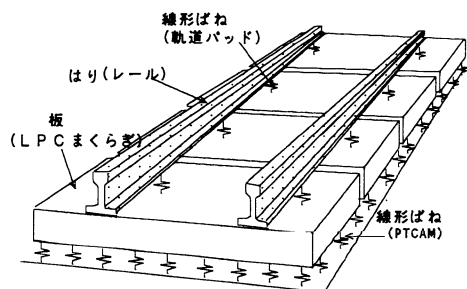


図-10 解析モデル 1

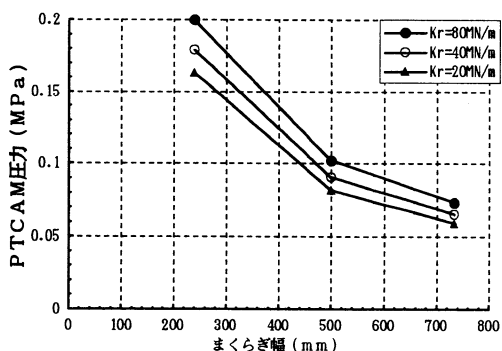
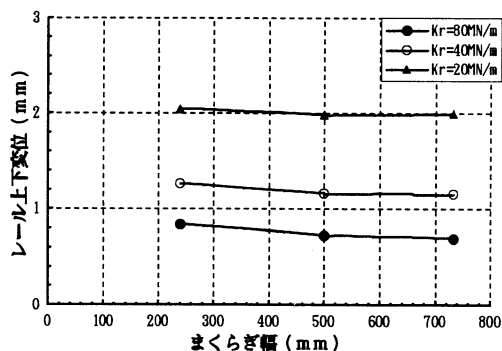


図-11 まくらぎ幅と軌道バッド弾性が軌道特性に及ぼす影響

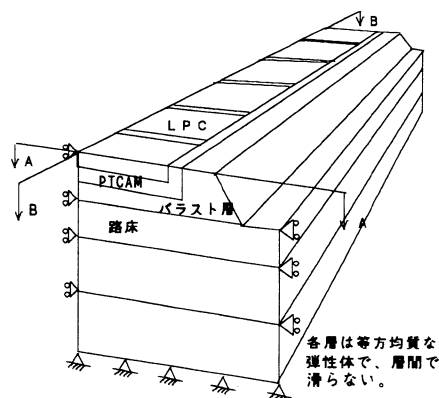


図-12 解析モデル 2

スについて二次元弾性応力(平面ひずみ)解析を行った。図-13および図-14は変位応力の計算例を示したもので、高架橋上のように路盤が堅固な場合には当然ながら変位も小さく、垂直圧力の最大値はレール直下に発生するが、土路盤上の場合には、まくらぎ

表-3 計算ケース

下部構造	路盤K30値 (MPa/m)	路盤弾性係数 E(MPa)	断面A-A		断面B-B	
			注入厚80mm	注入厚270mm	注入厚80mm	注入厚270mm
土路盤上	200	48	CASE1	CASE4	CASE7	CASE10
	110	26	CASE2	CASE5	CASE8	CASE11
	70	17	CASE3	CASE6	CASE9	CASE12
高架橋上	コンクリート	20000	CASE101	CASE102	CASE103	CASE104

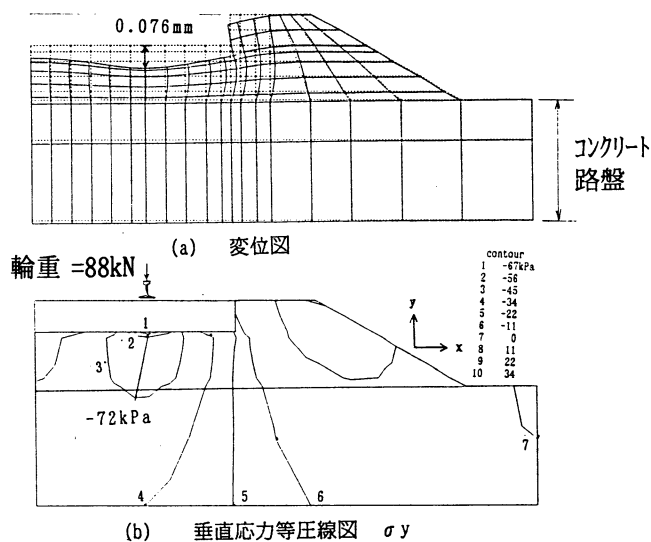


図-13 高架橋上舗装軌道の計算例(CASE101)

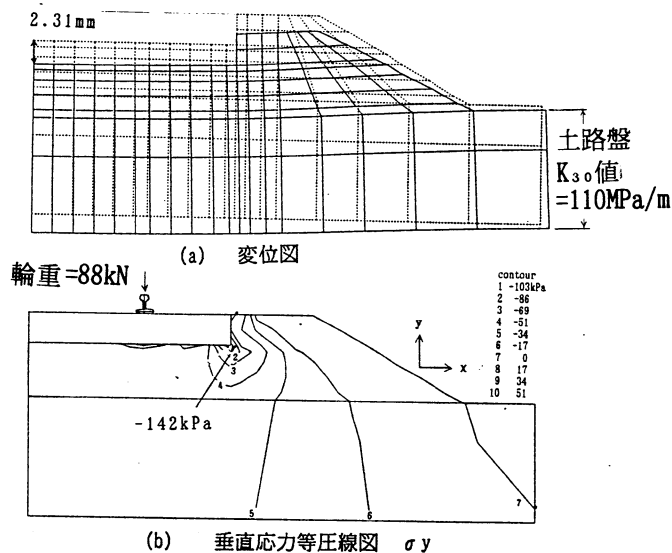


図-14 土路盤上舗装軌道の計算例(CASE2)

端部下付近に局所的な応力が発生することが分かる。

図-15は各層の応力分布計算値を示したもので、垂直応力およびせん断応力の最大値はまくらぎ直下付近に発生するが、曲げについてはPTCAM下面に最大引張応力が発生し、いわゆる板作用をしていることが分かる。K₃₀値が70MPa/mの場合(case3)の垂直応力はσ_y=-147kPa,せん断応力はτ_{xy}=43kPa,

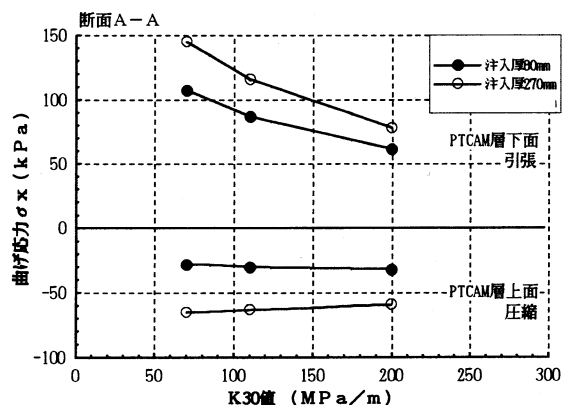
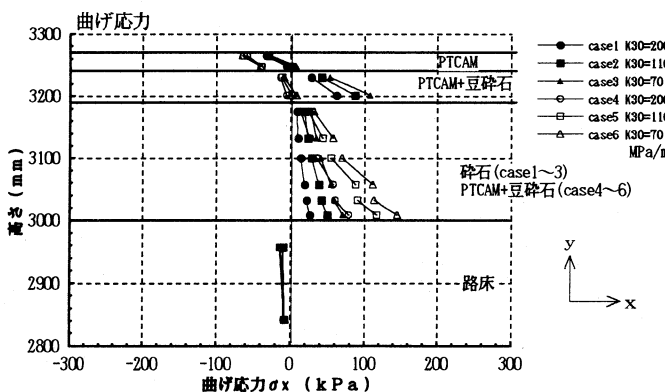
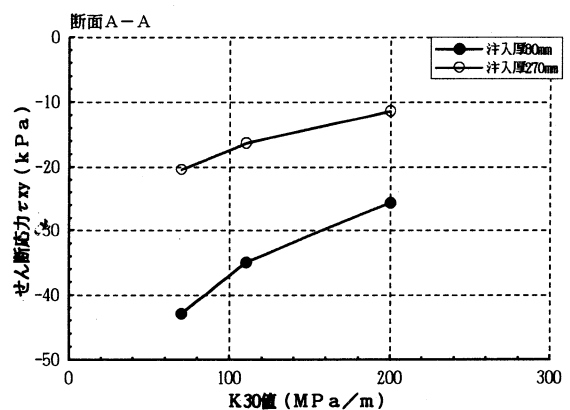
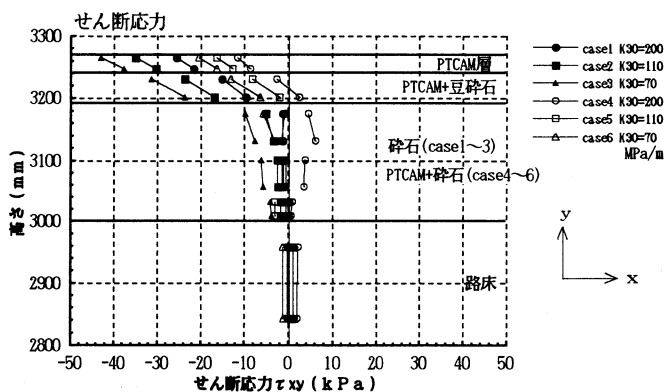
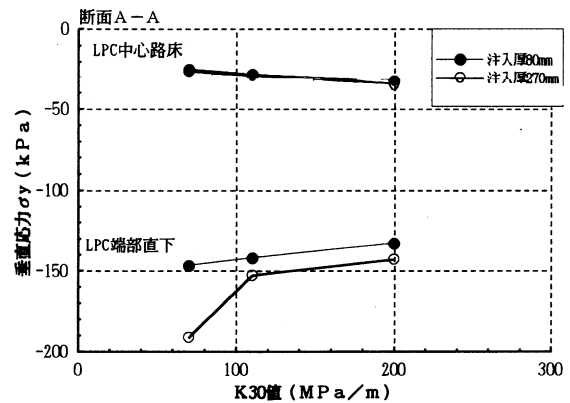
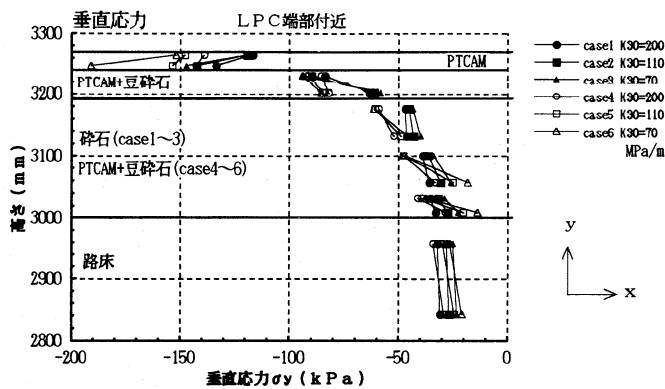


図-15 応力分布計算結果 (A-A断面)

図-16 K30値が軌道特性に及ぼす影響 (A-A断面)

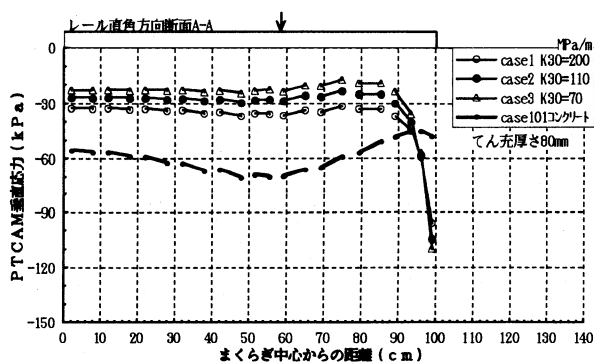


図-17 PTCAM垂直応力分布 (まくらぎ下圧力)

曲げ応力は $\sigma_x = 108 \text{ kPa}$ であるが、図-9に示したように 30°C における1時間圧縮強度は $\sigma_y = -230 \text{ kPa}$ 、

せん断強度は $\tau_{xy} = 100 \text{ kPa}$ 、曲げ引張強度は $\sigma_x = 120 \text{ kPa}$ で、いずれも計算値より大きく安全側にある。さらに、PTCAM下面の不織布によって引張に抵抗すること、初列車の軸重は小さいこと等から軌道として成立するものと判断された。

図-16はA-A断面に関する解析から K_{30} 値と軌道特性との関係を示したもので、 K_{30} 値が小さくなると注入厚に関わらずPTCAMの各応力絶対値は増加する。また、PTCAM厚さが増加すると σ_x 、 σ_y の絶対値は増加するが、 τ_{xy} 絶対値は減少する。

図-17はA-A断面に関するPTCAM圧力(まくらぎ下圧力) σ_y を示したもので、コンクリート路盤上においてはレール直下に最大値は発生し圧力

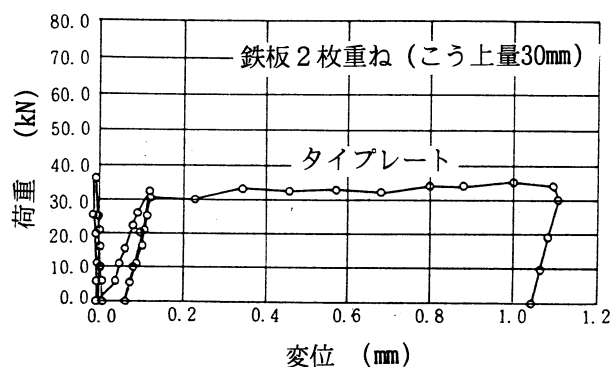


図-18 タイプレートの横方向荷重試験

変動は少ないが、土路盤上の場合にはまくらぎ端部に局部的に大きな圧力が発生することが分かる。

c) まとめ

以上の結果を総合すると、土路盤上にE型舗装軌道を敷設する場合、 K_{30} 値が70MPa/m程度であれば、PTCAM注入の養生1時間後に列車走行に供しても安全上問題はないと判断された。

(4) レール締結装置の検討¹⁾

従来の舗装軌道用レール締結装置⁴⁾は分離したL形の横圧受け金具を各2本のTボルトで締結する構造となっている。この構造は有道床軌道から舗装軌道へ更替する際にレール面高さを低くできること、レール種別の変更に対応できること、調整量が多いこと等の長所を有しているが、横圧受け金具の構造上、急曲線での横圧に対する抵抗力に余裕がない。そこで、急曲線対応のレール締結装置について以下のような具体的検討を行った。

a) 基本構造

レール締結装置の耐横圧強度を増加させるにはタイプレート方式が有利であるが、新たに舗装軌道用として新型レール締結装置を設計することは不経済であるため、耐横圧強度が十分とれる4本ボルト使用の弾直軌道用レール締結装置(II型、急曲線用)⁸⁾を用いることを提案した。実際に山手線では、これを基本としてバンドロールクリップが使用された。

b) 現場施工に伴う検討

舗装軌道への更新工事は、原則として終列車から翌日の初列車までの夜間間合いで行われる。施工時間が短い場合にはLPCの更替後、その間合いでてん充材を注入することが困難なため、てん充材注入までの1～数日間、タイプレート下面に鋼板を挿入した仮設状態で徐行列車を通過させる工法が考えられた。鋼板によるこう上量はスラブ軌道では従来20mmが限度とされてきたが、本工法では約30mmのこう上量が必要とされた。そこで、同形式の2本ボルト

表-4 試験ケース

ケース	軌道構造	路盤の K_{30} 値(MPa/m)	
		計 画	実 測
A	舗装軌道	40	45
B	舗装軌道	70	68
C	舗装軌道	110	104
D	有道床軌道	70	69

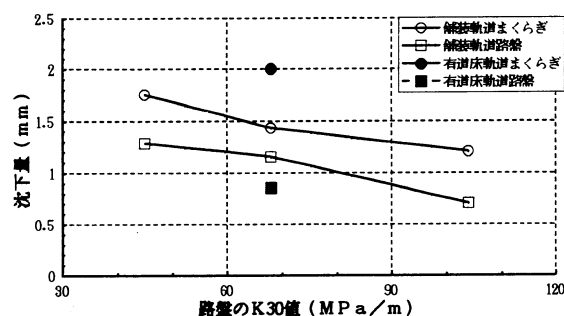


図-19 静的荷重試験結果⁹⁾

用タイプレートの下面に鋼板を挿入した状態で横方向抵抗力試験を行った。試験の結果、標準締結(鋼板なし)における水平抵抗力が約60kNであったのに対し、こう上量20mmでは約45kN、30mmでは約30kNであった(図-18)。4本ボルトの場合には2本ボルトと比べてタイプレートの押さえ力が2倍になること、実際の列車走行時には輪重による押さえ力が作用することから、こう上量が30mmの場合でも60kN程度の水平抵抗力が期待できる。ちなみに急曲線部における徐行列車による最大横圧がA荷重(60kN)程度とすればレール横圧力(レール締結装置1箇所当たり作用する力)は48kN程度である。

以上の結果、仮軌道状態においてタイプレート下に挿入する鋼板の厚さは、長さの十分な4本ボルトを採用すれば最大30mmまで可能であると考えられ、本工法が1990年度以降採用された。

(5) 舗装軌道の沈下特性試験^{1) 9)}

舗装軌道を現場に敷設する場合の路盤条件を検討するため、鉄道総研内の総合路盤試験装置を用いて実物軌道による繰返し荷重試験を実施した。試験のケースは路盤の K_{30} 値が40、70および110 MPa/mのE型舗装軌道と、比較のための有道床軌道(K_{30} 値=70MPa/m)の4種類とした(表-4)。試験に用いた路盤材料は稲城砂であり、上記の K_{30} 値を得ようケース毎に転圧回数を決定したうえで路盤を構成した。試験軌道に対し、静的荷重試験(輪重88kN)および動的荷重試験(周波数11Hzの正弦波にて49±39kNの動的輪重を150万回繰返し荷重)を行った。

静的荷重試験における K_{30} 値と軌道各部における

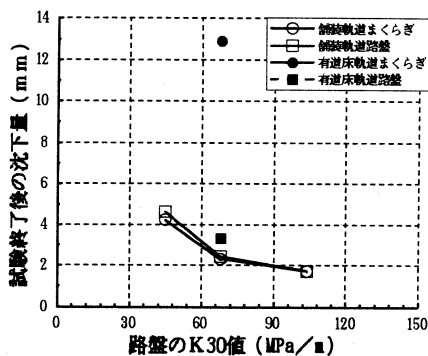
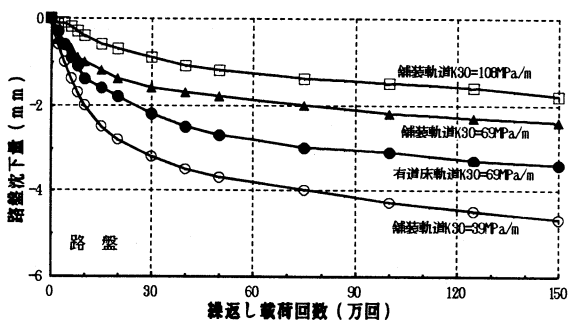
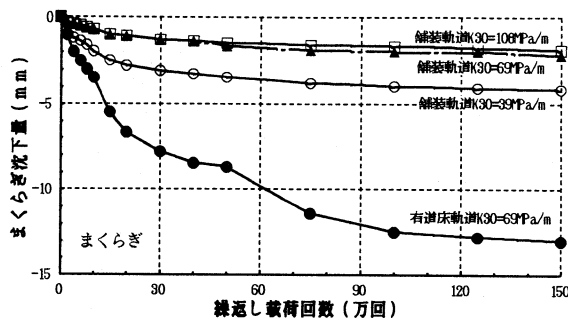


図-20 動的荷重試験結果⁹⁾

沈下量との関係は図-19のとおりで、まくらぎ、路盤とも K_{30} 値が小さいほど沈下量は大きく、軌道部分の圧縮量は路盤の K_{30} 値によらずほぼ一定である。

動的荷重試験における繰返荷重回数と各部の累積沈下量との関係は図-20のとおりで、舗装軌道はいずれも有道床軌道と比べて沈下量が小さい。 K_{30} 値が小さいほど路盤の沈下量も大きい、同じ値であれば有道床軌道の方が路盤変位も大きい。

各軌道の試験終了後のデータによれば、舗装軌道の累積沈下量は K_{30} 値が 70MPa/m を下回ると急激に大きくなる傾向を示している。これらの試験結果および過去におけるバラストの路盤へのめり込みに関する調査結果等から総合的に判断すると、既設線に舗装軌道を敷設する場合の路盤条件として、路盤の K_{30} 値は 70MPa/m 以上必要であり、望ましくは 110MPa/m 以上とすべきことを提案した。

(6) 実用型舗装軌道の提案

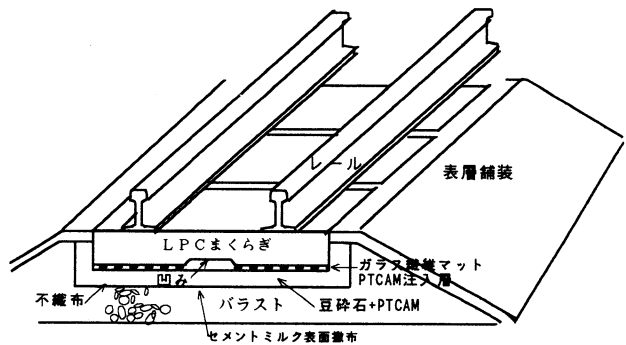


図-21 提案した改良E型舗装軌道

前述の検討結果を踏まえ、今後本格的な導入を図るためには軌道構造、施工性および経済性を考慮して、さらに次のような改良が必要と考えた。

- 可動区間、レール継目等で LPC が移動した箇所が見られたことから、LPC 下面に凹部を設けて水平抵抗を向上する。
- LPC 下面のてん充層にガラス繊維マットを挿入することで、てん充材の耐衝撃性の向上を図る。
- 施工時に下バラストを乱すことが初期沈下の原因となることから、貧配合のセメントミルクをその表面に散布する等の強化策を施す。
- 急曲線におけるレール締結装置についてはタイププレート式を基本とする。
- 表層アスファルトの遮水機能を向上させるため、加熱アスファルトコンクリートに変更する。
- 必要に応じ、騒音低減のため、表層アスファルトを省略し、バラスト類を撒布する。

以上を総合して、図-21に示す実用型舗装軌道の改良案を提案した。

6. 山手線における性能確認試験

1989～90年度に山手線の代々木～原宿間に敷設された E 型舗装軌道について、1991～92年度に列車走行に伴う各種性能確認試験を実施した¹⁰⁾。測定結果は図-22～図-26に示すとおりで、最大輪重は混雑時で 77.7kN、閑散時で 59.6kN であった。この結果、山手線の初列車の輪重としては最大 60kN 程度を考慮すればよいことが明らかになった。また、レール変位、LPC 変位および路盤変位の各最大値は、1.1mm、0.77mm、0.45mm であった。ここで、レールおよび LPC 変位は基準杭からの相対変位であり、路盤変位を加えた変位が概略の絶対変位となる。これらの値は鉄道総研内試験 (図-19) の $K_{30}=110\text{MPa/m}$ に近い結果となった。なお、原点回帰として求めた軌道ばね係数 (輪重/レール上下変位) は 55MN/m、輪重分散率 (レール圧力/輪重) は、約 47% を示した。

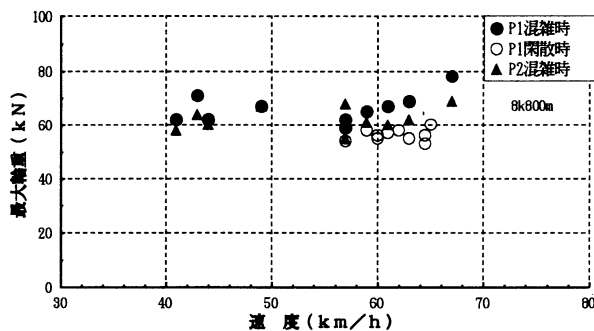
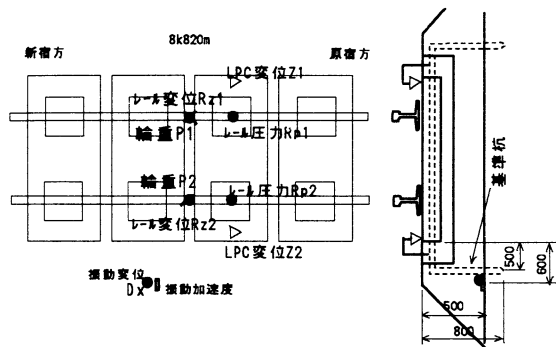


図-22 速度と輪重最大値の関係

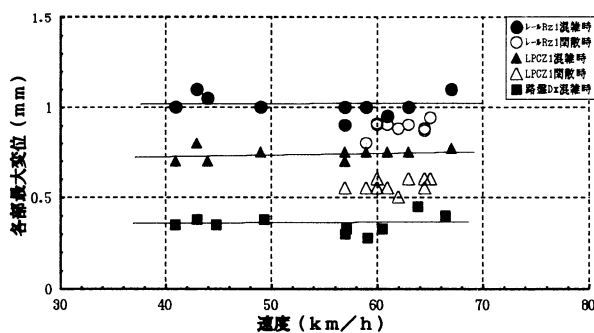


図-23 速度と各部最大変位の関係

この他に、横圧に対するタイプレート左右変位は0.02mm弱で急曲線部でも問題ないこと、LPC表面応力の最大値は1.4MPaで、まくらぎ有効プレストレス2.6MPaを下回って問題ないことを確認した。

一方、このような新軌道を本格的に導入するには振動騒音への影響についても把握しておく必要がある。別途行った試験によれば、当初敷設した舗装軌道は、従来の山手線における有道床軌道と比べて騒音が若干増加することが知られた。これは、舗装軌道ではコンクリートまくらぎの面積が増加し、周囲がアスファルト舗装となることから、バラストによる吸音性が失われたと考えられた。そこで、軌道面に吸音特性の優れたリサイクル材（家庭ごみの焼却残さを再生した製品で、ガラス、陶器および骨材から成る）を約100mm撒布した結果、騒音レベルで3dB(A)程度低下することを確認した（図-27）¹¹⁾。

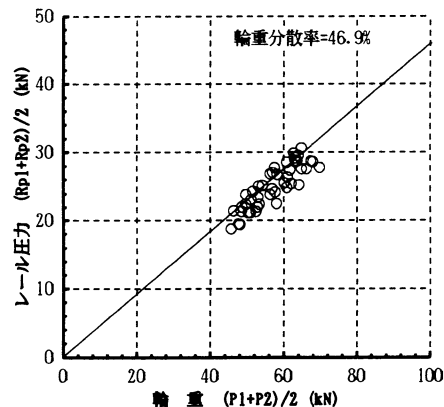


図-24 レール圧力と輪重の関係

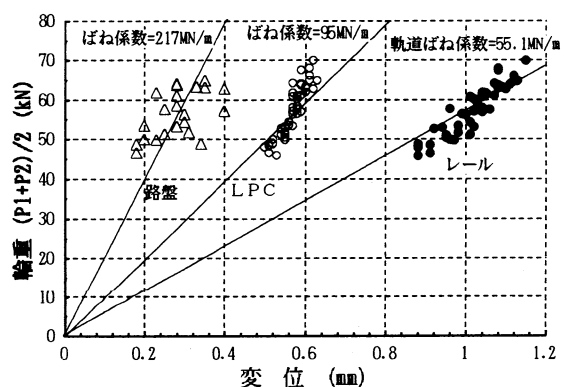


図-25 輪重と各部変位の関係

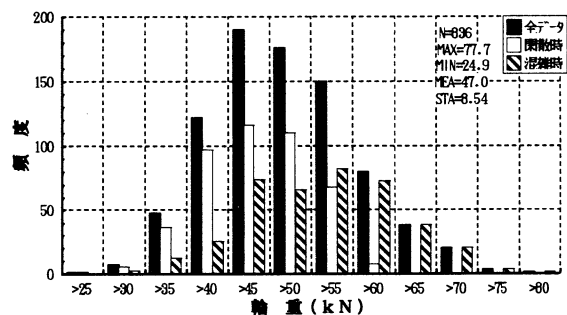


図-26 輪重の頻度分布

また、振動については、舗装軌道と同様な断面を持つ枠型軌道の振動レベルを測定した結果、有道床軌道とほぼ同等であることが明らかになっている¹²⁾。

なお、敷設後の現地追跡調査によれば、E型舗装軌道の沈下速度および軌道狂い進みは、有道床軌道に比べて期待通り小さい（約1/5）ことが確認されつつある¹³⁾。

7. 結 論

1989年以降2～3年後を目途に大都市圏において本格的に敷設されることを目標として、新たな省力

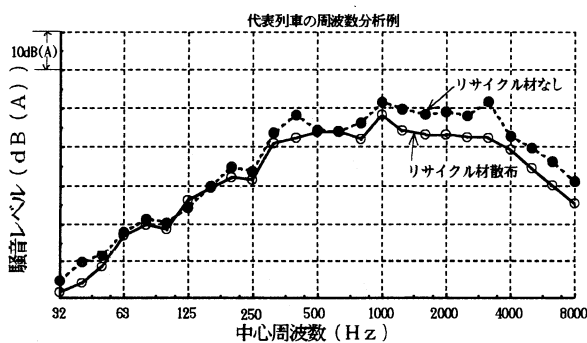
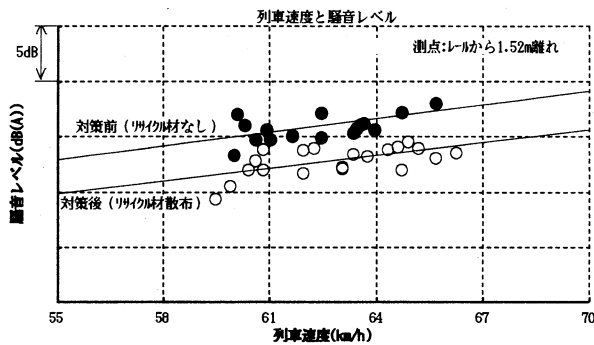


図-27 リサイクル材の騒音低減効果¹⁾

化軌道の開発・実用化を進めた。軌道の候補としては、従来最も経験があり、レールの破線施工を必要としない舗装軌道に着目し、既設箇所の現場調査の結果等をもとに問題点を明らかにした。これをもとに、軌道の変位やてん充材に要求される強度、急曲線区間への適用に関する検討などを行い、舗装軌道の改良型・実用化構造を提案した。

これらの結果を基に1990年度以降山手線において軌道敷設が行われており、1995年度末でE型舗装軌道の施工延長は約2.5kmである。なお、敷設半年経過後に、列車走行に伴う軌道性能試験を行った結果、ほぼ所要の性能を有していることを確認した。

これによって、山手線へ本格的に省力化軌道を導

入するという当初の目的はほぼ達成したと考えている。ただし、今後さらに敷設延長の拡大を図るためには更に低廉化が要求されることから、継続的な研究開発を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 安藤勝敏, 須長誠, 熊崎弘, 関根悦夫, 堀池高広: 既設線省力化軌道の開発・実用化, 鉄道総研報告, Vol16, No.6, pp.9-18, 1992-2.
- 2) 三浦重: 今後のメンテナンスと技術開発, JRガゼット, 1993-11, pp.24-26.
- 3) 山口善久: 保線の現在と未来-JR東海-, 新線路, pp.4-7, 1992-5.
- 4) 有道床軌道保守省力化グループ: 舗装軌道の開発, 鉄道技術研究報告 No.862, 1983-3.
- 5) 伊勢勝巳, 久保隆男, 安藤勝敏, 小関昌伸: P Cマクラギ舗装軌道の開発, 土木学会第46回年次学術講演会概要集, IV-37, pp.84-85, 1991-9.
- 6) 爪長徹, 多田逸雄: E型舗装軌道の開発試験, 鉄道技術研究所速報 No.A-83-56, 1983-5.
- 7) 長藤敬晴, 多田逸雄, 爪長徹: E型舗装軌道用注入材 P T C A M の物性, 鉄道技術研究所速報, No.A-85-63, 1985-3.
- 8) 梅田静男, 熊崎弘: 弾性まくらぎ直結軌道 (B型) 用締結装置の設計・試験, 鉄道技術研究所速報 No.A-85-38, 1985-3.
- 9) 関根悦夫, 須長誠: 土路盤上における舗装軌道の載荷試験, 土木学会第47回年次学術講演会概要集, IV-191, pp.418-419, 1993-9.
- 10) 小関昌信, 安藤勝敏, 関根悦夫: E型舗装軌道の営業線敷設試験, 土木学会第47回年次学術講演会概要集第4部, pp.786-787, 1992-9.
- 11) 明圓桂一, 安藤勝敏, 半坂征則, 小西俊之: スラブ軌道用吸音材料の検討 (その2), 土木学会第50回年次学術講演会概要集第4部, pp.588-589, 1995-9.
- 12) 小関昌信, 小池吉博, 小西俊之, 原田彰久: スラブ軌道の営業線敷設試験 (その2), 土木学会第49回年次学術講演会概要集第4部, pp.588-589, 1994-9.
- 13) 小西俊之, 小山弘男, 小関昌信: 土路盤上省力化軌道の軌道沈下調査, 土木学会第50回年次学術講演会概要集第4部, pp.584-585, 1995-9.

Development and Practical Use of Paved Track for Revenue Line

Katsutoshi ANDO Shigeru MIURA Makoto SUNAGA Etsuo SEKINE
Masanobu KOZEKI Kotofusa TAKAGI and Yutaka HARADA

In recent years, the destructive force acting on the ballasted track is on the increase with the speed-up of trains and the increase in the number of trains, requiring more labor and expenditure to maintain the track in good condition. On the other hand, it is increasingly difficult to obtain maintenance manpower, because Japan is quickly shifting to a society of elders, and people tend to hate tough works such as manual track maintenance work. Under these circumstances, the Paved Track which is to be laid during the midnight interval on existing line has been developed and improved in order to reduce the maintenance work of the ballasted track on subgrade. This paper describes the track structure and the results of the performance tests of this track.