

# 施設材料の研究開発に関する最近の動向

久保 俊一\*

## Recent Trend of Research and Development on Materials for Railway Facilities

Shunichi KUBO

The research and development on materials for railway facilities is as important as that on design and construction. The material technology contributes not only to high-efficiency, high-performance and high economical performance, but also to a low environmental load and energy saving. The introduction of new materials, such as nano-materials and superconducting materials, is essential for railway area to promote innovative changes in the railway facilities. The contribution of the material technology is expected in many researches and development fields of the railway facilities in the coming 20 years outlook.

キーワード：鉄道用材料，鉄道施設，新材料，高性能化

### 1. はじめに

鉄道を支える構造物，軌道，電気等の施設の機能向上，長寿命化，保守軽減のためには，設計施工技術の研究開発のみならず，そこで使われる材料自体の性能向上や劣化現象の解明，評価および抑制などの研究開発が必要である。さらに近年は地球環境問題への対応として，鉄道用材料への環境影響の低減が求められているほか，資源に関するリスクの考慮も必要となってきた。一方，材料分野では，エコマテリアル，インテリジェントマテリアル，ナノマテリアル等の新たな概念や技術の展開が進展してきている。本稿では，このような背景のもとでの鉄道施設材料に関する最近の研究開発について紹介し，今後の展望について解説する。

### 2. 鉄道各分野での施設材料に関する研究開発

鉄道総研での施設材料に関する研究開発は，①現に使われている材料の性能向上と損傷・劣化メカニズムの解明および評価方法，補修方法の開発，②現に使われている材料に代わる新たな材料の開発と導入，の2つを柱として進めている。表1では施設材料に関する最近の研究開発課題を研究開発の方向性ごと，適用分野ごとに整理した。表の新たな材料の開発・導入での件名の色付けは研究開発の現状を示す。青は既に実用しているあるいは実用化が進みつつある状況，緑は実用化に向けて試験等が行われている状況であることを示す。また赤は基礎的な研究開発が進められている状況を示す。

平成13年に省令（国土交通省令第151号）が従来の仕様規定から性能規定へと改正され，鉄道構造物においても性能照査型設計に基づいた設計標準への変更が進められている。これにより構造形式，材料，解析手法，架設工法等に自由度が生まれ，新たな材料や技術の導入が進展し，さらなるコスト削減，環境負荷軽減等が期待される。

#### 2.1 構造物分野

##### (1) コンクリート構造物

構造物の健全な使用と手間のかからない構造物の建造を目指し，コンクリートの様々な劣化現象の解明，調査・診断方法，評価手法，補修方法等に関する研究開発，および，新設構造物の品質向上に関する研究開発を進めている。

維持管理ではこれまで，水量指数法による水セメント比の推定，トンネル覆工コンクリートの劣化メカニズム，コンクリート電柱の劣化診断と維持管理，気温の影響を考慮した鉄筋腐食速度推定法などに取り組んできた。最近では，コンクリート構造物のアルカリ量測定手法の開発，コンクリート構造物内部の水分挙動の解明などに取り組んでいる。補修に関しては，ポリマーセメント系補修材によるコンクリートの効果的な補修方法のほか，最近ではセメント系補修材の耐久性評価，部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構，塩害抑制工法（SSI工法）の耐久性評価などに取り組んでいる。また，新設構造物の品質向上では，混和材を使用したコンクリートの中性化評価，コンクリートのひび割れに及ぼす骨材種の影響，コンクリート表層部品質の非破壊検査手法の開発などに取り組んでいる。上記の「アルカリ量測定手法」，「セメント系補修材の耐久性評価」，「部分断面補修箇所周辺

\* 材料技術研究部 部長

特集：材料技術

の鉄筋腐食機構」については次に示す。

アルカリ量測定手法の開発<sup>1)</sup>： アルカリシリカ反応 (ASR) による劣化抑制対策として、コンクリート中のアルカリ総量を 3.0kg/m<sup>3</sup> 以下に抑制する方法が用いられるが、アルカリ総量 3.0kg/m<sup>3</sup> 程度の領域でのアルカリ総量を的確に把握する方法は未確立であり、コンクリート試料をギ酸で溶解してアルカリ総量を求める手法を開発した。

セメント系補修材の耐久性評価<sup>2)</sup>： 補修材の耐久性評価は、従前から補修材単体で行われ、構造物へ施工後の補修箇所全体の耐久性を評価する指標がないため、コンクリートと補修材の界面に着目した耐久性評価手法を検討し、補修材施工の新たな品質評価の指標として界面での透水係数を提案した。

部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構<sup>3)</sup>： はく離・はく落した箇所を部分的に補修する断面補修による補修箇所周辺では鉄筋腐食による劣化事例が見られ、対策を要していたが、これらの劣化が非中性化域との間で生じるマクロセル腐食によるものであることを明らかにし

て、部分断面補修の効率的な施工法を提案した。

一方、維持管理や補修での新たな材料の開発・導入による課題解決の取り組みとして、ジオポリマー技術を利用した環境負荷低減コンクリートやアルカリ骨材反応抑制のためのリチウム含有ゼオライトの開発などがある。

ジオポリマーコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用せず、火力発電所などで発生する石炭灰を原料とする環境負荷の小さな材料で、化学的耐久性が高く、その配合と圧縮強度の関係も明らかとなっている<sup>4)</sup>。ジオポリマーコンクリートを使って PC まくらぎを試作した結果、試作まくらぎの耐荷力は JIS に規定された要求性能を満足した<sup>5)</sup>。リチウム含有ゼオライトは、カルシウム含有ゼオライトに代わり得る、アルカリ骨材反応 (ASR) の抑制効果がより大きな補修材として開発を進めている<sup>6)</sup>。

(2) 鋼構造物

材料自体に自己診断性、自己調節性などを持つインテリジェントマテリアルの一種として、導電性表面材料に

表 1 施設材料に関する最近の取組み

適用分野		評価・解析手法	新たな材料の開発・導入
構造物	コンクリート 構造物	[維持管理] ・コンクリート中のアルカリ量測定手法 ・コンクリート構造物内部の水分挙動の解明 ・トンネル覆工コンクリートの劣化原因判定	
		[補修] ・セメント系補修材の耐久性評価 ・部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構 ・塩害抑制工法 (SSI 工法) の耐久性評価	・リチウムゼオライト ASR 補修材
		[新設] ・混和材使用のコンクリートの中性化評価 ・コンクリートのひび割れへの骨材種の影響 ・コンクリート表層部品質の非破壊検査手法	・ジオポリマーコンクリート
	鋼構造物	・鋼橋のモニタリング	・き裂検知用導電性表面材 ・高耐候性鋼材の鋼橋への適用 ・制振・防錆機能を持つ鋼橋被覆モルタル
土構造物		・接着性防水シート ・ポリマー地盤改良材	
軌道	軌道構造	[軌道スラブ] ・寒冷地における軌道スラブの劣化原因評価	・ベントナイトライナーを用いた省力化軌道 ・短繊維補強コンクリート
		[軌道パッド] ・軌道パッドの動的挙動解析	
	レール	・転がり接触疲労の評価	・ベイナイトレール ・トラクション油 ・レール削正用砥石
電気	電力	・トロリ線の疲労特性評価 ・トロリ線の疲労強度向上	・PHC トロリ線 ・重腐食環境用電車線金具 ・超電導き電ケーブル
	信号	・軌道回路の短絡抵抗値と車輪/レール接触状態の評価	
環境	騒音・振動 低減		・レール防音材 ・発泡スチロールビーズを混合したソイルセメントによる振動遮断工
	環境影響評価	・LCA	

よる鋼橋のき裂の検出・評価に取り組んでいる。既なき裂発生検知用とき裂進展検知用のそれぞれに適した電気特性の塗料を開発し、実用に適した塗装系を提示した。最近、実構造物を模擬した試験体による評価試験や屋外環境に対する影響評価を行い、気象変動による抵抗値変化の補償法の考案、実構造物への施工での施工性、作業性、長期耐久性の確認を進めている<sup>7)</sup>。

### (3) 土構造物

これまで、地下構造物内部への漏水防止工法に適用され、局所的な損傷が生じても漏水の防止が可能なEVA樹脂（エチレン-酢酸ビニル重合体）が主体のコンクリート接着性防水シートを開発してきた。近年、シートへのコンクリートへの接着性向上のために接着層にシリカを含む特殊EVA樹脂を用いることにより、接着強度が大幅に向上した<sup>8)</sup>。

## 2.2 軌道分野

### (1) 軌道構造

車輪／レール間に作用する衝撃荷重は、振動・騒音や軌道破壊の要因となり、その対策として軌道パッド材質改良によるレール支持の低ばね定数化がある。衝撃荷重に対する軌道パッドの緩衝性能の評価では、定量的な評価法がなかった。そこで、新たに開発した衝撃実験装置を用いて軌道パッドへの作用力を測定し、緩衝性能を評価する方法を開発した<sup>9)</sup>。

そのほか、鉄筋コンクリートの代わりに短繊維補強コンクリートを用いた取換用軌道スラブ、粘土の一種であるベントナイトを用いた省力化軌道の路盤変状対策、などにも取り組んでいる。

### (2) レール

レール材料では、耐シェリング用として開発してきたベイナイトレールについて、長期の現地敷設試験の結果、その優位性が確認された。一方でレールのシェリング損傷や波状摩耗の抑制のためにレール削正が行われている。レール削正では、削正後のレール頭頂面に削正痕が形成され騒音が発生する場合があります。その防止には、削正車の移動速度を保ちつつ所要の削正量を確保できる削正性能の高い砥石材料が必要である。砥粒の種類、粒度、結合度などを変えて新たな砥石を開発し<sup>10)</sup>、より削正能力が高く、削正後のレール粗さが小さく騒音も少ないことを確認した。

車輪フランジ部とレールのゲージコーナー部の接触による摩耗防止用に散布される潤滑剤は、粘着係数を下げ空転・滑走の原因となることがある。摩耗防止と粘着係数の低下抑制のための潤滑油として、トラクション油の適用を検討した。トラクション油は通常の油より摩擦係数が高く、トルク伝達性能が高い。構内試験線の実車両でレールと車輪間に各種油が介在した際のブレーキ時の

減速度を測定した結果、試作油は現行油よりも減速度の低下を抑制できることを確認した<sup>11)</sup>。

## 2.3 電気分野

### (1) 電力

トロッコ線の耐疲労性向上策として、材質自体の改良のほか、断面形状を変更し同一の負荷における曲げひずみを低減する方法がある。現状と断面積を大きく変えず、しゅう動面側半径を同一のまま、曲げひずみを低減でき、横風に対する上下振動（ギャロッピング）特性も現状と同程度の断面形状のトロッコ線を試作し、定置試験装置でひずみ低減効果と施工性を確認した<sup>12)</sup>。

ハンガイヤーなど電車線路部材の損傷原因の多くは腐食である。重塩害環境での耐食性向上のために、アルミニウム青銅部材の試作と暴露試験および現地架設試験による評価を行い、アルミニウム青銅鋳物CAC703をベースとした低アルミニウム量、高ニッケル量の材質によるハンガイヤーは良好な耐食性を示した<sup>13)</sup>。

き電線への新しい材料の適用として、高温超電導線材によるケーブルの研究開発に取り組んでいる。在来線の直流電化区間はき電電圧が1,500Vで電流が大きいいため、変電所間隔が大きくなると送電ロスが顕在化する課題がある。き電線に超電導材料を適用できれば電気抵抗が無いため高い定格電流値が得られる可能性があり、変電所の数の削減も期待できる。当面1,500V、5kAまで通電できるケーブルを目指して開発を進めており、ビスマス系線材によるケーブルでの液体窒素温度下の通電試験で、導体部で1.72kA、シールド部で2.2kAの許容通電電流値が得られている<sup>14)</sup>。

### (2) 信号

軌道回路はレールを車輪で短絡するため、錆等による短絡不良が発生しやすい問題がある。車両の重量、車輪踏面の状態が変化したときのレールと車輪の接触抵抗の変化を調査し、軌道回路の短絡状態に影響する要因として、錆の厚さ、車輪踏面の表面粗さ、輪重、信号電流の大きさなどをあげ、各要因が定まった時のレールと車輪の接触抵抗を推定できるようにした<sup>15)</sup>。

## 2.4 環境分野

### (1) 騒音・振動低減

レール／車輪間で発生する転動音対策としてレール防音材の開発を進めている。既開発の一般区間用に加え、大きな騒音が発生する絶縁継目などのレール継目用の防音材を試作した。継目用防音材はグラスウールを無機質の多孔質吸音材で包み込む構造で、レール近傍にてレールと車両下部からの放射音を吸音する。実車両での効果確認では、付随車通過時では約2dB程度の騒音低減を確認した<sup>16)</sup>。

特集：材料技術

(2) 環境影響評価

新しい材料を鉄道に適用・導入する際には、これらの性能評価のみならず環境負荷の評価により、材料の製造、使用、保守、処分にわたるライフサイクルで環境負荷が低減しているか把握することが重要である。特に施設材料では、使用量が大きいことや、使用期間が長期にわたるものが多いことから、今後の研究開発においては、新材料導入の事前検討項目として性能評価、コスト評価に加え環境負荷評価が必要になると考えられる。

3. 今後の施設材料の研究開発の方向

鉄道総研では、平成22年度から5年間の「基本計画(RESEARCH2010)」や、20年後を見通した「リサーチマップ」を策定し、今後取り組むべき研究開発項目を示している。これらの項目のうち、施設材料に関わる研究開発によって進展が期待されるのは、沿線環境負荷軽減、省エネルギー、保守・建設の効率化、高速化(速達化)の各項目である。

「沿線環境負荷軽減」では、鉄道からの発生音の静音化で、新たな材料の適用やその組合せを用いた防音材・吸音材による低減対策技術の向上・革新により、脱アノイズ化が期待できる。

「省エネルギー」では、き電ケーブルの超電導化によりき電ロスの低減が期待できる。

「保守・建設の効率化」では、鉄道用材料の自己診断・修復技術の開発や、新たな材料の導入により保守量の大幅な低減、取替周期の大幅な延伸を実現し、保守の効率化を図りつつ信頼度も向上させることが期待される。また、車輪、レール材料の摩擦摩耗現象の解明による車輪・レールの摩耗形状の予測技術や、摩耗による形状変化の少ない部材の開発が期待される。

「高速化(速達化)」では、新たな材料を適用した防音材・防振材による高速化に伴う発生音、低周波音の対策技術の開発が期待される。

4. おわりに

鉄道施設材料へのニーズは、従来からの高効率・高性能、経済性、保守性の向上に加え、低環境負荷、騒音・振動低減など環境対応の重要性も増してきている。材料分野では、ナノマテリアル、ナノテクノロジーの展開が見られ、それらを適用した材料の制御、高性能化の試みが進みつつある。ニーズとシーズの動向を見極めながら、これからの鉄道施設への材料面からの貢献を継続的に行っていききたい。

文献

- 1) 鶴田孝司・上原元樹・水野清・松田芳範：骨材の影響を考慮した硬化コンクリートのアルカリ量測定手法の開発、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.149-154, 2010
- 2) 上田洋・工藤輝大・玉井謙：セメント系補修材の耐久性評価, 鉄道総研報告, Vol.24, No.8, pp.5-10, 2010
- 3) 飯島亨・工藤輝大・玉井謙：コンクリート構造物の部分断面補修箇所周辺における鉄筋腐食機構と劣化対策, コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.311-316, 2010
- 4) 上原元樹：ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.4, pp.41-46, 2008
- 5) 上原元樹：ジオポリマー法による環境負荷低減PCまくりの開発, 第245回鉄道総研月例発表会講演要旨, 2011
- 6) 上原元樹：Li含有ゼオライトを用いたアルカリシリカ反応抑制材料の開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.10, pp.5-10, 2011
- 7) 坂本達朗・鈴木実・井上健・長瀬良平・田中誠：導電性塗料を用いた疲労き裂検知手法の開発, 鋼構造年次論文報告集, Vol.18, pp.145-150, 2010
- 8) 矢口直幸・間々田祥吾・館山勝・楠戸一正：コンクリート接着性防水シートの改良, 鉄道総研報告, Vol.23, No.6, pp.16-21, 2009
- 9) 鈴木実：衝撃荷重下における軌道パッドの特性評価, 第233回鉄道総研月例発表会講演要旨, 2010
- 10) 兼松義一・佐藤幸雄：削正能力を高めたレール削正用砥石の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.8, pp.29-34, 2010
- 11) 曾根康友・鈴木淳一：トラクション油を適用した車輪/レール潤滑油の基礎検討, 鉄道総研報告, Vol.23, No.6, pp.29-34, 2009
- 12) 山下主税：トロリ線の疲労強度向上策, RRR, Vol.68, No.1, p.41, 2011
- 13) 片山信一・白木理倫：重腐食環境用ハンガイヤーの開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.4, pp.41-46, 2011
- 14) M. Tomita, K. Suzuki, Y. Fukumoto, A. Ishihara, M. Muralidhar: Next generation of prototype direct current superconducting cable for railway system, J. Appl. Phys., Vol.109, p.063909, 2011.
- 15) 福田光芳・板垣朋範・寺田夏樹：軌道回路の短絡不良要因と改善手法, 鉄道総研報告, Vol.21, No.11, pp.5-10, 2007
- 16) 間々田祥吾：レール継目用防音材の防音効果, 第245回鉄道総研月例発表会講演要旨, 2011