

施設材料に関する最近の研究開発

材料技術研究部
部長 久保 俊一

1. はじめに

鉄道を支える構造物、軌道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。本発表では、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. 施設材料に関する最近の研究開発

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では電力・信号などの電気関係以外の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。

なお、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(S S I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。

「アルカリ量測定手法の開発」： アルカリシリカ反応(A S R)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 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下に抑制する方法が用いられるが、アルカリ総量 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 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」： 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」： 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、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、普通セメントを使用しない軽量ジオポリマーコンクリートは化学的耐久性が高く、まくらぎなどの部材への適用を検討している。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。

(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、導電性表面材料による鋼橋のき裂の検出・評価に取り組んでいる。既に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。最近では、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。

(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い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。

2.2 軌道分野

(1) 軌道構造

レール/車輪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。

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ペ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、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。

2.3 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。

(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、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、脱アノイアンス化が期待できる。

「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。

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	[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	・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
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

(注) 網掛けは、今回の発表件名。