

鉄道施設用材料に関する最近の研究開発

材料技術研究部
部長 曾根康友

1. はじめに

鉄道を支える構造物、軌道、電力などの施設の機能向上、長寿命化、保守軽減のためには、設計施工技術だけでなく、使われる材料の性能向上や劣化現象の解明の研究開発が必要である。また、その進捗にあたっては評価・分析技術の向上も必須である。材料自体に関してはエコマテリアル、ナノマテリアルなどの新たな概念が現れており、それらの導入も研究開発の大きい部分を占める。さらに近年は、地球環境問題への対応として、生物多様性などの新たな概念に基づく評価軸の構築も求められる。本発表では、これらの背景のもとで進められている鉄道施設用材料に関する最近の研究開発の概要・成果を紹介する。

2. 施設用材料・評価技術に関する最近の取り組み

施設用材料・評価技術の研究開発において近年の対象となっているのは、上述の3分野に加え、沿線環境対策や環境影響評価である(図1・表1)。材料別の分類によると主にコンクリート、ゴム、樹脂、塗料、鉄鋼をはじめとする金属などであるが、き電ケーブルのシステム構築において超電導材料についても取り組みが進んでいる。



図1 鉄道施設用材料に関する最近の取り組みの対象

2.1 構造物分野

(1) イオン交換物質を利用したアルカリシリカ反応(ASR)抑制材料の開発

コンクリート内部のアルカリ成分によって発生するASRゲルが吸水膨潤することでコンクリート躯体にひび割れを生じさせるASRに対して、原因物質であるアルカリ成分を吸着して反応の進行を防ぐ抑制材料を開発してきた。吸着効果に加えて、ASR抑制効果が高いリチウムを放出する材料の検討を進め、原材料と製法の工夫により、低コストで作製できるLi-EDI型ゼオライトによる抑制材料を新たに開発した。この材料は現在使用されているカルシウムを放出するものより抑制効果が高いことを確認しており、これを主要成分とするひび割れ注入材の実用化を図っている。

表1 施設用材料に関する最近の取り組み例

適用分野		新たな材料の導入	新たな評価・解析手法
構造物	コンクリート構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・イオン交換物質を利用したアルカリシリカ反応抑制材料 ・ジオポリマーコンクリート ・接着性防水シート 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート構造物への水分浸透の影響評価 ・コンクリートの品質が水分浸透性状に与える影響評価 ・BS 微粉末を使用したコンクリートの中性化速度の評価
	鋼構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・き裂検知用導電性表面材 	
	土構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・のり面防護シート 	
軌道	軌道構造	<ul style="list-style-type: none"> ・ジオポリマー法による繊維補強短まくらぎ ・発泡ゴムによる低ばね定数パッドの低温特性向上 	
	レール	<ul style="list-style-type: none"> ・ノーズ可動クロッシング用き裂検知システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・X線フーリエ解析によるレール転がり疲労層評価
電力	き電ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> ・超電導材料 	
環境	騒音・振動低減	<ul style="list-style-type: none"> ・レール継目用防音材の性能向上 ・風荷重低減型防音板 	
	環境影響評価		<ul style="list-style-type: none"> ・生物多様性の導入

(2) コンクリート表層部の物質透過性に関する非破壊評価技術

コンクリート表層部のかぶりコンクリートの品質は圧縮強度で評価されてきたが、劣化因子である水などの物質の透過性で判断するのが適切である。鉄道総研では従来の方法と比較して外部電源が不要、少人数で実施可能、設置や測定作業にスペースを要さない測定方法を検討し、コンクリート表面に散水した後の表面色（明度）が変化する度合いや、水の流れ出し方の違いをその評価に適用した。これまでに基本的な測定機器の構成と測定手順を定めてデータを蓄積しており、簡易な、非破壊によるコンクリート表層部の評価技術の確立を目指している。

(3) コンクリートの品質が水分浸透性状に与える影響

鉄筋コンクリート構造物においてその耐久性は、内部の鉄筋を保護する表層のかぶりコンクリートの品質の影響を受ける。コンクリート中を塩化物イオンや炭酸ガスが浸透して鉄筋周辺まで到達すると鉄筋がさび始めると言われているが、鉄筋がさびた箇所はコンクリートに水がかかった箇所であることがわかってきた。そこで、水がコンクリートに浸透する要因としてコンクリートの品質に注目し、水分浸透に与える影響の評価を進めている。これまでに、同じ配合であっても養生方法の違いにより水分の到達深さが大きく異なること、圧縮強度が高いほど水分の浸透深さは小さい傾向にあるが、圧縮強度が同程度でも水セメント比や養生方法により水分浸透深さが大きく異なる場合もあることが明らかとなっている。

(4) 高炉スラグ (BS) 微粉末を使用したコンクリートの中性化速度の評価

製鉄所の副生成物である BS は、セメントと比較して製造時の CO₂ 排出量が小さいこと、コンクリートの化学抵抗性を強化できることから、微粉末としてコンクリートに添加される機会が増えている。しかし、実環境における BS コンクリートの中性化に対する評価は、従来の促進中性化試験とは必ずしも一致しない可能性が指摘されている。そこで、セメントから BS への置換率、養生条件、CO₂ 濃度、水中浸漬などの中性化に影響する環境条件を変化させることで実環境を模した BS コンクリートの中性化速度を検討した。その結果、圧縮強度や水酸化カルシウム量を考慮する

ことで中性化に対する抵抗性を評価できること、従来の促進中性化試験では過剰に CO₂ 濃度の影響を受けるため実環境と比べて中性化速度が大きく見積もられることがわかった。

(5) 接着性防水シート

国内においてトンネルなどの地下構造物は地下水位以下に構築されているため、地下構造物内部への漏水が懸念される。これに対し、躯体コンクリートとの化学反応によって高い密着度を発揮する層を有し、躯体コンクリートへの水の移動を阻むことで漏水を防ぐ接着性防水シートを開発した。このシートにより、地下構造物内部への漏水による各種施設への被害や漏水処理にかかる経費の低減が期待される。当初は開削工法向けに開発したものであるが、他の工法への対応が進んでいる。また、鉄道トンネルはもとより種々の地下構造物へも使用範囲が拡大している。

(6) のり面防護シート

鉄道総研では防草やのり面保護のために施工されるのり面防護シートを開発してきたが、廃棄後の焼却時に有害物質が発生する可能性があるため、材料の見直しが必要になった。これに対して、非ハロゲン素材を用いた高分子系ののり面防護シートを開発した。このシートは寸法安定性や耐延焼性などの基本性能を満たしつつ、従来品以上の耐久性を持つことを確認した。すでに実施工の段階にあり、今後普及を図る。

2.2 軌道分野

(1) X線フーリエ解析によるレール転がり疲労層評価

レールの上を車輪が転動することによってレールに発生する転がり疲労層の塑性変形の状態を実験的に評価する手法としては、顕微鏡などによる金属組織観察、硬さ測定、X線結晶解析などがあるが、特に転がり疲労層表面における塑性変形状態を定量的に評価することが困難であった。そこで、営業線に敷設されたレールや室内実験後の試験片に対して、新たに、X線結晶解析の際に得られる情報をより詳細に活用するX線フーリエ解析の適用を検討した結果、得られたX線結晶粒径と転位密度の分布は、転がり疲労層表面近傍での急激な金属組織変化を定量的に評価できるだけでなく、表面から内部に向かって大きく変化する傾向が明らかとなった。今後、データを蓄積することにより、レール削正や交換作業の効率化などに資する知見が得られると期待される。

(2) 導電性塗膜によるノーズ可動クロッシング用き裂検知

新幹線の営業線に敷設される高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングを維持管理する上で疲労損傷の把握が重要であるが、鋳造品であるため超音波探傷法による損傷検知は困難であり、目視や浸透探傷法による検査が一般的である。しかし、その実施にはクロッシングを持ち上げる必要があるなど大きな労力を要する。そこで、導電性塗料を用いた折損検知法の適用を、実レール切出し部材や試験片を用いた室内試験で検討した。その結果、き裂の発生により導電性塗膜が破断して生じる電気抵抗の変化を調べることで、最小で数 mm 程度のき裂を検知できることがわかった。塗膜に長期耐久性や耐衝撃性を付与することもでき、き裂検知法としての適用可能性を確認した。

(3) 発泡ゴムによる低ばね定数パッドの低温特性向上

スラブ軌道などレール支持剛性の高い直結系軌道において重要な弾性要素となる軌道パッドは、鉄道沿線の都市化や列車の高速化にともなう振動低減を目的とした低ばね定数化が求められるケースがある。一方で構成材料となる合成ゴムは環境温度によって弾性が変化し、特に低温時に高速で応力が作用すると弾性率が大幅に増加する傾向がある。そこで、素材内部を発泡構造化することなどによって低温特性を向上させた低ばね定数軌道パッドを検討した。開発品は従来品と比

べて-20℃の低温時に緩衝性能が約45%向上するなど、その効果が確認された。寒冷地域の高速走行線区も含め、広範な軌道の振動低減対策に適用できるものと考えている。

2.3 電力分野

(1) 超電導材料のき電ケーブルへの応用

電気抵抗がゼロとなる超電導材料については材料の合成・評価、バルク材や線材への加工まで一括して取り組んできたが、近年、超電導ケーブルを鉄道のき電線に適用することを想定した研究開発を進めている。超電導ケーブルの導入により電力損失の低減、変電所の負荷平準化や集約化、回生効率の上昇、レール電位の抑制による電食の抑制などの効果が期待される。これまでに、基材となる超電導線材の過電流時や変動電流時の挙動、ケーブルの強度設計時に重要となる曲げ特性を把握したほか、線材の長手方向の欠陥抽出等に資する均一性評価を非破壊で行う方法の確立など、要素技術を検討している。現在、超電導ケーブルを構内試験線に敷設し、実際の車両走行など各種評価試験を進めている。得られた知見と実路線を対象としたシミュレーションとを合わせて導入効果を検討し、直流電気鉄道の電力システムの合理化・省エネルギー化を図る。

2.4 環境分野

(1) 風荷重低減型防音板

車両の高速化や沿線の高層建築物の増加に伴い、防音壁を大幅にかさ上げする必要性が増している。しかし、既存構造物の防音壁を大幅にかさ上げする場合、高さの増加に伴い作用する風荷重が増大するため、構造物本体に対する大規模な補強工事が必要な場合がある。これに対して、通常時は高い騒音低減性能を示し、強風時は風荷重による構造物への負荷を低減するような防音壁が有効と考えられる。そこで、かさ上げ用防音板の構造を検討し、永久磁石の磁気引力により通常時には閉じ、構造物の設計限界値を超えるような強風時には開いて風荷重による負荷を大幅に低減する風荷重低減型防音板の開発を進めている。これまでに基本的な構造を決定し、実用サイズの試験品による開閉機構の動作や通常時の騒音低減性能を実験的、解析的に検討している。

(2) 生物多様性に基づく環境影響評価

多種多様な生物が存在することの尺度を示す生物多様性は、日常生活において人間を中心とする地球上の生物が様々な恩恵（生態系サービス）を受ける点で重要であり、地球温暖化に次いで地球規模の環境問題として広く認識されつつある。そこで、鉄道における生物多様性評価の観点から、鉄道林を今後どのように管理していくかを想定したケーススタディを実施した。モデルとした鉄道林で生息する何種類かの動物に与える影響を定量評価した結果、管理方法によって生息環境に大きい影響が及ぶ生物が異なることがわかった。このことから、生物多様性の評価にあたっては、目標の設定が重要であることが示された。今後、社会動向を注視しながらよりふさわしい評価方法のあり方を検討することが必要である。

3. おわりに

鉄道用施設の機能向上、長寿命化、保守軽減に資する材料技術やその評価に必要な測定技術に関する研究開発の最近の取り組みを紹介した。今後も鉄道の持続的な発展に向けた努力を継続する所存であり、関係各位のご協力をお願い申し上げる次第である。