

鉄道施設の長寿命化技術

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道



佐藤 勉

Tsutomu Sato

研究開発推進部
主管研究員

【専門分野】コンクリート構造

我が国では高度経済成長期以降に集中的に建設されたインフラが今後一斉に高齢化するため、インフラの長寿命化に向けた取り組みが各分野で進められています。鉄道施設とくに鉄道構造物に関しては、道路構造物などほかのインフラに比べても高齢化が進んでおり、長寿命化に向けた取り組みは一層重要といえます。鉄道施設の長寿命化を実現するためには、検査診断などのメンテナンス技術とリニューアル技術を活用し、計画的に取り組んでいくことが必要と考えられます。ここでは、鉄道施設の長寿命化技術の現状と課題、鉄道総研における研究開発例と今後の取り組みを紹介します。

鉄道施設の長寿命化技術の現状と課題

鉄道施設のうち鉄道構造物の建設数量は、トンネルが約4700本、橋りょうが約10万橋（橋長1m以上）におよび、建設からの経過年数は平均で約60年となっています。道路などほかの社会基盤施設が約30年であることと比較すると、鉄道構造物の高齢化が進んでいます¹⁾。鉄道構造物の建設数量としては、戦前と高度経済成長期に二つのピークがあり、一つ目のピークである戦前に造られたものについては、100年を超えているものも多数あります。このような構造物を全面的に取り替えることは、列車の運行やコストの面から現実的ではありません。一方、長い年月を経たものでも健全な状態にあるものから各種の変状が生じているものなど、個々の構造物で健全性が異なっています。また、長く供用されている新幹線構造物においても、鋼橋やコンクリート橋、

トンネル覆工、土工のり面工、路盤、防音壁などを対象として、大規模な改修に着手または今後計画されています。

我が国におけるインフラの高齢化対策に関する政府全体の取り組みとして、2013年11月に「インフラ長寿命化基本計画」²⁾がとりまとめられています。この基本計画では、

- ・個別施設ごとの長寿命化計画を核として、メンテナンスサイクルを構築
- ・メンテナンスサイクルの実行や体制の構築などにより、トータルコストを縮減・平準化
- ・産学官の連携により、新技術を開発・メンテナンス産業を育成

することなどが示されています。この基本計画に基づき、国、自治体レベル

で行動計画を策定し、全国のあらゆるインフラの安全性の向上と効率的な維持管理を実現するとされています。

鉄道においても、安全・安定輸送に対する要求の高度化、技術断層への対応など、鉄道を取り巻く社会環境の変化を見据え、より安全に鉄道施設を長期にわたって維持していくため、戦略的に対策を実施することが必要と考えられます。そのためには、近年進歩の著し

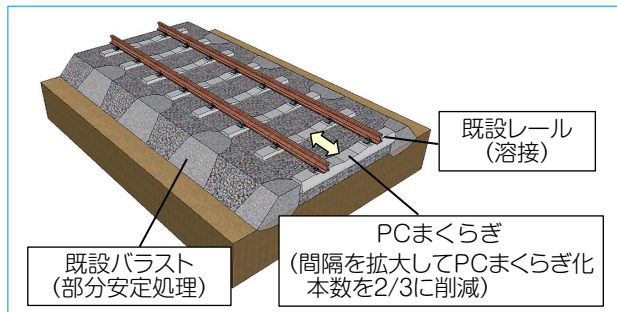


図1 地域鉄道に適したロングレール軌道構造

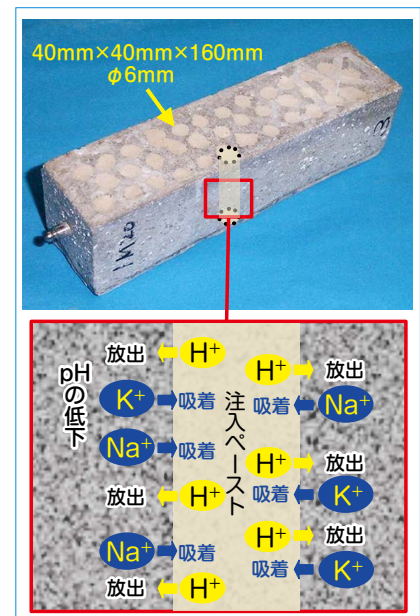


図2 水素イオン型ジオポリマーによるコンクリート劣化抑制

い情報通信技術 (ICT) などを活用した検査診断技術、劣化予測技術の高度化、鉄道施設のリニューアル技術の革新などが求められています。

ここでは、鉄道総研における長寿命化に関連する研究開発例 (本号掲載記事以外の事例) と今後の取り組みについて、高齢化が進む鉄道構造物などに関する技術を中心に紹介します。

長寿命化技術に関連する研究開発例

(1) 地域鉄道に適したロングレール軌道構造³⁾

地域鉄道のような閑散線区では、軌道の弱点であるレール継目が多数存在するため、保守に苦慮しており、少ない改良費で効果の高い軌道構造強化策が求められています。とくにロングレール化を低コストで実現できればレール継目が除去され、保守費を大幅に削減できるため、効果が高いと考えられます。しかし、従来のロングレールは基幹線区向けに設計されており、導入コストが高いため地域鉄道への適用は困難でした。そこで、従来の1/2以下のコストで導入可能なロングレール構造を開発しました。

提案した構造は、木まくらぎを部分的にPCまくらぎに交換するか、間隔を拡大してすべてPCまくらぎに交換し、バラストは土砂混入状態のまま使用し、レールは継目落ち部分を切断して溶接します (図1)。軌道の横方向安定性は、土砂混入バラストにセメントを加えて安定処理を行う安価な工法を用いて確保します。従来のロングレールの両端には、レール伸縮を吸収するために高価な伸縮継目を設ける必要がありましたが、複雑な加工が不要な代替構造を開発しました。開発したロングレール軌道構造の実物大軌道模型を製作してレール加熱試験を行った結果、

道床横抵抗力の増強工を施工した場合は70℃のレール温度上昇量でも座屈しないことを確認しています。

(2) 水素イオン型ジオポリマー (参照) によるコンクリート劣化抑制⁴⁾

コンクリート構造物にしばしば生じる劣化現象であるアルカリシリカ反応 (略称ASR) に対して、従来品としてリチウム材料を用いたASR抑制剤がありますが、材料コストは比較的高価です。そこで、鉄道総研では、従来品と比較して原材料コストが1/5~1/10程度となる水素イオン(H⁺)型ジオポリマーによるASR抑制剤を開発しました。この抑制剤は、アルカリ成分を吸着しH⁺を放出してASRの原因となるコンクリート中のpH上昇を抑制するものです。ひび割れ注入状況を模擬したモルタル試験体に、開発したH⁺型ジオポリマー入りのセメントペーストを注入施工して (図2) その膨張量を測定した結果、開発したH⁺型ジオポリマーは、従来品と同等の膨張抑制効果を示すことがわかりました。今後、新たなASR抑制用ひび割れ注入材料として実用化し、コンクリート構造物の長寿命化に役立てていく予定です。

(3) 鉄筋コンクリート高架橋のリニューアル技術⁵⁾

これまで経年劣化した鉄筋コンクリート高架橋に対しては、部分的な補修や補強が行われてきましたが、再変

状を生じる場合もみられます。そのため、既設の鉄筋コンクリート高架橋を対象に、既設部材とプレキャスト部材などとの接合技術を用いたりリニューアル技術を開発するとともに設計施工法の提案を行っています。たとえば、高架橋のスラブに対しては、耐久性が高く引張強度や剛性の向上も期待できる超高強度繊維補強コンクリート (UFC) ボードをスラブ下面に設置し、無収縮モルタルを充填して一体化する補強工法です (図3 (a))。UFC ボードは、耐久性が高く劣化因子の浸入抑制に効果的で、薄肉軽量のため基礎への負担も少なく、また、施工において全面足場が不要な工法です。

また、劣化した高欄のリニューアル技術として、高靱性セメントボードを用いた工法を開発しています。この工法は、既設高欄を高靱性セメントボードで両面からはさみ、貫通ボルトで固定することにより、既設高欄への劣化因子の浸入を抑制します (図3 (b))。さらに、基部にアンカーを接続することで、耐力を向上でき、高欄の嵩上げ

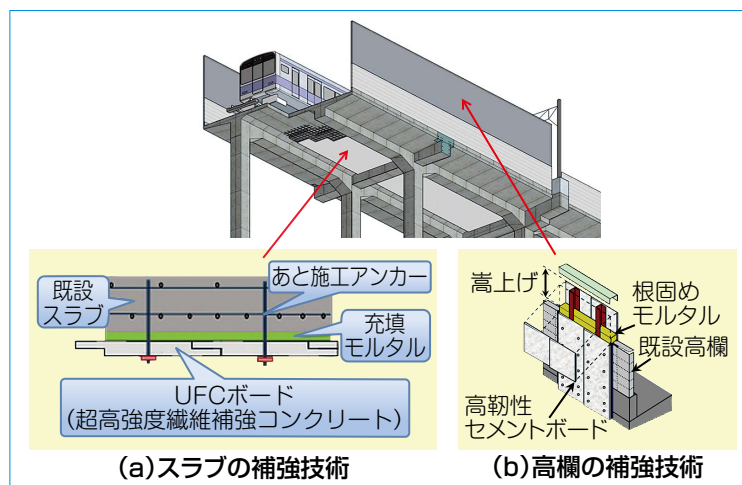


図3 鉄筋コンクリート高架橋のリニューアル技術

ジオポリマー

石炭灰などの粉体とアルカリ成分との重合反応より岩石のように固まることから、地球を意味する「ジオ」と重合体を意味する「ポリマー」を合わせて「ジオポリマー」とよばれています。

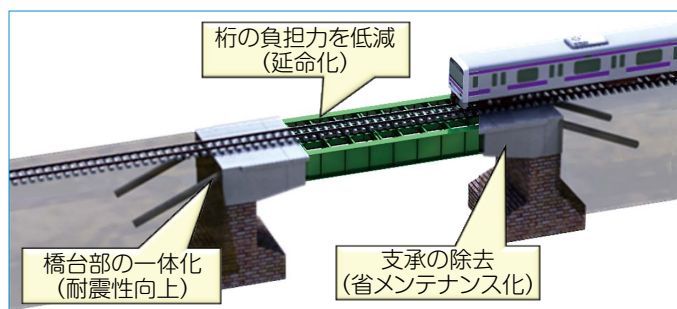


図4 鋼橋のリニューアル技術

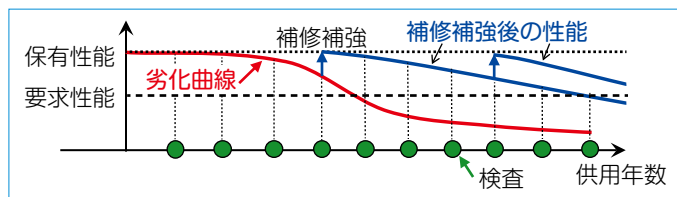


図6 劣化および補修補強による構造物の性能変化

も可能です。また、既設高欄の撤去が不要であるため、工事コストの削減が期待できる工法です。

(4) 鋼橋のリニューアル技術⁶⁾

在来鉄道の鋼橋は、建設から70年以上経過したものも多く、今後も健全性を維持するため、低コストで効果的な対策が必要です。鉄道総研では、経年した鋼橋に対するリニューアル技術として、鋼桁・橋台・盛土一体化工法を提案しています（図4）。鋼桁を架け替えしないで、長寿命化する方法で、橋台と背面盛土を地山補強材で一体化し、鋼桁と橋台を鉄筋コンクリートで一体化する工法です。この構造は、①鋼桁が橋台の転倒を抑止することで、耐震性能が向上し、②支承をなくすことで、メンテナンスを軽減し、③両端部を橋台と一体化することで、鋼桁の負担力を低減できるため、鋼桁の長寿命化が期待できます。

また、近年では、建設から40年を迎える耐候性鋼橋に経年による疲労き裂といった変状が生じはじめ、補修・補強のニーズが高まっています。耐候性鋼橋は、鋼材表面の緻密なさびで防食を図る特殊な橋りょうです。耐候性鋼橋に対し、補修・補強部材を一般の橋りょうと同じ方法で接合するためには、鋼材表面のさびを除去する必要があります。

あるため、施工時間や費用が多くかかります。これに対し、耐候性鋼橋の表面の緻密なさびを積極的に活用した高力ボルト摩擦接合方法を提案しています。大掛かりな装置が不要になり施工時間も短縮できる接合方法です。

(5) 土構造物のリニューアル技術⁷⁾

鉄道路線延長の8割近くを占める土構造物に関しては、集中豪雨や地震時におけるのり面崩壊などの防止技術が求められており、壊れにくく^{じん}靱性を持つ土構造物にリニューアルするための工法を開発しています。たとえば、盛土中に地山補強材を挿入するとともに、高密度ポリエチレン製立体シート（ジオセル）でのり面を覆い盛土を補強する工法を提案しています（図5）。また、崩壊防止ネットと地山補強材を用いて石積み壁を耐震補強する工法などを開発しており、用地制約のある箇所でも地山補強材の打設角度を急勾配とすることで施工が可能です。

長寿命化技術に関する今後の研究開発

(1) 鉄道施設の劣化・変状予測技術

劣化・変状予測技術は、性能の評価、補修補強工事の実施時期や工事の平準化の検討、ライフサイクルコスト評価など、的確な予防保全の実現や施設の

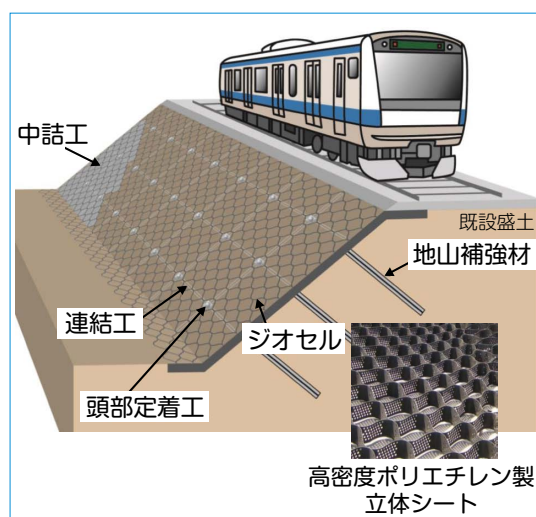


図5 盛土のリニューアル技術

長寿命化に大いに役立つ技術といえます（図6）。劣化・変状には数々の事象がありますが、ここではコンクリート構造物の鉄筋腐食の予測技術について紹介します。

コンクリート構造物の劣化のうち耐荷性能にも影響を与える鉄筋腐食に関しては、供試体による長期暴露試験や経年した実構造物の調査データなどから、塩害や中性化による鉄筋腐食の開始時期、腐食ひび割れの発生時期をある程度推定できる劣化予測モデルがすでに提案されています⁸⁾。提案されている劣化予測法は実用的な方法ですが、複雑な環境要因や腐食ひび割れ発生以降の腐食速度など、研究すべき課題も残されており、より高度な劣化予測シミュレーション手法の開発が望まれます。たとえば、気象条件（降水量や湿度など）に基づく水分や飛来塩分などのコンクリート表面での分布状況や内部への浸透といった環境作用をモデル化します。構造物の性能評価に際しては、材料レベルで、環境作用による鉄筋腐食の発生進行を評価し、部材の応力、ひび割れ、変形などの状態を、時間軸上で高い精度で評価可能とするものです。今後より高精度な劣化予測法を確立することで、構造物の余寿命や適切な補修時期などが定量的に評価できるものと考えます（図7）⁹⁾。

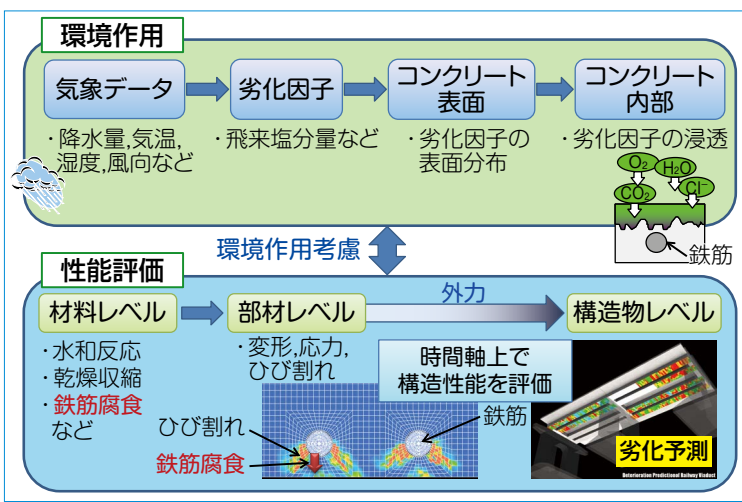


図7 劣化予測シミュレーションの開発

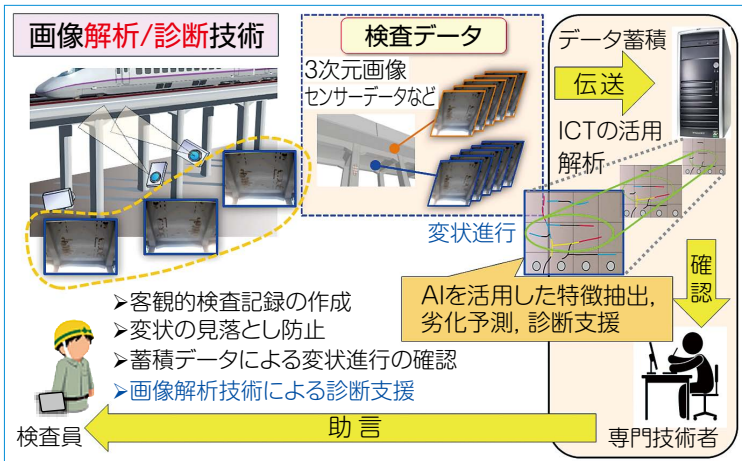


図8 検査データの活用イメージ

(2) 検査データの高度利用

現在の構造物の全般検査はおもに目視により実施されているため、客観的な記録を十分に残すことが難しいのが現状です。写真などによる画像情報の記録も行われていますが、データ整理に多大な労力を要しています。鉄道総研では、現在、画像を広範囲に取得することや接近困難箇所の画像を効率的に取得する方法、また、画像解析技術としては、取得した画像の統合、過去の記録との比較処理手法などの開発を行っています。

今後、検査データの高度な利用方法として、画像データやセンサーデータを大量に取得し、ICTを活用してデータの伝送、蓄積を効率的に行い、画像解析技術により、変状、たとえばひび割れの進行を迅速に把握することで、遠隔地などに熟練技術者や専門家を派遣

することなく、現地の技術者に助言できるような技術開発を進めています¹⁰⁾ (図8)。さらに、データの蓄積により、人工知能 (AI) による変状特徴の抽出、劣化予測、診断支援への利用が将来的に期待できるものと考えます。

おわりに

鉄道施設、とくに鉄道構造物の高齢化を考えると、予防保全の観点に立ちライフサイクルコストが最小となるような維持管理計画を立て、PDCAサイクルにより維持管理計画の妥当性を定期的に検証するなど、より戦略的に取り組んで行くことが重要と考えます。

鉄道構造物の長寿命化のため、さまざまな構造形式に対応して、より低コストな補修補強、リニューアル技術を開発し、劣化予測、性能評価技術などを活用して、個々の構造物に最も適した工法を選定していくことが望まれます。また、新設構造物に関しては、わずかな費用増で耐久性を大きく向上させる設計や技術が導入できる場合があります。そのような技術が積極的に採用されるようにすることも必要と思います。

鉄道総研では、鉄道施設の長寿命化のため、劣化予測技術の高精度化、検査の効率化、リニューアル技術の低コスト化に役立つ研究開発などに今後も取り組んで行きたいと考えています。

なお、ここで紹介した研究開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

文 献

- 1) 舘山勝：鉄道構造物の経年劣化克服に向けたリニューアル技術，第26回鉄道総研講演会，pp.51-58，2013
- 2) インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議：インフラ長寿命化基本計画（平成25年11月），http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000010.html（入手日：2019/9/2）
- 3) 村本勝己：軌道技術に関する最近の研究開発，鉄道総研報告，Vol.33，No.2，pp.1-4，2019
- 4) 佐藤隆恒，上原元樹：水素イオン型ジオポリマーによるアルカリシリカ反応の抑制，鉄道総研報告，Vol.31，No.8，pp.35-40，2017
- 5) 岡本大，仁平達也，轟俊太郎：高架橋をリニューアルする，RRR，Vol.73，No.1，pp.8-11，2016
- 6) 神田政幸，舘山勝，小林裕介，杉本一朗：構造変更による旧式鋼橋梁のリニューアル，RRR，Vol.69，No.10，pp.4-7，2012
- 7) 中島進，渡辺健治，小島謙一：土構造物をリニューアルする，RRR，Vol.73，No.1，pp.16-19，2016
- 8) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物，丸善，2007
- 9) 渡辺健，轟俊太郎，大野又稔，岡本大，曾我部正道：鉄筋コンクリート高架橋のかぶりのはく落現象の評価，鉄道総研報告，Vol.28，No.8，pp.5-10，2014
- 10) 谷村幸裕：構造物の状態監視ネットワークによる維持管理，第28回鉄道総研講演会，pp.38-44，2015