

- 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

# 新幹線の発展に資する 鉄道総研の施設技術

現在の新幹線の高速走行を支えている軌道・構造物の施設に関する技術は新幹線網の拡大にともない発展してきました。高い信頼を得ている新幹線のシステムですが、将来の人口減少にともなう鉄道運輸収入の減少や働き手不足に備えて、安全性の確保やさらなる向上を図りつつ、省人化、建設や検査・補修のコスト低減が望まれています。また、地震への備えを強固にしていくことも重要です。ここでは、最近の新幹線の施設技術に関する研究開発の動向について紹介します。



**片岡 宏夫**  
Hiroo Kataoka  
軌道技術研究部長  
[専門分野] 軌道部材、  
ロングレール



**神田 政幸**  
Masayuki Koda  
構造物技術研究部長  
[専門分野] 地盤工学、  
基礎工学



**山本 俊六**  
Shunroku Yamamoto  
鉄道地震工学研究センター長  
[専門分野] 地震工学

## はじめに

新幹線では、1435mmの軌間をもつ2本のレール上を車両が高速で走行しており、それを支える施設についても長期間の使用に対する高い信頼性と安全な運行を支えるための維持管理が必要となります。

その形式も土路盤上のバラスト軌道に始まり、高架橋、長大橋りょうやトンネル、コンクリート路盤・土路盤上のスラブ軌道など、新幹線網の拡大にともない種々の構造の開発や技術改良がなされてきました。

その間、地震対策技術に関しても早期地震警報の導入・改良や被害を軽減するための耐震補強などの取り組みが

進められてきました。

ここでは軌道や構造物などの鉄道施設技術と、地震対策技術の最近の研究開発の動向について紹介します。

## 新幹線軌道の研究開発の動向

### (1) 軌道管理

新幹線の軌道は、東海道新幹線の建設時にはバラスト軌道が採用されましたが、山陽新幹線の岡山以西の建設より直結系軌道であるスラブ軌道が本格的に敷設され、以降新幹線の基本構造として採用されています。

列車の安全かつ乗り心地のよい運行を保つためには、線路長さ方向の軌道のゆがみである軌道変位を適切に管理

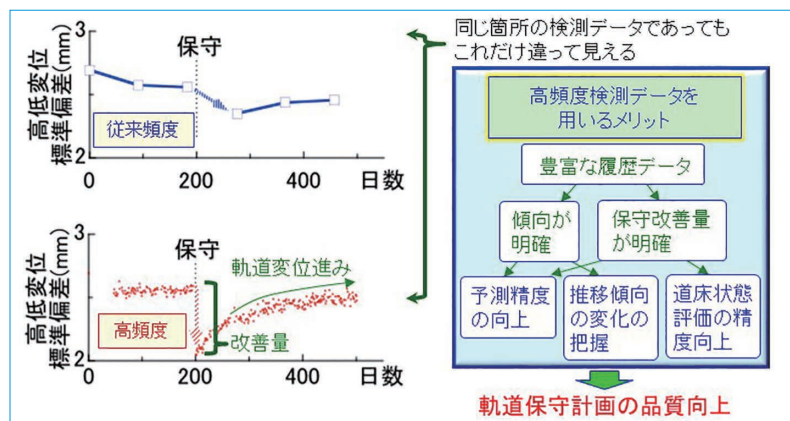


図1 高頻度検測データの特徴と活用法

することが必要であり、専用の検測車を用いて定期的に測定、必要な整正が行われています。一方、九州新幹線の開業以降、営業車に搭載可能な検測装置も導入されてきています。

近年では、高頻度取得した検測データを活用した状態監視に関する研究開発<sup>1)</sup>を進めています。高頻度な検測データを使用することにより軌道変位の傾向をより明確にとらえることができ、予測精度の向上が図られます。これを精度の高い著大値の予測や、保守計画の策定につなげることができます(図1)。

### (2) 軌道材料の検査・補修

スラブ軌道は軌道変位が生じにくく省力化に大きく貢献していますが、厳しい環境条件下で列車荷重を繰り返し受けることにより、軌道スラブを支えるてん充層を構成するセメントアスファルトモルタル(CAモルタル)が劣化する場合があります。

その場合には劣化の範囲を抽出し、適切な補修を行うことが必要となります。そこで、インパルスハンマーで軌道スラブ表面を打撃し、打撃力と音圧から効率的にてん充層の隙間の有無を判断する手法を開発しました。補修が必要な場合には高流動CAミルクを注入して隙間を埋める隙間補修や、てん充層の側面をはつり取りCAモルタルで補修する額縁補修を組み合わせる手法を提案しており、適切に補修することができます<sup>2)</sup>(図2)。

バラスト軌道においては、使用にともないバラストが細粒化していくと軌道変位が進みやすくなります。劣化が著しいバラストは交換されますが、その度合いを現場で定量的に判定する手法はこれまでありませんでした。そこで、バラストの内部を透過する音の大きさからバラストの劣化状態を定量的に把握する方法<sup>3)</sup>を新たに考案しまし

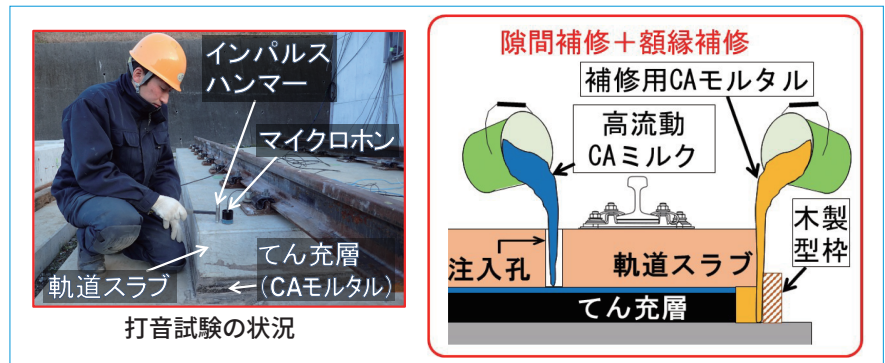


図2 スラブ軌道の補修法

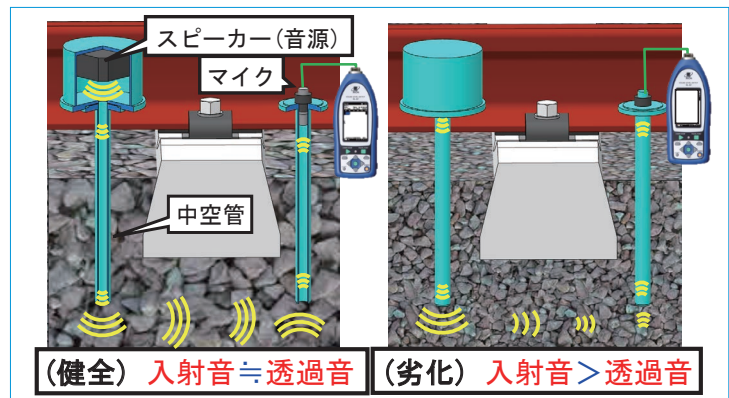


図3 透過音を用いたバラスト劣化状態検査

表1 2010年以降の新幹線構造物の研究開発の動向

対象	用途	目的	研究開発名称
橋りょう 高架橋	工法	安全性/低コスト	補強盛土 (GRS : Geosynthetics Reinforced Soil) 一体橋りょう <sup>4)</sup>
		省力化	モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋
		省力化/低コスト	連続合成桁・橋脚式橋りょうの支承レス化
		省力化/低コスト	路盤コンクリート一体型SRC (Steel Reinforced Concrete) 桁
	材料	低コスト	フライアッシュコンクリート、橋りょう用高降伏点鋼板 (SBHS : Steels for Bridge High Performance Structure)
トンネル	設計法	低コスト	フーチング、場所打ち鉄筋コンクリート杭、回転杭による斜杭
	工法	低コスト	シールドマシンを用いた場所打ち支保による山岳工法 (SENS : Shield Extruded Concrete Lining New Austrian Tunneling Method System)
駅施設	設計法	安全性	長尺鏡ボルト、インバートの盤ぶくれ対策
	設計法	安全性/快適性	駅の圧力変動予測解析システム <sup>5)</sup>

た(図3)。本手法は、細粒土の混入率と音の減衰の関連性に着目したもので、細粒土が多い場合に、バラスト内部に入射した音に対して透過した音が小さくなる傾向があります。バラスト劣化の予測手法の開発も進めており、軌道変位進みや補修効果との関連性を調べることでバラスト軌道の管理が大きく効率化されることが期待されます。

### 新幹線構造物の研究開発の動向

2010年以降、新幹線構造物の研究開発は、おもに建設時や開業後の省力

化や低コスト化を目的としてきました(表1)。これらの取り組みは、鉄道総研独自の研究開発や、新幹線の建設主体である、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(鉄道・運輸機構)との共同研究のほか、鉄道・運輸機構からの委託業務からなります。ここでは、これらの研究開発のうち、補強盛土(GRS)一体橋りょう<sup>4)</sup>と駅の圧力変動予測解析システム<sup>5)</sup>を紹介します。

#### (1) 橋りょう・盛土境界部の一体化

従来から用いられてきた桁・支承部・橋台壁・盛土からなる、盛土区間の道

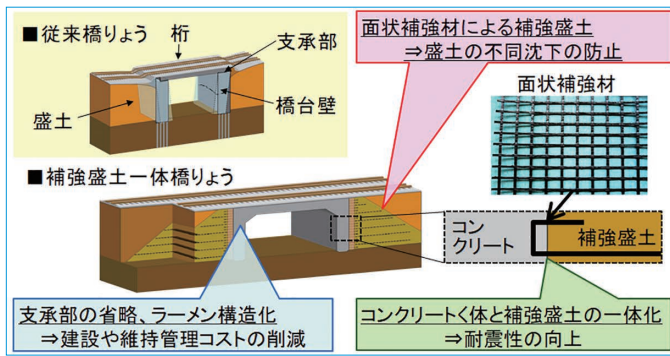


図4 GRS一体橋りょうの特徴



図5 GRS一体橋りょう (提供：鉄道・運輸機構)

路や河川をまたぐ橋りょうには、盛土の不同沈下の防止と支承部の検査・補修などの維持管理コストの削減の課題がありました(図4左上)。鉄道総研は、これらの課題を解決するために、補強盛土(GRS)一体橋りょう<sup>4)</sup>を開発し、新幹線橋りょうとしては初めて北海道新幹線の盛土区間の道路交差部に、スパン12mのRC桁式GRS一体橋りょうを導入しました。GRS一体橋りょうは、従来橋りょうとは異なり、面状補強材と土からなる補強盛土と、直接基礎形式のコンクリートラーメン橋りょうを連結した新しい構造形式の橋りょうです(図4中央)。支承部の省略とラーメン構造化により、建設コストや維持管理コストが削減できます。また、面状補強材による補強盛土を採用することにより盛土の不同沈下を防止し、コンクリート橋りょう部と背面の補強盛土が一体となることにより、耐震性が向上します。

当初のGRS一体橋りょうはRC桁式橋りょうであったため、適用できるスパンが20m以下と制限されていました。そこで、鉄道総研と鉄道・運輸機構は、PC桁を導入しスパン40mまで適用範囲を拡大させ、設計・施工指針を作成して、GRS一体橋りょうの適用範囲の拡大を図りました。九州新幹線西九州ルートにおいて、高規格道路をまたぐスパン30mのPC桁式GRS一体橋りょうが採用されました(図5)。

## (2) 駅旅客の安全性・快適性の向上

新幹線の駅施設のホームでは、高速

列車が通過する際に圧力変動が発生します。さらにホーム階から続く階段やエスカレーターでは、急縮による圧力変動も加わり強風が発生し、旅客の安全性や快適性が損なわれるおそれがあります。鉄道総研と鉄道・運輸機構は、新駅の圧力変動・風速を検証し、駅を利用する旅客の安全性や快適性の向上を目的として、高速列車通過時の駅の圧力変動予測解析システム<sup>5)</sup>を開発しました。現在では、新駅の基本設計の際、圧力変動・風速の予測と、高速列車通過をともなう新駅の現地計測による比較検証が実施されています。

その後、ホームに吹き込む雪対策を施した新駅の基本設計の際、圧力変動・風速の予測が行われています(図6)。北陸新幹線の長野・金沢間では、ホームに吹き込む雪対策として、多層構造のスリット(ガラリ)が、駅窓枠に用いられましたが、多層構造のガラリの開口量の定義が不明なため予測が現地計測結果と異なる結果を与えることがわかりました。そこで、実駅での圧力変動測定結果を踏まえ、ガラリの構造を取り込めるなどのシステム改修を行っています。これにより新幹線の新駅の基本設計の段階で、雪の吹き込み対策を加味した上で、開業後の旅客の安全性や快適性を向上させることに寄与しています。

## 地震対策の研究開発の動向

### (1) 耐震設計と危機耐性

鉄道構造物の耐震設計標準は、大地

震の経験や新しい知見を受け継続的に改訂が行われ、新幹線構造物の設計や耐震補強に反映されてきました。これらの結果、地震に対する新幹線構造物の安全性、復旧性は確実に向上していると考えます。

一方、2012年の耐震設計標準で示されたように、設計で想定した以上の地震に対して、破壊的な被害に至らないための備えも重要です。鉄道総研では、この概念を実現するための構造形式について研究開発を進めています。その一例が自重補償機構<sup>6)</sup>とよばれる構造形式です(図7)。この構造形式では、従来柱に加え、従来柱が破壊したときに自らの重みを支える柱を設置することにより、想定外の地震に対しても最悪の事態である落橋を防ぐものです。重要構造物に対して、危機耐性の概念を取り込むことにより、新幹線の地震レジリエンス(強さと回復力)がさらに高まることが期待されます。

### (2) 早期地震警報と公的情報の活用

新幹線では、地震の初期微動(P波)を用いて大きな揺れが到達する前に警報を出力する早期地震警報システムの改良が進められてきました。現在では、P波検知後、最短1秒での警報の出力が可能です。

また、公的な地震計のデータを用いた早期地震警報の開発も行われてきました。代表的なものとして、海底地震計データを用いた早期地震警報システムがあげられます(図8)<sup>7)</sup>。このシステムでは、防災科学技術研究所の管理

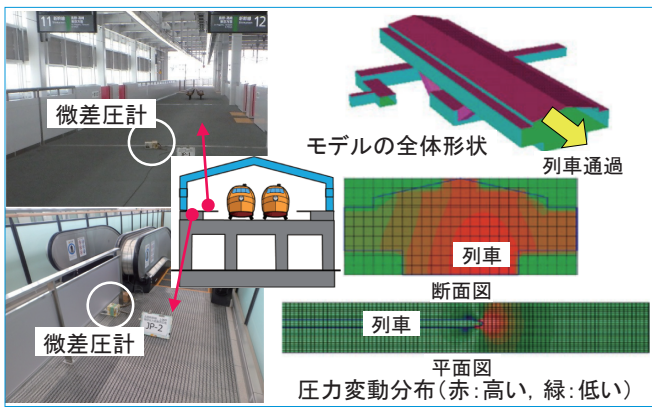


図6 現地計測と圧力変動予測例 (提供: 鉄道・運輸機構)

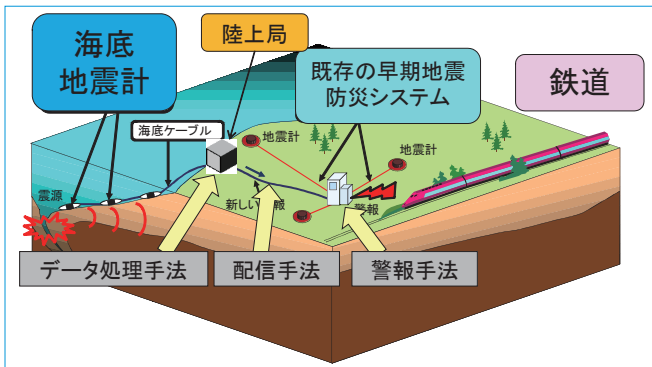


図8 海底地震データを用いた早期地震警報システム

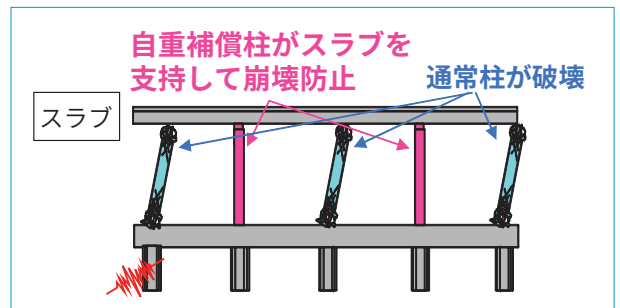


図7 自重補償機構の概念

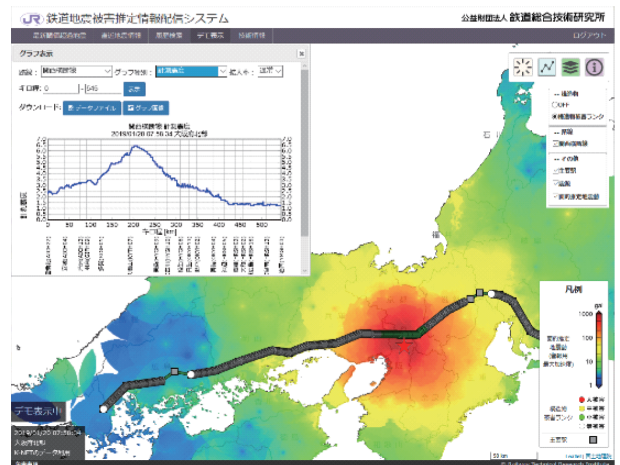


図9 DISERの画面例

するS-net, DONETのデータをリアルタイムで処理することにより地震警報を出力するものです。このシステムは2017年より新幹線で活用されています。海域で発生した地震をより早く検知することが可能なため、従来にくらべ大幅に警報までの時間を短縮することができます。

このように、公的機関が設置した地震計データを活用する警報手法に関する研究開発が現在も進行中です。効果的に公的な地震計情報を使用することにより、より早く確実に新幹線を停止することが可能になると考えます。

### (3) 早期運転再開に向けた情報の提供

近年、中小地震後の早期の運転再開が課題となっています。現在は沿線に設置された地震計の情報(点の情報)により広域を一律な基準で点検していますが、沿線の揺れの分布(線的情報)や個別の構造物の被害が把握できれば、点検箇所を絞り込んだり、点検項目にメリハリをつけたりすることができ、運転再開までの時間をさらに短

縮できる可能性があります。以上を背景に、鉄道総研では鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)を開発し、2019年より鉄道事業者向けに配信を開始しました<sup>8)</sup>。

DISERは防災科学技術研究所のK-NETのデータを地震直後に受信し、線路に沿った揺れと構造物の被害ランクを推定し、地震発生後10~20分で鉄道事業者別に配信しています(図9)。今後、DISERの情報を新幹線で活用することにより、効果的な地震後の点検が実施されることが期待されます。

### おわりに

以上、新幹線の施設技術に関する研究開発の動向を紹介しました。近年、日本の高速鉄道技術の海外展開も進んでおり、海外の地域・国の状況に応じた技術の提供も必要になってくると考えられます。今後も新幹線の施設技術をさらに発展させていきたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 三和雅史, 矢澤英治, 佐野弘典, 山口剛志: 高頻度の検測で軌道の状態変化を診る, RRR, Vol.73, No.2, pp.12-15, 2016
- 2) 高橋貴蔵, 洲上翔太, 谷川光, 桃谷尚嗣: 軌道スラブ底面に生じる隙間の検査と補修により予防保全する, RRR, Vol.76, No.10, pp.12-15, 2019
- 3) 福中力也, 中村貴久, 桃谷尚嗣, 木次谷一平, 北川敏樹, 宇田東樹: 音の透過特性を用いた道床バラストの健全度評価方法の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.24, 2020
- 4) 轟俊太郎, 岡本大, 西岡英俊, 玉井真一, 米澤豊司, 石井秀和: PCT形桁を用いた補強盛土一体橋梁の設計法, 鉄道総研報告, Vol.30, No.12, pp.23-28, 2016
- 5) 武居泰, 飯田雅宣: 駅における列車通過時の空力現象, RRR, Vol.65, No.8, pp.30-33, 2008
- 6) 豊岡亮洋, 室野剛隆, 布川博一: 高架橋の危機耐性を向上させる自重補償構造の振動台試験, 鉄道総研報告, Vol.33, No.12, pp.41-46, 2019
- 7) 是永将宏, 山本俊六, 青井真: 海底地震計データを早期地震警報に使う, RRR, Vol.76, No.3, pp.8-11, 2019
- 8) 岩田直泰, 坂井公俊, 山本俊六, 室野剛隆, 青井真: 鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)を利用して素早く運転を再開する, RRR, Vol.77, No.2, pp.12-15, 2020