

# 構造物技術に関する研究の動向

舘山 勝\*

## Recent Research Trend on Structural Technology

Masaru TATEYAMA

Structural Technology Division has been researching practical technology related to design and construction of railway structures. The principal subjects of the research activity consist of seismic retrofitting, maintenance for previous constructed structures, reduction of construction cost, and environmental technologies in railway stations. This paper describes the recent trend on structural research, several examples of the research results, and subjects of the research and development in the Railway Technical Research Institute.

キーワード：構造物，研究動向，耐震化技術，建設技術，メンテナンス技術，環境評価技術

### 1. はじめに

政権交代により、「コンクリートから人へ」のキャッチフレーズのもと、公共事業に対する厳しい仕分けが行われ、社会資本整備に対する予算が大幅に縮減している。地球環境に優しいと言われている鉄道と言えども状況は変わらず、整備新幹線や立体交差化工事などの公共事業に対しては、より一層のコスト縮減、工期短縮に対する要求が高い。

既設鉄道構造物に関しては、鉄道は我が国において、いち早く整備がなされてきたことから、50年や100年といった設計耐用年数を越えた老朽橋梁やトンネルを数多く抱え、これら構造物の延命化、リニューアル化は喫緊の課題となっている。また、団塊世代の退職などが急速に進み、鉄道維持管理を支えてきた熟練技術者不足がいよいよ顕在化している。一方、大都市においては駅ナカビジネス（JR東日本）に代表されるように駅部の商業施設として利用が進められ、駅空間の拡大、快適性や利便性の向上などが重要課題となっている。

鉄道総研ではこのように急変する社会環境動向に対して、技術を持って対応すべく今後20年程度先を見通し、鉄道に有用な技術開発項目をリサーチマップ<sup>1)</sup>として2009年10月にまとめた。また、鉄道総研が5年毎に定めている中長期計画に基づいたプロジェクト研究である将来指向課題2005が昨年度終了し、今年度から将来指向課題2010が新たにスタートした。そこで本稿ではこれらの中から、構造物に関する最近の研究成果について紹介するとともに、当該分野における研究の動向について概説する。

\* 構造物技術研究部 部長

### 2. 取り組むべき課題

リサーチマップでは鉄道全般に係わる技術を対象とし、利便性、安全性、低コスト、環境の4つに対して改善目標を定め、それを実現するための研究開発項目を設定し、今後行うべき技術開発の方向性を示している。

例として、表1は「保守・建設の効率化」における研究課題を、表2は「自然災害に強いシステム」における研究課題を抜粋したものであるが、構造物技術を展望する上で参考となる。ここでは、上述した老朽構造物対策、技術者不足、建設コストの縮減要求に対する取り組むべき課題として、「インフラの自己診断・自己修復」と「低コストのインフラ建設・リニューアル」が取り上げられている。また、自然災害に強い鉄道施設とするために取り組むべき課題として、「自然外力のセンシング・モニタリング」と「大規模地震時における被害軽減・早期復旧」が取り上げられ、その目的と課題解決のために必要となる主な技術項目が例示されている。

表1 保守・建設の効率化（文献<sup>1)</sup>抜粋）

インフラの自己診断・自己修復	
目的	インフラの自己診断・修復技術の開発等により、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。
主な技術項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・状態情報発信型のモニタリングシステム</li> <li>・知能材料による構造物の自己修復</li> <li>・オンデマンド・メンテナンスシステム</li> </ul>
低コストのインフラ建設・リニューアル	
目的	低コストで高性能な新形式鉄道インフラの設計および建設技術を開発する。また、老朽インフラのリニューアルにより、設備の寿命延伸と保守コストの低減を図る。
主な技術項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・異種構造物間の適合技術</li> <li>・大深度地下鉄・長大トンネル建設技術</li> <li>・立体交差・超近接施工影響評価</li> <li>・都市部・活線下でのリニューアル技術</li> </ul>

特集：構造物技術

表2 自然災害に強いシステム（文献<sup>1</sup>）抜粋

自然外力のセンシング・モニタリング	
目的	自然災害の外力（降雨、降雪、風、地震など）や鉄道施設の変状・崩壊の発生を、既存技術の応用および新技術によって迅速かつ確に予測・特定する。
主な技術項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多機能センサー・モニタリング</li> <li>・衛星情報を活用した広域モニタリング</li> <li>・外力別災害発生ポテンシャル予測</li> </ul>
大規模地震時における被害軽減・早期復旧	
目的	地震被害シミュレータやその情報の提供ツールを開発し、大規模地震に対する線路構造物の被害軽減および早期復旧を図る。
主な技術項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震動・地盤のシミュレーション</li> <li>・線路構造物の挙動と列車走行性評価の高度化</li> <li>・被害予測と被害後の早期復旧技術</li> </ul>

この他、リサーチマップで示す10の研究開発項目の中には、「高速化」や「沿線環境負荷低減」などが含まれており、これらにおいても構造物技術の係わりがあるが、詳細は文献<sup>1</sup>を参照されたい。

構造物に関する研究開発は、これらを参考に順次、取り組んでいるところである。このうち、将来指向課題は5年から10年間で解決すべき課題を取り上げ、プロジェクト研究として実施するもので、現在、巨大地震対応、メンテナンスの革新、鉄道災害シミュレータの構築などをキーワードとして、研究開発を実施している。以降はこれらを参考とし、耐震化技術、建設技術、メンテナンス技術、駅環境技術の4つの観点から、鉄道における構造物技術の動向を述べる。なお、その他の最新の研究成果については、本号別稿を参照されたい。

3. 耐震化技術

兵庫県南部地震以降、鉄道構造物のL2地震動を対象とした設計法の整備が進められてきた。しかしながら鉄道施設は、土木構造物の他、建築物、電力設備、軌道、車両など多くの要素で構成されているが、それぞれ個別に検討がなされ、共通の土俵での評価が行われていなかった。そこで、共通の考え方で各施設の耐震性や列車の走行安全性を評価し、バランスのとれた耐震化を進めるための挙動評価技術、各種対策技術および耐震対策優先度

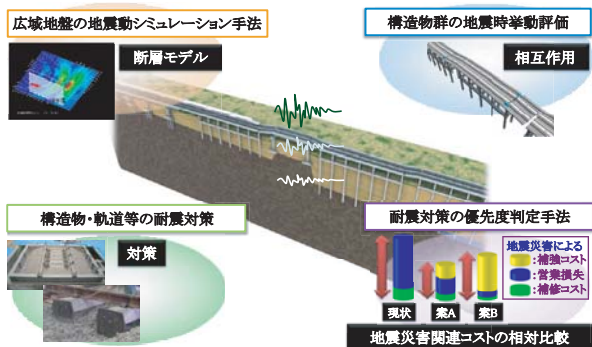


図1 バランスのとれた耐震化のイメージ

の判断手法の開発を、昨年度終了した将来指向課題2005の「既設鉄道施設の耐震性評価と対策」<sup>3)</sup>により行ってきた（図1）。しかしながら、想定東海地震などの巨大地震では現行のL2地震動を超える揺れが予想され、震源から遠く離れた地域においても、長周期・長継続時間の揺れが作用することになる。このような巨大地震に対して現行の設計体系の枠組みで対応すると、性能不足と判断されてしまう可能性が高い。そこで、現有構造物の耐震余裕度や残存耐力を適切に評価するとともに、走行安定性の確保に関しては制振デバイスなどを用いた新しい対策工法の開発が求められる。

一方、巨大地震に対しては、施設や車両などに対するハード対策だけで対応するだけでは限界があり、早期地震検知システム<sup>4)</sup>などのソフト対策を併用することが、より一層求められる。そこで、コンピュータ上にバーチャル線区を構築し、気象庁のリアルタイム地震情報などを活用し、瞬時に鉄道施設の被害予測を行うシステム開発などが有効となる（図2）。これにより、地震発生時の被害想定や点検箇所を絞り込み、様々な地震シナリオに対する施設全体の耐震性評価や地震時列車走行安定性評価などが可能となる。また、センサーネットワーク<sup>6)</sup>と組み合わせることにより、リアルタイムでの被害予測の大幅な精度向上が見込める。

なお、巨大地震対策、地震災害シミュレータの開発については、今年度からスタートした将来指向課題2010で取り組んでいる。

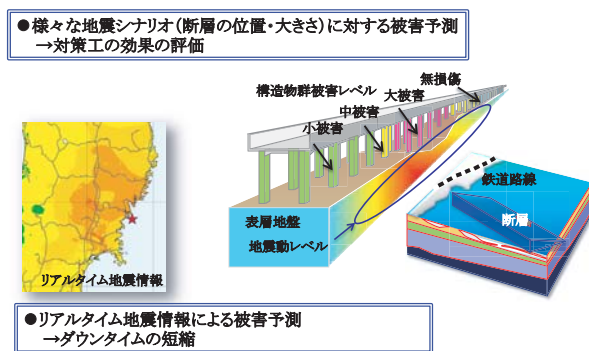


図2 地震災害シミュレータのイメージ

4. 建設技術

鉄道における建設技術には、整備新幹線などのような新線建設技術と、既設線路や駅空間の高度利用に伴う空間創造技術がある。また、それぞれの建設時における制約条件としては、大地震動への対応、施工品質の確保、狭隘・線路近接箇所での施工、工期の制約などが挙げられる。

これら制約条件に対する対応として、プレキャスト部材を用いたプレハブ高架橋の構築技術の確立が望まれている。図3は京浜急行線蒲田駅付近での直上高架化工事

5) を例にしたイメージ図であるが、施工間合いが少ない近接工事に有効であるとともに、新線建設においても工期短縮や品質確保の観点からその適用が期待されている。この技術の確立のためには、プレキャスト部材間・異種部材間の接合技術、設計技術の確立が待たれている。

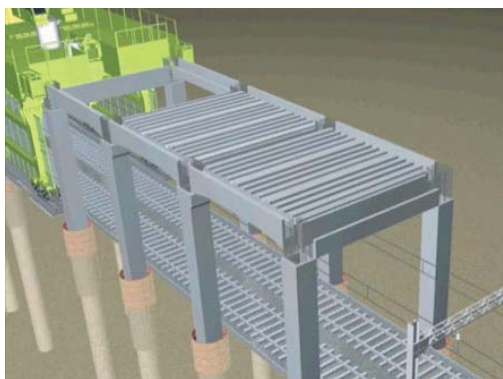


図3 組み立て式高架橋のイメージ

## 5. メンテナンス技術

構造物のメンテナンス、検査業務の合理化に関しては、センシング、モニタリング技術の進展が期待される。鉄道総研では将来指向課題2005の「設備管理業務へのセンシング技術・ITの適用」により構造物ヘルスマニタリングシステム<sup>6)</sup>を提案し、橋梁やトンネル、土構造物、駅上家など、列車の走行安全を阻害する可能性のある施設の各所に無線センサを配置し、指令所や走行中の列車にデータ伝送する方法について研究してきた。また、センサやシステム全体への信頼性に対する検証として、図4の所内ネットワークを構築し、現在も計測データの蓄積を行っている。

本システムは当面、基礎など検査できない箇所、支承など検査しにくい箇所を中心に、人による検査の補助的な使用を想定した運用を目標としているが、将来的には検査業務の無人化が最終目標となる。そのためにはシステムの信頼性向上に対する更なる技術開発が必要となる。その一つとして、MEMSなどによる低価格センサを開発し、高密度計測を行うことが有力と考える。この方



図4 所内ネットワークによる検証

法では1つのセンサの信頼性に頼るのではなく、多点に計測することにより、異常値と実際の挙動をマクロに識別しようとするものである。このためには、センサの思い切った低廉化に加え、無電源センサの開発、データ伝送量の圧縮技術、データマイニング技術の確立などが必要となる。

一方、鉄道は道路などと比べて著しく老朽化が進んでおり、例えば鋼橋を例にすれば、道路の30年に対して鉄道の平均経年は60年程度であり、老朽化対策は喫緊の課題となっている。とりわけ、いち早く整備された大都市部の鉄道は老朽化程度がさらに進んでおり、検査に基づいた軽微な補修では対応できなくなることが予想され、大規模リニューアル技術の開発が急がれている。

ここで、鉄道施設のリニューアル工事における制約条件としては、営業線下における安全な施工、経費抑制、耐震性など機能向上に対する要求が挙げられる。これに対しては現状のリニューアル技術では、特に経費の面において現実的対応が困難となる。このため、新たな観点からの技術開発が期待される。

図5はその一例として、従来の仮線方式による桁の掛け替え方式に代えて、橋梁支承部をコンクリート等で固め、橋台背面には補強材を設置することにより、片持ち式橋台、単純桁方式から、ラーメン形式に構造変更<sup>7)</sup>する試みである。隅角部の負曲げによって桁断面力を半減させ、老朽鋼桁を延命化しようとするものである。このような大胆な発想による技術提案が待たれている。

また、高架橋のリニューアルに関しては、兵庫県南部地震以降、柱の耐震補強などが概ね終了しているが、さらに老朽化が進むと部分的な処置では対処できなくなることが予想される。そこで、老朽化が著しい高架橋への大規模リニューアルに対応するために、柱の取替技術、梁や床版の補強技術の開発を進めている(図6)。鉄道総研では老朽梁の補強工法として、既にアーチサポート工法<sup>8)</sup>を開発しているが、同時に床版も補強することを検討している。これによりスラブ面の剛性が高まるため、副次的効果として列車振動や騒音の低減に寄与すると考えている。経済的で施工性のよい工法開発は必須である

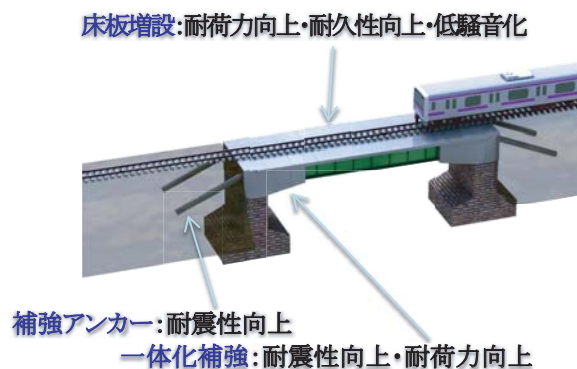


図5 老朽鋼桁・橋台のリニューアル技術

特集：構造物技術

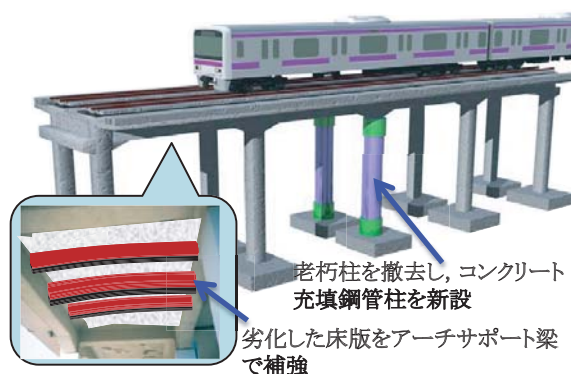


図6 高架橋のリニューアル技術のイメージ

が、副次的な効果も含めたりリニューアル効果を定量的に示すことができれば、さらに需要は増えると考え。

6. 駅環境技術

近年、都市部ターミナル駅では、単に鉄道を利用するだけの通過型空間としての利用から、飲食や買い物も可能とする滞在型空間としての利用に変化しており、駅空間の安全性・快適性・利便性の向上に関する研究開発が求められている。

鉄道総研でも、従前からの旅客流動ミュレーションに加え、駅の温熱環境や音環境について実駅を模擬した駅シミュレータを用いた実験等により、評価法や対策法の深度化<sup>9) 10)</sup>を図っている。図7は一例として、駅の快適性に大きな影響を与える駅空間温熱環境予測シミュレータを用いた解析事例である。これにより、外気温、野外風向風速などの時間変化に伴う駅コンコース内の気温変動が評価可能となった。

一方、駅の商業施設化の進展に伴い、混雑度や滞在時間が増加することに対する安全対策に関する研究も重要となる。具体的な研究項目としては、ホームからの転落危険度評価、耐火安全性評価、異常時避難誘導法などが挙げられるが、これらについては関係省庁との調整も含めて、早急に詰める必要がある。

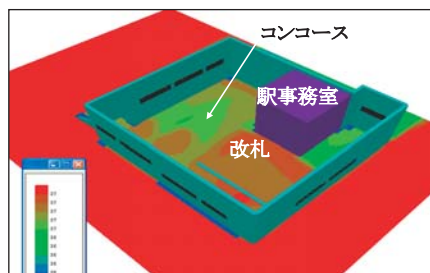


図7 駅空間温熱環境シミュレータの解析例

7. おわりに

この他、構造物の設計に関しては、今年度末以降に予定されている耐震設計標準、基礎標準、土留め標準の改訂により、技術基準の性能規定化への対応が一段落する。しかしながら性能照査型設計においては、従来に比べて設計の難易度が高まり、高度な解析や判断が求められる。今後、適用事例を蓄積することによって、設計の合理化や照査の体系化を図る必要がある。また、構造物の施工に関する技術開発は、これまでも多くの実績を挙げてきたが、まだ取り組むべきことが多い。特に、老朽化が進む既設構造物の延命化対策については上述したように喫緊の課題であり、研究成果の早期実用化が望まれている。

今後も鉄道事業者ならびに関係各位のご支援を頂きながら、安全で安心して利用して頂ける鉄道構造物の実現に向けて努力したい。

文献

- 1) 財団法人 鉄道総合技術研究所：RTRI リサーチマップ、  
[http://www.rtri.or.jp/rd/rd\\_J.html](http://www.rtri.or.jp/rd/rd_J.html)
- 2) 館山勝：鉄道技術の課題と展望，土木施工，Vol.51, No.4, pp.10-11, 2010
- 3) 佐藤勉：鉄道施設の耐震性向上，第23回鉄道総研講演会要旨集，pp.31-38，2010
- 4) 芦谷公稔：緊急地震速報を活用した早期地震警報システム，土木学会鉄道力学論文集，No.11，2007
- 5) 澤井正明，吉住陽行：直接高架工法による鉄道の立体化，土木施工，Vol.47, No.11，pp.58-63，2006
- 6) 野末道子，土屋隆司，篠田昌弘，渡辺義大，佐藤紀生：鉄道構造物の常時・異常時モニタリングシステムの開発，鉄道総研報告，第24巻，第10号，pp.41-46，2010
- 7) 白仁田和久，館山勝，神田政幸，小島謙一，渡辺健治：桁・橋台・盛土一体化（ラーメン構造化）による延命化工法の提案，第45回地盤工学研究発表会，pp.1393-1394，2010
- 8) 田所敏弥：アーチ型鋼材を用いたラーメン高架橋梁の補強工法の開発，鉄道総研報告，第25巻，第2号，2011
- 9) 伊積康彦：環境に配慮して駅コンコースの温度上昇を抑える，RRR，第66巻，12号，pp.18-21，2009
- 10) 伊積康彦：駅の音環境を改善する，RRR，第67巻，11号，pp.18-21，2010