

構造物技術に関する最近の研究開発

構造物技術研究部

部長 谷村 幸裕

1. はじめに

鉄道総研では、平成 22 年度より 5 年間にわたり、基本計画「RESEARCH 2010」を実施し、安全性の向上や低コスト化などを目標に掲げて研究開発を推進してきた。このうち、構造物技術に関する鉄道の将来に向けた研究開発として、構造物のリニューアル技術の革新、新しい状態監視保全技術、地震に対する安全性向上などの課題を設定し取り組んできたので、これらの概要について述べる。

2. 構造物のリニューアル技術の革新

鉄道は明治期以来、建設と改良を重ねて発展してきた。この間、多数の構造物が建設されたが、近年では建設後長期間経過した構造物が増加しており、補修や補強が必要となる場合が増えている。また、地震対策、快適性や利便性の向上など、建設時には想定されていなかった新たな要求が生じており、これらへの対応が課題となっている。そこで、このような状況に対応するため、高架橋、鋼橋梁、地下駅空間、地上駅ホーム空間などの既設構造物を大規模にリニューアルする技術の開発を進めてきた。

(1) 高架橋のリニューアル技術

(a) 梁・スラブの補修・補強工法

高架橋の中間スラブは、軌道の直下に位置する重要な部材であるが、鉄筋の腐食により耐力の低下が懸念される場合や、列車通過時の騒音・振動の低減が求められる場合がある。これらの課題を解決するために、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）ボードを用いた中間スラブの補修・補強工法を開発した。本

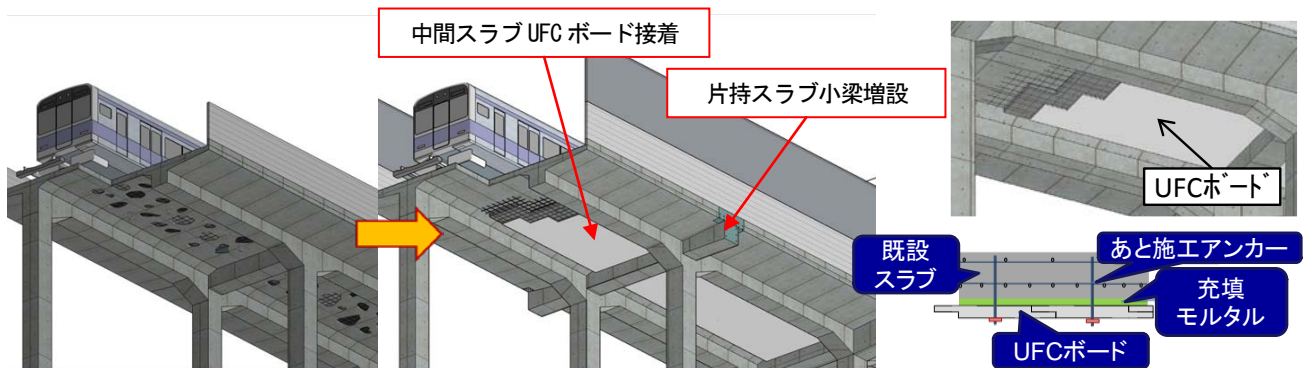


図1 高架橋スラブの補修・補強工法

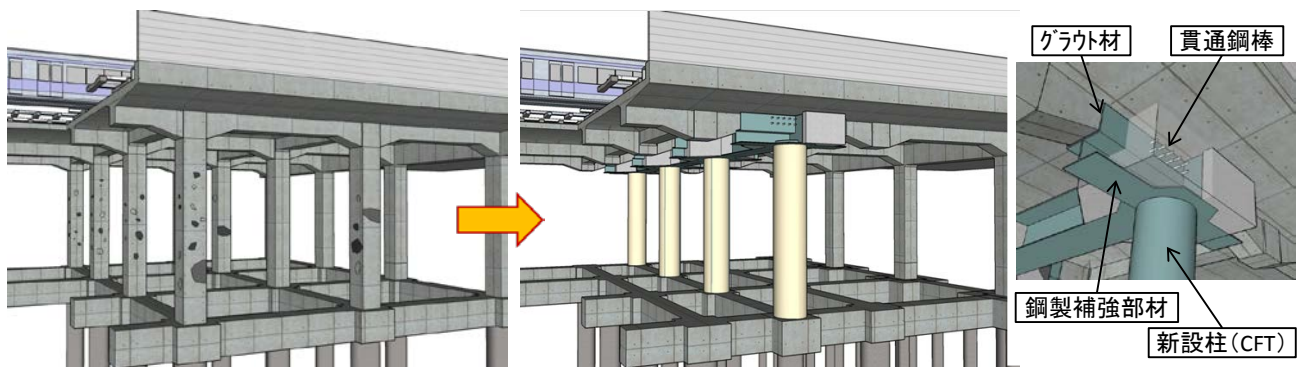


図2 高架橋柱の取替え・移設工法

工法は、スラブ下面に UFC ボードを設置し、無収縮モルタルを充填して一体化するものである（図1）。従来の全断面修復工法に比べて大掛かりな足場を必要としないため施工性を向上できること、大幅な耐力向上が期待できること、また、薄肉軽量の UFC ボードを用いるため基礎への負担が小さいこと、スラブの剛性が高まることから振動や騒音の低減効果が期待できることなどの特徴がある。

高架橋の片持スラブは、その先端に設置された高欄や防音壁を支持する部材であるが、騒音対策として防音壁を嵩上げする場合に耐力が不足することがある。そこで、片持スラブの下面に小梁を増設して補強する工法を開発した。本工法により、高さ 5m 程度まで高欄の嵩上げが可能となる。

高架橋の梁に関してはアーチ型鋼材を用いて補強する工法を、高欄に関しては高じん性セメントボードを用いた補修工法を既に開発しており、これらを組み合わせることにより高架橋の梁・スラブ等の全面的なリニューアルが可能となった。

(b) 柱の取替え・移設技術

高架橋柱は、高架橋の耐震性に影響する重要な部材であり、これまでに様々な耐震補強工法が開発されてきた。一方、近年では高架下の空間を様々な施設として有効に活用するニーズが高まっているが、柱の位置によって高架下空間の利用が制限される場合があり、これを解消するには柱を取り替えて移設する必要がある。そこで、コンクリート充填鋼管（以下、CFT）柱を用い、大規模な仮設物を必要としない柱の取替え・移設工法を開発した。本工法は、様々な条件の柱の取替えや移設に対応でき、既設の柱と柱の中間に CFT 柱を設置し、既設柱を撤去して柱間隔の拡大を図ることもできる（図2）。既設高架橋の諸元や柱の移設位置によっては、柱以外の補強が必要になる場合もあるが、増し杭による基礎の補強や前述の梁補強工法を用いることにより対応ができる。

(2) 鋼橋梁のリニューアル技術

鋼橋梁の支承部を無くし鋼桁・橋台を一体化し、橋台・背面盛土を地山補強材で連結させ、鋼桁をそのまま存置した状態で再生させる「鋼桁・橋台・盛土一体化工法」を開発した（図3）。この工法により鋼橋梁は延命化し、耐震性能も大幅に向上できる。また、鋼桁の補強や騒音低減策として、まくらぎを撤去しコンクリート床版と鋼桁を一体化する「合成構造化工法」を開発した。これらについて、実大試験橋梁を用いた施工実験、載荷試験を行い、補強効果を確認している。これら 2 つの工法は、鋼桁の架替えと比較して 1/2 以下にコストを低減できる。

(3) 地下駅空間のリニューアル技術

開口による既設トンネルへの影響を抑制した新旧トンネルの接続工法を開発した（図4）。本工法では、既設トンネルの上床版を抱き込むように逆梁を設置し、水平と鉛直の十字に配置したアンカーで新旧トンネルを接続する。本工法で提案する構造は、線路横断方向に新旧トンネルを一体化するだけでなく、線路方向に逆梁を設置することで荷重の分散を図り、開口による既設トンネルへの負担の増加を抑制している。実物大模型の載荷試験などを行い、新旧トンネルが一体的に挙動することや、接続部が十分な耐荷力を有することを検証するとともに、実用的な設計法をとりまとめた。標準的な 2 層 2 径間の地下駅に幅 12m の開口を設

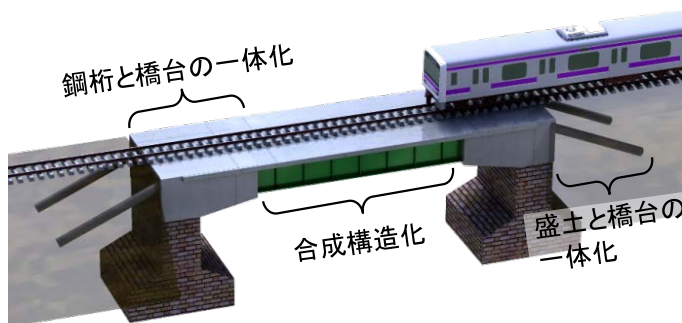


図3 鋼桁・橋台・盛土一体化工法



図4 地下駅の大規模拡幅工法



図5 高架駅ホームのシェルター化工法

けるケースの試算によると、本工法を適用することにより既設トンネルの補強量を大幅に低減できることから、従来工法よりも10%程度のコストダウンを図ることができる。

(4) 地上駅ホーム空間のリニューアル技術

ホームのシェルター化により快適性を向上する技術を開発した(図5)。本工法では、屋根を膜屋根に取り替えること、および、壁が雨よけとなるので、屋根の設置範囲をホーム直上のみに縮小できることから、屋根の大幅な軽量化を実現し、既設高架橋上への設置が可能となった。また、膜材は太陽光を透過するので、シェルター化の欠点の一つである照度低下の防止にも寄与する。一方、夏季温熱環境の悪化を低減するには、十分な換気量を確保するための開口部を設ける必要があるが、模型実験などによりホーム上の気温を外気温よりも過度に高くないようにするための開口量を明らかにしている。

3. 構造物の状態監視保全技術

橋梁など高架構造物の維持管理を行う上で、状態を把握することが重要である。そこで、目視による健全度の評価困難な箇所である橋脚・基礎、支承、スラブひび割れを対象とした監視手法を開発した(図6)。

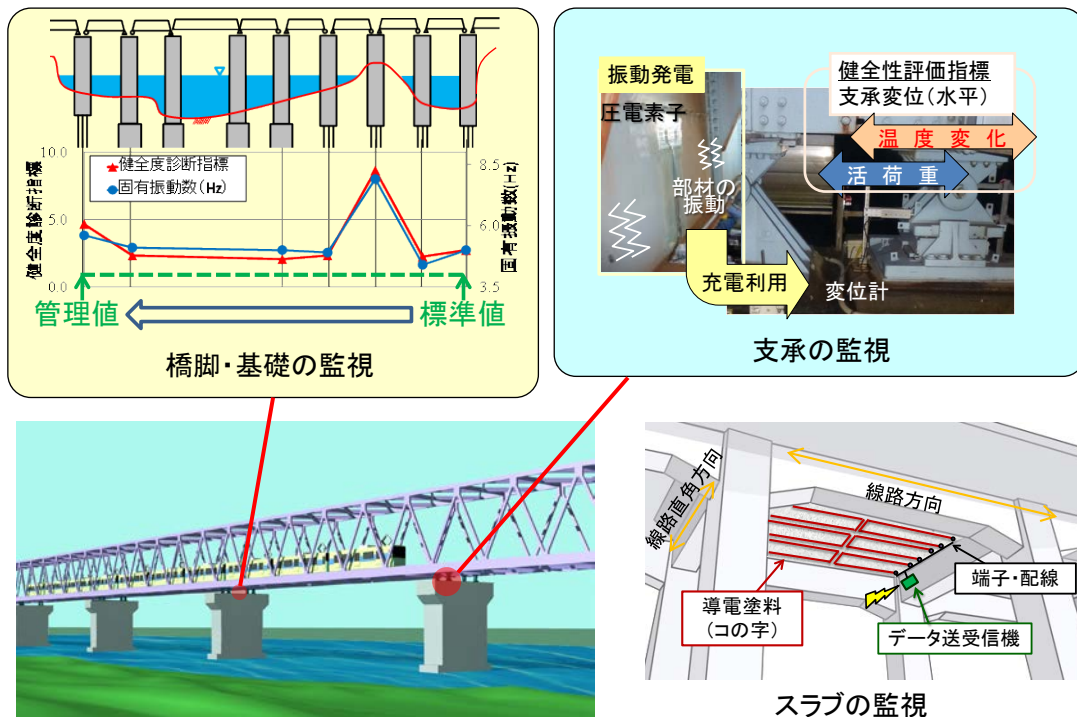


図6 橋梁・高架橋の状態監視

橋脚・基礎の健全性は、従来、振動衝撃試験により固有振動の計測を行ってきたが、多くの労力とコストを要している。これに対して、橋脚に加速度計を設置し、列車通過時の加速度振幅と、常時計測される微弱な振動の周波数に対するパワースペクトルの分布から、健全度を評価する指標を提案した。現地試験によって、固有振動数によるものと同じレベルの評価ができることを確認している。

支承は、変状が進行した場合に列車走行の安全性を脅かすほか、橋桁本体の変状を誘発することも懸念される。状態を早期に把握して、支承の交換に至る前に設定替などで対応することで、コスト削減が期待される。状態監視の手法として、温度変化や列車通過にかかる活荷重に対する支承の水平方向の変位を計測し、支承の可動範囲を継続的に把握し、その変化を捉えることで変状の進行把握の有効な手段となる。なお、このために列車通過時の振動を利用した発電により、全ての電力を賄うことができるシステムを開発した。

また、コンクリートの剥落につながる腐食ひび割れを検知するために、線路方向にコの字型になるように導電塗料を塗布し、ひび割れが発生時に塗料が破断して、通電しなくなることを検出するシステムを開発した。これを利用して破断した箇所数からスラブの健全性を推定する手法を提案している。

4. 構造物の地震に対する安全性向上

巨大地震時に構造物が過大な損傷を受けた場合には地震後のダウンタイムが長くなることが想定され、復旧性の観点から問題となる。また、走行安全性確保の観点からも、構造物の損傷やそれに伴う変形を抑えることが極めて有効である。これらの観点から、鉄道構造物に適した残留変形低減技術および地震時応答低減技術を開発した。検討対象は、一般的な高架橋の他、高架駅や駅舎などの線路上空構造物、および高架橋上に設置される電柱とし、制震デバイスを用いた線路上空建築物や高架橋の応答低減、既設高架橋を対象とした中層梁挿入による残存耐力向上や応答低減、新設構造物を対象とした超連続高架橋による地震動の入力の一様化や折れ角の低減（図7）に取り組んだ。

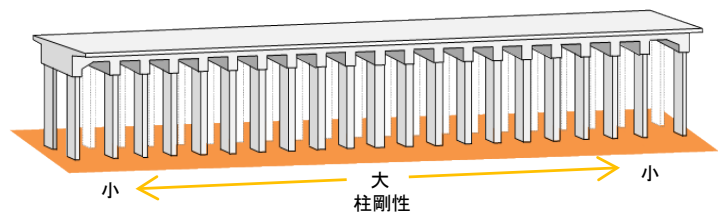


図7 超連続高架橋のイメージ図

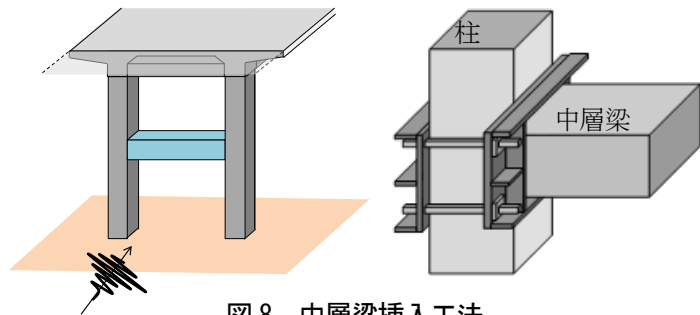


図8 中層梁挿入工法

このうち、既設高架橋の中層梁挿入による対策については、地震による損傷を受けたラーメン高架橋の復旧性を高めることを目的とし、図8に示す高架橋の柱に取替え可能な中層梁を挿入し、地震時に中層梁を積極的に損傷させることで、本体構造を保護する工法である。一般的な柱の鋼板巻き立て工法が柱の変形性能を向上させることを目的とした工法であるのに対し、本工法は、中層梁を挿入することで地震時の応答も低減され走行安全性の向上も可能となる。図8に示す鋼板を用いた中層梁と柱の接合構造を提案し、これが十分な耐力を有すること、ならびに本工法による高架橋の損傷制御ならびに耐力向上効果について、解析および実験により検証した。

5. おわりに

ここで紹介した技術のほとんどは、既に実用化可能な段階にある。いずれも既設構造物の有効活用に資する技術であり、安全性確保と維持管理コストの抑制に役立つものと考えている。

なお、本研究の一部は、国土交通省の技術開発費補助金を受けて実施した。