

橋梁・高架橋のリニューアルに関する最近の技術開発

神田 政幸*

Research and Development Trends of Renewal Technologies
for Railway Bridges and Viaducts
Developed by Railway Technical Research Institute

Masayuki KODA

Railway structures have been constructed since the old age compared to road structures. They have been bearing the safe and stable operation of the railway so far, which has been made possible by a proper management of their maintenance. However, even in an important line, railway structures exceeding 70 years in age after construction can be seen. While there are high needs of railway structure repair and reinforcement technology, the renewal technologies of railway structures including their function improvement are being demanded. Therefore, this review describes an overview of the current state of railway bridges and viaducts and introduces the recent research and development trends of the renewal technology of bridges and viaducts developed by Railway Technical Research Institute.

キーワード：鉄道構造物，橋梁，高架橋，補修，補強，リニューアル

1. はじめに

鉄道は古い時代に建設された構造物が多く、経年変化が進行したのも維持管理を基本として供用されてきた。これらは、鉄道事業者による適切な維持管理（検査・補修）のもとで安全・安定な鉄道運行の一躍を担っているが、経年による劣化や環境変化に耐えきれず、補強などの対策を実施するものも少なくない。

鉄道構造物のストック量¹⁾はトンネルが4737本、橋梁が102293橋（1m以上）であり、平均経年数は約60年と古い。図1に鉄道の建設年度別橋梁数を示す。これによると、鉄道の場合戦前期と高度経済成長期に建設数量のピークがあり、1つ目のピークである戦前に建設されたものについては、現在の設計思想に照らし合わせる

と設計耐用年数を超過するものもある。

このように鉄道構造物の特徴として、戦前期に建設された構造物が比較的多く、現在も健全なものもあるが、他の比較的経年の少ない構造物と比較して経年劣化の進行が想定され、継続的な維持管理では不十分な構造物について抜本的な対策が求められる。一方で、最近の都市内鉄道や新幹線構造物では、前述の機能回復を含む変状対策の実施はもちろんであるが、耐震対策（耐震性向上）や、利便性向上など新たな機能を付加する更新・改築などのリニューアルが求められるようになってきた。したがって、近年では鉄道構造物である、橋梁・高架橋（基礎）、土構造物・擁壁、トンネル、駅舎のリニューアル技術の実用化が急速に進みつつある。

本報では、鉄道の橋梁及び高架橋の内、古い年代から存在する鉄筋コンクリート構造のラーメン高架橋と鋼橋に絞り、鉄道総研が開発した個々のリニューアル技術について示す。

鉄道橋りょう総数：102,293橋(1m以上)

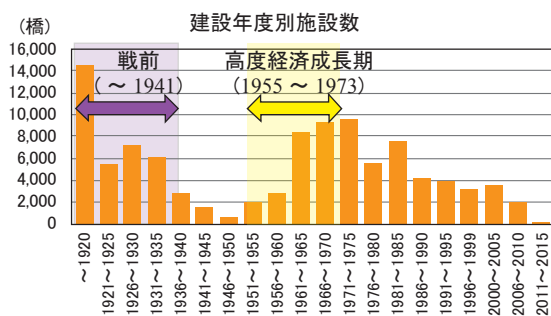


図1 鉄道の建設年度別橋梁数¹⁾

2. RC ラーメン高架橋のリニューアル技術

鉄筋コンクリート構造（以下、RC）が本格的に鉄道構造物に用いられるようになった大正期以降、都市部においては、数多くのラーメン高架橋が建設され、現在においても、その多くが供用されている。都市部のラーメン高架橋の中には、経年劣化や損傷を受けているものがある。また、安全性や使用性の向上のほか、周辺環境との調和など、構造物に対する新たな要求が生じている。しかしながら、都市部のラーメン高架橋においては、立地条件や

* 構造物技術研究部長

特集：構造物技術

列車の過密な運行条件などのため、大規模な取り換えや改修が難しいのが現状である。また、駅施設の機能や利便性の向上の観点から、部材を高性能化し、改築することによって、高架下空間としての利用価値を高めることも期待される。このため、既設のラーメン高架橋においては、鉄道施設としての機能を保持しつつ、構造物としての性能の向上が可能なりニューアル技術が求められている。

ラーメン高架橋は、柱、梁、スラブ、高欄など、様々な部材により構成されるため、各部材の補修・補強工法を組み合わせることにより、高架橋の全面的なりニューアルが可能になる。ラーメン高架橋を構成する柱の補強については、1995年の兵庫県南部地震において、ラーメン高架橋の柱が甚大な被害を受けたことから、精力的に研究開発が進められ、効果的な耐震補強工法が数多く開発された。一方、梁やスラブ、高欄においては、施工性や経済性に優れた効果的な補強工法がないのが現状であった。

2.1 アーチ型鋼材を用いた梁の補修・補強工法

ラーメン高架橋の梁に関しては、アーチ型鋼材を用いて梁を補強する工法²⁾を開発した(図2)。本工法は、アーチ型鋼材の上側に曲げ補強鉄筋を配置し、アーチ型鋼材とせん断補強鉄筋をボルト接合した状態で、充填コンクリートを打設し、梁を再構築する補強工法である。従来の増厚工法では、既設梁の側面及び下面を増厚する際に、底型枠及び支保工が必要となり、また、あと施工の補強鉄筋の端部は、フレア溶接による接合が必要となる。一方、本工法では、アーチ型鋼材を構成する形鋼に設け

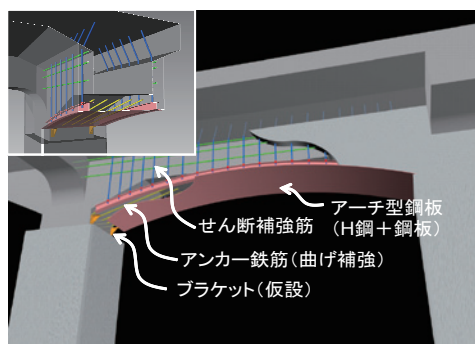


図2 高架橋梁の補修・補強工法²⁾

たボルト孔にせん断補強鉄筋を連結することによって、アーチ型鋼材が底型枠、せん断補強鉄筋が吊支保工となり、吊型枠及び支保工が不要となる。また、曲げ補強鉄筋は、ずれ止めを設けたアーチ型鋼板に重ね継手として接合するため、フレア溶接が省略できることから、工期短縮、コスト縮減が可能となる上、本工法を適用した高架橋は、緩やかな曲線状の外観を有し、景観にも配慮した構造物となる。

2.2 超高強度繊維補強コンクリートを用いた中間スラブの補修・補強工法

ラーメン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³⁾を開発した(図3)。本工法は、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。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。

2.3 小梁増設による片持ちスラブの補強工法

ラーメン高架橋の片持ちスラブは、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、次節の工法により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、片持ちスラブの下面に小梁を増設して補強する工法⁴⁾を開発した(図3)。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。

2.4 高靱性セメントボードを用いた高欄の補修・補強工法

近年、老朽化した高架橋が増加し、高欄からのコンクリート片のはく落による第三者被害及び耐荷力の低下が問題となる場合がある。また、列車の高速化に伴い遮音

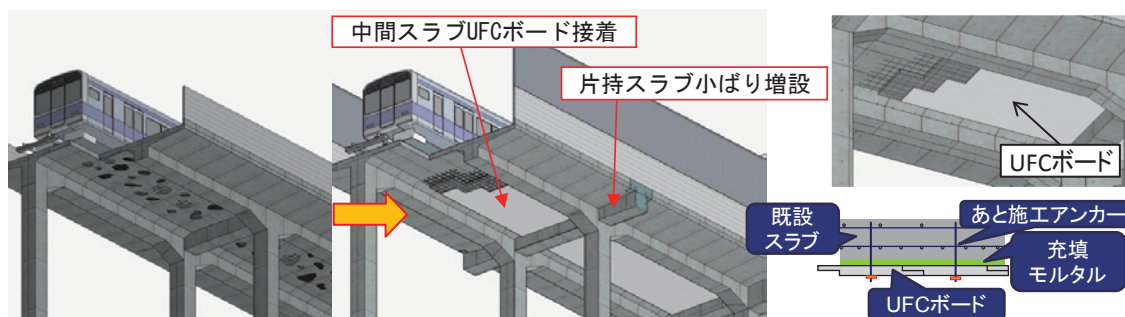


図3 高架橋スラブの補修・補強工法^{3) 4)}

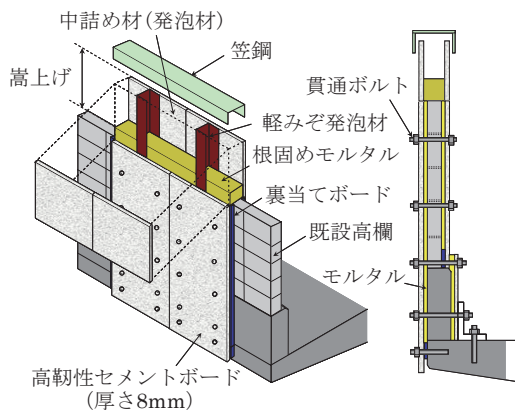


図4 高欄の補修・補強工法⁵⁾

性を高めるために高欄の高上げや補強が必要となる場合がある。そこで、高靱性セメントボードを用いた既設高欄の補修・補強工法⁵⁾を開発した(図4)。本工法は、既設高欄を高靱性セメントボードで両面から挟み、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する。更に、基部にアンカーを接続することで、耐力の向上が期待でき、高さ約1mまで、高上げが可能となる。従来、劣化した高欄の対策工法としては、既設高欄を全撤去した後に、新しい高欄を設置する方法が用いられている。これに対し本工法では、既設高欄を利用し、補修・補強を行うため、既設高欄の撤去・処分が不要となり、更に工期短縮により工事コストの削減が期待できる。

2.5 CFT 構造を活用した高架橋柱の取替え・移設工法

ラーメン高架橋の柱は、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⁶⁾を開発した(図5)。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。既設高架橋の諸

元や柱の移設位置によっては、柱以外の部分で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、対応が可能となる。

3. 鋼橋のリニューアル技術

鋼鉄道橋は、明治期以来、膨大な数が建設されている。近年、騒音の問題などから新設構造物としての採用は減少しているものの、これまでに建設された路線には多数存在し、現在も供用されている。これらの鋼橋の中には、建設後長期間経過し、中には100年以上供用されている場合もある。一方で、経年の進んだ鋼橋では、支点部のき裂、支承の機能不全やまくらぎ下の鋼桁の腐食などが発生しているものもある。また、鋼桁を支持する橋台の中には、地震時に損傷や傾斜を生じる危険性を有しているものもある。長期間供用されてきた既設鋼橋では、このような課題を抱えているものが少なくなく、補強や取替えなどの対策が必要になっている。

3.1 鋼橋の鋼桁・橋台・盛土一体化工法

既設鋼橋の支承部をなくして鋼桁・橋台を一体化し、橋台・背面盛土を地山補強材で連結させ、既設の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6)⁷⁾。鋼桁と橋台を一体化することにより、支承部のメンテナンスが省略されることに加えて、単純支持されていた鋼桁が両端固定となるため、活荷重作用時の発生モーメントが低減されることにより、既設鋼桁の延命化が図れるといった利点が得られる。また、地震時に対しては、ラーメン構造化により反対側の橋台背面盛土の受働抵抗を期待できることや構造的弱点である支承部を無くすことで耐震性が向上する。

3.2 鋼橋の合成構造化工法

既設鋼橋では、鋼桁のフランジ上に直接まくらぎを敷設する開床式構造が多く採用されている。この開床式鋼橋では、まくらぎの下面が腐食しやすく、維持管理に手間を要する事例が見られ、鋼桁の耐荷力にも影響を及ぼすことが懸念される。また、都市内の開床式鋼橋梁の場

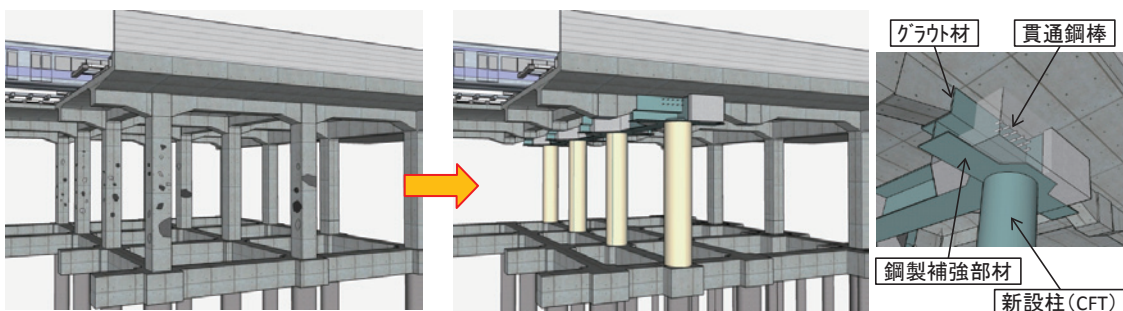


図5 高架橋柱の取替え・移設工法⁶⁾

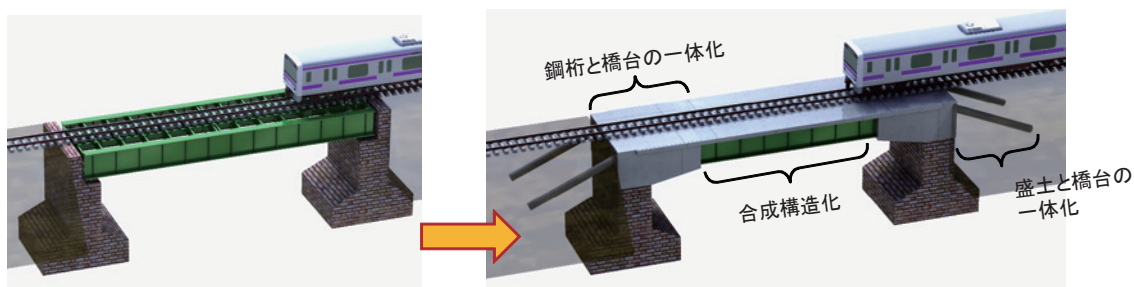


図6 鋼橋の鋼桁・橋台・盛土一体化工法⁷⁾

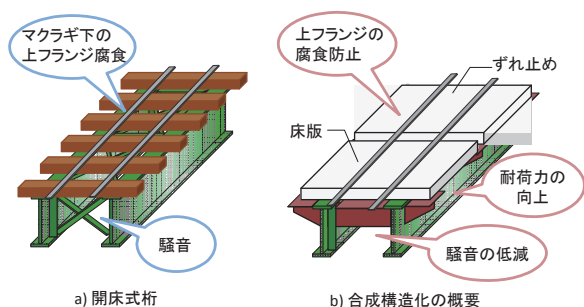


図7 鋼橋の合成構造化工法⁸⁾

合、しばしば騒音への配慮が必要となる。そこで、これらの課題に対応するため、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」⁸⁾を開発した(図7)。本工法は、ずれ止めを介して鋼桁とコンクリート床版を合成桁のように一体化させることで、鋼桁に加わる外力の一部を床版に分担させて耐荷力の向上を図るものである。また、鋼桁の上フランジ面がコンクリート床版で覆われるため、上フランジの腐食を抑制するとともに騒音を低減することが可能となる。

4. おわりに

鉄道構造物のリニューアル技術により求められる効果(ニーズ)は様々なものがある。例えば、

- ・ 鉄道構造物の抜本的性能・機能アップ
- ・ 橋梁・高架橋の利用形態の変更
- ・ 地下駅・トンネルの空間の拡大
- ・ 線増・路線の変更

等が考えられ、これらのニーズは時代とともに変化する。

鉄道総研では、これらのニーズに応えるべく鉄道構造物のリニューアル技術の開発を進めてきた。求められる効果は、現場の環境条件やニーズにより変化する。この変化に応じて鉄道構造物毎、つまり橋梁・高架橋(基礎)、土構造物・擁壁、トンネル、駅舎のリニューアル技術も変化させる必要がある。本報では、鉄道総研が取り組んできた鉄道構造物、特に橋梁・高架橋のリニューアル技術の現状を示したが、条件に応じ費用対効果を比較し、低コストな技術開発に適切に変化させる必要があると考

えている⁹⁾。この他鉄道の地盤構造物(土構造物、トンネル)のリニューアル技術の最近の取組みについては文献10)に詳しい。

なお、3.1節および3.2節の工法開発は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄道構造物の現状，第1回鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議資料1，<http://www.mlit.go.jp/common/000995186.pdf>，2013.4
- 2) 田所敏弥，谷村幸裕，轟俊太郎，前田友章，前田欣昌：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，Vol.25，No.2，pp.17-22，2011.2
- 3) 白井貴之，笠倉亮太，渡辺勉，仁平達也：超高強度繊維補強コンクリートによるRCスラブの補強工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.1243-1248，2014
- 4) 鬼頭直希，仁平達也，岡本大，黒岩俊之，笠倉亮太：増設したRC小梁がRC張出しスラブに及ぼす補強効果，第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2014)，Vo.36，S2-13-3，2014.12
- 5) 橋本学，松本光矢，谷村幸裕，野村敏雄，福井真男：高靱性セメントボードによる既設高欄の補修・補強工法，土木学会第65回年次学術講演会，V-595，2010.9
- 6) 齊藤雅充，上村寿志，池田学，杉本一朗，上村寿志，谷口望，依田照彦：既設高架橋接合部に着目したCFT柱によるリニューアル技術，鉄道総研報告，Vol.28，No.8，pp.11-16，2014
- 7) 神田政幸，館山勝，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.4-7，2012.10
- 8) 齊藤雅充，古屋元，三木千壽，市川篤司，佐々木 栄一：プレキャスト床版により合成構造化された既設鋼鉄道橋の構造性能，土木学会論文集A1，Vol.69，No.2，pp.335-344，2013
- 9) 小島芳之：鉄道構造物の維持管理とリニューアル技術，RRR，Vol.73，No.1，pp.4-7，2016.1
- 10) 小島芳之：地盤構造物に関する最近の研究開発動向，鉄道総研報告，Vol.30，No.12，pp.1-4，2016