

鉄道構造物の延命化・リニューアル技術

小 島 芳 之

鉄道構造物は、適切な維持管理のもとで列車運行の安全の一翼を担っている。しかしながら、中には老朽化や環境変化による変状が生じ対策を余儀なくされるものも少なくない。一方、変状に対して抜本的な延命対策が必要なものや、新たな機能の付加が求められるものなど、鉄道構造物を大規模に改修する「リニューアル」のニーズが高まっている。本稿では、経年が進む鉄道構造物の延命化・リニューアルの位置付けや必要性を述べた上で、鉄道総研が実施してきた延命化・リニューアル技術に関する研究開発成果の概略を紹介する。

キーワード：鉄道構造物、延命化、リニューアル、研究開発、橋りょう、高架橋、土構造物、トンネル

1. はじめに

鉄道構造物は、適切な維持管理のもとで列車運行の安全の一翼を担っている。しかしながら、鉄道構造物の平均経年は既に60年を超えており、中には老朽化や環境変化に耐えきれず深刻な変状が生じ、補強等の対策を余儀なくされるものも少なくない。そのため、保守技術者が減少する中で如何に的確に維持管理し経済的に「延命化」させるかは、鉄道の継続的な安全運行において極めて重要な課題になっている。一方、最近では、都市鉄道や新幹線等では、耐震補強や抜本的な延命化のための大規模改修、利便性といった新たな機能を付加する改築などの「リニューアル」の機運も高まっている。

ここでは、鉄道構造物の維持管理における延命化とリニューアルの位置付けや必要性を述べた上で、鉄道総研が実施してきた延命化とリニューアル技術に関する最近の研究開発成果の一端を紹介する^{1), 2)}。

2. 延命化とリニューアル

(1) 延命化とリニューアルの位置づけ

鉄道構造物の維持管理の体系は「鉄道構造物等維持管理標準」(2007, 国土交通省鉄道局)³⁾により定められており、別稿⁴⁾で紹介したように、全ての鉄道構造物に対して、維持管理計画～検査～措置～記録という一連の流れで実施することになっている。その中で「措置」は、ソフト面の措置(監視、使用制限)と

ハード面の措置(補修・補強、改築・取替)に区分される。ハード面の措置のうち、「補修・補強」は延命化に、「改築・取替」はリニューアルに、各々繋がるものである。

鉄道構造物は古いものが多く構造も多様であるが、特に地方の鉄道では、性能が低下しつつある古い構造物をいかにして安全な列車運行を維持しつつ低コストで延命化させるか?が喫緊の課題となっている。

一方、新幹線や都市部の鉄道では、延命化の技術とともに抜本的な改良のニーズが増加しており、新たなリニューアル技術の開発が期待されている。近年では、JR東海が実施中の2014年10月に開業50年を迎えた東海道新幹線の土木構造物大規模改修や、JR東日本が実施中の首都直下地震等に備えた地震対策などが着手されるなど、リニューアルの機運が高まっている。

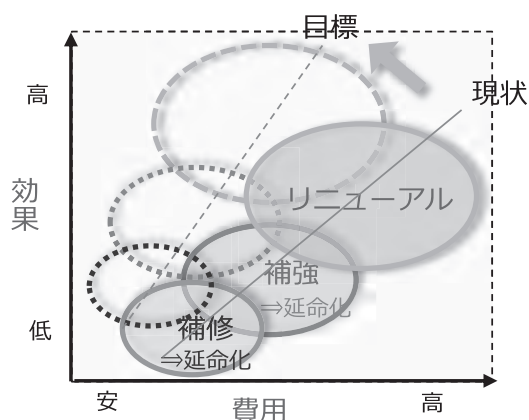
リニューアルには次のようなものがあると考えられ、今後益々増えるものと考えられる。

- ・老朽化が進みつつある構造物の性能・機能向上あるいは延命化のための抜本的な改修
- ・耐荷性能や耐震性能、防災強度の向上を目指した構造変更
- ・付加価値として使用性や環境適合性向上のための抜本的な改修
- ・走行空間や駅空間の拡大(線路増設、駅空間の切上げ、狭小老朽トンネルの拡幅等)

(2) 技術開発の視点

鉄道構造物の補修・補強による延命化技術やリニューアル技術の現状とこれからのあり方について、費用と効果に着目して整理すると、図—1のようになる。すなわち、構造物の特性に応じて低コストで高い効果を有する技術の確立が求められていると考えられる。

鉄道総研では2010～14年度にわたり鉄道の将来に向けた研究課題「構造物のリニューアル技術の革新」に取り組み、高架構造物と駅を対象として新たな技術を提案した^{3), 4)}。3章以降では、これらの成果を中心として、補修・補強による延命化の領域の技術も含めて構造種別毎に紹介する。



図—1 補修、補強、リニューアルの関係²⁾

3. 橋りょう・高架橋の延命化・リニューアル技術

(1) 橋りょう (図—2)⁵⁾

橋りょうのうち、鋼橋は既に平均経年70年を超えており、支承部の変状や鋼材の腐食による桁の耐力低下、地震時の橋台背面盛土の沈下、列車走行時の騒音・振動の発生など、様々な問題を抱えている。このため、補強や取替えが必要となる場合も少なくない。

鋼橋を取替える場合は、線路を横に移設した上で古い鋼桁を撤去して新しい鋼桁に取替える工事が行われることが一般的であるが、この方法は大規模であり長期の施工期間を要する。そこで、鋼橋を撤去することなく、耐震性向上、支承部の保守軽減、鋼桁の耐力・耐久性向上を同時に実現できる、鋼橋・橋台・盛土一体化工法を開発した。

また、鋼桁の橋まくらぎの部分コンクリート床版に置き換えて鋼桁と一体化して合成構造化する工法、Iビーム橋りょうに発生した疲労き裂に対する「コンクリート巻き立て工法」、鋼製橋脚の耐震上の弱点となるピボット支承部の耐震補強工法、等も開発している。



図—2 鋼橋・橋台・盛土一体化工法⁵⁾

(2) RC ラーメン高架橋 (図—3)⁶⁾

RC 構造のラーメン高架橋は、昭和初期から現在まで膨大な数量が建設され供用されているが、スラブ、梁、高欄等で鉄筋腐食によるコンクリートの剥落等が問題となっているものも少なくない。また、柱の耐震補強が必要なものもまだ残されている。これらの課題に対し、各部材について次のような工法を開発した。

- ・高欄：高靱性セメントボードを用いた高欄の補強や嵩上げを行う工法
- ・スラブ：超高強度繊維補強コンクリート (UFC) ボードやデッキプレートを用いた中間スラブの補強工法
- ・梁：アーチ型の鋼材を梁下面に設置して型枠とする補強工法（「アーチサポート工法」）、小梁増設による張り出しスラブの補強工法
- ・柱：鋼板巻立て補強の他、厳しい施工上の制約を考慮した各種耐震補強工法⁷⁾、高架橋柱の合理的な取替え・移設工法

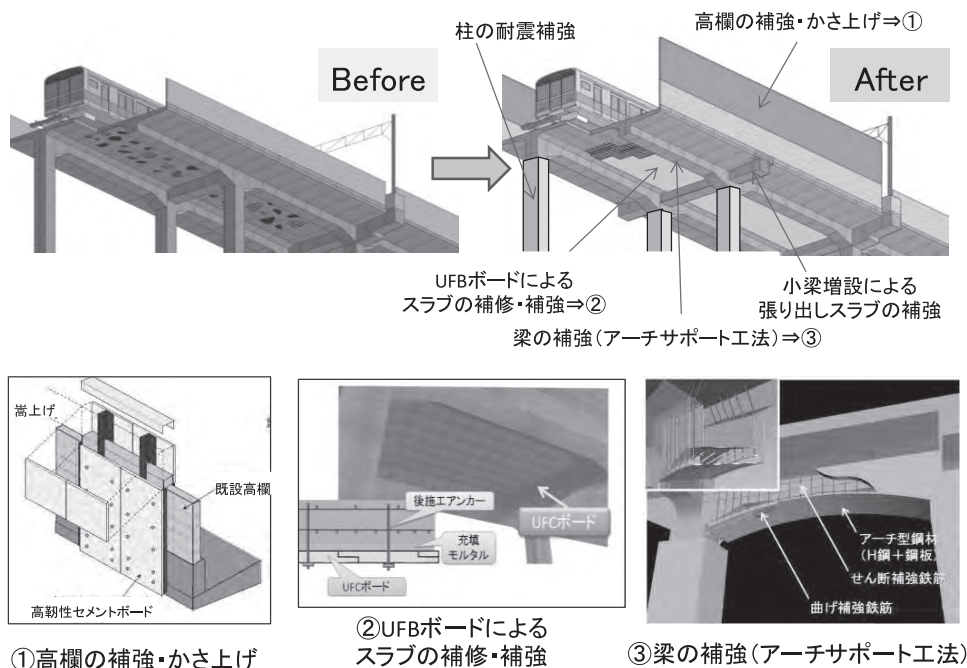
これらの工法を適宜組合せることで、高架橋の延命化さらには抜本的なリニューアルが可能になる。

4. 土構造物のリニューアル技術

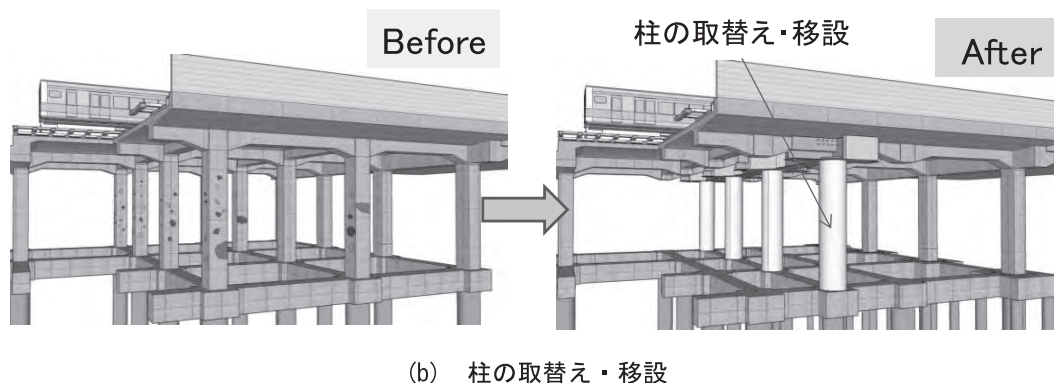
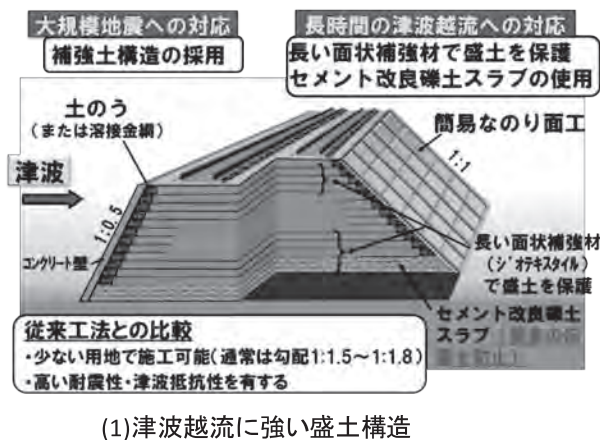
土構造物は、経年劣化に伴う更新というよりも、想定される大規模地震や豪雨等による災害に対する事前補強と災害時の復旧や、線路増設に伴う改修が課題となっている。以下に示す3例はその技術である。

(1) 津波越流に強い盛土構造 (図—4 (1))⁸⁾

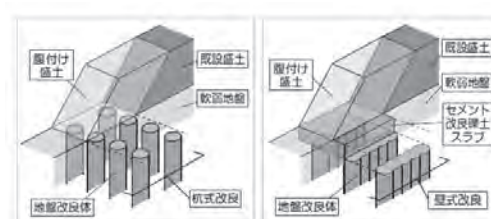
2011年東北地方太平洋沖地震において、鉄道盛土も津波の越流による浸食等の甚大な被災を受けたことは記憶に新しい。このような津波被害に強い盛土構造を開発するため、まず、盛土の被災挙動を模型実験により再現した。その結果、地震の揺れによって盛土堤体とのり面工が損傷し、その後の津波越流によって盛土堤体の浸食と山側のり尻の指示板の浸食により不安定化し、盛土が破壊することが分かった。そこで、のり面工と盛土堤体内部に面状補強材を布設して耐震性



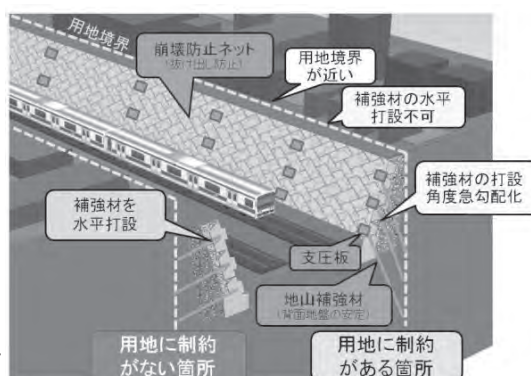
(a) スラブ・梁・高欄・柱の補修・補強

図一3 RC高架橋の各種の延命化・リニューアル技術の例⁶⁾に加筆

(1)津波越流に強い盛土構造



(2)軟弱地盤中の腹付け盛土の補強



(3)石積み壁の耐震補強技術

図一4 土構造物のリニューアル技術の例^{8)~10)}

と津波越流時の浸食に対する抵抗性を向上させ、盛土堤体最下層にセメント改良礫土スラブ（セメント安定処理した粒度調整碎石と面状補強材を併用）を構築して支持地盤の洗掘による浸食と盛土堤体の不安定化を防止する盛土構造を開発した。

(2) 軟弱地盤中の腹付け盛土の補強（図—4（2））⁹⁾

線路拡幅のため既設盛土に腹付け盛土を行う際に軟弱地盤対策が必要になる場合、一般に既設盛土直下の改良は困難なため、既設盛土のり尻部分の対策が行われる。軟弱地盤が厚い場合は、深層混合処理工法による杭式改良が行われるが、水平荷重に対する抵抗機構は解明されていない。そこで、腹付け盛土施工時の軟弱地盤の変形特性の把握と安定性の高い対策工の提案を目的として遠心模型実験を行った。その結果、壁式改良とセメント改良礫土スラブを併用した対策工を提案し、杭式改良と同程度の改良率でも盛土および周辺地盤の変形率を低減できることを確認し、その設計法を整備した。

(3) 石積み壁の耐震補強技術（図—4（3））¹⁰⁾

石積み壁は、全国の鉄道で20万か所に及ぶ土留め擁壁の約4割を占め、大地震時にしばしば崩壊等の被害を受けている。そこで、崩壊防止ネットと地山補強材により石積み壁を耐震補強する工法を開発した。さらに、背面の鉄道用地が狭く制約がある場合の工法も開発している。

5. トンネルの延命化・リニューアル技術

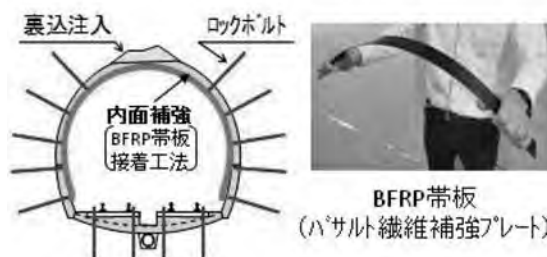
(1) 山岳トンネルの補修・補強による延命化^{11), 12)}

ここでは、外力対策（補強）と剥落対策（補修）に分けて示す。

外力対策としては、裏込注入、ロックボルト、内面



BFRP帯板接着による内面補強



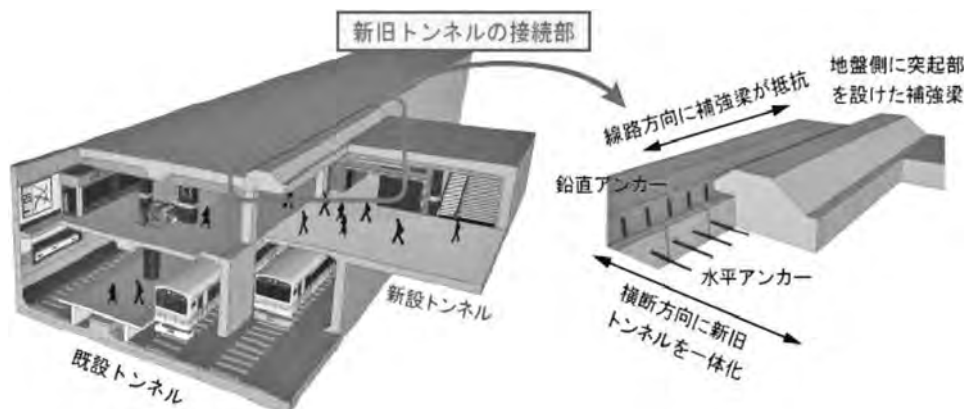
図—5 山岳トンネルの延命化・リニューアル技術の例²⁾

補強工、インバート等を適宜組み合わせることで最適な補強パターンを選定することが一般的に行われている。このうち、内面補強工について、繊維シート接着工等の従来のものより変形性能に優れ、内空阻害も少なく、優れた施工性と耐久性をもったバサル繊維補強プレート（BFRP）接着工法を開発し、数現場で適用されている（図—5）¹¹⁾。

剥落対策としては、繊維シート接着工やネットが広く適用されているが、繊維シート接着工は覆工表面の不陸に対して施工が困難で、ネットは小片はく落の恐れがあるなど、課題も多い。そこで、優れた伸び性能（200%以上）がありスプレーによる吹付けが可能なポリウレタ樹脂による剥落対策工を開発し、現地試験で検証中である¹²⁾。

(2) 地下駅空間の大規模リニューアル（図—6）¹³⁾

地下駅では、混雑緩和や機能向上等を目的として、



図—6 地下駅のリニューアル技術の例¹³⁾

既設トンネルの一部を開口し、新設トンネルと接続する拡幅工事が増加している。しかし、拡幅規模が大きくなると、既設トンネルに多くの補強が必要となる場合がある。また、開口部が担っていた断面力が周辺部材に再配分されるので、これを正確に把握する必要がある。そこで、まず既設の開削トンネルの側壁に開口を設ける場合を対象に、三次元 FEM 解析を行い、三次元的な応力の変化や開口の幅が及ぼす影響を把握した。また、新旧トンネル接続部において、地盤側に突起部を設けた補強梁で既設トンネルを抱き込み、水平と鉛直の十字配置のアンカーで接続する工法を開発した。これは、線路方向に対しては補強梁の効果で、横断方向に対しては新旧トンネルが一体となって抵抗することで、既設トンネルの断面力の増加を抑制する構造である。実物大模型載荷試験等を行い、接続部が先行して破壊せず、新旧部材が一体的に挙動すること、本工法を適用するために提案した設計法で期待した曲げ耐力を有することを検証した。標準的な 2 層 2 径間のトンネルでは、既設トンネルの補強量が低減することで約 10% のコストダウンとなる。

6. おわりに

経年が進む鉄道構造物の延命化・リニューアルの位置付けや必要性を述べた上で、鉄道総研が実施してきた延命化・リニューアル技術に関する研究開発成果の概略を紹介した。

鉄道構造物の維持管理において、延命化・リニューアル技術の要求は益々高まると予想される。ここで紹介した延命化・リニューアル技術に関する研究開発成果は、何れも実用性の高いものであると考えている。これらの技術は鉄道構造物を直接の対象として開発してきたものであるが、道路等の分野においても適用して頂けるものもあると考えられる。

今後はこれらの成果のブラッシュアップとともに、多様なニーズにお応えできるように様々な視点から研究開発を更に進めてゆきたいと考えている。読者の皆

さまのご意見・アドバイス等を頂ければ幸いである。

検査・診断、記録、維持管理計画等の維持管理に関する他の重要な技術には本稿では触れていない。検査・診断技術については、別稿⁴⁾をご覧頂ければ幸いである。

なお、本研究の一部は、国土交通省鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

J C M A

《参考文献》

- 1) 館山勝：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，2013。
- 2) 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。
- 3) 鉄道総合技術研究所編（国土交通省鉄道局監修）：鉄道構造物等維持管理標準・同解説，2007。
- 4) 小島芳之：鉄道構造物の維持管理と検査・診断技術，建設機械施工，Vol.69，No.9，pp.57-63，2017。
- 5) 小林裕介：鋼橋をリニューアルする RRR，Vol.73，No.1，pp.12-15，2016。
- 6) 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。
- 7) 岡本大，堀慎一，谷村幸裕：既設高架橋の耐震性を向上する，RRR，Vol.70，No.3，pp.20-23，2013。
- 8) 渡辺健治，松浦光佑，藤井公博，工藤敦弘：大地震および長時間の津波越流に対して粘り強い鉄道盛土構造の開発，JREA，No.57，Vol.11，pp.39058-39060，2014。
- 9) 工藤敦弘，渡辺健治，島田貴文，佐藤武斗，森川嘉之，高橋英紀：軟弱地盤上の腹付け盛土に対する安定性の高い対策工の提案，鉄道総研報告，Vol.29，No.10，pp.29-34，2015。
- 10) 中島進，渡辺健治，神田政幸，藤原寅士良，高崎秀明，池本宏文：崩壊防止ネットと地山補強材による既設石積み壁の補強方法の開発，土木学会論文集 C，Vol. 71，No. 4，pp. 317-334，2015。
- 11) 岡野法之，植村義幸，小島芳之：FRP 帯板を用いたトンネル覆工の内面補強工法の開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.12，pp.41-46，2009。
- 12) 伊藤直樹，野城一栄，奥石正巳，井出一直：ポリウレタ樹脂を用いた吹付け型剥落対策工の開発，土木学会第 71 回年次学術講演会，VI-554，2016。
- 13) 仲山貴司，焼田真司：地下駅をリニューアルする，RRR，Vol.73，No.1，pp.20-23，2016。

【筆者紹介】

小島 芳之（こじま よしゆき）
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部
主管研究員

