

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

狭隘地の橋台・擁壁を耐震補強する

従来の橋台・擁壁の耐震補強工法は、構造物の前面側から大規模な工事を行う必要があるため、用地制約の厳しい都市部などの狭隘地では施工が困難という課題がありました。一方で、耐震補強を優先的に実施する対象は都市部の構造物であることが多いため、狭隘地でも施工可能で、かつ経済的な耐震補強工法の開発が望まれていました。ここでは、鉄道総研が開発した、構造物の前面側に必要な施工用地を最小限に抑えることができる橋台・擁壁の耐震補強工法を紹介します。

はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、橋りょう・高架橋のみならず、橋台・擁壁などが甚大な被害を受けました¹⁾(図1)。これを受けて、大規模地震に備えるために、既設構造物の耐震補強が順次実施されています。

過去の地震における橋台の被害とし



図1 擁壁の被害事例 (兵庫県南部地震)¹⁾

ては、橋台の背面盛土が橋台を押しこむことで橋台に水平変位や傾斜が生じ、背面盛土に沈下が生じる事例(図2)などが報告されています。鉄道構造物の場合、これが軌道面の変状を引き起こし、列車走行時の安全性を著しく低下させる可能性があるため、近年、既設橋台の耐震補強計画が進められています。

一方、擁壁は、全国の鉄道沿線に25万か所以上存在しており、その大半が石積み擁壁です。石積み擁壁はコンクリートが普及する前から活用されていますが、大規模地震では崩壊に至る事例が多数報告されています。耐震補強の対象となる重要構造物ではあるものの、箇所数が多いため経済的な補強工法の開発が望まれてきました。

従来の耐震補強工法

従来、橋台の耐震補強工法としては、ストラット工(補強部材として橋台間に鉄筋コンクリート板などを設置する補強工法)や、グラウンドアンカー(高強度の鋼材などの引張り材)で橋台を地盤に縫い付ける工法などが採用されてきました(図3)。また、擁壁の耐震補強工法としては、図4のように擁壁

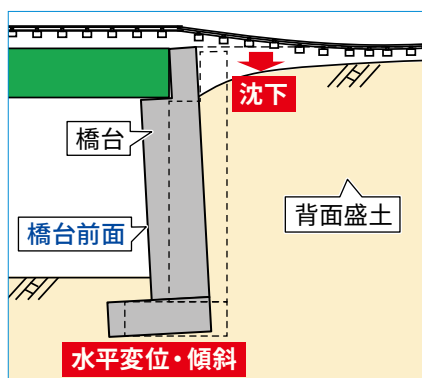


図2 橋台の背面盛土の沈下



笠原 康平
Kohei Kasahara
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室
研究員



佐名川 太亮
Taisuke Sanagawa
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室
主任研究員



中島 進
Susumu Nakajima
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室
主任研究員



神田 政幸
Masayuki Koda
構造物技術研究部長

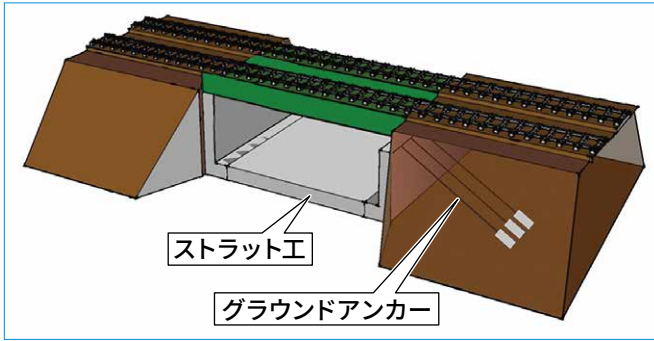


図3 従来の橋台の耐震補強例²⁾

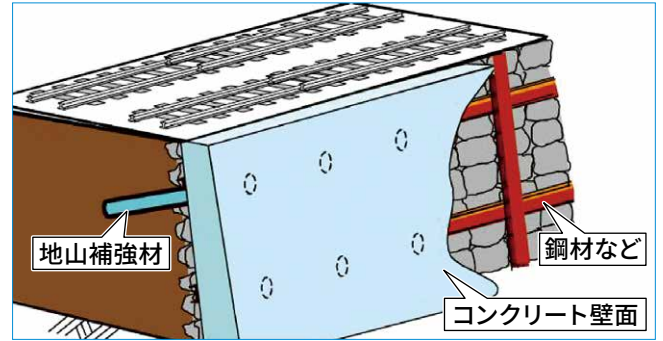


図4 従来の擁壁の耐震補強例²⁾

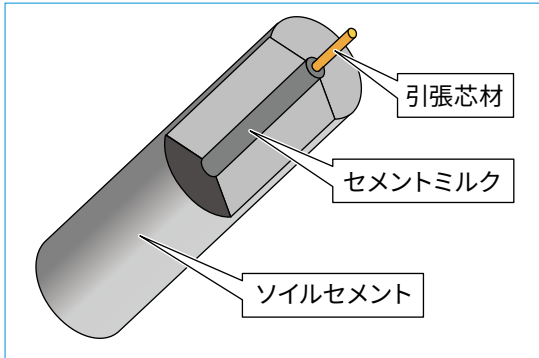


図5 地山補強材の構成

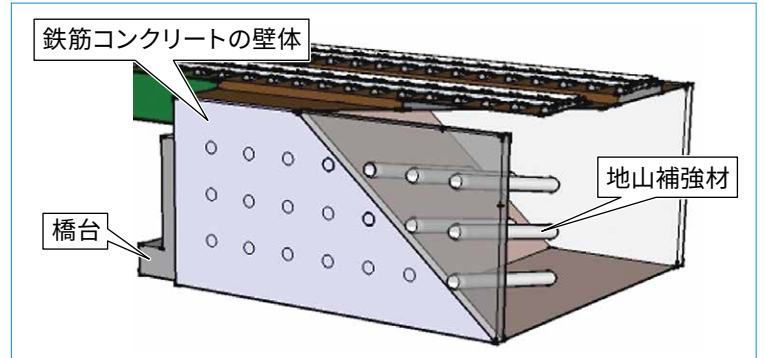


図6 地山補強材と橋台との連結による耐震補強工法²⁾

☞ 地山補強材
棒状のソイルセメント(土をセメントで改良したもの)の内部にセメントミルク(セメントと水を練り混ぜたもの)を注入したうえで、引張芯材として鋼棒等を挿入した補強材を指します。

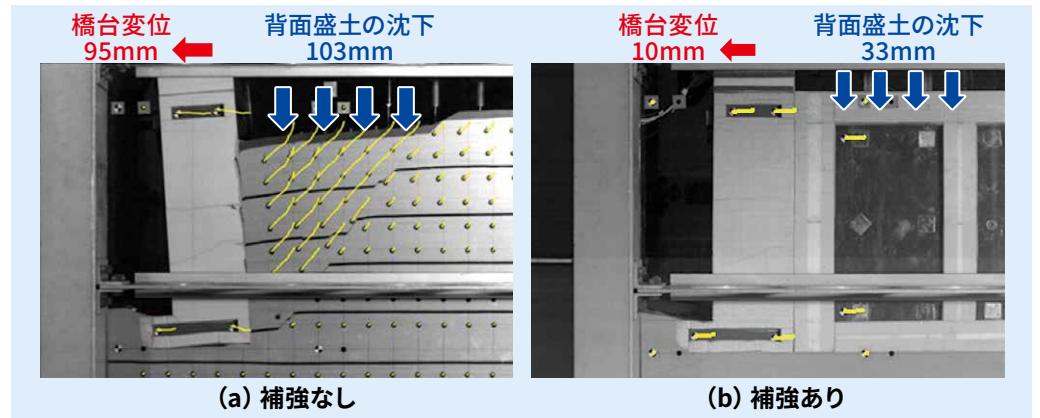


図7 橋台耐震補強工法の性能確認試験²⁾
(地山補強材と橋台との連結による耐震補強工法)

前面にコンクリート壁面を構築した上で、**図5**に示す地山補強材(☞参照)でコンクリート壁面の安定性を確保する工法などが多く採用されてきました。しかしながら、これらの工法は、構造物前面側に広い施工用地が必要であり、橋台または擁壁の前面に道路や軌道がある場合など、施工環境に制約がある狭隘地では施工が困難という課題がありました。一方で、耐震補強を優先的に実施する対象は、狭隘地の多い都市部の構造物であることが多いため、狭

隘地でも施工可能で、かつ経済的な耐震補強工法の開発が望まれていました。そこでここでは、狭隘地でも施工可能な耐震補強工法として、構造物前面側の施工用地を最小限に抑えることができる橋台・擁壁の耐震補強工法を紹介します。

橋台の耐震補強工法

①地山補強材と橋台との連結による耐震補強工法

本工法は、地山補強材と鉄筋コンク

リート(鉄筋コンクリート)の壁面を用いて、背面盛土の側面から施工を行う工法です(**図6**)。橋台・壁面・地山補強材を一体化することで、地震に対する抵抗力を向上させ、橋台が転倒しないように抑える効果もあります。本工法は、翼壁(橋台近傍に設置されている擁壁)の耐震性が低く、地震時に翼壁と橋台の間に隙間が生じて背面盛土が流出するおそれがある場合などに採用します。

本工法の補強効果を検証した模型振動実験²⁾を簡単に紹介します。本実験

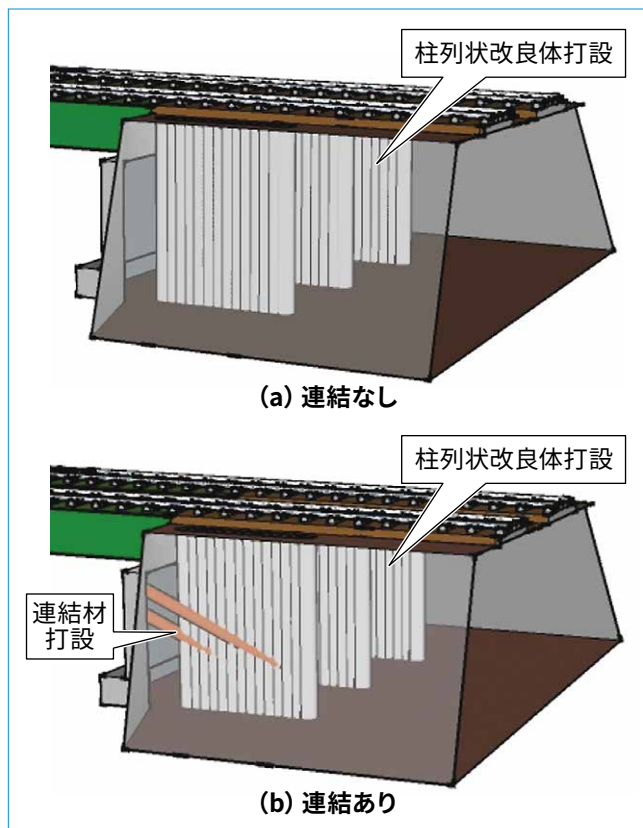


図8 橋台背面盛土の地盤改良による耐震補強工法²⁾

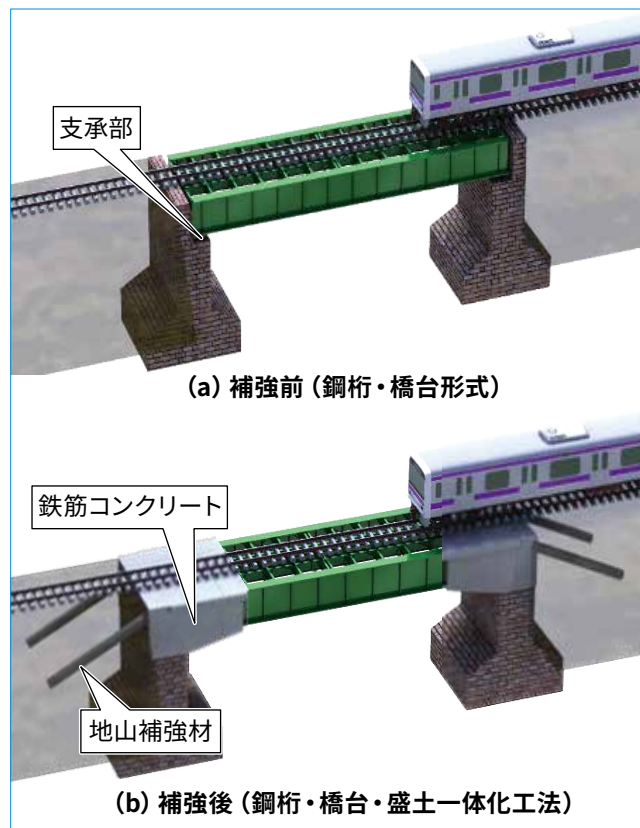


図9 鋼桁・橋台・盛土一体化工法²⁾

では、鉄道総研が所有する中型振動試験装置を用いて、縮尺1/8スケールの橋台模型を対象に、地震の揺れを模擬した加振を行いました(図7)。その結果、加振後の橋台の残留変位(加振が終了した後の最終変位量)と背面盛土の沈下量が、補強を実施することで大きく抑制されることがわかりました。本工法は、実構造物への適用も現在検討されています。対象は鉄道をまたぐ跨線橋ならびに盛土であり、橋台前面側の施工用地を最小限にできること、さらには橋台と盛土の両者を一体として補強できることから、本工法の適用が計画されています。

②橋台背面盛土の地盤改良による耐震補強工法

本工法は、セメント系の材料を用いた柱列状の改良体を橋台背面盛土に打設することで、橋台の変形や背面盛土の沈下を抑制する工法として開発され²⁾³⁾(図8(a))、橋台の背面盛土材料

の品質が低い場合などに採用されます。軌道面(背面盛土の上部)から改良体を打設するため、橋台前面側の施工用地を不要とすることができます。改良体の打設は、架線に支障しない高さの低空頭型の機械を用いることで施工が可能です。また、橋台の耐震性が低く転倒するおそれがある場合は、橋台前面に施工用地が必要とはなりませんが、橋台と改良体を連結材(PC鋼棒を挿入し、周囲をモルタルなどで充填したもの)でつなぐことにより対応することができます(図8(b))。

本工法は、模型振動実験による検証を実施しており、補強を行うことで耐震性が向上することを確認しています。さらに、橋台と改良体を連結させて一体化することで、橋台が転倒しないように抑える効果が発揮され、耐震性が大きく向上することがわかっています。また、本工法は、すでに実現場における適用事例があります³⁾。当該事例で

は、基本的には線路の両側に1列ずつ柱列状改良体を配置し、線間が広い箇所については2列配置としています。

③鋼桁・橋台・盛土一体化工法

本工法は、鋼桁・橋台形式の老朽橋りょうの延命化・耐震化を図ることを目的として、鋼桁・橋台・背面盛土を鉄筋コンクリートと地山補強材で一体化する工法です(図9)。鋼桁と橋台の交差部をコンクリートで覆うことで支承部がなくなるため、メンテナンスが省力化されるとともに、桁・橋台を一体化することで鋼桁の落橋を防止できます。さらに、地山補強材を橋台前面または側面から背面盛土に向けて打設して橋台と背面盛土を連結させることで、背面盛土の沈下防止と橋台の安定性向上が期待できます。

また、本工法は構造変更による耐震性向上が期待できるため、材料劣化の進行した鋼桁やレンガ・石積からなる旧式橋台の耐震化にも有効です。

本工法の開発にあたり、模型実験や、鋼桁と橋台の交差部の補強に関する部材実験などを実施し、地震時の挙動などの基本的な特性を把握しています。また、試験橋りょうを施工し、施工後の継続的な観測と載荷実験を実施しており、その性能を確認しています。

鋼桁・橋台・盛土一体化工法は実構造物への適用事例⁴⁾があります。当該橋りょうは、当初は橋の掛け替えを計画していましたが、本工法を適用することで工事費を抑えながら、耐震補強および長寿命化を図ることができました。施工後の性能確認を行ったところ、列車通過時に桁に生じるたわみが施工前の1/2～1/3に低減していることが確認されたほか、付加的な効果として列車通過時の騒音レベルの低下も確認されました。

擁壁の耐震補強工法

狭隘地の擁壁を対象として、石積み壁の前面に金網などの崩壊防止ネットを設置して積み石を拘束するとともに、地山補強材を打設して背面地盤の安定化を図る工法（ネット補強工法）を提案しました（**図10**）。本工法は、擁壁前面に架設されているケーブルなどの支障物の移設や、鉄筋型枠工事が不要となるため、擁壁前面に軌道がある場合など、施工用地が狭い状況でも施工が可能である点が利点です。

ネット補強工法の性能については、模型実験による検証を行いました。検証事例の中から、振動実験における加振後の状況を**図11**に示します。無対策の場合は、小さい加振レベル（加速度400gal加振）終了後に積石が抜け出して崩壊したのに対して、補強したものは、大きい加振レベル（加速度800gal加振）終了後でも比較的軽微な変形に留まっており、大規模地震に対して十分な耐震性があることが示され

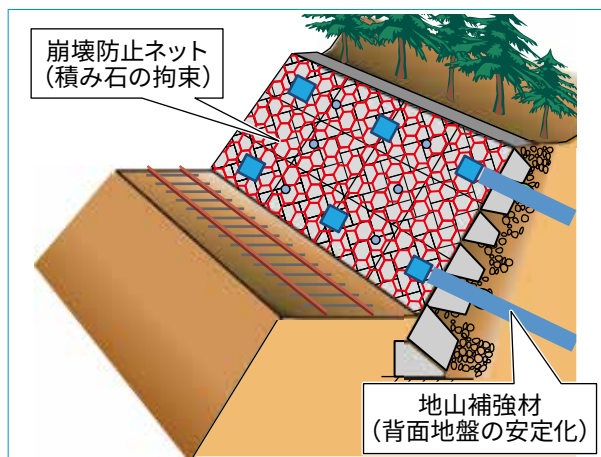


図10 ネット補強工法の概要²⁾

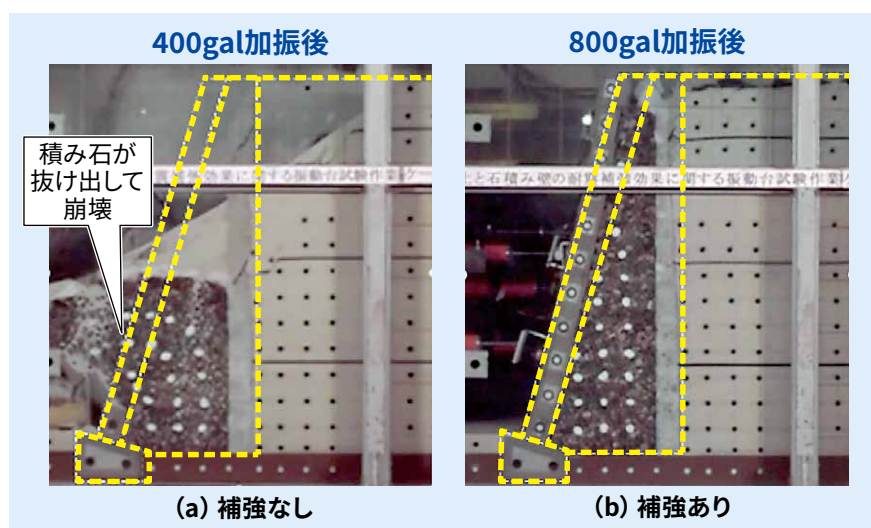


図11 ネット補強工法の性能確認試験²⁾
(図中の黄色い点線は加振前の擁壁位置を示しています)

ました。

ネット補強工法は、実現場への適用事例があります。対象は約7mの石積み壁で、石積み壁の全面にケーブルが添架されており、鉄筋コンクリート壁の打設が困難であったため、ケーブルを避けながら補強することが可能なネット補強工法が採用されました。

おわりに

ここでは、狭隘地でも施工可能な橋台・擁壁の耐震補強工法を紹介しました。今後は補強の実施事例を収集・分析し、よりよい補強工法の開発や補強工法の選定法の提案などを行いたいと考えています。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所 地震対策プロジェクト：兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書、鉄道総研報告 特別号、1996
- 2) 佐名川太亮，中島進，神田政幸：厳しい制約条件下で施工可能な橋台・擁壁の耐震補強工法，鉄道総研報告，Vol.34，No.6，pp.11-16，2020
- 3) 滝沢聡，中村宏，油谷彬博，高崎秀明，池本宏文，山本忠：土構造耐震補強における技術開発成果の現場適用事例，SED，No.53，pp.38-46，2019
- 4) 早川雄馬，沖野俊介，佐名川太亮：小田急小田原線 旧恩田川橋りょうの耐震補強事業について—既設盛土一体化橋りょう工法の採用—，地盤工学会誌，Vol.69，No.4，pp.27-30，2021