

構造変更による鋼桁・橋台形式の既設橋梁の耐震補強技術

構造物技術研究部 基礎・土構造研究室
室長 神田 政幸

1. はじめに

鋼鉄道橋梁は明治より建設され、供用後 50 年以上経過した橋梁数が現存橋梁数の半数を超える状況にある。今後、補修・補強さらに架替え等を必要とする橋梁数も増加することが想定される。

このような従来形式の橋梁は、橋台構築後に背面の盛土が構築されるため、盛土構築に伴う橋台の沈下や側方移動が生じる場合がある。一方、完成後においては、支承部の腐食および背面の盛土の沈下などメンテナンスに関わる事項の発生が懸念される他、地震等の異常時では土構造区間と橋梁区間の構造境界部として、橋台・背面盛土の脆弱な耐震性が要因となって橋台の傾斜やひび割れ、背面の盛土の沈下が生じ、場合によっては落橋に至る可能性がある。また、河川橋梁では、流水の変化や乱れ等による河床低下により橋台前面が洗掘され、異常出水時には橋台が傾斜あるいは滑動によって、落橋に繋がるような大きな相対変位が、橋台・鋼桁間に生じる場合もある。表 1 に従来形式の橋梁の課題をまとめた。

橋梁の架替え無しによる鋼桁・橋台形式の橋梁の延命化・耐震化を目的として、橋台と背面の盛土を地山補強材と剛な RC 壁により結合させ、鋼桁と橋台を RC 巻立てでラーメン構造とすることにより、鋼桁・橋台・盛土部の一体化による常時・異常時の機能向上策を新たに提案した。このような構造を「既設盛土一体化橋梁 (Integral Bridges with Nail-Reinforced Soils)」とし、補強方法を「鋼桁・橋台・盛土一体化補強工法」と呼ぶ (図 1) ¹⁾。

そもそもこの補強技術は、新設橋梁の新しい構造提案が発端となっている。一般的な橋梁は、支承を介して橋台で橋桁を支持する。支承・橋台部は変位を吸収する構造のため潜在的に常時・異常時の安定性が低く、完成後は背面の盛土の沈下・変形が発生し、支承部は鋼桁の腐食や汚れの発生など維持管理上の弱点となっている。そこで、我が国の鉄道分野では、橋台背面の盛土の沈下問題や耐震性の課題を解決する目的として、補強土技術 (RRR 工法) を取り入れた「補強土橋台を用いた橋梁」を開発した (図 2)。一方、欧米では支承を無くし橋台と橋桁をラーメン構造にする「インテグラル橋梁」が標準橋梁として用いられている (図 2)。「補強土橋台」では支承が存在し、維持管理上の課題は残されたままであり、一方、「インテグラル橋梁」では、温度変化に伴う橋桁の繰返し伸縮によって生じる橋梁く体のひびわれや背面の盛土の沈下などが課題として存在する。そこで、土構造技術と橋梁技術の両面から、常時、異常時の橋梁・背面の盛土の機

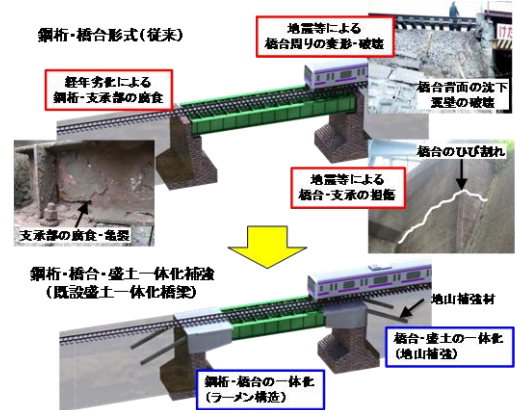


図 1 既設盛土一体化橋梁 (鋼桁・橋台・盛土一体化補強工法) の概要

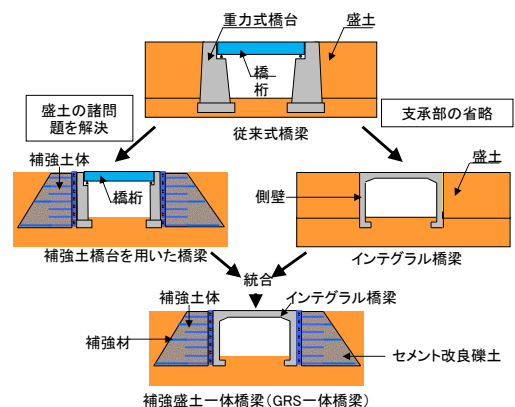


図 2 補強盛土一体化橋梁の開発経緯

表 1 従来形式橋梁の課題と既設盛土一体化橋梁の特徴

	対象	従来形式橋梁（鋼桁・橋台形式橋梁）の課題	既設盛土一体化橋梁の特徴 （鋼桁・橋台のラーメン構造化／橋台・盛土の地山補強材による一体化）	
			期待される効果	確認事項
施工時		<ul style="list-style-type: none"> 橋台構築後、背面盛土施工、その後桁架設となるため、<u>背面盛土構築に伴う橋台の沈下、側方移動が生じる場合がある。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 仮線方式による桁・橋台の取替と比較して、架け替えなし、仮線・仮桁・仮橋台なし、線路切替なしのため、<u>施工が容易で安価。</u> 横取り方式による鋼桁のみの取替と比較して、仮受台なしのため施工が容易で安価。さらに橋台の機能が向上する。 基礎の補強が必要ない。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設盛土一体化橋梁の施工性
常時	鋼桁・橋台間	<ul style="list-style-type: none"> 支承が常に機能するよう<u>支承部の維持管理</u>が発生する。 雨水等により<u>支承部から錆等の腐食が発生し劣化が進行する。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 支承が無いため、<u>維持管理が省略</u>できる。 列車荷重による桁中央の曲げモーメントが減少するため、<u>疲労寿命を延伸</u>できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 温度変化や列車荷重等による桁と橋台の発生断面力等
	盛土・橋台間	<ul style="list-style-type: none"> 橋台には常に土圧が作用し、特に安定性の低い橋台では、<u>背面盛土の沈下や橋台が前面に倒れ込み</u>、場合によっては支承が機能不全となる。 盛土と橋台の支持特性の違いから<u>相対変位が生じ</u>、常時の走行性に支障を来す場合がある。このため背面盛土の維持管理が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> 地山補強材により背面盛土の自立性が向上するため、<u>沈下を抑制</u>できる。また、<u>橋台の安定性が向上</u>する。 盛土と橋台の相対変位の発生を防止できるため、<u>背面盛土の維持管理の省力化が可能</u>である。 	<ul style="list-style-type: none"> 温度変化による盛土と橋台の発生変位等
異常時（地震・異常出水時）	鋼桁・橋台間	<ul style="list-style-type: none"> 異常時には<u>支承部や橋台の損傷が発生</u>する場合があり、復旧に時間を要する。 鋼桁と橋台の相対変位が大きくなると、<u>桁脱落の可能性もある。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ラーメン構造化により、<u>橋梁全体の耐震性や異常出水時の抵抗性が向上</u>する。 鋼桁と橋台が剛結されているため、<u>落橋しない。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 異常時の桁と橋台の発生断面力等
	盛土・橋台間	<ul style="list-style-type: none"> 橋台には地震時土圧が作用し、特に安定性の低い橋台では、<u>橋台の倒れ込みや背面盛土の沈下</u>が生じ、復旧に時間を要する。 盛土と橋台の支持特性の違いから、地震時・異常出水時に<u>相対変位が生じ、走行性に支障をきたす場合がある。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 地山補強材により橋台と背面盛土が一体化するため、<u>背面盛土を含めた橋台部の耐震性が向上</u>する。 橋台と背面盛土が一体化するため、地震時・異常出水時の相対変位が生じにくく、<u>走行性を確保可能</u>である。 	<ul style="list-style-type: none"> 異常時の盛土と橋台の発生変位等
	基礎	<ul style="list-style-type: none"> 河川橋梁の場合、河床低下・洗掘が発生し、場合によっては、<u>橋台が傾斜する場合がある。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 異常出水時においても、橋台の支持力の低下、橋台の傾斜、落橋には直接結びつかない。<u>河川橋梁の異常出水時の抵抗性が向上</u>する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地震等の橋梁の耐荷力が向上すれば、異常出水時の抵抗性が高まった判断できる

能向上を目的とし、経済性に優れた橋梁構造として、補強土技術とインテグラル橋梁技術を融合させ、橋桁・橋台・盛土を一体化した「補強盛土一体橋梁（Integral Bridges with Geosynthetics - Reinforced Soils）」を提案した（図 2）²⁾。この構造は、支承部の省略、ラーメン構造による断面形状のスリム化、補強土と橋梁を一体化し橋梁を背面盛土に張り付けることにより、基礎構造の簡略化を可能とさせ大幅なシステムチェンジを図ったものである³⁾。

補強盛土一体橋梁の技術である、橋台と背面盛土を一体化する、橋桁と橋台を一体としラーメン構造化する基本コンセプトを鋼桁・橋台形式の橋梁の延命化・耐震化に応用したのが、「既設盛土一体化橋梁」である。

2. 鋼桁・橋台・盛土一体化による補強方法の提案

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可能になることに加えて、単純支持されていた鋼桁が両端固定となることで、活荷重作用時の発生モーメントが低減され、旧式鋼桁の延命化が図れるといった利点が得られる。さらに地震時に対しては、ラーメン構造化により反対側の橋台背面の盛土の地盤抵抗が期待できることや、構造的弱点箇所である支承部を無くすことで耐震性が格段に向上する。場合によっては、支承部の破壊から生ずる落橋に対しても回避できる他、構造境界が無くなることで、地震時および地震後の列車の走行安全性についても格段の向上が期待できる。

一方、課題として支承部を無くしラーメン構造化することにより、温度変化等による鋼桁の伸縮による橋台背面の盛土の沈下や、経年的な残留変位の累積による橋台背面の土圧の増加から、橋台のひび割れ等の発生が懸念される。しかしながら、提案構造では橋台と背面盛土を地山補強材により一体化することで、温度変化等による橋台天端の水平変位が抑制されることに加え、橋台背面の盛土の自立性が増し、背面の盛土の沈下や土圧増加の抑制といった利点が期待できる。

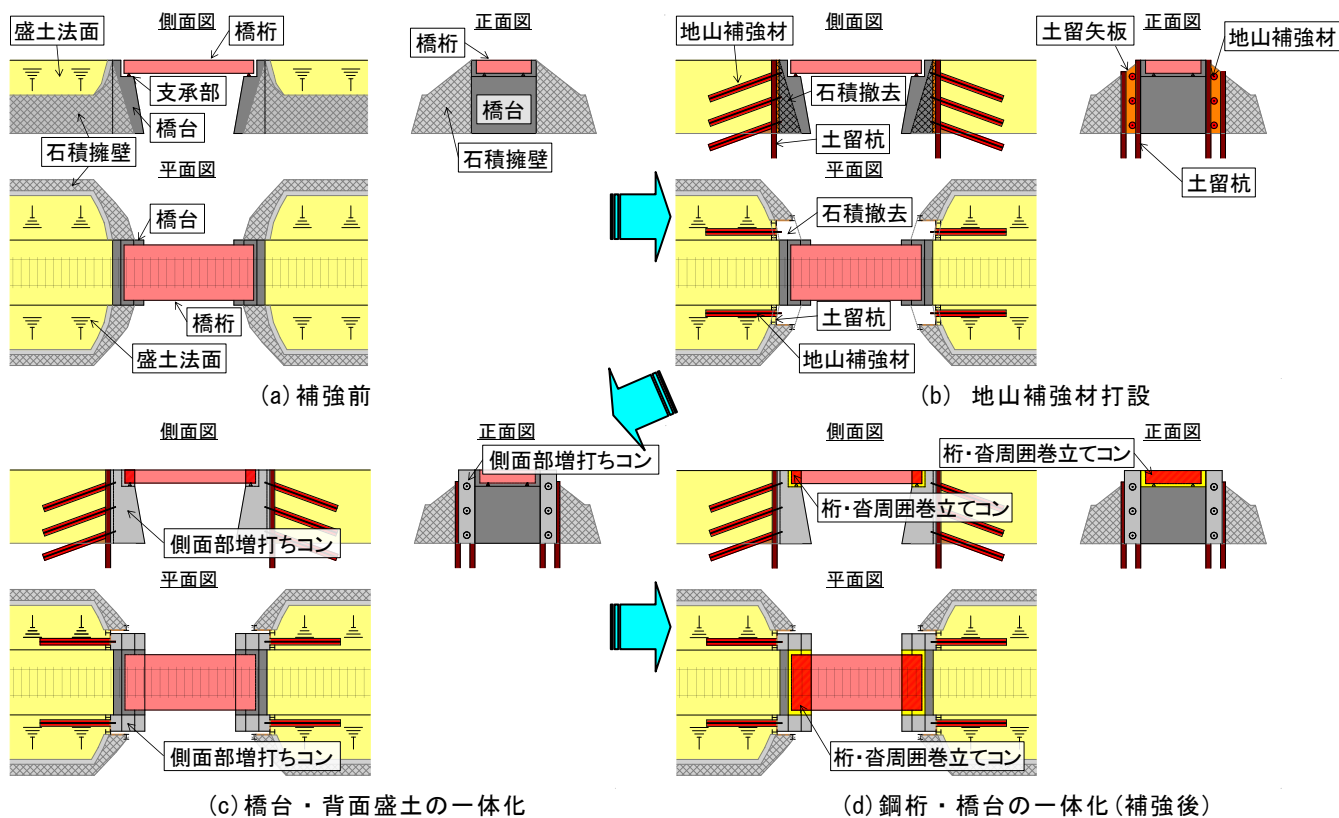


図3 鋼桁・橋台・盛土一体化補強の施工手順

表1に「既設盛土一体化橋梁」の特徴をまとめた。

鉄道総研では、鋼桁・橋台・盛土からなる実大規模の試験橋梁を構築し、その後の補強施工をイメージした地山補強材による橋台・背面盛土の結合や、鋼桁・橋台のRC巻立てによる施工実験を実施し、その可能性を確認した。また、補強前後の載荷実験、動態計測、鋼桁の温度伸縮を模擬した繰返し水平載荷実験、耐震性や地震時の破壊形態を確認する正負交番水平載荷実験を実施した。以下では、「既設盛土一体化橋梁」の構造および施工実験を中心に説明する。なお、「既設盛土一体化橋梁」の機能向上の詳細は、参考文献4)、5)に詳しい。

3. 試験橋梁構築後の補強実験

試験橋梁は、桁長13.3m、橋台高6.05mであり、橋台幅は単線橋梁を想定し2.95mとした。鋼桁は、山陰本線余部橋梁で使用されていた上路桁形式の1スパン18mの鋼桁を加工し、橋長を調整して用いた。橋台背面の盛土には稲城砂を使用している。

実施工においては、図3に示すように橋台側面から地山補強材による補強を実施し、側面部増打ちコンクリートで地山補強材の頭部を結合し、橋台と背面盛土を一体化させる。一方、鋼桁と橋台の一体化については、事前に鋼桁のケレン作業、鋼桁ウェブの削孔や鋼桁まわりへの鉄筋の配筋、型枠の設置を済ませた後に、夜間の列車間合いでの巻立てコンクリート打設によって完成させる。本試験橋梁の橋台・背面盛土の一体化では、予め橋台に設けた開口部から地山補強材を打設後、橋台と一体化した。提案構造では鋼桁・橋台の一体化施工として、「頬杖有り」、「頬杖無し」の2種類の一体化方法を提案した。「頬杖有り」は、頬杖、桁座に設置した鉛直アンカー、隅角部の配筋とコンクリート打設により鋼桁から直接橋台壁体に力を伝達させ、パラペットには力を作用させない構造である。一方、「頬杖無し」は、交差道路等で建築限界の制限があり、頬杖を設置できない場合を想定したもので、水平アンカーによりパラペットを介して橋台に力を伝達さ

せる構造となっており、PC 鋼棒によりポストテンションを加えることでパラペットの補強を実施する。試験橋梁の一体補強完了後を図 4 に示す。

4. おわりに

鋼桁・橋台・盛土からなる実大の試験橋梁を構築し、「既設盛土一体化補強工法」の実施工をイメージした地山補強材による橋台・背面盛土の一体化、鋼桁・橋台の一体化による施工実験を実施し、提案工法の施工性を確認した。本報では紙面の都合上、省略したが、試験橋梁を用いて補強前後の鉛直載荷実験、動態計測、桁の温度伸縮に伴う橋台背面の盛土の沈下を模擬した繰返し水平載荷実験、耐震性や地震時の破壊形態を確認した正負交番水平載荷実験を実施し、表 1 に示した「既設盛土一体化橋梁」の優位性を実証している^{4), 5)}。これをまとめると以下になる。



図 4 既設盛土一体化橋梁（補強後）
※平成 23 年 3 月に開催した技術説明会の様子

① 営業線施工を想定すると、「既設盛土一体化補強」は、施工が容易で横取り方式による既設橋梁の架替えと比較し、工事費、工期ともに優位な方法である。

- ② 鋼桁支間中央に発生する鉛直変位や鋼桁下フランジのひずみは、一体化前と比較して一体化後は約半分程度に低減し、1 年間の動態計測の結果、桁の温度伸縮に伴う水平変位および土圧の変動は僅かで、水平変位や土圧の累積はないことから橋台や背面盛土への影響は小さい。
- ③ 鋼桁の温度伸縮を模擬した繰返し水平載荷では、繰返し荷重に対する橋台・背面盛土の水平変位は小さく、また橋台背面における土圧増分の累積は見られない。
- ④ L2 地震動相当の水平荷重に対し、橋台天端の水平変位量は最大 11mm 程度であり、躯体の損傷もわずかなヘアクラックの発生のみであったことから、耐震性に優れた構造形式と言える。

以上より、「既設盛土一体化橋梁」は、鋼桁・橋台・盛土を一体化することで既設の鋼橋梁の常時および異常時の構造安定性を向上させ、耐震性に優れた補強方法と言える。提案した既設鋼橋梁の延命化・耐震化技術により、地山補強土工法を用いた既設盛土の耐震技術と合わせて、盛土部および橋梁部の延命化・耐震化が可能となることから、本技術は線区全体の耐震化に大きく寄与するものと考えている。今後はスパン 30m 以内の鋼桁・橋台形式の既設橋梁を対象に、橋台背面盛土も合わせて延命化・耐震化の技術支援を行う予定である。

なお、本研究は国土交通省の補助金を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 神田政幸, 須賀基晃, 野中隆博, 横山知昭, 館山勝: 構造変更による橋台・鋼桁形式の耐震補強に関する施工実験および載荷実験, 第 56 回地盤工学シンポジウム平成 23 年度論文集, pp. 9-16, 2011. 11
- 2) 龍岡文夫, 館山勝, 平川大貴, 渡辺健治, 清田隆: GRS 一体橋梁の特徴と開発経緯, ジオシンセティックス論文集, Vol. 24, pp. 205-210, 2009. 12
- 3) 永谷達也, 田村幸彦, 飯島正敏, 館山勝, 小島謙一, 渡辺健治: GRS 一体橋梁 (実物大試験) の施工と動態計測, ジオシンセティックス論文集, Vol. 24, pp. 219-226, 2009. 12
- 4) 野中隆博, 須賀基晃, 栗山亮介, 神田政幸, 館山勝: 鋼桁・橋台・盛土一体化橋梁の鉛直および水平載荷試験, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp. 1317-1318, 2012. 7
- 5) 神田政幸, 須賀基晃, 横山知昭, 館山勝, 杉本一朗: 鋼桁・橋台・盛土一体化による旧式橋梁の耐震補強, 鉄道総研報告, Vol. 26, No. 4, pp. 29-34, 2012. 4