

まえがき

橋梁の端部は、地山部あるいは連続した盛土と背面盛土を介して接している。従来は、橋梁構造物と盛土等の土構造物はそれぞれ構造工学及び地盤工学と別の技術体系で設計されていたため、橋台・背面盛土は両技術の接点となり、それぞれの技術体系だけでは適切に対処できない諸課題が生じていた。補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）は、これらの諸課題に対処しようとするものである。GRS は、Geosynthetic-Reinforced Soil（ジオシンセティック補強土）の略である。

従来の地山あるいは盛土と接する桁式橋梁は、桁・橋台・背面盛土の三者が構造的に一体化されておらず、基本的に静定構造物である。このため、桁の温度伸縮、橋台の変位や背面盛土の沈下・変形によって桁・橋台内に大きな断面力が発生することがなく、その点で設計が簡便になる。一方、以下の諸課題がある。

- 1) 背面盛土は自立性がないため、抗土圧構造物としての橋台を盛土よりも先に建設する必要がある。橋台は背面盛土からの土圧に対して片持ち梁構造となるため、土圧による転倒モーメントと水平滑動荷重が生じ、橋台の高さが高くなると設計上必要な躯体体積・鉄筋量が急速に増加する。特に、耐震設計をするとその傾向が強くなる。また、通常は杭基礎等が必要となり、盛土建設に伴う支持地盤の沈下・側方変位による建設済み橋台の変位を防ぐために基礎構造物が大規模になる場合が多い。
- 2) 従来の桁式橋梁の支承部は、維持管理上問題となる場合がある。また、耐震性での弱点となり、別途落橋防止工が必要となる。また、特殊な設計条件ではあるが、津波に対する抵抗力も低い。
- 3) 桁・橋台・背面盛土は、構造的に一体化していないため、それぞれが高い耐震性を発揮するのが難しくなる。
- 4) 無補強の背面盛土は、降雨・交通荷重・自重により長期的に沈下が生じ、地震時には揺りこみ沈下と擁壁の不安定化による沈下が生じて、橋台裏に段差が生じる場合が多い。これに対する維持管理および復旧が問題となる場合がある。

一方、GRS 一体橋梁は、桁・橋台・補強された背面盛土の三者を構造的に一体化した不静定構造物である。このため、桁の温度伸縮とコンクリートの乾燥収縮・クリープ変形による変形、および支持地盤と盛土自身の変形による背面盛土の沈下・変形によって桁・橋台内に不静定力が発生する。これらを出来るだけ防ぐためには、施工での対処としては、支持地盤が盛土の重量によって大きく変形しないように必要に応じて地盤改良を実施し、盛土を盛土補強材（ジオテキスタイル）で補強した上でセメント改良と適切な締固めによって剛性を十分に高める必要がある。また、背面盛土の建設に伴う盛土自体と支持地盤の潜在的な変形・変位をできるだけ終了させてから、背面盛土と一体になるように橋台部を建設する必要がある。さらに、その後コンクリートの乾燥収縮・クリープ変形をなるべく生じさせた桁を橋台と一体となるように建設する必要がある。設計では、構造的に一体化した不静定構造物として設計する必要がある。GRS 一体橋梁は、

このように施工と設計が高度化するが、以下の構造上・機能上の特長がある。

- 1) ジオテキスタイルで補強された背面盛土には自立性があるため、橋台よりも先に建設できる。このため、背面盛土の建設に伴う盛土の変形と支持地盤の沈下・側方変位が十分に生じてから、背面盛土と一体となるように橋台を建設することができる。その結果、橋台は抗土圧構造物としての片持ち梁構造ではなく、多数のジオテキスタイルによって水平方向に多点支持された連続梁構造となる。その結果、土圧による転倒と水平滑動が生じにくくなり橋台の断面力も小さくなる。このため、橋台の安定性のための杭等基礎の必要性が低下し、橋台の高さが高くなっても設計上必要な躯体体積・鉄筋量はそれほど増加しない。この利点は、特に耐震設計で発揮される。
- 2) 桁式橋梁の場合の支承部の建設費と長期維持管理費が不要になり、桁と橋台の接合部は耐震性での弱点ではなくなる。また、特殊な設計条件であるが、津波に対する抵抗力も飛躍的に高くなる。
- 3) 桁・橋台・背面盛土が構造的に一体化しているため、全体が一体となって高い耐震性を発揮する。また、桁・橋台は一体化している上に安定性が高い補強盛土と一体化しているため、構造的にスリム化する。
- 4) 背面盛土のジオテキスタイルは橋台に連結されていて、降雨・交通荷重・自重による長期的沈下と地震時沈下による橋台裏の段差が生じない。このことから、維持管理費が大幅に低下する。

以上のことから、GRS 一体橋梁は従来の桁式橋梁と比較して、レベル 2 設計地震荷重に対して設計する場合は建設費が下がる傾向となり、ライフサイクルコストは確実に下がる。その一方で、不静定構造物となることから、完成後の桁の変形と橋台・背面盛土の変位・変形を極力小さくするように設計・施工する必要がある。特に長スパン化すると、各種の要因による桁の変形が大きくなるほか、桁の地震時水平慣性力も大きくなり、これらへの対処が必要となる。

本設計・施工指針は、GRS 一体橋梁の全般的な技術的課題と、特に長スパン化に伴う諸課題に対応するために、これまでの GRS 一体橋梁の研究・調査と設計・施工・維持管理の経験と新たな検討に基づいて取り纏めたものである。この技術は、これまでわが国で開発され総延長で 160 km 以上建設された剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁の技術、さらにそれを発展させた補強土橋台の技術を基礎にして、英国・米国で開発されてきた桁と橋台を構造的に一体化したインテグラル橋梁の技術と融合したものである。地盤工学・コンクリート工学・構造工学・橋梁工学の技術者・研究者が協力して我が国で独自に開発し、世界に先駆けて実用化した技術である。この設計・施工指針の発刊によって、この技術が広く普及し適切に設計・施工されることを願う。

平成 29 年 3 月

長スパン補強盛土一体橋梁の設計法に関する委員会

委員長 龍岡 文夫

刊行にあたって

鉄道構造物は、社会基盤としての役割を果たすために、通常の供用時だけでなく、地震時や地震後においても所要の性能を確保することが求められています。特に橋梁と盛土の境界部は段差が顕在化しやすく、列車運行に支障を及ぼす場合があることから、必要な性能を確保しつつ、経済性に優れ、環境に適合した構造形式の開発が求められていました。

このような背景を踏まえ、公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）では平成 18 年に龍岡文夫東京大学名誉教授のご指導の下、従来の「背面の補強盛土が盛土補強材（ジオテキスタイル）を介して橋台と一体となった補強土橋台」と「橋台と橋桁が一体となったインテグラル橋梁」を融合させて、橋桁から橋台・背面盛土までを一体構造とした新しい構造形式である「補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）」を考案し、特許を取得しました。当初は鉄道総研と建設会社・設計コンサルタント・ジオテキスタイルメーカー等と共同で実物大試験橋梁の構築およびその長期動態計測等を行い、主に橋長 20m 程度までの 1 径間 RC 床版構造を想定した技術開発を行いました。その後、平成 23～24 年度には鉄道総研が国土交通省鉄道技術開発費補助金を受けて実物大試験橋梁の載荷試験等を行い、「補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）の設計・施工マニュアル【暫定版】」（以下、設計・施工マニュアル【暫定版】）を作成・公開し、本技術の普及に努めてまいりました。

一方、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構（以下、鉄道・運輸機構）は、整備新幹線の建設において、これまでに多数の補強土橋台を建設してきました。鉄道・運輸機構は、さらに先進的で合理的かつ経済的な橋梁形式である補強盛土一体橋梁に着目し、平成 24 年には北海道新幹線で世界初の補強盛土一体橋梁を北海道木古内町に建設しました。この橋梁は 1 径間 RC 床版構造で橋長は 12m です。そして補強盛土一体橋梁の適用範囲の更なる拡大に向けて、鉄道・運輸機構の技術開発課題【第 4 分科会（橋梁）・第 5 分科会（土構造）】において、その長スパン化に必要な個別の要素技術の課題解決に取り組みました。このような状況のなか、平成 23 年に東日本大震災が発生し、鉄道・運輸機構は、津波で被災した三陸鉄道の 3 橋梁の復旧工事に耐震性・耐津波性に優れた補強盛土一体橋梁を適用し、平成 26 年に 3 橋の補強盛土一体橋梁が完成しました。これらのうち最長橋梁は橋長 60m の 2 径間 SRC 下路構造のハイベ沢橋梁であり、鉄道総研および工法開発関係者の協力の下、鉄道・運輸機構が実施した長スパン化に必要な個別要素技術の技術開発成果を取り入れた設計・施工がなされました。

このような技術開発の進展および施工実績の蓄積を踏まえ、鉄道総研と鉄道・運輸機構は橋長が 20m を超える長スパン補強盛土一体橋梁の汎用的な設計・施工法の開発を共同で進め、設計・施工マニュアル【暫定版】に加筆・修正を加えて「補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）の設計・施工指針」（以下、本設計・施工指針）を作成しました。この汎用的な設計・施工法の開発にあたっては、龍岡文夫東京大学名誉教授を委員長とする「長スパン補強盛土一体橋梁の設計法に関する委員会」を設置して、本設計・施工指針についてご審議いただきました。また、鉄道・運輸機構は、九州新幹線西九州ルートの中崎県早市において、この設計・施工法を用いて橋長 30

mの1径間PC構造の補強盛土一体橋梁の設計・施工を行いました。この橋梁は平成29年に完成する予定です。なお、本設計・施工指針の前身となる設計・施工マニュアル【暫定版】の作成の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

おわりに、「長スパン補強盛土一体橋梁の設計法に関する委員会」の委員の他、本技術の開発・実用化に際してご協力いただいた多くの方々に感謝いたします。

平成29年3月

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

構造物技術研究部長 谷村 幸裕

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 設計技術部

設計技術部長 玉井 真一

補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）の設計・施工法の開発経緯

時 期	内 容
平成18年6月	龍岡文夫東京大学名誉教授のご指導のもと、鉄道総研が工法の基本概念として補強盛土一体橋梁の構造および施工法に関する特許を出願した（その後、平成23年11月に特許第4863268号として登録された、特許の実施許諾については参考資料1を参照）。
平成20年度 ～平成22年度	鉄道総研と鹿島建設（株）、鉄建建設（株）、東急建設（株）、（株）複合技術研究所、（株）クラレの計6者が、「高性能剛壁面補強土擁壁による橋梁構造の構築方法に関する共同開発」を実施し、鉄道総研の盛土試験場に実物大の試験橋梁の構築・長期動態計測を行い、RC床版構造で橋長20mまでの施工法および常時作用に対する設計法を開発した。
平成23年度 ～平成24年度	鉄道総研が、国土交通省鉄道技術開発費補助金を受けて実物大試験橋梁における載荷試験等を実施し、RC床版構造で橋長20mまでの耐震設計法を開発し、設計・施工マニュアルの原案を作成した。
平成24年度 ～平成26年度	鉄道・運輸機構が、技術開発課題【第4分科会（橋梁）・第5分科会（土構造）】において橋長20mを超える長スパン化に必要となる個別要素技術として、緩衝層の正負交番水平載荷試験およびPCT形桁と橋台壁の接合部の正負交番曲げ載荷試験等を鉄道総研に委託して実施した。また、鉄道総研と鉄道・運輸機構が共同でPCT形桁と橋台壁の接合部の構造および施工法に関する特許を出願した（特開2016-191279、特開2017-57701）。
平成26年9月	鉄道総研が、平成24年度までの成果を設計・施工マニュアル【暫定版】として取りまとめ、鉄道技術推進センター会員用HPにてpdf公開した。
平成26年度 ～平成27年度	鉄道総研と鉄道・運輸機構の共同で、両者の知見を統合して橋長20mを超える長スパン化に対応した汎用的な設計・施工法を開発した。また、「長スパン補強盛土一体橋梁の設計法に関する委員会（委員長：龍岡文夫東京大学名誉教授）」において設計・施工指針を審議いただいた。
平成29年3月	設計・施工指針を発刊

長スパン補強盛土一体橋梁の設計法に関する委員会 名簿

所属・役職は最終委員会（平成28年3月）時点または退任時点

■委員長

龍岡 文夫 東京理科大学工学部土木工学科 嘱託教授
東京大学 名誉教授

■委員

前川 宏一 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
木村 吉郎 東京理科大学工学部 土木工学科 教授
舘山 勝 公益財団法人鉄道総合技術研究所 事業推進部長
谷村 幸裕 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部長
服部 修一[※] 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計技術部長
玉井 真一 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計技術部長

■事務局：公益財団法人 鉄道総合技術研究所

岡本 大 構造物技術研究部 コンクリート構造 研究室長
轟 俊太郎 構造物技術研究部 コンクリート構造 副主任研究員
古屋 卓稔 構造物技術研究部 コンクリート構造 研究員
篠田 昌弘[※] 構造物技術研究部 基礎・土構造 研究室長
渡辺 健治 構造物技術研究部 基礎・土構造 主任研究員
西岡 英俊 構造物技術研究部 基礎・土構造 主任研究員
小林 克哉 構造物技術研究部 基礎・土構造 副主任研究員
佐々木 徹也 構造物技術研究部 基礎・土構造 研究員
池田 学 構造物技術研究部 鋼・複合構造 研究室長
斉藤 雅充 構造物技術研究部 鋼・複合構造 副主任研究員
猪股 貴憲[※] 構造物技術研究部 鋼・複合構造 研究員
小島 謙一 鉄道地震工学研究センター 地震動力学 研究室長
田中 浩平 鉄道地震工学研究センター 地震動力学 研究員
宇佐美 敦浩[※] 鉄道地震工学研究センター 地震動力学 研究員
石川 太郎 鉄道地震工学研究センター 地震動力学 研究員

■事務局：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部

津金 昭一 設計技術部 設計技術第一課長
米澤 豊司 設計技術部 設計技術第一課 総括課長補佐
藤原 良憲 設計技術部 設計技術第一課 課長補佐

横山 秀喜	設計技術部	設計技術第一課	課長補佐
進藤 良則	設計技術部	設計技術第一課	課長補佐
西 恭彦 [※]	設計技術部	設計技術第一課	課長補佐
下津 達也 [※]	設計技術部	設計技術第一課	担当係長
石井 秀和	設計技術部	設計技術第一課	担当係長
井上 翔	設計技術部	設計技術第一課	課員
阪田 暁	設計技術部	設計技術第一課	課員
丸山 修	設計技術部	設計技術第二課長	
萩原 秀樹	設計技術部	設計技術第二課	総括課長補佐
山崎 貴之	設計技術部	設計技術第二課	課長補佐
高野 裕輔	設計技術部	設計技術第二課	担当係長
青木 一二三	レールウェイエンジニアリング		
千代 雄二 [※]	レールウェイエンジニアリング		

※途中退任

平成26年版設計・施工マニュアル【暫定版】

まえがき

近年、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震など大規模な地震が発生し、今後も首都直下地震や南海トラフ巨大地震などの発生が懸念されています。このような状況の中、鉄道構造物は社会基盤としての役割を果たすために、通常の供用時だけでなく、地震時や地震後においても所要の性能を確保することが求められています。特に構造物境界となる橋梁と盛土の境界部は段差が顕在化しやすく、列車運行に支障を及ぼす場合があることから、必要な構造性能を確保しつつ、経済性に優れ、環境に適合した構造形式の開発が求められていました。

このような背景を踏まえ、従来の「橋台と橋桁が一体となったインテグラル橋梁」と「背面土を補強盛土とし、補強材を介して橋台と背面盛土が一体となった補強土橋台」を融合させて、橋桁から橋台・背面盛土までを一体構造とした新しい構造形式である「補強盛土一体橋梁（GRS一体橋梁）」の開発を進めてきました。

このたび、これらの成果を取りまとめた「補強盛土一体橋梁（GRS一体橋梁）の設計・施工マニュアル」を作成するにあたり、現時点で「暫定版」としてこれを公開して早期の実適用をサポートすると同時に広く実務者のご意見を募ることとしました。本設計・施工マニュアルが、補強盛土一体橋梁の設計・施工の一助になれば幸いと考えております。

なお、本工法が特許工法であること、および本マニュアルが暫定版であることから、実構造物への適用にあたりましては、事前に（設計段階から）下記へご連絡いただきますよう、お願い申し上げます。

平成26年9月

（公財）鉄道総合技術研究所

構造物技術研究部 部長

谷村 幸裕

連絡先

設計・施工に関する技術的内容 および 本設計・施工マニュアルへのご意見	（公財）鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造
特許の実施許諾に関する手続き	（株）複合技術研究所 技術部