

| |
|-------|
| 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 |

盛土を頑丈に

— RRR工法の開発 —

盛土は施工が簡単で経済的であるため、古くから多くの箇所で用いられてきました。しかしながら橋りょうや高架橋と比べると、雨や地震に弱く、建設のためにはたくさんの用地も必要となることから、新幹線や都市鉄道などの高規格鉄道では徐々に用いられなくなっていました。そこで雨や地震に強く、少ない用地で盛土が構築できるRRR工法の開発を行い、現在、新幹線をはじめとした多くの箇所で用いられています。その後、この応用技術として、補強土橋台、補強土橋脚、補強土橋りょうなど、さまざまな工法開発が行われました。ここでは、これらの開発経緯について紹介します。



舘山 勝
Masaru Tateyama
事業推進部
部長
【専門分野】地盤工学

開発の背景

盛土は自立性に乏しいため、安定を確保するためには緩やかな勾配(30度程度)の斜面(のり面)を設ける必要があります。このため、例えば高さ10m、線路敷き幅10mの鉄道盛土を造ろうとすると約40mの用地が必要となり、建設費は圧倒的に安いのですが用地費も含めて比較すると、都市部においては高架橋の方が安くなってしまいます。

また、盛土は造り方によっては雨や地震でしばしば壊れ、多くの保守を必要とします。しかし、簡単に修復できるメリットもあり、人件費が安く大量の保守要員を擁していた時代は、大きな問題になりませんでした。例えば、戦前に建設された在来線の80%以上が盛土や切土といった土構造物であったのは、このような背景があったからです。一方、戦後、用地費が高い人口密集地区を縫うように造られた新幹線

では、建設年代が進むにつれて土構造物の採用比率が低下し、上越新幹線では、わずか1%しか採用されない状況になっていました。

このように、時代とともに盛土が敬遠されるようになったのは、用地費、メンテナンス費まで加えたライフサイクルコストで考えた場合には高架橋の方が得であるという評価がなされてきたためと思います。

本工法の開発に着手した1986年は、ちょうどバブル経済が始まり地価高騰が社会問題として取り扱われた頃であり、経済的で簡便な構造である盛土の特徴を活かしつつ、用地が少なく保守手間のかからない新しい盛土構造の提案に対する期待が高まっていた時期でした。

補強土工法とは

例えば、鉛直勾配の盛土ができれば、高架橋と同じ用地幅で鉄道盛土の建設が可能となります。また、盛土のり面

補強土工法

地山や盛土中に主として引張り補強材を配置し、土の自立性、安定性の向上を図る方法。

ジオテキスタイル

土の補強、排水などを目的として土中に敷設する合成高分子材の製品。

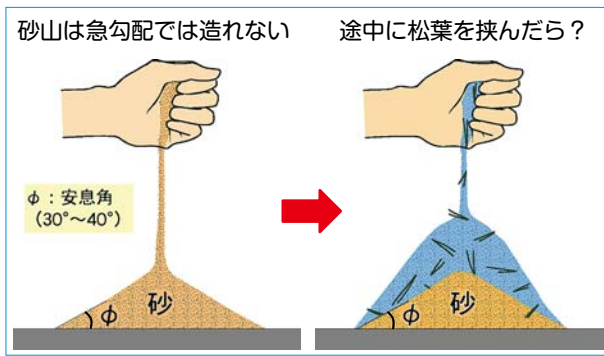


図1 補強土工法による補強原理のイメージ

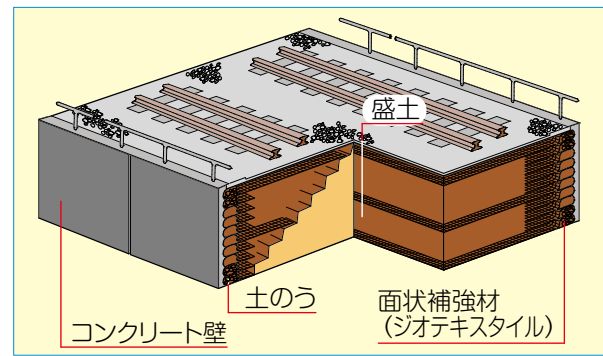


図3 RRR工法の概要

は、降雨によって頻繁に流出し問題となっていました。盛土のり面が無くなれば問題は生じません。この解決策として、補強土工法(☞参照)の適用が考えられました。

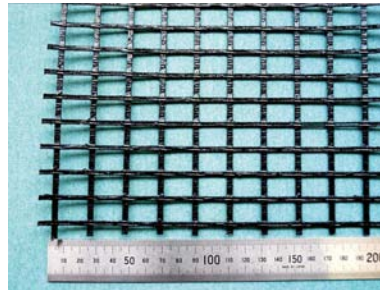


図2 ジオテキスタイル



図4 名古屋車両基地での施工例

補強土工法の補強原理は、鉄筋コンクリートと同じです。

コンクリートを鉄筋で補強するように、土を帯状鋼板やジオテキスタイル(☞参照)で補強するものであり、補強土工法の先駆者で、テールアルメ工法の開発者であるビダル氏(Henri Vidal: フランス)は、浜辺で遊んでいる子供たちが、砂に松葉を挟み込むことによって高い砂山を造っているのを見て閃いたとの逸話があります(図1)。

なお、実構造物に松葉を使うことはできないので、ビダル氏はストリップと呼ばれる帯状鋼板を土中に敷設し、スキンと呼ばれるパネル壁面で土のこぼれ出しを防止することによって、鉛直勾配の盛土構造の構築を可能としました。

日本でも1972年に初めて採用されて以来、道路を中心に多くの実績を有していますが、鋼製補強材を用いるため腐食の心配があること、帯状で補強密度が小さいため摩擦力が発揮される

までの変位を許容する必要があることなどの理由により、耐久性や変位に対する制限が厳しい鉄道では、積極的に用いられることはありませんでした。

RRR工法の開発

そこで、シート状で大きな周面摩擦力が得られ、腐食に対する耐久性も高いジオテキスタイル(図2)と剛性の高い壁面工を用いて、変位制限が厳しい鉄道でも用いることができるRRR工法(☞参照)の開発に着手しました。本工法の有効性については、国鉄末期の1986年に筆者が東京大学に研究員として派遣されて行った模型載荷実験によって確認されました。その後、鉄道総研に研究が引き継がれ、実物大試験盛土の構築、長期動態計測、載荷実験、設計法の整備などの実用化研究を経て開発に至りました。

図3にRRR工法の概要¹⁾を示します。本工法は、土のうなどの柔軟な壁面工とジオテキスタイルを多層に配置することにより土を盛り立て、盛土や地盤の変形が収束した後に、剛性の高い場所打ちコンクリート一体壁を打設し盛土を構築するものです。なお、本工法は以下の特徴を有します。

- ①ジオテキスタイルの使用により補強材の耐久性に優れる。
- ②段階施工のため、盛土や地盤変形に対する追従性に優れる。
- ③一体壁による拘束効果により、高い安定性、耐震性を有する。
- ④補強長が短くて済むため、施工性がよい。
- ⑤防音壁や手すりなどの付帯構造物を壁面に直接設置できる。

施工実績

図4は1990年に新幹線名古屋車両基地ののり面を利用した、高さ5m、施工延長約1kmの線路増設工事における施工例です。これにより大規模工事への適用の目途が得られました。ま

☞ RRR工法の名前の由来

RRR (Reinforced Railroad with Rigid Facing) 工法は、本誌名をもじって命名されました。剛性の高い壁面工を用いた鉄道用の補強土工法という意味で、一般名称として「剛壁面補強土工法」とも呼ばれます。



図5 兵庫県南部地震での被災状況

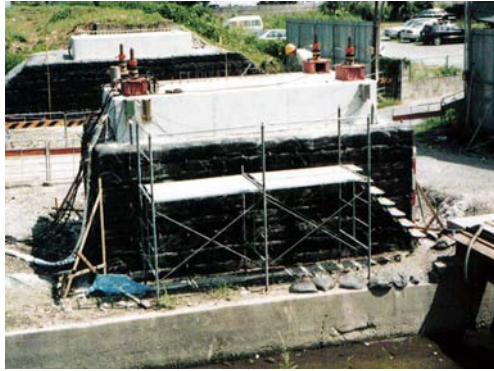


図7 補強土橋脚の施工例

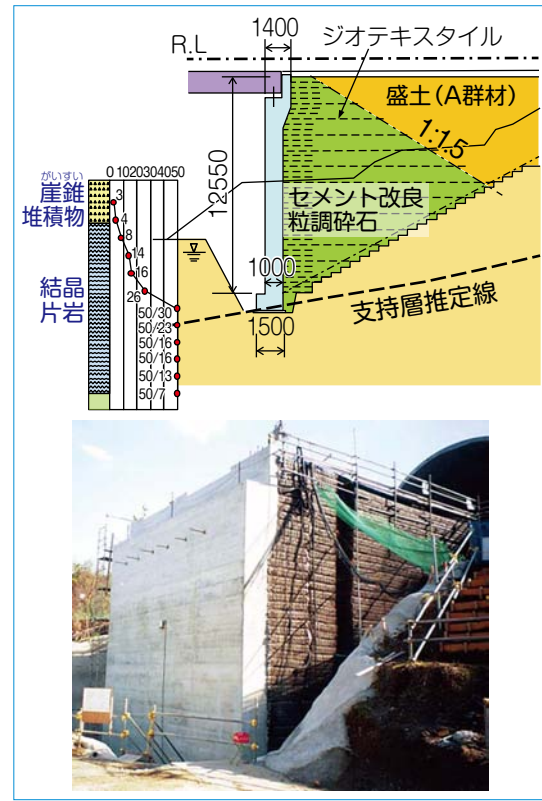


図6 補強土橋台の構造と施工例

た、図5はJR神戸線に設置されていたRRR工法の1995年兵庫県南部地震直後の状況です。この地震では従来形式の擁壁や高架橋に大きな被害が生じましたが、激震地に設置されていた本工法はほとんど被害がなく、極めて高い耐震性が証明されました。

これらの実績を経て、2000年からは整備新幹線への適用が始まりました。また、国道や高速道路、海岸護岸など、鉄道以外にも広く使用されるようになり、現在、施工延長で160km以上の実績を有しています。

RRR工法の高度利用

RRR工法はその後、橋台や橋脚の代替工法としての研究が進められ、補強土橋台、補強土橋脚、補強土アーチなど、先進的な試みが行われました。

補強土橋台²⁾(図6)は、盛土と橋台をジオテキスタイルで一体化する構造であり、これまでは外力(土圧)を与えるだけに過ぎない橋台背面盛土を、抵抗要素に変えたところに技術的革新があります。また、従前は橋台を構築し

た後に盛土を構築する手順でしたが、本工法では施工手順が逆であり、補強土工法によって盛土を先に構築した後に、橋台躯体を構築するところに2つめの技術的革新があります。これらによって、背面盛土の沈下の抑制、盛土施工時における橋台躯体の残留応力の解消、躯体のスリム化、基礎の簡便化、耐震性の向上が図れるようになり、コストダウンと性能向上の両立が可能となりました。補強土橋台はL2地震にも対応できる耐震性の高い橋台であるとの評価から、現在は整備新幹線における標準工法となっています。

次に、橋台よりも大きな荷重が作用する橋脚においても、プレロード(PL)とプレストレス(PS)を加えることにより十分な安定性を有する(PL・PS)補強土橋脚³⁾が提案されました。図7に、本工法が適用されたJR篠栗線^{まきぐり}での施工例を示します。この橋りょうは、仮線ではありましたが約4年間に亘り営業線として使用されました。この橋脚の供用中に生じた沈下量は僅か1mm弱であり、盛土であってもコン

クリート並みの優れた変形性能を有することが証明されました。また、図8の補強土アーチ⁴⁾も施工されました。本工法は盛土に比べて閉塞感が少なく、地盤改良も少なく済むことから、経済性や景観において優れています。

図9は、補強土工法を用いた高架構造と、一般的な鉄筋コンクリート(RC)高架構造との対比を示します。補強土工法の研究開発の進展によって、これまでの「安かろう、悪かろう」のイメージを脱し、盛土であっても補強の仕方によってはRC構造物と等価な性能が得られるばかりか、コスト・パフォーマンスで考えれば、逆に性能が高い構造を構築できることが可能となりました。

最近の取り組み

最後に、最近、鉄道総研において精力的に研究を進めている補強土併用インテグラル橋りょう(GRS一体橋りょう)について紹介します。

桁と橋台を一体化し、ラーメン構造としたインテグラル橋りょうは、形状のスリム化と支承の省略が可能な構造



図8 補強土アーチの施工例

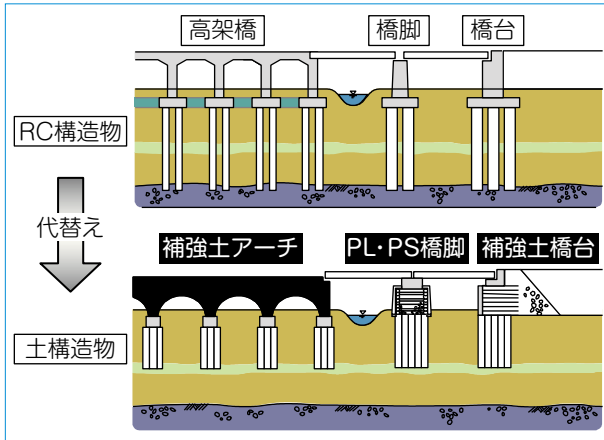


図9 補強土工法による高架構造

であり、建設コストや維持管理コストを削減できることから、近年、欧米の道路橋などにおいて数万橋の施工実績があり、主流の構造となっています。しかし、気温の季節変動などにより橋りょう全体が周期的に伸縮し、これにより舗装面の変状や、土圧の増加に伴う橋りょうの構造的損傷が発生する事例が報告されています。このため日本では、道路橋として数例の施工実績があるものの鉄道においては施工された事例がありませんでした。そこで、これらの問題を解決するために、橋台の背面盛土を補強土構造として橋りょうと盛土をジオテキスタイルで結合したGRS一体橋りょうの開発⁵⁾を行っています。本工法は補強土工法を併用することによって、施工後の変形が小さく、耐震性が高くなり、躯体断面のさらなるスリム化が図れます。模型実験により、本橋りょう構造の温度変化による影響および地震時の挙動など基本的な特性を把握し、2009年から実物大

実施しました。これらの研究成果から、北海道新幹線で初めて施工されました(図10)。

その後、三陸鉄道の復旧工事では、本構造が津波抵抗性も高いことが認められ、2径間60mのGRS一体橋りょうなど3橋りょう⁶⁾が構築され、現在、供用されています。今後の適用拡大が大いに期待されています。

おわりに

ここでは、盛土を頑丈にする技術として、RRR工法の開発経緯について紹介しました。また、RRR工法の発展系として、補強土橋台、補強土橋脚、補強土橋りょうなど、さらなる高度化に関する取り組みを紹介しました。

「安かろう、悪かろう」との理由で新幹線などの高規格鉄道では盛土が徐々に使われなくなり、その代替えとして高架橋が用いられてきました。しかし、本工法の出現によって盛土のイメージが一新されつつあります。地盤

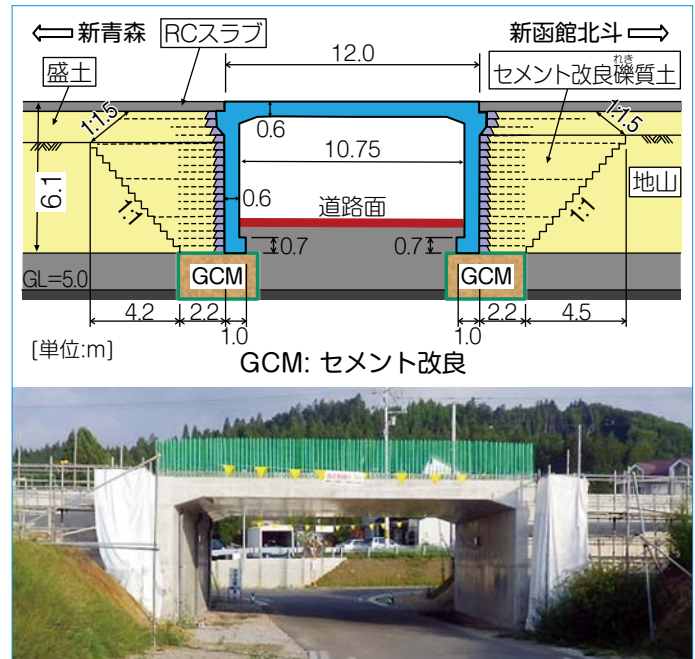


図10 GRS一体橋りょうの施工例(北海道新幹線)

規模の試験橋りょうを鉄道総研内の盛土試験場に構築し、動態計測、地震を模擬した水平載荷実験を

材料は、コンクリートや鋼材料と異なり、経年劣化の問題が少なく修復性に富む材料です。また、剥落などの問題もなく、長期的にみれば手間のかからない構造とも言えます。地盤技術者としては盛土復権を信じて、これからも信頼性の高い土構造物の開発に取り組みたいと考えています。RRR

文献

- 1) 龍岡文夫, 館山勝: ジオテキスタイル補強土擁壁, 基礎工, Vol.23, No.11, pp.84-92, 1995
- 2) 館山勝, 青木一二三, 米澤豊司, 篠田昌弘, 渡辺健治: 耐震性に優れたセメント改良補強土橋台の開発, 鉄道総研報告, Vol.18, No.4, pp.29-34, 2004
- 3) 龍岡文夫, 内村太郎, 館山勝, 小島謙一: 鉄道橋のプレローディッド・プレストレス(PL・PS)補強土橋脚の挙動, 土と基礎, Vol.46, No.8, pp.13-15, 1998
- 4) 古山章一, 佐藤春夫, 余目祥一, 山崎聡: 補強盛土によるアーチ高架構造の設計と施工, 基礎工, Vol.30, No.11, pp.56-59, 2002
- 5) 野中隆博, 神田政幸, 館山勝, 龍岡文夫: 補強盛土一体橋梁(GRS一体橋梁)の開発, 橋梁と基礎, Vol.47, No.8, pp.54-56, 2013
- 6) 陶山雄介, 進藤良則, 阿部雅史: GRS一体橋梁を用いた三陸鉄道北リアス線の復旧計画と設計, ジオシンセティックス論文集, 第28巻, pp.375-382, 2013