土と高分子材料で多様な構造物を建設する

盛土は古くから鉄道構造物の建設に用いられてきました。盛土の材料である土は入手が安価な一方で，コンクリートや鋼材と比べると強度・剛性に劣り，建設に当たり安定を保つまで緩勾配とする必要があります。そこで，鉄道総研では高分子材料により土の安定性を向上させたうえで，鉛直な勾配を有する盛土補強土擁壁を開発し，その後も補強土橋台，補強盛土一体橋りょうなど，多様な構造物を開発してきました。これらは，新幹線を含む鉄道構造物の建設に適用され，近年では海外での鉄道建設にも適用されています。そこで，土と高分子材料の併用による補強土構造物の開発背景や特徴，適用事例，効果について紹介します。

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
［専門分野］地盤工学

神田　政幸
Masayuki Koda
構造物技術研究部
部長
［専門分野］地盤工学，基礎工学

曽我　大介
Daisuke Soga
鉄道建設・運輸施設整備支援機構
設計部
設計第二課
［専門分野］地盤工学

従来の盛土建設

盛土は古くから鉄道構造物の建設に用いられてきました。鉄道建設の初期における盛土施工は，**図1**に示すように，切土により生じた土を人力で盛土部に投入して構築する通称「盛りこぼし盛土」でした。盛りこぼし盛土は，堆積面が潜在的なすべり面に平行で締固めも不十分であり，水が容易に侵入しやすい構造でした。また，現在の盛土施工のように土の材料選定や締固めが行われないため，安定性が低く豪雨や地震による崩壊（**図2**）や供用開始後の沈下・噴泥など維持管理上の問題も供用上の大きな課題でした。

現在の技術基準[1)]では，過去の経験を踏まえた締固め管理や材料規制の充実により，上記の課題は基本的に解決されています。それでも盛土は安定性保持のために一定以上に勾配を急にすることができず，構造計画の段階で，盛土構造を選択する場合には，橋りょうやラーメン高架橋の場合と比較して，より多くの用地を取得する必要があります。

コンクリート擁壁の併用と課題

盛土建設時に用地取得の範囲を狭める方法の一つとして，盛土の端部に擁壁を構築する方法があります。たとえば重力式擁壁は擁壁の自重と剛性によって，盛土から作用する土圧に対して安定を保つ構造物です。国土が狭く急峻（しゅん）な地形が多い日本では，少ない用地で土構造物を構築可能な擁壁構造の利点は多く，都市部や山岳部，河川沿いなど多様な条件で，擁壁により盛土を支持する構造が採用されてきました。

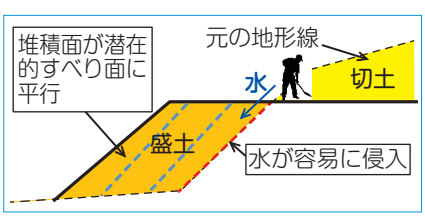


図1　過去の盛土施工の概念図

図2　鉄道盛土の崩壊例

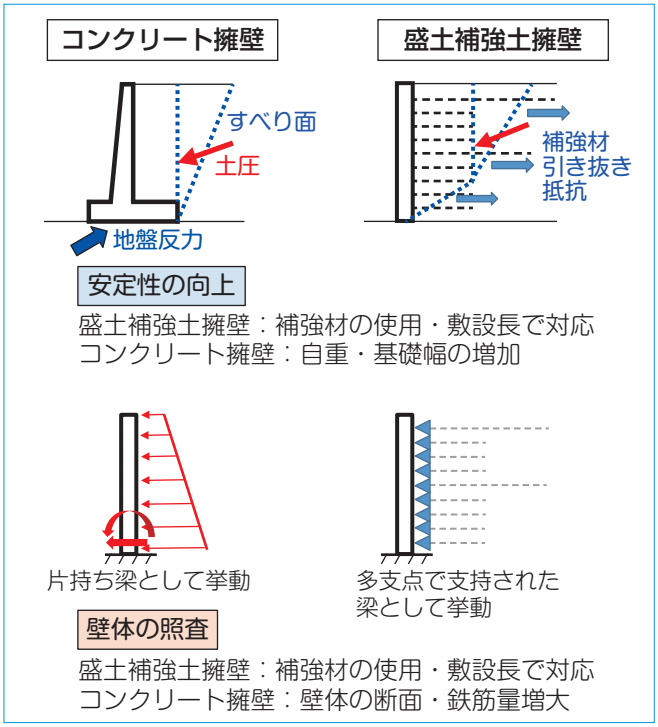


図3　コンクリート擁壁と盛土補強土擁壁の抵抗メカニズム

図4　重力式コンクリート擁壁の倒壊例

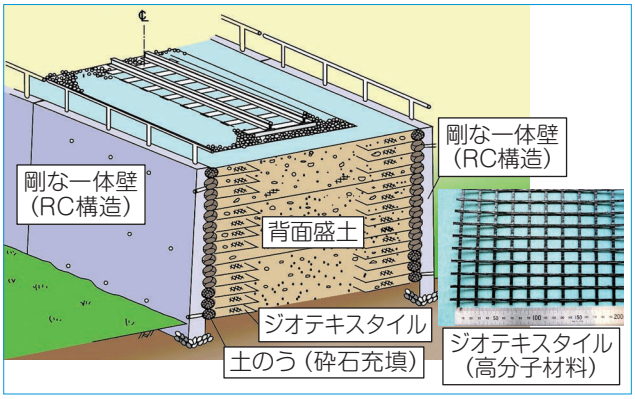


図5　盛土補強土擁壁の概要

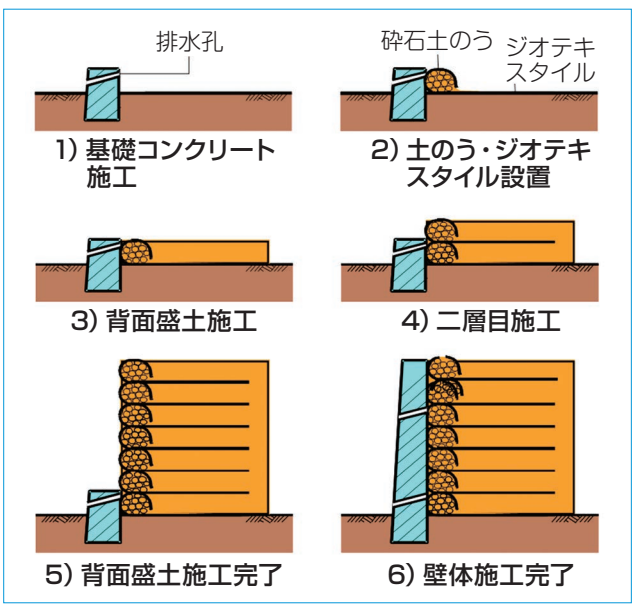


図6　盛土補強土擁壁の施工手順

コンクリート擁壁では，**図3**の左上に示す通り，擁壁の自重と壁体の剛性にその安定性が依存する片持ち梁形式なので，地震や豪雨などの災害時にも十分な安定性を確保するためには，基礎幅の拡大や壁体断面・鉄筋量の増加などが必要となります。しかし，実際には経済性や施工条件の面から，それらの対応が困難な場合も多く，地震や豪雨などの災害時に擁壁が倒壊する例が多く確認されています（**図4**）。

これらのことから，経済性に優れた盛土と，限定された施工用地でも鉄道建設が可能な擁壁の特性を活(い)かし，かつ安定性が高い擁壁などの土構造物の開発がすすめられました。

高分子材料と盛土・擁壁の融合（盛土補強土擁壁の開発）

上記の課題に対し，鉄道総研では東京大学との共同研究により，高分子材料と土の併用により安定性の高い構造物を構築する補強土構造の新しい形態として，補強材と一体となった一体壁を有する盛土補強土擁壁を開発しました（**図5**）。

土は安価で入手しやすく，締固めにより圧縮強さを向上可能な一方で，引張に弱い特性があります。これに対して，高分子補強材はそれ自体が引張強度に優れ，さらに土とのかみ合わせにより引張抵抗を発揮可能なため，土中に高分子補強材を敷設することで，土の弱点を補うことが可能です。

盛土補強土擁壁は，土中に高分子補強材（ジオテキスタイル）を敷設しながら鉛直に盛土を造成し，盛土施工にともなう沈下が収束したのちに，一体の鉄筋コンクリート壁体を構築します。通常の擁壁は盛土施工前に構築するため，盛土施工にともなう擁壁の沈下を防止するために，地盤が良好でない場合には杭(くい)基礎や地盤改良などが必要となりますが，盛土補強土擁壁では，沈下収束後に壁体を打設する段階施工（**図6**）を採用しているため，杭基礎を用いずに，地盤改良の範囲を低減できることも特徴です。

盛土補強土擁壁は，よく締め固めら

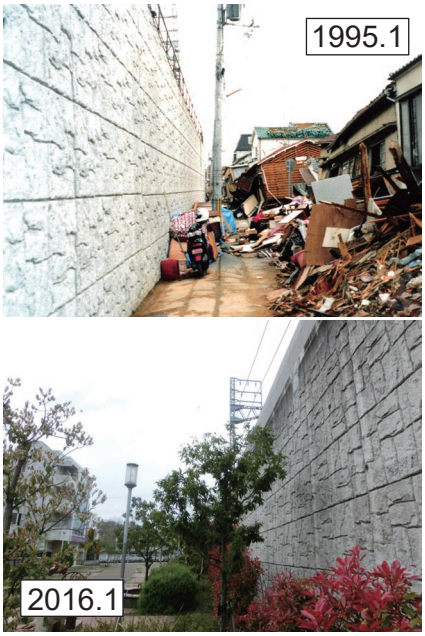


図7　兵庫県南部地震で安定を保った盛土補強土擁壁

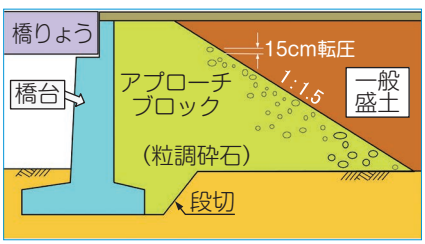


図8　従来式橋台の構造

図9　橋台背面の沈下

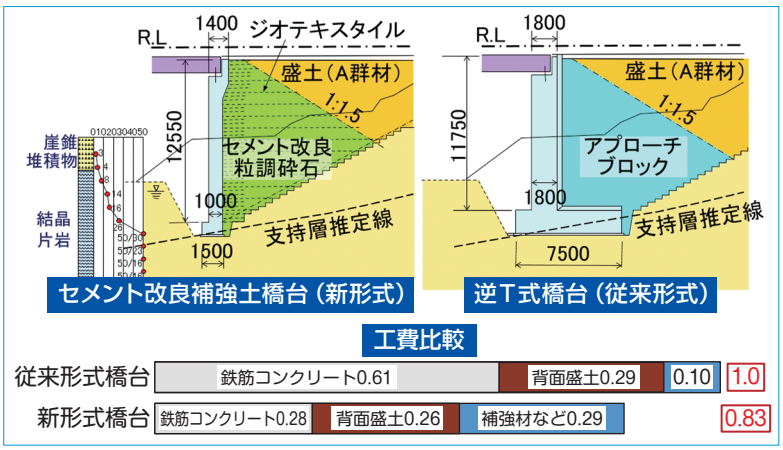


図10　補強土橋台と従来構造の比較

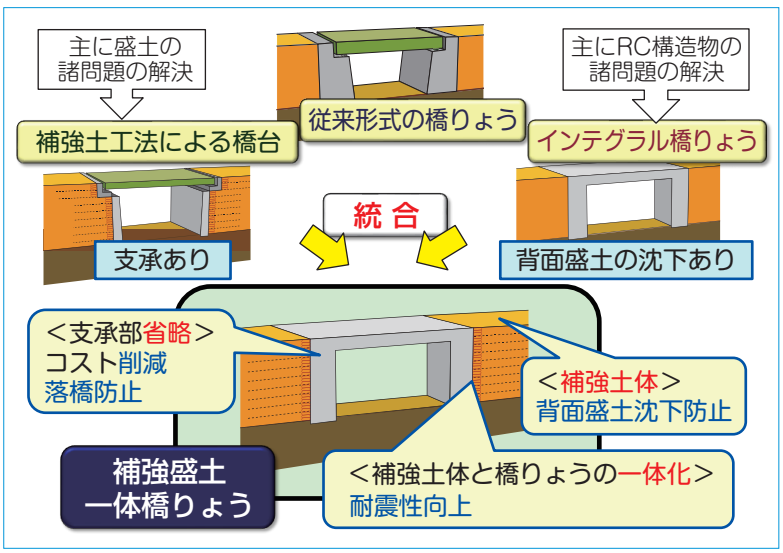


図11　補強盛土一体橋りょうの特長と開発経緯

れた盛土材，高分子補強材，剛で一体的なRC壁の三要素が一体となってそれぞれの特長を発揮する構造物です。通常の擁壁では，安定性の向上には基礎幅の増加，壁体の破壊を回避するには断面の拡大や鉄筋量の増加が必要となります。

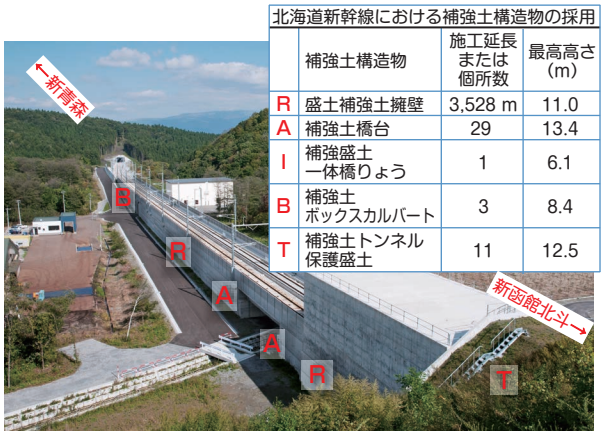
これに対して，盛土補強土擁壁では，補強材の強さ，敷設長さなどを変更することで壁体の破壊を回避し，構造体の安定性を向上します（**図5**）。兵庫県南部地震において，**図4**に示す倒壊した擁壁とほぼ同一震度の地震を受けた補強土擁壁は，軌道面に生じた若干の沈下を補修するのみで供用を再開し，現在においても，問題なく供用され続けています（**図7**）。

補強材の敷設により鉛直に近い壁面を持つ擁壁構造物の建設が可能であり，かつ地震や豪雨を含む災害時にも高い安定性が期待できて，復旧費用を含む長期的な維持管理費を大幅に縮減できること，剛な一体型RC壁体によって，かりに一部分が不安定化したとしても全体的な安定性に及ぼす影響が小さいこと，RC壁体を電柱や防音壁等の基礎として活用できること，主たる抵抗を土と高分子補強材との摩擦に期待しているため，大規模な基礎が不要でRC壁体の断面を縮小可能なことなどの利点により，1987年の初施工以降，地震や豪雨を受けた例も少なくないにもかかわらず，継続的な供用に影響を及ぼすような変状例もなく盛土補強土擁壁は順調に施工実績を伸ばし続けています。

橋りょう構造物との融合（補強土橋台の開発）

盛土補強土擁壁の開発で得られた知見は，新しい橋りょう建設技術も生み出しました。

1978年以前の橋台では，**図8**に示すアプローチブロックが存在せず，地震時に背面盛土の沈下が一般盛土部よりも大きくなる問題がありました（**図9**）。その後，砕石でアプローチブロックを



北海道新幹線における補強土構造物の採用

	補強土構造物	施工延長または個所数	最高高さ(m)
R	盛土補強土擁壁	3,528 m	11.0
A	補強土橋台	29	13.4
I	補強盛土一体橋りょう	1	6.1
B	補強土ボックスカルバート	3	8.4
T	補強土トンネル保護盛土	11	12.5

図12　北海道新幹線における補強土構造物の適用

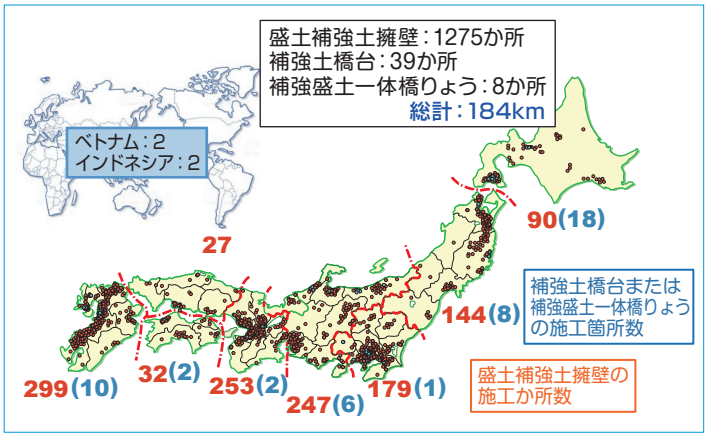


図13　国内外における補強土構造物の適用実績

構築することが義務化されました。また，新幹線においてはより高い沈下抑制効果を期待して，アプローチブロック部分をセメント改良することによって，さらに橋台背面盛土の安定性向上を実現しました。しかし，背面盛土の安定性向上だけでは，橋台本体の耐震性向上効果は限定的です。

そこで，盛土補強土擁壁と同様に，背面のセメント改良アプローチブロックに補強材を敷設し，橋台と一体化することで，盛土補強土擁壁と同様に，安定性の飛躍的向上と基礎と橋台躯体(くたい)自体のスリム化によるコスト低減を同時に実現可能な構造として，補強土橋台を開発しました(**図10**)。

補強盛土一体橋りょうへの発展

補強土橋台は，その開発以降に優れたコストパフォーマンスから，新幹線を中心に適用実績を伸ばしました。一方で，鉄道と道路や水路との交差部など，比較的短径間の橋りょう建設の低コスト化や，支承部のメンテナンスフリー化へのニーズに応えて，補強盛土一体橋りょうへの発展を遂げました。

一体橋りょう（インテグラル橋りょう）は，**図11**に示すように，上・下部工を一体化させた橋りょうであり，支承が省略可能なうえに，ラーメン構造であることから，躯体断面を小さくすることが可能で，欧米においておもに道路橋として多く適用されています。

しかし，外気温の季節変動に起因した桁の伸縮により，躯体や背面盛土に変状が発生する事例が報告されています。背面盛土を補強土構造とし，躯体と一体化させることで，この課題を解決したのが補強盛土一体橋りょうです。

補強盛土一体橋りょうは，盛土補強土擁壁において確立した段階施工方式によって，補強盛土を構築後に躯体を構築するため，橋りょう躯体において盛土施工による残留応力が生じません。また，背面盛土を高分子補強材で補強しているため，桁の伸縮や地震時の背面盛土の変状など，従来のインテグラル橋りょうの課題を解決しています。

多様な構造物の建設

このように，土と高分子材料およびコンクリートを複合させて高いコストパフォーマンスを実現した補強土構造物は，新幹線のように高い要求性能が求められる場合にも**図12**に一例を示すように適用され続けています[2)3)]。この例は，北海道新幹線における新青森～新函館北斗間であり，ここで紹介した盛土補強土擁壁，補強土橋台に加えて，トンネル坑口部の保護盛土やボックスカルバート部分が土と高分子材料，コンクリートの複合構造で建設されています。新幹線以外にも盛土補強土擁壁の開発以降，**図13**に示すように補強土構造物の施工実績は増大し続けており，近年では海外の鉄道構造物の建設にも適用されています。

おわりに

安価で入手しやすい反面，単体ではコンクリートや鋼材ほどの強度・剛性を発現することが困難な土材料も，高分子材料ほかの材料でその欠点を補うことで，橋りょうの代替構造として活躍できる場面も増えてきています。引き続き，土の特性を活かし，その弱点を補う技術開発を進めていきたいと考えています。RRR

文　献

1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 土構造物（盛土・切土），丸善出版，2007
2) Soga, D., et.al.: Design and construction of various type GRS structures for a new high-speed railway, Proc. of the 11th International Conference on Geosynthetics, 2018
3) Tatsuoka, F.; Geosynthietic-reinforced Soil Technology in Railway Applications – from Walls to Bridges, Proc. of the 11th International Conference on Geosynthetics, 2018