

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

土構造物をリニューアルする

土構造物はコンクリート構造物や鋼構造物と異なり、経年劣化を原因として更新が図られることが少ない構造物です。このため、土構造物のリニューアルが図られる要因としては、想定される災害に対する土構造物の強化、災害時の復旧などのほか、線増工事における既設構造物の改良や、コンクリート構造物、鋼構造物との境界部において土構造物を含めて構造物の一体的な更新が必要な場合などが挙げられます。ここでは、これらのリニューアル関連技術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
副主任研究員
[専門分野]地盤工学



渡辺 健治
Kenji Watanabe
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



小島 謙一
Kenichi Kojima
鉄道地震工学研究センター
地震動力学研究室
研究室長
[専門分野]地盤工学

土構造物

土構造物とは、土または岩石などを材料として構成された構造物およびこれに接する小構造物の総称で、路盤、盛土、切土、補強土、排水工、のり面工およびこれに類するものをいいます。盛土を主体とした土構造物を盛土構造物、切土を主体としたものを切土構造物、補強土を主体としたものを補強土構造物と呼ぶ場合があります。

土構造物の特性

土構造物には図1に示すようにさまざまな形式がありますが、いずれも支持地盤や背面地盤など周辺地盤の特性が、土構造物の安定性に大きな影響を及ぼします。コンクリートや鋼材とは

異なり、風化やスレーキング（☞参照）など、一部の現象を除くと土の強度・剛性は、経年とともに大きくなる場合も多いことが知られています。

土構造物のリニューアル

「リニューアル」には、更新、再生などの意味があります。鋼構造物やコンクリートと異なり、土構造物の場合には経年とともに強度・剛性が大きくなる場合もあるために、土構造物のリニューアルにあたっては、経年劣化した土構造物の更新よりは、想定される災害に対する土構造物の強化、災害時の復旧などが実務的な課題となります。一方で、線増工事などで既設土構造物を改良して更新するための技術が必要

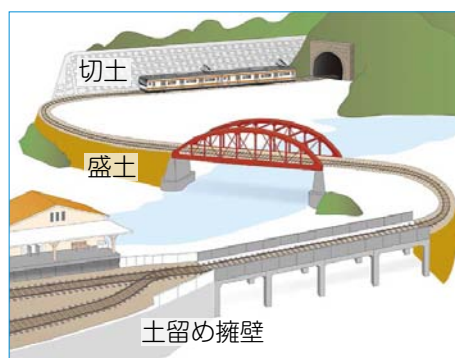


図1 土構造物の例

☞ 風化

岩石などが経年に伴い分解され、特性が変化すること。土構造物の安定性の観点からは、強度・剛性の低下が問題となる。

☞ スレーキング

軟岩などが水浸することにより組織の結合力が破壊されて泥状化あるいは細粒化する現象のこと。

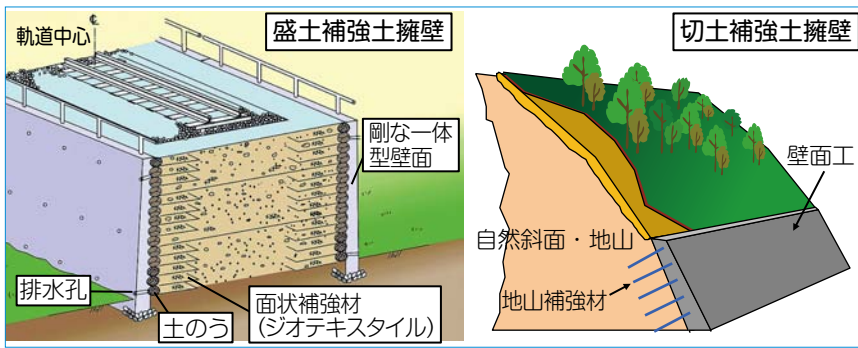


図2 盛土補強土擁壁と切土補強土擁壁の概要

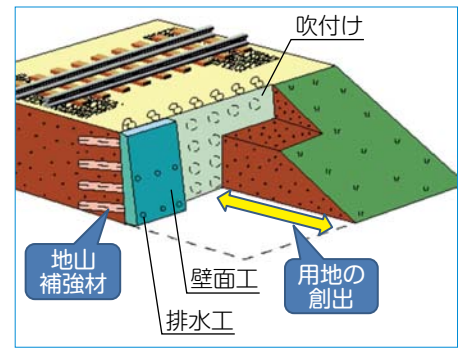


図3 地山補強による既設盛土の急勾配化技術

となる場合もあります。ここでは、これらのリニューアル関連技術を紹介します。

RRR工法の活用による既設土構造物のリニューアル

RRR工法(☞参照)で構築する補強土擁壁には、図2に示すように、面状補強材(ジオテキスタイル)と剛壁面を用いて盛土のり面を鉛直に構築する盛土補強土擁壁と、地山補強材(☞参照)と剛壁面を用いて自然斜面や地山を急勾配化する切土補強土擁壁があります。

盛土補強土擁壁、切土補強土擁壁ともに地盤内に設置された補強材が地盤の変形に対して受動的に抵抗力を発揮するため、土構造物の安定性を向上させることが可能です。

この特性を活かして、鉛直に近い盛土や急勾配な切土を構築することも可能であり、図3に示すように、既設盛土の急勾配化や、線増工事などに活用されています¹⁾。



図4 地山補強材による既設盛土補強

地山補強材による既設土構造物の補強技術

地山補強の技術は既設構造物の耐震補強・耐降雨補強にも活用されています²⁾。

図4には地山補強材を既設盛土に打設した上で頭部に支圧プレートを造成し、補強材の引き抜き抵抗力で降雨時や地震時における盛土のすべり破壊に抵抗する技術の模式図と施工後の状況を示しています。近年では、同様の方法で、既設土留め擁壁の補強も行なわれています。

既設石積み壁の簡易な耐震補強技術

土留め擁壁は全国で約20万か所に及び、石積み壁はその4割超を占めているため、大規模地震に対応した石積み壁の耐震補強工法の開発が急務となっています。そこで、崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強工法を開発しました³⁾。

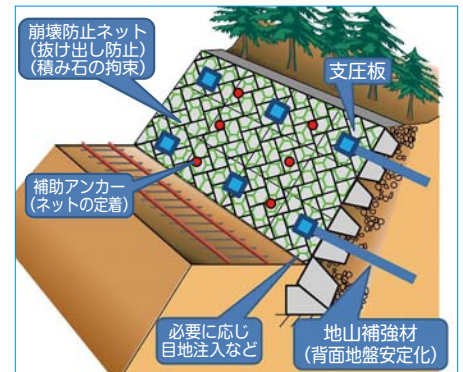


図5 崩壊防止ネットと地山補強材による耐震補強法の模式図

石積み壁は壁面に一体性がなく、大地震時に一部の積み石で抜け出しが生じた場合、それが全体的な崩壊につながります。このため、地山補強材で補強を行う場合でも、RC壁体を増し打ちして一体性を確保しなければ、地山補強材を多密に打設する必要がある、補強工事が大規模となる点が課題でした。そこで、積み石の前面に抜け出しを防止するネットを敷設した上で、地山補強材を打設することで背面地盤の安定化を図り、耐震性の向上を図る対策工法を開発しました(図5)。

振動台実験で補強効果を確認した結果、無対策では振動台加速度が300galで壁面および背面地盤に著しい変状が生じ、400galで崩壊した石積み壁が、対策後では約800gal加振後でも軽微な変状にとどまっており、L2地震動相当の大規模地震動に対しても、ネットの敷設により積み石の抜け出しを防止しながら、地山補強材で効果的に石積み壁の耐震性を向上できることを確

☞ RRR工法 (Reinforced Railroad with Rigid Facing Method)

土中に引張補強材を配置する事により土自体の安定化を促進し、従来形式の擁壁の代替え工法として開発された土留め工法のこと。

☞ 地山補強材

地盤の変形に伴い受動的に抵抗力を発揮させて地盤の変形を拘束することを目的として、地山に打設する棒状の補強材のこと。

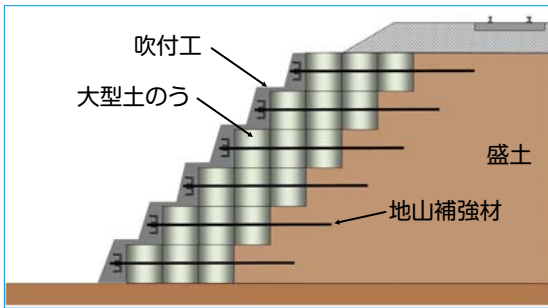


図6 被災盛土の早期復旧技術

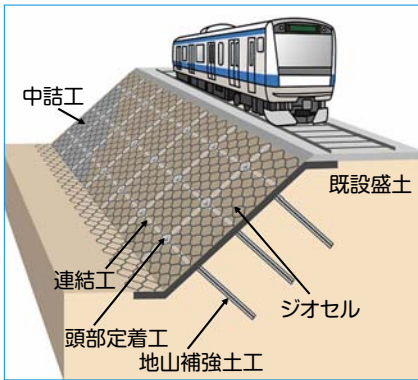


図7 ジオセルと地山補強材による
一体のり面工 (RRS工法)

認しました。また、実験結果の分析をして補強メカニズムを明らかにするとともに、実務設計が可能なように設計マニュアルを整備しています。

被災盛土の早期強化復旧技術

盛土が地震や降雨で被災した場合の復旧は他の構造物と比較すると容易であり、工期や工費が抑えられる場合が多いです。しかし、山間部などの盛土では、これまで台風などの豪雨時や兵庫県南部地震や新潟県中越地震などの大地震時において大きな被害が生じた際に、復旧までに長時間を要した例もあります。

現在、被災盛土の復旧では、多くの場合、大型の土のうにより仮復旧を行い、その後に本復旧を行っています。この方法では、仮復旧の後に本復旧を

ジオセル

高密度ポリエチレン製のセル（立体的な格子など）に土や碎石などの地盤材料を充填して積み上げることで高強度な構造体を形成する工法。

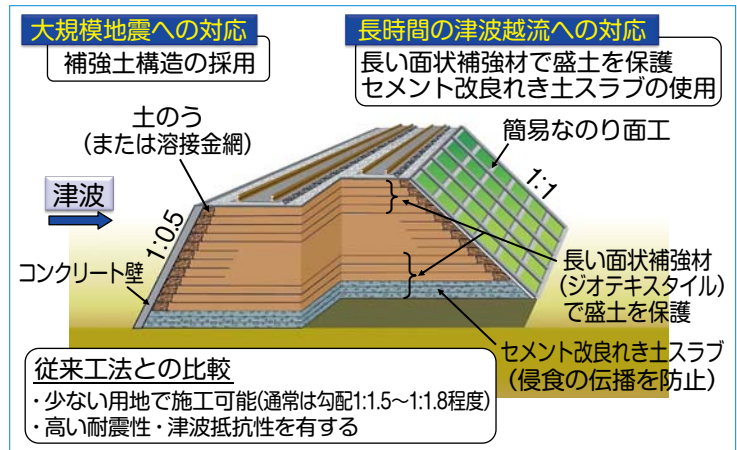


図8 津波に対して粘り強く抵抗する補強盛土構造

行う2段階施工によること、仮復旧に用いた大型土のうを利用せず撤去することから、本復旧にあたっては多くの時間や費用がかかっていました。

そこで、盛土を早期に強化・復旧する新しい工法を開発しました⁴⁾。本工法は仮復旧で用いた大型土のうを積極的に活用し、棒状補強材で補強することにより、安定性を向上させ本復旧としたものです(図6)。

大型土のうを有効利用し、大きな重機を用いることなく棒状補強材の施工が可能であることから、施工性や経済性に優れています。また、実物の1/10の模型振動実験により、土のう単独での仮復旧よりも地山補強材を併用した提案工法による本復旧の方が高い耐震性を有していることがわかりました。

ジオセルと地山補強材による 一体のり面工

近年では既設土構造物に対して耐震補強、耐降雨補強のニーズが高まっており、施工性が良く経済的な補強工法が求められています。

既設土構造物の補強は、既に供用している施設や施設境界などの問題から施工ヤードの確保が困難で、斜面上での施工となるため、施工能率が悪く工事費が高価になることが課題となる場合もあります。そこで、図7に示す新しい地山安定化工法を開発しました⁵⁾。

本工法は、軽量で施工性がよく比較

的安価であるジオセル(参照)によるのり面保護工と地山補強材とを組み合わせた盛土の安定化工法です。

ジオセルは、軽量であり特殊な機械が不要であることから施工が容易であり、かつ対象のり面への追随性が高いという特徴があります。

また、中詰材に植生土のうや種子吹付材を用いることにより、容易にのり面の緑化が可能となります。

長時間の越流に対して粘り強く抵抗する土構造物の開発

2011年の東北地方太平洋沖地震において、鉄道盛土が津波による侵食などの甚大な被害を受け、長期に渡り運休を余儀なくされました。また、越流による盛土の流出被害は地震後の津波だけでなく、豪雨時にも生じています。そこで、地震動と長時間の津波越流に強い盛土構造を開発しました。

まず、津波による盛土の被害要因を明らかにするために模型実験を実施しました。この結果、地震に伴い盛土堤体とのり面工が損傷し、その後に襲来する津波越流により盛土堤体と山側の盛土堤体のり尻付近の支持地盤が侵食されることで、盛土堤体自体の不安定化が促進され、最終的に盛土が破壊することがわかりました。

そこで、のり面工と盛土堤体内部に面状補強材を敷設することにより、耐震性と津波越流時の侵食に対する抵抗

性を向上させ、さらに盛土堤体最下層にセメント安定処理した粒度調整碎石と面状補強材を併用したセメント改良れき土スラブを構築することにより、支持地盤

の洗掘による侵食と盛土堤体の不安定化を防止する新しい盛土構造を開発しました(図8)。

模型実験によると、従来構造の盛土は大規模地震(L2地震動)に対して十分な耐震性を有している場合でも、越流開始6分後には盛土堤体の半分が侵食されたのに対し、開発した盛土構造では盛土堤体内部への侵食はほとんどありませんでした(図9)。以上の実験結果に基づき、この盛土構造の設計法を提案しました⁶⁾。

腹付盛土を対象とした軟弱地盤対策技術

線路拡幅工事のため既設盛土に対して腹付盛土を行う際に軟弱地盤対策が必要となる場合、一般に既設盛土直下の改良は困難であるため、既設盛土のり尻部分の対策が行われます。ここで、軟弱地盤が比較的厚い場合の対策として、深層混合処理工法により地盤改良体を離散的に造成する杭式改良があります(図10)。

腹付盛土施工に杭式改良を採用する場合、改良体には水平荷重が作用しますが、杭式改良体の水平荷重に対する抵抗機構は十分に解明されていないため、経験的に改良率の下限値を設定し、安定性を担保してきました。

そこで、より安定性の高い対策工の提案と、合理的に改良率を設定するための設計法整備を目的とした研究を行ってきました⁷⁾。

提案工法の概要を図11に示します。

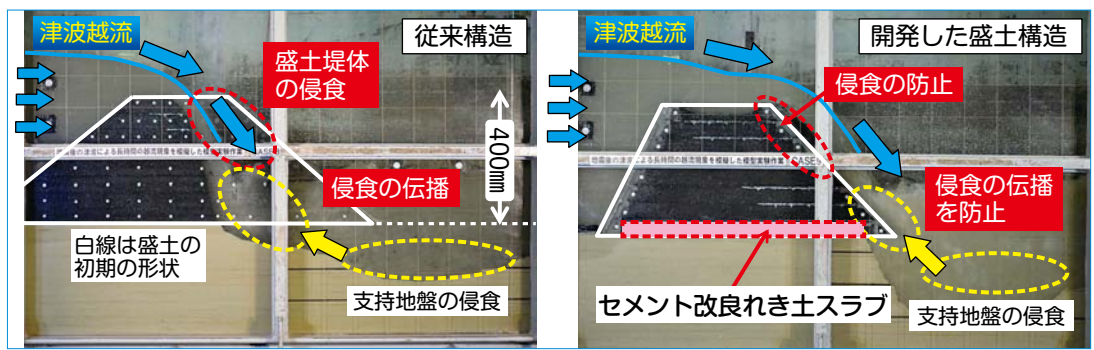


図9 従来構造と開発した盛土構造の比較(実換算6分後)

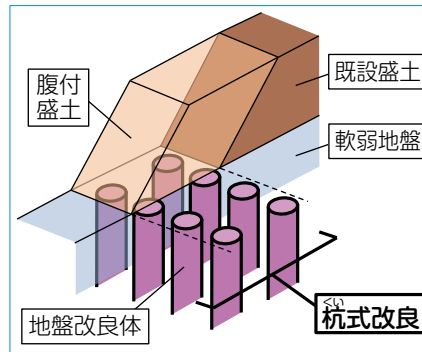


図10 杭式改良の模式図

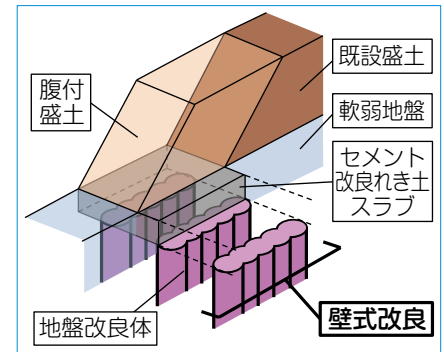


図11 提案工法の模式図

水平荷重に対する安定性に優れる対策工として、対策範囲全面を改良するブロック式改良がありますが、ブロック式改良を線路延長に渡って施工する場合、工費が高くなることが懸念されます。そこで、図11に示すように、地盤改良体を柱列状に配置した壁式改良を用いることで、安定性を高めることにしました。また、粒度調整碎石をセメント安定処理した材料と面状補強材(ジオテキスタイル)で構成されるセメント改良れき土スラブを地盤改良体上に設置することで、地盤改良体間における腹付盛土の不同沈下を抑制することとしました。提案工法の有効性は動的遠心模型実験などにより確認しています⁷⁾。

おわりに

高度経済成長期に多くのインフラが整備された我が国において、構造物の老朽化とメンテナンス、リニューアルは重要な課題です。引き続き、構造物の特性に合ったリニューアル技術の開発を進め、鉄道の安全・安定輸送に貢献できればと考えております。RRR

文献

- 1) 矢崎澄夫：大径地山補強材による地山安定化工法の設計・施工例-ラディッシュアンカー工法-, 基礎工, Vol.41, No.11, pp.70-73, 2013
- 2) 岡本正弘：RRR工法の課題と取り組み, 基礎工, Vol.38, No.2, pp.58-61, 2010
- 3) 中島進, 渡辺健治, 神田政幸, 藤原寅士良, 高崎秀明, 池本宏文：崩壊防止ネットと地山補強材による既設石積み壁の補強方法の開発, 土木学会論文集, Vol.71, No.4, 2015
- 4) 坂本寛章, 小島謙一, 後藤幸司：棒状補強材により串刺補強した仮復旧盛土の耐震性評価法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.2, pp.41-46, 2011
- 5) 原田道幸, 清川伸夫, 小島謙一, 島田貴文, 田村幸彦, 矢崎澄夫, 横田弘一, 南都和美：ジオセルと地山補強材による一体のり面工の特性について, ジオシンセティックス技術情報, Vol.31, No.1, pp.7-12, 2015
- 6) 藤井公博, 渡辺健治, 松浦光祐, 工藤敦弘, 野中隆博, 中島進：大地震および津波越流に粘り強く抵抗する盛土構造の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第19号, pp.29-36, 2015
- 7) 工藤敦弘, 渡辺健治, 佐藤武斗, 島田貴文, 森川嘉之, 高橋英紀, 森誠二：壁式改良を併用した軟弱地盤対策工の偏荷重下における対策効果について, 第50回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.821-822, 2015