

技術報文

鉄道におけるジオシンセティックスの活用

(公財) 鉄道総合技術研究所 小島謙一
 (独) 鉄道建設・運輸整備支援機構 阪田 暁
 東日本旅客鉄道(株) 佐藤晶子
 西日本旅客鉄道(株) 中島卓哉

1. はじめに

補強土工法が研究されてから約 40 年が経過した。この間に大きく技術は発展し、鉄道や道路など様々な分野で適用されている^{例えば 1)}。鉄道においてはテールアルメから始まり、現在、標準的な補強土工法として剛壁面補強土擁壁 (RRR 工法) が適用されており、非常に多くの鉄道構造物に用いられている。

補強土工法の技術の発展は各分野への適用という点のみならず、構造形式や利用方法も大きく変化 (進化) を遂げている。通常の盛土としての利用からはじまり、盛土のり面の急勾配化 (補強盛土)、橋台部 (補強土橋台) へと構造形式が増え、さらには補強土工法による橋台と桁が一体化した一体橋梁 (補強土一体橋梁) に発展している。また、補強土工法はトンネル坑門 (補強土トンネル坑門) にも適用されており、土工区間において欠かせない基本技術となっている。利用方法という観点においても、補強土工法は施工性の良さや、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震などいくつもの地震で示された高い耐震性などから、災害時における復旧工法や補強工法として用いられており、土構造物の強化・復旧工法として頻繁に用いられている。

このような状況を鑑み、ここでは鉄道分野における最近のジオシンセティックス (補強土工法) の活用状況について事例をもとに示す。事例は、新設構造物として応用的な構造形式を含めた剛壁面補強土擁壁に関するものと、既設構造物への適用として災害復旧や構造物の補強などに関するものに分けて述べる。

2. 補強土工法による様々な構造形式 (整備新幹線) の構築

全国新幹線鉄道整備法に基づく整備計画 (昭和 48 年) により整備が進められている整備新幹線では補強土工法を積極的に活用している。剛壁面補強土擁壁に代表される擁壁形式の盛土から、トンネル坑門、橋台と様々な構造の補強土構造物を建設している。ここでは、九州新幹線 (武雄温泉 - 長崎間)、北陸新幹線 (金沢 - 敦賀間) における適用事例について示す。

(1) 九州新幹線 (武雄温泉・長崎間)^{2), 3), 4)}

九州新幹線に (武雄温泉・長崎間) おける補強土構造物の一覧を表-1 に示す。盛土区間は線路延長で約 5,100m であり、その区間の大部分において剛壁面補強土擁壁 (RRR 工法) を採用している。特に、大村車両基地は造成面積約 109,000m² の大規模な盛土であり、延長約 1,700m、最大高さ 12.4m (平均高さ約 9m) の剛壁面補強土擁壁で構築されている。図-1 に車両基地の概要、図-2 に補強土擁壁の外観を示す。

表-1 九州新幹線（武雄温泉・長崎間）における補強土構造物の内訳

構造形式	数量
剛壁面補強土擁壁	約 5,100m（盛土区間の 96%）
補強土トンネル坑門	57 箇所（全体の 92%）
補強土橋台	78 基（全体の 94%）
補強土一体橋梁	7 箇所

新幹線における補強土工法の特徴的な構造物としてトンネル坑門がある。新幹線では標準的にトンネル坑口における落石防止として、斜面からトンネル坑口を突出させている。このトンネル坑門においては地震に対し、トンネル覆工の健全性の維持、坑口部直上斜面の安定化や落石や土砂崩壊から列車を守る必要があることから、補強土工法を標準的な構造として採用している。図-3 に補強土によるトンネル坑門の状況を示す。一般的に緩やかな自然斜面が続くような現場では地山を掘削し、トンネル覆工を地上で構築し、その後、覆工周囲を補強土により覆うものである。

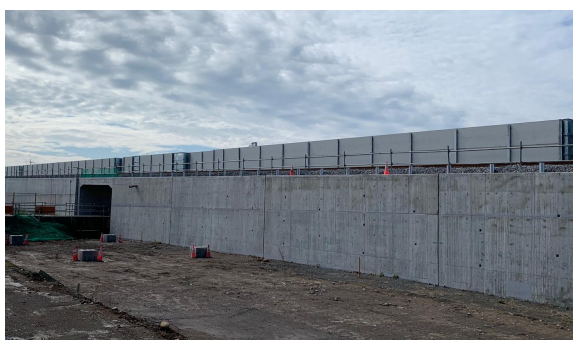
また、背面盛土をセメント改良土による補強土構造とした橋台と桁を一体化させた



図-1 大村車両基地の概要



(a) 基地外周



(b) 入出庫線

図-2 大村車両基地での盛土補強土擁壁



(a) 施行状況（下西山トンネル）



(b) 完成形

図-3 補強土トンネル坑門（平間トンネル）



図-4 補強土一体橋梁（第1鬼橋架道橋）



図-5 補強土一体橋梁（PC桁、原種架道橋）

補強土一体橋梁も適用を進めている。補強土一体橋梁は耐震性に優れているほか、支承部がない点、Boxカルバートよりも躯体断面のスリム化が図れる点から、保守の軽減、工事費の削減などの効果が見込まれる。図-4に補強土一体橋梁の外観を示す。また、補強土一体橋梁においては長スパン化についても検討を行っており、PC桁を用いた構造形式を開発した（図-5参照）。

(2) 北陸新幹線（金沢・敦賀間）⁵⁾

北陸新幹線（金沢・敦賀間）においても、九州新幹線と同様に橋台やトンネル坑門などへ補強土工法の適用を進めている（図-6）。また、90,000m²もの造成面積である敦賀車両基地において、約2,000mの延長にわたり剛壁面補強土擁壁を採用している。当該箇所においては一部地盤において液状化の可能性が懸念されたことから、面状補強材長さを安定などの設計から決定される必要長さよりも長くすることで液状化発生時の変形抑止対策を行った。



図-6 補強土トンネル坑門（第1鯖江トンネル）

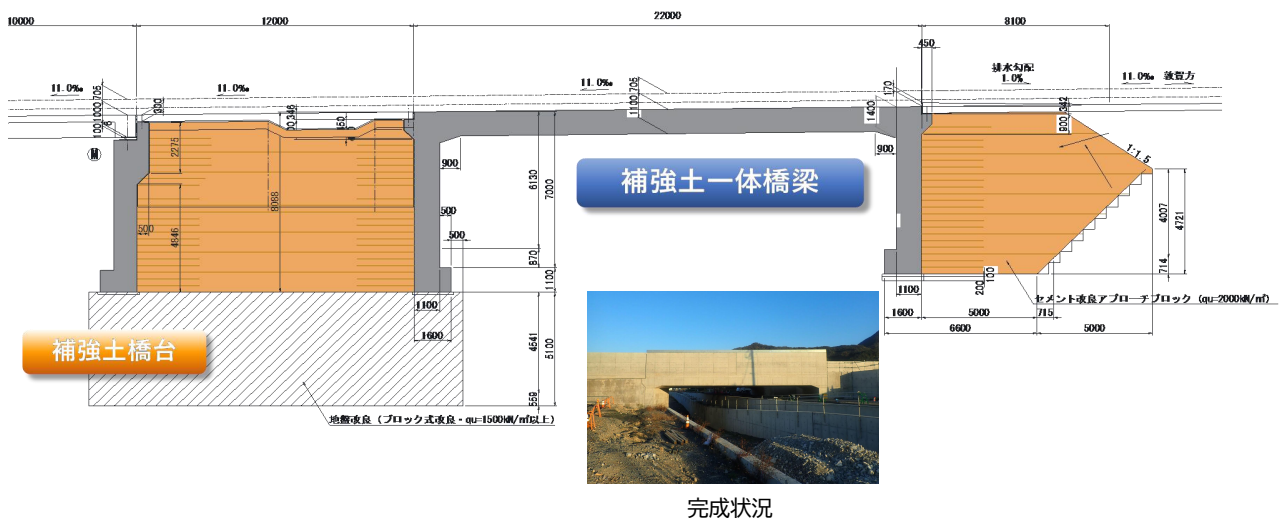


図-7 補強土一体橋梁と補強土橋台の連続構造（第1平林架道橋）

その他、特徴的な構造物としては図-7に示すように、補強土一体橋梁と補強土橋台が同じ補強材を介して連続した構造物を構築した。

3. 補強土工法の土構造物などにおける災害復旧や補強への適用

降雨・降雪、地震、風などの自然災害により鉄道はたびたび被害を受ける。補強土構造物は降雨や地震に対して強い構造物であることが示されており、被災した土構造物などの復旧工法としても適用されている。このような被災や復旧の状況に関しては、地震災害については報告されることが多かったが、近年は異常気象による局地的な大雨が各地で頻発しており、降雨による鉄道被害も発生していることから、ここでは降雨により被災した鉄道盛土の復旧における補強土工法の適用について述べる。

また、剛壁面補強土擁壁など盛土構造においては面状のジオシンセティックス（ジオグリッド）の適用が一般的であるが、鉄道構造物には立体形状の補強材も適用されている。ハニカム形状の立体補強材（ジオセル）は、盛土のり面の保護や積み構造による擁壁などに用いられている。立体補強材を用いた補強対策は、これまでは道路分野で多く用いられてきたが、軽量であり施工性に優れていることから鉄道分野においても現場での採用が増えている。よって、補強土工法による災害復旧や補強に対する事例として、立体補強材を用いた復旧などについても示す。

(1) 降雨災害により被災した土構造物の復旧（只見線）⁶⁾

2011年7月新潟・福島豪雨により只見線は全線にわたり甚大な被害が生じた。本豪雨は会津地方に局地的な降雨をもたらし、最大日雨量430mm、7月23日～30日間の累積雨量711mm（只見観測局）に達した。只見川と並走する只見線は急峻な渓谷に位置しており、図-8に示すように橋台の洗堀や盛土・切土の崩壊など多くの被害が生じた。

ここでは、比較的大きな被害となった第8只見川橋りょう起点方盛土の復旧について述べる。



図-8 只見線における被害状況

図-9 に被災前の現地の状況を示す。当該箇所は会津塩沢－会津蒲生間に位置する延長 135m の盛土であり、第 8 只見川橋りょう（図-9 左上）の起点部分に位置する。只見川は滝ダムの貯水池としての機能を担っており、当時は降雨に伴うフリーフローが実施され 6,000m³/s の放流が行われた箇所である。

図-10 に被災時の状況を示す。約 100m にわたり盛土がすべり等の変状を起こし、軌道がはしご状となるほどの大きな沈下や陥没といった事象が発生した。当現場は以前から変状などによる補修を行っていたことから、復旧にあたっては抜本的なすべり対策を行うことを基本とし施工性や耐震性を含めた検討が行われた。図-11 は検討結果をもとに作成した復旧構造の断面図である。現場は非常に狭隘であることから、通常の抗土圧擁壁ではなく、小型の機械で施工が可能であり、また基礎杭が不要であること、耐震性に優れた剛壁面補強土擁壁を本体構造とすることとし、あ



図-9 被災前の現場状況

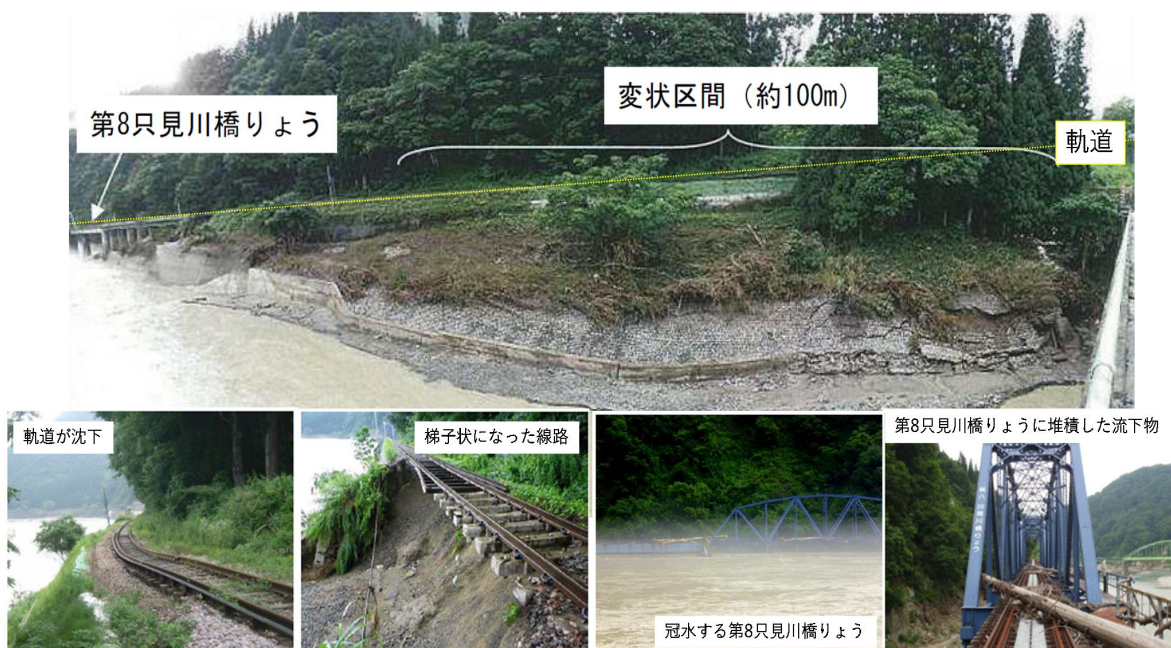


図-10 被災状況

わせて盛土底部に実施する地盤改良とグラウンドアンカーによるすべり抑止工を用いることとした。図-12 に剛壁面補強土擁壁の施工状況及び完成状況を示す。

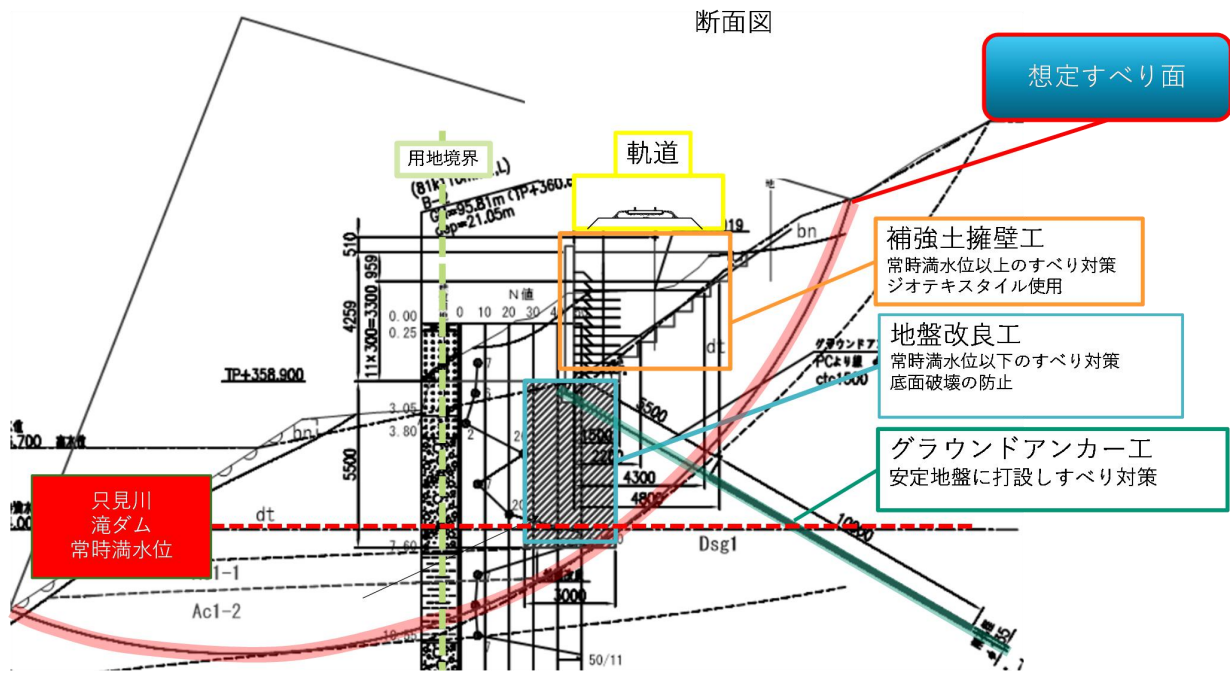


図-11 復旧断面図



図-12 復旧工事の施工状況及び完成状況

(2) 降雨災害により被災した土構造物の復旧（山口線）^{7), 8), 9)}

山口線は2013年7月の山口・島根豪雨により、地福ー津和野間において甚大な被害を受け、運転再開まで1年1カ月を要した。ここでは船平山ー津和野間における復旧について示す。当該区間のうち、白井トンネル出口付近（54k700m付近）から58k400m付近の大規模盛土崩壊箇所まで約4kmが特に大きな被害を受けた（図-13）。鉄道構造物の被害は、集水地形による斜面崩壊（白井トンネル出口付近）、鉄道に並行する名賀川の氾濫（54k900m付近～55k200m付近（白井エリア））、山からの土石流・名賀川の氾濫（56k000m付近～58k400m付近（高峯エリア））により生じた。このうち大規模な盛土崩壊が発生し、補強盛土などを用いて早期復旧を行った高峯エリア（58k400m）における復旧事例を示す。

盛土区間は名賀川の攻撃地形にあり、名賀川の氾濫により護岸が崩壊し、盛土のり尻付近から除々に浸食が進んで上部盛土が崩壊した（図-14）。また、崩壊した箇所の斜面からは部分的にはあるが湧水があった。

復旧にあたっては、名賀川に近接していることから標準のり面勾配が確保できないため、盛土補強土擁壁工法を採用することとした（図-15）。降雨による災害を受けたことから排水に対しては十分な配慮を行うこととし、盛土補強土壁下部および上部の排水ブランケット層の設置、崩壊斜面には線路直角方向に透水シートによる排水ブランケット層への誘導（図-16）、盛土と斜面の境界部での排水側溝および吹付モルタルにより排水側溝（縦排水）の設置を行った（図-17）。



図-13 船平山ー津和野間の被災状況



図-14 盛土崩壊状況

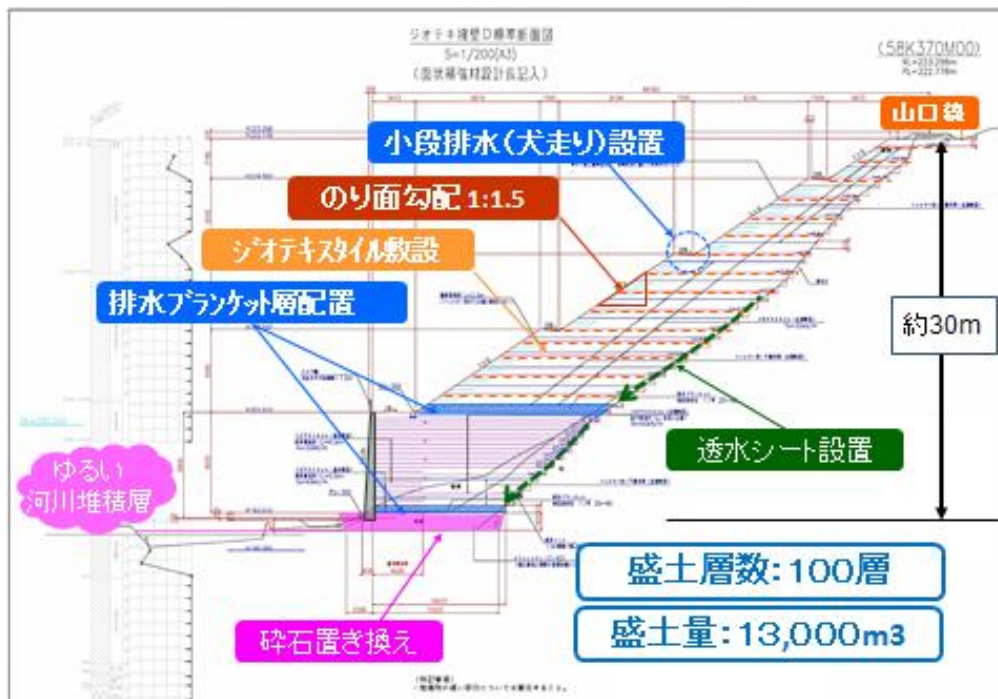


図-15 復旧断面



図-16 透水シート

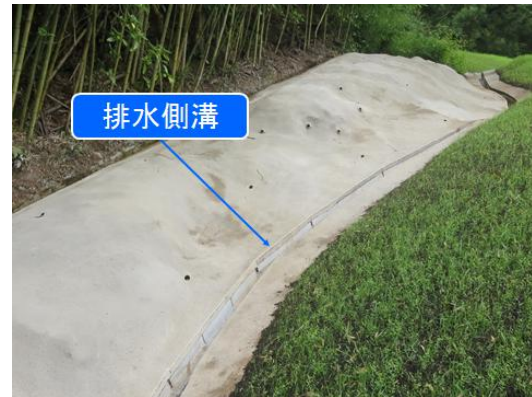


図-17 排水側溝（縦排水）

盛土の構築には、約 13,000m³ 程度の土が必要であり工期の短縮を図るため崩壊箇所に隣接する津和野町工事の残土置き場の土を盛土材としての適用性の評価・確認した上で採用した。さらに、高盛土であるため盛土材の運搬、上部における施工面積の狭小化が施工上の課題となり、仮設道路による綿密な搬送計画や小型重機の積極的な活用により対応した。これらの工夫により、大幅な工期短縮が可能となり、目標とした工期内に必要な防災機能を満足させつつ復旧工事を完遂させることができた（図-18）。



図-18 復旧盛土完成状況

(3) 立体補強材（ジオセル）を用いた復旧・補強¹⁰⁾

ここでは、立体補強材（ジオセル）の適用事例について述べる。表-2 に立体補強材の鉄道における適用方法例を示す。本補強材はのり面や斜面の保護、支持地盤の補強などで利用されている。

図-19 は盛土の復旧におけるのり面工としての適用事例である。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震において地震及び津波により被災した三陸鉄道の盛土の復旧である。盛土の復旧と同時進行で進められた様々な復旧工事によりコンクリート材料が大幅に不足していること、

表-2 立体補強材の適用方法例

適用方法	目的
のり面工	のり面保護、のり面一体化（盛土補強）
擁壁工	土留め、斜面保護
マットレス	支持力補強

地域の足としての鉄道運行再開日が定められており施工期間が限られている、多くの被害が生じているため復旧にあたり経済性なものであることが必須、という条件下の中で適用された。本工法は部分的に被害を受けた既設ののり面工（岩座張り）の箇所において適用されており、既設ののり面工の撤去が不要である（既設のり面工の前面に施工）ことも効果的であった。

また、立体補強材（ジオセル）に関して、図-20に擁壁としての適用事例を示す。軽量であることや現地発生土が利用できる点、施工性に優れている点から、鉄道に近接した箇所においても本工法が用いられている。また、本設構造物としては緑化が可能であること、仮設構造物として



(a) 施工状況



(b) 完成状況

図-19 三陸鉄道における盛土のり面工

は撤去が容易であることも特徴としてあげられる。一方、図-21にはマットレスとしての適用である。これまでも鉄道においてはバラスト軌道の下などで適用されているが、ここでは擁壁の基礎の支持力向上対策としての利用である。置換工法などと比べて、少ない改良範囲で済むなど工期短縮や施工性の改善が利点である。

5. おわりに

鉄道構造物を対象に補強土構造物の新たな構造形式や適用方法について述べた。関係各所のご尽力により、様々な応用的な方法が生まれ、活用されている。



図-20 擁壁としての適用
(JR 西日本 (奈良線))



図-21 マットレスとしての適用（平成筑豊鉄道（田川線））

本報告がこれから補強土構造物の適用を考えられている技術者の方の参考になれば幸いである。また、改良の余地は存分にあると考えられる。今後、更なる応用的発展が進むことを期待したい。

謝辞: ジオセルの事例については東京インキ（株）の原田道幸様にご協力頂きました。末筆ながら謝意を表します。

参考文献

- 1) 龍岡文夫：ジオシンセティクス補強土構造物ー35 余年の経験と展望ー，ジオシンセティクス技術情報誌，Vol. 34，No. 3，国際ジオシンセティックス学会日本支部，pp.1-13，2018
- 2) 曾我大介，川中島寛幸，阪田暁：九州新幹線における GRS 構造物の活用，基礎工，2020.
- 3) 曾我大介，磯谷篤実，陶山雄介，阪田暁：九州新幹線（西九州ルート）建設における GRS 構造物の活用，地盤工学会誌，pp.8-11，2019.
- 4) 曾我大介，陶山雄介，阪田暁，龍岡文夫，西岡英俊：PC 桁を用いた GRS 一体橋梁 -九州新幹線（西九州ルート）原種架道橋-，Vol. 32，ジオシンセティック論文集，pp.153-158，2017.
- 5) 川中島寛幸，田中秀一郎，柳瀬賢征：盛土補強土工法を利用した沈下抑制対策の設計・施工，pp94-97，62 (8)，土木施工，2021
- 6) 鈴木幸司，佐藤晶子，鈴木和学，村岡洋：只見線 河川に対し平行に位置する土構造物の復旧，SED，Vol.58，pp.40-47，2021.
- 7) 加納浩二，岡義晃，鎌田和孝，中島卓哉：山口県・島根県豪雨災害の概要と復旧計画，日本鉄道施設協会誌 2014 June，pp.451-454，2014.
- 8) 中島卓哉：山口・島根豪雨災害における山口線災害復旧計画，日本鉄道施設協会誌 2015 January，pp.85-89，2015.
- 9) 細口光博，中島卓哉：平成 25 年度山口県・島根県の豪雨災害による鉄道度構造物の被害と復旧，基礎工 Vol.43，No.6，pp.64-67，2015.
- 10) 原田道幸，矢崎澄雄，小島謙一，横田弘一，清川伸夫，田村幸彦，佐藤武斗，伊藤正博：ジオセルと地山補強材による地山安定化工法の開発，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp.23-30，2016.