

技術報文

厳しい施工条件での RRR-GRS 擁壁の施工事例

RRR 工法協会 太田 剛弘

1. はじめに

RRR 工法 (Reinforced Road with Rigid Facing Construction System) は、1981 年からの東京大学生産技術研究所での基礎研究に基づいて、公益財団法人鉄道総合技術研究所での研究によって実用化された補強土工法で、これまでに RRR-A (補強土橋台・橋梁) 工法、RRR-B (剛壁面盛土補強土擁壁) 工法、RRR-C (剛壁面切土補強土擁壁) 工法、および RRR-D (水際防災補強盛土) 工法の 4 つの工法が開発されている。

この内、RRR-B 工法で構築される RRR-GRS 擁壁 (写真-1) は、建設費と長期維持管理費の合計であるライフサイクルコストが低いという基本的特長によって広く採用され、開発から 30 年余経過した現在、図-1 に示すように、日本全国での施工実績は 1412 件を超え、壁の総延長は 202 km に及んでいる。

その間、レベル 2 地震動クラスの大規模地震や集中豪雨等の自然災害を数多く受けたにも関わらず建設後の事故 (崩壊等) と長期維持管理での問題は、それぞれ皆無である。

特に、1995 年 1 月兵庫県南部地震や 2011 年 3 月東日本大震災の被害地域では 100~200 箇所程度の施工済みの RRR 構造物 (以下、RRR-GRS 構造物と称す) がレベル 2 地震動の洗礼を受けたが、軽微な補修が数例生じただけである³⁾。

さらに、2016 年 4 月の熊本地震においても、図-2 および図-3 に示すように、被害地域に 250 箇所を超える RRR-GRS 構造物が建設されていたが、被害は皆無であった。

今回、鉄道の土留め構造物として多くの実績のある RRR-B 工法が芳賀・宇都宮 LRT 整備事業における土留め構造物の建設工事に採用され、現在、工事が進んでいる。

本報文では、芳賀・宇都宮 LRT 整備事業の概要とその建設工事に採用された RRR-B 工法の施工事例を報告する。

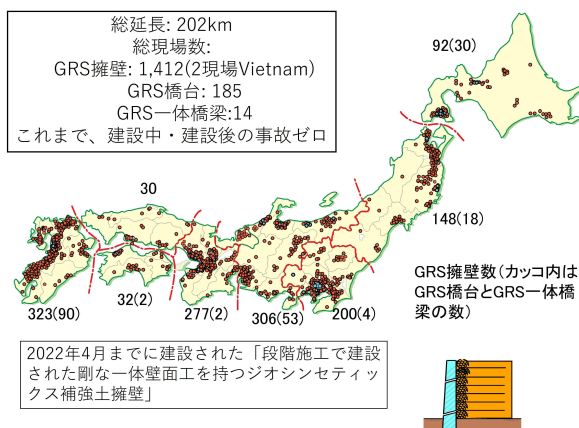


写真-1 RRR-GRS 擁壁の施工例^{1), 2)}

図-1 RRR-GRS 擁壁および RRR-GRS 橋台・一体橋梁 (写真-2) の施工実績 (2022 年 4 月)

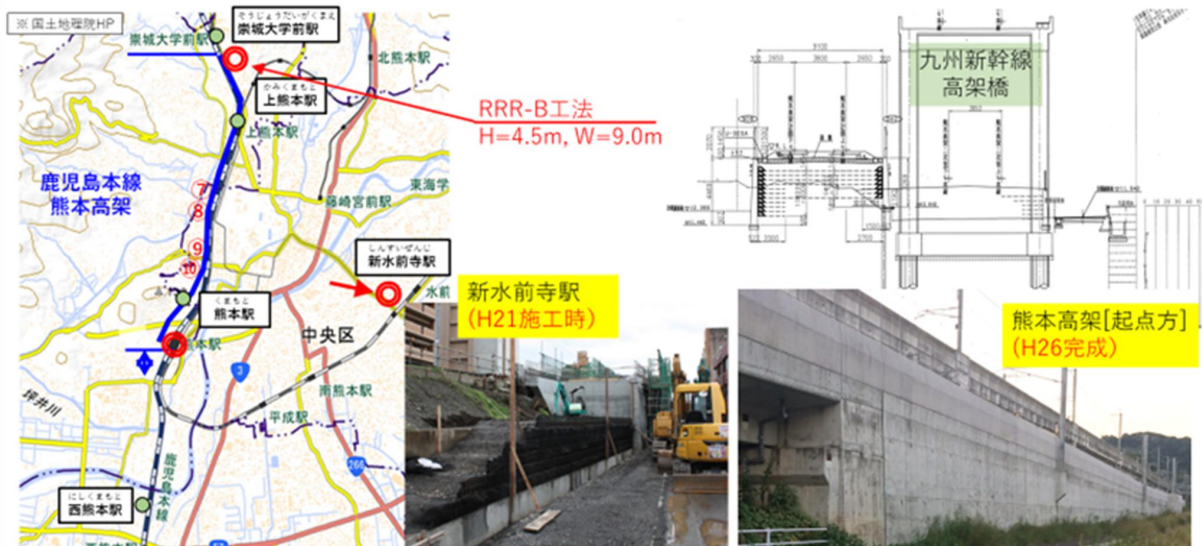


(a) RRR-GRS 橋台



北海道新幹線架道橋 (RC) 三陸鉄道ハイペ沢橋梁 (SRC)九州新幹線厳守架道橋 (PCT 桁)
(b) RRR-GRS 一体橋梁

写真-2 RRR-GRS 橋台と RRR-GRS 一体橋梁の例^{4), 5)}



(資料提供：九州旅客鉄道株式会社)

図-2 熊本地震後の JR 熊本駅周辺の RRR-GRS 擁壁状況 (被害は皆無)

RRR-GRS 擁壁：250 ヶ所
RRR-GRS 橋台・一体化橋梁：4 ヶ所

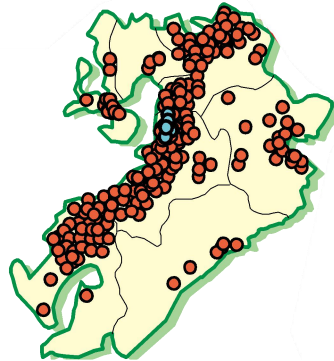


図-3 2016年4月熊本地震発生時における九州地区の RRR-GRS 構造物の施工箇所

2. 芳賀・宇都宮 LRT 整備事業の概要

Light Rail Transit(軽量軌道交通:LRT)は、Light Rail Vehicle(低床式車両:LRV)を活用した“次世代の軌道系交通システム”である。国土交通省は、人と環境に優しい交通システムとして、都市部において LRT の整備を推進⁶⁾している。

LRT の我が国初の本格的導入は、2006 年 4 月開業の富山ライトレール(路線長 7.6 km)であるが、芳賀・宇都宮 LRT 整備事業(以下、本整備事業と称す)は、わが国初の既存路線の延伸・改良を伴わない全線新設工事であり、その土留め構造物の一部に RRR-B 工法による剛一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁(GRS 擁壁)が採用された。

事業方式は、公設型上下分離方式であり、軌道整備事業を宇都宮市と芳賀町が行い、軌道運送事業を宇都宮ライトレール株式会社が行うこととなっている。本整備事業の概要を表-1 に示す。本整備事業の概算事業費は、約 458 億円であるが、LRT 整備事業には、図-4 に示すように、国土交通省からの交付金を受けている。

なお、路線長については、図-5 の運行ルートに示すように、宇都宮市中心部の JR 宇都宮駅西側にも延伸の計画もあり、計画が完成すると、全体の計画路線長は、約 18 km⁸⁾となる。

表-1 芳賀・宇都宮 LRT の整備事業の概要⁷⁾

事業方式		公設型上下分離方式
起動事業者	軌道運送事業者	宇都宮ライトレール(株)(平成 27 年 11 月 9 日設立)
	起動整備事業者	宇都宮市、芳賀町
概算事業費	約 458 億円(税抜)	宇都宮城:約 412 億円 芳賀町城:46 億円
路線町	14.6km(複線)	・区間:JR 宇都宮駅~本田技研北門(芳賀町) ・自動車交通との併用区間:約 9.4km ・LRV のみが走行する専用区間:約 5.1km
停車場数 車両	19ヶ所 低床式車両(LRV)	100%バリアフリー 17編成(3車体連結、全長 29.52m、定員 160 人) (座席数 50 席、手すり・つり革含む)
関連事業		・交通結節機能の強化(トランジェントセンターの整備等) ・バスネットワークの再編、地域内交通の導入 ・IC カードの導入など
運送開始予定年月日		2022 年度内に工事着工試運転開始

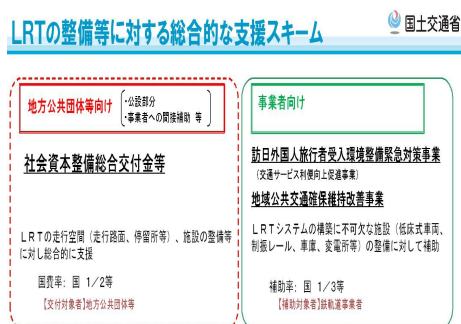


図-4 LRT 整備事業に対する国土交通省の支援スキーム⁶⁾



図-5 芳賀・宇都宮 LRT の運行ルート⁷⁾

3. RRR-B 工法の概要と特長

RRR-B 工法は、図-6 に示すように多層の面状ジオテキスタイル補強材を 30cm の鉛直間隔で密に配置し、曲げ剛性が高い一体の壁面工と連結することにより、鉛直に近い勾配(1 : 0.0~1 : 0.2 程度)の補強盛土擁壁(RRR-GRS 擁壁)を構築する工法である。

図-7 に RRR-B 工法の施工手順を示す。

- 1) では、壁面の根入れ部分(基礎部)を施工する。
- 2) では、合計層厚 30 cm の盛土をする毎に、ジオテキスタイルを敷設する。また、土のう等の仮抑え材を各土層の肩に配置して、ジオテキスタイル補強材を巻き込むことにより定着をとる。
- 3) から 5) については、2) の工程を繰り返して所定の高さまで補強盛土を盛り立てる。
- 6) では、支持地盤と盛土に伴う所定の変形が収束するまで放置した後、裏型枠を用いず盛土内部にアンカーした表型枠だけを用いて、壁面工として厚さ 30cm 程度の場所打ちコンクリートを補強材層と連結するように打設して補強盛土体と一体化する。

壁面工を補強盛土の盛り立て前に建設する方法では、盛土建設に伴う盛土と支持地盤の変形によって壁面の出来形を保持できず、また壁面工および壁面工と補強材層の連結部が損傷して、土留め構造物として機能を満足できなくなる虞がある。しかし、この問題は上記の段階施工によって避けられる。

このような段階施工によって、建設される壁面工とその施工法には以下の優れた特長が生まれる。

- ① 完成壁面は鉛直に近く、また壁面工を盛土内にアンカーされたコンクリート外型枠を用いて建設するため壁面前方の用地を必要とせず、狭い用地や狭隘な場所でも施工できる(図-8 参照)。
- ② 剛性が高い一体壁面工を用いているため、盛土の安定性が高く変形性が小さい。特に、壁面工が剛で一体でない補強土擁壁工法と比較すると、壁面裏の盛土の安定性が高く壁面裏間際まで道路面、鉄道軌道など許容変位が小さい構造物の敷地として使用できる(図-9 参照)。このため、従来の緩い法面を持つ盛土だけではなく、壁面工の剛性・一体性が低い補強土擁壁と比較して、用地が大幅に縮小できる。更に、壁面工を防護柵(ガードレール)・遮音壁・

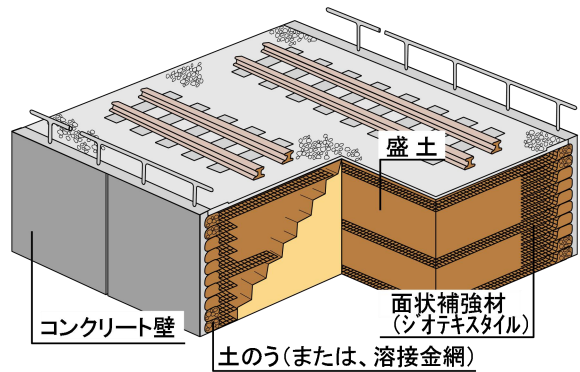


図-6 RRR-B 工法の概要

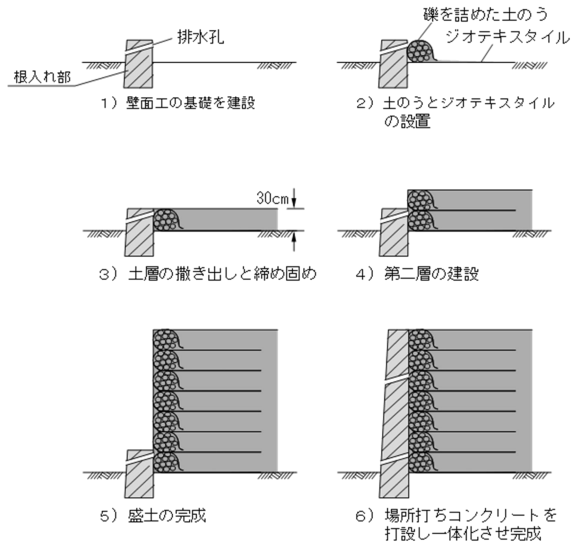


図-7 RRR-B 工法の施工手順

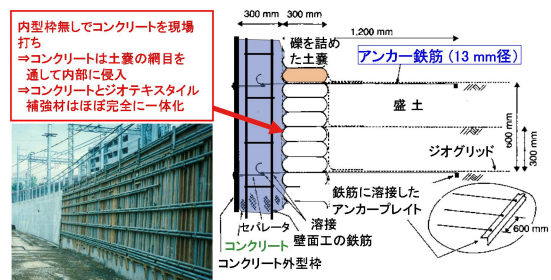


図-8 剛壁面の現場打コンクリート打設方法

電柱等の構造物の基礎として機能する。

- ③ 盛土との噛み合わせが良いグリッド状の補強材を密に配置するため、使用できる盛土材の適用範囲が広い。また、壁面工が剛で体なため擁壁の安定に必要なジオテキスタイル補強材の長さを盛土下部で短くできるため、大幅な掘削を伴わないで既設盛土斜面や自然斜面の腹付けが可能になる。なお、ジオテキスタイル補強材の実際の敷設長は、安定解析により決定されるが、基本敷設長は一般に壁高の40%程度が目安となる。
- ③ 壁面工が剛で一体なため、支持地盤の変形や洗掘等による壁面の変形が容易には生じない。また、仮に局所的な不具合が生じても、壁面工の一部破損から擁壁全体の崩壊に至ることはない。特に、洪水等で壁面工支持層が洗掘されると擁壁の安定性は低下するが、壁面工は補強材層に定着されているので直ちには不安定化せず背後盛土は応急的な機能を果たせる(図-10参照)。

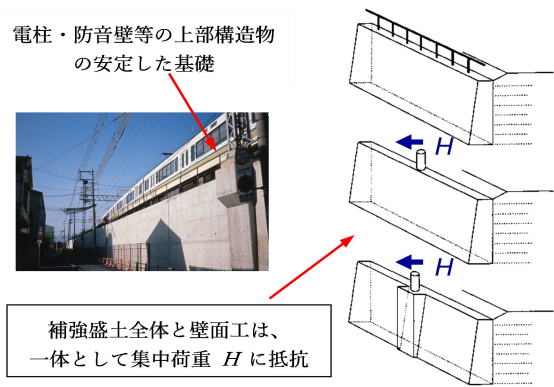


図-9 剛な一体壁面工による電柱基礎例

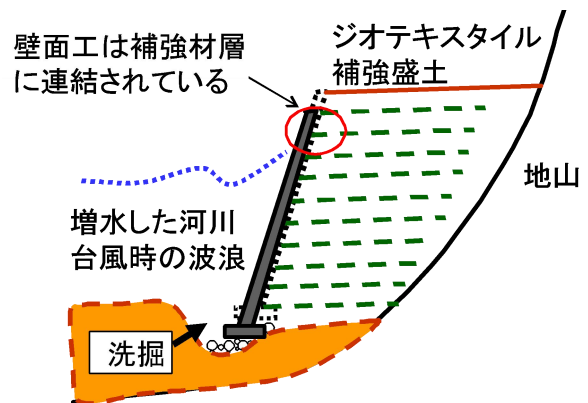


図-10 基礎地盤が洗掘された場合の RRR-GRS

4. 本整備事業における RRR-B 工法によるジオテキスタイル補強土擁壁の施工

(1) LRT のルート上の地形・地盤構成

LRT 整備工事は、15 の工事区間に分かれています。RRR-GRS 擁壁は、図-11 に示すように、令和 2 年 7 月現在、「鬼怒川左岸立体区間」、および「野高谷(のごや)立体区間」の 2 工事区域に採用されており、これらの現場は図-12 および図-13 に示すように、共に鬼怒川低地に位置している。LRT のルートは、田原台地・岡本台地・鬼怒川低地・宝積寺(ほうしゃくじ)台地の上に位置し、基礎地盤は、ローム層と沖積層で構成されている。

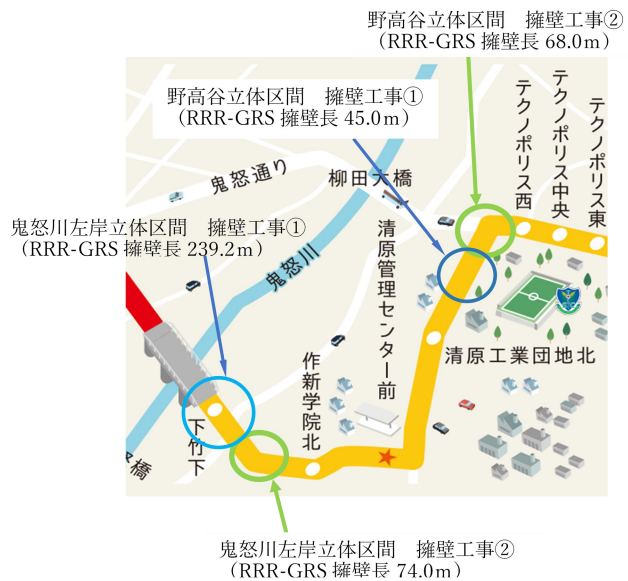


図-11 RRR-GRS 擁壁の採用区間 (令和 2 年 7 月現在)

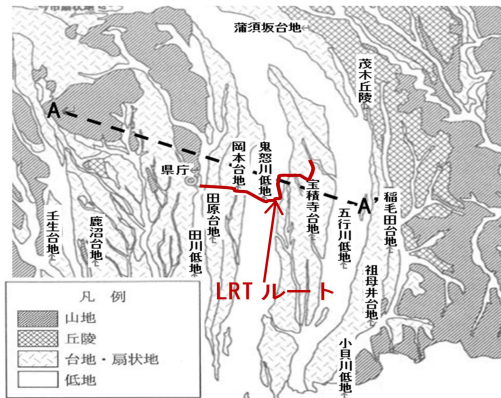


図-12 計画地域の地形区分
(栃木県の地形区分図¹⁰⁾に加筆)

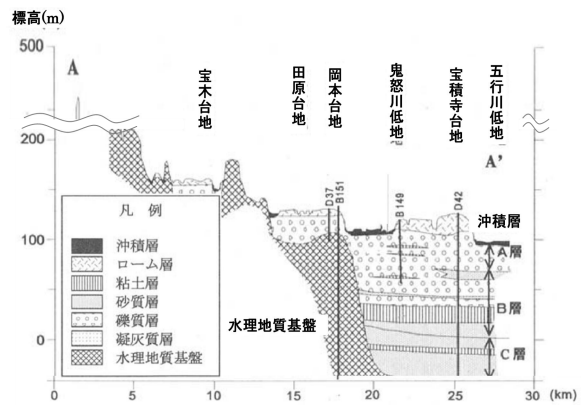


図-13 計画地の代表的な地形断面図

(2) RRR-B 工法による GRS 擁壁の施工

今回、RRR-B 工法による GRS 擁壁が採用された「鬼怒川左岸立体区間」、および「野高谷立体区間」の 2 工事区域の代表的な工事例として「野高谷立体区間」①の事例を図-14 に示す。本工事の GRS 擁壁の概要は、下記のとおりである。

- ・ 施工延長：45m
- ・ 壁高：約 4.5～8.1m (層数：15～27)
- ・ 壁厚：40 cm
- ・ 補強材数量：8,964m²
- ・ 盛土幅 (両端盛土)：約 7.6m
- ・ 地盤改良：補強盛土体の下部 約 2.1～7.5m

写真-3 に工事全景を、写真-4 に仮設足場の設置状況、写真-5 に盛土締固め状況、および写真-6 に工区境の処置状況をそれぞれ示す。また、今回使用した主要なジオテキスタイル補強材の材料特性を表-2 に示す。

(3) 軟弱地盤での工区境における対策

RRR-B 工法では、補強盛土の建設に伴う基礎地盤と補強盛土体の変形の収束を確認した後に、剛な一体壁面工を構築する。

この段階施工によって、基礎地盤と盛土の沈下によって壁面の出来形を保持できず、壁面工および壁面工と補強材の連結部が損傷して土留め構造物として機能を満足できなくなる問題を回避できる。そのため、軟弱地盤上でも問題なく建設され長期に供用されている工事例がある。

12)

上記の観点から、支持層が軟弱で延長距離が長い RRR-GRS 擁壁を建設する場合は、工区と工期を分けずに全長に亘って補強盛土を建設後、盛土と支持地盤の変形が十分に終了した後に剛な一体壁面工を建設することが望ましい。その場合、縦目地は長くても 10m 程度毎に設置するのが基本としている。壁面工建設後にも地盤が沈下する虞がある場合は、伸縮目地の数を増やしている。

一方、やむなく工区・工期を分ける必要があり、所定の工区での工事が完成後隣接工区の施工を開始する場合がある。その場合、前の工区で剛な一体壁面工を建設して擁壁を完成後に、次の工区での新たに盛土工事によって完成した擁壁の支持地盤が沈下すると、前の工区の壁面工は変位・変形し壁面工および壁面工と補強材の連結部が損傷する虞がある。

その場合は、この問題を回避するため図-15 に示す様な段階施工を実施する必要がある。¹³⁾

しかし、本工事では、軟弱地盤対策として基礎地盤をセメント混合処理工法で改良し、次の隣接工区での盛土工事による地盤沈下を抑制して、前工区の完成した GRS 擁壁が影響を受けないようにした。

また、分割された工区境においては、次の隣接工区での工事が開始されるまでは、写真-6 に示すように、前工区の補強盛土の横断面の端末壁面を、溶接金網をジオテキスタイル補強材で巻き込んで建設し、次の工区の工事が開始されるまで安定な状態を保持した。

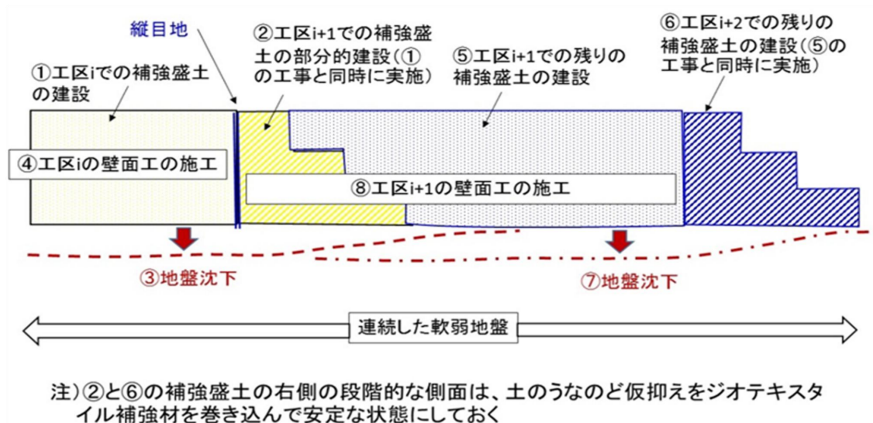


図-15 連続する軟弱地盤上に延長距離が長いRRR-GRS 擁壁を工区を分けて施工する場合の段階施工の例¹³⁾

6. まとめ

軽量軌道交通(LRT)整備事業において、我が国で初めて既存路線の延伸・改良を伴わない全線新設工事の土留め構造物の構築方法の一部に RRR-B 工法による剛な一体壁面工を持つ GRS 擁壁

が採用された。本報文では、この工法の概要と本工事を紹介した。本工事は、延長が長い工区を短期間で、しかも分割して施工する必要があった。本工事例が、このような厳しい条件下で施工される補強土工法の参考になれば幸いである。

今後はさらに、施工時の事故や長期維持管理上の問題等が発生しないように、工法の補強メカニズムと設計・施工法の特徴とそれらの意義の認識を徹底するとともに、新規分野や海外への展開を図って行く予定である。

謝辞：本稿を作成するに当たりご指導いただきました東京大学・東京理科大学龍岡文夫名誉教授、また、宇都宮市建設部の皆様に対し、末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 関東地方整備局 横浜国道事務所ホームページ web サイトによる
<https://www.ktr.mlit.go.jp/yokohama/seishou/kentou03.htm> (2020年2月10日閲覧可能)
- 2) 石河雅典, 永澤豪, 藤平欣司, 嶋田宏：台風により被災した道路護岸における補強土壁工法の適用事例, 基礎工, Vol.38, No.2, pp.93~95, 2010
- 3) 龍岡文夫：ジオシンセティック補強土構造物-35年余の経験と展望-ジオシンセティック技術情報, Vol.34, No.3, pp.1~13, 2018
- 4) 小田文夫・進藤良則：三陸鉄道北リアス線の復旧工事におけるGRS一体橋梁の適用, 橋梁と基礎, Vol.47, No.8, pp.106-108, 2013
- 5) 白仁田和久・筒井光夫・森澤仁・阿南直幸・田中卓也・服部尚道：三陸鉄道北リアス線における補強盛土一体橋梁の施工事例, ジオシンセティックス論文集 No.28, pp.383-388, 2013
- 6) LRT(次世代型路面電車システム)の導入支援, 国土交通省 HP、
https://www.mlit.go.jp/roadsisaku//lrt/lrt_index.html (2020年2月10日閲覧可能)
- 7) LRTの運行ルートや運行計画など, 宇都宮市役所 HP、
<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kurashi/kotsu/lrt/1013029.html> (2020年2月10日閲覧可能)
- 8) 鉄道計画データベース,
<https://railproject.tabiris.com/utsunomiya.html> (2020年2月10日閲覧可能)
- 9) LRT工事情報, 宇都宮市役所 HP「東西基幹公共交通(LRT)」:
<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kurashi/kotsu/lrt/1016302.html> (2020年2月10日閲覧可能)
- 10) 栃木県企画部水資源対策室 編: 栃木県水理地質書、1975.3
- 11) 地質調査結果の公表, 栃木県 HP、
<http://www.pref.tochigi.lg.jp/h10/town/jyuutaku/kenchiku/kouji/tishitu.html> (2020年2月10日閲覧可能)
- 12) 龍岡文夫監修：新しい補強土擁壁のすべて、pp.326~331、2005年10月
- 13) RRR工法協会：RRR-B(道路)設計施工マニュアル、pp.96~97、2019年6月