

厳しい施工条件でのRRR-GRS擁壁の施工事例

—芳賀・宇都宮LRT整備事業での土留め構造物—

小俣哲平¹・岡本正広¹・安野 誠²

剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁(GRS擁壁)の工法 (RRR-B工法) の概要に引き続き、芳賀・宇都宮LRT整備事業の概要とその事業に伴う土留め構造物の建設工事の概要を報告している。本事業は、従来のLRTと異なり、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、その土留め構造物としてRRR-B工法によるGRS擁壁が採用された。本工事は、多工区に分割されているため、工区分割の対策として、工区境での前工区の補強盛土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、次工区の工事が開始されるまで安定な状態を保持した。さらに軟弱地盤上に延長が長いRRR-GRS擁壁を工区分割して施工する対策として、軟弱地盤をセメント混合処理工法で改良して隣接する次工区の盛土建設による沈下を抑制して、前工区の完成したGRS擁壁が次工区の工事の影響を受けないようにした。

キーワード：ジオテキスタイル、補強土擁壁、剛壁面、LRT、段階施工

1. はじめに

RRR工法は、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、(公財)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1,322件を超え、壁の総延長は184kmに及んでいる。

その間、建設中の支障、ならびにレベル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かか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、土留め構造物として多くの実績のある

総延長：184km
総現場数：GRS擁壁：1275 (2現場 Vietnam)
GRS橋台：39
GRS一体橋梁：8

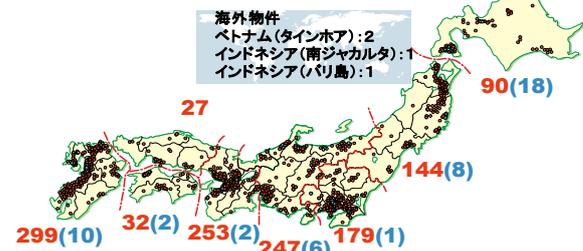


図-1 「RRR-GRS 擁壁」および「RRR-GRS 橋台・一体橋梁(写真-2)」の施工実績(2019年4月)



左図：山形自動車道の四車線化拡幅工事(壁高H=11.5m)

下図：国道1号線西湘バイパスの災害復旧工事

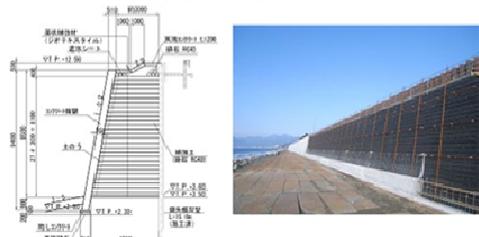


写真-1 「RRR-GRS 擁壁」の施工例^{1), 2)}

¹IGS特別会員, RRR工法協会, 事務局(〒160-0004 東京都新宿区四谷1-26-6)

²宇都宮土建工業(株), 工事部(〒321-0112 宇都宮市屋板町568-1)



(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) 九州新幹線原種架道橋 (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)}



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)
(資料提供:九州旅客鉄道(株))

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。

2. 芳賀・宇都宮LRT整備事業の概要²⁾

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、

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

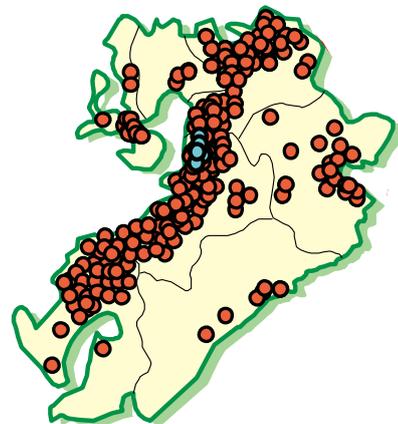


図-3 2016 年 4 月熊本地震発生時における九州地区の RRR-GRS 構造物の施工箇所

表-1 芳賀・宇都宮 LRT 整備事業の概要⁷⁾

事業方式		公設型上下分離方式
軌道事業者	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）
	軌道整備事業者	宇都宮市、芳賀町
概算事業費	約 458 億円（税抜き）	宇都宮域：約 412 億円 芳賀町域：約 46 億円
路線長	14.6 km（複線）	・優先整備区間：JR 宇都宮駅東口（宇都宮市）～本田技研北門（芳賀町） ・自動車交通との併用区間：約 9.4 km ・LRV のみが走行する専用区間：約 5.1 km
停車場数	19 ヶ所	100%バリアフリー
車両	低床式車両（LRV）	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（トランジットセンターの整備等） ・パ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
運輸開始予定年月		2022 年 3 月（2018 年 3 月着手）

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。

本整備事業の概要を表-1 に示す。表-1 に示すように、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。



図-5 芳賀・宇都宮 LRT の運行ルート⁷⁾



図-6 「本整備事業」の概要⁹⁾

LRTの整備等に対する総合的な支援スキーム

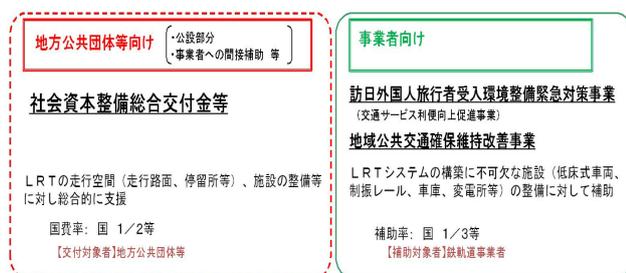


図-4 LRT 整備事業に対する国土交通省の支援スキーム⁶⁾

3. RRR-B工法の概要と特長

RRR-B 工法は、図-7 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-8にRRR-B工法の施工手順を示す。

- ①まず、壁面の根入れ部分（基礎部）を施工する。
- ②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。
- ③～⑤ 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支持地盤と盛土に伴う所定の变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 30 cm 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变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-9参照）
- 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-10参照）。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・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、壁面工が剛で一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。
- ④ 壁面工が剛で一体なため、支持地盤の变形や洗掘等による壁面の变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、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-11参照）。

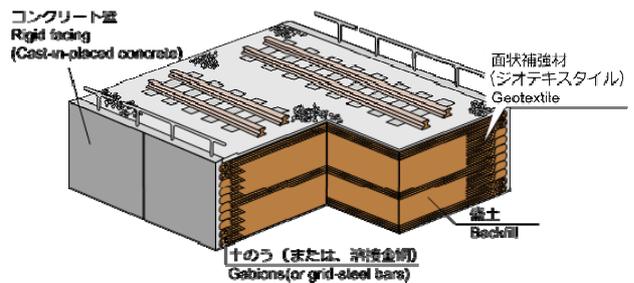


図-7 RRR-B工法の概要

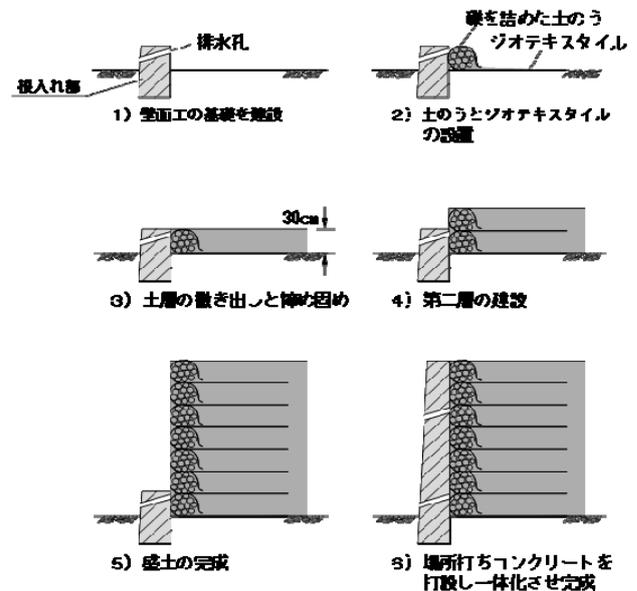


図-8 RRR-B工法の施工手順

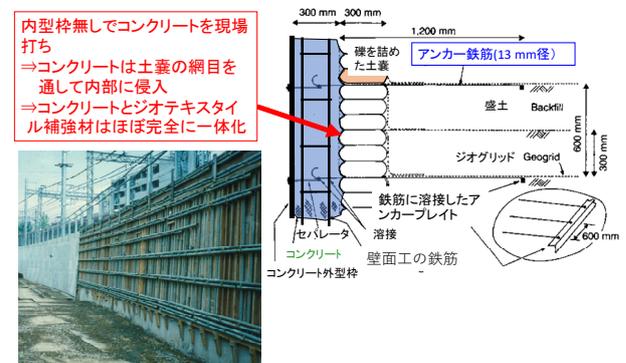


図-9 剛壁面の現場打コンクリートの打設方法

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、図-6 および表-2 に示すように、15 の工事区間に分かれている。RRR-GRS 擁壁は、図-12 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-13 および図-14 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）

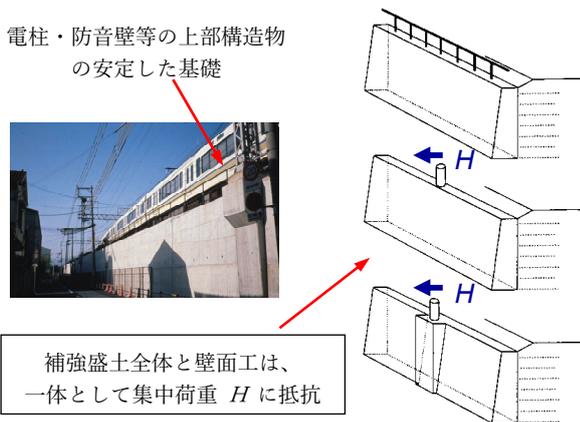


図-10 剛な一体壁面工による電柱基礎の例

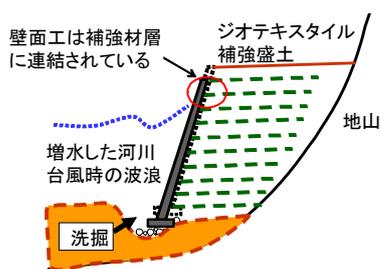


図-11 基礎地盤が洗掘された場合の RRR-GRS 擁壁の変形パターン



図-12 RRR-GRS 擁壁の採用区間 (令和2年7月現在)

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。

(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-15 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)

表-2 LRT 整備事業の工事概要⁹⁾ (令和2年7月現在)

工事区間	工事の内容	工事期間
1 向田線1区間	Web掲載なし	
2 向田線2区間		
3 向田線3区間	鬼怒通りの電力管移設工事	実施中～2020年7月下旬
4 平出立体区間	工事用道路の建設と水路の移設工事	令和2年2月中旬～令和2年5月下旬
	架道橋の橋脚工事	令和2年5月下旬～令和3年1月まで
5 鬼怒川右岸平面区間	準備中	
6 新4号国道交差点区間	新4号国道横断トンネル整備工事	実施中～2021年を予定
	新4号国道本線の中央分離帯撤去	2020年1月6日(月)～2021年3月末予定
7 鬼怒川右岸立体区間	平石地区内の橋脚工事	実施中～2020年度予定
8 鬼怒川橋りょう区間	鬼怒川橋りょうの整備工事	実施中(湯水期)～2021年8月予定
9 鬼怒川左岸立体区間	竹下町地内の橋りょう・擁壁工事	実施中～2020年度予定
	市道379号線横断函渠設置工事等	実施中～12月上旬
10 清原工業団地区間	清原工業団地管理センター付近の歩道車道工事	令和2年4月下旬～12月下旬
	清原工業団地内の地盤改良・軌道工事	2020年3月上旬～2021年3月中旬予定
11 野高谷立体区間	橋りょう・擁壁工事	実施中～2021年3月末予定
12 茂木線1区間	道路改良工事	2020年5月中旬～10月予定
	電線共同溝移設工事	2019年11月下旬～2020年3月予定
	水道管移設工事	2020年5月下旬～12月予定
	下水道管移設工事	2020年5月中旬～2021年3月予定
13 芳賀町茂木線2区間	歩道工事、車道拡幅工事	令和2年3月上旬～随時、実施
14 芳賀町台の原・下原線区間	補強土壁工事	令和2年1月より実施中(令和2年9月下旬を予定)
15 車両基地	車両基地の造成工事	実施中～2020年度予定

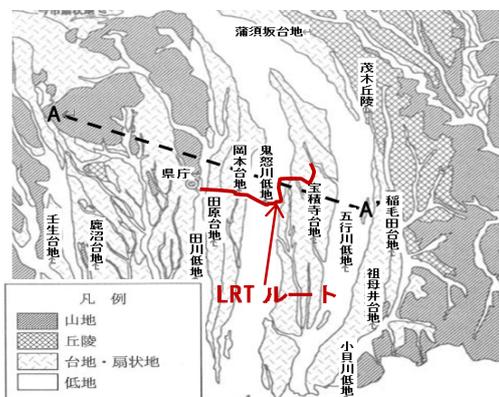


図-13 計画地域の地形区分 (栃木県の地形区分図¹⁰⁾に加筆)

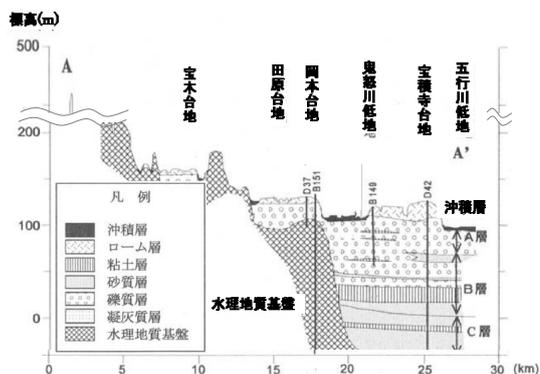


図-14 計画地の代表的な地形断面図¹¹⁾

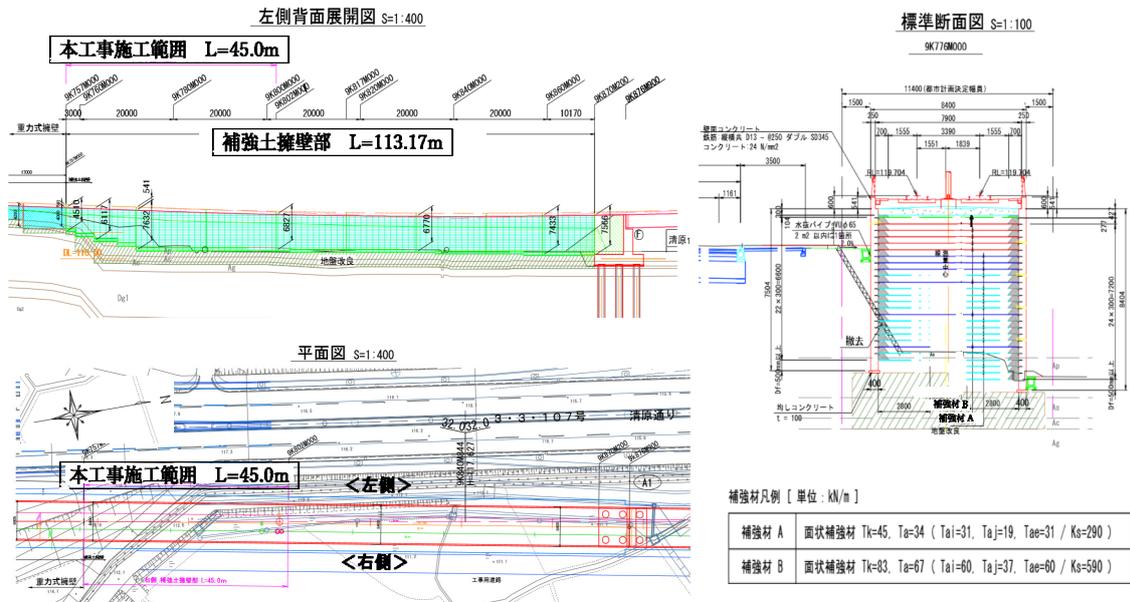


図-15 RRR-GRS擁壁の構造一般図



写真-3 全景



写真-5 施工状況 (締固め作業)



写真-4 施工状況 (仮設足場)



写真-6 工区境での補強盛土の端末壁面

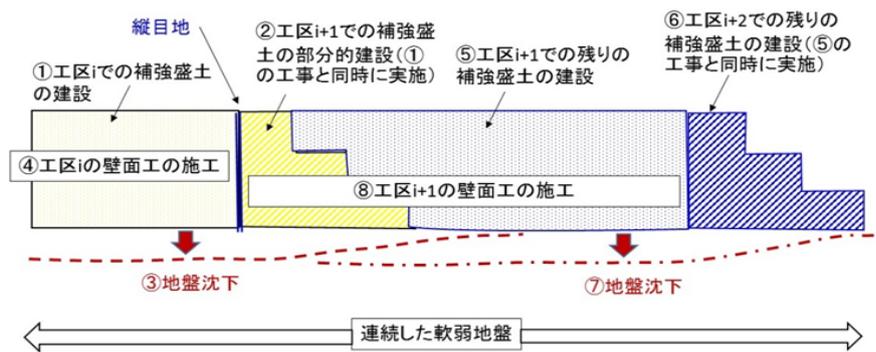
- 壁厚：40 cm
- 補強材数量：8,964m²
- 盛土幅 (両端盛土)：約 7.6m
- 地盤改良：補強盛土体の下部 約 2.1~7.5m

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-3 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てから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



注)②と⑥の補強盛土の右側の段階的な側面は、土のうなご仮抑えをジオテキスタイル補強材を巻き込んで安定な状態にしておく

図-16 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⁾

表-3 主要なジオテキスタイル補強材の材料特性

項目	単位	材料・値	
主材料		ポリエチレン樹脂	
単位面積当たりの質量	g/m ²	420	
目 合	mm×mm	166×22	
設計基準破断強度 Tk	kN/m	45	
引張強度の特性値 Ta	kN/m	34	
設計引張強度 Taj	kN/m	19	
壁面応力計算用のばね係数 Ks	kN/m	290	

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、工区と工期を分けないで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を基本としている。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される場合がある。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に、図-16に示す様な段階施工を実施する必要がある。¹³⁾

そこで、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。

6. まとめ

以上、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
- 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, Vol138, 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, 平成17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, 令和元年6月

A CASE HISTORY OF GRS RETAINING WALLS CONSTRUCTED BY RRR-B METHOD UNDER DIFFICULT CONSTRUCTION CONDITIONS

- SOIL RETAINING STRUCTURES FOR HAGA-UTSUNOMIYA LRT PROJECT -

Teppei OMATA, Masahiro OKAMOTO and Makoto ANNO

The construction of geotextile-reinforced soil (GRS) retaining wall having full-height rigid facing by *RRR-B method* is briefly explained, followed by the outline of the new Light Rail Transit project between Haga and Utsunomiya in Tochigi Pref. Japan. This is the first LRT project in Japan newly constructing railway structures. In this project, the GRS RWs were constructed under difficult construction conditions (i.e., a short given construction period and many divided sections over a long distance in a continuous soft ground area). The end wall face in each preceding section was constructed by placing welded wire mesh boxes filled with gravelly soil at the shoulder of each soil layer and wrapped-around with geogrid reinforcement and left until the start of construction in the next adjacent section. To avoid harmful effects of the ground settlement by the construction of a GRS RW in the next adjacent section on the completed GRS structure in the preceding section, the subsoil was improved by in-place cement-mixing.

KEYWORDS: Geotextile, Geosynthetic-Reinforced Soil retaining wall, Full-Height Rigid facing, Light Rail Transit, Staged Construction