

1. はじめに

平成 19 年 1 月(公財)鉄道総合技術研究所編『鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物』(以下、「土構造標準」と称す)が改定され、設計方法が従来の方法から性能照査型に変更された。また、平成 24 年 1 月に『鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物』(以下、「土留め標準」と称す)、さらに同年 9 月に『鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計』(以下、「耐震標準」と称す)が改訂された。

新しい「土構造標準」、「土留め標準」および「耐震標準」においては、限界状態設計法を基本とする性能照査型設計法に変更された。これまでの方法は、許容安全率と許容応力度計算による設計であったものが、新しい設計法では、性能ランクに応じた性能を満足することを照査することになった。

そこで今回、従前の「RRR-B 工法」材料マニュアルを性能照査型設計法に対応すべく改定した。大きな変更点は、今までの材料マニュアルは、「RRR-B 工法」のみを対象としていたが、今回改定したマニュアル(以下、「本マニュアル」と称す。)では、「RRR-A(補強土橋台・橋梁)工法(新設)」、「RRR-D(水際防災補強盛土)工法」にまで対象を広げている点や、性能照査型の設計法に準拠して地震時の総合低減係数をレベル 1 地震動、およびレベル 2 地震動ごとに設計引張強度を設定している点などである。

以下、本マニュアルの内容について概説する。

2. 本マニュアルの構成

本マニュアルの構成は、以下のようになっている。

まえがき

第 1 章 総則

第 2 章 ジオテキスタイル

第 3 章 仮抑え

第 4 章 ジオテキスタイル選定上の留意事項

3. 本マニュアルで対象とする RRR 工法

RRR (Reinforced-soil Railway / Road structures with Rigid Facing) 工法は、(公財)鉄道総合技術研究所が中心になって開発された補強土工法であり、現状においては、表 3.1 に示すように、主に、RRR-A 工法、RRR-B 工法、RRR-C 工法、および RRR-D 工法の四つの工法から構成される。

本マニュアルでは、このうち新設の「RRR-A 工法」、「RRR-B 工法」、「RRR-D 工法」、および関連工法の「補強土ボックスカルバート工法」、「トンネル坑門補強土工法」を対象とする。2 つの関連工法は、それぞれ図 3.1 に示す通りである。

4. 適用範囲

本マニュアルは、上述したように、鉄道関係ならびに道路関係の盛土構造物に「RRR-A 工法(ただし、既設盛土一体化橋梁は除く)」、「(NRS 一体化橋梁)「RRR-B 工法」、RRR-D 工法および関連工法の「補強土ボックスカルバート工法」、「トンネル坑門補強土工法」(以下、これら工法を総称して『補強盛土工法』と称す)を適用する場合を想定し、設計に必要なジオテキスタイルの検定値、および仮抑え材等の副材について取りまとめたものである。

本マニュアルの適用にあたっては、『補強盛土工法』を適用す



(a) 補強土ボックスカルバート工法



(b) トンネル坑門補強土工法

図 3.1 関連工法の概要

表 3.1 RRR 工法の概要

工法名	構造物の種類		略称
	補強土耐震性橋台		
RRR-A 工法	補強土併用	補強盛土一体化橋梁	RRR 橋台
	一体化橋梁	既設盛土一体化橋梁	GRS 一体化橋梁
RRR-B 工法	剛壁面盛土補強土擁壁工法	盛土補強土壁	RRR 盛土擁壁
RRR-C 工法	剛壁面切土補強土擁壁工法	切土補強土壁	RRR 切土擁壁
RRR-D 工法	水際防災補強盛土工法	補強土併用一体堤防	RRR 防潮堤
関連工法	補強土ボックスカルバート工法	補強土併用ボックスカルバート	GRS 一体ボックスカルバート
	トンネル坑門補強土工法	補強土併用トンネル坑門壁	RRR トンネル坑門

る盛土高さ、盛土材料、設計作用等を考慮して設計された設計図書に明示されているジオテキスタイルの設計引張強度を満足する製品強度(引張強度の特性値 T_a 各作用の組合せを考慮した材料係数)を有するジオテキスタイルを選定するものとする。

なお、本工法は、全体の安定が確保されれば、かなりの高さ

表 6.1-3 登録材料設計用値 一覧表($T_a = 30 \text{ kN/m}$ の場合)

No.	会員名	製品名	品番	構成形態	製品形態		(kN/m)	(注 1) (kN/m)	(注 2) (kN/m)	(注 3) 二軸 同一 強度	設計に用いる定数							
					幅 (m)	長さ (m)										(注 4) (kN/m)	(注 5) (kN/m)	
1	旭化成アドバンス(株)	ジオエース	DH-40	グリッド(織物)	2.0	50	48	38	48		0.50	19	0.65	25	0.70	27	34	200
2	旭化成アドバンス(株)	ジオエース	DHV-30W	グリッド(編物)	2.0	50	51	41	51	◎	0.50	20	0.85	35	0.85	35	43	490
3	(株)クラレ・太陽工業(株)	J グリッド	KJV-30W	グリッド(編物)	2.0	50	51	41	51	◎	0.50	20	0.85	35	0.85	35	43	490
4	(株)クラレ・太陽工業(株)	J マット	KFV-300	不織布・織布・不織布	2.0	50	40	29	40		0.60	18	0.90	26	0.90	26	36	670
5	前田工織(株)	FR グリッド	FR-30W	グリッド(編物)	2.0	50	51	41	51	◎	0.50	20	0.85	35	0.85	35	43	490
6	前田工織(株)	FR グリッド	NFR-30	グリッド(編物)	2.0	50	65	52	65		0.50	26	0.80	42	0.75	39	49	550
7	三井化学産資(株)	テンサー	RT-3	グリッド(一軸延伸)	1.0	30	45	34	45		0.55	19	0.90	31	0.90	31	41	290
8	三井化学産資(株)	ソフィックス	RS-3	グリッド(編物)	2.0	50	40	32	40		0.60	19	0.95	31	0.95	31	38	290
9	三井化学産資(株)	ソフィックス	RS-30W	グリッド(編物)	2.0	50	51	41	51	◎	0.50	20	0.85	35	0.85	35	43	490
10	三井化学産資(株)	タフネル	RF-31	不織布・織布・不織布	2.0	40	34	27	34		0.55	15	0.95	26	0.95	26	32	390

(注 1) レベル 1 地震動に対する引張強度の特性値
(注 2) レベル 2 地震動に対する引張強度の特性値
(注 3) 二軸同一強度：直行する主軸方向および縦軸方向の引張り強度が同一であるもの
(上記の表中で◎がついているもの)
(注 4) レベル 1 地震動に対する引張強度

【凡例】

	:	不織布タイプ(粘性土盛土材用)
	:	一軸延伸タイプ
	:	製品の幅・長さが他のものと違うタイプ
	:	設計用値に満たない数値

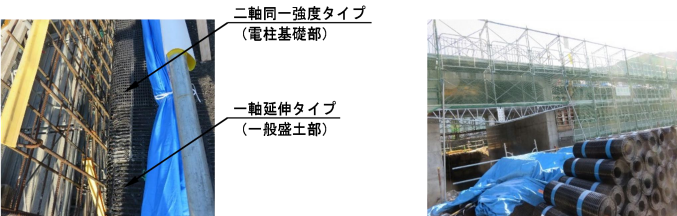


写真 6.2-1 二軸同一強度と一軸延伸タイプのジオテキスタイルを用いた場合の施工状況

6.2.2 土圧の作用方向がジオテキスタイルの主軸方向と異なる場合

盛土補強土擁壁の場合には、擁壁の構築ラインと土圧の作用方向が明らかに異なる場合(例えば、谷地形に直角に擁壁が計画されていない場合)、あるいは、トンネル坑口付近で基盤(支持地盤)が著しく傾斜している場合などのケースも二軸同一強度のジオテキスタイルを用いることが望ましい。

【事務局だより】

・平成 29 年度 RRR 工法技術講習会(札幌)を開催いたしました。
90 名の定員以上のご参加申し込みをいただきまして、盛況のうちに終了いたしました。
東京理科大学 龍岡文夫教授、ならびに(公財)鉄道総合技術研究所 事業推進部長の舘山 勝氏の特別講演の他、北海道旅客鉄道株式会社 綱嶋様、(独)鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 星井様にご講演いただきました。

・材料マニュアルを改定いたしました。

材料マニュアルを、性能照査型設計法に対応し改定しました。「RRR-B 工法」「RRR-A(補強土橋台・橋梁)工法(新設)」および「RRR-D(水際防災補強盛土)工法」が対象となっております。平成 29 年 10 月版となり、会員の皆様へ配布しています。

・平成 30 年度 RRR 定時総会の開催のお知らせ

下記のとおり開催致します。ご多用とは存じますが、万障お繰り合わせのうえご出席下さるよう御案内申し上げます。

- 開催日時：平成 3 0 年 7 月 12 日(木)
※開催時期が例年と異なっております。
ご注意ください。
定時総会 16 時 30 分～17 時 30 分
懇親パーティ 17 時 30 分～19 時まで
- 開催場所：ホテルメトロポリタン エドモント
悠久の間(2F)
(東京都千代田区飯田橋 3 丁目 10 番 8 号
電話 03 - 3237 - 1111)

【編集委員会名簿】

委員長：佐藤靖彦(西松建設㈱) 幹事：田村幸彦(㈱複合技術研究所) 事務局：岡本正広(㈱複合技術研究所)

委員：神田隆真(前田建設工業㈱)・片山 隆(㈱クラレ)・西村 淳(三井化学産資㈱)

【協会事務局】

〒160-0004 東京都新宿区四谷 1 - 2 3 - 6 協立四谷ビル 5 F (㈱) 複合技術研究所 内
電話 03-5368-4103 FAX 03-5368-4105 ホームページ・アドレス <http://www.RRR-SYS.GR.JP>

まで施工可能であり、15 *m*程度までの実績は多数ある。したがって、本マニュアルにより標準的に設計、施工できる盛土高さは、15 *m*程度以下とし、それ以上の高さとなる場合には専門技術者により十分な検討を行うものとする。

5. ジオテキスタイル

5.1 ジオテキスタイルの種類

土木の分野で用いられる高分子材料の繊維製品やプラスチック製品は、総称してジオシンセティックスと呼ばれ、ジオテキスタイル（広義）、ジオメンブレン、ジオコンポジットの3つに大きく分類される。このうち、広義のジオテキスタイルは、狭義のジオテキスタイル、ジオグリッド、ジオネット、および関連製品を含めた総称である。

狭義のジオテキスタイルは、織布（ジオウオープン）、不織布（ジオノンウオープン）、編物（ジオニット）の総称で、透水性のあるシート状の高分子製品をいう。本マニュアルでいうジオテキスタイルとは広義を指す。

また、ジオグリッドは、強度の高いビニロン糸等を格子状に組み合わせ、さらに特殊合成樹脂をコーティングしたもの、およびポリエチレン樹脂等を一軸延伸した土木用ネット型シートを指す。（図 5.1 および写真 5.1 参照）

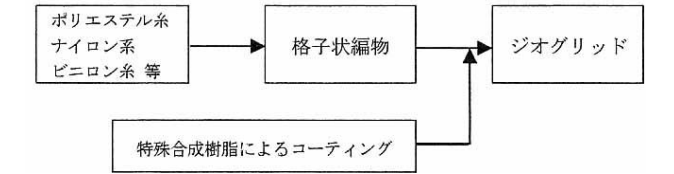
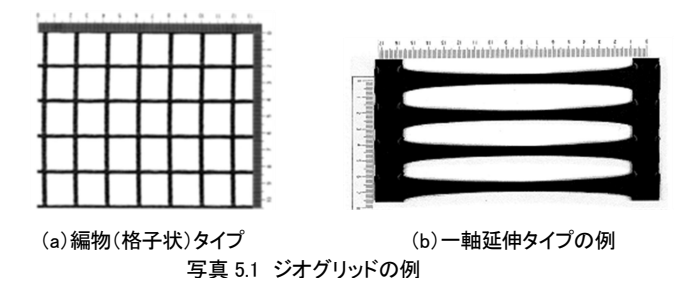


図5.1 ジオグリッドの構成形態の例（編物（格子状）の場合）

5.2 材料係数を設定するための試験

『補強盛土工法』に用いるジオテキスタイル補強材は、設計における各作用条件（安全性、使用性、復旧性）に対し所定の性能を有している必要がある。各補強材のそれぞれの作用条件に対する設計引張強度は、本工法の開発者である（公財）鉄道総合技術研究所が定めた試験方法に準拠して実施し材料係数を設定するものとする。試験は、以下に示す（1）～（6）を求めることを基本とする。ただし、補強土体の内的安定および外的安定照査において、（式5.2－1）に示すジオテキスタイルの地盤からの引抜け抵抗 T_p が、ジオテキスタイルの設計引張強度 T_d より小さいと予想される場合などではこの限りではない。この場合は、別途、ジオテキスタイルの引抜き試験等を実施して、補強材の引抜けに関する抵抗係数 f_{rg} を確認する必要がある。

- （1）引張強度の規格値（ T_k ）
- （2）耐アルカリを考慮した低減係数（ α_1 ）
- （3）施工時の破損に関する低減係数（ α_2 ）
- （4）クリーブに関する低減係数（ α_3 ）
- （5）瞬時載荷に関する低減係数（ α_4 ）
- （6）列車荷重に関する低減係数（ α_5 ）

$$T_p = f_{rg} (\sigma_{vi} \cdot \tan \Phi + 2l_i + c \cdot 2l_i) \quad \text{式5.2－1}$$

ここに、
 T_p ：ジオテキスタイルの地盤からの引抜け抵抗（*kN/m*）
 f_{rg} ：補強材の引抜けに関する抵抗係数
 l_i ：*i* 層目のジオテキスタイル補強材の定着長（*m*）
 σ_{vi} ：*i* 層目のジオテキスタイル補強材に作用する有効鉛直応力（*kN/m*²）
 ϕ, c ：盛土材の内部摩擦角（度）および粘着力（*kN/m*²）

5.3 登録材料

RRR 工法による『補強盛土工法』に用いることのできるジオテキスタイル補強材については、本マニュアルに各材料の物ならびに設計に用いる定数を登録材料一覧表に示してある。選定に当たってはこちらを参照されたい。

5.3.1 ジオテキスタイルの特性値・設計値

ジオテキスタイルの引張強度の規格値 T_k は、製品のばらつきを考慮して（式 5.3－1）より求める。次に、これに材料修正係数を乗じて引張強度の特性値 T_a を設定し、更にこれに材料係数を乗じて設計引張強度 T_d を設定する。

$$\begin{aligned} T_k &= T_{AVE} - \alpha \cdot \sigma_x \quad \dots\dots\dots \text{(式5. 3-1)} \\ T_a &= \rho_m \cdot T_k \quad \dots\dots\dots \text{(式5. 3-2)} \\ T_d &= f_{eg} \cdot T_a \quad \dots\dots\dots \text{(式5. 3-3)} \end{aligned}$$

ここに、
 T_k ：引張強度の規格値（＝設計基準破断強度）（*kN/m*）
 T_a ：引張強度の特性値（*kN/m*）
 T_d ：設計引張強度（*kN/m*）
 T_{AVE} ：平均破断強度（*kN/m*）
（ただし、破断時の伸びが15%を越える材料に対しては15%伸び時の強度とする）

σ_x ：標準偏差
 α ：低減係数 一般には $\alpha = 0.67$
 ρ_m ：材料修正係数
 f_{eg} ：材料係数

5.3.2 各作用条件下での各低減係数 α_i 組み合わせ

本マニュアルで取り扱う各作用条件下での各低減係数 α_i は、前述したように（2）～（6）である。材料係数は、これら低減係数を掛け合わせた値として算定する。材料係数の設定に考慮する低減係数の組合せ例を表5.3－1に、また、各作用の組合せに用いる材料係数の設定に考慮する各低減係数の組合せ例 α_i を表5.3－2に、ジオテキスタイルの $T_k=37.5$ *kN/m*の場合）を表5.3-3に示す。

表5.3－1 材料係数 f_{eg} の設定に考慮する低減係数の組合せ例						
作用の組合せ	各低減係数（○：考慮）					
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	
永久作用	○	○	○	－	－	
永久作用＋変動作用（列車）	○	○	－	－	○	
永久作用+地震作用（L1地震時）＋従たる変動作用	○	○	－	○	－	
永久作用+地震作用（L2地震時）＋従たる変動作用	○	○	－	○	－	
施工時	－	○	－	－	－	

6. ジオテキスタイル選定上の留意事項

『補強盛土工法』で構築される補強土擁壁、橋台・橋脚、ボックスカルバート、防潮堤等は、ジオテキスタイル、盛土、および鉄筋コンクリート等を組み合わせた複合構造体であるため、補強材の種類・配置、擁壁背面の盛土材料の種類・転圧方法等を含めた施工手順や施工管理、施工の精度等が非常に重要な事項となる。

特に、『補強盛土工法』の補強効果に大きく影響するジオテキスタイルの材料特性は、設計における各作用および環境条件等に対して所定の強度・変形特性を有しているとともに、十分な耐久性を有している必要がある。

6.1 ジオテキスタイルの材料特性に基づく留意事項

6.1.1 *RRR*－*A*（補強土橋台橋梁）工法

本工法を開発した（公財）鉄道総合技術研究所より、「*RRR*－*A* 工法（補強土橋台・橋梁工法）」の内、新設の橋台・橋梁を建設する補強土耐震性橋台ならびに補強盛土一体橋梁（通称：*GRS* 一体橋梁）に使用するジオテキスタイル補強材については、実物大試験・動態計測・試験施工等により性能を確認した「二軸同一強度」の面状補強材を使用することと規定されている。^{1), 2)}

以上の方針に従い *RRR* 工法協会でも *RRR*－*A* 工法で使用する面状補強材について同様の内容の通達を出している。³⁾

したがって、本マニュアルにおいても「新設の補強土橋台・橋梁を建設する *RRR*－*A* 工法」に使用する補強材は、「二軸同一強度」の登録材料から選定するものとする。平成 29 年 8 月末現在、使用可能なジオテキスタイルを、表 6.1－1 に示す。

また、関連工法の「補強土ボックスカルバート工法」および *RRR*－*D*（水際防災補強盛土）工法の補強土併用一体堤防に用いるジオテキスタイルも同様の扱いをするものとする。

なお、二軸同一強度の面状補強材とは、直交する主軸方向および従軸方向の単位幅 1 *m*あたりの引張強度が同一であり、（公財）鉄道総合技術研究所において材料試験を実施し認定された補強材を指す。

表6.1－1 補強盛土一体橋梁(<i>GRS</i> 一体橋梁)に使用可能なジオテキスタイル補強材		
RRR 工法協会会員名	製品名	品 番
旭化成アドバンス（株）	ジオエース	DHV-30W
		DHV-60W
（株）クラレ・太陽工業（株）	Jグリッド	KJV-30W
		KJV-60W
三井化学産産（株）	ソフィックス	RS-30W
		RS-60W
前田工織（株）	FR グリッド	FR-30W
		FR-60W

6.1.2 *RRR*－*B*（剛壁面盛土補強土擁壁）工法

盛土補強土擁壁の標準設計においては、各要求性能に対する各作用条件における設計引張強度は、表 6.1－2 のように設定されている。

表6.1－2 盛土補強土擁壁の標準設計における設計引張強度の例							
一般名称	引張強度の特性値 T_a （ <i>kN/m</i> ）	設計引張強度（ <i>kN/m</i> ）					
		安全性			使用性		復旧性
		自重施工時	変動作用時	L1地震時	自重	変動作用時	L2地震時
30kN 用	30	18	21	24	18	21	30
60kN 用	60	36	42	48	36	42	60

表 5.3－2 各作用の組合せに用いる材料係数 f_{eg} の設定に考慮する各低減係数の組合せ例						
限界状態の種類	安全性			使用性		復旧性
	自重施工時	変動作用時	L1地震時	自重	変動作用時	L2地震時
材料修正係数 ρ_m	0.8			0.8		1.0
低減係数の組合せ	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3$	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_5$	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_4$	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3$	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_5$	$\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_4$
材料係数 f_{eg} ¹⁾	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8

表 5.3－3 ジオテキスタイルの設計用値の例($T_k = 37.5kN/m$ の場合)						
限界状態の種類	安全性			使用性		復旧性
	自重施工時	変動作用時	L1地震時	自重	変動作用時	L2地震時
引張強度の規格値 T_k	37.5 <i>kN/m</i>					
材料修正係数 ρ_m	0.8			0.8		1.0
引張強度の特性値 T_a	30 <i>kN/m</i>			30 <i>kN/m</i>		37.5 <i>kN/m</i>
材料係数 f_{eg}	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
設計引張強度（ <i>kN/m</i> ）	18	21	24	18	21	30
壁面応力計算用のバネ係数 K_s （ <i>kN/m</i> ）	200					

したがって、本マニュアルにおいては、各作用条件に適合するジオテキスタイルを性能照査時の性能項目を確認しつつ選定することを基本とする。

表 6.1－3 には、登録材料の引張強度の特性値が 30（*kN/m*）の場合の設計用値一覧表を示す。なお、図に示す設計用値に満たない数値のジオテキスタイルについては、同値を用いて再度計算をし直し安全性を確認の上使用するものとする。

6.2 その他、設計・施工上の留意事項

その他の設計・施工上の留意事項としては、以下が挙げられる。

6.2.1 水平力が卓越する場合

車両基地等では、電柱が何線もの線路をまたいで構築される場合が多く、地震時の電柱荷重、もしくは、異常時（暴風雨時）の電柱風荷重、地震時・異常時の防音壁荷重の方が地震時の躯体慣性力よりも大きい場合が多い。このような大きな水平荷重が卓越する電柱基礎部では、性能照査時の各作用条件における設計引張強度をチェックする必要がある。特に、擁壁高さが低い場合は、補強材長が短く、補強材の敷設段数が少ないことから、滑動（引き抜け）、転倒に対する抵抗力が小さいので注意を要する。

（独法）鉄道運輸機構が発注する設計・施工の案件では、大きな水平荷重が卓越する電柱基礎部では、一軸延伸系グリッドは、当面使用しないよう規定されている。使用してはいけない範囲は、電柱基礎部を含む壁面の収縮目地で区切られた1区間、もしくは、電柱基礎部の有効幅となっている。ただし、現地試験にてジオテキスタイルとコンクリート壁面の定着力を確認した場合、あるいは一体型 RC 路盤を使用する場合にはこの限りではない。

電柱基礎部に二軸同一強度のジオテキスタイルを、一般盛土部に一軸延伸タイプのそれを用いた場合の施工状況を写真 6.2－1 に示す。車両基地等の場合、電柱位置はなかなか決まらず、また、位置変更になるケースも多いことから、両者の範囲、境界をどこにするのか決定するのに注意を要する。さら、ストックヤードを含めた施工管理の面でも注意を要する。