

RRR 工法協会だより

Reinforced Railroad/road with Rigid Facing Construction System

No. 21 2007. 02

性能照査型設計を基本として改訂された「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」の紹介

—RRR 工法に関する一覧

(株) 複合技術研究所

矢崎 澄雄

1. はじめに

鉄道の土構造物に関する技術基準である「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」(以下、「土構造標準」と呼ぶ)が平成 19 年 1 月に改訂され、丸善(株)から出版された。この基準は、性能照査型設計を取り入れたもので大規模地震動や降雨時に対する検討方法についても明記された。RRR 工法に関する補強土の項目も多岐にわたり充実した内容になっている。今後、鉄道における RRR 工法の設計もこの基準に従い実施されることになるため、協会では設計マニュアルの改定作業に入っている。ここでは、RRR 工法に関する基準の改訂内容と性能照査法による設計方法の概要について紹介する。

2. 対象となる補強土構造物

従前の「土構造標準」では、「RRR-B 工法」および「テールアルメ工法」が記載されていた。新規の「土構造標準」(以下「新標準」と呼ぶ)では、テールアルメは、鉄道における最近の実績がほとんどないこと、レベル 2 地震動に対する設計が困難であること、設計耐用期間(一般に 100 年)における鋼製補強材(ストリップ)の耐久性に懸念があることなどを勘案し、基本的には取り扱わないこととしている。ただし、これらに対して十分に性能が照査された場合には適用してよい。

新標準での補強土構造物の分類と、対象としている補強土工法を整理して表-1 に示す。

新標準では、地山補強に関する項目も加えられ、「補強土工法」は盛土に関する「盛土補強土工法」と地山が対象の「地山補強土工法」に分類されている。「盛土補強土工法」は、のり面勾配が 1:1.0 程度までの範囲である「補強盛土」と、のり面勾配がそれより急勾配(鉛直まで)で壁面を有する「盛土補強土壁工法」とに分類され、「盛土補強土壁工法」にはテールアルメなどの他工法も分類上含まれるが、先に述べたように新標準では、剛壁面を有する RRR-B 工法のみを対象としてその適用・設計方法が記載されている。また、「盛土補強土工法」として新規に「補強土橋台」が追加されており、実績のある形式として「補強土小橋台」と「セメント改良補強土橋台」が記載されている。後者の設計は、「セメント改良補強

橋台設計・施工指針(案)(独)鉄道・運輸機構)」を基本として示されている。

新標準では、地山補強土工法の項目が追加され、切土のり面勾配が 1:1.0 までの「補強切土」と勾配がそれ以下の「切土補強土壁工法」に分類された。「切土補強土壁」は、「補強土留め壁設計・施工の手引き(独)鉄道・運輸機構)」に基づき記載されている。

表-1 新標準における補強土の分類と取扱う方法

大分類	中分類	小分類	分類定義	標準での取扱い	概要図
補強土	盛土補強土工法	補強盛土	のり面勾配 1:1.5~1:1.0	右図の補強盛土	
		盛土補強土壁	のり面勾配 1:1.0以下 テールアルメ、 RRR-B工法など	RRR-B工法	
		補強土橋台	補強土小橋台、 セメント改良補強土橋台など	セメント改良補強土橋台(「セメント改良補強土橋台設計・施工指針(案)」に準拠)	
	補強切土		のり面勾配 ~1:1.0程度 (明確な記載なし)	記載なし	記載なし
地山補強土工法	切土補強土壁		「新標準 第10章」で取扱う「切土補強土壁」	「補強土留め壁設計・施工の手引き(鉄道・運輸機構)」に準拠	
			RRR-C工法 (急勾配化工法)	記載なし	

RRR-C 工法(既設盛土のり面急勾配化工法)そのものは、新標準においての記載はないが、RRR 工法協会において、「性能照査型 RRR-C 工法設計・施工マニュアル」としてまとめる予定である。

3. RRR 工法における性能照査型設計法の概要

従前の設計法と比較して、設計の流れや用いられている用語が異なっており慣れるまでは多少の混乱が予想されるが、従前の設計でやや曖昧であった条件設定や設計の項目(新標準では「照査項

目」と呼ぶ)を明確に設定することで、より合理的な設計法になっている。しかし、基本的な設計内容は同じであると考えてよい。性能照査型設計では、構造物に対する要求性能(目的および機能に能に応じて、構造物が果す役割)に基づいた設計がなされる。補強土に関する要求性能を表-2に示す。例えば、性能ランクⅠは、新幹線建設に用いられているスラブ軌道のように沈下に対する変形が小さく、L2地震に対して復旧が速やかに行えるような性能となる。性能ランクⅡは有道床(バラスト)軌道のようなある程度の変形は許容できる構造物が対象となる。このような要求性能は、従前の設計においてもある程度念頭において設計されており、今回、より明確に定義されたといえる。この要求性能に対して設計を行うのであるが、その項目は「照査項目(照査指標)」として設定する。盛土補強土壁構造(RRR-B工法)の照査項目の選定例を表-3に示す。照査項目は、従前から実施している設計項目がより細分化して明記されたものと考えてよい。すなわち、これまで内的安定の検討として行われてきた項目を、新標準では補強土体の安定、基礎の安定、補強材の安定および破壊として細分化して明記したものである。また、RC壁面工については、これまでの許容応力度法から、他のRC構造物と同様に「土構造標準」に先立って性能照査型設計に移行した「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」(平成16年4月)に準拠して断面照査を行うことになる。この際に用いる壁面工の応答値(発生断面力)の算定は、これまでの2ウェッジ法による土圧から静止土圧を適用して行うこととなつたことに注意する必要がある。

具体的な照査方法の概要を補強土体の安全性(内的安定)を例に以下に示す。まず、表-2の安全性の要求性能に該当する作用の組合せ、作用係数を表-4のように設定する。次に、各作用の組合せ条件下で構造部材が有する性能(重量、強度、耐力等)を設計用値として設定する。RRR工法の設計で設定する設計用値は、地盤、盛土材、ジョテキスタイル、壁面工に対してである。例えばジョテキスタイルの設計用値の例は表-5のようになる。ここで材料修正係数 ρ_m は従前の「製品保証値の係数」になる。

当り、材料係数 γ_g は常時、地震時などの総合低減係数に相当する。補強土体の内的安定(ここでは滑動安定を示す)の照査は、以上で設定した設計条件を用いて(式1)～(式3)により、各作用の組合せについて行う。従前の設計法では、「設計滑動力」と「設計滑動抵抗力」による安全率 F_s と各荷重状態に応じた許容安全率 F_{sa} を比較することにより判定を行ってきたが、性能照査型設計では、滑動に対する「設計応答値」(式2)と「設計限界値」(式3)を算定して(式1)を満足することを照査する。ここで、「設計限界値」の算定に用いる内的安定抵抗係数 f_{ri} は、設計限界値の信頼性に対する部分安定係数であり、表-6のとおり示されている。

a) 滑動安定照査式

$$\gamma_1 \frac{H_{Rd}}{H_{Ld}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 } 1)$$

ここに、 γ_1 ：構造物係数(一般に1.0としてよい)

H_{Rd} ：滑動安定に対する設計応答値(kN/m)

H_{Ld} ：滑動安定に対する設計限界値(kN/m)

b) 滑動安定に対する設計応答値 H_{Rd}

滑動安定の設計応答値は、土圧の水平成分 P_{fh} 、壁面工地震時慣性力 W_{EQ} 、壁頂水平荷重 F_H 等の作用を要求性能に応じて適切に組合せ、作用係数 γ_H を考慮して算定する。

$$H_{Rd} = \gamma_H (P_{fh} + W_{EQ} + F_H) \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 } 2)$$

c) 滑動安定に対する設計限界値 H_{Ld}

滑動安定の設計限界値は、補強材の設計抵抗力 ΣT_i 、壁底面の設計せん断抵抗力 W_{BS} 等に、内的安定抵抗係数 f_{ri} を適切に考慮して算定する。

$$H_{Ld} = f_{ri} (\Sigma T_i + W_{BS}) \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 } 3)$$

表-2 補強土の性能ランクと要求性能の対応イメージ(新標準・解説表7.4.2)

		性能ランクⅠ	性能ランクⅡ	性能ランクⅢ
要求性能	安全性	常時およびL1地震動において、全ての破壊モードに対して安定で、かつ極めて小さな変形で補修を必要とせず、全ての部材は降伏に至らない性能を有する。	常時およびL1地震動において、全ての破壊モードに対して安定で、かつ極めて小さな変形で補修を必要とせず、全ての部材は降伏に至らない性能を有する。	常時およびL1地震動や年に数回程度の降雨に対して、変形は許容するが、全ての破壊モードに対して安定で、かつ全ての部材は降伏に至らない性能を有する。
	復旧性	L2地震動や極めて稀な豪雨に対して、過大な変形が生じない性能を有し、補修により早期に機能が回復できる性能を有する。	L2地震動や極めて稀な豪雨に対して、構造物全体が崩壊しない性能を有する。	—
適用の例		例えば、省力化軌道を支持する補強土	例えば、有道床軌道を支持する補強土	例えば、軌道を直接支持しない補強土構造物、または使用期間が短く仮設的にもちいられる補強土

表-3 性能ランクと照査指標の選定例(盛土補強土壁構造(RRR-B工法)の場合)(新標準・解説表8.3.1)

要求性能	対象	性能項目	照査項目 照査指標	主たる作用	性能ランク		
					I	II	III
安全性	補強土体	安定	外的安定(円弧すべり) 内的安定(滑動・転倒)	永久作用	◎	◎	◎
				変動作用(列車載荷時)			
				変動荷重(L1地震等)	◎	◎	△
				変動作用(降雨I)	—	△	—
				偶発作用(降雨II)	△	—	—
	RC壁体	基礎の安定	鉛直支持	内的安定に含む	◎	◎	△
		破壊	曲げモーメント、せん断力 ^{*2}	コンクリート標準による	◎	◎	△
		公衆安全性	中性化深さ、塩化物イオン濃度 ^{*2}	コンクリート標準による	◎	◎	△
	補強材	安定	補強材の引抜きに対する照査、力	外的安定、内的安定に含む		◎	◎
		破壊	補強材の破断に対する照査、力			○	△
使用性	RC壁体	外観	ひび割れ幅、応力度 ^{*2}	コンクリート標準による	◎	◎	△
復旧性	補強土体	変形	ニューマーク法 滑動変位、転倒変位、せん断変形	偶発作用(L2地震)	○	△	—
		RC壁体	損傷	力、変位・変形、応力度 ^{*1*2}	コンクリート標準による	○	△
	補強材	安定	補強材の引抜きに対する照査、力	ニューマーク法に含む		○	△
		損傷	補強材の破断に対する照査、力			—	—

(凡例) ◎: 必ず必要, ○: できれば必要, △: 必要に応じて考慮, —: 一般的には不要

*1: 耐震標準による照査項目 *2: コンクリート標準による照査項目

表-4 作用の組合せと考慮する作用係数の例

要求性能	対象	性能項目	照査項目 照査指標	作用の種類												作用例	
				永久作用						変動作用				偶発作用			
				壁面工荷重	盛土荷重	軌道荷重	上載荷重	防音壁荷重	土圧	列車荷重	風荷重	電柱荷重	土圧	慣性力	土圧	慣性力	
				1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	1.0	—	—	—	—	常時
安全性	補強土体	安定	内的安定(滑動・転倒)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	1.0	1.0 ^{*1}	—	—	—	一時
				1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.0	1.1	—	1.0	1.0 ^{*1}	—	—	—	一時、終局限界状態
				1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	—	—	—	一時、風荷重
				1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.0	—	1.2	1.0	—	—	—	—	一時、風荷重、終局限界
				1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	1.0	—	—	—	—	—	—	L1地震時、列車走行
				—	—	—	—	—	—	—	—	1.0 ^{*2}	1.0	—	—	—	—

5. おわりに

鉄道構造物におけるRRR工法は、新しい「土構標準」に従い設計されることになり、順次設計が移行される。道路分野のRRR工法の設計は、従前の設計法が基本であるので、従前のRRR工法協会のマニュアルが適用される（ただし、道路分野の設計においても性能照査型設計が必要な場合は、「土構造標準」の内容が基本となるであろう）。「土構造標準」は設計法のアウトラインを規定しているので、設計詳細は、今後改定予定の協会版「RRR-B,C工法設計施工マニュアル（鉄道版：性能照査型設計）」に示す予定である。また、この鉄道版設計プログラムも富士通FIP^株から、平成19年7月頃発売予定である。

<用語の解説：「土構造標準」より抜粋>

- (1) 照査指標：性能項目を定量評価可能な物理量に置き換えたもの。
- (2) 安全性：構造物が使用者や周辺の人々の命を脅かされないための性能。
- (3) 使用性：構造物の使用者や周辺の人々が快適に構造物を使用しやすく生活するための性能。

限界状態の種類	安全 性				使 用 性		復旧性
	自重 施工時	列車 載荷時	L1地震時 降雨作用I	降雨 作用II	自重	列車 載荷時	
引張強度の規格値 T_k (kN/m)					37.5		
材料修正係数 ρ_m		0.8		1.0	0.8	1.0	
引張強度の特性値 T_a (kN/m)		30		37.5	30		37.5
材料係数 γ_R	0.6	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8
設計引張強度 (kN/m)	18	21	24	30	18	21	30

表-6 内的安定に用いる抵抗係数(新標準・解説表8.5.1)

△	主たる作用	内的安定 抵抗係数 f_{ri}	
		安全性	復旧性
安全性	永久作用	0.50	
	変動作用(地震以外)		0.67
	変動作用(L1地震)	0.80	
	偶発作用(降雨)		1.00
復旧性	偶発作用(L2地震動)	1.00	

注) 内的安定では性能ランクによらず、同一の値を用いるものとする。

- (4) 復旧性：構造物が損傷を受けた場合に、性能回復が容易になるための性能。
- (5) 限界状態：構造物が要求性能を満足できなくなる限界の状態。

【事務局だより】

RRR 技術講習会を開催致しました

平成 19 年 2 月 1 日、富山市において、技術講習会を開催しました。国交省、鉄道建設・運輸機構（富山建設局）、富山県、JR 西日本(株)他、総勢 84 名の参加をいただき、盛況のうちに終了いたしました。

内 容	講 師 等
開会の挨拶	講習会 WG リーダー 川崎廣貴氏
特別講演① 『土構造物の新しい展開』	東京理科大学 龍岡文夫 教授
『RRR 工法に関する最近の話題』	(財)鉄道総合技術研究所 研究室長 館山 勝氏
RRR-B 工法(補強盛土工法) 設計(L2 耐震設計)施工について	補強盛土工法部会 田村幸彦氏
RRR-C 工法(既設盛土のり面急勾配化工法)設計・施工について	急勾配化工法部会 岡本正広氏
閉会の挨拶	協会事務局 田村幸彦



現場見学会を実施しました

(独) 鉄道・運輸機構 九州新幹線建設局 大牟田鉄道建設所様のご好意により、大牟田市にて、平成 18 年 12 月 14 日に RRR-C 工法現場見学を実施致しました。

工事概要は、以下のとあります。

- ① 工事件名：九幹鹿、大牟田岩本 BL 他工事
- ② 工事場所：福岡県大牟田市宮部
- ③ 発注者：(独) 鉄道・運輸機構 九州建設局
大牟田工事事務所
- ④ 施工者：東亞・さとうベネック・熊丸組特定建設
工事共同企業体

見学参加者は、約 30 名でした。



講習会会場



見学会状況

【現場紹介】

・ R R R - B 工法(補強盛土工法)

No	発注者	工事件名	現況	施工会社
①	鉄道・運輸機構	東北幹、上北 T 他工事	施工中	熊谷・本間・南・西田
②	鉄道・運輸機構	東北幹、牛館川 B 他工事	施工中	ハザマ、J F E 工建 J V
③	鉄道・運輸機構	九幹、大坊 T 工事	施工中	不動・株木・岩永・池田 J V

・ R R R - C 工法(既設盛土のり面急勾配化工法)

No	発注者	工事件名	現況	施工会社
①	東日本旅客鉄道(株)	新宿駅東口擁壁改修他工事	6 月施工予定	鉄建建設(株)
②	東武鉄道(株)	新鹿沼~北鹿沼間土留工事	7 月施工予定	東武建設(株)

【編集委員会名簿】

委員長：宮崎啓一(西松建設(株)) 幹事：田村幸彦(複合技術研究所)

委員：眞岸 徹(前田建設工業(株))・伊勢智一(株)クラレ・西村淳(三井化学産資(株))

【協会事務局】

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 4-6-9 ロックフィールドビル 6F —複合技術研究所内—

電話 03-5276-5319 FAX 03-5276-5309 ホームページ・アドレス <http://www.RRR-SYS.GR.JP>