

小田急江ノ島線 石積擁壁のはらみ出しを伴う連続的水平き裂に対する補強詳細設計

小田急電鉄（株） 正会員 伊藤 正樹

小田急電鉄（株） 関根 健史

小田急電鉄（株） 大木 裕貴

復建調査設計（株） 山本 士朗

復建調査設計（株） 正会員○高田 圭太

1. はじめに

小田急江ノ島線の藤沢本町～藤沢駅間に位置する石積擁壁（以下、本擁壁という）は、図 1、2 に示すとおり、法高 9.7m、平均勾配 1 : 0.35 の切土前面に構築されている 3 段構造の擁壁である。本擁壁は下段下面から 2.2m の位置に最大変位量 82 mm のはらみ出しを伴う連続的な水平き裂が 20 m にわたり発生しており、今後急速な進行の恐れがあることや、崩壊時には鉄道営業線に大きな影響を与えることが懸念されたことから、健全度 A1 判定¹⁾とした。これらをふまえ実施した詳細設計について、本稿では①設計方針、②補強工法の選定、③補強設計性能照査の順に報告する。

2. 設計方針

詳細設計は、図 3 の流れに沿って実施した。

2-1. 設計条件（構造物・地盤・地下水位）

本擁壁の構造は前述した通りである。周辺環境は営業線に近接しているほか、背面は非自立性地山であり、緩い細砂層（B）、細砂層の地山（As）の順で構成されている。また地下水位は、土質調査の結果に基づき地表面とした。

2-2. 要求性能および照査項目

本擁壁の要求性能は、性能ランクⅡ²⁾とした。照査項目については、鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）における安全性を検討することとし、使用性は壁体の外観についての照査であることから本稿では省略した。これに従い、照査指標は、安全性における補強土体の外的・内的安定性、および壁体・補強材の破壊について照査した。

2-3. 現況の安定性

現況の本擁壁における外的・内的安定性は、各段および全体系において許容値を照査値（安全率の逆数）が上回り、上述の照査指標に基づき、常時・L1 地震時において耐震設計が必要となった（表 1）。

2-4. 設計範囲

本設計における補強設計範囲は、水平き裂が 20m にわたり発生していることから、き裂前後への影響を踏まえ 30m とした。

3. 補強工法の選定

一般的に石積擁壁の補強工法²⁾は、表 2 に示す補強工法に大別される。本擁壁では、背面が非自立性地山であることから、補強工法は、ネット補強工法または地山補強式補強土擁壁から選定した。また、変状は 3 段構造のうち上段部、中段部では微小であるが、構造物の自重を背負う下段部において顕著に発生し

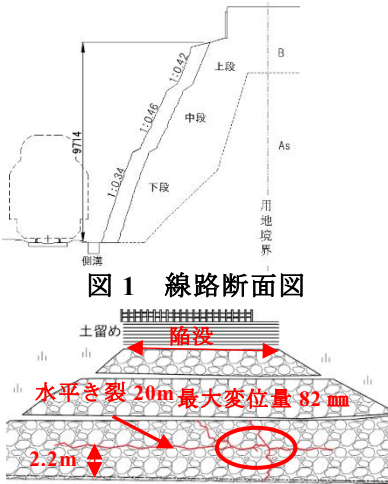


図 2 変状箇所

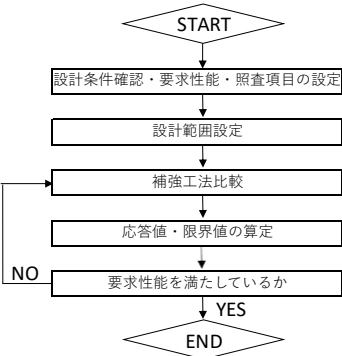


図 3 設計フローチャート

表 1 現況の安定計算結果

		常 時	L1地震時	判 定
上 段	内的安定(滑動)	1.03>1.0	1.24>1.0	NG
	内的安定(転倒)	1.41>1.0	1.59>1.0	NG
中 段	内的安定(滑動)	1.54>1.0	1.63>1.0	NG
	内的安定(転倒)	2.38>1.0	2.49>1.0	NG
下 段	内的安定(滑動)	2.34>1.0	2.04>1.0	NG
	内的安定(転倒)	5.03>1.0	4.19>1.0	NG
全体系	外的安定	3.24>1.0	4.57>1.0	NG

ている．加えて，施工条件は①大型機械の搬入が困難であること，②建築限界との離隔が狭いことの2点が挙げられる．以上を踏まえ，各段における補強工法をそれぞれ選定した．

3-1. 上中段部の補強工法

上中段部は下段部への自重負担を極力低減すること，変状の進行による積石の抜け出し防止を目的とし，ネット補強工法とした．崩落防止ネットは，耐候性・耐延焼性に優れた IR 被覆亜鉛メッキ鉄線（Φ2.6 mm）を用いた．また，地山補強材は中径棒状補強材（Φ170 mm）とし，補強工法は，小型な削孔機の為，仮設足場が軽微となり，狭隘な場所でも施工が可能であるロータスアンカー工法を選定した（図4）．

3-2. 下段部の補強工法

下段部ははらみ出しを伴う連続的な水平き裂が生じていることに加え，石積構造であり変状が急速に進行する恐れがあることから剛壁面化により耐震性向上を目的とし，RC 壁と排水パイプを用いた地山補強式補強土擁壁とした．また地山補強材は，上中段部と同様に中径棒状補強材（Φ115 mm）とし，グラウト材の充填については，加圧注入を行うと変状を悪化させる恐れがあることから，自然流下にて充填させる手順とした（図5）．

表 2 石積擁壁の補強工法

工法	ピンナップ工法	引留め式補強土擁壁	ネット補強工法	地山補強式補強土擁壁
概要図				
適用箇所	自立性地山	自立性地山	自立性、非自立性地山とも適用化	非自立性地山
工法概要	間知石とその背後の果石を部分的に固体化させて一体化させる工法	自立性地山に短尺の補強材を打設する工法	崩落防止ネットにより積み石の抜け出しを防止し、長尺の地山補強材により背面地盤の安定を図る工法	RC構造により積み石の被覆を行い、長尺の地山補強材により背面地盤の安定を図る工法

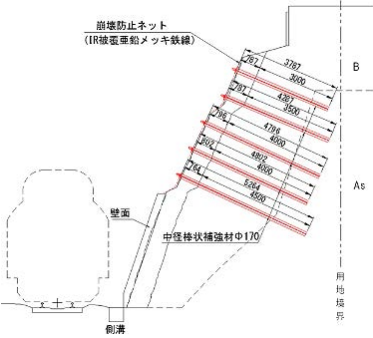


図 4 上中段部補強図

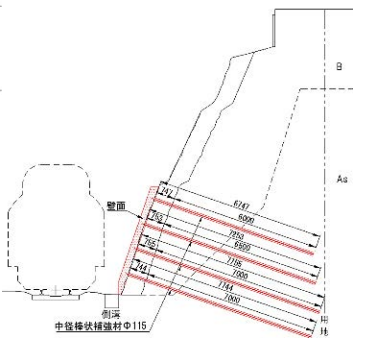


図 5 下段部補強図

4. 補強設計性能照査

地山補強材の設置角度は各段の法面勾配に対し直角とし，内的安定性は，各段における滑動・転倒について 2 ウェッジ法を用いて，外的安定性は，擁壁全体系について円弧すべり解析法を用いて照査を行った．全箇所にて常時・L1 地震時の照査値が 1.0 を下回り，本補強における内的・外的安定性が確保されることを確認した．また，壁体の破壊に対する照査は，壁面工に作用する土圧を外力として，補強材をばね支点，剛壁面を弾性体の連続梁としてモデル化することで算定される発生断面力を用いて行った．補強材の照査は，L1 地震時の各変形モードのうち最大引抜き力を対象に照査を行った．表 3 に示すように照査結果はいずれも要求性能を満足することが確認でき，図 6 のとおり本擁壁における補強詳細設計を完了させた．

5. おわりに

石積擁壁のはらみ出しを伴う連続的な水平き裂が生じ，健全性の低下が懸念された石積擁壁について，各段の状態および設計条件をふまえ補強工法を選定し，安全性を照査することで，擁壁の補強詳細設計を行った．この設計結果を基に，今後，本擁壁の補強を実施していく．

〈参考文献〉

- 1)伊藤正樹，早川雄馬，関根健史，山本土朗，高田圭太，岩城徹也 小田急江ノ島線 はらみ出しが確認された石積み擁壁の健全度判定，令和 2 年度土木学会全国大会投稿
- 2)鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物 平成 24 年 1 月（公財）鉄道総合技術研究所
- 3)鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物 平成 24 年 1 月（公財）鉄道総合技術研究所
- 4)鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 平成 24 年 6 月（公財）鉄道総合技術研究所

表 3 補強後の安定計算結果

		常 時	L1地震時	判 定
上 段	内的安定（滑動）	0.48<1.0	0.53<1.0	OK
	内的安定（転倒）	0.57<1.0	0.79<1.0	OK
	補強材	—	0.42<1.0	OK
中 段	内的安定（滑動）	0.62<1.0	0.61<1.0	OK
	内的安定（転倒）	0.82<1.0	0.85<1.0	OK
	補強材	—	0.52<1.0	OK
下 段	内的安定（滑動）	0.41<1.0	0.52<1.0	OK
	内的安定（転倒）	0.51<1.0	0.73<1.0	OK
	壁体（曲げ）	—	0.27<1.0	OK
	壁体（曲げ）	—	0.66<1.0	OK
	補強材	0.71<1.0	0.61<1.0	OK
全体系	外的安定	0.80<1.0	0.78<1.0	OK

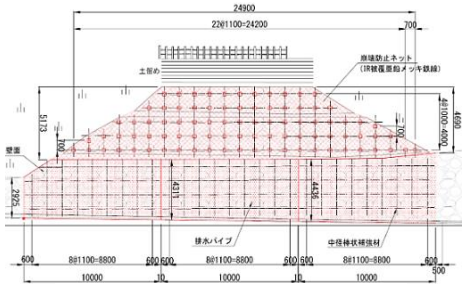


図 6 全体補強図