

線路下への棒状補強材施工による軌道影響に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社
東日本旅客鉄道株式会社
東日本旅客鉄道株式会社

正会員
正会員
正会員

○和田 旭弘
滝沢 聡
山下 優輔

1. はじめに

首都直下地震に備えた鉄道盛土の耐震補強工事や駅改良工事での狭隘箇所への掘削土留め工事などでは、線路下に棒状補強材を施工することが多くある。棒状補強材は直径 100 mm 程度の小径補強材から直径 400 mm 程度の太径補強材が使用されている。このような線路下への棒状補強材施工時のリスクとして、施工に伴う道床陥没や軌道変状が発生することが考えられる。そのため、土被りが浅い位置に棒状補強材を施工する場合には、リスク対策として、都心部では 3～4 時間程度の夜間線路閉鎖間合で施工することがあり、それに伴って工期を要することもある。

今回、土被りや棒状補強材径などをパラメータとして、棒状補強材施工による地盤影響解析を行うとともに、実施工での変状有無の実績確認を行った。それらの結果を踏まえ、本稿は線路下への棒状補強材施工による軌道影響に関する考察を行うものである。

2. 棒状補強材施工による地盤影響解析

(1) 解析条件

棒状補強材施工による地盤影響を確認するため、2 次元 FEM 解析を行った。解析条件を図-1、表-1 に示す。解析領域はトンネル掘削時の影響解析の考え方を示した文献¹⁾を参考に図-1 の通り設定した。地盤条件は実際の盛土耐震補強工事の地質調査結果を元に、比較的軟弱な盛土の地盤条件を想定し、設定した。

(2) 解析結果

解析結果のうち、砂質土（ポアソン比 0.35）、応力解放率 100%での、補強材径と土被りをパラメータとした場合の沈下量を図-2 に、掘削径 φ400 mmにおける応力解放率と土被りをパラメータとした場合の沈下量を図-3 に示す。図には鉄道近接工事における軌道変位の管理警戒値となる 6 mm（在来線 120km/h 以上の線区における高低・通りの静的整備基準値 15 mm×0.4）を破線で示している。

図-2 によると、土被りが 1.0m よりも浅くなると沈下量が急に大きくなる傾向が見られ、補強材径 φ400 mmでは、土被りが 1.0m よりも浅くなると管理警戒値を超過する結果であった。図-3 によると、応力解放率をパラメータとした場合には、弾性解析であるため、応力解放率に比例して沈下量は小さくなる傾向が見られた。その他、ポアソン比 0.35（砂質土を想定）と 0.45（粘性土を想定）で比較すると、砂質土の方が粘性土よりも 2 割程度沈下量が大きくなる結果となった。

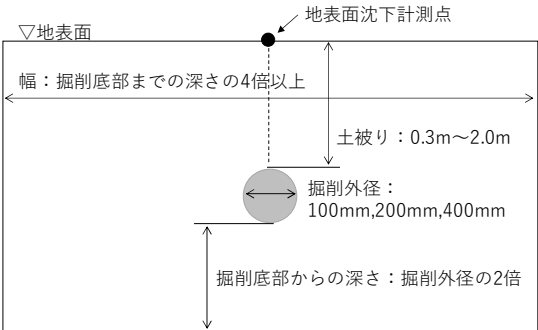


図-1 解析領域

表-1 解析条件およびパラメータ

解析手法	2次元FEM弾性解析		
解析STEP	STEP1：初期応力解析		
	STEP2：掘削解析		
上載荷重(kN/m ²)	軌道荷重：10		
	列車荷重(衝撃荷重含) [*] ：23.5～105.5 ※文献 ²⁾ を元に土被りに応じた値		
境界条件	側面：鉛直フリー		
	底面：固定		
地層構成	単一層		
単位体積重量(kN/m ²)	17		
変形係数(kN/m ²)	3000 (N値1～2相当)		
解析 パラメータ	補強材径(mm)	100, 200, 400	
	土被り(m)	0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0	
	応力解放率(%)	30, 50, 100	
	ポアソン比	0.35 (砂質土) , 0.45 (粘性土)	

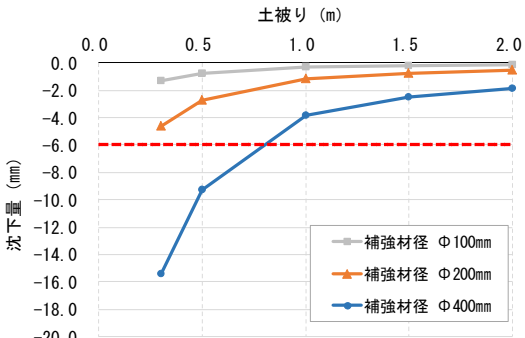


図-2 沈下量(補強材径と土被りの関係)

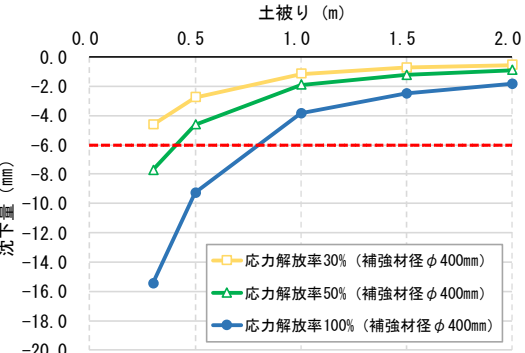


図-3 沈下量(応力解放率と土被りの関係)

キーワード 棒状補強材 地盤影響解析 軌道
連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿 2-6-1 新宿住友ビル 31 階・03-6851-0086

3. 実施工における軌道影響の有無

実際の線路下への棒状補強材施工による変状有無の確認を行った。当社で実施している盛土耐震補強および掘削土留め工事の35現場、約18000本の棒状補強材施工を対象に調査を行った。

まず、設計図面における628断面において、最上段の棒状補強材が、図-4に示すようにマクラギ端から45°ラインに囲まれた範囲の、施工基準F.L.からどの程度の深さに施工されているのか調査を行った。施工位置の分布結果を図-5に示す。F.L.から土被り2.0mよりも深い位置に施工している割合が61.9%と多かったが、中には土被り0.5mよりも浅い位置に施工しているものもあった。同様に断面図の最上段における棒状補強材径の割合を確認した結果、φ100mm程度の小径棒状補強材が全体の約70%、φ200mm程度の中径補強材が約29%、φ400mm程度の太径棒状補強材が約1%であった。なお、太径棒状補強材は掘削土留め工での施工であった。

棒状補強材施工に伴う変状有無は、施工時の状態監視方法が施工現場ごとに異なることから、各現場で実施している軌道自動計測器やレベル計測結果、施工後の軌道整備有無、目視確認の結果から確認した。

調査の結果、管理警戒値を超過した現場は確認されなかったが、軌道自動計測器を設置している箇所において、N値2～3程度の盛土層の土被り1.0mの位置に、φ400mmの棒状補強材を施工した際に2～3mm程度の軌道沈下が確認された。

また、軌道変状は出ていないものの、土被り1.0mの位置に径φ170mmの補強材を施工した際に、図-6のように道床陥没が発生した事例もあった。陥没の原因は、当該施工箇所は橋台背面に位置するが、過去の橋台設置工事で残置した仮橋台周りの埋戻しが不十分のため、長い年月をかけ空洞ができ、棒状補強材の削孔時の振動を受けて、地表面付近の道床が落下したものと想定される。

以上のことから、土被りが浅く補強材径が大きい場合や地山・盛土内に既設構造物や支障物があり、その周囲の埋戻しが不十分などで空隙を有している場合には、棒状補強材の施工に伴って空隙部へ道床や地山・盛土材が流出し、道床陥没が発生することが考えられる。

4. まとめ

本稿では、線路下への棒状補強材施工による地盤影響解析と実施工での軌道変状有無について報告を行った。棒状補強材の施工はケーシングや掘削同時攪拌方式を用いることが多いことから、応力解放率100%は安全側な解析ではあるが、太径補強材の場合や土被りが浅くなると地表面変位を発生するリスクは高くなることから留意する必要がある。また、実施工の変状調査結果から、線路下に既存構造物や支障物があり付近に空隙を有している場合には、施工時の振動等で道床陥没などの変状が発生する恐れがある。その他、解析や実施工調査では示されなかったが、玉石を含む自立性の低い地盤や大雨・降雨時に水が溜まりやすい箇所では地盤強度が低下し、削孔に伴う崩壊が発生するリスクが高く、盛土・地山内に支障物がある場合には削孔作業による支障物の押し上げによる隆起なども懸念されることから留意が必要と考えられる。

以上を踏まえ、線路下への棒状補強材の施工では、施工条件（土質、土被り、支障物や既設構造物の有無、施工方法）を考慮して軌道影響を検討するとともに、適切な計測管理を行うことも必要と考えられる。

参考文献

- 1) (公財)鉄道総合技術研究所編：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル,2008.7
- 2) 東日本旅客鉄道(株)：鉄道構造物等設計標準(開削トンネル)のマニュアル,2004.12

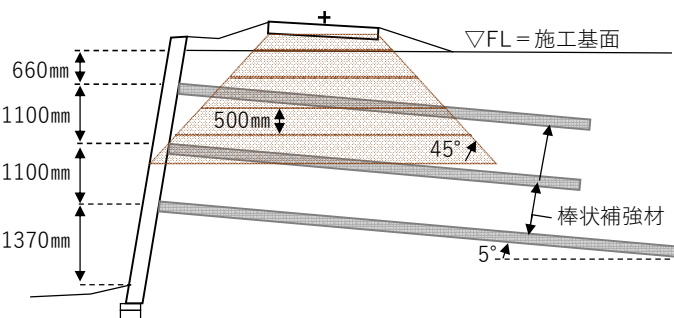


図-4 棒状補強材の施工位置調査図

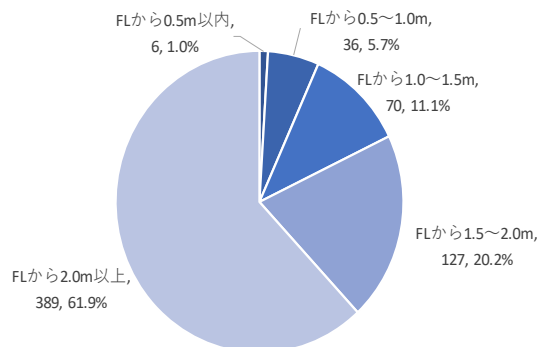


図-5 最上段の棒状補強材の施工位置分布



図-6 棒状補強材施工時の道床陥没