

線路下横断工法における安全性と効率性の向上について（その2）

～裏込め注入方法と切羽防護方法の検討～

鉄建建設	○正会員	十二 正義	正会員	八代 浩二
J R 東海	正会員	磯野 純治	正会員	奥西 淳一
J R 東海建設			正会員	山村 武
名工建設			正会員	衣斐 信行
ジェイテック			正会員	伊藤 康裕

1. はじめに

線路下横断構造物の構築において、これまで多数の非開削工法が開発され、実績を積み重ねているところである。しかしながら、列車運行の過密化等が進み、作業時間の減少や軌道管理の厳格化より、更なる軌道への影響低減、安全性の向上が求められている。

そこで、線路下横断の非開削工法として実績がある JES（Jointed Element Structure）工法¹⁾において、更なる安全性を追求し、施工時における路盤面や軌道の変状抑止、作業休止時における切羽の安定性の確保に着目して「袋体送り出し方式裏込め注入方法」及び「エアーバック式切羽防護方法」について要素実験を行い、実施工への適用性を検証した。

2. 袋体裏込め注入効果確認

エレメント掘進にともなう地山との摩擦抵抗および地山の緩み、テールボイドの発生は地盤変状の原因となる。摩擦抵抗に対しては抵抗を低減させ、緩み、テールボイドに対しては早期に裏込め注入を実施することが有効である。そこで、エレメント掘進と同時に摩擦抵抗を低減させる袋体を送り出し、袋体内に裏込め注入をすることによる地盤変状抑止効果を検討した。（図1）

本試験では袋体内への裏込め材の充填性および袋体を送り出すことによるエレメント掘進時の摩擦力低減効果を検証した。

（1）裏込め材充填性確認試験

試験概要を図2に示す。試験方法は、エレメントと地山の隙間を想定して、袋を2枚の鋼板で挟み、袋口元から裏込め材料を注入し、そのときの充填状況（図3）、注入圧力、注入時間、注入量を測定した。試験体は、地山面の凹凸による隙間の不陸を模して鋼板間に波板を設置し、全断面について同一の隙間とした場合（ケース1）と一部を狭くした場合（ケース2）、さらに、支障物等撤去後の空洞を模した（ケース3）計3種類を製作した。袋体は、0.3mmの合成繊維基布を縫製して製作した。

試験結果を表1に示す。充填試験の結果、注入圧力 0.017～0.042MPa と低圧で注入し、脱水もなく、最小隙間 7mm おいても注入袋の隅々まで充填可能であり、凹凸面の追従性に関して、掘削表面の凹凸を模擬した波板や空洞に対して、追従することが確認できた。

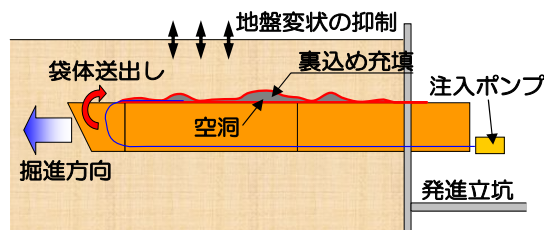


図1 袋体送り出し式裏込め注入方法概要図

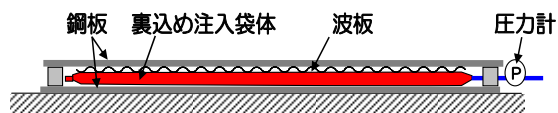


図2 充填性確認試験概要図(ケース1)

表1 袋体裏込め充填試験結果

試験 ケース	注入圧力 (Mpa)	注入量 (%)	注入速度 (%/秒)
1	0.018～0.042	20	0.052
2	0.017～0.040	15.3	0.039
3	0.020～0.036	25.5	0.042

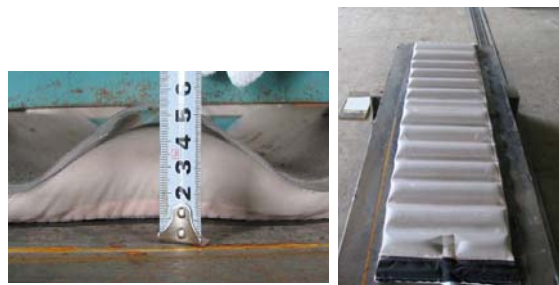


図3 袋体裏込め充填状況

キーワード 線路下横断工, JES 工法, 裏込め注入, 切羽防護

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設（株）エンジニアリング本部 研究開発部 TEL 0476-36-2359

(2) 摩擦低減効果確認試験

試験概要を図4に示す。試験方法は、エレメントと地盤の摺動状況を再現するために、盛土上に袋体を敷き、その上にウェイトを載せた鋼板（総重量約 32.7kN）を油圧ジャッキによってけん引し、そのときのけん引力を計測した。また、比較対象として、袋体の無い状態（盛土上に鋼板を敷設）についても実施した。

袋体は、合成繊維基布の袋体の片側面を鋼板との磨耗対策として、防護基布を縫製して補強した。

試験結果を表2に示す。けん引試験の結果、袋体を使用することにより、静摩擦係数が約 0.55 から約 0.30 と 45%程度、動摩擦係数が約 0.53 から約 0.24 と 55%程度低減効果があることが確認できた。また、地盤と袋体に比べて鋼板と袋体の摩擦が小さいことが確認できた。

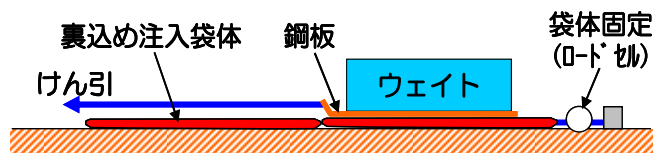


図4 袋体摩擦低減効果確認試験概要図

表2 袋体摩擦低減効果確認試験結果

試験ケース	回数	けん引距離 (m)	けん引力				袋体 引留力 (kN)
			静摩擦 抵抗力 (kN)	静摩擦 係数 μ	動摩擦 抵抗力 (kN)	動摩擦 係数 μ	
1 鋼板と地盤	1	2.001	18.041	0.551	17.32	0.529	—
2 鋼板と袋体	1	1.930	10.556	0.322	8.793	0.269	0.445*
	2	1.452	9.876	0.302	8.384	0.256	0.01
	3	1.406	9.965	0.304	8.405	0.257	0.011
	4	1.452	9.571	0.292	8.388	0.256	0.078
	5	1.402	9.735	0.297	6.589	0.201	0.038
	6	1.404	8.735	0.267	6.479	0.198	0.015
鋼板と袋体平均		—	9.74	0.298	7.84	0.239	—

*鋼板けん引開始直後

4. エアーバック式切羽防護性確認試験

切羽開放型 JES エレメント掘進作業では、作業休止時に切羽が開放された状態となるため、確実かつに切羽防護を行う必要がある。そこで、軽量で地山に対して追随性のあるエアーバックを用いる切羽防護を検討した。（図5）

本試験では、作業休止時（列車通過時）に切羽面に作用する土圧強度に適合するエアーバックを試作し、模擬刃口を用いてエアーバックによる圧力保持性能および耐圧性能を検証した。（図6）

試験に使用するエアーバックは、内側を気密性のある本体袋、外側を耐伸性のある補強袋で被覆した2重構造とし、大きさは切羽断面を4分割と9分割する2タイプを試作した。

耐圧試験の結果、4分割タイプでは0.15MPa、9分割タイプでは0.25MPaであり、両者とも土被り5mの水平土圧に対する耐圧性能が満たされていることが確認できた。エアーバックの圧力保持性能は、4分割、9分割とも微小な圧力低下を繰り返し生じるものの、その都度圧力保持システムが作動して所定の圧力を確実に保持できる機能を有していることを確認した。

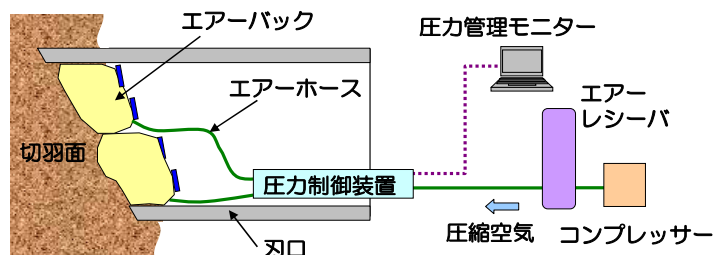


図5 エアーバック式切羽防護方法概要図



図6 切羽防護性能確認試験

5. まとめ

今回の要素試験の結果より、「袋体送り出し方式裏込め注入方法」及び「エアーバック式切羽防護方法」が施工時における路盤面や軌道の変状抑止、作業休止時における切羽の安定性向上に効果的であることを確認した。今後は、実物大実証試験により軌道変状の抑止効果、作業の効率化等を検証することを計画している。なお、本研究内容については現在特許出願中である。

参考文献

- 1) 清水, 森山他: 鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法: 第8回トンネル工学研究会, 平成10年11月
- 2) 奥西, 磯野他: 線路下横断工法における安全性と効率性の向上について(その1): 第65回土木学会年次学術講演会講演概要集 平成21年9月(投稿中)