

新しい脚部補強工(BAF工法)を採用した都市NATMの施工事例（その1）

－設計概要及び現場適用の経緯－

青森県むつ県土整備事務所 非会員 白川 裕彦 非会員 福士 祐治
 鹿島建設株式会社 ○正会員 萩原 智寿 正会員 小野塚大輔

1. はじめに

低土被り部や都市部において山岳工法によりトンネルを施工する際の最大の課題は、地表面沈下や周辺既設構造物への影響を極力抑えることである。特に支保工脚部沈下はトンネル構造全体の共下がりにつながり、地表面沈下を助長する要因である。従来は、この対策としてフットパイル工法に代表される脚部補強杭工法が採用されているが、今回、大きな脚部沈下抑制効果が必要となる低土被りの水路トンネルにおいて、新しく開発した曲がりオーガーによる大口径脚部補強工（以下BAF工法）を採用しその効果が確認されたので報告その1として設計概要及び現場適用までの経緯について述べる。

2. 工事概要

田名部川広域基幹河川改修工事はむつ市内で計画されている治水目的の水路トンネルを建設するものである。当該工事はトンネル全長675mのうち、NATM区間480mを施工する。特徴は山岳トンネル工法にて最小土被り4mの住宅密集地直下を掘削することである。地質は、切羽部は比較的良質な洪積砂質土層(N値50以上)であるが、上部は軟弱な砂質土層、シルト層、ローム層(N値10以下)が分布している。

表-1 工事数量

工事延長	480m
掘削断面積	56.1～60.2m ²
幅員	7.6m (8.8m)
AGF区間延長	389m
フォアボーリング区間延長	66m
脚部補強工区間延長	480m

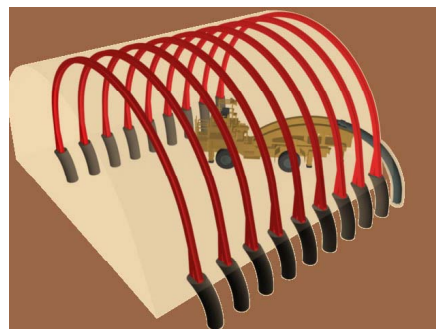


図-1 BAF工法概念図

3. 設計概要

トンネル直上には住宅地が密集しており、影響を最小限にするため二次元非線形FEM解析による検討を行い、補助工法の選定を行った。解析の結果、先受け工法のみでは沈下量・傾斜角とも許容値を上回る結果となった。これは、先受け工法によるトンネル天端位置における沈下抑制効果は発揮されているものの、上半支保工建込後、支保工脚部の支持力が不足するため脚部沈下を生じ、トンネル構造全体が共下がりすることに起因している。影響を許容内に抑えるためには、支保工建込時に改良体径500mm、改良長3.5m、弾性係数 $7.0 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ の脚部補強工

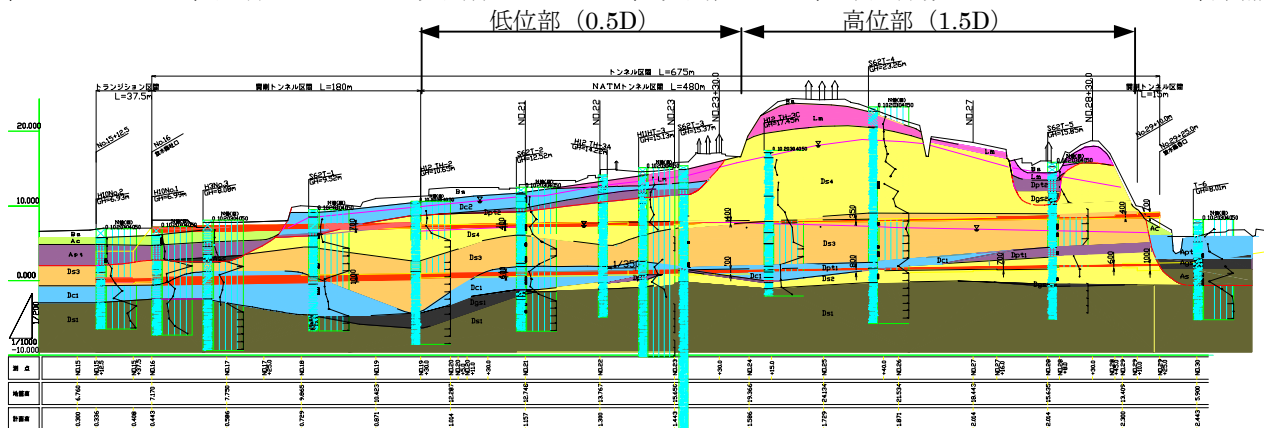


図-2 トンネル縦断面図

キーワード 都市NATM、脚部補強工、補助工法、地表面沈下、BAF工法

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 (株)鹿島建設土木設計本部 TEL 03-6229-6638

が必要であることが判明した。表-2、3 の解析結果に示すとおり脚部沈下を抑制することが地表面沈下の抑制に繋がる事が分かる。この地表面沈下を抑制する工法として、従来工法のフットパイル工法、ジェットグラウト工法に加え、新工法である B A F 工法の各工法に関して、品質・コスト・施工性の比較検討を実施し、最も優位な B A F 工法を採用した。

表-2 脚部沈下量比較表

		補強工無し	補強工有り
低位部	No.19+40	8 mm	1mm 以下
	No.20+30	21 mm	7 mm
	No.23+30	20 mm	1 mm
高位部	No.25	63 mm	13 mm
	No.28	32 mm	12 mm

表-3 地表面沈下比較表

		補強工無し	補強工有り	許容値
低位部	No.19+40	13 mm	5 mm	20mm 以下
	No.20+30	23 mm	8 mm	
	No.23+30	24 mm	7 mm	
高位部	No.25	51 mm	17 mm	
	No.28	39 mm	13 mm	

表-4 脚部補強工比較表

工 法	B A F 工法（モルタル充填注入）	ジェットグラウト改良（短尺先行地山改良）	フットパイル工法
工法概要	曲がりオーガー削孔により切羽前方の脚部にてφ520mmの大口径モルタル杭を造成する工法。切羽において専用機を用いて施工する。	超高压（400kgf/cm ² ）のセメントミルクで地山を切削しφ400～1000 程度の改良体を造成する工法。切羽において斜め前方に改良体を造成する。	ドリルジャンボを使用して、脚部に A G F 鋼管を打設し、セメントミルク等で改良注入する。
経済性	1.0	1.2（排土処理費を含む）	1.5
工程工期	0.48 方/トンネル m （1 セット，昼夜施工）	0.63 方/トンネル m （1 セット，昼夜施工）	0.62 方/トンネル m （1 セット，昼夜施工）
品質	・オーガー掘削なので地山を乱さずに施工することができる。（◎） ・切羽前方地山を改良できるので先行変位の抑制効果が期待できる。（◎） ・曲線杭なので斜め杭に比べて脚部荷重がスムーズに伝達される。（○）	・噴射圧力とノズル径および造成速度を適切に選定することにより任意の改良径で地山改良ができる。（○） ・地山の状態によって改良径がばらつきやすい。（△） ・切羽前方地山を改良できるが、改良体が斜め方向に向いているので、脚部荷重を十分伝達できない。（△） ・削孔時に地山を乱す可能性がある（×） ・造成に伴い排泥が発生する。（×）	・既存のジャンボで施工可能である。（○） ・削孔径が 80～130mm 程度と小さいため 1 本あたりの支持力は小さい。（△） ・切羽後方で脚部補強となるため、沈下抑制効果は低い。（△） ・削孔時に地山を乱す可能性がある。（×） ・トンネル掘削に伴う先行沈下の抑制効果が小さい。（×）
出来形	削孔長：φ520mm 削孔長 3.5m 充填材：早強モルタル 削孔本数：2 本/トンネル m	削孔径：φ600mm 造成長：5.0m 造成本数：2 本/トンネル m 注入材：早強セメントミルク 削孔本数：2 本/トンネル m	削孔径：φ122mm 削孔長 3.5m 鋼管仕様：φ114.3mm，t=6.0mm 重点材：特殊速硬性セメント 削孔本数：8 本/トンネル m 注入率：15%
地質条件	砂質土 N<20～30 粘性土 N<10～20	砂質土 N<20～30 粘性土 N<10～20	軟岩まで可能
評価	◎	○	△

4. 現場適用について

B A F 工法は新しい工法であり初めての現場適用となるため、工事に先立ち試験施工等を実施し検証を十分実施した。特に注入材についてはコストの低減、現場の特殊性を考慮し、現地において試験施工を行い、その仕様を決定した。注入材に要求される品質は以下の通りである。①ゲルタイムの調整が可能なこと。②ゲル化した後の強度の発現速度が速いこと。③主材については吹付けプラントによる練混ぜが可能なこと。④トラミキでの練混ぜに対して十分な材料分離抵抗性能を保持していること。⑤切羽作業エリアが非常に狭いため、小規模なポンプでポンプ圧送が可能なこと。⑥経済性に優れ、現場調達が容易なこと。以上の観点より、汎用材料である分散材、急硬材、凝結調整剤を添加したセメントミルクを注入材として採用した。標準配合を表-5 に示す。現場においては仮設備の縮減を目指し、A 液を吹付けプラントにて混練り、切羽において B 液を添加し、ポンプ台車により注入を実施している。

表-5 標準配合表（1m³ 当たり）

配 合	A 材 セメントミルク (kg)				B 材 急硬材スラリー (kg)			
	混練量	セメント	水	分散剤 FT-500	混練量	急硬材 ES-L	凝結調整剤 (セッター) D-300	水
	839L	1169kg	468L	0. 5%	161L	150kg	1. 5%	120L

5. むすび

現在、現場はトンネル掘削中であるが、B A F 工法による脚部沈下の抑制についてはその効果が確認されている。今後、これらの効果について立証していくことにより同種工事の参考となれば幸いである。

参考文献

・ 中原他 曲がりオーガーによる大口径脚部補強工の開発 第 58 回年次学術講演会講演論文集 III-264 pp527-528 2003

・ 中原他 曲がりオーガーによる大口径脚部補強工の開発 第 38 回地盤工学研究発表会講演集 859 pp1717-1718 2003. 7