

曲がりオーガーによる大口径脚部補強工 B A F工法の現場適用

白川 裕彦¹・福士 祐治¹・蛭澤 孝司¹

本田 豊²・萩原 智寿³・小野塚 大輔³

¹非会員 青森県むつ県土整備事務所 河川砂防整備課 (〒035-0073 青森県むつ市中央1-1-8)

²非会員 鹿島・東急・杉山・橋本特定建設工事共同企業体 (〒035-0072 青森県むつ市金谷1-70-1)

³正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30)

キーワード：都市NATM、脚部補強工、補助工法、地表面沈下

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、新しい脚部補強工である曲がりオーガーによる大口径脚部補強工（以下B A F工法）^{1)・2)}を採用しその効果が確認されたので報告する。

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)
注入式長尺先受工(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

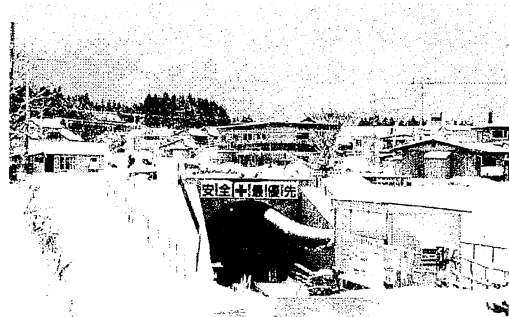


写真-1 現場坑口部全景

3. 設計概要

トンネル直上には住宅が密集しており、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 $7.0 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ の脚部補強工が必要であることが判明した。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。

4. 施工概要

B A F工法の特徴は掘削サイクルに組み込まれて

表-2 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 $\phi 520\text{mm}$ 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 $\phi 400\sim 1000$ 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AGF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 $80\sim 130\text{mm}$ 程度と小さいため1本あたりの支持力は小さい。（△） ・切羽後方での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： $\phi 520\text{mm}$ 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： $\phi 600\text{mm}$ 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： $\phi 122\text{mm}$ 削孔長 3.5m 鋼管仕様： $\phi 114.3\text{mm}$, $t=6.0\text{mm}$ 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	◎	○	△

おり、トンネル特殊工による施工が可能なおことである。掘削はオーガー方式とし、図-1に示すように切羽前方の次サイクルの支保工脚部に対して鋼管を外管とするオーガーにて削孔する。鋼管は押込みシリンダーにより圧入する。スライムはオーガーロッド軸内から送られるエアによって鋼管とオーガーの間を通過して排土される。また、B A F工法は中詰め注入方式で、内管を通してセメント系固化材を注入する。この方式は削孔完了後、曲がり鋼管とオーガーロッドを同時に引き上げながら置換注入を行う。これにより、孔壁が自立しないような脆弱な地山においても確実に改良体に置換えができる。以上に示した特徴から、地山を乱すことなく均一なセメント改良体を次サイクルの支保工脚部に構築することが可能である。

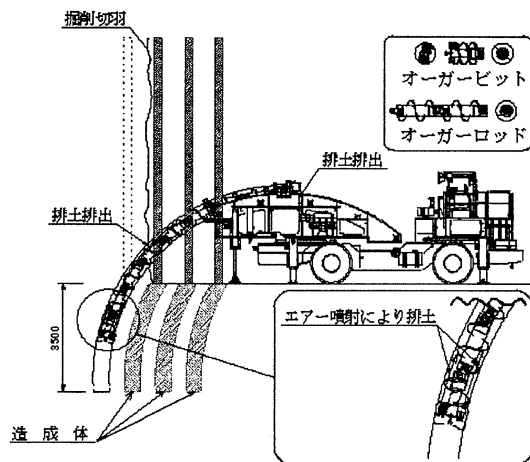


図-1 BAF工法施工概念図

現場における脚部沈下量の計測値を図-2に示す。脚部沈下量は平均で4mm程度と設計値よりも低い値を示しており、その効果が確認できた。特に、下半掘削時に内空変位量が10mm以上発生しているにも拘わらず脚部沈下は3mm程度の増加に留まっており、鉛直変位の抑制に非常に有効であると言える。地表面沈下についても、現状では許容値以下に収まっている。

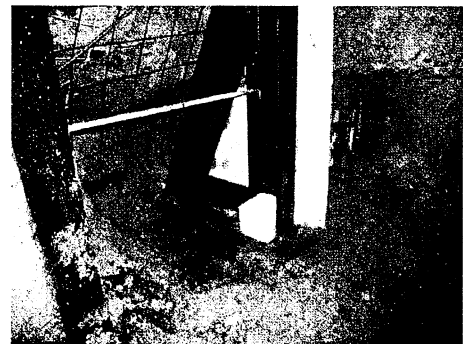


写真-2 BAF状況写真（フェノール試験結果）

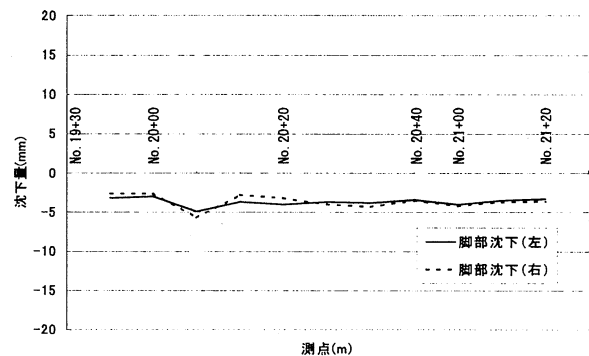


図-2 脚部最大沈下量

5. おわりに

本工事において初めて採用されたB A F工法であるが、現場での計測結果によりその地表面抑制効果が確認できた。今後はこれらの計測データをさらに収集し、分析を加えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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