

浅い土かぶり下のNATM施工事例に基づく三次元数値解析

大阪工業大学大学院	学生員	○東 亮太
大阪工業大学大学院	学生員	林 久資
大阪工業大学大学院	学生員	菅 浩亮
大阪工業大学工学部	正会員	長谷川昌弘
大阪工業大学工学部	正会員	吉岡 尚也

1. 研究目的

都市NATMでの施工が増加している昨今では、地上の構造物やライフラインへの影響を最小限に抑えることが重要である。そのためには、地山条件などに適した補助工法を選択しなければならない。本研究では、都市NATMの現状を調査し、その結果を解析に適用することで、実例に近い結果が得られるのではないかと考え再現を試みた。さらに、上半支保工脚部下の地盤を改良した工法に着目し、この補助工法が地表面沈下などに及ぼす影響を把握することを目的とした。

2. 都市NATMの現状

既往の文献¹⁾より、都市NATMの現状を調査した。図-1は土かぶりに対するトンネルの事例数を示した。多くのトンネルの土かぶりが20m以下で施工されていることがわかる。図-2は補助工法の目的に対するトンネル事例数を示した。天端安定や地表面沈下対策、脚部安定などが補助工法の目的として多くを占めている。これらの調査の結果を参考にし、数値解析を行うこととした。

3. 解析概要

3-1. 入力定数および力学モデル

解析に用いた定数は浅い土かぶりで行われた事例の粘着力と内部摩擦角の関係²⁾より、粘着力は50kPa、内部摩擦角10°と設定した。変形係数は、都市部でのトンネル工法の適用事例³⁾より、NATMとシールドの適用限界付近の地山を想定し $1.0 \times 10^5 \text{ kPa}$ と設定した。改良体の強度定数は、既往の文献⁴⁾を参考に、変形係数は地山の20倍の $2 \times 10^6 \text{ kPa}$ とし、粘着力は150kPaに増加するものとした。側圧係数については、図-3の側圧係数と土かぶりの関係⁵⁾より、深度10mおきに側圧係数の中央値を解析モデルに採用した。支保部材である吹付けコンクリートはコンクリート標準示方書⁶⁾や文献⁷⁾より、鋼製支保工はトンネル標準示方書⁸⁾より設定した。地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏基準にはモール・クーロンを用いた。支保部材については、鋼製支保工はビーム要素、吹付けコンクリートはシェル要素でモデル化した。

3-2. 解析に用いた工法

補助工法の効果を検討するため、二つの工法を設定した。トンネル形状はD_{II}タイプとし、まず図-4(a)としてベンチ長10mのショートベンチカット工法、(b)として(a)の工法の上半支保工脚部下に改良体を設けた工法である。これ

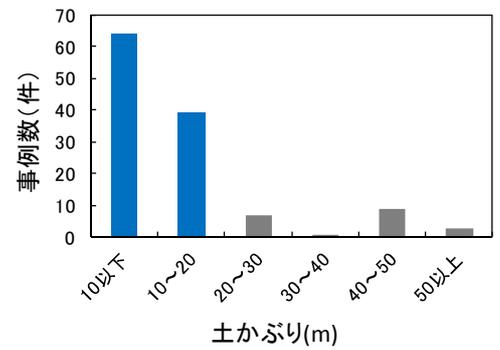


図-1 解析に用いた工法

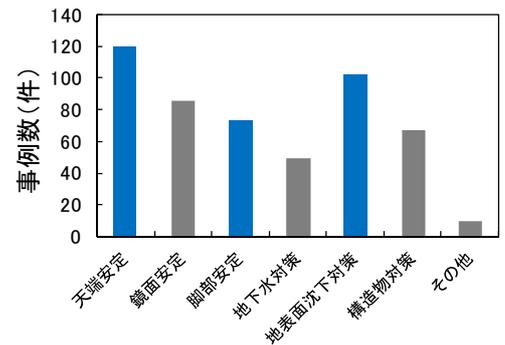


図-2 補助工法の目的に対するトンネル事例数

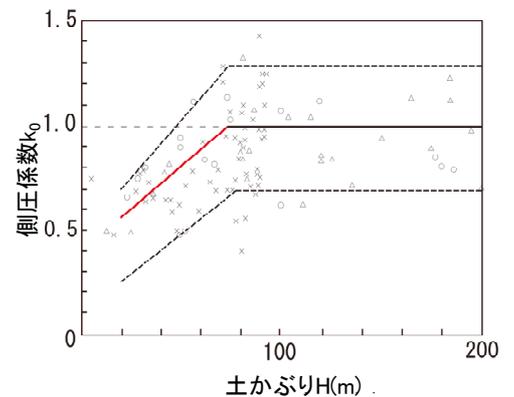


図-3 側圧係数と土かぶりの関係

キーワード 沈下対策, 地盤改良, 数値解析

連絡先 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学大学院 TEL06-6954-4109

は図-2 より脚部安定が補助工法の目的として多く採用されているため、この工法を採用した。改良体については縦 1m×横 2mの長方形断面とし、切羽進行に伴い1m先行して改良するものとした。

3-3. 解析領域および境界条件

トンネル土かぶりは図-1 より 20mと設定した。トンネルインバートより下部は 30m, 縦断方向は 100m, 横断方向は 50mとし、奥行方向は 100mとした。境界条件は、側面は横断方向, 前面と背面は縦断方向, 底面は上下方向に拘束し, 地表面は自由とした。

4. 解析結果および考察

解析手順は, ステップ 1 で地山の初期応力解析を行い, ステップ 2 以降トンネルを 1mずつ 70mまで掘削した。鋼製支保工と吹き付けコンクリートに関しては一週間遅れで施工されるものとした。図-5, 図-6 はそれぞれ坑口より 20m地点における切羽進行に伴う地表面沈下量と上半支保工脚部の沈下量を示している。以下に, 結果と考察を述べる。

(1) 地表面沈下量

図-5 より先行変位は切羽前方 1.5Dの地点から生じ始めており, 先行変位の差異は見られない。切羽通過後から差異が表れ始め, 最大で約 20mmの沈下抑制効果が表れている。50mmを超える地表面沈下量が発生すると, 施工が難渋すると言われており, 今回のケースでは, 改良することにより沈下量が 50mm以下に抑制されるため, この補助工法が有効であったと考えられる。

(2) 上半支保工脚部の沈下量

図-6 も図-5 と同様の傾向を示している。改良による沈下抑制効果は最大で約 25mmとなっている。切羽が 20m地点に到達した時点で約 3mmの隆起が生じているが, これは切羽手前より, 前方地山における鉛直方向の応力が大きくなっていることに起因していると考えられる。このような沈下抑制効果は, 上半支保工脚部下の地盤を改良したことによって脚部地盤の耐荷力が増加したためであると考えられる。

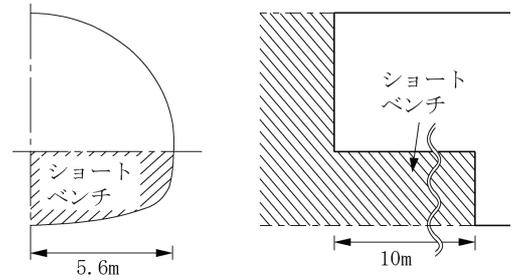
5. まとめ

地表面や上半支保工脚部の沈下を抑制するためには, 上半支保工脚部下の地盤を改良することにより, その効果が得られることがわかった。さらに, 都市 NATM の現状を分析し, その結果を数値解析に反映させることで現実的な解析結果が得られたように考えられる。

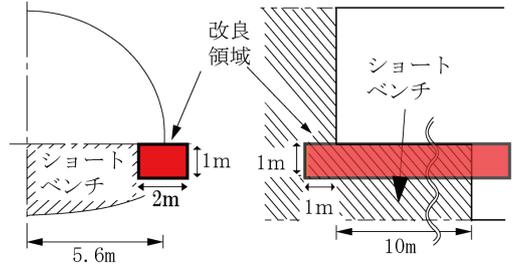
なお, 地山の強度特性に関する定数の決定と, 都市 NATM の現状を把握するにあたり, 株式会社鴻池組の山田浩幸博士に有益な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

6. 参考文献

1) 兼岩孝: 住宅地直下の都市 NATM による施工と地表面沈下量の予測、計測管理, トンネル工学研究発表会, 第 13 巻, pp241-246, 2003. 2) 東亮太他: 地山特性に応じた上半脚部下の地盤改良による沈下抑制効, トンネル工学報告集, 第 19 巻, pp139-144, 2009. 3) ジェオフロンテ研究会: アンブレラ工法に関する技術資料, pp.16,1996. 4) 中尾次生, 関本宏, 居相好信, 西野健一郎: 住宅密集地下・含水未固結地山を掘る, トンネルと地下, vol.30, No.2, pp.19-30, 1999. 5) 三浦克: 大断面トンネルと山岳トンネル工法の現状と課題, 土木学会論文集 No516/VI-27,1-13,1995. 6) 土木学会コンクリート委員会: コンクリート標準示方書〔設計編〕, pp.17-40, 1997. 7) 土屋敬: トンネル設計のための支保と地山物性に関する研究, 土木学会論文集, No.364/III-4, pp.31-40, 1985. 8) 土木学会トンネル工学委員会: トンネル標準示方書〔山岳工法〕・同解説, pp.84-86, 2006.



(a) ショートベンチカット工法



(b) ベンチカット工法(改良あり)

図-4 比較する工法

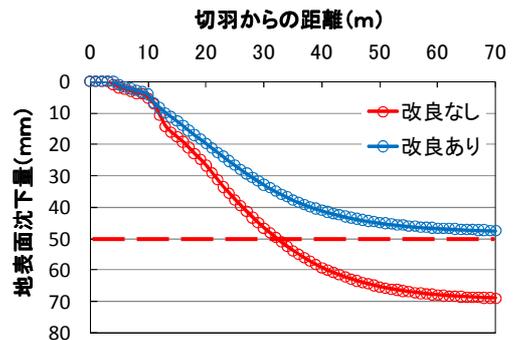


図-5 20m地点の地表面沈下量

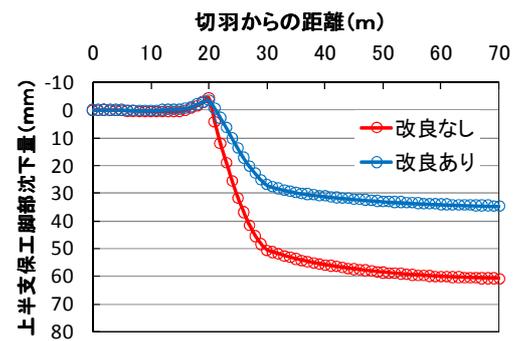


図-6 20m地点の上半支保工脚部の沈下量