

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

近年、都市NATMによるトンネル施工事例が増加している。このような条件の場合、地上にある構造物や、ライフラインなどへの影響を最小限にすることが重要である。そこで、地山条件や沈下管理値に適した補助工法を選択することが必要である。本研究では、上半支保工脚部下の地盤を改良した工法に着目し、この工法が地表面沈下量に及ぼす影響を把握することを目的とした。さらに、都市NATMの現状を調査し、その結果を数値解析に取り入れることで、より実現象に近い解析結果が得られるのではないかと考え再現を試みた。

## 2. 都市NATMの現状

既往の文献<sup>1)</sup>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記した。多くのトンネルが土かぶり20m以下に施工されていることがわかる。次に、図-2は補助工法の目的に対する事例数を示した。補助工法を採用するための目的には、天端安定や地表面沈下対策、脚部安定対策などがある。このような事例を参考にして、数値解析を行うこととした。

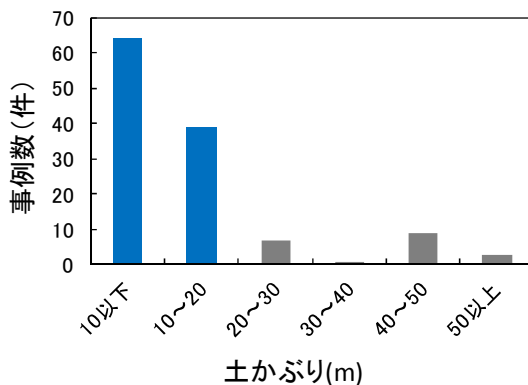


図-1 土かぶりに対するトンネル事例数

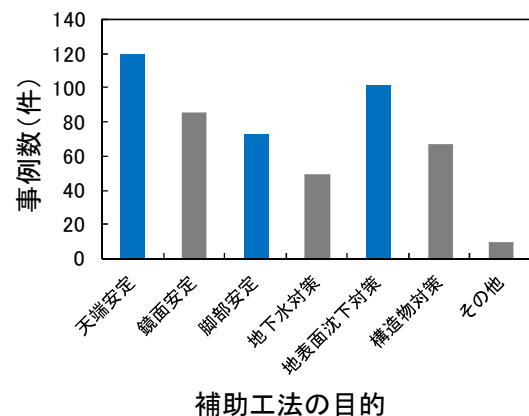


図-2 補助工法の目的に対するトンネル事例数

## 3. 解析概要

### 3-1. 解析に用いた工法と入力定数

補助工法の効果を検討するため、図-3(a), (b)と二つの工法を設定した。ベンチ長10mのショートベンチカット工法を(a)とし、(a)の工法の上半支保工脚部に改良体を設けた工法を(b)とした。これは図-2より脚部安定が補助工法の目的で多くの事例数があるためである。トンネル形状についてはD<sub>II</sub>タイプを採用した。改良体については、縦1m×横2mの長方形断面とし、切羽進行に伴って1m先行して改良するものとした。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より<sup>2)</sup>、粘着力cは70kPa、内部摩擦角φは10°と設定した。変形係数Dは、都市部でのトンネル工法の適用事例<sup>3)</sup>よりNATMとシールドの適用限界付近の地山を想定し、D=1.0×10<sup>5</sup>kPaと設定した。改良体の強度定数は、既往の文献<sup>4)</sup>を参考に、変形係数Dは地山の20倍のD=2×10<sup>6</sup>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、側圧係数と土かぶりの関係<sup>5)</sup>より、深度が深くなるにつれて変化するように設定した。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<sup>6)</sup>や文献<sup>7)</sup>より、鋼製支保工はトンネル標準示方書<sup>8)</sup>より設定した。

Ryota AZUMA, Hisashi HAYASHI, Kosuke SUGA, Masahiro HASEGAWA and Hisaya YOSHIOKA

ryota@civil.oit.jp.ac

### 3-2. 境界領域と力学モデル

トンネル土かぶりには図-1を参考に20mと設定した。トンネルインバートより下部は30m、横断方向は50m、奥行方向は100mと設定した。境界条件は、側面は横断方向、前面と背面は縦断方向、底面は上下方向に高速し、地表面は自由とした。地山の力学モデルは弾完全塑性体とし、降伏判定はモール・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についてはシェル要素でモデル化を行った。

### 4. 結果と考察

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まで掘削を行った。また、鋼製支保工と吹き付けコンクリートについては、一週間遅れで施工されるものとした。図-4、図-5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-4より先行変位は切羽前方1.5Dの地点から生じ始めている。改良による沈下抑制効果は、先行変位については差異が見られないが、切羽通過後から両者の挙動に差異が生じ、最大で8mmの沈下抑制効果が表れている。

#### (1) 上半支保工脚部の沈下量

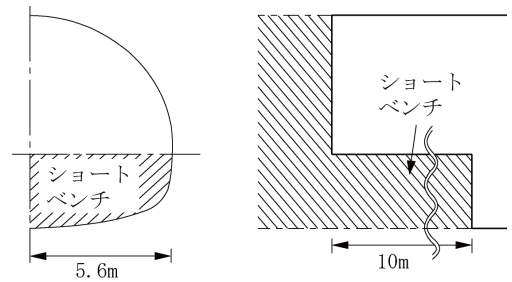
図-5も図-4と同様の傾向を示している。改良による沈下抑制効果は最大で10mmとなっている。上半支保工脚部については、切羽が坑口より20m地点に達した時点で3mmの隆起が発生している。これは切羽手前より、前方地山における鉛直方向の応力が大きくなっていることに起因していると考えられる。このような沈下抑制効果は、上半支保工脚部地盤を改良したことにより、脚部地盤の耐荷力が増加したためだと考えられる。

### 5. まとめ

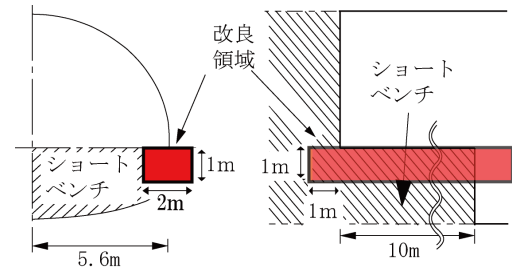
数値解析の結果、上半支保工脚部下を改良することによって地表面や上半脚部の沈下抑制効果があることがわかった。さらに、都市NATMの現象を数値解析的に把握することができた。なお、地山の強度特性に関する定数の決定と、都市NATMの現状を把握するにあたり、株式会社鴻池組の山田浩幸博士に有益な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 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(先行改良1m)

図-3 解析に用いた工法

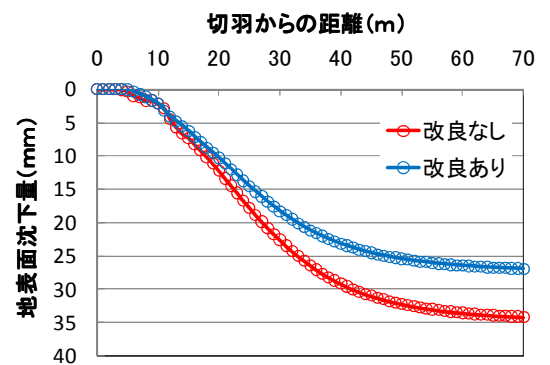


図-4 20m 地点における地表面沈下量

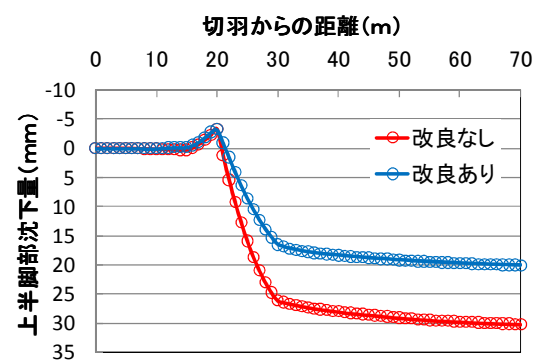


図-5 20m 地点における脚部沈下量