

小断面 NATM トンネルの連結による非開削大断面構築工法の開発 ～多段 NATM 連結外殻先行覆工工法～

大成建設株式会社 正会員 ○大里 祥生 大成建設株式会社 正会員 森田 泰司
大成建設株式会社 正会員 高倉 克彦 大成建設株式会社 正会員 岩野 政浩

1. はじめに

従来、道路トンネルの分岐合流部は、地上からの開削工法で計画されてきた。しかし、市街地での開削工法は交通渋滞の原因となり、地上部における工事用地の確保も困難になってきていることから、非開削工法を用いた道路トンネル分岐合流部構築技術の開発が強く要望されてきている。そこで、多数の小断面 NATM トンネル（以下、小断面トンネルと呼ぶ）を掘削し、分岐合流部全体を覆う外殻覆工体を打設した後、外殻覆工体内部を掘削し分岐合流部を構築する多段 NATM 連結外殻先行覆工工法（以下、多段 NATM 工法と呼ぶ）を開発した。本工法の特徴は、既存の技術を用いて汎用機械により施工が可能であり、経済的な分岐合流部の構築が可能なことである。

本稿では、①本工法の概要と、②分岐合流部への適用の可否を判断する大きな指標の1つとなる地表面への影響について試算した結果について報告する。

2. 工法の概要

今回開発した多段 NATM 工法は、道路トンネルの分岐合流部を、リング状の斜坑から小断面トンネルを掘削し、分岐合流部全体を覆う外殻覆工体を構築した後、外殻覆工体内部を掘削する。リング状斜坑は本線・ランプシールドから NATM 工法で掘削する。なお、都市部での未固結地山を想定し、シールド内より事前に薬液注入を行い、周囲に止水ゾーンを形成する。

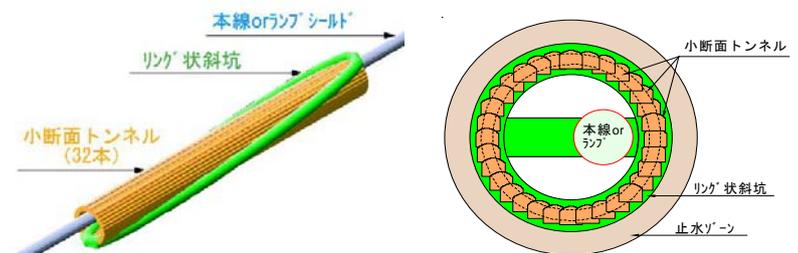


図-1 多段 NATM 工法概念図

図-2 多段 NATM 工法概念図(断面図)

3. 施工手順

多段 NATM の施工手順は以下の図-3 に示す通りである。

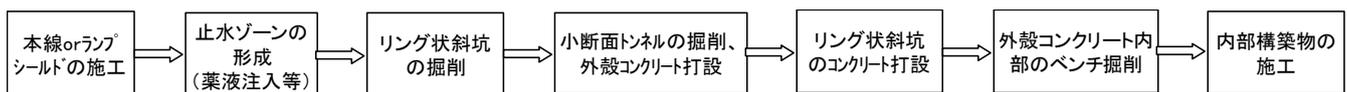


図-3 施工手順図

4. 地表面への影響

ここでは、大深度地下（土被り 40m 以深）に本線トンネル 3 車線、ランプトンネル 2 車線の分岐合流部（延長約 370m と設定）を構築する場合を想定し、主に地表面への影響を検討する。算定に当たってはリング状斜坑と小断面トンネルの三次元的な交差による影響を評価するため、三次元有限差分法 (FLAC3D) を用いた。

(1) 解析条件及び解析手法

多段 NATM 工法は、リング状斜坑掘削後、小断面トンネル掘削を実施するため、小断面トンネル掘削時には、リング状斜坑掘削によって地盤が乱れていることが想定される。よって、一連の掘削逐次解析が可能な三次元メッシュを作成することが望ましいが、ここでは、リング状斜坑と小断面トンネルの三次元メッシュを個別に作成し、それぞれから算定された結果を足し合わせて地表面沈下量及び地表面傾斜角を算定する。

リング状斜坑と小断面トンネルの三次元メッシュを図-4 に示す。モデル化にあたっては、構造の対称性から、リング状斜坑は長軸方向を、小断面トンネルは長軸中央部を対称にそれぞれ 1/2 モデルとした。解析手順を図-5 と表-1 に示す。地盤は首都圏に広く分布する地盤を対象として関東ローム層及び砂質土と粘性土の互層と設定した（表

キーワード：大深度、非開削、分岐合流技術、NATM、地表面沈下

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 TEL:03-5381-5296 大成建設(株)本社土木設計部トンネル地下設計室

-2)。また、多段 NATM 工法が大深度地下に計画されることを想定し、リング状斜坑の上部を GL. -41m に設定した。

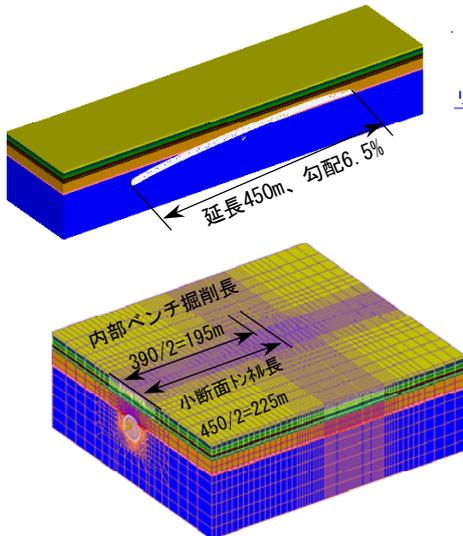


図-4 リング斜坑の半断面解析モデル(上図)
小断面トンネルの半断面解析モデル(下図)

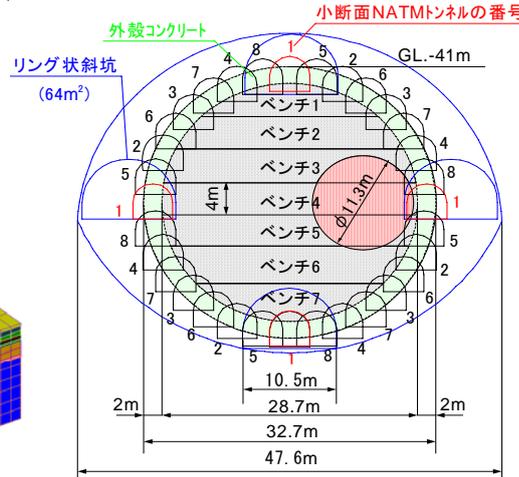


図-5 解析ステップ図

表-1 解析ステップ

○リング状斜坑掘削	
Step1	初期応力解析
Step2	リング状斜坑一括掘削 (素掘り: 64m ²)
○小断面 NATM トンネル掘削	
Step1	初期応力解析
Step2	ランブシールド掘削 セグメント設置
Step3	小断面 NATM1 (4箇所) 掘削 (17m ²)
Step4	小断面 NATM1 (4箇所) 外殻コンクリートとエアモルタルの打設
Step5~18	小断面 NATM2~8 掘削・コンクリート打設の繰返し
Step19	内部ベンチ1 掘削
Step20~25	内部ベンチ2~7 掘削
Step26	端部コンクリート打設

表-2 地盤の物性値

層序	深度 (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (度)	変形係数 E0 (kN/m ²)	ポアソン比 (ν)
ローム	4.10	14	63	15	13,000	0.45
礫質土	9.75	18	—	42	50,000	0.30
砂質土	15.40	19	100	41	215,000	0.30
粘性土	21.00	17	680	10	115,000	0.45
砂質土	22.30	19	100	41	215,000	0.30
粘性土	24.65	17	680	10	115,000	0.45
礫質土	43.00	19	25	42	278,000	0.30
粘性土	47.00	19	290	10	95,000	0.45
砂質土	—	19	100	42	430,000	0.30

天端
GL-41m

(2) 解析結果

図-6 には代表ステップでの縦断方向地表面沈下量と傾斜角を示す。この解析結果は、リング斜坑及び小断面トンネルを縦断方向に一括掘削とし、ベンチ掘削の切羽を無支保とした安全側のケースである。リング状斜坑の土被りの小さい側の内部掘削切羽位置で最大地表面沈下量が、42.5mm、最大傾斜角が 0.93/1000rad となった。図-7 には図-6 で最大沈下量を示した位置での横断方向の地表面沈下量と傾斜角を示す。最大傾斜角は 1.07/1000rad であった。また、小断面トンネルの一次支保工を考慮した逐次掘削の効果を反映させた場合には、最大沈下量 26mm、最大傾斜角 0.73/1000rad となった(図-8)。最大沈下量が図-6 に示した素掘りの場合の 6 割程度となっていることから、一次支保工の効果が大きいことがわかる。以上より、地表面への影響は「建築基礎構造設計指針：日本建築学会：2001.10」における許容最大傾斜角 1/1000rad 以内に収まる結果が得られた。

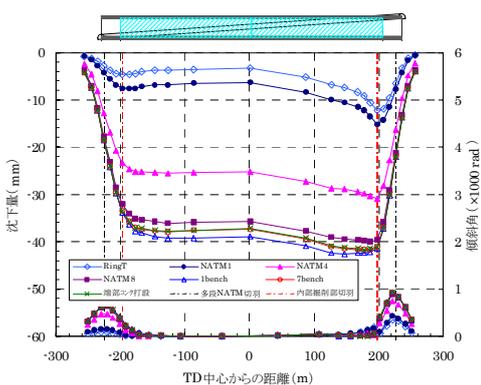


図-6 縦断方向の地表面沈下

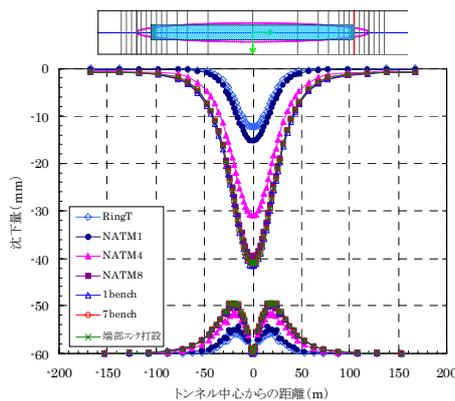


図-7 横断方向の地表面沈下

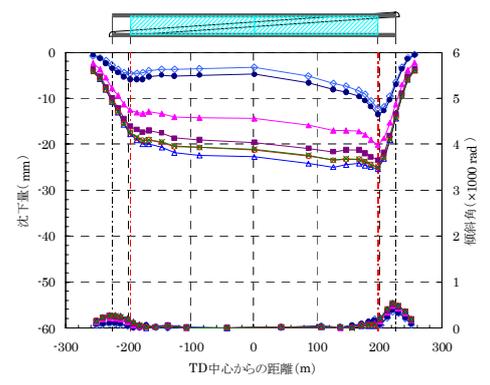


図-8 縦断方向の地表面沈下

(小断面トンネル掘削時の一次支保考慮)

5. おわりに

多段 NATM 連結外殻先行覆工工法は、道路トンネルの非開削での分岐合流部の構築に適用可能なことが確認できた。実施工への適用に向け、施工の重要なポイントとなると考えられる薬液注入の施工方法等の基本的な開発は終了しており、今後、小断面トンネルの構造や掘削順序について、詳細な検討を行っていく予定である。

参考文献： 1) 西川ら、推進工法を用いた外殻先行トンネルの分岐合流技術に伴う地表面沈下の推定、土木学会第 60 回年次学術講演会、第 VI 部門、pp. 471-472、2005. 9.