

3次元数値解析に基づく先受け工の効果に関する考察

首都大学東京 学生会員 佐藤優弥 正会員 砂金伸治
 国立研究開発法人土木研究所 正会員 菊地浩貴, 日下敦

1. はじめに

山岳トンネルの設計時に補助工法を採用する場合、数値解析を用いてその効果について検討を行う事例が多く見られる。一般に、数値解析を行う場合は、実構造物を一定の仮定のもとに理想化してモデル化するため、すべての実現象を再現することは難しい。しかし、実務上、簡略化した2次元数値解析により補助工法の効果を評価し、本来期待されていない補助工法の効果も数値解析上で効果があるという結果を根拠に、例えば先受け工を通常より多く施工することにより支保工の低減を図るといったような事例が見受けられる。

このような背景から、本研究では、先受け工の中でも最も使用頻度が高い長尺鋼管先受け工法(AGF工法)について着目し、先受け工の打設範囲・打設間隔の違いによる支保工に生じる応力の差異を把握し、長尺鋼管先受け工法の力学的メカニズムを比較・検討することを目的とし、先受け工の特徴を鑑みて、3次元での数値解析を行った。

2. 解析方法

本研究では、実施工により近い本工法の効果を把握するために3次元有限差分法による数値解析を実施し、解析コードとしては、FLAC3Dを使用した。図1に長尺鋼管先受け工法の概念図を示す。また、解析に用いたモデル図を図2に、解析物性値を表1に、地山改良範囲を図3に示す。地山モデルは、基礎的な知見を得るために弾性モデルとした。また、トンネル形状は基礎的な現象を把握するために簡略化することを念頭に直径 $D=10\text{m}$ の真円形とし、土被りは $1D$ とした。なお、解析断面については左右対称であることから半断面とした。地山等級としては、長尺鋼管先受け工法が用いられる頻度が高いと考えられるEを想定した。地山改良範囲とは、先受け鋼管の打設と鋼管打設後に注入する注入材の効果により地山が改良されたと考えられる範囲のことである。打設範囲の例として 120° の場合を図4に、打設間隔 9m の場合の解析フローを図5に、打設間隔 6m の場合の解析フローを図6に示す。先受け工間の形状は、一般的な $\phi=114.3\text{mm}$ 、 $t=6.0\text{mm}$ 、 $L=12.5\text{m}$ とし、打設範囲 5° 毎に先受け鋼管を打設するようにした。

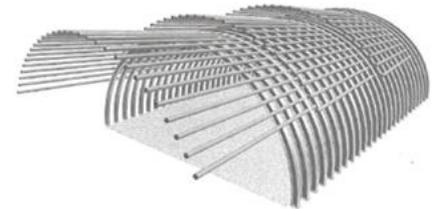


図1 概念図¹⁾

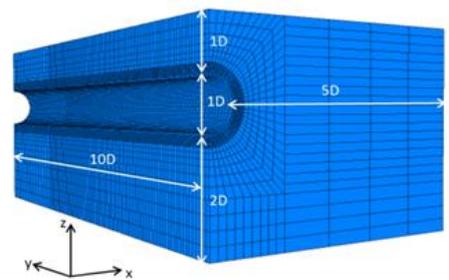


図2 解析モデル図

表1 解析物性値

モデル	構造要素	弾性係数[MPa]	ポアソン比
地山	Solid	50	0.40
鋼アーチ支保工	Beam	210,000	0.30
吹付けコンクリート	Shell	4,000	0.20
先受け鋼管	Beam	210,000	0.30
改良地山	Solid	100	0.30

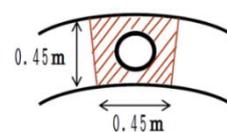


図3 地山改良範囲

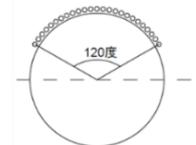


図4 打設範囲の例

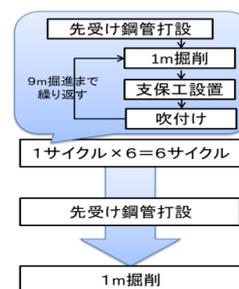


図5 解析フロー (打設間隔 9m)

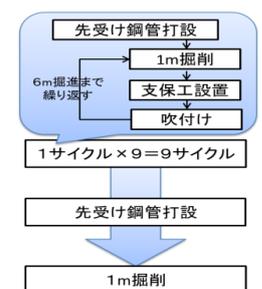


図6 解析フロー (打設間隔 6m)

キーワード 山岳トンネル, 補助工法, 長尺鋼管先受け工法, 3次元数値解析

連絡先 〒192 - 0397 東京都八王子市南大沢 1 - 1 首都大学東京 TEL : 042 - 677 - 2785

解析ケースについて、それぞれ打設範囲・打設間隔が異なる7ケースを表2に示す。なお、打設範囲は天端を中心として左右対称でその角度を設定した。

表2 解析ケース

解析ケース	打設範囲	打設間隔
Case1	なし	なし
Case2	120°	9m
Case3	150°	9m
Case4	180°	9m
Case5	120°	6m
Case6	150°	6m
Case7	180°	6m

3. 解析結果

切羽を y=54m まで掘削し、先受け鋼管を各ケースの打設範囲に打設した後に 1m 掘進したときの鋼アーチ支保工に生じる軸力についての比較を行った。

切羽 1m 後方の先受け鋼管打設位置である y=54m に設置した鋼アーチ支保工の軸力分布を図7に示す。先受け鋼管の打設範囲・打設間隔の異なる Case2 から Case7 の軸力分布にほとんど違いがなく、先受け鋼管の打設を行わない Case1 よりも約4割程度の軸力の低減が見られた。

次に、y=54m よりも 5m 後方の y=49m に設置した鋼アーチ支保工の軸力分布を図8に示す。これより、Case1 から Case7 の軸力分布の差はほとんど見受けられなかった。このことは、先受け工の打設による支保工に生じる応力の低減効果が切羽から離れたところでは見受けられない可能性があることを示している。

各解析ケースの天端位置の各鋼アーチ支保工に生じる軸力の推移を図9に示す。これより、先受け鋼管打設位置での鋼アーチ支保工に生じる軸力の低減を認めることはできるが、そのほかの位置では、先受け工の打設による応力の低減効果は確認できない。むしろ、支保工に生じる応力が先受け工の打設を行わない Case1 よりも増大している位置も解析上では見受けられた。

4. 結論および今後の課題

先受け鋼管の打設範囲・打設間隔に関わらず、先受け鋼管打設位置付近では、先受け工の打設による応力の低減効果が確認された。しかし、そのほかの位置では、先受け工の打設による応力の低減効果を認めることができない場合があることが分かった。ゆえに、先受け工の効果を支保工の設計に反映するのは十分な検討が必要であると考えられる。

本研究では、種々の仮定のもとで解析を行っており、たとえば本来の山岳トンネルのトンネル断面形状は、馬蹄形が多く別途検討が必要となるが、トンネル形状によっては応力の低減効果が確認されない可能性があるということ示唆していると考えられる。今後、実際の施工現場での現場計測や模型実験を行い、解析結果との比較・検討を行う必要がある。また、本研究の解析結果から考えると、現場計測では先受け工が最も効果的である切羽周辺だけではなく、切羽後方の経時変化を計測する必要もあると考えられる。

参考文献

1) ジェオフロンテ研究会 AGF WG : 注入式長尺鋼管先受け工法(AGF工法) (六訂版) p.71

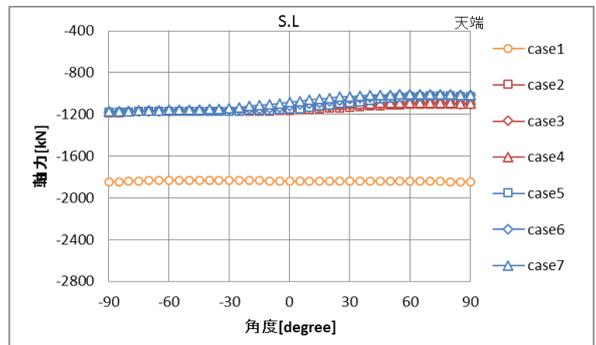


図7 軸力分布(切羽 1m 後方の位置 : y=54m)

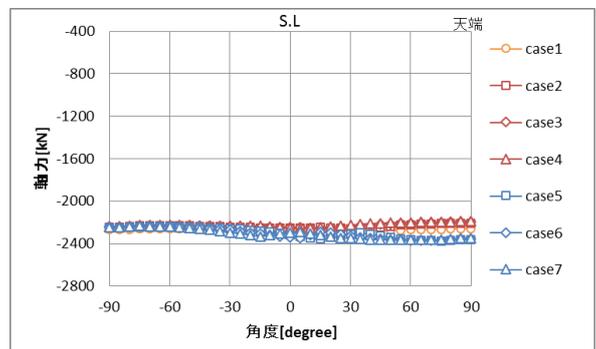


図8 軸力分布(切羽 6m 後方の位置 : y=49m)

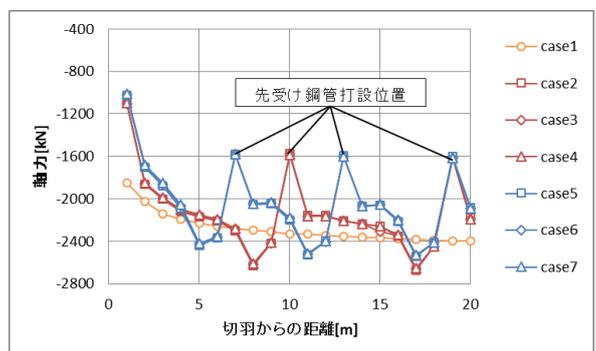


図9 軸力の推移