

大土被り下における山岳トンネル交差部の支保設計に関する解析的検討

大成建設株式会社 正会員 ○西谷 友幸, 市田 雄行, 志村 和宏, 大塚 勇

1. 背景

大土被り下で掘削する山岳トンネルは、初期地圧が大きいことが想定され、掘削に伴う変形が大きくなることが懸念される。また、2本のトンネルが交差する箇所では、支保に発生する応力が大きくなり、支保に変状が生じるリスクが高くなるため、これらの影響を考慮した支保設計を適切に行う必要がある。このような交差部における支保設計の手法として、三次元 FEM 解析が適用される。しかし、三次元 FEM 解析ではモデルが複雑になり、解析時間も要するため、支保設計に手間を要することが課題である。

そこで本論文では、大土被りトンネルかつ交差部を対象とする三次元 FEM 解析を実施し、支保発生応力を算定する。さらに、当結果と今田らによる光弾性実験の結果¹⁾との比較検証を行い、交差の影響を受ける支保部材の仕様とその適用範囲の設計について、簡易的な手法に標準化するための課題について検討する。

2. 検討概要

本論文では、土被り 700m の地山を想定し、枝トンネル掘削に伴う本トンネルの支保発生応力の増減を三次元 FEM 解析により算定する。また、地山の初期応力は、大土被り下で側圧係数が大きくなるケースを想定し、土被り相当の鉛直応力に対して、水平面内の最大および最小主応力を 1 倍または 2 倍に設定し、かつ最大主応力方向に変化を付けた複数の条件を設定することで、初期応力の異方性に伴う交差部への影響についても評価する。

3. 解析条件

解析モデルを図 1 に示す。各トンネルの掘削径 D は、本トンネルが $D_1=13.8\text{m}$ 、枝トンネルが $D_2=7.4\text{m}$ である。地山の力学モデルは弾性モデルとし、地山物性値を表 1 に示す。支保部材の仕様と物性値を表 2 に示す。吹付コンクリートは弾性シェル要素、鋼製支保工は弾性ビーム要素でモデル化する。初期応力の異方性に着目

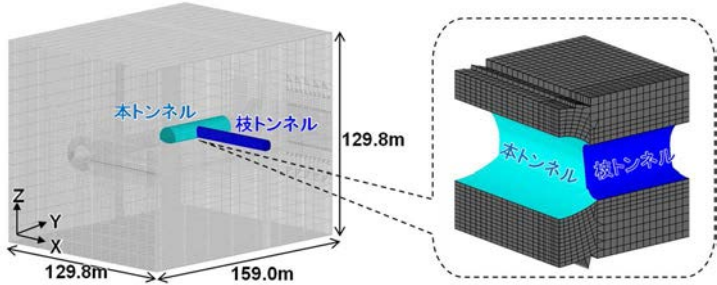


図 1 解析モデル図

表 1 地山物性値

単位体積重量 γ [kN/m ³]	変形係数 E [MPa]	ポアソン比 ν [-]
27.0	6,200	0.25

表 2 支保部材のモデル化

支保部材	モデル化	単位体積重量 γ [kN/m ³]	弾性係数 E [GPa]	ポアソン比 ν [-]	断面積 A	断面二次 モーメント I [m ⁴]
吹付けコンクリート (設計基準強度 $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$)	シェル要素	23.0×10^3 ※1	6.0×10^3 ※1	0.2	0.20×10^{-3} ※1 [m ² /m]	-
鋼製支保工 (SS400)	枝トンネル (H-150)	77.0	200	0.3	3.97×10^{-3} [m ²]	強軸: 16.2×10^{-6} 弱軸: 5.63×10^{-6}
本トンネル (H-200)	ビーム要素				6.35×10^{-3} [m ²]	強軸: 47.2×10^{-6} 弱軸: 16.0×10^{-6}

※1: 吹付けコンクリートは解析モデル上、曲げに抵抗しない軸力部材とするため、断面積を 1/1,000、単位体積重量・弾性係数を 1,000 倍とする。

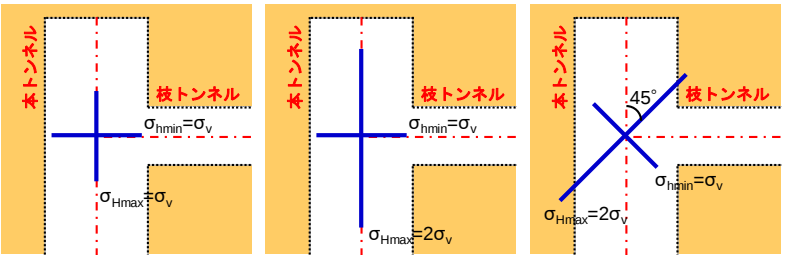


図 2 検討ケース

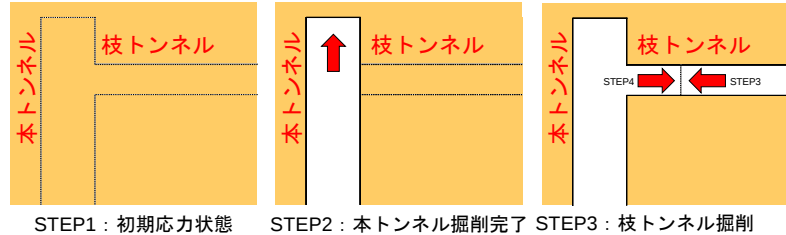


図 3 解析ステップ図 (平面図)

キーワード 交差部 大土被り 三次元 FEM 支保設計

連絡先 〒163-6008 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)東京支店 TEL 03-3348-1111 (大代表)

して、図2に示す3ケースにて検討する。解析ステップ図を図3に示す。本トンネル掘削後に枝トンネルを本トンネル側方向へ掘削し、貫通点到達後に本トンネル側から枝トンネルを掘削して貫通させる。貫通点を本トンネルより離れたのは、2本のトンネル掘削による影響で地山が最も緩んでいる箇所で貫通させるのを避けるためである。なお、両トンネルともに1m掘進後に支保工を設置する手順を繰り返す。

4. 解析結果と考察

枝トンネル掘削により生じる本トンネルの支保部材応力(交差の影響)を評価するため、STEP2 から STEP4 で吹付コンクリート応力がどの程度変化するかを三次元 FEM 解析により算定した。図4に解析より得られた吹付コンクリートの応力比 (STEP4 と STEP2 の周応力の比率) のコンター図を示す。当図は本トンネルの展開図で表現している。

枝トンネル掘削に伴う周応力の変化は、いずれのケースについても枝トンネルの SL 付近では本トンネル周方向の圧縮応力が増加し、局所的に応力比が5倍程度となる箇所も見られる。一方、今田らの光弾性実験結果¹⁾では、「単線トンネルのときに比べておよそ60%の応力増加となる。」との知見が得られている。本解析結果は全要素で応力値を出力することで局所的な応力集中が見られており、このため光弾性実験結果との乖離が生じているものと推察される。

図4で応力比が2倍以上となる範囲を交差による影響範囲として設定すると、CASE1 と CASE2 の比較よりトンネル軸方向の初期応力が異なっても枝トンネル掘削による応力増加の大きさ、影響範囲に違いは見られない。一方で、CASE2 と CASE3 の比較では、主応力方向の違いにより、影響範囲は非対称となり、紙面下側が約1.5倍となる。これは、枝トンネル掘削時に初期地圧の傾きに起因して、切羽前方の応力集中度が異なり、解放力が非対称となることが影響していると推察される。なお、今田らの光弾性実験結果¹⁾では、「本トンネル軸方向への影響範囲は、枝トンネルの1.0倍程度」との知見が得られており、最大主応力方向がトンネル軸と平行であるCASE1およびCASE2では、整合する結果となった。

以上より、最大主応力方向が本トンネル軸に平行である場合は、枝トンネル掘削に伴う影響範囲は、今田らの研究¹⁾より評価をすることが出来ると考えられる。一方で、本トンネル軸に斜交する場合には、影響範囲は非対称となることから、支保部材の補強範囲を設定するにあたり注意が必要である。また、三次元 FEM 解析では、枝トンネル掘削による周応力の増加が局所的に大きくなるため、この解析結果を反映した支保設計方法の確立も、今後の課題である。

5. まとめ

山岳トンネル交差部の枝トンネル掘削による支保応力への影響について、三次元 FEM 解析より検討を行った。検討条件として、大土被り下で初期地圧の側圧係数が大きくなるケースを想定した。その結果、影響範囲については最大・最小主応力方向の影響、支保部材の仕様の設計については三次元 FEM 解析より得られた局所的な応力集中も加味した手法の確立が今後の課題であることが分かった。

参考文献

- 1) 今田徹, 山崎良一, 西村和夫: 光弾性実験によるトンネル交差部の応力性状, 土木学会論文集, 第421号/IV-13, pp. 155-163, 1990.

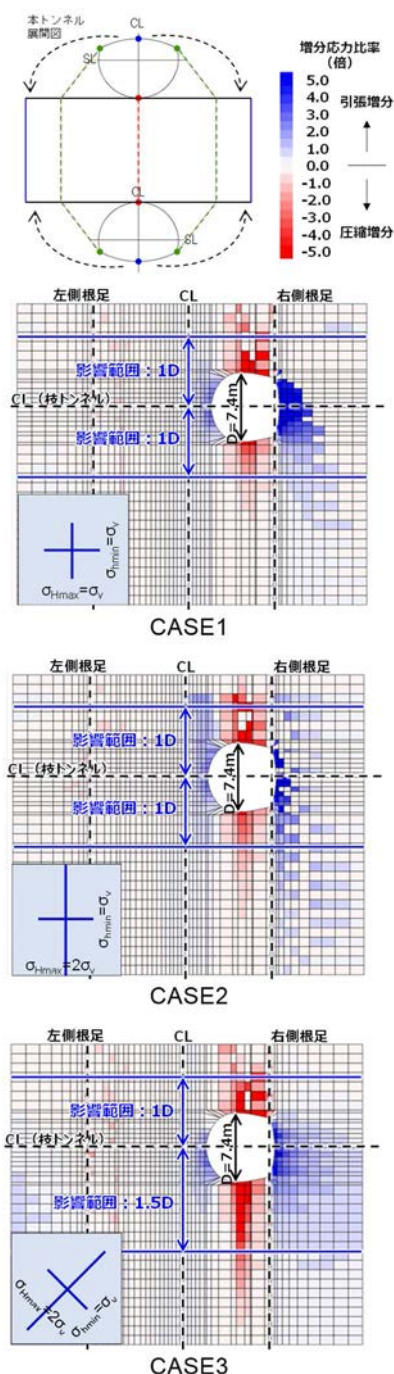


図4 本トンネルにおける吹付コンクリートの応力比のコンター図