

まゆ型構造によるトンネル交差部の支保設計と施工

鹿島建設(株) 正会員 ○平川将寛 北村義宜 村上和哉 福田博之 中西祐輔
西日本高速道路(株) 正会員 前田佳克 畔津伸彦

1. はじめに

新名神高速道路宇治田原トンネル西工事は上り線トンネルのうち 821m、下り線トンネルのうち 991m を掘削対象とする内空断面積 115 m² の大断面トンネルである。本工事では、トンネル断面の仕様変更に対応した工程促進を目的に、当初予定していた上下線を接続する人道用連絡坑を大型重機の通過が可能な全車両対応型連絡坑に拡幅するとともに、坑内で上り線の切羽を起点側と終点側に分岐させることで上下線切羽での同時掘進を図ることとした。上り線トンネルの交差部近傍は図-1 に示すように断層が横断すると想定されており、下り線から上り線に実施した調査ボーリングの結果から交差部近傍は地山等級が D 級と想定されたため、交差部の支保を補強する必要があると判断した。交差部に鋼アーチ支保工を設置する場合、門型支保工により補強を行うことが多い。当工事の場合は、重厚な門型支保工が狭隘なスペースでの設置となることから、施工に時間を要すると考えられた。本稿ではこの位置の狭隘な空間で複雑な補強を実施せず、起終点側への分岐掘削が可能となるまゆ型の交差部を適用した設計・施工実績を報告する。

2. まゆ型構造のトンネル交差部

まゆ型構造の交差部は、上り線本坑の掘削断面を包括し、かつ左右分岐掘削が可能な重機スペースを確保できるまゆ型の拡幅形状とした。まゆ型構造は、横断方向に加えて縦断方向にもアーチ効果が発揮され、空洞の安定性を確保しやすい構造とした。また、三次元逐次掘削解析により支保の応力集中位置を特定して、限定的に支保のランクアップを行い、工程の短縮を図った。

3. 三次元逐次掘削解析による支保設計

三次元逐次掘削解析により交差部の安定性を確保する支保仕様を設定した。交差部周辺の地山等級は事前に実施した地質調査から DI 一様岩盤と仮定し、表-1 に示す物性値¹⁾を用いた。解析モデルを図-3

に示す。モデル上端には、交差部の土被り 95m 相当の上載荷重を作用させた。支保工は鋼アーチ支保工と吹付けコンクリートを等価剛性シェル要素でモデル化し、表-2 に示す物性値を与えた。なお、両部材は剛性比を用いて別個に評価するが、鋼アーチ支保工と吹付けコンクリートは一体化して施工されるため、鋼アーチ支保工が降伏した場合でも、壊れることなくトンネルの変形に追従し、土圧がさらに増えれば鋼アーチ支保工に

キーワード 山岳トンネル、三次元 FEM 解析、トンネル交差部、計測管理、大断面

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL03-5544-1111

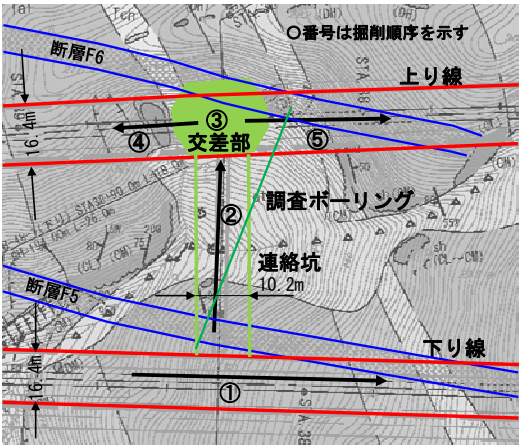


図-1 上り線本坑ー連絡坑交差部と断層の位置関係

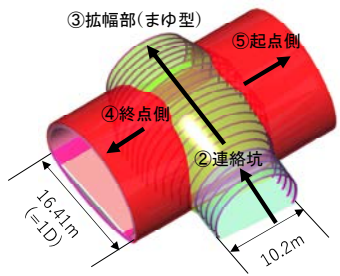


図-2 まゆ型交差部の鳥瞰図

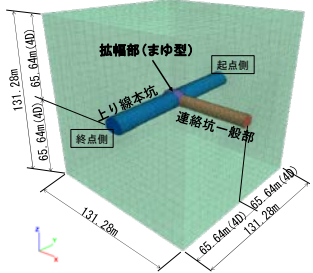


図-3 三次元解析モデル図

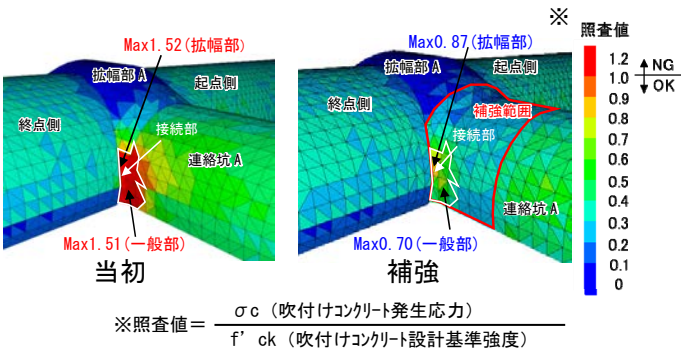
表-1 地盤物性値¹⁾

岩級	変形係数 E (kN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	初期 ポアソン比	最終 ポアソン比	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 Φ (deg)
D I	500,000	22	0.35	0.48	400	35

表－2 等価剛性シェルの物性値

	対象	吹付けコンクリート				鋼アーチ支保工					
		厚さ t _c (m)	変形係数 E _c (kN/m ²)	断面積 A _c (m ²)	軸剛性 E _c A _c (kN)	仕様	変形係数 E (kN/m ²)	断面積 A (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)	軸剛性 EA (kN)	曲げ剛性 EI (kN/m)
一般部	上り線本坑	0.2	6.00E+06	0.2	1.20E+06	HH-154	2.10.E+08	4.72.E-03	2.00.E-05	9.91.E+05	4.20.E+03
	拡幅部A	0.2	6.00E+06	0.2	1.20E+06	HH-154	2.10.E+08	4.72.E-03	2.00.E-05	9.91.E+05	4.20.E+03
補強部	連絡坑A	0.1	6.00E+06	0.1	6.00E+05	HH-100	2.10.E+08	2.16.E-03	3.78.E-06	4.53.E+05	7.94.E+02
	連絡坑B	0.4	6.00E+06	0.4	2.40E+06	2×HH-100	2.10.E+08	8.32.E-03	7.56.E-06	1.98.E+06	8.40.E+03
	拡幅部B	0.4	6.00E+06	0.4	2.40E+06	HH-200	2.10.E+08	6.55.E-03	4.78.E-05	1.38.E+06	1.00.E+04

等価剛性シェルの物性値						
対象	軸剛性 K _n	曲げ剛性 K _b	等価 弾性係数	等価 厚さ	単位 体積重量	
	(kN/m)	(kN/m ²)	E _{eq} (kN/m ²)	t _{eq} (m)	γ _{eq} (kN/m ³)	
一般部	上り線本坑	2.19E+06	4.20.E+03	1.44.E+07	0.152	32.7
	拡幅部A	2.19E+06	4.20.E+03	1.44.E+07	0.152	32.7
補強部	連絡坑A	1.05E+06	7.94.E+02	1.11.E+07	0.095	26
	連絡坑B	4.38E+06	8.40.E+03	4.36.E+07	0.076	125.4
	拡幅部B	3.78E+06	1.00.E+04	2.11.E+07	0.179	54.2



図－4 吹付コンクリート応力の照査結果（接続部）

変わり吹付けコンクリートが負担すると考えられる²⁾。鋼アーチ支保工の応力が許容値を超過した場合、超過応力を吹付けコンクリートに作用させ、その上で吹付けコンクリートに発生する応力が設計基準強度（ $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$ ）を下回る支保仕様を選定した。三次元掘削解析により、まゆ型構造の交差部構築後に上り線本坑を掘削すると、図－4に示すように接続部で応力が集中して、当初仕様では設計基準強度を超過したため、図－5に示す範囲の支保補強を行った。この結果、吹付けコンクリートに発生する応力は設計基準強度を下回り支保の健全性が確保できる結果となった。

4. 計測管理

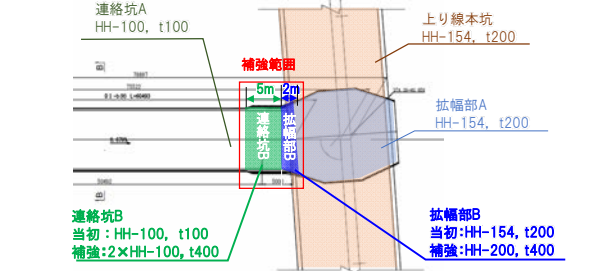
解析結果において最も応力が集中する接続部（図－4 参照）にて吹付コンクリート応力を計測し、支保仕様の妥当性を確認した。なお、計測位置は図－6に示す5か所とした。解析結果より最も応力の大きい領域に近い計測位置 T5 における吹付けコンクリート応力の解析値と実測値を図－7に比較した。拡幅部の掘削段階で T5 の吹付コンクリート応力が予測解析値を超過したが、本坑の掘削開始後は、実測値が解析値よりも小さい値で推移している。これは解析の想定よりも交差部近傍の地質が良質であったためと考えられる（写真－1）。図－7より吹付けコンクリート応力が収束していることから、交差部の安定性は維持されていると判断できる。

5. おわりに

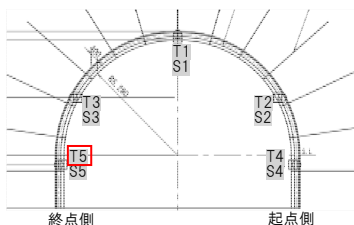
本稿では本坑と連絡坑の交差部をまゆ型構造とすることでトンネル施工の合理化が実現できた。本稿が類似工事の参考となれば幸甚である。

参考文献

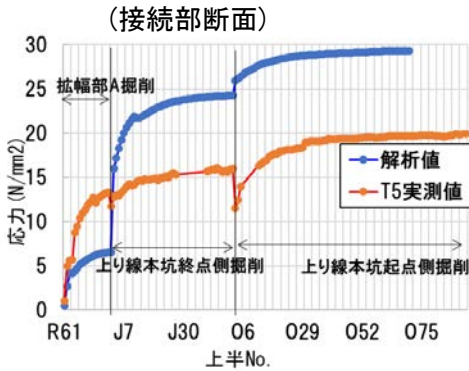
- 1) 株式会社高速道路総合技術研究所：技術資料 トンネル数値解析マニュアル、2017.
- 2) 北村ら：鋼製支保工の降伏時における剛性低下を考慮した支保設計事例と妥当性の検証、第48回地盤工学研究発表会、2013.7.



図－5 トンネル交差部に適用した支保構造の概要



図－6 計測位置図



図－7 掘削位置と吹付コンクリート応力の関係



写真－1 起点側本坑掘削時の施工状況