

地中梁式門型支保工を用いた山岳トンネルの交点部の設計・施工

飛島建設 土木本部 土木技術部 正会員 ○ 安 素賢

飛島建設 東北支店 土木部 神田 裕一

飛島建設 東北支店 土木部 寺島 巧

飛島建設 土木本部 土木技術部 正会員 熊谷 幸樹

1. はじめに

長大トンネル工事では、作業坑から本坑へ交点部を介して接続してトンネル工事が施工されることがある。この場合、トンネル周辺地山と支保工の安定性に以下に示すような問題が発生するリスクがある。①掘削面積が大きくなるため、切羽の安定性が低下しやすい。②交点部周辺では、応力再配分による応力集中が生じ、支保工の安定性が低下しやすい。③先行する作業坑の支保工の一部を撤去し、後行となる本坑の掘削および施工が行われるため、作業坑の支保構造が不安定な状態になる。本稿では、地中梁式門型支保工を用いて作業坑と本坑が斜交する交点部を施工する場合の施工方法と設計事例について報告する。

2. 分岐部の影響範囲と支保パターン

先行となる作業坑と後行となる本坑が交差する地山では互いに影響を及ぼし合い、作業坑や本坑の開口部が弱部となりやすいため、交点部周辺地山や支保工を補強する必要がある。影響を及ぼし合う範囲は交差角度に支配され、その影響範囲を図1に示す。この範囲では、地山条件から設定された支保パターンより重い支保工が施工されることが多い。

交点部の地山物性値は、作業坑の施工実績（坑内変位）を指標に行った逆解析より、変形係数を $E=1,000\times 10^3\text{ kN/m}^2$ 相当の I_{N-1} パターンに設定する²⁾。図2に I_{N-1} のパターン図を示し、その仕様を表1に示す。

図1の着色部で表される補強範囲は、 I_{N-1} パターンよりも支保の仕様が重い支保工である I_{S-1} を施工する。補強範囲の I_{S-1} パターンを図3と表2に示す。

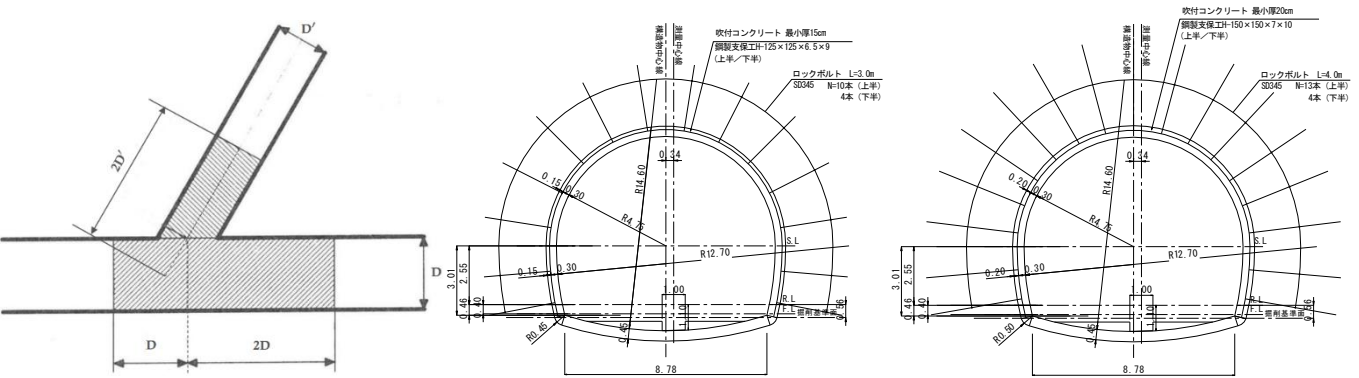


図1 支保工の影響範囲（交差角度 60° ）

図2 I_{N-1} 支保パターン図

図3 I_{S-1} 支保パターン図

表 2 本坑の支保パターンとその仕様		
支保パターン	支保部材	仕様
I_{N-1}	吹付けコン	$\sigma=18\text{N/mm}^2$, $t=15\text{cm}$
	鋼製支保工	SS400, H-125
	ロックボルト	D22, $L=3\text{m}$, 14 本

表 3 本坑の補強パターンとその仕様		
支保パターン	支保部材	仕様
I_{S-1}	吹付けコン	$\sigma=36\text{N/mm}^2$, $t=20\text{cm}$
	鋼製支保工	SS400, H-150
	ロックボルト	TD24, $L=4\text{m}$, 17 本

キーワード 山岳トンネル, 交点部, 地中梁式門型支保工, ラチスガータ
連絡先 〒108-0075 東京都港区港南 1-8-15 W ビル 4F
飛島建設 土木本部 土木技術部 TEL 03-6455-8328

3. 地中梁式門型支保工の仕様と特徴

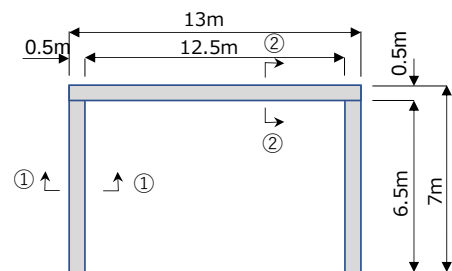
交点部の施工が完了するまで弱部となる開口部は門型支保工で支持する設計思想とする。門型支保工は、地中にユニット化した鉄筋（ラチスガータ）と吹付けコンクリート（高強度配合、 $\sigma=36\text{N/mm}^2$ ）による地中梁式の支保工である。本坑開口部の支保工を仮受けする斜坑部内の門型支保工を地中梁構造として周辺地山と一体化させて地山拘束（地盤反力）を最大限に発揮できる形式となる。地中梁式による門型支保工のメリットとしては、①地山拘束効果を活用でき、経済的な仕様とできる。②交点部に進入する先行トンネル断面の加背を小さくでき、切羽の安定性確保と交点部本坑支保形状においてアーチ形状が保たれ、交点部全体の安定性が向上する。③ラチスガータと吹付けコンクリートを施すだけで門型支保工が構築でき、安全面・施工面、工程において有利である。等が考えられる。図4に門型支保工の構造図を示す。

4. 交点部の施工手順

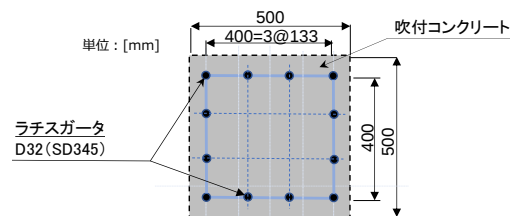
施工手順を図5に示す。①作業坑を交差角度 66° で本坑に向かって進める。本坑に最も近い13基は斜め支保工とする。②小断面にて本坑東方へカーブしながら本坑部へ進める。③小断面から本坑断面にすり付ける。④東方へ進める。⑤③の本坑断面すり付け区間を拡幅しながら進み、作業坑の本坑側接続部に門型支保工を設置する。⑥②のカーブ部を撤去しながら本坑断面で切抜けて西方に向けて掘削する。本坑支保工の作業坑側は門型支保工の上面で支持する。⑦交点部の施工完了後、門型支保工を撤去し東方へ掘削する。

5. 3次元FEM解析による交点部の安定性の検討

全区間をミニベンチカット工法でモデル化したFEM解析より予測解析を行った。解析にはMIDASのGTS NX (v330)を用いた。解析モデル（支保工のみ表示）を図6に示し、解析結果を図7と図8に示す。変位量に関しては、計測遅れを考慮しない全変位である。予測解析の結果、門型支保工は有効に機能し、交点部の支保工は、交点接続部の一部で応力集中に起因した高い応力が発生するものの、それ以外の大部分の領域は設計基準強度の60%以下の応力レベルであることが分かる。よって、施工に際しては、特に交点接続部の坑内変位と支保工応力に着目した計測を行い交点部の地山と支保工の安定性を確認することとした。



地中門型支保工(門型地中梁)



① - ①断面、② - ②断面

図4 門型支保工の構造

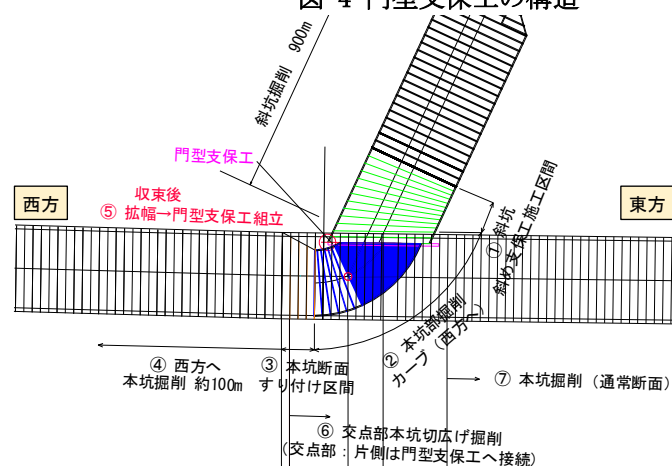


図5 施工手順図(平面図)

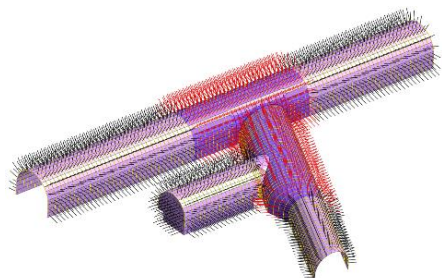


図6 解析モデル図

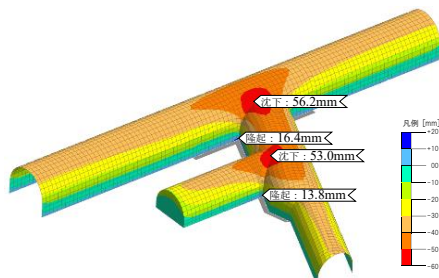


図7 鉛直変位分布図

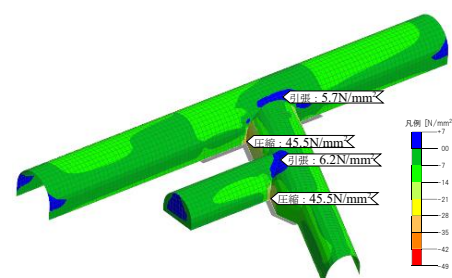


図8 吹付け応力分布図

参考文献

- 1) 社団法人日本トンネル技術協会：現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト，2005年。
- 2) (独) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008年。