

高速道路交差部の NATM 対策工選定に関する解析手法の提案

鉄道・運輸機構 大阪支社 工事第二課 課長 正会員 依田 淳一
 北陸新幹線建設局 工事第一課 係長 正会員 魚津 宗
 北陸新幹線建設局 飯山鉄道建設所 所長 正会員 都築 保勇
 主任 正会員 藤本 浩志
 戸田・フジタ・アイサワ・藤森特定建設工事共同企業体 正会員 奥原 久範

1. 目的

北陸新幹線高丘トンネルは長野県北部の長丘丘陵を縦断する全長 6,918mのトンネルである。当トンネルは上信越自動車道と土かぶり約 15m（盛土部：約 7m、地山部：約 8m）で交差する。実質的な土かぶりが約 8mであるため、トンネル掘削に伴う上信越自動車道への影響が懸念される。

本報告は、施工に伴う影響を抑制するための NATM 対策工の選定に伴う解析手法の提案である。

2. 地質概要

上信越自動車道交差部の地質は、トンネル SL 上部においては第四紀更新世後期の南郷層、SL 下部では第四紀更新世中期の豊野層となっており、部分的に帯水砂層を挟んでいる。（図 - 3）一軸圧縮強度は、交差部のトンネル終点方（高崎起点 132 k 300m 付近）で南郷層が 0.15 ~ 0.30MPa、豊野層が 0.60 ~ 1.10 MPa と小さくなっている。

3. 管理限界値の設定

トンネルと交差する上信越自動車道の管理限界値については、上信越自動車道の安全な走行を確保するため、「近接施工技術総覧」（1997.3 近接施工技術総覧編集委員会）を参考として、道路管理者と協議の上、地表面沈下量 50mm、沈下勾配 10/1000rad とし、トンネル掘削による地表面沈下量の管理目標値を 30mm とした。

4. NATM 対策工の選定

上信越自動車道交差部は、トンネル掘削に伴う地山の緩みや沈下の抑制が大きな課題であった。特に上信越自動車道部分の盛土体（H=約 7m）は、トンネルへの上載荷重となることが懸念された。したがって、天端防護とともに、盛土による上載荷重を確実に支持することが必要であると判断した。検討の結果、トンネル掘削に先立ち、トンネル周辺地山内に高剛性の鋼管群を形成して地表面沈下を抑制することができるパイプルーフ工法を採用した。

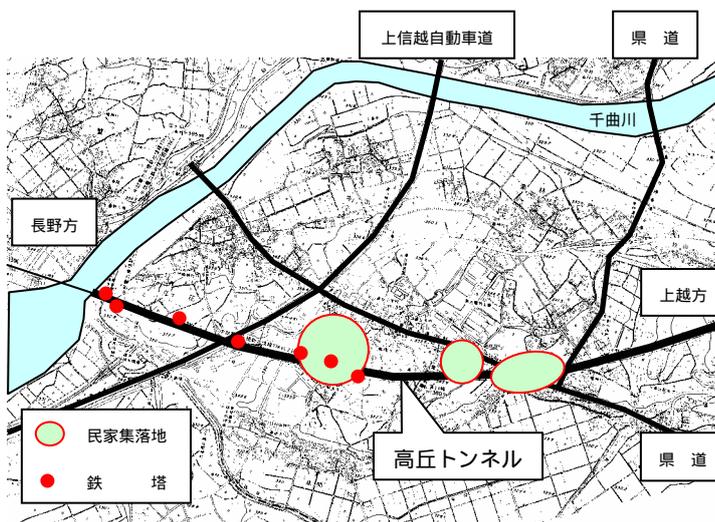


図 - 1 位置平面図

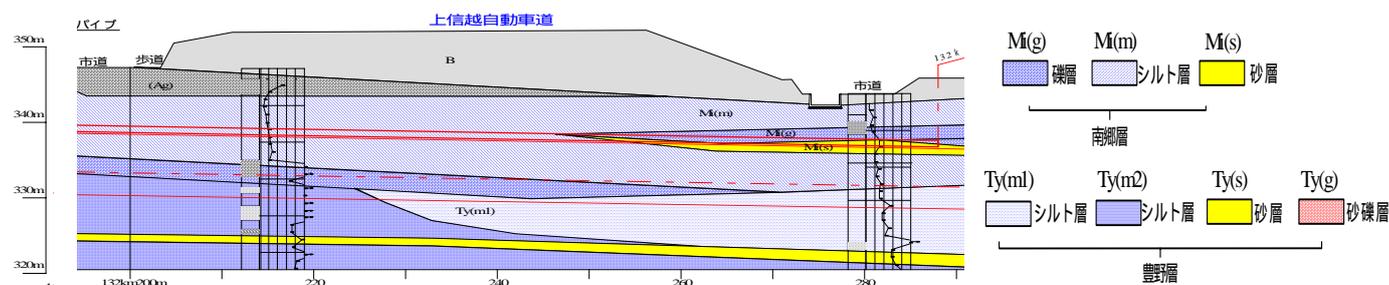


図 - 2 地質縦断面図

キーワード パイプルーフ工法、2次元 FEM 解析

連絡先 〒389-2253 長野県飯山市飯山 1071-2 (独) 鉄道・運輸機構 飯山鉄道建設所 TEL 0269-62-1435

5. 地表面沈下量の予測

パイプルーフによる地表面沈下抑制効果を検証するため、パイプルーフの縦断的梁効果を取り込んだ2次元FEM解析にて地表面沈下量の予測を実施した。

(1) 弾性床土上の梁モデルによるパイプルーフの沈下量予測

パイプルーフ縦断的梁効果は、弾性床土上の梁モデルにて検証した。梁モデルでは、パイプルーフを梁、トンネル支保工と未掘削区間をそれぞれ弾性床(バネ)にモデル化し、上半掘削完了段階の沈下量を推定した。トンネル支保工区間のバネ値は、トンネル横断方向(上半断面)を平面骨組モデル化し、鋼製支保工と吹付コンクリートの合成部材に単位荷重を載荷することで得られる天端変位量によりトンネル支保工のバネ値を設定した(図-3)。未掘削区間のバネ値は、地質データより得られた地盤バネを設定した。

沈下量はパイプルーフ中央部において、単位長さ(1m)掘削時の各点の沈下量の逐次累積して算定した。その結果、累積沈下量は31.0mmとなった(図-4)。この結果は縦断的梁効果を考慮した沈下量と考えられるので、トンネル上半掘削完了時の天端沈下量にフィッティングすることとした。

(2) 2次元FEM非線形弾性解析

2次元FEM解析の力学モデルは当工区の過去の実績より非線形弾性解析を採用した。非線形の定式化は「破壊接近度による非線形モデル」(日本鉄道建設公団 NATM設計施工指針)によった。地質年代に伴う地山の種別は、固結度の高い豊野層を軟岩、固結度の低い南郷層を土砂の扱いとした。初期変形係数等の地盤物性値は、調査ボーリングデータ等の分析から、N値をパラメータとして推定した(表-1)。

(3) 掘削パターンの選定

上記の2次元FEM解析により4パターンの比較解析を行い、結果は図-6となった。管理目標値内に収まる掘削パターンの内、経済的であるBパターンを選定した。

6. まとめ

本報告では、トンネル縦断方向の効果をとり込んだ2次元FEM解析手法を提案した。更に、この解析手法によってNATM対策工法の選定を行った。今後は地表面計測による管理を行いつつ、安全に留意しながら施工完了を目指したいと考えている。

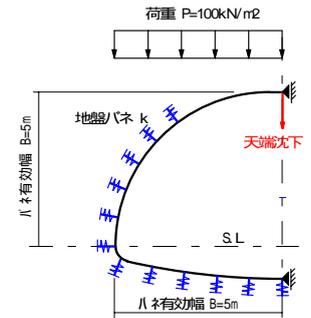


図-3 支保工バネ値算出モデル

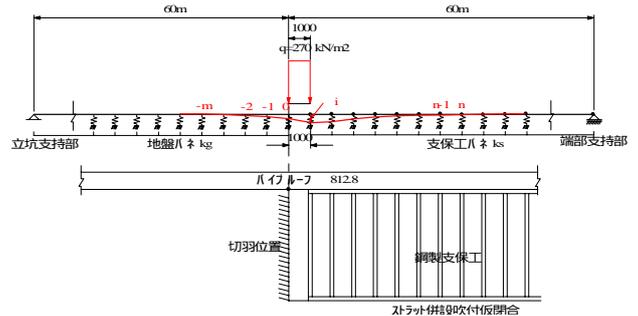


図-4 梁モデル

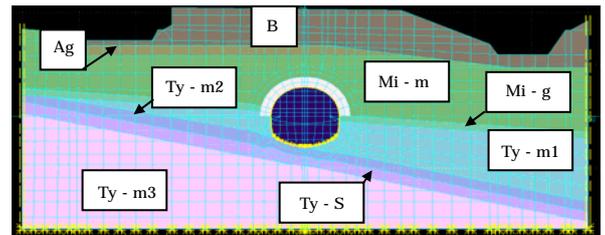


図-5 FEM解析モデル

表-1 地山物性値

地盤種類	初期変形係数 (kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (度)
B	7,000	30	25
Ag	18,000	7	12
Mi-m	10,000	52	10
Mi-g	169,000	27	40
Ty-m1	26,000	99	20
Ty-m2	59,000	150	40
Ty-s	96,000	25	40
Ty-m3	46,000	144	36

表-2 支保部材物性値

部材	仕様	弾性係数 (kN/m ²)
合成部材	吹付+支保工	8.5 × 10 ⁶
上半仮イバート	t = 300mm	3.4 × 10 ⁶
下半吹付イバート	t = 200mm (H-200ストラット)	3.4 × 10 ⁶
パイプルーフ	812.8mm	25.0 × 10 ⁶

解析モデル	Aモデル	Bモデル	Cモデル	Dモデル
掘削パターン				
解析結果 (地表面沈下量)	2mm	27mm	56mm	45mm

図-6 解析結果