

山岳トンネルにおける長尺先受け工法を用いた低土被り部掘削に関する一考察

戸田・アイワ特定建設工事共同企業体 正会員 中崎 一志

はじめに

鳥取自動車道利神山トンネル工事では、最小土被り 4.6m 箇所を含む、土被り 1D(D:トンネル掘削幅)以下の区間が約 85m 形成されている。筆者は、この極めて小さな土被りに対し、FEM弾塑性解析を用いて地山の限界ひずみに着目した安定性の評価を行い、長尺鋼管先受け工法がもっとも有効であるとの結論を得た。ここでは、解析的検討内容と実施工での成果を対比して、低土被り部で有効であった設計・施工法について報告する。

1. 当該区間の地形・地質的問題点

図-1 に当該部のトンネル地質縦断面図を示す。最小土被り 4.6m 箇所を含む土被り 1D 以下の区間が 85m 形成され、その一部には低速度帯が確認されている。主要地質は、中生代白亜紀生野層群の安山岩や流紋岩及び凝灰角礫岩で構成され、上位より崖錐層(D)、風化層(CL)、弱風化層(CL~CM)、健岩層(CH)で構成されている。表-1 にボーリング調査により得た地山物性値を示す。

2. 解析・検討方法

トンネル周辺から上部に位置する弱層部の掘削に伴う地山挙動を、応力の変化に伴う塑性的な挙動として捉えることがその安定性評価の上で有効であると考え、「FEM(二次元弾塑性)解析」を解析手法として採用した。予測沈下量は、式(1)によって地盤のひずみに変換し、「直接ひずみ制御法」*により求めた管理基準値

(図-2)と照合し、施工時の安定性を検証した。※桜井春輔「トンネル工事における変位計測結果の評価法」土木学会論文集

直接ひずみ制御法では、対象岩盤の限界ひずみと周辺地山のひずみの比較により地山の安定性を判断する。

$$\varepsilon = \alpha / W \times 100 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 ε :地盤ひずみ α :天端沈下量最大値(mm)

W:トンネル上半の半径(mm)

$$\log \varepsilon_0 = -0.333 \log \sigma_c + 0.3735 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、 ε_0 :限界ひずみ(%) σ_c :岩盤強度(kgf/cm²)

3. 低土被り区間の検討

FEM解析の結果、1)トンネル天端の沈下に伴いトンネル直上土塊も沈下する。2)天端沈下量は 36~44mm、地表面沈下量は 24~29mm と大きい、脚部については基盤が風化の少ない堅硬層であるため沈下量は小さい。3)地盤ひずみは 0.62% となり、管理基準としては「嚴重注意体制」となる。(図-2)

以上より、トンネル断面は極めて不安定な状態になると判断された。

4. 低速度帯区間の検討

FEM解析による結果、1)トンネル天端沈下量は 20~26mm、地表面沈下量は 11~19mm となる。脚部についてはトンネル基盤が堅硬であるため沈下量は小さい。2)地盤ひずみは 0.37%(図-2)となり管理基準としては

表-1 地山物性値

岩級区分	深度 (m)	層厚 (m)	一軸圧縮 強度(MPa)	亀裂係数 (v/V) ²	準岩盤 強度(MPa)
D(崖錐層)	0.0~1.9	1.7	—	—	—
CL級	1.9~6.0	4.3	26.4	0.28	7.4
CL~CM級	6.0~8.9	2.9	31.0	0.54	16.6
CM~CH級	8.9~16	20以上	12.5	0.70	8.7

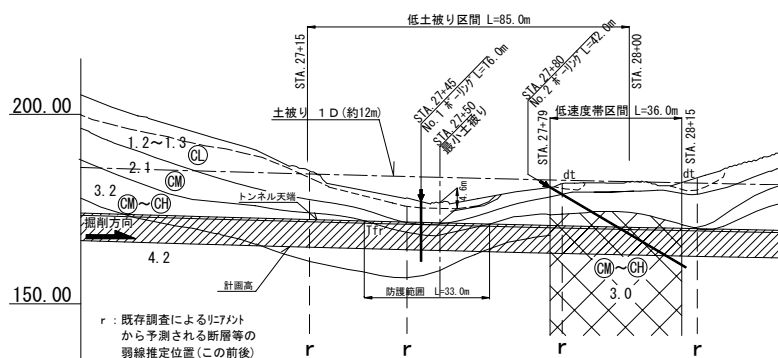


図-1 地質縦断面図

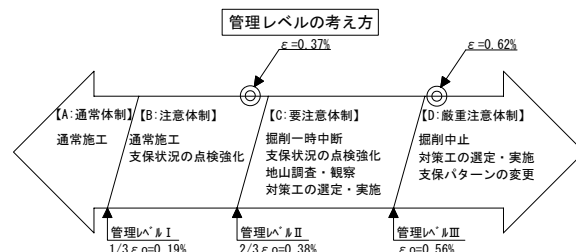


図-2 管理基準と地盤ひずみ

キーワード 低土被り, 限界ひずみ, 長尺鋼管先受け工法

連絡先 〒679-5342 兵庫県佐用郡佐用町宗行 86 鳥取自動車道 利神山トンネル作業所 TEL 0790-83-8880

「注意体制」となり、十分な監視を前提に通常施工が可能であると判断した。

5. 対策工の検討

低土被り区間では、多亀裂質の地山がブロック状に崩落することが考えられるため、天端での崩落を防止するとともに、地山の緩みを抑制する必要がある。ここでは、施工性・経済性・信頼性等を勘案し、剛性の高い芯材を用いた長尺鋼管先受け工法(AGF工法)が天端安定保持に最善の方法と判断した。

6. 長尺鋼管先受け工法の仕様と予測解析

- 1) 芯材の選定：外径・肉厚・打設間隔について、掘削時にトンネル断面の安定性が得られること条件に経済比較を行った。
- 2) 注入材の選定：芯材の間からブロック状の地山が抜け落ちて芯材の地山支持効果の低減が懸念されたため、想定される亀裂質地山への充填性と強度発現性の高い高分子系のシリカレジン注入材を選定した。
- 3) AGF工法の選定：今回採用する工法は、事前拡幅が不要で、地山の急変に即時対応が可能でサイクルタイムの短縮が図れる「無拡幅タイプのAGF-S工法」とした。(表-2)
- 4) AGFの注入効果を地山変形係数の向上として評価した予測解析では、無対策時に0.62%であった地山ひずみが0.25%にまで抑制され、地山の安定性が向上するものと想定した。

表-2 AGF-S工法の仕様

項 目	単位	AGF-S工法
AGF鋼管	mm	先頭・中間打設管 $\phi 114.3$ t=6.0 端部打設管(撤去管) $\phi 114.3$ t=3.5
鋼管打設ピッチ	cm	50
鋼管打設範囲(本数)	°	120 (23本/断面)
鋼管打設長	m	12.5 (鋼管長12.64m)
断面拡幅有無	—	無 (撤去管にスリット入り薄肉鋼管を採用)
ビットシステム	—	ロストビット鋼管先端部打撃推進型
注入材の選定	—	シリカレジン (高分子系)
注入量	kg/本	154 (地山改良径 $\phi 500$ mm)
主要機械	—	ドリルジャンボ (3ブーム、2ケージ) 注入ポンプ (max 15kg/分)

7. 対策工の施工範囲

多亀裂質で強い風化と破碎を受けているCL層と、これを支えるCM層を支持することにより地山の緩みを抑制できると考え、CM層がトンネル天端から断面内に出現する区間を防護範囲(最小土被り部を前後するL=33m区間)とし、AGFによりこれをカバーするため計4シフト(9.0m/シフト×4=36.0m)の施工とした。

8. 対策工の実施結果と解析値との比較

図-3に実施工における最小土被り部の計測結果を示す。地表面沈下、天端沈下とも切羽の進行に伴い変位

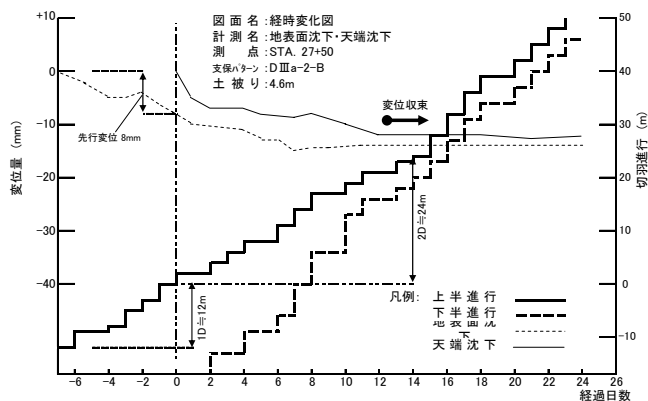


図-3 計測結果

が継続増加するが、切羽通過後の離れが2Dの時点で変位が収束している。また、地表面沈下では上半切羽通過時点までの先行変位は8mmとなり、1D手前より変位が始まっている。これらの変位は、対策工による防護

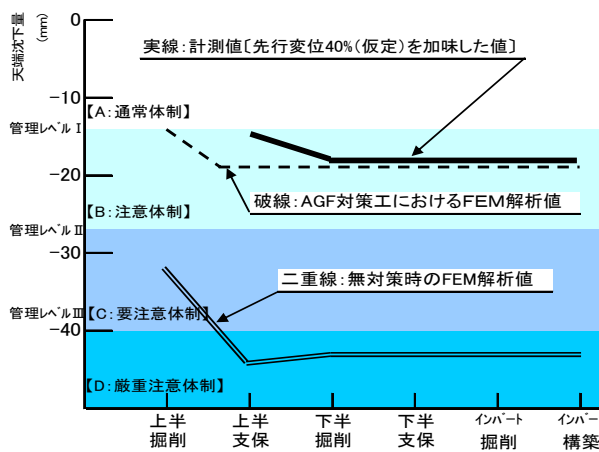


図-4 トンネル天端沈下対比(解析-実測)

範囲とほぼ一致する結果となった。また、AGF対策工による施工ステップ毎のトンネル天端沈下解析結果と、実施工による計測値を対比したところ最大変位についても一致する結果となった。(図-4)

従って、トンネル内空変位は、計測結果が示すように解析結果と同レベルの変位で収束し、トンネルの安定性を確保することができたと言える。

以上のことより、低土被り部での地山安定性評価において、弾塑性解析と地山のひずみに着目する手法が有効であると結論づけられる。

おわりに

近年、AGF工法の技術的進歩は目覚しく、種類も豊富で確実な実績を残している。今後も、低土被り部や地山の不安定区間においてAGF工法の採用が見込まれるが、ここでの手法を積極的に採用し、より確度の高い地山安定対策手法の確立をめざしたい。