

(VI-6) 中央構造線に近接した山岳トンネルの坑口部の施工について

(株)熊谷組 正会員 手塚 仁

1. はじめに

白地トンネル西坑口部は地滑り地帯に位置し、トンネル掘削にともなう地滑りの発生が懸念されたため、地表からの地滑り対策工として垂直縫地工、坑内からは注入式フォアボーリング、注入式ロックボルト、AGF工法等の補助工法を併用して掘削を行い、無事貫通することができた。この時の施工データをもとに3次元有限要素法によるトンネル掘削のシミュレーションを行い坑口部における垂直縫地工、坑内からの補助工法の有効性について検討を行ったので報告する。

2. 地質概要

白地トンネル西側坑口における地質構成は、上位より崖錐堆積物(移動土塊)、強風化砂岩泥岩互層(移動岩塊)、砂岩優勢泥岩互層(風化帯)、砂岩泥岩互層となっている。また、地下水が存在するためにトンネル掘削による地滑り発生の可能性が高く、地滑りによる偏土圧を受けることが予想された。現状では地滑り挙動は停止していたが、トンネル掘削によって地滑りが再発する可能性も考えられた。

3. 施工概要

白地トンネル西坑口付近は和泉層群の砂岩・泥岩互層の地質での掘削であり、とりわけ中央構造線が最も接近するために地山の状態が悪く天端、鏡の小崩落が頻繁に発生した。坑口から125m区間は坑口部での施工と位置づけてDⅢakパターンでの機械掘削を基本とし、計測データに基づき補助工法を追加しながら施工を行った。

(1) DⅢak (A) パターン

補助工法のないDⅢakパターンの掘削で、天端沈下・上半脚部の沈下量が50mmを超え、変位速度は低下しても収束が見られなくなったため、切羽で上半脚部への自穿孔ロックボルト(L=4m)を片側2本ずつ追加してパターン化した。

(2) DⅢak (B) パターン

DⅢak (A) パターンでも、天端沈下・脚部沈下が抑制できないため、上半脚部へ片側1本ずつのレッグボルトを加えてパターン化した。

(3) DⅢak (C) パターン

掘削を進めるのにしたがって、トンネルの天端沈下・上半脚部沈下の初期変位速度が速くなり、沈下量が増大傾向を示すとともに、地表面沈下量が、明らかにトンネルの影響と思われる挙動を示し始めた。また、切羽の自立性が低下して切羽崩落および天端の大規模な崩落が懸念されるようになった。これに対し、フォアボーリングをシリカレジンによる注入式フォアボーリング(L=3m)に変更し、切羽の安定のために自穿孔式GRPボルト(L=3m)による鏡ボルトを併用したDⅢak (C)パターンとして垂直縫地工施工範囲に到達するまで施工することとした。

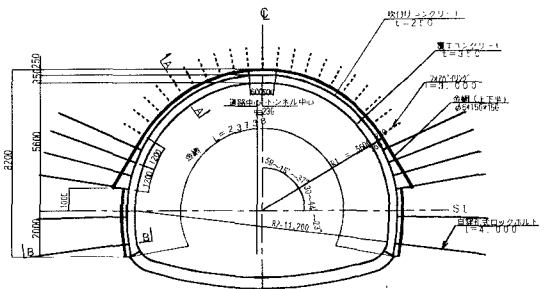


図-2 DⅢak (A) パターン図

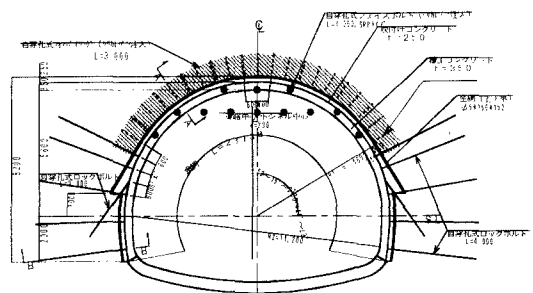


図-3 DⅢak (C) パターン図

キーワード：山岳トンネル、垂直縫地工、注入式フォアボーリング、3次元有限要素法

連絡先：〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1

TEL 03-3235-8622 FAX 03-3266-8525

(4) DⅢak (D) パターン

STA133+51.95 から垂直縫地区間に入るため、切羽の安定は確保できると判断しDⅢak (C) パターンの鏡ボルトなしのパターンで施工した。

(5) DⅢak (E) パターン

DⅢak (D) パターンを進めていくのにしたが再び天端沈下・上半脚部沈下が収束せず、これまでより速い変位速度を示す状況となった。地滑りへの影響を考慮し、トンネルが上部からの荷重によると思われる圧縮変形を起こし始めた。トンネル全周に注入式パターンボルト (L=6m) 16本を組み込み、上半脚部には注入式レッグボルト (L=3m) を片側1本ずつパターン化し、注入式フォアポーリング (L=3m)、注入式フェイスボルト (L=4m) を組み合わせDⅢak (E) パターンとして施工した。

(6) DⅢak (F) パターン

西坑口までは大きなすべり面と坑口の表層すべり面の2種類のすべりの発生が想定されたことから、坑口部の特殊区間として、トンネル上半の周囲はAGF工法、上半脚部にL=6.5mの鋼管を打設し高強度シリカレジン注入する脚部先行改良工法、鏡ボルト (L=4m) を組み合わせて掘削した。

4. 計測結果

DⅢak (A)、DⅢak (B)、DⅢak (C) パターン区間での天端沈下量は83mm~121mmである。これに対し、垂直縫地施工区間での天端沈下量は25mm~64mmであり、垂直縫地工、注入式フォアポーリング、注入式ロックボルトの効果が明確に見られる。また、地表沈下量についても、垂直縫地工の施工範囲外であるDⅢak (C) パターンの施工位置で121mm、垂直縫地工施工範囲内のDⅢak (D) で95mm、DⅢak (F) で36mmであり、天端沈下量と同様に対策工の効果が明確に見られる。

5. 掘削シミュレーション

坑口部での垂直縫地工、坑内からの補助工法の評価、およびトンネル掘削によるトンネルおよび周辺地山の挙動の解明を目的として、実施工に対して3次元有限要素法解析を用いて掘削のシミュレーションを行った。解析モデルを図-5に示す。

解析結果の一例として図-6に最終ステップにおける変位図を示す。最終ステップのDⅢak (A)、DⅢak (B)、DⅢak (C) 区間の天端沈下量の解析結果は50mm~68mmである。これに対してDⅢak (D)、DⅢak (E)、DⅢak (F) 区間の天端沈下量は30mm~36mmであり土被りの影響もあるが、明らかに垂直縫地工および坑内からの補助工法の変位抑制効果が現れていると言える。

6. まとめ

トンネル坑口部における対策工の効果を、実施工の計測結果と解析結果より明らかにすることができた。

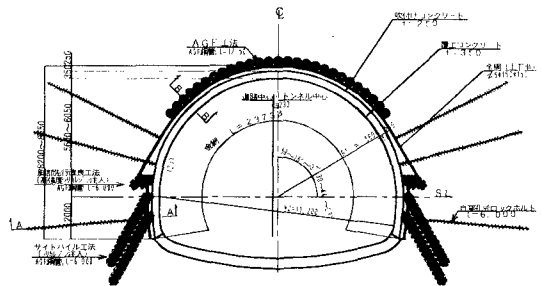


図-4 DⅢak (F) パターン図

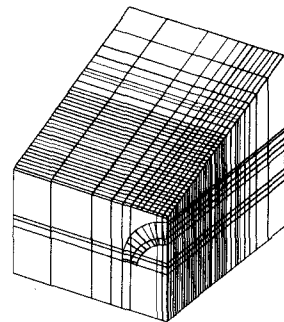


図-5 解析モデル

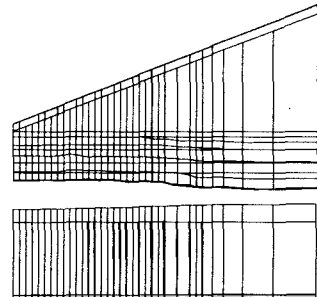


図-6 最終ステップにおける変位図