

大断面山岳トンネル工事における支保沈下対策について

国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 石井 保
 国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 平井 達也
 大日本土木(株) 大阪支店 豊岡道路戸牧(とべら)トンネル工事
 正会員○角田 英利 正会員 田中 智大

1. はじめに

戸牧(とべら)トンネルは、兵庫県豊岡市を起点とし丹波市に至る高規格幹線道路「北近畿豊岡自動車道(総延長約73km)」の一部を形成する豊岡道路区間のうち、豊岡市戸牧から同市佐野までの延長602.0mの山岳トンネルである(図-1)。北側坑口より122.75m区間は内空断面積119.2m²の拡幅3車線の大断面であり、土被りは1D以下の低土被り帯である(図-2)。この低土被り帯は崖錐堆積物に粘土層が狭在する軟弱層のため、坑口長尺鋼管先受け掘削後の支保工に不等沈下の兆候が確認された。本稿では大断面軟弱地山における沈下対策について報告する。



図-1 施工箇所

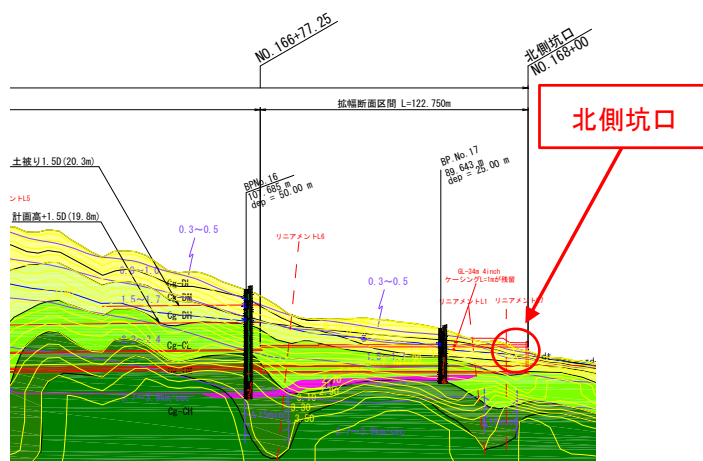


図-2 北側坑口縦断面図

2. 支保工の不等沈下

施工に先立ってFEM解析をおこない、低土被り帯において表-1に示す管理レベルを設定した。

坑口付け後、上半掘削を坑口から9mまで進めたところ、地表面での沈下変状が確認された。さらに掘削を進めたところ、地表面の沈下が管理レベルI(13mm)を超え、内空の天端においても変状が生じた。また、吹き付け面のひび割れ、ロックボルト用プレートの変形および坑口上部の法面吹付にひび割れの発生を確認した。

計測の結果、天端沈下16.7mm、内空変位+3mm、地表面沈下量23.2mmが観測され(図-3)、地表面沈下が管理レベルIIを超えていたため、今後の下半掘削において天端沈下も管理レベルIIを越えることが懸念された。

管理レベル	I以下	I~II以下	II~III以下	III以上
管理体制	通常体制	注意体制	要注意体制	嚴重注意体制
支保状況	安定	安定	やや不安定	不安定
対応	定時計測	切羽の状況の変化に注意	坑内観察の強化	掘削中止補助工の検討
管理基準値	地表面沈下	13mm以下	13~19mm	19~25mm
	天端沈下	26mm以下	26~38mm	38~50mm
		50mm以上		

表-1 計測管理レベル

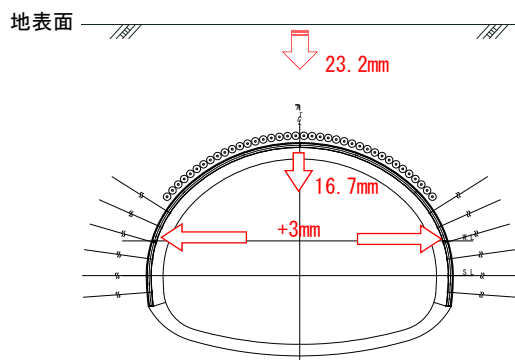


図-3 支保の変形状況

キーワード 低土被り, 沈下対策, FEM解析

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿6丁目16番6号 タツミビル 大日本土木(株) TEL03-5326-3941

3. 沈下対策の検討

上半掘削の状況から、今後施工の下半掘削時の変位抑制を図るため支保の沈下対策を講ずる必要があった。

沈下の原因として、脆弱な礫混じりシルトおよび上半右脚部に出現した粘土層の強度不足が考えられた。当該区間には、地表面沈下対策および天端対策として長尺鋼管先受けが施工されているが、追加対策として脚部付近の剛性向上に効果が高い「脚部補強ボルト」を選定した。

さらに、ロックボルトの変形や破断を防ぐ目的で、増しロックボルトを選定した（図-4）。

4. 3次元FEM解析による検証

今回の脚部補強ボルトにおける注入材の選定にあたっては、沈下挙動の再現解析による数値解析を実施し、対策工の効果を検証した。解析モデルは終点側の地表面沈下が大きく発生している断面付近を対象とし、トンネル軸方向に延長した簡易的な3次元モデルとした（図-5）。また、施工段階において切羽に粘土層を確認したため、切羽観察写真を参照し粘土層の分布状況についてもモデル化し解析を行った（図-6）。

上半掘削までの天端沈下量、内空変位および地表面沈下量について解析結果と計測結果を比較した結果、概ね一致したことから解析モデルは妥当であると判断した。

上半掘削後の変位量について3次元FEM解析により推定をおこない、注入材として変位量が管理レベルⅢ以内に収まるシリカレジンを選定した。

5. 施工結果

大断面による上半掘削の変形を防止するため、下半掘削は1m毎（通常2m毎）の施工とし、計測強化を図り、脚部補強ボルトを併用しながら進めた結果、天端沈下および内空変位ともに管理レベルⅢ以内での掘削を行う事ができた。

今回の検討結果を参照し、下半部においても上半で実施した「増しロックボルト」および「脚部補強ボルト」を行った。

なお、下半支保工にはYMウイングコーンを施工し、脚部支持面積の拡大により、インバート掘削時の沈下対策を行った結果、管理レベルⅢ以内での掘削ができた。

6. まとめ

不確定要素が多いトンネルでは、事前に与えられた情報だけでは判断できないことがあり、本工事を通じてトンネル内の情報の収集・検証およびフィードバックの重要性を改めて確認した。

今回の対策工については、発注者をはじめとする有識者の方々の助言をいただきながら行った結果、低土被り帯の大断面掘削区間を無事突破できました。関係者各位に感謝申し上げます。

参考文献

- ・トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，土木学会，2006
- ・山岳トンネルの補助工法—2009年度版—，土木学会，2009
- ・ウレタン系注入材に関する技術資料、ジェオフロンテ研究会、2004年11月

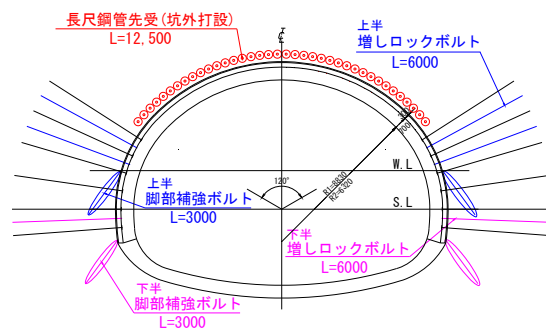


図-4 脚部ボルトによる補強工

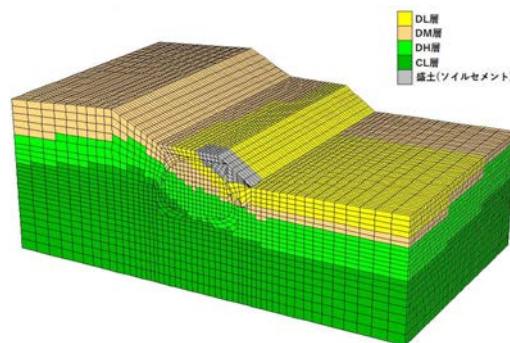


図-5 解析モデル

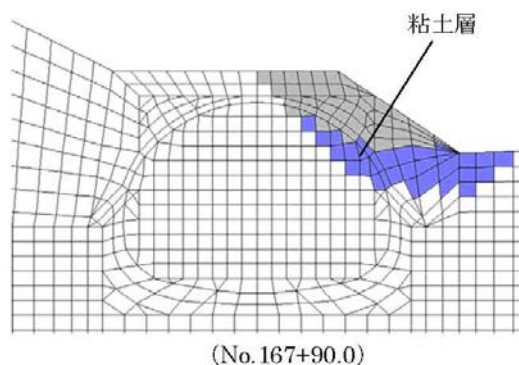


図-6 粘土層のモデル範囲