

数値解析によるトンネル掘削に伴う地下水の低下を考慮した地表面沈下量予測

山口大学大学院 学生会員 ○鈴木 健太

山口大学大学院 正会員 林 久資

山口大学大学院 フェロー会員 進士 正人

1. 目的

近年、補助工法の進歩や施工コストの低減などの理由から都市部においても山岳工法による施工事例が増加している。しかし、都市部のトンネルが掘削される地山条件の中には小土被りであったり、地表面に重要構造物が存在することもあり、地表面沈下に対して厳しい管理基準値が定められることも珍しくない。

例えば、広島高速道路1号福木トンネルは、最大土被り45mの小土被りでトンネル直上に変電所をはじめとした重要構造物が存在し、地下水位がトンネル天端25～30m上方の高い位置にある条件下でトンネル掘削を行うことが計画された。このトンネルは、トンネル掘削に伴い、大きな沈下が発生したことが報告されており、沈下の要因は、地下水位が低下することによって、地山の微細な割れ目が即時的に体積圧縮したためと考えられている。¹⁾

トンネル掘削に伴う地下水低下に起因する地表面沈下が大きいことが予測される場合は、ウォータタイト（非排水防水型）で設計施工が行われることがある。しかし、施工コストが高い上に、施工中は地下水位を下げる必要がある。そのため、トンネル掘削による地下水低下にともなう沈下量の予測を設計段階において予測することが重要である。

そこで本研究では、トンネル掘削に伴って地下水が湧水として排出された場合の地表面沈下影響を把握することを目的とし、地表面付近に比較的軟質な盛土が分布している直下の硬質な地山をトンネル掘削する条件において、トンネル掘削による力学的影響およびトンネル掘削による排水に伴う地下水位低下を考慮した連成解析を用い、分析を行った。

2. 解析方法

本研究での検討は、有限差分法3次元数値解析コード(FLAC3D)を用いた。図-1に解析に用いたモデル図を示す。トンネルは半径5mの上半部半断面をモデル化

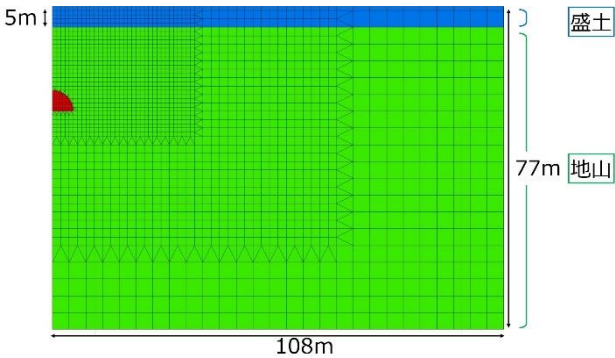


図-1 解析モデル

表-1 入力物性値

盛土	単位体積重量 (kN/m ³)	19.8
	弾性係数 (MPa)	0.4
	ポアソン比	0.35
	透水係数 (cm/s)	1.0×10 ⁻¹
	間隙率	0.44
地山	単位体積重量 (kN/m ³)	23.4
	弾性係数 (MPa)	106
	ポアソン比	0.35
	透水係数 (cm/s)	1.0×10 ⁻⁵
	間隙率	0.0074
地下水	単位体積重量 (kN/m ³)	10
	弾性係数 (MPa)	2000

した。解析領域は幅108m、高さ77mとし、地表面付近に5mの盛土層を設け、奥行き1mの2次元平面ひずみの挙動を呈するものとした。この盛土下の硬岩地山の力学モデルは弾性体としており、表-1に用いた物性値を示している。境界条件は、地表面以外をローラー固定とし、水理境界はモデル右端の間隙水压を固定した。解析手順は、まず、地山と地下水の物性を与え、初期応力解析を行った後に、トンネル掘削解析を実施した。また、トンネル壁面の間隙水压を0にすることで排水を再現し、これを24時間行った。

3. 解析結果および考察

トンネル掘削に伴う地下水低下を考慮するか否かに

キーワード トンネル、小土被り、地表面沈下、トンネル湧水、地下水

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院 創成科学研究科 進士研究室 TEL 0836-85-9332

よる地表面沈下量を把握するために、地下水を考慮しない全応力解析と考慮した連成解析で比較を行った。

図-2に地下水排水後24時間経過時のCLからの距離と地表面沈下量の関係を示す。この図より、全応力解析のCL直上の沈下量は10.5mmであるのに対し、連成解析のCL直上の沈下量は17.4mmと6.9mmの差異が生じた。これより、連成解析ではトンネルの掘削に伴う地山の応力再配分の影響だけでなく、地下水が排水されたことによる地山の沈下現象も考慮できていることがわかる。

次に、図-3に各ポイントにおける排水開始からの間隙水圧の推移を経時的に示す。この図より、トンネル壁面からの排水により、トンネル天端部の間隙水圧が徐々に低下し、約10時間経過後より一定値に漸近していることがわかる。一方で、盛土底面部では間隙水圧の経時変化はほとんどみられなかった。そこで図-4にトンネルCL上の間隙水圧について、排水前の初期状態と排水24時間後を比較した。比較点は地表面からの距離20m地点で、トンネル天端部にあたる。この図より、盛土下の地山ではトンネル掘削による間隙水圧の変化が見られ、地下水が排水している一方で、盛土部では排水前の初期状態と排水後の間隙水圧に変化が見られず、排水していない様子を確認できる。

これらの結果より、地表面付近は比較的軟質な盛土かつトンネルが掘削される地山は比較的硬質である条件においては、トンネル掘削によつての盛土部の地下水変動が限定的であることがわかる。

図-5に地下水の排水による沈下のみに着目し、地表面と盛土底面部の沈下量を示す。ここでは、地表面部と盛土底面部の沈下量がトンネルCLおよびCLから離れた地点においても大きな差異は認められなかった。すなわち、トンネル掘削により周辺地山の地下水が排水され、圧密現象が生じたことで盛土底面部が沈下した一方、盛土部の地下水排水は限定的で、圧密していないことがわかった。

この解析結果から、地表面付近には軟質な盛土が分布しかつトンネルが掘削される地山は比較的硬質である条件においては、空隙率の高い地山内の地下水位がトンネル掘削によって低下することで地表面沈下による諸問題が生じる可能性が示唆された。今後は、トンネル掘削によって盛土部の地下水が排水される条件における検討を行う予定である。

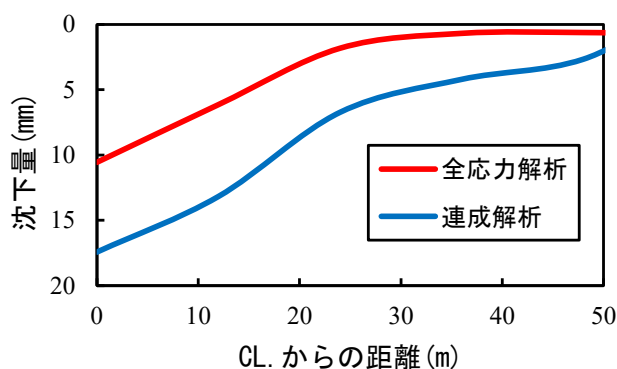


図-2 全応力解析と連成解析の比較

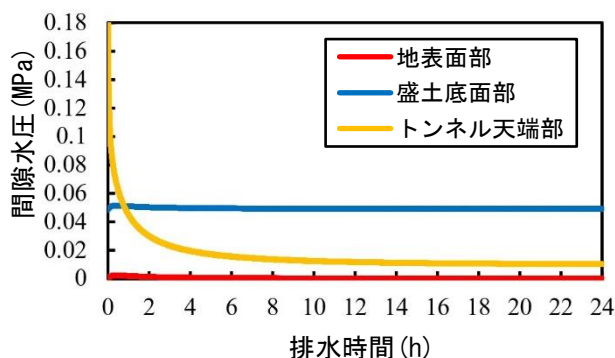


図-3 間隙水圧の推移

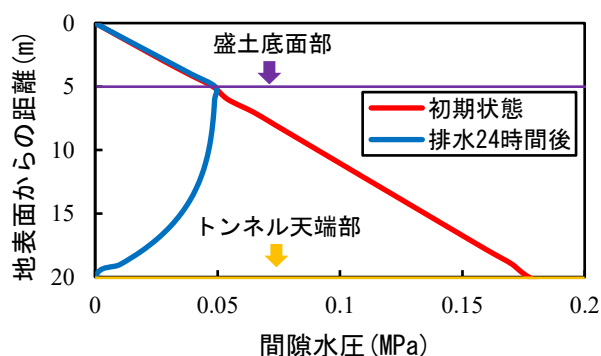


図-4 トンネルCL上の間隙水圧分布

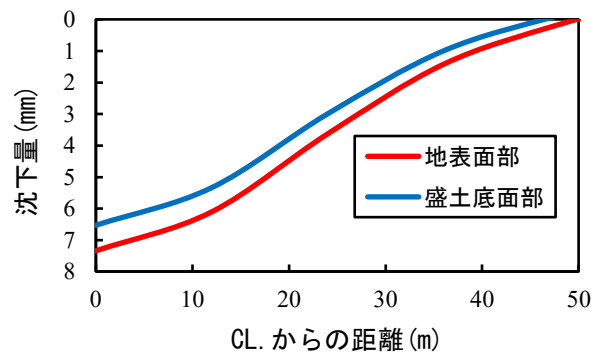


図-5 掘削面上の沈下量の推移

参考文献

- 1)土木学会：実務者のための山岳トンネルにおける地表面沈下の予測評価と合理的対策工選定，p178-179，2012.
- 2)鈴木隆次，中嶋悟，長野哲志，喜多治之：花崗岩中における物質移動経路としての微小間隙の存在状態，鉱山地質，39巻，218号，p349-354，1989.