

地下水位を考慮した切羽安定評価法の検討

鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 鉄道総合技術研究所
 パシフィックコンサルタンツ

正会員 飯田廣臣 磯谷篤実*)
 正会員 小西真治**)
 正会員 ○ 工藤 健 松長 剛***)

1. はじめに

現在施工中の東北新幹線三本木原トンネルでは、切羽安定を目的にディープウェルによる地下水位低下工法を用いているが、粘性土層上部の砂層における地下水位が十分に低下しないという状況が発生している。切羽断面内で粘性土層の位置が下がってくると、切羽が不安定となり、湧水を伴う切羽崩落が懸念される。

本検討では、剛塑性有限要素法を適用して切羽が不安定になる地下水位高さとの関係性を算定し、切羽と地下水位の位置関係を考慮した切羽安定の評価のためのノモグラムの作成し、東北新幹線三本木原トンネルの施工実績により検証を行った。

2. 検討方法

(1) 剛塑性有限要素法^{1),2)}

検討には、水圧を考慮した剛塑性有限要素法を用いた。

剛塑性有限要素法は塑性状態にのみ着目したもので、構造物全体が塑性流動しているものと仮定し、流れ則から導かれる応力のつりあい式を上界定理等を用いて解くことによって、速度場と破壊時の荷重強度を求めるものであり、以下のような利点がある。

弾性係数が不要である。塑性流動を表現できる。初期応力が不要である。

本検討では破壊規準には Mohr-Coulomb 則を、塑性ひずみ速度は $\dot{\epsilon} = 0$ 材料（Von Mises 型破壊規準）とした（非関連流れ則）。そして、自重と水圧を物体力として取扱った。

安定性の評価は地山が破壊する時の加速度 μg (g : 重力加速度, μ : 加速度比, 荷重係数) を剛塑性有限要素法で求めた。これは、トンネルを含む領域全体の遠心力載荷試験を行い、切羽破壊時の遠心加速度 μg を求めるのと同じことを行っている。ここでは、自重 d , γ のみならず間隙水圧 u も μ 倍される。以下 μ を荷重係数と呼ぶことにするが、これが切羽の安定性の尺度となる。 μ が 1 となる場合現実にも切羽崩壊が起こるものとし切羽の安定性を評価した。

(2) モデル化

本検討では粘性土より上部の砂層をモデル化し、解析領域は図-2 に示すように設定した。地下水位は切羽前方 20m 位置での地下水位（入力値）と切羽後方 1m 位置で足元高さを通る直線とした。このモデルに対し 切羽面における砂層厚さ、地下水位高さ、地山の粘着力と切羽崩壊の関係を調べ、切羽安定評価のためのノモグラムの作成した。

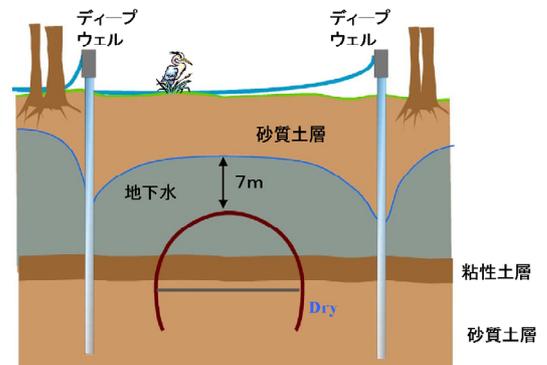


図-1 三本木原トンネル切羽状況概念図

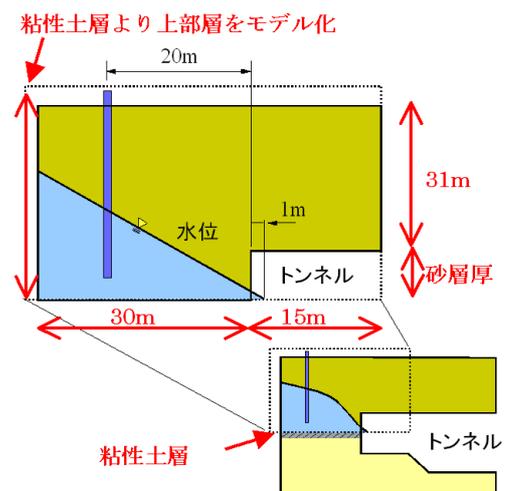


図-2 解析領域

キーワード：砂質地山、地下水位、切羽安定評価、剛塑性有限要素法

連絡先：*) 〒020-0034 盛岡市盛岡駅前通 1-41 TEL 019-626-9679 FAX 019-626-9642
 **) 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248
 ***) 〒163-0730 新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-1903 FAX 03-3344-1906

(3) 解析結果

結果の例として、図-3 に切羽崩壊時の相対的な変位速度の分布を示す。両ケースとも地盤の粘着力 $c = 10\text{kN/m}^2$ 、荷重強度 μ が 1 となる（現実の重力場で崩壊する）場合である。

地下水位が無い場合は、切羽に向かった鉛直方向の流れが目立つが、地下水位が高くなるに従って側方に流れる傾向が強くなるのがわかる。

4. 東北新幹線三本木原トンネルの施工実績

本検討の対象とした東北新幹線三本木原トンネルは、洪積台地を通過する延長 4,280m のトンネルである。対象となる地盤は、新第三紀鮮新世～第四紀更新世に堆積した洪積砂層であり、粘性土が介在する。また、地下水位が高く切羽安定を目的にディープウェルによる地下水位低下工法を行っている。

施工実績における切羽の安定性を表-1 に示す。表中の砂層厚は切羽面の粘性土層から天端までの砂層の高さを示す。また切羽前方 20m 位置における地下水位は観測井の地下水位高さより推定した。

5. ノモグラムによる切羽安定評価

施工実績データと本検討における切羽評価法との対比結果を図-4 に示す。粘性土が切羽全面に分布する断面 C では、施工時に確認された結果と同様に、切羽が安定状態にあるという評価となる。また、施工時に不安定と評価された断面 A は、本検討においても最も不安定な評価となった。

6. まとめ

剛塑性有限要素法により作成した切羽安定評価のノモグラムについて、実際の施工データにより検証したところ、よい整合が見られ本手法の有効性が確認できた。

今後は切羽面中央部に粘性土が出現する場合に対して、ノモグラムへ適用する砂層厚の設定方法を検討するとともに、互層切羽全面をモデル化し、粘性土に水圧を作用させないような解析手法についても検討を進める。

【参考文献】

- 1) 田村武, 足立紀尚, 小西真治, 辻鉄矢: 剛塑性有限要素法によるトンネル切羽の安定性評価について, 土木学会論文集, No. 638/Ⅲ-49, pp. 301-310, 1999
- 2) 小西真治, 朝倉俊弘, 田村武, 辻鉄矢: 粘性土層が介在する砂地盤の切羽安定評価について, 土木学会論文集, No. 659/Ⅲ-52, pp. 51-62, 2000

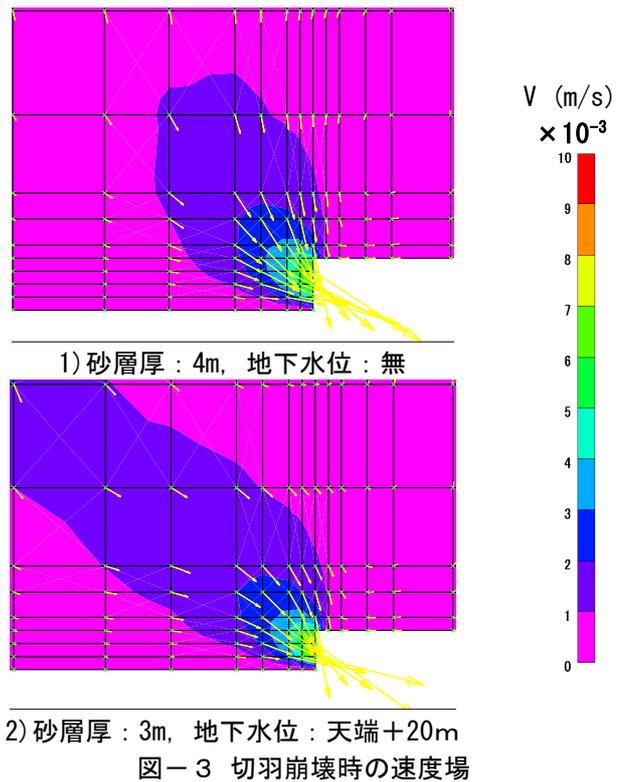


図-3 切羽崩壊時の速度場

表-1 施工実績データ

断面	地質	砂層厚	施工時の切羽の安定性	地下水位 (天端+:m)
A	砂質土	4.2	不安定	16.2
B	粘性土	3.2	やや不安定	9.9
C	粘性土	0	安定	6.7

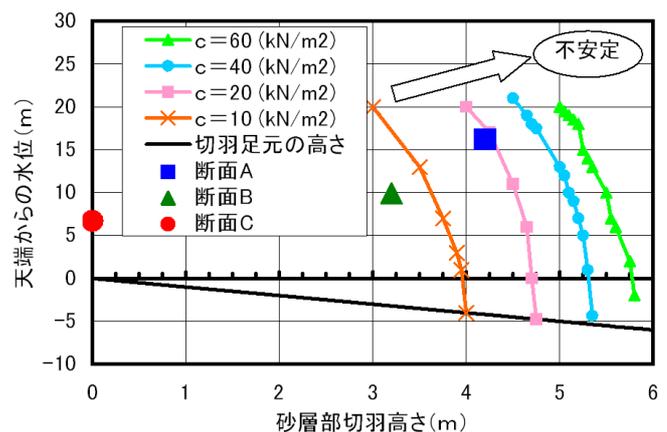


図-4 ノモグラムと施工実績データの対比