

トンネル切羽押し変位量予測手法の検討

大成建設株式会社 ○正会員 柳下 丈偉 正会員 大塚 勇
正会員 赤木 俊文 正会員 坂井 一雄

1. はじめに

山岳トンネル工事において、切羽の安定性を保つことは掘削作業の安全性を確保してトンネル構造物の安定化を図る上で重要である。切羽を含むトンネル周辺地山の安定性を評価する指標の一つとして、レーザ距離計や3Dレーザスキャナ等によって観測可能な切羽押し出し量がある。また、「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち防止対策に係るガイドライン」では、切羽押し出し量の計測は切羽監視責任者の目視での監視を補助するものとして位置づけられている。しかし、切羽押し出し変位量に定量的な管理基準値が定められた事例は少なく、押し出し変位量の計測・評価方法は今後検討の必要があると考えられる。そこで本報では、水平ボーリングより得られたコアから物性値を定め、切羽押し出し量の予測解析を実施した。3Dレーザスキャナによって計測された切羽押し出し変位量との比較・分析を行い、予測解析の妥当性を確認した。

2. 一軸クリープ試験と粘弾性物性値の設定

川上ら¹⁾によれば、切羽押し出し変位量はクリープに近い挙動を示すとある。そこで本報では、水平ボーリングコアの一軸クリープ試験を実施した。試験条件として、クリープ荷重は地山の初期鉛直応力 (1.7N/mm^2) ～ 切羽到達時の鉛直応力 (2.7N/mm^2) に設定し、供試体本数は各荷重で2本とした。また荷荷時間は、通常の掘削サイクルのうち切羽が自立する時間の概ね最大である72hとした(表-1)。図-1に時間-クリープひずみ関係を示しており、経過時間10h程度を境にひずみ速度が小さくなるクリープ挙動を示すことを確認した。

次に、図-2に示すような試験と同様の解析モデルを用いて試験結果の再現解析を行い、地山の粘弾性物性値を同定した。この際の力学モデルは、ばねとダッシュポットによりクリープ挙動が表現可能なBurgersモデル(図-3)とし、粘性パラメータに関しては試験結果と時間-ひずみ関係が平均的に合うよう物性値をパラメトリックに変化させることで同定した(図-1)。

キーワード 切羽押し出し変位, 粘弾性, 3Dレーザスキャナ

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 新宿センタービル TEL03-3348-1111

表-1 クリープ試験ケース

	クリープ荷重 (N/mm^2)	本数	荷荷時間 (h)
Case1	2.7	2	72
Case2	2.2	2	72
Case3	1.7	2	72

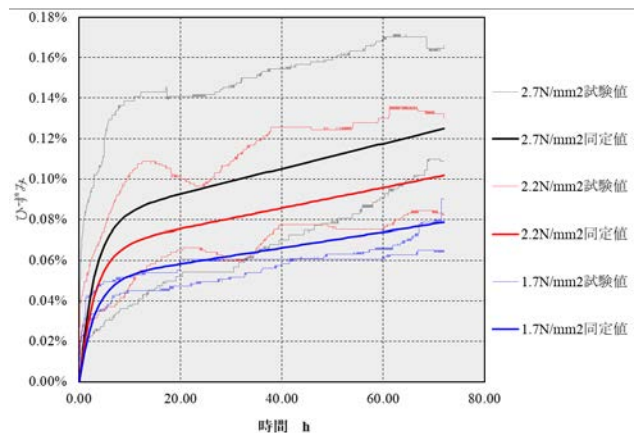


図-1 クリープ試験結果と物性値の同定

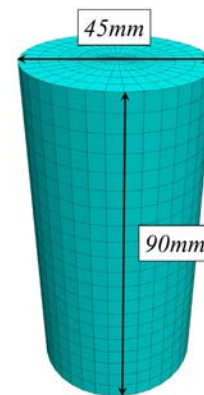


図-2 供試体モデル

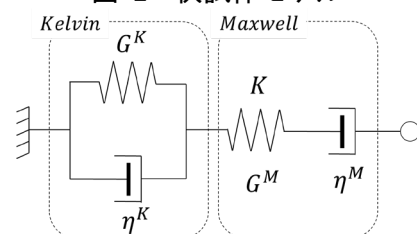


図-3 Burgers モデル

表-1 同定した地山物性値

K (kN/m^2)	G^M (kN/m^2)	η^M (kN/m^2)	G^K (kN/m^2)	η^K (kN/m^2)
1.24E+06	4.15E+05	1.45E+08	1.12E+06	3.50E+06

3. 三次元掘削解析による押し出し変位量の予測

同定した物性値を適用した三次元掘削解析により、切羽押し出し変位量の予測を行った（解析コード：FLAC3Dver6.0）。図-4に三次元掘削解析で用いた三次元地質モデルを示す。モデル化区間内には3層の地層が存在し、水平ボーリングによりコアを取得した対象断面では、トンネル周辺には主に凝灰岩・泥岩互層が出現することが予測された。よってトンネル周辺の凝灰岩・泥岩互層には、前章同定した物性値を適用した粘弾性モデル、他2層に関しては、事前に実施したA計測結果の逆解析によって同定された弾性モデルを用いた。解析ステップは実施工と同様上半先進ベンチカット工法とし、弾性解析にて掘削と支保部材設置を繰り返し、対象断面位置まで到達後、粘弾性解析を実施した。また、3Dレーザスキャナによる切羽押し出し変位量の計測は、図-5に示すように掘削後30分程度後に切羽面の初期座標値を計測し、掘削完了後5時間程度後に再度切羽面を計測することにより、その差分を切羽押し出し量と評価した。

図-6に対象断面切羽中央部の押し出し変位量と切羽離れ・経過時間の関係を示す。1サイクル6.0時間とすると、全変位-15.9mmのうち、切羽到達時の変位は-10.0mmであり、計測可能な変位は-4.5mmの結果となった。また図-7に断面内の押し出し量分布を示すが、切羽中央部付近で最大変位となる結果となった。

最後に、予測解析と実際計測された押し出し変位量とを比較すると（図-7、図-8）、計測値は局所的に変位が分布する傾向となり、全体としては解析値より小さい結果となったものの、最大値は解析値とほぼ同等となり、概ね変位傾向を再現できたと考えられる。

4. まとめ

本報では、水平ボーリングより得られたコアから物性値を定め、切羽押し出し量の予測解析を実施した。3Dレーザスキャナによって計測された切羽押し出し変位量との比較・分析を行い、予測解析の妥当性を確認した。今後は、適切に切羽の状態を評価できる管理手法の検討が必要であると考えられる。

参考文献

1)川上 純, 池田 宏 大里 祥生, 安全管理のためのトンネル切羽の変位計測, トンネル工学研究論文・報告集, Vol. 6, pp. 257-262, 1996.

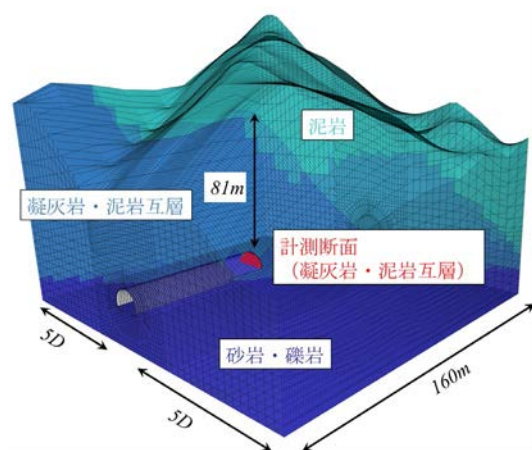


図-4 三次元地質モデル図

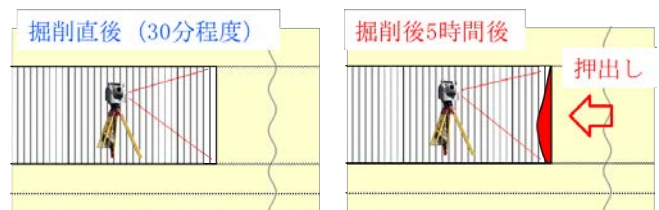


図-5 3Dレーザスキャナによる計測

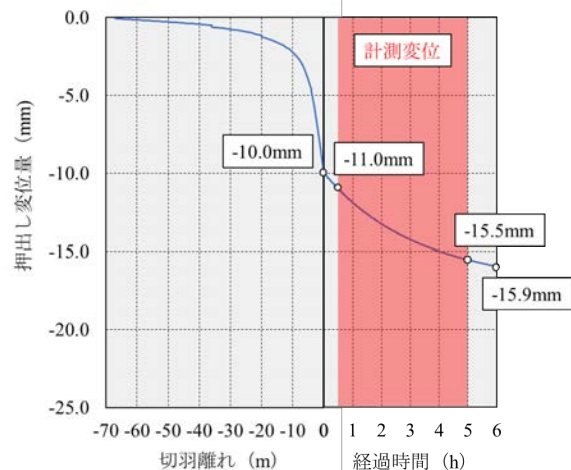


図-6 押し出し変位と切羽離れ・経過時間の関係(解析)

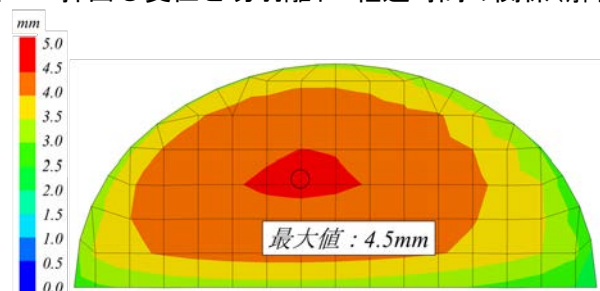


図-7 断面内の押し出し量分布(予測解析)

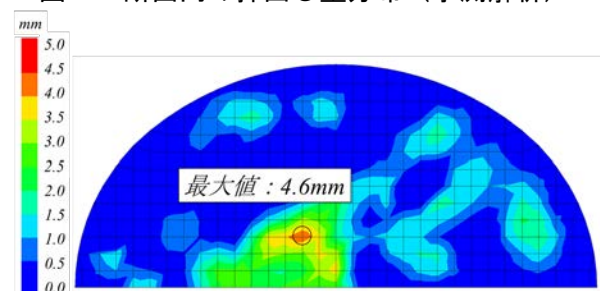


図-8 断面内の押し出し量分布(計測値)