

膨張性地山におけるトンネル構造物の変形挙動に関する一考察

長崎大学大学院 学生会員 ○東 幸宏 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 李 博

1. はじめに

岩盤の力学的特徴として、ひずみ軟化やダイレーション、クリープや強度低下などの時間経過に伴う性質が挙げられる。トンネルを掘削、覆工などの支保工が施工された後に時間経過とともに周辺地山の塑性領域が拡大し、トンネル内空側に地山が押し出されて地圧が覆工に作用するケースがみられる。特に、膨張性地山において施工されるトンネルでは、地山の側圧係数が1.0に等しいかそれより大きくなるケースが報告されている。このような地山の変形は、せん断変形によるダイレーションや岩盤の有するクリープ特性・強度特性の影響を大きく受ける。そこで、本研究では岩盤のクリープ変形に関する諸係数がトンネルの変形に与える影響について有限差分法を用いて解析的に検討する。

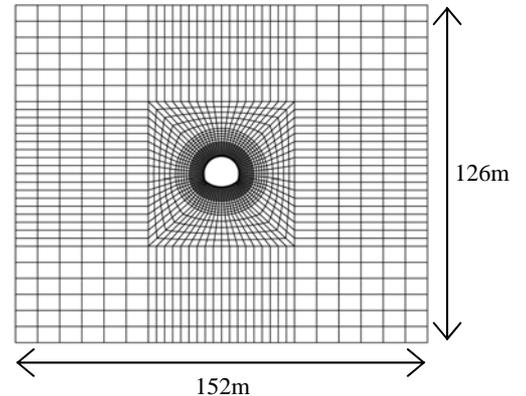
2. 解析モデルの概要と解析ケースの設定

本研究では、施工中より大変形を生じていたことが報告されていたHトンネルを解析モデルとして採用した¹⁾。このトンネルの施工された地山は、泥岩や緑色岩、蛇紋岩といった異なる岩体が複雑に関係した地質構造を呈しており、岩体の硬軟も様々で膨張性を有している地山である。地山強度比(Srp)は0.113と非常に小さく脆弱な地山であり、土被り250m以上の大土被りと非常に厳しい施工状況下にあった。図-1に解析モデル図を示す。解析コードはFLAC3Dを採用し、

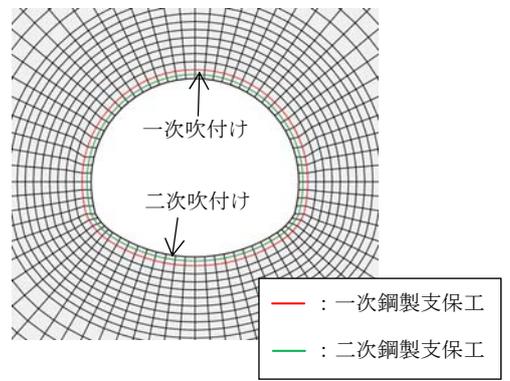
二次元平面ひずみの条件下で時死した。モデルの境界は掘削の影響を考慮して掘削壁面から5D(D:掘削径, 約14m)とし、境界条件は側方および下面境界をローラー境界とした。図-1(b)に示すように、支保は一次・二次吹付けをソリッド要素、一次・二次鋼製支保工はビーム要素でモデル化した。

これらの支保工は実際の施工状況と合わせるために全断面掘削後に二重支保を同時施工するものとしている。地盤物性値および支保工物性値は表-1, 2に示すとおりとした。本解析では岩盤のクリープ特性を考慮して、里ら²⁾が提案した時間依存性モデルに基づいて粘弾性モデルを結合したBurger-MC劣化モデル³⁾を採用した。図-2にBurger-MC劣化モデルの構成図を示す。

Burger-MC劣化モデルには13のパラメータが存在し、そのうち6つのパラメータ($G^k, \eta^k, \eta^M, \omega_c, \omega_\phi, R_{thr}$)は岩盤・岩石試験では得られないパラメータであり、クリープ特性にかかわるパラメータである。そこで、本研究ではニューラルネットワークによる逆誤差伝搬法(Back Propagation a neural network: BN)と遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)⁴⁾を用いて計測結果を基に抽出した15セットのパラメータを準備し、パラメータの影響評価を行う。GA探索により



(a) 全体図



(b) 掘削面周辺

図-1 解析モデル

表-1 岩盤物性値

名称	入力値
弾性係数 E (MPa)	150
ポアソン比 ν	0.34
単位体積重量 γ	24
粘着力 c (MPa)	0.2
内部摩擦角 φ (deg)	30
引張強度 fi (MPa)	0.04

表-2 支保工 (一次・二次) 物性値

名称	鋼製支保工	吹付け
弾性係数 E (MPa)	210,000	6,000
ポアソン比 ν	0.3	0.2
単位体積重量 γ	78.4	23
粘着力 c (MPa)	—	18
内部摩擦角 φ (deg)	—	0
断面積 (m ²)	65.53 × 10 ⁻⁴	—
断面二次モーメント (m ⁴)	4.782 × 10 ⁻⁸	—
降伏曲げモーメント (kN)	210	—

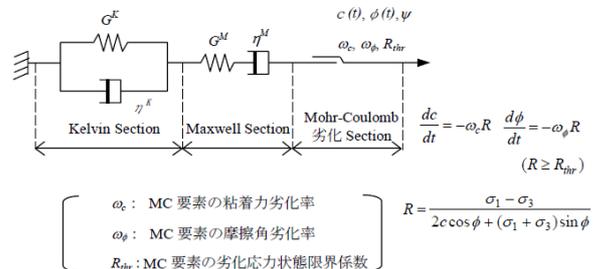


図-2 Burger-MC劣化モデル構成図

キーワード: トンネル, 膨張性地山, 数値解析

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院 工学研究科 地盤環境研究室

表-3 GA によるパラメータセット

	η^K ($\times 10^{16}$ Pa·s)	G^K ($\times 10^8$ Pa)	η^M ($\times 10^{17}$ Pa·s)	ω_c ($\times 10^4$ Pa/y)	ω_ϕ (Pa/y)	R_{thr}
case1	1.40	5.06	1.24	3.81	0.55	0.51
case2	8.10	9.91	4.95	5.48	1.36	0.72
case3	7.23	7.46	1.76	5.09	2.27	0.48
case4	7.23	8.09	8.76	2.09	1.20	0.70
case5	6.98	9.70	8.83	1.09	1.05	0.86
case6	8.31	6.49	7.31	1.83	2.20	0.50
case7	2.50	8.50	8.55	5.06	4.33	0.32
case8	8.83	7.92	5.00	6.59	4.31	0.71
case9	3.23	4.17	2.69	5.42	2.14	0.57
case10	6.50	1.64	3.83	6.48	1.20	0.70
case11	3.21	6.29	5.55	5.18	2.67	0.95
case12	4.08	4.62	3.77	4.70	1.64	0.52
case13	5.53	7.50	3.76	2.01	2.27	0.57
case14	1.13	6.98	7.52	3.53	1.55	0.77
case15	8.05	9.88	5.26	9.13	2.30	0.84

セットした 15 ケースのパラメータを表-3 に示す。なお、すべての解析ケースは約 1 年間 (400 日) の期間の解析を実施した。

3. 解析結果と考察

表-4 に解析終局時点での変形量を、解析結果の例として水平変位の比較を図-3 に示す。表-4 および図-3 より、水平変位・天端変位ともに case7, case8 が非常に大きくなっていることがわかる。この 2 つのケースでは他のケースと比べて ω_ϕ が非常に大きく設定されている。特に天端変位において時間経過とともに急激に変位量が増加する傾向にある。したがって、 ω_ϕ が大きい場合、時間経過とともに岩盤の変形速度が上がると考えられる。

これに対し、case5 において水平変位・天端変位ともに小さくなっている。case5 は η^K , G^K , η^M が比較的大きい値として設定されている。 G^K は Kelvin セクションにおけるせん断弾性係数であり、この値が大きい場合には最終的に変位量が小さくなる傾向にあると考えられる。また、各セクションの粘性係数である η も大きく設定されているため変位の増加速度が他のケースに比べて遅くなっていると考えられる。

case10 において天端変位は小さいが水平変位が比較的大きくなっている。これは η^K が比較的大きく設定されているが G^K が 1.64×10^8 と全ケース中最も小さい値である。これにより、変形速度は遅い傾向にあるが変形しやすい状態にあるため、後期的に変形が進行すると考えられる。

4. おわりに

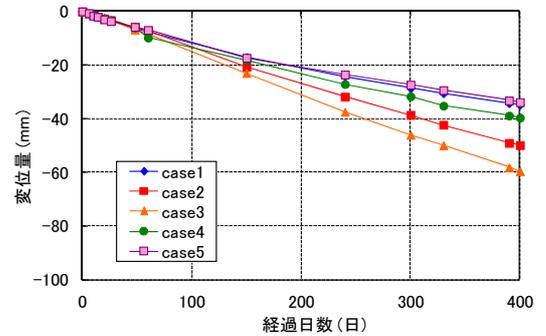
本研究では岩盤のクリープ変形に関する諸係数に着目して、時間依存性を考慮したレオロジーモデルを用いて変形特性を解析的に検討した。これにより、岩盤のクリープ特性によって同じ経過時間においても変形量が大きく変化する。

【参考文献】1) 東幸宏ほか：膨張性地山に施工されたトンネルの変形解析手法の検討に関する研究，第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.50-55，2011。 2) 里優ほか：強度の時間依存性に着目した岩盤の解析，第 18 回土質工学会研究発表会，1983。 3) 東幸宏ほか，道路トンネルの変状に対する各種補強工効果の解析的検討，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 15 巻，pp.177-182，2011。 4) 小坂悠樹ほか：地山強度低下を考慮したトンネル変状予測モデルのパラメータ同定法の提案，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.439-440，2008。

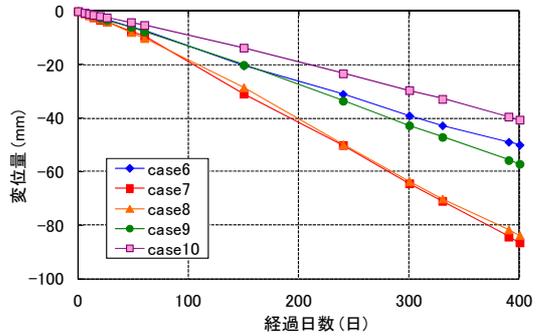
表-4 解析終局時点での変位量

ケース	天端変位	水平変位	ケース	天端変位	水平変位
case1	-18.853	-34.774	case9	-16.998	-57.091
case2	-13.564	-49.864	case10	-8.2975	-40.574
case3	-17.699	-59.559	case11	-21.606	-68.193
case4	-10.632	-39.594	case12	-14.205	-50.081
case5	-8.6316	-33.84	case13	-16.535	-53.427
case6	-15.083	-49.917	case14	-18.036	-48.334
case7	-30.949	-86.497	case15	-19.189	-66.386
case8	-29.278	-83.743			

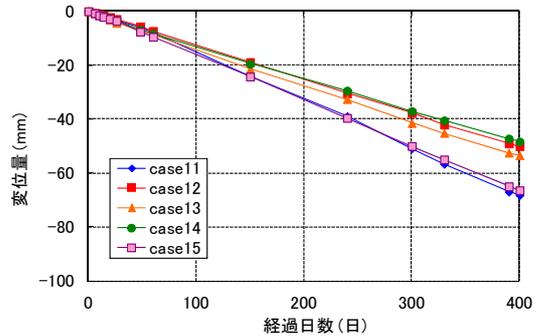
(mm)



(a) case1~case5



(b) case6~case10



(c) case11~case15

図-3 水平変位の比較