

時間依存性を考慮したトンネルの変状予測と補強工法の効果に関する研究

長崎大学大学院 学生員 川田晶仁 長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 学生員 藤崎雅史

1. はじめに

道路トンネルや鉄道トンネルは、覆工に作用する地圧が長期にわたるため突発的な破損が少なく、変状が時間とともに進展していく特徴を有する。このような状況から、効果的な維持管理を行うためには、変状発生 の程度と発生部位などを現場調査・計測に基づき精度よく予測することが重要である。

本研究は、時間の経過に伴い地山強度が低下する時間依存性モデルを用いたトンネル変状解析を行い、得られた結果に基づいて補強工を選定するための判断を支援するシステムの開発を目指すものである。

2. 強度低下の時間依存性モデル

トンネルにみられる大きな変形は、岩石の骨格構造が水などの影響を受けて劣化（応力腐食）することが原因で、徐々に破壊が進行していくことに起因すると考えて、里・亀村らの研究¹⁾では、時間の経過に伴い岩石強度が低下する時間依存性モデルを式(1)のように表した。

$$\frac{dc}{dt} = -\lambda R \quad (R \leq 1.0) \quad (1)$$

ただし、 $R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2c \cos \phi + \sin \phi (\sigma_1 + \sigma_3)}$

ここで、 R は Mohr-Coulomb 降伏条件に対する応力状態の接近度を、 λ は強度低下速度を表しており、0.0333(MPa/year)と仮定した。式(1)では、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ のうち、 c のみの時間依存性を考慮し、また降伏条件が満足された後は、強度が一定速度で低下すると仮定している。

3. 解析モデルの概要および解析ケース

図 - 1 に本解析に用いた解析モデルを示す。ここでは、一般的な軟岩に施工された土被り 100m の道路トンネルを想定した。掘削による切羽付近の 3 次元効果を考慮するため、無支保で 30% 応力解放した後に吹付けコンクリートおよび鋼製支保工を施した。そしてこの状態のまま 95% まで応力解放した後に覆工インバートコンクリートを施し、残り 100% まで

応力解放した。地山は日本道路公団の DI クラス程度の軟岩を想定してモデル化している。支保および覆工の各物性値は、日本道路公団の示方書を参考にした。図 - 2 に補修工の各モデルの概要図を、表 - 1 と表 -

キーワード トンネル、時間依存性、変状解析、補強工法

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科地盤環境研究室 TEL 095-819-2612

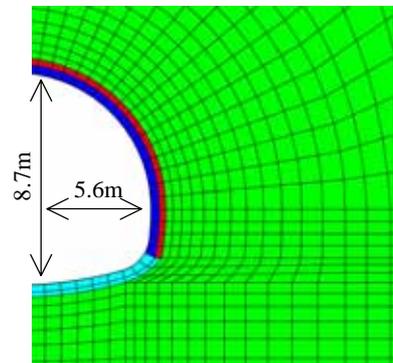
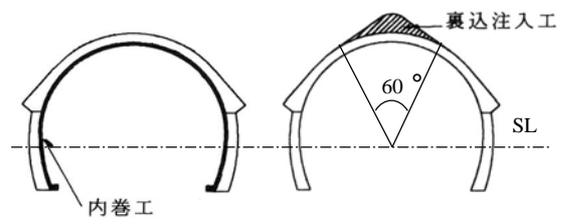


図 - 1 解析モデル(掘削時)



(a) 内巻工 (b) 裏込め注入工

図 - 2 補修工のモデル

表 - 1 解析ケース一覧(補修なし)

地山	支保	解析ケース
劣化	無支保	1
	覆工弾性体	2
	覆工劣化	3

表 - 2 解析ケース一覧(補修あり)

背面空洞	補修工	供用後補修時期	解析ケース
無し	無し		3
	内巻工 (厚さ: 15cm)	10年後	4
		20年後	5
		30年後	6
60°	無し		7
	裏込め注入工	10年後	8
		20年後	9
		30年後	10

2 にそれぞれ補修工のない場合とある場合の解析ケースの一覧を示す。

4. 時間依存性を考慮したトンネル変状解析

4.1 変状解析の結果（補修工のない場合）

無支保の場合(ケース1) 覆工劣化を考慮しない場合(ケース2) 覆工が劣化する場合(ケース3)の内空変位の経時変化を示したものが図-3である。覆工の劣化は、分布ひび割れを考慮して便宜上コンクリートの剛性を低下させることで表現した。図-3より、無支保では50年経過すると約85cmの内空変位の増加がみられるが、覆工を弾性体とすると変位がほとんど生じていない。一方、覆工も劣化すると仮定すると、約33cmの増加が生じている。覆工によりある程度の抑制効果がみられるものの、やはり時間の経過とともに変位の増加がみられる。このことから、地山のみならず、覆工に対しても経時的劣化を考慮した解析を行う必要があることがわかる。

4.2 変状解析の結果（補強対策を実施した場合）

補修時期の相違による補修効果の把握を目的として、補修時期が異なる場合の覆工表面の内空変位と天端変位の相違を比較する。ここでは、地山・覆工ともに劣化する解析ケース3または7に対して供用後10年後、20年後、30年後に補修を実施した場合を検証している。工法は弾性体としてモデル化した内巻工と、Mohr-Coulombのモデル化した裏込め注入工（エアモルタル）であり、内巻工に関しては、便宜上劣化は考慮しなかった。

図-4に内巻工補修時期の相違による内空変位の比較を示す。補修なしの場合の内空変位が約37cmであるのに比べて、10年後に内巻工を施工した場合は約14cmと、変位の抑制効果が大きいことがわかる。また、早期に補修すれば内空変位は少なく、補修が遅くなるほど内空変位が大きくなる傾向がみられる。一方、天端変位も内空変位ほど顕著ではないが、同じ傾向を示しており、抑制の効果のみで考えれば、10年以内に施工することが妥当だと考えられる。

図-5に裏込め注入工補修時期の相違による天端変位の比較を示す。10年後に施工した場合は、変位が約3cmに抑制されているが、20年後以降に施工した場合はほとんど抑制の効果はなく、補修なしの場合とほぼ同じ約6cmの変位が生じる結果となった。この結果から、裏込め注入工は、10年後もしくはできるだけ早い時期に施工を行う必要があると考えられる。

5. おわりに

本解析では、内巻工、裏込め注入工とも、早い段階での施工がより内空断面の確保に有効であることがわかった。工法については、2種類のみで評価を行っているが、今後は他の工法（炭素繊維シート工など）についても解析を実施し、工法の相違による比較検討を詳しく行っていく。

【参考文献】1) 里優ほか：強度の時間依存性に着目した岩盤の解析，第18回土質工学研究発表会論文概要集，pp.817-820，1983

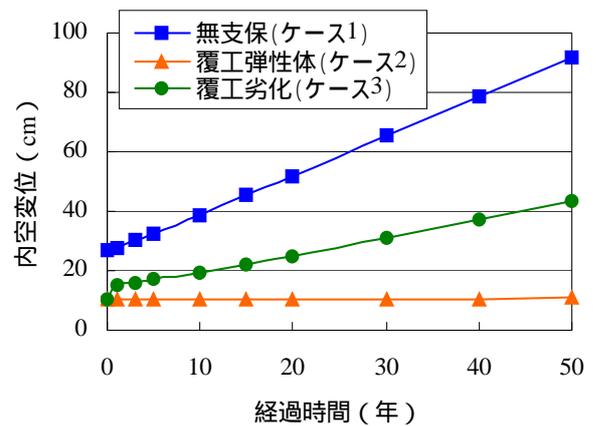


図-3 覆工状態による内空変位の比較

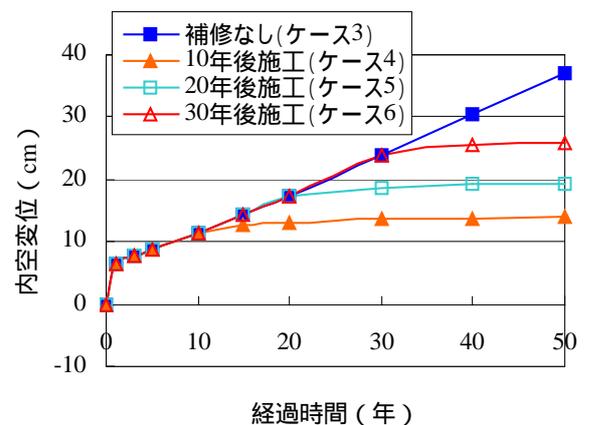


図-4 内巻工を用いた内空変位の比較

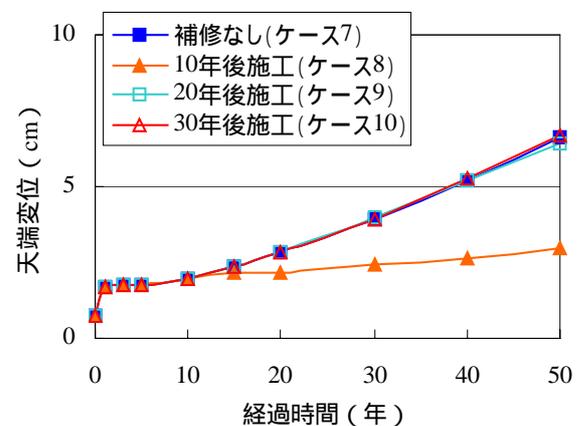


図-5 裏込め注入工を用いた天端変位の比較