

地山強度の経時劣化を考慮した変状トンネルのパラメータ解析

鉄道総研 正会員 ○野城一栄, 高橋幹夫, 小島芳之
 京都大学 学生会員 嶋本敬介
 京都大学 正会員 松長 剛, 朝倉俊弘

1. はじめに

山岳トンネルでは, 完成後の地圧の作用により変形, ひび割れなどの変状を生じることがある. 地圧による時間に依存したトンネルの変形挙動については不明な点が多く, 維持管理法は確立されていないのが現状である. 筆者らは地圧によるトンネル変状の評価手法を構築するための研究を行ってきた^{1),2)}. 本稿では地山強度の経時劣化を考慮した解析手法を用いて行った変状トンネルのパラメータ解析の結果について報告する.

2. 解析方法

(1) 解析手法

解析は2次元有限差分法により実施した. 地盤については, Mohr-Coulomb の降伏条件を用いた地山劣化モデル¹⁾を用いた. 本モデルは地山のせん断強度定数を初期値から徐々に低下させることにより地山の経年劣化に伴う強度の低下, 地山がトンネルへ押し出す挙動を表現することができる. また, ひび割れについては, コンクリートの引張強度を超過した場合は剛性を0とすることにより表現した. 図1に解析メッシュを, 図2に解析に用いたトンネル断面を示す.

(2) 解析パラメータ

解析パラメータは, 変形挙動に影響を与えと考えられるもののうちから, 土被り, 一軸強度, 側圧係数, 巻厚, インバートの有無, 背面空洞の有無を選択した. ここで, 一軸強度については新第三紀の軟岩を想定して2MPa, 4MPaを, 側圧係数については一般的なポアソン比(0.3)から0.43を設定したほか, 比較対象として1.0も設定している. その他の値についてはそれぞれ一般的なものを採用した. また, 地山の強度定数については文献^{3),4)}を参考に一軸強度から推定した. なお, 今回の解析においては, 地山のせん断強度定数のうち粘着力 c を低下させることにより塑性化の拡大を再現している. 表1に解析ケースを示す.

3. 解析結果 (基本ケース: case1)

表2にcase1における塑性化領域の分布を示す. 地山のせん断強度の低下に伴って塑性化領域(白色部)が拡大していることが分かる. また, 塑性化領域は, トンネルの肩部~脚部付近の地山に広がっている. 覆工においては, 曲げが大きくなるアーチ天端付近において引張応力が引張強度に達し, ひび割れが発生している.

図3にcase1における地山の粘着力と内空変位との関係を示す. 粘着力の低下に伴って水平内空の縮小, 鉛直内空の拡大が確認され, 地山の押し出しが確認できる.

図4に, 地山の粘着力と天端内側のひずみとの関係を示

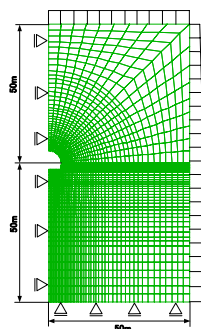


図1 解析メッシュ

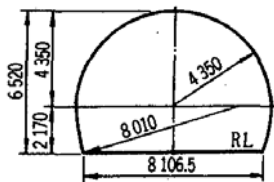


図2 トンネル断面

表1 解析ケース

No.	地盤条件			構造条件		
	土被 m	強度 ^{※1)} MPa	側圧 係数	巻厚 mm	インバートの有無	背面空洞の有無
1	100	4	0.43	700	無し	有り ^{※2)}
2	110	4	0.43	700	無し	有り ^{※2)}
3	100	2	0.43	700	無し	有り ^{※2)}
4	100	4	1.0	700	無し	有り ^{※2)}
5	100	4	0.43	400	無し	有り ^{※2)}
6	100	4	0.43	700	有り	有り ^{※2)}
7	100	4	0.43	700	無し	無し

※1) 初期状態の一軸強度 ※2) 天端90°の範囲に設定

表2 塑性化領域の分布 (case1)

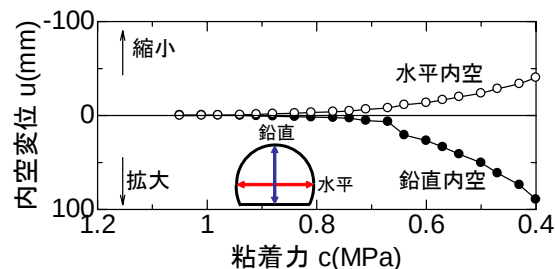
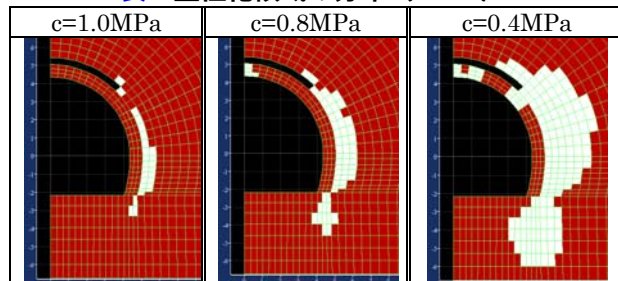


図3 地山の粘着力と内空変位との関係 (case1)

す. 粘着力の低下に伴って覆工に曲げが発生している. 圧縮側(内空側)では圧縮限界ひずみ 3500 μ を超過していることから, 圧縮が発生しているものと予想される.

キーワード変状トンネル 地山強度 パラメータ解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部 TEL:042-573-7266

4. 解析結果（パラメータ解析：case2～7）

（1）塑性化領域

表3にパラメータを変化させた case2～7 について最終時 ($c=0.4\text{MPa}$ 時)における塑性化領域の分布を示す。case2, case3では、いずれも case1 と塑性化領域の形状は同様だが、面積は拡大している。case4ではトンネル上方、下方にも塑性化領域が拡大し、また、盤ぶくれが大きく発生していることがわかる。これは、側圧係数の増加に伴い横方向の応力が増加したためと考えられる。case5では、塑性化領域の変化はあまり見られない。これは、巻厚を大きくしても天端に空洞があり地山と一体化していない場合は覆工の効果が小さいことを示唆するものと考えられる。case6では、インバートの効果によりトンネル脚部での塑性化領域の面積は減少した。ただし、覆工のひび割れ発生領域については大きな変化は見られなかった。case7では、覆工での塑性化領域が消滅した。また、地山の塑性化領域も明らかに減少した。これは、文献⁴⁾でも確認された現象である。背面空洞の充填はトンネルだけでなく地山の安定にも寄与することが確認できる。

（2）内空変位

図5に各ケースの最終時の内空変位を示す。case3で内空変位が最も大きい。地盤のせん断強度の感度が最も高く、変状予測や設計ではこの値の設定が非常に重要であることが分かる。case6,7で内空変位の減少量が大きい。インバート有りの場合は、構造体としての水平方向の剛性が増加したこと、背面空洞無しの場合は地山からの反力が得られるようになったことと、地山の变形量自体が減少したことの両方の理由が考えられる。

（3）ひずみ

図6に各ケースの最終時の天端内側ひずみを示す。天端のひずみについてはcase7で顕著に減少している。他のケースについてはcase3を除いてほぼ同様の値となった。case6は内空変位が減少したにもかかわらずひずみが大きい。これは、天端部の空洞はそのまま残り、地山からの反力が得られず他のケースと同様天端に大きな曲げが作用したためと考えられる。

5. まとめ

今回の研究により得られた知見を以下にまとめる。

- ①地盤条件については、せん断強度の感度が最も高くこの値の設定が非常に重要であることが確認された。
- ②構造条件については、インバート有り、背面空洞無し（＝裏込注入施工）の場合に内空変位の抑制効果が確認された。また、背面空洞無しの場合はそれに加えて地山の塑性化の拡大の抑制、および、覆工の圧力の抑制の効果も確認された。

参考文献

- 1) 松長他：地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状の予測と対策に関する研究，土木学会論文集，No.799，2005.9
- 2) 高橋他：地山強度の経時劣化を考慮した既設トンネルのシミュレーション解析，第41回地盤工学会研究発表会，2006.7
- 3) アイダノメール他：スライディング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測手法について，土木学会論文集，No.448，1992

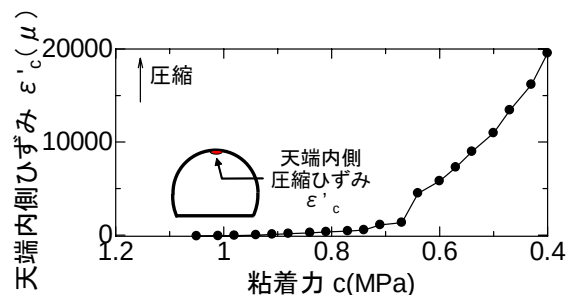
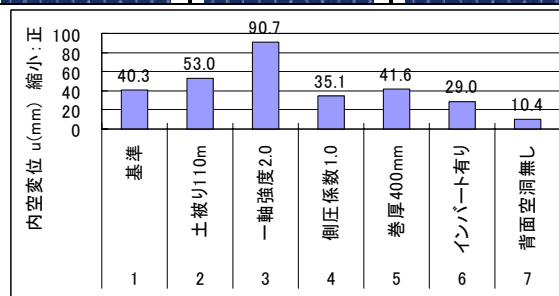
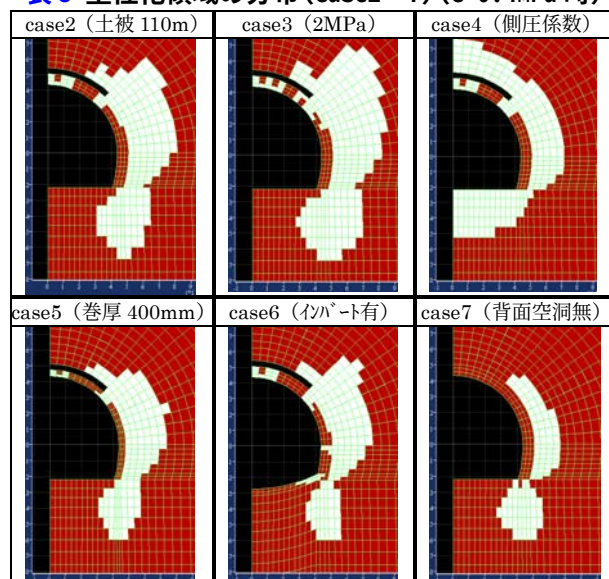


図4 地山の粘着力と天端のひずみとの関係 (case1)

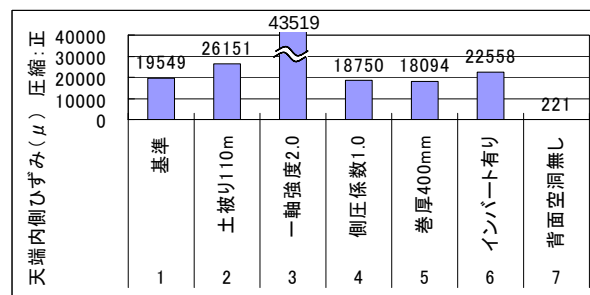
表3 塑性化領域の分布 (case2～7) ($c=0.4\text{MPa}$ 時)



地盤条件

構造条件

図5 最終時の内空変位 ($c=0.4\text{MPa}$ 時)



地盤条件

構造条件

図6 最終時の天端内側ひずみ ($c=0.4\text{MPa}$ 時)

- 4) 蔣他：地山特性曲線に影響を及ぼす要因の定量的分析，第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，1994