

膨潤性地山におけるトンネル路面変状の3D再現解析

九州大学 学生会員 ○チョイジルスレン 九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩
 九州大学大学院 正会員 谷口 寿俊 九州大学大学院 正会員 本田 博之
 九州大学大学院 学生会員 蘇 栄 西日本高速道路(株) 正会員 浜崎 智洋

1. はじめに

本研究で対象とするトンネルは、供用開始から10年後に一部区間で路面隆起が認められ、18年後に最大192mmの路面隆起が確認された(図1)。この路面隆起を抑えるため、変状区間に47本の地中ロックボルトが施工され、路面隆起速度が13mm/年から3mm/年まで緩和した。しかし、当該変状区間はインバートが未設置であることに加え、隣接して新設トンネルが施工されることから、今後も路面隆起に関して監視と予測が求められる。また、路面変状の要因である膨潤層は、トンネル下の広いエリアに存在するため、その影響範囲と物性値の特定が必要である。

そこで本研究では、トンネルの多測線の水準測量で得られた経年の路面隆起変量をもとに、2次元FDM数値解析を多断面で実施することで膨潤層の影響を空間的に明らかにする。

2. 解析手法

2.1 解析区間・モデル・解析ソフト

路盤変状の著しい区間は非常駐車帯付近の約20m区間であり、当該区間の最大断面を有する両端と中央の3断面に対して解析を実施する。解析モデルは、地質縦断面図と地質横断面図をGIS(地理情報システム)上で重ね合わせることで作成し、解析モデルの下方領域と側方領域は、それぞれトンネル直径の4倍とする(図2中のSTEP-0)。また、解析は、2次元FDM数値解析であるFLAC 8.0 (Itasca社製)を使用する。

2.2 トンネル掘削の再現解析手法

再現解析の手順を、図2のSTEP-0からSTEP-4に示す。まず、初期応力場を計算するために初期応力解析を行う。トンネル掘削時の施工記録を参照し、トンネル掘削後の天端沈下量は30mm、上半並びに下半水平変位がそれぞれ10mm程度であり、これらの内空変位値と解析値が合うように、初期物性値を同定する。

次に、トンネル上半部を掘削し、応力解放率を40%に設定する。続いて、上半の支保工を設置するとともに、

応力解放率を60%に設定する。トンネルの下半部の掘削と支保工設置時の応力解放率は上半と同様とする。

2.3 膨潤解析手法

図2のSTEP-5に示すように、トンネル下の膨潤性粘土鉱物を含有する泥岩と凝灰岩の粘着力、内部摩擦角、引張強度を劣化させることで、膨潤挙動を再現する。ここでは、供用後18年に設置した地中ロックボルトもモデル化する。また、路面隆起傾向を水準測量により計測しており、計測結果と一致するように膨潤層のパラメータを同定する。また、事前解析として、膨潤範囲を考慮せずに泥岩と凝灰岩の物性値を全て劣化させる解析を実施したところ、水準測量の計測値による結果と合致しなかった。このことから、膨潤範囲と物性値を変化させて、膨潤現象を正確に再現することとする。

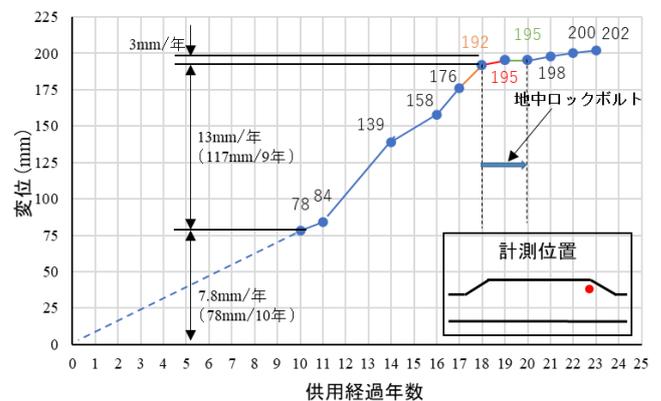


図1 路面隆起量の推移

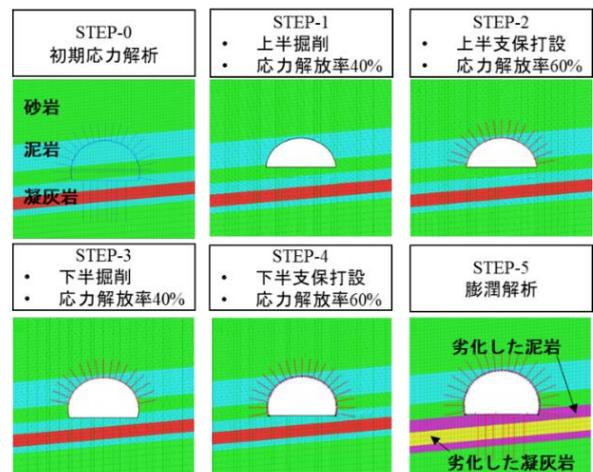


図2 解析手順

3 解析結果と考察

3.1 トンネル掘削の再現解析結果

再現解析で同定した初期物性値を表 1、内空変位の計測値と解析値を表 2 に示す。解析値が計測値より小さくなっているが、0.7mm から 3.6mm の誤差でトンネル掘削時の状況を概ね再現できている。

表 1 初期物性値

岩種	変形係数 kN/m ²	ポアソン比	粘着力 kN/m ²	内部摩擦角	引張強度 kN/m ²	ダイレイタンシ角
凝灰角礫岩	5.00E+03	0.35	100	30	20	10
砂岩	1.00E+06	0.32	5500	45	1100	15
泥岩	8.00E+05	0.36	870	30	174	10
凝灰岩	1.30E+05	0.35	700	20	140	10

表 2 内空変位の計測値と解析値

	天端沈下量 (mm)	上半水平変位 (mm)	下半水平変位 (mm)
計測値	30	10	10
解析値	29.3	8.7	6.4

3.2 膨潤解析結果

膨潤解析結果の一例として、断面 C における路面隆起の計測値と解析値を図 3、物性値の推移を表 3 に示す。図 3 より、物性値と膨潤範囲を変えることで路面隆起をほぼ再現できている。表 3 の物性値の劣化推移に関して、膨潤性泥岩と凝灰岩の引張強度は、路面隆起に影響せず、粘着力と内部摩擦角の劣化が膨潤現象に大きく寄与することがわかる。物性値に関しては、地中ロックボルトの対策後も僅かに劣化していることも明らかとなった。また、3 断面 (断面 A, B, C) の解析から特定した膨潤層の範囲を図 4 に示す。図 4 の膨潤層範囲は、各断面の解析で膨潤層の幅を特定後、それらを直線で囲うエリアを膨潤層範囲としている。まず、膨潤層の幅は、水準測量で路面隆起が最も大きい断面 C において、広く存在し、断面 C から遠くなる断面 B, A の順に膨潤層の幅は小さくなる。断面 C 付近には、断層破砕帯が存在することから、破砕帯から離れるほど、膨潤層の範囲は狭くなる傾向があると考えられる。一方で、膨潤層幅は、各断面において経年的に拡幅している。特に、膨潤層幅の拡幅は、断面 C より、断面 A が大きい結果となっている。対象のトンネルは、解析モデル (図 2 中の STEP-5) の右側で隣接工事が実施されることから、引き続き路面隆起の監視が必要と考えられる。

4. おわりに

本研究では、路面隆起が確認されたトンネルに対し、水準測量で得られたトンネルの路面変形量をもとに、2 次元 FDM 数値解析を多断面で実施することで面的に膨潤層の経年変化を明らかにした。その結果、膨潤層の範囲が僅かに拡大するとともに物性の劣化が進行していることが示唆された。

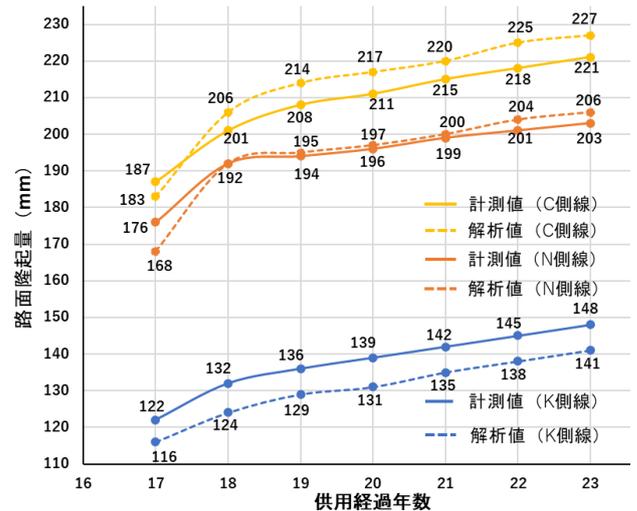


図 3 断面 C における路面隆起量の計測値と解析値

表 3 経年劣化した膨潤層の物性値

経過年数	岩種	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角	引張強度 (kN/m ²)
17	泥岩	195.88	20	69.6
	凝灰岩	92.5	8	56
18	泥岩	195.88	18	69.6
	凝灰岩	92.5	8	56
19	泥岩	182	18	69.6
	凝灰岩	92.5	8	56
20	泥岩	182	18	69.6
	凝灰岩	92.5	7	56
21	泥岩	182	18	69.6
	凝灰岩	92.5	6	56
22	泥岩	175	16	69.6
	凝灰岩	90	6	56
23	泥岩	175	16	69.6
	凝灰岩	89	6	56

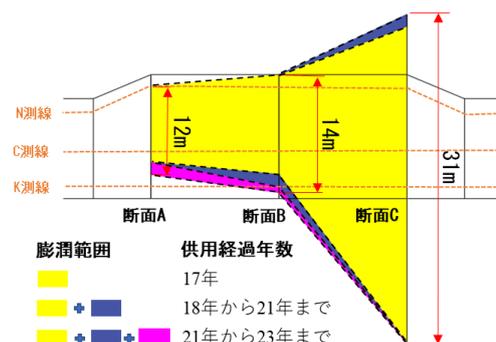


図 4 非常駐車帯付近の膨潤層範囲

(参考文献)

- 1) 土木学会トンネル工学委員会, 山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務, 社団法人土木学会, p.159, 2006.
- 2) 駒谷大三, 横尾和彦, 赤木渉: トンネル路盤下ロックボルト工による路面隆起抑制効果, トンネル工学報告集, No.18/I-26, pp.1-5, 2018.