めがねトンネルの地表面沈下発生メカニズムの解明

山口大学大学院 学生会員 〇山口功貴 鎌田和孝 山口大学大学院 正会員 進士正人

1. はじめに

近年,交通の利便性向上や地下空間の有効利用を目的として,めがねトンネルの施工数が増加している。めがねトンネルとは図-1に示すように2本以上のトンネルが近接し,センターピラーを共有するメガネ型形状のトンネルである。めがねトンネルは,土被りが小さく,地表付近に構造物が多く存在し,離隔距離も十分に確保できないといった場所での施工が多く,厳しい条件下で施工される例がほとんどである。また,都市部でのトンネル施工の特徴として,土地の所有権や周辺環境に配慮するため,地表面沈下の抑制が大きな制約となる。そのため地表面沈下抑制など周辺環境への影響を極小化することが望まれている。

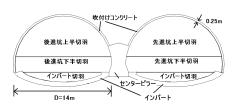


図-1 トンネル断面図

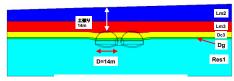


表-1 地質調査物性値

図-2 解析モデル

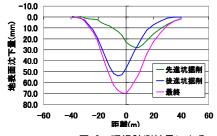
そこで本研究は、めがねトンネルを安全 にかつ地山への影響を最小に施工するため に、実際に都市部に施工されためがねトン ネルの地表面沈下挙動の計測結果を数値シ

地層名	記号	単位体積重量 γ (kgf/ $ m m^2$	変形係数E(MPa	ポアソン比 $ u$	粘着力C(KPa)	内部摩擦角 ϕ (°)
立川・武蔵野ローム層	Lm2	1400	11.80	0.4	39.20	17
下末吉ローム層	Lm3	1500	23.50	0.4	78.50	13
下末吉層(粘性土)	Dc3	1700	9.80	0.4	39.20	10
下末吉層(砂礫)	Dg	1800	19.60	0.4	19.60	35
上部連光寺層	Res1	1800	39.20	0.4	78.50	35
吹付けコンクリート		2400	3920.00	0.2	4900.00	40
インバートコンクリート		2400	21600.00	0.2	4900.00	40
センターピラーコンクリート		2400	21600.00	0.2	4610.00	35

ミュレーションより分析し、めがねトンネルの地表面沈下発生の挙動を再現し、その発生メカニズムを解明する.

2. めがねトンネルの特徴

今回, 地表面沈下挙動を分析したAトンネルは片側2車線, 全長410mで 数 60.0 17



3 現場計測結果による 地表面沈下量

表-2 解析物性値

ては、一般的なめがねトンネルの施工条件と同様に、トンネル上部には家屋が密集し、地表面沈下に十分に配慮する必要があった.

3. 先進坑掘削と後進坑掘削のそれぞれの地表面沈下発生状況の特徴

図-3にAトンネルのめがねトンネル施工段階ごとの地表面沈下の発生状況を示す.この図から先進坑掘削時より後進坑掘削時の地表面沈下量の方が約2倍大きくなっている事が分かる.既往研究において

	× = 31 10 10 1=1=						
地質名	初期弾性係数 E ₀ (MPa)	破壊後弾性係数 E ₁ (MPa)	初期ポアソン比 ν ₀	破壊後ポアソン比 ν ₁	а	k	
立川・武蔵野ローム層	21.20	5.30	0.4	0.49	0.25	4	
下末吉ローム層	42.30	10.58	0.4	0.49	0.25	4	
下末吉層(粘性土)	17.60	4.40	0.4	0.49	0.25	4	
下末吉層(砂礫)	35.30	8.83	0.4	0.49	0.25	4	
上部連光寺層	70.60	17.65	0.4	0.49	0.25	4	
吹付けコンクリート	3920.00	3920.00	0.2	0.49	1	10000	
インバートコンクリート	21600.00	21600.00	0.2	0.49	1	10000	
センターピラーコンクリート	21600.00	21600.00	0.2	0.49	1	10000	

も,めがねトンネルの地表面沈下量はこのように先進坑掘削時より後進坑掘削時の方が大きくなる傾向を有する事が分かっている¹⁾. また**図-2**に示す解析モデルを用いて,今回と同様のAトンネルの解析を行っているが,**表-1**に示す地山物性値(E,C)を1.8倍すると先進坑掘削時の,0.9倍すると後進坑掘削時の地表面沈下量が,解析値と計測値がそれぞれ一致する結果を得ている¹⁾. このことから,めがねトンネルでは,同一断面に複数のトンネル掘削が行われるので,トンネル周辺の掘削領域近辺の地山が劣化し,みかけ上ひずみ発生量に依存して地山の弾性係数が低下していくことが想定される.そこで,非線形弾性プログラムをもちいて各施工段階での沈下発生量の違いが説明可能か検討することとした.

4. 2次元数値解析による解析結果との比較

4.1 解析手法

本研究では、2次元の電中研式応力-ひずみ関係による非線形 弾性解析を用いた.電中研式応力-ひずみ関係とは**図-4**に示す とおり、モールの応力円が破壊包絡線に接近するにつれて弾性 係数が低下する解析プログラムである.すなわち、導坑掘削、 先進坑掘削によって地山に応力再配分が生じ、それにより弾性 係数の低下を引き起こしたため後進坑掘削時の地表面沈下の

増大が発生したと考え、この解析手法を選択した. なお、既往研究 $^{1)}$ を参考にして初期弾性係数 E_0 、粘着力Cは地山物性値の1.8倍したものを用いることとした. そして、**表**-3に示す解析ステップに合わせ解析を繰り返して、もっともよく合致する破壊後の弾性係数 E_1 を求めた.

4.2 解析結果

表-2に解析で用いた物性値の一部を示す. 図-5に地表面沈下の比較 図を示す. この図から分かるように先進坑掘削による地表面沈下量は 現場計測結果とほぼ一致した. しかし後進坑掘削による地表面沈下量は先 進坑のそれよりも増加するものの完全には再現できず現場計測結果との差 が15mmほど生じた. この原因を探るため, 図-6に示す各トンネル天端部付

近における掘削ステップ毎のそれぞれの弾性係数の低下過程を調べた.その結果 を図-7に表す.この図から,先進坑が掘削された時(step-4),先進坑天端部は弾性係数が低下しているのが分かる.しかし,その低下量は後進坑掘削時(step-6)の,後進坑天端部の弾性係数の低下量とあまり差がない.つまり掘削による地山の弾性係数低下は再現できている

が,先進坑と後進坑の天端部のそれぞれの弾性係数はほぼ同じ様に低下していることが現場計測結果とずれになった原因であると考える.

次に支保工の弾性係数に着目し解析を行った. 先進坑支保工と後進坑支保工の弾性係数を除々に低下させて解析させた場合, 45%低下させた場合が現場と最も一致する結果となった. その結果を図-8に示す.

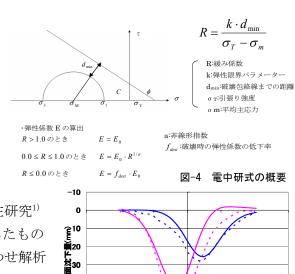
現実の吹付けコンクリートは材齢24時間で強度の約1/2まで強度発現するのが一般的なので、この解析結果から先進坑の支保工剛性をうまく発揮させることが後進坑掘削時の沈下抑制に大きく影響を与えることが分かった.

5. 結論

今回の電中研式の解析結果により、地山の強度低下と先進坑の支保工剛性(支保工の弾性係数)が後進坑掘削時の沈下量に大きく影響を与えることが分かった.

参考文献

- 1) 鎌田 和孝, 小原 勝巳, 岸田 展明, 進士 正人:施工段階の違いを考慮しためがねトン ネルの地表面挙動の予測, 第12回岩の力学シンポジウム講演論文集pp617-pp620,2008
- 2) 若狭 紘也:施工記録に基づくめがねトンネル施工時の地表面挙動の評価と予測,平成15年度,山口大学大学院理工学研究科修士論文,



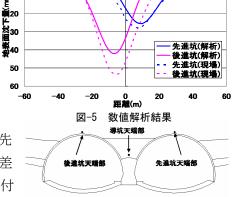


図-6 各天端部の位置

導坑掘削

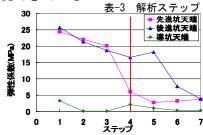


図-7 各天端部における ステップごとの弾性係数

