

三次元数値解析による既設めがねトンネルのひび割れ発生メカニズムに関する考察

山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 ○大野智貴
 元山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 北村彩絵
 元山口大学大学院創成科学研究科 正会員 森本真吾
 山口大学大学院創成科学研究科 正会員 進士正人

1. はじめに

めがねトンネルは、センターピラー（以下 CP と称する）と呼ばれる中央隔壁を共有する 2 本のトンネルが近接した状態で施工されるトンネル形状である。そのため、単線トンネルとは異なり、めがねトンネルは施工時に相互影響を受けやすい構造である。特に、本研究で対象とするめがねトンネル（以下 A トンネルと称する）は、表-1 に示すように、I 期線は在来工法で、II 期線は NATM で施工という特殊な施工環境であったこともあり、在来側覆工の片側にひび割れが集中的に発生していた¹⁾。（図-1）

本研究では、A トンネルの覆工に生じるひび割れの発生メカニズムの解明を目的として三次元解析を行い、II 期線掘削時における現場計測結果より、地山物性およびトンネル覆工応力の再現を行った。次に、図-1 に示すひび割れ状況を踏まえ、トンネル周辺地山の挙動を再現することでひび割れ発生要因を推定した。

2. II 期線掘削時の挙動再現

2.1 掘削解析モデルと解析条件

本研究では三次元有限差分法コード FLAC3D を用いた。図-2 に地山モデルを示す。トンネル地山モデルは、等高線をもとに作成することで地表面の三次元地形を再現した。また、II 期線施工による I 期線への影響を再現するために、II 期線は、1m ごとの逐次掘削で行った。拘束条件は上面以外の五面固定とした。

2.2 解析物性値の同定

既存資料²⁾では、周辺地山の物性値が明らかになっていない。そこで、II 期線施工時の計測データ²⁾（坑内変位・地表面沈下量）に最もよく一致するよう

表-1 A トンネル概要

	施工年	竣工年	施工法	延長	最大土被り	最小土被り
I 期線	1983年	1984年	在来工法	87m	20m	5m
II 期線	1999年	2000年	NATM	84m		

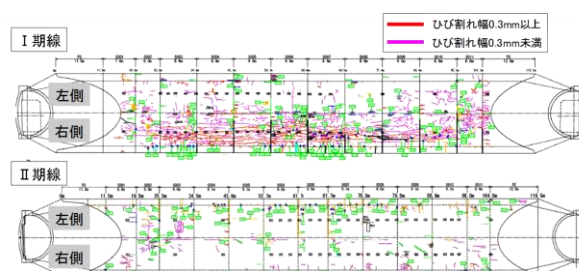


図-1 2015 年点検時の A トンネル変状展開図

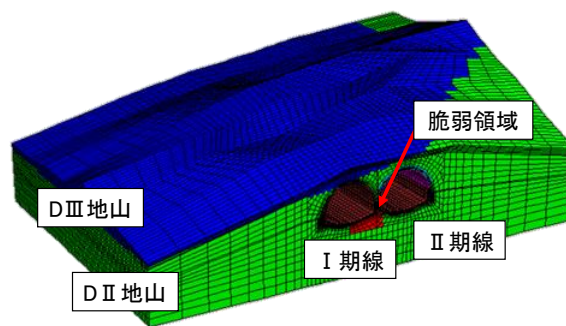


図-2 地山モデル概略図

表-2 解析物性値

	変形係数 D(N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kg/m ³)	粘着力 c(MPa)	内部摩擦角 ϕ (°)
DIII	8	0.40	1850	0.005	30
DII	65	0.35	2000	0.008	30
CP直下	12	0.40	2000	0.008	30
コンクリート	20000	0.30	2400	2000	45
パイプルーフ	1000	0.30	1900	0.04	35
吹付け	9235	0.25	2400	2000	45

解析を繰り返すことで物性値を同定した。

図-2 に示すように、A トンネルは I 期線竣工～II 期線竣工の間に約 16 年の年月が空いたため、CP 直下の地山が地下水等により脆弱化している領域を仮定した。計 24 回パラメトリックスタディーを行い最終的に決定した物性値一覧を表-2 に示す。

キーワード めがねトンネル, 三次元数値解析, 偏在ひび割れ, センターピラー

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2 丁目 16 番 1 号 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室

TEL 0836-85-93

2.3 挙動再現解析結果

図-4、表-3 にⅠ期線掘削直後とⅡ期線掘削直後のⅠ期線挙動の変化を示す。この図より、CP直下の脆弱部の影響によりCPが沈下し、Ⅰ期線全体がCP側に引っ張られる挙動を示していることがわかる。この引張挙動によって、Ⅰ期線の右側覆工に正の最大主応力、すなわち引張応力が作用していると考えられる。以上のことから、CP直下の地山の脆弱化が偏在ひび割れの発生要因の一つであると考えられる。

3. 現在の覆工に生じる偏在ひび割れの再現

3.1 解析モデルと解析条件

この章では、Ⅱ期線竣工から約17年が経過した現在の覆工に生じるひび割れの再現を行う。本研究では、めがねトンネル建設後に緩み荷重³⁾が作用していると考え、緩み荷重を覆工に載荷することでひび割れの再現解析を試みた。解析モデル図を図-5に示す。このモデルは、前章で用いた掘削モデルの地山部分を取り除き、覆工だけをモデル化したものである。覆工の応力状態は、前章で行ったⅡ期線掘削終了後の状態である。この覆工モデルの背後の各節点に対して強制荷重を与えることで緩み荷重を再現した。ここでは、適切な緩み領域幅を決定するために図-6に示す4ケースを想定し荷重載荷を行った。

3.2 解析結果

図-7に緩み荷重載荷後の最大主応力の値を示す。ここでは、緩み領域幅が最大である①と最小である④の結果を用いて比較を行う。図-7より、パターン①、④ともに覆工右側において正の最大主応力、すなわち引張応力が作用していることがわかる。また、Ⅰ期線・Ⅱ期線の両トンネル覆工の右側に着目すると、領域幅①の時に比べ、領域幅④のほうが最大主応力の値が大きいこともわかる。したがって、緩み領域幅が小さい局所的な荷重ほど、覆工に偏在的な影響が生じやすい。以上のことから、CP付近の局所的な緩み荷重が、覆工に偏在的な影響を与えた可能性が想定できることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本研究では既設めがねトンネルであるAトンネルを対象に三次元解析を行い、覆工に生じた偏在ひび割れの発生要因の考察を行った。挙動再現解析からは、CP直下の地山が脆弱化し、CPが沈下している

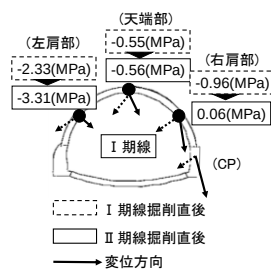


表-3 Ⅰ期線沈下量

計測点	沈下量(mm)
左肩部	4.18
天端部	10.44
右肩部	15.87
CP	16.54

図-4 Ⅰ期線覆工変位と
応力挙動の比較

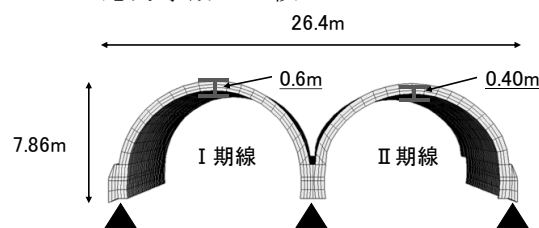


図-5 解析モデル図

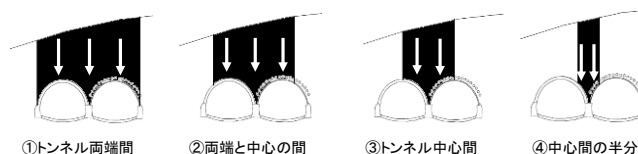
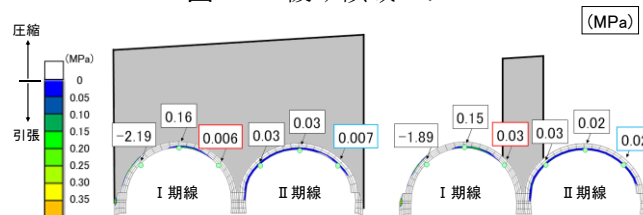


図-6 緩み領域パターン



①トンネル両端間 ④中心間の半分
図-7 緩み荷重載荷後の最大主応力(y=10m)

可能性が想定された。また、緩み荷重の載荷からは、CP付近への局所的な荷重によって、Ⅰ期線・Ⅱ期線両トンネル覆工右側に影響が生じることがわかった。しかし、現時点でひび割れの再現には至っておらず、今回想定した緩み荷重だけでなく、他の外力の作用も考慮した解析を行うことが課題として挙げられる。

また、今後の定期点検の結果などを用いて更に詳細な挙動再現を行うことも課題である。

参考文献

- 1) 北村彩絵, 森本真吾, 進士正人: ひび割れ指数 TCI を援用した既設トンネルのメンテナンス優先度箇所判定, トンネル工学報告集, 第 27 巻, I-1, 2017.11
- 2) 青木宏一: めがねトンネルの設計と施工結果の評価に関する研究 (山口大学修士論文), pp.5-48, 2002.2
- 3) 土木学会岩盤力学委員会: トンネルの変状メカニズム, pp.90-115, 2003.9