

トンネル供用中における盤ぶくれがインバートに与える影響の数値解析的検討

山口大学大学院
山口大学大学院
松江工業高等専門学校
山口大学大学院

学生会員
正会員
正会員
フェロー会員

○持田 久資
林 久資
岡崎 泰幸
進士 正人

1. はじめに

山岳トンネルでは、供用中に変状が発生することがある。発生する変状は、例えば、緩み土圧や塑性圧、偏圧等の外力に起因する変状の場合は、覆工や路盤に致命的な損傷を与える場合がある。中でも、盤ぶくれは車両の走行性に直結する変状であるため、凝灰岩地山などの盤ぶくれの生じる可能性のある地山条件下でのトンネル施工では堅硬な地山であってもインバートの設置を行うことが多い。しかしながら、施工時にインバートが設置されたトンネルが盤ぶくれによりインバートに損傷を受けたケースも報告されていることから、盤ぶくれによる設計施工および維持管理に関して苦慮しているケースも多いのが現状である¹⁾。

そこで、本研究では、当初からインバートが設置されたトンネルの供用中に、盤ぶくれ現象が生じた場合にインバートに与える影響について、数値解析により検討を行った。

2. 数値解析の諸条件

2.1 解析モデルと解析条件

トンネルの断面形状は、地山等級 C 程度の凝灰岩質の地山に二車線道路トンネルが施工されることを想定し、図-1(a)のような当初からインバートを設置する形状とした。解析領域は図-1(b)に示すように、土被りを50mとし、奥行1mの二次元平面ひずみモデルとした。本研究では、地山の材料構成則は弾完全塑性体、吹付け・覆工・インバートの材料構成則を線形弾性体としてモデル化し、解析物性値については、既往の文献²⁾を参考に表-1のように設定した。一方で、インバートと覆工をモデル化する際、インバートと覆工の打継ぎ目は軸力やせん断力の伝達に大きく影響することが予想できる。そのため、図-2に示すように、覆工とインバートを一体としたケース、打継ぎ目として接続部に剛性の低い要素を設けた2ケースをモデル化した。解析モ

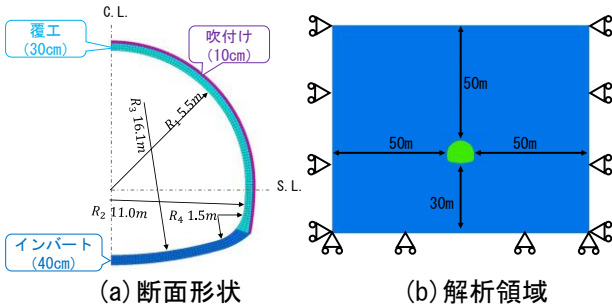


図-1 解析モデル図

表-1 解析物性値²⁾

項目	地山	吹付け	覆工	インバート
材料構成則	弾完全塑性体	線形弾性体		
単位体積重量 γ (kN/m ³)	24.0	23.5		
ヤング係数 E (MPa)	1000	4000	20000	
ポアソン比 ν	0.25	0.20		
粘着力 c (MPa)	2.0	—	—	—
内部摩擦角 ϕ (deg)	35	—	—	—
引張強さ σ_t (MPa)	0.2	—	—	—

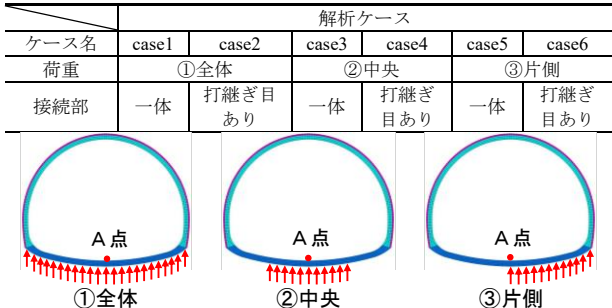


図-2 覆工とインバートの接続部と解析ケース

表-2 トンネル掘削解析手順

手順	解析内容	備考
①	上半掘削	・掘削：応力開放率 40% ・吹付け：応力開放率 100%
②	下半掘削	・掘削：応力開放率 40% ・吹付け：応力開放率 100%
③	インバート掘削	・掘削：応力開放率 100%
④	覆工・インバート施工	・覆工・インバートを一括で打設 ・地山からの外力が作用していない状態を再現

デルの境界条件については、図-1(b)に示すように、解析モデルの上面以外をローラー支持とした。

2.2 解析手順

図-1(b)に示すトンネル掘削前の解析モデルに対し

キーワード 盤ぶくれ、インバート、山岳トンネル、数値解析

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9332

て初期応力解析を実施した。次に、トンネル掘削解析を表-2の手順で実施した。

次に、盤ぶくれ現象を再現するインバートに作用する膨張圧を簡易的に表現し、膨張圧（以下、盤ぶくれ相当圧とする）がインバートに与える影響を把握する解析³⁾を図-3のように行った。盤ぶくれ相当圧を作用させる領域は図-2に示す計3パターンの解析を行い、盤ぶくれ相当圧を0.67MPaまで7段階にわけて徐々に作用させた。また、盤ぶくれによるインバートの損傷を模擬するために、インバート部の要素における引張応力がコンクリートの引張強さに達した場合、その要素のヤング係数を大幅に低下させることで、インバートに発生するひび割れによる損傷を表現した。

3. 数値解析結果およびまとめ

図-4に、盤ぶくれ相当圧を増加させたときの各ケースにおけるインバート中央部(A点)の鉛直変位を示す。この図から鉛直変位は作用する盤ぶくれ相当圧の増加に伴い、徐々に増加していることがわかる。盤ぶくれ相当圧を作用させる領域ごとに分析すると、インバート全体(case1, 4)に盤ぶくれ相当圧が作用した場合が最も鉛直変位が大きくなる一方で、インバートの片側(case3, 6)に作用させた場合の鉛直変位は最も小さくなる。次に、インバートと覆工の接続部の違いに着目すると、盤ぶくれ相当圧が作用する位置が同じでも接続部の剛性が低いケースの方が鉛直変位が大きくなることがわかった。

道路トンネルでは、盤ぶくれ総量が200mm程度以下で対策が行われたケースが報告されている⁴⁾ため、ここではインバートにおける浮上がり量が200mm程度に達した場合の、インバートの応力状態を調べた。本研究における解析のうち、最も盤ぶくれ相当圧に対する変位量が大きかったcase2に着目し、鉛直変位量が200mmに達した時のインバートの引張応力のコンターを図-5に示す。case2の場合のC.L.付近の内空側とインバート端部付近の外側に引張応力が卓越していることがわかる。ここで生じている引張応力は、コンクリートの引張強度(1.6MPa)を超過している箇所もあるため、引張ひび割れが発生していることが予見できる。

インバートは路面下部に位置しており、トンネル供用中での状態を調査することは難しいため、現場で測定が可能な盤ぶくれ量と、インバートの応力状態の関係を明らかにすることで、インバート改築等の維持管

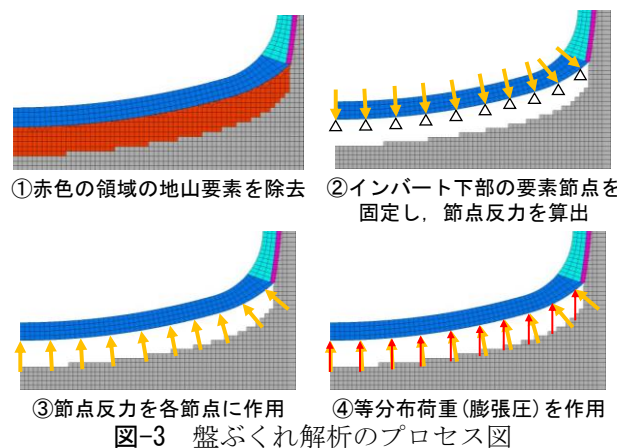


図-3 盤ぶくれ解析のプロセス図

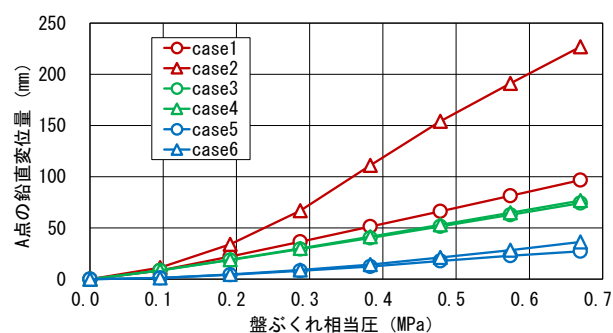
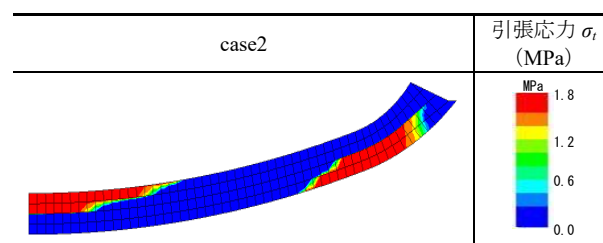


図-4 各ケースのA点の変位量uと膨張圧の関係



※一軸圧縮強さ $f_c = 18\text{MPa}$ のとき、 $\sigma_t = 0.23f_c = 1.58 \approx 1.6\text{MPa}$

図-5 case2におけるu=200mmのときのインバートの引張応力⁵⁾

理に有益な情報が得られることわかる。今後は、他の支保パターンにおける数値解析も実施する予定である。

参考文献

- 例えば、渡邊ら：プレキャストインバートを用いた供用中のトンネルの盤ぶくれ対策，トンネルと地下，Vol.51，No.10，pp.19-30，2020。
- 土木学会：トンネル・ライブラリー16 山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務，pp.152-153，2006。
- 例えば、持田ら：インバートが設置されたトンネルに変状が生じた場合の覆工への影響に関する一考察，第15回岩の力学国内シンポジウム講演集，pp.109-113，2021。
- 土木学会：トンネル・ライブラリー第25号 山岳トンネルのインバート—設計・施工から維持管理まで—，pp.210-211，2013。
- 土木学会：2017年コンクリート標準示方書[設計編]，pp.34-43，2017。