

地山の変形係数をパラメータとした山岳トンネルの覆工に関する数値解析的検討

国土技術政策総合研究所 正会員 ○藤原 茜, 谷口 勝基, 佐藤 正, 七澤 利明

1. はじめに

これまで建設された山岳トンネルの覆工は、過去の施工実績に基づいた標準支保パターンで設計されるのが一般的であった。一方で、プレキャスト覆工等の新たな構造が開発されており、従来の仕様に縛られずに、広く新技術が採用されるようにならなければならない。評価手法の確立に向けて、藤原ら¹⁾により覆工は緩み土圧及び膨張性土圧では曲げによる破壊をすることがわかっている。しかしながら地山の変形係数が 2000 [N/mm²] (地山等級 CI相当) の 1 種類であり、地山の変形係数の違いによる破壊モードや構造耐力の傾向が明らかになっていない。このため、地山の変形係数をパラメータとして覆工の数値解析を実施した。

2. 解析方法

本研究では、最初に土木研究所で実施された実物大の覆工載荷実験²⁾を対象に再現解析¹⁾を実施し、曲げ圧縮破壊に対して再現性を有する数値解析モデルを構築したものをを用いた。その後、構築したモデルを用いて地山の変形係数をパラメータとした数値解析を実施し、破壊モードおよび耐荷力の傾向について検証を行った。

数値解析には骨組構造解析を用い、部材のモデル化には材料非線形性を考慮したファイバー要素を用いた。図 1 に解析モデルの軸心モデル、図 2 に A-A 断面図を示す。断面は覆工厚方向が 300mm、覆工の奥行方向が 1000mm とした。要素分割は軸心に沿って 13cm ピッチとした。表 1 に材料の物性値、図 3 に材料の構成則を示す。

地盤ばねのモデル化にはバネ要素を使用し、引張が作用しない圧縮ばねを設定した。ばね定数は地山の変形係数をもとに設定した。地山の変形係数は 2000 [N/mm²] (地山等級 CI相当) から 150 [N/mm²] (地山等級 DII相当) まで変化させ、全 4 ケースの解析を実施した (表 2)。全てのケースにおいて、荷重は緩み土圧を想定し、図 4 に示すように天端を中心に 30° の部分に鉛直下向きの荷重を与えた。

表 2 解析ケース

| ケース名 (相当する地山等級) | CI | CII | DI | DII |
|------------------------------|------|------|-----|-----|
| 地山の変形係数 [N/mm ²] | 2000 | 1000 | 500 | 150 |

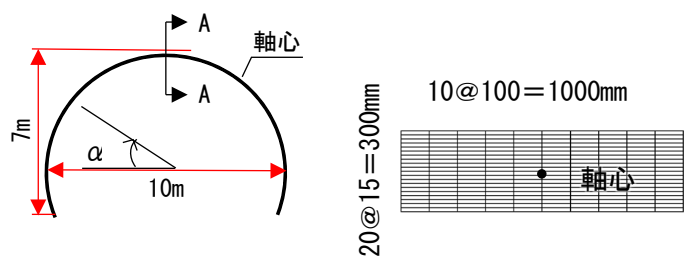


図 1 軸心モデル

図 2 A-A 断面図

表 1 材料の物性値

| | | | |
|---------|-----------------|-------------------|------|
| 圧縮強度 | f'_c | N/mm ² | 18 |
| 終局圧縮ひずみ | ϵ_{c0} | μ | 2000 |
| 引張強度 | f_t | N/mm ² | 1.6 |

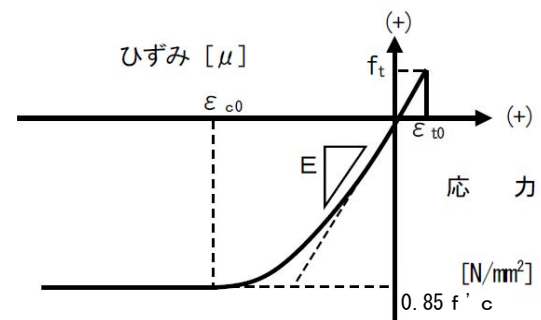


図 3 構成則

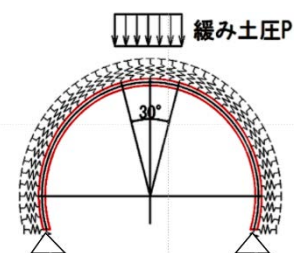


図 4 作用条件

キーワード 山岳トンネル, 覆工, ファイバー要素, 解析モデル, 地山等級

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 国総研 構造・基礎研究室 TEL 029-864-7189

3. 解析結果

3.1 変形係数の違いによる構造耐力について

各変形係数における天端変位と荷重の関係について、**図5**に示した。解析は解が収束する最終ステップまで実施し、これを構造耐力とする。このとき、地山の変形係数が小さいほど荷重に対する変形量が大きくなった。収束時の変形係数と構造耐力の関係(**図6**)を見ると、基本的には変形係数が大きいほど構造耐力も大きくなっている。ただし、CIIはあてはまらず、DIよりも早期に構造耐力に達している。

CIIの収束時および全ステップの平均のひずみについて、前のステップからの増加量を算出した(**図7**)。図7の縦軸は地山側端部のひずみの増加量であり、横軸は**図1**の角度 α である。その結果、引張側についての平均のひずみの増加量の最大値が1.7であるのに対し、構造耐力に達したときは17と10倍となった。このことから、引張ひずみが急激に増加した際に計算が不安定化し解が発散したと考えられる。これは引張側の構成則で引張軟化を考慮していないことが原因である可能性がある。

3.2 変形係数の違いによる破壊モードについて

ひずみが卓越した 90° 、 65° および 115° に着目して、曲げモーメントと軸力の関係²⁾を**図8**に示した。天端部、肩部ともに曲げ圧縮破壊をしている。そのため、変形係数の違いによらず、破壊モードは全て曲げ圧縮破壊と考えられる。

4. おわりに

本検討では、地山の変形係数をパラメータとして覆工の数値解析を実施し、以下のことが分かった。

- ・地山の変形係数が小さいほど荷重に対する変形量は大きくなった。
- ・地山の変形係数が大きいほど構造耐力は大きくなる傾向がある。
- ・変形係数の違いによらず破壊モードは全て曲げ圧縮破壊と考えられる。

計算の不安定化を解消するため、今後は引張軟化を考慮したモデルを用いて解析を実施したい。

参考文献

- 1) 藤原ら:山岳トンネルの覆工におけるファイバー解析の適用性評価,日本道路会議,Vol.34,No.6013,2021
- 2) 菊地ら:ファイバー要素を用いた山岳トンネル覆工の耐力に関する数値解析的検討,トンネル工学報告集,第31巻,I-36,2021

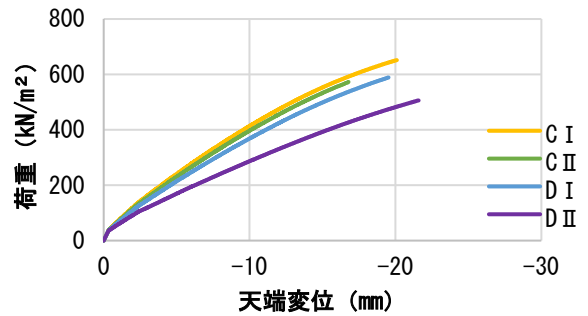


図5 天端変位と荷重の関係

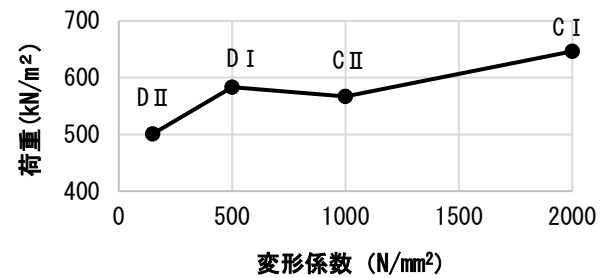


図6 変形係数と構造耐力の関係

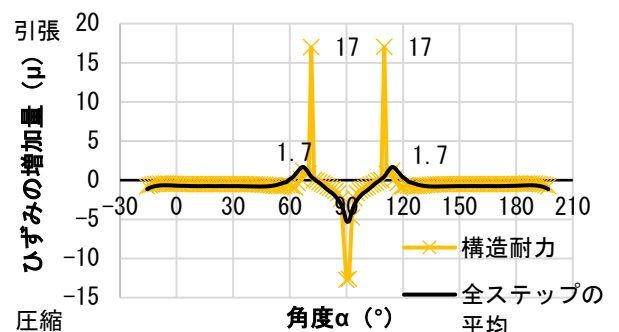


図7 C IIのひずみの増加量

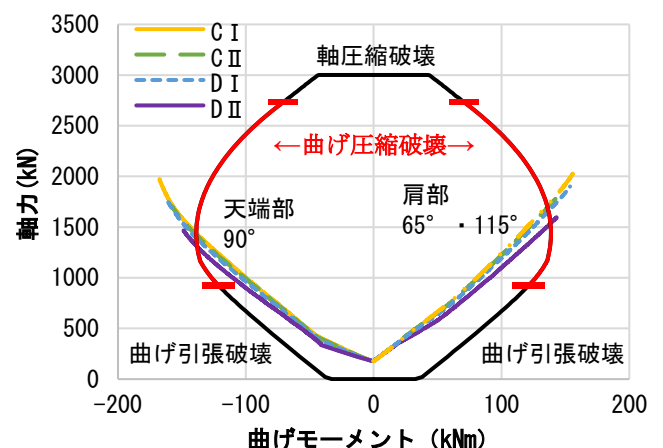


図8 曲げモーメントと軸力の関係