

既設トンネル上部での盛土が及ぼす覆工への影響及び繊維シート接着工の有効性に関する数値解析的検討

ドボクリエイト株式会社 非会員 ○ 大坪 晋三
 山口大学大学院 学生会員 田中 亨昌
 ドボクリエイト株式会社 正会員 森本 真吾
 ドボクリエイト株式会社 正会員 岸田 展明

1. はじめに

複雑な地質で、かつ急峻な山岳地形が卓越する我が国では、山岳工法によるトンネルが多く建設されてきた。都市部ではトンネル工事が周辺に与える影響などの制限があるが、技術の発展により、都市部においても山岳工法が採用される事例が多くなった。そのため、近年では、都市部の土地の高度利用化に伴い、既設の山岳工法トンネルに近接した、切土や盛土を伴った造成や高層建物の建設、あるいはトンネルの交差や併設などの近接施工が増えてきている。近接施工を行う場合は、既設トンネルへの影響を評価し、必要に応じて適切な対策工の適用が重要となり、その評価方法として数値解析が適用される事例が多い。また、近接するトンネルへの補強対策としては、繊維シート接着工などが挙げられるが、数値解析での適切なモデル化方法は確立されていないという課題がある。そこで、既往研究¹⁾では、数値解析における繊維シート接着工のモデル化について研究が行われた。

本検討では、近接施工、特に盛土施工を対象として、近接する既設の山岳工法（矢板工法）トンネルへの影響対策として、繊維シート接着工を適用した際の補強効果について検討を行った。

2. 数値解析概要

本検討では、基礎的な検討を対象とするため、奥行き1mの二次元数値解析を実施することとした。解析ケースは、繊維シート接着工の効果を確認するため、トンネル覆工の上半内側に繊維シート接着工を設置したケースと、無対策のケースの2ケースとした。

2.1 トンネルと地山のモデル化

トンネルは、矢板工法で施工した道路トンネル（上半半径 $r=4.4\text{m}$ 、覆工厚 $t=0.6\text{m}$ ）を想定してモデル化（図-1）を行った。トンネル周辺地山は、土被り10mの小土被り地山を想定してモデル化（図-2）を行うこととした。トンネル覆工は、ひずみ軟化を考慮した弾塑性モデルとし、引張強度（ $1,910\text{kN/m}^2$ ）を超過すると引張軟化することで疑似的にひび割れを表現することとした。入力物性値を表-1に示す。地山とトンネル覆工間はInterface要素を設置し、不連続性を考慮した。Interface要素は、法線方向応力が引張強度を超えると分離し、せん断強度を超えると滑動するものとした¹⁾。

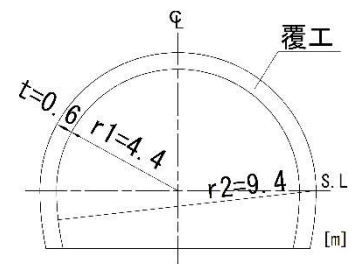


図-1 トンネル覆工モデルの概要



写真-1 繊維シート接着工¹⁾

表-1 入力物性値

| | 単位体積重量 γ (kN/m^3) | 弾性係数 E (kN/m^2) | ポアソン比 ν | 粘着力 C (kN/m^2) | 内部摩擦角 ϕ ($^\circ$) | 引張強度 T (kN/m^2) |
|--------|--|---------------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 地山 | 20.0 | 8.0×10^4 | 0.4 | 100 | 30 | 20 |
| トンネル覆工 | 23.5 | 2.5×10^7 | 0.2 | 12,000 | 60 | 190 |

キーワード トンネル, 繊維シート接着工, 維持管理, 数値解析, 近接施工, 炭素繊維

連絡先 〒755-0097 山口県宇部市常盤台 2-16-1 (山口大学研究推進機構内 C206)

T E L 070-9013-8933 (代表)

2.2 繊維シート接着工のモデル化

本検討では、対象とした繊維シート接着工は、引張剛性を 250×10^8 kN/m²、厚さを 0.167mm (目付け量 300g/m²) の炭素繊維シート (写真-1) を想定した。繊維シート接着工は、はく離や滑りなどのトンネル覆工との不連続性のモデル化を行うことを目的として、Liner 要素を適用した。Liner 要素は、前述した Interface 要素と同様に、法線方向応力は、引張強度 3.0×10^4 kN/m² を超えるとはく離、せん断方向応力は付着強さ 1,500 N/mm² を超えるせん断強度を超過し滑動するものとした²⁾。

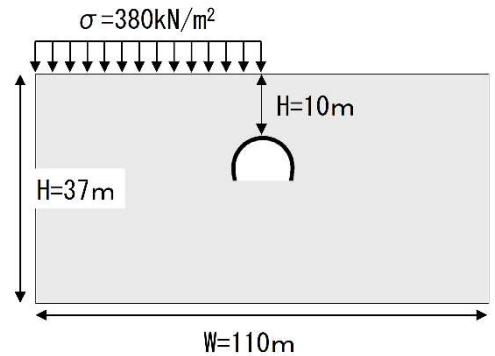


図-2 解析モデル概要

2.3 作用荷重

本検討では、作用荷重として単位体積重量 19 kN/m³、高さ 20m の盛土施工を想定した。また、トンネル構造に不安定な状況を想定するため、作用荷重範囲はトンネル中心から左側上面とした (図-2)。

3. 解析結果

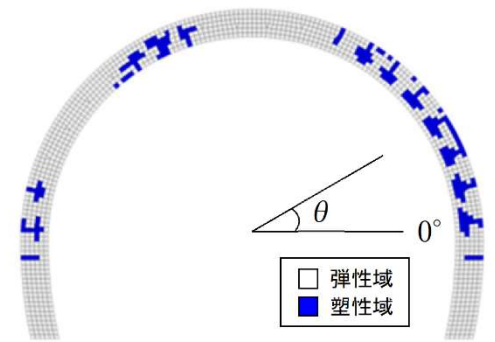
解析結果を図-3, 4 に示す。図-3 から、繊維シート対策工の有無による塑性域分布を比較すると、限定的ではあるが、覆工内側の天端部左側付近 (角度 100° 付近) で減少が確認された。図-4 から、覆工内側と外側の周方向応力について比較を行うと、覆工内側の天端部 (角度 100° 付近) において違いが生じ、対策工無のケースでは 290 kN/m²、対策工有のケースでは、-754 kN/m² となった。ただし、側壁部ではほとんど違いは見られなかった。

4. まとめ

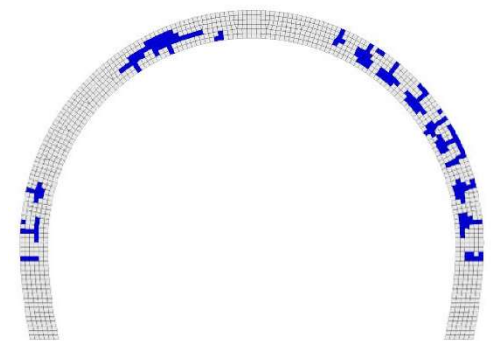
本検討は、既設の矢板工法トンネルにおいて、近接施工を行う際の繊維シート接着工の補強効果の確認を目的として数値解析を行った。本検討での数値解析結果から、覆工上半に設置した繊維シート接着工は、側壁部における効果は確認できなかったが、天端部では対策工の引張抵抗により、周方向の引張応力を減少させる効果が確認できた。このことから、天端部の引張ひび割れを抑制する効果が期待できる結果となった。荷重条件を変えた場合の効果の違いなどについて検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 岡部正ほか：トンネル覆工補強工の定量的選定に向けた数値解析的検討の適用性，地下空間シンポジウム論文・報告集，第26巻，土木学会【一般投稿論文】，2020
- 炭素繊維補修・補強工法技術研究会トンネル部会：炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル，pp.6-13，1997.



(a) 対策工無



(b) 対策工有

図-3 塑性域図 (疑似的なひび割れ)

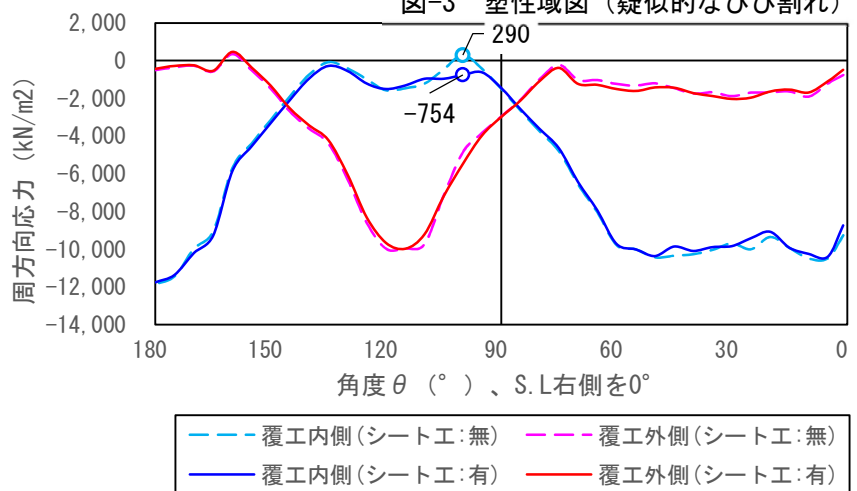


図-4 トンネル覆工の周方向応力の変化