

## 既設トンネル覆工における繊維シート接着工の配置パターンに関する一考察

|              |     |                  |
|--------------|-----|------------------|
| ドボクリエイト (株)  | 正会員 | ○森本 真吾           |
| (株) ケー・エフ・シー | 正会員 | 岡部 正・五味 綾子・田部 美月 |
| (株) 地層科学研究所  | 正会員 | 菅原 健太郎・東 幸宏      |
| 山口大学大学院      | 正会員 | 林 久資             |

## 1. はじめに

日本の高度成長期に数多く建設されたトンネルでは、老朽化が進み維持管理の重要性が増している。一方で、維持管理にかかる費用は増大の一途を辿っていることから、限られた費用の中で効率よく維持管理を行い、長寿命化や安全性の向上を図る努力が求められている。補修や補強が必要となる古いトンネルの多くは、矢板工法とよばれる施工法により建設されており、建設から50年以上経過したものも多い。矢板工法におけるトンネル覆工の変状は、引張ひびわれ、圧ざ、せん断ひびわれなどが挙げられるが、その要因の一つとして外力により発生することがある。このように、外力により変状が発生したトンネル覆工は、規定の点検により対策工が選択される。山岳トンネルの場合は、トンネル構造の耐荷力の低下を回復もしくは向上させることを目的として、注入材を用いた裏込注入、内巻工、繊維シートや鋼板などを用いた内面補強工、ロックボルト補強工やインバート補強工など対策工が選択される。本研究では、その対策工のうち繊維シート接着工を取り扱い、経済性や効率性等の観点から対策工設計の一助となるように、数値解析を用いた繊維シート接着工の配置パターンの違いにおける補強効果を検討し、考察を述べる。なお、配置パターンについては、帯鋼板による対策工の設計施工事例を参考とした。

## 2. 繊維シート接着工の概要

繊維シート接着工は、覆工のひびわれ発生部の変状面、もしくは引張応力作用面に、シート状に加工した高強度繊維をエポキシ樹脂等によりコンクリート表面に含浸させながら接着させ積層しコンクリートと一体化させて補強する工法である<sup>0</sup>。本工法は、曲げひびわれの開口を抑制する効果が高く、繊維と樹脂による補強のため腐食しにくいといった特徴がある。また、被覆効果により覆工表面の劣化を抑制することができる。繊維シート接着工の施工は、シートを均一に設置するなど画一的な設計が行われることが一般的である(図-1)。なお、トンネル補修工としては200g目付け( $t=0.111\text{mm}$ )の繊維シートが多く採用されている。

## 3. 解析条件と検討結果

繊維シートの配置パターンの違いによるトンネル覆工におよぼ影響について検討を実施するにあたり、配置パターンについては、帯鋼板の施工例を参考とした(図-2)。なお、本研究で取り扱う繊維シートは、炭素繊維

キーワード トンネル補修, 繊維シート接着工, 数値解析, 配置パターン

連絡先 〒755-0097 山口県宇部市常盤台2-16-1 ドボクリエイト株式会社 TEL0836-85-9332



図-1 繊維シート接着工の施工例

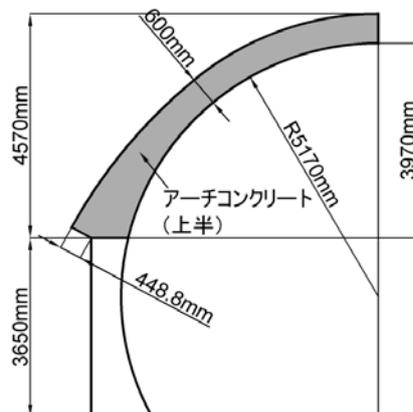
図-2 帯鋼板の施工例<sup>2)</sup>

図-3 トンネル覆工形状

維を対象とした。トンネル覆工は、在来工法での施工を模擬した道路トンネル二車線標準断面（上半  $R=5,170\text{mm}$ ，覆工厚：60cm）における上半部の覆工コンクリートを解析対象部位とし、下半部も含めて三次元ソリッド要素によりモデル化した。覆工のスパン長は10mとし、変形特性は、弾性係数  $25,000\text{N/mm}^2$ ，ポアソン比 0.2 とした。なお、覆工コンクリートは引張強度（ $1.91\text{N/mm}^2$ ）を超過すると引張軟化するものとし、疑似的にひびわれを表現することとした。地山とトンネル覆工間は、法線方向応力が引張強度を超えると分離、せん断方向応力が摩擦係数 0.5 からなるせん断強度を超えると滑動するものとした。炭素繊維シートのモデル化は、曲げモーメントには抵抗しないモデルとし、引張剛性を  $250\text{kN/mm}^2$ ，厚さについては  $0.111\text{mm}$ ， $0.333\text{mm}$ （目付け量  $200\text{g/m}^2$ ， $600\text{g/m}^2$ ）とした。外力は、トンネル覆工天端の内空側に引張応力が発生するような問題を考え、鉛直土圧が覆工アーチ部に作用するものとした。定性的ではあるが、これらの入力条件により解析を実施し、炭素繊維シートの配置パターンの違いについて比較した。炭素繊維シートの配置は覆工上半内側を対象として、ケース 1 は全面配置，ケース 2 は 50cm ピッチの帯状に配置，ケース 2 に対して目付け量を増やした（ $600\text{g/m}^2$ ）場合をケース 3 とした。なお、比較のため、炭素繊維シートを設置しないケース（ケース 0）もあわせて実施することとした。

図-4 に解析結果を示す。図に示す値は周方向ひずみの引張成分に着目しており、ケース 1~3 はケース 0 に対する比較を行った。天端直上では、各ケースで引張破壊が発生し、覆工地山側付近まで達する。ケース 0 に対する変化割合の最大値は、ケース 1 より 0.65, 0.77, 0.59 となる。炭素繊維シートを全面に設置することで、引張破壊の進行による周方向ひずみは抑制される。帯状配置にすることで、その抑制効果はやや低下するが、目付け量を増やすことでケース 1 と同等以上の効果が発揮されていることがわかる。

#### 4. まとめと今後の課題

帯状配置は、繊維シートの目付け量が増加するが、施工面積は減少するため、施工を含めたコストの縮減を図ることが期待できる。本研究結果より、炭素繊維シートを用いた帯状配置は、目付け量を増やすことで従来と同様あるいはそれ以上の効果が得られる可能性を示すことができた。ただし、炭素繊維シートの剥離・すべりは考慮していないため、現段階では定性的な判断である。具体的な判断基準や定量的な配置パターンの提案については、今後の検討課題としたい。

#### 5. 謝辞

本研究は、「トンネル実務者のための数値解析勉強会」会員によって遂行されたもので、連名者の他にも会員の株式会社ジオ・ソリューション、樽井氏には本報告の作成にあたり協力をいただいた。感謝いたします。

**参考文献** 1)土木学会：トンネルライブラリー12，山岳トンネル覆工の現状と対策，pp.136-138，2002。2)山本他：変状トンネル補強用ロックボルトと帯鋼板を用いた背面空洞充填工事，土木学会第 73 回年次学術講演会，VI-311，pp.621-622，2018。

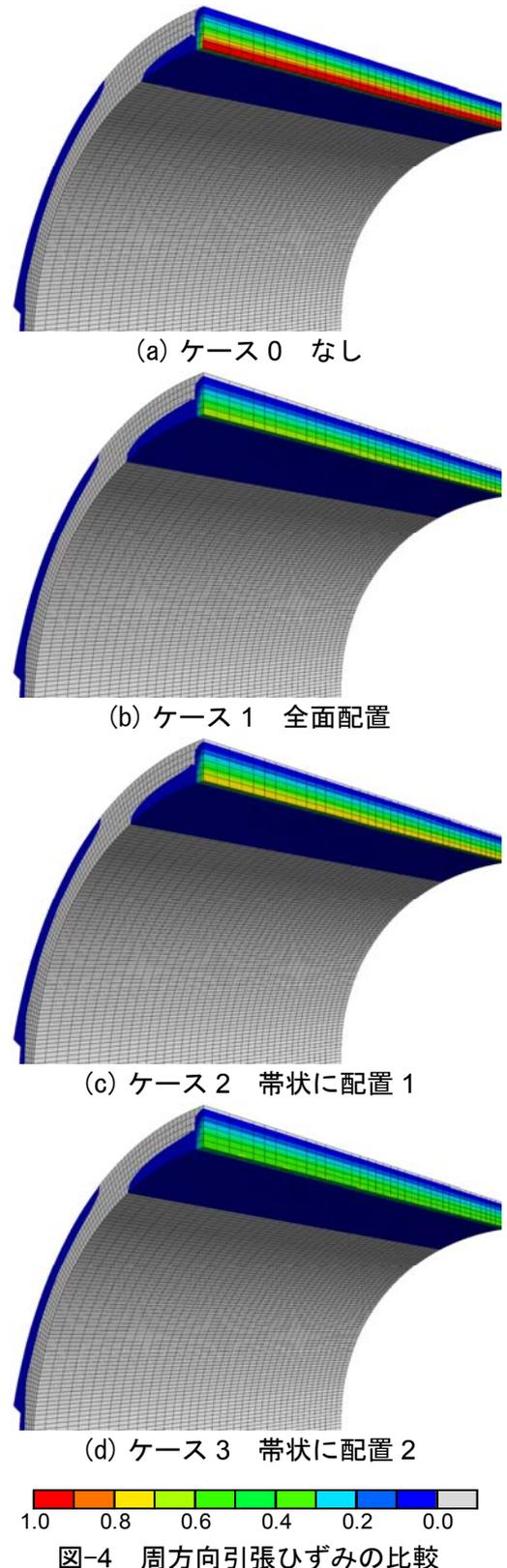


図-4 周方向引張ひずみの比較