

変状トンネルに対する FRP グリッドの補強効果の評価と 設計解析モデルの提案

長崎大学大学院工学研究科
東 幸宏

近年、供用年数が 30 年～40 年以上となるトンネル構造物が増加し、それに伴う劣化現象が全国的に顕在化してきており、覆工の劣化損傷により内空変位が経年的に増加しているトンネル構造物が数多く存在している。このような内空断面が建築限界に近いトンネル構造物に対し、これまで多くの補修・補強手法が開発・適用されてきている。中でも、覆工の劣化に対する内面補強手法として内巻工や炭素繊維シート接着工、鋼板接着工が代表的な手法として挙げられ、特にその施工性の高さから炭素繊維シート接着工が主として採用されており、コンクリート片の剥落・落下防止といった補修効果や曲げ補強効果などは多くの実験データにより確認されている。しかし、既存の内面補強工には雨や地下水などの漏水による鋼材の腐食と接着材料である樹脂の溶解や大型機械の使用による施工性の悪さ、夜間工事による施工期間の長期化など様々な問題点が存在している。これらの問題点を改善する工法として、橋梁やボックスカルバートなどのコンクリート構造物における補修補強手法として用いられている FRP(Fiber Reinforced Plastics) グリッドを用いたポリマーセメントモルタル (Polymer Cement Mortar, 以下 PCM) 吹付けによる増厚工法 (以下, FRP-PCM 工法) が上述のような変状トンネルの補修補強工法として適用されている。

FRP-PCM 工法は、FRP グリッドが高強度・軽量かつ高い耐腐食性を有しており、特殊短繊維を含む無機系材料である PCM により既存のコンクリート構造物と一体化される工法である。そのため、厳しい施工環境下においても薄いかぶりでの施工が可能であり、その維持管理を容易に行うことができる工法である。その基本的な強度特性や変形特性は既往研究における各種力学試験等により検証されているが、トンネル構造物における施工事例はまだ多くなく、トンネル覆工の補強効果に関する定量的な評価手法および合理的な設計指標の確立がなされていないのが現状である。

本研究は、FRP-PCM 工法のトンネル内面補強工としての力学的性能とせん断付着性能を室内一面せん断試験により評価し、さらに付着面におけるせん断付着パラメータを算出した。また、室内試験により得られたパラメータを用いて、有限差分法解析による変状トンネルの補強効果評価のためのケーススタディを実施した。補強解析は変状要因に着目し、塑性圧および緩み圧に起因する変状トンネル構造物における FRP-PCM 工

法の補強解析を実施し、変状原因ごとの補強効果を明らかにした。突発的な損傷を及ぼす緩み圧に起因するトンネルの設計解析モデルを提案し、その補強解析の結果を基にFRP-PCM工法の適用条件を明らかにした。

第1章では、変状トンネルに対する補修補強手法およびFRPグリッド補強手法の現状とトンネル構造物における変状対策における課題について述べるとともに変状トンネルの対策手法に関する既往研究について記述し、本研究の目的と構成を示した。

第2章では、トンネル構造物の変状現象について、変状の分類とその定義について述べた。特にトンネル構造物に作用する外力として代表的なものとして、塑性圧、偏圧および緩み圧に関して定義付けを行い、その変状事例を示した。さらに、各変状要因に対応した対策工法の概要について示した。

第3章では、FRP-PCM工法の概要と使用材料の特徴および性質、施工時における留意点について述べた。また、トンネルの内面補強工の補強効果は、付着面のせん断付着特性に依存するものと捉え、FRP-PCM工法により補強した覆工も模擬供試体を用いた一面せん断付着試験によりFRP-PCM工法のせん断付着特性を検証し、付着面強度定数と付着面のせん断剛性パラメータを算出した。

第4章では、FRP-PCM工法により補強した、トンネル覆工を想定した梁供試体を用いて曲げ載荷試験を実施し、FRP-PCM工法の補強効果を力学的に評価した。さらに、曲げ載荷試験の再現解析により、補強効果を評価する際に課題となるFRP-PCM工法のモデル化手法について、曲げ載荷試験の再現解析を実施して検討を行い、付着面の挙動を考慮することによって実挙動と同様の挙動を再現できることを明らかにした。

第5章では、変状要因の一つである塑性圧に着目して、背面空洞を有するトンネルモデルを対象に、周辺地山の变形挙動の時間依存性を考慮したケーススタディを行い、塑性圧に起因する変状トンネルにおける対策工の補強効果を定量的に評価した。数値解析では、施工時期や補強範囲、対象トンネル周辺の地山強度比によりその補強効果の違いを明らかにし、地山状況に応じて適切な補強時期あるいは補強パターンの選定が必要であることを示した。

第6章では、変状要因の一つである緩み圧に着目して、連続体解析におけるトンネルモデル化手法を提案し、実務の補強解析に一般的に用いられる骨組み構造解析との比較を行い、モデル化手法の有用性を検証した。さらに、緩み圧に起因する突発性崩壊によるトンネル変状に対して、提案したモデル化手法を用いたケーススタディを実施した。緩み高さ、地山分類、覆工の劣化度などの各条件に応じた補強効果を確認して、FRP-PCM工法の適用条件を示した。

第7章では、各章の成果を総括して結論とした。