

ビニロン繊維マットを用いたトンネル覆工補修・補強方法の開発

鉄建建設 正会員 ○松尾庄二
鉄建建設 正会員 土井至朗
鉄建建設 正会員 松岡 茂

1. はじめに

近年、トンネルの覆工コンクリートの剥落／崩落事故が相次ぎ、社会的問題として世間の注目を集めた。これら一連の事故の多くは、偏圧の作用や材料自体の経年劣化、施工ミスなどによるひび割れの発生と進展が主要な原因と考えられている。また、覆工コンクリートの剥落まで至らなくても、大きな変状が生じたトンネルに関する報告事例が散見される。これらトンネル変状の対策工としては、覆工耐力の増加のみならずひび割れの発生／進展を抑えることが重要となる。さらに、トンネルとくに鉄道トンネルにおいては、補修・補強工事による内空断面の減少を必要最小限にとどめることが要求される。

このような要求性能を満足する工法としては、繊維シート接着工法が代表的である。これに対して、従来から採用されている内巻コンクリート工法の場合、コンクリートの高強度化や繊維補強による高靱性化により、断面を小さくすることが可能となる。本報文においては、筆者らが開発したビニロン繊維マットを用いた高靱性モルタルによるトンネル覆工の補修・補強工法について報告するものである。

2. 補修・補強材料

内面補強工の補強材料としてセメント系材料を使用する場合、前述のように強度や靱性面における高性能化が必要となる。このような材料として最近注目されているのが、高靱性セメント複合材料(DFRCC)¹⁾である。DFRCCはセメント系材料を繊維で補強したもので、曲げ応力下において複数ひび割れ特性を示し、曲げ、引張、圧縮破壊時の靱性が大幅に向上した材料と定義される。DFRCCにはマトリックスや繊維により様々なものがあるが、筆者らが採用したものはビニロン繊維マットにセメントペーストを充填させたものである。

繊維マットは、直径 100 μm の連続繊維をマット状に加工したもので、繊維は均一に配置され連続性を有している。繊維同士は十分な空隙をもって織り込まれているため、充填材料の浸透性に優れている。また、カッター等で容易に切断が可能で、なおかつ覆工の形状にあわせて自由に変形ができる加工性に富む材料である。今回厚さ 70mm のマットを使用し、50mm に圧縮した状態で W/C=47% のグラウトを注入することにより、繊維混入率が約 1 % となるようにした。硬化後の破壊特性は図-1、2 に示すとおりで、ひび割れ発生後の応力の増加が見られた。

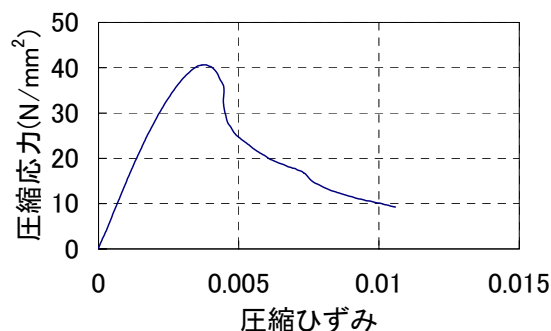


図-1 圧縮試験結果

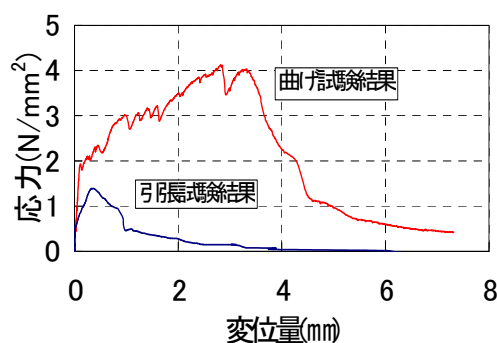


図-2 曲げおよび引張試験結果

3. 技術開発上の問題点と対策

本工法は、既存の覆工面にビニロン繊維マットを取り付け、型枠を設置した後、グラウト充填を行う手順が基本である。実施工時の問題点および対策について以下に列举する。

キーワード 補修・補強, トンネル覆工, ビニロン繊維

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1 鉄建建設(株)技術研究所 TEL:0476-36-2355

3.1 型枠の材質

トンネル内での作業のため、空間的・時間的制約が厳しい。したがって、型枠としては埋込型枠を用いる。また、覆工内面の曲面に対する追従性も要求されるため薄くて変形性の高い材質が必要となる。さらに、グラウト充填時の圧力に耐える強度も必要である。ここでは、強度、引張靱性ともに優れた ECC ボードを埋込型枠として使用した。ECC ボードは、径が $26\sim 100\mu\text{m}$ 、長さ 6mm 程度のビニロン繊維を $3\text{vol}\%$ 混入した DFRCC の一種である。その圧縮強度は 88N/mm^2 、引張強度は 14N/mm^2 と高く、また写真-1 に示すように大きな変形性能を示す。

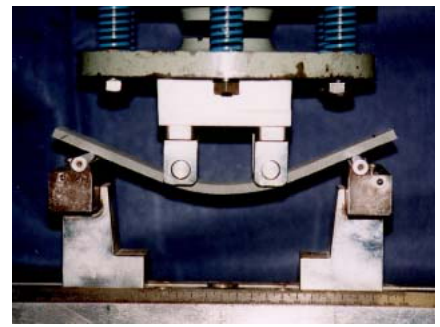


写真-1 ECC ボード曲げ試験状況

3.2 型枠間の接合部および端部

型枠間および型枠端部の水密性が低いと、グラウト充填時に漏洩のおそれがある。したがって、このような部位には高密度のビニロン繊維不織布を型枠内面に貼付することにより、全体の水密性を高める。

3.3 繊維マット間の接合部

ビニロン繊維マット自体は連続性を有する材料であるが、マット間の連続性はない。したがって、グラウト硬化後、接合部にひび割れが集中する可能性が高い。ビニロン繊維マット間の連続性を確保するために、ステンレスメッシュを接合部に配置する。ステンレスメッシュとビニロン繊維マットとの定着長は片側 100mm づつとした。4点曲げ試験を行った結果、図-3 に示すように連続したビニロン繊維マット供試体と同程度の強度を発揮した。また、最終的には接合部以外の場所で破壊が生じており、ステンレスメッシュによる連続性が確認された。

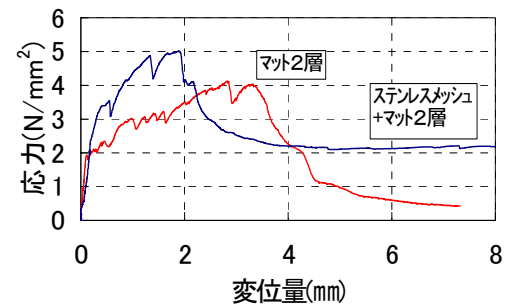


図-3 ステンレスメッシュの効果

3.4 既設覆工と硬化補強体間の付着

既設覆工面と硬化補強体間での付着力はほとんど期待できない。したがって、埋込型枠を既設覆工にアンカーによって定着することにより、既設覆工と補強体の一体性を確保する。

4. 施工性確認試験

3章の諸対策を考慮して、半径 2.6m の模擬トンネルを用いた施工性確認試験を行った。その結果1ブロック（ボード1間分、約 9m^2 ）あたり5人/日で2日という施工速度が確認された。なお、グラウトの注入スピードは $3\sim 5$ リットル/分で、1回の注入高さは 0.9m であった。硬化後に天端部分やマットの継ぎ目部分を切り出して観察したが、未充填部分は確認されなかった（写真-2）。また、型枠接合部等からのグラウトの漏洩もなく、ビニロン繊維不織布の効果が確認された。



写真-2 充填状況の確認

5. まとめ

ビニロン繊維マットを用いたトンネル覆工の補修・補強工法の有効性が、実大の模擬トンネルによる施工性試験により確認された。本報文においては、繊維混入率 1.0% 、グラウトの $\text{W/C}=47\%$ についての試験結果を報告したが、これらの物性を変化させることにより適用するトンネル覆工の要求性能に応じた補強体を作製することが可能である。今後は、実施工への適用を目指して、埋込型枠の固定方法等についてさらなる改良を試みるつもりである。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書，2002.1