

高靱性モルタルによるトンネル内巻き補強効果の数値解析

鉄建建設技術研究所	正会員	土井至朗
鉄建建設技術研究所	正会員	松尾庄二
鉄建建設技術研究所	正会員	松岡 茂

1. はじめに

昨年来、覆工コンクリートの剥落事故が発生したことを受け、覆工の補修・補強工事が実施されている。また、覆工の補修・補強工事のより効率化かつ効果的な工法・材料の開発が望まれている。既設覆工の補修・補強においては、構造物の機能を維持するためにトンネル内空断面を確保するために補修・補強による内空断面の縮小を最小限にしなければならない。さらに、第三者が通行する道路トンネル等では補修・補強材料の耐火性能も重要な評価項目となっている。

最近、鋼繊維混入率の高い鋼繊維補強モルタル（高靱性モルタル）が開発された¹⁾。この高靱性モルタルは圧縮強度が高いだけでなく、引張破壊特性も優れていることから、この材料により覆工の内巻き補強を行うことが可能であると考えられる。そこで、本報告では、高靱性モルタルを用いた内巻き補強の効果について数値解析により検討を行った。

2. 数値解析モデル

2.1 高靱性モルタルの力学特性

高靱性モルタルの力学特性は、鋼繊維の混入率および種類等により変化することから、現行の覆工仕様と同様の断面耐力線を確保することを目的に高靱性モルタルの内巻き補強仕様を定めた。覆工仕様は、トンネルの種類および規模により異なることから、本報告では高速道路2車線断面の覆工仕様（設計基準強度 18N/mm^2 、覆工厚 30cm ）と同程度の断面耐力を有する補強仕様を定めた。現行覆工の断面耐力線は、「コンクリート標準示方書」（土木学会編）の曲げ耐力算定方法に従って計算し、その結果を図-1に示す。

高靱性モルタルによる内巻き補強厚については、施工性等を考慮して 10cm と仮定して断面耐力を算出した。高靱性モルタルの断面耐力は、図-2に示すようにひび割れ断面で鋼繊維により伝達される引張応力を考慮して算出した。ひび割れ面で伝達される引張応力については、松尾ら¹⁾の研究結果に基づいて図-3に示す引張軟化曲線とした。なお、圧縮強度については試験結果から 65N/mm^2 とし、圧縮応力-ひずみ曲線は「コンクリート標準示方書」に準拠した。

ただし、圧縮ひずみの終局限界ひずみについては考慮していない。計算結果によると断面耐力線は図-1に示すように、高靱性モルタルを 10cm 内巻き補強することにより、現行覆工の耐力とほぼ同一になる。

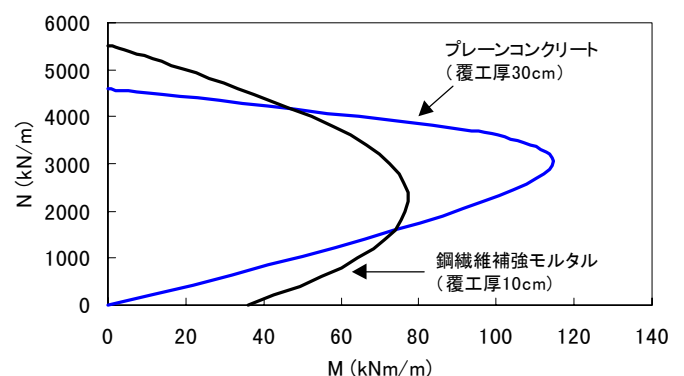


図-1 断面耐力図

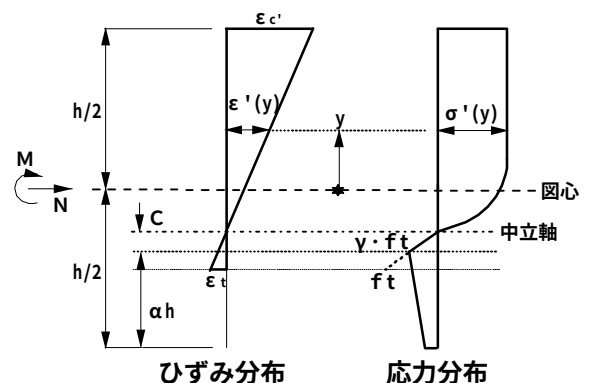


図-2 ひび割れ断面の応力・ひずみ分布

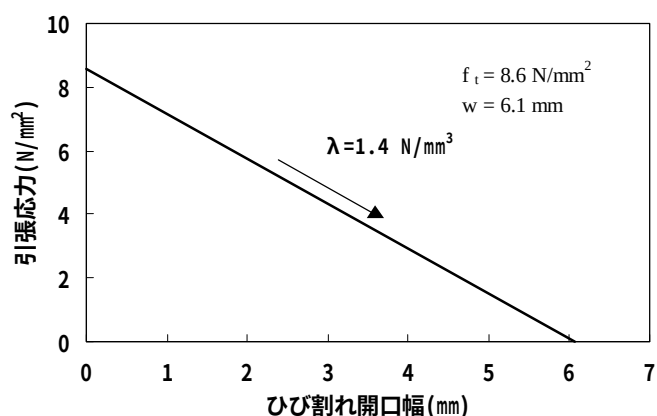
キーワード：鋼繊維補強モルタル，トンネル覆工，補修・補強，数値解析

連絡先：鉄建建設(株)技術研究所，〒286-0825 成田市新泉 9-1 TEL 0476(36)2355 FAX 0476(36)2380

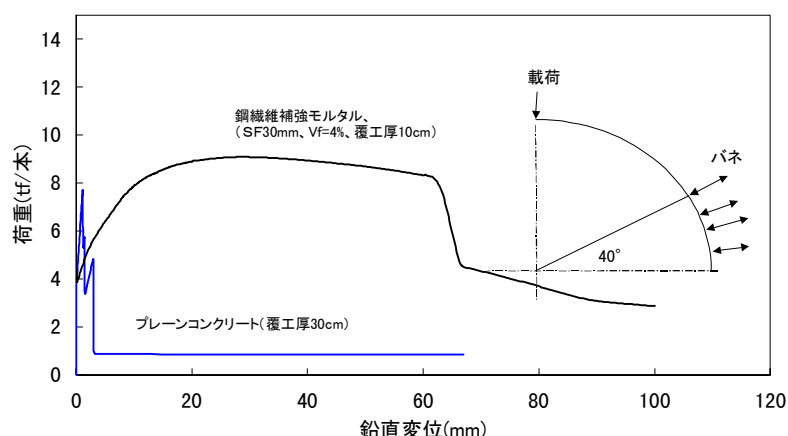
2.2 解析モデル

鋼繊維によりひび割れ面で引張応力が伝達されるために、鋼繊維補強コンクリートの解析ではひび割れ発生・進展を考慮した解析手法が不可欠である。そこで、本報告では筆者ら²⁾が提案しているひび割れ発生・進展を考慮したFEM解析により、内巻き補強の効果を計算した。

覆工に局部的に荷重が作用した場合や偏圧が作用した場合には、覆工に曲げモーメントが卓越する。このような曲げモーメントが卓越する荷重状態では、無筋コンクリートでは複数のひび割れ発生により急激に覆工の耐荷力が失われることが予想される。これに対して、鋼繊維を混入したものはひび割れ面で引張応力が分担されるために、急激な耐荷力の低下は無いものと推定される。そこで、数値解析では覆工に曲げモーメントが卓越する荷重状態を想定して、覆工のS/L付近のみに地盤反力が作用した状態で天端部から集中荷重が作用するものとした。なお、内巻き補強の計算では、既設覆工は完全に耐荷力が失われたものとし、内巻き補強のみを解析対象とした。



図－3 引張軟化曲線



図－4 載荷荷重と載荷点変位の関係

3. 解析結果

図－4に載荷点である天端部の変位量と荷重との関係を示す。現行覆工仕様の場合では、最初に天端部の内面側から曲げひび割れが発生し、その後、アーチ肩60度（S/Lから）付近の外面、アーチ肩40度付近の内面の順序で曲げひび割れが発生する。第3ひび割れであるアーチ肩40度付近にひび割れが発生すると、荷重は急激に低下し、構造的に不安定となるために計算を継続することが出来なくなった。また、図－4に示すように曲げひび割れが生じると荷重は急激に低下する傾向を示している。

高靱性モルタルの場合には、ひび割れ発生位置および順序は無筋コンクリートの場合とほぼ同様であるが、曲げひび割れ発生による荷重の急激な低下は見られない。また、内巻き補強に生じるひび割れは無筋コンクリートの場合より多く、ひび割れの分散効果が見られる。最終的には、曲げひび割れ断面の圧縮側に接線方向のひび割れが発生する領域が拡大することにより、最大耐荷力が決定されている。

4. まとめ

高靱性モルタルを既設覆工の内巻き補強材料として使用した場合の効果を数値解析で検討した結果、内巻き補強を行うことにより既設覆工と同等以上の耐荷力を保持することが可能であると判断された。また、高靱性モルタルを用いることにより、曲げモーメントが卓越するような荷重状態では大きな変形性能を有していることが数値解析結果で確認された。なお、筆者らは、数値解析による計算結果と高靱性モルタルの補強効果を検証する目的で数値解析に用いた条件と同一条件下の実大載荷実験を計画している。

【参考文献】

- 1) 松尾ら：高靱性モルタルに関する基礎的研究，第55回年次学術講演会（投稿中）
- 2) 松岡ら：ひび割れ発生・進展に支配されたコンクリート構造物の解析モデル，土木学会論文集，