

トンネル覆工コンクリートの補強施工に関する検討

佐賀大学 理工学部 正会員 ○ 石 橋 孝 治

" 中 村 勇 亮

" 正会員 山 内 直 利

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの一部が、ひび割れの閉合に伴って剥がれ落ちる事故が発生したことにより、覆工コンクリートの施工品質と供用後の点検管理が衆目を集めた。この教訓は今後の施工と管理に生かされることとなるが、基本的にトンネル内は通風良好であり、覆工コンクリートは乾燥収縮ひび割れが発生し易い環境にある。本研究は、後発のひび割れの閉合に伴うコンクリート塊の剥離防止を念頭に置いた覆工構造について検討を行ったものである。

2. トンネル覆工について

NATMが標準的なトンネル工法となり、トンネル覆工(NATMでは2次覆工と称される)に関する関心が1次覆工に比べて薄れてきた。在来工法では、覆工は地圧などの荷重を永久に支持する構造体と考える立場に立ち、地山のゆるみ荷重や水圧などの外荷重に基づいてコンクリート強度や巻厚が設計された。一方、NATMでは、1次覆工の施工により地山自身がトンネルの安定化を図るため2次覆工には外荷重は作用しないと考える立場に立ち、使用条件あるいは岩盤分類・地山状況に応じた発注者基準に従う設計がなされてきている。トンネル標準示方書(山岳編)では、トンネルの変形が収束した後に施工する覆工に対して、供用後の付加外力(後荷)の支持、不確定要因に対する構造物の安全率増加、地山や1次覆工材料の劣化防止(耐久性向上)を所要の強度特性としてあげている。施工不良を除く覆工のひび割れ発生原因としては、1次覆工面の拘束存在下での温度(硬化温度、外気温度)低下、乾燥収縮、外力(水圧、偏圧)付加等がその主要因と考えられている。

本研究では、覆工内周面に剥離防止板として鋼板またはFRP板を取り付けた被覆構造を設定した。剥離防止板はその施工性を考慮して、予め覆工形枠内にリングユニットをトンネル軸方向に連結して設置し、覆工コンクリート打設により一体化を図るものであり、後付け貼付の施工ではない。

3. モデル実験の概要

基本的に、被覆板に力学的な補強効果を期待しないが、構造力学的には覆工を補強する形態をなしている。1リングユニット相当の覆工から一部を取り出したかたちの長方形断面のほり $[(b \times h \times L) = (10 \times 20 \times 150) \text{ cm}]$ を覆工モデルと考え、中央2点載荷方式による曲げ試験を実施し、その補強の程度を検討した。

鋼板想定の場合は軽溝形鋼[S400, $(H \times A \times B, t) = (100 \times 50 \times 50, 2.3)$] (略称記号:S)を、FRP板想定の場合は溝形FRP $[(H \times A \times B, t) = (100 \times 48 \times 48, 6.3)]$ (略称記号:F)を使用して剥離防止板のリングユニットとした。リングユニットの抽出形態はA, Bの2形態とした。Aタイプは溝形をそのままの形でコンクリートに設置したものであり、コンクリートとの付着に関して何らの処置も施していない。一方、Bタイプは溝形の連結部分を抽出したものであり、フランジ部が長さ5cmのM6寸切りボルトにより5cm間隔で連結されている。したがって、Bタイプ被覆板は逆Tの形をなし、寸切りボルトによるコンクリートとの付着が期待できる構造となっている。なお、コンクリートは[普通・18・12・20・N]仕様のレディーミクストコンクリートを使用した。表-1にFRPの主要な性質を示す。

表-1 溝形FRPの物理的性質

ガラス繊維質量含有率	比 重	引張強さ	引張弾性率	耐熱温度範囲
45~60 %	1.6~2.0	250~550 MPa	20~30 GPa	-50~120 ℃

3. 実験結果および考察

表-2にコンクリートの力学的性質を示す。はりの曲げ試験は材令91日以降に実施した。

表-3は各タイプ3本の最大耐力を示したものである。被覆板とコンクリートの付着が期待できないAタイプは被覆板が補強材として機能していないことがわかる。Bタイプにあっては、被覆板の材質の違いによる耐力に大差はみられないが、FRPの場合、ひび割れの発生本数が多く、せん断スパンでの付着切れひび割れの発生が観察された。いずれの試験片においても被覆板は破断に至らず、コンクリート塊の分離を防止できている。

図-1上図は鋼板のAとBタイプの荷重とはり中央下縁のたわみの関係を示したものである。当然のことながら、載荷初期段階における両タイプの剛性に差は見られないが、Aタイプは付着切れによる板とコンクリートの分離に伴い、溝形鋼が主体的に抵抗することによる剛性低下が観察されている。図-1下図はBタイプにおける鋼板とFRP板の荷重とたわみの関係を比較して示したものである。初期ひび割れの発生直後から、FRP板は著しい剛性低下を来している。FRPとコンクリートの弾性係数比は1強であり、基本的にFRPに剛性改善機能が無いことに加え、内部応力の負担率も小さくなる。コンクリートの応力負担が大きくなれば、ひび割れの発生本数も増え、大きな剛性低下を来すことになる。図-2に各タイプのはりの破壊状況の代表例を示す。

4. むすび

被覆板がコンクリート塊の剥離防止の役割を果たし、覆工耐力の補強にも寄与することが確認された。材料的には作業性(軽量)と耐食性に関してはFRP板が優位であるが、価格と火災(樹脂からの有毒ガス発生の有無)面における課題が残されている。実用化に際しては、さらにリングユニットの連結方法や建て込み時の剛性確保等についての検討と技術開発が必要となる。

表-2 コンクリートの力学的性質

材令(日)	圧縮強度(MPa)	弾性係数(GPa)
28	19.2	21.0
91	25.2	20.9

表-3 曲げ試験結果

タイプ	最大耐力(kN)	破壊形式
S-A	9.81, 12.7, 10.6	付着, 曲げ
S-B	56.5, 46.6, 46.7	せん断
F-B	47.1, 50.7, 51.6	付着, せん断

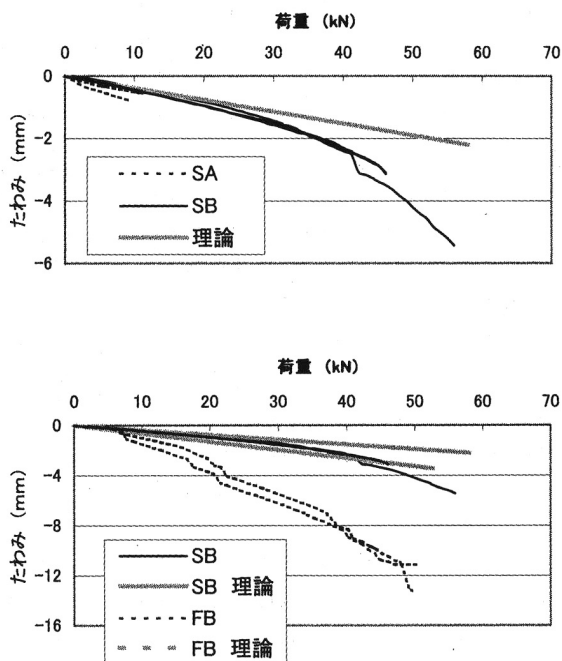


図-1 荷重とたわみの関係

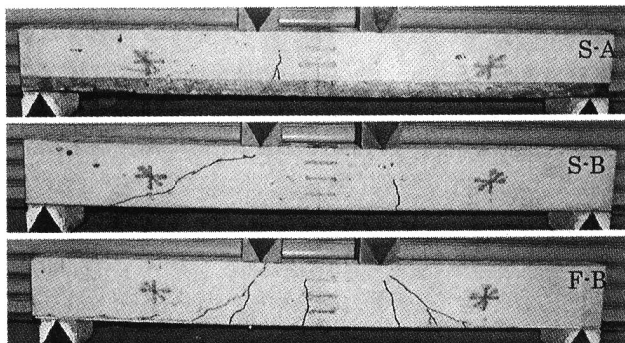


図-2 はりの破壊状況