

## 老朽化した鉄道トンネルの修繕方法の検討

西日本旅客鉄道（株）正会員 渡邊 恭崇  
 西日本旅客鉄道（株）非会員 古寺 貞夫  
 西日本旅客鉄道（株）非会員 村上 雄喜

### 1. はじめに

戦後の復興から高度経済成長と続いてきた建設の時代が終幕を迎えようとしている。当社においても、いかにして老朽化した構造物を保守・管理していくかということが現在の最も大きな課題であると考えている。そこで本研究では、平成12年度より実施した初回全般検査の結果をもとに、老朽化した鉄道トンネルの修繕について検討を行い、施工したので報告する。

### 2. 対象トンネル概要

対象としたトンネルは、播但線 長谷～生野間の伯耆トンネル（昭和2年竣工；延長386m）である。当該トンネルは、過去の修繕履歴の多いトンネルであるうえ、初回全般検査により発見された変状が極めて多いトンネルである。昭和初期のトンネルはブロック積覆工が主流であったが、伯耆トンネルは当時としては珍しいコンクリート覆工が採用されており、一般的な在来工法に使用される鋼製支保工は使用されておらず、木製支保工により施工されたと思われる。昨年度に覆工表面でGFRPの試験施工を行ったが、すべて剥がれ、その際シュミットノーマーにより計測した覆工表面の強度は著しく小さい値であった。

### 3. 覆工調査

平成13年度に当該トンネルの対策工法を決定するために、覆工調査を実施した。調査内容及び結果について以下に示す。

#### ）覆工裏空洞調査（レーダー探査）

在来工法により施工されたトンネルでは、当時の施工方法に起因し、覆工裏に空洞が存在することが多く、その空洞が、トンネルのアーチ構造に影響を与えることがこれまでの実験及び解析により明らかにされている。そこでレーダーを用いた空洞調査を行い、覆工の巻厚不足（設計巻厚と比較）及び、覆工裏空洞の位置、大きさの特定を行った。

#### ）圧縮強度試験

山岳工法で構築される無筋コンクリートの設計基準強度は16～20 N/mm<sup>2</sup>であり、今回の試験では、この値を満足した結果となった。その他割裂強度試験、微細構造分析等を行ったが問題のある値は特に存在しなかった。

#### ）覆工表面付着物の成分分析

図-1に走査電子顕微鏡で行った成分分析結果を示す。これにより覆工コンクリート表面には、S：硫化物硫黄、Si：ケイ素、C：カーボン、Ca：カルシウム、Fe：鉄が確認された。また覆工表面に付着している黄色付着物の主成分は二水石膏である可能性の高いことがわかった。今回の分析結果では、コンクリート外部から硫酸分が供給されたことを示しており、これは過去に機関車等から排出されたばい煙の影響によるものと推察される。

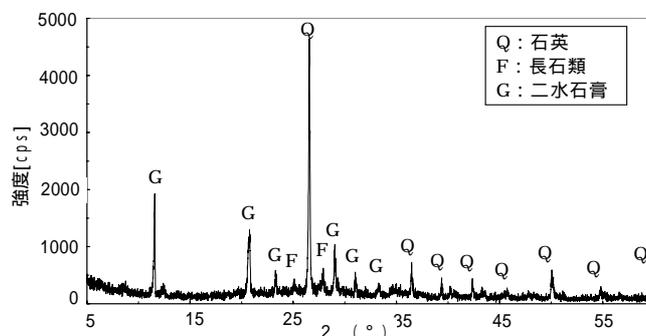


図-1 粉末X線回折チャート

### 4. 対策工および対策箇所を選定

#### (1) 覆工裏空洞

一般的には、空洞が確認された場合、空洞部に注入を行う。しかし、今回の伯耆トンネルの場合、地山が凝灰岩で非常に堅固であること、覆工表面のひび割れに塑性圧、偏圧等を受けたような変状が見受けられないことを考慮すると、空洞部の注入目的を地山の緩みによる鉛直圧に対する対策のみに絞ることができると考え、以下の検討をした。

#### ）岩塊が落下することにより発生するエネルギー

覆工を押しぬくエネルギーを得るためには、物体の質量、落下高さが大きく支配してくる。ここでは質量について検討する。落下物体の大きさについては、予想することが非常に困難であるため現地の状況を考慮し仮定

することとした。まず、岩塊の高さについては、トンネル標準示方書のTerzagiの支保工に作用する土荷重の普通の普通程度に塊状で割れ目のあるものを適用し、3.7mとした。岩塊の幅については削孔調査により背面

キーワード) 背面空洞対策、化学的侵食、繊維シート

連絡先) 〒620-0045 京都府福知山市天田 93-1 西日本旅客鉄道（株）福知山施設区 (0773) 23-8670

土砂が確認された範囲で2.8mとした。岩塊の形状は円柱状として考え、岩塊の大きさは22.5m<sup>3</sup>単位体積重量を2.0N/mm<sup>2</sup>とした。以上の仮定により落下岩塊の質量は、最大で45tとした。

トンネル覆工の岩塊落下に抵抗するエネルギー

覆工の押し抜きせん断耐力については、鉄道構造物設計標準・同解説（コンクリート構造物）に示されている算定式により算出した。計算結果を図-2に示す。

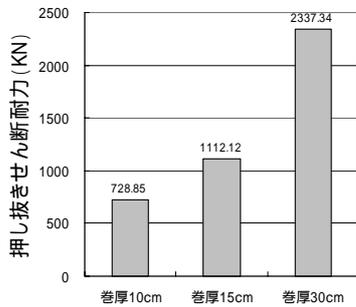


図-2 押し抜きせん断耐力

裏込め注入箇所  
の決定プロセス

により計算した押し抜きせん断耐力により、覆工破壊を起こす場合のエネルギー量を計算し、巻厚毎の破壊エネルギーに到達する高さを算出した。図-3 ここでは、落下してくる岩塊が持つ位置エネルギーがすべて覆工を破壊するエネルギーとして伝わるものとして考えた。以上の仮定により、岩塊が落下してきたときの破壊エネルギーに相当する高さを求め（図-3）巻厚・空洞量のグラフに表したものが図-4である。現行の判定基準によると、巻厚1/2以下で同じA2ランクであるが、安全領域と危険領域に区別でき、ある程度の対策優先順位付けができた。

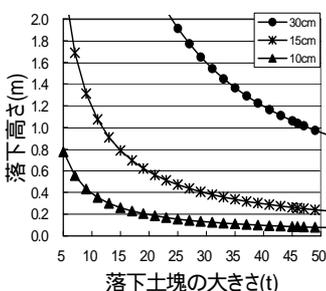


図-3 空洞量と岩塊の関係

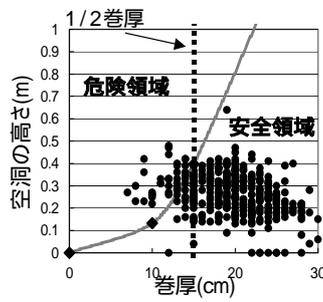


図-4 空洞量と巻厚の関係

(2) 覆工材料の劣化対策

調査結果から覆工表面にS：硫化物硫黄、CaSO<sub>4</sub>：硫酸カルシウムの存在が確認され、ばい煙に含まれる硫黄分の作用による化学的侵食が原因で表面に脆弱部を形成しているとはほぼ断定できた。覆工表面に多量に二水石膏が認められるものの、採取した試料からすると、侵食は深部まで進行していないようであった。つまり、脆弱部を削り取ることで、このような状態は改善されると考え、前年度GFRPを用いた修繕を失敗した箇所では覆工表面を削り取り、再度圧縮強度試験を実施しどの程度の侵食深さがあるかを確認した。その結果、5～10mm程度削り取ると、コンクリート強度はほぼ健全な状態となり、繊維シートによる修繕が可能であることがわかった。

5. 修繕の実施

裏込め注入

裏込め注入を実際に施工するにあたり、前述のような検討方法を行うと、巻厚が不足している箇所を重点的に施工することとなり、注入圧に対する対策を行う必要

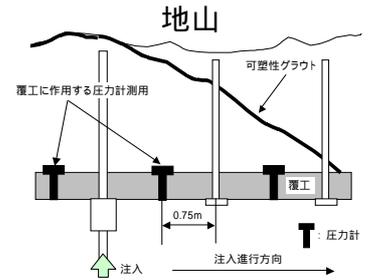


図-5 注入圧計測位置図

がある。可塑性グラウト材料を口元注入圧0.2N/cm<sup>2</sup>で管理した場合の覆工内面に与える影響は、当支社管内の舞鶴線の電化工事に伴うトンネル補強施工時に計測されており（図-5）、それによると覆工に与える影響は0.004N/mm<sup>2</sup>程度であり影響は非常に小さいということがわかっている。しかし、覆工の状態等を考慮し、今回は1/3巻厚つまり、巻厚が10cmを下回る箇所については、アミド繊維シートを用いた内面補修を事前に実施することとした。

繊維シートの施工

繊維シートを施工するために、覆工表面を削り取る工法を検討し、今回はバキュームグラウト工法を採用した。通常バキュームグラウトは鉄筋ケルや塗装の剥ぎ取り等で多く使われているが、コンクリートのはつりに用いられた実績は少ないため、試験施工を行い、性能を確認し実際の施工を行った。施工前後の写真を図-6に示す。材料はサカルの可能な酸化剤を用い、環境に対する配慮も問題ないと考えている。



図-6 グラウト施工前（左）後（右）の比較

6. おわりに

構造物の老朽化は鉄道のみならず目をそらすことのできない重大な問題である。今回の研究では、老朽化したトンネルについて取組み、効率的で効果的な対策を見出せたと考えている。今後もさらに研究を重ね、トンネル保守に活かして行きたい。

参考文献

トンネル標準示方書 土木学会 S61  
 欠陥を考慮したトンネル覆工の構造解析 鉄道総合技術研究所 H14.3  
 鉄道構造物設計標準・同解説（コンクリート構造物） 鉄道総合技術研究所 H11.10