

検査実績を活用した帯金トンネル変状対策工について

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○岩井 聡
 東海旅客鉄道株式会社 正会員 川越 洋
 東海旅客鉄道株式会社 正会員 加藤 千典

はじめに

身延線塩之沢・波高島駅間にある帯金トンネルは、全長約 500m、最大土被りは 120m の山岳トンネルで、トンネル背面の地山は泥岩が卓越する砂泥との互層である。帯金トンネルは、約 20 年前から内空変位が縮小傾向にあり、長年に亘り検査を実施してきた。今回、これまで蓄積したデータの分析、検証結果をもとに、その変状特性を考慮しつつコスト低減を図りながら対策を実施したので、その内容について報告する。

1. これまでの検査

帯金トンネルでは、昭和 61 年の全般検査でトンネル覆工に水平ひび割れが発見されて以降、各種測定を行ってきた。

(1) ひび割れ測定

入口から 400m 付近までの区間の左右両側壁に、最大で長さ 8m～10m の水平ひびわれを確認した。ひび割れの進行性確認のため測定を開始したところ、拡大傾向を示したので、監視体制を強化し、内空変位の測定と原因を特定するための調査を開始した。

(2) 内空変位測定

帯金トンネル内で、最も縮小傾向が強い入口から 380m 付近の内空変位測定結果を図-1に示す。覆工が全体的に縮小傾向にあり、進行度は水平方向が最も大きく、年間約 2mm となっている。このことから覆工に塑性圧が作用しているものと推定した。

(3) 地中変位測定

トンネル周辺の緩み領域を把握するため、平成 11 年より地中変位計による測定を開始した。線路両側でトンネル覆工内面から深さ 1.5m、3.0m、6.0m、12m の 4 つの深度で地山の変位を測定した。線路右側の測定結果を図-2に示す。どの深度の変位推移を見ても、同じ傾向を示しており、地山の緩みはトンネル覆工裏 1.5m 以内で発生していると考えられた。なお、線路左側についてもほぼ同様の結果を示した。また覆工裏のボーリング調査を実施したところ、トンネル背面の地山は、泥岩質(一軸圧縮強度 20N/mm²程度)であること、またアーチ部天端と地山の間に隙間が存在していることを確認した。

検査・測定の結果から、地山が泥岩質であること、左右両側壁に水平ひび割れが発生していたこと、内空変位が左右両方向で縮小し、地中変位も左右両側で発生していることから、変状の発生原因は塑性圧の可能性が高いと考えた。

2. 対策工の検討

平成 8 年から 18 年までの 10 年間に亘り検査・測定管理を行ってきたが、内空変位の進行速度が、年間約 3mm まで高まり、今後建築限界を支障する恐れがあったため、対策を実施することとした。対策については、原則「変状トンネル対策工設計マニュアル」(以下、マニュアルという)に基づき検討していくことにした。

キーワード 内空変位, ロックボルト

連絡先 〒420-0851 静岡県静岡市葵区黒金町 64 番地 静岡支社 静岡土木技術センター TEL 054-284-2234

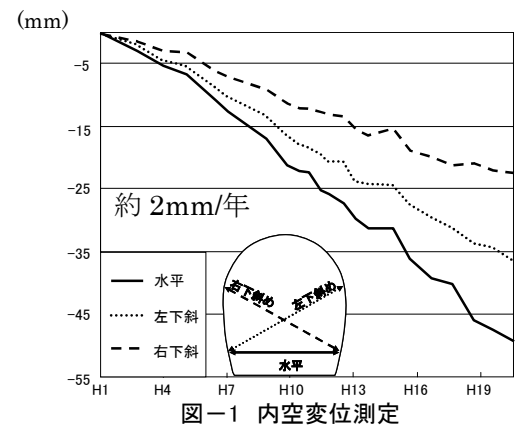


図-1 内空変位測定

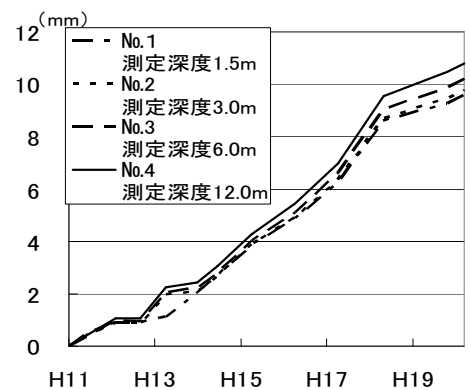


図-2 地中変位測定(右側)

(1) 対策工法の検討

表-1 に示すマニュアルの補強ランク分類によると、今回の変状は補強ランクⅡに該当するため、裏込め注入工とロックボルト工の併用による対策を実施することとした。

(2) 裏込め注入工の検討

注入材料としては、エアモルタルと発泡ウレタンによる施工を比較した。プラント設備の設置が困難であったことと、若干の湧水が確認された。そのため、プラント設備が小規模で、材料分離の心配のない発泡ウレタンにより施工を行なうこととした。

(3) ロックボルトの検討

地中変位測定の結果より、緩み領域は覆工背面から 1.5m 以内であり、これより深い箇所では地山が安定していると考えられたため、ロックボルト長は 3m とした。ロックボルト本数については、マニュアルによると、アーチ部に 2 本、側壁部に 6 本のロックボルトを施工することとなっている。しかし、変状発生箇所や内空変位の縮小傾向から総合的に判断し、全体工事費のコストダウンを図るため、ロックボルト施工位置の再検討を行なった。

表-1 補強ランク分類(塑性圧)

補強ランク	I	II	III
変状の進行性	3mm/年未満	3~10mm/年	10mm/年以上
標準対策	裏込め注入工	裏込め注入工 + ロックボルト工	裏込め注入工 + ロックボルト工 + 内巻工

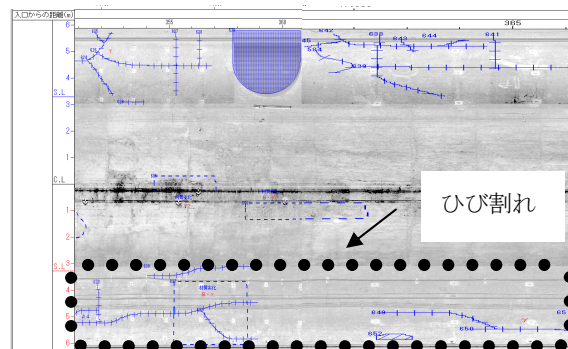


図-3 変状展開図

図-3 に示す変状展開図で変状の発生状況を確認してみると、側壁部にひび割れが集中しており、アーチ部には変状が見られない。またトンネル断面測定値の変化を見ても、アーチ部での縮小はほとんど無かった。このことより、地圧の影響を受けているのは側壁部であり、アーチ部への影響は少ないと考えられた。そこで、アーチ部へのロックボルトの施工を省略し、内空変位を抑止できるか検討することとし、ロックボルト本数を減らすことによる影響を、梁バネモデルによる骨組構造解析により確認した。

解析の結果、断面全体の変位量は、8 本施工の方が若干少なかったものの、水平変位量はアーチ部の 2 本を施工しなくても差はないということが分かった。以上の結果より、ロックボルト 1 断面 6 本と裏込め注入工の対策を実施することとした。

3. 対策工の実施

はじめに、トンネルと地山の間空洞部に発泡ウレタンにて裏込め注入を施工した。ロックボルトの施工については、軽量ボーリングマシンを油圧クロードリルに変更することにより、削孔能力の向上と一回のセットで左右の施工が可能となり、コストダウンと施工時間の大幅な短縮を図った。運搬には軌陸車への搭載を考えていたが、過積載となるためキャタピラを外すなど改良し、搭載させることを可能とした。これらにより、全工費を約 25% 削減することが出来た。

4. まとめ

対策工完了後の内空変位測定の結果を図-4 に示す。測定開始から約 20 年間縮小傾向にあったものが、対策工を行った平成 19 年度以降、収束したことが分かる。また、地中変位測定についても同様の結果を得た。

今回、変状が発生した帯金トンネルに対して、継続して実施してきた検査・測定結果を基に解析や変状原因の分析を行い、低コストで効果的な対策を実施することにより、変状の進行を抑止することが出来た。なお、本論文の取組みに対し、(財)鉄道総合技術研究所トンネル研究室にご指導・ご協力頂いた。ここに深謝の意を表したい。

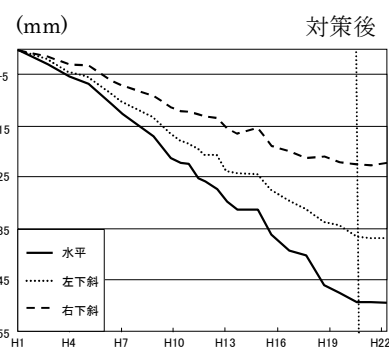


図-4 内空変位測定結果