

はじめに

対象としたトンネルは延長 10,359m で大部分が山岳トンネルの在来工法による複線断面トンネルで、全延長にインバートが施工されている。1995 年にインバートと側壁間に鉛直方向の目違いが発見され、変状トンネルとして保守管理を行なっている。(図 - 1)

本研究では、変状原因、現在の健全度を把握するとともに、数値解析により覆工の応力状態を定量的に把握し、覆工の変状発生メカニズムの解明および変状予測をおこなう。これらの結果から、覆工内面の目視検査上の着眼点を提案し、本トンネルおよび類似地質・構造のトンネルの健全度判定に活かすことを目的とした。

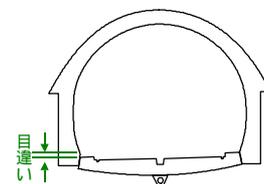


図 - 1 変状略図

1. 変状および原因の推定

(1) 変状概況

目違いは、細砂シルト岩を基盤とする区間で発生している。変状範囲はトンネル軸方向に延長 70m、目違い量は平均 10～15mm (最大 30mm) であった。1995 年より実施しているレベル測量により、インバートの左側通路部では累計で最大 16mm の沈下を確認した。また、インバート左側通路部およびセンタードレインにトンネル軸直角方向の亀裂、左側通路部に斜め方向の亀裂、センタードレインの亀裂から細砂をともなう湧水が確認されている。

(2) ボーリング調査

インバート下面の空洞確認、覆工コンクリートおよび背面地山の物性値把握のため、インバート部で変状区間 5 箇所、前後の健全区間 6 箇所のボーリング調査を実施した。インバートコンクリートについては、厚さは設計値以上で、一軸圧縮強度も、平均 36.8N/mm² (設計 23.5N/mm²) という結果であった。背面地山の地質は、前後の健全区間では砂質シルト岩であるが、変状区間では上から未固結の細砂、軟質の砂質シルトであり、通路部に亀裂の発生しているインバート左側では細砂の上に 50mm～90mm の空洞が存在していた。

(3) 検測結果

軌道の高低狂いデータの解析をおこなった結果、軌道管理用の 10m の波長ではみられない、70m の長波長上での延長 60m、最大 30.6mm の狂いがあった。狂いのあった区間は、目違いの発生している区間およびレベル測量の結果から求められた沈下範囲とほぼ一致している。

列車通過時のインバート下の水圧変化については、目違いの発生している箇所では、健全部の 1/4～1/5 の圧力変動であった。インバートの変位については、列車載荷側で沈下、反対側で浮上りが見られ、側壁に対する鉛直相対変位は左側通路部で 3.4mm の沈下、1.5mm の浮上りであった。

以上の調査結果から、変状発生メカニズム、現在の健全度について以下のように推定した。

地下水流および列車荷重による繰返し振動により、インバート下に空洞が発生・拡大

列車振動により地下水が被圧、センタードレインのクラックから地下水・細砂流出により空洞が拡大

インバート施工スパン単位で局所的な沈下・傾斜により縁切れを起こし、側壁との目違いが発生

沈下により軌道が変位しているものの、現状の列車走行速度域では列車の走行安全性への影響は少ない

2. 数値解析による変状予測

解析断面は、トンネル建設時の地質縦断図、ボーリング結果および設計図面から、図 - 2 のような解析メッシュを作成した。モデル化については、周辺地山は平面ひずみ二次元連続体とした 4 節点要素、トンネル覆工は棒要素で、地山と一体的に結合することとした。なお、側壁とインバートはヒンジ結合とし、インバート下の空洞を図 -

3のような4つのケースで検討をおこなった。

解析結果は、図-4よりトンネル覆工内空側の増加応力で判断すると、アーチおよび側壁では引張応力、インバートとアーチクラウンでは圧縮応力が卓越する傾向となる。インバート下の空洞が半分以上(Case3,4)となるとインバート、アーチクラウンおよび空洞側の反対のアーチ・側壁での応力増加が顕著である。覆工の増加応力については、圧縮 0.98N/mm²、引張 0.29N/mm²程度が変状発生の目安¹⁾であり、空洞が 3/4 (Case4) となった場合には、インバートおよび空洞側の反対のアーチ・側壁に注意する必要がある。なお、現状ではインバートに亀裂がみられるが、アーチおよび側壁に大きな亀裂は発生しておらず、Case2 もしくはCase3の状態であり、覆工の応力状態は変状発生まで余裕があると判定される。

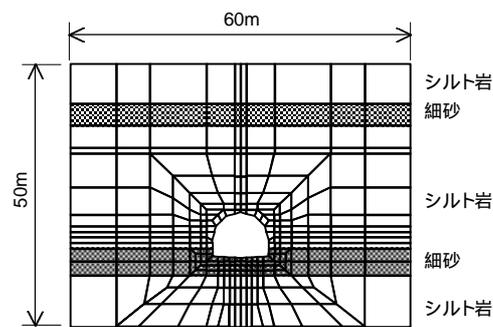


図-2 解析モデル

Case1 (初期値)	Case2	Case3	Case4
0% (空洞なし)	25% (隅角部1/4に空洞)	50% (下部1/2に空洞)	75% (下部3/4に空洞)

図-3 解析ケース

3. 検査の着眼点と対策

空洞の拡大にともないインバート・側壁が沈下し、偏荷重が覆工に作用することが考えられる。解析によると、インバートの圧ざ、空洞側の反対のアーチ・側壁に引張による亀裂が予測される。そこで、類似変状に対する検査時の着眼点は、第1にインバート、第2に空洞側反対のアーチ・側壁となる。すなわち、空洞側反対のアーチ・側壁に亀裂が発生した場合、空洞はかなり拡大していると考えられる。また、インバート変位が軌道の長波長の移動量と相関が確認されたため、4半期に1度の軌道検測車データを確認することが、変状の進行を早期に把握する手段として有効である。

空洞が拡大した場合の対策としては、細砂の移動を止める一方、水流を阻害することのないようインバート下部への薬液注入および側壁部へのロックボルトの施工をおこなう必要があると考えられる。

当面は、目地切れを起こしているインバートの施工スパンが列車振動により、空洞の拡大に寄与しているため、インバート下部への薬液注入をおこないインバートの動的変位を抑え、空洞の拡大を止める必要がある。おわりに

インバート下面以外の地質条件を想定で作成した点、覆工厚さを実測によらず設計厚さとした点、また、目違いの発生による覆工の応力解放が把握できなかった点等の課題がある。今後はインバートのみの平板モデル等、他の手法によるモデル化、定量化について検討をおこないたい。

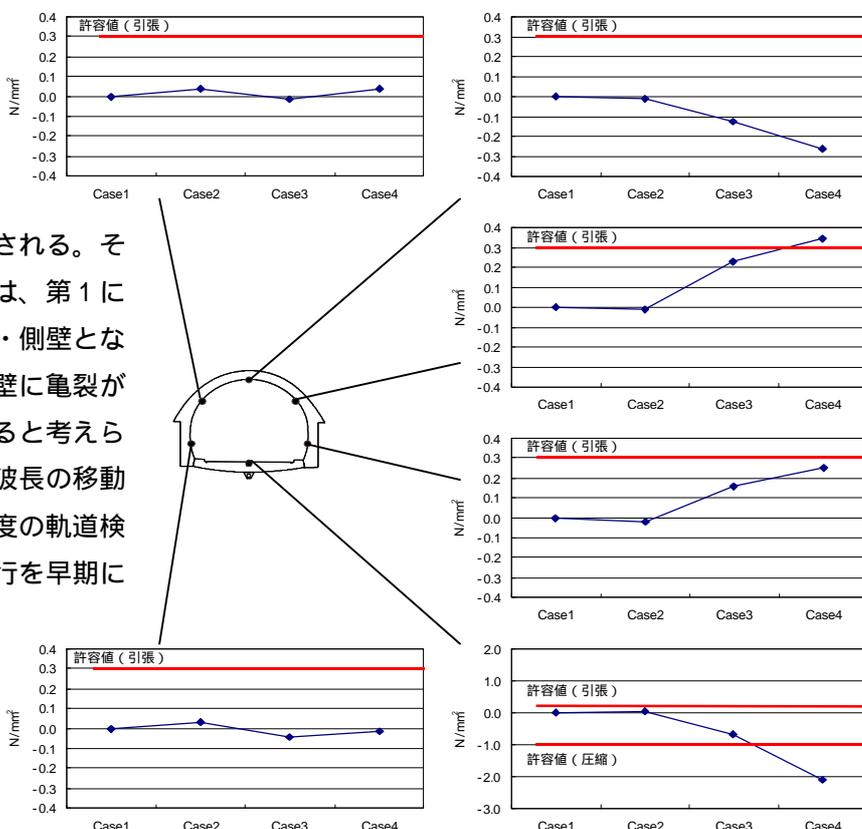


図-4 覆工内面の増加応力度

参考文献 1) 既設トンネル近接施工マニュアル検討会：既設トンネル近接施工マニュアル，(財)鉄道総合技術研究所，1996.9，p30

2) 四宮，吉川，森島：数値解析による鉄道トンネルの健全度判定，土木学会第54回年次学術講演会，1999.9