

インバート下空隙による変状トンネルの対策について

J R 東日本 正会員 吉川 正治 田代 利和 正会員 新堀 敏彦

1.はじめに

対象となるトンネルは 1971 年竣工の底設導坑先進上部半断面工法による複線断面の山岳トンネル（延長 10,359m）である。覆工はコンクリート造で、全延長にインバートが施工されている。周辺地山は、トンネル入口から中間までは土丹層（砂質シルト岩）主体の生田泥岩であり、これより出口に向かって稲城砂層に徐々に移行している。

本トンネルはインバートと側壁間に鉛直方向の目違いが確認され、1996 年の調査開始以来、継続的にインバートの沈下が生じているため、変状トンネルとして保守管理をおこなっている（図 - 1）。本報告は、変状の発生から変状の推移、対策工の検討および対策工実施後の経過についてまとめたものである。

2.変状状況

(1)変状現象

目違いは、インバート支持地盤が稲城砂層となる区間（図 - 2）で発生しており、規模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。1996 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 25mm の沈下を確認した（図 - 3）。また、インバートの左側通路部およびセンタードレーンにトンネル軸直角方向に亀裂が発生しており、中央排水路に細砂をともなう湧水が確認されている。

インバート下面の空洞確認、覆工コンクリートの物性値把握および背面地山の物性値把握のため、インバートにおいて 6 箇所ボーリング調査を実施した。結果としては、インバートコンクリートについては、設計厚さは確保されており、一軸圧縮強度は、平均 36.8N/mm^2 （設計 23.5N/mm^2 ）であった。また、インバート背面地山は、主に砂質シルト岩であるが、変状区間ではインバートの直下で 50mm～90mm の空洞、未固結の細砂、軟質の砂質シルトであった。

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 の波長では狂いはみられないが、70m の長波長では、延長 60m にわたって最大 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、健全部では $0.017\text{N/mm}^2 \sim 0.021\text{N/mm}^2$ であるのに対して、目違いの発生している箇所では、 $0.003\text{N/mm}^2 \sim 0.005\text{N/mm}^2$ の圧力の変動があり、インバートがポンプのように作用していると考えられる。列車通過時のインバートの鉛直変位は、列車載荷側で沈下、反対側で浮上りが見られ、変位が大きいのは左側通路部で、下り列車通過時で 3.4mm の沈下、上り列車通過時で 1.5mm の浮上りが生じた。

なお、変状が著しくなったため、変状箇所を中心に約 90m の区間において 60km/h の徐行運転を開始した。徐行開始にともない対策工としてインバート下に注入工事（注入延長 60m）を実施し、これにより、徐行運転の解除をおこない、現在に至っている。

(2)変状原因の推定

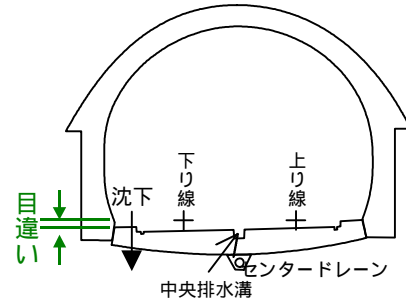


図 - 1 断面略図

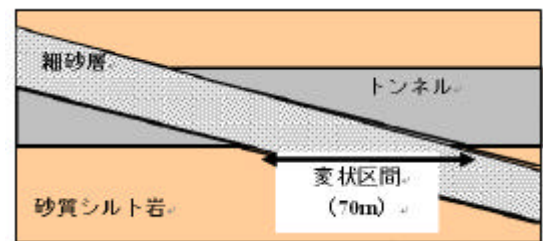


図 - 2 縦断略図

キーワード：インバート、空隙、注入工

連絡先（東京都渋谷区代々木・TEL.03-5334-1288・FAX.03-5334-1289）

調査結果から、変状原因として次の事項が考えられた。

インバート支持地盤の稲城砂層の特徴として、微細砂から成り立っており、土中では固結しているが、開放されると表面の砂粒子が分離する。

列車通過によりインバートの振動が支持地盤である稲城砂層表面に伝達する。

振動と地下水により、稲城砂層表面の砂粒子が分離する。振動により、インバート下の間隙水が移動するポンピング現象となり、砂粒子が流される。

以上の繰り返しによりインバート下の空洞が拡大し、インバートが沈下したと推測される。

3.対策工

対策工については、列車の徐行運転を早期解除するための応急対策を考え、営業線での間合い施工となり作業時間が約3時間/日と短いため、インバート下の空隙への注入工とした。注入工については、作業終了後短時間列車が通過することから、水中不分離でゲルタイムの設定が容易で短期強度が得られる材料及び施工法を選定することとした。図-5に対策工略図をしめす。

対策範囲は60mとし、下記の順序で実施した。

(1)下流部インバート下の止水壁構築

流水を止めるために、対策区間の下流部のインバート下にセメント系注入材を注入し止水壁を構築する。

(2)センタードレーン内の水の切り回し工

変状区間のセンタードレーン内を流れている水を中央排水溝に切り回す。そして、センタードレーン内にも注入材を注入し管内を封鎖する。当初、センタードレーン内の注入材についてはモルタル系の注入材としたがゲルタイムが約20分と長く、センタードレーンの孔から周辺の空隙から地下水と一緒に流れ出したため、ゲルタイムの短い硬質発泡ウレタンに変更した。

(3)インバート下空隙注入工

注入は、変状の著しい下り線側から上下線別々に施工することとした。なお、注入は、下流側から上流側に向けて順に実施した。注入孔位置は、通路部分と、スラブマットCAモルタル注入孔とする。通路部分と中央排水溝脇は、3mピッチでセメント系注入材を注入することとした。

4.まとめ

図-3にインバートのレベル測量結果をしめす。インバート下注入工施工前には、沈下が進行しているが、施工後には、沈下傾向が収まっていると推測される。また、図-4に列車通過時のインバートの変位測定データをしめす。対策前では、列車通過時に3.4mmの沈下であったが、対策後には、0.2mmと減少しており、インバート変位が抑制されている。しかし、インバート下の空隙を充填することで、周辺の水流を抑える処置としたが、対策工が恒久的でないため、今後も沈下が再発する可能性もあり、監視を続けていく必要があると考えている。

[参考文献]

- 1) 日本鉄道建設公団：武蔵野線工事誌，1984.3
- 2) 吉川正治：数値解析による鉄道トンネル変状予測と効率的な検査の着眼点，日本鉄道施設協会 総合技術講演会(建造物検査)，1999.10
- 3) 四宮卓夫・吉川正治・森島啓行：インバート下空洞による変状トンネルの健全度判定，第55回年次学術講演会，2000.9

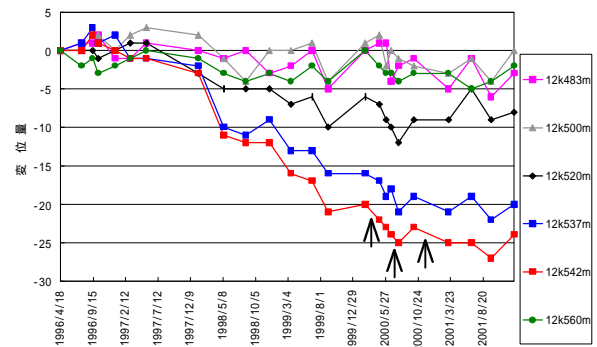


図-3 インバートレベル測量

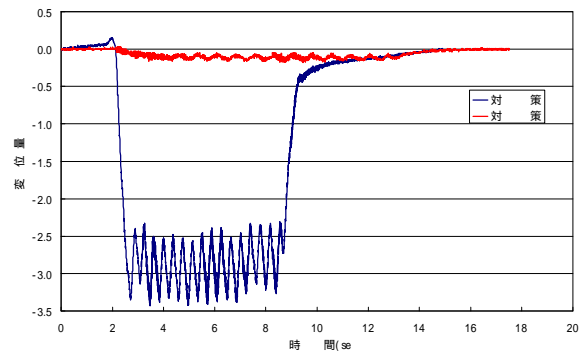


図-4 列車通過時のインバート変位測定

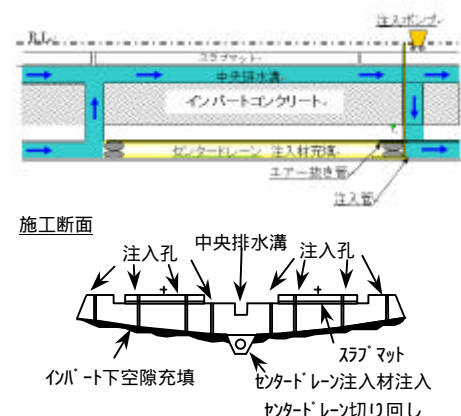


図-5 対策工略図