

不等沈下の影響を受けるトンネル抱え擁壁の変状について

西日本旅客鉄道(株) 正会員 河村 洋行 泉並 良二
(株)レールテック 中島 正幸

1. はじめに

本論文で調査対象としたトンネルは、起点方坑口より約120m間については開削工法、その他の箇所については側壁導坑先進工法により施工された総延長796mの開削・山岳併合トンネルである。図-1は開削区間における本トンネルの断面図を示したものである。本トンネルは、建設当初、全区間掘削により施工される予定であったが、建設中起点方で崩落等が発生したことや、当該区間については用地確保が困難なこともあり開削工法に変更した。それに伴い、トンネル覆工に抱き合わせたトンネル抱え擁壁(以下、「擁壁」という)が施工され、トンネル上部の埋戻しは開業までに行われる見込みであった。しかし、協議が整わなかったことなどから埋戻しに関しては開業後に行われ、その結果開削区間の全長に渡り最大で17mmの軌道沈下が発生した。その後は大きな進行は見られず、落ち着いた状態で現在に至っている。

本トンネルに関して平成14年にトンネル外部からの現地調査を実施したところ、擁壁の一部で約36mに渡り三角形のブロックに段差が生じている変状が見られ(写真-1参照)、鉛直方向にクラックが数本確認された。さらに、昨年トンネル上部の盛土を調査したところ数箇所盛土の陥没が見られたことから、これらの変状の原因を追求するため、今回種々の調査を実施した。その結果、擁壁・トンネルの支持地盤が一様でないために不等沈下が発生したことが原因と分かり、変状の対策としては杭基礎構造物による擁壁の補強が最も適切と考えた。ここに、その概要を報告する。

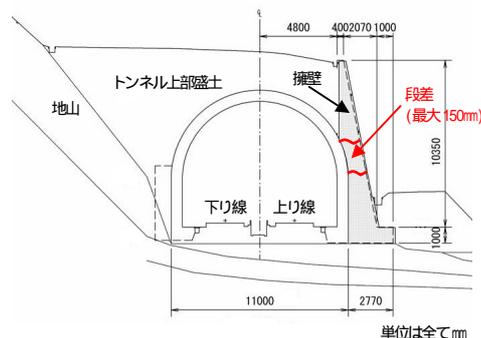


図-1 調査対象トンネル断面図(開削区間)



写真-1 擁壁の変状(段差箇所)

2. 調査概要

変状原因の追求および対策工の検討を行うため、擁壁、擁壁・トンネル支持地盤、トンネル上部盛土、トンネル覆工の4つの調査対象について、表-1に示す項目の調査を実施した。擁壁については、変状・変位を把握するため、外観調査および擁壁天端での測量を行った。また、擁壁の変状と支持地盤の地質との相関関係を調べるため、併せて擁壁・トンネル支持地盤についてのボーリング調査も実施した。トンネル上部盛土については、空洞の有無、締め具合、地質を調べるため、外観調査に加え地中レーダー探査、簡易貫入試験、擁壁コア削孔、およびボーリング調査を実施した。なお、トンネル覆工については、以前より偏圧によるクラック等の変状が見られないことから、外観調査のみを実施した。

表-1 各調査項目およびその目的

調査対象	調査項目	調査目的
擁壁	外観調査	クラック、漏水跡等変状の把握
	測量(擁壁天端)	擁壁の移動量の計測
擁壁・トンネル支持地盤	ボーリング調査	擁壁支持地盤の地質の把握
	外観調査	陥没等変状および排水状況の把握
トンネル上部盛土	地中レーダー探査	盛土の空洞の有無の確認
	簡易貫入試験	盛土の締め具合の把握
	擁壁コア削孔	擁壁背面の空洞の有無の確認
	ボーリング調査	盛土の地質の把握
トンネル覆工	外観調査	クラック、漏水等変状の把握

3. 調査結果

3-1 擁壁

外観調査の結果による擁壁変状図を図-2中図に示す。擁壁に段差が生じた箇所は目地とコールドジョイントで囲まれた部分であり、段差は最大で150mmであった。また当該箇所近傍には、最大幅が15mm以上の鉛直方向クラックが2本、鉛直方向目地上部で水平方向に最大70mmの段差が確認された。なお、擁壁の排水パイプおよび段差箇所より漏水跡、土砂の流出跡が見られた。一方、擁壁天端で測量を実施したところ、設計図面から推定される位置より、擁壁前面側に最大426mmの水平移動、鉛直方向に最大134mmの沈下がそれぞれ計測された(図-2上図参照)。

3-2 擁壁・トンネル支持地盤

トンネル山側および擁壁前面で各々3箇所ずつボーリング調査を実施した結果、当地では浅部から花崗岩風化帯が分布しているものの深部まで真砂土状に風化しており、表層部では支持が期待できないことが分かった。またトンネル直下の支持地盤に関しては、擁壁の段差箇所近傍で約40mに渡り深さ1~7m程度、その他の箇所では深さ約1m程度のN値30以下の強風化花崗岩が分布していると想定された。同様に擁壁直下の支持地盤に関しても、段差箇所近傍では、N値30以上の深度が擁壁基礎底面から約8mと深く、その他の箇所については約2mと浅い位置にあり、支持地盤が一様でないことが分かった(図-2下図参照)。図-2より、N値30以下の層が厚い区間で擁壁に大きな変状が発生していることが判明した。

3-3 トンネル上部盛土

外観調査を実施した結果、トンネル上部盛土で擁壁沿いに深さ2m以上の陥没が4箇所見られた(図-2中図)。また、それに

キーワード：不等沈下・トンネル抱え擁壁・ボーリング調査・地中レーダー探査

連絡先：福岡支社 小倉土木技術センター 〒802-0002 北九州市小倉北区京町4-7 TEL/FAX：093-512-0921

付随して排水こうが破損しており、山側から流入する雨水を適切に排水する機能が失われていた。次に、トンネル中央部、両側壁部の3側線で地中レーダー探査を行った結果、3側線とも他の部分とは異なる反射波が数箇所ずつ計測された。しかし、当該箇所でも簡易貫入試験を実施したところ、明確な空洞は確認できなかった。さらに擁壁のコア削孔を計6箇所行い、擁壁背面の状況も確認したが、空洞は見られなかった。従って、上部盛土中に空洞などが発達している可能性は低いと考えられる。なお、簡易貫入試験およびボーリング調査の結果から、地点毎で性状がやや異なるものの、換算N値で1.0~8.0と比較的緩い赤褐色系を呈する粘土主体の盛土であり、トンネル掘削土とは異なるものであることが分かった。

3-4 トンネル覆工
 外観調査の結果、トンネル覆工のアーチおよびクラウンにおいては鉄筋コンクリート造りでライニングが施工されていたためほとんど変状は見られなかったが、目地部および側壁のクラックにおいては漏水跡が多く見られた。これは特に上り線側(擁壁側)の側壁において顕著であった。この原因としては、前述のトンネル上部盛土の排水こうが破損したため、山側から盛土へ多量の雨水が流入・浸透し、目地部や側壁のクラックから流出したと考える。

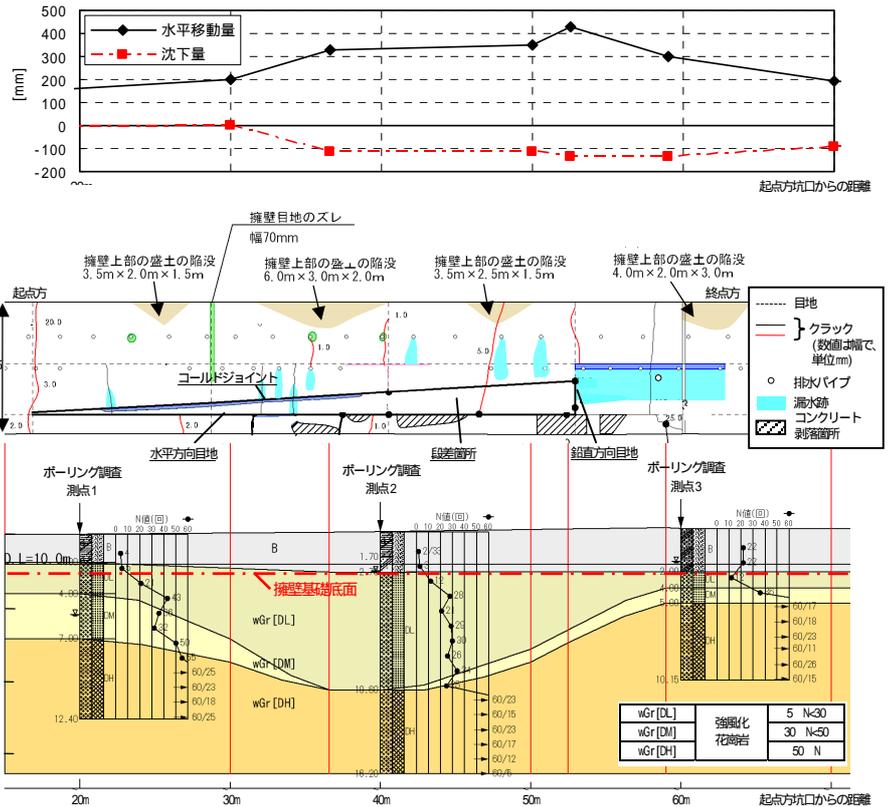


図-2 測量結果およびボーリング調査結果と擁壁の位置関係
 (上図：測量結果、中図：擁壁変状図、下図：擁壁側ボーリング調査結果)

4. 変状原因推定および対策

4-1 擁壁の変状原因について

前章で述べた調査結果から、擁壁の変状が発生した過程および原因は下記の如く推定される。

開業後トンネル上部の埋戻しを行った結果、アーチ上部の鉛直荷重が側壁に伝わり、基礎部の支持力が不足していたため側壁が沈下。それにより、側壁と擁壁との接合部が下方に引っ張られる。

側壁の沈下に伴い擁壁基礎部が引っ張られることで、脆弱であった水平方向目地が分離。

N値30以下の層の厚い箇所と薄い箇所とで擁壁の不等沈下が発生したため、水平方向目地の隙間が増大、擁壁に鉛直方向のクラックが発生。

トンネル上部盛土の土圧により、擁壁が前面に水平移動し、目地とコールドジョイントで囲まれた部分が前面に押し出され、段差が発生。

擁壁に変状・移動が生じた結果、トンネル上部盛土で擁壁沿いに陥没が生じ、排水こうが破損する。これにより盛土の排水機能が低下し、トンネル内に水が流出される。

4-2 対策工について

現時点では、擁壁における変状の進行の防止、および盛土における排水機能の向上、この2点について対策が必要である。前者については、変状の進行の防止に加え地盤支持力の不均衡を解消するため、対策工として擁壁への荷重増加を伴わない杭基礎構造物による擁壁の補強が最も適当と考える。ここに図-3はその具体案の一つを示したものである。また後者については、排水こうの設置、排水勾配の確保、防水シートの併用が適当と考える。

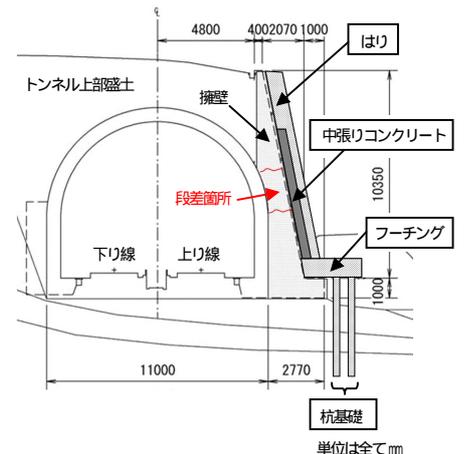


図-3 擁壁変状対策工の具体案の一例

5. おわりに

前章で述べた対策工については現在検討中であるが、変状の発生状況および原因を考慮すると、対策工の施工後もその効果を検証するため追跡調査を実施していくべきであろう。鉄道を含む輸送業務の最大の使命は安全の確保であるが、安全輸送を確保するために、土木構造物を維持管理していく上で重要なことは、構造物の変状を正確かつ早期に把握し、適切な対応を行うことである。今後もこのことを常に念頭に置き、鉄道土木構造物の維持管理に努めていきたい。

<参考文献> 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」、2000.2