Ⅵ-214　トンネル側壁変状の原因調査と対策

ハザマ　正員　多賀　徹　正員　山本　浩之
ハザマ　　加藤一郎　　古城戸浩隆
山梨県　　秋山雅樹

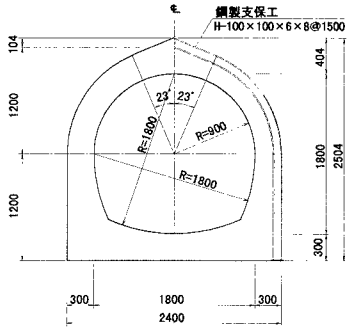
１．はじめに

トンネルにおける変状には、掘削時点で発生するものと、掘削終了後にある程度時間が経過してから発生するものとがある。掘削時点で変状が発生する場合には、その度合いによっては掘削が非常に困難となり大規模な対策が必要となることもあるが、反面、変状の原因が特定しやすく、将来のトンネル安定も考慮した総合的な対策を採りやすい。それに対し、掘削後時間を経過してから変状が発生する場合には、変状の原因究明が困難であったり、掘削時点で対策を講じることが少ないことから、変状が確認された時点で特別な対策が必要となることも少なくない。

本研究では、掘削から半年程度経過後に顕著な変状が確認されたトンネルの事例について、その変状原因の究明とトンネルの安定化対策について紹介するとともに、得られた知見について述べる。

２．工事概要

本トンネルは、山梨県の桂川流域下水道工事の桂川１号幹線トンネル梨木ヶ原工区で総延長約1,700m（本線約1,300m、支線約200m×２本）、掘削断面積約６㎡の下水道トンネルである。機械掘削による矢板工法で施工を行い、平成11年３月に掘削を完了している。図－１にトンネル標準断面を示す。

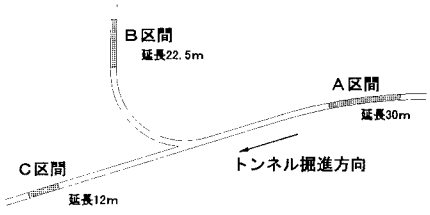


図－１　トンネル標準断面

本トンネルにおける地質は、新第三紀中新世（1500～2000万年前）都留層群の一般にグリーンタフと呼ばれる凝灰角礫岩～凝灰岩で、一部に第四紀更新世猿橋溶岩の玄武岩と安山岩が見られる。基盤岩類の岩石強度（一軸圧縮強度）は、凝灰角礫岩で18～71MPa、玄武岩で108～128MPaであり、掘削時点では比較的硬質な岩盤が出現していた。

３．変状の発生状況

トンネル掘削後、半年程度経過した後に、図－２に示す３区間で坑壁の押し出しが観察された。



図－２　変状発生区間

変状の発生した３区間では、いずれも緑色～暗緑色および緑灰色～灰色の凝灰岩が出現しており、掘削時点では、地山は割れ目の少ない比較的新鮮・硬質な塊状岩盤を呈していた。これら区間のシュミットロックハンマーの換算一軸圧縮強度は、70～100MPa程度と比較的大きな値を示していた。しかし、トンネルの変状が顕著となった掘削後の半年程度経過した時点では、３区間ともハンマーが突き刺さる程度まで軟弱化している箇所が多く見られる状態となっていた。なおＡ区間内では、幅１m程度の断層・破砕帯が存在し、その前後の影響ゾーンにおいて、３つの変状区間内で最大の変位量となる４ヶ月で100mm程度の値を示した。

４．変状原因の特定

一般にトンネルの変状の原因としては、凍害、地形的偏圧、膨張性地山等の様々な要因が考えられるが、本トンネルでは、変状の発生状況等から膨張性地山以外の要因については可能性が低いと判断した。そこで、

キーワード：膨張性地山、変状、モンモリロナイト、変質帯
連　絡　先：〒107-8658　東京都港区北青山2-5-8　TEL03-3423-1801　FAX 03-3405-1854

変状区間の岩石をサンプリングし、膨張性粘土鉱物であるモンモリロナイトについて粉末Ｘ線回析を実施した。

こうした分析の結果、モンモリロナイトの含有量と坑壁の変状の有無が概ね一致していることが確認できた（表－１）。また、凝灰岩においてはモンモリロナイトの含有量が多く、玄武岩質凝灰岩では含有量が少ないという結果が得られた。これらの結果より、トンネルの押し出し性の挙動は、凝灰岩に含まれるモンモリロナイトが掘削に伴い吸水膨張したために発生したものと判断できる。

それぞれの変状区間における膨張性の要因については、以下のように整理される。

【Ａ区間】区間内に断層破砕帯と影響ゾーンが確認されており、この断層部に含まれたモンモリロナイトが膨張したものと考えられる。

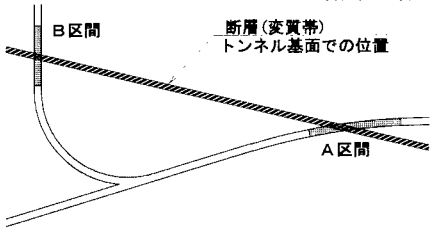
【Ｂ区間】この付近の地表部で断層（変質帯）が確認されており、その走向傾斜からほぼこの断層の延長上にＡ、Ｂ区間が位置することとなる（図－３）。このようなことから、トンネル位置では、明瞭な断層（変質帯）は確認されていないもののＢ区間は、Ａ区間と同一の断層（変質帯）の影響を受けたものと考えられる。

【Ｃ区間】今回の調査では、顕著な断層破砕帯や貫入岩が確認されなかったが、漂白化した緑色～灰色の凝灰岩が出現していることから、細かい貫入岩に伴う熱水変質作用が原因であると考えられる。

表－１　モンモリロナイトと坑壁変状の関係

区間	サンプルNo.	岩種区分	岩石の特徴	※1) ピークの移動の大きさ	モンモリロナイトの含有量	※2) 孔壁の変状の有無
A区間	A-1	玄武岩質凝灰岩	黒色 やや硬質	小	少量	×
	A-2	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	特に大	多量	○
	A-3	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	特に大	多量	○
	A-4	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	特に大	多量	○
	A-5	玄武岩質凝灰岩	黒色 硬質	小	少量	×
B区間	B-1	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	中	中量	×
	B-2	凝灰岩	緑灰～灰色 軟質	中	中量	×
	B-3	凝灰岩	緑灰～灰色 軟質	特に大	多量	○
	B-4	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	特に大	多量	○
	B-5	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	小	少量	×
C区間	C-1	凝灰岩	緑～暗緑色 やや硬質	大	中～多量	○
	C-2	凝灰岩	緑～暗緑色 軟質	特に大	多量	○
	C-3	凝灰岩	緑灰～灰色 軟質	特に大	多量	○
	C-4	玄武岩質凝灰岩	黒色 硬質	小	少量	×

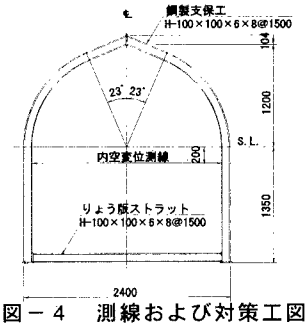
※1)エチレングリコール処理したものと、未処理のものとの比較による
※2)○変状あり、×変状なし



図－３　変質帯と膨張区間の関係

５．対策工

膨張区間の対策工としては、３区間ともりょう版部にストラットを施工した。さらに、特に変状の大きかったＡ区間についてはりょう版コンクリートの施工を実施した。その結果、変状はほぼ収束したことから、さらに、長期的な挙動を観測を継続することとした。図－４に計測位置と対策について示す。なお、永久的な対策工としてはトンネルの安定状況をさらに確認後、ＳＦＲＣを用いて覆工の施工を行う計画である。



図－４　測線および対策工図

６．まとめ

本トンネルは、掘削時にはその安定性において全く問題ない硬岩地山であったが長期間を経過した後になって変状が発生した。その原因としては、掘削に伴いモンモリロナイトを含む凝灰岩が吸水膨張したものと判断された。

また、本事例では、Ａ，Ｂ区間は同一の断層の影響により変状が発生しており、地質構造とトンネルルートの位置的関係が大きく影響していることが示された。こうしたことから、トンネル掘削において膨張性地山が確認された場合、以下に示すような地質構造に留意して、他の区間においても坑壁等の押し出しが発生する可能性について検討を行うことが重要であると考える。

①本トンネルのように、同じ変質帯を再度横切ることが予想される場合（図－３）。

②その性状や成因が類似する変質帯が、トンネル延長線上に出現することが予想される場合。

最後に、本研究が今後の同様な地質でのトンネル工事の参考になれば幸いである。