



土被り1000mの飛驒トンネル先進坑を TBMとNATMで克服

— 慰霊碑のないビッグプロジェクト 4000日の軌跡 —

Overcome the Hida Advanced Tunnel with an Overburden of 1,000m with TBM and NATM
— The Trajectory of the 4,000 Days of "The Big Project Without a Memorial Cenotaph" —

築地功 正会員 飛鳥建設(株) 土木本部土木技術部長

日本国土に必要な 大土被り長大トンネル

日本の国土は南西から北東に細長い島国である。多くの都市は海岸近くの低い標高に分布しており、これらの都市は2000～3000mの急峻な山岳により分断されている。この日本に高速交通網を整備するには、土被りの大きな長大トンネルにより山岳を貫くことが必要不可欠である。今後の国土利用の効率性を高めるためには、ますます大土被り長大トンネルのニーズは高まると考えられる。

土被りの大きなトンネルでは多大な地圧を受けることになる。堅硬な岩盤であれば地圧はトンネル周辺の地山が自ら支保となつて空洞を支えるが、地殻変動等により発生した断層や破砕帯により強度が低下した地山は空洞を支えきれずに崩壊する。また、掘削対象となる山が潤沢な地下水を有している場合

は土被りに相当する水圧も作用し、1000mの土被りであれば10MPaに近い水圧となる。長尺ボーリングにより直径10cmのほんの小さな穴をあけるだけで重機では抑えきれない力で押し返される。飛驒トンネル先進坑工事ではこの強大な地圧と水圧の脅威に何度となく直面することになった。

飛驒トンネルは飛驒清見IC—白川郷IC間に位置する全長10・7kmの山岳道路トンネルであり、最大土被りは1000mを超えた。当時、国内では土被り1000mを超えるトンネルは谷川岳周辺の大清水トンネル、関越トンネル等しかなく、着工前から高圧湧水、押し出し等の現象に対応する地質調査を進めてきた。先進坑は供用後に緊急時や維持管理用に使用される避難坑となり、本坑に先行して施工した。施工は1996年10月に始まり、先進坑の貫通までに10年、覆工等の整備にさらに1年、計4001日の苦闘の毎日となった。供用開始は工事



TSUKIJI Isao

1987年京都大学工学部土木工学科卒業。同年飛鳥建設(株)入社。飛驒トンネル避難坑工事所長などを経て2016年より現職

開始から12年後の2008年7月であった。

施工方法は突発的な湧水を考慮し、上り勾配である岐阜県白川村から飛驒市河合に向かう急速施工を基本とし、先進坑、本坑共にTBMによる白川側からの片押し施工で開始した。先進坑TBMはφ4・5m、本坑TBMは国内最大級のφ12・8mの掘削断面であった。

破砕帯での度重なるTBM拘束と 大量湧水帯での掘削停止

先進坑TBMの掘削は、白川花崗岩の区間は順調に終えたものの、濃飛流紋岩との境界付近から森茂断層と想定される著しい不良地山が現れ、熱水変質作用および断層作用により、変位の増大、支保の変状、破砕層からの大量湧水に悩まされ、計6回のTBM拘束を受けた。その都度TBM上部の地山を人力による切広げにより脱出して、そのうち2回は

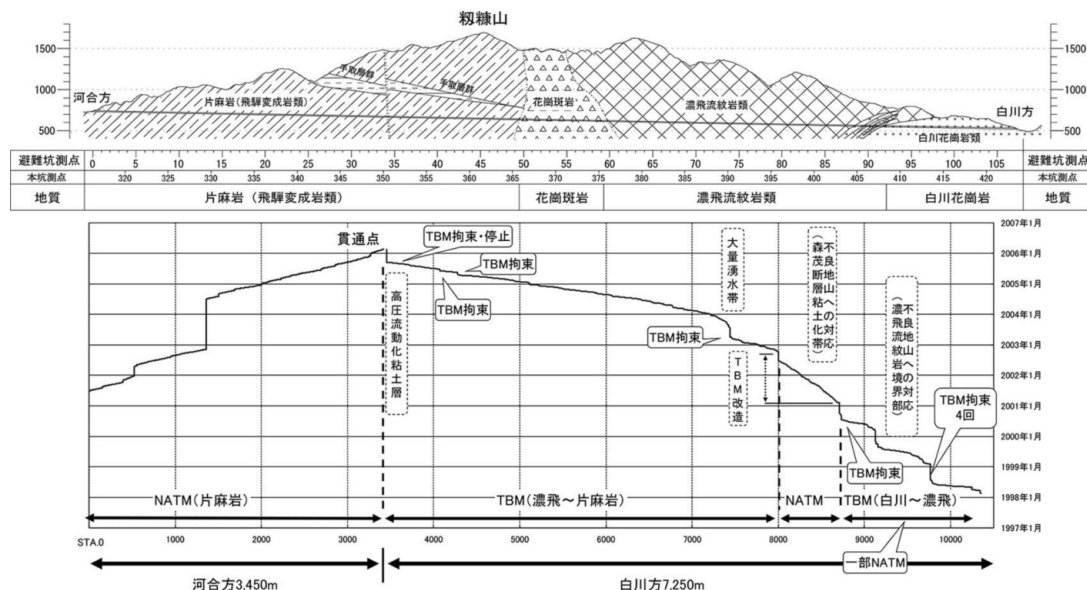


図1 地質縦断および先進坑実施工程

TBMからNATM工法に切り替えて突破した。この不良地山帯1700mに対して約4年の月日を費やした。2001年6月から早期貫通を目的として下り勾配のため施工中の湧水処理が困難な河合側からのNATMによる掘削も開始した(図1)。

白川側では引き続きTBMによる掘削再開に向けて前方の地質調査を兼ねた水抜き坑を施工した。坑口から2700m地点において粘土層を挟在した不良地山が断続的に確認され、これらを遮水層とした非常に高圧な湧水の存在を捉えた。この高圧湧水の地下水位低下のためシールドリバースによる長尺ボーリングを施工したところ、湧水量は最大毎分12t(写真1)であった。時間経過とともに水圧と湧水量の低下が確認できたためTBMによる掘削を開始したが、長尺ボーリング先行区間を過ぎた再発進後450m地点で切羽が崩落し、カッター回転不能によりTBM停止に至った。この時点の湧水量は切羽周辺で合計毎分60tであった。TBMの左右に水抜き坑を追加施工し、切羽周辺の水位低下を図ることでTBMの再々発進を可能とした。この大量湧水を突破するのに4カ月を要した。

土被り1000m下の高圧流動化粘土層との遭遇

こうして不良地山帯を克服しながらTBM掘進を継続していったが、白川側坑口から5800m付近から熱水変質を受けた軟弱層を断続的に挟在する片麻岩(飛騨変成岩類)が出現した。1000m近い土被りによる非常に高い地圧や水圧の影響により何度かTBMが拘束され、その都度TBM上部を人力で切広げながらの掘削となった。



写真1 水抜きボーリングからの湧水(毎分12t)

2005年9月には白川側坑口から7300m、河合側坑口から3100m、残延長が310mとなった。そろそろ貫通式の計画を始めようとした矢先にTBMは9回目の拘束を受けた。TBMを拘束した粘土層は、削岩機による短尺ボーリングで確認した厚さは2～3mであり湧水もほとんどないことが分かっていった。切羽掘削時はある程度の自立性を有していたため小規模な崩落程度でTBM前胴部までは通過できた。しかし、この粘土層は含水による形態変化の度合い(浸水崩壊度)が極めて高いため、小規模な崩落をきっかけに呼び込んだ少量の湧水により粘土層が塑性流動化した。水圧の影響により徐々に湧水が増加し崩落を助長してTBMに作用している荷重を増大させた。増大した荷重により厚さ40mmの鉄板でできている中胴胴体部が変形し、その隙間



写真2 高圧流動化粘土層により破壊されたTBM

から粘土が流入し始めてTBM胴体に大きな変形を及ぼした(写真2)。

TBM本体を迂回してNATMにより掘削を開始したが、TBMを拘束した粘土層が泥土化し、土砂が切羽を押し出して崩落した。崩落土砂により迂回坑全体が埋没する事態に至った。この粘土層は高圧湧水の影響を受けていることが想定された。白川側から施工した長尺ボーリングによりTBM前方20mより奥に6MPaに及ぶ高圧湧水帯の存在が判明した。地下水を減少させなければ河合側からNATMにより下り勾配で施工している切羽が水没する危険性が高まったため、広範囲に長尺ボーリングを追加して水圧を低減した。貫通点付近は断層と変質帯により複雑な地層構造となっていたが、帯水層、遮水層の位置を精度よく把握しながら、計6本の長尺

ボーリングを実施した。水抜き効果により高圧湧水の湧水圧が1MPa以下に減少してきたため、排水設備を増強して切羽水没のリスクを回避しながら河合側からNATMによる掘削を進めて、満身創痍のTBMのカッターヘッドを掘り起こして貫通することができた。貫通後にTBM内部の土砂撤去、内部設備撤去を行い、変形したTBM胴体を切除、補強して胴体をそのまま地中に存置した。何度となく切羽崩壊から私たちを守ってくれたTBMは粘土層を永久的に支える支保となった。

慰霊碑のない ビッグプロジェクトから学んだこと

最大土被り1000mに達する飛驒トンネル先進坑の重要な役割は本坑掘削前に地質状況を把握して、地下水位を低下させておくことであった。先進坑の施工は幾多の不良地山や大量湧水の遭遇により、TBM停止や切広げを繰り返しながらの難工事となった。特に貫通地点ではTBM本体が拘束、破壊に至り、迂回坑も埋没した。小規模な崩落をきっかけに粘土層に大きな圧力がかかることでTBMが破壊に至った経緯は粘土層の崩落と湧水量の増大が相乗的に作用していったものと考えられる。かつてないほどの高圧大量湧水下でのこうした対応の経験が今後の大土被りトンネルにおける施工方法検討の一助となれればと考える。

難工事を完成させた最も大きな要因は発注者(日本道路公団→NEXCO中日本)、元請けJV、作

業員が力を合わせて目標に向かっていったことが挙げられる。その目標の一つに「慰霊碑のないビッグプロジェクト」があった。切羽に近づく作業が根本的に排除されたTBM工法は、このプロジェクトに慰霊碑がないことに大きく貢献している。安全面からもTBMの評価を見直すべきと考える。

トンネル工事は大地の動きを観察、計測して、「山と折り合いをつけながら」掘削していく。施工中、幾度も山に拒絶され、大量湧水を受け、TBMが拘束された。小さな災害も何回か発生した。そのたびに山に対して「掘らしてもらってすみません」という自然に対する謙虚な気持ちに立ち返った。

残念ながら、現在も多くのトンネル工事で死亡事故が発生している。こうした報に接するたびにトンネル屋の端くれとして責任を感じており、次世代の技術者、作業員のためにも安全な作業環境の構築を急がなければいけないと痛感している。トンネル災害を撲滅するためには遠隔操作、無人化施工などの新たな技術開発を業界一体となって推進していくことが重要であることは言うまでもないが、飛驒トンネルで向き合った自然に対して謙虚な気持ちに立ち返ることが新たな安全文化への第一歩であると考えられる。

参考文献

(1) 川北真嗣・築地功…高圧大量湧水への挑戦、トンネルと地下、VOL.39、No.11、飛驒トンネル特集号、2008年

(2) 飛鳥建設ホームページ…大地との対話(飛驒トンネル先進坑工事の記録)

