

解説

安全確保

推進工法における安全施工の原点とは何か？

さかい えいじ
酒井 栄治

㈱アルファビルエンジニアリング
代表取締役社長兼施工本部長
博士(工学)・技術士建設部門(トンネル)



1 はじめに

密閉型構造の掘進機が一般的な都市トンネルに活用される以前においては、地下工事に従事する者にとっては「予期せぬトラブルや災害は常に起こりうるもの」との認識が強く、切羽や周辺地山に気を配りながら、危険と隣り合わせとの認識で作業が行われていた。

その頃、先輩諸氏から学んだことといえば「人間はミスを犯すもの、切羽は崩壊するもの、機械や道具は壊れるもの」との基本的な指導の下、日々周辺機器の点検を行いつつ、切羽の動向を監視して、自分の持つ動物的な感覚を養いながら毎日が過ぎ去っていった。このように従事者の感性を十二分に活用する中においても様々なトラブルは生じ、その時の心構えとしては、「七転び八起き」などと言う高尚な忍耐を必要とする精神ではなく、中国古典の言葉を拝借すれば、『人間万事塞翁が馬』という思いが救いとなり、この言葉はあたかも諦めに近いかの如く捉えがちではあるが、施工者にとっては地山崩壊や地下水の流入との闘いに明け暮れる日々の精神的な支えとなり、やる気を回復させる源であった。すなわち、『雨

垂れ、石を穿つ』が地下工事に従事する者の忍耐と継続性とを合わせ持った最終的な仕事への姿勢と捉えていた。

しかし、現在の都市トンネルの構築法は、掘進機械や設備の進歩により地山の緩みや崩壊を限りなく防止するための隔壁を有した密閉型掘進機での施工が中心となり、そのことが安全施工技術を格段に向上させた。その結果、掘進作業は掘進機の機能や能力が受け持つ役割と判断され、オペレータの業務はあくまで操作が中心となり、切羽から発せられる様々な兆候は計器やセンサ等に置き換わり察知することで、直接従事者のアナログ的な感性を呼び起こすものではなくなったと実感する。つまり、現代の非開削技術者は、切羽と施工者の直接的な関わり合いという視点からは遠ざかっているといえる。

2 経験談

筆者は専門業者の使い走りの職員として23歳から地下工事の現場に従事してきた。当時は、シールド工法においても薬液注入工法と圧気工法併用の半機械掘削方式の開放型シールドが数多く採用されていた。そのため、地盤によ

ては漏気が瞬時に発生し、切羽が一気に崩壊することがあり、すべり面に幾度と直面するうちに、当時の施工者は「地山との上手な付き合い方」の体験が身に沁み込み、自然に「切羽」を学んだ。

そのような時代を過ごし、自身は過去において二度の死亡事故に直面している。一度目は施工経験が2年目の時で、圧気シールド工法で汚水幹線を施工中、ロックドア前の可動式レールに作業員が足を引っ掛け、転倒して頭を打ち、入院後、一週間で他界した。

二度目は統括責任者として複数の現場責任を受け持つ立場で起こった死亡事故で、掘進機が到達して回収が終わり管内配管等を撤去作業中、立坑上に引き上げた排土管の上にクレーン作業従事者が足を乗せ、その勢いで排土管が転がり、足を取られて転倒した後に立坑下に墜落した。負傷者は備え付けのクレーンで立坑下から引き上げたが、ほぼ即死状態であった。すぐに統括責任者として現場に駆けつけたが、既に病院の遺体安置室での対面となり、長く付き合ってきた直営作業員だけに、かける言葉が見つからなかった。

次の日、家族を出迎えるためJRの無人駅に立ったが、家族が駅に降り立つ

たとき、悲しみをこらえた悲痛な面持ちに対応のすべがなく、長時間頭を下げることしかできなかった。遺体は、滋賀から高速道路で鹿児島のご郷に運ぶこととなったが、各所のサービスエリアでドライアイスをつめながらの無言の帰省となった。被災した家族、同僚、会社の全社員も熟練の仲間を失う本当の悲しみを味わった残酷な経験である。

3 切羽とテールボイドの話

開放型の掘進を行ったことがある経験者は、常に切羽状況や地下水の動向に注意を払う必要があった。しかし、昨今の計測器や制御装置の組み込まれた掘進機は、掘り方までも掘進機に委託したようなシステムとなり、オペレータが最初に知りえる地盤からの情報はタイムラグが生じているとも言える。管理範囲内の数値であれば問題としない制御では、その範囲の乱れ具合や性状変化および異音などの予知的な情報には疎く、次にくる切羽や地下水の状況変化に対し、対策が遅れる場合も見受けられる。

結局、アナログからデジタルへの思考が、専門業者の感覚を鈍らせている要因ではなかろうかと推量する。検知機能の付加や操作性機能の重視は、ある時は人間の集中力を低下させ、五感による察知能力を鈍らせ、極度のマニュアル化はある意味で人に迅速な判断をさせない危険性をはらんでいる。そのような実感を抱きつつ、以下、大事故

につながりやすい切羽の崩壊に関して、諸先輩が伝えた切羽の理論を再確認する。

3.1 掘進に困難が伴う

地盤の粒度分布

一般的には細粒分～粗石を含む地盤において、カッタが受け持つ掘削・混合・攪拌の効果とその後の泥膜形成、切羽の流動性、不透水性が確保されやすい土質は、適度に細粒分を含んだ緩やかなS字曲線を描く粒度分布の地盤と考えられる。図-1に掘進に最適な沖積地盤の分布状況を示す。では、推進工法の掘進に伴う難易度を推し量る条件とはどのような項目があるかを確認する。

推進工法で制限を受けやすい土質条件としては①地盤強度を示すN値（標準貫入試験値）②透水係数③細粒分含有率④最大礫径や強度⑤岩盤の一軸圧縮強度とRQD等が必須条件とされて

いるが、掘進後の地盤の緩み範囲の拡大からの視点では⑥均等係数も評価されるべき地盤条件の一つと考えている。参考として、諸先輩や各団体から示された開放型における「流動化指標」を表-1に示す¹⁾。

すなわち、礫径の大小にかかわらず、均等性の高い地盤は掘進後の地盤の緩み範囲を拡大させ、切羽の安定やテールボイドの継続性には負の要因となり、結果的にはカッタトルクの上昇、分離沈降、閉塞、推進力の上昇を招く。特に、「粒度分布曲線」のS字曲線が立った地盤条件下では、逸泥現象もさることながら土粒子間の結合度が不足し、注入材の目詰め効果や増粘効果が発揮されにくく、掘進時のカッタ回転に伴って生来の地盤の初期応力は解放され、地盤強度やアーチ力が低下して地盤の緩み範囲は拡大する。

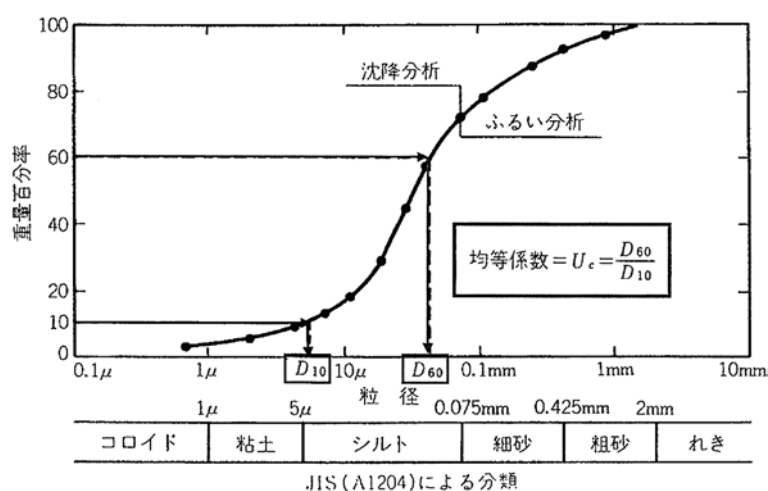


図-1 粒径加積曲線（参考図）

表-1 地山の流動化の指標

主体	矢田ほか (1969)	森藤 (1973)	日本国有鉄道構造物設計事務所 (1977)	土木学会 (1977)	大島ほか (1979)	奥園ほか (1982)
指標	$G_s \leq 2.65$ $\gamma_d \leq 1.7$ $U_c \leq 4.0$ $D_{50} \leq 1.5$ $D_{10} \leq 0.15$	細粒分含有率 (74μ以下) $\leq 10\%$	①均等粒径の砂・細粒分含有率 $\leq 10\%$ $U_c \leq 5$ ・飽和砂 ②地下水位の高い砂および砂礫層 ③不等水層中に介在する帯水砂層	細粒分含有率 $\leq 10\%$ $U_c \leq 5$	細粒分含有率 $\leq 15\%$	細粒分含有率 $\leq 8\%$ $U_c \leq 6$ 透水係数 $\geq 10^{-3}$ cm/s
備考	加木トンネル	生田トンネル				