

総論

非開削事業における安全対策の特異性

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
DR.ENG. 博士(工学)
技術士(建設部門:トンネル)

1 はじめに

非開削事業に取り組むためには、その前提として建設業の許可申請が必要となる。しかしながら、工事の分類から業種をみれば建築工事の工種が中心で、土木工事業は「舗装工事」「管工事」「水道施設工事」「しゅんせつ工事」等を除いて選択可能な工種（例えば地下工事、推進工事等）が記載されていない。そのため、非開削工事業に取り組む専門家にとっては、ある時は「管きょ推進工事」であり、またある時は「都市トンネル」の領域での作業を行うことになるため、安全対策においても一般的な土木事業とは異なる視野での対策が求められている。ここで「トンネル」の定義を再確認すれば、「上方に地山を残して下を掘り、そこでできた空間をある用途に供するもの」と示され、また、OECDトンネル勧告会議（経済協力開発機構、ワシントン市、1970年6月22日～26日）では、「最終的に地表面下に位置して使用され、何らかの方法で所定の形状寸法につくられた空洞、内空 2m^2 以上のもの¹⁾」と示されている。

そこで地下工事が中心の専門家としては、一般的な土木工事業での基本的な安全業務は他稿に譲るとし、今回は密閉型掘進機による切羽から坑内および立坑下まで、特に地下水との関係に特化して安全施工を考えてみる。

2 シールドトンネル工事における安全施工のガイドライン(国土交通省)

ここ2～3年、関東圏を取り巻く大深度地下環状線等のトンネル構築現場において、大型シールド掘進機による陥没事故が発生しており、昨年度は小口径シールドトンネル工事での坑内事故も発生した。また、推進工法においても長距離化が加速され、それに伴った坑内（管内）の管理領域（推進延長や供用日数）が拡大の一途である。

そのような適用条件の変化に伴う施工環境の面的広がりに対し、それに伴う施工中の安全・安心の確保が最重要課題となりつつある。明かり工事と違って、地下工事においては地盤条件、地下水（圧）・土圧等の条件や掘削土砂の取込量管理を抜きにして安全施工を語るができない。

前述の大断面シールドの陥没事故に関しては、その原因の詳細な解明には時間を要すると思われるが、地上での生活環境への影響が広範囲にわたり、地下40m以深の土地の使用権における「大深度地下使用法²⁾」を根底から疑問視する大問題となっている。

その件において、国土交通省は有識者による「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」の概要³⁾をまとめた。その内容は、「トンネルと地下：2022.5 Vol53p.41-p.48」に記載されている。都市部での大深度の災害事例は、シールド工法・推進工法の如

何を問わず、安全・安心な密閉型掘進機による地下トンネル構築工法への信頼を損ね兼ねない大きな災害事例へと拡散されている。

3 各工法における切羽理論や掘進機機能

(1) 切羽において

①泥水式においては、地中連続壁工法における安定液理論の横型掘削への応用が切羽安定の基礎となっている。この工法の切羽管理は、地下水圧以上の孔壁内圧力の保持であり、孔壁内の泥水圧（泥水比重）が加圧された段階で、孔壁には地山の間隙を充填できる泥水を含んだ細粒分が目詰め効果を起こし、不透水性の泥膜が形成されることで地山の崩落を防止している。重要なことは、掘削に伴う泥膜形成の連続性と圧力差の保持で、その継続が孔壁を維持するが、ここで問題となるのは掘進地盤への浸透流の増加による切羽崩壊である。顕著な圧力差を確保できない状態での連続掘進作業は地山の保持が難しく、応力解放の伴った緩み範囲の拡大や取込土量過多に繋がる問題を抱えている。

対策の一環としては高比重の泥水注入が求められるが、排泥ポンプの過負荷や泥水処理、循環サイクルのトラブルを招きやすく、結局は切羽の安定よりは流体輸送の効果を優先したがる傾向が強くなる。低比重の泥水では流速が速く、分離沈降やポンプ負荷の問題は解決できるが、切羽の泥膜形成が後回しになり、その後の逸泥量の増加や切羽の不安定さによる地盤の緩みにつながる傾向が強い。

②土圧式では、地山に分布する土粒子のカッタ攪拌効果のみで切羽安定が可能となる地盤は稀で、切羽側への掘削添加材の注入を行い、土粒子との混合攪拌により切羽の自立を図っているのが実態であり、泥土圧式・泥土加圧式という名称で認知されている。

一般的には軸付きスクリュの回転数により切羽圧力や排土量を管理する。チャンバ内は掘削土砂と添加材の混合攪拌下で形成された泥土で加圧充

満され、その塑性流動性と止水性を連続的に形成しながら地下水の浸入を防止する。

この工法で重要なことは地山の粒度分布であり、地盤内のシルト・粘土・コロイド等の細粒分が15%以下（重量比）になると逸泥が発生しやすく流動化が困難となる。すなわち、適正な切羽圧力の保持には、カッタ前面への加圧力と良好な塑性流動体の切羽性状の双方が求められ、泥土性状の確認にはスランプ値の管理が有効と考えられる。

高水圧地盤の場合（特に地下水位差12m以上）、一般的な軸付きスクリュでは止水効果が高い塑性流動体の形成が困難となり地下水噴発が発生しやすい。一時的な施工方法としては、ゲート部での開口制限やスクリュの反転での対応もあるが、対策装備としてはスクリュコンベヤの延長を長くする方法や、2段縦列に配置し止水性の高いプラグを形成させる対策も求められる。なお、一度地下水の噴発が生じて泥土形成が中断した場合、塑性流動体で加圧充填された切羽の再構築には時間を要する。

③泥濃式においては、高濃度泥水と銘打った工法として認識されているが、基本的には安定液工法の範疇で切羽形成を確立している施工法とは考えにくい。

あくまで切羽性状的には②の泥土圧式の切羽構築に類似している。その背景は、地山土粒子と高濃度泥水の混合攪拌による塑性流動体の構築が基本で、切羽管理においても壁面式（塑性圧）と隔膜式（液圧）の双方で切羽圧管理が可能な性状が求められる。

では、泥土圧式との違いは何か……と問われれば、形成される排土（泥土）のスランプ値で評価され、土圧系よりは流動性が高い排土性状の確保が基本と考える。写真-1に礫混り層の排土性状を示す。

排土機能としては機械的な排土装置（スクリュコンベヤ等）は保有せず、切羽加圧の上昇に伴い、断面積が可変可能なゴムバルブ（空気圧）で給気・排気を行う調圧方式である。このバルブは、摘出される土粒子径や礫玉石径の違いにも対応が可能