



泥水シールド工法創生期

齋藤雅春



第4次中東戦争によるオイルショックが経済混乱を生じ、ようやく沈静化が見え始めた昭和50年に鉄建建設(株)に入社しました。当時の建設業界の技術的背景は、シールド工法の技術革新が急速に進められる環境にあり、私もこの技術革新にどっぷりと身をおく事になりました。

同社では、掘削面の支保は泥水圧力で行う方式を採用することを基本としていたので、泥水シールド工法の基本を論理的に解明しながら技術開発を早急に行う事が緊急の課題でした。従前の手掘りシールド工法や圧気シールド工法では、地盤沈下、切羽崩壊による陥没と言った事故が多く発生していること、また徐々にシールドの断面が大きく成りつつある現状では、泥水の基本を立証することで、安全な泥水シールド工法を確立することが必要不可欠でした。

シールド工法は、これまでに経験がない大断面シールドが要求され始めてきた時代背景の中で、泥水シールド工法を確立していくためには次に示す項目の開発が必要でした。①地質に適合する泥水の基本、②切羽状況を把握できる掘削管理方式、③テールシールの性能向上、④地盤沈下を抑制する裏込め方法。これらの開発に当たっては、これまでシールド工法の発展に寄与された当時上司であった山崎広宣博士の指導のもとで行ないました。

①地質に適合する泥水の基本

泥水シールド工法では地山の保持機構は、泥水を加圧して崩壊や陥没を防止するため、泥水の性状や性質は非常に重要な要素でした。

泥水の比重、地山の支保性能、流体輸送性の最適条件、種々の地層における保持機構の最適な砂分の含有量、泥水を構成する粒径加積曲線、粘性、剪断力、泥膜の形成性、泥水の加圧力を決定することでした。

私にとっては、あまり馴染みのない言葉や理論ばかりで、毎日毎日「なぜ・なぜ」の繰り返しでした。時間の経過とともに徐々に理解できるようになり、苦しいながらも成果に喜びを感じるようになりました。このようにして泥水シールド工法の基本を数値として確立できました。

②切羽状況を把握できる掘削管理方式

次に問題になるのは掘削管理方式でした。掘削管理

は掘削する対象土質が常に変化するため、これまでは掘削した土砂の容積を測定する等の非常にラフで精度が低い方法で管理していました。しかしながら、掘削土砂を流体輸送し、泥水と掘削土を分離する処理を必要とする泥水シールド工法では非常に不向きな掘削管理方法でした。掘削の管理において、地質の変化と掘削による余掘りが地山の崩壊と判別ができること、また掘削中の異常の判断が早期に可能であることが重要な課題でした。そこで、我々は過去の手掘り方式などの掘削管理を分析して地質の変化する状況は断層がない限り連続性があることに着目し、統計処理の手法を用いて掘削1リング内における管理、当該掘削リングデータとそれ以前の掘削データを比較するリング間管理から構成した管理方法を開発しました。

リング内管理は、同一グループのデータを統計処理して、標準偏差 2σ の管理限界線を設定し、瞬時のデータが限界線内で推移しているかを判断する管理です。またリング間管理は、掘削終了後統計手法の一元配置分散分析法を用いて同一地質のグループ化を行い、掘削リングデータの変化率による連続性を判別し、地質の変化か余掘りや崩壊によるものかを判定可能な管理法として完成しました。この管理手法は、対応地質が粘性土から砂礫層まであらゆる地質が変化する日本で初めて直径10mの泥水シールドに適用してその優位性を立証しました。

③テールシールの性能向上

次の課題は、テールシールの信頼性の問題でした。シールド工法では、シールド掘進機と覆工用セグメント間に7cm程度の段差(テールボイド)が存在し、シールド掘進機の方向制御を規制しない構造で、この間にテールシールが装備されています。これまでのテールシールは天然ゴム等の素材で、L形状のものが一般的に使用されていました。しかしながら泥水圧力、地下水の侵入を防ぐ能力及び耐久性に問題があることから、構造、素材を一新した新しいテールシールの開発に着手しました。天然ゴム素材のように一枚で止水する構造ではなく、「萱葺き屋根」のように密集する無数の素材の構成による止水に着目し、萱のような形状の素材としてワイヤー素線を用いることとしました。

開発当初は、いくら実験をやっても、ワイヤーでは止水できないと途方に暮れた時期もありました。いろいろなアイデアを出して、ワイヤー間にステンレスメッシュを挟み、ワイヤーにシュリンク加工を施し波形にすること、ワイヤーに高粘性の油性の顔料を塗布すること、ワイヤーの上下面はステンレスのバネ鋼で防護するアイデア等が実を結び新しいワイヤーブラシが完成しました。ワイヤーブラシの開発は、テールパッキンとして耐久性、地下水圧に対する止水性の向上、裏込め材料の付着による復元性の向上が画期的に改善され、最終的には大深度大断面シールドに対応するため1.5 MPa以上の地下水圧に耐えうる構造・システムを完成したことは、シールド工法の躍進にとって重要な成果を収めました。このワイヤーブラシパッキンの完成は、次の課題である裏込め注入の可能性にも大きく影響しました。

④地盤沈下を抑制する裏込め注入

シールド工法では掘削に伴い、シールド掘進機の余掘り及びテールボイドにおいて地山の応力が一時的に解放され緩みが生じ、時間の経過とともに地盤沈下が発生します。なかでもテールボイドは約7 cm程度あるため大きな地盤沈下につながります。このボイドにできるだけ早い時期に裏込め注入材を充填することが必要になります。まず初めに裏込め材料の開発に着手しました。

裏込め材に「砂糖」を入れろと指示が来て大量の砂糖が送られてきました。我々は意味が解らず何これと呆然。こんなに飲んだら病気になると冗談が出たほどでした。(後で解ったことですが、砂糖を混入するとアルミナシリカゲルがセメント粒子上に生成され、裏込め材が固まらなくなるとのこと) 誰もこの現象を知らず、無知さ加減に赤面しました。

この発想は、テールボイドが発生する前から固まら

ない裏込め材をテールボイドに充填し加圧することによりテールボイドに起因する地盤沈下を最小限に抑制し、その後方から通常の裏込め材を注入する方法でした。実際の施工では裏込め材の可使時間を調整できる添加剤を使用してテールボイドが発生しないようにセグメントより即時注入する方法で実施工に適応し、裏込めの方法を完成しました。

以上のように泥水シールド工法の創生期では、これまで記述した4項目について理論的に解明しながら、技術開発を行いそして実現場で試行し、改良を施して一つの工法として完成させました。

開発に当たっては挫折をすることも多く苦難の道りでした。しかしながら、技術の構成、考え方、技術開発の要領などが徐々に理解できるようになり、新しい技術への挑戦が楽しくなり、自分達で絶対のものにするという強い姿勢でチャレンジしていました。技術開発は、いくつもの失敗や失望、そして五感を研ぎ澄ませ創意工夫が導いてくれる達成感と感激が得られます。これらの技術開発の経験は私の技術者としての人生に非常に大きな影響をもたらしました。

当時開発した泥水の理論、裏込め注入、ワイヤーブラシパッキンなどは現在も多少形を変えて使用されていることから考えると、当時の開発はシールドの発展に寄与していると自負しています。

現在のシールド技術は、直径が16 mと巨大化、また大深度対応で水圧が1 MPa以上の対応、地上から発信、上向きシールドなど多様化し、さらに厳しい施工条件下での施工が要求されてくるとは思いますが、さらに安全に施工するため、シールドに従事している技術者の皆様には、更なる技術開発をお願いする次第です。