

37. シールド切羽監視システムの開発と現場への適用例

(株)大林組：*山下 幸夫
藤原 紀夫

1. まえがき

近年、土圧式や泥水加圧式のいわゆる密閉型シールド機械が多くの現場で採用されている。隔壁により地山側が密閉されているために工事自体の安全性が高く、地表面などへの影響も少ない優れた工法である。ただ反面、隔壁があるためにその前方が確認できず、施工管理の面で問題となることがあった。

シールド工法もトンネル工事のひとつである以上、施工中の切羽の状態やカッタビットの摩耗状況などを正確に把握することが重要であることは言うまでもない。ところが実際にはカッタ駆動トルクやジャッキ推力などの変化をもとに、間接的・経験的にその状態を推定せざるを得ないのが現状である。電磁波や超音波を用いて測定する方法、あるいは検知ビットによるカッタビットの摩耗量測定なども試みられているが、いずれも精度面で問題が残されている。

確実な施工管理のためにも、また掘進異常時の正確な原因究明のためにも、隔壁前方を直接目視確認できる技術の開発が強く求められていた。そこでこれらの要望に応える手法として、超小型ビデオカメラを用いたシールド切羽監視システムを開発した。ここでは以下に、当システムの概要と実際の工事への適用事例について述べる。

2. シールド切羽監視システムの概要

このシステムは、隔壁に装着したガイド機構を通してチャンバ内に超小型ビデオカメラを挿入し、切羽やカッタビットなどを観察すると同時にビデオ収録するものである。密閉型シールド機械に適用して以下に示す観察および調査に使用する。①切羽土質および地中障害物の有無など切羽状態の観察。②切羽上部の崩壊空洞調査。③カッタビットの摩耗・破損状況の調査。④チャンバ内への土砂付着状況および付着位置等の確認。⑤その他、隔壁前方で生じた各種トラブルの原因究明調査。

そのため実際の工事の遂行に当たっては、施工管理の面で次のような効果が期待される。

1) 掘進異常時の原因究明を、作業員をチャンバ内に立ち入らせることなく安全確実に実行できる。

2) 簡易に調査することができるため、掘進異常の予兆に対して早い段階で対処することが可能である。

3) 定期検査として使用することにより事象の経時変化、例えばカッタビット摩耗量の経時変化を把握し事前に技術的な対応策を検討することができる。

図-1にシールド切羽監視システムの構造概要図を示す。システムは大別して挿入機構部とシステム制御



写真-1 シールド切羽監視システムによる隔壁前方の観察状況

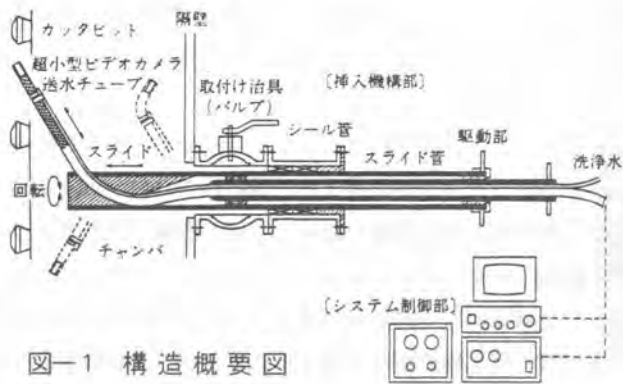


図-1 構造概要図



写真-2 先端部の状況

部の2つの部分で構成される。

挿入機構部は先端部に装着した超小型ビデオカメラを観察対象物に近付けるための装置である。隔壁に予め取り付けられたバルブおよびシール管を通して着脱する。構造上の特徴

は、気密にシールされた二重管構造のスライド管と、60度に傾斜させた先端部にある。超小型ビデオカメラの剛性不足を補うとともに広範囲の観察を可能とした。それぞれ独立してスライドまたは回転できる構造となっているためカメラの挿入位置・方向を手元で自在にコントロールすることができる。

主な機能と特長は次の通りである。①隔壁に取付けたバルブに簡単に着脱できる、②装置外径(スライド管)が60mmと小型である、③一回の挿入で1mの範囲の観察ができる、④面板の回転と組合せて全周のビット観察ができる。

スライド管の移動操作は手動で行なえることはもちろんであるが、通常はエアジャッキ、電動モータまたは機械式装置により行なう。

一方、システム制御部は超小型ビデオカメラの姿勢制御、スライド管の移動操作を始めとして、システム全体の操作制御を行なう。モニタテレビ、ビデオ収録装置、カメラコントローラ、照明用光源装置およびスライド管操作用コントローラなどで構成される。これらのシステム操作はすべてモニタ画面を観ながら行なう(写真-1参照)。隔壁前方の状況がリアルタイムで映し出されるため、現位置において直ちに技術的な判定が下せるほか、ビデオ画像を事務所に持ち帰りさらに詳細な検討を加えることも可能である。

3. 工事での使用方法

一般のシールド機械では、万一のトラブルに備えて隔壁にいくつかの注入管を装備しているのが普通であり、通常はこの注入管などが利用できる。ただ当システムの使用効果を最大限に発揮させるためには、シールド機械の設計段階で観察すべき対象を明確にし、その目的に合致した位置に予め挿入用バルブを組込んでおくべきである。

図-2にシールド切羽監視システムを工事に適用する場合の作業フローを示す。チャンバ内に掘削土または泥水が充満している状態ではきれいに観察できないため、先ず観察位置の下面までこれらを低下させる。短期間の観察作業中においても切羽の安定が確保できない場合は、排土によって生じたチャン

バ上部空洞に限定圧気を作用させる。システムの耐圧機能については既に5kgf/cm²までの耐圧実証試験を実施済みであり、当面のシールド工事に適用できると考えている。これ以上の耐圧機能が必要な場合は改めて実証試験を行なうことにする。

以上の処置によって泥水などの障害を受けることなく、形成されたチャンバ空洞内で自在に対象物の観察ができるようになった。ただカットビットについては表面が付着土砂で覆われているため洗浄が必要である。ここでは別途に十分な水圧と水量が供給できる洗浄装置を開発し、地山洗掘も含めてカットビットを洗い出せるようにした。先述した切羽監視システムのスライド管と同一外径としているため、挿入口が一つしかない場合でも、観察に先立って効率よい洗浄作業ができる。なお洗浄装置を切羽監視システムの近傍に並列配置できるように設計すれば、更に機動的な作業が可能である。対象物を観ながら洗浄でき、しかも再洗浄の必要があれば直ちに実行できることは作業の効率化の面でも有利である。

4. 現場への適用例

開発した切羽監視システムを、施工法の異なる下記の二現場に適用した。工事の状況は次の通りである。

1) 適用工事その1：土圧式シールド工法

シールド機外径 3,690mm。旧地下鉄工事による埋め戻し地盤内を掘進する。土質は粗砂～れき質土による埋土で、防護工として噴射攪拌杭が施工されている。地中障害物に遭遇する可能性が高く、掘進を一時停止して、切羽監視システムによる調査を行なった。切羽の安定が保持できるため限定圧気は行なわない。

2) 適用工事その2：泥水加圧式シールド工法

地下鉄複線トンネルを施工する大断面シールド工事である。シールド機外径10,200mm。土質は風化花崗岩およびマサ土で、ビット摩耗が激しく途中で2回ビット交換を実施した。交換に先立って切羽監視システムで観察したものである。切羽安定のため 1.33kgf/cm²の限定圧気を併用した。

これらの各現場に適用した結果、鮮明なカラー動画で隔壁前方の状況を観察できることが明らかになった。以下にその一部を写真で示す。

写真-3は上記工事その2でのカットビットと切羽の状況を示したものである。1枚の白黒写真では判別しにくいですが、オリジナルのカラー動画では風化花崗岩の結晶硬物も含めて、切羽の状態を明瞭に観察することができる。カットビットの摩耗量は予備の新品と比較するなどにより、その工事に携わる技術者なら簡

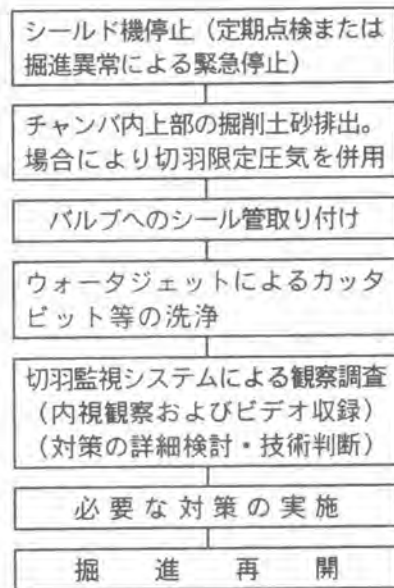


図-2 作業フロー図

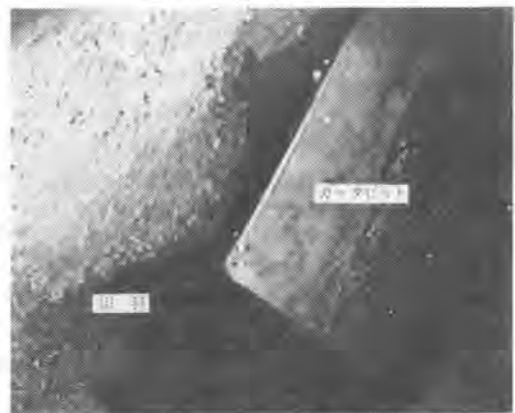


写真-3 カットビットと切羽の状況

単に把握することが可能である。

写真-4は工事その1で切羽上部の崩壊空洞を調査した例である。工事に影響を及ぼすような規模の空洞は認められなかったが、微小空洞が外周フレームに沿って存在していた。空洞の大きさは周辺ビット（最外周の防護用カットビット）などと比較して幅10cm程度と判定できる。

写真-5は極めて特殊な例であるが、切羽に出現した埋設番線屑が映し出されたものである。旧工事の埋戻し作業中に、誤って地盤内に混入したものと思われる。結束用に使用した8番線と判断された。切羽に地中障害物が出現する場合でも、このような画像を通して確認することが可能である。

写真-6は防護工として施工した噴射攪拌杭の表面に残されたカットビットの線条痕（切削した跡）である。良好な改良体が形成されていることが分かる。まだ仮定の域をでないが、改良体強度と線条痕との関係を実験的に求めておけば、現位置での目視観察結果から概略の強度推定が行なえる可能性も示唆される。

5. むすび

ここではシールド切羽監視システムの概要と現場への適用事例について述べてきた。まだ開発して日も浅く、幾分かの改良余地も残されているが、実際の工事に適用してみて当初に想定した以上の成果が得られることが明らかになった。

シールド掘進中に隔壁前方で何らかの異常が生じた場合、今までは経験をもとに類推するしか手立てがなく、真の原因究明のためには作業員をチャンバ内に立ち入らせる必要があった。そのための危険回避に要する費用と時間は無視できないほど大きい。

今回開発したシールド切羽監視システムは、簡易な装置により広範囲の調査ができるため、このような掘進異常の事態に対しても安全に早く正確な原因究明を行なうことができる。また定期検査として使用し日常の施工管理に役立てることもできる。短期間に安全に原因究明ができ、事前に技術的判断および対応策を検討できることがこのシステム開発の大きなメリットであると言えよう。

これからのシールド工事に、このシステムが有効活用できれば幸いである。今後は操作性の向上を目指した改良を加え、現場において更に使いやすいシステムにして行きたいと考えている。

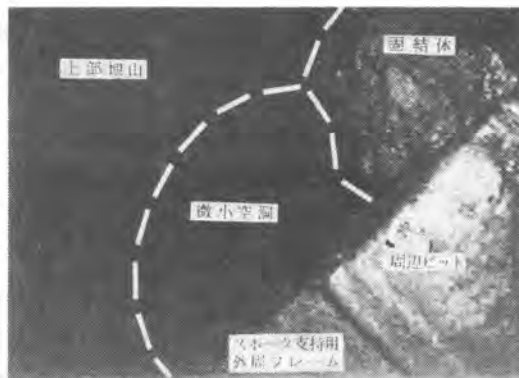


写真-4 切羽上部の微小空洞



写真-5 切羽に出現した埋設番線屑

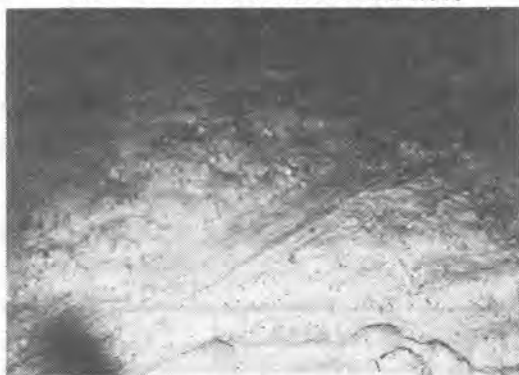


写真-6 噴射攪拌杭表面に残された
カットビットの線条痕