

シールド切羽監視システムの開発

山下 幸夫 藤原 紀夫

Development of Shield-Tunnelling Face Monitoring System

Yukio Yamashita Toshio Fujiwara

Abstract

In recent shield-tunnelling work, using a closed shield which excels in stability of the cutting face has become the mainstream. However, because this type has the ground side closed off by a bulkhead, it has not been possible to directly observe situations such as the condition of the face and the states of wear of cutter bits. Therefore, the authors developed a Shield-Tunnelling Face Monitoring System capable of visually observing objects in front of the bulkhead using an Ultra-compact Video Camera.

As a result of application to the actual works it has been clearly shown that the conditions in front of the bulkhead such as confirmation of soil and obstacles at the face, cave-in at the upper part of the face, wear of cutter bits and adherence of soil in the chamber were observed by clear video picture. This system is used in investigations of the cause in case of trouble in tunnel driving and periodic inspections in construction management.

概 要

近年のシールド工事では、切羽の安定性に優れた密閉型シールド機械の使用が主流となっている。ただ、この方式は隔壁により地山側が密閉されているために、切羽の状態やカッタビットの摩耗状況などを直接観察できず、施工管理の面で問題となることがあった。そこで超小型ビデオカメラをチャンバ内に挿入することにより対象物を目視確認できる、シールド切羽監視システムを開発した。

工事に適用して検証した結果、切羽土質や地中障害物の状況把握を始めとして、切羽上部の崩壊空洞、カッタビットの摩耗状況およびチャンバ内への土砂付着状況などが、鮮明な画像で観察できることが明らかになった。掘進異常時の原因究明調査のほか、施工管理のための定期検査に使用する。

1. まえがき

シールド工事は都市部で施工されることが多く、地表沈下の防止を始めとして工事周辺の環境保全を図ることが社会的にも強く求められている。そのため最近では旧来の開放型シールド機械に変わって、カッタフェースの後方に隔壁を備えた土圧式や泥水加圧式の、いわゆる密閉型シールドが広く採用されるようになってきた。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。ところが実際には観察が不可能なために、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^{1),2)}。

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

2.1 工事への適用とその効果

このシールド切羽監視システムは、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、ビデオ収録できるシステムである。密閉型シールド機に適用して、以下に示す観察および調査に使用する。

- ① 切羽状態の観察（土質状況・地中障害物の確認）
- 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位置の確認
- ⑤ その他、隔壁前方の各種トラブルの原因究明調査

そのため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、掘進異常の兆候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、事象の経時的変化、例えばカッタービット摩耗量の変化などを把握し、事前に技術的な対応策を検討することができる。

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。そのため早い段階で兆候を感じた場合でもそのまま掘進を続け、最終的にはどうしようもない状態になって掘進不能に陥るケースもあった。

今回開発したシールド切羽監視システムは、簡易な装置により安全に早く広範囲の調査ができるため、掘進異常時の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る。

2.2 システム構成

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次の二つの部分で構成される。

(a) 挿入機構部

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挿入装置である。隔壁にあらかじ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。

(b) システム制御部

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作用コントローラなどで構成される。

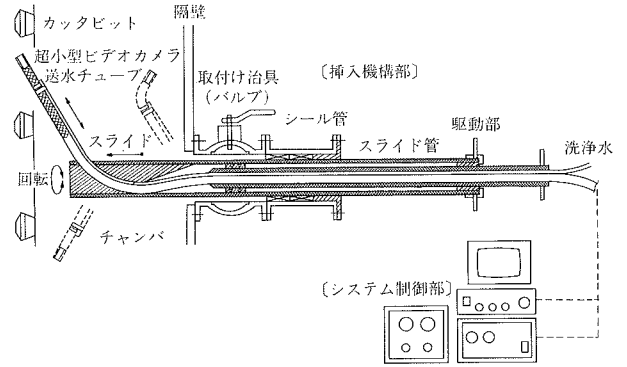


図-1 シールド切羽監視システム・構造概要図

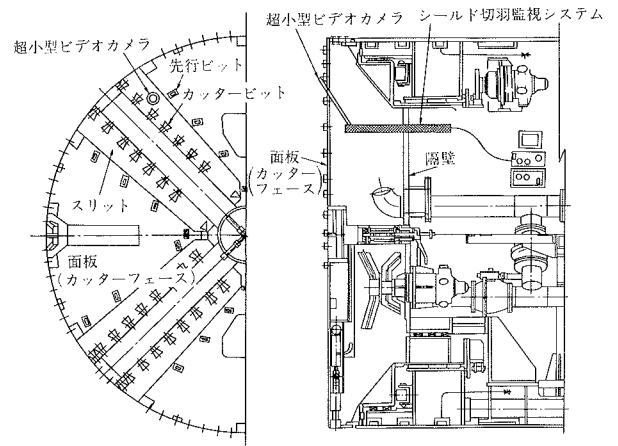


図-2 シールド機での使用方法

表-1 超小型ビデオカメラの仕様

光学系	視野方向 観察深度 照明方式	100°(画面对角上) 直視または側視 13~110mm ライトガイド方式
先端部	外径 湾曲角	φ12.6mm 0~120°
挿入部	最大径 有効長	φ12.6mm 6,000mm

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(グラビア写真参照)。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を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、シールド機的设计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あらかじめ挿入用バルブを組込んでおくべきである。

例えば、切羽上部の崩壊空洞調査を施工管理の重点管理項目として実施する場合には、隔壁上部に設置位置を

選定しなければならない。十分なスペースが取れなければ斜め方向に挿入することを考えてもよい。またカッタビットの摩耗状況を調査する場合には、一般に外周ビットの摩耗が激しいことを考慮して外周寄りに設置する。ビット観察だけが目的ならば必ずしも隔壁上部に設置する必要はない。面版の回転と組合わせて順次観察することができるからである。

その他の調査でも当然、工事現場ごとに異なった要望があるはずであり、計画段階から十分検討して調査に反映させる必要がある。可能であれば、どのような状況にも対処できるように複数の挿入口を装備しておくことが望ましい。

図-3 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、チャンバ上部に限定圧気を併用する。システムの耐圧機能については既に 5 kgf/cm^2 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。ただカッタ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。そのため別途に、十分な水圧と水量が供給できる洗浄装置を開発した。

図-4 に洗浄装置の概要を示す。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、挿入口がひと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。

写真-1 は洗浄装置を切羽監視システムに並列して設置した例である。このような処置を講ずることにより、対象物を観ながら洗浄することが可能で、しかも再洗浄の必要があれば直ちに実行できるため、さらに能率の良い作業を行なうことができる。

4. 現場への適用例

シールド切羽監視システムを実際の工事に適用した場合の基本性能、操作性および撮影画像の鮮明度などを検証するため、施工法の異なる下記の2現場に適用した。

① 適用工事(1)～土圧式シールド工法

シールド機外径 3,690 mm。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。切羽監視システムによる観察はこの人工地盤内で行なった。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(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 10,200 mm。土質は風化花崗岩お

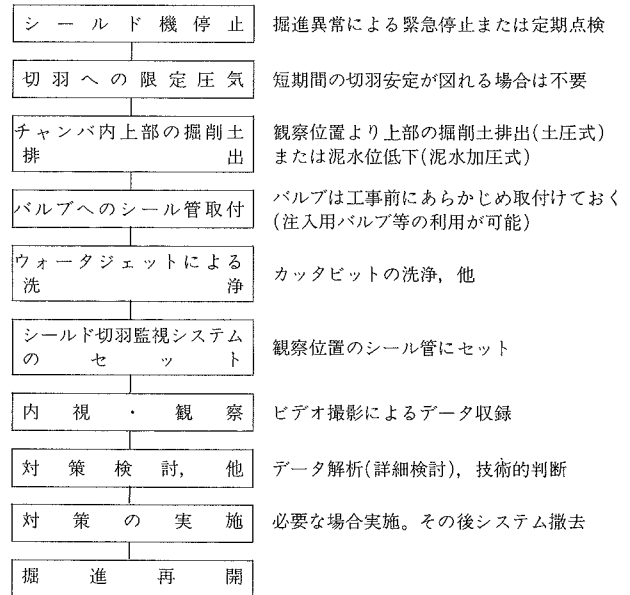


図-3 作業フロー図

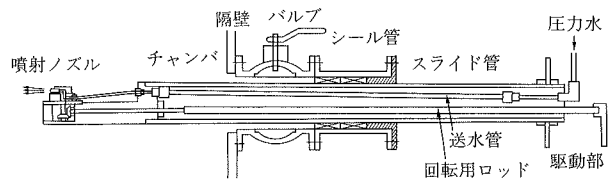


図-4 洗浄装置概要図

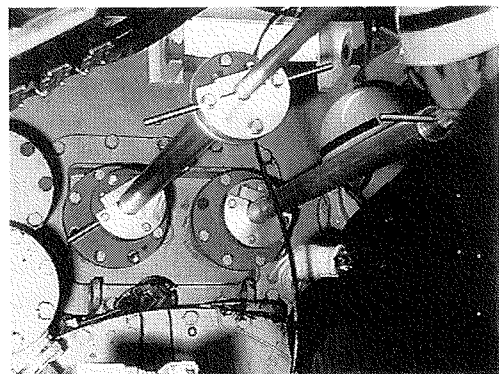


写真-1 切羽監視システムと洗浄装置を併置した例

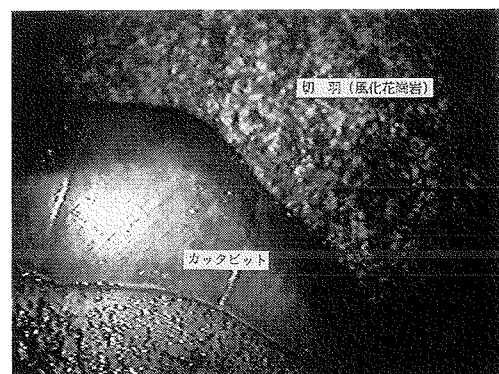


写真-2 カッタビットと切羽の状況

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。切羽安定のため限定圧気 (1.33 kgf/cm²) を併用した。

これらの各現場に適用した結果、鮮明なカラー動画像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-2は上記適用工事(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、オリジナルのカラー動画像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単に把握することが可能である。

写真-3は適用工事(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-4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-5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、実際に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。

今後、シールド工事はますます長距離掘進化・大深度化の方向に進むものと思われる。例えば現在計画が進められている東京湾横断道路工事は、人工埋土地盤も含めて概略2.5kmほども掘進しなければならない。また今後予想される大深度地下シールド工事では、立坑などの制約および経済性の要求などから、工区当たりの施工延長は現在よりも長くなるを得ないであろう。当然カットビットの摩耗を始めとして、隔壁前方で種々のトラブルが予想される。

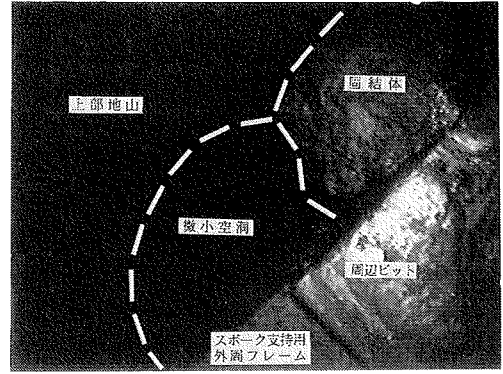


写真-3 切羽上部の微小空洞

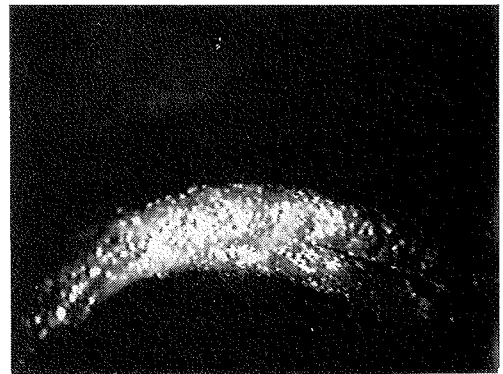


写真-4 切羽に出現した埋設番線屑

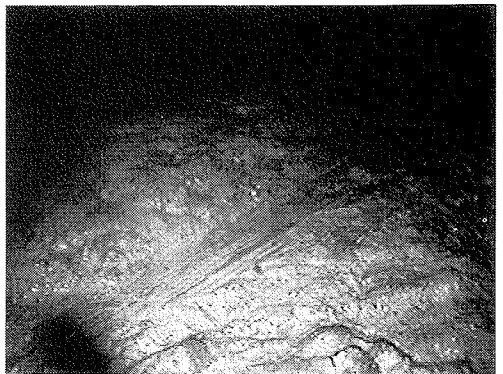


写真-5 噴射攪拌杭の表面に残された
カットビットの線条痕

ここに紹介したシールド切羽監視システムが有効に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。

参考文献

- 1) 山下, 藤原: シールド切羽監視システムの開発, 土質工学会第25回土質工学研究発表会, p. 35~36, (1990)
- 2) 山下, 藤原: シールド切羽監視システムの現場適用例, 同上第26回研究発表会, (投稿中)