

SHIELD

实用講座

シールド  
工法

2

## シールド工法(II)

村山朔郎\*

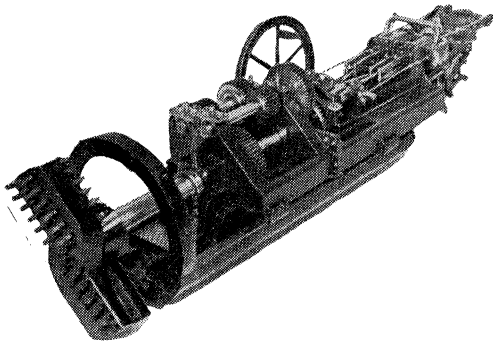
### 3. 機械化シールド

#### (1) 概 説

1. (2) に述べたように機械化シールドは、切羽をカッターの回転切削によって機械的に掘削してゆくシールドである。シールドの外殻をもたないトンネル用回転切削機械は、すでに 1880 年に英仏海峡トンネルのパイロットトンネル(直径 2.14m)の掘削用として R.E. Beaumont 大佐が、写真-1 に示す圧縮空気駆動の回転切削機を發明し、1881~1882 年には同海峡のイギリス側を、1882~1883 年にはフランス側をそれぞれ約 1.5 km 間チョーク層中を掘進した。

このような回転切削をシールドに適用したいわゆる機

写真-1 圧縮空気駆動の回転切削機



械化シールドは、ロンドン地下鉄などのロンドン粘土の掘削用として 1897 年に T. Thomson, および J. Price が同時にそれぞれ独立に開発して使用された。イギリスで機械化シールドが実用されたのは、1915 年に Cleveland West Side の水道トンネルが最初のものである<sup>9)</sup>。その後も英米では実用されたようであるが、ソ連では 1948 年レニングラード地下鉄に機械化シールドが使用されてより、熟練労働者の節約、工期の短縮、工費の低減の目的で各種の形式の機械化シールドが研究・開発され、最近では各国で各種の機械が実用に供されるようになった。国産の実用機としては、1963 年末に竹中工務店が石川島播磨重工とともに外径 3.0 m のものを、1964 年秋には、熊谷組が外径 1.6 m のものを、1965 年春には三菱重工業が外径 3.2 m のものを製作している。

各国でこのような機械化シールドが盛んに用いられるようになった原因は、人力の節減、掘進速度の向上などによって長区間のトンネルも掘削する場合は工費的にも十分機械化に費した費用をまかなって余りあることが実証されてきたためであろう。掘進速度についてみれば、モスクー地下鉄では従来の手掘式シールドでは日進平均 2.58 m、日進最大 7.8 m であったが、機械化シールドではそれぞれ 6.0~8.0 m、10.5 m になったという。ロンドンの地下鉄 Victoria 線でも、Kinnear Moodie 社と Arthur Foser Constructional Eng. Ltd. により作られたシールドは、従来の手掘式の約 2 倍の施工速度をもち、順調な場合の平均速度は 1 日 3 交代で 18.3 m/日、最大速度は 26.8 m/日 が得られた<sup>7)</sup>。さらに機械化シールドの長所は、手掘りシールドでは掘進が困難な軟弱地盤における切羽のおさえが行ないやすいことである。

しかしこのような機械化シールドの長所は、使用場所の土質と地盤条件に適應した設計がなされたとき始めて発揮されるので、どの土質にも一様に有効な万能的なものはないといっても過言ではない。目下バリの凱旋門橋から Neuilly 橋に向かって直径 10.2 m の機械化シールドを進めている Billiard 社の主任技師を昨年筆者が訪れたとき、機械化シールドについての上記の考えをたまたしたところ、彼は「機械化シールドは全くすばらしいスーツである。しかしどんなすばらしいスーツも体(土質の意)に合わなければただの飾りものに過ぎない」といって同意した。

機械化シールドは前述のように土の掘削を能率化したものであるが、シールドの掘進速度を増大するには、単にカッターの切削性能を向上するだけでなく、切削行程に続くあらゆる後方設備の作業速度が、切削速度と同様に増大されなければ機械化の意義がない。それらについて考慮せねばならない主な点をあげると、① 切羽が安定していないと所期の切削速度が継続できないから、つ

\* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

ねに切羽の安定が保持できるようなカッターや切羽安定機構が用意されていること，② カッターの切削速度に応じたずりの処理容量を有すること，③ セグメントの組立時間を短縮する機構が用いられること，④ ドライバーがシールドをつねに正しく所定線上を推進できるような，シールドの掘進中シールドの蛇行や傾斜が即時わかるような速い測量方式が用いられること，⑤ シールドの方向転換，姿勢修正などの操向性能が容易なこと，⑥ 機械の保守修理が簡単でそれに要する時間が短く，また故障の発生の少ない機械であること等である。

機械化シールドは，多種のものが製作され一見非常に複雑なように見える。それは前述のように土質条件に適合させるための設計や掘進作業の能率化のための工夫が種々の形で取り入れられているからである。それらの中には開発中のためなどで公表されないものもあるので，ここではすでに公表された機種のみを例にとり，機械化シールドの設計上の諸問題を筆者なりの見解で考えてみよう。

#### a) カッター ヘッドの形式

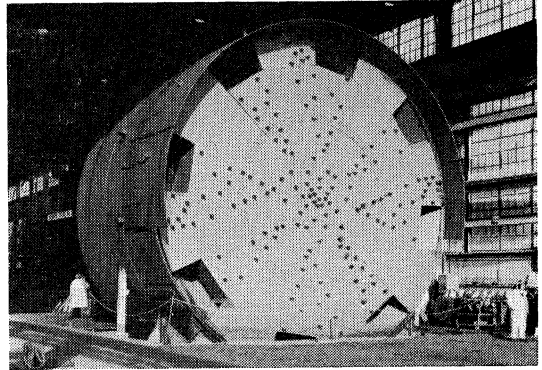
カッター ヘッドは，切羽の土を能率よくしかも切羽を安定化した状態のもとに切削できるように設計せねばならない。切削の点から切羽の土質を類別すると，④ 切羽面が自立できる良質の土と，⑤ 流動性の軟弱土と，⑥ その中間のものとの3つに大別される。この3つについて以下に述べる。

1) ④の場合：切羽が自立できる土に対するカッターは，切羽面の安定に対しての考慮はする必要がなくもっぱら切削を能率的に行なえるよう切削工具の材質，形状，配置などを設計すればよい。切羽の安定に必要な山留め（山おさえ）が不要であるから，カッターの前面は切削工具の取付けわく以外の部分は開放されていてシールド内部から切羽面がみえるような構造のものが多く，いわば開放型の機械化シールドといえよう。

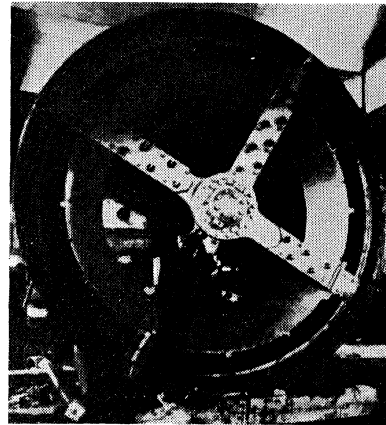
切削工具は土質によって設計されるが，多くは爪状の尖頭刃が用いられ，磨耗時交換の容易なようにカッターわく（カッターヘッド）に固定する。刃の材質は土質が硬いときは特に耐磨耗性を向上するため，たとえばソ連のモスコウ型シールド（1951～1952年）では硬粘土（粘土けつ岩）の切削のため，刃の先端には圧縮強度  $400 \text{ kg/m}^2$  の岩を対象に設計した特殊合金のチップを溶接している。またパリの凱旋門から発進する **写真-2** のシールド（アメリカ Robbins 社製 Model-341）の刃先は，最初の地帯が石灰岩を含んだ地層であるから，その区間に対しては Robbins 社の考案したそろばん玉状の超合金よりなる，いわゆるデスクカッターとツールビットと梓円板状のカッターヘッドに取付け，デスクカッターで石灰岩を圧砕して掘削を行なっている。しか

**写真-2 Robbins Model-341**

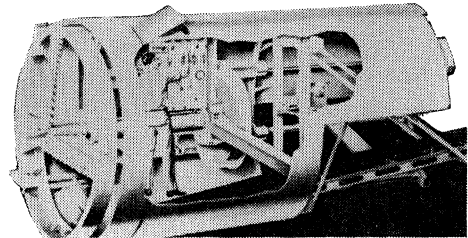
（写真・小松製作所 提供）



**写真-3 Robert McAlpine Ltd., のシールド機械**



**写真-4 Calweld 社製シールド機械**



し一般の土を切削する刃ではこのような超合金を用いねばならないほどの硬さを必要とせず，高炭素鋼の上に溶接で耐磨耗材をハードフェーシングをしているものが多いようである。

切削刃はいずれも回転するカッターヘッドに取付けられるが，この型のシールドのカッターヘッドは大別するとつぎのような二つの型がある。その一つは，たとえば **写真-3** の Robert McAlpine Ltd. のシールド（ロンドン地下鉄 Victoria 線，およびトロント市の硬粘土に使用された）や，**写真-4** の Calweld 社製シールドなどのように，かさの骨のような放射状のわくをしており，その中心軸のまわりに回転し，放射状わくにつ

写真-5 モスコウ地下鉄のシールド機械

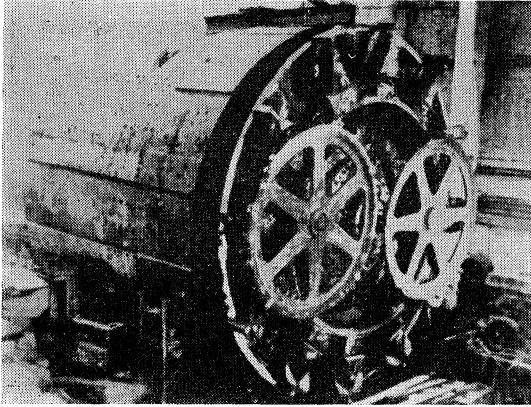
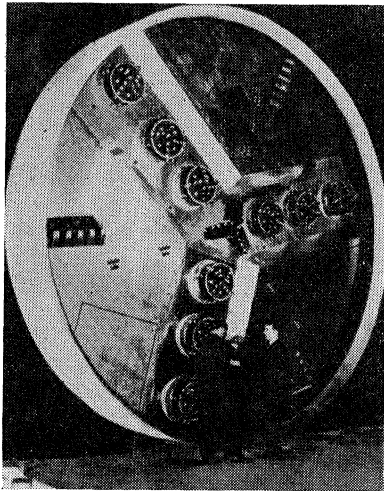


写真-6 3個の回転円板を持つシールド機械



けられた刃によって切羽を同心円状に切削してゆく形式である。他の型は写真-5のモスコウ地下鉄のシールドのように、いくつかの回転円板（この場合は2枚の車輪状円板）がそれぞれの軸のまわりに回転すると同時に、それらの軸が自転と反対方向にシールド中心軸のまわりに公転して、回転円板は遊星運動をなすため、回転円板の周囲につけられた切削刃が外転サイクロイド曲線の軌跡を画きながら切羽を切削してゆく型である。ドイツ Demag 社のものもこれと似て写真-6のように三差状の放射状におのおの3個の回転円板がつけられている。

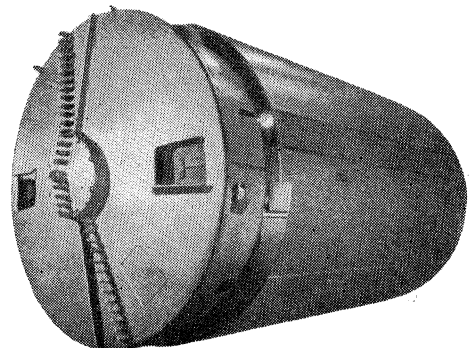
2) ⑥の場合：流動性の土は軟弱な粘質土あるいはゆるい砂質土の場合にみられる。これらの土質では切羽が自立できないので、もし上述のような開放型機械化シールドを用いれば、土がシールド内に流入し、掘進を妨げるとともに、地表の沈下を誘発する。このような土質に対しては、あたかも手掘りシールドでは閉鎖型シールドが使用されたと同様に、機械化シールドにおいてもカッターヘッドの前面が鋼板でおおわれた、いわば閉鎖

型機械化シールドが用いられる。カッターヘッド前面をおおう板には小窓または細隙の開口部があげられ、それらの側につけられた刃（多くはかんなの刃のような平刃）によって切羽の土を切削し、それら開口部をとおしてシールド内に入られる。前面をおおう板は切削中つねに切羽を押しつつ切削を行なうが、流動性の粘着土の場合は隔壁型手掘りシールドのブラインド推進と同様に、シールドが掘り取るべき土量の一部のみを開口部からシールド内に入入れ、他をシールド側方に排除して推進することもできる。

開口部には切削時取入れる土量を加減するため、あるいはシールドの掘進停止時土の流入を阻止するためなどの目的で、開口部の開度を調整できるドアなどの機構をつけたものもある。写真-7は、1956年ソ連キエフ市地下鉄の軟弱粘土を対象に作られた、いわゆるキエフ型シールドの改良型（ソ連製）で、直径にそうスリット状の開口部がみえる。なお図中の窓状の孔は障害物の除去などのため人が出入できるように設けた作業用孔である。今年の始め西松建設がアメリカ Memco 社 (Mining Equipment Manufacturing Corp.) より輸入した径約 3.3m のシールドも、この部類のものといえよう。

3) ⑦の場合：上記④、⑤の中間の場合では、切羽を無支持の状態に放置すれば、ある時間で切羽が崩落するが、シールドはその時間までにそこを通過するような場合である。ゆえにこのような土質の特性は、レオロジー的立場に立って規定されるべきものである。

写真-7 キエフ型シールド機械の改良型  
(写真・大林組 提供)



このような有限時間安定状態にある土質に対するシールドのカッターヘッドは、自立状態にある切羽の土を能率よく切削できるように設計すべき点は④の場合と同様であるが、カッターヘッドの前面は④の場合と異なって開放型としない。すなわちカッターヘッドの前面は、シールドの掘進停止時に切羽の崩落を防止するための土留めの効果を発揮するよう⑥の形式に準じて切削土の取入口以外は閉鎖しておかねばならない。またこのような有限時間自立する土では、必ずしもシールド全断

写真-8 円錐状のカッターヘッドを持つ  
ソ連製シールド機械  
(写真・熊谷組 提供)

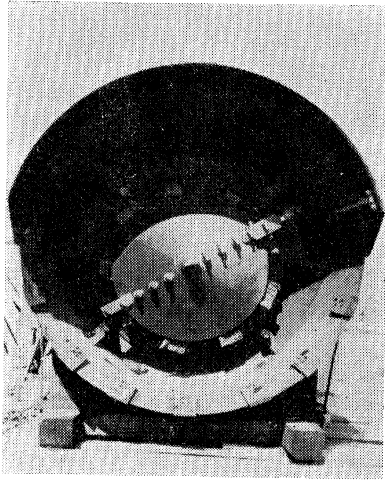
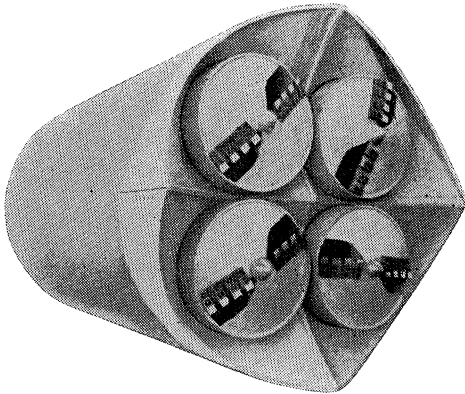


写真-9 反対方向に回転するカッターヘッドを持つシールド機械  
(写真・三菱重工 提供)



面をカッターヘッドで掘削する必要はなく、一部を残してそこをシールド前端の刃口で切削することもできる。写真-8は、ソ連製の直径2.56mのシールドでカッターヘッドは、円錐状をしてシールド中心より下方100mmにその回転中心がある。カッターヘッドは軸方向に1.0m前後動できるので、中心部をカッターで掘削しカッターをその位置にとどめ、ついで周囲に残った土はシールドをそこまで推進させつつシールドの外周刃口で切削する。写真-9は、 $\phi 3.2\text{m}$ のシールド前面に $\phi 1.15\text{m}$ の前後動できるカッターヘッドを数個(この場合は4個)をつけ、左右のカッターヘッドを互いに反対方向に回転させて切羽を切削するよう考案されたもので、これもカッターで切削される部分以外の土は、シールド刃口とカッターをかこむ十字形の突出したエッジで切削し、カッター部へ押し込まれる。この形式のような多軸式カッターヘッドの切羽掘削上の特徴は、①あ

たかも手掘り式の場合の切羽掘削のように、シールド全断面のうち一部分だけを先行して掘削できるので、シールドの蛇行修正の助けになり、また切羽を図-2のような段形に近い形に掘削し、その安定化を高めるのに効果がある。㊸各カッターヘッドは前後動ができるから、停止させたカッターヘッドを山留めに使うことができる。㊹カッターヘッドの数が多いときは、各カッターヘッドを切羽の状況に合わすように使いわけて操作するが、多少の熟練が必要であろう。

写真-10は国産された最初の機械化シールドで、外径3.0mを有し切削能率を向上するよう考案された特殊な刃の組合せと、適用土質の範囲を軟弱土にまで拡張させるため、切削中でも切羽面の土留効果を発揮させるよう考案された特殊な切削・土留機構をもっている。またシールド断面が、複線鉄道トンネル大の大きさとなった場合には、カッターヘッドを共心で内側カッターをやや突出させた内外2重の構造とし、互いに独立して正逆任意に回転する機構を設計している。この機構はシールドのフードとあわせ作用させることにより、あたかも

写真-10 国産最初のシールド機械  
(写真・竹中工務店 提供)

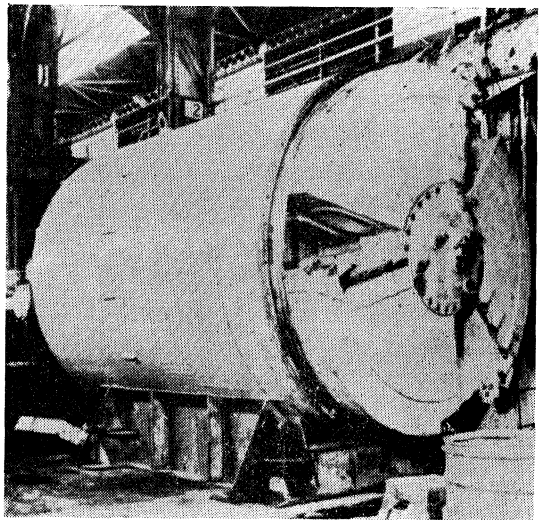
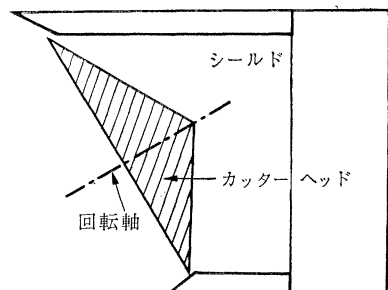


図-9



カッターヘッドを図-9のように土の息角に近く前傾させて回転切削すると同様な効果を期待したものである。2重式カッターヘッドでは一方のカッターヘッドを切羽に圧着させて土留とし、他方で切羽面の掘削をすることもできる。

上述したカッターヘッドの切羽に与える土留め作用のほかにシールドの土留め効果を発揮するものにフードがある。フードの作用は1つはその貫入抵抗力が土留力として切羽に加圧されることと、他は切羽の天井部のゆるみを防止して切羽の安定をはかることとである。ゆえにフードが最も効果を示すのは、粘着力の少ないゆるい砂質土の切羽の場合であって、逆に硬い粘着土の場合はフードの貫入抵抗力がむしろシールドの掘進抵抗の増大と、その偏心の原因となり、推進操作をむずかしくする要因となることがある。

## (2) カッターヘッドの回転機構

カッターヘッドの回転機構を大別すれば、その中心軸に支えられて回転するセンターシャフト方式と、カッターヘッドの直径に近い径の円形のピンラック（または大歯車）を、それに外接または内接するスプロケット歯車によって回転させるドラム（drum）方式とがある。後者の場合、カッターヘッドはシールド本体に固定されたベアリングで支持されて回転するが、ベアリングはそれにかかる外力に耐えることはもちろん、切羽からの土砂の流入に対してメカニカルシールなどによって十分防護されるとともに、万一破損したときは修理が可能のように製作されねばならない。

回転用の駆動原動機には電気モーター、または油圧モーターが通常用いられるが、ソ連のキエフ型改良機の一つには油圧ジャッキ（複数）をラチェットギアに接するよう配し、油圧ジャッキを交互に伸縮させ、その伸長力をラチェット爪によりラチェットギアの一方向回転力に変換させてカッターヘッドを回転させる方式のものがある。駆動原動機には電気モーター（たとえば Robbins Model-341）と油圧モーター（たとえば Kinneer Moodie のシールド）とがある。その主な特徴を比較すればつぎのようである。油圧モーターは油圧ポンプ、ポンプ駆動用電動機などを要し、電気モーターに比し設備が大きくなり保守点検箇所が多くなるとともに、価格、所要電力量も多少増すが、無段変速が可能で、また過負荷を受ければ油圧が上昇しようとするが、規定圧力以上になればリリーフバルブが開いて油が回流するので、他へ過負荷を伝えない利点がある。一方電気モーターは微少回転ができないほか、通常モーターは極数変換による以外は変速方法がなく、また油圧モーターよりも大きな減速比を必要とするので複雑な減速装置を要する

が、大出力のものが容易に得られかつ効率が低い利点がある。

カッターヘッドの起動時には定常切削時に比し非常に大きな起動トルクが要求される。この起動トルクは1つは静止しているカッターヘッドなどの回転部の加速抵抗と電気モーターの起動電流などの通常の起動動力と、他はシールドが停止時、カッターヘッドの前面をおしつけていた切羽の土を切りはなすための抵抗とがある。動力設備の容量を節減するため、起動時における電力量を小さくするようにせねばならない。このため、第一の原因に対しては、多数の電気モーターで1つのカッターヘッドを駆動する型では、全モーターのクラッチを切って、いくつかのモーターをグループごとに分散起動させ、全モーターの回転を完全に同調させた後、いっせいにクラッチを入れてカッターヘッドを起動させる方式をとっている（この例は Robbins Model-341）。油圧モーターが用いられるときは、油圧モーターの過負荷に対する安全性を利用して、油圧ポンプを起動後順次油をモーターに送り込んで起動させることができる。カッターヘッドを多数有するシールドでは、それらを分散起動して起動トルクを低下させる。切羽の土の接触のため生ずる第二の原因の起動抵抗に対しては、カッターヘッドなど切羽と接触している部分を一時後退させる機構を設けない限り対策はない。

## (3) 操縦装置

シールドは推進にともない蛇行や回転をおこす傾向がある。蛇行の原因は、地山の抵抗力、シールドジャッキの推進反力およびシールドの自重から生ずる旋回モーメントといわれている。蛇行の修正や曲線に沿う推進のためにはシールドの方向制御が必要で、ある程度までの方向変換はシールドジャッキを不均等に使い、旋回量に合わせたテーパリングを組んでいくことで達成できるが、さらに確実に多量の旋回をするには、切羽の掘削を一局部だけ標準断面以上に余掘りするためのオーバーカット機構をカッターヘッドにつけたり、シールドと地山との摩擦抵抗を局部的に高めるための突起物をシールド側面から出す機構などが考案されている。

シールドの回転の原因は明らかでないが、シールドの断面の長さ方向の不整、シールドジャッキ反力や地山の抵抗力から生ずる回転トルク、シールド重心のかたよりのほかに、機械化シールドではカッターヘッドの回転反力も大きい影響を与えらると思われる。多量の回転は装備機器の機能を支障するので、回転防止の必要がある。防止方法としては、シールド外周に当板程度の突起をつけたもの、シールド外周に翼状の突起を出したものの、カッターヘッドの回転方向を順逆可変にしている

もの、多数のカッターヘッドの回転方向を互いに反対にしているものなどがある。

#### (4) 測量装置

機械化シールドは掘進速度が大きいから、シールドの位置、姿勢を常を知って蛇行や回転を大きくならないうちに修正するよう運転せねばならない。そのためインスタントに分る測量装置が必要で、種々のものが考案され、またされつつある。

ロンドン地下鉄の Kinnear Moodie 社のシールド<sup>7)</sup>では、正しいトンネル中心線を示す目盛装置 (sighting device) がシールド ジャッキ操縦席の近くにおかれている。これはシールド後方の既成覆工の天井にランプ光源をおき、光源とシールドとの中間の覆工天井に2個の十字形スリットを通常の測量により所定位置に取付ける。この2個のスリットを通過した光線の十字形の光像が運転台の近くの目盛付鏡にうつり、それによってシールドの現位置を直読する。曲線通過のときは各覆工リングごとにシールドの予定偏位量だけ目盛つき鏡の原点を動かしてセットしておく。

またシールドの姿勢を知る測量には、たとえば2成分傾斜および小型ジャイロコンパスよりなる装置を用いるもの(竹中工務店シールド)、上下左右の4本のシールドジャッキの伸長量をシンクロ発信器で電氣的に表示させるもの(三菱重工シールド)などがある。

#### (5) 覆工組立装置

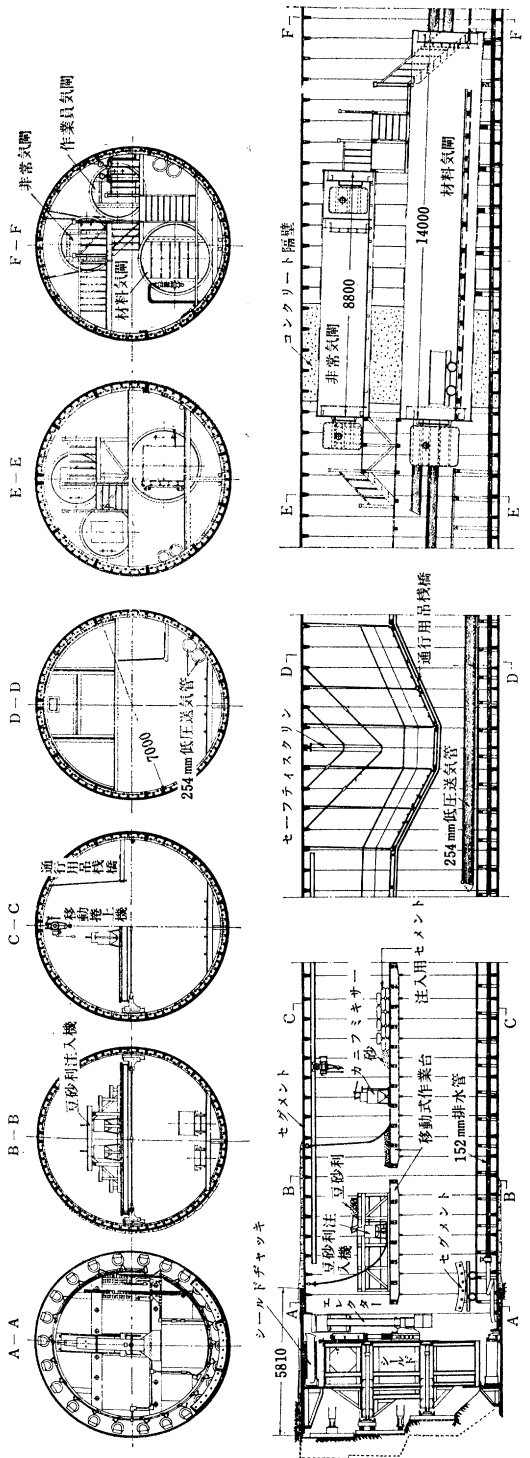
手掘りシールドでもそうであるが、特に機械化シールドでは、セグメントを高い精度で正しくかつ速かに組立てられるセグメントエレクターが必要である。そのためエレクターの回転速度を高めるとともに、セグメントの位置決めのための微動装置が考えられている。

セグメントの組立は、継続組立方式と連続組立方式とに大別される。前者は手掘りシールドのように、シールドを覆工1リング分推進後にセグメントの組立を行なう方式である。後者はシールドが1リング分の推進中に、推進と平行してセグメント1リングの組立を行なう方式であって、Brige方式のシールド(特異な方式であるので、ここでは説明を省略する)や、Robbins Model-341が採用している方式である。Robbins Model-341では、シールドジャッキ群を通常のシールドのように鉛直面内にそろえて設けず、天頂のシールドジャッキが1リング分だけ後方に位置するよう順次傾斜面によって配置するような考案がされている。

機械化シールドではカッターヘッドで掘られた土は、カッターヘッドにつけられたバケットまたはガイドによって自動的にベルトコンベアに移されて後方に送ら

れる。このベルトコンベアは通常はシールドの中心軸におかれるので、エレクターの回転軸はベルトコンベアを設備する余地を与えるよう中空軸とするなどの工夫がされている。このような設備をもち、かつカッター

図10 シールド工法および坑内配置  
(国鉄開門トンネル・土木工学ハンドブックより)



ヘッドが前後動できるシールドでは、カッターヘッドによる掘進とセグメントの組立てとが同時にできる。

シールドを出たセグメントと地山との空げき（テイルポイド）は通常はセグメントに設けたグラウト用孔から注入によってふさぐが、テイルの外周に沿わせて注入管を固定しておき、覆工がシールドを出るとただちにシールド内より注入材を送りテイルポイドを充填するよう工夫されたシールドもある。この際、注入材がテイル内面とセグメントのリングの間からシールド内へ逆流しないようシール機構が必要である。

### 3. 圧気の適用方式

圧気設備の詳細はここでは省略するが、圧気をシールド工法に適用するには、トンネル内に圧気を封入する通常の圧気方式と、切羽に接するシールドの前面だけを圧気下におく部分圧気方式とがある。前者は図-10のように坑内にコンクリートまたは鋼材で気密な隔壁をつくるか、立坑に気密な蓋をつくるかしてそれより坑奥を高圧下におくものである。隔壁や蓋には、作業員、材料、ずりなどの通過のためのロック（気閘）を設ける。図-10中にみられるセーフティスクリーンは、水底トンネルなどのように多量の湧水の危険がある場合に対して考案されたもので、非常用気閘の入口（高圧側にあり常時開放しておく）の前方に設け、覆工上半部を半円に横断する気密な鉄板の幕である。これは噴発が悪化して、万一坑内が水没してもセーフティスクリーンと隔壁との間に空気が溜められ、作業員が非常用気閘へ逃避することができるように作られた保安設備であるが、この発明以後にはこれが使われねばならなかったような事故は皆無であった。

部分圧気方式については前述したが、その成否は地山の透気性の多少によるものと思われる。透気性が大きい場合や、透気性に急増のある場合には圧気部の容積が小さく十分な空気溜りもたないから、漏気に対する補償が不十分で圧気の安定が困難となる。万一急激な減圧が生ずれば、切羽の安定をおびやかすだけでなく、もしここに作業員のいる場合は圧気の急変のため、生理上の重大な危険を生ずるからである。

## 5. 覆工

### (1) 概説

シールドのテイル内で構築される覆工を1次覆工といい、1次覆工の内面にあとで施される覆工を2次覆工といている。

1次覆工は組立てただちに覆工として、外圧（土圧と水圧）に耐えられる強さがあり、またシールドジャッキの支持体となり、しかも組立容易であって、水密性とかなりの気密性をそなえることが要求されている。

2次覆工は、1次覆工の補強や耐久性の向上の目的で行なう覆工であって、通常無筋コンクリートが用いられる。ときには、覆工自重の増加や内装の目的もあわせてたすこともあるが、反対に2次覆工を全く省略する場合もある。

覆工はシールド工事の工費の大きい部分を占めるから、トンネルを経済的に構築するには覆工、特に1次覆工の合理化が大切で、材料、構造、製作、施工に種々の研究や工夫がされている。

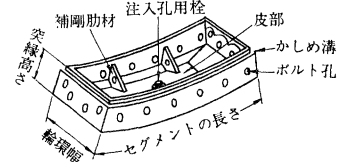
### (2) 1次覆工

1次覆工の材料には木材、鋳鉄、鋼材、鉄筋コンクリート、コンクリートが用いられている<sup>9)</sup>が、新材料としてはダクタイル鋳鉄が最近開発され鋳鉄の特徴（铸造性、耐食性）と鋼の特徴（靱性、耐力性、加工性）とを併有するようなセグメントや上記材料を2種組み合わせたセグメントなども製作されてきた。鉄筋コンクリートセグメントでも、覆工に組み立て拘束された後に生ずる収縮ひずみを少なくするように、特種な製作工程で作られたものもある。

生コンクリートを現場打ちして覆工を構築する以外はいずれの材料も通常は図-11のようなセグメントとして覆工に組立てる。ただし、セグメントの細部の構造は材料に合わせて目的に合致するよう各種の設計が行なわれている。

セグメントは図-11のような外形の弧片で、各片をボルトで結んでリングに組み、リングをボルト結合して1次覆工とする。各リングは、組立ての最後に押し込むくさびセグメント（キーセグメント）、放射状の接面をもつA-セグメント、および1接面はA-セグメントに対面はくさびセグメントの端面と合うB-セグメントの3種から構成されている。標準リングには周面接面が平行で各部の幅が同一のものが用いられるが、曲線や蛇行修正に用いるセグメントは、一面は標準リングと同じで軸と直交するが、他面は軸と傾斜しているテーパリングが用いられる。しかしセグメントの種類を減らすために、すべてのリングにテーパリングのみを用い、テーパの方向を相殺するように組立てて、直線部の覆工

図-11 鋳鉄セグメント  
(土木工学ハンドブックより)



とするものもある。

セグメントの防水法は、従来はボルト孔の防水には、ワッシャーの下に光明円と亜麻仁油の混合液（白亜鉛ペイントを加えることもある）に漬たして生乾きした麻輪（grumment）を敷いてボルトを締め、セグメント周囲の防水には、セグメント内周の切欠きを合せてできるU字型のかしめ溝に鉛ひもをかしめ入れる方法が用いられていた。最近化学製剤の進歩により、麻輪の代りには合成樹脂のリングが作られ、鉛ひもの代りに各種のシール剤が開発されるほか、接面を接着剤で補強する方法も用いられている。なおボルトはセグメント組立てのとき締めるが、数リング推進するとゆるむことが多いので再度締めなおす必要がある。

コンクリート製のセグメントでは、上記のようにボルト締めをする型のもののほか、わずかに鉄筋を用いたりまたは無筋のブロック状に作り、それに凹凸をつけ、モザイク状に組んで互いにせりもたせて覆工する方式もある。

また、生コンクリートを直接場所づめにして一次覆工を作るには、移動型わくを使用するほか、シールドジャッキの推力を受け持たせるための種々の考案がなされている。すなわち強固な型わくで生コンクリートを支え、シールドジャッキの推力は打設した生コンクリートの端面にて直接支持させるようにしたもの（1913年、Hallinger社の考案）、シールドジャッキの推力を型わくで支持させるもの、あるいは生コンクリートで打設したコンクリート中にシールドジャッキを受けるプッシュロッドを押込んだもの（関門国道トンネルのルーフ

シールドに使用）などの考案がある。

### （3） 1次覆工背面の充填

1次覆工と地山との間には、テイルの板厚とテイル内面とリング外面の間げきとからできる空げき（テイルポイド）が残る。この空げきは、ブラインド推進のときはシールドの排除する土でほとんど埋められるが、開放型シールドでは、覆工の偏圧や地山をゆるませる原因となる。この欠点を除くためシールドの推進と同時にセグメントに設けた注入孔またはシールドテイル外側に固定した注入孔から、豆砂利を注入し、つぎに数リング後方でモルタルをセグメントの注入孔から注入し、テイルポイドを十分に充填する。ロンドン地下鉄のVictoria線では、ロンドン粘土中を掘進するとき、この裏込注入をはぶくため、ナックルジョイントをもつ鑄鉄セグメント（普通のセグメントのような突線がない）を覆工に用い、シールドの直後これを地山に密着して組立て、さらに15tの油圧ジャッキで押しひろげるとともに、横接面間にくさびを打込んで締めつける新しい覆工方式を用いている。

#### 主な引用文献

- 6) Hewett and Johannesson: Shield and Compressed Air Tunneling, McGRAW-HILL, 1922. pp. 165-169
- 7) Tunnel Driving and Construction using New Shield and Linings. The Railway Gazette, March 24, 1961, p. 339.
- 8) 村山朔郎: シールド隧道工法における覆工, 土木工学 Vol. 7, No. 5~Vol. 9, No. 9 (7回), 昭和13年5月~15年9月

## 書 評

### 増補改訂版

### 建設工事標準歩掛

建設工事の請負契約は、それが買手市場であり、遍務的内容となりがちではあるが、建設業法の規定では、確固とした双務契約である。施主側の適正な予算額と、建設業者の見積額とが表裏一体、完全に呼吸が合っており、魂の入った建設工事が生れるのである。

われわれは、積算、見積りの過程において、毎月発行されている建設物価には、その都度「お世話になっている」。本書は建設物価調査会が、各種工事にわたり、得意の「林料歩掛り数値」のみならず、「労務歩掛り員数」の標準まで集計した貴重な資料であると思う。

最近計算機を用いるための積算および見積りの標準化は各方面で検討されてきている（もっとも同一条件での

財団法人 建設物価調査会 積算委員会 編

工事があり得るはずがないので、むずかしい問題ではあるが)。本書は、土木工事、建築工事、電気設備工事、機械設備工事に分かれている。このうち土木工事は全体の1/3である。最近の工事の内容からして、土木屋に不なれな工事も多くなってきた。化粧工事、空調および衛生工事等の心得も必要と思われるとき、本書はこの点からも便利であるといえよう。

体裁: B5判 630ページ

定価: 2400円, 送料一冊100円

発行所: 東京都千代田区神田岩本町12(共栄ビル)

Tel 866-8386

【KK大林組 寺尾英二・記】