

三協Mirai News



2018年夏号 No. 22

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



- シリーズ「歴史」トンネル(5)
- 特集 微細構造観察
- 技術ニュース「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン(国土交通省)」
- 日本のコンクリート構造物

トンネル（5）

■シールドトンネル

シールドトンネルは地盤内にシールド（盾という意味）と呼ばれる強固な鋼製の円筒状の外殻をもつ掘進機を推進させて構築されたトンネルのことです。

施工法は最初にシールドマシンを入れる大きな穴、立坑を掘ります。次にシールドマシンを降ろして所定の位置にセットします。シールドマシンは大きなものでは直径15m、小さいものでは直径2~4mあります。



シールド
マシン

次にシールドマシンを油圧ジャッキで押し付けながら、シールド先端のカッターヘッドを回転させて地下の地盤を削っていきます。カッターヘッドにはタングステンカーバイド製の超合金のビットが規則的に一面に配置されています。削った土砂は、カッターヘッド前面からマシンの中に入り、トンネルの外に運び出されます。

シールドマシンが一定距離進むと、進んで空いた空間にセグメントと呼ばれるブロックを組み立ててトンネルを延長します。

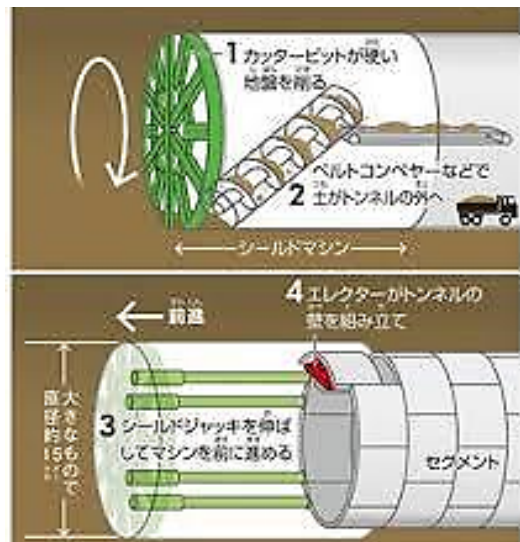


セグメント

次に油圧ジャッキを使ってさらにマシンを前進させます。このように、削る⇒セグメントで壁面を組み立てる⇒前進の繰り返しでトンネルを構築していきます。

セグメントと地山との間の空隙は、裏込め注入により充填し一体化します。また、セグメントの内側に型枠を組み、コンクリートを打設することで内面仕上げを行います。

シールドマシンは、トンネルごとに直径や土質などが違うため、現場、工事ごとに新たなマシンが制作されます。トンネルを掘り終わったマシンは、大体の場合カッターヘッド、内部の機械類を回収して、円筒状の部分はセグメントでおおってそのままトンネルの一部となります。



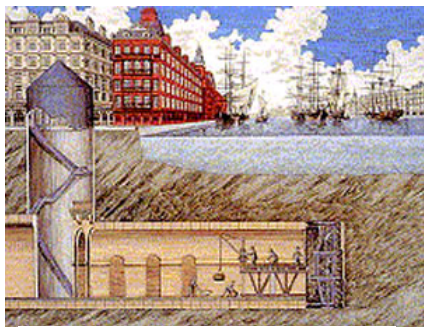
シールドトンネルの掘削手順

シールドマシンの種類には手掘り式、半機械掘り式、機械掘り式、泥水加圧式、土圧バランス式などがあります。

断面形状は円形が一般的で、特殊なものとして半円形、馬蹄形、長方形、眼鏡形などがあります。

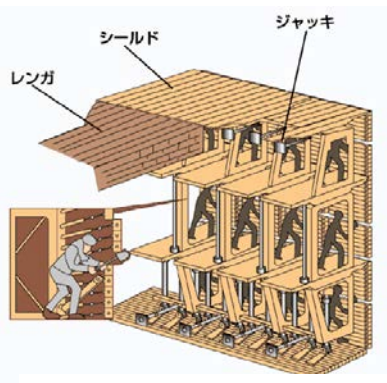
シールド工法は、1818年にイギリスにおいて、フランス人技師ブルネルによって考案され、特許が取得されています。シールド工法は、ブルネルが造船所で働いていた時にフナクイムシ（船食い虫）を見て考えたといわれています。フナクイムシは水中の木材に穴を開けて住むのですが、木材が膨張して穴が狭まるのを防ぐために石灰質の物質を壁面にすりつけて穴を固めます。穴を掘る、固めるという作業をして自分の巣穴を作るわけですが、これがシールド工法の発明になりました。

シールド工法が初めて採用されたのは、1825年に掘削を開始したロンドンのテムズ川を横断する水底トンネルの建設でした。



ブルネルのシールド工法

現在のシールドマシンはほとんどが円形の断面を使っていますが、ブルネルがテムズ川で使ったシールドマシンは四角い断面でした。下図にあるように、ひとつひとつの枠の中に人が入って掘削を行いました。



ブルネルのシールドマシン

工事は難工事で、出水事故や、何回かの浸水により、7年間中断しましたが1834年に再開し1843年に開通しました。このブルネルが作った世界最初のシールドトンネルは、今もロンドンの地下鉄として使われています。



テムズ川の地下鉄トンネル

日本最初のシールドトンネルは、イギリスでシールド工法が誕生してから約100年経った1917年（大正6年）に、秋田県にある羽越線・折渡トンネルの一部区間で初めて使われました。

このトンネルは、膨張性の地質による強大な地圧によって、通常の施工法では掘削が困難なことから、当時、海外のトンネルで用いられていたシールド工法を適用することになりました。施工は、水圧ジャッキによる姿勢制御に苦労したと伝えられています。

全長1,438mのうち、特に地質の悪い延長176mの区間を、約2年3カ月かけて掘削し、他の部分は在来工法で施工しました。竣工は1918年（大正7年）の予定を大幅に延長し、1924年（大正13年）にようやく完成しました。



構外でのシールドの仮組み立て



折渡トンネル

特集

微細構造観察

微細構造観察

コンクリートの微細構造観察には走査型電子顕微鏡 (SEM)、水銀圧入式ポロシメータ (MIP)、ガス吸着法、偏光顕微鏡、粒度分布測定などがあります。これら5つの測定方法についてご紹介します。

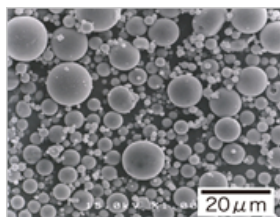
走査型電子顕微鏡 (SEM)

走査型電子顕微鏡 (SEM) は、電子線を絞って観察試料に照射して、試料から放出される二次電子、反射電子を検出して画像化します。倍率は数十倍から数万倍まで自由に設定できます。SEMでは二次電子量から物質表面の凹凸状態が、反射電子から物質の分布状態が画像化されます。

低倍率では空隙の分布状態やアルカリシリカゲルの存在状態を観察できます。また高倍率では骨材とセメントペーストとの界面状態やセメント硬化体の結晶 (エトリンガイトなど) の生成状態などを観察することができます。



SEM装置



フライアッシュの画像

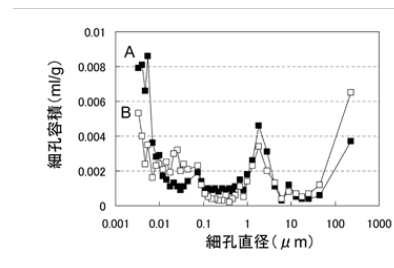
水銀圧入式ポロシメータ (MIP)

水銀圧入式ポロシメータ (MIP) は、水銀の表面張力が大きいことを利用して、試料

に水銀を高圧で圧入し、加えた圧力と圧入された水銀量から比表面積や細孔径分布を求める方法です。MIPでは硬化コンクリートの比表面積や細孔径分布、細孔容積などを測定します。また、この測定値から凍結融解抵抗性の推定を行うこともできます。

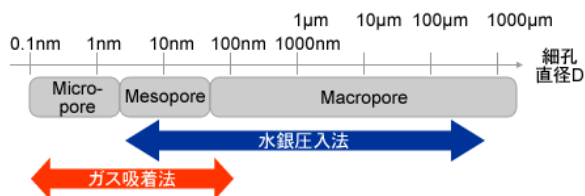


MIP装置



コンクリートの細孔径分布

細孔径分布を測定する方法としては、MIPのほかに次に紹介するガス吸着法があります。この両者は下図に示すように測定可能範囲が異なります。MIPの測定範囲はメソポア～マクロポア、ガス吸着法はマイクロポア～メソポアとなります。



MIPとガス吸着法の測定可能範囲

ガス吸着法

ガス吸着法はガス分子を吸着させ、その量から試料の比表面積を求めたり、ガス分子の凝縮状態から細孔径分布を測定する方法です。この方法では、MIPと同様に硬化コンクリートの比表面積、細孔径分布、細孔容積などが測定できますが、マイクロポアまで測定できるため、超高強度コンクリートなど細孔径の小さいコンクリートにも適用することができます。



ガス吸着法
測定装置

偏光顕微鏡

偏光顕微鏡は、試料を薄片にし偏光を試料に透過させて、透過光によって光学的性質を観察する特殊な顕微鏡です。岩石顕微鏡とも呼ばれます。

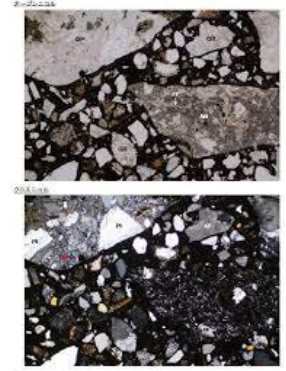
偏光顕微鏡では以下のような観察が行えます。

- ① 骨材に使用されている岩石やその構成鉱物の特定、粒形、粒度分布の測定。
- ② セメントの反応状態やコンクリートのひび割れ。
- ③ 炭酸塩鉱物の生成による中性化の観察。
- ④ アルカリシリカ反応による、反応リム、ゲル滲出、反応性骨材粒子、膨張ひび割れなどアルカリシリカ反応の進行状態評価。

- ⑤ ポップアウトの原因となる開口割れ目の有無や状態。
- ⑥ 骨材周辺の割れ目に沿って沈殿する非晶質物質の生成。



偏光顕微鏡



偏光顕微鏡写真

粒度分布測定

粒度分布の測定にはレーザー回折・散乱法が比較的広く用いられています。

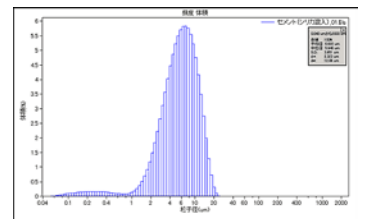
測定は液体中に分散させた粒子にレーザー光を照射して散乱光を検出します。散乱光は粒子の大きさに関係するので、散乱の解析理論に基づいて粒度分布を求めます。

分散用の液体は分散剤を加えた水を使用しますが、セメントのように水と反応するような材料にはアルコールを用います。

セメントやフライアッシュ、石灰石微粉などの粒度分布はフレッシュコンクリートの流動性や強度発現などの性質に影響するため重要な特性になります。



測定装置



セメント（シリカ混入）の粒度分布

流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン(国土交通省)

国土交通省は2017年3月に「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」を制定し、2017年7月から運用が開始されました。このガイドラインでは、従来8cmと設定されていた荷卸し時の目標スランプが、より流動性の高い12cmに変更されました。このガイドラインの条文をご紹介します。

1. コンクリートの流動性の選定

- (1) コンクリートの流動性はスランプ（スランプフロー）を指標とし、打込みの最小スランプを考慮して施工者が適切に選定するものとする。
- (2) 使用するコンクリートの流動性を定める際には、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材量や配筋条件、コンクリートの運搬、打込み、締固めなどの作業条件を適切に考慮するものとする。
- (3) [解説の抜粋]：一般的な鉄筋コンクリート構造物においては、これまでの実績を踏まえ、荷卸し時の目標スランプ値の参考値を12cmとしてよい。

2. 施工時における品質確認上の留意点

- (1) 使用するコンクリートの目標スランプが12cmの場合、単位水量、単位セメント量、水セメント比を配合計画書により確認する。
- (2) 使用するコンクリートの目標スランプが12cmを超える場合には、(1)に加え、試し練りを行い材料分離抵抗性を確認する。

3. 高流動コンクリートの選定と留意点

- (1) コンクリートの流動性を定める際、鋼材量や配筋等の構造条件と、打込み、締固め等の作業条件から、コンクリートに特別な流動性が必要と判断された場合、あるいは使用することにより現場打ちコンクリートの生産性が著しく向上すると判断された場合には、高流動コンクリートを選定してよい。
- (2) 使用するコンクリートとして高流動コンクリートを選定する場合、試し練りを行い流動性、材料分離抵抗性、自己充填性を確認する。

日本のコンクリート構造物

稼働している水道施設としては初の重要文化財 一本庄貯水池堰堤

本庄貯水池堰堤は、旧海軍により呉鎮守府水道の貯水池として1918年（大正7年）に呉市焼山北に築造されました。堰堤は重力式石張りコンクリート造で、堤体表面は花崗岩の切石が丹念に築かれ、重厚な美しい外観となっています。堰堤の規模は高さが25m、長さが97m、総貯水量186万 m^3 で、竣工当時は東洋一の規模を誇っていました。戦後になって、堰堤を含む水道施設は呉市に無償譲渡され管理されています。1999年（平成11年）に、稼働している水道施設としては全国初の国の重要文化財に指定されました。

堰堤の周囲には皇居周辺と同じ「ねじれ松」が数十本植えられています。また桜の名所で、開花時期には300本の桜が咲き、一般公開されています。



本庄貯水池全景



堰堤



石張り装飾



取水口

三協M i r a i 株式会社

| | | |
|-------|-----------|---|
| 本 社 | 〒105-0013 | 東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル) Tel. 03(3431)8266/Fax. 03(3434)5422 |
| 大阪支店 | 〒541-0059 | 大阪市中央区博労町 3-3-7(ビル博丈) Tel. 06(6252)7075/Fax. 06(6252)7076 |
| 仙台営業所 | 〒980-0023 | 仙台市青葉区北目町 2-39(東北中心ビル) Tel. 022(266)4662/Fax. 022(266)4663 |
| 福岡営業所 | 〒812-0013 | 福岡市博多区博多駅東 2-4-17(第六岡部ビル) Tel. 092(481)3265/Fax. 092(481)3266 |



発行 三協M i r a i 株式会社
東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル)
U R L : <http://www.sankyomirai.co.jp>