三協Mirai News

2019年冬号　No. 24

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（7）
・特集　ひび割れ補修工法
・技術ニュース　コンクリート標準示方書［施工編］
・日本のコンクリート構造物

シリーズ「歴史」

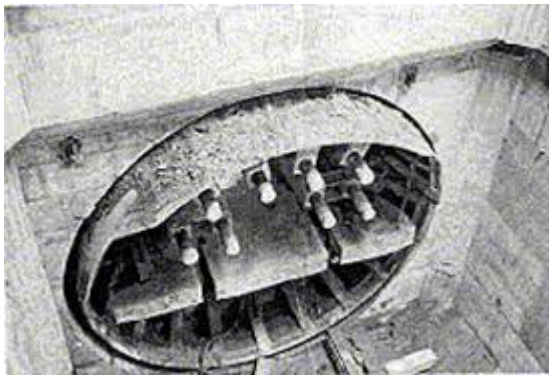
トンネル（７）

■シールドトンネル

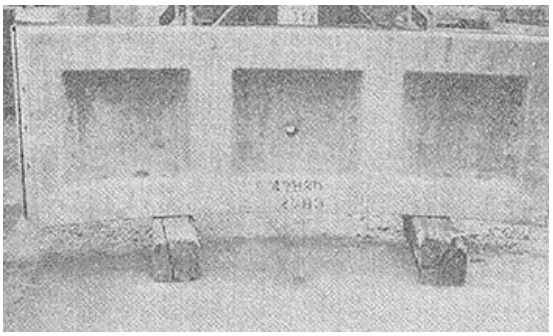
名古屋市営地下鉄・池下～覚王山間にある覚王山トンネルは 1961 年（昭和 36 年）に着工し、1963 年（昭和 38 年）に完成したシールドトンネルです。当初は 1959 年（昭和 34 年）に完成した地下鉄丸の内線の国会議事堂駅～赤坂見附駅間で採用されたルーフシールド工法が考えられ、機械も借用する計画でした。しかし、高速度鉄道技術審議会で検討を行った結果、①トンネルの大部分が民有地の下を通過するため、地上の沈下を抑えるために形状を円形とする、②経済性から躯体は全区間で鉄筋コンクリートとすることが決まり、地下鉄では初めての本格的シールド工法が採用されました。

トンネル延長は上り 357m、下り 388mで、外径 6.4mのトンネルは厚さ 35cm、幅 75cm の８分割の中子形の鉄筋コンクリートセグメントで構成されています。シールドマシンは解放型の手掘り式で、圧気工法*を併用して施工されました。

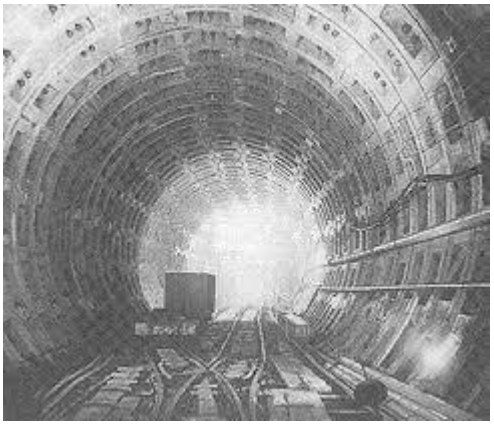
円形シールドの採用、鉄筋コンクリートセグメントの使用は、その後のシールド工法の基盤となりました。



覚王山トンネル用のシールドマシン



中子形ＲＣセグメント



工事中の覚王山トンネル

現在の覚王山トンネル

＊圧気工法

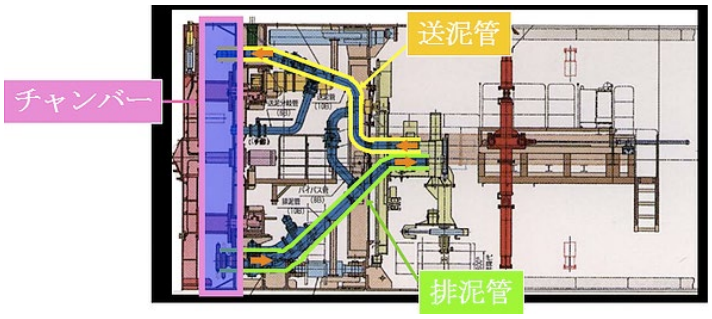
地山の崩落や出水防止のため、掘削作業空間に圧縮空気を注入して圧力を高める工法

1963 年（昭和 38 年）に大阪市上水道局大淀送水管トンネルの工事で、日本で初めて機械式シールドが用いられました。このトンネルは庭窪浄水場から大淀配水場への送水を行うもので直径 2.6ｍです。

機械式シールドはシールド前面にカッターを装備して、土砂の掘削を機械的に連続して行う工法で、全断面をカッターで掘削します。この工法により掘削スピードは格段に上がりましたが、基本的には手掘りと変わらず開放型のため圧気は必要でした。

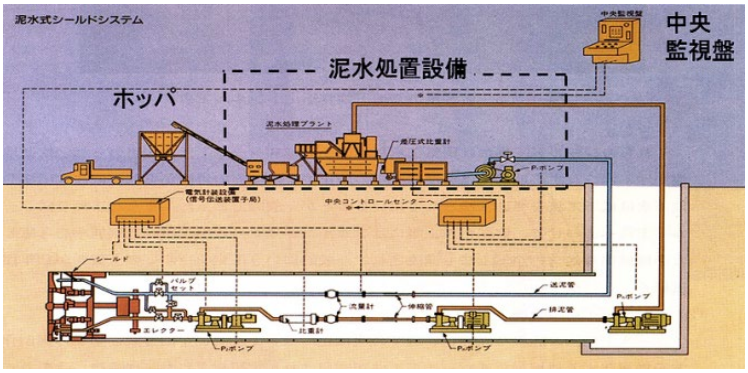
一方、圧気工法では作業員の出入りに手間を要し、特に出る際に減圧症の危険がありました。また、地山に漏洩していく圧気は地山を移動するうちに酸素濃度が低下します。この酸素濃度の低下した空気が坑内に還ってくると酸欠の危険が生じます。そのため、圧気工法などの補助工法を用いないシールド工法の開発が嘱望されるようになりました。

これに応えるべく、泥水式シールドマシンが開発されました。泥水式シールド工法は、地上のプラントで調整された泥水を送泥管によってシールド機前面のチャンバーに送ります。カッターで切削した土砂は泥水状態にして排泥管を流体輸送されて地上に排出されます。



泥水式シールドの掘削機構

切羽（掘削面）の安定機構は、地山の土圧と水圧がバランスするように泥水圧を制御して切羽の崩壊を防止し、掘削土量と排土量を管理して地山および地表面の陥没を防ぐというものです。またシールドの前進は、油圧で伸縮するシールドジャッキによって、構築済みのセグメントを後方に押すことによって行います。



泥水式シールドシステム

泥水式シールドが初めて採用されたのは 1964 年（昭和 39 年）荒川左岸流域下水道工事で、その後 1966 年（昭和 41 年）には直径 2.0ｍの川崎市水道局排水本管工事で採用されました。1969 年（昭和 44 年）には国鉄京葉線羽田トンネルで直径 7.3ｍの大口径泥水式シールドが用いられ、海底下の軟弱地盤での大口径トンネル施工例となりました。

また、1994 年（平成 6 年）に工事がスタートした東京湾横断道路（アクアライン）トンネルでは、5 階建てビルの高さの直径を持つ、14.14ｍの大口径泥水式シールドが用いられました。

東京湾横断道路（アクアライン）に用いられた 14.14ｍの大口径泥水式シールドマシン

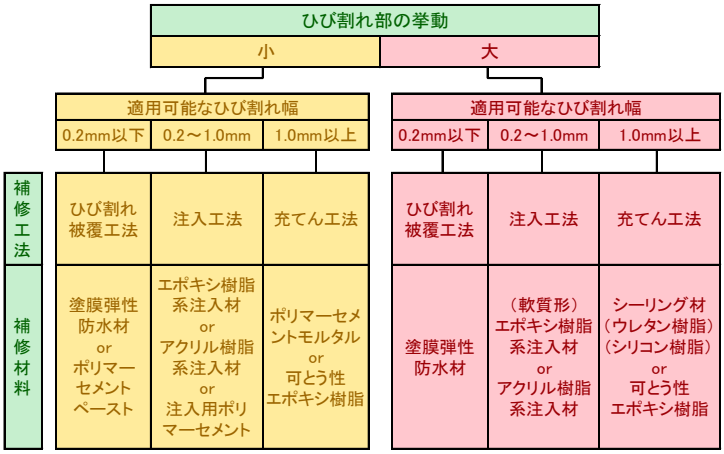
特集

ひび割れ補修工法

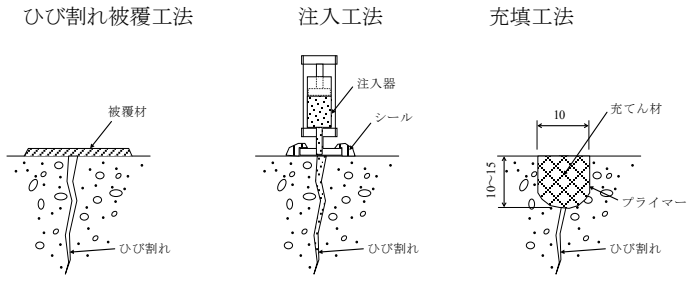
ひび割れ補修工法の選定

ひび割れ補修工法は、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法です。補修方法の種類としては、ひび割れ被覆工法、注入工法、充填工法などがあります。どの工法を選定するかは、ひび割れの発生原因、発生状況、ひび割れ幅の大小、ひび割れ幅の変動の大小、鋼材の腐食の有無などによって最適な工法を選びます。下図にひび割れ補修工法の選定例とひび割れ補修工法の概要を示します。

ひび割れ補修工法の選定



ひび割れ補修工法の概要



ひび割れ補修材料は、樹脂（有機）系とセメント（無機）系に大別されます。樹脂系材料には、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂、ポリエステル樹脂などがあります。それぞれの材料の特性は以下の通りです。

〇樹脂（有機）系材料

- 変形性能が大きくひび割れ追随性に優れる
- 注入箇所、接着面が湿っていると良好な接着性が得られない
- 硬化速度は気温の影響を受けやすく、寒い時期の施工では養生温度を５℃以上に確保する

〇セメント（無機）系材料

- 変形性能が小さくひび割れ追随性に劣る
- 注入箇所、接着面が乾いていると水分が取られ注入不良や接着不良を起こす
- 樹脂系に比べて変形性能が小さいため、ひび割れ幅の変動が大きい場合は不向き
- 樹脂系に比較して安価

ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法は、樹脂系またはセメント系材料でひび割れの上に被覆することにより、劣化因子の浸入を遮断して耐久性を向上させる工法です。一般にひび割れ幅が 0.2mm以下の微細ひび割れに適用されます。

ひび割れ被覆工法は、一般に下地調整、プライマー塗布、中塗り、上塗りなど複数の工程で実施されます。これは、塗装回数を増やすことでピンホールなどの欠陥をなくし、膜厚を増すことで劣化要因の浸入に対する抵抗性を強化するためです。

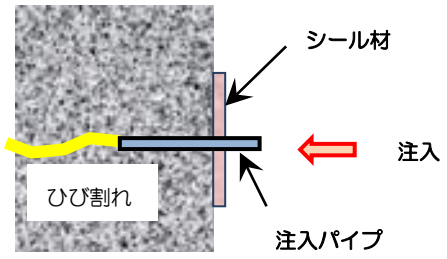
注入工法

注入工法はひび割れ幅 0.2～1.0ｍｍが適用の目安となります。この工法は防水性、耐久性を向上させる目的のほかに、躯体の一体化を図ることも可能なため、ひび割れの補修工法として最も普及しています。

補修方法は、初期のころはグリースポンプを利用した手動式ポンプや足踏み式のポンプが使われていました。

現在では、ゴムの復元力やスプリングなどを使用した専用の治具が開発され、注入圧力 0.4MPa 以下の低圧、低速で注入する工法が多く用いられています。この工法では、①注入量の管理ができる。②注入精度が作業員の熟練度に左右されない。③ひび割れ深部のひび割れ幅が 0.05ｍｍと狭い場合でも確実に注入できる。などの特徴があります。

注入材料は、エポキシ樹脂や超微粒子セメントスラリーなどが用いられます。



手動式・機械式注入工法

低速低圧注入工法

（ゴムやバネの復元力、空気圧を利用）

充填工法

充填工法はひび割れ幅 1.0ｍｍ以上の比較的大きな幅のひび割れの補修に適した工法です。補修方法は、ひび割れに沿ってコンクリートをカットし、その部分に補修材を充填します。この方法は、鋼材が腐食していない場合と腐食している場合で異なります。

・鋼材が腐食していない場合

鋼材が腐食していない場合は、ひび割れに沿って約 10ｍｍの幅でコンクリートを**U**または**V**形にカットした後に、このカット部分に補修材を充填します。

ひび割れ幅の変動がある場合は、ウレタン樹脂やシリコーン樹脂などのシーリング材（目地材）や可とう性エポキシ樹脂などの、変形追従性の大きな材料を充填します。

ひび割れ幅の変動がない場合にはポリマーセメントモルタルを充填します。

UまたはV形のカット

補修材の充填

・鋼材が腐食している場合

鋼材が腐食している場合には、腐食の原因として、中性化や塩害などが考えられます。この場合には、鋼材が露出するまでコンクリートをはつり取り、鋼材の錆を十分に落とした後に、防錆剤を塗布して鋼材の防錆処理を行います。その後、断面修復材で復旧します。

断面修復材は乾燥収縮によるひび割れの発生がなくコンクリートの一般的な性質に近似しているものを選びます。一般的にはポリマーセメントモルタルが多く使われています。

技術ニュース

土木学会コンクリート標準示方書［施工編］

土木学会コンクリート標準示方書が５年ぶりに改訂され、2018 年 3 月に刊行されました。示方書［施工編］の主要な改訂点についてご紹介します。

（1）［施工編：特殊コンクリート］にプレキャストコンクリートの章を新設した。
（2）笹子トンネルの天井板落下事故の経験から、これまで示方書では取り扱われてこなかった付属物や付帯設備に関する記述を追加した。
（3）ワーカビリティーと強度発現性を合わせて施工性と定義していたが、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針」では、ワーカビィティーの一部である充填性と圧送性を施工性能と定義しており、齟齬が生じていた。施工性能の用語を用いなくても、これらの意味を伝えることは可能であるため、施工性能の用語は使わないこととした。
（4）コンクリートに対しては耐久性の用語は使わず、凍害、化学的侵食、ＡＳＲ等は、劣化に対する抵抗性と呼び、中性化、塩化物イオンの浸透等は、物質の透過に対する抵抗性とよぶこととした。
（5）設計図書どおりの構造物が確実に施工されるよう、施工の考えを設計に反映する趣旨を示した章を新設した。
（6）設計図書に記載された硬化後のコンクリートの性能を表す特性値は、施工者が必ず実現させなければならないもの、スランプ等に代表されるフレッシュ時の施工に関わるものは、施工者が自らの責任において定めるものと明記した。
（7）コンクリートの品質管理の基本であるＰＤＣＡサイクルについて詳細に記述した。
（8）スランプの標準的な値を、８ｃｍあるいは１２ｃｍのような一律の値ではなく、構造物の部材ごとに［設計編：付属資料］に示した。
（9）建設業界での熟練労働者不足等の動向を踏まえ、品質を確保した上で生産性を向上させるための施工上の留意点を追記した。
(10) コンクリートの打込みおよび締固め作業時に一時的に配筋をずらす場合の留意点を示した。
(11) 水セメント比の規定は、設計時に定められているべきものであるため、施工編からはすべて削除した。
(12) 寒中コンクリートの養生で湿潤養生期間中はコンクリートを凍らせないことを前提に、「型枠の取外し直後に構造物が曝される環境」を「５℃以上の温度制御養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度」に、「コンクリート表面が水で飽和される頻度が高い場合」を「しばしば凍結融解を受ける場合」に、「コンクリート表面が水で飽和される頻度が低い場合」を「まれに凍結融解を受ける場合」に、それぞれ変更した。

日本のコンクリート構造物

九州の炭田遺産のシンボル　―志免鉱業所竪坑櫓―

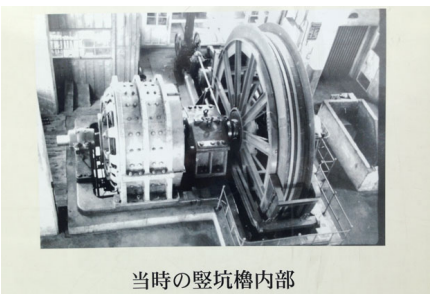
志免鉱業所竪坑櫓（しめこうぎょうしょたてこうやぐら）は、福岡県粕屋郡志免町にある志免鉱業所の遺構です。炭鉱で働く人と産出した石炭を搬出するための施設で、戦時中の物資不足の中、イギリス製の鉄鋼をふんだんに用いた鉄筋コンクリート造で建設されました。地上にある櫓の部分は 1941 年（昭和 16 年）に着工し、1943 年（昭和 18 年）に完成しました。櫓の高さは 47.65m、長辺 15m、短辺 12.25m で、石炭層に垂直に掘られた竪坑が地下 430m まで伸びています。櫓の高層部、高さ 35m の位置の巻上機室には 1,000 馬力のモーターが設置されていました。鉱業所は、エネルギーが石炭から石油に取って代わられるようになり、1964 年（昭和 39 年）に閉山となりました。竪坑櫓は 2007 年（平成 19 年）に国の登録文化財に登録され、2009 年（平成 21 年）に国の重要文化財に指定されました。

外観

当時の様子

炭鉱への斜坑口

巻上機室



当時の竪坑櫓内部

当時の巻上機

三協Ｍｉｒａｉ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Ｍｉｒａｉ株式会社
東京都港区浜松町 1-9-10(DaiwaA 浜松町ビル)
ＵＲＬ：http://www.sankyomirai.co.jp