

シールド工事における技術基準、技術開発経緯

（１）シールド工事における技術基準

現在、シールド工事において主に用いられている技術基準としては「**2006年**制定 トンネル標準示方書 シールド工法・同解説」（(社)土木学会、平成18年7月）がある。この基準は、シールド工法の調査、計画、設計および施工管理についての一般的な標準を示したものとして広く活用されている。また、シールドの実績件数が最も多い下水道トンネルのセグメントについては、「シールド工事用標準セグメント」（(社)土木学会、平成13年7月）がある。

シールド工事における主な技術基準類・指針類を表-1に示す。このほか、各事業者毎にシールド関連の基準類や指針類を作成している。

表-1 シールド工事における主な技術基準類・指針類

名称	発行機関	発刊時期 (上段：初版年) 下段：最新版	主な適用範囲
2006年制定 トンネル標準示方書 シールド工法・同解説	(社)土木学会	(昭和44年) 平成18年7月	シールド工法の調査、計画、設計、施工および 施工管理についての一般的な標準を提示
シールド工事用標準セグメント ー下水道シールド工事用セグメント ー（JSWASA-3, 4-2001）	(社)土木学会・ (社)日本下水道協 会 共編	(昭和48年) 平成13年7月	・シールド工事に使用する鋼製およびコンク リート系のセグメントについて規定 ・下水道のシールド工事に使用する鋼製および コンクリート系のセグメントについて規定
シールドトンネル設計・施工指針	(社)日本道路協会	(平成21年) 平成21年2月	シールド工法により建設する道路トンネルおよ び共同溝に適用
鉄道構造物等設計標準・同解説-シー ルドトンネル	(財)鉄道総合技術 研究所	(平成9年) 平成9年7月	都市域の土砂地山あるいは固結度の低い地山中 に、鉄道トンネルを建設する場合の調査、計画 および設計に適用
下水道シールド工事用二次覆工一体 型セグメント設計・施工指針	東京都下水道局	(平成14年) 平成21年2月	シールド工法の工期短縮と建設コストの削減を 目指して、東京都下水道局では試行工事と各種 の実験を通して技術の開発や検証を行い、これ らで得られた技術や手法を分析・整理したもの
トンネル構造物設計要領（シールド 工法編）	首都高速道路(株)	(平成15年) 平成20年7月	首都高速道路(株)がシールド工法によって築造 するトンネルの本体構造物の設計に適用

（２）技術開発経緯

国内におけるシールド工法の技術開発経緯として、主なシールド技術の実績を表-2に示す。

シールド工法が、わが国の都市トンネルの施工法として最初に導入されたのは昭和30年代である。それ以来、さまざまな技術開発が行われ、現在ではわが国の都市トンネルの主要な工法として位置づけられている。

シールド技術の主な変遷は、昭和40年代までは圧気併用の手掘り式シールドが多く占めていたが、その後、省力化や安全確保などの面から切羽の安定性の向上が期待できる泥水式シールド、土圧式シールドなどの密閉型シールドの技術が開発された。その結果、昭和50年代には手掘り式シールドが減少し、泥水式シールド、泥土圧式シールドなどの密閉型シールドが主流を占めるようになり、現在に至っている。

その後、昭和60年頃から、輻輳する都市部において地下空間の有効利用の観点等から、トンネル用途に応じた効率的な断面形状のニーズ等に対応し、一部区間の断面を拡大する拡大シールドや、複円形シールド、楕円形などの円形以外の断面形状のシールド技術が開発された。一方で、シールドの口径も比較的小さい断面であったものが、シールド外径14mを超える大断面の東京湾横断道路トンネルなどの施工実績も出始めるとともに、地中接合技術、セグメント組立技術およびそれに伴う各種のセグメント継手構造、長距離掘進技術などの種々の技術が開発された。

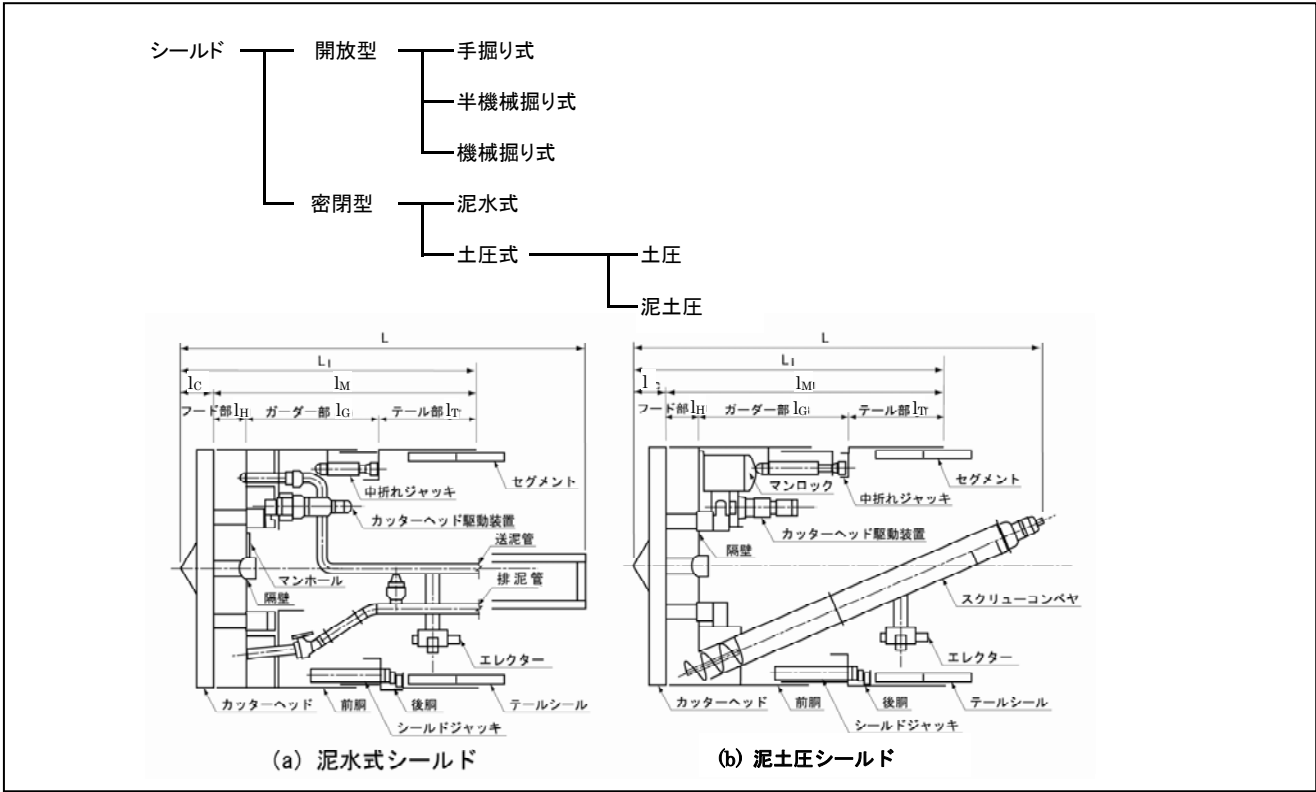
近年では、コスト縮減、工期短縮のための高速施工やさらなる長距離掘進に対応するため、二次覆工省略、セグメントの薄肉化、セグメントの幅広化の傾向にあるとともに、これまで別々に実施していたシールド掘進とセグメント組立てを同時に行う同時施工技術などが開発されている。また、このほか、道路トンネルを対象とした大規模な分岐・合流技術、立坑を必要としない地上発進技術も開発されている。

表-2 国内における主なシールド技術の実績

年 西暦	元号	主な事項	トンネル名等
1957	昭和32年	ルーフシールド（日本の都市土木でシールドを採用した最初の事例）	帝都高速度交通営団地下鉄4号線永田町、延長231m
1960	昭和35年	円形シールド	名古屋市地下鉄覚王山トンネル
1962	昭和37年	圧気シールド	東京、下水道石神井川下幹線、沖積
1963	昭和38年	機械掘りシールド	大阪、上水道大淀送水管
1965	昭和40年	ブラインドシールド	東京、下水道浮間幹線
1966	昭和41年	半機械掘りシールド	名古屋、下水道
1967	昭和42年	泥水式シールド	埼玉（浦和）、流域下水道
1974	昭和49年	土圧式シールド	東京、下水道水元幹線
1976	昭和51年	中折れシールド	東京、下水道井の頭上幹線
1977	昭和52年	限定圧気シールド	東京、水道神谷町新田幹線
1981	昭和56年	場所打ちライニング工法	東京、下水道、本田幹線
1984	昭和59年	拡大シールド	東京、電力、清洲橋通り管路
1988	昭和63年	複円形（MF）シールド（二連）	東京、JR京葉線
1991	平成3年	複円形（DOT）シールド（二連）	広島、新交通システム
1992	平成4年	地中接合技術 シールド発進・到達時の仮壁切削技術	東京、上水道、東南幹線工事、直径3.4m 電力、2.9m
1993	平成5年	密閉型楕円形シールド 球体シールド（縦横連続掘進） 密閉型矩形シールド	東京、下水道大森幹線 川崎、下水道観音川雨水滯水池 千葉(習志野)、下水道菊田川幹線
1994	平成6年	世界最大断面（円形、シールド外径14.14m）、各種の自動化技術（地中接合、セグメントの自動組立、高水圧、軟弱地盤での長距離掘進）	東京湾横断道路トンネル 東京、下水道足立区花畑枝線工事
1995	平成7年	複円形（MF）シールド（三連） 直角シールド 異形断面シールド	大阪、地下鉄駅シールド 横浜、下水道能見台雨水幹線 名古屋、小田井山田共同溝
1996	平成8年	トンネル径変化(二段式)シールド	東京、電力、環7東海松原橋管路、トンネル外径7.1mと4.95m
1999	平成11年	ビット交換技術	川崎、雨水幹線
2002	平成14年	マルチ・マイクロ・シールド・トンネル（MMST）	東京、首都高速道路換気同道工事
2004	平成16年	分岐・合流技術（大規模地中切り掘げ）	中央環状新宿線
2005	平成17年	耐火セグメント 分岐・合流技術（非開削）	秋田中央道路 中央環状新宿線
2007	平成19年	長距離掘進(8030m)、高速施工(目標平均400m／月)	中央環状品川線シールドトンネル
2008	平成20年	シールドの地上発進技術(URUP)	中央環状品川線大井地区トンネル工事

〈参考〉

主なシールド工法の分類



主なセグメントの種類		
大分類	中分類	主な特徴
コンクリート系セグメント	鉄筋コンクリートセグメント	・耐久性に富み、耐圧縮性に優れている。 ・剛性が大きく、施工に留意すれば水密性に優れている。 ・重量が大きく、引張強度が小さい。 ・二次覆工を省略する場合には、鉄筋やトンネル内面に露出する鋼製構造部材の耐久性を確保する必要がある。 ・一般的に、鉄筋のかぶりを大きくすることや、鋼製構造部材の防食処理などの対策を採用している。 ・一般的に中・大口径のシールドトンネルにおいては鋼製セグメントやダクタイトルセグメントに比べて安価である。 ・急曲線部や開口部などの特殊部を除いた一般部を中心として広く採用される。
	合成セグメント	・鋼材と鉄筋コンクリートまたは鋼材と無筋コンクリートとを組合せたものが一般的に用いられている。 ・鉄筋の代わりにラチストラスや平鋼、形鋼等を用いた鉄骨コンクリート系セグメントも開発されている。 ・合成セグメントは、同じ断面であれば高い耐力と剛性を得ることが可能であるが、鉄筋コンクリートセグメントに比べ高価である。 ・曲線部等でセグメント厚さを小さくして内空断面を確保する場合やトンネル延長の一部に大きな荷重が作用する区間がある場合等に用いられることが多い。
鉄鋼製セグメント	鋼製セグメント	・材質が均一で強度も保証され、優れた溶接性を有し、比較的軽量である。 ・鉄筋コンクリートセグメントに比較して変形しやすい。 ・ジャッキ推力や裏込め注入圧等が過大となるときは、座屈に対する配慮が必要である。 ・二次覆工を省略する場合、適切な防食工を施す必要がある。 ・一般に、小口径のシールドトンネルにおいて鉄筋コンクリートセグメントに比べて安価である。 ・中・大口径のセグメントにおいては急曲線部やトンネルの一部を開口する必要がある場合などの特殊部に適用される場合が多い。
	ダクタイトルセグメント	・一般的に、他のセグメントに比較して高価である。 ・延性に富み、強度も高く、製品精度が良好であり、防水性に優れている。 ・曲線部等でセグメント厚さを小さくして内空断面を確保する場合やトンネル延長の一部に大きな荷重が作用する区間がある場合、トンネルの一部を開口する必要がある場合などの特殊部に用いられることが多い。

代表的なセグメントの継手構造の分類と特徴

分類		主な特徴	概念図
大分類	中分類		
ボルト・ナット・ワッシャー締結タイプ	直ボルトタイプ	・実績はもっとも多い (標準RCセグメントの継手形式)	
	曲りボルトタイプ	・継手面に金物がなく止水性、耐久性良好	
	長ボルトタイプ	・継手面に金物がなく止水性、耐久性、耐震性良好	
インサートボルトタイプ	斜め直ボルト	・継手面に金物がなく耐食性良好	
	袋ナット式直ボルトタイプ	・直ボルト式に比べ、ボルトボックスが半減	
	インサート埋込式直ボルトタイプ	・直ボルト式に比べ、ボルトボックスが半減	
	通しボルトタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性良好	
楔式締結金具タイプ	軸方向挿入式楔締結タイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性、施工性良好	
	半径方向挿入式楔締結タイプ	・トンネル内面に継手部欠損が小さく施工性良好	
ピン式締結	コンクリート系セグメントタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性、施工性良好	
	鉄鋼製セグメントタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性良好、施工性良好	
キーロック継手タイプ	半径方向キータイプ	・キーによるせん断力伝達効果が期待できる	
	円周方向キータイプ	・キーによるリング添接効果期待できる	
メカニカル嵌合締結タイプ		・機械式嵌合による目違い抑止とせん断力伝達効果大	
突合せ継手タイプ		・継手金物がなく耐久性良好	
P C 締結タイプ	リング・軸方向個別締結タイプ	・プレストレス導入による鉄筋量低減とクラック防止効果大	
	リング軸方向同時締結タイプ	・プレストレス導入による鉄筋量低減とクラック防止効果大	