２．日本のシールドトンネル工事の現状

2.1 日本におけるシールド工事の実施状況

（１）シールド工事件数

シールド工事件数および施工延長の推移を**図 2.1.1** に示す。

年度別のシールド工事件数、施工延長は、1990 年度で 340 件、総延長 330km 程度であったが、90 年度以降の工事件数の減少とともに施工延長も減少傾向にある。近年(07 年度～10 年度)では、60～70 件、総延長 100km 程度で推移している。

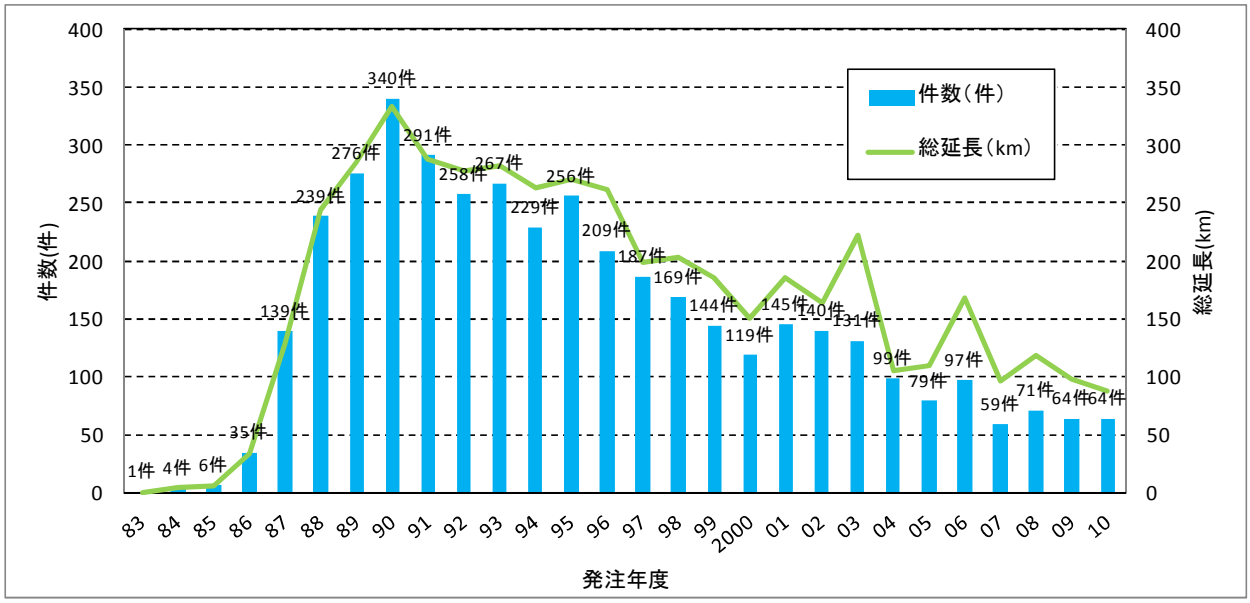


図 2.1.1　年度別シールド工事件数、施工延長の推移状況
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

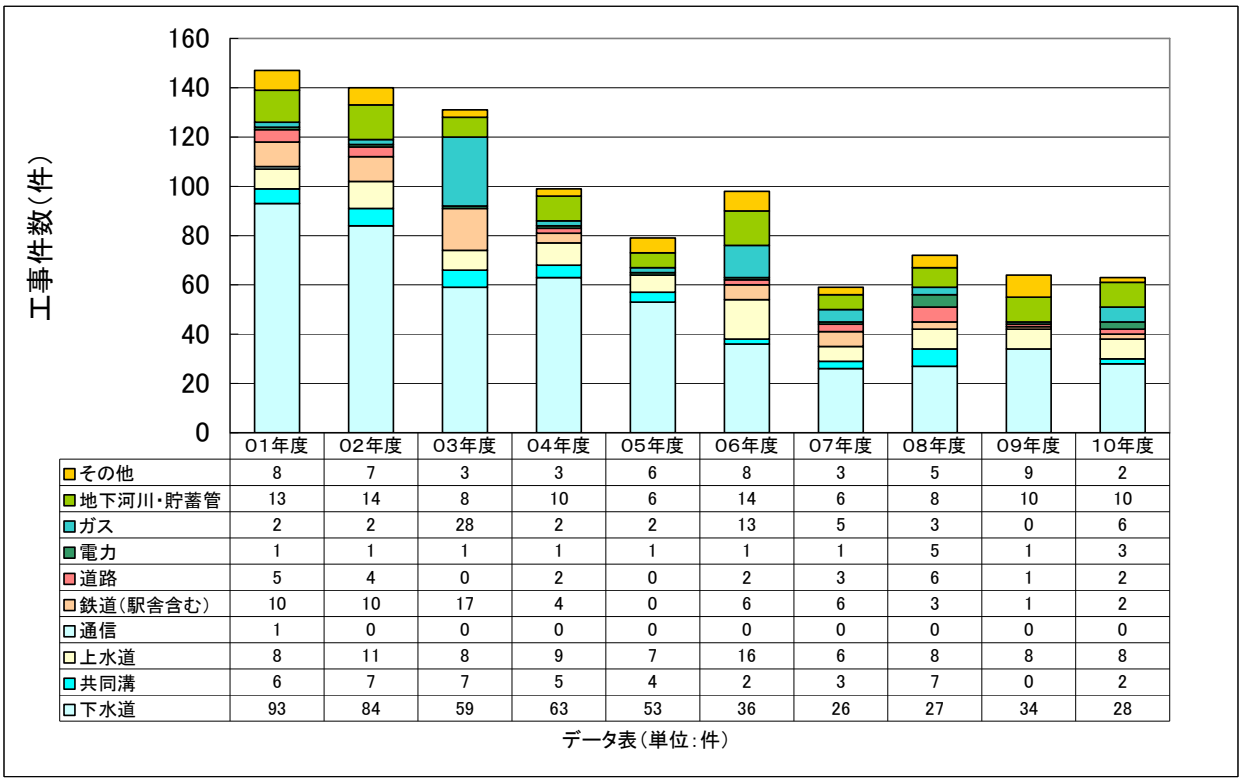
出展：本資料に示したシールドの工事件数、割合等のデータは、シールド工法技術協会のホームページに掲載のシールド工事実績グラフ（PDF）の図を引用している。(以降、**図 2.1.9** まで)

（２）過去 10 年間における工事実施状況

①トンネルの用途

過去 10 年間(01 年度～10 年度)におけるトンネル用途別工事件数の推移、割合を**図 2.1.2**、**図 2.1.3** に示す。

トンネル用途別では、各年度ともに下水道が最も多くの工事件数となっている。過去 10 年間の工事件数の割合が高い順から、下水道が約 53%、地下河川・貯留管が約 10%、上水道が約 9%、ガスが約 7%となっている。



	01年度	02年度	03年度	04年度	05年度	06年度	07年度	08年度	09年度	10年度
その他	8	7	3	3	6	8	3	5	9	2
地下河川･貯蓄管	13	14	8	10	6	14	6	8	10	10
ガス	2	2	28	2	2	13	5	3	0	6
電力	1	1	1	1	1	1	1	5	1	3
道路	5	4	0	2	0	2	3	6	1	2
鉄道(駅舎含む)	10	10	17	4	0	6	6	3	1	2
通信	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上水道	8	11	8	9	7	16	6	8	8	8
共同溝	6	7	7	5	4	2	3	7	0	2
下水道	93	84	59	63	53	36	26	27	34	28

データ表(単位:件)

図 2.1.2　トンネル用途別工事件数の推移（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

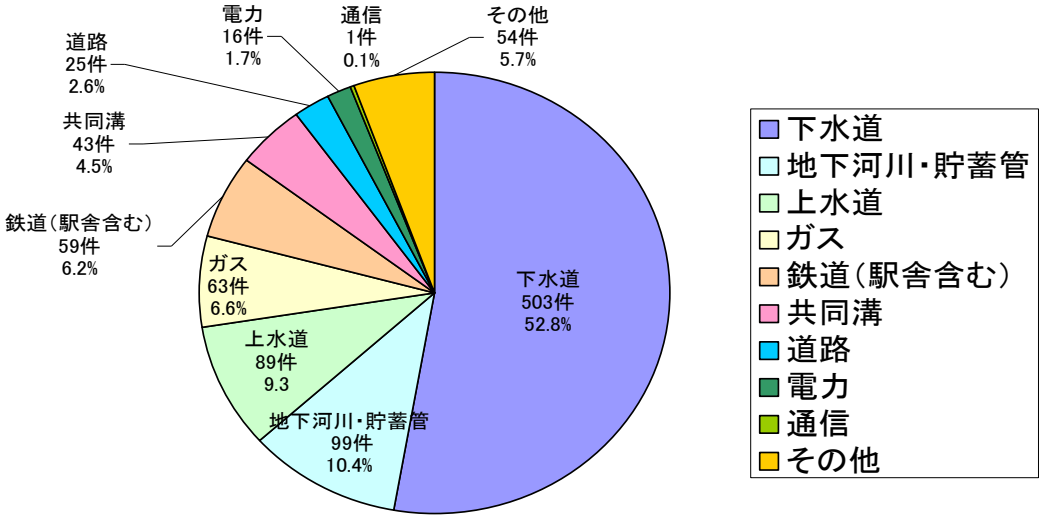
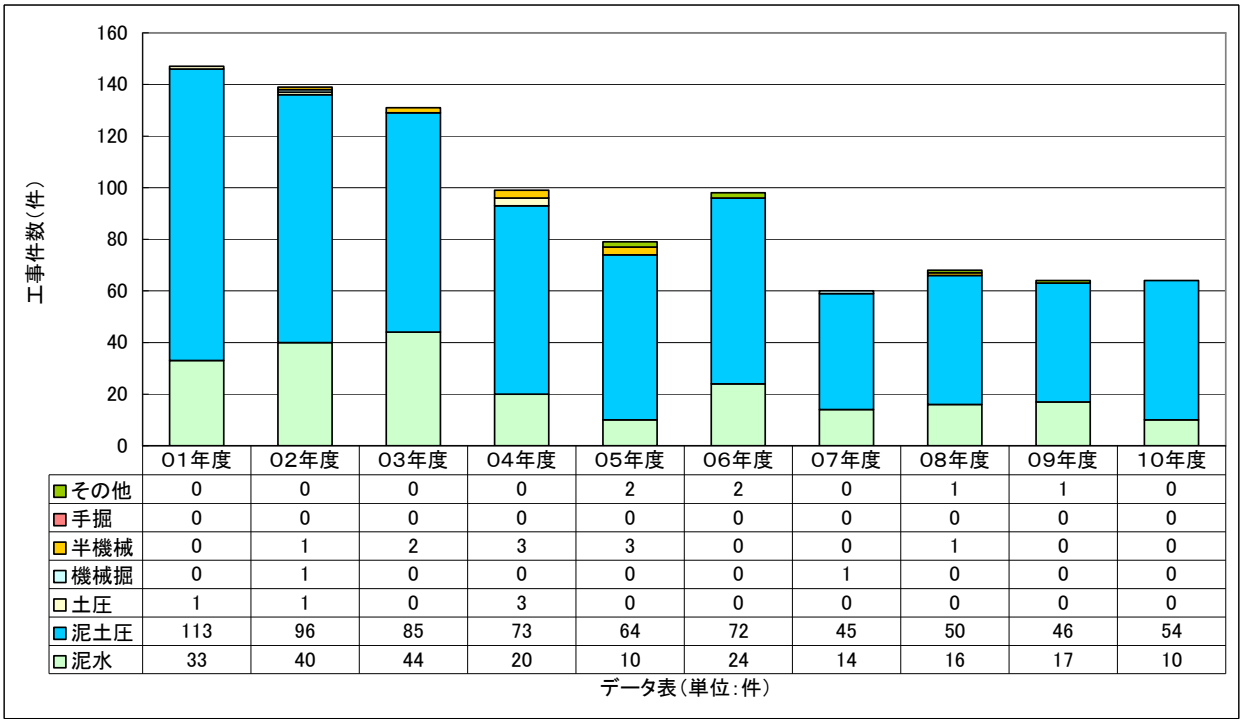


図 2.1.3　トンネル用途別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

②シールドの機種

過去 10 年間(01 年度～10 年度)におけるシールド機種別工事件数の推移、割合を**図 2.1.4**、**図 2.1.5** に示す。

シールド機種別では、各年度ともに泥土圧、泥水式の工事件数が多く、ほとんどの工事は、泥土圧か泥水式で施工されている。特に、泥土圧の工事件数が多く、各年度ともに概ね 7 割以上を占めている。



	01年度	02年度	03年度	04年度	05年度	06年度	07年度	08年度	09年度	10年度
その他	0	0	0	0	2	2	0	1	1	0
手掘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
半機械	0	1	2	3	3	0	0	1	0	0
機械掘	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
土圧	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0
泥土圧	113	96	85	73	64	72	45	50	46	54
泥水	33	40	44	20	10	24	14	16	17	10

図 2.1.4　シールド機種別工事件数の推移（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

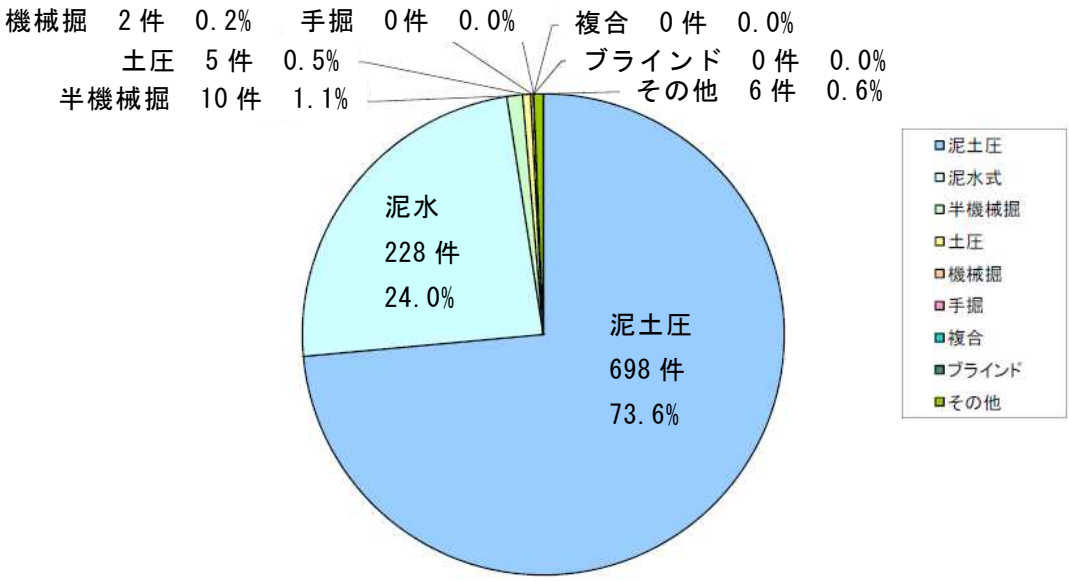


図 2.1.5　シールド機種別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

③シールドの口径

過去 10 年間（01 年度～10 年度）におけるシールド径別工事件数の割合を**図 2.1.6** に、トンネル用途別のシールド径の比率を**図 2.1.7** に示す。

シールドの口径は、小さい口径で多くの件数があり、口径が大きくなるにしたがって工事件数が少なくなっている。口径 3000mm 未満が最も多くの工事件数があり全体の約 49%を占めている。ついで、3000mm 以上 6000mm 未満が全体の約 41%であり、6000mm 未満の口径の工事件数が全体の約 90%を占めている。

トンネル用途別のシールド径の比率は、通信、ガス、上水道の約 8 割以上が口径 3000mm 未満の工事件数となっている。また、下水道、電力の約 4～5 割が口径 3000mm 未満の工事件数となっている。道路、鉄道、地下河川・貯留管等で口径 9000mm 以上の工事がある。

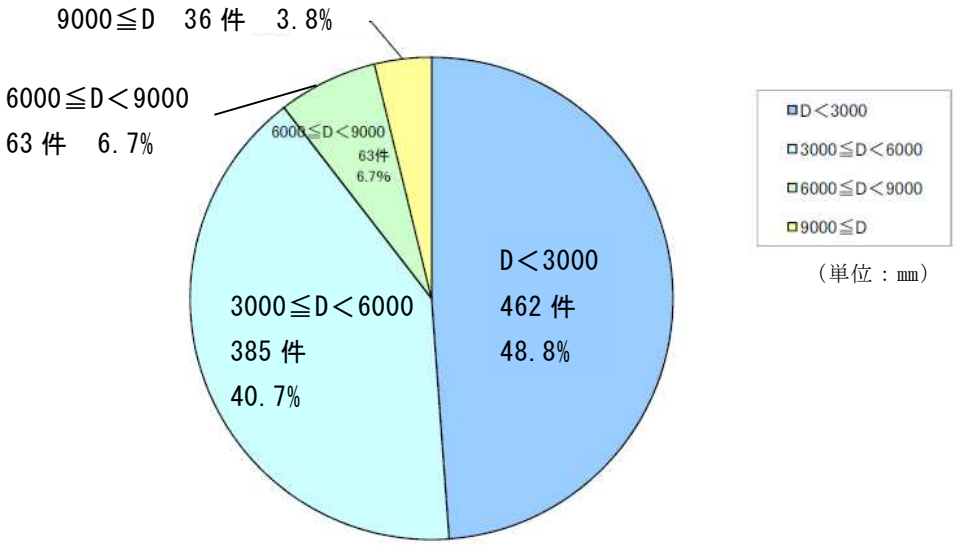


図 2.1.6　シールドの口径別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

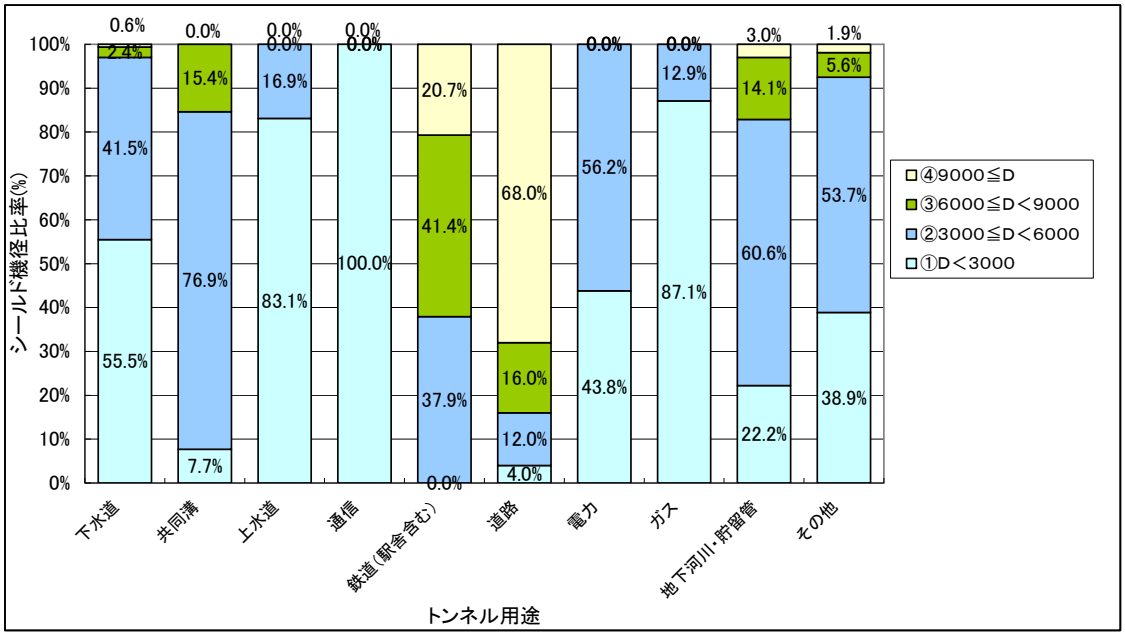


図 2.1.7　トンネル用途別シールド径比率（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

④セグメントの種類

過去 10 年間（01 年度～10 年度）におけるセグメント種別工事件数の割合を**図 2.1.8** に、トンネル用途別のセグメント種別を**図 2.1.9** に示す。

セグメントの割合は、鋼製が最も多く全体の工事件数の約 55%を占めている。次いで、RC が約 40%であり、鋼製と RC で工事件数の約 95%を占めている。

トンネル用途別のセグメント種別は、口径の小さい通信、ガス、上水道、下水道のトンネルで鋼製を使用している割合が多い。また、比較的、口径の大きい鉄道、道路、地下河川・貯留管等で RC を使用している割合が多い。

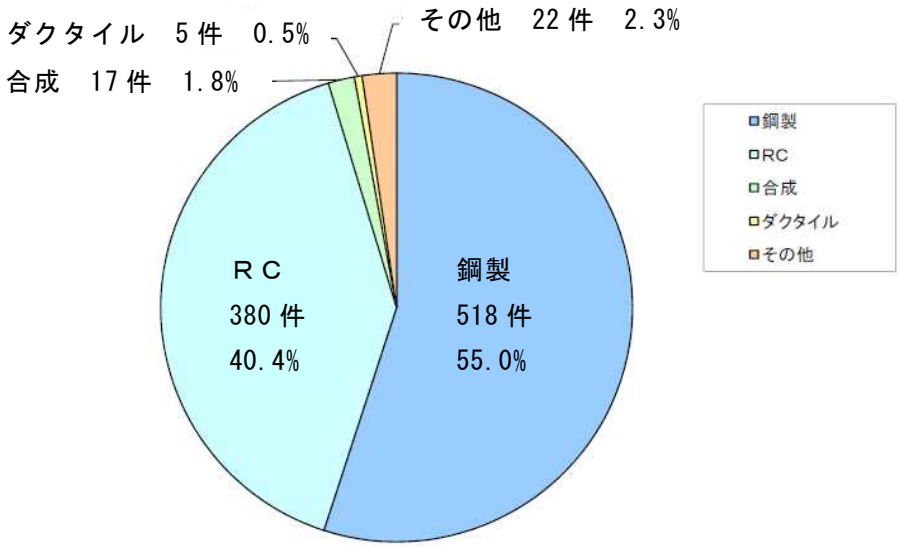


図 2.1.8　セグメント種別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

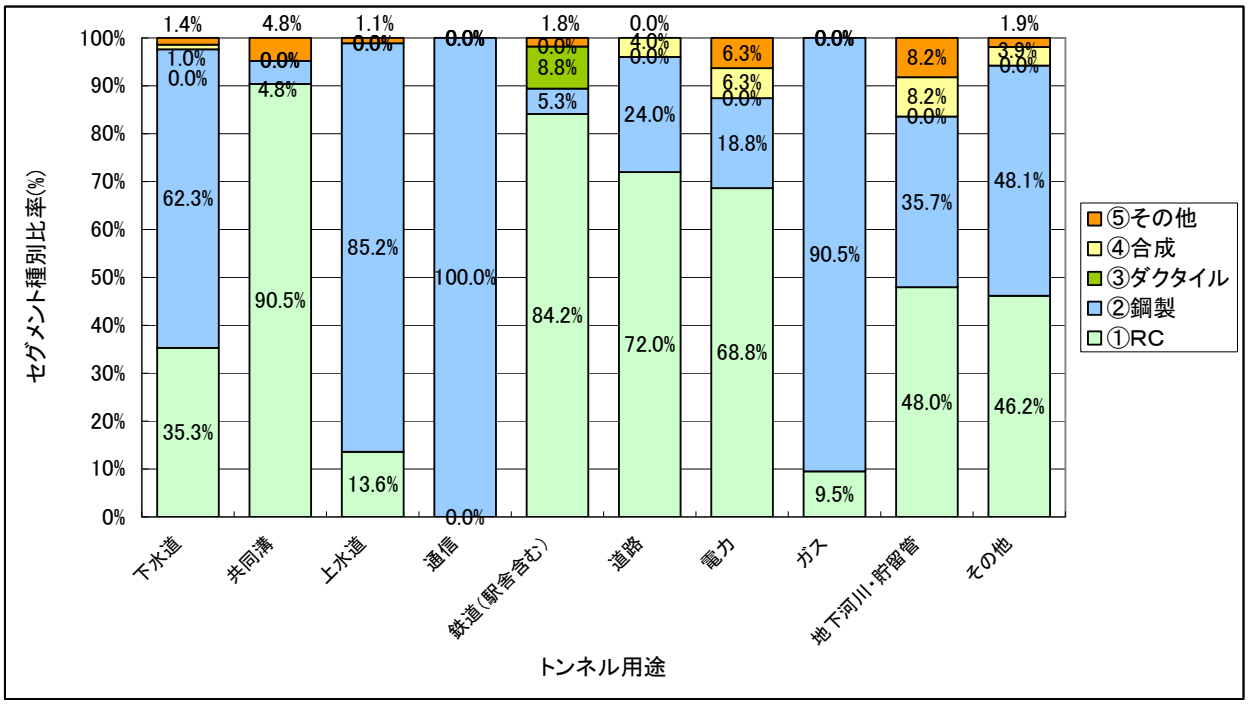


図 2.1.9　トンネル用途別セグメント種別比率（年度別 01～10 年度）
（出典：シールド工法技術協会のホームページ）

2.2 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、施工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、シールド工事用のセグメントの規格については、「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）があり、実績件数が最も多い下水道トンネルのセグメントの標準として活用されてきた。

シールド工事における主な技術基準類・指針類を**表 2.2.1** 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 2.2.1　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 －下水道シールド工事用セグメント－（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縮減を目指して、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 2.2.2** 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、省力化や安全確保等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、土圧式シールド等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、土圧式シールド等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に対応するため、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、楕円形等の円形以外の断面形状のシールド技術が開発された。また、大口径化も進み、東京湾横断道路トンネル等のシールド外径 14m を超える大断面のシールド工事が実施された。さらに、地中接合技術、セグメント組立技術およびそれにともなう各種のセグメント継手構造、長距離掘進技術等の種々の技術が開発された。

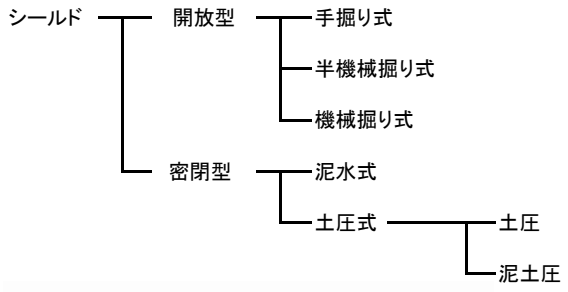
近年では、コスト縮減、工期短縮のための高速施工やさらなる長距離掘進に対応するため、二次覆工省略、セグメントの薄肉化、セグメントの幅広化が進むとともに、これまで別々に実施していたシールド掘進とセグメント組立を同時に行う同時施工技術などが開発されている。また、このほか、道路トンネルを対象とした大規模な分岐・合流技術、立坑を必要としない地上発進技術も開発されている。

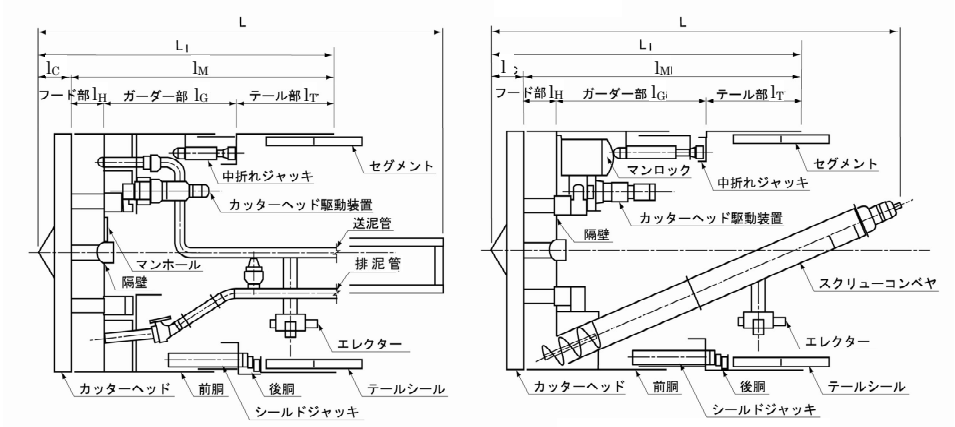
表 2.2.2　国内における主なシールド技術の実績

年 西暦	元号	主な事項	トンネル名等
1920	大正9年	国内最初のシールド工法の適用	国鉄羽越線折渡トンネル
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、下水道観音川雨水滞水池 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（大規模地中切り拡げ）	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

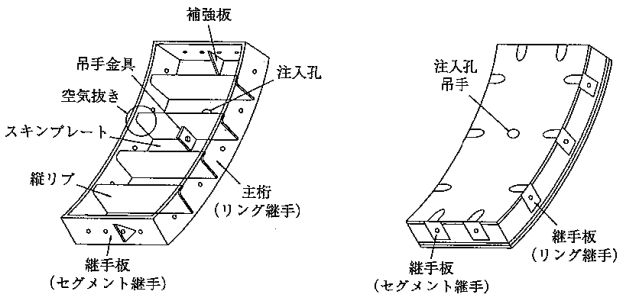




(a) 泥水式シールド　　(b) 泥土圧シールド

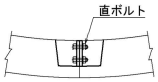
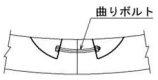
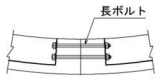
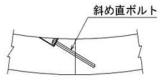
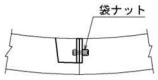
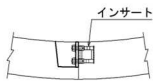
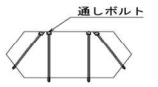
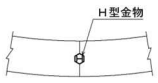
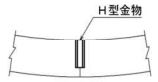
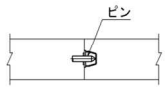
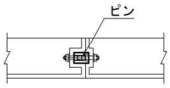
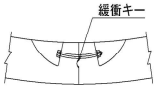
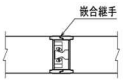
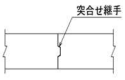
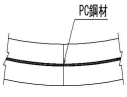
主なセグメントの種類

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。



(a) 鉄鋼製セグメント　　(b) コンクリート系セグメント

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	
ＰＣ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	

出典：「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 2 月