

特集 21世紀のインフラストラクチャと多様化する建設技術

地下空間の建設を支える シールドトンネル技術

永森 邦博

21世紀を迎えた今日、用地の確保、環境保全などの諸事情を反映して、地下利用の需要は益々高まり、大深度化が急速に進んでいる。地下利用は現在、都心部での地下鉄やライフラインなどの用途が主であるが、将来、廃棄物の処理場、貯蔵施設、防災施設などにも用途が拡大されてくることは、容易に予測できる。これらの地下構造物を建設するには、歴史は浅いが、旧国鉄の関門海底トンネルで本格的に採用されて以来、進化・高度化を続ける「シールド工法」の活用が不可欠である。

世界的に評価の高い本工法の変遷と、今後の開発動向、適用分野について述べる。

キーワード：シールド、大深度、地下空間

1. はじめに

現在、都市部の地下空間におけるインフラストラクチャ整備の有効な手段としてシールド工法が盛んに用いられている。この工法は1825年に英国のテムズ河の河底を掘削したのが最初とされ、我が国においては、1919年旧国鉄奥羽本線折渡トンネル、1926年東海道線丹那トンネルに採用されたが途中で中止され、本格的に採用されたのは1936年に着手された旧国鉄の関門海底トンネルであり、門司方の不良地盤に直径7mのシールド施工が行われ日本のシールド技術が初めて確立されたものである。

シールド工法はこの後我が国においても改良、改善がなされ、歴史は浅いが急速に発展してきており、現在都市部のトンネル（地下空間）施工技術の主流として世界的に評価されている。

2. シールド技術の変遷と実績

シールド工法とは、主に土砂地盤中にトンネル

を構築する工法で、「シールド」と呼ばれるトンネル掘削機を地中に推進させ、土砂の崩壊を防ぎながらその内部で安全に掘削作業、覆工作業を行

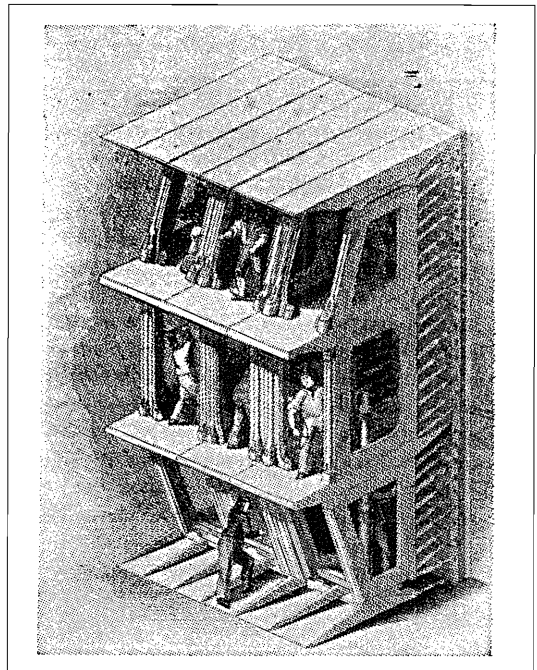


図-1 テムズ河トンネルシールド

い、トンネルを築造していく工法である。

(1) シールド工法の誕生

1800年代ロンドンでは、何回かテムズ河横断トンネルの掘削に挑戦したが、その都度河の水がトンネル内に流入し、失敗に終わっていた。このような背景のもと、主任技師のブルネル(M.I. Brunel)は、船喰い虫が船底に穴を掘っていくのにヒントを得て、シールド工法を生み出し、テムズ河横断トンネルを成功させた。

この工事で使用したシールドは矩形断面で、覆工は煉瓦積みであった。

(2) 圧気工法の誕生

大気圧以上の圧縮空気を使用してトンネル内部の湧水を防止し、土砂流入を防ぐことは以前より知られていたが、空気圧縮機、人間、及び材料の搬出入のためのロック設備等は開発されていなかった。

19世紀末にグレートヘッド(J.H. Greathead)は、別のテムズ河の横断トンネルに「シールド」と「圧気」という二つの技術を組合わせて施工を行い、今日のシールド工法の基本的工法を確立した。

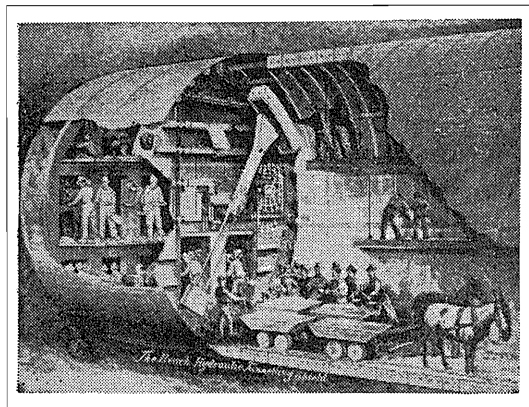


図-2 圧気シールド工法

(3) 現代シールド工法の誕生

圧気シールド工法の確立より1900年代前半においては、掘削手段が、手掘りから半機械式、全断面機械式に、トンネル形状についても、矩形、馬蹄形、円形とさまざまな改良が加えられていった。1960年代後半に、現在都市部の軟弱地盤

に幅広く採用されている密閉型シールド(泥水式、土圧式)が開発された。

この工法は、シールドの前面に隔壁を設けて切羽での水圧と土圧を支え、隔壁の前方で掘った土砂をパイプでトンネルの中に取り込むものであり、基本的に補助工法による切羽の安定を図る必要が無く、掘削から、推進、排土までを体系的に行うことができる。

また、これまでの高気圧の中での作業、切羽の崩壊の危険等の作業性が改善され、安全性が向上したことはシールド工法にとって一大進歩であり、大断面、大深度、長距離掘削へと引継がれている。

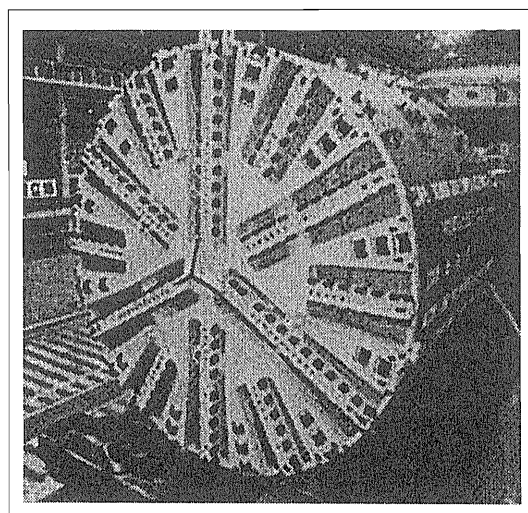


図-3 密閉式シールド機

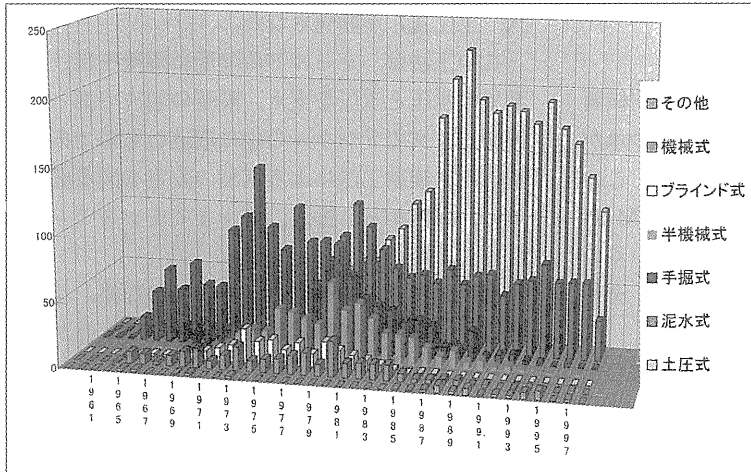
(4) 日本におけるシールドトンネル実績

我が国においては、先にも述べたように、戦前の関門海底トンネルで採用されたが、その後第二次世界大戦のために技術の進歩は停滞を余儀なくされ、この後1950年代に入り関門道路トンネル、東京、名古屋の地下鉄に採用され、地上の混雑した交通を妨げないシールド工法が各地で用いられるようになった。

これまでに掘られたシールドトンネルは、7,000本を超え、その内7割弱が下水道トンネル、続いて、地下鉄、電力、電話、上水道となっており、シールドトンネル技術の進歩によりインフラストラクチャが急速に整備されていった。

表-1に年度別のシールド機種別施工本数を示

表一 シールド施工実績



す。

3. シールド工法の開発動向・適用分野

現在までにシールド工法は、さまざまな新しいニーズに基づいて“進化”しており、それに伴ってさまざまな技術が開発、適用されてきた。

(1) 今後も適用される分野

まず、従来よりシールド工法が多用されてきた上下水道については、今後も引き続き整備が行われると思うが、比較的整備率が低い地方都市へその軸足が移されていくと予想される。

また、都市部では、都市洪水の解消や耐震ネットワーク形成等を目的とした雨水幹線・貯留管、増補幹線等の整備がこれからの主体になると予想される。こうした下水道管渠に対しては、「二次覆工省略化」、「長距離化」に代表されるコストダウン技術、工期短縮技術が求められると考えられる。特に、この分野では、大都市の洪水対策として大規模な地下河川あるいは洪水調節池といった内水圧が作用する大断面トンネルの整備が広がっていくものと期待される。

次に、共同溝を始めとする電気、ガス、通信河道などの都市インフラストラクチャについても、やはりコストダウン、工期短縮を前提にした長距離・高速施工でのシールドトンネルが整備されていくと予想される。この分野では、長距離化に伴って立坑基数の低減が求められることから、

分岐・合流部の合理的な施工方法、及び合理的な覆工構造の実用化が求められると考えられる。

都市の交通手段としての地下鉄整備については、駅部や漏斗部も含めたシールド工法による建設が期待されるが、やはり軸足は地方都市へ移っていくものと思われる。反面、大都市部を中心に地下道路トンネルの建設にシールド工法を適用する動きが広がってきており、

今後は超大断面の幹線道路トンネルの整備が進められるものと期待される。

(2) これから新たに適用が期待される分野

これからの新たな市場としては、これまでは適用が困難とされてきた道路トンネルや鉄道トンネルのジャンクション部、ランプ部等の分岐・合流部や、下水道トンネルに代表される老朽化した地下インフラストラクチャ等のリニューアルの分野があると思われる。

前者は、断面変化（拡大・縮小、形状変化）や地中での分岐・合流に対する技術的課題を克服する合理的な施工技術の確立が前提であるが、地上部及び地下浅層部の輻輳した状況でプロジェクトを成功させるキーポイントとして今後の適用が期待される分野であると考えられる。

これまでに開発されてきた、大断面、高水圧という厳しい条件下での施工技術の積重ね、横3連、縦2連、矩形、楕円などの非円形断面での推進制御・覆工技術の蓄積、親子シールド、拡大シールド、MMST (Multi Micro Shield Tunnel) シールド機による断面変化への対応技術、さらにシールド機同士の地中接合や駅トンネルの地中切掘り等の技術など、地中の断面変化や分岐・接合に必要な要素技術について、これまでの豊富な施工実績から、技術の蓄積、研鑽が進んできており、これらの技術的ノウハウを駆使して、新たなニーズに前向きに、かつ柔軟に対応していけると考える。

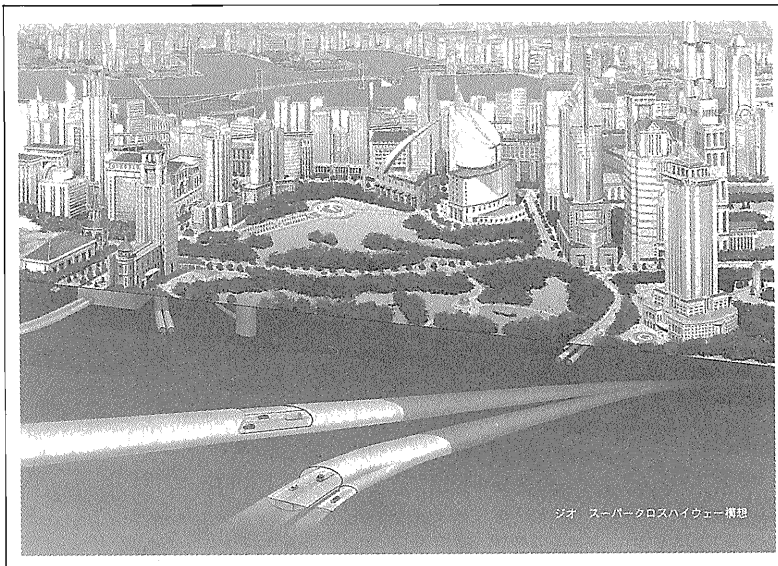


図-4 ジオスーパークロスハイウェイ構想

なお、大深度地下利用に関する法的な整備や論議も活発になってきているので、こうした都市の交通インフラストラクチャについては、錯綜した地上を避けて有効にインフラストラクチャ整備が可能となることにより、物流専用トンネルや、ごみ、廃棄物、資源リサイクル専用トンネルなど、新たなニーズも期待できる。

また、後者については、今後物理的な耐用年数に達すると考えられる老朽化したトンネルをはじめ、耐震補給などの補強、補修を必要とするトンネル、機能拡大を目指したトンネルなど、既設トンネルのリニューアルに対するニーズが確実に増加してくるものと予想される。

こうしたトンネルのリニューアル市場においては、主に既設トンネルと同一ルートに“供用しながら”新たなトンネル覆工を構築、あるいは補修、補強していく技術の完成が急がれている。近年は、小口径の下水道管渠を“下水を流しながら”リニューアルしていく技術も適用されてきているが、今後は大口径の下水道幹線や地下鉄をはじめ、あらゆる地中トンネルを特殊シールド工法を

用いてリニューアル、機能アップしていく技術が求められてくると考える。

4. おわりに

過密化した都市の地下空間を抜本的に整備する手段としてシールドトンネルは今後も有効なインフラストラクチャ整備の方法と考えられる。

特に大深度の物流トンネルの構築は、都市部の慢性化した渋滞緩和に有効だけでなく、都市の

防災設備の整備、廃棄物やごみの流通、リサイクル、通信インフラストラクチャの整備などの観点からも非常に有効な手段であると考えられる。技術的には大深度、大断面、長距離といった、これまでの開発技術の延長線上にあり、後はいかに短期間に安価に構築できるかがポイントとなるので、都市 NATM、山岳トンネル、TBM 工法などの併用も念頭におき、最適な構築方法を検討していく必要がある。

J C M A

《参考文献》

- 1) 矢野信太郎：「シールド工法」鹿島出版会（1973年）、p. 5, p.12 イラスト（写真-1-1, 写真-1-2）

【筆者紹介】

永森 邦博（ながもり くにひろ）
鹿島建設株式会社
機械部
課長

