

総論 多様な断面ニーズ

都市地下空間の有効利用



なかむら せいき
中村 誠喜

(株)奥村組
東日本支社 土木技術部
技術課長

1 はじめに

我が国の大都市圏の地下空間は、経済の高度成長を背景に鉄道・道路・通信・ガス・上下水道などを代表とする大小のトンネルが縦横に築造され、過密化の一途をたどっている。これら経済活動の源泉となる都市地下空間の社会資本の構築を可能としたのは、欧米の技術をはるかに凌駕した我が国の都市トンネルの設計・施工技術の発展と、その都度のニーズに対応した技術開発の成果にある。

現在は高度成長社会から成熟社会への移行に伴い、新規の都市トンネルの築造は輻輳かつ過密化した既設の地下構造物やトンネルに制約され、その施工要件は高度化し従来に比べさらなる大深度化、長距離化の様相を呈している。また、地上・地下空間の物理的かつ環境面の制約の中で、効率性と経済性を重視すべく、従来試みられることのなかった地中での異型断面の接合や、拡大・縮小等のトンネル断面の多様性が要求されつつある。

我が国の都市トンネル工法は、シールド工法と推進工法が都市地下空間での社会資本築造に貢献してきた。特

に、推進工法は、60年前に生まれ、開発当初はごく限られた管路築造での短距離での適用に留まっていた。しかし、社会的ニーズや施工要件の高度化から、より広範囲の施工条件に対応できるように徐々に種々の技術開発や工夫がなされ、現在では推進距離で1,400m以上、曲線施工では $R = 10m$ 以下の施工実績が生まれ、4000mmの大口径管が施工されるまでに至っている。

ここでは、都市地下空間の有効利用を図るために、推進工法に要求されている多様化したトンネル断面形状へのニーズへの試みや、今まで構想段階に留まってきた将来技術構想の一端を紹介することとし、各論の要素技術の詳細については、後段の各解説に譲るものとする。

2 トンネル断面形状の要件

都市トンネル工法としてのシールド工法および推進工法のいずれも、その断面形状は、トンネル用途に関わらず円形断面が主流である。

使用目的から考えると、道路、鉄道、電力および通信用のトンネル断面は、

矩形形状が無駄を省いた理想的な形状と考えられる。しかし、円形断面が主流であることは、トンネルに作用する外圧に対して力学上最も安定した形状であることが最大の要因である。矩形断面は、覆工構造体に作用する曲げモーメントが円形断面に比べ大きく、覆工の部材寸法も必然的に大きくなり構造上不利となる。また、都市トンネルの大部分を占める下水道トンネルでは、円形断面が最も水理特性に優れた断面であることも付記される。

1960年代初期、都市トンネルの草創期には、各種の断面形状のトンネル施工法が試行され、矩形や馬蹄形断面などが施工された。その後、円形シールドの設計・施工技術が土木学会のトンネル標準示方書や下水道標準セグメント等によって明文化されるなどを背景に円形シールドが主流となり、矩形、馬蹄形等のトンネル断面形状は、トンネルの築造空間が制限されたところで必要断面を確保しなければならない特殊な条件下に限られた。施工面においても切羽の安定保持、覆工体のローリング対策など、矩形断面等のトンネルでは通常円形断面以上に施工管理面での対応と負荷が増大し、異形状の断

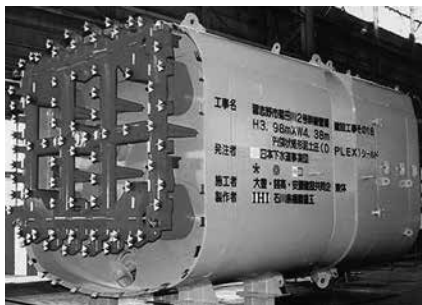


写真-1 矩形断面偏心多軸シールド

面の適用が敬遠されてきた経緯がある。ところが近年、都市の地下では過密化が進み、輻輳する地下構造物の間の限られた、より厳しい条件下の空間にトンネルを築造する技術の開発が望まれるようになった。これに加え、経済的な断面形状のトンネルを構築するため、トンネルの使用目的に合わせて不要な断面をできるだけ減らし、掘削断面をより小さくする工法が模索されるようになった。

3 非円形断面構築技術への移行

1990年代に入り、社会的なニーズとして、掘削土量を削減することによりコスト低減、建設副産物の削減を図ることが一層強く求められるようになった。これまで円形で構築してきた断面形状を必要最小断面形状に近づけ、より合理的なトンネル構造とするため、非円形のトンネル構築技術の開発が求められた。

3.1 非円形掘削機

シールド掘削機では多軸の複円形断面のものや、カッタ駆動部に新機構を設けることによって非円形の断面掘削が可能な掘削機が登場した。複円形掘削機では、MFシールド工法、DOT工法、H&Vシールド技術、EX-MAC工法等があり、また矩形・楕円などの非円形掘削機では、偏心多軸（DPLEX）シールド工法、自由断面シールド工法、

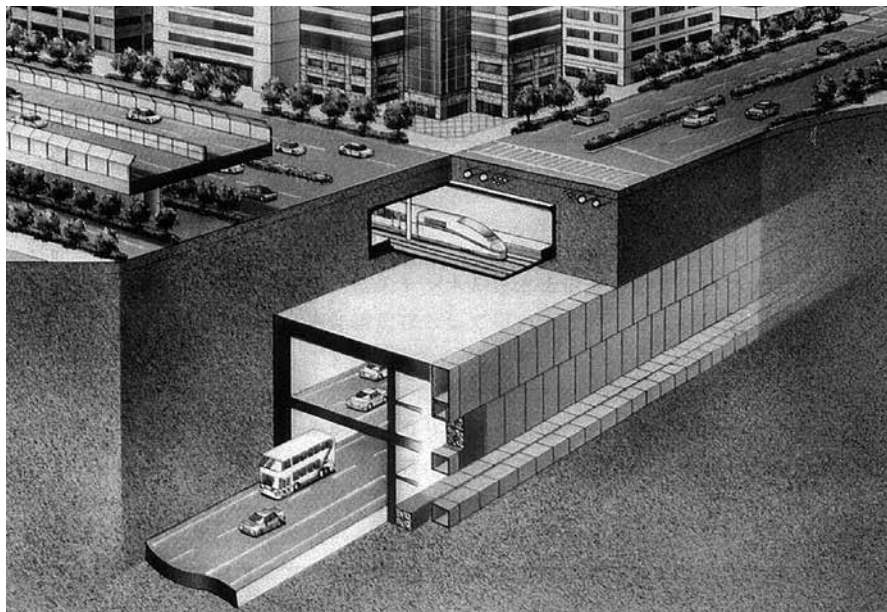


図-1 外郭先行地下空間築造技術構想図



写真-2 泥水式矩形掘削機 □500mm



写真-3 オーガ式矩形掘削機 □800mm

矩形断面掘削シールド工法、WAC工法、アポロカッター工法、URUP工法等がある。推進工法においても、掘削機構はシールド工法と同様であり、適用する掘削断面の大きさに整合させた掘削機構が採用されている。写真-1に偏心多軸（DPLEX）シールド工法の矩形断面シールドを示す。

3.2 外郭先行地下空間築造技術

小口径のトンネルを並列敷設してプレライニングを行う図-1に示す外郭先行地下空間築造技術の構想が盛んに考案され、さらに曲線パイプルーフを用い地下空間を切り広げる工法（NEW TURIP工法）も開発、実用化されている。

外郭先行地下空間築造技術は、地下空間の外郭部を推進工法により小口径

のトンネルを並列して先行構築し、内部を後から一括して掘削することで非円形の大規模地下空間を築造するもので、シールド工法では難しい超大断面のトンネルの構築を可能とする。外郭部に先行敷設する鋼製ボックスの施工は、小口径の泥水式掘削機を用いることで幅広い地盤に対応でき、地盤変状を抑制した施工が可能である。鋼製ボックスの推進では、滞水地盤を精度良く長距離掘進することがこの工法を適用する上での重要な要素技術となる。写真-2に示す掘削機は3本のスポークを主体としたカッタヘッドをもち、また、写真-3に示す掘削機はオーガを装備して矩形の断面を掘削できる機構を備えている。