

都市部における大断面地下空間構築方法の提案

Proposal of a Method for Constructing Large-section Underground Space in Urban Area

粕谷 太郎・青木 義治**

Taro KASUYA, Yoshiharu AOKI

People, materials, and information have concentrated in urban areas since ancient times, building up urban functions. It appears however that the current urban structure is not always functioning effectively. In particular, urban roads are suffering heavy traffic congestion. A solution to develop the road traffic network using underground space is expected to prove effective. In order to ensure safe, rapid and economical construction of large-section or twin tunnels in unconsolidated geology, with limited surface settlement, the method based on TULIP (curved boring technology) has been developed. This paper introduces a typical tunneling case by the method in the direct proximity to JR lines in service. This paper also proposes the method for construction of large-section underground space in urban areas.

Keywords: construction of underground space, large-section tunnel, twin tunnel, TULIP method, curved boring

1. はじめに

古来から都市には人やモノ・情報等が集まり、その集積効果が経済・社会・文化の発展の源となって都市機能が構築されてきた。しかし、科学技術の発達によって社会構造や生活環境が変化し、現在の都市構造が必ずしも有効に機能しない状況が現れてきており、物流・交通・ライフライン等の都市機能の再整備が必要な時代が来ていると考えられている。特に、都市部の道路は交通渋滞による機能低下影響は著しく、その解決手段として地下利用による道路交通網の整備が有望とされている。道路を地下に計画することにより分岐合流部も地下に構築することとなり、超大断面や双設断面のトンネル構造が必要となる。しかし、都市部は建物等が密集した市街地であることや地盤の多くは未固結地質である等の地理的な条件であることから、施工にあたっては地表への沈下影響が強く懸念される。このような都市部の地下における超大断面や双設断面のトンネル構築について、地表沈下影響を抑えて安全に、速く、低コストでの施工を可能とするためTULIP工法（曲線ボーリング技術）を活用した施工法を考案した。本稿では、本施工法を応用したJR営業線直近でのトンネル構築事例を紹介するとともに、都市部での大断面地下空間構築方法として提案する。

キーワード：地下空間構築，超大断面トンネル，双設断面トンネル，TULIP工法，曲線ボーリング技術

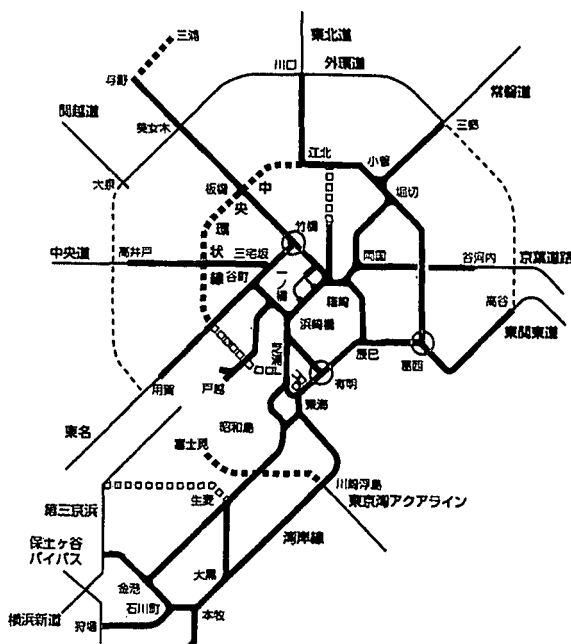
・ 正会員 フェロー 技術士 鉄建建設(株) エンジニアリング本部

.. 正会員 技術士 鉄建建設(株) エンジニアリング本部

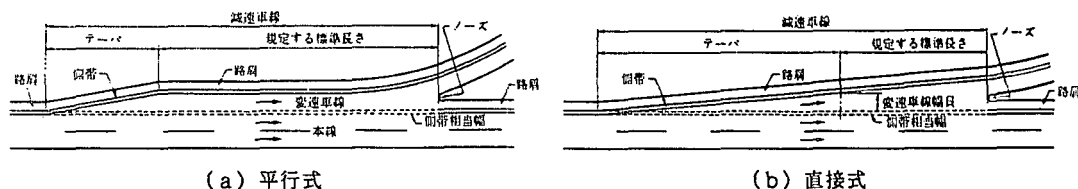
2. 道路整備計画の現状と分岐合流部の構造

江戸時代に設置された東海道、中山道などの五方向に延びる主要街道は、今日でも道路が都心から放射状に広がる傾向として残っている。これらの放射状道路は、都市化の進展に従い都市部の道路が過密化することによって連携に支障をきたす結果となり、交通の利便性の観点から環状道路が必要となってきた。（図－1 参照）

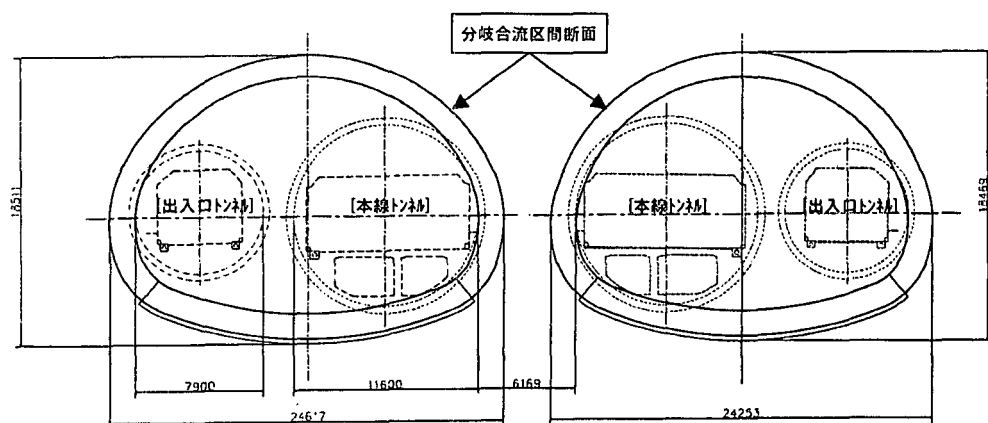
しかし、都市化の進展は近郊にまで広がっているため用地の確保が難しくなっており、地下利用による道路交通網の整備が有望とされている。道路を地下に計画することは出入り口の分岐合流部も地下に構築することとなり、超大断面や双設断面のトンネル構造が必要となる。分岐合流部の形式としては、図－2 に示すように平行式と直接式があり、テーパ区間、加減速区間、分岐合流区間を合計すると約200mの延長となる。このうち分岐合流区間は、図－3 に示すような超大断面の双設断面トンネルとなる場合がある。



図－1 都市部道路整備計画の現状



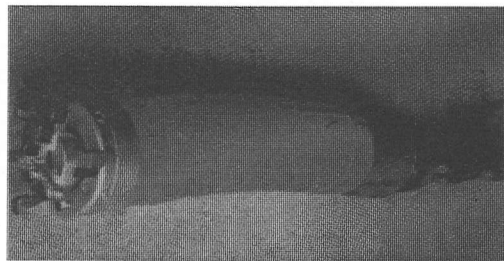
図－2 分岐合流部の形式



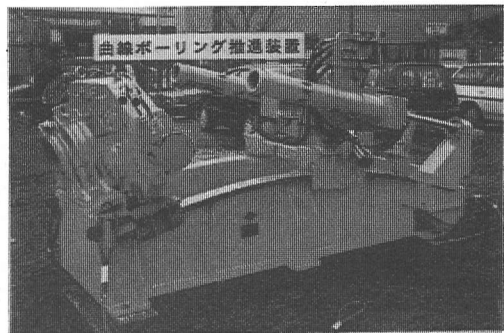
図－3 分岐合流区間トンネル断面の例

3. TULIP工法の概要

本工法は、図-4に示す曲線ボーリング装置を用いて地中に曲線管を埋設する技術である。種々の地質や地下水への対応も可能であり、ボーリング装置はコンパクトで施工性に優れている。施工は、図-5に示すように、発進側の作業空間に曲線管推進装置を据付けて先端掘削装置を内蔵した先導曲線管をセットした後、掘進と後続曲線管の継足を繰り返しながら曲線管を推進し、到達側の作業空間に達した先導曲線管の先端から先端掘削装置を回収する手順で行われる。埋設した曲線管はそのまま本管としたり、地盤改良工の凍結管あるいは注入管として利用できるほか、トンネル掘削時の先受け支保工としても利用することができる。これらの利用方法によりシールドトンネルの地中接合やトンネルの拡幅・分岐・合流、さらには扁平大断面のトンネル施工を可能とする汎用性の高い要素技術である。



先端掘削装置



曲線管推進装置

図-4 曲線ボーリング装置

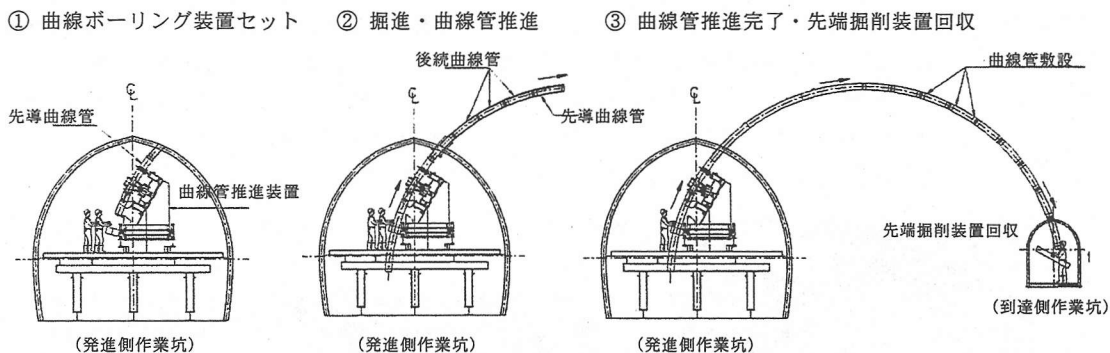


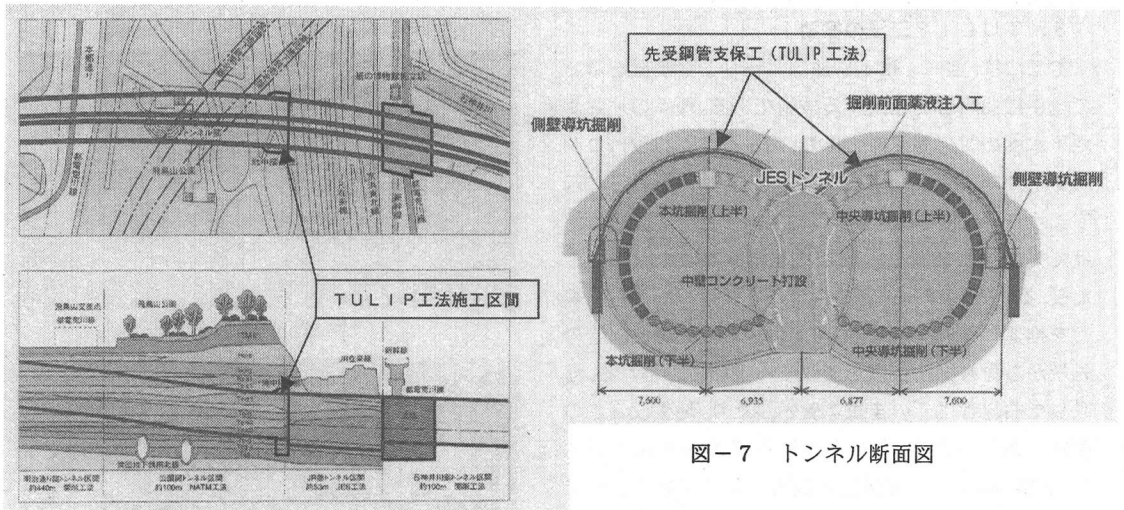
図-5 TULIP工法の施工手順

4. 施工事例

TULIP工法を応用したトンネル施工例としては、JR営業線直下を通過する首都高速道路中央環状王子線での事例があり、その施工概要を紹介する。

4-1. 工事概要

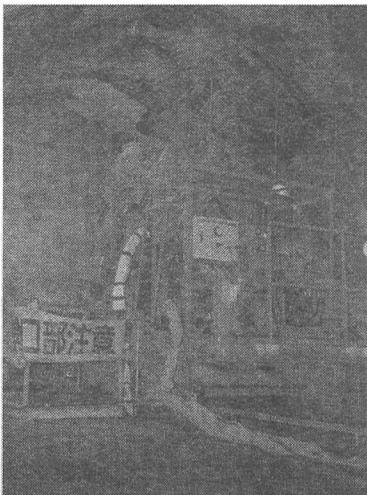
首都高速道路中央環状王子線は、高速5号線（池袋線）から高速川口線に接続する全区間7.1kmの路線であり、王子駅構内において東北本線、京浜東北線を含む7本の在来線直下を交差して通過する計画である。本工事は、そのうちの在来線直下をエレメント牽引工法で施工する工事であるが、エレメント牽引のための到達側作業基地をTULIP工法により構築した事例である。（図-6、図-7参照）



図－6 位置平面図・縦断面

4-2. 施工実績

施工区間は大断面の双設断面トンネルである。中央導坑内から左右の側壁導坑に向けて、TULIP工法により上部半断面アーチ部に曲線管（ $\phi 276.3\text{mm} \times t=9.3\text{mm}$ 、平均 $L=17.8\text{m}$ ）を60cm間隔で敷設した。（図－8，図－9参照）掘進時の推力は約50～70kN（最大150kN），カットトルクは平均1.2kN・m（最大1.5kN・m）であり，掘進速度は平均30mm/minの施工実績であった。また，施工区間は砂質土であり最小土被りは約3.0mと浅く，地上は飛鳥山公園の急斜面でかつJR営業線までの距離が約7.0mの近接工事である。このため，JR線の安全確保を目的とした計測管理を行った。計測項目は，地表および軌道の変位計測，地山の先行変位計測，掘削時の坑内変位計測，鋼管支保工の応力計測等である。トンネル掘削における計測結果は，地山先行変位，坑内変位，鋼管支保工応力とともに一次管理値以内であり，軌道変位量は鉛直方向・水平方向ともに1.5mm以内であった。図－10に軌道の変位計測結果を，図－11に鋼管支保工の応力計測結果を示す。この結果からTULIP工法により設置した先行支保工の有効性を確認した。



図－8 曲線管掘進状況



図－9 上部半断面掘削状況

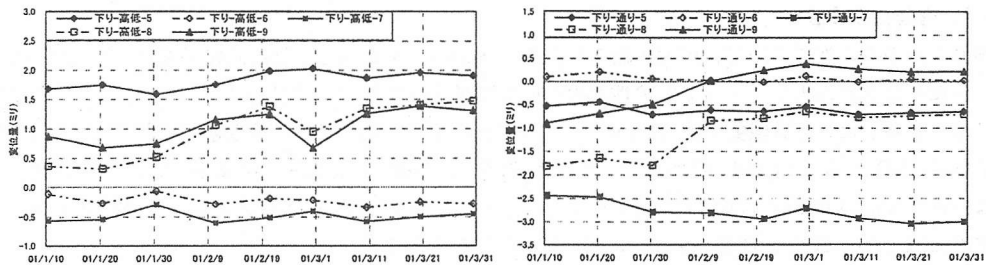


図-10 軌道の変位計測結果（左：鉛直変位、右：水平変位）

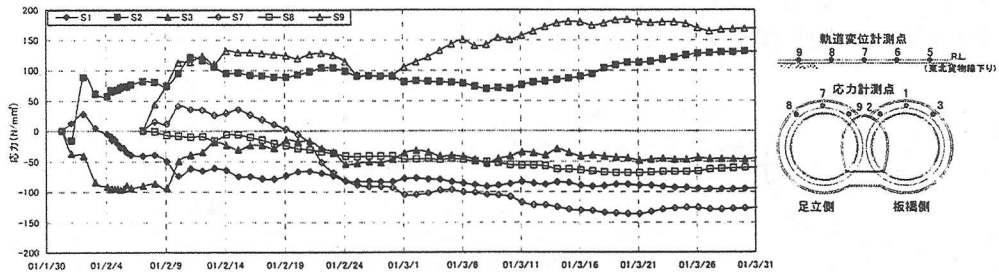


図-11 鋼管支保工の応力計測結果

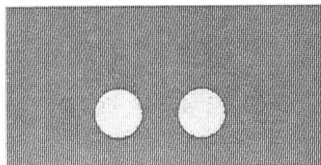
5. 大断面分岐合流部の施工法

5-1. 施工法の概要

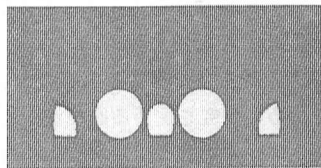
都市部では家屋等が密集した市街地であることや地質条件等の条件から、道路トンネルの施工についてはシールド工法の採用が適切と考えられている。一方、道路トンネルへの出入口となる分岐合流部は、超大断面や双設断面のトンネル構造となるため施工にあたっては地表沈下影響の抑制に十分留意する必要がある。

未固結地山において分岐合流部のような超大断面トンネルを構築する方法としては、注入式長尺先受け工等の補助工法を併用したCD断面あるいはCRD断面の分割掘削によるNATMの施工法が一般的に採用されている。しかし、NATMは地山の変位をコントロールしてアーチアクションを形成する施工法であるため、沈下を抑制するには課題のある方法である。地表への沈下影響を抑制するためには高剛性の部材で地山を支えて変位を抑制する必要がある。この観点からTULIP工法によりトンネル断面のアーチ部に曲線管を敷設して鋼管支保工を先行設置するトンネル掘削方法を提案する。施工は、図-12に示す手順により行う。

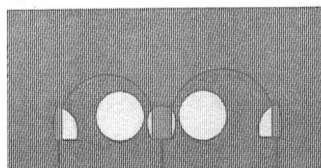
① 本線シールド掘進



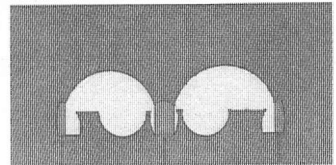
② 導坑掘削



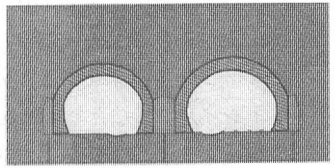
③ 先受鋼管支保工・足付コンクリート工



④ 上部半断面掘削



⑤ 下部半断面掘削・覆工



⑥ インバートコンクリート完成

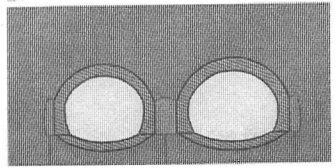


図-12 本工法の施工手順

5-2. 有効性の検証

本施工法の有効性について、超大断面の双設断面トンネルを対象とした検証結果を以下に示す。検討ケースは下記の2ケースとし、それぞれの地表面への沈下影響を確認した。鋼管支保工のサイズと配置は図-13に示すとおりとし、有限要素法（FEM）により平面ひずみ仮定に基づく弾性解析を行った。使用した解析ソフトは「2D-σ Ver2.3.0d（㈱地層科学研究所）」である。解析結果は図-14に示すとおりであり、NATMによる施工では約60mmの地表面沈下量となることに対して、TULIP工法により先受け鋼管支保工を用いた本施工法では約20mmの地表面沈下量に抑制できることを確認した。

ケース①： NATMによる施工

ケース②： 先受け鋼管支保工を用いた本施工法

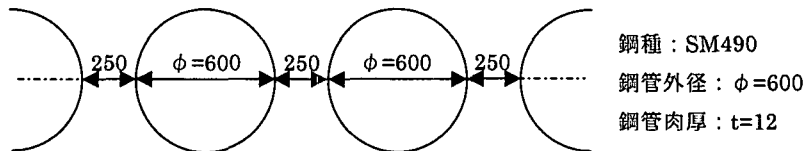
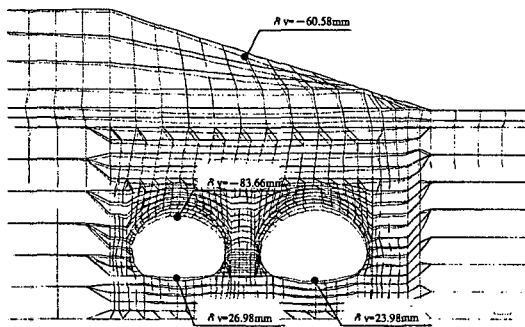
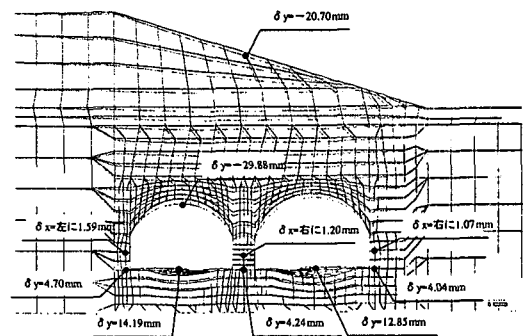


図-13 鋼管支保工のサイズと配置



ケース① NATMによる施工



ケース② 先受け鋼管支保工を用いた施工

図-14 解析結果

6. おわりに

本稿においては、TULIP工法を用いて鋼管支保工を先行設置するトンネル構築方法の適用性と地表沈下抑制に対する有効性を確認することができたと思う。しかし、これはあくまでもFEMモデル解析によるシミュレーション結果であるため、鋼管支保工に作用する実際の土圧メカニズム等についてはさらに検証を行い、トンネル施工法として確立するための研究を進める必要がある。また、これまでのTULIP工法の実績では鋼管外径φ300mmが最大径であり、大口径鋼管によるTULIP工法の施工法についても検討を行う必要がある。本提案工法は、都市化の進展によって地下利用による都市機能の再生が求められる背景の中で、新しい地下空間構築方法としてその有効性を期待できる工法であり、今後の実工事への活用を望むものである。

【参考文献】

- 1) 粕谷太郎, 竹田茂嗣: 曲線ボーリング技術を用いた地下空間の新しい施工法の開発, 地下空間シンポジウム 論文・報告集, 第7巻, pp137~146, 2002/1