

超大断面道路トンネルの分岐合流部非開削築造工法の開発 DEVELOPMENT OF THE METHOD TO CONSTRUCT A JUNCTION OF HUGE ROAD TUNNELS WITHOUT DIGGING

上原 芳文¹・阿曾 利光²
Yoshifumi UEHARA・Toshimitsu ASO

With the rapid increases of the urban traffic and urbanization on the ground surface, developments of the traffic infrastructures such as highway are required in the deep underground. There is a large demand that the road tunnels newly constructed in the underground are connected with the conventional roads by the ramp tunnels without the disturbance of the surface traffics and houses.

The method is newly developed to construct the junction portion of the main with 3 lanes and ramp tunnels whose total cross-sectional area exceeds 500m² in a loose soil in a great depth without digging from the ground surface.

The SR-JP method may construct a huge ring structure with high rigidity consisting of the many independent small shield tunnels and connecting RC structures with the introduction of the freezing method. The components of the method have been widely used and very reliable in practice. The huge ring structure is designed as the rigid permanent lining and inner portion may be extensively and rapidly excavated afterwards.

Key Words: huge road tunnels, construct a junction of road tunnels without digging from the ground surface, a circular structure with high rigidity

1. はじめに

都市再生の一環として交通インフラが求められているが、都市域の過密化で、地下に整備することが不可欠となっている。また、シールド技術は、現在、道路トンネルに対応する大断面の施工が可能となっている。

しかし、浅深度の地下においても、非常に輻輳化しており、新しく設置される施設の深度も相当深くなっている。平成13年4月には、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法が施行され、現在、地下40mを超える深さの道路事業も計画されるようになっていく。

大深度の道路トンネルの建設において、建設コストを低減するために、シールド工事区間を延ばすことになるが、シールド長距離施工技術は既に確立されている。しかし、道路トンネルでは、交差する幹線道路との接続が必要となり、地上とのアプローチが課題となる。従来のように、地上部、あるいは浅深度の開削工法によるランプの接合方法は、大深度の道路建設の優位性が生かされない。

そこで、都市域大深度の未固結地盤の地中において、非開削で、本線道路とランプ道路の接合する技術が求められるようになった。当社では、シールド工法と凍結工法を組み合わせ、周辺環境への影響の極めて少ない施工技術であるSR-JP工法(Shield Roof Pre-supporting System For Junction As Permanent Structure)を開発したので、報告する。

キーワード：超大断面道路トンネル、分岐合流部非開削築造、高剛性リング構造体

1 正会員 清水建設(株)技術開発部

2 正会員 清水建設(株)技術開発部

2. 工法の概要

都市域の大深度未固結地盤内に、断面が 500 m² を超える道路トンネル複数車線同士の分岐合流部を非開削で構築する技術が SR-JP 工法である。図-1 に工法のイメージ図を示す。

都市域の未固結地盤では、地上構造物および地下水など環境への影響が懸念され、それらを確実に抑制できる施工方法が要求される。

SR-JP 工法は、高度な技術と実績を持つシールド工法を核とし、凍結による補助工法を併用しながら小断面シールドによる先受けトンネルに鉄筋コンクリートを充填・連結することにより高剛性のリング構造体を構築し、その構造体で分岐合流部を囲み、その内部を掘削、施工するものである。この高剛性リング構造体は、止水と内部掘削時の支保の機能を持ち、最終的には、道路トンネル分岐合流部の本設覆工となる。

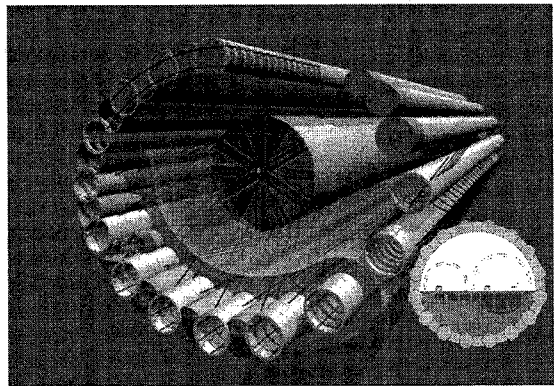


図-1 SR-JP 工法イメージ図

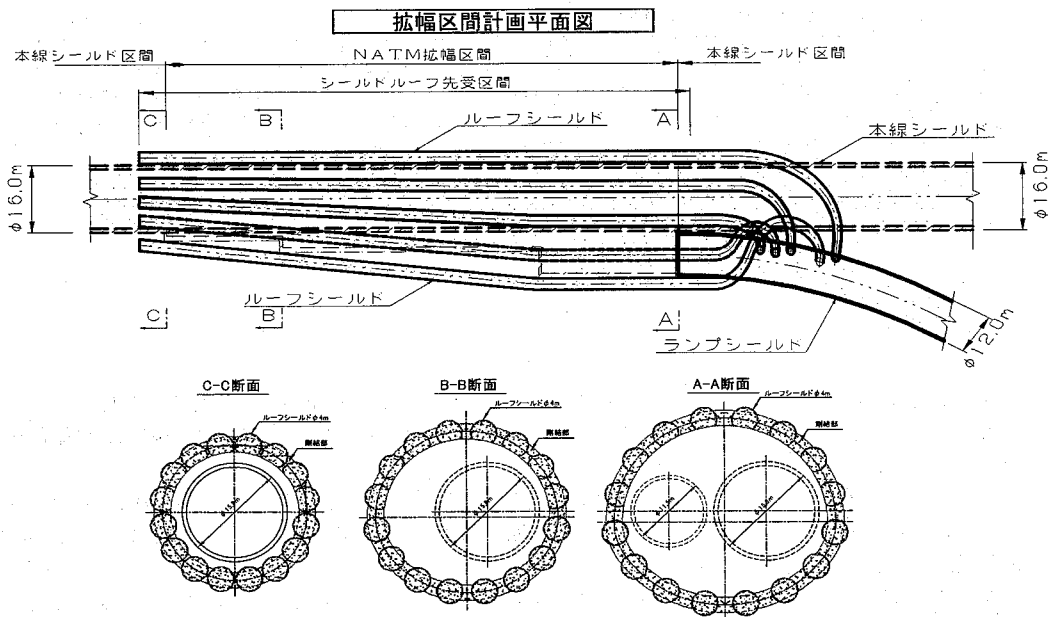


図-2 施工概要図

3. 施工概要と手順

(1) 施工概要

ランプシールドから発進した複数のループシールド機は、分岐合流部外周をトンネル軸方向に掘進する。駆動部等が回収可能なシールド機を4台程度、転用しながら先受けトンネルを構築する。ループシールド機は、断面が漸次変化する拡幅部の形状に沿った掘進を行う。高精度に配置されたループシールドトンネル間を挟み込むように順次限定凍結を山留・止水用に施し、ループシールドトンネル間を掘削する。ループシールドトンネル間、内に順次躯体鉄筋コンクリートを打設し、本設覆工を兼

ねた高剛性のリング構造体を構築する。図-2に施工概要図を示す。

(2) 施工手順

a) Step 1

ランプ（先着）シールドが拡幅部の始点部に到達した後、その坑内からルーフシールド機を順次発進させ拡幅部外周を軸方向に掘進する。複数のシールド機を用いて拡幅部を取り囲むようにトンネルを施工、配置する。なお、シールドトンネル坑内から複数のシールド機を効率よく発進させるため、エントランス、反力壁、発進架台をコンパクトにユニット化し、発進部のセグメントは背面の地盤改良が不要な切削できる部材で構成する。

b) Step 2

ルーフシールドトンネル内から凍結管を設置し、並列のルーフシールドトンネルを囲むように限定凍土を造成する。ルーフシールドトンネル間が狭隘な範囲は、シールドトンネル内の貼付け凍結管で造成する。所定の凍土梁を造成後、セグメントを撤去し、ルーフシールドトンネル間の凍土掘削を行い、鉄筋コンクリートを充填する。なお、拡幅部両端の棲部は凍結工で閉塞する。本線シールドはいずれの時期でも通過可能である。

c) Step 3

本線（後着）シールドの通過後、分岐合流部の切広げ掘削を行う。その際、ランプ（先着）シールド機、本線セグメントについても順次解体する。

d) Step 4

内部掘削完了後、道路床版等の分岐合流部道路構築を行い、工事完成する。

図-3に施工手順図を示す。

4. 工法の特徴

SR-JP 工法は、施工実績が多く最先端の技術を持つシールド工法を核とし、信頼性の高い凍結工法等の既存技術を併用した工法であり、剛性の高い構造体のアーチ効果により地上への影響を低減し、今までに例を見ない大規模、大深度の地中施工に対して確実に対応できる技術であることが、最大の特徴である。以下に、SR-JP 工法の特徴を示す。

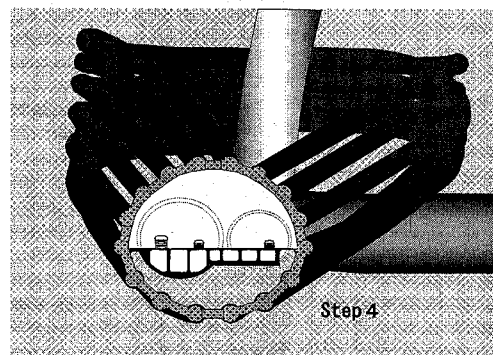
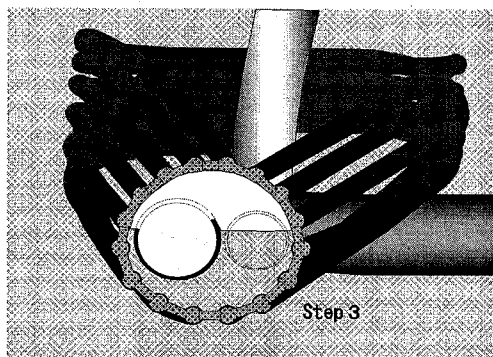
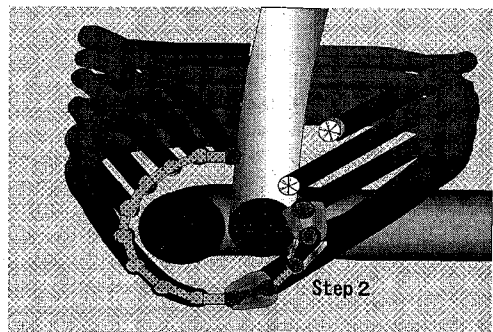
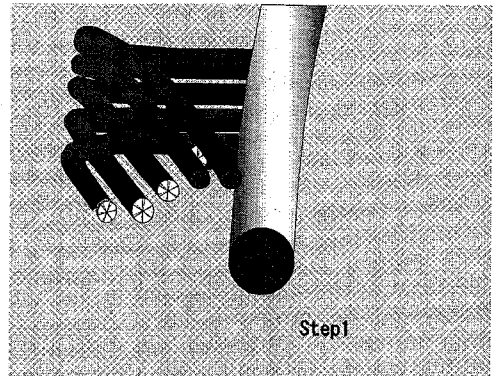


図-3 施工手順図

- (1) 拡幅断面の軸方向に施した小断面ルーフシールドトンネル同士を鉄筋コンクリートで一体化することにより極めて高い剛性を持つ構造体となり、優れた地表面沈下抑制が図れる。
- (2) 一体化された剛性リング構造体は、内部掘削の支保、止水機能とともに分岐合流部本設覆工構造体として本体利用でき、施工断面も覆工厚さ分省略できるため経済的である。
- (3) 本設覆工工事が省略できること、高剛性のアーチ効果で内部掘削の大規模化が可能となること、ルーフシールド掘進、凍結工、掘削接合が順次平行作業できることから、工期短縮が図れる。
- (4) 大深度の高水圧下でも凍結工法を採用しているため確実な止水が可能で、地下水保全が図れる。
- (5) 分岐合流部は、漸次断面が変化する形状であるが、ルーフシールド間隔を調整することで対応でき、最小限の内部掘削量で施工できる。
- (6) ルーフシールドは本線トンネルと拡幅断面の軸方向の施工であるため、分岐合流の距離の長い拡幅に対して極めて有利であり、また、一般的に数多く施工されている小断面の経済的なシールドであるため、低コストで施工できる。

5. 地表面沈下解析

SR-JP 工法は、ルーフシールドトンネル間に限定凍土梁、止水を施し、ルーフシールドトンネルを連結し鉄筋コンクリートの躯体をリング状に構築することによって地下に分岐合流部構築のための大空間を実現する技術である。ルーフシールドの施工、ルーフシールドトンネル間の掘削、鉄筋コンクリートの充填および内部掘削の施工ステップを加味し、地表面の沈下解析を行った。解析ステップ図を図-4に示す。

解析ステップに示すように、ルーフシールドトンネル間を一つ飛ばして躯体コンクリートを充填した後、その間の2本のルーフシールドトンネル内と間（メガネ形状）を充填する。解析結果を図-5に示す。

最大地表面沈下は16mmとなり、構造物に影響を与えと言われる沈下量30mm以内、沈下勾配1/1000rad以下であった。以上の解析により、SR-JP 工法におけるリング構造体の剛性の高さが確認された。

解析ステップ	STEP-1 ・初期地表面	STEP-2 ・ルーフシールド掘削(地力解放率: $\alpha=10\%$)	STEP-3 ・ルーフシールドセグメント(地力解放率: $\alpha=90\%$)	STEP-4 ・先行ルーフシールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)
モデル図				
解析ステップ	STEP-5 ・先行ルーフシールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	STEP-6 ・先行ルーフシールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	STEP-7 ・先行ルーフシールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	STEP-8 ・本線シールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)
モデル図				
解析ステップ	STEP-9 ・本線シールド掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	STEP-10 ・上半部掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	STEP-11 ・下半部掘削(地力解放率: $\alpha=100\%$)	
モデル図				

図-4 解析ステップ図

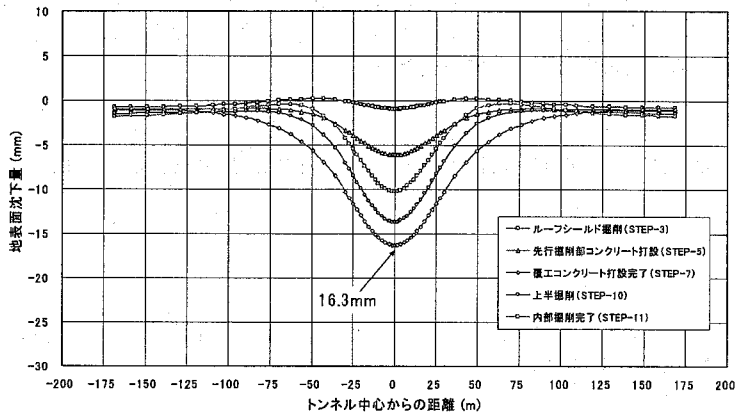


図-5 沈下解析結果

6. ルーフシールドの計画

ルーフシールドは、掘削径を4mとして分岐合流の周囲に16本の配置とする。16本のシールドは、4台のシールド機を転用して掘進する。発進方向はランプシールドトンネルのセグメント面に対して直角、最小半径は20m、仰角は水平とする。発進高さは、ランプシールドトンネルの中心とし、発進後の曲線開始位置は、シールド機がセグメントから抜け出す8.5mとした。また、ルーフシールドトンネル同士の最小離隔を0.5mと設定して線形を検討した。図-6に、ルーフシールド発進部付近の3D俯瞰図を示す。

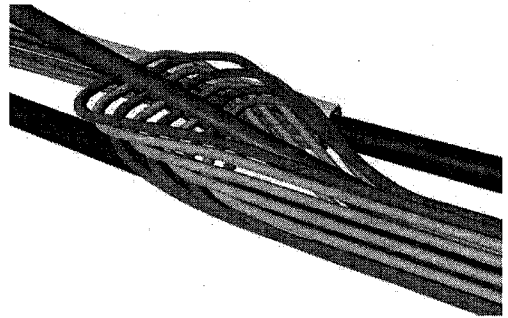


図-6 3D俯瞰図

ランプシールド内から平行して4基のルーフシールドの掘進を順次行うため、枕木下を資機材の運搬エリアとして使用する。ランプ内発進仮設図を図-7に示す。

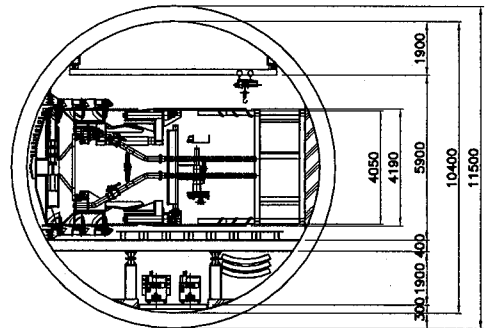


図-7 ランプ内発進仮設図

7. おわりに

都市域の大深度未固結地盤に500㎡以上の大空間を切り開く工事は、地域住民や環境に与える影響を限りなく少なく、かつ、安全に短期間で施工する技術が要求される。SR-JP工法は、実績もあ

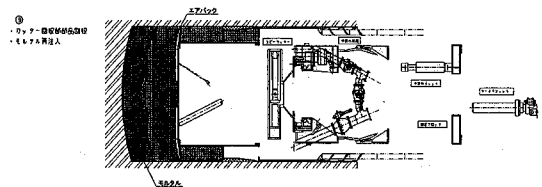


図-8 回収シールド機計画図

り、技術革新の進むシールド工法と信頼性の高い凍結工法の併用によって高剛性リング構造体を構築し、巨大な地下空間を生み出す技術であると確信している。今後、更に各要素技術の開発、検証、試験施工を実施し、確実性を高め、実用化を目指していきたい。

謝辞：原稿の執筆に当たり、ご指導、ご協力いただいた皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浜口 幸一，矢部 幸男，吉武 謙二 2006 年土木学会年次学術講演会 小口径シールド結合リングによる超大断面拡幅工法（SR-JP 工法）の開発