

道路トンネル分合流部の非開削化に向けた技術開発の動向

財団法人先端建設技術センター 研究第一部 主任研究員 田中 卓也

1. はじめに

首都圏では自動車交通の集中による交通渋滞やそれに伴う環境悪化等の課題を緩和するために、3環状道路の整備が進められている。

一般に、建設費、安全性、維持管理の面から道路は地上に整備するのが望ましいが、都市部で新たな道路を整備する場合、沿道の環境保全に対する要求に応じて合意形成を円滑に行うために、地下化は避けられない状況にある。

軟弱な地盤が分布する都市部で道路トンネルを建設する場合、開削工法の適用が一般的であるが、工事中の振動・騒音や路上交通への影響の低減が強く望まれている。また、すでに道路下空間が埋設物で輻輳する都市部ではトンネルの設置深度が深くなり建設コストの増大も課題となっている。

このような背景のもと、東京湾アクアラインでのシールドトンネル技術の飛躍的な進歩を契機に、道路トンネルに対するシールド工法の適用が増加しており、首都高速中央環状線の3号渋谷線から5号池袋線間（延長約11km）では約10kmの区間にトンネル構造が採用され、その約8割にシールド工法が適用された。この内、4号新宿線か

ら5号池袋線間の6.7kmは平成19年12月に供用された。

道路トンネルにおけるシールド工法の適用により非開削による施工範囲が拡大したが、依然として開削工法が主流である分合流部の非開削化が今後の課題となっている。

東京外かく環状道路の関越道から東名高速間（以降、外環と略す）は、大深度地下利用を想定した整備計画が進められており、分合流部の建設も大深度地下となることが想定される。

財団法人先端建設技術センターでは、関東地方整備局東京外かく環状道路調査事務所発注の「大深度道路トンネル施工防災技術立案業務」において、大深度トンネル技術検討委員会（委員長：東京都立大学名誉教授 今田徹）で指導・助言を受け、外環をケーススタディとした基本構造の確認、分合流部における地中拡幅工法、避難方式、その他シールド工法の合理化等の検討を行った。

本稿は、都市道路トンネルにおける非開削工法での分合流部の建設事例を紹介するとともに、大深度トンネル技術検討委員会で審議された、大深度地下での分合流部の建設に対する現有技術の適用の可能性と新技術の開発動向について紹介する。

2. 道路トンネル分合流部の特徴と非開削化への課題

道路トンネルの分合流部は、本線トンネルとランプトンネルの各断面を包括する非常に大規模な地中拡幅が必要となり、加えて断面が縦断方向に変化する複雑な構造となる。さらに、分合流部は安全かつ円滑な交通を確保するために十分な視距を確保しなければならないことから、拡幅部の躯体は柱等の設置が制限され構造部材が大型化する傾向にある。

シールドトンネルの地中拡幅は、地下鉄駅舎や共同溝の管路分岐部等ではすでに実績のある技術であるが、道路トンネル分合流部に対しては拡幅規模の相違と躯体形状の複雑さから適用が困難な状況である。また、掘削断面形状の自由度が高い山岳工法を適用する方法も考えられるが、地下水位低下や地盤変形等の解決すべき課題が残されている。

3. 立坑を利用した非開削技術の適用事例

首都高速中央環状線の西新宿JCTは、交通量の多い交差点が地上にあり、地下には大型下水道幹線や特殊高压電線等の多数の構造物が埋設されていたことから、並列する本線シールドトンネル(φ11.4m)を非開削工法で切開いて分合流部が構築された¹⁾。

切開きに当たっては、既設埋設管への影響低減を図るためパイプーフ方式が採用され、延長約104mの非開削区間に隣接する立坑からパイプーフが施工された(図1参照)。また、切開きに伴うシールドトンネルの安定性低下を防止するために、小口径推進工法による先行切梁が設置され、さらに、掘削底面の安定性確保を目的に地下水位低下工法と、これに起因した周辺の地下水位低下を防止するためにシールドトンネル外側に遮

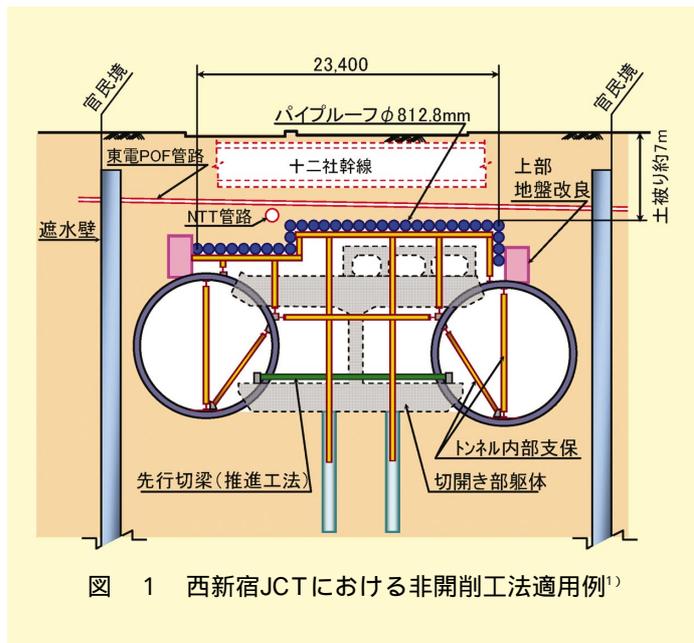


図 1 西新宿JCTにおける非開削工法適用例¹⁾

水壁が構築された。

西新宿JCTの事例から、分合流部における非開削施工の技術的課題に対して一つの答が得られたと考える。今後は、大深度地下での分合流部の構築のように、立坑の省略が望まれる状況でも適用可能な非開削技術の開発が求められる。

4. 立坑を省略した非開削技術の開発状況

(1) ケーススタディによる検討事例

大深度トンネル技術検討委員会では、非開削工法による大深度地下での分合流部の建設について、外環をケーススタディとした現有技術による施工の実現性の検討と、環境、安全、工期短縮、コスト縮減を考慮した新技術による施工の実現性

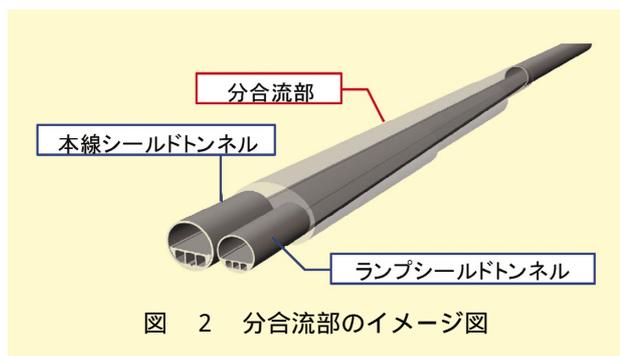


図 2 分合流部のイメージ図

の検討および今後の技術開発の可能性に関する検討を行った（図 2 参照）

現有技術による施工の実現性の検討結果と、民間等での新技術開発状況を公開調査した結果の概要を以下に紹介する。

(2) 現有技術を用いた施工方法の検討結果

現有技術を用いた検討では、本線シールドトンネルとランプシールドの各建築限界を包括する幅 25.6m 以上、高さ 4.7m 以上の無柱空間を大深度地下に非開削工法で構築することを想定した。検討条件を表 1 に、検討断面の一例を図 3 に示す。

施工方法として図 4 に示す「曲線パイプルーフ + NATM 工法」を検討した。この方法は、拡幅部に並行して構築した導坑シールドより横断方向に曲線パイプルーフを打設し、これを先受工として NATM 工法で拡幅部の掘削を行うものである。

検討の結果、「曲線パイプルーフ + NATM 工法」は拡幅部の掘削前に高い剛性の先受工が完成しているため、切羽到達前に生じる先行変位の抑制や、沈下の抑制に高い効果が期待でき、NATM 工法を採用することで合理的な断面形状を採用できる等の利点を確認された。また、既往の技術の組み合わせを基本とすることから、現段階では実現可能性が高いと評価された。

ただし、建設コストの縮減や工期短縮などの合理性向上と、地下水に及ぼす影響の低減が今後の検討課題となった。

(3) 新技術の開発状況

(2) で紹介したとおり、大深度地下に分合流部を完全非開削で構築することは、現有技術で可能と考えられるが、さらなる施工の合理化と環境への配慮が望まれるため、委員会では分合流部の非開削構築技術について民間等の開発状況の調査を行った。調査項目は、完成時および構築時の構造、施工方法、施工に起因した環境影響、概略の

工期および工費、開発段階、開発費、開発体制とし、現有技術の検討条件を参考的に示した。

調査の結果、情報提供は 19 工法であった。委員

表 1 ケーススタディの主な検討条件

諸元	本線 (3車線)	2種1級 設計速度80km/h
	ランプ (2車線)	A規格 設計速度40km/h
構造・設置条件	土被りは50m程度	
	無柱区間の延長は370m程度(合流部)	
	管理用通路や施設空間として、床下に幅2.5m以上、高さ2.75m以上の空間をトンネル縦断方向に連続して確保する。	
	建築限界と構造物躯体との離隔は150mm以上を確保する。	
資機材の搬入、掘削土砂の搬出のための地上とのアクセスは、開削区間で行うものとし、それ以外の地上部からの施工は行わないものとする。		

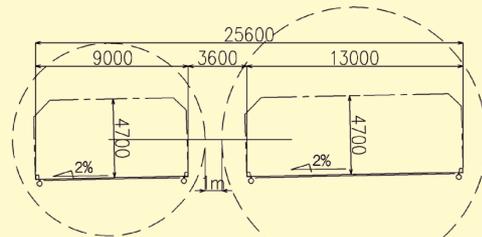


図 3 ケーススタディの検討断面例

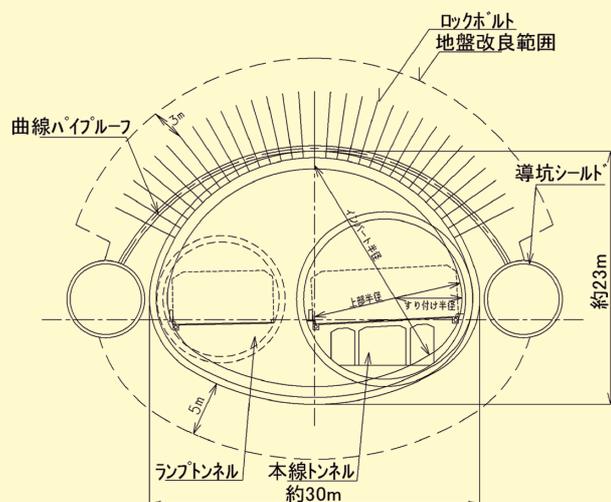


図 4 現有技術を基本とした施工方法

表 2 技術開発状況に関する調査結果の概要と今後確認が必要と考えられる技術的項目

分類	基本的に先受工施工後に切抜ける工法		基本的に先受工なしで切抜ける工法	
	横断方向に施工する先受工	縦断方向に施工する先受工		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 道路トンネルもしくは施工用導坑トンネル内からパイプルーフ等の先受工を横断方向に施工する。 施工時には薬液注入や凍結工により止水する。 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の小口径トンネルを近接もしくはラップして施工し、各小口径トンネルを横断方向に繋ぐことにより、内部掘削に先行して円筒形の外殻を施工する。 外殻構造は施工時における内部掘削の先受工にするとともに、本体構造とする。 	<ul style="list-style-type: none"> セグメントを直接切削し、拡幅部のラップを可能とすることにより施工に要する幅を縮小する。 拡幅部に応じたシールド機断面に変化させ、シールド機によって掘削からトンネル構築まで対応する。 	
技術開発の対象	<ul style="list-style-type: none"> 先受工の構造，施工法 施工に要する幅の縮小 	<ul style="list-style-type: none"> 先受工の横断方向の接続方法 先受工（外殻構造）の本体利用 	<ul style="list-style-type: none"> 切削可能なセグメント構造 シールド機の形状・機構の改造等による機械的な拡幅部の施工 施工に要する幅の縮小 	
今後確認が必要と考えられる技術的項目	構造	<ul style="list-style-type: none"> 先受工とセグメントの接続構造 	<ul style="list-style-type: none"> 先受工同士の接続構造 先受工とセグメントの接続構造 	<ul style="list-style-type: none"> 応力集中部（断面形状における凹部）の構造 先行および後行トンネルの接続構造
	設計	<ul style="list-style-type: none"> 先受工とセグメントの接続部の設計 	<ul style="list-style-type: none"> 先受工同士の接続部の設計 先受工とセグメントの接続部の設計 	<ul style="list-style-type: none"> 応力集中部（断面形状における凹部）の設計 先行および後行トンネルの接続部の設計
	施工法	<ul style="list-style-type: none"> 先受工の発進・到達方法や止水の施工法および掘削方法 	<ul style="list-style-type: none"> 先受工の発進方法や止水の施工法および掘削方法 先受工の接続方法 	<ul style="list-style-type: none"> 改造シールド機による施工法（変形型のシールド機での発進防護，姿勢制御等） セグメントを直接切削するとき生じるテールボイドの処理方法 両トンネルを接続する部分の止水方法（どこからどのような工法で施工するか等） トンネル同士の接続方法
	環境	<ul style="list-style-type: none"> 【周辺地盤への影響】 ・計算方法（弾性FEM，弾塑性FEM等） ・解析ステップと施工手順の整合 ・入力定数（地盤反力係数，解放率，梁部材のモデル化，水圧の取り扱い，先受工やセグメントとの接続部評価等） ・地表面傾斜角等の地表面への影響 【地下水への影響】 ・地下水流動阻害等の地下水に対する影響 ・補助材料の地下水への流出等の地下水質に対する影響 		
断面形状	<ul style="list-style-type: none"> ・3車線（本線）+ 3車線（ランプ），3車線（本線）+ 1車線（ランプ）への適用性 ・管理用通路等の空間として，床版下に幅2.5m×高さ2.75m以上の空間（トンネル縦断方向）確保の可能性 			
工期	<ul style="list-style-type: none"> ・分岐合流部の施工に要する工期の短縮の可能性 			
工費	<ul style="list-style-type: none"> ・分岐合流部の施工に要するコスト縮減の可能性 			

会では、これらの工法を「横断方向に先受けする工法」「縦断方向に先受けする工法」「基本的に先受けを行わない工法」の3グループに分類し、各グループの特徴を整理した。

① 横断方向に先受けする工法

このグループは、道路トンネルもしくは施工用導坑トンネル内から曲線パイプーフ等の先受工を横断方向に施工する。本線トンネルとランプトンネルのラップ施工を行わないものが多く、横断方向の先受工を施工後に両トンネル間の切拡げを行う。なお、現有技術を用いた施工方法は、このグループに該当する。

② 縦断方向に先受けする工法

このグループは、道路トンネル内もしくは地中に設ける施工基地から複数の小口径トンネルを縦断方向に施工し、各小口径トンネルを横断方向に繋ぐことにより円筒形の外殻を施工する。小口径トンネルの構築にはシールド工法を適用するものが多く、各小口径トンネル間の接続方法は、ラップ施工による接合、切開きによる接合、凍結工法による接合等が提案されている。

③ 基本的に先受けを行わない工法

このグループは、切拡げ時の補助工法を縮小するために、本線トンネルとランプトンネルを非常に近接した状態で施工する方法やラップ施工する方法が適用されている。ラップ施工に当たっては先行構築されるトンネルの一部に切削可能なセグメントを適用するものや、先行構築されるトンネルに非円形セグメントを設置しセグメントを直接切削しない方法が提案されている。

これら3グループに共通する事項は以下の点で

あった。

- ・比較的硬質な地盤における施工ではあるものの、都市部での大規模非開削工法であることに留意し、施工中の安全性および施工の確実性に観点を置き、切拡げ時における地盤変位の抑制や遮水性の確保を検討しているものが多く見られた。
- ・情報提供を受けた工法は、数年内をめどに実施工が可能となるよう開発が進められている。
- ・開発中の技術の実施工が可能となった場合、現有技術を基本とした工法と比較し、構造のコンパクト化による発生土抑制や、工期短縮、コスト低減などが期待される。

今回、情報提供された新技術の「構造の成立性」と「工法の実現性」を確認する上で今後検討が必要と考えられる技術的項目を表 2 に示す。

5. おわりに

道路トンネル分合流部の非開削構築技術は、施工の合理化や環境影響の低減に向けて現有技術の改良や新技術の開発が進められている段階にある。

道路トンネルのように大規模な開発を要する場合は、効率的な技術開発を促すために、事業者はより具体的な開発目標を提示することが必要であり、また、個別の技術に対して、構造の成立性や施工の実現性を早い段階で評価し、開発方針を再考する機会を開発会社に与えることも重要と考える。

【参考文献】

- 1) 蔵治賢太郎他：非開削工法によるシールドトンネル分合流部の設計施工，基礎工，Vol. 35，No. 12，pp. 61-64，2007