

大深度地下道路トンネルの技術と調達

TECHNOLOGY AND PROCUREMENT OF DEEP UNDERGROUND TUNNELS

技術・調達政策グループ 首席研究員 佐々木政彦
技術・調達政策グループ 上席主任研究員 中野順行
技術・調達政策グループ 上席主任研究員 福田 健

日本における地下道路トンネルの整備の経緯と大深度地下利用に係る制度を整理し、具体事例として大深度地下を利用した道路計画である東京外かく環状道路の事例を紹介する。さらに、大深度地下道路トンネルの代表的な施工法であるシールド工法に係る技術開発の動向について整理するとともに、地下道路トンネルの事例を踏まえつつ、大規模で高度な技術を要する調達のあり方について考察する。

Key Words: シールド工法, 大深度地下, 立体道路制度, 東京外かく環状道路

1. はじめに

大都市圏の経済活動を支え更なる発展を目指していく上で、幹線道路、特に自動車専用道路ネットワークの充実は重要な課題である。稠密な土地利用が行われている市街地において自動車専用道路を整備する手法として、道路、河川等の上空や地下を利用した立体的な整備が進められてきた。しかしながら、都市部では高架構造は景観や環境への影響を指摘する意見があり、地下空間も利用が輻輳していることから、大深度地下の利用が期待され、法制度の整備等が進められてきた。

一方、大深度地下トンネルの施工技術については、民間企業の技術開発が進められているところであり、高度な技術を要する工事の実施に当たり、発注者は、これらの民間の技術提案を適切に評価する調達方式の採用と技術審査体制の確保が求められている。

2. 日本における地下道路トンネル整備の経緯

日本における地下道路トンネルの整備は、1927年から調査工事が開始され、戦争による一時中断を経て1958年に開通した関門国道トンネル(延長3461.4m)にさかのぼるが、首都圏においては1964年、東京オリンピック開催に先立ち整備された首都高速道路の都心環状線等の一部でトンネル構造が採用されたのが最初である。その後、首都高速道路湾岸線の整備に際し、河川や航路の横断部において沈埋トンネル工法が採用された。

一方、地下鉄整備等で実績が重ねられてきたシールド工法は、東京湾横断道路の整備に採用され、軟弱地盤・高水圧という厳しい条件のなか大断面・長距離のシールドが施工された。

現在、首都高速道路中央環状線・横浜環状北線、阪神高速道路大和川線・京都線等で地下トンネル構造を主体とした整備を行っている。特に首都高速道路中央環状線は、供用済の新宿線山手トンネル約11kmと連続した品川線9.4kmをシールド工法主体で整備が進められている。当該路線は密集市街地の道路・河川地下に整備され、最大深度は58m、長距離・高速施工対応、シールドの地上発進、切開き施工等の新技術が採用されている。

近年、環境に対する要請の高まり等により、都市部自動車専用道路の整備延長に占めるトンネル構造の比率が高まっており、首都高速道路では供用済区間のトンネル構造比率が9.4%であるのに対し、建設中区間では70%がトンネル構造となっている。

また、長大地下道路トンネルの運用には換気・防災に係る技術開発やノウハウの蓄積も重要である。

3. 大深度地下利用に係る制度

(1)大深度地下の公共的使用に関する特別措置法(大深度地下使用法)

本法は、大深度地下は通常は土地所有者等による利用がなされていない大都市に残された貴重な空間であり、この空間を適正かつ合理的に利用するために定められた。本法において大深度地下とは、「地下40m以深」また

は「支持地盤上面から10m以深」のうちいずれか深い方の地下と定義された。大深度地下については通常は補償すべき損失が発生しないと考えられるため、大臣または都府県知事の認可を受けることにより、原則として事前に補償することなく使用権の設定が可能となる。

なお、対象地域は三大都市圏であり、対象事業は道路、河川、鉄道、電気通信、電気、水道、下水道等の公共性の高い事業である。¹⁾

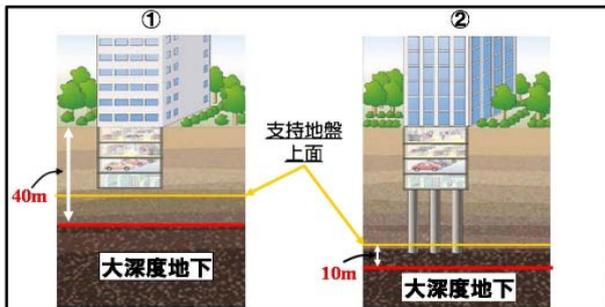


図-1 大深度地下使用法における大深度地下の定義

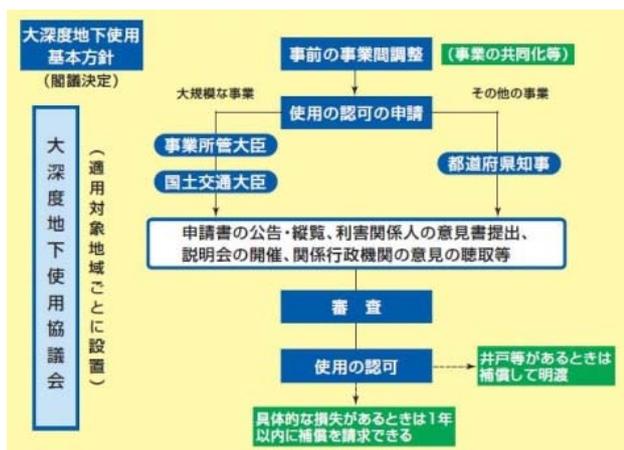


図-2 大深度地下の使用の認可の主な手続きの流れ
(出典：図-1,2とも国土交通省パンフレット)

(2) 立体道路制度

立体道路制度は、従来平面的に定められてきた道路区域の上下を限定し立体的に定めることで建物等との一体的な整備を可能とするものである。立体的区域を定めた道路の敷地に関する権限は、原則として区分地上権となり、土地の所有者は道路の立体的区域以外の空間については、道路に支障がない限り、自由に私権を行使することが可能となる。

本制度は、東京外かく環状道路、阪神高速道路等で適用され、現在整備中の環状二号線（東京都）においても、本制度を適用した道路と都市再開発の一体的な整備が進められている。



図-3 道路と都市再開発の一体整備事例（環状二号線）
(出典：森ビル（株）HP)

4. 大深度地下を利用した道路計画の実例～東京外かく環状道路

(1) 東京外かく環状道路の概要

東京外かく環状道路は、都心から約15kmの圏域を環状に連絡する延長約85kmの道路であり、首都圏の渋滞緩和、環境改善や円滑な交通ネットワークを実現する上で重要な道路である。現在までに自動車専用部（高速道路）は北側区間約34kmが供用し、東側区間約16kmが事業中である。

残る区間のうち西側区間約16kmについては、1966年に高架方式で都市計画決定されたが、地元の反対などにより1970年以降約30年間近く事業が凍結されていた。1999年に東京都知事が「地下化案を基本として計画の具体化について取り組む」ことを表明し、以降PI方式による構想段階からの検討を経て、2007年2月に大深度地下使用法に基づく「事前の事業者間調整」の手続きを終了し、同年4月、大深度地下を利用した地下方式に都市計画を変更した。

変更後の計画は、本線として大深度地下（当地域では40m以深と考えられる）に、直径約16m、3車線のトンネルを2本整備し、出入口を3箇所、換気所を5箇所設置する内容となっている。

(2) 大深度地下利用に係る技術的検討

大深度地下利用への計画変更に当たっては、大都市地域における道路整備において大深度地下を活用した大断面・長距離トンネルの実現性について技術的な検討を行うことを目的として設置された「大深度トンネル技術検討委員会（委員長：今田徹 JICE顧問）」において、外環道の大深度地下を活用した大断面・長距離トンネルの実現性について技術的な検討が行われ、現有の技術で大断面・長距離シールドトンネルの施工は可能であることが確認された。²⁾

5. シールド工法に係る技術開発動向

(1) 施工実績の推移

都市部のトンネル構築においては、地下水低下や地盤変状といった周辺環境に及ぼす影響が小さいシールド工法が多く採用されてきたが、周辺への影響の更なる低減、多車線化、既設構造物の回避等、要求の高度化に対応し、シールド工法に係る多様な技術の開発が進められ、より大断面、長距離、大深度の施工が可能となっている。日本における施工実績を図-4～6に示す。

図-4 大断面施工実績

(2) 技術開発事例

大断面、長距離、大深度の施工の実現に寄与した技術開発項目例を表-1に示す。

表-1 技術開発項目例

主たる目的		技術開発項目例
大断面化		切羽変動圧緩和装置
		テール部スキンプレート強度
		外・内周周速度差解消システム
		マシン外殻構造強化
長距離化	機器交換	掘削中カッタービット交換
		テールシールの多段化
		自動給脂装置
		テールシール交換技術
	高速施工	高速組立対応セグメント
		幅広セグメント
		セグメント等分割化
		組立数の低減
		運搬装置自動化技術
		セグメント組立同時掘進
大深度		カッター駆動部の強化
		土砂シールの強化
		高出力ジャッキ

a) 大断面化

大断面化に伴い、切羽の土圧制御や内外周速度差への対応が課題となる。大断面シールドの日本における施工実績は、シールドマシン外径で14m級（道路の場合2車線）が最大であるが、他国では15m級の施工事例があり³⁾、計画中の東京外かく環状道路は3車線16m級が見込まれている。

図-5 長距離施工実績

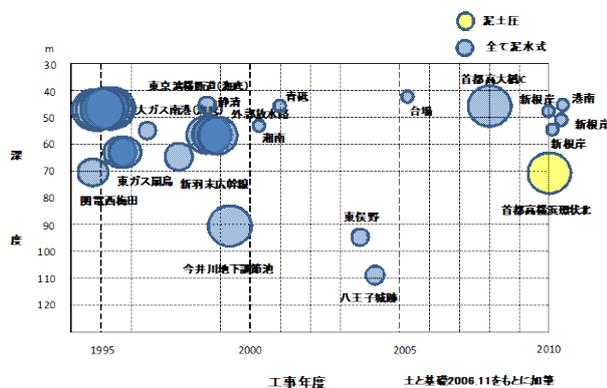


図-6 大深度施工実績

(出典：図-4～6とも(社)地盤工学会，土と基礎 No.586)

b) 長距離化（高速施工を含む）

地上部への影響の低減や施工の効率化の観点から長距離化が求められるとともに、長距離化に伴い長期化する工事期間の短縮を図るため、高速施工の要請も高まっている。長距離化の最大の課題であるビットの摩耗対策としてビットをシールドマシン内部から交換可能とする技術、セグメントの大型化、組立時間の短縮化等の技術が開発されている。小口径(3.6m)のものでは9kmの長距離施工実績があり、施工中の首都高速道路中央環状品川線では8kmを1本のシールドで施工している。

c) 大深度化

大深度化にあたっては、大水圧に対する止水技術や立坑築造技術が課題となる。山岳シールドを含めると100m超の深度施工実績を有している。

(3) 特殊技術事例

a) シールドトンネル拡幅技術

道路トンネルで必要となる分合流部での拡幅に対応するため、既設シールドのセグメントから曲線パイプルーフを施工し非開削で拡幅する技術が開発されている。本技術の採用によって、従来開削工法によっていた分合流部も1本のシールドで連続施工することが可能となり、長距離掘進の実現にも寄与する。

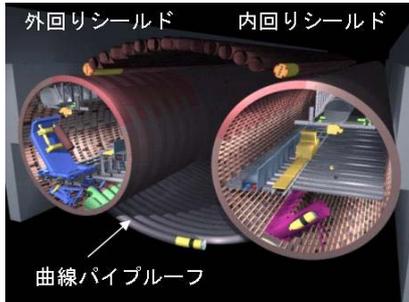


図-7 太径曲線パイプルーフ工法
(出典：(株)小松製作所HP)

b) 地上発進

シールド機を地上から発進し、再び地上に到達させる技術である。小土かぶり区間の地表面の変状を防ぐ泥土圧の管理や側方土圧への対策等が課題となる。交差点立体化(アンダーパス)の急速施工を想定して開発された技術であるが、首都高速道路中央環状品川線では開削工法を想定していた高架構造と地下構造の推移区間で施工者の技術提案により採用され⁴⁾、現在施工中である。

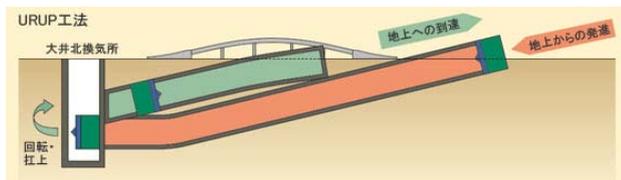


図-8 URUP工法
(出典：(株)大林組HP)

c) MMS T工法(矩形大断面シールド工法)

トンネルの外郭を小型シールドマシンで掘削しつつなぎ合わせ外殻を構成し、内部を掘削することで矩形大断面のトンネルを構築する工法である。首都高速道路川崎線で、限られた用地のなかで道路と共同溝を一体的に構築するために採用され、幅約26~28m、高さ約23~24mの

矩形大断面トンネルを実現している。

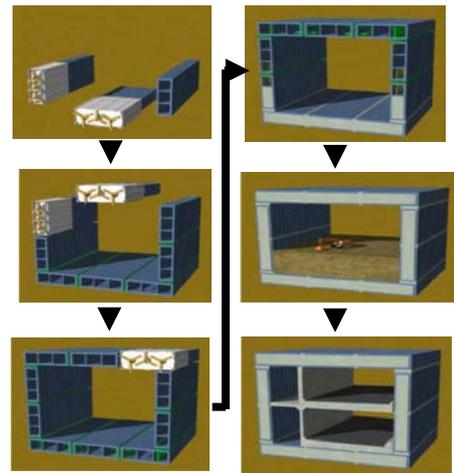


図-9 MMS T工法
(出典：首都高速道路(株)HP)

6. 大深度地下道路整備に係る技術調達の考察

(1) 大規模工事の調達に求められるもの

大規模工事の調達に求められるものとして、以下の事項が挙げられる。

- ・要求する性能要件の明確化
- ・調達方式の決定
- ・高度な技術的内容を含む提案の適切な評価
- ・的確な監督・検査

これらを適切に実施していくには、インハウスの技術力確保体制強化とともに、技術・調達に係わる検討支援及び施工監理・品質管理の一部を支援する第三者の活用を検討も必要である。

(2) 中央環状品川線の工事事例

大規模シールドトンネルの工事発注事例として、首都高速道路(株)が発注し施工中である中央環状品川線シールドトンネル工事の事例について紹介する。

本工事は、実施設計付き工事であり、2段階選抜方式、交渉方式を採用し、落札者の決定は総合評価方式により行われた。また、入札時 VE、契約後 VE の対象とされた。

a) 2段階選抜方式、交渉方式の概要

1次審査において技術提案書・工事費内訳書の提出を求め、技術交渉を実施した上で、総合評価により入札参加者を3者に絞り込んだ上で、2次審査で1次最終技術提案書に対応した詳細工事内訳書の提出を求め、技術・価格交渉を踏まえて提出された最終技術提案書及び入札価格の総合評価により最終落札者が決定された。

技術提案に標準案を設定されず、目的物の構造や性能に関する事項も提案の対象とされた。交渉は1次審査で

は代表断面における構造や施工方法等の技術提案書を中心に技術交渉を2回、2次審査では価格を中心に技術・価格交渉を行うとされた。なお、交渉において変更に応じるか否かは入札参加者の任意とされた。

また、落札者は最終技術提案書に記載した施工方法により契約工期以内に工事目的物を完成させることが求められ、基本性能、基本条件等が変更しない限り設計変更は行われない。⁵⁾

b) 発注者の実施体制の強化

大手建設会社出身のシールドトンネル技術者を2人雇用し「特任施工管理技術者」として配置し、経験豊富な技術者がセグメントの工場製作などの川上段階から監視することで、品質や工程の管理を強化している。⁶⁾

(3) 大規模工事の調達あり方

首都高速道路(株)は民営化会社であり、ここで紹介した方式・手法には国等の適用にあたって検討を要するものもあるが、本事例を参考にしつつ大規模工事の調達のあり方について考察する。

調達方式の検討においては、工事の内容(「立坑」、「本線シールド」、「分岐合流部(地中拡幅)」、「ランプシールド」等)で求められる技術的課題が異なることに留意し、ロットの設定や入札手続きを検討・整理する必要がある。技術的課題を有する工事調達に関して各手法の適用の目的と留意点を表-2に、入札手続きに関する手法の効果・課題について表-3に示す。

表-2 技術的課題を有する工事調達の留意点

手法等	適用の目的	留意点
設計・施工一括発注	民間企業の優れた技術を活用することによる設計・施工の品質確保、合理的な設計、効率性の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・新技術を含む提案に対する履行確実性、安全性等の的確な評価 ・リスク分担の明確化
技術開発・工事一体型調達	技術開発・工事一括型	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎となる研究開発が既に終了しており、開発した技術の工事への適用性等の検証が比較的容易にできることが基本
	技術開発・工事分離型	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に係る不確定要素が高い場合、開発した技術の工事への適用性等の高度な検証が必要

表-3 入札手続きに関する手法の効果と課題

手法等	概要	効果・課題
二段階選抜方式	競争参加者を簡易な技術提案の審査のみで数者に絞り込んだ上で詳細資料の提出を求め、審査・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・企業の技術提案書作成負担軽減 ・発注者の審査・評価に要する負担軽減 ・法令上・行動計画上の整理
事後審査方式	競争参加者に技術提案書と同時に入札書の提出を求め、入札価格が予定価格を下回る者のみを対象に技術提案を審査・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・審査・評価の負担軽減 ・技術提案を受け付ける前に予定価格を作成する必要あり
交渉方式	競争参加者と技術提案書や工事費内訳書の内容について交渉を行った後、改めて技術提案と価格を入札し審査・評価	<ul style="list-style-type: none"> ・交渉を通じて提案内容の向上やコスト縮減が期待 ・法令上の整理 ・政府調達協定において参加者を差別してはならないことが定められている

7. おわりに

日本においては、本年6月に政府がとりまとめた「新成長戦略」において、PFI、PPP等の積極的な活用により民間の知恵と資金を積極的に活用し、大都市圏の道路等の真に必要なインフラの重点投資と魅力向上のための拠点整備を戦略的に進める方針が示された。

当センターは、PPPを含む技術審査・調達方式に関する調査研究や新技術・新工法に対する審査・証明等により、高度な技術を要する大規模プロジェクトの実施に対し、技術的支援を行うこととしている。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局大都市圏整備課大深度地下利用企画室:新たな価値を生む空間大深度地下～動き始めた大深度地下利用～, 2005
- 2) 国土交通省関東地方整備局道路部:大深度トンネル技術検討委員会第2回議事概要,2005
- 3) 特集 最近のシールドトンネル技術, 土木技術 2009年12月号
- 4) 土かぶりゼロからシールド機発進, 日経コンストラクション 2010年5月14日号
- 5) 首都高速道路(株):中央環状品川線シールドトンネル(北行)工事 入札説明書, 2006
- 6) 発注者が施工管理に建設会社OB採用, 日経コンストラクション 2009年2月27日号

