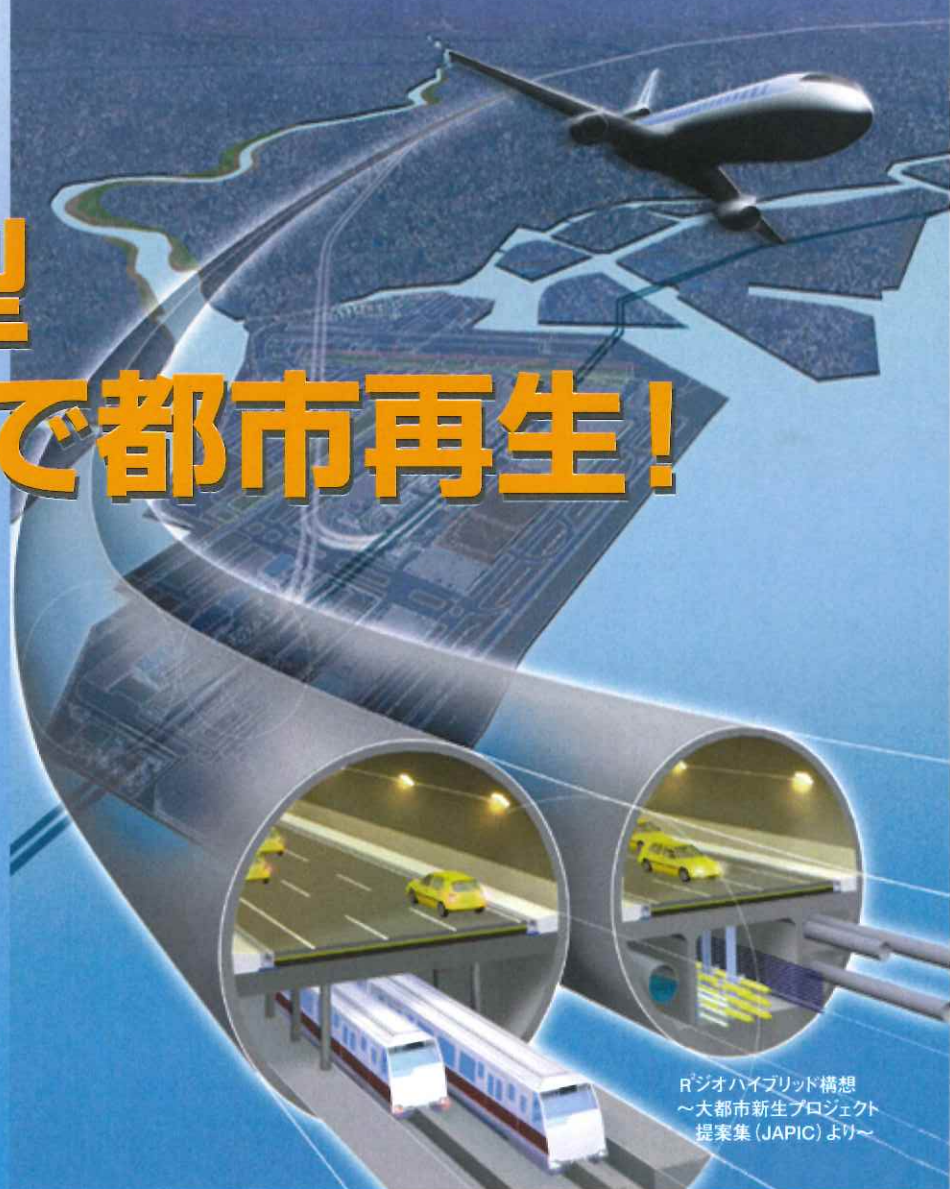




21世紀型 地下利用で都市再生!

首都再生については、古来より政治的目的や機能面の理由から世界各地でしばしば実施されてきた。遷都、首都移転、機能分割、戦災復興などそのスタイルはさまざまだが、近年では特に交通・流通網の整備を目指した都市機能の再生がコースアップされている。そんな状況にあって、2001年4月に「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法(大深度地下法)」が施行された。大深度地下利用については、交通・流通・環境・防災などさまざまなメリットが挙げられる。日本の活性化につながる都市再生が叫ばれる中、いま地下利用が果たす役割は何なのか、最新の掘削技術とともに探ってみた。



ラジオハイブリッド構想
～大都市新生プロジェクト
提案集(JAPIC)より～

再生を求められる首都・東京

東京の国際都市としての魅力低下

政府は2001年5月、交通渋滞の解消、交通・情報基盤整備、廃棄物処理、リサイクル施設整備による循環型システムの構築などを主なテーマに、これらに関する施策を総合的に推進するための機関として「都市再生本部」(本部長・小泉純一郎首相)を設置した。都市再生は政府・与党が同年4月にまとめた緊急経済対策にも盛り込まれており、景気回復の起爆剤としての期待も大きい。

さらに、都市再生が叫ばれている背景には、首都・東京に象徴されるように、ビジネス面はもちろん、生活・環境や海外との交流・連携といった「国際都市」としての機能面において、魅力が低下しているという危機認識が存在する。日本貿易振興会の調査(98年)によれば、在日外資企業の親会社にとっての日本の位

置付けは「販売拠点」が79.4%と最も多く、「アジア地域の統括拠点」という位置付けは、わずか10.5%。これは在外資系企業の77%が集まる東京の位置付けといってもいい。東京のハブ都市(拠点都市)としての評価は、アジアの中でも低下しているのが現状なのである。

石原慎太郎東京都知事も知事就任以来、首都再生のための構想を次々と打ち出し、「東京の危機は日本の危機であり、立ち足かかる危機をなんとかしてでも克服して、力強い東京を、そして日本を再生していかなければならない」と力説し続けてきた。2000年12月に東京都が発表した、生活しやすく、活力と魅力にあふれ、人・もの・情報等が交流する「千客万来の世界都市」をめざした「東京構想2000」も、そうした危機感に根ざしている。

目立つ都市基盤整備の遅れ

例えば、交通基盤ひとつとって見ても、いかに東京が国際都市として弱点を抱えているか

がわかる。国際空港(成田)から都心にアクセスするのに40分以上かかるのは、世界の主要都市の中で東京だけである。

首都圏での長時間の通勤混雑や慢性的な交通渋滞は解消されておらず、また自動車の排気ガスなどによる大気汚染などの問題も抱えている。東京では交通渋滞による経済的損失が年間4兆9千億円ともいわれ、首都圏における交通基盤の未整備が高コスト体質の一因となり、日本の国際競争力低下を招いているという指摘もある。

大深度地下利用で都市が変わる!

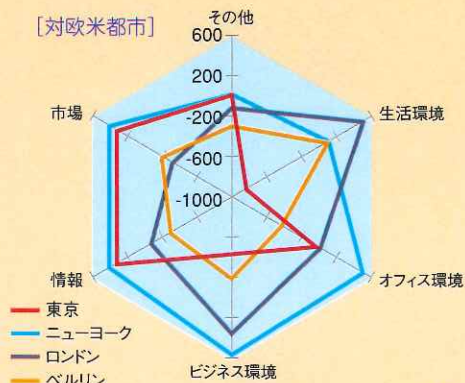
大深度地下法で弾みがつく地下利用

東京都は「東京構想2000」をめざして、国土交通省とともに、1970年に計画が凍結された東京外郭環状道路の検討を浮上させている。大深度地下法(コラム1参照)の適用による大深度地下利用を視野に入れた「道路の地下化」

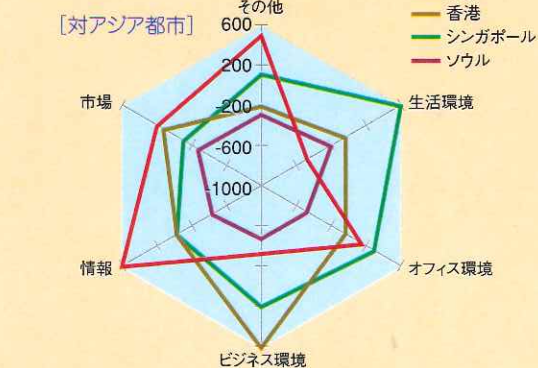
◆低下傾向にある国際都市・東京の魅力

■海外主要都市との都市の魅力度比較

〔対欧米都市〕



〔対アジア都市〕



〔調査項目の内訳〕

市場：市場規模、市場の成長性、事業参入
情報：市場情報、技術情報
ビジネス環境：仕入れ・販売ルート、労働力の質、経営コスト、空港アクセス、資金調達
オフィス環境：オフィス賃料、オフィス設備、交通網、通信網住宅
環境：住宅、生活周辺環境、教育環境、物価
その他：企業イメージ、治安

◆環状道路の整備状況(東京・ロンドン・パリ・ベルリン)

— 環状道路(併用中)
— 環状道路(計画中)
— その他の高速道路
— 主要一般道路

東京圏



人口(外環状道路内): 2,942万人
人口密度(外環状道路内): 3,690人/km

計画延長	併用延長	整備率
518km	105km	20%

注: 道路網、人口ともに平成10年時点

ロンドン



人口(外環状道路内): 874万人
人口密度(外環状道路内): 2,123人/km

計画延長	併用延長	整備率
187km	187km	100%

注: 道路網は2000年、人口は1997年時点

パリ



人口(外環状道路内): 852万人
人口密度(外環状道路内): 4,442人/km

計画延長	併用延長	整備率
320km	236km	74%

注: 道路網は1998年、人口は1990年時点

ベルリン



人口(外環状道路内): 405万人
人口密度(外環状道路内): 1,425人/km

計画延長	併用延長	整備率
222km	213km	96%

注: 道路網、人口ともに1998年時点

資料: 「東京都市白書2000」東京都/平成12年4月

も想定している。

東京外郭環状道路に本法が適用されれば、これまでのように用地買収だけで何年もかかるということもなくなり、さらに最短コースのルート設定も可能となる。

この法律の施行により、環状道路のみならず、大都市圏における公共的・公益的な大深度地下利用が提案されている。

大深度地下法とは？

コラム
1

正式には「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」という。2000年5月成立、2001年4月施行。大都市の大深度(地下40m以深または支持地盤10m以深)で公共事業を行う場合、原則的に地上の土地の所有者に対する補償をしなくてもよいと規定する法律。対象は東京・大阪・名古屋の3大都市。バブル期の88年に閣議決定された「総合土地対策要綱」において法制化が提言された。大深度地下利用に関する法律が制定されたのは世界初である。

例えば、(社)日本プロジェクト産業協議会(JAPIC)加盟のゼネコン、商社など各社の提案として、「ジオ・スーパークロスハイウェー構想」など交通幹線ネットワークの構築に関するプロジェクトがある(コラム2参照)。その内容は、80年代後半のバブルにおける地価高騰を背景としたジオ・フロントブームで提出された地下都市的な構想とは異なり、首都圏の生活環境の整備や国際競争力の強化を図るため、現実性を視野に入れた構想となっているのが特徴といえる。

21世紀の新技术を活用した地下利用で未来を切り拓く

大深度地下利用を地上の補完的な役割と捉える旧来的な考え方ではなく、もう一歩踏み込んで積極的に都市を変えていこう、という声も上がり始めている。

「地上にあって邪魔なものを、地上の緑の保全や景観保全などのために、地下に押し込めてしまおうという発想は、もう古い。今は都市の国際競争力を増すための地下利用を考え

なければならず、地下に必要なものを地下に置くという発想が必要」と(財)エンジニアリング振興協会(エン振協)の宮川彰彦・地下開発利用研究センター理事はいう。

エン振協の地下利用開発研究センターは「21世紀に実現するエンジニアリングを基にして、21世紀に求められる都市の役割を創っていく」というコンセプトに沿った「大都市新生プロジェクト」を提案している。

その中の「都市域分散型エネルギーネットワーク構想」(コラム3参照)などは、今後普及が予想される分散型電源とクリーンエネルギー「水素」をネットワークで結びつけるという、まさに21世紀型地下利用といえる構想である。

液化水素は海外の安価な電力を利用して製造したものを使い、東京湾沿岸の貯蔵基地から都心まで高圧ガスパイプラインにより導入する。地下利用については、高圧幹線は大深度地下法の適用で最短直線ルートとし、各幹線から分散電源までは、通常の共同溝方式としている。この構想は水素という新しいエネル

◆ゼネコン各社による大都市新生プロジェクト構想



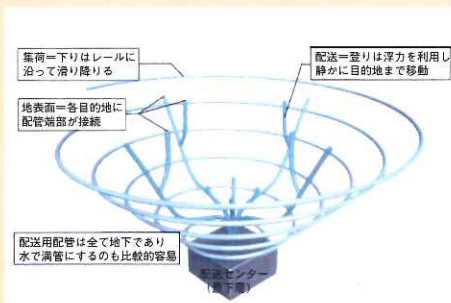
幹線高速道路の総合的再構築と、大深度地下を利用した複合多機能空間を有した都市機能の再生を目指す(ジオ・スーパークロスハイウェイ構想)



下水とゴミを大深度ネットワークにより効率的に処理場まで搬送する(地下一般廃棄物処理場の提案)

無動力多頻度少量輸送システム「ジオネッコ」

深さを利用し、集荷は引力で、配送は浮力で行う、という動力を使わないユニークな輸送システム「ジオネッコ」を提案しているのは「ジオ・トルネード・ネットワーク構想」。大深度地下に作られた配送センターから上層部に向けて水で満たされた配管が伸びていて、コンビニ、大型事業所といった地上の拠点と直結している。荷物は耐圧防水カプセルに入れられ、浮力によって各拠点へと自動的に届く。また、集荷用のレールは螺旋状に一定勾配で下っており、カプセルに入れられた荷物は重力で地下の配送センターへと「転がって」いく。



ギー需給面に対応したものだが、このような社会変革に対応した現実的で生産的な構想には関心が湧く。

世界のトップを走る掘削技術

期待がかかるシールド工法

こうした大深度地下を利用した構想は着々と進められているものの、大深度地下利用を可能にする掘削技術が未熟であれば、それらの構想は絵に描いた餅に終わってしまう。その点において、89年に英仏海峡トンネル工事に日本の土圧式シールドマシン(コラム4参照)が採用されたように、日本の掘削技術、特に大深度地下の掘削に不可欠なシールド工法技術は世界でもトップクラスと評価されている。

今後の大深度掘削においては、品質確保はもとより、より安全で低コストなシールド工法の開発や大断面・高効率なシールドマシンの開発が求められる。

具体的な課題としては、①大深度化(シ-

ールドマシンのシールド、発進・到達方法、排土機構など)、②大断面化(シールドマシンの方向制御、セグメント継手、組み立て方法)、③長距離化(掘削土搬出、セグメント運搬、ビット補

都市域分散型エネルギーネットワーク構想とは?

わが国の大都市はエネルギーの有効利用率が低く、北欧や中欧先進国の約半分にとどまっています、民生部門と運輸部門のエネルギー損失は都市の大きな課題となっている(右下の表)。構想では、分散型電源とクリーンエネルギーである水素をネットワークで結び、低コスト・高効率の



修交換など)、④地中障害物対応(既設構造物の基礎杭、流木等)、⑤施工時における環境への配慮(地上仮設のコンパクト化、騒音・振動の低減)などが挙げられる。

続々と登場する新工法

大深度の掘削については、わが国では、すでに都営12号線(大江戸線・最深部42m)などの施工実績を積み重ねており、「いつでも掘れる自信がある」とゼネコン各社は口を揃える。また、トンネルにおける規模、自動化・省力化、コスト削減など多様なニーズに対応するシールド工法も次々と開発されている。

掘削工事費は通常、掘削距離とともに断面面積に比例するため、使用目的に合った形状を保ちつつ、できる限り小さな断面で掘ることが求められる。

こうした断面形状に関する要求に対し、異形断面を創造できる工法が数多く登場している。例えば、複数の円形断面を組み合わせる多様な断面を掘ることができるMF(Multi-circular Face)工法、複数の円形断面を上下、左右等任意に組み合わせる最適断面形状を選択できるDOT(Double-O-Tube)工法、複円形トンネルの旋回・分岐に対応できるH&V工法(Horizontal variation & Vertical variation)などがその例である。

異形断面の最新工法としては、首都高速道路公団が川崎縦貫線の一部(約540m)で採用したMMST(Multi-Micro Shield Tunnel)工法がある。この工法はトンネル外殻

電力・熱・燃料の供給を図ろうというものである。

分散型電源のネットワーク化は各地点でばらばらな電力および熱需要に対して平準化を図ることができ、水素を使うことで環境負荷も軽減できる。

具体的には水素を燃料とする固体高分子型燃料電池(PEFC)、それにマイクロ水素タービンを使用した分散型電源を使う。水素を燃料としたマイクロガスタービンのエネルギー効率は60%以上(発電端効率)、水素ガス燃料電池では90%以上(発電効率)が期待できるとしている。

わが国の大都市のエネルギー消費構造

有効エネルギー			34%
エネルギー損失 66%	需要部損失 32%	民生部門損失	7%
		運輸部門損失	12%
	転換部損失 34%	産業部門損失	13%
		発電損失 その他損失	25% 9%

部を複数の単体シールドで先行掘削し、それらを相互に連結、外殻となる壁体を構築した後、内部土砂を掘削する方式である。断面変化にも対応でき、シールドを大きくすれば、地下大空間を構築することも可能となる。「川崎縦貫線では高さ22.5m×幅26.5mのトンネルになりますが、これだけの断面トンネルは初めてのこと。大深度を使った流通ネットワークにおいて、結節点に作られるターミナルのような地下大空間を構築するときも、MMSTはひとつの選択肢になると思います」(大成建設(株)・土木技術部)。

画期的な上向きシールド工法

シールド工法の中でも、地下トンネルからシールドマシンが地上に向かって掘進するという世界初の「上向きシールド工法」も最近、開発されて注目を浴びている。

これまでに方向自在にトンネルを掘る工法としては、シールドマシン内部にカッター装置を内蔵した球体を回転させることにより、ヨコヨコ、タテヨコの掘削が可能な「球体シールド工法」が開発されている。



国内最大(外径14.18m)のシールドマシン

しかし、この工法でのタテヨコのタテは地上部から地下に向かう縦であり、地下から地上部への縦ではない。

「基本的に重力に逆らって上に掘るというのは非常にむずかしい。それに予期しない土も落ちてきますから、隔壁内の土の圧力管理も非常に困難です」(石川島播磨重工業(株)・シールド設計グループ)。

この課題に対する解決策の一つがピンチバルブである。これは排土管内面にゴムスリーブを内蔵した排土機構で、管の中にゴム風船が入っていると想像してもらえばわかりやすい。ゴム風船が膨らめば土は入ってこないし、縮めれば入ってくる。管の中に送る空気量を調整することで、土圧や土量を管理する仕組みである。

地上部には到達立坑が構築されるが、地上作業時間は、従来工法の約6分の1で済み、地上に到達したシールド機はそのまま大型クレーンで回収されて再利用される。

従来工法のような、長期間にわたる道路占用や工事に伴う騒音・振動の発生も避けることができる。2000年9月に着工した万代～阪南

幹線(大阪府)の下水道渠築造工事に上向きシールド工法が使われたが、最深部立坑(土被り約33m)の施工では3週間余りで地上に到達。困難な大深度垂直掘削が短時間で可能となることを証明した。



上向きシールドマシン



シールドマシンのUターン現場

世界初! 13m級シールドマシンのUターン

シールドマシンの進化もめざましい。坑内作業現場の安定や資材組み立て効率化の課題を克服して、大口径のシールドマシンも珍しくなくなった。現在、国内最大径(世界4位)のシールドマシンは営団7号線(帝都高速交通公団)の工事で使用された、外径14.18mの抱き込み式親子泥水シールドマシンである。

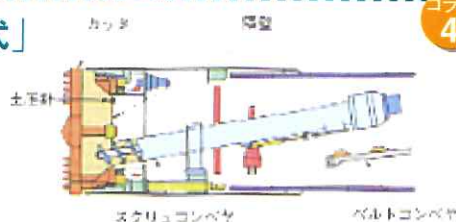
最近にはさらに、急カーブ、急傾斜、長距離、高速といった付加価値を加えたマシンの開発競争という観も呈している。

距離に関しては、カッタービット(カッターフレームに取り付けられた、地盤を直接掘削する部分。材質はタングステンカーバイド)の摩耗により、1台で2kmが限度と言われていた。しかし、ビット交換が可能なシールドマシンが登場し、すでに1台で5km以上の掘削も可能となっている。

コスト削減もシールドマシンが避けては通れない課題だが、「動かし方」で低コスト化を図った例もある。2001年6月、ほぼ全線が地下道路である中央環状線新宿線の工事(西新宿シールドトンネル)で使用された外径13.23mの

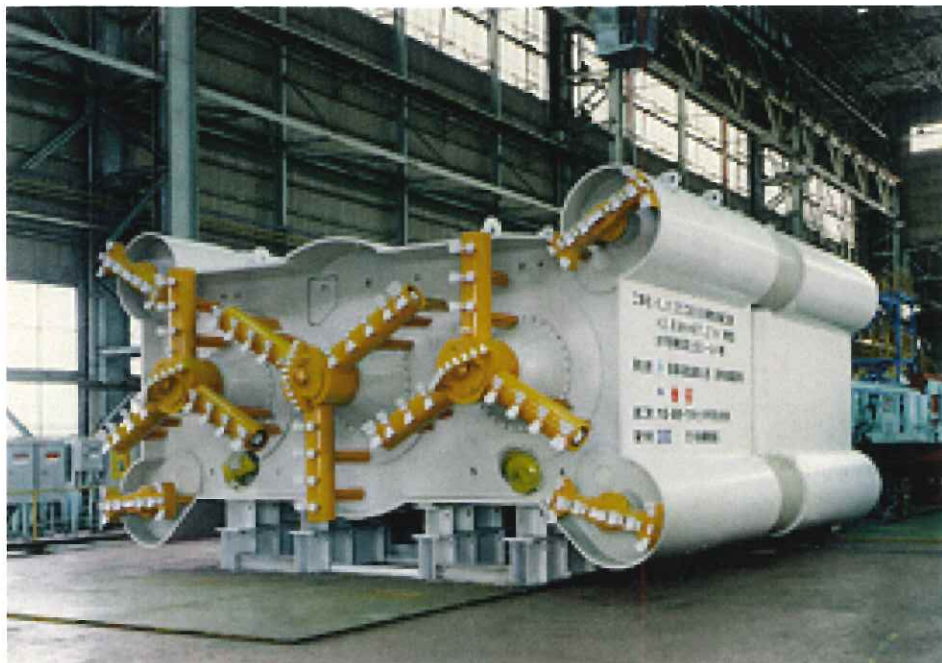
シールドマシンの主流「土圧式」

現在、シールドマシンの主流となっているのが日本独自の発想により74年に開発された「土圧式シールド」である。土圧式はカッターヘッドの後方に隔壁を設け、スクリュコンベアで排土する仕組みになっていて、隔壁内の掘削土を攪拌泥土化し、それに所定の圧力を加えることによって、掘削面の土の安定を図ったものである(これを泥水で行うのが泥



水式)。土圧式および泥水式の密閉型シールドマシンによって、シールド工法は大規模なトンネル工事や施工条件の厳しい工事に欠かせない存在となった。

コラム
4



MMSTシールドマシン

シールドマシンのUターンが話題となった。「マシンは地下を約600m進み、別に施工してあった回転立坑の中で回転、方向転換し、再発進して先行トンネルと並行に掘進して戻り、双設トンネルとなります。外径が10mを超えるマシンのUターンは世界初です」(首都高速道路公団・広報課)。

このマシンはセグメントの自動組み立てロボットが付いていて1台の値段は60数億円するという。もし従来のように600mの双設トンネルを2台で掘削するとなると、工期は短くて済むが約倍の130億円かかることになる。Uターン費用は約3億円程度で済み、時間がかかるにしても、2台使うよりは、はるかに低コストで双設トンネルを掘ることができる。

Uターンは直径90mmの鋼製ベアリングを千個以上敷き詰めた上にシールドマシンの載った台座を置き、それを2台のジャッキで1分間に10cmずつ動かし、3日かけてUターンさせた。Uターンを手がけた石川島播磨重工業(株)によれば、「外径6mくらいまでなら、エアキャスターで持ち上げられるが、数千トンある13mクラスでは無理。動かすのは船の進水式がヒントになった」という。ここでは造船業で培われたアイデアと技術が生かされた。

大深度地下利用における鉄鋼の可能性

大深度地下における鉄鋼の可能性はどうか。鋼とコンクリートの合成構造により、高強度、高剛性、高せん断性、高真円度、そし



DOT(多連形泥土圧)シールドマシン

て高い止水性を実現した世界初のボルトレス鋼棒嵌合方式「NMセグメント」を開発した新日本製鐵(株)・建材開発部・中村稔部長代理はこう語る。

「トンネルでは覆工(壁体)の耐久性が問われます。大深度地下の場合、問題は地下水。深くなるほど水圧は高くなり、地下水(漏水)対策がより必要となるでしょう。コンクリートは圧縮には強いが引っ張りには対応できず、亀裂が生じやすい。鉄は圧縮にも引っ張りにも強い材料ですが、びくという欠点がある。しかし、鉄は土中ではほとんど進錆がありませんし、恒久的な防対策も必要ありません。また、鉄は塑性変形にも追従できますが、コンクリートは破断します。鉄の特性を生かして、壁厚も薄くでき、コストも下がります。強度、耐久性、施工性をトータルで考えれば、大深度地下は鉄の利用が有効に活用できる領域と考えております」。

また、エン振協の宮川氏は、「鉄は変形するが、周囲の変形を吸収することができる。例えば、



NMセグメント

予想を超える巨大地震が起きても、地下設備が鉄なら、材料の塑性領域でカバーでき、設備は破壊されても人命は救助することができる。これは都市の伏在断層対策として、これから非常に有効になる」という。

以上、都市再生に向けて地下利用の果たす役割、最近の動き、最新の掘削技術・工法を中心に見てきた。将来、地下利用はさらに進展していくと推測される。一方で、今後新たな種々の課題も表面化することが予想される。掘削技術・工法のみならず、地盤調査・検層技術、地下環境などの地下モニタリング技術や維持管理技術、人間の生理・行動に関する技術など、種々の技術のより一層の高度化が大深度地下利用の実現に求められよう。

<添付資料>

■参考文献

『東京都市白書2000』(東京都)、『大都市新生プロジェクトの実現に向けて～地下を利用した大都市新生プロジェクト提案集～』(日本プロジェクト産業協議会)、『地下を利用した大都市新生プロジェクト構想 提案書』(エンジニアリング振興協会)『土木施行 2001 5月号』(シールド工法技術協会)

■取材協力・写真提供

財団法人エンジニアリング振興協会(地下開発利用研究センター)、社団法人日本プロジェクト産業協議会(JAPIC)、東京都都市計画局、首都高速道路公団、石川島播磨重工業株式会社、株式会社大林組、鹿島建設株式会社、新日本製鐵株式会社、大成建設株式会社、戸田建設株式会社、日本鋼管株式会社、株式会社間組、前田建設工業株式会社