

## 第5章 大深度地下利用に関する技術開発

### 5. 1 技術開発の視点

ここまで、地下利用に関する動向を踏まえ、今後の地下利用の方向を整理し、大深度地下施設実現に当たっての利用課題の整理、技術的対処の必要性について述べてきましたが、よりよい地下施設の実現には、地下施設の[計画]、[構築(つくる)]、[利用(使う)]の各段階に対する適切な配慮が必要です。

したがって、地下利用の課題については、施設の事業者(設計者など)や利用者の視点に立って、これら各段階における技術的課題を適切に把握し、その解決に向けた技術開発を行う必要があります。

これらを踏まえると、大深度地下利用に関する技術開発の視点は、以下のようにまとめられます。

#### ■大深度地下利用に関する技術開発の視点

- ① (浅・中深度と同等以上に) よりよく・安全に使うための技術開発
- ② (浅・中深度と同等以上に) 環境に配慮してよりよく作るための技術開発
- ③ (大深度地下利用を) 適切に評価するための技術開発

### 5. 2 技術開発の検討条件

技術開発の検討にあたっては、現状の大深度地下に相当する深さの地下の利用の現状などを踏まえた上で、前述の今後の地下利用の方向も考慮し、検討条件を設定し、検討テーマの抽出及び具体的な技術開発項目について検討を行いました。具体的な検討条件としては、大深度地下の特徴を生かし、都市再生への利用ニーズが想定される線状(トンネル系)幹線施設並びにこれらと地上との連絡施設を主な検討対象施設とし、以下のように設定しました。

#### 検討条件

- ①利用する大深度の範囲；地下40mから概ね100m
- ②設置する施設  
；外形15m程度のトンネル(典型的には単円形シールド、検討テーマによっては点的施設も含め他の工法、形態も想定)
- ③施設利用の目的  
；大深度地下法の対象事業(道路、河川、鉄道、電気、ガス、水道、下水道等)
- ④利用する地盤の土質等  
；支持層以下の土丹層または砂礫層(検討テーマによっては地下水位を含めさらに詳しく検討)

## 5. 3 技術開発の方向性

技術開発の3つの視点に基づき、先に整理した大深度地下利用の課題に対して、技術的に対応すべき技術開発の方向性を整理すると以下のようになります。

### ①（浅・中深度同等以上に）よりよく・安全に使うための技術

大深度地下利用にあたっては、深さのデメリットを克服するために、まず浅・中深度同等以上に利用者の安全、利便性、快適性に配慮する必要があります。

このため、快適な内部空間を設計する技術や、地上環境の改善にも配慮した換気技術、避難・救助・消火等の活動が制約されることに対する防災対策技術、人や物の安全で効率的な垂直移動や垂直・水平の組み合わせ移動のための移動方策技術等について、技術開発を進める必要があると考えられます。

また、作り直しが非常に困難であることから、長期的な耐久性や維持管理についても技術開発を進める必要があります。

このように、地下施設をよりよく・安全に使うために必要な技術開発の分野としては、以下の分野が考えられます。

- ・内部空間の設計技術（空間設計技術、内部環境向上技術）
- ・換気・排煙設備技術（換気技術）
- ・防災・避難設備技術（防災システム）
- ・移動・物流システム技術（垂直輸送システム、移動・物流システム）
- ・長期耐久性（耐久性、維持補修）技術（シールドトンネル、躯体構造物）

### ②（浅・中深度同等以上に）環境に配慮してよりよく作るための技術

大深度地下利用にあたっては、利用者の安全、利便性の確保とともに、地下利用が環境に与える影響についての適切な配慮や影響の制御、求められる空間をより合理的に構築する技術開発の検討が求められます。

このため、地下施設を適切かつ合理的に設計するためのシールドトンネルや立坑の設計技術、地下の地盤の状況や環境への影響を適切に把握するための調査・解析技術、地盤沈下などにつながる地下水変動を適切に制御するための技術などの開発が必要と考えられます。また、地上とのアクセス部となる立坑やより大規模な地下空間を合理的に構築するための技術、施設ごとの空間ニーズにあった形状の地下空間を安全かつ高速で合理的に構築するためのトンネル構築技術、地下を掘削することにより発生する大量の土砂を環境負荷を小さくしつつ、合理的に処理するための技術などの環境に配慮してよりよく作るための技術開発が必要と考えられます。

- ・大深度地下の実態に即した設計、計測、調査・解析技術（施設設計、地質調査解析、施工中の調査・計測、環境アセスメント）
- ・地下水制御技術（地下水制御）
- ・立坑構築技術（立坑の掘削）
- ・空間構築技術（大規模空間構築）

- ・トンネル構築技術（長距離高速掘進、新しい掘削技術、トンネルの分岐・拡幅、多様断面トンネル）
- ・立坑・トンネル掘削に伴う発生土の処分、活用技術（発生土の排土・処理・輸送）

### ③（大深度地下利用を）適切に評価するための技術

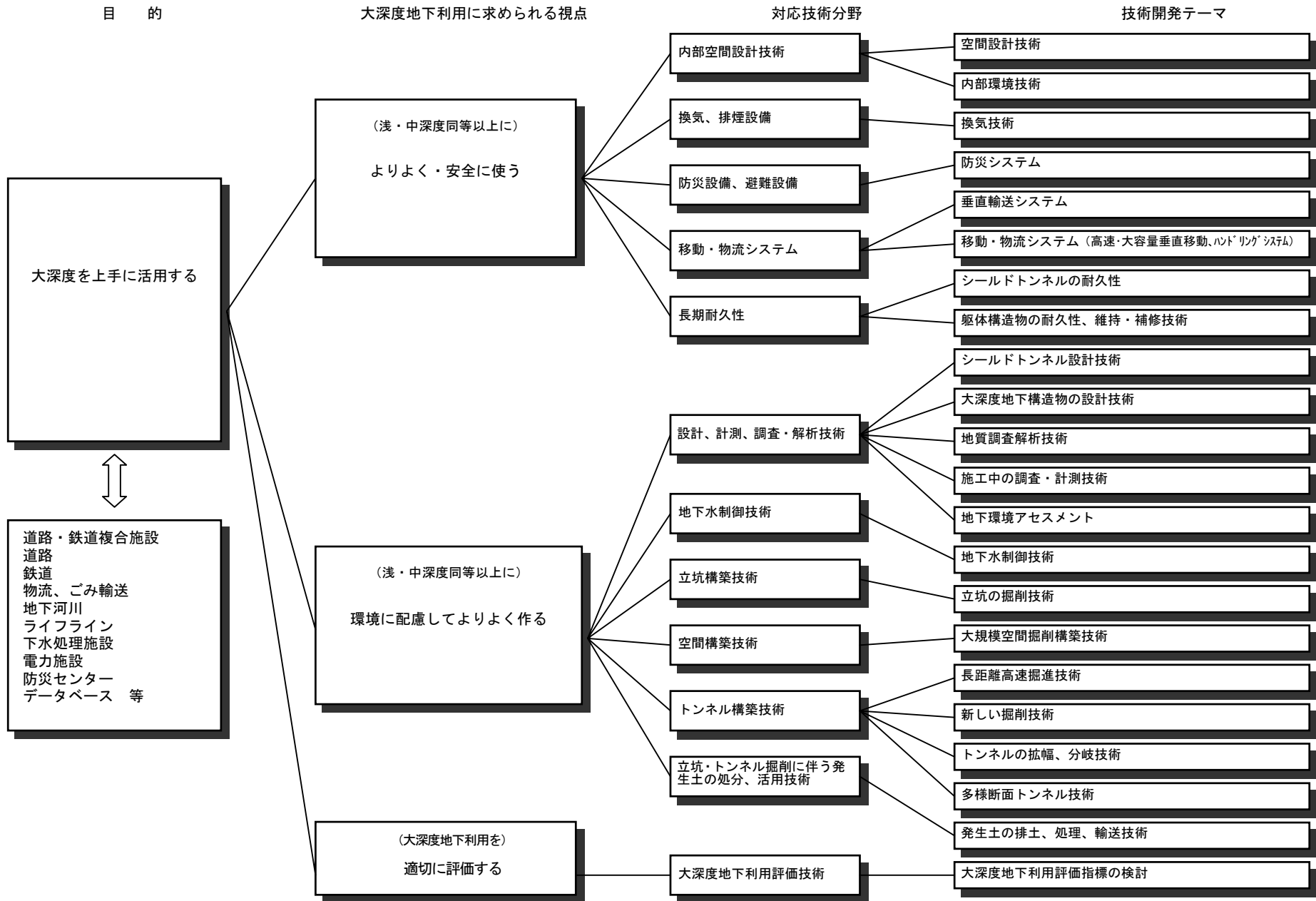
大深度地下利用は、浅・中深度に比べて一般に建設コストは増加しますが、一方では、浅・中深度では実施困難な事業が可能となることや地上環境への影響を軽減できるなど、有利な点も考えられます。大深度地下利用にあたっては、その事業による効果及び周辺環境への影響等について、地上利用や浅・中深度地下利用と適切に比較するための評価手法に関する技術が必要とされます。

- ・大深度地下利用評価技術（大深度地下利用の評価指標）

3つの技術開発の視点「よりよく・安全に使う」、「環境に配慮してよりよく作る」、「適切に評価する」と技術開発の方向性を整理すると、次ページのように12の対応技術分野と22の技術開発テーマにまとめられます。

これらテーマは事業の計画、構築、利用の各段階に対応したものであり、大深度地下利用全般にわたる技術的課題に対応したものとなっています。

■大深度地下利用の技術的課題



## 5. 4 大深度地下利用に必要な技術開発の概要

地下施設のような構造物は、様々な個々の技術の組み合わせによって実現されます。したがって、各技術開発テーマごとに、今後の大深度地下利用において求められる技術開発の着目を整理し、必要となる具体的な技術開発の項目について検討を行いました。

### 視点1：よりよく安全に使うための技術項目

#### ①空間設計技術

大深度地下空間利用者の心理的負荷を軽減するため、人間の心理環境及び行動特性を考慮した空間設計技術の開発が必要と考えられます。

具体的には、地下空間の迷路性を改善するための歩行者に対するナビゲーション技術や災害時の情報提供・誘導技術、移動弱者にも安全なバリアフリー化技術などが考えられます。

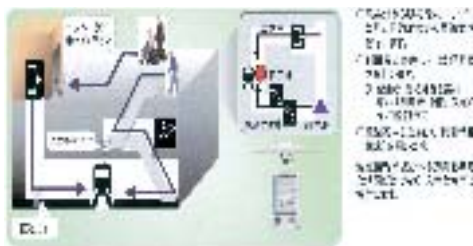


図 5-1 ナビゲーションシステムの例<sup>15)</sup>

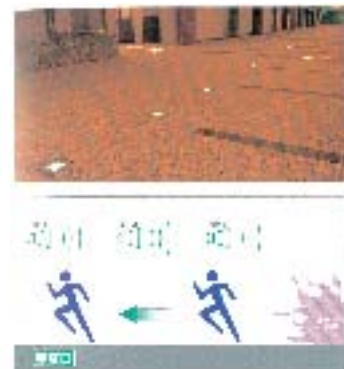


図 5-2 光と音による避難誘導システム<sup>16)</sup>

#### ②内部環境技術

大深度地下空間の特性に配慮した、よりよい地下空間環境を実現するため、地下空間を構成する各環境施設に関する技術開発が必要と考えられます。

具体的には、快適な光・視環境形成のための省エネルギー・低発熱・長寿命のLED面発光照明などの技術が考えられます。

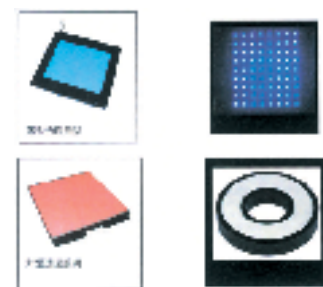


図 5-3 LED 面発光照明<sup>17)</sup>

#### ③換気技術

施設の大深度化・長距離化・大規模化にあわせ、より快適な地下空間形成や地上環境改善のため、換気技術のさらなる開発が必要と考えられます。

具体的には、安全な内部環境維持や地上環境の保全のための集塵、脱硝技術が必要と考えられます。

#### ④防災システム

大深度地下と地上との空間的隔たりや濃煙等により消防活動が制約されることなどに配慮した防災対策技術の開発が必要と考えられます。

具体的には、非接触型認識技術による残留者位置確認システムや大深度で一時的に避難できる一時滞留避難施設、早期火点検知システム、煙流動制御などの技術の開発が必要と考えられます。



図 5-4 ウォークスルー型耐火スクリーン<sup>18)</sup>

#### ⑤垂直輸送システム

大深度地下へのアクセス性を高めるため、高速かつ大容量の人の移動を可能とする技術が必要と考えられます。

具体的には、連続輸送可能なリニアモーターを利用した垂直輸送システムや急傾斜エスカレータ、地上出入口を設置位置の自由度確保のための急傾斜シールド工法などの開発が考えられます。

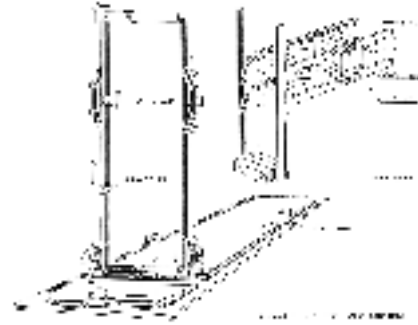


図 5-5 リニア垂直輸送システム<sup>19)</sup>

#### ⑥移動・物流システム

大深度地下を利用した地下物流システムの実現には、車両・貨物などを高速かつ大量に効率よく輸送・ハンドリングするため、物流システムの開発が必要と考えられます。

具体的には、エレベータ・クレーン技術を融合させることによる輸送システムの高速度化や循環機構による大量化の技術などが考えられます。



図 5-6 コンテナホイスト<sup>20)</sup>

#### ⑦シールドトンネルの耐久性

大深度地下施設の維持管理の困難さに配慮して、シールドトンネルの耐久性や維持管理に関する技術開発が必要と考えられます。

具体的には、高耐久性セグメントやライフサイクルコストに配慮した耐久性設計手法の開発などが考えられます。

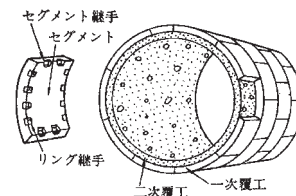


図 5-7 シールドトンネルの構造<sup>21)</sup>

#### ⑧躯体構造物の耐久性、維持・補修技術

シールド工法以外の大深度地下構造物についても、耐久性や維持管理、補修や再生するための技術開発が必要と考えられます。

具体的には、地下構造物の長寿命化のためのひび割れの発生しにくいコンクリートやライフサイクルコストに配慮した耐久性設計手法の開発などが考えられます。

## 視点 2：環境に配慮してよりよく作るための技術項目

### ⑨シールドトンネル設計技術

より合理的に大深度地下でシールドトンネルを構築するために、堅く締まった大深度地下の地盤特性を適切に考慮した設計手法の開発が必要と考えられます。

具体的には、大深度地下シールドトンネルの実測データに基づく既往の設計手法の検証と適切な地盤特性評価手法の開発が必要と考えられます。

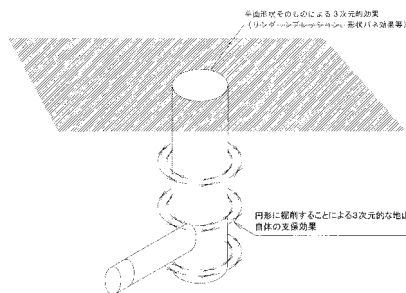


図 5-8 大深度地下の特性を考慮した設計手法のイメージ

### ⑩大深度地下構造物の設計技術

地上とのアクセス部となる立坑や良好な地盤で採用が想定される NATM 工法による大深度地下施設をより合理的に構築するために、堅く締まった大深度地下の地盤特性を適切に考慮した設計手法の開発が必要と考えられます。

具体的には、立坑や NATM 工法トンネルの大深度地下の実測データに基づく既往の手法の検証と適切な地盤特性評価手法の開発が必要と考えられます。

### ⑪地質調査解析技術

私有地の地下など地上から地盤を調査することが不可能な場合への対応など、大深度地下利用の特徴に配慮した地盤調査技術の開発が必要と考えられます。

具体的には、調査位置の直上の土地が確保できない場合にも対応可能な曲線的なボーリングやトモグラフィ、地表から調査可能な浅層反射法などの調査技術、地盤状況の 3 次元表示などを可能とする既往ボーリングデータに関するデータベースの構築が必要と考えられます。

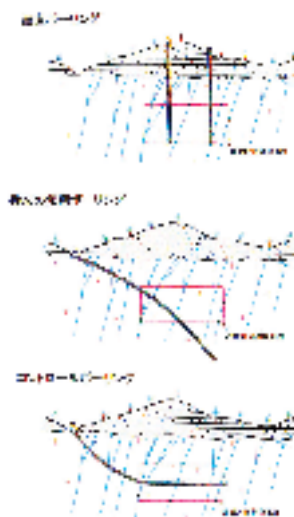


図 5-9 コントロールボーリング



図 5-10 モンタージュによる地盤の 3 次元表示<sup>22)</sup>

## ⑫ 施工中の調査、計測技術

安全かつ合理的に大深度地下施設を施工するため、施工中の地下から直接地盤などの情報を調査、計測するための技術が必要と考えられます。

具体的には、施工中のリアルタイム計測技術や施工後の管理を合理的にするための長期対応計測技術などの開発が必要と考えられます。

## ⑬ 地下環境アセスメント

大深度地下開発が周辺環境に与える影響について適切に、調査、予測、評価、モニタリング、対策することが必要と考えられます。

地下水流予測技術など地下水の質的・量的変化を調査、予測する技術、地盤や構造物などの変状を観測する技術などの開発が必要と考えられます。

## ⑭ 地下水制御技術

地下開発による地下水の変動は井戸枯れや地盤沈下につながるため、地下水の変動を適切に調査、計測し、対策を行うための技術開発が必要と考えられます。

具体的には、地盤沈下や地下水変動を回避するための地下水モニタリング技術やシールドトンネルの止水技術のさらなる開発が必要と考えられます。

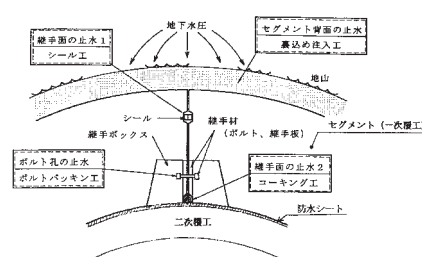


図 5-11 セグメントの止水 23)

## ⑮ 立坑の掘削技術

大規模な大深度地下施設を実現するためには、シールドマシンの発進や地上とのアクセス部となる立坑の大深度化への対応が必要と考えられます。

具体的には、大深度立坑の効率的な構築のための自動化技術や合理的に立坑を構築するための材料開発などが必要と考えられます。

## ⑯ 大規模空間掘削構築技術

これまで以上に大規模な地下空間を実現するためには、施工技術のみならず設計及び周辺環境等への影響などを含めた技術の開発が必要と考えられます。

具体的には、大規模な空間を掘削するための地山の補強技術や周辺への影響解析手法の開発などが考えられます。

## ⑰ 長距離高速掘進技術

大規模な地下施設を効率的に構築するためには、シールドトンネルの長距離化、高速化に向けた技術開発が必要と考えられます。

具体的には、各機器の高耐久化による長距離シールドマシンの開発や高速かつ大量の資材・土砂搬送技術の開発が必要と考えられます。



図 5-12 長距離シールド



### ⑩新しい掘削技術

より合理的に大深度地下施設を構築するためには、大深度地下の地盤特性に配慮した、新しいトンネル構築技術の開発が必要と考えられます。

具体的には、複数の地盤に対応した複合地質型シールドマシンの開発や山岳工法とシールド工法を組み合わせた新しい掘削工法などの開発が望まれます。

### ⑪トンネルの拡幅、分岐技術

道路や鉄道などのネットワーク構築のためには、地下でトンネルを拡幅、分岐させる技術が必要になると考えられます。

具体的には、拡幅・分岐部に山岳工法や補助工法を併用した技術、分岐可能なシールドマシンの開発などが考えられます。

### ⑫多様断面トンネル技術

大深度地下空間を効率的に利用するため、単円形以外の断面形状のトンネルを合理的に構築するための技術が必要と考えられます。

具体的には、単円系に対し、同じ断面積を小さい高さで確保することができる非円形・多円形シールドトンネルなどの開発が考えられます。

### ⑬発生土の排土、処理、輸送技術

大規模な大深度地下施設の施工では、大量に発生する土砂を周辺環境に配慮して、より効率的に処分することが重要と考えられます。

具体的には、効率的で環境負荷の小さい土砂運搬のための輸送技術や土砂処理のためのリサイクル技術の開発が必要と考えられます。

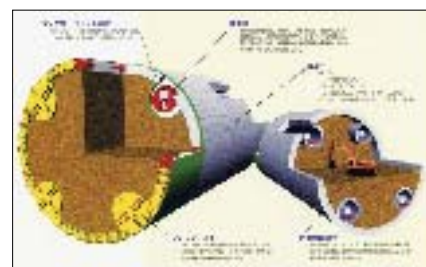


図 5-13 山岳工法とシールド工法の融合の例 24)

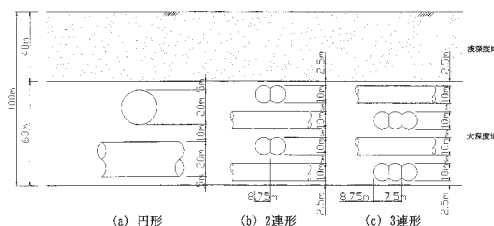


図 5-14 多様断面トンネルの合理性



図 5-15 多様断面による地下利用



図 5-16 新しい土砂運搬方法の事例 25)

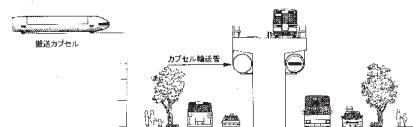
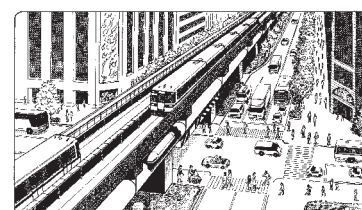


図 5-17 新しい土砂運搬方法のイメージ

### 視点3：適切に評価するための技術項目

#### ②大深度地下利用評価技術

大深度地下利用にあたっては、建設費だけでなく、地下利用による地上環境の改善などを含めて、大深度地下利用を全体として適切に評価する必要があると考えられます。

具体的には、地上の大気、騒音に与える効果や景観、土地の有効利用や大深度地下施設の耐震性などによる効果を適切に評価するための手法の開発が必要と考えられます。

主な技術開発項目の例示

技術開発テーマ	主な技術開発項目
①空間設計技術	・迷路性改善のための歩行者に対するナビゲーション技術や災害時の情報提供、誘導技術、移動弱者にも安全なバリアフリー化技術など
②内部環境技術	・快適な光・視環境形成のための省エネルギー、低発熱、長寿命のLED面発光照明など
③換気技術	・安全な内部環境維持や地上環境の保全のための集塵、脱硝技術など
④防災システム	・非接触型認識技術による残留者位置確認システムや大深度で一時的に避難できる一次滞留避難施設、早期火点検知システム、煙流動制御など
⑤垂直輸送システム	・連続輸送可能なリニアモーターを利用した垂直輸送システムや急傾斜エスカレータ、地上出入口の設置位置の自由度確保のための急傾斜エスカレータなど
⑥移動・物流システム	・エレベータ・クレーン技術を融合させることによる輸送システムの高速度化や循環機構による大量化の技術など
⑦シールドトンネルの耐久性	・高耐久セグメントの開発やライフサイクルコスト（LCC）に配慮した耐久性設計手法
⑧躯体構造物の耐久性、維持、補修	・地下構造物の長寿命化のためのひびわれの発生しにくいコンクリートやライフサイクルコストに配慮した耐久性設計手法など
⑨シールドトンネル設計技術	・大深度地下シールドトンネルの実測データに基づく既往の設計手法の検証と検証と適切な地盤特性評価手法の開発など
⑩大深度地下構造物の設計技術	・立坑やNATM工法トンネルの大深度地下の実測データの蓄積による設計法の検証と適切な地盤特性評価
⑪地質調査解析技術	・調査位置の直上の土地が確保できない場合にも対応可能な曲線的なボーリングやトモグラフィ、地上から調査可能な浅層反射法などの調査技術、地盤状況の3次元表示などを可能とする既往のボーリングデータに関するデータベースの構築
⑫施工中の調査、計測技術	・施工中のリアルタイム計測技術や施工後の管理を合理的にするための長期対応計測等技術など
⑬地下環境アセスメント	・地下水流予測技術など地下水の質的・量的変化を調査、予測する技術、地盤や構造物などの変状を観測する技術など
⑭地下水制御技術	・地盤沈下、地下水変動を回避するための地下水モニタリング技術やシールドトンネルの止水技術のさらなる開発など
⑮立坑の掘削技術	・大深度立坑の効率的な構築のための自動化技術や合理的に立坑を構築するための材料開発など
⑯大規模空間掘削構築技術	・大規模地下空間を掘削するための地山補強等技術や周辺への影響解析手法など
⑰長距離高速掘進技術	・各機器の高耐久化による長距離シールドマシンの開発や高速かつ大量の資材・土砂搬送技術の開発など
⑱新しい掘削技術	・複数の地盤に対応した複合地質型シールドマシンの開発や山岳工法とシールド工法を組み合わせた新しい掘削工法の開発など
⑲トンネルの拡幅分岐技術	・拡幅、分岐部に山岳工法や補助工法を併用した技術、分岐可能なシールドマシンの開発など
⑳多様断面トンネル技術	・単円形に対し同じ断面積を小さい高さで確保することができる非円形・多円形シールドトンネルの開発など
㉑発生土の排出、処理、輸送技術	・効率的で環境負荷の少ない土砂運搬のための輸送技術や土砂処理のためのリサイクル技術の開発など
㉒大深度地下利用評価技術	・地上の大気、騒音に与える効果や景観、土地の有効利用、大深度地下施設の耐震性などによる効果を適切に評価するための手法の開発