

都市地下空間の利用開発と新しい技術

花村 哲也¹⁾

1. 地下空間は都市のニューフロンティア

1.1 都市化とニューフロンティア

地下空間は、従来から多方面で利用されて来たにもかかわらず、新しい空間として期待されている。そのきっかけは、1987年に始まる地価高騰であった。臨時行政改革推進審議会の土地対策検討委員会（土地臨調）は、空中及び地下空間の利用を答申し、それに基づき政府は1988年6月に総合土地対策要綱を決定した。大深度地下の積極利用が勧告され、大深度法案を制定するよう指示が出された。

空中にビル高層化開発を、海域に人工島を始めとするウォーターフロント開発を、地下に新しい空間利用開発をと、ニューフロントが注目されている。中でも地下空間は最も身近なニューフロンティア、ジオフロントとして期待されている。

ジオフロント開発のキーワードは「都市化」であろう。日本が戦争直後の荒廃の中から立ち上がり、高度成長時代を駆け抜け、ソフト化、情報化、国際化の時代に到達した現在、地価高騰、交通混雑、住環境悪化という都市機能のひずみ、都市の過密問題に直面していることに気がついた。これら都市の過密問題は、日本のみならず世界的なものである。経済的に苦しい国においては、主に経済的な事情から大都市への爆発的な人口集中が起こっており、社会資本の不足による交通、生活インフラストラクチャー（社会基盤施設）の慢性的な不足や住環境の悪化に苦しんでいる。先進国においても、特に、大都市においては交通過密問題に直面している。世界のどの大都市でも、中心市街地のより三次元的な利用が急務となっており、ニューフロンティアの必要性がクローズ・アップされている。

1.2 都市の過密問題解消と地下利用

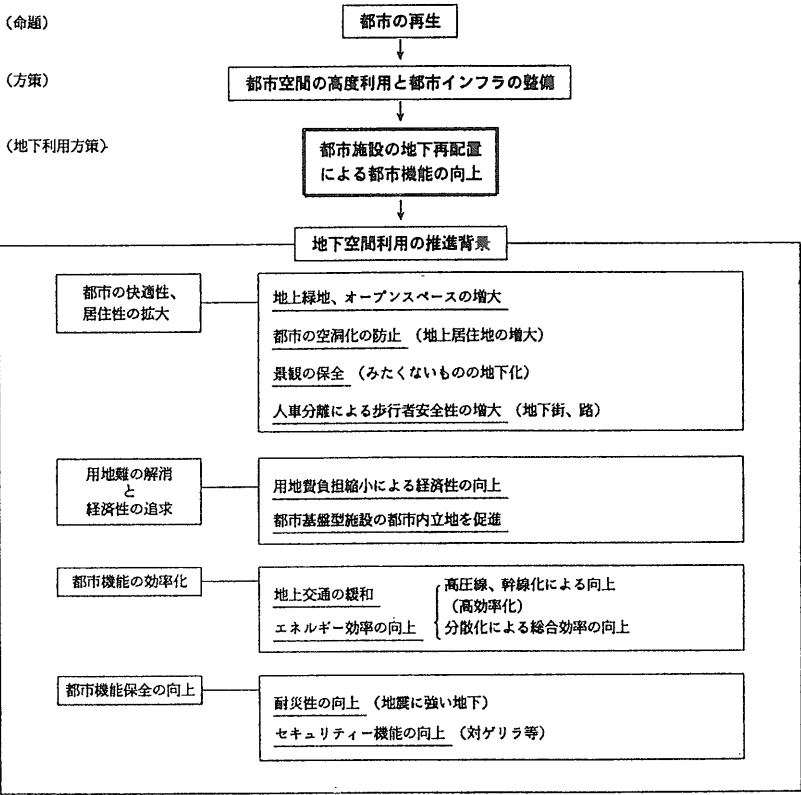
今世紀は、構造材料として鋼材が自由に使えるようになり、電気の利用とともに豊富なエネルギーである石油が自由に使えるようになった時代である。鋼材と石油の使用は、自動車産業の爆発的な発展を促した。土木建築

の分野では、19世紀末から始まった鉄骨造のビル建築技術が本格的に花開き、ニューヨーク・マンハッタンを始めとする高層ビル群が多数つくられた。また、自動車社会の到来とともに道路網、特に、高速道路網が整備された。鉄鋼、コンクリート材料と建設機械の利用により、トンネル、橋、ダム、工場、上下水道、鉄道などいろいろな社会資本が整備・蓄積された。しかし、それにも増して、都市への人口集中は激しく、大都市では道路を始め各種のインフラストラクチャーの不足という事態に陥っている。とりわけ、交通問題は世界の大都市において日常的な渋滞状態を生み出している。日本でも、都市部における日常茶飯事の交通渋滞と、駐車場の不足という深刻な問題を引き起こしている。

これら都市の諸問題を解決するには、ひとつに大都市への集中を極力避ける努力をすること、すなわち、都市への一極集中を避けながら地方分散化を図るような施策をとることである。しかしながら、それらの努力にもかかわらず一方では大都市への人口集中と過密化は進んでおり、この都市の過密問題を放置しておくわけには行かない。日本は経済的にも豊かになり、都市はますます便利になり、一人あたりの生活や労働の必要環境面積も増えている。大都市の中心市街地においては人口の集中と共にオフィス面積が足りなくなってきた。同時に、交通施設とかユーティリティ施設とか都市のインフラストラクチャーは量的にますます不足することになる。都市のなかで利用可能な面積が不足し、地価の高騰という悪循環を繰り返す。この構造的過密問題を解決するために、都市のなかに新しい土地を見つけ、あるいは、つくり上げることが必要になる。ここに、ニューフロンティアが必要となる。地下空間は都市のなかに残された、身近で、かつ、貴重な未利用空間の一つである。高層ビルなどの空中空間を活用するとともに、同時に、地下空間を活用することが、平面的な都市から立体三次元的な都市へと空間が拡大する。今まさに本格的な都市の三次元空間活用時代に入ったといえる。

1) 大成建設株式会社 技術開発部: 〒163
東京都新宿区西新宿1-25-1

キーワード: 都市化, 地下利用, ジオフロント, ニューフロンティア, 土地対策, 地価高騰, 都市再生



第1図 地下空間利用の背景 (花村, 1989)

2. 都市地下空間の利用の考え方と構築

2.1 基本的考え方

地下空間利用は、とりわけ、今まで使われなかった未利用空間の積極利用により、都市機能の向上を図るものである。すなわち、都市施設を地下に再配置し、都市全体の機能を高めようとするものである。従来の地下空間利用は、地下のネガティブなイメージから、最小限にとどめるべきと考えられてきた。しかし今や、地下空間は地上を含めた都市全体の快適さ、安全性を高めるための空間と考えるべきで、その利用は都市空間の再配置、再構築による「都市の再生」という目的を持つ。第一の目的は、都市基盤施設を地下に再配置し、景観の保全、地上交通の緩和、エネルギー効率の向上、セキュリティ機能や耐震性の向上を図ること、第二は地上と連絡する地下空間を人間の活動に解放し、便利さや快適性を向上すること、第三は用地費の負担の軽減や能率、快適性の増大による都市全体の経済性向上や、地上の居住性を増大させ都市の空洞化を防止するなど、都市社会全体への波及効果を促すことにある(第1図)。

2.2 三次元的利用

三次元空間活用としての地下空間は、深さ方向と水平方向の利用方法に新しい考え方を必要とする。

(1) 深さ方向の利用

地下の浅いところは、地上との接点から人間の活動空間として、地上の補完的空間として使われることになる。地下街、ビルの地下階、駐車場ならびに歩行者・駐車場の地下ネットワークなどである。浅い地下空間は地上と一体となって人間の活動空間として利用される。

深い地下は一般の人が活動する空間としてはなじみにくいで、一般に、人目に触れたくない施設に利用される。下水処理場、ゴミ処理場、エネルギープラントなどインフラストラクチャーのための空間に適している。都市インフラ機能のバックアップ空間と考えられる。

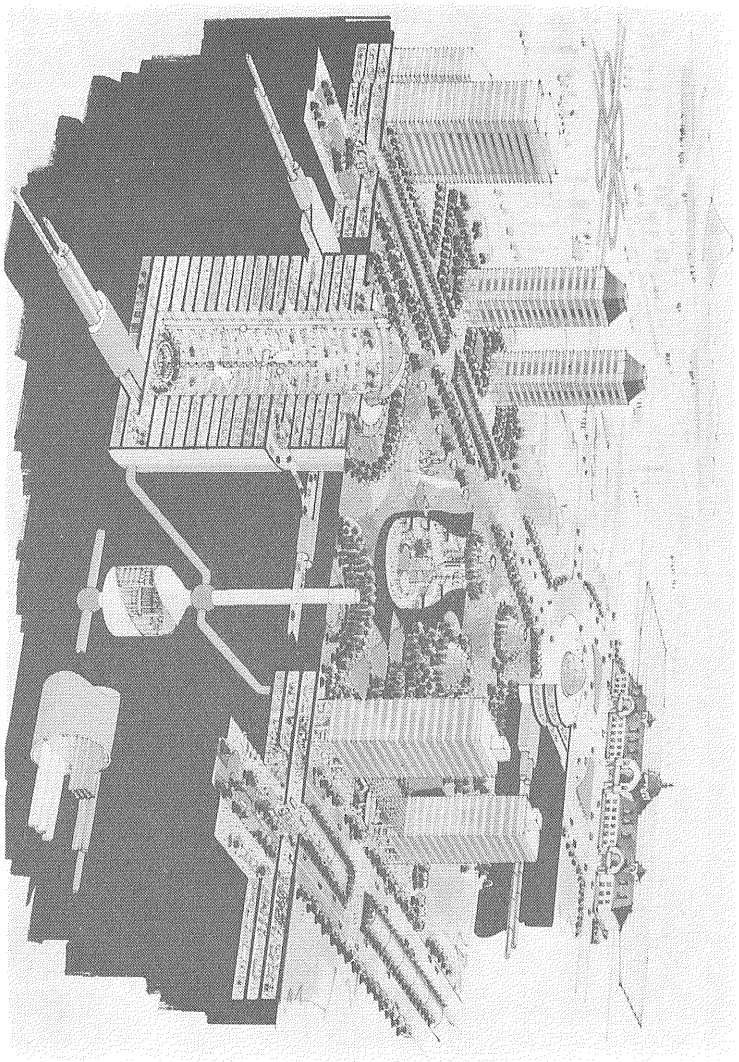
地下鉄、地下道路、下水道溝、電気・通信の洞道、共同溝など、交通、生活、エネルギー等の地下幹線は、主として線状構造物として中深度以下の地下空間を利用している。公共的なものが多いため公共道路の下につくられるのが一般的である。大都市の幹線道路の下には多くのインフラ地下幹線が走っており、過密化が進行している。新しい地下鉄建設の場合のように新たなインフラ幹線を建設するときには、既存の幹線を避けてより深いところにつくられることになり大深度化する傾向にある。

(2) 平面方向の利用

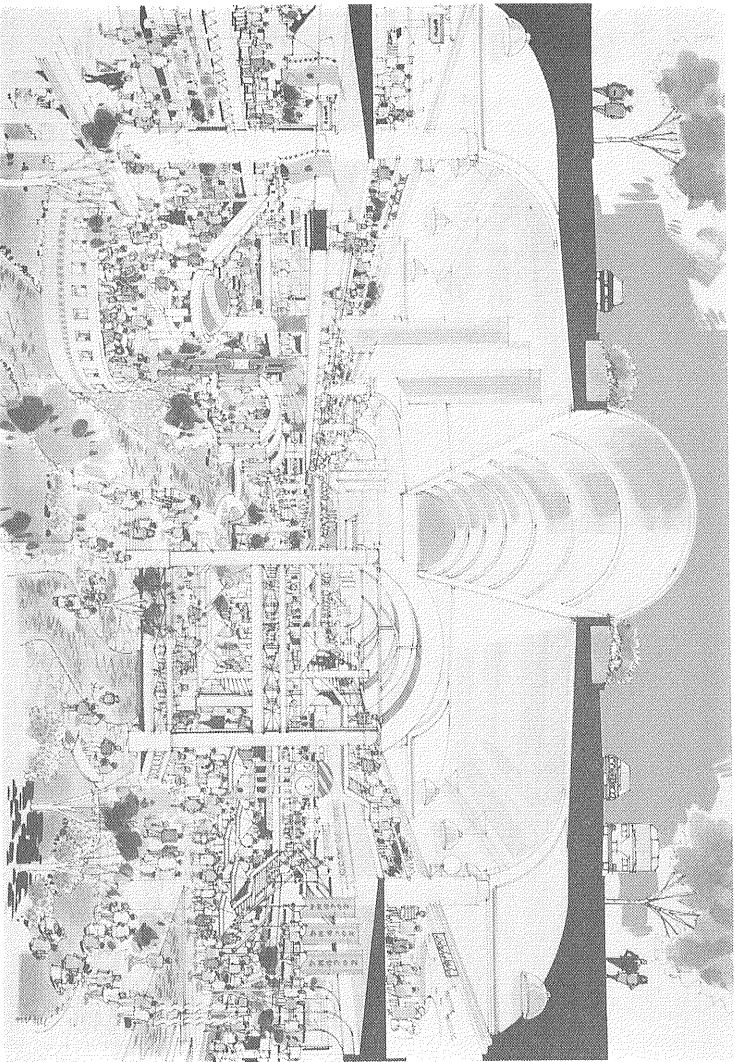
地下空間利用の特徴はどの深さレベルでもネットワークできる点にある。ビルの地下階や地下街、地下インフラ施設間にネットワークが形成される。浅深度では地下歩道や駐車場連絡道が、中深度以下ではインフラ幹線がそれぞれの施設間を平面方向にネットワーク化する。

(3) 複合方向への利用施設

地下鉄は新しい路線ほど深くなる傾向にあり、大深度地下駅ができる。地下鉄は大量輸送の手段であり、地下駅では一般客の乗降がある。地下駅と地上の間を行き来する乗客の流れは大きい。大深度地下駅では不特定多数の人が深部地下を利用するため、防災安全上の配慮が必要となる。このような場所には大量の人が通過・滞在す



第2図 フリスワティ（大都市の中心市街地拠点）の例



第3図 フリスワティ空間

るため、地上と地下とを結ぶ施設が必要となる。これは、アンダーグラウンド（ターミナル）コンプレックス、あるいは、地下複合施設と呼ばれるものであろう。このターミナルコンプレックスと、地上近くのビル地下階とを結び、扇状に地上へと、アクセスできるようにすることが望ましい。

3. 地下都市構想の特徴とその構成要素

多数の地下都市構想が民間で考えられている。それら構想の一つにアリスシティネットワーク構想（図2参照）がある。

3.1 アリスシティネットワーク構想の基本理念

アリスシティネットワーク構想とは、アリスシティ（第2図）と呼ばれる地下空間を利用した大都市の市街地拠点を、自己完結性の高い分散型機能を持つ都市として整備し、シティ間でのインフラの不足を補完するために、各々のアリスシティをネットワークするものである。これらシティを集合した形の都市全体が三次元ネットワーク利用を促進し、全体としてバランスのとれた大都市を形成する構想である。

構想の基本理念は次の4項目からなる。

(1) 地下空間の位置づけ

都市機能の一部を地下に再配置し、地上に緑とゆとりの空間を拡大する。地下は地上を支える空間、あるいは一部補完する空間とする。

(2) 都市基盤施設の整備

交通、情報、エネルギー、上・下水、ゴミ、物流などの都市基盤施設（都市インフラストラクチャー）を地下を利用して効率的に整備すると共に、防災性に優れた都市空間を構築することにより都市の発展を支える。

(3) 分散型インフラ施設の整備

各シティ（拠点）が機能を維持し、拡大するためには、各シティ（拠点）で必要とするインフラ施設を地下につくり、自己完結性を高め、都市機能の向上と都市としての義務を果たす。不足機能は各シティ間で補完する。

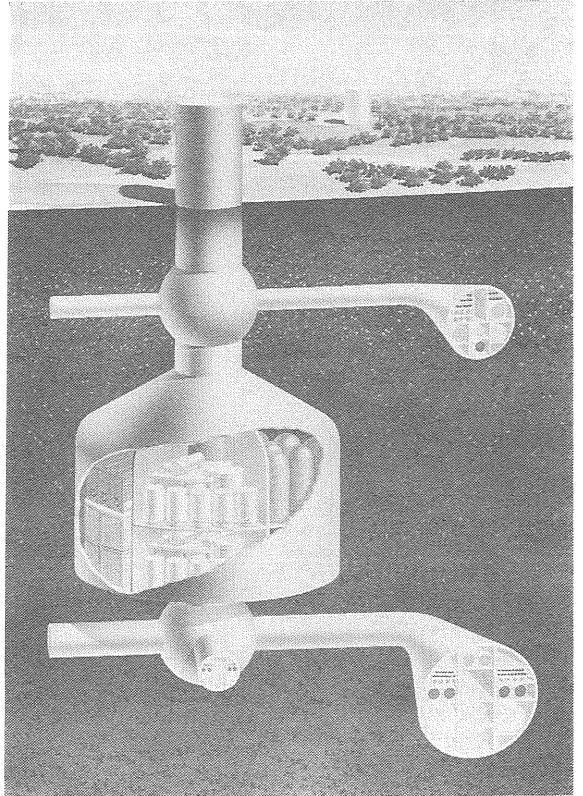
(4) 個性ある都市づくり

各シティ（拠点）の個性に合わせた地下空間利用を図り、かつ、シティ間の地下ネットワーク化を進め、個性と調和のある都市づくりを行う。

3.2 アリスシティの構成要素

アリスシティは、アリスインフラ空間、アリスオフィス・ターミナル空間、アリスタウン空間から構成され、次のような特徴を持つ。

第1の特徴は、アリスタウン空間は地表近くの浅部地下に、アリスインフラ空間は深部地下に、アリスオフィ



第4図 アリスインフラ空間

ス・ターミナル空間（特に、大深度地下鉄駅と一体化したターミナルコンプレックスをアリスターミナルと呼ぶ）は地上と地下深部とを連絡する中間部地下にと、深さに応じて立体的にゾーニングする点にある。

第2の特徴は、都市の発展に合わせて地下の分散型インフラ施設を増殖・拡大させる。また、シティ間のインフラ施設をネットワークし、各シティのインフラ処理能力を補完する。シティの個性に合わせたインフラ整備を行い、かつ、各シティを集合して大都市としてバランスの取れた地下空間活用都市をつくる。

(1) アリスタウン空間（第3図）

地表近くに、天井の高い遊歩道を持ち、水と緑に富んだ光り溢れる地下商店街路があり、車公害から解消された形で人々が憩える空間がアリスタウンである。アリスタウンは、地下街の発展タイプとして位置づけられ、諸外国で一般的な多層階の地下街に相当する。

(2) アリスインフラ空間（第4図）

大深度地下空間を利用し、その中に発電、地域冷暖房、廃棄物あるいは下水・中水の処理場などの施設を単独であるいは複合一体化し収納する。近未来型システムとしては、熱電併給システムに燃料電池によるコジェネレー

ジョンシステムを、高度下水処理に膜型バイオリアクターシステムが採用されよう。アリスインフラ空間の下部にはシティ間を結ぶ補完ネットワーク幹線がつながる。

(3) アリスターミナル・オフィス空間 (第5図)

大深度地下鉄駅舎、あるいは、地下道路ターミナルと地上とを連結する地下空間に、通過、滞在する人が利用できる店舗空間および業務用オフィス、レクリエーション施設、公共施設などを配置した地下のターミナルコンプレックスが地上と地下を結ぶ連絡用アクセス空間としてつくられる。この空間には構築物の中央にアトリウム空間を設け、自然採光を取り入れ心理的な圧迫感を取り除く。ターミナル・オフィス空間は、主として中心市街地の主要な地下交通ターミナルにつくられる。

4. 地下空間開発技術と課題

4.1 都市地下空間開発における必要技術

日本の都市、特に大都市は、多くの場合河川の下流部に広がる沖積平野に位置している。沖積平野を構成する地質は一般に上から沖積層、洪積層、第三紀層と続く場合が多い。沖積層、洪積層の地質に対応する技術はシールドトンネル、連続地中壁あるいはその他の土留め壁、

各種の杭、特に、場所打ち杭、地盤改良、アンダーピニングなどの技術がある。洪積層、第三紀層に対する技術には都市NATM(都市型 New Austrian Tunnelling Method)などの技術がある。

これらの基本技術は、多くの場合、戦後欧米から技術導入し、その後高度成長時代を経て都市や埋立臨海工業地帯で多数使う機会を得て、改良に改良を加えて世界のトップ技術となった。特に、1970年代以降コンピュータによる解析技術が飛躍的に発展し、さらに、各種のセンサーとコンピュータを連動した計測評価技術、いわゆる情報化施工技術が急速に進展した。一方、土木技術者による地質評価、施工経験技術と機械技術者による機械製作加工技術が業際協力して、シールドトンネルや連続地中壁掘削機等の各種の最新土木施工機械をつくりあげた。例えば、日本のシールドトンネル技術が英仏海峡トンネル・チャンネルプロジェクトに応用され、トンネルボーリングマシーンとして採用されている。

4.2 大深度・大空洞のための新しい設計・施工技术

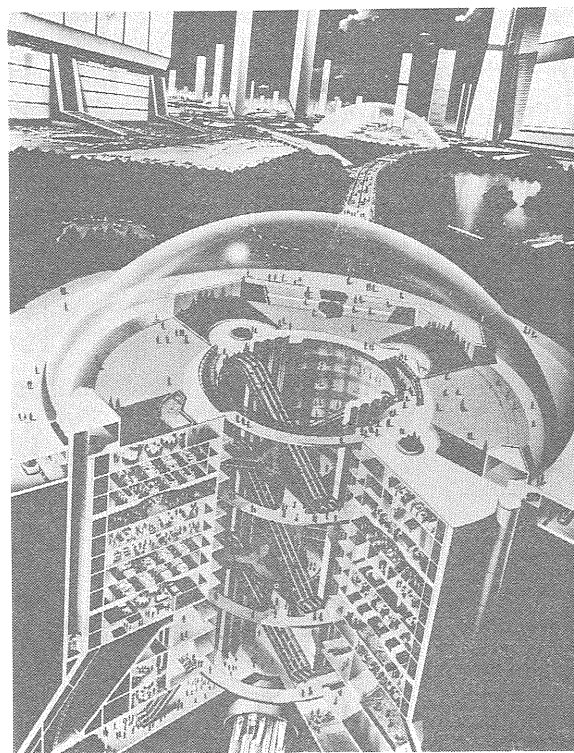
今後、地下空間利用開発が進む中で、より深い所に、より大きい空間を必要とするようになる。今後必要とする技術について私見を述べる。

(1) 漏水を考慮した設計法

地下構造物をつくる場合、地盤変形、沈下を起こさないことが基本的条件である。地盤沈下を起こさない条件の主要な部分は、地下水位の低下による圧密沈下を起こさせないことである。現在、シールドトンネルの設計は、外力として全水圧、全土圧をかけ、完全止水構造にして内部湧水のない、地下水位を低下させない、したがって、沈下を起こさないという考え方を採用している。大深度になれば、大きい水圧と土圧が働き、構造的には水密性の高い、分厚いものとなる。

大深度では水圧と土圧の合計全圧は非常に大きくなり、経済性を考えた合理的な設計という観点が重要となり、単純に静水圧、土圧の全圧をかけるという考え方を見直す必要もでてくる。実測では必ずしも全圧状態ではないので、実測に基づく水圧、土圧を、もちろん安全率の考えを入れて、設計上の外力とすべきであろう。

また、完全止水の条件も再考されるべきであろう。完全止水の条件が考えられたのは、地下空洞内に漏水があれば地下水位の低下を起こし、井戸枯れや圧密沈下を引き起こす懸念があるという理由からである。圧密沈下などの障害を起こさせないためには地下水位を下げさせなければよいのであり、地下水位低下を起こさない範囲で漏水を許すという考え方も必要になる。地盤や構造物の透水性を考慮し、水源の涵養力を評価し、地下水位を保持する設計法が必要となる。石油の岩盤内地下備蓄の設



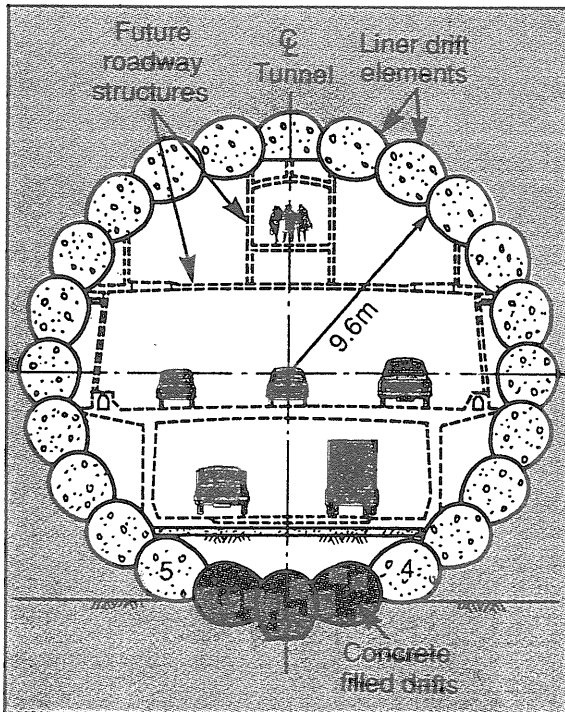
第5図 アリスターミナル・オフィス空間

計では、雨水の涵養力による地下水位の上昇分と、空洞への湧水による低下分とのバランスを考慮し、地下水位を保持させるという設計手法をとっている。空洞への湧水を許しながら地下水位を保持させるもので、透水性を評価した新しい設計技術である。

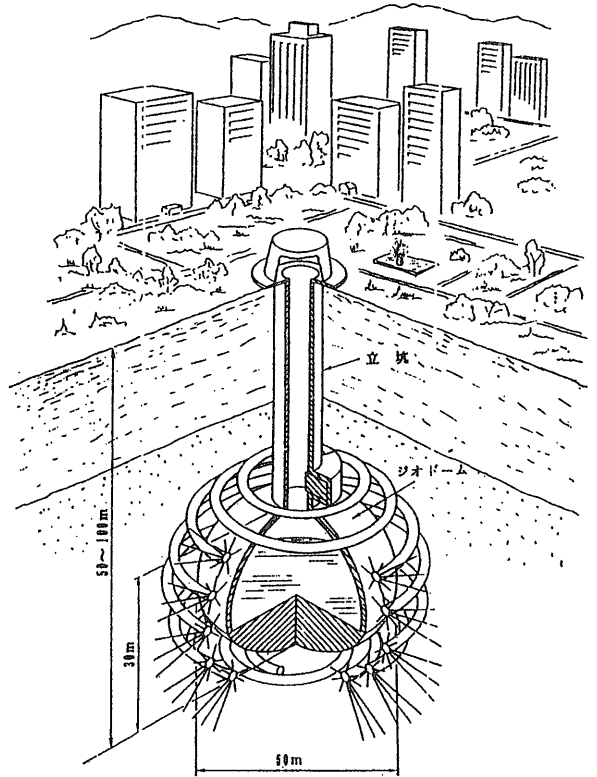
(2) 大スパン空洞の設計と施工

岩盤以外の土質地盤においては、現状での最大空洞径は14m（シールドトンネルの最大径）である。今後、都市部の比較的深部の沖積層や洪積層の中にインフラ施設などを設置する場合、利用の観点から直径50m程度の大スパンの構造物をつくる必要があるとらう。米国シアトル市にあるマウントベーカーリッジ・トンネル（第6図）では氷河粘土層のなかに4m程度の馬蹄形のオープン型シールドトンネルを主トンネルの周りに配置して、その中に直径20mの大口径トンネルをつくっている。スパン50mの程度の大空洞を土質地盤の中につくるには、従来の技術では、地上からの開削工法以外にはなかった。大深度まで開削工法を使う場合、掘削量が大きくなり経済的でない。地下の必要な場所だけ掘削する新しい工法が必要となる。

岩盤地盤では NATM 工法により空洞周辺の岩盤強度、地耐力を最大限発揮するよう吹付けコンクリートとロックボルト等で補強し、大部分の外力を周辺岩盤に負



第6図 マウントベーカーリッジ・トンネル (Parker, 1990)



第7図 ジオドームの概念図

担させて、従来よりも大きい断面の地下空洞をつくることができるようになった。同様に都市の地下でも、沖積土、洪積土や軟岩等の地盤に対して、構造物周辺の地盤強度を増加させるため注入や圧密締固め等の地盤補強工法を選択し、外力をできるだけ周辺地盤に分担させ、かつ、内部構造物と一体となって対抗する新たな設計法を開発することが必要である。

5. ジオドームの技術

通商産業省工業技術院では、大型工業技術研究開発として「大深度地下空間開発技術の研究開発」を、平成元年から7カ年の予定で進めている。地下50mより深い大深度に以下に述べるジオドーム（第7図）と称する大空洞の構築を目標とするものである。

5.1 研究目的

最先端技術を駆使して、スパイラルトンネル、FRPロックボルト成形や、水没型の掘削やライニング等の機器を開発し、同時に、新しい設計施工技術を確認することが研究の目的である。その内容は次の通りである。

3大都市圏の大深度に広く分布する半固結堆積岩から軟岩の地盤を対象として、深さ50～100mの地下に直径

50m、高さ30mのドーム状空間を構築するために必要な大深度地下空間開発技術を開発する。具体的には、軟岩用急曲掘進機、現場成型型 FRP ロックボルト等による事前補強技術、および水没環境下で行う水没自動掘削機、水没自動ライニング機等の技術、および上記各技術が一体となってジオドームを構築し、かつ、安全で環境保全上有効となる設計施工技術等を開発する。

開発にあたっては、各要素技術を研究開発し、実証実験用の各施工機械等を製作する。さらに、パイロットドーム等により実証実験を行い、ジオドームを構成する各要素技術の機能と全体施工システムを検証する。

5.2 研究内容

(1) 総合施工技術の開発

半固結堆積岩から軟岩という広い地質条件に対して、地層毎に最適なジオドームの構築方法を検討するとともに、ドーム構築を安全かつ効率的に行うための総合施工システムを開発する。

(2) 軟岩用急曲掘進機の開発

ジオドームの地盤補強のためのスパイラルトンネルを効率的かつ安全に施工するために必要な軟岩用急曲掘進機を開発する。

(3) 現場成型型 FRP ロックボルトの開発

ジオドームの地盤補強のためにロックボルトをスパイラルトンネル内から効率的かつ安全に打設するために必要な現場成型型 FRP ロックボルトを開発する。

(4) 水没自動掘削機の開発

ジオドームを構築するための水没自動化掘削技術として、ドームの内部掘削を効率的かつ安全に施工するのに必要となる水没自動掘削機を開発する。

(5) 水没自動ライニング機の開発

ジオドームを構築するための水没自動化ライニング技術として、ドームの内部を効率的かつ安全にライニング施工するために必要な水没自動ライニング機を開発する。

5.3 ジオドームの利用研究

ジオドームの将来利用についても研究される。特定地点におけるパイロットドームの構築実証実験のあとのドームの利用も検討されている。

将来このジオドームの技術を応用して各種ニーズに合った大規模・大深度の空間ができることが望まれる。

6. 結 び

工業技術院の大深度地下空間開発技術の研究開発は、エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センターが受託したものである。工業技術院を始めとする関係機関の了解を得て紹介した。

今後、都市における地下空間は今まで以上に高度に利用されるようになる。最新の技術を投入して安全で経済的な新しいタイプの地下空間を構築し、空間利用を促進し、人間の活動にとって豊かで便利な空間を提供できることを期待する。

文 献

- 花村哲也 (1989): 地下都市への期待. ジオフロントシンポジウム, 日本建築学会関東支部.
- Parker, H. W. (1990): Concept and Construction of the Mount Baker Ridge Tunnel. *Tunnels & Tunneling*, Vol. 22, No. 3, 57-58.

HANAMURA Tetsuya (1991): Urban underground space development and its technology.

<受付: 1991年8月1日>