

アーバン・ジオ・グリッド構想 —その展開と周辺技術—

当麻茂尚¹⁾・井上嘉信¹⁾・三宅紀治¹⁾・風間広志¹⁾・羽根 義¹⁾

1. 緒 言

東京では近年、首都あるいは国際都市としての業務・管理機能集中に伴うオフィススペース不足や、道路・鉄道による輸送手段の飽和化、防災機能の悪化、これに、かつてない地価高騰が加わり、都市問題が一挙に顕在化した。

一方、これら都市問題の解決に必要な用地の取得が一層困難になって来ており、地下鉄半蔵門線の例では1971年に都市計画決定したにもかかわらず、一部地域の土地収用に時間を要し、16年後ようやく完了、1990年開通した。

こうしたことから、首都圏では通常使われない50m程度以深の、いわゆる大深度地下空間が、宇宙、海洋と並んで新たに開発可能な空間、すなわちニューフロンティアとして熱い視線を浴び、同時に、様々な都市問題解決の切り札として、大変な期待を寄せられている。また、1989年6月には、大深度地下の公的利用法制化を行う旨の内容を含む総合土地対策要綱が閣議決定され、関係官公庁は、それぞれ地下空間開発に関する構想を打ち出している。

清水建設株式会社では、こうした状況の中、悩める国際都市東京をモデルに、システムティックな地下計画構想—アーバン・ジオ・グリッド構想—を立案し、現実に向けてのシミュレーションを行った。

本稿はこの構想と、構想を推進するためのソフトを主とした周辺技術について述べるものである。

2. アーバン・ジオ・グリッド構想

2.1 構想立案の背景

都市は、生活上必要な機能—例えば日常・地震時の安全性、エネルギー供給、人・物の移動の容易さ、情報入手の容易さ、時代に応じた高度な文化—を持っていないと、

今や、世界第一級の国際情報都市といわれる東京の地

上、そこはまさにカオス(混沌)で、インフラ整備に必要な、線の空間の確保は不可能な状態となっており、現状では、残念ながら胸を張って世界に誇れる国際都市とはいえない。

一方、都市において私達は、常に整然とした機能本意の環境ばかりを望んでいるわけではない。盆踊りの妙に浮かれた場、集い語らう公園、これらは不思議な安心感やある種の解放感を与えてくれる。都市においてはこうした一種のコミュニケーションの場も失われつつある。

この状態から脱却し、将来を見こした都市機能を回復・創成、かつ、新しいコミュニケーションの場の確保を目的に、地下空間を活用した本構想を提案した。

2.2 構想の概要

「アーバン・ジオ・グリッド構想」は、都市のシステムティックな計画を実現するために、過密都市東京をモデルとして、シュミレートしたものであり、東京で唯一残されたスペースである地下空間を利用し、既存の都市機能を妨げることなく「地上と地下のよりよい共存」を図り、都市機能の拡大に応じて、その規模を「増殖」させることが出来るシステムである。

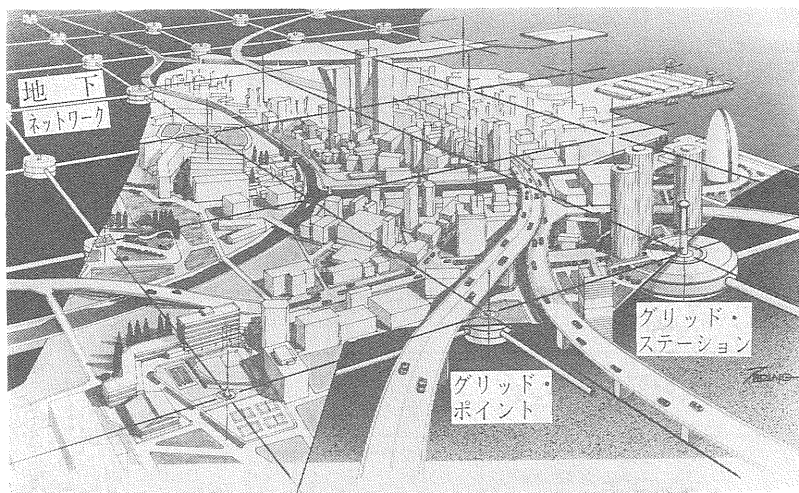
本構想の概要について以下に説明する。アーバン・ジオ・グリッド構想は、「グリッド・ポイント」、「グリッド・ステーション」と、それらを結ぶ「地下ネットワーク」の構成要素からなる複合計画である。

この構想の基本は、地下に格子状に配置されたグリッド・ポイントにある。個々のグリッドは都市機能の拡大に応じて計画的に少しずつ無理なく「増殖」させてゆくことができる。

グリッド・ポイントの要所要所には、グリッド・ポイント群を統括するグリッド・ステーションが設けられる。また、それらは新交通システムや通信ネットワークなどの地下ネットワークで繋がれている。そして、それぞれのポイントやステーションの内部空間は、太陽光集光システムにより、自然光がふんだんに取り入れられ明るい地下空間となる「地上の利用を妨げず、地上と地下の発展的かつ機能的な共存」を原則として設計される。

1) 清水建設株式会社：〒150-07
東京都港区芝浦1-2-3

キーワード：地下利用、都市化、採光



第1図 「アーバン・ジオ・グリッド構想」概要図

これがアーバン・ジオ・グリッド構想における都市のイメージである。

このモデル・プランでは、日比谷からウォーター・フロント、東京湾を抜け、房総半島までの「発展」「増殖」を想定している。特にウォーター・フロントや東京湾は、これから開発される地域であり、大規模なシステム作りが可能である。

口絵写真4-2は、アーバン・ジオ・グリッド構想完成後の東京の夜景(想像図)である。適度に配置された新しい地下のシステムから天空に向かう光の柱、一段と明るいのは、グリッド・ステーション、もう一つがグリッド・ポイントである。

第1図は、現在の地上の様子と構想のシステムを組合わせて表わしたものである。

2.3 構成要素の詳細および防災施設としての機能

第1表に、構成要素の規模、位置、機能について示す。以下に各要素の詳細について述べる。

(1) グリッド・ポイント

グリッド・ポイントは、利用空間の最小単位であり、規模が直径30m、深さ25m(地下3階、延べ床面積2,100㎡)の円筒型。2-3km間隔で格子状(グリッド状)に設ける。設置場所は、公園や校庭といった地上に構造物が無く、かつ地下が使われていないところである。

常時は、設置地域で最も必要な施設、例えばミニ図書館、展示場、銭湯、スポーツ施設など、コミュニティのライフ・スタイルに根ざしたものとして利用する。

(2) グリッド・ステーション

「増殖」したポイント群を、一定の単位で統括するのがグリッド・ステーションである。空間規模は直径100

m、深さ50m(地下8階、延べ床面積40,000㎡)で、設置間隔は10km程度。これもポイントと同様に、地上施設・機能との調和を考慮し、工場跡地など再開発地域や大規模な都市公園の地下に設置する。

ステーション内は、太陽光を受ける巨大なアトリウムを中央に配し、オフィスやショッピングセンター、大規模駐車場などで構成、新交通システムのキーステーションにもなる。(第2, 3図)

(3) 地下ネットワーク

構想の生命線は、ポイントおよびステーションを相互に有機的に地下で結ぶネットワーク網である。

ステーション間は、直径10mの幹線ネットワークで結ばれ、ポイント間は、直径3m程度の枝線ネットワークで結ばれる。いずれも深さは50m以深で、交通・通信・エネルギー輸送など多目的に使われる。都市のインフラ施設の切り札として、また、日常的なメディアとして期待される。

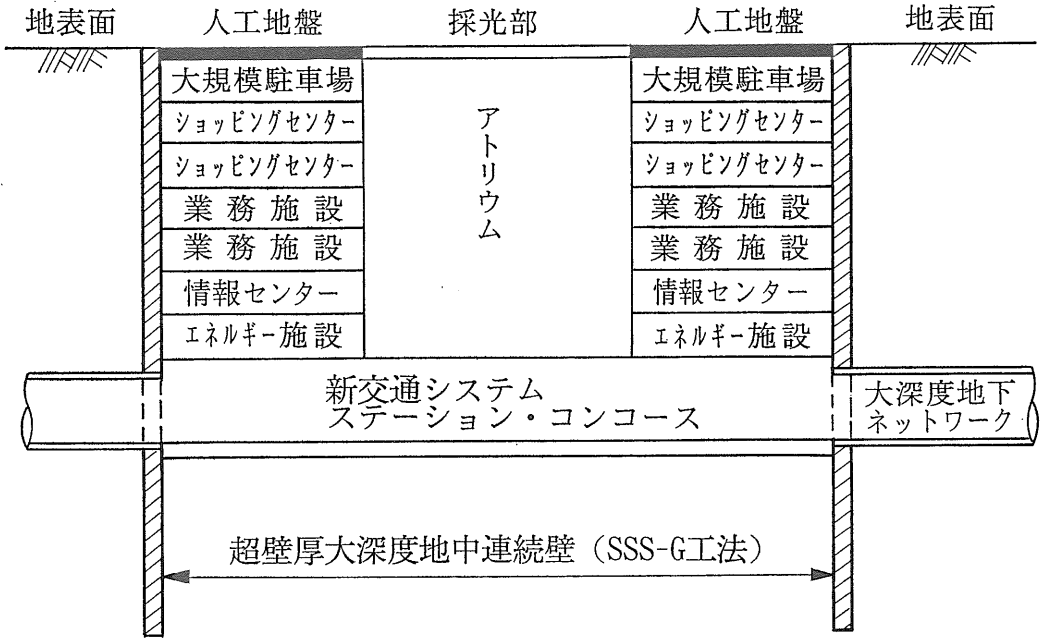
(4) 防災施設としての機能

さらに、ポイント・ステーションとネットワーク網の特性を活かせるのは、地震や大規模火災などの災害時である。こうした地下建設物は、地震に強いと言われている。

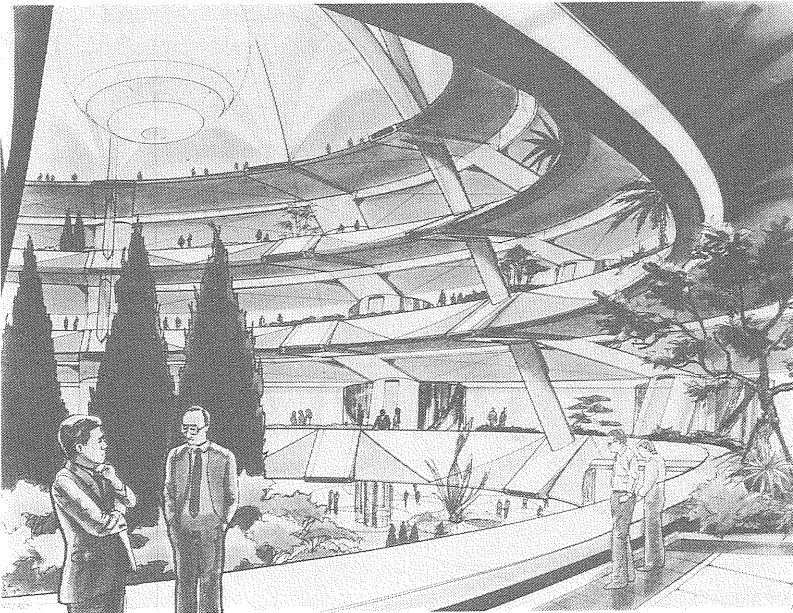
東京で直下型大地震が発生すると、最危険区域が200カ所に及び、100万人分の一時避難所が必要と言われる。ポイント群は、2kmごとに設けられるので、迅速な進難が可能である。ポイントは地区防災センター、ステーションは地域防災センターとして、情報発信・伝達や避難誘導などが可能だし、地下ネットワークは、避難路ばかりでなく、こうした情報のネットワーク・物質輸送に大いに威力を発揮することが期待される。

3. ソフトを主とした周辺技術

アーバン・ジオ・グリッド構想は、これまで述べてきたように、常時機能と非常時機能を持つことが特徴であり、いずれの目的のためにも、その機能が十分発揮されなくてはならない。利用の頻度からすると、日常的利用が圧倒的に多いため、安全なだけでなく快適な空間にしなくてはならない。日頃こうした空間に慣れ親しむことは、同時に、大地震などによる大規模災害時(非常時)に



第2図(上)
「グリッド・ステーション」内部利用形態概要



第3図
「グリッド・ステーション」内部パース

多くの人を避難可能にすることにつながる。

一方、こうした施設の建設技術も問題になり、これに関しては現在様々な研究・技術開発が進められている。本構想のうち、グリッド・ステーションおよびグリッド・ポイントは、地中連続壁を用いた開削工法により、地下ネットワークはほとんどの部分がシールド工法により建設される。地中連続壁工法は、既に深さ150m、壁厚3.2mのレベルに達しており、シールド技術については、

シールドマシンの機械的地中接合技術により立坑無しで、従来に比べ倍の距離の掘進が可能になっているし、異径・拡大・分岐シールド等の技術開発も進められている。本構想の主施設の建設は、こうした技術により現時点でも可能と判断される。

ところで、グリッド・ステーション、グリッド・ポイントを中心とした日常の利用に際し、重要な技術課題として、環境・防災問題が挙げられる。この場合、人間の

第1表 アーバン・ジオ・グリッド構想の各施設概要（案）

	グリッド・ポイント	グリッド・ステーション	地下ネットワーク
規模	直径 30m 深さ 25m 階段 地下3階 土被り 10m 投影面積 700㎡ 起床面積 2,100㎡ 設置間隔 2km	直径 100m 深さ 50m 階段 地下8階 投影面積 7,500㎡ 起床面積 40,000㎡ 設置間隔 10km	・幹線ネットワーク （グリッド・ステーション間を結ぶ） 直径10m, 支間10km ・枝線ネットワーク （グリッド・ポイント間を結ぶ） 直径3m, 支間2km
位置	校庭・公園の地下	工場跡地等再開発地域や大規模公園の地下	G L—50m以深の地下
常時機能	<ul style="list-style-type: none"> ・コミュニティー施設 集会所, 児童館, 銭湯, 展示場 ・教育・文化施設 体育館, 図書館 ・スポーツ施設 プール, フィットネスクラブ 	<ul style="list-style-type: none"> ・駅コンコース・ホーム ・業務施設 ・大規模駐車場 ・エネルギー施設 ・ショッピングセンター 	幹線：新交通システム 通信・エネルギーネットワーク 枝線：通信・エネルギーネットワーク
非常時機能	地区防災センター <ul style="list-style-type: none"> ・収容人数 1,000～1,500人 ・情報収集伝達 ・地区避難誘導 ・地区監視 	地域防災センター <ul style="list-style-type: none"> ・収容人数 5,000～10,000人 ・情報発信 ・地域避難誘導 ・エネルギー供給 	幹線・枝線 <ul style="list-style-type: none"> ・安全地帯への避難路 ・情報ネットワーク ・物質輸送

第2表 地上施設と比較した地下空間施設の物理的特性と対応

項目	地下空間施設の物理的特性	対応
音	<ul style="list-style-type: none"> ・外部の音が進入しにくい ・外部環境が認知し難い ・ある周波数の音がこもり易い 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然環境を考慮した人工音 ・高品位TV等による間接認知 ・不快音の除去
温熱	<ul style="list-style-type: none"> ・地上の影響を受けにくく安定 ・地中温度より高温の場合, 結露を生ずる 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境コントロールが容易 ・変化に伴う温熱環境制御, 二重壁等による結露対策
光	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽の自然光が入りにくい ・外部環境が認知し難い 	<ul style="list-style-type: none"> ・アトリウム・鏡等による採光装置 ・高品位TVなど
空気	<ul style="list-style-type: none"> ・換気不足となりやすい ・においが滞留しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・強制的な換気 ・“香り”を伴う空調により変化をもたせる
振動	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に耐震性に優れる ・防震性に優れ, 常時の振動レベルが小さい ・中の振動が外に伝播しにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・インフラ施設に有利 ・振動を嫌う実験研究に有利 ・地下工場として利用
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・自然災害から保護できる ・地上景観が保存できる ・防磁性に優れる ・地下からの避難に時間がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ・防災施設に利用 ・地下空間防災技術の確立が重要

心理の問題、すなわち、地下特有のネガティブなイメージに対処することが大きな課題となり、こうしたソフト技術は、さきに述べた建設技術に比べて必ずしも十分でない点がある。ステーションやポイントの空間に要求されるのは、当然のことながら快適性（爽快感・平穩・溫和・安息感等）ならびに安全性である。第2表に、地下空間施設の物理的特性とその対応について示した。地下空間施設は、地上施設に比べて外部環境と一層遮断された状態で、心理的に不安感を生み、ストレスが蓄積されやすい環境である。地下空間施設の持っている物理的特性の中には、第2表に示すように、地上施設と比較すると快適性ならびに安全性に対して、改善すべきいくつかのハンディが存在する。これらのハンディに対処するため、本構想に取り入れるべき環境ならびに防災に関する技術と、今後の課題について以下に述べる。

3.1 環境技術

(1) 音環境

本構想を推進するために必要となる環境技術の一つに、音の問題がある。音の環境は、どのスペースも全く同じ環境を要求されるわけではなく、ワーキング空間、アメニティ空間、リラクゼーション空間（ストレス緩和・休息空間）、さらには通路空間などで異なる。それぞれの空間で、どのような音環境が望ましいかは、今後の議論・研究に待つところが多いと考えられる。ここでは、特に地下のリラクゼーション空間やアメニティ空間に適用可能と思われる、人工的な音環境について述べてみる。

我々は、ストレス解消のために、音楽を聞いたり自然に触れようとする。地下空間にも、音楽をBGMの形で取り入れることも考えられるが、音楽は意見情報といわれ、人間の回想につながることもあり、また、人によって好みもあるので、空間によっては必ずしも適切とはいえない。自然界の音、例えば小川のせせらぎ、虫の声、波や風の音などは、多くの人が快適に感ずるが、最近の研究によれば、これらの音は、音量と周波数の変化のしかたに一定の性質の“ゆらぎ”（ $1/f$ ゆらぎといわれる。 f は周波数、クラシック音楽などもこの性質を持つ）を有することが明らかになっている。グリッドおよびステーション内で、こうした音（ゆらぎ雑音）を人工的に作り、放送することにより、多くの人に対し、普遍的な効果が期待される。また、同時に映像情報を提供することにより、さらに効果を上げることが出来ると考えられる。ゆらぎ雑音の発生装置の開発や具体的な効果の把握等については、今後の課題である。

(2) 光環境

地下においては、無意識のうちに、地上と隔離され埋葬されるといった心理的な葛藤が生じる。本構想の、グ

リッドおよびステーションの採光は、単なる人工照明ではなく、自然光を取り込む太陽光採光システムが、地上との一体感や安心態のために有効かつ重要な技術と考えられ、この技術としては、以下に述べる反射鏡を用いた太陽光採光システム（当社開発）を用いる。

a) 直接太陽光を追尾する方式の採用

当社の開発した太陽追尾システムにより、常に太陽の位置を自動追尾することが出来る。このシステムは、コンピュータによる演算ではなく、センサーで直接太陽の位置をとらえるため、演算のシステムに必要なインプットデータ、設置精度、非常用電源が不要であり、雨天、曇天、夜間は、自動停止するので、省ランニングコストである。

b) リンク機構による反射鏡の制御の採用

太陽光を追尾した時点で、所定の方向に導光するための反射鏡を、単純なリンク機構により、一義的に定まるように制御してあるので、シンプルかつ誤差が累積することがない。

c) 鏡による導光方式の採用

採光方式に鏡を使用することにより、低コストで、かつ、採光効率が高く、また、空間を直接導光するので、その導光距離間の光の減衰はほとんどなく、導光効率が良い。

d) 本システムの波長特性

本システムの波長特性は、紫外線や赤外線を遮断し、可視光のみの採光としているため、植物の育成にとって適した光環境が得られると同時に、赤外線による温度上昇を考慮する必要がない。

e) 使用方法及び実用例

人間は直接太陽光のもとでの就労や居住は困難であり、また、地下における心理的な太陽光の意味を考慮すると、地下への採光を観葉植物に与え、それを居住者や就労者が楽しむことによって、心理的な圧迫感を防ぐという利用方法が有効であろう。

実用例としては、米国にあるミネソタ大学での例がある。ミネソタ大学・地下空間センターは、建物の95%が地下にあり、地下空間の研究では、世界で最も進んだところであるといわれている。この地下空間センターに、共同研究の一つとして、清水建設の太陽光採光システムが、地下空間センターのシンボルとなっている屋上にあるキューポラに設置され、地上4階から、35m下の地下7階に、約3万ルクスの自然光を送り込んでいる（写真1, 2）。自然光の採光は、ここでの研究の重要な要素技術の一つである。

(3) 温熱環境

一般に、温熱環境の調整は、暖気または冷気を適当に

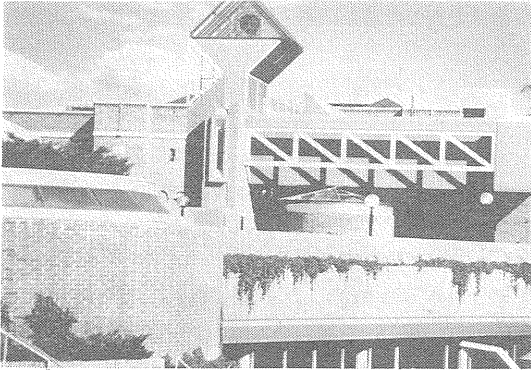


写真1 ミネソタ大学・地下空間センター採光装置（屋外キューポラ内）

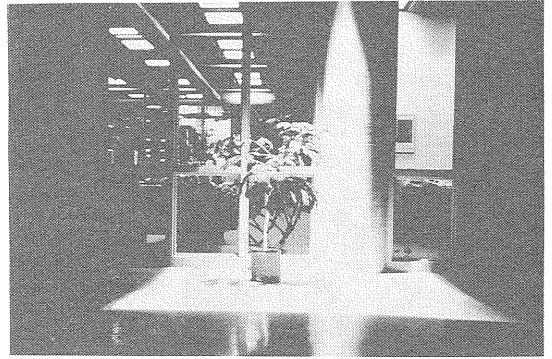


写真2 ミネソタ大学・地下空間センター内部採光状況

分散させた吹出口から供給することによって行われる。最近になって、アメニティのためには、温熱環境を空気温度のみで判断してはいけないという意識がもたれ始め、温度の他に湿度、気流、周囲温度、在室者の衣服、活動状態の6要素を総合して評価し空調を行う機器が研究開発されている。

本構想実現のために必要となる空調システムの一つの方法として、空気温度、湿度、気流、暖冷放射をパーソナルに調節できるものが考えられる。また全体的に空調を行う場合には、ただ単に一定状態を保つのではなく、その時々々のワーカーの要求に合った、気分をリフレッシュさせるように多少刺激のある、“さわやか”な空調などが考えられる。特に静的な空間となりやすい地下空間では、地上の自然環境のような、ある適切なレベル内での変化を伴った温熱環境制御が重要となる。

(4) 空気環境

空気環境に関しては、「香り」の積極的利用を考える。近年の脳生理学や心理研究の進展で、香りの人間に対する生理活性、興奮、不安解消などの作用を持つことが証明されつつある。最近では「香り」に対する社会的関心が高まり、ワーキング空間のようなストレス発生空間、リラクゼーション空間など、建築空間の変化に対応したアロマセラピー的利用の時代といえ、空調として香りが取り入れられるようになってきている。

ストレスフルな空間の例として、会議室とキーパンチ室で香り実験を行なったところ、会議室（2ヶ月間、延べ270人のアンケートによる）では、香りが存在する場合に、空気清浄感、会議の能率が向上すると答えた者の数が増え、特に喫煙時に有意となった。キーパンチ室（1ヶ月間13名のキーパンチャー）についての実験データでは、ある種の香料はパンチミス率を有意に減少させ、精神集中効果のあることがわかった。

以上のことより、地上施設と異なる環境をもつ地下空間においても、空間の目的や性質によって「香り」を一つの環境改善因子とし積極的に導入するために、「香り」と心理・生理面での効果についての研究が今後重要となると考えられる。

3.2 防災技術

(1) 地震防災

一般に地下空間は耐震性に優れ、地震に対して安全であると言われているが、関東大震災の時の火災や、新潟地震の時の液状化による地盤破壊などのように、新しい地震の度に新しい種類の被害が発生しているという地震災害の例から考えると、地震時の災害の状況は実際に地震が起こってみなければわからない、といった本質的な不確定要素を内在していると言える。

本構想のモデルの東京では、河川流域の沖積平野や臨海地域の埋め立て地帯に立地するエリアが多く、地盤が軟弱であり地下水位が高いといった地震に対して良くない条件を備えており、耐震安全性の高い地下空間を実現するには、これらの悪条件を十分考慮し克服することが大切である。

これまでの耐震性の検討は、ほとんど対象とされる構造物単体に対するものに留まり、特定の場合を除けば、既存の周辺施設への影響や、周辺施設からの影響といった地震時の動的相互作用問題、さらには周辺地域全体の地震時挙動への影響という、より広い範囲の検討は考えられていなかった。しかし、本構想での大規模な地下空間を考えると、地上施設と地下施設、そしてその間に存在する地盤を総合的に捉え、さらには都市地域全体にまで検討の対象を広げた安全性の研究が、今後必要となると考えられる。

(2) 火災防災

建物の火災安全計画が不備な場合には、火災による煙

や熱、ガスが瞬時に建物内全体に拡散し、人命が危機にさらされることになる。このような非常時には、人間の視野は狭くなり、判断があいまいになり、決断が遅れるといわれ、例えば、火災時の火煙に巻き込まれた場合、未知の不安に耐えられず、誤った行動をとったり、火煙の危険から避難したいという共通の恐怖心を持っている群衆は、あいまいな情報が与えられたり、行動も抑制されたりすることによってパニックに陥る危険性もある。

本構想のような、地下空間の火災は、自然の採光や換気などのむずかしい閉鎖された空間の中を、火煙の流れと同じ方向に避難するというような状況を潜在的にもっているなど、特に次のような火災安全性に関する特徴を十分考慮する必要がある。

- ・自然排煙を行うのが困難であるため、機械排煙・給気などが中心になる。
- ・避難方向と煙の拡散方向が一致する。
- ・現在の位置、進行方向を把握するのが困難あるため、スムーズな避難ができない。
- ・外部からの進入、立ち入りが困難であるため、消防力などが抑制される。
- ・地理に不案内な不特定多数の人がいるため、スムーズな避難ができない。

このような特徴をもつ地下空間の火災は、パニックが発生しやすい要素を備えており、これらを防止するため、つぎのような対策が考えられている。

地下は窓がない閉鎖された空間であるため、火災時には、煙によって暗闇になるなどの心理的な圧迫感を受けやすく、そのため、火災発生時の心理的ショックを緩和するような情報や、地理の認知ができるような情報、そしてどのような避難行動・避難誘導をとるべきかの情報など、冷静な状態で避難を行うことができるような情報対策である。さらに、一般には地上に向かって避難を行うが、地下空間の火災では、避難の方向と煙の拡散の方向が同一となることや、地下深いところから地上まで一気に上ることの困難さを考えると、地上のみを避難空間とすることが適切でない場合もあり、給気などの人工的

な対策を施した避難経路・避難空間を地下空間内に設けることも必要になると考えられる。また当社は新社屋ビルにおいて、避難通路となる廊下や階段等の空間を区切り、その内部の空気圧を高め、火災空間からの煙の進入を防ぎ、そこを避難空間とする「加圧防煙」のシステムを導入しているが、この技術は地下空間にも積極的に応用することを考える。

これらの火煙制御と避難誘導は、地下空間の火災安全計画の基本的な条件で、特に現在位置の認識が困難な地下空間で、かつ、地理に不案内な不特定多数の人々を冷静に避難させるための研究が今後ますます重要となる。

4. 結 語

以上、アーバン・ジオ・グリッド構想とその具体的展開について述べてきた。

構想の最大の特徴は、本文でも触れたように、面（あるいは点）と線の組み合わせで多目的に使い、さらに常時機能の他非常時機能をもつ事である。使い方のプライオリティー、どの地域からスタートするかは今後の課題であるし、現在論議されている大深度地下空間利用などの法制問題も本構想の実現に関係しよう。

主施設の建設は現状技術で可能である反面、特に地下空間で要求される安全性にかかわるソフト技術については、文中で述べたように、これからの研究・開発に待つところも大きく、使用方法とあいまって、本構想の付加価値を生むものと期待される。今後は、こうしたソフト技術についても積極的に取り組んでいくつもりである。

TOUMA Shigenao, MIYAKE Noriharu, INOUE Yoshinobu
KAZAMA Hiroshi and HANE Tadashi(1991): Urban geogrid plan—Scope and Technology—

<受付: 1991年8月1日>