

ジオドームについて ABOUT THE GEODOME PROJECT

近藤 紘一*
Koichi KONDO

The object of the present research and development is to find ways to optimally utilize underground by making much of the unique characteristics. In this research and development, to develop a system which capable of evaluating three dimensional geologic structures and physical properties with high accuracy, to develop technologies for building a space in deep underground (GEODOME) to ensure safety and efficient execution of the work in soft rock, to develop the control method of underground environment and technology for disaster prevention, to keep balance of each developed technology and to promote effective use of GEODOME are carried out.

1. はじめに

わが国は、面積約38万km²の限られた国土に1億2千万余の人口を有し、急速な都市化の進展に伴って、都市圏への人口や諸機能の集中および地価等の都市問題が顕在化しており、自然環境の保全と未利用空間の利用拡大が大きな課題となっている。

このような観点から通商産業省では、未利用空間である大深度地下空間の開発により、空間資源の拡大を図り、その産業・エネルギーの利用を積極的に推進するため、平成元年度から工業技術院の産業科学技術研究開発制度のテーマとして「大深度地下空間開発技術」の研究開発を開始した。この研究開発は、国立試験研究所および新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が実施しており、NEDOの担当分は財団法人エンジニアリング振興協会に委託され、その研究開発の一部は、機械メーカー、建設会社等に再委託されている。

都市圏の地下には半固結堆積岩～軟岩が広く存在しているが、本研究開発では、深度50m以深のこれらの地盤中に、直径50m、高さ30mのドーム状空間を構築し、利用するものである。この研究開発の対象となるドーム状空間をジオドームと通称している。図-1にジオドームの概念図を示す。

本文においては、ジオドーム計画として進められている研究開発の内、財団法人エンジニアリング振興協会が委託を受けている内容について説明する。

2. 研究開発の内容

*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 技術開発第二部 部長

今後の新しい経済・社会活動を展開していくうえで、50m以深の地下（大深度地下）の積極的利用を図ることを目標に大深度地下空間構築に必要な技術の開発を行っている。これらは、高精度構造評価技術（地下の地盤状況を前もって正確に知る技術）、大深度地下空間構築技術（空間を構築するための設計技術、施工技術）、大深度地下環境制御・防災技術（地下空間における安全性、快適性を確保するための技術）、トータルシステム・利用技術（以上の技術を有機的に連携させ、地下空間の利用の可能性を多面的に考える技術）に大きく分けられる。

3. 高精度地下構造評価技術の研究開発

ボーリング孔の情報、ボーリング孔間の弾性波、電磁波、比抵抗のトモグラフィ探査データ、地盤物性のデータベース

を総合的に評価して、大深度地下空間の設計・施工に必要な弾性係数等の地盤物性および断層の位置などの地盤情報を推定し、これらを三次元的に表現し、地盤状況を高い精度で評価するシステムを開発することを目的としている。図-2に高精度地下構造評価システムの概要を示す。

研究開発においては、システム全体の基本設計、必要な地盤情報の抽出と基本データの収集、

三次元可視化技術に必要な機能の検討などを行い、システムの詳細設計を実施した。実証実験として原位置ならびに室内での各種試験を実施するとともに、試験結果を地下構造評価システムに入力して定性的地盤情報の評価を行った。すなわち、実測されたトモグラフィ探査データを利用した地下構造評価結果と追加ボーリング孔での調査結果とを比較検討した。この結果、地層境界や亀裂状況に関して、地下構造評価結果は追加ボーリング孔での調査結果とほぼ一致していること、圧縮強度等の定量的地盤情報についても良好な精度で推定できることが確認できた

4. 大深度地下空間構築技術の研究開発

地上の占有スペースを極力抑え、半固結堆積岩から軟岩までの地質を対象に、周辺の地下水など環境保全に配慮して大深度にドーム状の空間を構築するために、図-3に示すように地上から立坑によりアクセスし、スパイラルトンネルとFRPロックボルトでジオドーム周辺に事前に地盤補強ゾーンを形成し、水没下の遠隔操作で掘削とライニングを行うジオドームの構築コンセプトが提案された。この構築コンセプトを解析・設計的な面と施工的な面から検討を行った。

4.1 総合施工技術

図-4に示すとおり、ジオドーム周辺に事前に地盤補強ゾーンを形成するスパイラル天盤構造効果と水没下で掘削とライニングを行う水中施工効果の二つの構築原理によってジオドームの安定が保たれると考えて

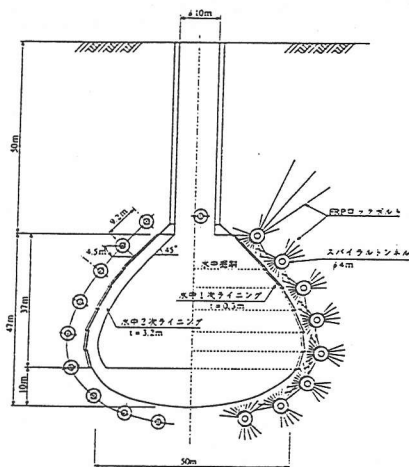


図-1 ジオドーム概念図

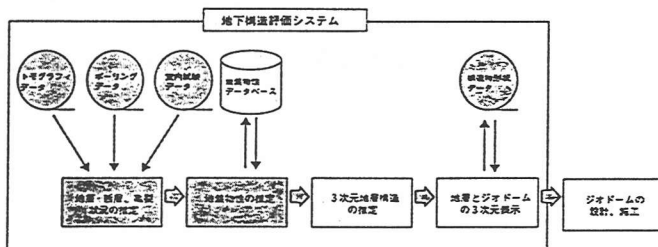


図-2 高精度地下構造評価システムの概要

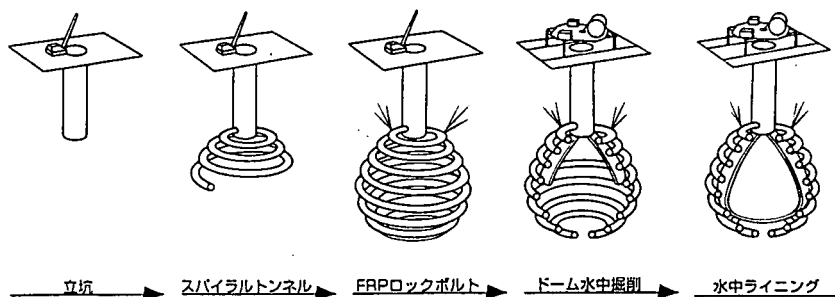


図-3 ジオドームの構築順序

いる。総合施工技術の開発では、これらの構築原理を確認し、設計手法の確立を図ることと地質条件、施工法を総合化した施工システムを確立することを目的としている。

この内、スパイラル天盤構造効果については、数値解析、室内実験、ミニドーム実証実験により検討を行った。

①数値解析によるスパイラル天盤構造効果の検討

軸対称FEM解析と三次元FEM解析を行い、スパイラルトンネルの有無によるジオ

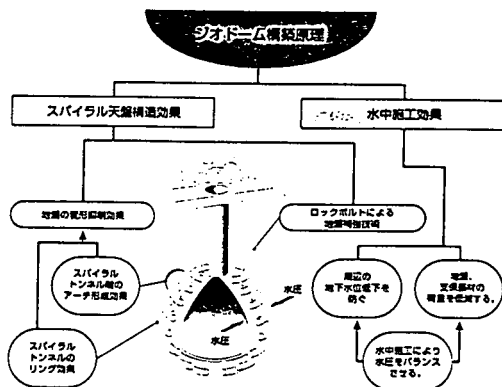


図-4 ジオドームの構築原理

ドーム周辺地盤の応力および変位量の比較を行った。

図-5は、スパイラルトンネルの有無によるジオドーム周辺地盤の安全率の比較を示しており、ジオドーム壁面の変位量が抑えられ、周辺地盤の安全性も改善さ

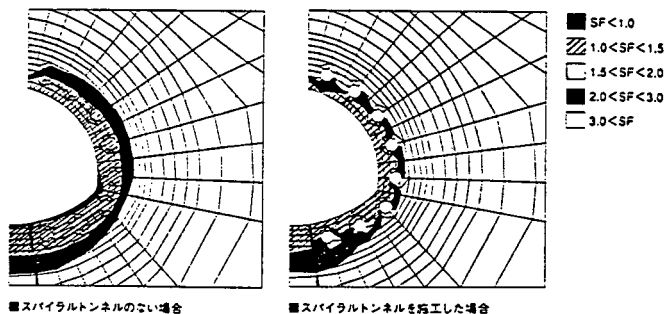


図-5 スパイラルトンネルの有無によるジオドーム周辺地盤の安全率の比較

②室内実験によるスパイラル天盤構造効果の検討

円筒状空洞の周辺の模型地盤内にリング状とスパイラル状の補強部材を設置して、空洞内の圧力を抜いたときの挙動を調べた。リング状とスパイラル状とは同程度の支保効果を発揮していること、端部では地盤変形や軸力値に僅かに違いが見られることなどがその結果として得られた。

③ミニドーム構築によるスパイラル天盤構造効果の検討

ジオドームの構築原理であるスパイラル天盤構造効果を実地盤で確認し、設計手法の確立をするために、ミニドームを構築し、スパイラルトンネルおよび周辺地盤の挙動を調べた。

ミニドームは、図-6に示すようにある民間会社の地下実験場の既設立坑の下部に構築された、直径20m、高さ12.5mのドームであり、周辺地盤の地質は堆積泥岩(上総層群)である。ドーム掘削に先立ち

施工されたスパイラルトンネルの直径は2.2m、延長は178mで、在来の山岳工法で施工されている。スパイラルトンネルから地中変位計、軸力計等を設置後、スパイラルトンネル内にはコンクリートを充填し、所定強度が発現したのを確認してからドームの掘削を行った。

図-7は、計測結果と事前の解析結果との比較を示している。計測断面8に着目すると1段目掘削までは、ほとんど変位量はないが、

これ以降の掘削が進行するのに伴って変位量が増大している。変位量は、事前解析の結果にほぼ等しくなっている。また、ドーム掘削によってスパイラルトンネルの軸力が増大する計測結果も得られており、これらの解析結果と計測結果からスパイラル天盤構造効果についての確認ができた。

●寸法図

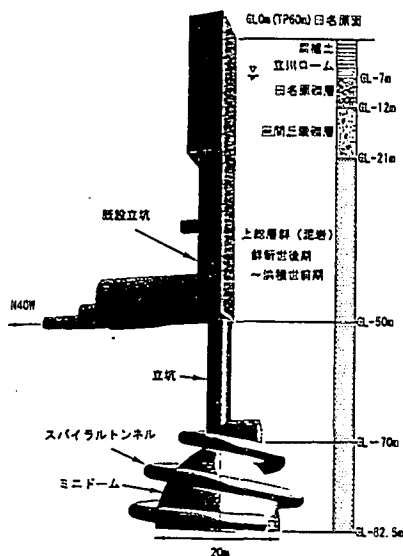
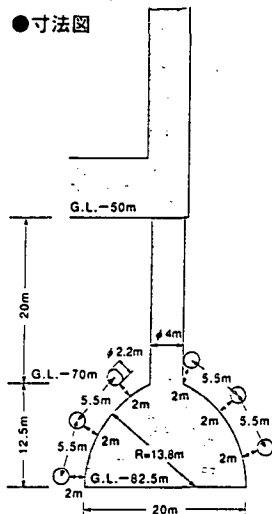


図-6 ミニドーム概要図

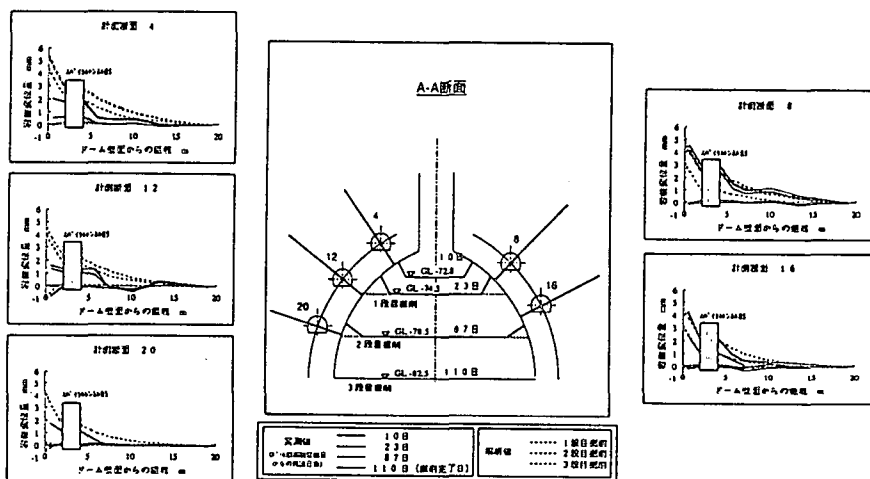


図-7 計測結果と事前の解析結果との比較

4.2 軟岩用急曲掘進機の開発

ドームの周囲にスパイラルトンネルを掘削する軟岩用急曲掘進機は、最小曲率半径7mから連続的に曲率が三次元的に変化するトンネルを効率よく掘進でき、かつ高水圧下での施工ができることを目標に開発された。このため、パラレルリンク機構を採用し掘進を自律化するための自律型掘進制御技術、機体を屈曲するためのフレキシブル機構、周囲の岩盤から推進反力を得るための推力発生機構、最長2kmの軟岩掘削にも対応できるロングライフカッター、

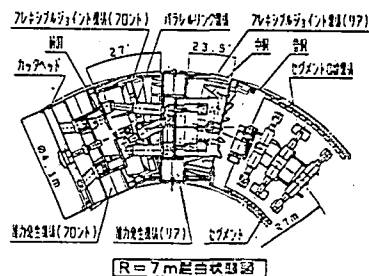


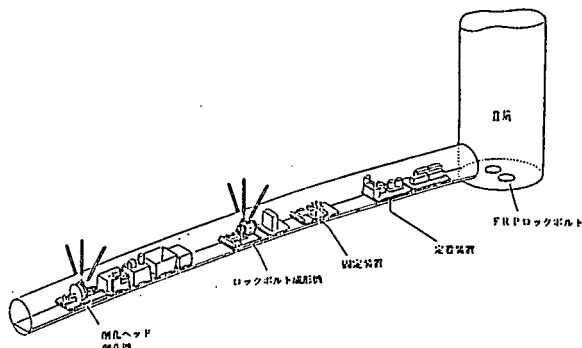
図-8 軟岩用急曲掘進機の構造

高水圧・高速打設に適したセグメント構造、セグメントを高速で打設する自走式のセグメント打設機構などが開発された。

図－８は、軟岩用急曲掘進機の構造を示している。

4.3 現場成型型FRPロックボルトの開発

スペースが限られたスパイラルトンネルの中から、地山補強および地山とトンネルを一体化させるためのロックボルトを施工する方法を総合的に研究開発した。ロックボルトとしては、軽量で強度、耐蝕性に優れた撚り線式FRPロックボルトを開発した。また、ウォータージェット方式による削孔機、削孔孔にロックボルトを所定長さ挿入し、切断するロックボルト成形機、ロックボルト端部にセグメントへの固定金具を取り付ける固定装置およびロックボルトを地山に定着させる定着材の注入をする定着装置を開発した。

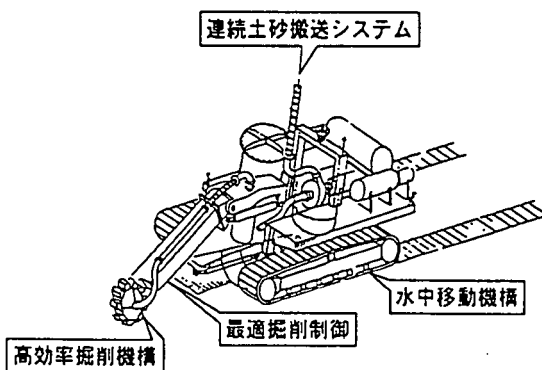


図－９ FRPロックボルトの全体構想図

図－９は、FRPロックボルトの全体構想図を示している。

4.4 水没自動掘削機の開発

水没自動掘削機は、地中にスパイラル天盤構造が構築されたのち、その内側にドームを掘削するもので、遠隔操作により、水没下での無人自動掘削および掘削物の連続搬出を行うことができることを目標に開発され、バケットホイールにより掘削した土砂をスラリー輸送で搬出を行う。このため、高効率で耐久性のある地盤掘削および掘削土砂の搬出のための機構および制御技術、高水圧泥水中で安全かつ確実な移動・位置決めおよび計画された形状掘削のための自動運転制御技術が開発された。



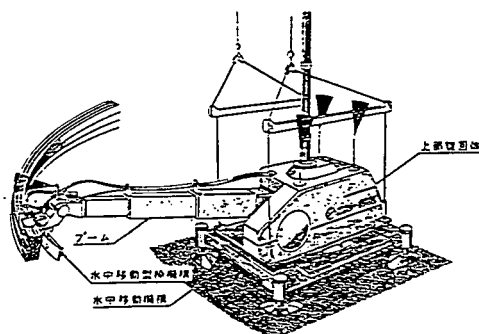
図－１０ 水没自動掘削機の概要図

図－１０は水没自動掘削機の概要図を示している。

4.5 水没自動ライニング機の開発

水没自動ライニング機は、水没自動掘削機で掘削されたジオドームの内面地山に遠隔操作による無人自動化にて、信頼性のあるコンクリート構造物を水没下で構築できることを目標に開発され、区分順巻工法でリング状にライニング材料を水平連続打設するという水中移動型枠方式が考案された。水中ライニング材料とその給送方法、自己位置検出装置、地山読み取り装置などが開発された。

図－１１は水没自動ライニング機の概要図を示している。



図－１１ 水没自動ライニング機の概要図

5. 大深度地下環境制御・防災技術の研究開発

地下空間の短所を克服し、より高い安全性・利便性を確保するための大深度地下空間環境制御技術および災害等に対応可能な保安技術等の開発のために、①通気対策技術、②地下空間維持対策技術、③火災対策技術、④退避対策技術、⑤地下水維持対策技術、⑥環境監視および総合安全対策技術の6つの対策技術に付いて要素技術、システム技術の開発を行った。

5.1 通気対策技術の研究開発

大深度地下空間に安全で快適な環境を確保するためには、適正な通気流の確保が不可欠であり、大深度地下空間の特性に適応した通気対策の全体計画を策定するとともに、省エネルギー型最適通気流配分ならびに災害時の遠隔通気変更を行う通気対策システムの研究開発を行った。

5.2 地下空間維持対策技術の研究開発

ジオドームのような大空間が長期的に維持されるための長期的な計測管理システム、および地盤、ライニング等の挙動や性状の変化を計測する技術、空洞の安定性について解析・評価する技術の開発を行なった。

5.3 火災対策技術の研究開発

地下空間で火災が発生すると火災特性が地上の一般的な建築物と異なるとともに避難活動や消防活動に制約を受ける。このため、火災対策技術の基本設計と管理運用マニュアルの作成を行なうとともに、火災状況監視、消火、延焼拡大防止の各サブシステムの一つとして火災を早期に検知することができる極初期火災検知システムの開発を行なった。

5.4 退避対策技術の研究開発

大深度地下における、災害時に対応可能な退避対策技術の全体構想と基本シナリオの確立、およびヒューマンファクター対策技術、多重退避経路の確保技術、急速機動退避技術の開発を行なった。特に、多重退避経路の確保技術の一つである漏洩型光ファイバー避難誘導システムは、特殊加工した光ファイバーケーブルによって避難方向の指示を行なうものである。

5.5 地下水維持対策技術の研究開発

ジオドーム完成後の地下水位低下とこれに起因した地盤沈下、およびジオドーム出水に対処できる地下水環境保全技術として、全体システムの開発と要素技術である地下水流の予測解析技術、計測管理技術および地下水環境制御技術の開発を行なった。

5.6 環境監視および総合安全対策技術の研究開発

大深度地下空間の環境・防災を考える上で特異な環境条件に適合したジオドーム特有の環境監視および総合安全対策システムの開発が必要であり、これに基づいて、環境制御・防災設備の機能・最適配置、制御システム、基本シナリオなどの検討を行なった。また、大深度地下に太陽光を導入する採光システムの検討も行なっている。

6. トータルシステム・利用技術の研究開発

以上述べた各技術の研究開発がバランス良く進み、有機的に結合できるように全体としての検討を行なった。また、ジオドームにとって適当と思われる利用施設の検討を行なった。

7. おわりに

平成元年度から進められたこの「大深度地下空間開発技術」の研究開発も今年度をもって終了するわけであるが、これまでの研究成果を生かすことにより、立体的な最適地下活用を実現し、社会・生活基盤の整備・拡充、都市の安全性の向上を図る諸施設の整備等が促進されていくことが期待されている。