

熱供給用超小型原子炉の地下立地成立性に関する研究

(株)大林組 正会員 中岡 健一、○長谷川 宏、大垣 彰、三田 芳幸
日本原子力研究所 非会員 高橋 博樹、楠 剛、中島 伸也

1. はじめに

21世紀のエネルギーを考える際、エネルギー消費量の予測だけでなく、社会構造、地球環境、地政学的、自然災害、エネルギー資源などに加え、社会受容性を考慮した検討が必要である。エネルギー消費量については、現在、産業用が減少の、民生用が増加の傾向を示しており、民生用エネルギーの過半は、冷房、暖房、給湯用が占めている。地球環境に関しては、地球温暖化、オゾン層破壊等の対策として、それらの効果ガス排出量の国際的な規制が進められ、炭酸ガスやフロンガスがその対象となっている。しかし、代替フロンもその対象となることから、空調用冷媒が大きな制限を受けることになる。これらの課題を解決するための冷房、暖房、給湯用の熱源の一つとして、原子力の利用が考えられる¹⁾。

このような観点から、都会などのエネルギー消費地の大深度地下に分散して配置する超小型原子炉を中核とした地域熱供給システムを想定して一連の研究を行い^{2,3,4)}、これまでにつぎのような結果を得ている。地域熱供給の規模としては100~400MWth程度であり、年間を通しての熱負荷や燃料交換などの効率を考慮すれば、一基当たりの熱出力100MWth程度の超小型に分類される原子炉複数台で熱供給が可能となる。また、原子炉を設置するために必要な地下空洞の規模は、原子炉の寸法から設定される。

大都市圏の大深度地下に分布する地質は第四紀層及び第三紀層が主体であることから、熱供給用超小型原子炉の地下立地成立性を判断するためには、地下空洞の力学的安定性を確認する必要がある。本検討では第四紀、第三紀層における地下空洞の施工方法も含めた力学的成立性について評価を行うとともに、経済性についても考察を行った。

2. 対象とする原子炉空洞の概要

原子炉空洞(主空洞)を対象とし、補助空洞およびその他の隣接する空洞とは相互に力学的な影響を及ぼさない離隔距離を設けて構築されるものとする。図-1に熱供給システムの概要と主空洞の形状・寸法・深度を示す。

3. 地質条件

大都市圏の代表的な地質として、第四紀層と第三紀層を対象とし、解析に必要な物性について設定した結果を表-1に示す。設定方法は、これまでにわが国で実施されてきた大深度地下開発利用プロジェクトにおいて適用された地盤、岩盤の力学的特性を参考にして本検討のための物性値を設定した。

4. 施工方法

地下空洞群に隣接して、建設や機器搬入のために供することができる大深度地下自動車道等を仮定する。地下空洞はこのトンネルからアクセスして掘削するものとする。第四紀層は地盤が自立しないと考えられるため、シールド工法を用いて環状の坑道(φ7m程度)を空洞上部に構築し、空洞上部の地盤改良を行った後、坑道からパイプルーフを構築する。さらに、坑道から原子炉空洞の壁面に相当する位置に地中連続壁を構築する。その後、空洞を上部から掘削するとともに、原子炉躯体を逆巻きで構築する。図-2に施工法の概要を示す。第三紀層は空洞を上部から下部へと順次掘削していき、掘削に伴い吹付けコンクリートやロックボルトを必要に応じて施す。空洞掘削完了後、躯体を順巻きで構築する。

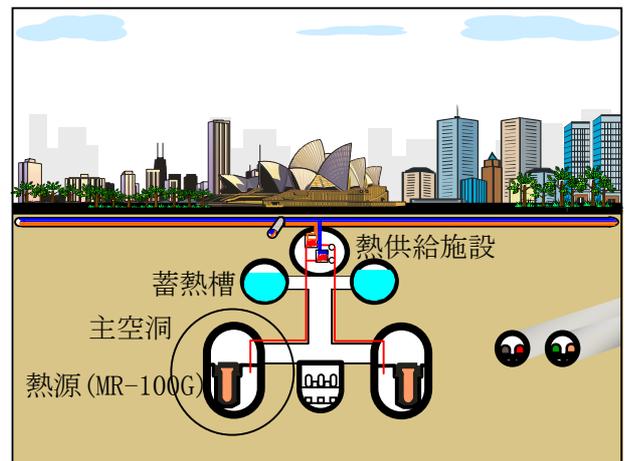


図-1 仮想都市における熱供給システム²⁾

主空洞は高さ 37.4m、幅 26.4m の円筒型
空洞天端の地表からの深度 50m

表-1 解析に用いる力学特性値

	質量密度 (g/cm ³)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	せん断強度 (MPa)	内部摩擦角(°)
第四紀層(砂質地盤)	1.90	100	0.350	0.100	35.0
第三紀層(泥岩)	1.85	300	0.300	1.00	15.0

キーワード：熱供給炉、第四紀層、空洞安定性、掘削解析

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ-B 棟 TEL:03-5769-1309、FAX:03-5769-1972

5. 解析概要

施工方法を反映した逐次ステップ弾塑性解析を適用する。軸対称モデルとし、地表まで含めてモデル化する。解析ステップは第四紀層で初期応力解析、仮設構造物構築、掘削および躯体構築の一連の 11 ステップ、第三紀層で初期応力解析、空洞掘削および躯体構築の一連の 6 ステップとする。

6. 解析結果および成立性の検討

第四紀層のケースでは、仮設構造物が土留め構造物として空洞周辺地盤を支持する構造であるため、空洞の力学的安定性は仮設構造物の応力度で評価される。それに対し、第三紀層では、岩盤の強度に期待するため、空洞の力学的安定性は岩盤の力学的安定性によって評価される。連壁コンクリートの設計基準強度は高強度の実績である $f_c=60\text{MPa}$ とした。表-2 に第四紀層に発生する仮設構造物の断面力と応力を示す。表中の断面力からパイプルーフ鋼管・コンクリート応力度検討を行った結果、パイプルーフは中間部に支持を設けるなどの補強を行うことにより成立することを確認した。連壁について、最大主応力が許容応力度以内であることを確認するとともに、連壁の断面力から、鉄筋とコンクリートが許容応力度以内となるような配筋計算を行い、過大な鉄筋量とならないことを確認した。図-3 に空洞周辺地盤の局所安全率の分布と内空変位を示す。第三紀層について、岩盤の力学的安定性の目安値として局所安全率 1.5 以下とすると、その範囲は空洞下部に限られ、空洞壁面から 1.5m 以下となった。通常の吹付けコンクリートおよびロックボルトによって空洞の力学的安定性は確保できると考えられる。

7. 経済性の検討

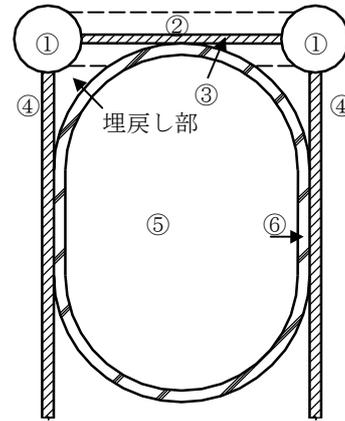
第四紀層および第三紀層における空洞掘削工事の費用概算を行った。その結果、第四紀層の工費のうち仮設構造物工費が全体工費の 8 割近くになった。仮設構造物は第三紀層には用いられていないため、第四紀層の全体工費は第三紀層の 3 倍程度となった。第三紀層においては、空洞掘削工事費と躯体構築費はほぼ同じ費用となった。費用概算に際しては、掘削土は空洞上部より搬出できるものとし、残土処理費および原子炉空洞までのアクセス工事費は除くものとした。超小型原子炉による熱供給システム全体では、40 年程度の運転期間を考慮すれば、既存の熱供給システムと同等あるいはそれ以上に経済的となる見通しを得た。

8. まとめ

第四紀層、第三紀層を対象に熱供給超小型原子炉地下空洞について、施工方法を考慮した解析を行い、地下空洞の力学的安定性を確保できる可能性が高いことを確認するとともに、熱供給システムとしても経済的に成立する見通しが得られた。

参考文献

1) 中島ほか、第 7 回 機械学会 動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集 pp.225~228.、2000 ; 2), 3), 4) 中島、楠、高橋ほか、熱供給用超小型原子炉に関する研究 (6)~(8)、日本原子力学会 2001 年春の年会要旨集 pp.484~486.



- ① 頂部導坑(ドーナツ状)
- ② 地盤改良部
- ③ パイプルーフ(φ914、鋼管)
- ④ 地中連続壁(t=1.2m)
- ⑤ 原子炉空洞
- ⑥ 躯体(t=1.2m)

番号の順番で施工を行う。躯体は空洞の掘削と並行して構築する逆巻き工法とする。躯体ドーム部構築後、パイプルーフとの隙間を埋め戻す。

図-2 第四紀層を対象とした空洞の施工方法概要

表-2 第四紀層における仮設構造物に発生する断面力および応力

構造物	項目	最大断面力または応力
パイプルーフ	軸力	-1.48Mn/m
	曲げモーメント	2.75Mn・m/m
連壁	円周方向応力	15.1MPa
	面内最大主応力	10.5MPa
	面内最小主応力	-2.9MPa

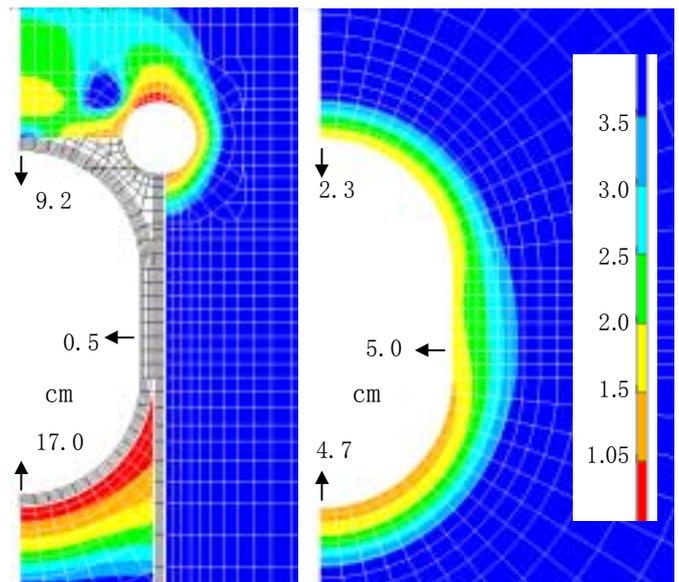


図-3 空洞周辺地盤の局所安全率および内空変位