

大成建設㈱ 正員 坂下 克之
同上 正員 立石 章

1. はじめに

地下式原子力発電所の成立性の検討が現在各方面で進められている。地下式原子力発電所のうち横型地下空洞式では、大規模な地下空洞を複数個連設することが予想され、連設地下空洞の耐震性の検討が重要となる。そこで、本研究では連設地下空洞の動的応答特性について境界要素法を用いて基本的な検討を行った。ここで境界要素法を用いた理由は、境界要素法が、ロックボルト等の支保工や複雑な地盤条件を考慮して行う詳細設計には不向きであるが、入力データの作成が容易であるため基本設計の段階で重要となるパラメータスタディには適していることによる。さらに境界要素法は、半無限領域の解析が可能で動的応答解析には適した手法である。

本報告では、まず境界要素法による成層地盤の動的解析手法を示し、次に空洞離間距離をパラメータとした双設地下空洞の動的応答特性の検討結果を示す。

2. 境界要素法による成層地盤の動的解析手法

均質等方な無限弾性体に空洞がある場合（図-1）、空洞より発生する散乱波に対して積分方程式(1)が成り立つ。

$$\int_S U(x, y) t^s(y) dS_y - \int_S T(x, y) u^s(y) dS_y = \begin{cases} u^s(x) & x \text{ in } D \\ 0 & x \text{ in } D^c \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 D 、 S は無限領域および空洞境界、 x 、 y は作用点および観測点、 u^s 、 t^s は散乱波の変位および表面力、 U 、 T は変位の基本解および表面力の基本解。基本解は、2次元動弾性問題における面内調和波動の基本解を用いた。また物体力は無視した。

成層地盤内に空洞がある場合（図-2）、各層を水平方向に無限に広がる外部領域と考え、各層において積分方程式(1)が成り立つものとする。この積分方程式に無限遠で波動の反射がないという放射条件を適用し、作用点 x を境界へ極限移行すると境界積分方程式(2)が得られる。

$$\int_{S_i} U_i(x, y) t_i^s(y) dS_y - \int_{S_i} T_i(x, y) u_i^s(y) dS_y - C_i(x) u_i^s(x) = 0 \quad (2)$$

ここに、添字 i は層番号、 C は境界形状とポアソン比より定まる係数。

境界積分方程式(2)に、 $u_i^s = u_i - u_i^f$ 、 $t_i^s = t_i - t_i^f(u_i, t_i)$ （全変位、全表面力、 u_i^f 、 t_i^f ；空洞のない自由地盤での変位、表面力）を代入して、全変位および全表面力を未知数とする境界積分方程式に変換する。さらに境界要素により離散化を行って全層に対するマトリックス方程式を作成し、これを解いて全変位および全表面力を求める。本解析では、鉛直入射による自由地盤の応答として1次元重複反射の解を用い、境界要素としては2次元アイソパラメトリック要素を用いて解析を行った。

3. 双設地下空洞の動的応答特性の検討

地盤条件としては、大規模地下空洞が地震時に十分な安定性を有する岩盤を想定し、二層構成とする。空洞は土盛りを100mとし、空洞形状は既往の検討¹⁾より横型地下空洞式原子力発電所の平均的形状を用い、素掘状態を仮定した。（表-1、図-3）入射波はSV波の鉛直入射を考え、検討ケースは空洞離間距離1D、2D、3D（ $D = (B+H)/2$ 、 B ；空洞幅、 H ；空洞高さ）の3ケースとした。

解析結果として、入射波の加速度に対する空洞天端の水平方向の加速度応答倍率および空洞側壁の周方

向のひずみ応答倍率を図-4、図-5に示す。同図より、(1)空洞天端の水平加速度は、高い振動数で空洞離間距離が小さいほど応答倍率が大きくなる傾向がわずかにみられる。(2)空洞側壁の周方向ひずみは、全振動数にわたって空洞離間距離が小さいほど応答倍率が大きくなる傾向がある。

4. まとめ

境界要素法を用いて、横型地下空洞式原子力発電所の成立性検討の一つである双設地下空洞の動的応答特性について基本的な検討を行った。これより、空洞周壁の加速度に比べ、空洞周壁のひずみは空洞離間距離による応答の変化が顕著で、地下空洞の地震時安定性の評価において空洞離間距離が重要なパラメータであることがわかった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導を賜りました熊本大学大津政康助教授ならびに京都大学廣瀬壯一助手に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 林，日比野，本島：「原子力発電所の地下立地における発電所空洞の安定性」，電研報告，1979年

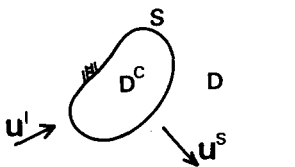


図-1 無限弾性体内の空洞の解析

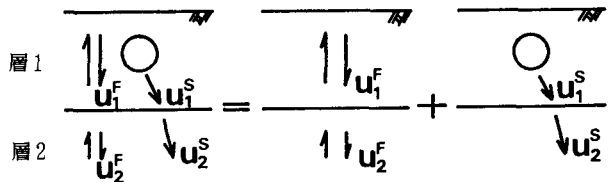


図-2 成層地盤内の空洞の解析

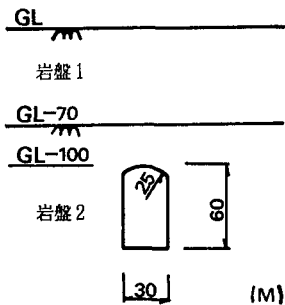


図-3 地層構成及び空洞形状

表-1 地盤物性値

地 層	層 厚 (m)	S波速度 (m/sec)	ポア ソン比	単位体積 重 量 (t/m ³)	減衰定数 (%)
岩盤1	70	1000	0.35	2.1	3
岩盤2	∞	2000	0.30	2.4	3

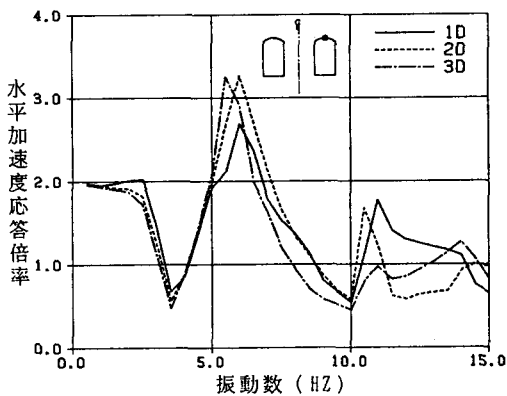


図-4 空洞天端の水平加速度応答倍率

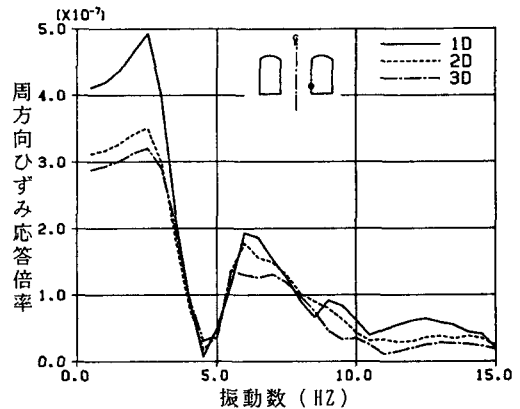


図-5 空洞側壁の周方向ひずみ応答倍率