

電 源 開 発 (株) 正会員 今田守夫  
電 源 開 発 (株) 正会員 西本吉伸  
開発計算センター(株) 井田文雄

## 1. 圧縮空気貯蔵空洞の位置について

CAES-GT は、岩盤内に圧縮空気貯蔵用の空洞を付帯するガスタービン発電所であり、圧縮空気貯蔵圧力は最大 8 MPa 程度である。内圧はすべて岩盤負担する構造であり、設計上において岩盤性状の把握および、地圧を考慮した設置深度の決定が重要である。本稿は岩盤物性を念頭において必要な空洞設置深度を弾性理論に基づいて考察したものである。

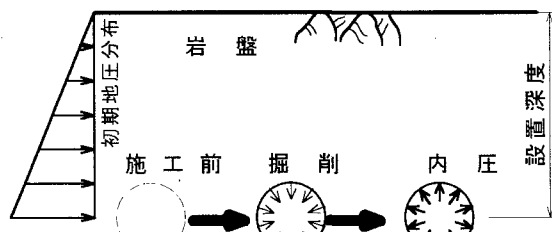


図-1 圧縮空気貯蔵空洞概念図

## 2. 弾性理論式による検討

### 2. 1 掘削⇒内圧の応力理論

空洞壁面の岩盤は、掘削によって応力が開放されるが、運転時には内圧によって引き戻される。深い岩盤及び浅い岩盤における応力履歴を、モールの応力円を用いて示すと、図-2 のようになる。

### 2. 2 弾性理論式による解法

ここで無限延長岩盤内における円孔周りの応力算定式を使用して、空洞の挙動を求め、せん断破壊安全率分布などを算出する。掘削時の項に内圧時の項を加えたものとし、せん断破壊安全率  $F_s$  は以下の式を使用する。

$$\sigma_r = P \left[ 1 - \frac{a^2}{r^2} \right] + P_i \left[ \frac{a^2}{r^2} \right]$$

$$\sigma_\theta = P \left[ 1 + \frac{a^2}{r^2} \right] - P_i \left[ \frac{a^2}{r^2} \right]$$

$$F_s = \frac{[\sigma_\theta - \sigma_r] \sin \phi + 2c \cos \phi}{\sigma_\theta - \sigma_r}$$

a: 空洞半径  
r: 空洞中心からの距離  
 $\phi$ : 内部摩擦角  
c: 粘着力

## 2. 3 結果

### ① 計算条件

|      |                     |
|------|---------------------|
| 設置深度 | 50m～450m            |
| 岩盤物性 | 電中研岩盤分類CM級相当        |
| 初期地圧 | 等方、深さに比例            |
| 空洞内径 | 10m                 |
| 設計内圧 | 8.4MPa(実績値)         |
| 単位重量 | 2.5t/m <sup>3</sup> |

表-1 計算条件

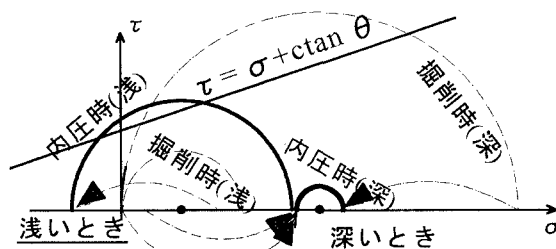


図-2 設置深度深⇔浅の応力円

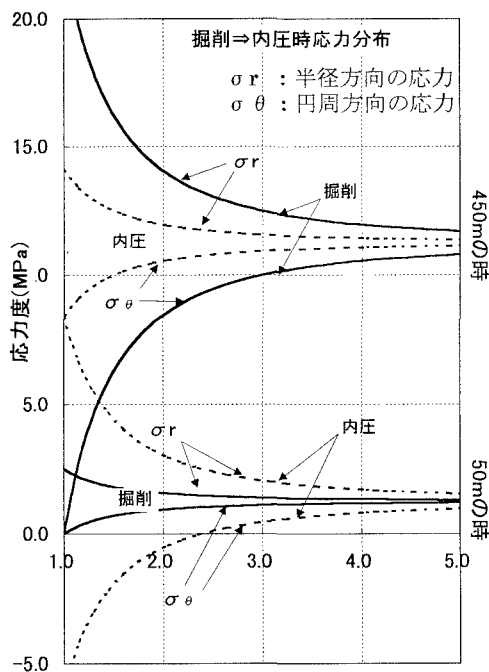


図-3 応力度分布

② 計算結果

掘削時及び内圧作用時について、空洞中心からの距離と応力度の関係を図-3に示す。また壁面及び岩盤内でのせん断破壊度による安全率分布を図-4に示す。空洞が浅い場合は、深い場合に比べ内圧時の影響が大きいことがわかる。

3. FEMによる解析計算結果

次に、地表自由面を考慮したFEM解析を行い、空洞壁面からの滑り安全率を求めた。

3. 1 解析条件

岩盤モデルはCM級のものを使用した。解析は掘削時については線形弾性解析とし、内圧時には内圧時の壁面近傍の岩盤挙動を考慮して、非線形弾性解析を使用した。また内圧時の解析結果より、モビライズ線に沿った滑り線を設定し(図-5)、安全率を算出した。

解析は土被りが50m、100m、250mとした。

3. 2 解析結果

① 地表面変位値

解析による地表面の変位結果を表-2に示す。もっとも浅いケースである土被り50mの場合は地表面への影響は大きくなる。

② すべり安全率の計算

内圧载荷時におけるすべり安全率の結果を表-3に示す。最も浅いケース(土被り50m)の場合でも、安全率は2.84を確保できることが示された。

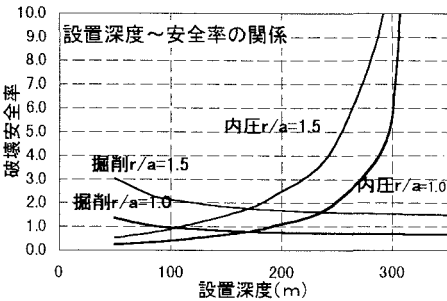


図-4 設置深度～安全率の関係

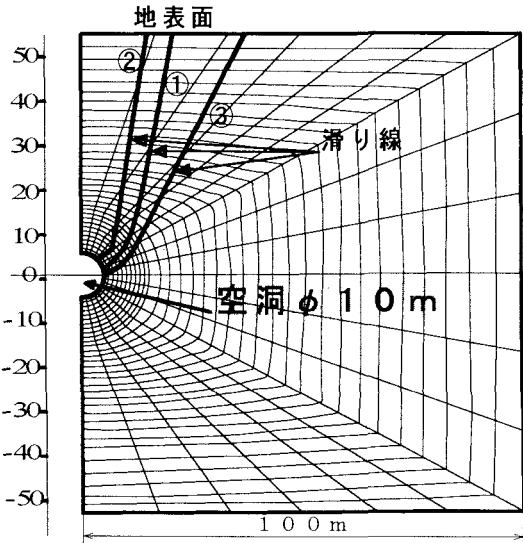


図-5 FEM縦断メッシュ図

4. 今後の課題

設置深度の違いによる岩盤挙動を、円孔の理論解及び、FEMによって試算した。結果は50～100mくらいにおいても設置の可能性のあることを示唆している。

今後は浅い領域での設置可能性について検討するため、掘削時に生じるゆるみ領域の内圧時の挙動を評価すること、及び内圧作用時における周辺岩盤のせん断破壊の進行、地表面への影響評価などが挙げられる。

【参考文献】

土木技術者のための岩盤力学(土木学会編)、  
トンネル工学—理論・設計・施工—(K.チェッキー著)

| 設置深度<br>(m) | 地表面鉛直変位<br>(mm) |
|-------------|-----------------|
| 50          | 6.17            |
| 100         | 1.93            |
| 250         | -0.13           |

表-2 地表面変位

| 設置深度  | すべり線① | すべり線②  | すべり線③ |
|-------|-------|--------|-------|
| 50 m  | 2.33  | 5.42   | 2.74  |
| 100 m | 6.95  | 21.37  | 8.15  |
| 250 m | 71.58 | 241.24 | 83.54 |

表-3 すべり安全率の結果値