

VI-177

スチールライニング方式の圧縮空気地下貯槽への適用性に関する検討

中部電力（株） 正 奥田宏明 近藤久雄 神山博
清水建設（株） 正 ○西崎晶士 木全宏之 熊坂博夫

1. はじめに

ライニング方式による圧縮空気地下貯槽は、鋼板、ゴム、プラスチック等の気密材により貯蔵圧縮空気気密性を確保するものであり、建設地点の地形・地質・岩盤条件に応じたライニング構造の選定と設計法が必要となる。

ここでは、中部地方北部に広く分布するC_H～B級岩盤を想定サイトとして、スチールライニング方式の実用規模圧縮空気地下貯槽への適用性を検討したが、そのうち重要性の高い検討項目である繰返し内圧変動に対する貯槽空洞の安定検討とスチールライニングの設計について報告する。

2. 設計の考え方と標準断面

スチールライニング方式は、気密材として鋼板を使用するものであり、スウェーデンのゲレンゲスベルグにおける高圧天然ガス貯蔵のための原位置実証試験¹⁾で成功している方式である。ライニング設計の考え方は、この試験と同様、以下の設計概念によった。

- ・内圧はすべて周辺岩盤が支持する。
- ・鋼板は、気密材であり、内圧は負担しない。
- ・適切な排水設備を設置することにより、貯槽周辺の地下水による外圧は作用させない。

図-1に標準断面図を示す。

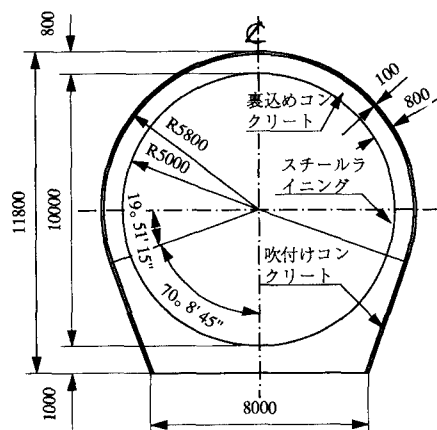


図-1 標準断面図

3. 基本条件

表-1および表-2に施設の基本諸元および岩盤条件を示す。

表-1 基本諸元

発電出力： 350 MW	気密方式： ライニング気密
発電時間： 7 時間	貯蔵圧力： 40～80 kgf/cm ²
貯蔵時間： 7 時間	貯蔵容量： 290,000 m ³
貯蔵方式： 変圧方式	貯槽内径： 10 m

表-2 岩盤条件

単位体積重量：	2.5 tf/m ³
変形係数：	50,000 kgf/cm ²
ポアソン比：	0.2
一軸圧縮強度：	170 kgf/cm ²

4. 繰返し内圧作用時の空洞安定性の検討

空洞安定性の検討項目としては、繰返し内圧作用時の空洞安定性の検討の他に建設時の空洞の安定性、および最大内圧作用時の安定性を確認する必要があるが、今回の設計では設置深度を掘削時に周辺岩盤に生じる応力度が破壊規準を越えず、かつ最大内圧時に空洞周辺に引張応力度が生じない条件²⁾で設定（設置深度：175m以上、320m以下）しているために、建設時および最大内圧時の空洞安定性には問題はない。

そこで、ここでは、変圧方式圧縮空気貯槽特有の荷重条件である繰返し内圧作用時の空洞の安定性検討について述べる。この繰返し内圧作用時の空洞の挙動の検討は、構造物の安全性の確認のためだけでなく、スチールライニングの疲労設計の設計条件を得るためにも不可欠である。

繰返し荷重を受ける岩盤の挙動を評価するためには、岩盤の疲労特性を考慮する必要があるが、石塚らは岩石試験結果をもとにして岩盤の疲労強度特性および繰返し荷重下の変形特性を定式化し、内圧変動下の空

洞の安定解析法³⁾を提案している。この解析方法は内圧変動のサイクル毎に岩盤応力の累積損傷率を計算して疲労破壊の判定を行い、破壊後は剛性低下を考慮して弾塑性解析を行うものである。この解析法を用いて以下の条件で内圧変動に対する空洞の安定解析を行った。

初期地圧 42.3 kgf/cm²，全繰返し回数 12,500回，

緩み領域 1.5m（変形係数 $D=20,000$ kgf/cm²）

岩盤の疲労強度特性 $S=1.0-0.125 \cdot \log N$ ，

ここに， S ：応力比， N ：破壊繰返し回数（回）

岩盤の繰返し変形特性

$$\varepsilon v = d(\varepsilon v) / dn = c \cdot n^{-1.257}, \log c = -3.57 + 4.19 \cdot S,$$

$$(S > SLIM = 0.3)$$

ここに， εv ：体積ひずみ増分（%/回）， εv ：体積ひずみ（%），

c ：係数， n ：载荷繰返し回数（回）， S ：応力比，

SLIM：疲労限界

図-2に空洞壁面の変位、図-3に累積損傷率分布の解析結果を示すが、累積損傷率は12500回の繰返し载荷後も0.3以下の値であり、壁面変位も収束傾向を示している。このことは、繰返し内圧に対し、空洞は安定していることを示すものである。

5. スチールライニングの疲労設計

スチールライニングの疲労設計には、スチールライニングの変形挙動として、岩盤壁面変位を強制変位として与え、マイナーの線形累積損傷則を適用する。設計に用いたライニングの材料は次のとおりであり、設計疲労曲線は図-4⁴⁾を用いる。

材質 SM490，板厚 $t=6$ mm，ヤング係数 $E=2.1 \times 10^6$ kgf/cm²，

降伏応力度（ひずみ） $\sigma_y=3,300$ kgf/cm²（ $\varepsilon_y=0.0016$ ），¹

引張り強さ（ひずみ） $\sigma_u=5,000$ kgf/cm²（ $\varepsilon_u=0.17$ ）

内圧変動時の変位を、第1回目の最大内圧時を除き図-2に示すように一定値として単純化し、累積損傷率を計算すると、以下の結果が得られる。

$$\text{累積損傷率 } \eta = \sum (n_i / N_i) = 0.5 / (8.0 \times 10^2) + 12499.5 / (1.0 \times 10^6) = 0.01 < 1.0$$

この結果は、スチールライニングに疲労破壊は生じないことを示すものである。

6. まとめ

中部電力管内における圧縮空気エネルギー貯蔵発電の成立性に関する包括的研究の中の一部としてスチールライニング方式の圧縮空気地下貯槽の試設計を実施し、技術的な適用性を確認することができた。今後、この試設計結果を基本ケースとして発電規模、施工性、工期、建設費等を考慮した総合的経済性評価を実施する予定である。

参考文献 1)小野勇司：岩盤内ライニング式高圧気体貯蔵施設の概要，土木施工，Vol.31, No.10，1990
2)堀正幸：圧縮空気地下貯蔵施設に関する技術課題，第1回圧縮空気エネルギー貯蔵発電セミナー，（財）新エネルギー財団，1991，3)石塚与志雄，他：ライニング方式圧縮空気貯蔵における岩盤の安定性に関する検討，清水建設研究報告，第54号，1991.10，4)ASME：Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Section VIII, 1971

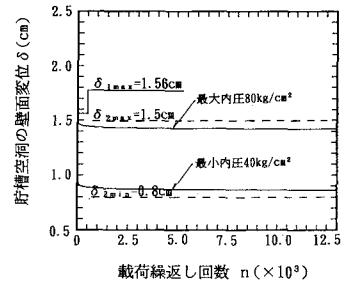


図-2 空洞壁面の変位

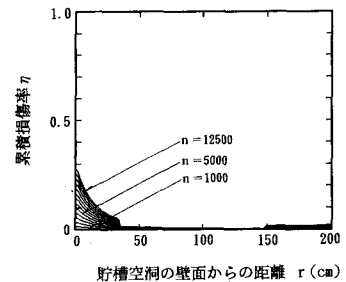


図-3 空洞周辺岩盤の累積損傷率分

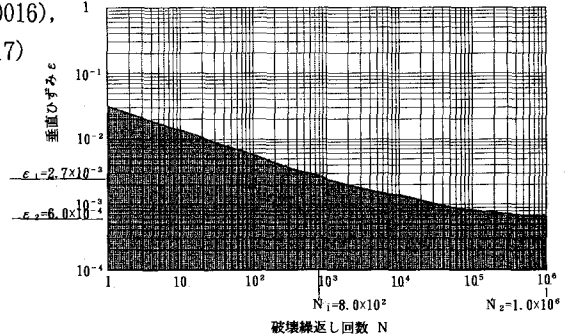


図-4 設計疲労曲線