

VI-28

圧縮空気貯蔵方式における空洞安定性検討について

清水建設 正〇八田敏行・熊坂博夫・小野勇司

1.はじめに

最近、圧縮空気貯蔵ガスタービン発電システムにおける圧縮空気貯蔵方法として、岩盤内貯蔵方式に関する技術検討が行われている^{1) 2)}。また、海外においても天然ガス等の高圧気体貯蔵技術の開発^{3) 4)}が行われている。わが国では、石油地下備蓄、LPG貯蔵などにおいて地下利用が行われているが、高圧の空気、気体の貯蔵技術については検討が始まったばかりと言える。ここでは、圧縮空気貯蔵に係わる空洞の安定性の問題について考察したので報告する。

2.岩盤内貯蔵方式とその特徴

岩盤内貯蔵方式として、地下水圧で封じる水封方式とライニングにより気密性を確保するライニング方式が考えられている。さらに、ライニング方式には、都市域の比較的強度の低い軟岩を対象とした立坑・拡幅空洞方式が考えられている。また、貯蔵空気の取り出し方法には、空洞内の圧力変動を許す変圧方式と圧力を一定にする水置換方式がある。

水封方式の空洞は、貯蔵内圧以上の地下深部に建設する必要がある。従って、深度数百m以上は必要となり、これまでの土木構造物としては大深度における建設となる。また、貯蔵容量も大きい空洞規模も大きくなると考えられる。

ライニング方式は、ゴム、プラスチック、スチール等のライニング材を用い、岩盤が内圧を負担すると考えている。従って、空洞周辺の岩盤に大きな繰返し応力が作用する。

立坑・拡幅空洞方式では、地圧と空気圧の釣り合わない部分をコンクリートや鋼製の覆工が分担する方法である。

これらの空洞の安定性は、岩盤の強度、変形係数と深度（初期地圧）及び貯蔵内圧、変動幅との関係で決まる。従って、それぞれの貯蔵方式に合わせて検討する必要がある。図-1に安定性に関する検討フローを表-1には、貯蔵方式の特徴と安定性の検討項目について示す。

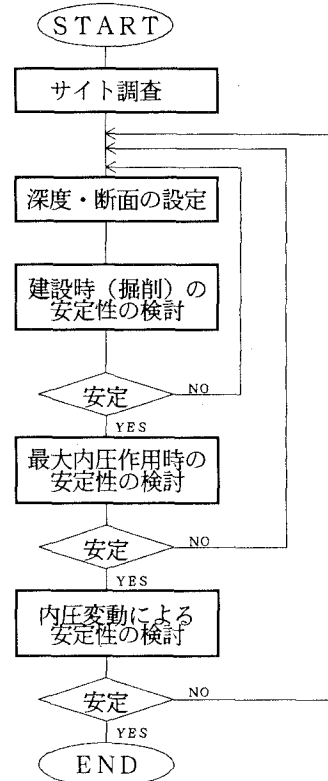


図-1 安定性の検討概略フロー

表-1 圧縮空気貯蔵方式と安定性検討項目について

貯蔵方式	対象岩盤	深度	空気圧との関係	空洞の安定性検討項目			
				建設時の安定性	最大内圧作用時の安定性	内圧変動による安定性	長期の安定性
水封方式	硬岩	大	地下水圧	○	—	—	○
ライニング方式	軟岩～硬岩	中	岩盤	○	○	○	○
立坑・拡幅空洞方式	軟岩	大	地圧＋覆工	○	△	△	○or△

（△：覆工の設計）

3. 安定性の検討について

3.1 建設時の空洞の安定性について

トンネルや地下空洞の安定性の検討と同様に、掘削にともなう空洞周辺の安定性を評価する。ただし、相違は、応力状態や緩み域、塑性領域の予測が重要になる点である。また、水封方式では、貯蔵内圧が大きくなると建設深度が深くなり、空洞の安定性がこれまで以上に厳しくなる。立坑・拡幅空洞方式では、大深度になると大気圧下において自立するのが難しいと考えられ、泥水により安定化させて掘削することが考えられている。従って、大深度の掘削により生じる地圧とそれに釣り合うための合理的な泥水比重を予測することが必要となる。

3.2 最大内圧作用時の空洞の安定性について

ライニング方式は、内圧を岩盤が負担するため、浅い深度に建設すると、アップリフトによる影響や空洞周辺岩盤の変形量の把握が必要である。また、内圧作用時に、岩盤の強度により岩盤に引張応力となる場合、圧縮破壊する場合、それらが複合する場合が考えられ、これは、岩盤の強度、初期地圧（深度）、内圧の大きさ等で決まる。図-2に内圧と変形量の関係をnontensionで解析を行った例である。岩盤に引張応力が生じた後も変形はそれほど増加しないが、図-3に示されるように、深度が浅くなると、その影響範囲が広がることになる。従って、高圧でかつ浅い場合には、地表面の影響を考慮した安定性の検討が必要である。

3.3 内圧変動が及ぼす空洞の安定性について

ライニング方式では、圧力変動を生じるため、繰り返し応力による空洞周辺岩盤の変形と安定性の把握が必要となる。すなわち、空洞が安定するかどうかを、繰り返し回数、応力の振幅の大きさ等と条件として、変形、変位振幅、緩み域の増大を予測することが重要である。図-4に、繰り返し応力による体積歪みの変化と緩み域の有無を考慮した場合について繰り返し回数と壁面変位の推移の関係を示す⁵⁾。図より、疲労破壊を生じる以前は、空洞内へ変位が増えてくるが、疲労破壊以後は、振幅が徐々に増加することがわかる。また、緩み域を考慮しない場合には、疲労の影響が小さいことがわかる。

3.4 長期の安定性について

立坑、拡幅空洞方式では、空洞内の圧力変動は覆工が分担するため、空洞周辺の岩盤には繰り返し応力は生じないが、強度が地圧に比べ低いため、クリープの影響を考慮する必要がある。

4. おわりに

岩盤内に圧縮空気を貯蔵する方式とそれに係わる安定性の検討項目について考察した。各方式により、空洞の安定性の課題は異なり、それぞれの特徴をより考慮した安定性の検討を今後進める必要がある。

参考文献 1) 豊川：圧縮空気貯蔵ガスタービン発電システム，清水建設土木クォーターリー，NO. 81, pp. 82～85, 1989. 2) 土木学会：圧縮空気貯蔵発電システム（CAES）と土木技術（その現状と技術課題），1990. 3) 小野：高圧気体の岩盤内貯蔵技術を導入，清水建設土木クォーターリー，NO. 88, pp. 85～89, 1990. 4) 小野：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, 10, 1990. 5) 熊坂，他：内圧変動を受ける空洞の安定性に関する検討，土木学会第46回年次学術講演概要集Ⅲ，1991.

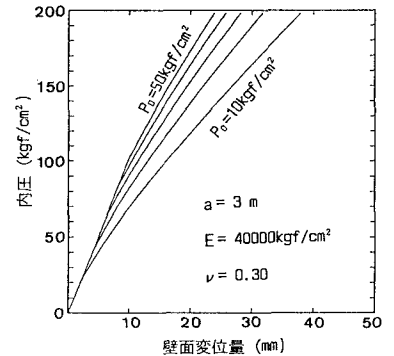


図-1 内圧と壁面変位の関係

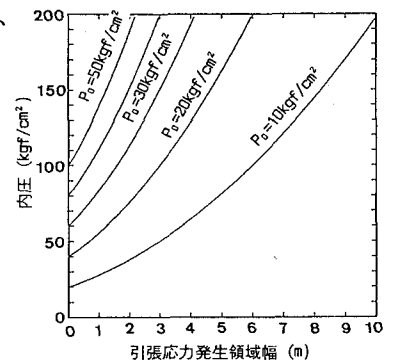


図-2 内圧と引張応力発生領域幅の関係

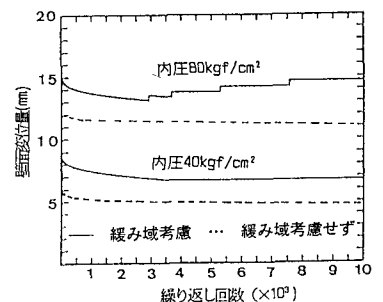


図-3 繰り返し回数と壁面変位の関係