

III - 596

圧縮空気貯蔵における漏気及びエネルギー収支の計測について

三井建設 中田雅夫、山地宏志 神岡鉱業 茂住洋史 神戸大学 中山昭彦

1. はじめに：圧縮空気エネルギー貯蔵を目的とした岩盤空洞の特性評価は、単に漏気特性の評価に留まらず、エネルギー貯蔵特性についても正しい評価が行われる必要がある。しかしながら、圧縮空気の昇圧過程、及び漏気発生過程において発生するエンタルピを正しく評価することは難しく、計測技術的にも非常に困難を伴うものと考えざるを得ない。本報文は、これらを比較的簡便な計測システムによって、工学的に十分な精度で評価することを目的として、神岡鉱山における圧縮空気貯蔵実験結果を用い検討を行ったものである。

表1 計測項目諸元

供給空気	供給空気温度	T_s	℃
	供給空気圧力	P_s	atm
	供給空気量	q_s	Nm ³
貯蔵空洞	貯蔵空気温度	T_c	℃
	貯蔵空気圧力	P_c	atm
	貯蔵空気容量	V_c	Nm ³
周辺岩盤	岩盤温度分布	T_r	℃

2. 実験概要及び計測項目：当該の圧縮空気貯蔵実験施設は神岡鉱山茂住鉱内GL-520mに構築され、貯蔵空洞は容量204m³の矩形断面に掘削され、500m³のコンクリート・プラグによって閉塞される。実験は漏気対策を一切施さない状態で6atmまで昇圧後、12時間の一定圧貯蔵を行った後、圧縮空気の供給を停止し漏気状態を観察した。経過時間と貯蔵圧の関係を図1に、また、計測項目を表1に示す。

3. 漏気質量の算定：質量保存則より次の関係が得られる。すなわち、

$$\frac{\Delta}{\Delta t}(\rho_c V_c) = m_s - m_f \quad (1)$$

ここで、 m_s と m_f はそれぞれ単位時間当たりの流入空気質量、単位時間当たりの漏出空気質量を示し、また ρ_c は各時刻における貯蔵空洞内空気密度を示す。今、表1に示す計測諸元より m_s 及び ρ_c がそれぞれ次式で与えられる。

$$m_s = \rho_s \Big|_{Normal} \times q_s \Big|_{Normal} = 1.250537 \text{ kg/m}^3 \times q_s \Big|_{Normal} \quad (\text{Kg}) \quad , \quad \rho_c = \frac{10^4 P_c}{29.27(273.2 + T_c)} \quad (\text{Kg/m}^3) \quad (2)$$

図2及び図3は、式2に従い、圧縮空気貯蔵実験時の貯蔵空洞内空気質量と流入空気質量の毎分の変化量を求めたものである。従って、貯蔵空洞より漏出する毎分の空気質量はこの差分で与えられ、図4のように求められる。図4より明らかなように毎分の漏出空気量は貯蔵圧と比例し、一定圧（6atm）のとき約17Kg/minの漏出量が発生する。

4. 漏出エネルギーの算定：エネルギー保存則より次の関係が得られる。すなわち、

$$\frac{\Delta E_c}{\Delta t} = Q_s - Q_r - Q_f \quad (3)$$

ここで、 E_c は貯蔵空洞内に蓄えられるエネルギー量を表し、 Q_s 、 Q_r 及び Q_f はそれぞれ単位時間に供給される熱量、周辺岩盤へ放射される熱量及び漏気による輸送する熱量を表す。いま、 E_c 、 Q_s 及び Q_f は表1に示した計測諸元から、次式によって求めることができる。

$$\Delta E_c = C_v \cdot \Delta T \cdot m_c + \Delta P \cdot V_c = 0.171 \Delta T \cdot m_c + 23.427 \Delta P \cdot V_c \quad (\text{Kcal})$$

$$Q_s = m_s \cdot C_p \cdot T_s + m_s \cdot \Delta W_s = 0.240 m_s T_s + 0.06857 m_s (273.2 + T_s) \quad (\text{Kcal}) \quad (4)$$

$$Q_f = m_f \cdot C_p \cdot T_c + m_f \cdot \Delta W_f = 0.240 m_f T_c + 0.06857 m_f (273.2 + T_s) \quad (\text{Kcal})$$

ここで、 C_v と C_p はそれぞれ定積比熱、定圧比熱を表す。式3の関係を貯蔵実験時に得られた計測値に適用すると、毎分毎に貯蔵空洞に蓄えられるエネルギー、外部から供給されるエネルギー、及び漏気によって輸送されるエネルギーが図5、6及び図7のように得られる。従って、式3の関係より、図8のように推定される。さらにこれらを全実験時間に渡って積分したものが図9である。図より、最終的に周辺岩盤へ放射されたエネルギーは約25000Kcalであると推定される。この実験時に周辺岩盤の深さ方向の温度変化を計測した結果が図10であり、図より明らかなように空洞壁面から約7cmの深さまで平均で約1.5の温度上昇が見られる。これをエネルギー換算すると周辺岩盤に放出された熱量は16000～32000Kcal程度と推定され、図9に示した推定結果と概ね整合する。

5. おわりに：このように比較的簡便な計測システムでトータルの質量収支、及びエネルギー収支が工学的に十分な精度で計測することが可能であると思われる。今後、各計器の精度、及び計算方法、さらには計測器配置などの改善を行い、微量な漏気量に対する

漏気モニタリングシステムへと改善して行く方針である。

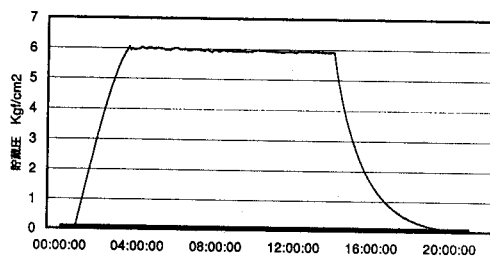


図1 貯蔵圧経時変化図

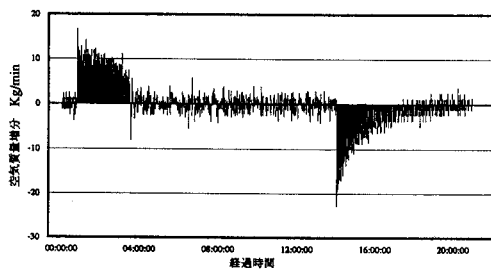


図2 貯蔵空洞内空気質量増分経時変化

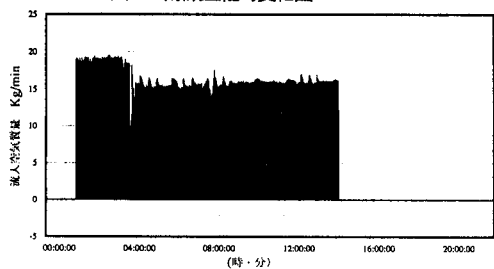


図3 流入空気質量増分経時変化

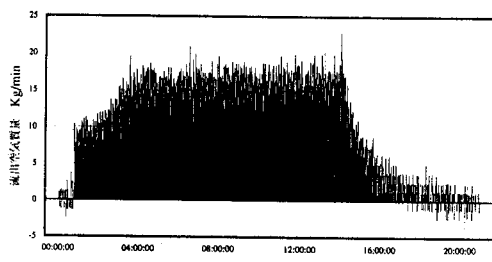


図4 流出空気質量時間変化

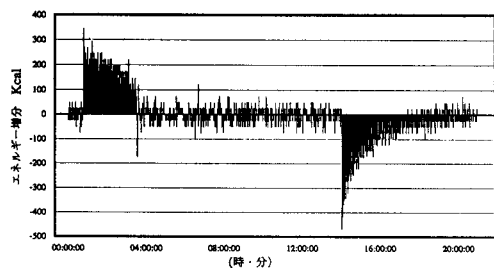


図5 毎分貯蔵空洞内に蓄えられるエネルギー量

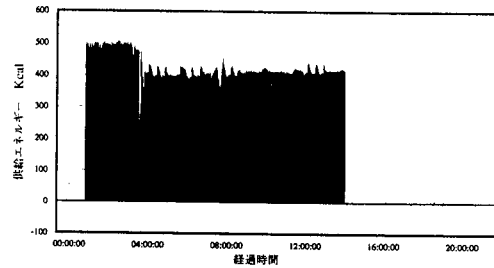


図6 毎分貯蔵空洞に供給されるエネルギー

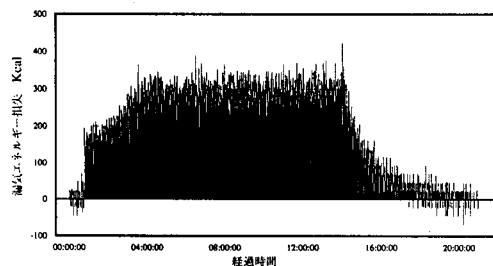


図7 毎分漏気によって輸送されるエネルギー量

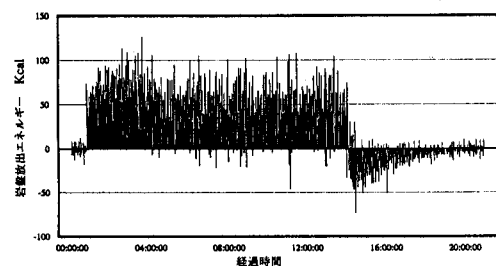


図8 毎分周辺岩盤へ放射される熱量

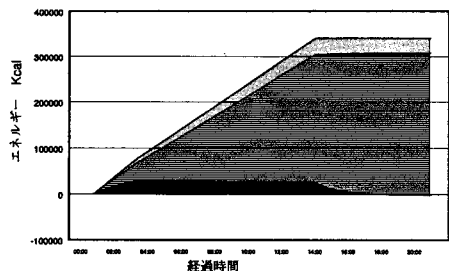


図9 エネルギー収支累積

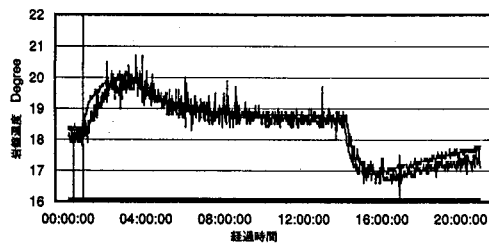


図10 岩盤内温度の経時変化