

裏込め材のひび割れを考慮した気密材ひずみの算出方法

清水建設 土木本部 正会員 延藤 遵

清水建設 技術研究所 正会員 石塚 与志雄・八田 敏行

清水建設 技術研究所 正会員 熊坂 博夫・寺田 岳彦

1. はじめに

高压気体岩盤貯蔵施設のひとつとして、高压気体を密封する気密材、気密材を支持し気体圧を岩盤に伝達する裏込め材からなる方式がある。裏込め材としてコンクリート材料が選定される場合には、気体圧により裏込めコンクリート内にひび割れが発生するため、気密材にひずみの集中が生じることが予想される。今回、裏込めコンクリートと気密材間の摩擦に着目し、裏込めコンクリートひび割れを考慮した気密材の最大ひずみ予測式を考案した。次に、FEM解析によるパラメータスタディを行い、ひずみ予測式の妥当性を検証した。さらに、気密材と裏込めコンクリートの間にシート状の緩衝材を設置し、摩擦を低減した場合についても考察している。

2. ひずみ算出式

裏込めコンクリートに数 mm 程度のひび割れが発生すると、その影響が摩擦力により伝達され気密材は局部的に降伏する。降伏後剛性 E' は降伏前剛性 E_0 に比べ大幅に小さいため、気密材の総変形量は降伏範囲 ($2L$) のひずみ量 () の合計であると仮定する (図 - 1)。一方、ひび割れ発生後は、コンクリートに引張ひずみは生じていないと仮定すると、コンクリートの総変形量はひび割れ幅 w' ($= 2w$) となる。気密材とコンクリートの総変形量は一致するため (式 - 1) が成立する。

$$w = \int_0^L e_q dq \quad (\text{式 - 1})$$

次に、内圧 P による摩擦力 $\mu \cdot P$ (μ : 摩擦係数) が作用している気密材 (板厚 t) の微小区間 d での周方向力の釣合条件より下式が成立する。

$$t \cdot ds = m \cdot P \cdot dq$$

$$\therefore de = \frac{ds}{E'} = \frac{m \cdot P}{t \cdot E'} dq \quad (\text{式 - 2})$$

上記の (式 - 1) と (式 - 2) を組み合わせ、 $(L)=0$ と仮定することで、気密材の降伏範囲 L 及び最大ひずみ量 e_{\max} の簡易予測式 (式 - 3) 及び (式 - 4) が導かれる。

$$L = \sqrt{\frac{2E' \cdot w \cdot t}{m \cdot P}} \quad (\text{式 - 3})$$

$$e_{\max} = \sqrt{\frac{2m \cdot P \cdot w}{t \cdot E'}} \quad (\text{式 - 4})$$

3. 解析方法

気密材 (炭素鋼) と裏込めコンクリートからなる高压気体岩盤貯蔵施設 (トンネル形状 : 円筒形断面) において、1m (12 度) に一本のひび割れが生じた場合を想定する。12 度の範囲を対照条件により、約 6 度 (気密材周長約 520mm) に半割し、2次元平面ひずみモデルとする (図 - 3)。裏込めコンクリート背面には、実際には岩盤が存

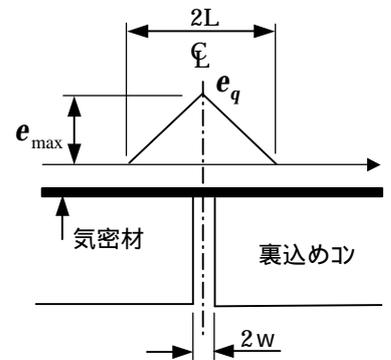


図 - 1 気密材ひずみ分布図

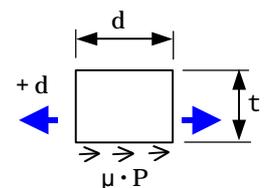


図 - 2 力のつり合い

キーワード： 高压気体岩盤貯蔵、コンクリートひび割れ、ひずみ集中、接触問題

連絡先： 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL.03-3820-5287 Fax.03-3820-5959

在するが、モデル上では変位制御要素(厚さ = 500mm)を用いることで、半径方向の変形を制御する。また、中心軸上の裏込めコンクリートにスリットを設けることで、既にひび割れが生じている状態を再現し、内圧 P の増加に伴いスリットが開口可能となるようにする。気密材と裏込めコンクリート間、及び裏込めコンクリートと変位制御要素間には摩擦を考慮できる接触条件を設定している。基本的な材料物性を表 - 1 に示す。気密材は、弾塑性体 ($f_y = 245\text{N/mm}^2$) として、裏込めコンクリート及び変位制御要素は弾性体とする。解析ケースは表 - 2 に示す 5 ケースであり、Case - 0 は基本ケースであり、Case - 4 はシート状の緩衝材による摩擦抵抗の低減を考慮した場合である。

4. 解析結果

解析結果のうち、ひび割れ幅(スリットの開口量)と気密材の最大引張ひずみを表 - 3 にまとめて示す。特に、最大引張ひずみについては予測式による推定量と比較している。また、図 - 4 に Case - 0 における気密材最大ひずみ分布を示す。表 - 3 より、予測式は常に安全側の値を与えることがわかる。Case - 2 及び 4 においては、 σ_1 / σ_2 が 70% 強となっているが、これは気密材の降伏範囲及びひずみの集中度が小さく、弾性範囲のひずみの寄与が大きいためであると考えられる。また、Case - 4 の σ_{\max} は Case - 0 の約 65% となっており、緩衝材の効果が確認された。

5. まとめ

裏込めコンクリートと気密材間の摩擦を考慮することで、裏込めコンクリートのひび割れによる気密材への影響を再現した。さらに簡易な予測式により、安全側の予測が可能であることが判明した。しかしながら、簡易式はその導入時に気密材非降伏範囲の弾性ひずみを無視しているため、ひずみ集中が小さい場合には精度が低下する。やや煩雑となるが、弾性ひずみを考慮した予測式を考案することも考えられ、今後の研究が望まれる。

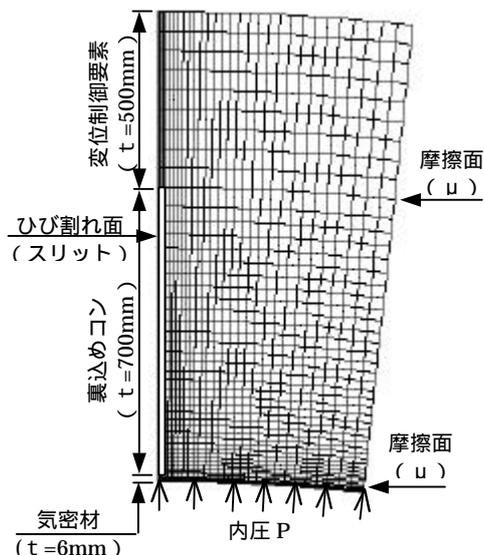


図 - 3 解析モデル図

表 - 1 材料物性

	気密材	裏込めコン	変位制御要素
弾性係数 [N/mm ²]	2.0×10^5	2.8×10^4	5.0×10^4
ポアソン比	0.3	0.2	0.3
厚さ [mm]	6.0	700	500

表 - 2 解析ケース (パラメータスタディ)

	気密材 E'	作用内圧 P (MPa)	変位制御要素の E [N/mm ²]	摩擦係数 μ
Case - 0	0.01E ₀	10	5.0×10^4	0.5
Case - 1	0.1E ₀	10	5.0×10^4	0.5
Case - 2	0.01E ₀	5	2.5×10^4	0.5
Case - 3	0.01E ₀	10	3.3×10^4	0.5
Case - 4	0.01E ₀	10	5.0×10^4	0.15

表 - 3 予測値と解析結果の比較

	解析結果		予測最大ひ ずみ量 σ_2	σ_1 / σ_2
	w [mm]	最大ひずみ量 σ_1		
Case - 0	0.97	0.0221	0.0285	0.78
Case - 1	0.92	0.00750	0.00876	0.86
Case - 2	0.99	0.0142	0.0203	0.70
Case - 3	1.53	0.0296	0.0357	0.83
Case - 4	1.06	0.0117	0.0163	0.72

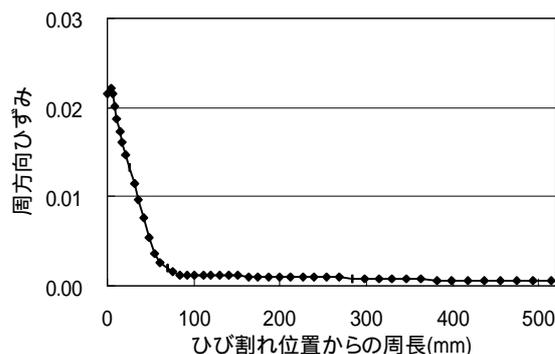


図 - 4 気密材のひずみ分布図