

電源開発(株)	正会員	今田 守夫
電源開発(株)	正会員	西本 吉伸
(株)開発土木コンサルタント		吉元 義隆

1 まえがき

圧縮空気エネルギー貯蔵ガスタービン発電において、地下で圧縮される必要な空気圧は最大 8MPa である。地下空洞はトンネル方式が採用されており、耐圧構造材としての岩盤、気密構造材としての気密シート(ゴム)で構成され、両者の間をライニングコンクリートで埋めるものであるが、内圧はすべて岩盤負担として設計を進めている。ライニングコンクリートのうち覆工版は、等分割のセグメントとして設置され、高圧時の空洞の変形に対し、気密材を保護するとともに、内圧を岩盤側に適切に伝達するためのRC材である。

覆工版は運転時には、内側より高圧荷重を受け、外側の岩盤に押しつけられる状態となる。このとき隣接する岩盤によっては、変形が増大し、コンクリート内部にひび割れが生じる場合もある。

本報告は、ひび割れによる覆工版の剛性低下を考慮した設計方法について報告するものである。

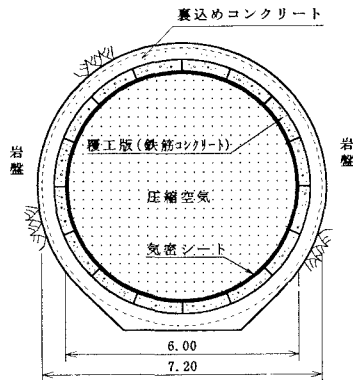


図-1 気密ライニング構造

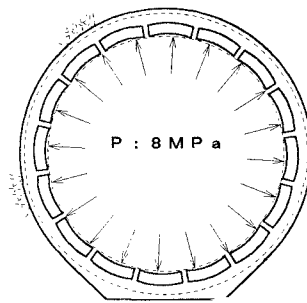


図-2 内圧載荷時変形モード

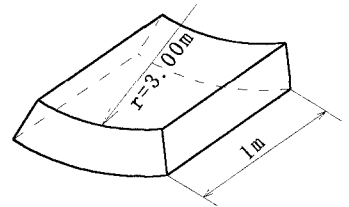


図-3 覆工版形状

2 覆工版の設計

これまでの研究によって、本ライニング構造のうち覆工版コンクリートは、内圧の岩盤への伝達材として位置づけているが、このように、高圧荷重によって覆工版が強く押しつけられ、岩盤とともに変形することによって、半径方向のみならず、円周方向にも大きな内部応力が発生することがわかっている。

予想される変形モードは、周辺岩盤が均質である場合、図-2のようになる。しかし、岩盤は断層など不均質さをもつのが通常であり、高圧荷重の下では、覆工版の挙動は岩盤のモデルによって大きく変動する。また変形モードが複雑となり、発生応力も大きくなりがちであるため、通常の許容応力度法で設計したとき、非常に多くの鉄筋が必要となり、ケースによっては最大鉄筋量を超え、施工時における鉄筋の加工組立やコンクリート打設時の締め固めが困難になるだけでなく、経済性についても問題となった。

実際の挙動として、覆工版は圧力上昇に伴い内部にひび割れを生じさせながら、岩盤とともに変形するものと考えられる。覆工版は、内部応力の伝達とともに気密材の保護を目的としており、そのひび割れ限界状態を設計限界値として設定することが適切であると考えた。限界値は、使用される気密シートが高圧載荷時に損傷を受けない最大ひび割れ値として設定される。

キーワード：CAES-GT、覆工版、セグメント、圧縮空気貯蔵空洞、ガスタービン発電、剛性低下
〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 TEL03-3546-2211 Fax03-3546-9423

3 剛性低減式の適用

ひび割れの生じたRC部材の表現方法として、断面の有効剛性を低減させる方法が、改訂されたコンクリート示方書に記載されている。この式を適用し以下のように配筋量の低減を試みることとした。

(1)に示す有効曲げ剛性の式（コンクリート標準示方書の限界状態設計法、「7.5.3 変位・変形量の検討」）を参照し、剛性低減された覆工版と、岩盤を含む全体解析との整合を取る設計フローを構築した。（図－4）

具体的には、まず岩盤を含む空洞全体を2次元有限要素解析を行い、覆工版の断面力を算出する。次に（1）の剛性低減式を適用し新たな剛性を求め、2次元有限要素解析にフィードバックする繰り返し計算である。反復は剛性低減が収束するまで行えることになる。

コンクリート標準示方書 有効剛性の式 設計編 p97

$$E_e I_e = \left[\frac{M_{crd}}{M_{dmax}} \right] \frac{E_e I_g}{1 - \frac{\Delta M_{csg}}{M_{dmax} - P[d_p - c_g]}} + \left\{ 1 - \left[\frac{M_{crd}}{M_d} \right]^3 \right\} \frac{E_e I_{cr}}{1 - \frac{\Delta M_{csr}}{M_{dmax} - P[d_p - c_{cr}]}} \quad (1)$$

この方法は、覆工版の剛性を低くするほど発生する断面力は減少するという2次元有限要素解析の特性を利用し、配筋量の低下を計ったものといえる。

現在、施工に向けて詳細な解析作業を継続中であるが、試算によれば、終局限界状態を条件とした場合、収束剛性は、最大で約1/3まで低下するがわかった（図－5）。

また剛性低下の各ステップにおいては、コンクリートの歪みやひび割れを算出し、気密材から求める使用限界状態との照査を行わなければならない。

さらに条件によっては鉄筋についても応力照査し、それが弾性域のみならず、塑性域まで見込んだ設計を行なうことも必要であると考えている。

4 今後の課題

RC覆工版を圧縮空気貯蔵空洞へ適用する場合、コンクリート標準示方書の有効曲げ剛性式を使用した繰り返し計算によって、適切な配筋量を求めていく考え方は問題無いと考えている。

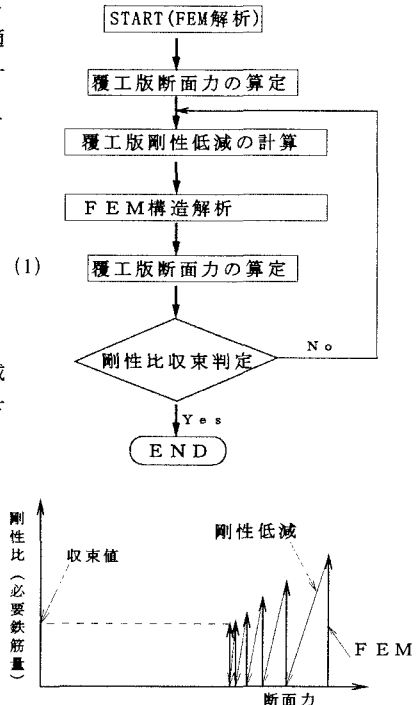
重要なのはその適正な低下剛性の評価と、適正な配筋量を求めることにある。また解析で求まる剛性が小さくなりすぎないことも注意が必要であろう。

5 あとがき

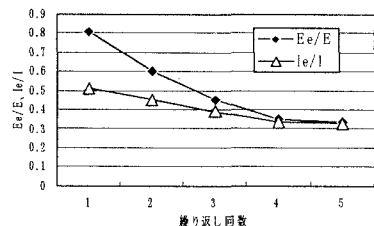
本プロジェクトの追考に当たり、新エネルギー財団及び北海道大学角田教授のご指導を賜ったこと、深く謝意を表します。

【参考文献】

- 土木学会 コンクリート標準示方書（平成8年制定）設計編・同改訂資料
- 土木学会 セグメントの設計 トンネルライブラリー 平成6年6月
- 桜井春輔 トンネル掘削に伴う緩み領域の研究 トンネルと地下 VOL.14



図－4 繰り返し計算の流れ



図－5 剛性低下（試算）