

Ⅲ - B150

地下発電所空洞におけるキープロック解析を用いた情報化施工の適用について

関西電力 瀬岡正彦* 京都大学 大西有三**
 関西電力 手塚昌信* ハザマ技研 西村 毅***

1 まえがき

従来、R.E.Goodman と Gen-hua Shi によって開発されたキープロック理論は、移動可能ブロックの規模を最小限にするような地下空洞の方向、形状等の最適設計に適用されるものであった。最近では、地下発電所空洞の支保設計において、断層・節理の分布ならびにその連続性からキープロックの発生想定箇所を抽出し、空洞の基本支保パターンを設定している事例も見受けらる。これに対し、今回奥多々良木発電所空洞において適用したキープロック解析は、掘削中にリアルタイムで運用するという大きな特徴を有している。すなわち、切羽毎にサンプリングした不連続面データを用いて不安定キープロックを検出し、次の掘削ステップまでに対策の要否の判定と現場へのフィードバックを実施することが可能となっている。本研究では、まず初期支保設計として事前空洞安定解析と PS アンカーの設計について述べ、続いてこれを追加補強するための情報化施工について、キープロック解析を中心に述べることにする。

2 初期支保設計

(1) 事前空洞安定解析：解析モデルには、林・日比野による非線形粘弾性逐次掘削モデルの2次元 FEM を用いた。初期支保設計に用いた解析ケースは C_H 級流紋岩の等方等質モデルである。表1に解析の入力物性値を示す。また、解析結果として最終掘削状態における破壊形態分布の出力結果を図1に示す。

(2) 初期支保設計：PS アンカーの設計については、従来のように空洞周辺全体に補強領域を設定するのではなく、このせん断破壊と引張破壊が連続する領域の落下、すべりに対して導入力を計算した。結果として1断面当りの PS アンカーの延長は、従来の設計法では 560m 必要であったものが、今回は 210m と半分以下の設計となった。初期支保設計のレイアウトを図2に示す。

表1 FEM 入力物性値

初期応力 (kgf/cm^2)	$\sigma_r = 93.1, \sigma_\theta = 53.5, \theta = 53.4^\circ$ ($\sigma_r/\sigma_\theta = 1.17$)
弾性係数 (kgf/cm^2)	$E_0 = 160,000$
ポアソン比	$\nu_0 = 0.25$
単位体積重量 (gf/cm^3)	$\rho = 2.6$
クリープ係数	$\alpha = 7(\%) \beta = 10(\text{day})$
破壊発生応力 (kgf/cm^2)	$\tau_R = 13, \sigma_t = 2$

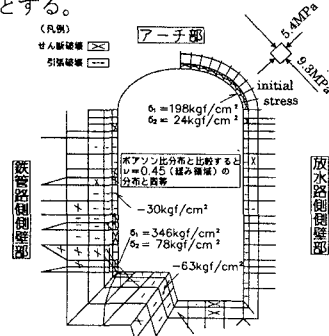


図1 破壊領域の分布形状 (FEM 結果)

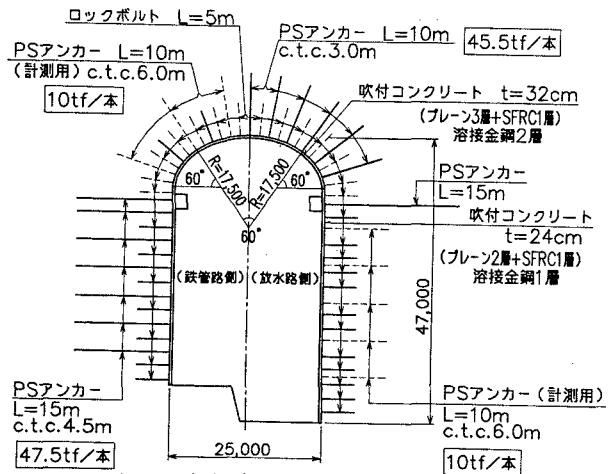


図2 初期支保設計レイアウト

keywords: 合理化設計、FEM、PS アンカー、情報化施工、キープロック解析

* 〒530-70 大阪市北区中之島 3-3-22 tel. 06-441-8821 fax. 06-446-9445、

** 〒606 京都市左京区吉田本町 tel. 075-753-5127

*** 〒305 茨城県つくば市荻間西向 515-1 tel. 0298-58-8813 fax. 0298-58-8829

3 キーブロック解析を導入した情報化施工

キーブロック解析を導入した情報化施工は、日常管理とステップ管理に大別される。リアルタイムプロセッシングの特徴は主として前者に反映されているため、ここでは日常管理の内容と運用結果について述べる。

（1）システム運用のフロー：日常管理のフローを図3に示す。今回の解析プログラムの特徴は、トレースマップの作成から安定解析と追加補強の設計までのサブルーチンを、メニュー形式で1つのプログラムに組み込んだ点にある。安定解析に用いる不連続面の物性値は、多段三軸試験、一面せん断試験および傾斜試験結果から、 $\phi=32.4^\circ$ 、 $C=0\text{kg/cm}^2$ と決定した。図4に安定解析シートの出力結果を示す。

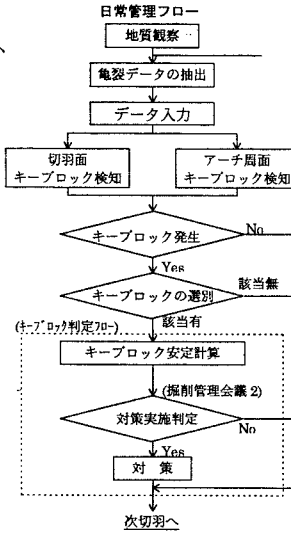


図3 日常管理のフロー

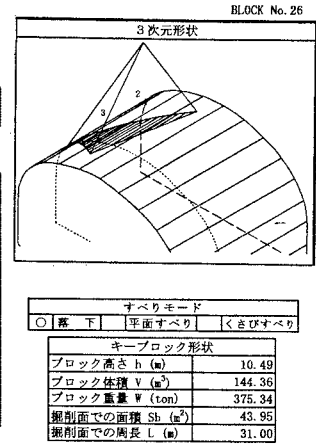


図4 キーブロック解析出力結果の一例

（2）追加補強の検討：図3のキーブロックはアーチ部に出現した落下型のキーブロックであり、無支保の状態では安全率は $F_s=0$ となる。1層 $t=8\text{cm}$ （2時間せん断強度 4.5kg/cm^2 ）の吹付コンクリートを施工した段階でも安全率は $F_s=0.3$ であり評価基準の $F_s=3$ を満たさないため、ロックボルトまたはPSアンカーによる追加補強を検討する必要がある。いま落下型のキーブロックに対する極限平衡解析は以下の式で表される。

$$F_s = \frac{\tau \cdot l \cdot t}{W + (\bar{n}_l \cdot \bar{n}_w) \cdot T} \quad T = \frac{F_s \cdot W - \tau \cdot l \cdot t}{-(\bar{n}_l \cdot \bar{n}_w) \cdot F_s} \quad (1)$$

ここに、 $\bar{n}_l$ ：アンカーまたはボルトの導入力 T の単位方向ベクトル、 $\bar{n}_w$ ：重力加速度方向単位ベクトル、 l ：掘削面上でのブロック周長、 t ：吹付コンクリート厚さ、 τ ：吹付コンクリートせん断強度、 W ：ブロック重量
 ロックボルト、PSアンカーの本数は各鋼材、注入材、岩盤との付着を考慮し、以下の式により求められる。

$$RB = T / \min(0.6Tsu, 0.75Tsy) / Arb \quad PS = T / \min(0.6Psu, 0.75Psy) \quad (2)$$

ここに、 Tsu 、 Tsy ：ロックボルトの引張強度($5,000\text{ kg/cm}^2$)と降伏強度($3,520\text{ kg/cm}^2$)、 Psu 、 Psy ：PCストランドの引張荷重(98.7tf)と降伏荷重(84.0tf)、 Arb ：ロックボルト断面積

(2)式によって求められたロックボルトは27本、PSアンカーは6本である。このケースでは、ロックボルトの本数が多くなること、またキーブロックの高さが10.5mあり、5mのロックボルトでは十分な定着長を確保できないことから、PSアンカーによる追加補強を実施した。

4 まとめ

アーチ部（130m）において追加補強を実施したキーブロックは28個であり、落下型は9個、平面すべり型は9個、くさびすべり型は10個で、それぞれ上述したフローに従って対策を実施した。結果として1で述べた初期支保設計に対する追加補強量はロックボルトが69本、吹付コンクリートが 486m^2 、そしてPSアンカーが12本である。本報告は、初期支保設計におけるPSアンカーの量を低減し、キーブロック解析を用いて必要な箇所だけを重点的に追加補強するといった合理的な支保設計の構築を目的としたものである。さらに岩盤挙動計測、逆解析による将来予測を含む総合的な情報化施工システムを構築し、奥多々良発電所において効果的に運用することができた。

【参考文献】例えば、R.E.グッドマン、G.H.シー（吉中龍之進、大西有三 訳）：ブロック理論と岩盤工学への応用、土木工学社、1992。