

電源開発(株) 正会員 堀 正幸
電源開発(株) 松村 義章

1. まえがき 地下発電所や石油地下備蓄基地を代表とする大規模地下空洞掘削に伴う岩盤補強設計の考え方には、特に確立されたものがない。また補強の効果を検証する根拠がない為、大空洞の岩盤補強設計はオーバーになりつつある。福島県南会津郡に当社で建設中の下知地下発電所(純揚水式発電所、最大出力100万kW)は長さ171m×高さ45.5m×巾22mで、総掘削量は約130,000m³の大規模空洞である。掘削は昭和55年7月完了した。掘削に際し、合理的な補強設計方法を検討し、実施設計を行なった。また岩盤挙動を現場計測によって観測し、設計の妥当性を評価すると同時に、岩盤挙動について2, 3の要味ある事実を見出すことができた。

2. 崩落可能領域の設定 岩盤は大小様々な亀裂を含む岩体の集合体であり、連続体としての扱いをすることにより、大きな疑念が持たれつつある。空洞の不安定性を誘発する岩盤の崩落は計算で求められた剪断破壊領域と必ずしも一致するのではなく、むしろ亀裂面上の滑り破壊によって崩落が発生すると考えられ、過去の事例もいくつかある。本地下発電所の解析及び設計に当っては、この基本的考え方を踏まえ、調査横坑内で岩盤の亀裂方向を綿密に調査し、そのうち、空洞の安定性に与えるような比較的大きな亀裂を選び、Schmidt netによって整理した。その結果、2

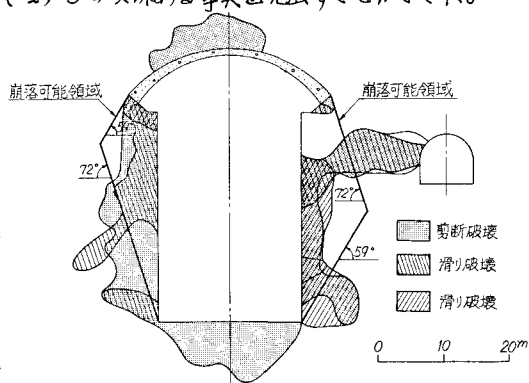


図-1 観測領域による崩落可能領域の設定

つの卓越した亀裂群が存在していることが判明し、これを数値解析に考慮し、亀裂面上において滑り破壊を生じる領域を求め、緩み領域と定義した。同様に岩盤の剪断破壊領域も算定し、滑り破壊領域と併わせて考察した。結果は図-1に示す通りである。図中、崩落可能領域は岩盤補強の対象として取扱う領域であり、補強を実施しなければ崩落を起す可能性のある領域と定義する。

3. 設計計算と実施設計 崩落の現象は図-2に示す通り、まず一次崩落領域で滑りが発生し始め、それによって二次的に上の岩塊が引きずられ、滑りよりもむしろ転倒の現象が発生することとなる。補強の設計計算は、いくつかの掘削段階に分け、各段階において安定であるように行なう。計算では便宜的に崩落可能領域を円弧を表わす。各掘削段階でのこの円弧の中心の移動を示すと図-3となる。同時に設計計算の範囲を示している。

岩盤の崩落を防止するために必要導入プレストレス(単位面積当りのPC鋼線によるプレストレス)の分布が図-4に示されている。図中、最大値ラインは各掘削段階の最大導入プレストレスを連ねたものである。これによれば、最大導入プレストレスを必要とするのは側壁部岩盤のほぼ中央高さとなっており、その値は約17t/m²である。計算結果を考慮して、PC鋼線

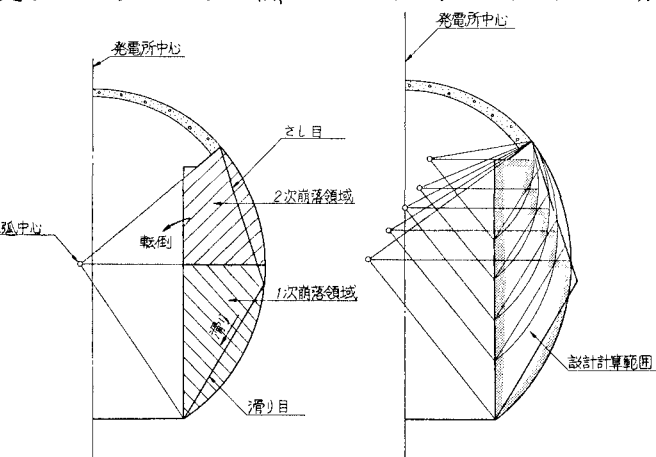


図-2

崩落の現象及び1次、2次崩落領域

図-3

PC鋼線の設計計算範囲

(1孔当りのプレストレスカは $40t$ とした)の配置を決定した。当初設計では導入プレストレスカを約 $11t/m^2$ として、図-5(a)に示す配置を決定し、掘削を進めた。しかし、本体掘削が、 $EL.325m$ まで進んだ頃より、空洞の変形が急激に増加の傾向を示し、一時的に導入プレストレスカを増大した(補強Ⅰ)。しかし、変形はなおも急激な増加を続けたので、 $EL.322m$ の時突で補強Ⅰのお設パターンをそのまま継続することにした(補強Ⅱ)。その結果、岩盤の変形は収束の兆候が現われ無事掘削を完了することができた。最終的に導入プレストレスカは図-4に示される分布となり、設計計算結果の最大値ラインと極めて類似しており、設計計算の妥当性が評価された。PC鋼線の最終的な配置は、図-5(b)のとおりとなった。

4. 岩盤の変形挙動と補強の効果 側壁部岩盤に設置した岩盤変位計による現場計測結果を検討すると、図-6に示すような様相を呈することが判明した。掘削位置直下での盤下がり掘削で大きな変位が生じ、他の位置での発破あるいは掘削休止期間では変形は少ないものの、ある勾配をもって進行し、全体的には変位進行が階段状を呈する。前者の変位は掘削による応力解放によって生じる変位であり、弾性的変形が優勢していると考えられる。一方、後者の変形は一種のクリープ現象であり、岩盤の緩みや破壊による塑性的変形である。従って、この塑性的変形量はPC鋼線による導入プレストレスカに依存するものと考えられ、プレストレスカが増大すると共に変形量は減少するであろう。今、岩盤変位計で計測された実測結果より、塑性変形量のrateを計算し、これを変位速度(単位 $mm/日$)と呼ぶことにする。図-7は、変位速度の本体掘削進捗による変化を整理したものである。当初、変位速度は約 $0.15mm/日$ と大きな値を示し、空洞の不安定性の傾向がみられた。しかし、補強変更Ⅱに対応して変位速度は順次減り、最終的に約 $0.05mm/日$ となった。

以上の考察により、クリープ現象的な塑性変形速度は岩盤補強と密接な関係があることが理解された。逆に、このことは変位速度が空洞の安定性を評価する上に重要な指標となると云える。

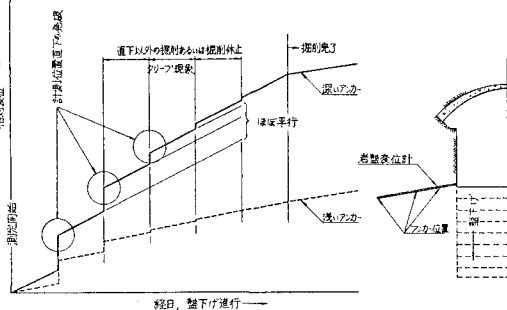


図-6 側壁部岩盤の相対変位速度の模式図

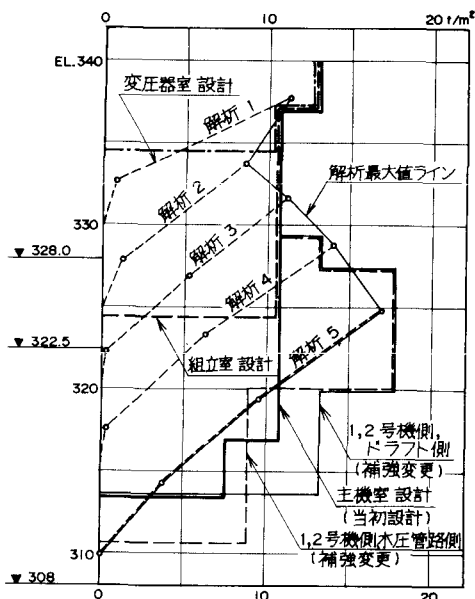


図-4 導入プレストレスカ (t/m^2)

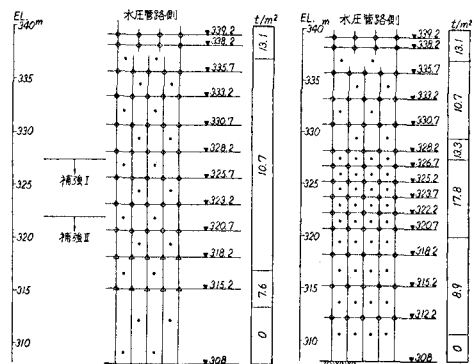


図-5(a) 当初設計 (b) 最終設計

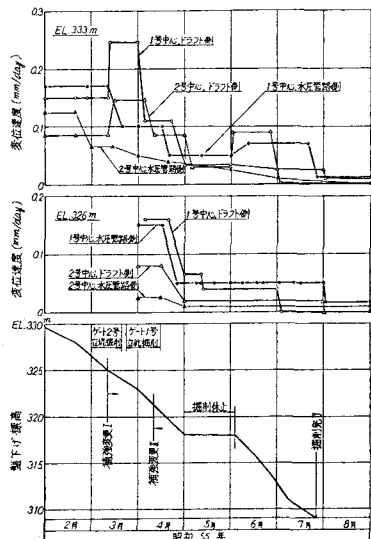


図-7 掘下げ進捗と岩盤変位速度との関係 (1~2号機側)