

地下発電所の設計・施工における地圧測定

東京電力株式会社 工 藤 奎 吾

1. はじめに

地下発電所の空洞規模（断面積1000～1500㎡）は大きいため、掘削は空洞頂部から底部へ向けての多段階掘削となり、空洞周辺の応力変化が長期に渡ることが一般トンネルと異なる。このため初期地圧ならびに掘削中の空洞周辺の応力把握は岩盤物性の評価と併せて空洞の安定を確保するうえで極めて重要である。

ここでは、空洞の規模、配置等基本設計を行う上での調査・設計段階における初期地圧測定結果の適用例を示すとともに、施工段階での岩盤の挙動予測の精度向上のため実施した空洞掘削に伴う岩盤応力の変化に着目した現場計測結果ならびに応力の再配分過程を解析的にアプローチした結果の事例を紹介する。

2. 調査・基本設計段階における利用

発電所空洞の配置（方向）の選定にあたっては、空洞の安定性を基本的には2次元断面の平面歪場で評価するため最大主応力の作用方向が空洞長軸と一致することが望ましいが、地質構造との関連、水路系（トンネル線形）や周辺トンネルとの関連からみたコスト比較などの総合的な検討によって決定される。

空洞の配置を選定するための検討例を図-1に示す。空洞は縦長の形状であるため、極力偏圧状態を避けるような側圧比を選び空洞の配置を定めている。

このように初期地圧測定結果は、空洞の配置選定に利用されるため、その影響度は極めて大きい。そのためにも調査時の初期地圧測定結果の妥当性、信頼性を十分検討しなければならない。このため、土被りとの関連、広域の地殻ひずみの分布（水平2次元）との関連、共役断層との関連、地形との関連、などの観点からみたクロスチェックを行う必要がある。

3. 挙動予測における利用

掘削に伴う空洞周辺の応力変化について、岩盤の残留強度まで応力を再配分するFEM解析を試行するとともに、現場計測を実施した結果の事例を紹介する。

・図-2に示したサイトの岩盤は節理が発達しており、初期地圧は約50kgf/cm²である。同図は盤下げ掘削3ベンチ時点で球状孔底ひずみ法で測定したアーチアバット部の絶対応力ならびにその後の経時変化を多軸ひずみ計で測定した結果である。掘削に伴う一軸化は進展しているが、まだ破壊されていないと判断され、FEM解析とその大きさ、方向ともほぼ対応している。

また、同サイトで掘削がほぼ終了した時点で球状孔底ひずみ法により空洞中部において岩盤深度方向の絶対応力測定を実施した結果を図-3に示す。孔軸方向応力 $\sigma_x = 0$ kgf/cm²と仮定して求めた σ_z （鉛直方向応力）は空洞壁面から9m程度までは除荷されており、壁面から10～12m付近に圧縮応力の集中が認められ、その大きさは100 kgf/cm²と初期地圧の2倍程度である。壁面から13m以深で急速な応力低下が認められるが、機器搬入坑のゆるみの影響と推定される。空洞壁面近傍で応力が小さく、背後の新鮮な岩盤で応力集中する傾向はFEM解析とほぼ対応する。

・図-4に示したサイトの初期地圧は約100 kgf/cm²である。壁面法線方向の応力は壁面に近いほど小さくなっている。一方、接線方向の岩盤応力は、深度5.5 mを境に壁面側では減少し、地山深部側では横パイの分布を示している。従って、接線方向の応力分布からみて深度5.5 m以浅はゆるみ域であると判断された。

4. 適用性の課題

地下空洞の安定性は、掘削に伴う岩盤の解放ひずみ、応力状態の評価により定まることは当然のことであるが、これまでは応力測定の難しさ、測られた応力の信頼度等から変位主体で論じられてきたのが実態である。岩盤が等方・均質の場合はこれに対処できていたものが、不均質・異方性と複雑になるにつれて、岩盤の破壊機構の実態に近似した精度の高い挙動予測が必要となり、岩盤の応力を把握することが不可欠なものと考えられる。

このため設計・施工における適用性の課題として以下のような点が挙げられる。

①亀裂に富むような地質不良な岩盤に対して、適用できる測定法の開発

いずれの初期地圧測定法も測定可能な岩盤は比較的良好な箇所に限られ、亀裂に富む箇所や風化変質の進んだ岩盤に対しては困難を極めているのが現状であると思われる。施工中の地圧測定では地質不良箇所において測定したいケースもあり、地質不良部に対して測定可能な測定法の開発が望まれる。

②絶対応力の経時変化が測定できる測定法の開発

掘削の進行に伴う岩盤応力の経時変化を把握するため、振動弦型地圧計を用いた測定を実施したが、この方法では1方向の増分応力の測定に限られる。施工中の計測管理では絶対応力の経時変化を把握できる測定法の開発が望まれる。

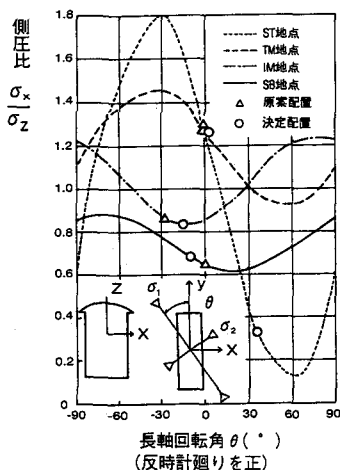


図-1 発電所軸回転による側圧比の変化

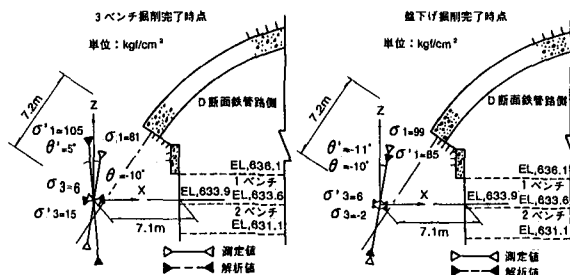


図-2 アーチアバット部の岩盤応力測定結果

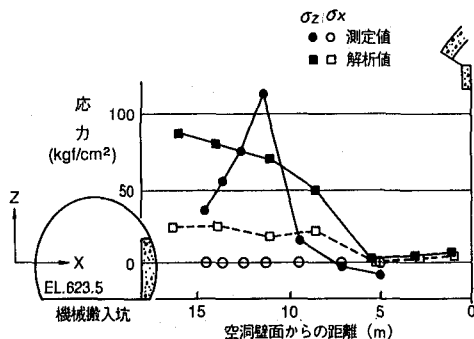


図-3 空洞掘削時の周辺岩盤応力測定結果
(その1)

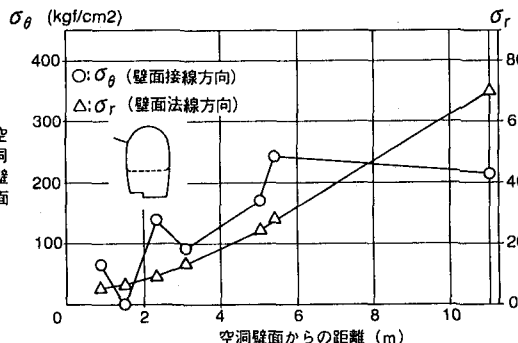


図-4 空洞掘削時の周辺岩盤応力測定結果
(その2)