

Ⅲ-7 高見地下発電所の計測について

北海道電力㈱ 正会員 剣持 鉄雄
 北海道電力㈱ 正会員 赤津 行宏
 北海道電力㈱ 正会員 南部 節雄
 北海道電力㈱ 正会員 横辻 幸

1. はじめに

高見発電所は、既設の静内ダム調整池を下部池とし、上流に高さ120mのロックフィルダムを築造して上部池とする、出力20万 kwの混合揚水式発電所であり、昭和53年10月着工以来4年9ヶ月を要して、昭和58年7月に竣工した。

発電所を設置する地下空洞の寸法は、幅21.0m、高さ43.3m、長さ57.5mであり、地下250mの位置に掘削したものである。

地下空洞周辺の地質は、節理系が発達した輝緑凝灰岩から成り、全体的にはC_M級の比較的軟弱な岩盤であるとともに、空洞上部にはC_L級ゾーンが分布し放水路側には連続性のあるF-K破砕帯の存在が認められた。

空洞の設計に際しては、有限要素法を用いた掘削解析手法による数値解析を行い、天井アーチ形状・空洞位置・補強パターン等を決定したが、空洞掘削に当っては各種の計測により岩盤挙動を観測して、空洞の安定を確認しつつ施工し、1年7ヶ月を要して昭和56年5月に完了した。

本報告は、施工中に得られた計測結果について、解析結果および他地下発電所地点における計測結果との比較を行って、当地点の地下空洞掘削時における岩盤挙動について検討し、今後の同種工事の設計・施工に役立てようとするものである。

設計・施工に関する事項は、前報告*1を参照されたい。

2. 計測の概要

測定計器配置図を図-1, 2, 計測項目を表-1に示す。

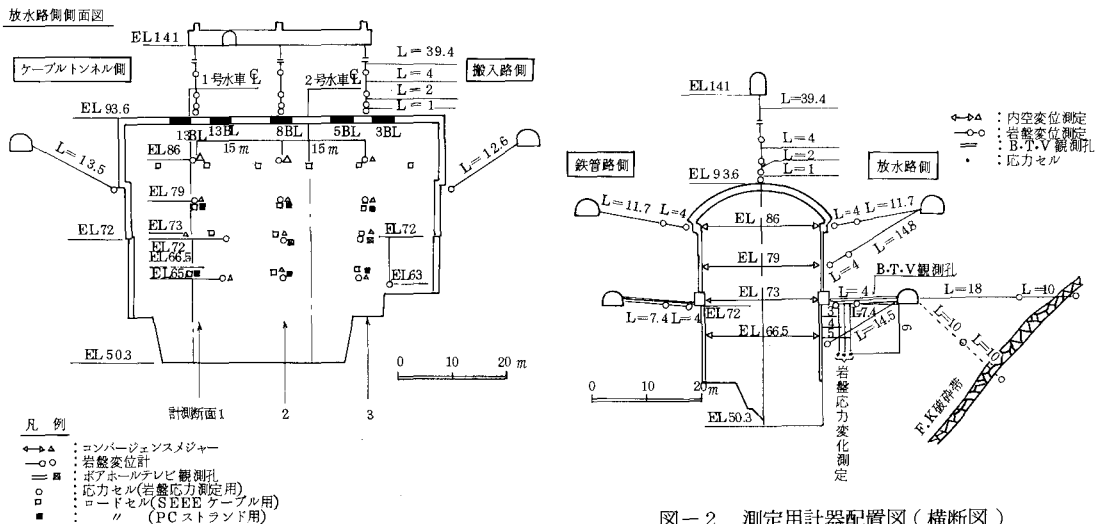


図-1 測定用計器配置図(放水路側・側面)

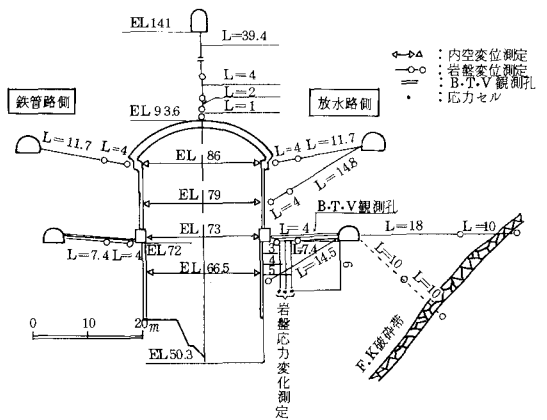


図-2 測定用計器配置図(横断面)

表-1 計 測 項 目

計 測 項 目	使用 計 器	設置 位 置	計測点数
アーチコンクリートの応力	コンクリート応力ひずみ計	アーチ	1断面10点
	鉄筋応力鉄筋計	コンクリート	5断面60点
	応力補正無応力計温 度 計		1断面1点 4 " 12 "
岩盤変位	岩盤相対変位多段式岩盤変位計	アーチ上部岩盤、側壁岩盤、断層	28孔57点
	内空断面変位コンバージェンスメジャー	内 空 ス パ ン	3断面12測線
岩盤PS工緊張荷重	ロードセル	側 壁 , 妻 壁	52点
岩 盤 応 力	応 力 セ ル	側 壁 岩 盤	3孔 12成分
ボアホール観測	ボアホールTVカメラ	側 壁 岩 盤	4 孔

3. 計測結果と計算値との比較

(1) アーチ上部の岩盤鉛直変位

図-3は、アーチ上部岩盤変位のうち、アーチ部掘削完了までの施工段階における各計測区間の変位量を示しているが、この図から下記の事項が考察できる。

① 各断面毎の変位を比較すると、断面2・3の変位は約40mmであり、断面1の2倍となっているが、これは地質状況の差によるものと思われる。

② 切払の切羽が通過後の変位は、壁面から4mの区間にはほとんど発生せずに、これより上部に発生する。壁面から4～8mの区間変位は、1～4mの区間変位にはほぼ等しいかむしろ大きめであってアーチロックボルト($l=4, 5$ m)の効果が発揮されたものと考えられる。

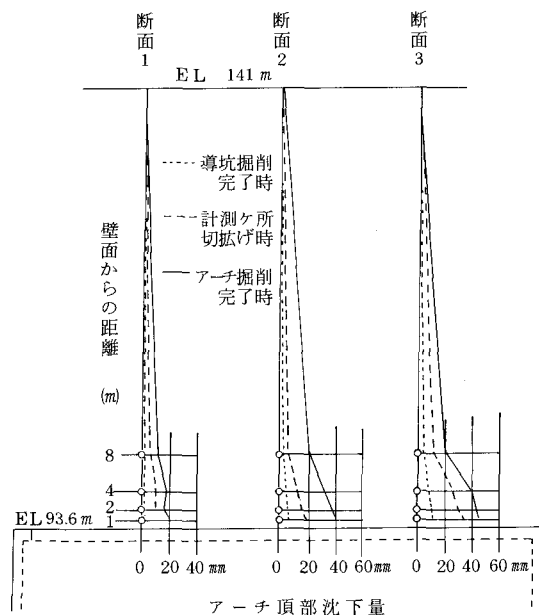


図-3 アーチ頂部岩盤変位

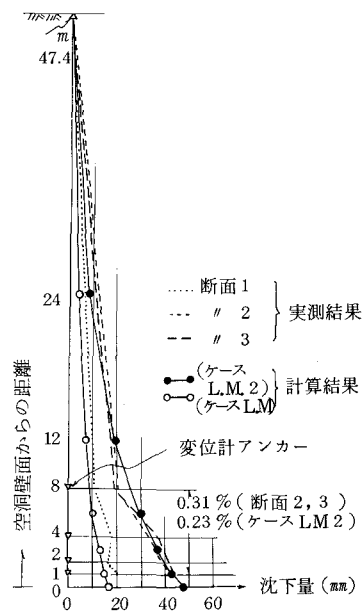


図-4 アーチ頂部沈下量の比較

アーチ上部の変位は、切払完了時までには収束しており本体掘削中にはほとんど変化しなかった。

図-4は、アーチ頂部沈下量の比較図である。

計算値と実測値は空洞壁面近傍ではほぼ一致しているが、変位曲線は計算値がスムーズなカーブを描いているのに対して、実測値は壁面から8m付近に折れ点がある。これは、計算値が発破による変形性係数の低下を考慮した弾性的な変位であるのに対し、実際には岩盤の緩みの進展によるクリープ的な変位を含んでいるため、壁面近傍の緩みによる変位が大きくなったものと思われる。

(2) 側壁岩盤の変位と内空変位

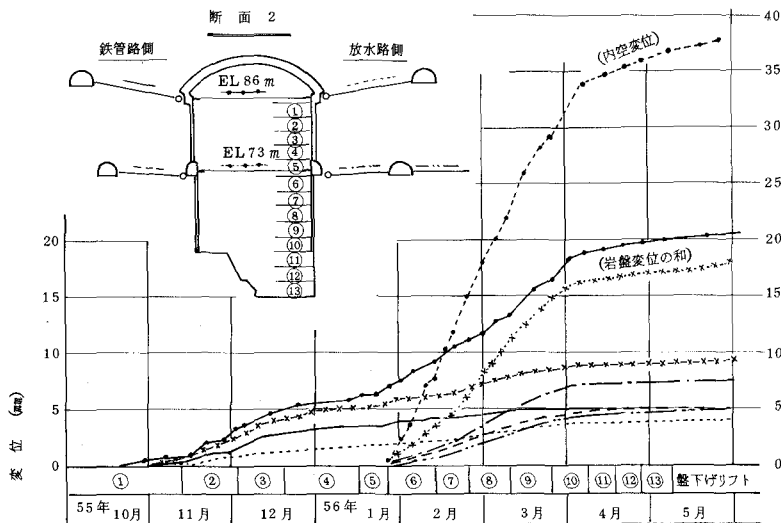


図-5 岩盤変位と内空変位の比較

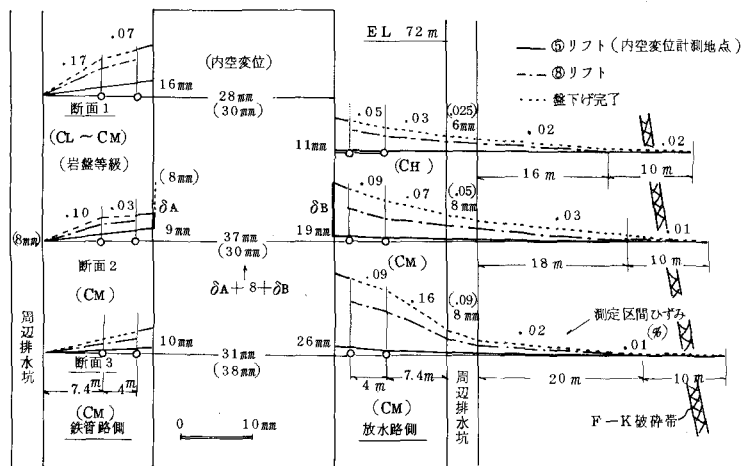


図-6 空洞中央側壁岩盤の変位

盤変位を加えると、内空変位と岩盤変位とがほぼ合致する。

また、F-K 破碎帯を挟んで設置した岩盤変位計では顕著な変位がみられなかったので（ひずみは、0.01～0.02）、この破碎帯による影響は小さいものであったと思われる。

岩盤変位の履歴は紙面の都合上掲載できなかったが、周辺排水坑からほぼ水平に空洞に向かって設置した変位計の計測結果は、最大値である3断面で計算値にはほぼ等しく、鉄管側で計算値より小さいものとなった。特に周辺排水坑からF-K 破碎帯へ向かう変位計の結果が計算値の半程度であったが、これは空洞周辺のCL～CM級岩盤で緩んだ領域の変位量は、計算による変位量とはほぼ一致しているものの緩み領域外の変位が計算値より小さいことを示している。

このほか、各断面によって変位量に2～3倍の開きがあったが、これも各断面における地質状況の差によるものと考えられる。

(3) BTVと岩盤PS工の荷重変化

図-7にボアホール・テレビ（BTV）によって観測した岩盤の割れ目の開口量と同じ位置の岩盤

図-5は、周辺排水坑から設置した岩盤変位計による側壁部の岩盤変位（相対変位）と内空変位（絶対変位）との比較である。

岩盤変位・内空変位および測定標高にかかわらず、盤下げリフト⑤～⑩までの変位が大きく、それ以後の変化は小さくなっている。

EL 86mの結果によると、⑤リフトまでの内空変位は両側の岩盤変位の和とほぼ一致しているが、⑤リフト以後は内空変位の増加量が大きくなり、最終的には約2倍となっている。

図-6は、周辺排水坑からほぼ水平に設置した岩盤変位計による変位を、壁面から一番遠いアンカーの変位を0として壁面のはらみ出し量を求めたものである。放水路側周辺排水坑のひずみは、空洞側と外側のひずみの平均と仮定して算定しており、（）内の数値は内空変位測定開始からの岩盤変位両側の和である。

このように計測区間外の岩

変位計による変位および岩盤P S工緊張荷重測定結果を示した。

岩盤変位計による変位量は、B T Vによる割れ目幅の2～3倍となっているが、この差はB T Vでは観測できない微小な割れ目(0.1mm以下)を含む岩自体のひずみによる変位と考えられる。

P S工の荷重変化量は、S E E Eケーブルの伸び1mm当り1tの荷重増加に相当するもので、ほぼ妥当な相関を示している。

変位の発生状況から空洞周辺の緩み深さを推定すると、側壁岩盤がC_H級の場合には1～2m、C_L級の場合は周辺排水坑近く、即ち10m程度と考えられる。

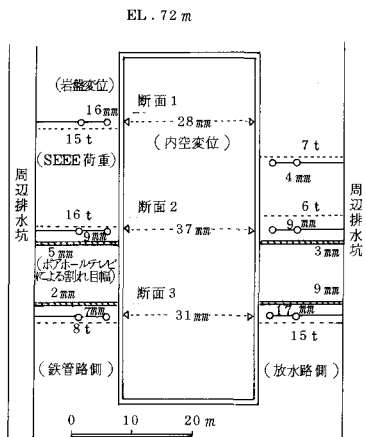


図-7 岩盤変位とS E E E荷重
の変化量 (EL. 72 m)

(4)アーチライニングの応力

アーチライニングのコンクリート応力は、測定した鉄筋応力とコンクリートひずみから計算して整理した。

コンクリート応力は、コンクリートの温度変化による応力を除き、掘削による変化をみるために打設後1ヶ月を初期値とした。

図-8に切払掘削時と本体盤下げ時の応力変化を分けて示したが、この図から切払掘削による応力はブロックの打設時期に従う応力の差

があるものの、盤下げ中の応力にはブロックによる差が殆んど無いことから、コンクリートライニングは連続した一体構造物としての挙動をしており、局部的な岩盤変形の影響が緩和されているものと考えられる。

図-9は、掘削の進行に伴うE L 86mの空洞内空スパン縮小量とライニングのコンクリート応力との関係を示したものである。スパンの縮小量は、コンバージェンスメジャーによる測定結果と両側の岩盤変位計による変位の和の両方を示した。コンクリート応力は内空変位測定結果、即ちアーチスパンの縮小量に従って増大しており、アーチスパンの縮小量に対するコンクリート応力の増加量の比率は、計算と計測で比較的に良い一致を示している。

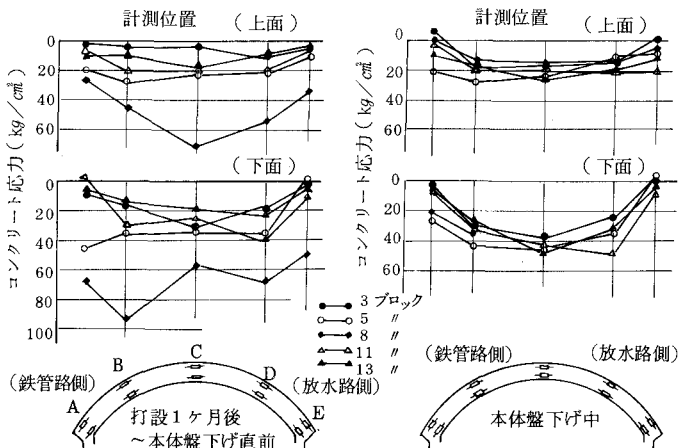


図-8 掘削によって生じたコンクリート応力の分布

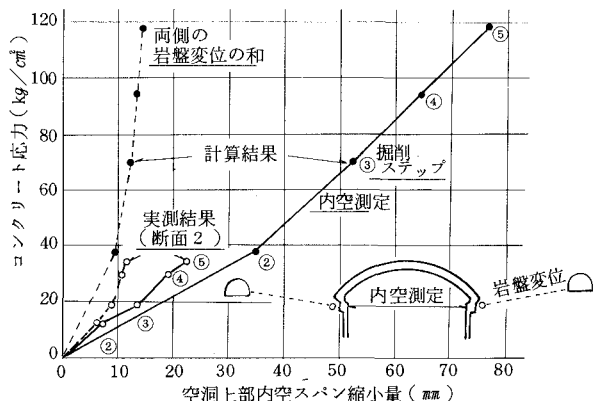


図-9 コンクリート応力と側壁変位の関係

(5)掘削に伴う地山内の応力変化

空洞掘削による地山内の応力変化を測定するために、E L 72 m 周辺排水坑において発電所空洞壁

面から3 m・4 m・5 mの位置でボーリング(φ86mm)した後、応力計(4成分応力セル; グレーツェル社製)を埋設した。

本体掘削に伴って空洞壁面に直交する方向の応力成分は、減少することが予想されるので、膨張性モルタルによって予圧をかけた後30～50日経過して膨張圧による応力変化が落ちついた時点から盤下げ完了まで経時的に測定した。しかし予圧のかけかた等問題があり、比較的信頼性のある結果が得られたのは壁面から3 mの応力計であったので、主応力の減少を計算結果として比較して図-10に示す。

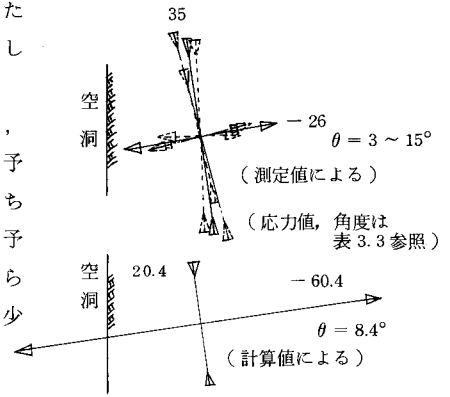


図-10 応力変化量の主応力表示

4. 他地下発電所地点の計測結果との比較

これまでに建設された地下発電所地点における計測結果と当発電所の結果を比較する。

表-2 地下発電所地点の岩種と空洞規模

No	地点名	岩 種	幅 m	高さ m	長さ m	掘削量 ×10³ m³
1	奥多良木	流紋岩, 花崗斑岩, 輝緑岩	24.9	43.9	133.4	145.2
2	大 平	砂岩, 粘板岩	22.0	45.6	82.8	79.1
3	南 原	粗粒花崗岩	25.5	47.7	82.6	82.6
4	奥 吉 野	頁岩, 砂岩	20.1	41.9	157.8	154.0
5	新 高 瀬	花崗内緑岩, 斑状細粒内緑岩	27.0	54.5	163.0	211.7
6	玉 原	礫岩, 流紋岩質凝灰角礫岩	26.6	49.4	116.3	132.3
7	奥 矢 作	花崗岩	23.2	48.5	102.7	101.3
8	本 川	黒色片岩	26.3	47.4	98.0	86.4
9	第二沼沢	流紋岩	26.0	47.6	96.5	97.2
10	高 見	輝緑凝灰岩	21.0	43.3	57.5	43.6
11	俣 野	花崗岩	23.5	45.7	155.5	157.0

表-2は、当発電所と同様の計測を行った地下発電所である。

図-11は、アーチ上部の岩盤変位で、当所と同様に上部の調査坑あるいは、アーチ頂部の導坑から設置した岩盤変位計から測定したもので、アーチ切掘げ時の変位を含むものである。

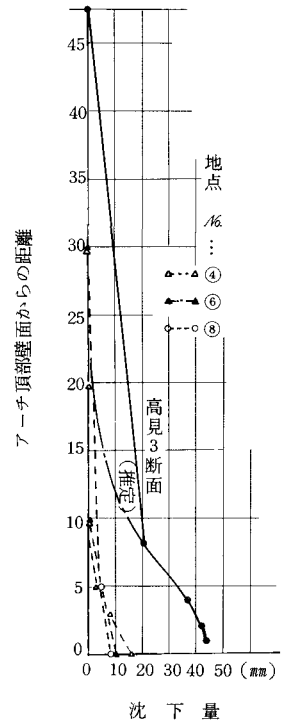


図-11 アーチ頂部沈下量の比較

他地点の壁面沈下量は10～15mmで変位の発生区間は壁面10mの区間であるのに対し、当所の沈下量は3～4倍となっている。これは、アーチ上部にC_L級の岩盤が存在し、ゆるみ領域がかなり深部にまで発生したものと考えられる。

図-12は、各地点の本体盤下げ中に発生したアーチライニングコンクリート

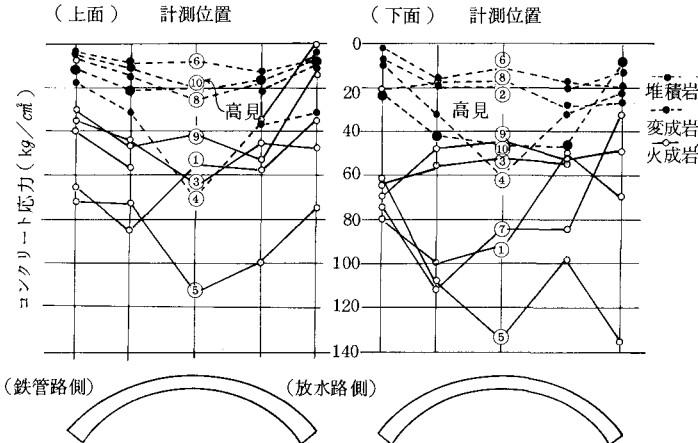


図-12 本体掘削によるライニング応力の分布

応力である。各地点の応力にはそれぞれ大きな差があるものの、一般的に火成岩地点の応力は堆積岩地点の応力より大きく2～4倍である。当所の岩盤は輝緑凝灰岩で堆積岩に属するものであり、コンクリート応力は他の堆積岩地点とほぼ同様な結果となっている。

図-13は、各地点におけるコンクリート応力と空洞奥行き長さの関係を示したものであるが、コンクリート応力は奥行き長さに従って大きくなる。当所におけるコンクリート応力の平均値は 25 kg/cm^2 で15mmの内空変位に見合う値であるが、空洞奥行き長さ57.5mとの関係でみれば、他の堆積岩地点と比較して若干大きめの値である。

図-14は空洞側壁の内空変位を上部と中央部とで比較したものであり、両者の関係は必ずしも一次ではないが、その比率が当所では2.5となっており比較的是らみ出し量が多いものであった。

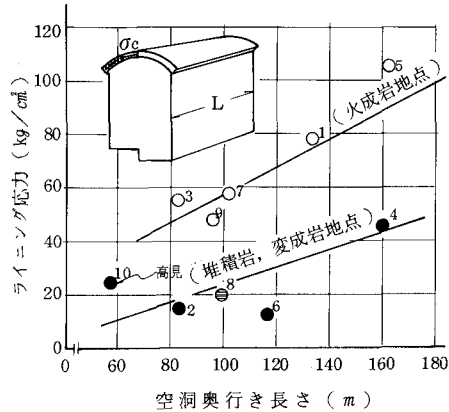


図-13 空洞奥行き長さとライニング応力

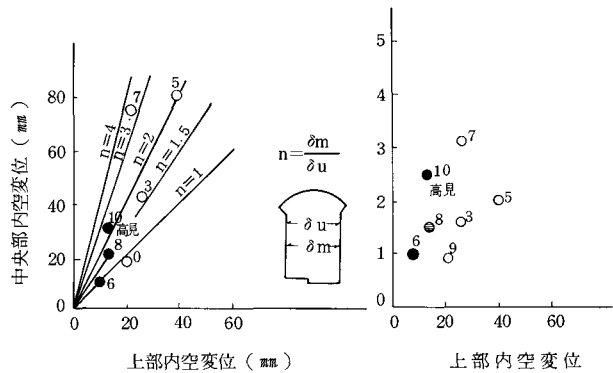


図-14 空洞内空変位の比率

5. 結 論

高見地下発電所空洞掘削時に計測した実測結果を基に、岩盤の挙動について検討を行った。

当発電所空洞の奥行きは57.5mで、他地点の空洞と比較すると短い方であるが、周辺岩盤の等級は主に C_M 級で一部に C_L 級のゾーンも存在し、地下発電所地点としては比較的軟弱な岩盤であるため、空洞周辺における計測を綿密に計画し、空洞掘削は空洞と周辺排水坑との間のSEEケーブル、側壁面の逆巻きコンクリート等の補強を施しつつ実施した。

以上の検討結果を総合すると、次の結論が得られる。当所の岩盤は比較的軟弱であり、原位置試験の結果もこれを裏付ける低い値を示し、掘削時の変形量が多いものと予測したが、実際にはアーチ頂部の沈下量は大きかったものの側壁岩盤の変位は予想したほど大きいものではなかった。これは当所の岩盤が堆積岩であり、空洞の規模が小さかったことと十分な補強対策によるものと考えられる。

6. あとがき

本文をまとめるにあたり、御協力を戴いた(財)電力中央研究所 立地部 地盤構造研究室 日比野室長、本島主査研究員、石田担当研究員に深甚な謝意を表します。

* 1 南部, 釜野, 横辻; 高見地下発電所の設計・施工, 土木学会北海道支部 論文報告集 第37号 P 429～434, 1981. 2

* 2 本島, 日比野, 石田; 高見発電所地下空洞掘削時の実測結果による岩盤挙動の検討; 電力中央研究所報告・依頼報告: 382565, 1983. 1