

CAES-G/T 圧縮空気地下貯蔵施設掘削時の岩盤調査について

Rock Mass Measurements of CAES-G/T Underground Air Storage Cavern in Excavation

高木 慎悟* 合田 佳弘** 西本 吉伸***

Shingo TAKAGI, Yoshihiro GODA, Yoshinobu NISHIMOTO

Air-tight lining structure would be adopted for the structure of CAES-G/T compressed air storage cavern. Design conditions of the lining structures depend on rock mass characteristics of deformation. Some rock mass behaviors were measured under excavation of access tunnel prior to construction of CAES-G/T pilot plant in the disused Coal Mine at Kamiunagawa, Hokkaido.

This paper reports the results of survey during excavation of the cavern and physical properties of surrounding rock mass..

1. まえがき

圧縮空気エネルギー貯蔵ガスタービン発電 (Compressed Air Energy Storage Gas Turbine: CAES-G/T) は、オフピーク時の電力で圧縮空気をつくり、それを地下に設けた空洞に貯蔵し、昼間の電力需要のピーク時に圧縮空気を取り出しガスタービン発電を行う貯蔵型発電システムである。CAES-G/T には、最大 8.0MPa の空気圧を貯蔵する圧縮空気貯蔵施設が必要であり、分割ライニング方式と気密シートから構成される、図-1に示す気密ライニング構造¹⁾が計画されている。岩盤負担を考慮した構造物であるため、ライニング構造の設計上において岩盤の変形特性を把握することが非常に重要となる。^{2) 3)}

現在 CAES-G/T パイロットプラント建設工事が進められているが、岩盤の変形特性を評価するために、本体掘削に先立ち施工されたアクセストンネル部において、地質観察、各種計測および掘削解析を実施した。本稿は、建設地点の地質構造が、岩盤の変形特性上に与える影響を考察したものである。

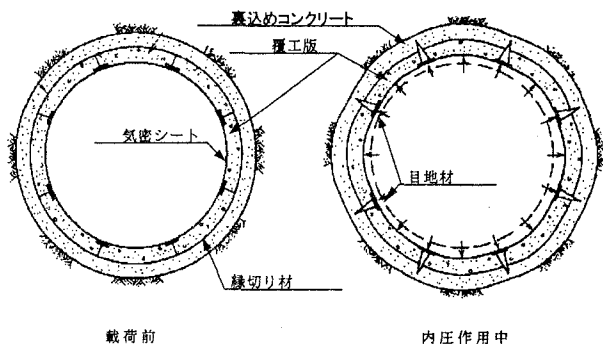


図-1 気密ライニング構造の概念

2. 圧縮空気地下貯蔵施設の概要

圧縮空気地下貯蔵施設の建設位置は、北海道空知郡上砂川町にある三井石炭鉱業(株)旧砂川炭鉱の一部を利用し、250L 坑道と呼ばれる地表から約 450m の深度(海面下-250m)に位置する。

貯槽周辺の地質は、若鍋層と呼ばれる古第三紀の砂岩をわずかに挟在した砂質泥

* 正会員 電源開発株式会社 北海道支社CAES工事グループ 課長代理
** 正会員 電源開発株式会社 北海道支社CAES工事グループ グループリーダー
*** 正会員 電源開発株式会社 建設部 設計室 技術開発グループ 課長

岩であり、地層全体は東西に約 70° の角度で傾斜し地層に沿った層理が発達している。

岩盤等級は概ね CH 級であるが、局所的に節理が密集する CM 級岩盤が偏在している。また、幅 30cm から 1m 程度の断層が2条横切っている。圧縮空気地下貯蔵施設は、プラグ部、貯槽部及び端部から構成される。貯槽部の寸法は、内径 6m (掘削径 7.4m)、延長 57m であり、プラグ部及び端部の延長はそれぞれ 13.5m、3.0m である。圧縮空気地下貯蔵施設の概要を図-2に示す。

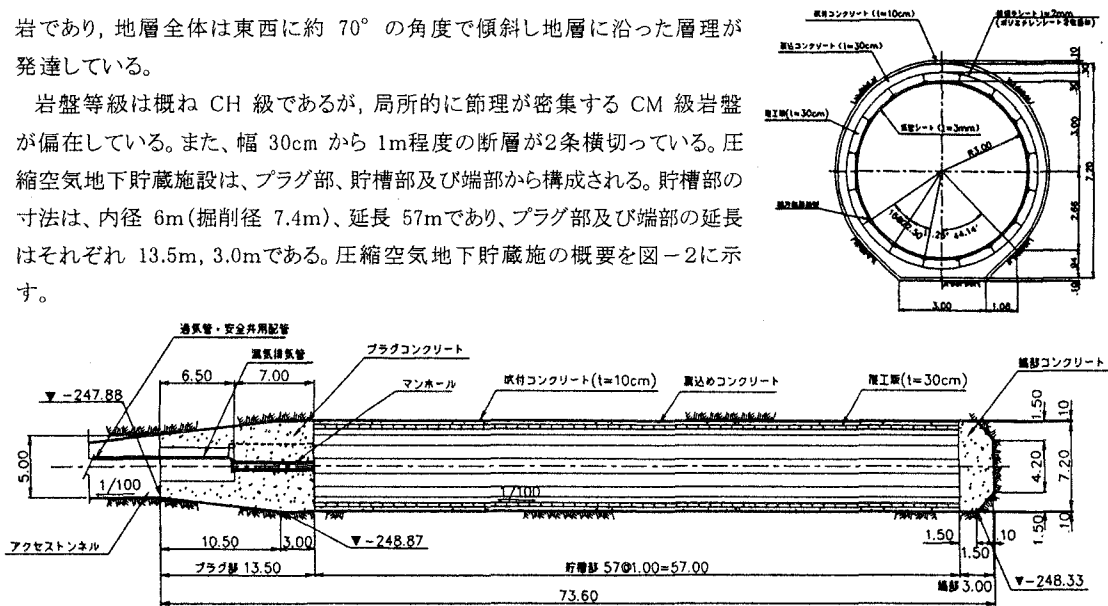


図-2 CAES-G/T パイロットプラント 圧縮空基地か貯蔵施設の概要

3. 岩盤計測と掘削解析

3.1 内空変位

今回の調査対象となるアクセストンネルは、図-3に示す位置で、圧縮空気地下貯蔵施設に至る延長約 59mの区間であり、5mピッチでの内空変位測定、ならびに代表断面 (TD54.1m) にてロックボルト軸力測定、コンクリート吹付け応力測定等の計測を行った。代表断面の掘削断面形状と地質状況を、図-4に示す。

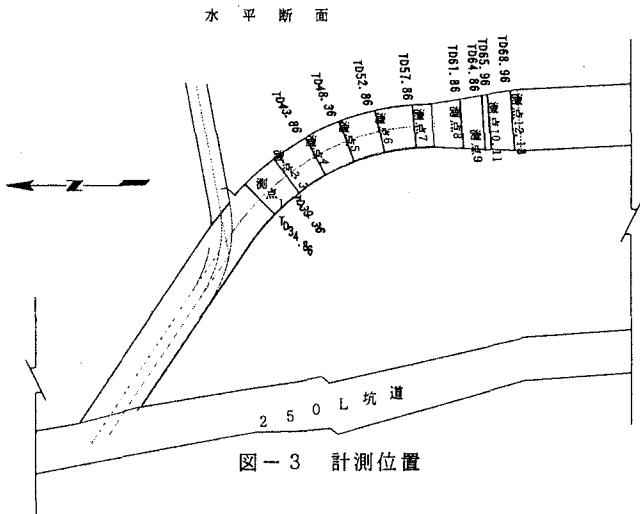


図-3 計測位置

3.2 掘削解析

この代表断面を対象として掘削解析を、非線形弾性解析を用いて、表-1に示す物性値により実施した。切羽到達時点での応力解放率は、調査工事の実績²⁾から45%とした。

表-1 地山物性値

項 目		C _H	C _{HM}	C _M	C _{ML}	C _L
変形特性	初期地圧 (MPa)	11 (等方)				
	初期変形係数 D ₀ (GPa)	13.0	10.0	6.8	4.0	1.4
	初期ポアソン比 ν ₀	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
	破壊時変形係数 D _p (Gpa)	1.3	1.0	0.68	0.4	0.14
	破壊時ポアソン比 ν _p	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	ゆるみ定数 k	5	5	5	5	5
	非線形特性指数 a	1	1	1	1	1
	非線形特性指数 b	1	1	1	1	1
強度特性	粘着力 c (MPa)	2.3	1.7	1.2	0.9	0.6
	内部摩擦角 φ (°)	40.0	37.0	33.5	31.0	28.0

4. 計測結果と解析結果の比較

4.1 内空変位

断面形状および計測した測線を図-4に示す。図-5に計測データと解析による内空変位を、また図-6に、水平変位と天端沈下の変位比を示す。ここで水平変位とは図-4の測線3の変位量である。

解析と計測を比較すると、ばらつきは有るものの、水平変位は CM～CL 級相当であり、天端沈下は CH～CM 級相当の変位となっている。また、TD60m 付近には断層が出現しているために、特に水平方向の変位が増えている。

掘削形状がやや扁平であることから、初期地圧も変形特性も等方的であるとすれば、掘削解析によると天端沈下が大きく、水平変位が少ない傾向にあるはずであるが、計測によると逆の傾向となっている。図-6に示す、天端沈下量と水平変位量の比に着目すると、水平変位が非常に大きいことがわかる。

これらの原因は、右側では層理(空洞奥に向かって右落ち約 70 度単斜構造)面と空洞壁面がほぼ平行であるため、壁面に近い部分の岩盤が空洞内空側にせり出し、天端沈下量に比べて側壁方向の変位量が大きくなっている。

4.2 ロックボルト軸力及び吹付けコンクリート応力

(1) ロックボルト軸力

代表断面におけるロックボルト軸力測定および吹付けコンクリート応力測定結果を図-7に示す。また、ロックボルト軸力の解析値との比較を、図-8に示す。ロックボルト軸力の絶対値は、解析で得られる CM～CL 級相当の値となっており、当初の想定よりやや大きめである。計測値は、左側(RB-1)、天端(RB-2)、右側(RB-3)とそれぞれ異なる傾向を示しており、左側(RB-1)では、坑壁表面近傍で小さく深部が大きいが、右側(RB-3)では坑壁表面近傍が最も大きく、天端(RB-2)は深度1mをピークとする凸型の傾向を示している。

解析によると、左右方向はいずれも深度1mをピークとする凸型の傾向を示し、天端は坑壁表面近傍がもっとも大きい軸力を発生するものと予測さ

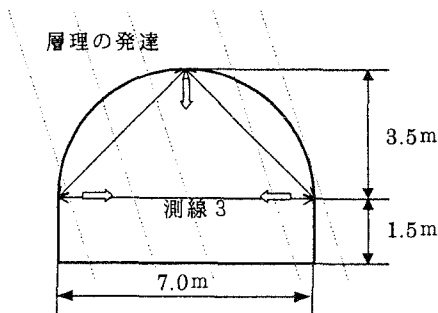


表-4 断面形状および測線

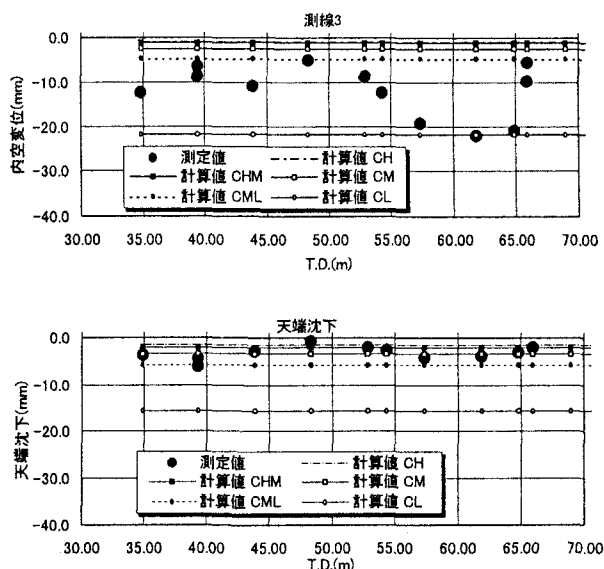


図-5 内空変位計測データと解析値の比較

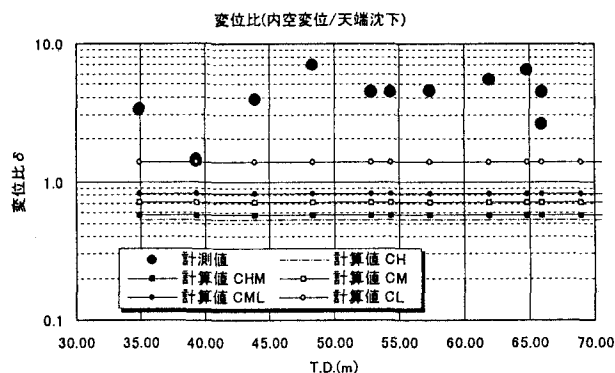


図-6 内空変位の鉛直／水平変位の比

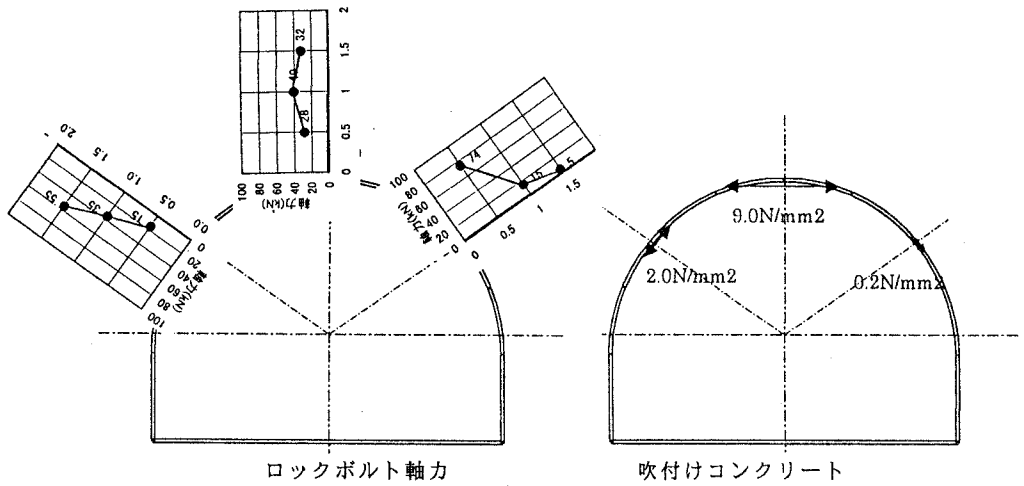


図-7 ロックボルト軸力と吹付け応力測定結果

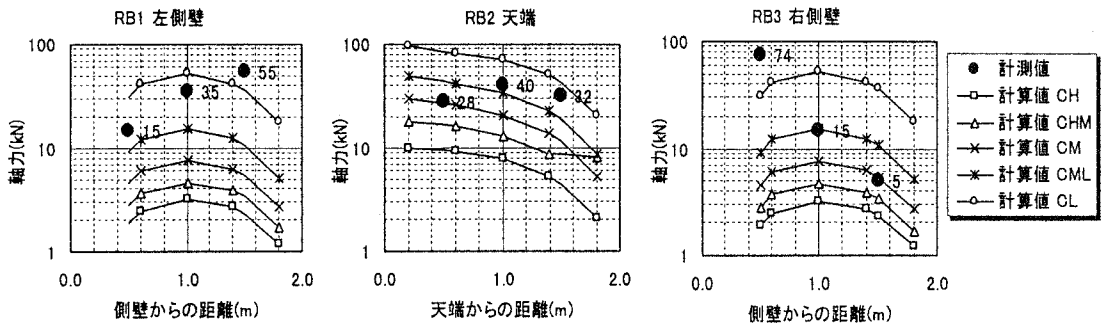


図-8 ロックボルト軸力の解析との比較

れており、計測結果と解析結果に、傾向に差が出ている。

ロックボルトの軸力は、応力開放による岩盤の歪みが伝達されるために発生するが、層理の発達歪みの発生に影響を与えたために、このような差が生じたと考えられる。

すなわち、層理を横切る方向のRB3では、応力開放により層理面の分離による歪みが著しく、応力開放の著しい坑壁付近に大きなひずみが生じ、層理にほぼ平行な方向となる、RB1, RB2では、層理面の分離の影響をあまり受けずに応力開放するため、坑壁付近のひずみが比較的小さかったと思われる。

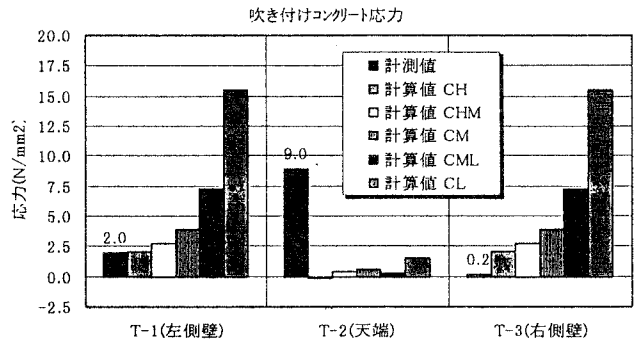


図-9 吹付けコンクリート応力の解析との比較

(2) 吹付けコンクリート応力

吹付けコンクリート応力測定結果と解析結果を図-9に示す。計測では天端部の応力が大きくなり、側方においては応力が小さくなり、解析結果とは逆の傾向を示している。これも層理の発達の影響を受けているものと考えられ、応力開放による緩みが、層理に直交する方向に大きく進展することにより、天端付近の吹付けコンクリートが両側から押し込まれ、大きな応力が発生したものと考えられる。

5. まとめ

以上の計測結果と、その考察をまとめると以下のようになる。

(1) 岩盤の変形特性に与える地質構造の影響

当該地点の岩石の一軸圧縮強度が20～50MPaであり、初期地圧が約11MPaであることから、地山強度比が小さいところでは2程度であり、応力開放による影響を大きく受ける空洞であると言える。さらに地質上の特徴として、前述のとおり層理が発達し、その走行は空洞の軸にほぼ平行であり、切羽に向かって右に約70°傾斜しているため、層理構造が空洞壁面の応力開放に大きく影響を及ぼしているようである。

しかしながら、今回の計測では坑壁表面から内部への岩盤のひずみ分布は直接計測していないため、緩み域の分布や性状については十分に把握できていない。今後、地中変位等の計測も含めて、地質構造と緩み域の進展に関してさらなる検討を行う必要がある。

(2) 解析手法

従来までの地質調査結果からは、新鮮な状態での岩盤の変形特性に関して、ほとんど異方性が認められなかったことから、今回の解析では地質構造による異方性を考慮しなかったが、今回の計測結果には層理の影響が随所に認められた。これは、新鮮な状態では等方的な変形特性を有する岩盤でも、層理構造の存在のために緩み域では異方性を呈することを示唆するものである。今後、応力開放により生じる緩み域に対する異方性を考慮した岩盤評価が必要になると考えられる。

6. おわりに

圧縮空気地下貯蔵施設のライニング構造設計に際しては、周辺岩盤の変形特性の把握が重要であるが、今回の計測で層理構造による変形特性への影響が確認された。圧縮空気貯蔵施設本体で予定している各種計測に基づき、変形挙動を確認した上で、解析モデルの検討を行う必要がある。

当該プロジェクトは、通商産業省が(財)新エネルギー財団に委託して実施する「新型負荷平準化電源技術開発調査」の一環として実施されているものであり、本レポートの取りまとめに際して、多くの関係者の方に御協力を頂いたことに謝意を表する。

参考文献

- 1) 天野 喜久男, 沢田 隆, 小林 順二: 圧縮空気エネルギー発電システムー圧縮空気地下貯蔵施設の設計についてー, pp.87-95, No.267 電力土木, 1997, 1.
- 2) 西本 吉伸, 高木 慎悟: 岩盤を利用した圧縮空気地下貯蔵施設の設計のための原位置貯蔵試験, 第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.701-706, 1998.
- 3) 高木 慎悟, 西本 吉伸: CAES-G/T に適用する原位置貯蔵試験施設の解体調査による周辺岩盤のゆるみ調査, 第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.617-622, 1998.