

# CAES-G/T 圧縮空気地下貯蔵施設建設地点の岩盤調査結果と周辺岩盤特性の考察

## Consideration about results of survey of the cavern and physical properties of surrounding rock mass in CAES-G/T Underground Air Storage Cavern

中山 義紀\*・高木 慎悟\*\*・合田 佳弘\*\*\*

Yoshinori NAKAYAMA, Shingo TAKAGI, Yoshihiro GODA

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 and researched under excavation of CAES-G/T pilot plant in the disused Coal Mine at Kamisunagawa, Hokkaido.

This paper reports the results of survey during excavation of the cavern and physical properties of surrounding rock mass. And it is reported that design condition is valid for construction of CAES-G/T pilot plant.

### 1. まえがき

CAES-G/T (Compressed Air Energy Storage Gas Turbine)とは、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では、最大 8.0MPa の圧縮空気を貯蔵する圧縮空気地下貯蔵施設(以下、貯蔵施設とよぶ。)が建設されるが、この空気圧はコンクリート覆工版を介して全て岩盤負担させる「気密ライニング構造」としているため、設計上において周辺岩盤の変形特性を把握することが非常に重要となる。<sup>1)</sup>

本報告は、CAES-G/Tパイロットプラント貯蔵施設の掘削工事において実施した各種岩盤調査結果を報告するとともに、その結果から貯蔵施設周辺の岩盤特性について総合的に考察するものである。

### 2. CAES-G/T の概要と建設地点の地質状況

貯蔵施設の建設位置は、北海道空知郡上砂川町にある旧三井砂川炭鉱の一部を利用し、地表から約 450m の深度(海面下-250m)に位置する。建設地点周辺の地質は、古第三紀石狩層群若鍋層上部に属する砂質泥岩であり、その特徴としては、層理面の走向がほぼ南北方向で西へ 70°程度傾斜していること、地山強度比が2程度と比較的小さいこと、スレーキング特性を有することおよび圧縮強度の含水比依存性が認められること等があげられる。<sup>2)</sup>

図-1に貯蔵施設周辺の地質平面図を示す。岩盤の岩級区分は概ねCH級の堅硬な岩盤で構成されることが確認され、CM 級岩盤の分布は、断層近傍の地質不良部や局所的に層理沿いに発達した節理等の影響で顕著な緩みが生じたと推定される部分に限定されている。そして、プラグ部および貯槽部で分布が確認された幅 30cm から1m程度の破碎を伴った3条の断層部が、局部的にCL 級岩盤となっている。

\* 正会員 工修 電源開発株式会社 北海道支社CAES工事グループ  
\*\* 正会員 工修 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 工修 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

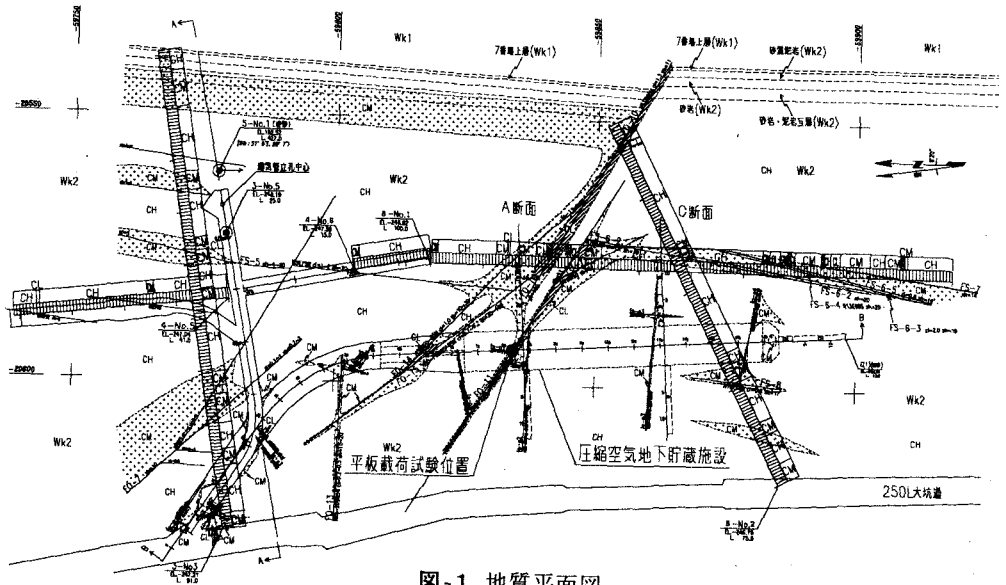


図-1 地質平面図

### 3. 調査項目

圧縮空気貯蔵時における内圧を岩盤に伝達させるコンクリート覆工版は、表-1に示す設計値に基づき設計された。この割付けにあたり周辺岩盤特性を把握することが重要となることから、計測断面として2断面(A断面:断層部、C断面:標準部)を設定しボーリング調査を実施し、各種岩盤調査を実施した。調査項目を表-2に、調査実施場所を図-2に示す。

表-1 岩盤物性の設計値

岩級区分	弾性係数 (GPa)	ゆるみ域	
CH級	健全部	13.0(10.8)	—
	ゆるみ部	5.2 (4.3)	1.0~1.1m
CM級	健全部	6.8 (5.7)	—
	ゆるみ部	2.7 (2.3)	2.0~2.2m
CL級	健全部	1.4 (1.2)	—
	ゆるみ部	0.6 (0.5)	2.8~3.0m

※( )はクリープ変形分を考慮した値

表-2 調査項目

内容・項目		場所
ボーリング調査	地質岩盤調査	ボーリング孔 (図-2参照)
	コアボーリング調査	
	ボアホールテレビ調査	
	岩盤物性値調査	
	P波検層	
	真空透気試験	
地中変位計測定		
平板載荷試験		貯槽部断層部
坑壁弾性波測定		左右側壁,インバート部

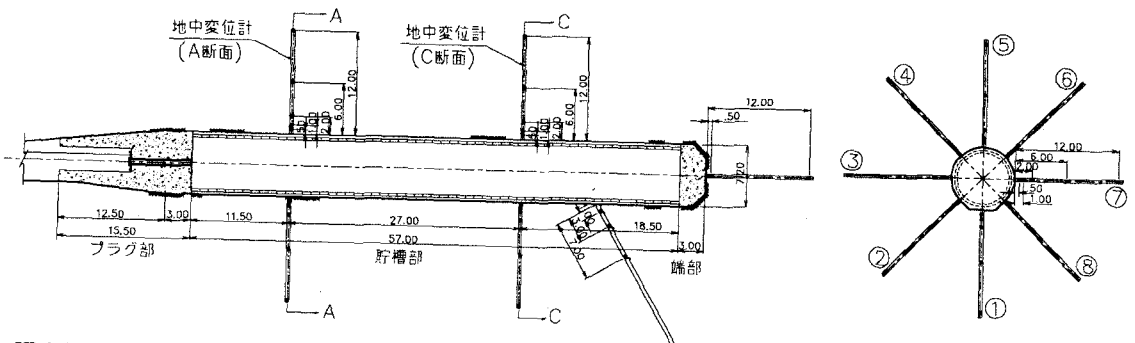


図-2 調査実施位置図

### 4. 調査結果

#### 4.1 ボーリング調査結果

##### (1) 地質岩盤調査結果

地質岩盤調査として、コアボーリング調査およびボアホールテレビ観察を実施した。ボーリング孔番号は図-2に示すようにA断面、C断面とも鉛直下方から時計回りに①~⑧とした。

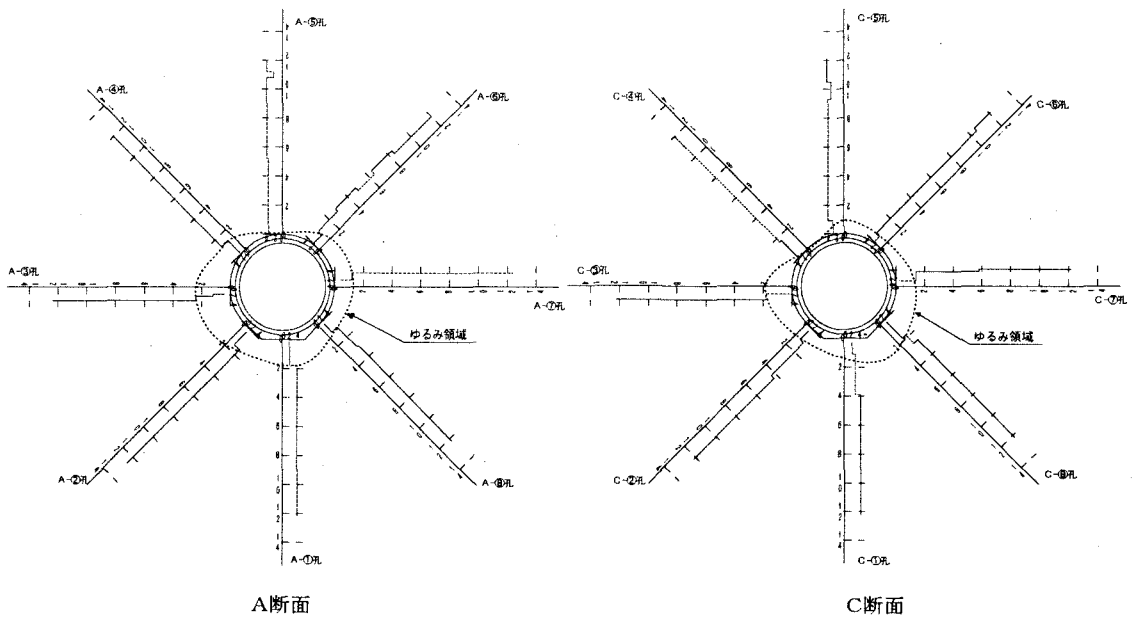


図-3 P波検層結果及びこれより想定されるゆるみ領域

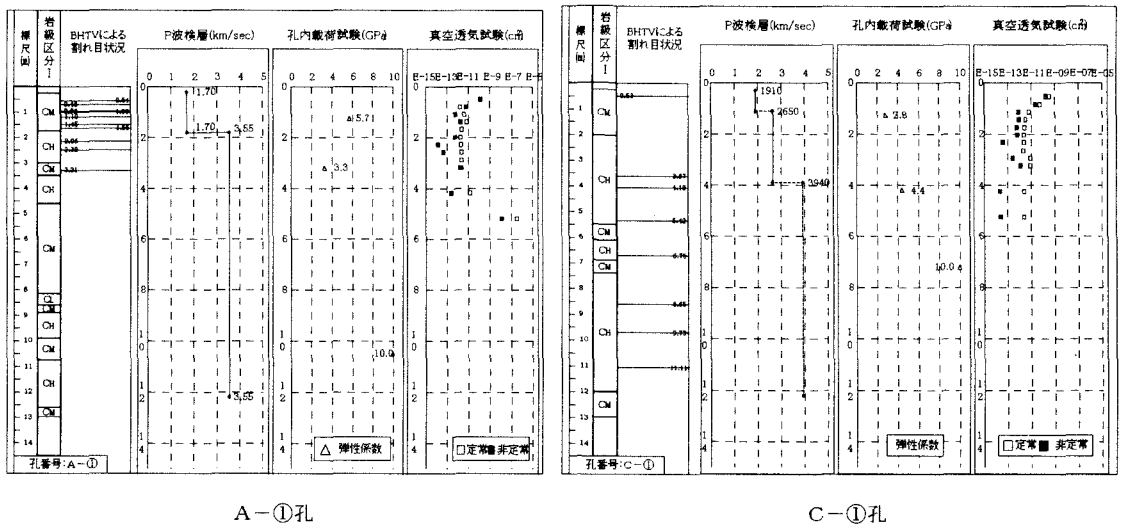


図-4 各種試験結果

その結果、割れ目が多かったのは概ね坑壁から0.0~2.5mの表層付近と断層破砕帯周辺の弱層部であった。割れ目の状況は、坑壁から深い部分については層理面沿いに発達していたのに対し、坑壁表層は坑壁と平行に発達していた。坑壁表層の割れ目はゆるみに起因するものと思われる。

## (2) 岩盤物性値調査結果

岩盤物性値調査として、孔内載荷試験、P波検層および真空透気試験を実施した。このうち、P波検層はA,C断面の全てのボーリング孔について実施した。

図-3にP波検層の結果を示す。この結果より、健全部の速度を約3.0(km/sec)とすれば概ね坑壁から1.0~2.0m付近にて速度変化点があり、これがゆるみ領域と健全部との境界と考えられる。またA,C断面を比較すると、P波検層から推定されるゆるみ領域は、A断面に比べてC断面の方がやや小さい結果となっている。

次に各種試験結果のうち、A、C断面の鉛直下方(A-①、C-①)において実施した孔内载荷試験、P波検層および真空透気試験結果を、前項に示したボアホールテレビ調査結果とあわせて図-4に示す。真空透気試験ではA、C断面ともに表層から1.0m付近までがゆるみ領域と考えられるが、P波検層やBHTV調査では明らかにA断面の方が推定されるゆるみ領域は大きい。なお、孔内载荷試験結果から、1.25m以深の弾性係数は4.0~10.0GPa程度であり、概ねCM~CH級の物性を示す結果を得られた。

#### 4.2 地中変位計測定結果

上半掘削時において切羽近傍で地中変位計を設置したA、C各断面の天端および右斜め上(A-⑤、⑥、C-⑤、⑥)における測定を行った。図-5に結果を示す。

図よりA-⑥、C-⑤は表層より2.0mの深度、C-⑥は表層より1.5mの深度までの変位量が大きく、この部分がゆるみ領域と判断できる。なお、A-⑤は変位量が相対的に小さく、表層付近の変化率が小さいが、これは後述の平板载荷試験用調査坑を先行掘削したため、変位計を設置する前に応力の一部が解放したため既に変位が進行した状態にあったものと推測される。

この測定結果(A断面については逐次解析を基に補正したデータ)を用いて逆解析を行ったところ表-3に示す弾性係数が得られた。<sup>3)</sup>

#### 4.3 平板载荷試験および孔内载荷試験結果

平板载荷試験は、貯槽部を横断する破砕幅10~30cm程度の断層部(周辺はCM級岩盤)を対象に、鉛直・水平の2方向で実施した。過去に実施した平板载荷試験結果や孔内载荷試験結果も含め、今回実施した結果を岩級別にまとめたものを図-6に示す。

これによれば、断層部(CL級岩盤)を介在したCM級岩盤において実施した今回の平板载荷試験結果で、水平方向で約5GPa、鉛直方向で約11GPaという異方性のある結果が得られた。これは、層理面の走向が約70°程度傾斜していることから、側壁のゆるみが発達していたことが影響したと思われる。

一方、今回の孔内载荷試験結果は、過去の試験結果にほぼ同等の物性であった。

#### 4.4 坑壁弾性波測定結果

坑壁弾性波測定は貯蔵施設の左右側壁およびインバートにおいて実施したが、いずれにおいても明瞭な差はなく概ね表-4のような結果となった。

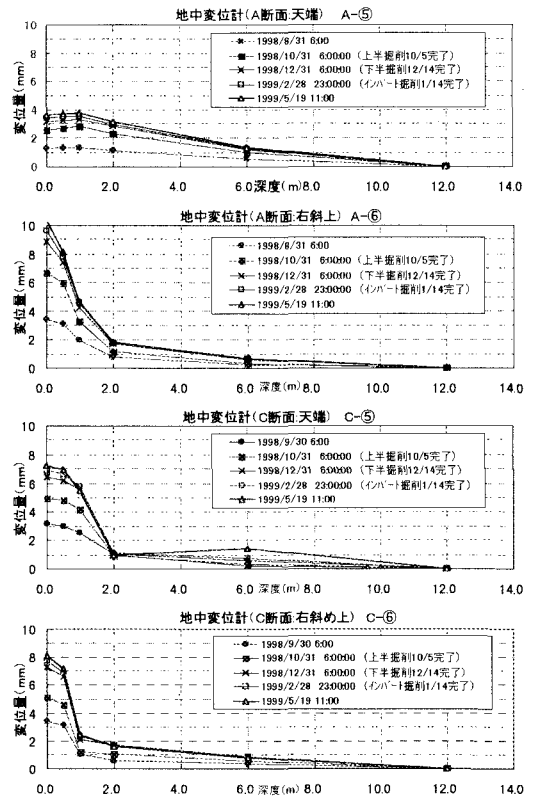


図-5 地中変位計測定結果

表-3 逆解析結果

	弾性係数(GPa)	
	健全部	ゆるみ領域
A断面	5.3	2.1
C断面	8.8	3.5

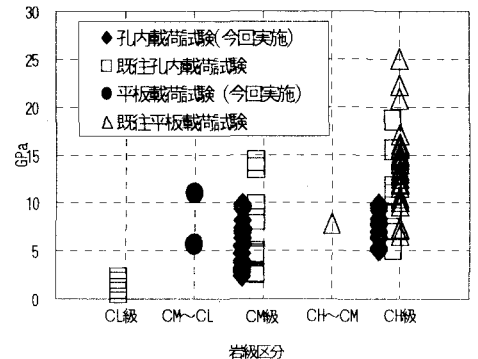


図-6 平板载荷試験等結果

表-4 坑壁弾性波速度測定結果

	P波	
	速度(km/sec)	層厚(m)
第1速度層	1.3~1.8	0.4~0.8
第2速度層	2.6~3.0	0.6~2.2
第3速度層	3.5~3.9	—

## 5. 考察

### (1) 地質

地質図から明らかなようにCL級岩盤の分布が破碎幅 30cm の断層の破碎部に限定されて分布していることが確認されており、それ以外の箇所は概ねCM級以上の岩盤となっている。

### (2) ゆるみ幅

P波検層や坑壁弾性波速度測定の結果から、健全な岩盤のP波速度は概ね 3.0(km/sec)以上であり、貯蔵施設坑壁表層では 1.5(km/sec)前後の値を呈していた。一方、真空透気試験において健全部の透気係数は  $10^{-12}$  (cm<sup>2</sup>) 以下と思われるが、表層では  $10^{-8}$  ~  $10^{-11}$  (cm<sup>2</sup>) 程度であった。さらに、地中変位計測定結果を見ても変位が大きいのは貯蔵施設坑壁から 1.0~2.0(m)付近であった。以上、各種調査で得られたデータから推定されるゆるみ領域をボーリング孔別の総括表にしたものを表-5に示す

これによれば、断層破碎部を有するA断面におけるゆるみ領域は概ね 1.0~2.0m 程度と見られ、一方、C断面については概ね 0.5~1.5m程度と判断できる。以上の結果と表-1におけるゆるみ領域の設計値(CH級で約 1.0m、CM級で約 2.0m)と比較して、概ねCM級~CH級岩盤相当と判断できた。

### (3) 岩盤物性

当建設地点における岩盤物性として、既往の調査結果や今回実施した孔内載荷試験や平板載荷試験から、弾性係数が概ね 5~10GPa であることが明らかとなり、これらは表-1における弾性係数の設計値(CH級健全部で 13.0GPa、CM級健全部で 6.8GPa)と比較して、ゆるみ幅から推定した場合と同様に概ねCM~CH級岩盤相当であることがわかった。また、今回実施した平板載荷試験のように岩級区分によっては異方性がみられたものの、岩盤物性値としてはCM級以上の値を呈していることがわかった。

一方、地中変位計測定の結果を用いて等方2層モデル(健全部とゆるみ領域)による逆解析を実施した結果、断層を介在したA断面では、弾性係数が健全部で 5.3GPa、ゆるみ領域で 2.1GPa となり、C断面では健全部で 8.8GPa、ゆるみ領域で 3.5GPa となった。これらは設計値と比較してA断面ではCM級を若干下回る物性値を示したものの、C断面ではCM~CH級に相当する物性値であることが判明した。

以上の結果から、断層等の弱層部ではやや小さい岩盤物性値が得られているものの、概ねCM~CH級岩盤相当の良好な岩盤であることが各種調査および逆解析結果から推定することができた。

## 5. 謝辞

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。

## 6. 参考文献

- 1) 高木 慎悟, 合田 佳弘, 西本 吉伸: 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, 第 29 回岩盤力学に国内シンポジウム講演論文集, pp101-105, 1999.
- 2) 津崎 高志, 本江 誠治, 高木 慎悟, 合田 佳弘: CAES-G/T 圧縮空気地下貯蔵施設建設地点のスレーキング特性と施工への対処, 第 30 回岩盤力学に国内シンポジウム講演論文集, 2000.
- 3) 中西 昭友, 福田 和寛, 中山 義紀, 合田 佳弘: CAES-G/T 圧縮空気地下貯蔵施設建設地点の 2 層岩盤モデル逆解析による岩盤物性値の検討, 第 30 回岩盤力学に国内シンポジウム講演論文集, 2000.

表-5 ゆるみ領域の推定

ボーリング孔 No.	BH TV	P波検層	真空透気	坑壁弾性波
A-①	1.55	1.8	0.50	2
A-②	1.58	1.5	1.00	-
A-③	-	2.4	-	2
A-④	-	1.3	-	-
A-⑤	-	-	-	-
A-⑥	-	0.8	-	-
A-⑦	1.53	1.2	0.93	1.2~1.5
A-⑧	0.51	1.0	-	-
C-①	0.53	1.1	0.85	2
C-②	1.13	1.1	1.25	-
C-③	-	1.8	-	-
C-④	-	-	-	-
C-⑤	-	0.9	-	-
C-⑥	-	0.5	-	-
C-⑦	1.50	1.4	0.73	1.2~1.5
C-⑧	-	1.8	-	-