

堆積岩を対象とした天然ガス高圧貯蔵施設のための地質調査

清水建設（株）技術研究所土木研究開発部 正会員 渡辺浩平
 清水建設（株）技術研究所地下技術グループ 正会員 八田敏行
 清水建設（株）技術研究所地下技術グループ 正会員 熊坂博夫

1. はじめに

天然ガス高圧貯蔵施設のための岩盤としては主に花崗岩などの硬岩が適しており、また、工学的な観点からは菊地・斉藤¹⁾による岩盤分類でC_H級～B級の硬岩が比較的まとまって分布する地域を対象として検討を行ってきた。今回、消費地近郊である関東地方を対象として岩盤物性を検討することにし、選定範囲を広げるため花崗岩などに限定せず堆積岩を対象として地質調査を行うことにした。なお、土木学会岩盤力学委員会によれば硬岩は火成岩、変成岩および古第三紀、中・古生代の堆積岩とされている²⁾。また、関東地方の陸上において硬岩が比較的まとまって分布する地域としては関東山地、足尾山地および筑波(八溝)山地が挙げられる³⁾。本研究では、中・古生代の堆積岩が分布し褶曲が見られるものの安定した地質構造である足尾山地を調査地域として選定した。また、足尾山地(栃木県下)における現地踏査により調査地を選定し地質調査を行った。地質調査としてはボーリング調査、原位置試験および室内試験を行い、これらの結果に基づいて岩盤物性について検討を行った。

2. ボーリング調査、原位置試験

ボーリング調査に基づく概略柱状図を図-1に示した。ボーリングは、深度100mまで行った。ボーリング・コア観察より深度3.6mより岩盤が現れ、岩盤の上部9mは風化層で、それ以深は新鮮な砂質岩と泥質岩の互層からなっている。菊地・斉藤による岩盤分類に基づいて岩級を見ると、GL-26.6mまではC_L級主体、GL-60.0mまではC_M級主体でC_L級を挟在、GL-77.9mまではC_M級主体でC_H級を挟在、GL-100mまではB級主体でC_H級やC_M級を挟在しており大局的には深部に行くに従い良好となる傾向にある。

調査地における岩盤の力学特性を原位置で把握するため、孔内水平載荷試験を3深度において実施した。3深度として泥質岩から1深度(No.1,40.4m,C_M級) 砂質岩から2深度{(No.2,66.4m,C_H級)(No.3,87.0m,B級)}を選定した。試験にはエラストメータ2を用い最大9.81MN/m²を加圧した。

表-1には、初期載荷および再載荷時における変形係数D_bおよび割線弾性係数E_sの値を一覧表にして示した。なお、これらの値は載荷圧力～半径変位量曲線において載荷圧力4.90MN/m²と9.81MN/m²における点を結んで求めた。これよりD_bは12,000～16,800MN/m²、E_sは32,000～50,000MN/m²の値が得られた。菊地・斉藤による花崗岩を含む硬岩を対象とした岩級区分と変形係数の関係と今回得られたD_bとの比較によりNo.1とNo.2はやや高め、No.3は平均的な値と良好な変形特性であることが分かった。

図-1 ボーリング概略柱状図

深度	柱状図	地質	風化状況	岩級	記事
3.6		崖錐			0.0～3.6m 崖錐堆積物,角礫混じりシルト
5.9		泥質岩	強風化	6.1 D	3.6～5.9m 泥質岩
10		泥質岩	6.8	8.7 C _L	5.9～12.8m 泥質岩と砂質岩の互層
12.8		砂質岩互層	弱風化	C _M	
20		砂質岩		15.9 C _L	12.8～31.4m 砂質岩
30				26.6	
31.4		泥質岩	新	C _M	31.4～35.5m 泥質岩
35.5		砂質岩			35.5～38.4m 砂質岩
38.4		砂質岩			38.4～46.9m 泥質岩
40		泥質岩			46.9～92.8m 砂質岩, 偽礫状の砂質岩含む
46.9		砂質岩			
50				52.2 53.9 C _L	
60		砂質岩		C _M 60.0 62.9 C _H 65.3 C _M 66.7 C _H	
70		砂質岩	鮮	C _M	
80		砂質岩		77.9 B	
90					
92.8		泥質岩		92.8 95.1 C _H	92.8～94.8m 泥質岩
94.8		砂質岩		96.9 B	94.8～100.0m 砂質岩
100		砂質岩		C _M	

キーワード：天然ガス、岩盤貯蔵、孔内水平載荷試験、堆積岩、三軸圧縮試験

連絡先： 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5520 FAX 03-3820-5959
 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5128 FAX 03-3820-5959

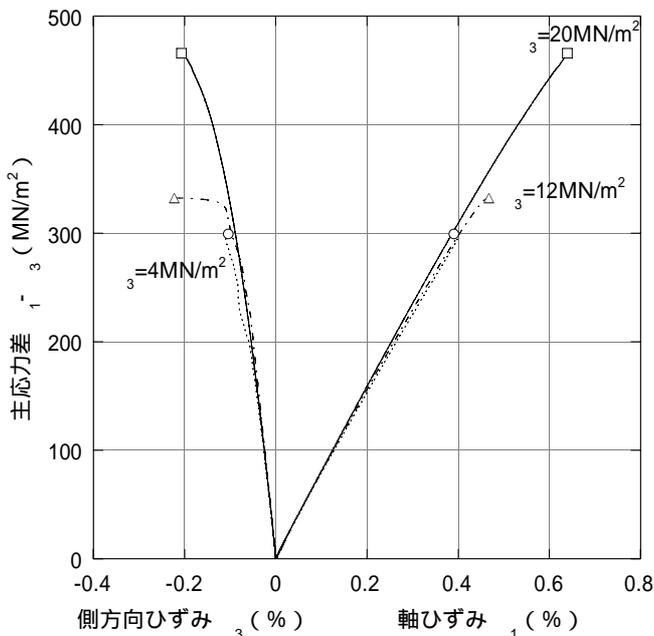


図 - 2 主応力差～軸ひずみ～側方向ひずみ関係 (87.0m 近傍)

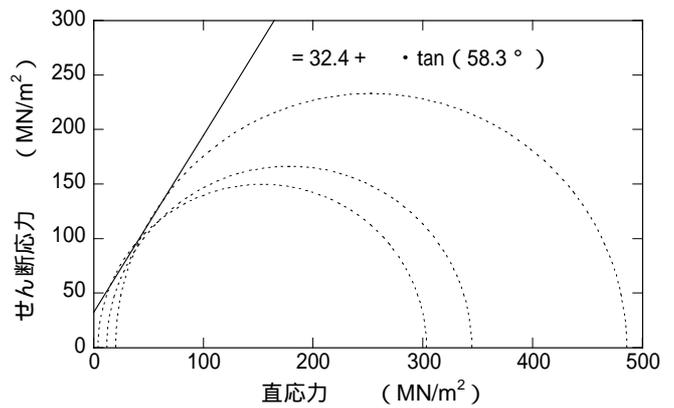


図 - 3 モール円とモール・クーロンの破壊基準線 (87.0m 近傍)

表 - 1 孔内水平載荷試験結果

No.	深度 (m)	変形係数 D_b (MN/m ²)	割線弾性係数 E_s (MN/m ²)	E_s/D_b
1	40.4	16,800	50,000	2.98
2	66.4	12,000	32,000	2.67
3	87.0	15,700	36,000	2.29

3. 室内試験

採取したコアを用いて室内試験を行い岩石としての力学特性を把握するとともに原位置試験との比較を行った。室内試験のうち三軸圧縮試験について述べる。三軸圧縮試験は、砂質岩について孔内水平載荷試験を実施した深度 (66.4m、87.0m) の上下 5 m 以内から選定した試料を用い、側圧 4, 12, 20 MN/m²、非圧密非排水条件(UU)、ひずみ速度一定 ($\dot{\epsilon}_1 = 0.02\%/min$) として行った。軸ひずみ、側方向ひずみの測定には、ひずみゲージを用いた。図 - 2、図 - 3 には、それぞれ、87.0m 近傍において得られた主応力差～軸ひずみ～側方向ひずみ関係およびモール円とモール・クーロンの破壊基準線を示した。これより、変形特性はほぼ弾性的で弾性部分の勾配もほぼ等しいこと、最大強度は側圧とともに増加することが分かった。

表 - 2 三軸圧縮試験結果

深度(m)	66.4m近傍 (61~67)	87.0m近傍 (86~88)
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	2.66 ~ 2.67	2.65 ~ 2.66
変形係数 $E_{s,50}$ (MN/m ²)	70,700 ~ 78,900	76,700 ~ 78,500
$E_{s,50}/D_b$	5.89 ~ 6.58	4.89 ~ 5.00
$E_{s,50}/E_s$	2.21 ~ 2.47	2.13 ~ 2.18
ポアソン比	0.21 ~ 0.22	0.19 ~ 0.22
粘着力 C (MN/m ²)	25.3	32.4
内部摩擦角 ($^\circ$)	51.6	58.3
換算一軸圧縮強さ q_u (MN/m ²)	145	228

注) 換算一軸圧縮強さ $q_u = 2 \cdot C \cdot \cos \phi / (1 - \sin \phi)$

表 - 2 には、三軸圧縮試験結果を一覧表にして示した。変形係数 $E_{s,50}$ は両深度とも 70,000 ~ 80,000 MN/m² の値が得られた。この値を孔内水平載荷試験結果と比較すると、変形係数 D_b の 4.89 ~ 6.58 倍、割線弾性係数 E_s の 2.13 ~ 2.47 倍であることが分かった。強度特性は、粘着力、内部摩擦角ともに 66.4m 近傍よりも 87.0m 近傍の方が大きく深度による増加が見られた。菊地・斉藤による岩級区分と強度特性の関係と比較すると岩級区分と内部摩擦角の関係は両深度とも良い対応を示すこと、またコアの換算一軸圧縮強さが 78.5MN/m² を超えており十分な強度を有し良好な強度特性であることが分かった。

4. まとめ

足尾山地において堆積岩を対象とした天然ガス高圧貯蔵施設のための地質調査を行った。ボーリング 1 本の結果ではあるが変形特性および強度特性ともに花崗岩を含む硬岩を対象とした既往の岩級区分に基づく物性値と比較しても同等以上であり、天然ガス高圧貯蔵施設のための岩盤物性を有していることが明らかとなった。参考文献 1) 菊地宏吉, 斉藤和雄ほか: ダム基礎岩盤の安定性に関する地質工学的総合評価について, 大ダム, No.102,103合併号, 1982. 2) 土木学会岩盤力学委員会編: 軟岩 - 調査・設計・施工の基本と事例 -, 土木学会, 1984. 3) 大森昌衛, 端山好和, 堀口万吉: 日本の地質 3 関東地方, 日本の地質 『関東地方』編集委員会, 1986.