堆積軟岩の空隙径分布と透水性との関係

大成建設㈱	正会員	○熊本	創
大成建設㈱	正会員	下茂	道人
核燃料サイクル開発機構	正会員	内田	雅大
核燃料サイクル開発機構	正会員	前川	恵輔

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分サイトの性能評価にあたっては、天然バリアを構成する岩盤中における水理特 性を適切に評価することが重要である。一般に岩石の透水性は、空隙の大きさや連続性に依存することが知られて いる。筆者らは、核燃料サイクル開発機構が北海道幌延町で実施した試錐調査で得られた堆積軟岩コア試料を用い て、3つの異なる地層(上位より勇知層(砂岩・泥岩)、声問層(珪藻質泥岩)、稚内層(硬質頁岩))について、そ の基本的な物性値を測定するとともに、室内透水試験ならびに水銀圧入法による空隙径分布の測定を実施した¹⁾。 その結果、声問層、稚内層では有効空隙率と透水係数の間に正の相関が見られるが、勇知層と稚内層については、 ほぼ同等の有効空隙率を有するにも拘わらず、稚内層の透水係数が1オーダー程度小さくなることが明らかとなっ た。本報では、上記の試験結果について説明するとともに空隙径分布が透水性に与える影響について述べる。

2. 透水試験

透水試験は、低透水性の岩石試料に対して実績のある トランジェントパルス透水試験法²⁾で行った。試料は、 直径 50mm、高さ 50mmの円柱状に整形したものを用いた。 試験条件および試験結果を表-1 に示す。試験は、試料採 取深度相当の圧力環境を模擬した条件下で行った。試験 の結果、稚内層では 10⁻⁹ cm/s オーダー、声問層、勇知層 では、10⁻⁸ cm/s オーダーの透水係数が得られた。図-1 に 浮力法により測定された有効空隙率と透水係数との関係を示す。 図より、声問層と稚内層の間には、有効空隙率と透水係数の間に 正の相関が見られるが、勇知層についてはこの傾向から外れてい ることが分かる。特に稚内層と勇知層は、ほぼ同等の有効空隙率

くなっていることが分かる。

3. 空隙率分布測定

空隙率分布の測定は、水銀圧入法で行った。水銀圧入法は、空 隙率や空隙径分布、比表面積などを求める試験法である。水銀圧 入量から得られる空隙率は、浮力法から得られる有効空隙率に比 べて、一般に小さい値を示す傾向にある。

を有するにも拘わらず、稚内層の透水係数が1オーダー程度小さ

表-2 に試験結果を示す。表より勇知層、声問層と比べて、稚内 層は平均空隙径が小さく、比表面積が大きいことが分かる。また、 図-2 に空隙径と累積相対空隙量の関係を示す。この図から、稚内 層は、勇知層、声問層に比べて、径の小さい空隙が全空隙量に占 める割合が大きいことが分かる。

キーワード 堆積軟岩,透水係数,空隙径分布,室内試験 連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設㈱ 技術センター土木技術研究所 TEL045-814-7237

表-1 透水試験条件および結果

云· 运水和秋米目 8000 和米									
		採取深度(m)		試験条件			試験結果		
地層名	試料名			封圧	[MPa]	間隙水圧	パルス圧	透水係数	有効空隙
				軸圧	側圧	[MPa]	[MPa]	[cm/s]	率[%]
予加网	yt-1a	100 7 ~ 10	190. 0	3.60	3. 60	2. 00	0. 10	2.54E-08	44. 7
	yt-1b	109.7						2.86E-08	46.9
另和唐	男和唐 yt-2 22	226.9 ~ 22	28.3	4.10	4. 10	2. 30	0.10	4.09E-08	44. 0
	yt-3	240.0 ~ 24	10.6	4.30	4. 30	2.40	0.10	2. 22E-08	45. 7
声問層	kt-1a	202 0 ~ 20	202. 6	3.60	3. 60	2. 00	0. 10	7.53E-08	59.8
	kt-1b	202.0 20						4.53E-08	59.6
	kt-2a	24E 1 24	245.6 4.50	4 50	4. 50 2. 5	2 50	0. 10	1.93E-08	53.4
	kt-2b	245.1 ~ 24		4. 50		2. 50		1.27E-08	53. 7
稚内層	wk-1	167.0 ~ 16	67.7	2. 70	2. 70	1.50	0.10	2.90E-09	42.6
	wk-2	230.8 ~ 23	31. 0	4.50	4. 50	2. 50	0.10	2.80E-09	44. 0



図-1 有効空隙率と透水係数の関係

表-2 水銀圧入試験結果

	- N			
地層名	試料名	有効空隙率	平均空隙径	比表面積
		(%)	$(10^{-2} \ \mu \mathrm{m})$	(m^2/g)
勇知層	yt−1a	40.5	6.99	17.2
	yt-1b	41.8	7.52	15.7
	yt-2	38.9	6.49	16.3
	yt-3	39.2	5.87	17.4
声問層	kt-1a	54.4	8.37	26.0
	kt-1b	53.0	7.96	27.3
	kt−2a	46.5	5.37	27.7
	kt-2b	48.2	5.90	28.8
稚内層	wk-1	39.4	1.62	67.4
	wk-2	33.8	1.55	64.7

100

今回対象とした地層において、勇知層は岩片や長石、石英等の砕屑 粒子を多く含む砕屑岩相に、声問層、稚内層は珪藻質泥岩および硬質 頁岩に分類される³⁾。声問層は大半を構成する珪藻殻の大きさおよび 殻内の空隙径が非常に小さいため、砂質粒子を多く含む勇知層よりも 小さい径の空隙が占める割合が多くなっていると考えられる。また、 稚内層は声問層同様に珪藻殻を多く含むが、珪藻殻のシリカ鉱物の続 成作用により、より微細な空隙構造を有する硬質頁岩へと続成が進ん だと考えられている⁴⁾。以上のように、今回の水銀圧入試験結果に見 られる勇知層および声問層と稚内層の空隙径分布の相違は、上記の ような岩石の内部構造の違いに起因すると考えられる。

4. 空隙径分布と透水性の関係

図-1 に示す有効空隙率と透水係数の関係において、勇知層が他の 層のトレンドと異なる要因として、前述の空隙径分布の相違に着目 し考察を行った。空隙径と透水性の関係については、既往の研究に おいて、いくつかの関係式が提案されている(例えば、内田(1987) の経験式⁵⁾など)。また、地盤を構成する粒子の粒度分布と透水係 数の関係について以下に示す Hazen の式などが挙げられる。

$$\mathbf{k} = \mathbf{C}_{\mathrm{H}} \, \mathbf{D}_{10^2}$$

90 ◆ 稚内層 80 70 声問層 2 60 累積相対空隙量 勇知層 50 40 30 20 10 0 0.001 0.01 100 0.1 10 1000 空隙径(µm) 図-2 空隙径分布測定結果 1.0E-06 1.0E-07 1.0E-08 稚内層 声問層 1.0E-09 勇知層 計算値 1.0E-10 1.0E-13 1.0E-12 1.0E-11 1.0E-09 1.0E-08 1.0E-10 ²(cm²)

図-3 空隙径 φ₁₀ と透水係数の関係

ここに、k:透水係数(cm/s)、D₁₀:有効径(cm)で、粒度試験において、通過重量百分率が10%を占める粒径、C_H:比例定数である。式(1)は粒子径に着目したものであるが、空隙の大きさが粒子径に依存することから、空隙径と透水係数の関係に置き換えられると考えられる。今回は、このHazenの式を参照し、透水性に影響を与える空隙径の代表的な値として、全体の空隙体積に占める割合が径の小さい方から10%を示す空隙径 ϕ_{10} を用い、透水係数との関係について整理した。図-3に空隙径 ϕ_{10} の二乗と透水係数の関係を示す。図より、勇知層、声問層、稚内層の全ての透水係数が ϕ_{10} の二乗と概ね正の相関を示していることが分かる。このことから、今回対象とした3つの地層の透水性の相違は、空隙径分布の違いにより説明できることが明らかとなった。さらに、式(1)に示すHazenの式において、有効径 d₁₀(cm)を空隙径 ϕ_{10} (cm)に置き換えた次式を用いて、透水係数 k(cm/s)の算定を行った。

(1)

 $k = a \phi_{10^2}$

(2)

a は、Hazen の式における C_Hと同様、比例定数である。図−3 中に、空隙径 φ₁₀の二乗と透水係数の関係について、 比例定数 a=2500 とした場合の計算結果を示す。図より、試験結果と計算結果の良い一致が見られ、今回対象とした 3 つの地層について、空隙径分布から、式(2)を用いて透水係数を推定できる可能性があることが明らかとなった。

5. まとめ

北海道幌延地域に分布する堆積軟岩(勇知層、声問層、稚内層)について、室内透水試験ならびに空隙径分布の 測定を実施した。その結果、声問層、稚内層では有効空隙率と透水係数の間に正の相関が見られるが、勇知層はこ のトレンドと一致しないことが分かった。また、これは岩石中の空隙径分布、空隙組織の違いに起因し、今回対象 とした地層については、空隙径分布から透水係数をある程度推定できる可能性があることが明らかとなった。今後 は、同地層における埋没深度や続成作用の過程の異なる試料について同様の試験を実施し、今回の知見について検 証を行う予定である。

参考文献

¹⁾下茂道人,熊本創:"亀裂を有する軟岩中の流れと移行現象に関する研究(II)",核燃料サイクル開発機構技術資料(業務委託報告書,大成建 設株式会社),JNC TJ8400 2004-011,2004.2)青木智幸,井尻裕二,下茂道人:"高精度トランジェントパルス透水試験機の開発",土木学会第 49回年次学術講演会,pp.80-81,1994.3)核燃料サイクル開発機構幌延深地層研究センター:"幌延深地層研究計画 平成15年度調査研究成果報告", JNC TN5400 2004-001,2004.4)原彰男,内田雅大,川田耕司,増井泰裕:"新第三紀堆積岩を対象とした堆積構造シミュレーションモデルの開発 (その1) -幌延地域における堆積プロセスの検討-",日本原子力学会「2004年秋の大会」,2004.5)内田隆:"貯留岩の浸透率と孔径分布に ついて-孔隙の岩石学的特性を考慮した浸透率の経験式の提唱-",石油技術協会誌,vol.52, No.1, pp.1-11, 1987.