

琉球大学学術リポジトリ

島尻層泥岩の膨潤特性 I : 乾燥泥岩の膨潤特性(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 宮城, 調勝, 小宮, 康明, Miyagi, Norikatsu, Komiya, Yasuaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4030

乾燥泥岩の膨潤特性

宮城 調勝**・小宮 康明**

Norikatsu MIYAGI and Yasuaki KOMIYA : Swelling properties of Shimajiri mudstone I. Swelling properties of air-dried mudstone.

Summary

The purpose of this paper is to examine the swelling properties of various Shimajiri mudstone obtained in the southern part of Okinawa. Then, swelling tests were carried out on the samples which had been air-dried.

The conclusions are as follows. (1) Swelling pressure and deformation are dependent on the degree of dryness of the specimen. (2) Shimajiri mudstone has anisotropic properties in swelling pressure and deformation. (3) Swelling pressure decreases sharply by swell of 1 or 2 percents in the axial direction.

緒 言

一般に土の膨潤は、水が土粒子の層格子間あるいは粒子間に侵入することにより、層間あるいは土粒子間に反発力が生ずることによって起こる。また膨潤圧は、この反発力による土の体積増加を拘束した場合に内部圧として発生し、応力解放によって徐々に体積増加に置き換えられて消滅する。この膨潤に関する因子としては、土粒子的にみると粒度組成、比表面積、粘土鉱物等、また土の構造的には土粒子の配向、密度、粒子間の結合力があげられるが、その他に土粒子と水界面の化学性も関与する。

ここでは、沖縄本島南部で採取した風化が進行していないと思われる数種の島尻層泥岩についてその物理特性を明らかにし、一方では風乾泥岩が吸水することによって起こす膨潤量、膨潤圧を測定し異方性を確認するとともに、これら泥岩の膨潤特性と物理的性質の関係を調べてみた。

試料および試験方法

1 試 料

試験に供した泥岩は地表面下2~4 mに位置するもので、風化の進行状態は泥岩内の細かいクラックの存在の有無により判断した。また泥岩ブロックは、肉眼またはスレーキング試験によってその成層方向を確認し、層理に対して垂直方向と水平方向に $\phi 65$ mmのコアドリルで切り出した。切り出したコアは自然含水比状態から風乾状態(含水比3~6%)まで乾燥させたが、乾燥過程でのクラック発生を防止するために試料は密閉容器に入れ、一日一定量のシルカゲルを使って乾燥速度をコントロールし、数10日かけて含

* 昭和55年度農業土木学会大会講演会にて一部発表

** 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 29: 153~159 (1982)

水比を徐々に風乾状態まで移行させた。しばらくの間風乾したコアは $\phi 60\text{mm}$ のトリミングリングに合わせてストレートエッジで整形し、圧密リングに押し込んで高さを20mmにそろえた。

泥岩粉碎土の試料は、泥岩ブロックにスレーキングを起こさせて破碎し、さらに試料調整機で細破(2mm以下)したものの中から $420\mu\text{m}$ フルイ通過部分を使用した。これは、供試土の空隙径分布を一樣にするためである。粉碎土の充填は、あらかじめ計量された風乾土を直径60mm、高さ20mmの圧密リングに2層に分けて静的に締固めた。

2 試験方法

膨潤試験には圧密箱を使用した。膨潤圧の測定は、ジャッキ付きフレームに圧密箱をセットし(Fig.1)、受圧板で供試体の体積増加を拘束した状態で、供試体が湿潤するにつれて発生する膨潤圧を荷重変換器で経過時間とともに測定した。膨潤圧が一定値に落ち着いた後はそのままの状態ですべて供試体底面から通水し、変水位法による透水試験を行った。膨潤量の測定は、これらの試験終了後供試体の応力解放を行い、自由膨潤させた量をダイヤルゲージで一軸的に測定した。

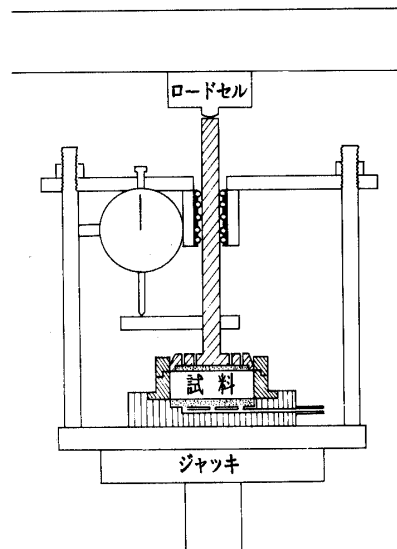


Fig. 1 試験装置

試験結果および考察

1 物理的性質

Table 1には島尻層泥岩の物理的性質を示す。比重は2.72~2.78の範囲にあるが、粘土分含有量で

Table 1 島尻層泥岩の物理的性質

試料名	比重	粒度組成(%)			コンシステンシー			比表面積(BET法) m ² /g
		砂	シルト	粘土	w _L	w _p	I _p	
石嶺(那覇)	2.779	0	24	76	63	25	38	34.70
豊見城	2.738	1	33	66	73	25	48	28.59
南風原	2.772	1	39	60	52	22	30	28.58
東風平	2.765	2	38	60	61	28	33	27.04
棚原(西原)	2.730	4	49	47	57	25	32	27.52
千原(西原)	2.724	15	40	45	59	26	33	26.86
具志頭	2.730	11	54	35	49	24	25	20.86

は石嶺泥岩の76%から具志頭泥岩の35%まで大きな範囲にまたがり、特に千原、具志頭泥岩では他に比べて砂分が多い。これらの泥岩は三角座標による分類では粘土に属し、統一土質分類法によればほぼ[CH]となる。比表面積は石嶺泥岩の34.70m²/gが最も大きく、具志頭泥岩が20.86m²/gで最も小さい。この試料を除けば他は26.9~28.6m²/gの範囲にあってほとんど差がない。

特に乾燥密度には著しい差がある。自然含水比状態から風乾状態へ移行する際の体積減少率が4%程度であるので、試験時の乾燥密度は自然状態に比べてわずかに高くなってはいるが、

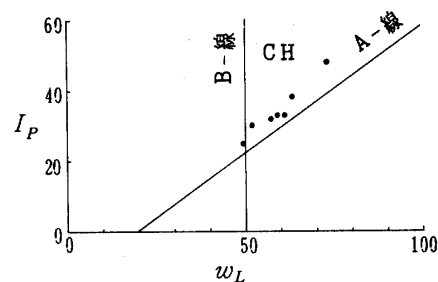


Fig. 2 塑性図

1.35～1.79 g/cm^3 の範囲にあり、各段階に分布している。一般に泥岩の密度の違いは堆積年代および堆積後の上載荷重の大きさ等の影響によるものであり、同一地質では深さによって変化するものと考えられている。島尻層泥岩の場合、新城⁵⁾によると、通常の土質調査の深さの範囲では、著しい圧密効果と結合力の影響のために深さ方向での密度差はわずかであり、同一地点での差異は風化程度に反映されるとしている。しかしここで取扱った泥岩は、直線距離にして15km以内に分布するものではあるが、未風化層の粒度組成が異なることから同一地層の泥岩ではなく、その違いは島尻層が過去の激しい褶曲と洗掘履歴を受けてきたために堆積時の層序が乱れて、堆積環境および堆積年代の異なる地層が露頭しているためと思われる。

2 島尻層泥岩の膨潤

島尻層泥岩の膨潤試験結果を Table 2 に示す。7 試料のうち 5 試料については鉛直方向と水平方向供試体の試験を行っている。まず膨潤量は、いずれの試料についても鉛直方向供試体の方が大きく、異方向性が認められる。最大値は鉛直方向で 3.7%，水平方向で 2.7% といずれも東風平泥岩にみられ、また最も小さい値は具志頭泥岩の鉛直方向 1.7%，水平方向 1.5% であり、鉛直、水平方向にほとんど差がない。これらの値は全体的にみても他の軟岩の膨張に関する木村²⁾らの報告に比べて非常に小さい値となっているが、これは、膨潤圧測定後の湿潤した供試体を徐々に応力解方したために、供試体がスレーキングを起こさなかったことも影響していると考えられる。

膨潤圧は、一般的表示法である単位断面積当りと、供試体の全表面積で除した単位表面積当りで表わしてある。前者は供試体の高さによって変化するが、後者は基本的には供試体の高さに関係なく土粒子表面に働く平均的圧力とみることができ。但し、高さが大きく変化すると、高さに対して比例関係を示さない³⁾。また膨潤圧は、測定後にロードセル内のひずみゲージに 2/100～5/100 mm の変位が生ずることがわかったので、ロードセルの変位量～圧力、土の膨潤量～膨潤圧の関係を実験によって調べ、これに基づいて補正を加えた。Table 2 に示す値は補正值であり、括弧内は補正前の値を示す。

Table 2 島尻層泥岩の膨潤試験結果

試料名	方向	初期含水比 %	乾燥密度 g/cm^3	間隙比	透水係数 cm/s	膨潤圧 (断面積) kg/cm^2	膨潤圧(表面積) g/cm^2	膨潤量 %
石嶺	鉛直	4.32	1.71	0.621	1.60×10^{-8}	2.84 (2.33)	$2.39 (1.96) \times 10^{-3}$	2.1
豊見城	鉛直	4.53	1.68	0.631	$1.83 \times \text{〃}$	4.10 (2.95)	$4.27 (3.08) \times \text{〃}$	
	水平	4.53	1.70	0.613	$1.80 \times \text{〃}$	2.19 (1.73)	$2.25 (1.78) \times \text{〃}$	
南風原	鉛直	4.30	1.77	0.564	$4.80 \times \text{〃}$	4.68	$4.62 \times \text{〃}$	3
	水平	5.20	1.77	0.566	1.22×10^{-7}	3.02	$2.98 \times \text{〃}$	
東風平	鉛直	4.51	1.53	0.802	1.84×10^{-8}	4.38 (3.14)	$5.30 (3.80) \times \text{〃}$	3.7
	水平	4.58	1.54	0.786	$1.84 \times \text{〃}$	2.68 (1.76)	$3.21 (2.11) \times \text{〃}$	2.7
棚原	鉛直	4.60	1.79	0.524	$1.86 \times \text{〃}$	4.17 (2.98)	$4.23 (3.02) \times \text{〃}$	2.6
千原	鉛直	6.84	1.40	0.947	$4.00 \times \text{〃}$	4.02 (3.27)	$5.35 (4.35) \times \text{〃}$	3.5
	水平	6.45	1.44	0.888	$1.81 \times \text{〃}$	2.77 (1.83)	$3.57 (2.36) \times \text{〃}$	1.7
具志頭	鉛直	3.62	1.36	1.014	3.65×10^{-7}	0.92 (0.85)	$1.63 (1.50) \times \text{〃}$	1.7
	水平	3.92	1.35	1.025	$2.80 \times \text{〃}$	0.92 (0.75)	$1.64 (1.34) \times \text{〃}$	1.5

膨潤圧は膨潤量と同様に鉛直方向と水平方向では各供試体に差が認められる。鉛直方向の膨潤圧の大きさは、単位断面積当たりで最も大きいものが東風平泥岩の 4.38 kg/cm^2 、最も小さいのは具志頭の 0.92 kg/cm^2 で東風平の 21% に相当する。東風平泥岩の場合、膨潤圧に関与する要素のうち、粘土分含有量、

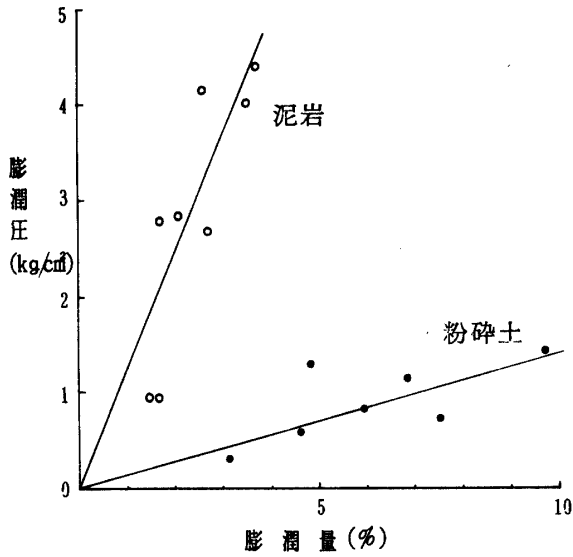


Fig. 3 泥岩および粉碎土の膨潤圧と膨潤量の関係

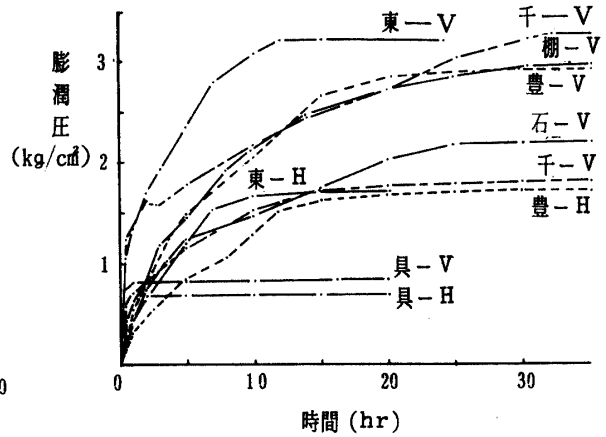


Fig. 4 泥岩の吸水膨潤圧曲線

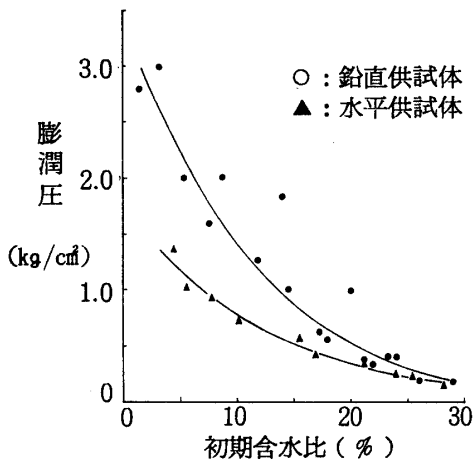


Fig. 5 東風平泥岩の膨潤圧と初期含水比

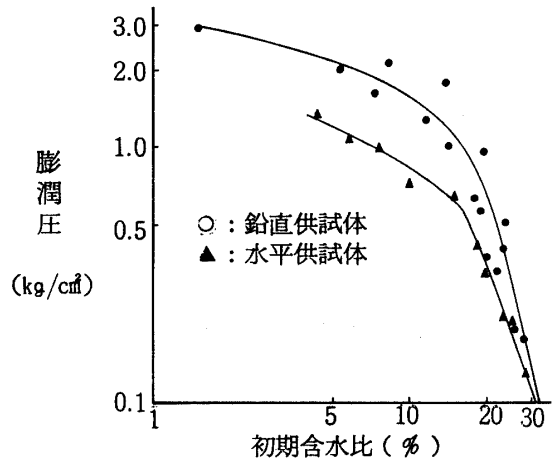


Fig. 6 東風平泥岩の膨潤圧と初期含水比の関係 (対数目盛表示)

初期含水比, 比表面積, 乾燥密度とも中位にあって条件としてはよくない試料である。一方石嶺泥岩の場合, 粘土分含有量, 比表面積とも試料中最も大きく, 乾燥密度も 1.71 g/cm^3 と高いが, 膨潤圧は中位にある。このように全体的にみても膨潤圧の大きさは乾燥密度と関係なく, また粘土分含有量及び比表面積との関係も明確ではない。メチレンブルー法による粘土分の測定値は, モンモリロナイト含有量の指標になるといわれるが, この結果に対しても試験個数が少ないせいにか全く相関性を見出せなかった。しかし水平試料も含めた膨潤圧~膨潤量の関係 (Fig. 3) では, 両者に直線関係がみられ, また具志頭を除く他の試料では, 活性度との相関関係も認められる。

水平方向の膨潤圧は5試料について測定したが, 具志頭泥岩を除く他の値は鉛直方向に比べて小さく, 鉛直試料の53~69%に相当する。Fig. 4は, 鉛直及び水平供試体の吸水膨潤圧曲線を示す。鉛直及び水平供試体の曲線の変化に一定の規則性はないが, 一般に膨潤圧の大きい供試体ほど膨潤圧が最終値に達するまでに要する時間が長く, 曲線もゆるやかな上昇を示している。特に具志頭泥岩の場合, 粘土分

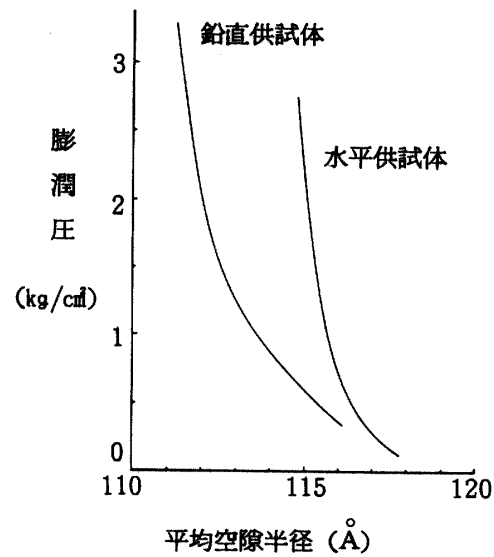
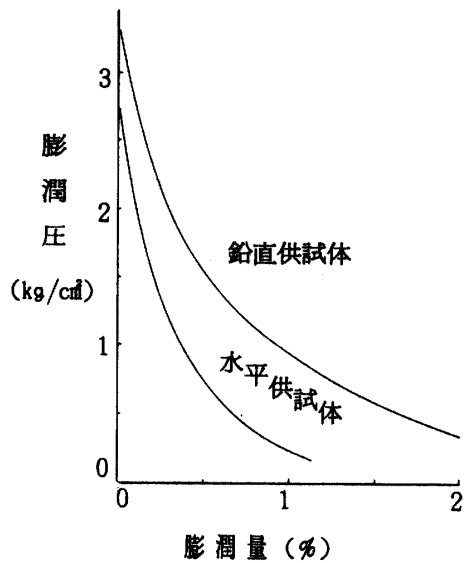


Fig. 7 膨潤圧と膨潤量の関係 (東風平泥岩)

Fig. 8 膨潤圧と平均空隙半径の関係(東風平泥岩)

が少なく、乾燥密度も低いいため、供試体中の水の移動が早く、曲線の落ちつきも早くなっている。

東風平泥岩について初期含水比を変えた場合の鉛直、水平供試体の膨潤圧を測定した。その結果は Fig. 5 に示すように各含水比に対して鉛直膨潤圧の値が大きくなっており、乾燥側に進むにつれてその差は大きくなっている。同じ関係を両対数目盛で表示した場合 (Fig. 6), 両曲線とも含水比17~18%で変曲点を示し、この附近の含水比状態から乾燥するにつれて膨潤圧が急増することを示している。この値は、東風平泥岩で自然含水比より14%程度乾燥側にある。

前述のように、膨潤圧は供試体が体積増加を起こすことによって消滅する。体積拘束状態での膨潤圧を測定した後、供試体に少しずつ膨潤量を与え、膨潤圧の減少具合を調べてみた。その結果 Fig. 7 に示すように鉛直水平試料ともわずかな体積増加で膨潤圧を失っている。また両者とも最初の膨潤量1%程度で膨潤圧は著しく低下し、後はゆるやかな減少をみせるが、水平供試体ほどその減少は速い。このことは膨潤量が異方性を示すことと一致する。

Fig. 8 は同じ膨潤圧~膨潤量の関係を膨潤圧~平均空隙半径に置き変えて表わしたものである。平均空隙半径とは供試体の空隙量を全土粒子表面積で除したもので、土粒子間の平均距離の1/2とみることができる。膨潤によって土粒子間の平均半径が増大すると膨潤圧は低下するが、東風平泥岩の鉛直方向の膨潤量3.7%は、平均空隙半径で表わすと8.2%となり、水平方向では2.7%が5.8%となる。また風乾状態の各供試体の平均空隙半径は65~180 Åの大きな範囲にまたがるが、これは乾燥密度が大きく影響しているためである。

風乾供試体の含水比を土粒子表面の平均水膜厚さに換算すると15~25 Å となり、ファン・デル・ワールス力、電場との相互作用、拡散2重層から推定した水膜厚さ¹⁾、すなわち、pF5(30 Å)とpF6(10 Å)の中間 (pF5.5) 附近に位置する。

3 泥岩粉碎土の膨潤

圧密リングに充填した泥岩粉碎土の乾燥密度は、手持ちの装置で締固め得る最大の乾燥密度に設定したために泥岩の場合に比べてかなり小さい値であるが、各試料の乾燥密度は1.31~1.33 t/m³の範囲にあって揃っている。また風乾含水比も2.7~4.7%と泥岩の場合に比べてわずかに低い。これらの試料についての膨潤試験結果を Table 3 に示す。この表にかかげる数値は、2~6個の測定値の平均値を示している。表に示すように各試料の乾燥密度は、具志頭試料を除き、泥岩の場合よりかなり低くなっている。

Table 3 泥岩粉碎土の膨潤試験結果

試料名	初期含水比 %	乾燥密度 g/cm ³	間隙比	透水係数 cm/s	膨潤圧 (断面積) kg/cm ²	膨潤圧(表面積) g/cm ²	膨潤量 %
石嶺	4.04	1.33	1.090	1.31×10^{-7}	0.73 (0.63)	$7.90 (6.87) \times 10^{-4}$	7.5
豊見城	2.71	1.33	1.054	$1.32 \times \text{〃}$	1.15 (1.03)	$1.52 (1.30) \times 10^{-3}$	6.8
南風原	3.87	1.31	1.111	$1.15 \times \text{〃}$	0.29 (0.27)	$3.80 (3.62) \times 10^{-4}$	3.1
東風平	3.87	1.33	1.073	$2.41 \times \text{〃}$	1.28 (1.08)	$1.79 (1.50) \times 10^{-3}$	4.8
棚原	4.48	1.33	1.052	$3.40 \times \text{〃}$	0.57 (0.52)	$7.72 (7.10) \times 10^{-4}$	4.6
千原	4.73	1.31	1.088	$2.66 \times \text{〃}$	1.42 (1.15)	$2.02 (1.63) \times 10^{-3}$	9.7
具志頭	3.27	1.33	1.062	$8.00 \times \text{〃}$	0.82 (0.74)	$1.48 (1.33) \times 10^{-3}$	5.9

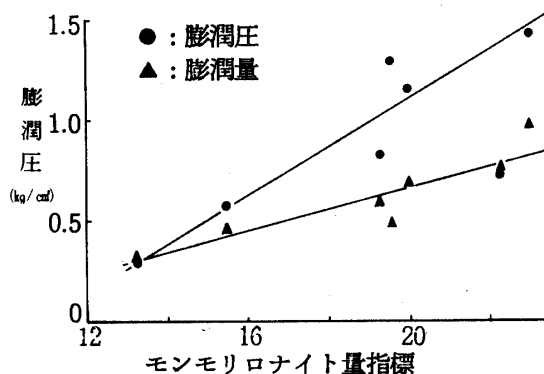


Fig. 9 膨潤圧, 膨潤量とモンモリロナイト量指標の関係

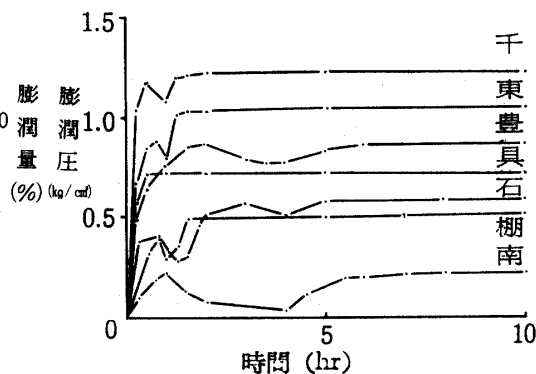


Fig. 10 泥岩粉碎土の吸水膨潤圧曲線

が、膨潤量は3.1～9.7%といずれも大きな値を示している。これらの値は泥岩の場合と同様に試料の粘土分含有量及び比表面積との間に相関性を示さないが、メチレンブルー法によるモンモリロナイト量指標との間 (Fig. 9) には、泥岩の場合と異なりある程度相関性をみることができる。

膨潤圧の大きさは、千原試料で最も大きく (1.42 kg/cm^2)、また南風原試料 (0.29 kg/cm^2) が最も小さい値を示した。各試料の膨潤圧は、膨潤量の場合と同様に粘土分含有量及び比表面積との関係は全くみられないが、モンモリロナイト量指標及び膨潤量との関係 (Fig. 9, 3) では、モンモリロナイト量が多い程また膨潤量が大きい程大きくなる傾向を示している。泥岩の場合と比較すると、石嶺、南風原、棚原試料は乱すことによる膨潤圧の低下が著しい。また豊見城、東風平、千原試料の膨潤圧は、泥岩の鉛直方向の28～35%、水平方向の48～52%の値に相当する。具志頭試料の場合、乾燥密度が泥岩の場合とほぼ同値であり、膨潤圧は泥岩鉛直方向と水平方向の中間にある。

膨潤圧～吸水時間の関係を Fig. 10に示す。曲線は初期において急上昇するが、泥岩に比べて落ち着きも早く、数時間で最終値に達している。これは試料の空隙率が高く、サクションによる試料中の水の移動が早くなるためである。また曲線は上昇中に一度落ち込んでいるが、この現象は試料を何層かに分けて締固める場合に、細粒土に多くみられる。ここでは一層1cmの厚さで締固めたが、層の上下ではわずかに密度差を生じ、吸水とともに上昇する試料内部の浸潤面が密度の低い部分に達したとき、膨潤圧によって土粒子相互の位置の動きを生じ、膨潤圧が吸収されるためである。土粒子の動きによって試料内部の密度分布が平均化され、膨潤圧を単位表面積当たりで取扱う場合にはむしろよい結果となる。

摘 要

土の膨潤に関与する因子については先に述べたが、これらの因子を個々に取り出して検討することは非常にむづかしい。ここでは島尻層泥岩および泥岩粉碎土について、限られた条件のもとでの膨潤特性、すなわち風乾含水比状態での体積拘束膨潤圧および膨潤量と物理的性質の関係について述べてきた。これらの結果をまとめると、(1)島尻層泥岩の物理性は場所によって異なる。特に密度では大きな差異が認められる。(2)島尻層泥岩の一軸方向の膨潤量は3.7%以下となっていて、他の軟岩に比べて小さく、また異方性がある。(3)膨潤圧は泥岩の種類によって大きな差があるが、明確な異方性が認められる。但し膨潤圧の大きさは膨潤量との間には相関性がみられるが、一般の土でいわれるような諸膨潤因子との間には相関性を見出すことはできなかった。

以上の結果を得たが、他の力学性あるいは続成作用による土粒子間の結合力等との関係は今後の課題にしたい。

引用文献

1. 土壌物理研究会 1979 土壌の物理学, p 222 ~ 223, 東京, 森北出版
2. 木村薫, 平間邦興, 丸山誠 1980 軟岩の工学的性状に関する基礎的検討(膨潤特性を主として), 第15回土質工学研究発表講演集, 1405 ~ 1408
3. 宮城調勝 (未公表)
4. 日本粘土学会 1967 粘土ハンドブック, p 626 ~ 627, 東京, 技報堂
5. 新城俊也 1980 土質材料としての泥質堆積岩の力学特性に関する研究, p 15, 沖縄