

泥岩の細粒化特性

福本武明¹・貝谷政信²

¹正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525 滋賀県草津市野路町1916)

²正会員 工修 日本基礎技術株式会社 技術開発部 (〒530 大阪市北区松ヶ枝町6番22号)

本論文では、泥岩の細粒化の問題について、多数の土質試験データの分析結果を基に、主として粒度変化の観点から検討し、スレーキング現象や粒子破碎現象に起因する細粒化の特性を明確にしようと試みるとともに、細粒化の分類を行い、さらに細粒化機構のモデル化を試みている。

Key Words: grading equation, mudstone, particle breakage, size reduction, slaking

1. 緒言

泥岩は、粘土やシルトが圧密固結した堆積岩^{1)・2)}であって、土と岩石との中間的な特性を持ち、その取扱いがしばしば問題となるので、日本の特殊土の1つに数えられている^{3)・4)}。

近年、大規模造成工事などに伴い、泥岩を盛土材料として用いる機会が増えている。盛土などの建設用材料として泥岩を使用する場合、程度の差こそあれ必然的に細粒化の問題が派生する。細粒化といっても、乾燥・水浸の繰返しを受けての、いわゆるスレーキング現象^{1)・2)}による細粒化もあれば、建設時の重機などによる粒子破碎現象^{1)・2)}に起因する細粒化もある。いずれにしても、これらの問題は、築造後の盛土構造物などの圧縮沈下や耐久性の問題と関連して、大変重要である。

著者らの研究室では、以前から泥岩の細粒化の問題について、主として粒度変化の観点から検討し、細粒化の特性を明確にしようと試みてきた^{5)~11)}。本報は、これまでの当研究室での検討結果を整理して示したものである。すなわち、多数の研究者の泥岩に関する土質試験データを分析し、スレーキングや粒子破碎による細粒化の特徴を詳しく調べるとともに、細粒化の分類を行い、さらに細粒化機構のモデル化を試みている。こうした試みは、今後、細粒化とそれに伴う圧縮沈下など工学的諸問題との関連性を具体的に究明していく際、極めて有用となる幾つかの情報を提供してくれる。

2. 泥岩の各種土質試験データ

泥岩の細粒化特性を調べるために、本報では均一径試料を主に扱った表-1に示すような諸家^{12)~27)}の土質試験データを用いることにする。図-1(a)~(f)と図-2(a)~(w)に、今回対象となる各種泥岩材の試験前後における実測粒径加積曲線(実線)を示してある。これらの図から、試験タイプや試験条件の違いによって粒径分布に顕著な差異のあることが認められる。

3. 粒度式とその適合性

試験後の泥岩の粒径分布を分析するために、本報では式(1)で表される粒度式を用いる。この式は、

$$p_n = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{m+i-1}{m-1} \right) \cdot (1-r)^{m-1} \cdot r^i \quad (1a)$$

$$n = \frac{\log(D_{m..}/D_n)}{\log \lambda} \quad (1b)$$

岩石が風化過程で等比数率的に割れると仮定して誘導された式である^{20)・21)}。式中、 p_n は最大径 $D_{m..}$ ($=D_0$)から数えて n 番目のふるい目開き D_n を通過する加積通過率、 λ はふるい比、そして m と r は粒度曲線の形を決めるパラメータである。

式の当てはめ方法は、従来^{20)~23)}と同様、先ず実測された試験後の粒径分布から、横軸の粒径 D_n と重ね合わせて式(1b)を用いて描いた n スケールに準拠し、分布の平均 μ と分散 σ^2 を求める。そして式(2)

表-1 泥岩の土質試験データ (1 kgf/cm²=98kPa)

	研究目的	試験のタイプ	主な試験条件	引用文献 No.
A 機械的外力による 細粒化	泥岩の現場における粒子 破碎についての検討	現場締固め試験	逗子泥岩 転圧速度 3.0km/h 5.0km/h	12)
	泥岩の浸水沈下特性に ついての考察	スレーキング試験 一次元圧縮試験	逗子泥岩及び 風化泥岩 軸応力 2kgf/cm ² 載荷過程 300min 浸水過程 1000min 圧密圧力 300kPa	13)
	三軸せん断挙動に及ぼ すスレーキングの影響 についての考察	排水(CD)三軸試験 非排水(CU)三軸試験	泥岩材	14)
	和泉層群泥質岩の破碎 特性, スレーキング特 性についての考察	一軸圧縮試験 スレーキング試験 破碎試験	和泉層泥質岩 一軸圧縮強度 230 ~846kgf/cm ² 乾燥温度 30,70, 110°C	15)
	ぜい弱岩盛土材のスレ ーキングによる沈下特 性についての検討	スレーキング試験 破碎試験	頁岩及び泥岩 5サイクル 乾燥温度 110°C 4.5kgfランマー	16)
	破碎泥岩の浸水沈下特 性についての考察	乾燥、浸水載荷試験	第三期泥岩層 乾燥状態 300min 浸水状態 600min	17)
B 乾湿繰返しによる 細粒化	細粒化特性, スレーキ ング特性に関する考察	乾湿繰返し試験 吸水膨張試験	逗子泥岩 15サイクル 森戸泥岩 24時間吸水 シルト岩 乾燥温度 110°C他 サイクル数 0~20	18)
	軟岩の乾湿スレーキ ングとせん断特性につ いの考察	スレーキング試験 三軸圧縮試験	乾燥温度 110°C他 サイクル数 0~20 拘束圧 49,98,147 kPaの排水条件	19)
	乾湿繰返しによるスレ ーキング試験の結果に ついての考察	スレーキング試験	泥岩 山中材 甘粕材 乾燥温度 60°C, 110°C サイクル数 1~10	20)
	凝灰質泥岩と泥岩の劣 化状況の比較	スレーキング試験 一軸圧縮試験	凝灰質泥岩及 び泥岩 サイクル数 2,5, 10,15	21)
	水浸直前の岩塊の飽和 度と破碎性との関連に ついての検討	スレーキング試験 圧縮破壊試験	逗子泥岩 5サイクル	22)
	ぜい弱岩盛土材のスレ ーキングによる沈下特 性についての検討	スレーキング試験 破碎試験	頁岩及び泥岩 5サイクル 乾燥温度 110°C 4.5kgfランマー	16)
	泥岩のスレーキングに よる細粒化評価につ いての検討	スレーキング試験	瑞浪泥岩 4サイクル 10サイクル	23)
	泥岩の経時変化と気象 条件との関係につ いての考察	暴露試験	泥岩 暴露日数 7,14,21 28,56日	24)
	スレーキングに伴う泥 岩の粒子破碎特性につ いての考察	スレーキング試験	北海道勇払郡 1,2,3 泥岩 4,5,6,8	25)
	軟岩の風化の程度を表 す指標についての検討	スレーキング試験 暴露試験	和泉層部頁岩 10サイクル	26)
	泥岩の空隙構造とスレ ーキング特性につ いての考察	スレーキング試験 空隙分布測定試験	新第三紀泥岩 乾燥温度 110°C 凍結温度 -30°C	27)

より m と r を算定する。得られた m と r を式(1)に代入し、理論曲線を描く。このようにして描かれた理論粒度曲線が、図-1と図-2中の点線である。

$$r = 1 - \frac{\mu}{\sigma^2} \quad (2)$$

$$m = \frac{\mu^2}{\sigma^2 - \mu}$$

実測曲線(実線)との一致性は、いずれの場合も相当に良い。このことから、今回扱った泥岩は試験のタイプや試験条件に拘わらず常に式(1)に従って規則的に細粒化すると言える。

4. 試験後の粒径分布の規則性

3節で述べたように、試験後の粒径分布に式(1)が良く適合する。このことは、式(1)を残留率 q を用いて別表示すれば式(3)となることから^{10,11)}、結局、次のように表現することもできる。すなわち、試験後の泥岩材を一定のふるい比を有する一連のふるいでふるい分けた場合、相隣るふるいにとどまる土粒子の残留率 q_n と q_{n-1} の比は、試験条件の如何に拘わらず、常に式(3)を満足する。

$$\frac{q_n}{q_{n-1}} = \frac{m + n - 1}{n} r \quad (3)$$

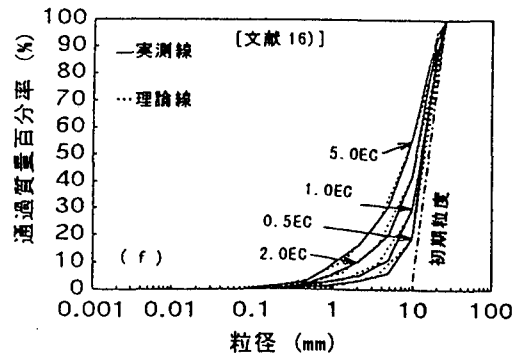
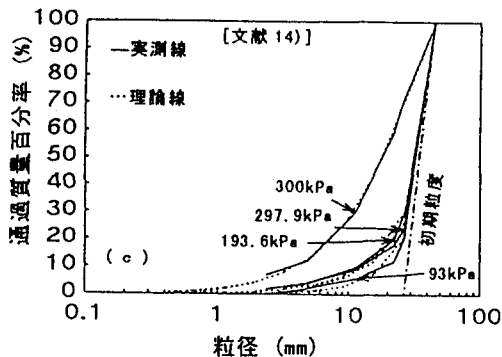
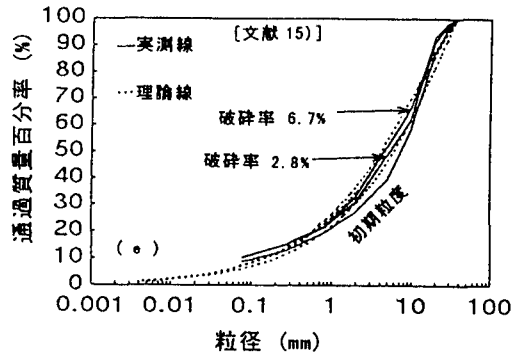
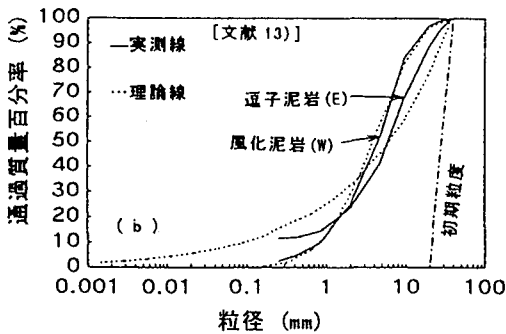
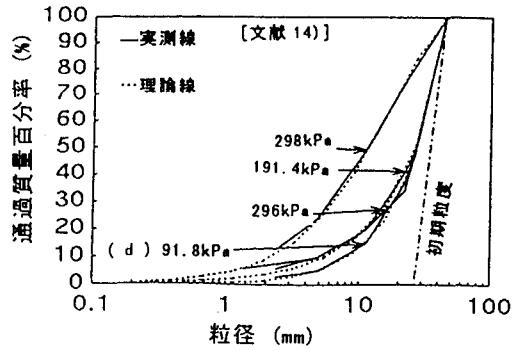
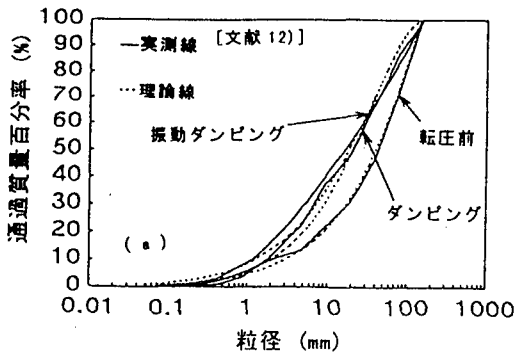


図-1 各種泥岩材の土質試験前後の粒径加積曲線 (A. 機械的外力による細粒化)

要するに、土粒子が常に式(3)を満たすような壊れ方をすることを意味する。もし式中、 $m=1$ ならば、 $q_n/q_{n-1}=r$ となり、残留率は公比 r の等比数列となる。

5. 細粒化の特徴

これまでの考察の結果、泥岩が細粒化する場合、機械的外力による細粒化も乾燥・水浸の繰返しによ

る細粒化も、ともに粒子の壊れ方に規則性のあることが分かったが、細粒化の特徴となると前者と後者とで若干様相を異にする。この点について以下に考察する。

(1) 機械的外力による細粒化

泥岩の場合も、これまでに扱った各種粒状土の場合^{5), 6)}と同様、分布の平均 μ と外力の大きさ σ_e との間に、図-3に示すように、次の双曲線式が成り

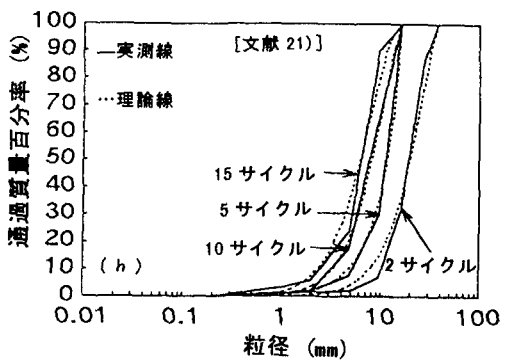
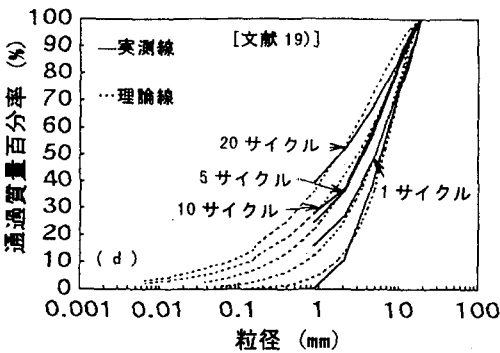
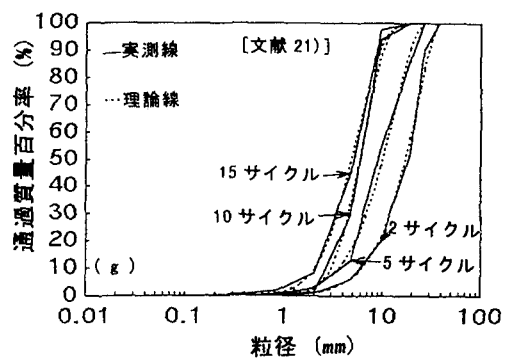
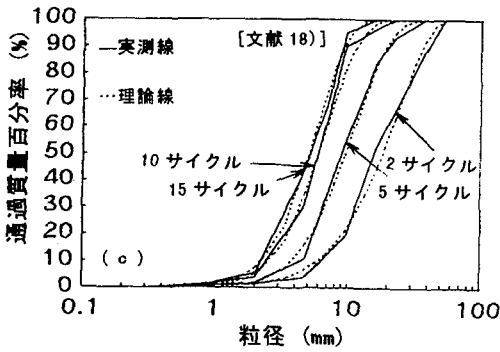
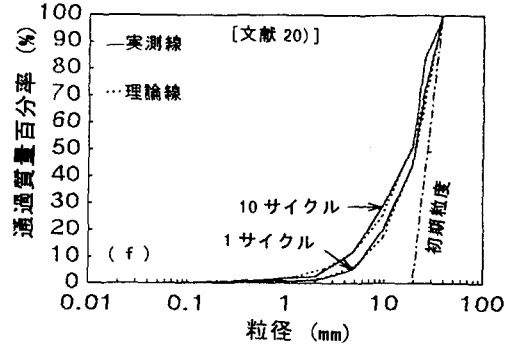
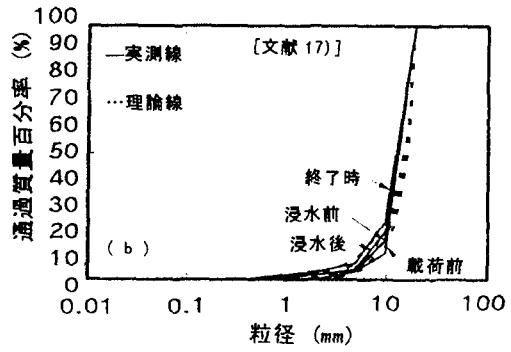
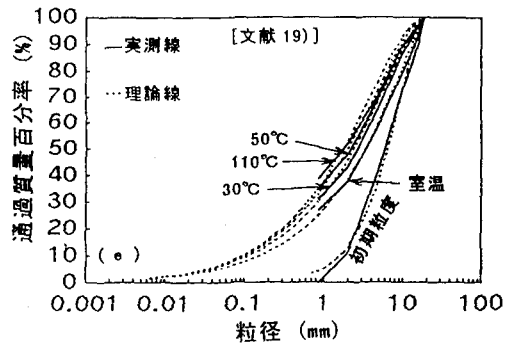
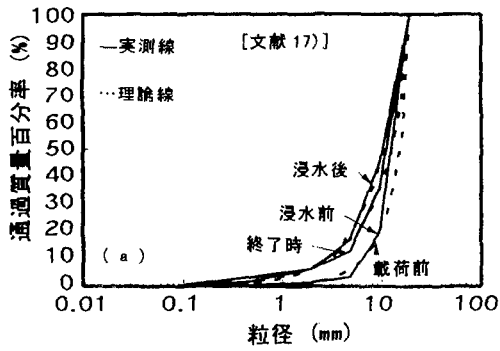


図-2 各種泥岩材の土質試験前後の粒径加積曲線 (B. 乾湿繰返しによる細粒化)

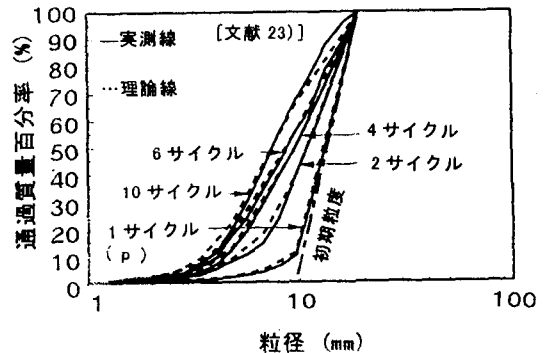
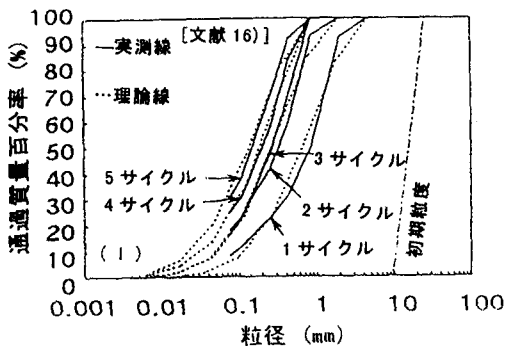
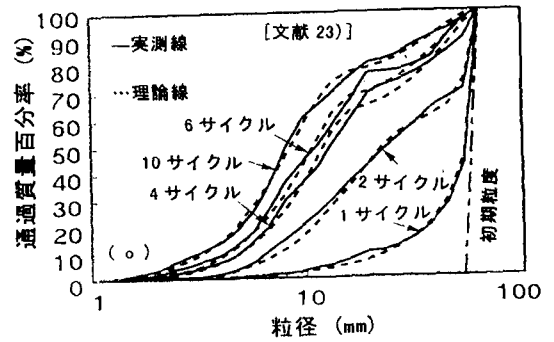
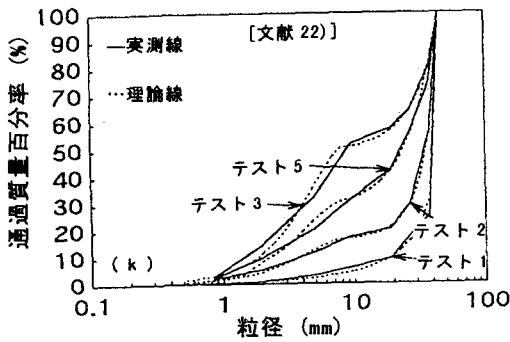
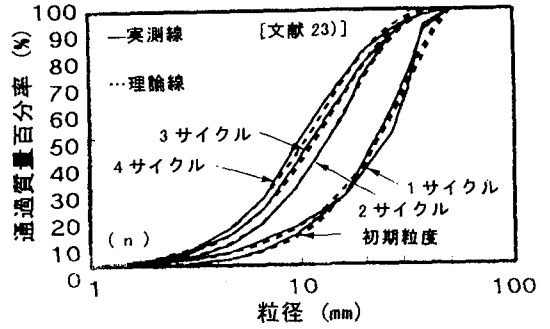
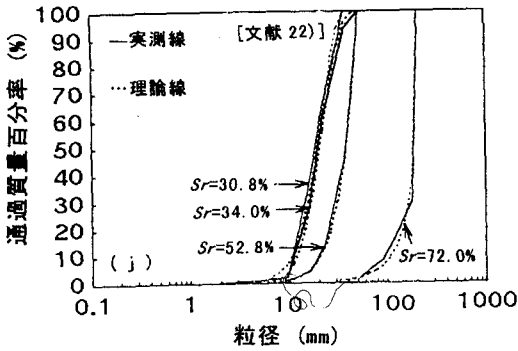
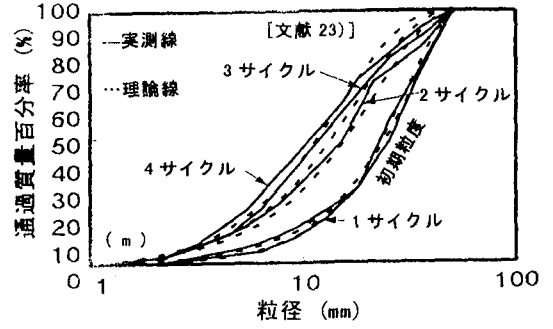
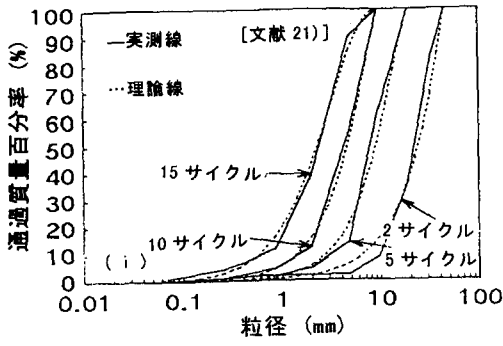


図-2 各種泥岩材の土質試験前後の粒径加積曲線 (B. 乾湿繰返しによる細粒化)

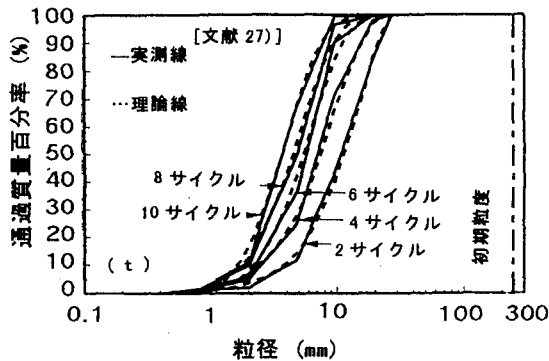
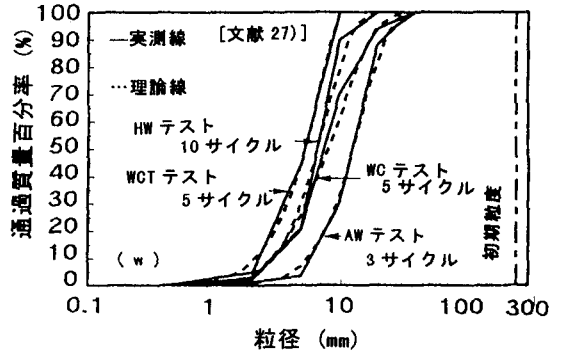
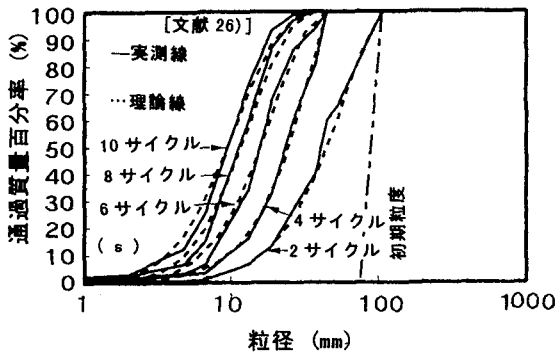
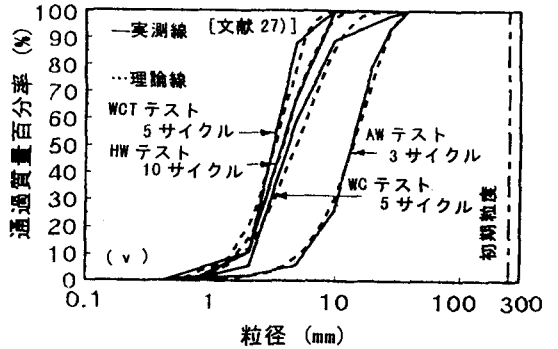
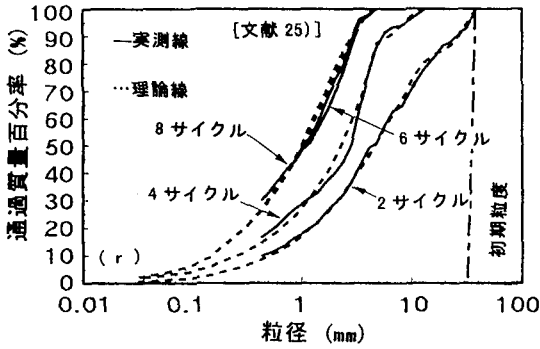
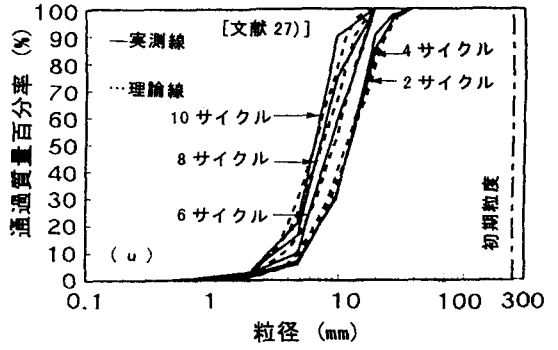
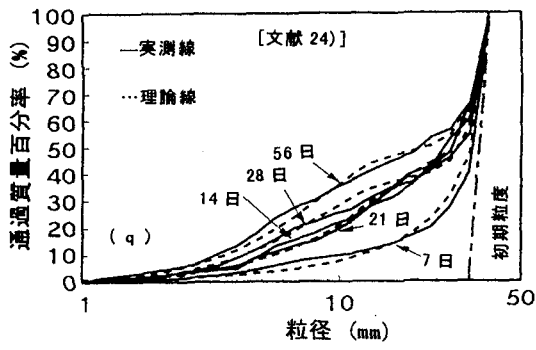


図-2 各種泥岩材の土質試験前後の粒径加積曲線 (B. 乾湿繰返しによる細粒化)

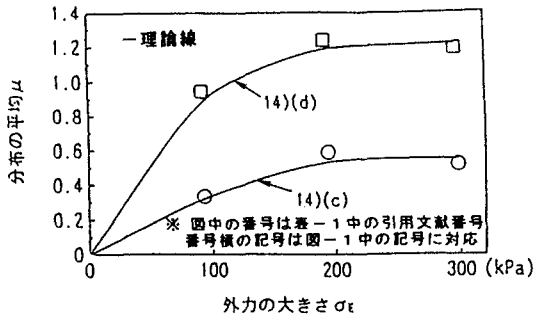


図-3 (a) μ と σ_E の関係

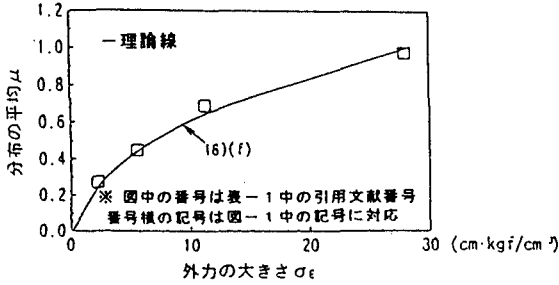


図-3 (b) μ と σ_E の関係

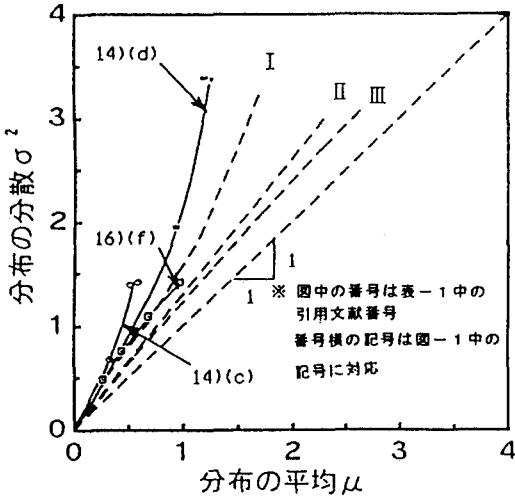


図-4 μ と σ^2 の関係

立つ。

$$\frac{\mu}{\mu_{\infty}} = \frac{\left(\frac{\sigma_E}{\sigma_B}\right)^{\xi}}{1 + \left(\frac{\sigma_E}{\sigma_B}\right)^{\xi}} \quad (4)$$

式中、 μ_{∞} と σ_B と ξ は、試験条件によって決まる係数である。これらの係数の算定値を表-2に示しておく。また、分布の平均 μ と分散 σ^2 の関係についても、泥岩の場合、多くの粒状土の場合⁶⁾と同様、

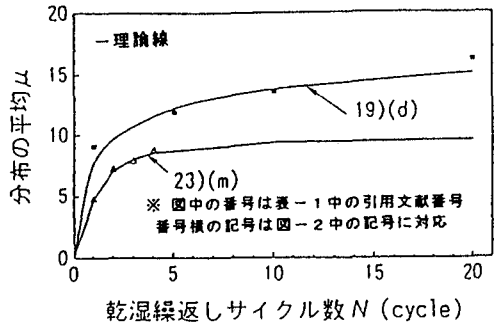


図-5 (a) μ と N の関係

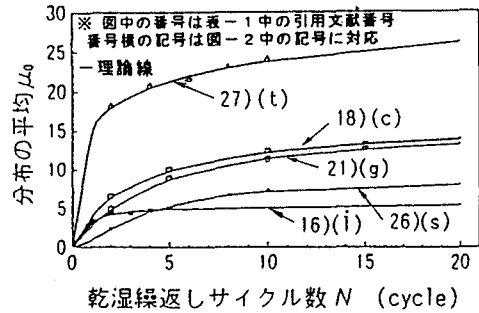


図-5 (b) μ_0 と N の関係

表-2 式(4)中の係数値

	14)(c)	14)(d)	16)(f)
μ_{∞}	0.54903	1.21743	2.38171
σ_E	86.81373	70.77261	44.96606
ξ	6.3	4.7	0.69

図-4に示すように図上のI~IIIの傾向のいずれかに該当するものが多い。同図中のI~IIIについては、既報⁶⁾で述べたように、多くの粒状土を対象に機械的外力に伴う粒子破碎特性を調べた結果から、 σ^2 と μ の関係として常に $\sigma^2 > \mu$ で、かつ $\sigma^2 = \alpha \mu^{\beta}$ (定数: $\alpha > 1$, β) が成り立つので、式中の β 値と対応づけてI ($\beta > 1$)、II ($\beta = 1$)、III ($\beta < 1$) と分類整理して示したものである。

(2) スレーキング現象による細粒化

乾燥・水浸の繰返しサイクル数 N と分布の平均 μ との間には、図-5に示すように、殆どの場合、前述の双曲線式[式(4)]が成り立つと考えられる。図-5(b)中の縦軸の μ_0 は、原材料(最大粒径 D_{max})を基準にした粒径分布の平均であって、試験後の粒径分布(最大粒径 d_{max})の平均 μ との間に成り立つ次式の関係²⁹⁾、すなわち

表-3 式(4)中の係数值

	μ_m	ξ	N_B
19)(d)	19.904	0.450	1.608
23)(m)	9.618	1.50	1.031
16)(l)	5.780	0.960	0.643
18)(c)	16.164	0.985	2.993
21)(g)	15.069	1.19	3.644
26)(s)	8.530	1.63	3.631
27)(t)	41.927	0.340	4.430

表-4 細粒化の分類

タイプA	単粒度型	(a) d_{max} 一定; μ, σ^2 変化 (b) d_{max} 変化; μ, σ^2 一定 (c) d_{max} 変化; μ, σ^2 変化
タイプB	合成粒度型	粒度パラメータを異にする粒度曲線を複数本合成したタイプのもの

$$\mu_0 = \mu + \frac{\log \left[\frac{D_{max}}{d_{max}} \right]}{\log \lambda} \quad (5)$$

から算定される。表-3に式(4)中の係数を示しておく。ただし、双曲線式が成り立つ場合でも、 μ と σ^2 との関係は、図-6に示すように機械的外力による場合と全く違った様相を呈する。

6. 細粒化の分類

これまでの検討結果から、均一径の泥岩試料の細粒化の特徴を、粒度式中の最大粒径 d_{max} 、平均 μ 、分散 σ^2 を使って分類すれば、表-4に示すような分類試案¹¹⁾の提示が可能と思われる。粒子破碎による細粒化の場合、その殆どがタイプA(a)に属する。これに対し、スレーキングによる細粒化の場合、A(a)に属するもの(図-2中の(d)、(p)等)はもちろんのこと、A(b)もあれば(図-2中の(i)、(s)等)、A(c)もあり(図-2中の(c)、(g)等)、さらにはタイプBに属するもの(図-2中の(k)、(o)等)もある。今後、この分類に沿って、泥岩の工学的諸性質を対応づけていきたい。なお、タイプBの合成粒度の当てはめについては、他の粒状土に対して既に幾つかの当てはめ例^{30), 31)}もあるので、泥岩の場合の詳細な説明を別の機会に譲ることとし、本報では付表中の該当箇所の数値を参考にして頂きたい。

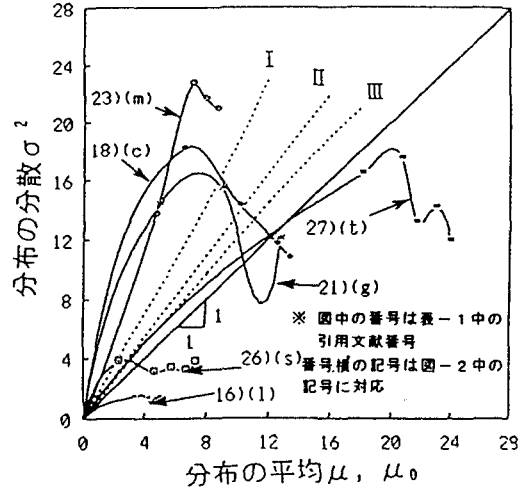


図-6 μ, μ_0 と σ^2 の関係

7. 細粒化機構のモデル化

この節では特に、表-4に示した分類試案の中で、スレーキングによる細粒化の形態としてよく遭遇する単粒度型の典型2例¹¹⁾について、以下に詳しく述べることにする。

(1) タイプA(a)の場合

粒径分布の平均 μ とスレーキングサイクル数 N との間には、前述のように式(6)の関係が成り立つ。さらに、平均 μ と分散 σ^2 の間には式(7)⁶⁾が成り立つと考えられる。式(7)中の係数 α, β は試験条件等によって決まる定数である。

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \frac{\left[\frac{N}{N_p} \right]^\beta}{1 + \left[\frac{N}{N_p} \right]^\beta} \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \alpha \mu^\beta \quad (7)$$

従って式(6)、(7)から、任意のスレーキングサイクル数 N に対する μ と σ^2 を求めることができる。こうして得られた μ, σ^2 を式(1)、(2)に当てはめれば図-7に示すような理論粒度曲線が得られる。図から分かるように、このタイプの場合、 $N \rightarrow \infty$ のときの粒度曲線、つまり極限粒度が描ける

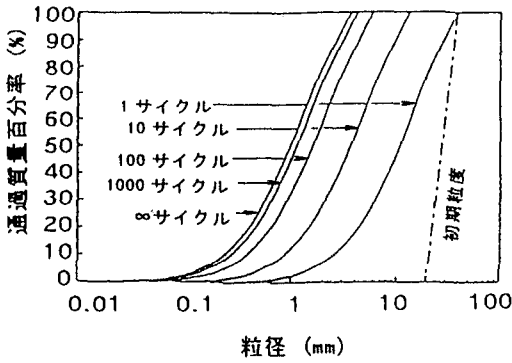


図-8 理論粒度曲線 (タイプA(b)の場合)

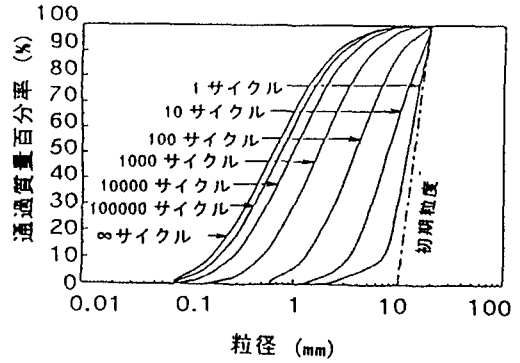


図-7 理論粒度曲線 (タイプA(a)の場合)

ことから、理論的にこれ以上のスレーキングは進行しないと云える。

(2) タイプA (b) の場合

細粒化の形態として $d_{m..}$ が変化し σ^2 がほぼ一定のような粒径分布の場合、原材料を基準にした粒径分布の平均 μ 。と N との間には前述の式 (6) が成り立ち、さらに μ 。と $D_{m..}$ との間には前述の式 (5) が成り立つ。従って、式 (5)、(6) から任意のスレーキングサイクル数 N に対する $d_{m..}$ の値が得られる。こうして得られた $d_{m..}$ と μ 、 σ^2 を式 (1)、(2) に当てはめれば、このタイプの理論粒度曲線が図-8のように得られる。この場合にも、スレーキングの最終段階での理論粒度曲線が得られる。

(3) タイプA (c) の場合

このタイプは、最大粒径 $d_{m..}$ が図-8に示すような変化をし、かつ μ と σ^2 が一定でなく図-7に示すような変化をするタイプであるから、改めて図示するまでもなく上記典型2例のパターンと対照すれば容易に連想し得るものである。

8. 結言

本論文では、主に均一径の泥岩材を対象とする諸家の各種土質試験データを基に、先に提案した粒度式を媒介に粒度変化の視点から、泥岩の細粒化特性について検討した。得られた主な事柄は、次のとおりである。

- 1) 泥岩の細粒化後の粒径分布には、試験タイプや試験条件によらず粒度式が非常に良く適合する。
- 2) 機械的外力による細粒化の場合でも、乾燥・水浸の繰返しによる細粒化の場合でも、泥岩粒子の壊れ方には規則性がある。
- 3) 泥岩の細粒化の特徴は、機械的外力による場合とスレーキング現象による場合とで異なる。すなわち、前者では、粒径分布の平均と外力の大きさとの間に、また、後者では分布の平均と乾燥繰返しサイクル数との間にそれぞれ双曲線式が成り立つが、分布の平均と分散との間の関係が両者で全く様相を異にする。
- 4) 泥岩の細粒化の特性を粒度変化の視点から分類して、1つの分類試案を提示している。
- 5) 細粒化の機構を、よく遭遇する単粒度型の典型2例について、モデル化して示している。

付表 粒度パラメータの算定値

泥岩の土質試験データ		当てはめ精度*	粒度パラメータ			備考	
		v'	$D_{m..}$	m	r		
A 機 械 的 外 力 に よ る 細 粒 化	現場締固め試験	転圧前	0.0291	150	1.33459	0.8808	図-1 (a)
		ダンピング	0.0232	150	2.72729	0.824784	
		振動ダンピング	0.0276	150	2.31126	0.857076	
	一軸圧縮試験	遼子泥岩	0.101	37.5	1.5832	0.68172	図-1 (b)
風化泥岩		0.0385	37.5	-22.2244	-0.15455		
非排水試験	非排水試験	圧密圧力 $\sigma_v = 93 \text{ kPa}$	5.92×10^{-6}	45.0	0.331012	0.501497	図-1 (c)
		圧密圧力 $\sigma_v = 193.6 \text{ kPa}$	1.25×10^{-6}	45.0	0.414461	0.5849	
		圧密圧力 $\sigma_v = 297.9 \text{ kPa}$	3.42×10^{-6}	45.0	0.304660	0.628309	
		圧密圧力 $\sigma_v = 300 \text{ kPa}$	0.0018	45.0	1.918970	0.471209	
排水試験	排水試験	圧密圧力 $\sigma_v = 91.8 \text{ kPa}$	0.00173	45.0	0.889990	0.513664	図-1 (d)
		圧密圧力 $\sigma_v = 191.4 \text{ kPa}$	0.00407	45.0	0.721897	0.631478	
		圧密圧力 $\sigma_v = 296 \text{ kPa}$	0.00267	45.0	0.646005	0.647571	
		圧密圧力 $\sigma_v = 298 \text{ kPa}$	0.00129	45.0	3.208200	0.434893	

破砕試験	初期粒度	0.0590	37.5	1.342400	0.909508	図-1 (e)
	破砕率2.8%	0.0217	37.5	1.538100	0.906065	
	破砕率6.7%	0.0782	37.5	1.714870	0.899673	
破砕試験	突固めエネルギー0.5EC	0.00885	25.4	0.373581	0.421326	図-1 (f)
	突固めエネルギー1.0EC	0.00470	25.4	0.674165	0.398693	
	突固めエネルギー2.0EC	0.00668	25.4	1.221430	0.360987	
	突固めエネルギー5.0EC	0.0227	25.4	2.214260	0.305278	

泥岩の土質試験データ		当てはめ精度 [※] v^2	粒度パラメータ			備考	
			D_{max}	m	r		
B 乾湿繰返しによる 細粒化	乾燥・浸水载荷試験	载荷前	0.0171	19.0	0.52363	0.793898	図-2 (a)
		浸水前	0.0171	19.0	0.52363	0.793898	
		浸水後	0.00226	19.0	1.01589	0.812112	
		終了時	0.0117	19.0	0.60652	0.863474	
	乾燥・浸水载荷試験	载荷前	0.0202	19.0	0.544169	0.721249	図-2 (b)
		浸水前	0.0149	19.0	0.691172	0.707647	
		浸水後	0.0163	19.0	0.534038	0.788083	
		終了時	0.0135	19.0	0.526027	0.820409	
	乾湿繰返し試験	2サイクル	0.00490	53.0	3.610	0.64291	図-2 (c)
		5サイクル	0.00529	37.5	10.489	0.43476	
		10サイクル	0.0114	22.4	13.175	0.36195	
		初期粒度	0.0126	19.0	2.3028	0.748021	
	スレーキング試験	1サイクル	0.00357	19.0	1.7624	0.836487	図-2 (d)
		5サイクル	0.00584	19.0	1.766960	0.869760	
		10サイクル	0.0234	19.0	1.3829	0.907150	
		20サイクル	0.0392	19.0	1.871746	0.896180	
	スレーキング試験	初期粒度	0.0126	19.0	2.302800	0.748021	図-2 (e)
		室温 (20~25℃)	0.0228	19.0	1.402520	0.898950	
		30℃	0.0240	19.0	1.804495	0.886912	
		50℃	0.0232	19.0	2.098394	0.877697	
スレーキング試験	110℃	0.0454	19.0	2.354030	0.869068	図-2 (f)	
	1サイクル	0.000500	38.1	1.629420	0.304090		
スレーキング試験	10サイクル	0.00480	38.1	1.293360	0.434562	図-2 (g)	
	2サイクル	0.00317	45.0	2.5967	0.65605		
スレーキング試験	5サイクル	0.00649	26.5	3.6543	0.61768	図-2 (h)	
	10サイクル	0.00445	19.0	37.3033	0.14874		
	15サイクル	0.00170	19.0	14.1807	0.35450		
	2サイクル	0.0200	45.0	2.15955	0.655714		
スレーキング試験	5サイクル	0.0387	16.0	0.80185	0.757004	図-2 (i)	
	10サイクル	0.00129	16.0	2.42945	0.633094		
	15サイクル	0.0126	16.0	3.91446	0.591966		
	2サイクル	0.0302	45.0	1.14449	0.792119		
スレーキング試験	5サイクル	0.0128	19.0	1.79694	0.727775	図-2 (j)	
	10サイクル	0.00230	9.5	1.66635	0.73801		
	15サイクル	0.00500	9.5	3.94378	0.684037		
	飽和度 $S_r=30.8\%$	0.00750	37.5	5.8133	0.37947		
スレーキング試験	飽和度 $S_r=34.0\%$	0.00130	53.0	150.1190	0.32152	図-2 (k)	
	飽和度 $S_r=52.8\%$	0.00130	53.0	1.3849	0.58472		
	飽和度 $S_r=72.0\%$	0.00210	210	0.3231	0.75655		
	Test 1 27±1℃	0.000146	45.0	1.763240	0.828255		
スレーキング試験	Test 2 40±1℃	0.00110	45.0	0.966531	0.865302	図-2 (l)	
	Test 3 58±1℃	0.00851	0.627493	0.651101			
			0.878754	0.701587			
			2.226920	0.699751			
	Test 5 40±1℃	0.0139	45.0	1.19907	0.673105		
スレーキング試験	1サイクル	0.0549	4.76	-12.3665	-0.15494	図-2 (1)	
	2サイクル	0.0119	2.0	-8.3686	-0.25361		
	3サイクル	0.00616	0.84	7.0130	0.11519		
	4サイクル	0.00898	0.84	17.2321	0.06738		
	5サイクル	0.0231	0.84	-26.8782	-0.06082		

B 乾 湿 繰 返 し に よ る 細 粒 化	スレーキング試験	初期粒度	0.0287	50.8	1.70300	0.734611	図-2 (m)
		1サイクル	0.0103	50.8	2.44189	0.657849	
		2サイクル	0.0120	50.8	3.20612	0.688307	
		3サイクル	0.0130	50.8	4.44102	0.638148	
	スレーキング試験	4サイクル	0.0113	50.8	6.06244	0.587208	図-2 (n)
		初期粒度	0.00935	50.8	2.77899	0.627281	
		1サイクル	0.00527	50.8	1.88911	0.724182	
		2サイクル	0.000473	50.8	7.15360	0.517320	
	スレーキング試験	3サイクル	0.000636	50.8	7.90095	0.514622	図-2 (o)
		4サイクル	0.00126	50.8	9.09293	0.497487	
		1サイクル	0.00328	63.0	0.36809	0.814291	
		2サイクル	0.00737	63.0	0.79650	0.455384	
		4サイクル	0.0162	63.0	3.68006	0.582052	
	スレーキング試験	6サイクル	0.00276	63.0	2.44699	0.565982	図-2 (p)
		10サイクル	0.00383	63.0	2.59083	0.585721	
		1サイクル	0.00245	19.0	0.32407	0.30616	
		2サイクル	0.00248	19.0	41.20850	0.01189	
		4サイクル	0.00118	19.0	-6.29864	-0.11407	
		6サイクル	0.00245	19.0	-9.68637	-0.08758	
	暴露試験	10サイクル	0.00279	19.0	-3.35336	-0.37638	図-2 (q)
暴露日数7日		0.0103	37.5	0.31561	0.860016		
暴露日数14日		0.00695	37.5	1.84338	0.208979		
暴露日数21日		0.00225	37.5	1.93230	0.727895		
暴露日数28日		0.00680	37.5	1.73991	0.261471		
スレーキング試験	暴露日数56日	0.00176	37.5	1.62656	0.738206	図-2 (r)	
	2サイクル	0.00814	37.5	2.79911	0.36802		
	4サイクル	0.0233	13.2	2.0467	0.83383		
	6サイクル	0.0368	4.75	13.7489	0.18447		
	8サイクル	0.0312	4.75	0.9942	0.88162		
スレーキング試験	2サイクル	0.00248	106	3.728	0.385635	図-2 (s)	
	4サイクル	0.000377	45.0	1.993	0.457803		
	6サイクル	0.00900	45.0	13.078	0.174841		
	8サイクル	0.00102	37.5	74.846	0.039377		
	10サイクル	0.00414	37.5	202.227	0.017867		
スレーキング試験	2サイクル	0.00376	25.4	2.1189	0.699805	図-2 (t)	
	4サイクル	0.00204	25.4	5.7050	0.569290		
	6サイクル	0.0139	19.1	7.4442	0.479199		
	8サイクル	0.00386	19.1	11.2627	0.421571		
	10サイクル	0.00253	19.1	30.6740	0.230485		
スレーキング試験	2サイクル	0.00636	38.1	8.1793	0.448065	図-2 (u)	
	4サイクル	0.0129	38.1	8.6282	0.445352		
	6サイクル	0.0160	19.1	2.9030	0.605116		
	8サイクル	0.0569	19.1	4.9384	0.525150		
	10サイクル	0.0115	19.1	10.9569	0.362987		
スレーキング試験	AW Test 3サイクル	0.00379	38.1	4.8188	0.563113	図-2 (v)	
	WCH Test 5サイクル	0.0167	9.5	25.4936	0.318218		
	WC Test 5サイクル	0.00697	38.1	9.4322	0.397254		
	HW Test 10サイクル	0.00253	19.1	30.6740	0.230485		
スレーキング試験	AW Test 3サイクル	0.00261	38.1	9.4400	0.405055	図-2 (w)	
	WCH Test 5サイクル	0.00819	9.5	11.7234	0.439511		
	WC Test 5サイクル	0.00350	38.1	2.0722	0.652536		
	IHW Test 10サイクル	0.0115	19.1	8.1793	0.448665		

※当てはめ精度の定義式は、文献30)中の(8)式を参照されたい。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質工学標準用語集，p. 89，1990.
- 2) 土質工学会編：土質工学用語辞典，p. 25，1985.
- 3) 土質工学会編：日本の特殊土，第7章 泥岩および山砂，pp. 314-356，1974.
- 4) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，pp. 416-419，1982.
- 5) 福本武明：粒子破碎機構に関する一考察，第24回土質工学研究発表会，pp. 259-260，1989.
- 6) Fukumoto, T. : Particle Breakage Characteristics of Granular Soils, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 26-60, 1992.
- 7) 福本武明，笠谷高宏，木山修一：泥岩のスレーキング現象に関する一考察，第27回土質工学研究発表会，pp. 1215-1216，1992.
- 8) 福本武明，深津真彦：粒度変化現象への粒度式の適用，平成5年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，pp. m-1-1-2，1993.
- 9) 福本武明，深津真彦：各種粒状土への粒度式の適用，立命館大学理工学研究所紀要，第52号，pp. 113-124，1993.
- 10) 福本武明，貝谷政信，深津真彦：泥岩の細粒化，平成6年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，pp. m-38-1-2，1994.
- 11) 貝谷政信，福本武明：泥岩の細粒化機構に関する検討，土木学会第50回年次学術講演会概要集，m，pp. 606-607，1995.
- 12) 三沢留津子，加藤洋次，黒島一郎，田村彰男：泥岩の現場における粒子破碎について，第27回土質工学研究発表会，pp. 2123-2124，1992.
- 13) 野川達也，今井五郎，プラダンテージ：泥岩の浸水沈下特性，土木学会第47回年次学術講演会，pp. 638-639，1992.
- 14) 山口晴幸，三浦恵久，黒島一郎，福田誠：泥岩粗粒材の三軸せん断挙動に及ぼすスレーキングの影響，土木学会第47回年次学術講演会，pp. 928-929，1992.
- 15) 中世古幸次郎，橋本正，加藤雅一：和泉層群泥質岩の工学的性質，第24回土質工学研究発表会，pp. 1089-1092，1989.
- 16) 金丸正雄，中崎英彦，上田貴夫：ぜい弱岩盛土材のスレーキングによる沈下特性について，第17回土質工学研究発表会，pp. 593-596，1982.
- 17) 野嶋浩一，今井五郎，プラダンテージ：破碎泥岩の浸水沈下特性とその機構，土木学会第49回年次学術講演会，pp. 652-653，1994.
- 18) 谷口敬一郎，楠見晴重，名草俊比古，武山峰典：三紀泥岩のスレーキング特性に関する一考察，第22回土質工学研究発表会，pp. 963-964，1987.
- 19) 神谷光彦，広瀬照光，岸洋一：軟岩の乾湿スレーキングとせん断特性について，粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム発表論文集，pp. 125-128，1986.
- 20) 大住明夫，今川史朗：スレーキング試験の一考察，日本道路公団試験所報告，pp. 1-11，1980.
- 21) 福岡秀基，小西武，村沢譲，名草俊比古，新津誠：返子層における凝灰質泥岩と泥岩の劣化状況比較，第24回土質工学研究発表会，pp. 1085-1086，1989.
- 22) 山口晴幸，森洋一，黒島一郎，福田誠：第三紀泥岩の破碎性について，第25回土質工学研究発表会，pp. 1095-1098，1990.
- 23) 佐藤健，板橋一雄，河邑真：乾湿繰り返しによる泥岩の細粒化試験と結果の整理法，土木学会論文集，No. 487/m-26，pp. 69-77，1994.
- 24) 板橋一雄，森富雄，岩田賢：泥岩供試体の暴露試験に伴う重量・体積変化，第29回土質工学研究発表会，pp. 1205-1206，1994.
- 25) 岩田堅，森富雄，板橋一雄，秀島好昭：北海道泥岩の室内スレーキング試験に伴う粒子破碎，土木学会第49回年次学術講演会，pp. 658-659，1994.
- 26) 望月秋利，寺下雅裕，木下哲生，谷川和久，片岡昌裕：軟岩の風化とその評価，土木学会第45回年次学術講演会，pp. 480-481，1990.
- 27) 山口晴幸，吉田広太郎，黒島一郎，福田誠：泥岩のスレーキング特性，土木学会論文集，No. 406/m-11，pp. 17-26，1989.
- 28) 福本武明：まさ土の粒径分布に関する一考察，第22回土質工学研究発表会，pp. 165-166，1987.
- 29) Fukumoto, T. : A Grading Equation for Decomposed Granite Soil, Soils and Foundations, Vol. 30, No. 1, pp. 27-34, 1990.
- 30) 福本武明：土の粒径分布に関する検討，土木学会論文集，No. 475/m-24，pp. 11-18，1993.
- 31) 福本武明：土の粒度式の特長，土木学会論文集，No. 469/m-23，pp. 103-110，1993.

(1996.8.9 受付)

SIZE-REDUCTION CHARACTERISTICS OF MUDSTONES

Takeaki FUKUMOTO and Masanobu KAIYA

In this paper, investigations were carried out about the problem of size reduction in mudstone based on the analytical result of a lot of soil test data from mainly the point of viewing the change of gradation, clarifying the characteristics of size reduction which are derived from a slaking phenomenon and a particle breakage phenomenon, and together with this, classifying the size reduction. Furthermore, modeling was tried to realize this size reduction mechanism.