

琉球大学学術リポジトリ

さんご石灰質砂の圧縮性に及ぼす粒子破碎の影響

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): 粒子破碎, 石灰質砂, 一次元圧縮試験, クリープ試験 キーワード (En): Particle breakage, Carbonate sand, One-dimensional compressive test, Creep test 作成者: 新城, 俊也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3667

さんご石灰質砂の圧縮性に及ぼす粒子破碎の影響

新城俊也*

Toshiya SHINJO: Effects of particle breakage on compressibility of coral sand

キーワード : 粒子破碎, 石灰質砂, 一次元圧縮試験, クリープ試験

Key words : Particle breakage, Carbonate sand, One-dimensional compressive test, Creep test

Summary

Coral sands are consist of such bioclastic as coral, shell, foraminifera, etc. in that particles are relatively soft and can easily be broken. In this paper in order to investigate the effects of the particle breakage on the compressibility and creep deformation of coral sand, the one-dimensional compression tests up to a vertical stress of 62.72MPa and the one-dimensional creep tests under a constant vertical stress of 11.76MPa. The materials used are coral sands obtained from eight different locations in coral reefs around Ryukyus Islands, south west part of Japan. The compressibility of sand is controlled by the particle breakage. The degree of particle breakage is uniquely related to the ratio of the compressive yield stress to the maximum applied stress. Creep deformation is significant after an elapsed loading time of 1000 minutes. The time dependence of the compressibility is caused by the abrasion on the particle surface because of the increase in the percent finer than 0.075mm during creep process.

緒 言

砂の力学挙動は粒子間のすべりや回転等の相互作用に支配されるが、粒子破碎を伴う高応力域では粒度や粒子配列の変化により力学挙動が異なることが知られている¹⁾²⁾。一方、軟質な粒子からなる砂やアンギュラーな形状の砂では低応力域においても粒子破碎が容易に発生し、力学挙動への粒子破碎の影響が著しくなる³⁾。

南西諸島の島々の周りにはさんご礁が発達し浅い海を形成している。この海域ではさんご礁に棲息する動物性や植物性の石灰質遺骸および波浪等の物理的作用により破碎された礁の碎屑物等が堆積し、砂層や砂礫層地盤を形成している。堆積物には、さんご、貝類、有孔虫、石灰藻などの殻やその破碎物が

*琉球大学農学部生産環境学科

含まれ、それらの石灰質の粒子はシリカ質砂に比べて軟質であり、扁平、筒状、板状の内部に空隙を持つ多孔質の粒子を主体としている。このような堆積物の地盤は破碎性であり、沈下の増大と支持力低下の原因となるなど、地盤工学的に問題が多いことが指摘されている。

石灰質砂は容易に粒子破碎を生じ、その力学挙動は粒子破碎の程度に支配されることが報告されている⁴⁾。また、砂においても圧縮応力下では時間依存性が認められ、クリープ変形は応力レベル、密度、粒子のアンギュラリティーに依存し⁵⁾、またシリカ質の砂に比べ石灰質砂のクリープ変形が大きいことが知られている⁶⁾。

本研究では沖縄沿岸域のさんご礁から供給される石灰質砂について圧縮特性とそれに及ぼす粒子破碎の影響を調べた。試験は8種類の石灰質砂について最大圧縮応力62.72MPaまでの一次元圧縮試験を実施した。また、1種類の砂について一次元圧縮クリープ試験を行い、クリープ変形に及ぼす粒子破碎の影響を検討した。

試 料

試料は海底砂3種類(砂A,B,C)、海浜砂5種類(砂D,E,F,G,H)である。また、比較のためシリカ質の豊浦標準砂(砂S)も使用した。実験には2mmふるい通過試料を用いた。Table 1に物理的性質を、Fig.1に粒度分布を示した。粒子内間隙比は砂粒子の吸水率から求めた。最大間隙比と最小間隙比は粒子内間隙を含めた値である。海底砂はアンギュラ形状をしており、大きな間隙を形成しやすい。一方、海浜砂は海底砂に比べて角が磨耗し丸みを帯びている。これらの砂は炭酸カルシウム含有量90%以上の石灰質砂である。

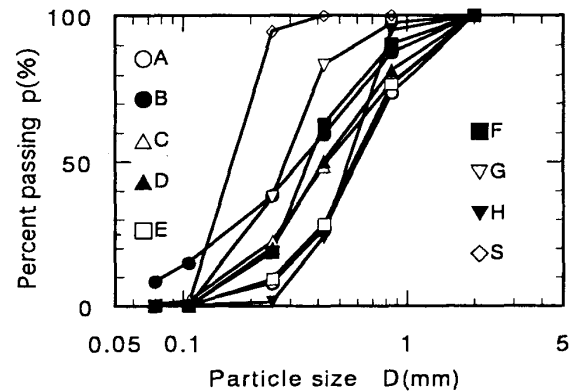


Fig. 1 Grading curves for sands tested

Table 1 Physical properties of sands

Sand(Location)	ρ_s (g/cm ³)	D ₁₀ (mm)	e _{min}	e _{max}	e _{intra}	CaCO ₃ (%)
A(Chibishi)	2.77	0.27	0.98	1.53	0.14	96
B(Kurima P ₁₀)	2.79	0.10	0.85	1.39	0.11	96
C(Kudaka)	2.78	0.14	1.02	1.52	0.12	94
D(Chinen)	2.79	0.15	0.89	1.32	0.14	89
E(Hyakuna)	2.77	0.28	0.85	1.16	0.11	94
F(Sesoko)	2.80	0.16	0.84	1.19	0.10	92
G(Maehama)	2.78	0.13	0.83	1.21	0.08	95
H(Kurima)	2.79	0.30	0.62	0.95	0.07	95
S(Toyoura)	2.65	0.11	0.61	0.99	—	—

実験方法

一次元圧縮試験は高圧用の一次元圧密試験装置により実施した⁷⁾。圧縮試験には内径60mm(肉厚8mm)と内径33mmリング(肉厚21.5mm)の2種類の圧密リングを使用した。いずれもリングの高さは20mmである。圧縮応力は60mmリングで最大17.64MPaまで、33mmリングで最大62.72MPaまで

それぞれ荷重可能である。供試体は、ゆる詰め、中詰め、密詰めとしてそれぞれ相対密度25%、50%、90%を目標に、ゆる詰めはロート法で、中詰めと密詰めはタッピング法で作成した。試験はすべて乾燥砂について行った。

試験は次の3シリーズの一次元圧縮試験を実施した。

実験シリーズ1：砂Aについて33mmリングによるゆる詰めと密詰め砂の一次元圧縮試験を行った。圧縮試験は最大応力を0.98MPaから62.72MPaの範囲で10段階に変化させ、それぞれの最大圧縮応力ごとに荷重—除荷試験を行った。荷重方法は最大圧縮応力まで5min間隔で段階的に増加させ、最大圧縮応力作用段階では100min間の荷重を行った。供試体は最大圧縮応力作用ごとに一定密度となるように作成した。圧縮試験後個々の供試体についてふるい分けを行い、粒子破碎に及ぼす圧縮応力の影響を調べた。

実験シリーズ2：8種類の石灰質砂と豊浦砂のそれぞれのゆる詰め、中詰め、密詰めについて60mmリングと33mmリングを用いて一次元圧縮試験を行った。圧縮応力は、60mmリングでは最大圧縮応力1.76MPaまで、33mmリングでは最大圧縮応力62.72MPaまでそれぞれ作用させた。荷重方法は荷重増分比1のもとで5min間隔の段階荷重を行い、最終荷重段階では60mmリングで60min間、33mmリングで100min間それぞれ荷重した。圧縮試験終了後ふるい分けを行った。

実験シリーズ3：クリープ変形に及ぼす粒子破碎の影響を調べるため、砂Aのゆる詰め、中詰め、密詰めについて60mmリングによる一次元圧縮クリープ試験を行った。クリープ試験は、圧縮応力5.88MPaまで5段階に分け増分比1のもとで段階的に5min間隔で荷重を行い、その後圧縮応力11.76MPaのもとで荷重時間を変化させて行った。荷重時間は1, 10, 100, 1000, 3000, 10000minである。供試体はその都度作成した。試験後、個々の荷重時間に対する供試体についてふるい分けを行った。

石灰質砂の圧縮特性

1 実験結果

1) 実験シリーズ1

Fig.2は試験シリーズ1における砂Aのゆる詰めと密詰めについて一次元圧縮試験の結果を $e-\log \sigma_v$ 関係で示したものである。 $e-\log \sigma_v$ 関係では圧縮応力の増加に伴って降伏現象が明確に現れ、降伏後の応力域では $e-\log \sigma_v$ 関係は粘性土と同様線形関係に移行している。砂では降伏現象は粒子破碎に伴って生じるとされ、そのため降伏応力以上の応力域では圧縮変形は塑性変形となり、除荷過程では変形の回復は著しく小さい。圧縮降伏応力はここでは $e-\log \sigma_v$ 関係からキャサグランデ法により決定した。

Fig.3は圧縮試験後の粒度変化を最大圧縮応力に対して示したものである。圧縮試験後の粒度に変化が生じており、粒子破碎に伴う細粒化は圧縮応力の増加に伴って顕著となることわかる。粒子破碎はここでは次式の破碎係数 B_c で評価した⁹⁾。

$$B_c = p' / p \quad (1)$$

ここに、 p :試験前の有効径における通過率、 p' :試験後の有効径における試験後の通過率。

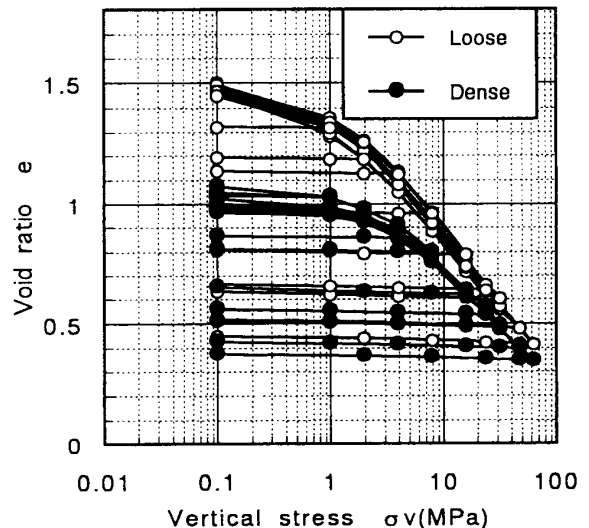


Fig. 2 Test results (Test series 1) $e-\log \sigma_v$ relations (A)

2) 実験シリーズ2

Fig.4は実験シリーズ2におけ60mmリングによる圧縮応力 $\sigma_v=11.76\text{MPa}$ までの圧縮曲線と33mmリングによる $\sigma_v=62.72\text{MPa}$ までの圧縮曲線をそれぞれの砂について $e-\log \sigma_v$ 関係を示したものである。いま, Fig.4 (a)に示す砂Aを例にとると, 同じ初期間隙比の場合 $e-\log \sigma_v$ 関係は60mmリングと33mmリングの結果で圧縮応力11.76MPaまでは類似しており, $e-\log \sigma_v$ 関係に及ぼす供試体寸法の影響は少ないと考えられる。このことを考慮して, 60mmリングによる結果に関しては圧縮応力11.76MPa以上の応力域においても33mmリングによる結果と類似しているとして, 60mmリングによる圧縮挙動は33mmリングによる結果を用いて評価している。

砂ごとに初期間隙比は異なるが, 33mmリングを用いた最大圧縮応力62.72MPaまでの $e-\log \sigma_v$ 関係はいずれの砂においても圧縮応力の増加に伴って明確な降伏を示している。また, 降伏後いずれの砂においてもゆる詰め, 中詰め, 密詰めのような初期間隙比の影響が消失し, 同一砂の $e-\log \sigma_v$ 関係は一つの関係に移行している。しかも, 最大圧縮応力62.72MPa作用下では間隙比は0.4-0.5にまで減少し, その値はいずれの砂においてもほぼ一致している。このことは, 圧縮応力62.72MPaのような高応力域までの圧縮量は主に初期間隙比の差に支配されるのであって, 砂の種類には関係しないことを示唆している。

Fig.5はキャサグランデ法により求めた圧縮降伏応力と初期間隙比の関係を示したものである。初期間隙比の減少に伴って圧縮降伏応力は増大しており, 圧縮降伏応力は初期間隙比に支配されるようである。なお, シリカ質砂Sでは石灰質砂に比較して同じ初期間隙比の場合大きな圧縮降伏応力を示している。

実験シリーズ2の33mmリングによる最大圧縮応力62.72MPaまでの一次元圧縮試験結果を初期の状態量, 圧縮応力62.72MPa作用時の状態量, 破碎係数 B_c 等を含め, Table 2に示してある。なお, 圧縮指数 C_c は圧縮応力20MPa以上の応力域において $e-\log \sigma_v$ 関係の勾配から, 膨張指数 C_s は除荷時の $e-\log \sigma_v$ 関係を直線近似しそれぞれ決定した。

2 圧縮性

砂の圧縮性の評価には応力レベルの影響を考慮して, 段階载荷における応力増分($\Delta \sigma_v$)に対する間隙比の変化(Δe)として次式に示す圧縮指数 C_c を用いている。

$$C_c = \Delta e / \Delta \log(\sigma_v) \quad (2)$$

一方, 応力レベルの影響は载荷時の圧縮応力(σ_v)を降伏圧縮応力(σ_{v0})で無次元化した応力比 $R = \sigma_v / \sigma_{v0}$ で示す。

Fig.6は, 実験シリーズ2における圧縮応力62.72MPaまでの圧縮試験結果について, 各砂の中詰めの場合の圧縮指数 C_c と応力比 R の関係を比較したものである。応力比 R の増加に伴って圧縮指数 C_c は増加している。その増加傾向は, 海底砂(A,C)と海浜砂(D,E,F,G,H)とで異なり, 海底砂の方が海浜砂よりも低い応力レベルで大きな圧縮性を示している。圧縮指数 C_c は海底砂(A,C)では応力比の増加に伴って

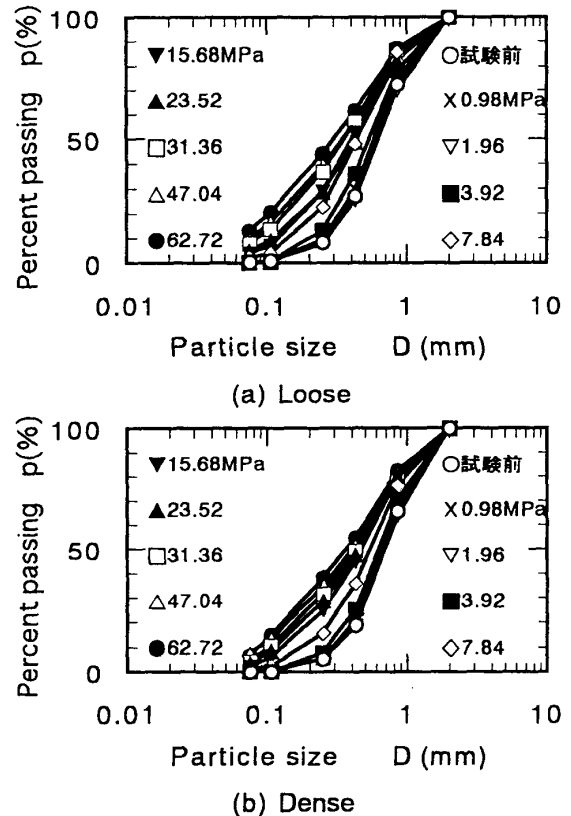


Fig. 3 Particle beakage of sand A (Test series 1)

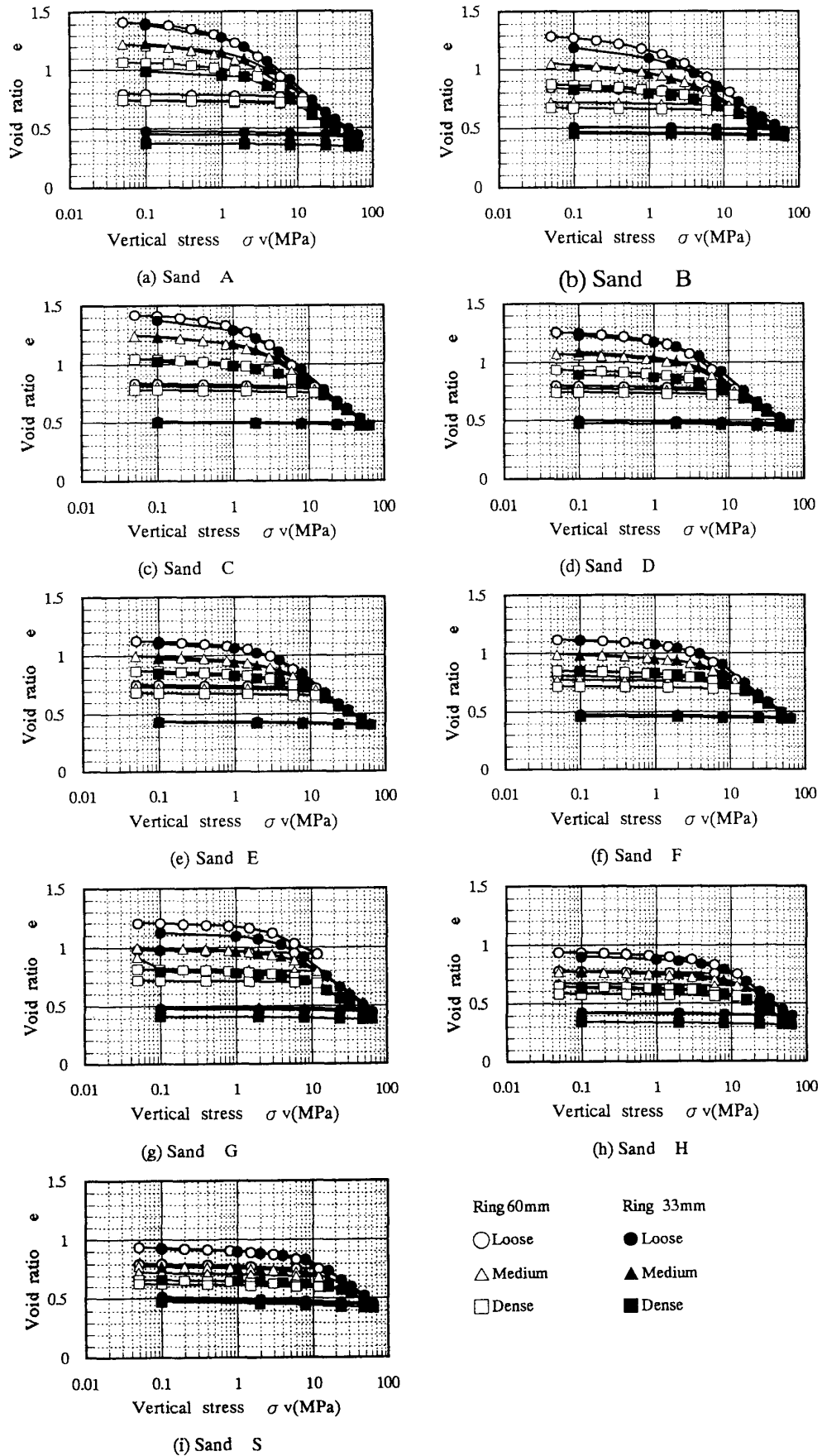


Fig. 4 Test results (Test series 2)

Table 2 Test results (Max vertical stress 62.72MPa)

Sand	D_r (%)	e_0	e_r	C_c	C_s	σ_y (MPa)	B_c
A Loose	23	1.39	0.44	0.59	0.018	3.23	5.2
Medium	54	1.23	0.42	0.55	0.014	3.92	5.0
Dense	97	0.99	0.35	0.49	0.015	5.49	4.0
B Loose	29	1.20	0.48	0.43	0.022	4.90	2.9
Medium	58	1.03	0.44	0.39	0.017	6.27	3.0
Dense	96	0.83	0.43	0.31	0.015	6.86	2.7
C Loose	27	1.58	0.48	0.61	0.017	3.92	4.0
Medium	56	1.23	0.47	0.55	0.016	4.90	4.0
Dense	98	1.03	0.47	0.45	0.015	6.86	3.9
D Loose	20	1.23	0.47	0.57	0.017	4.12	4.1
Medium	52	1.09	0.44	0.47	0.016	5.10	3.9
Dense	98	0.90	0.45	0.43	0.013	8.23	4.0
E Loose	17	1.10	0.41	0.53	0.019	4.41	5.0
Medium	59	0.97	0.41	0.45	0.018	5.10	4.9
Dense	99	0.85	0.40	0.39	0.013	7.84	4.3
F Loose	20	1.11	0.45	0.57	0.015	6.08	4.2
Medium	58	0.98	0.44	0.49	0.015	6.66	3.8
Dense	97	0.85	0.44	0.43	0.012	9.41	3.6
G Loose	22	1.12	0.45	0.58	0.017	6.27	4.1
Medium	57	0.99	0.46	0.59	0.015	8.62	4.0
Dense	100	0.78	0.38	0.42	0.014	9.41	3.3
H Loose	13	0.90	0.40	0.51	0.016	9.41	4.6
Medium	51	0.78	0.39	0.45	0.013	13.72	4.4
Dense	96	0.63	0.32	0.43	0.015	15.19	3.7
S Loose	15	0.92	0.45	0.51	0.023	11.76	3.4
Medium	55	0.78	0.44	0.46	0.022	16.66	3.1
Dense	86	0.66	0.42	0.44	0.022	20.58	2.8

D_r (%) : Relative density, e_0 : Initial void ratio, e_r : Final void ratio, c_c : Compression index, c_s : Swelling index, σ_y (MPa) : Compressive yield stress, B_c : Coefficient of particle breakage

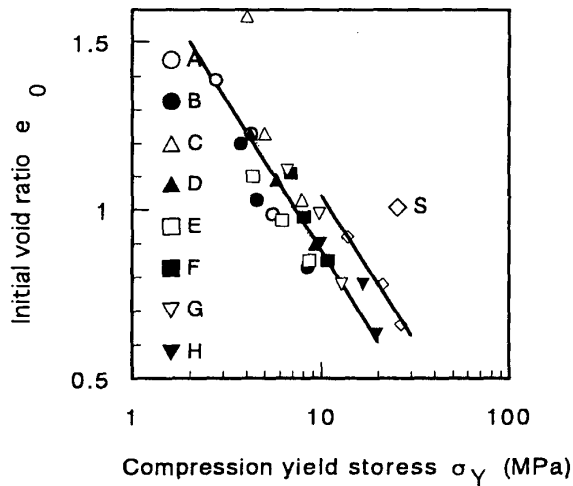


Fig. 5 Relationship between compressive yield stress and initial void ratio

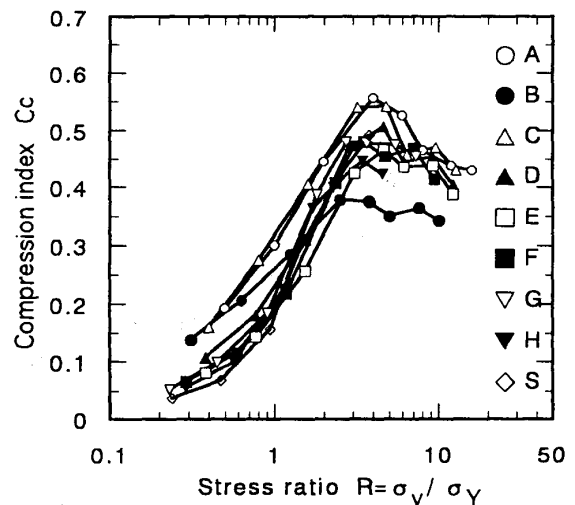


Fig. 6 Relationship between stress ratio and compression index for coral sands ($\sigma_v = 62.72$ MPa)

0.55まで増大し、その後減少に転じほぼ0.45の一定値に減少している。この一定値0.45は、圧縮指数Ccが最大値に至る過程での応力比R=2付近の値に相当し手いる。一方、海浜砂(D,E,F,G,H)では応力比の増加に伴っていずれの砂の圧縮指数Ccも応力比3付近まで増大し、その後ほぼ0.45の一定値を示している。圧縮指数Ccと応力比Rの関係はゆる詰めおよび密詰めにおいても同様な傾向がみられた。

さんご砂では圧縮指数Ccは応力比R=2—3の範囲で0.4—0.5に増加し、その値はそれ以上の応力比に対して一定値のままである。なお、砂Bでは細粒分を含有することから(Fig.1)、他の石灰質砂に比べて圧縮指数Ccは小さくなっている。また、シリカ質砂Sは海浜砂と類似して圧縮性を示している。

3 圧縮性に及ぼす粒子破碎の影響

Fig.7(a)は、砂Aについて実験シリーズ1における圧縮試験結果を、最大圧縮応力時における破碎係数Bcと応力比R(=σ_v/σ_y)との関係を示してある。Fig.7(b)は、実験シリーズ2におけるすべての砂の60mmリングと33mmリングの圧縮試験の結果について、圧縮応力11.76MPaと62.72MPa作用時の破碎係数Bcと応力比R(=σ_{vmax}/σ_y)の関係を示したものである。なお、60mmリングによる結果では応力比Rは33mmリングによる圧縮降伏応力で無次元化して示してある。

Fig7(a)のように、同じ砂Aについて応力レベルを変化させたときの破碎係数Bcと応力比Rの関係はゆる詰め、密詰めに係わりなく1つの関係で示され、粒子破碎に及ぼす圧縮応力の影響は圧縮降伏応力を考慮することにより統一的に表示できる。この関係の外挿より、応力比R=0.6付近で破碎係数Bcは1を示し、砂Aでは圧縮降伏応力60%の応力レベルから粒子破碎が発生することが推察される。一方、Fig.7(b)においては、砂によって破碎の程度および圧縮降伏応力が異なるが、応力比R=1以上すなわち圧縮降伏応力を上回る応力レベルでは粒子破碎は顕著であり、圧縮応力の増加に伴って粒子破碎は増大し続けている。この傾向は、石灰質砂全体においては破碎係数Bcと圧縮応力の関係は、Fig.7(a)の砂Aのみの場合ほど一つの関係にないが、さんご砂に関して破碎係数Bcと圧縮応力の関係は次式の関係で近似できる。

$$B_c = 1.18 \ln(R/R_0) + B_{c0} \quad (3)$$

ここに、R₀=0.8、B_{c0}=1である。

Fig.8は、実験シリーズ2における60mmリングと33mmリングの圧縮試験結果について各砂のゆる詰め、中詰め、密詰めの最大圧縮応力作用時の圧縮指数Ccと破碎係数Bcの関係を示したものである。砂の種類と初期間隙比に関係なく、圧縮指数Ccは破碎係数Bcの増加に伴って増加し、その後一定となっている。破碎係数Bcのわずかの増加により圧縮指数Ccは著しく増大しているが、このことは粒子破碎に伴って圧縮性が顕著になることを示唆しており、圧縮性は粒子破碎の程度に支配されることがわかる。

Fig.9は、実験シリーズ1における33mmリングによるゆる詰めと密詰めについて、最大圧縮応力作用

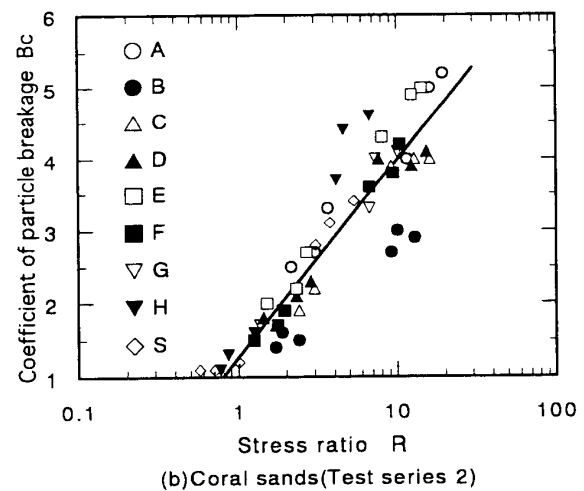
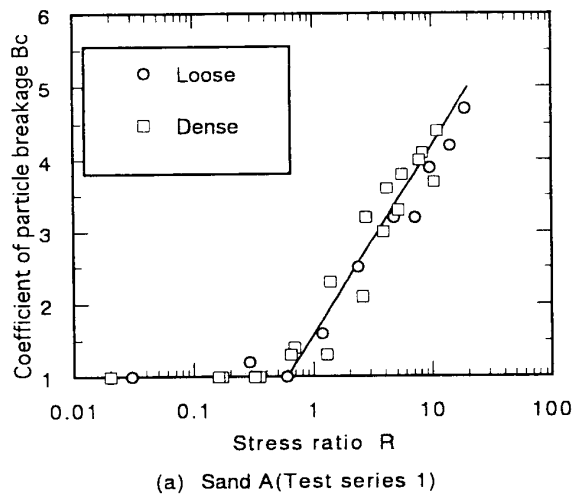


Fig. 7 Relationship between stress ratio and coefficient of particle breakage

時の間隙比 e_t とそのときの破碎係数 B_c の関係を示したものである。ゆる詰めでは間隙比1.2まで、密詰めでは0.9まで破碎係数 B_c は1のままであり、圧縮応力が増加しても粒子破碎を伴わない間隙比の減少がみられる。破碎係数 B_c が1より大きい場合、圧縮応力の増加に伴って破碎係数 B_c が増加し、間隙比が減少しており、間隙比の減少は砂の粒子破碎に起因することが分かる。砂の圧縮沈下は粒子破碎によりもたらされると言える。

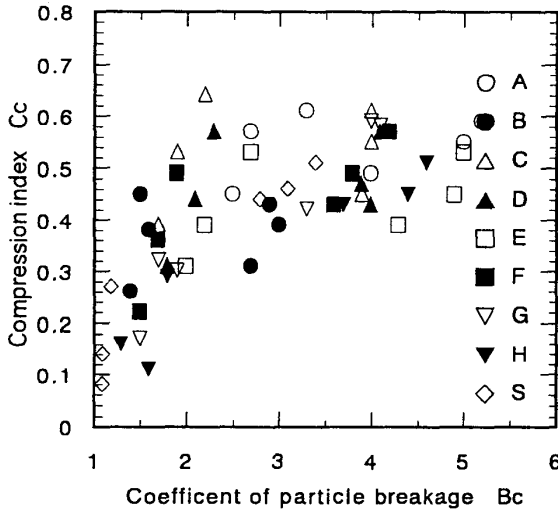


Fig. 8 Relationship between coefficient of particle breakage and compression index for coral sands (Test series2)

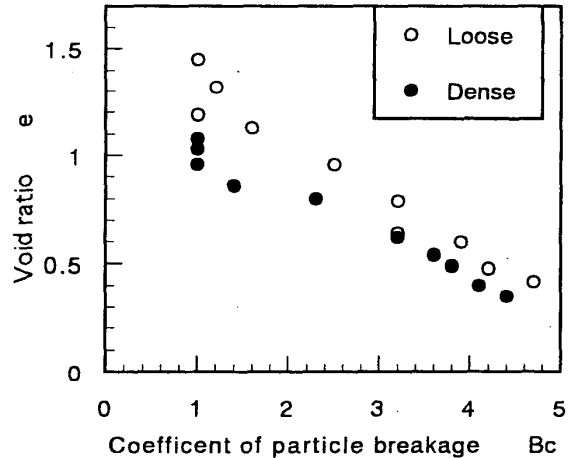


Fig. 9 Relationship between coefficient of particle breakage and void ratio

砂の圧縮性の時間依存性

1 実験結果

Fig.10は砂Aのゆる詰め、中詰め、密詰めのそれぞれについて載荷時間1minから10000minまでのクリープ試験結果を圧縮ひずみ ϵ と載荷時間の対数 $\log t$ との関係で示したものである。圧縮ひずみは供

試体の初期高さを基準にしている。また、圧縮ひずみに及ぼす供試体作成時の初期間隙比とベッティングエラーの影響を除くために、圧縮ひずみは圧縮応力を5.88MPaから11.76MPaに増加させたときのひずみの増加量で示した。クリープ変形は、即時変形の後1min以内でクリープひずみ速度は徐々に減少し、それ以降では $\epsilon - \log t$ 関係は線形関係に移行し、クリープひずみ速度は一定となっている。クリープ変形は密詰めほど小さい。しかしながら、1000min経過付近では $\epsilon - \log t$ 関係の勾配が急増し、3000min付近で再び線形関係に移行する特異な挙動を示している。この挙動は3000minと10000minの載荷試験結果に明確に現れ、またゆる詰め、中詰め、密詰めのそれぞれの結果に共通している。

Fig.11 にクリープ載荷時間による粒度分布の変化をゆる詰めの場合を例に示してある。載荷時間が長くなるほど、細粒

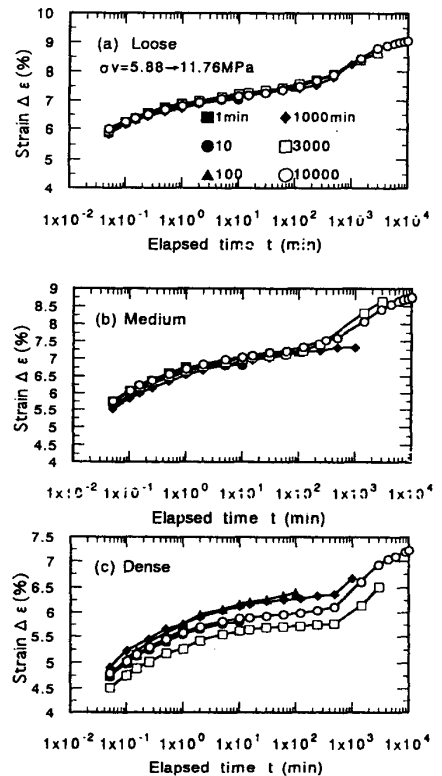


Fig. 10 Creep test results (SandA)

化することが窺える。

2 クリープ変形に及ぼす粒子破碎の影響

Fig.12(a)にゆる詰め、中詰め、密詰めの場合を比較してある。Fig.12(b),(c)は
 載荷時間に対応させて載荷時間ごとの破碎係数 B_c と粒径 $75\mu\text{m}$ 以下含有量をそれぞれ示したものである。

バラツキがみられるが、破碎係数 B_c は載荷時間に関係なくほぼ一定であり、また初期密度の影響も少ない。破碎係数 B_c は圧縮試験前の有効径 D_{10} 粒度分布の変化に相当しており、砂Aの有効径 $D_{10}=0.27\text{mm}$ を考慮すると、砂分の破碎は主に載荷後1min以内で発生し、クリープ変形段階では少ないと考えられる。一方、粒径 $75\mu\text{m}$ 以下含有量は密詰めに比べてゆる詰めで多く発生し、初期間隙の影響がみられる。また、載荷時間の増加に伴って粒径 $75\mu\text{m}$ 以下含有量は増大する傾向にあり、1000min経過後にその量が急増している。しかも、時間の経過に伴う粒径 $75\mu\text{m}$ 以下含有量の増加傾向は $\epsilon - \log t$ 関係の変化にほぼ一致している。このことはクリープ変形の段階では粒子破碎よりも粒子間の相対移動に伴う磨耗により粒径 $75\mu\text{m}$ 以下含有量が増加していると考えられる。すなわち、粒子破碎を伴う応力レベルではクリープ変形は粒子接触面で磨耗を伴う粒子の相対変位によってもたらされると推察される。

3 圧縮性の時間依存性

Fig.13は載荷時間10000minの場合のひずみ速度と経過時間の関係を両対数上に示したものである。ひずみ速度は時間の経過と共に急速に減少し、0.1min(6s)に折点を持つ線形関係にある。この線形関係は20min付近までは初期密度による影響はみられないが、ゆる詰めと中詰めでは20min付近で再び折点がみられる。粒子破碎を伴う応力レベルにおけるクリープ変形はひずみ速度の対数と経過時間の対数の線形関係でモデル化でき、それらの関係はゆる詰めと中詰めでは0.1minと20minで、密詰めでは0.1minで、それぞれ折点をもつタイプで示される。

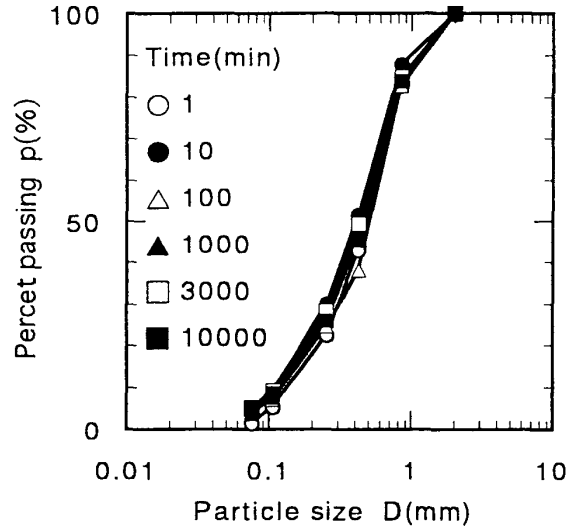


Fig. 11 Particle breakage of sand A (Creep test)

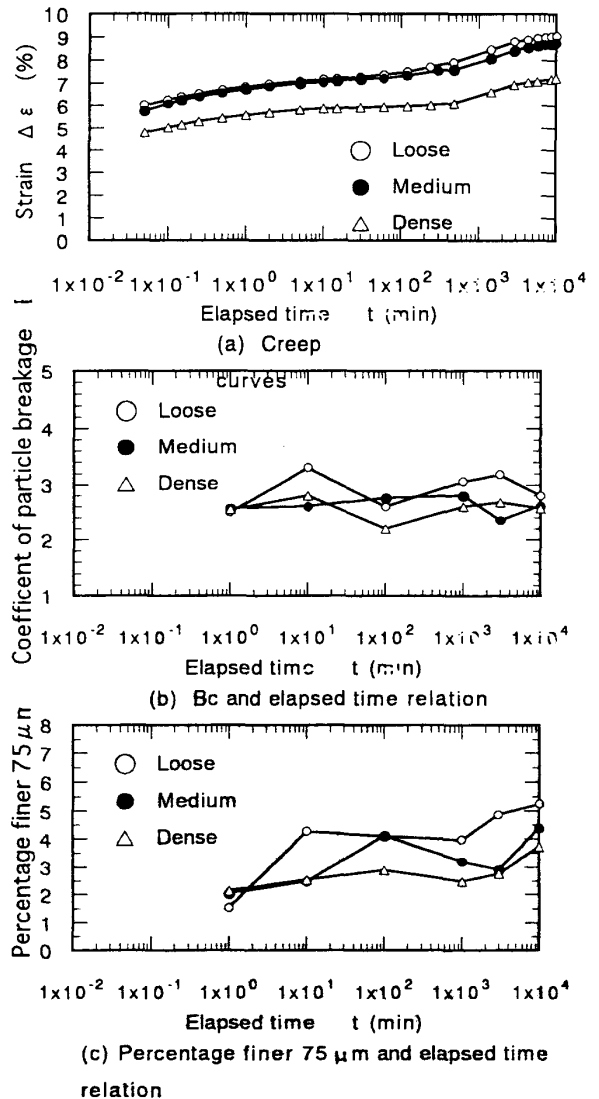


Fig. 12 Effects of particle breakage on creep deformation

摘 要

さんご石灰質砂の圧縮特性と粒子破碎の影響を一次元圧縮試験により明らかにした。主な結果は次のようである。

- (1) 石灰質砂はシリカ質砂に比べて圧縮性が著しい。
- (2) 圧縮指数は圧縮応力の増加に伴い0.5まで増加する。
- (3) 粒子破碎に及ぼす圧縮応力の影響の程度は初期間隙比に関係なく圧縮応力と圧縮降伏応力の比で評価できる。
- (4) 圧縮応力の増加に伴う間隙比の減少は粒子破碎の程度に支配される。
- (5) 粒子破碎を伴う応力レベルでのクリープ変形は磨耗を伴う粒子間の相対変位によってもたらされることが推察される。
- (6) 一次元圧縮条件下ではクリープひずみ速度の対数とクリープ経過時間の対数の関係は2つの折点を持つ線形関係で表される。

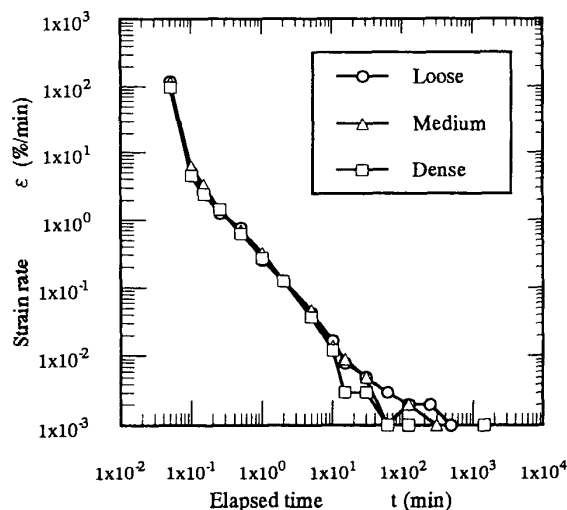


Fig. 13 Relationship between elapsed time and strain rate

参考文献

- 1) Hagerty, M.M et al: One-Dimensional Compression of Granular Media, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.119(1), p1-18, 1993
- 2) Yamamuro, J.A. et al: One-Dimensional Compression of Sands at High Pressure, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.122(2), p147-154, 1996
- 3) Valore, C.: 1-D Strain in Sand Composed of Brittle Particles, Proc. XIII ICSMFE, Vol.1, p.21-24, 1994
- 4) Stemple, R.M.: The mechanical properties of carbonate soils, Proc., Int. Conf. Calcareous Sediments, Vol.2, 807-836, 1988
- 5) Mejia, C.E. et al: Time Dependent Behaviour of Sand, Proc. The International Conference on Rheology and Soil Mechanics, p.312-326, 1988
- 6) Poulos, H.G. et al: Strength and Deformation Properties of Bass Strait Carbonate Sands, Geotechnical Engineering, Vol.13(2), 189-212, 1982
- 7) 新城俊也・小宮康明: 第三紀層泥岩の高圧圧密特性, 土と基礎, 32(2), 11-16, 1984
- 8) Datta, M. et al: Engineering behavior of carbonate soils of India and some observation on classification of such soils, Geotechnical Properties, Behavior and Performance of Calcareous Soils, ASTM, S.T.P. 777, p.113-140, 1981