

単粒子破碎に着目した破碎性土の一次元圧縮特性

山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸
山口大学大学院 学生会員 加登文学 ○佐藤昌岳

1. まえがき 一次元圧縮試験より得られる圧縮降伏応力は、地盤の沈下量の予測、地盤反力係数を把握するという点においても工学的に重要なパラメーターであるといえる。そして圧縮降伏応力は地盤の密度だけでなく、破碎のしやすさなどに依存すると考えらる^{1)・2)}。また近年、破碎性材料の力学特性や工学的な問題を明らかにすることの重要性が指摘され³⁾その破碎性に直接結び付けられる一次元圧縮挙動を明らかにする必要性が高まっている。そこで本研究では、粒子が脆弱で圧縮性が卓越しているさまざまな破碎性材料を用いて一次元圧縮試験を行い、 $e-\log \sigma_v$ 曲線の特徴的な挙動から一次元圧縮特性に与える単粒子破碎強度、間隙比、粒度分布などの影響について検討を行う。

2. 用いた試料と試験方法 各実験に用いた試料の物理的性質を表-1に示す。用いた試料は、山口県で採取したまさ土、鹿児島県で採取したしらす、海砂のカーボネート系のチビシ砂と

Quiou 砂である。これらは、破碎性土として知られている材料である。また、これらの碎性土に比べ、比較的破碎にくい試料である Silica 砂も同様の試験を行った。なお Shirasu(cut)は、しらすの0.075mm以下の細粒分を水洗いし取り除いたものである。一次元圧縮試験は直径50mmの圧縮リングに高さ10mmとなるように試料を詰めたものに対して行った。単粒子破碎試験は上盤を一定速度で下降させることにより粒子を破碎させる試験で、試験中、軸荷重と軸変位が測定される。各試験は変位速度0.1mm/minでおこなった。

3. 単粒子破碎強度特性 単粒子破碎試験中、変位の増加とともに軸荷重が増加し、ある所で最大値を示す。この時粒子の母体が完全に破壊されるような破碎を示す。ここでは、その最大値を初期の粒子高さの2乗で除した値を最大破碎強度とし、各試料における平均値を σ_{fm} とした。図-1は、単粒子の初期粒径と破碎強度との関係である。同じ試料あるいは同じ鉱物であれば粒径と破碎強度の関係は、直線で表すことができ粒径が小さければ粒子の破碎強度が増加することを意味している。また同一の粒径で見た場合、しらす、カーボネート砂、まさ土、Silica 砂の順に大きくなることがわかる。

4. 破碎強度に着目した破碎性土の一次元圧縮特性 図-2、図-3は、表-1の試料を用いた一次元圧縮試験により得られた間隙比と鉛直応力、圧縮指数と鉛直応力の関係を示したものである。各試料とも鉛直応力の増加に伴い間隙比が減少し、ある応力域に達すると急激に間隙比が減少することがわかる。また、応力が進むにつれて応力増加に対し間隙比の減少の割合が一定となっている。圧縮指数と鉛直応力をみても、応力の増加とともに C_c が両対数上で直線的に増加する領域がみられる。また、 C_c が最大となった後は応力によらず、ほぼ一

表-1 試料の物理的性質

Sample	G_s	e_{max}	e_{min}	D_{max}	D_{50}	D_{min}	U_c	F_c
Chibishi	2.821	1.574	0.983	2.000	0.613	0.075	2.401	0.000
Quiou	2.700	1.431	0.915	2.000	1.114	0.075	2.299	0.000
Shirasu	2.489	1.494	0.775	2.000	0.175	-	11.749	0.319
Shirasu(cut)	2.307	1.551	1.207	2.000	0.422	0.075	3.384	0.000
Masado	2.587	0.958	0.582	2.000	0.509	-	22.402	0.158
Silica	2.655	0.936	0.588	2.000	0.736	0.180	2.197	0.000

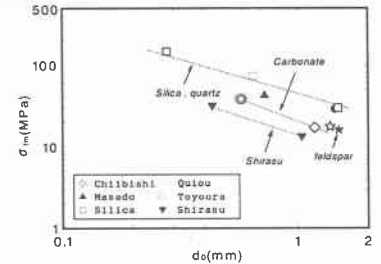


図-1 単粒子強度と初期粒径の関係

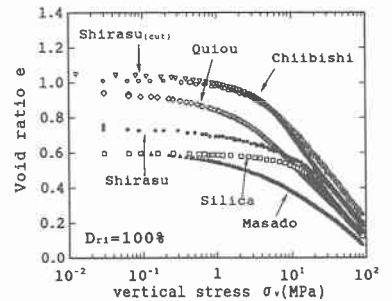


図-2 間隙比と鉛直応力の関係

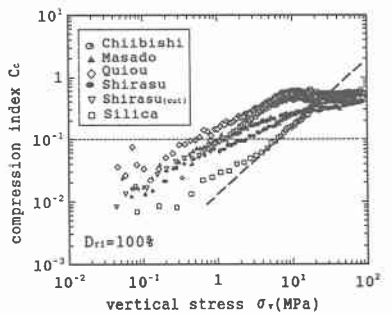


図-3 圧縮指数と鉛直応力の関係

定の値となることがわかる。しかし、間隙比が急激に減少し始める応力レベルや $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線の折れ曲がりの程度は、試料によって大きく異っている。そこで、これら特徴的な挙動に対する初期間隙比や均等係数、単粒子破碎強度の影響を各々検討していく。まず、最大圧縮指数 C_{max} への影響であるが、図-4より今回行った試料では、最大圧縮指数の値は試料によって応力レベルが異なるが、ほぼ 0.5 付近といえる。次に、相対密度 100%、すなわち最小間隙比にもかかわらず間隙比が減少していくのは、粒子破碎が大きな原因であると考えられる。そこで単粒子破碎強度に着目し圧縮指数 C_c がそれぞれ 0.1、0.3、そして最大となるとき鉛直応力と最大破碎強度との関係を図-5に示す。この図において、 $C_c=0.3$ や最大値の応力については、一様な傾向はみられないが、各試料の $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ についてみると、ほぼ右上がりの直線で表され、最大破碎強度が増加するとともに、 $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ も増加することがわかる。また、しらすと細粒分を取り除いたしらすに着目し比較すると細粒分を取り除くことにより、 $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線が急激に折れ曲がることや、図-4から最大圧縮指数を示すときの鉛直応力に大きな違いがあることがわかる。この原因は細粒分を取り除くことにより均等係数が大きく変わったことと考えられる。そこで均等係数 U_c と折れ曲がりの幅 R についての関係を図-6に示した。ここで折れ曲がり幅 R とは $C_c=0.1$ のときの応力 $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ と C_c が最大となる応力 $(\sigma_v)_{C_c=\text{max}}$ の比の対数 $\log((\sigma_v)_{C_c=\text{max}}/(\sigma_v)_{C_c=0.1})$ によって定義される指標である。この図より均等係数が大きくなれば、折れ曲がりの幅も増加している。よって均等係数 U_c は $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線における折れ曲がりの幅に影響を与える要因の一つであり、均等係数 U_c が小さいほど、 $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線において折れ曲がる幅は小さくなるといえる。図-7は、初期間隙比と $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ の関係である。各試料ごとでは初期間隙比の減少とともに $C_c=0.1$ となる応力は増加している事がわかる。図-8は、各試料の初期間隙比一折れ曲がり幅 R の関係である。各試料ごとにもいづれも初期間隙比の減少とともに折れ曲がり幅 R の値は減少していくことがわかる。

5. 結論 本研究では、一次元圧縮挙動に与える粒子強度、均等係数、初期間隙比の影響を把握するために一連の実験的検討を行った。その結果、 $e\text{-log } \sigma_v$ 曲線における折れ曲がり始める応力は、初期間隙比、単粒子強度の影響を、折れ曲がり幅には、均等係数 U_c と初期間隙比の影響を受けていることがわかった。しかし、最大圧縮指数についてはおおむね等しい値を示すことが示された。

(参考文献)

- 1) 加登、原田、中田、兵動、村田“砂のような粒状材料の単粒子破碎特性”第51回土木学会中国支部研究発表会概要集 pp5-6、1999
- 2) 中田、兵動、村田、加登、原田“一次元圧縮挙動に与える砂の粒子形状及び初期間隙比の影響”第51回土木学会中国支部研究発表会概要集 pp7-8、1999
- 3) 破碎性地盤の工学的諸問題に関するシンポジウム報告集、1999

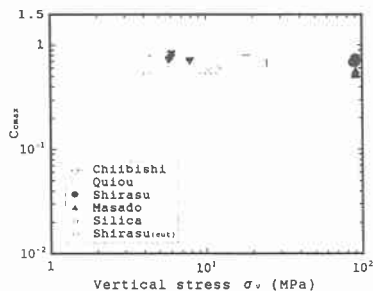


図-4 最大圧縮指数と鉛直応力の関係

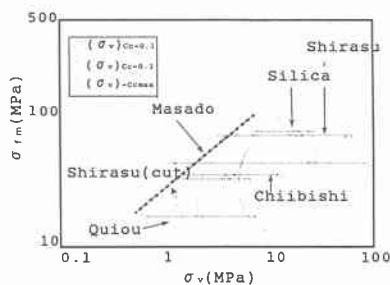


図-5 単粒子破碎強度と鉛直応力の関係

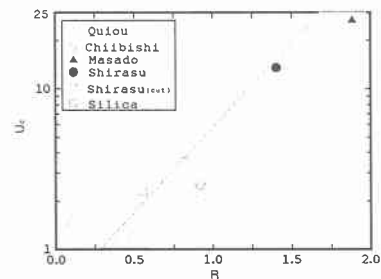


図-6 均等係数と折れ曲がり幅の関係

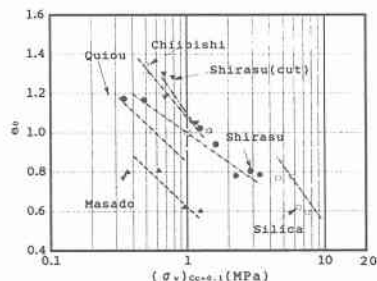


図-7 初期間隙比と $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ の関係

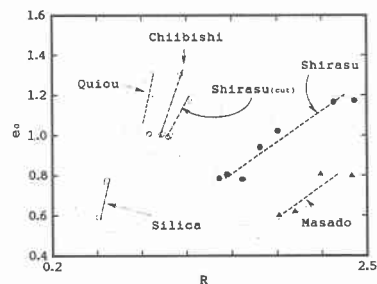


図-8 初期間隙比と折れ曲がりの幅関係