

まさ土の一次元圧縮特性に及ぼす水の影響

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 HAM Tae Gew ○石田修司

1. まえがき まさ土の破碎性に影響を及ぼす主な要因として粒径、粒度分布、風化度などの一次的性質か密度、堆積状態などの二次的性質が挙げられるが、浸水もその一つであると考えられる。これまでの一次元圧縮特性に関する研究では、飽和、不飽和状態に対する検討がなされ、主として飽和度あるいはサクシオンに主眼がおかれていた。^{1),2)}しかし、浸水による粒子破碎の影響は十分に把握されていないのが現状である。本研究では3種類のまさ土を用いて気乾・浸水状態で一次元圧縮試験を行い、圧縮特性に及ぼす水の影響について考察を行うとともに、単粒子破碎強度特性³⁾との関連性について言及した。

2. 用いた試料および一次元圧縮試験方法 用いた試料は韓国のソンドで採取したソンドまさ土(SD)、山口県宇部市で採取した宇部まさ土(UBE)、島根県松江市で採取した松江まさ土(MA)、三河珪砂鉱山で採掘されたシリカ砂(Silica)である。試料の物性値は表-1に示すとおりである。一次元圧縮試験は直径50mmのリング内に、高さ10mmで所定の相対密度を目標にタンピング法で供試体を作成し、鉛直荷重をひずみ速度0.1mm/minの一定速度で増加させて行った。

3. 浸水されたまさ土の一次元圧縮特性 図-1は3種類のまさ土とSilicaを用い気乾状態における相対密度90%の供試体に対して行った一次元圧縮試験の結果を間隙比 e と鉛直応力 σ_v の関係で表したものであり、図中にCasagrande法を用いて求めた圧縮降伏応力を示している。この図から、比較的粒子が堅固なSilicaは鉛直応力が20MPa付近に達すると降伏点が現れ、間隙比が急激に減少する。それに対し3種類のまさ土はいずれも低い応力域において降伏され、間隙比の減少もなだらかであることがわかる。まさ土の中ではMA、UBE、SDの順に低い降伏応力となり、著者らが行った単粒子破碎試験により得られた $\sigma_{fm}(\delta d/d_0=0.1)$ の順³⁾と同一となっている。

図-2は気乾状態における相対密度90%の供試体に対して行ったSDとSilica、また、飽和度100%になるように水を加え、気乾状態と同じエネルギーで供試体を作製した浸水状態のSDとSilicaに対して行った一次元圧縮試験の結果を示したものである。Silicaは気乾、浸水状態いずれも鉛直応力20MPa付近で降伏されており、浸水されたことによる一次元圧縮挙動の違いは見られなかった。それに対し、SDは浸水状態においては初期間隙比が0.877で、気乾状態のそれよりも0.149減少していることがわかる。また、気乾状態に比べ明確な折れ曲がりが見られず、一次元圧縮曲線がほぼ線形的な挙動を示している。本研究では、UBE、MAにも同じ傾向が見られた。

表-1 試料の物性

試料	粒径(mm)	G_s	e_{max}	e_{min}	D_{50}	U_c
SD	~2.0	2.698	1.453	0.897	0.394	20.72
UBE	~2.0	2.649	1.314	0.814	0.509	29.58
MA	~2.0	2.690	1.177	0.638	0.600	15.59
Silica	0.18~2.0	2.650	0.936	0.588	0.736	2.197

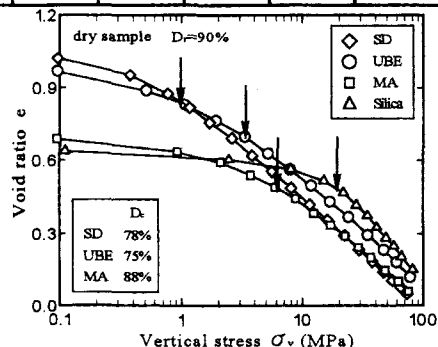


図-1 3種類のまさ土の気乾状態における間隙比と鉛直応力の関係

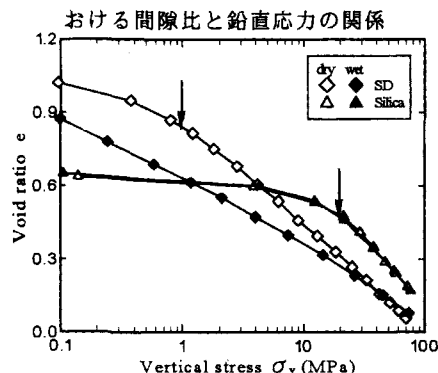


図-2 間隙比と鉛直応力の関係

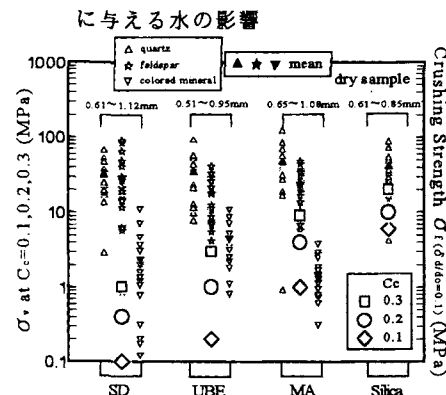


図-3 気乾状態における単粒子破碎強度とある圧縮指数を示す時の鉛直応力の関係

図-3 は 3 種類のまさ土と Silica の気乾状態の単粒子破碎強度 $\sigma_{f(d/d_0=0.1)}$ と圧縮指数 $C_c=0.1, 0.2, 0.3$ における鉛直応力を示したものである。図より、 $C_c=0.1$ において $\sigma_{f(d/d_0=0.1)}$ が高い試料ほど高い鉛直応力を示すことがわかる。これは $C_c=0.2, 0.3$ においても同様な結果であった。また、3 種類のまさ土は $C_c=0.1, 0.2, 0.3$ における鉛直応力は 10MPa 以下を示しているのに対し、Silica は $C_c=0.3$ における鉛直応力は 20MPa を示している。

図-4 は浸水状態における 3 種類のまさ土と Silica の $\sigma_{f(d/d_0=0.1)}$ と $C_c=0.1, 0.2, 0.3$ における鉛直応力を示したものである。Silica は $C_c=0.1, 0.2, 0.3$ いずれも気乾状態と同じ鉛直応力を示している。それに対し 3 種類のまさ土について見てみると、SD や UBE と粒子強度が低い長石や有色鉱物をより多く含む材料の $C_c=0.1$ のときの鉛直応力は気乾状態のそれと比べて小さくなっているのに対し、 $C_c=0.2$ や 0.3 のときの鉛直応力は高くなっていることがわかる。SD や UBE に比べ、長石や有色鉱物がさほど含まれない MA では、浸水状態における $C_c=0.1$ のときの鉛直応力は気乾状態のそれとほぼ同一であるのに対し、 $C_c=0.2$ や 0.3 のときの鉛直応力は SD や UBE と同様高くなっている。図-2 に示すように、SD の浸水状態においては鉛直応力の初期段階から間隙比が急激に減少しており、明確な降伏点が現れていない。浸水状態の降伏応力が不明確で、図解法で求めようとする気乾状態のそれに近い値になる場合もあるが、圧縮指数は低い応力レベルから高くなっていることから、圧縮しやすい状態に変化している。これらを矛盾なく評価するには圧縮指数だけでなく、圧縮性の詳細な評価を行うために破碎量を把握しておく必要がある。

ここでは、破碎量を表すパラメータとして比表面積の変化として与えられる比表面積増加量 ΔS を用いた。その比表面積 S は次式より与えられる。

$$S = \sum \frac{R}{100} \cdot \frac{4\pi(d_m/2)^2}{(4/3)\pi(d_m/2)^3 G_s \gamma_w} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (1)$$

R は各粒径の試料の残留率を表し、 γ_w は水の単位体積重量 (kN/m^3)、 d_m は平均粒径であり、 $d_m = \sqrt{d_1 \cdot d_2}$ (d_1, d_2 は二つのふるい目寸法) である。比表面積の値は粒子破碎が生じることにより増加するものである。比表面積増加量 ΔS は試験前後の比表面積の差で $\Delta S = S_{\text{after}} - S_{\text{before}}$ (S_{before} は試験前の比表面積、 S_{after} は試験後の比表面積) である。図-5 は MA と Silica の $e-\log \sigma_v$ 曲線と同時に粒子破碎の進行状況を示したものである。Silica は鉛直応力 10MPa あたりから粒子破碎が生じているのに対し、MA は気乾、浸水状態いずれもより低い応力域で粒子が破碎している。その MA については、浸水されることでより顕著に粒子が破碎している。これらのことから、単粒子破碎試験の結果から推測されるように集合体においても単粒子破碎強度の低いまさ土は低い応力域から粒子破碎が生じ、高い圧縮性を示している。つまり、まさ土は浸水されることにより破碎量が増加し、より圧縮性が高くなる試料である。

4. まとめ 本研究では浸水されたまさ土の一次元圧縮特性の把握を行った。その結果、浸水状態における一次元圧縮曲線は線形的な挙動を示し、低圧域において気乾状態よりも高い圧縮性を示す結果が得られた。これは、浸水されることによりまさ土が破碎を起こしやすくなることによるものであることを示した。

【参考文献】1) 土質工学会, 風化残積土に関する発表論文集, 1988. 2) Nishida, K. (1999): Peculiarities of properties and problematic behaviour of residual soils, Proceedings of the international symposium on problematic soils (IS-TOHOKU'98, Sendai, Japan, 28-30th October, 1998), pp.865-884. 3) 芝尾朋子 他: まさ土の単粒子破碎特性に及ぼす水の影響, 第 55 回土木学会中国支部研究発表会 (投稿中) 4) 三浦哲彦・山内豊聡 (1977): 砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論文集, No.260, pp.109-118

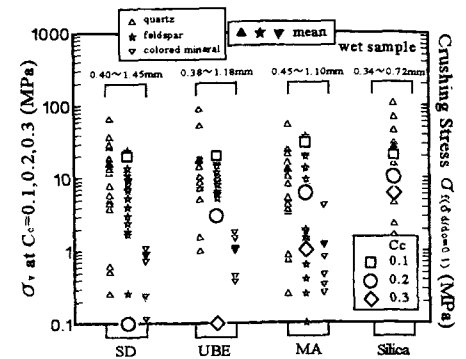


図-4 気乾状態における単粒子破碎強度と

ある圧縮指数を示す時の鉛直応力の関係

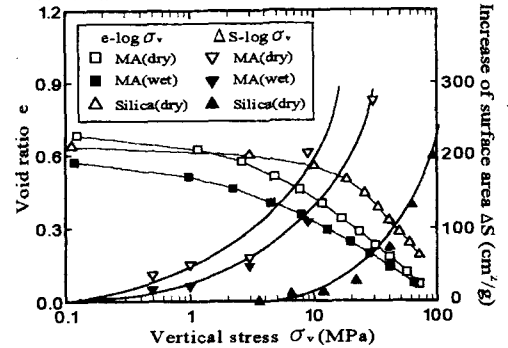


図-5 比表面積増加量に与える水の影響