

単粒子強度に着目したまさ土の締固め特性

山口大学大学院
山口大学工学部
舞鶴工業高等専門学校
（株）中国電力

学生員
正会員
正会員
正会員

○HAM, Tae-Gyu
中田幸男 兵動正幸 村田秀一
加登文学
篠田龍一

1. まえがき まさ土は花崗岩類岩石が長年の風化変質過程を経て土の形態にまで変化したもので、日本、韓国、中国を始め全世界に広く分布し、土木工事用材料として各方面で盛んに使用されている。石英に加え、長石、有色鉱物などの鉱物で構成されているまさ土は圧縮性の顕著な土質であり、“特殊土”として取り扱われている¹⁾。その高い圧縮性は主として粒子の破碎が原因であることが知られている。そこで本研究ではまさ土の破碎性と締固め特性の関係を究明するために単粒子強度を用いて考察した。

2. まさ土の一次的性質 本研究では、山口県宇部市で採集したまさ土と韓国の仁川（Inchon）市のソンドで採集したまさ土の 2mmふるい通過分を試料として用いた。また比較のために粒度分布を 0.18mmから 2.0mmに調整した Silica 砂を用いた。以下それぞれの試料を“UBE” “SD” “Silica”と呼称する。表-1 にそれらの物性値を示した。

図-1 は全試料の実験前

の粒径加積曲線を示している。各試料に含まれている鉱物を調べるために 75μm 以下の細粒

表-1 用いた試料の物性値

試料	粒径 (mm)	Gs	e _{max}	e _{min}	D ₅₀	強熱減量 (%)	Uc	σ _{fm} (MPa)
Silica	0.18~2.0	2.65	0.93	0.58	0.736	1.184	2.19	74.2
UBE	~2.0	2.6	1.31	0.81	0.509	3.995	22.4	48.18
SD	~2.0	2.66	1.44	0.89	0.394	5.295	10.27	33.63

分を用いて X 線回折試験を行った結果、Silica は石英と若干の雲母が含まれていることが確認でき、UBE、SD にはいずれも石英、長石、雲母、カオリナイトが含まれていることが確認された。この結果を受けてそれぞれの試料において平均粒径 D₅₀ を取り出し水洗いをした後、鉱物の割合を分類した。図-2 にその結果を三角座標で示す。Silica は石英と有色鉱物の 3 種類に分類された。図より Silica は石英が 96%を占め、ほとんどが石英であることがわかる。UBE、SD の石英の割合は 50%でほぼ同じであるが、SD は有色鉱物を 30%含んでいるのに対し、UBE の有色鉱物の割合は 9%と低い。

3. 単粒子強度²⁾ 単粒子破碎試験は単一の粒子を上下の盤で拘束し、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あり、試験中に軸荷重と軸変位が測定される。各試験は変位速度 0.1mm/min で行った。単粒子破碎試験の最大破碎強度 σ_fは式(1)により求められる。

$$\sigma_f = \frac{F_f}{d_0^2} \dots\dots (1)$$

ここで、F_fは試験中の最大荷重であり、d₀は粒子の初期高さを表す。

粒子の強度は、粒子サイズ、形状、構成鉱物、粒子内の欠陥

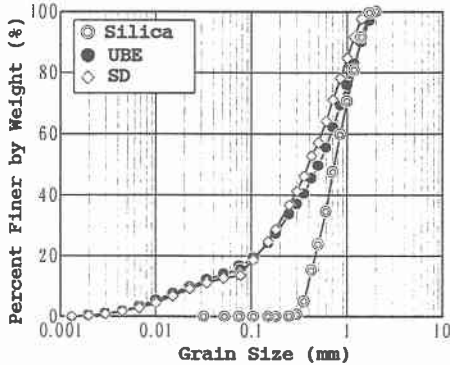


図-1 初期粒径加積曲線

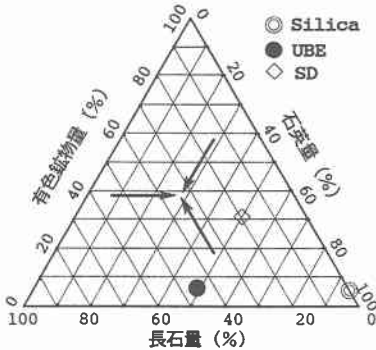


図-2 鉱物の割合

などによって大きく変化する。したがって、単に粒子強度の絶対量だけではなく、そのばらつき（分散）を把握しておくことも重要である。加登ら²⁾は粒子強度のばらつきを①粒子サイズに起因する分散 $V(X)$ 、②粒子サイズ以外の要因による分散 $V(Y)$ に分類して、それぞれが独立した分散であると仮定して、その試料に含まれている粒子全てに対する破碎強度の分散 $V(X+Y)=V(X)+V(Y)$ を求めている。本研究では②の粒子サイズ以外の要因による分散 $V(Y)$ は主に構成鉱物による分散であると考えた。また、材料の引張強度のばらつきは式(2)のある Weibull 関数で表すことができる。

$$P_s = \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_{fm}} \right)^m \right\} \dots \dots (2)$$

そして、式(2)で示される Weibull 分布における分散値 V' は次式により定義される。

$$V' = \Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \dots \dots (3)$$

式(1)による分散 $V(X+Y)$ と式(3) V' を等価とみなすことより Weibull 係数 m が得られる。ここで σ_{fm} は平均粒径の平均単粒子破碎強度である。図・3 はこのように計算され、 m によって示した今回用いた全試料の粒子が破碎しない確率分布である。この図から Silica より SD と UBE は単粒子強度のばらつきが大きく、平均単粒子強度の値が小さいことが見て取れる。

4. 締固め特性 締固め試験は、JIS A 1210 A-b に示される方法で行い、突き固め回数を 15, 25, 35, 50 回に変化させた。試験終了後の各試料は、水洗いをしながらふるい分析を行い粒子破碎量を調べた。図-4 は突き固め回数 25 回における締固め試験の結果である。縦軸に乾燥密度を最大最小密度試験（地盤工学会基準 JGS 0161）から得られる最大密度で正規化した $\rho_d / \rho_d(\max)$ を表し、横軸は含水比を示している。 $\rho_d(\max)$ は粒子破碎が起こらない状態での最大の密度といえる。この図から粒子破碎を伴う粒子の再配列による密度増加は UBE が最も大きく、Silica では $\rho_d / \rho_d(\max)$ が 1 以下であることから粒子破碎を伴う粒子の再配列による密度増加は生じないことがわかる。また図-5 に含水比と細粒分増加量の関係を示している。Silica は含水比が増加しても細粒分が増加していないのに対し、UBE と SD は含水比の増加に伴い細粒分が増加することが認められる。また UBE は締固め回数が増加しても細粒分の増加量は変化しないが、SD は含水比 10%以上を超えると顕著に増加することがわかる。以上のことから土の締固め特性には粒子の破碎性の影響が大きいことが明らかとなったが、単純に破碎量が多い材料が締固め易い材料とはいえないことも示された。

4. まとめ 単粒子破碎試験から、まさ土は Silica と比べて粒子強度が低く、また粒子強度のばらつきが大きい試料であることがわかった。また、締固め試験から 2 つのまさ土は粒子破碎を伴う粒子の再配列により密度増加が大きくなることが判明した。しかしながら単純に破碎量が多いほど締固め易い材料とはいえないことも明らかになった。

《参考文献》 1)土木学会編(1969):「土質試験法」,pp.515~542. 2)加登文学・中田幸男・兵動正幸・村田秀一(2002):破碎性材料の粒子特性と一次元圧縮特性,土木学会論文集, No.701/Ⅲ-58, pp.343~355, 2002.

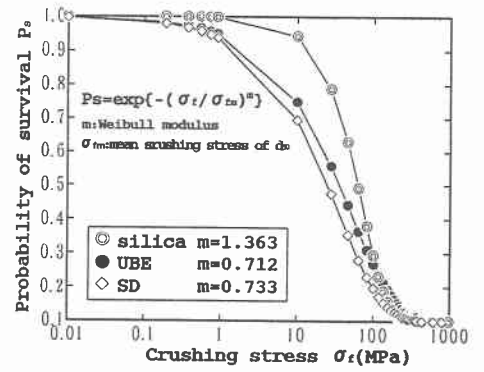


図-3 粒子が破碎しない確率分布

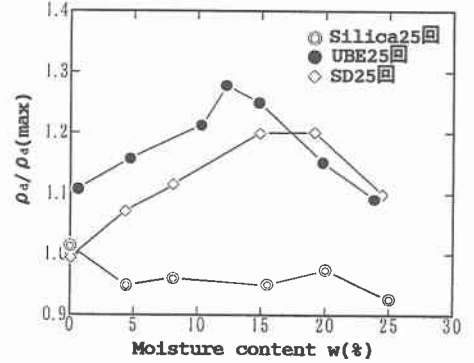


図-4 $\rho_d / \rho_d(\max)$ と含水比の関係

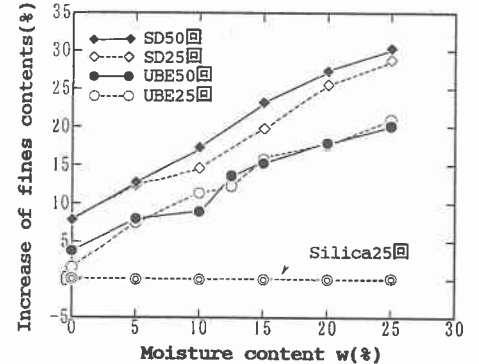


図-5 含水比と細粒分増加量の関係