規格外瓦破砕材シャモットの地盤材料としての物理・力学的特性

名古屋工業大学大学院　学生会員　○堀　智之
名古屋工業大学　正会員　張　鋒，前田　健一
愛知県陶器瓦工業組合　神谷　環光
名古屋工業大学大学院　学生会員　近藤　明彦

1. はじめに

これまで産業廃棄物として扱われてきた規格外瓦は，舗装材等に有効利用され始めているものの，全量利用には至っておらず，製品原料の在庫量が過剰になるという問題がある．一方，規格外瓦の破砕材は，粒子が化学的にも安定した物質であり，多孔質であることから軽量であることに加え，その離散性から砂礫と同様な性質が期待できる．そこで，本研究では規格外瓦破砕材シャモットの物理的特性，力学的特性を調べることで地盤材料としての性能を評価し，効果的な使用法の提案を目指すこととした．本論文ではシャモットを地盤材料として評価[1)]した結果にについて報告する．

2. 物理的試験結果および考察

2.1. 土粒子の密度試験（JIS A 1202）

本試験では2種類の状態の試料を用いた．1つはシャモットをそのまま用いた試料（破砕前試料図1(a)(b)），もう1つは乳鉢で破砕させた試料（破砕後試料図1(c)）である．試験は1種類につき5回行い，上下を切った3回の平均値を試験結果とした（表1(a)）．今回の結果では破砕によって密度が増加していることから，粒子内部に空隙が存在する多孔質な材料であることが確認できた．

(a)破砕前試料　(b)粒子の拡大写真　(c)破砕後試料
図1　用いた試料の様子

2.2. 砂の最小密度・最大密度試験（JIS A 1224）

試験結果は表1(b)のようになった．また，e_{max}-e_{min}=0.481となり，豊浦砂の値が0.378であることを考えると，比較的角張った試料であると考えることができる．

2.3. 土の粒度試験（JIS A 1204）

試験結果を図2，表1(c)に示す．広範な粒度を持った材料であり，細粒分を多く含んだ材料であることがわかる（図中には比較のために，豊浦砂の粒径加積曲線を示している）．

2.4. 土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）

液性限界試験では流動曲線を求めるために必要な所定の黄銅皿落下回数の結果を測定出来なかった．また，塑性限界試験においてもφ3mmのひも状に整形出来なかった．よって，結果はNP（非塑性）となった．

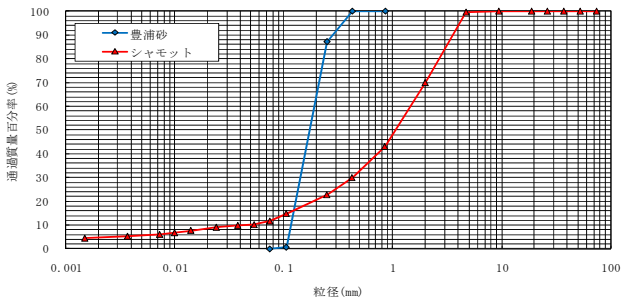

図2　粒径加積曲線（シャモット，豊浦砂）

表1　物理的試験結果

(a) 土粒子密度		(b) 最小密度・最大密度		(c) 粒度試験	
破砕前 ρ (g/cm^3)	2.555	ρ_{smin} (g/cm^3)	1.222	D_{50} (mm)	1.062
破砕後 ρ (g/cm^3)	2.608	ρ_{smax} (g/cm^3)	1.587	U_c	30.4
(d) 液性限界・塑性限界		e_{max}	1.091	U_c'	2.6
NP（非塑性）		e_{min}	0.610		

3. 力学的試験結果および考察

3.1. 土の一面せん断試験（JGS 0561）

定圧一面せん断試験を行った．結果を図3に示す．破壊時の内部摩擦角φはσ_c=100kN/m^{2}の時，相対密度11.1%のケースで約42°，相対密度84.1%のケースで約49°となり，豊浦砂のφが30°～40°程度であることから，比較的φの高い材料であることがわかる．この理由として，粒子表面の粗度が，摩擦角や形状の凹凸としての効果を発揮[2-3)]していることが考えられる．また，τ-σ関係は粘着力を期待できないと判断しベキ関数で近似すると，図中に示すように，若干の拘束圧依存性を持つことがわかる．

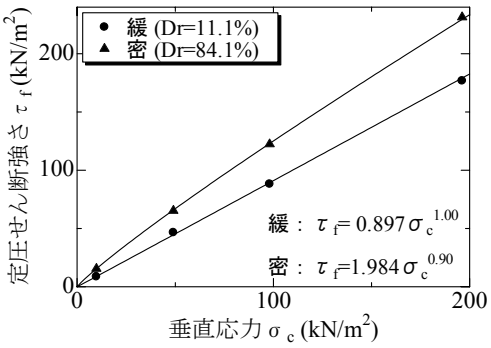

図3　土の一面せん断試験結果

キーワード　瓦破砕材、強度、透水性、締固め
連絡先　〒466-8555　愛知県名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学　TEL：052-735-5497

3.2. 土の透水試験（JIS A 1218）

定水位透水試験で試験を行った．得られた透水係数は初期間隙比 $e=0.922$（$Dr=35\%$）の試験条件において 5.70×10^{-3}（cm/s）であり，細砂程度の高い透水性を持つ材料であることがわかった．

3.3. 土の圧密試験（JIS A 1217）

段階載荷による圧密試験を行った．結果を図4に示す．全載荷段階において，90%圧密が終了するまでに要する時間 t_{90} は非常に小さく，0.2min 程度で各段階における最終圧密量の大半を終了する結果となった．圧密速度は速く，圧密量は小さい材料であり，砂に近い挙動を示した．

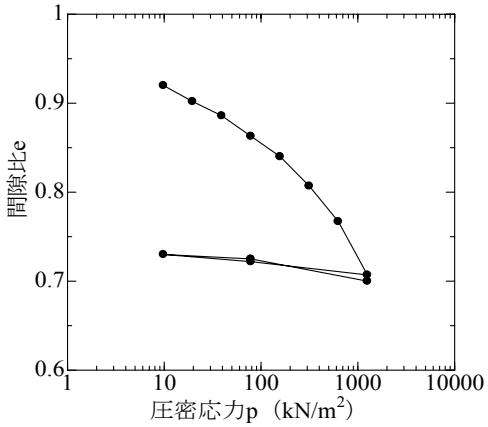

図4　土の圧密試験結果：間隙比と圧密応力

3.4. 突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）

試験方法としては，B-b 法（乾燥法，非繰返し法）を採用した．この結果を図 5 に黒線で示す．一般的に知られている締固め曲線は上に凸であるが，今回の結果では下に凸の曲線となり，最適含水比を求めることが出来ない．この結果の要因として，①締固め時の粒子破砕による粒度変化がもたらす間隙比の変化②粒子自体の吸水による含水比評価値のずれの 2 点を考えた．

まず，含水比 1.7%，14.9%，19.2%の 3 点について粒度変化を調べたが，締固め曲線に影響を及ぼす程大きな粒度変化は見られなかった．

次に，水の影響を考慮し，試験方法を 2 点において改良し，締固め試験を行った．1 点はモールド底部を塞ぐことで底部からの排水を阻止したこと[4]である．もう 1 点はシャモットの吸水の影響を除くために24時間吸水させた後に実験を行うことである．この改良した試験方法による結果が図 5 の赤線である．吸水シャモットを用いた場合にはゼロ空気間隙曲線近くで上に凸となった．0～5mm 粒径シャモットによる試験においてもシャモットは不完全ながら吸水していることが考えられ，吸水の影響を十分に考慮することで 2 つの曲線は理論上では 1 つの締固め曲線を描くことが考えられる．このような締固め特性を考慮し，実際に地盤材料として用いる際には降雨時の含水比上昇も想定し，17%程度の締固め含水比で管理することが考えられる．

他の材料との比較を図 6 に示す．乾燥密度や最適含水比の不明瞭さ等を考えると粘土や粒度の悪い砂と似た傾向を示していることがわかる．

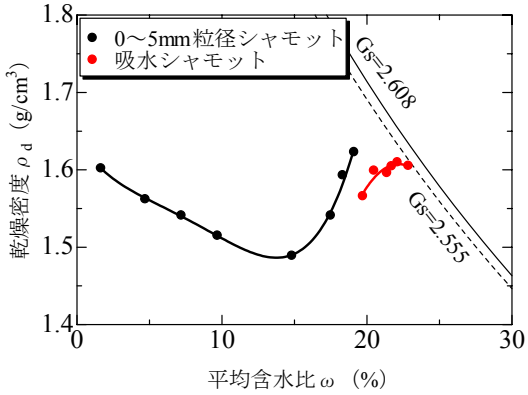

図5　突固めによる土の締固め試験

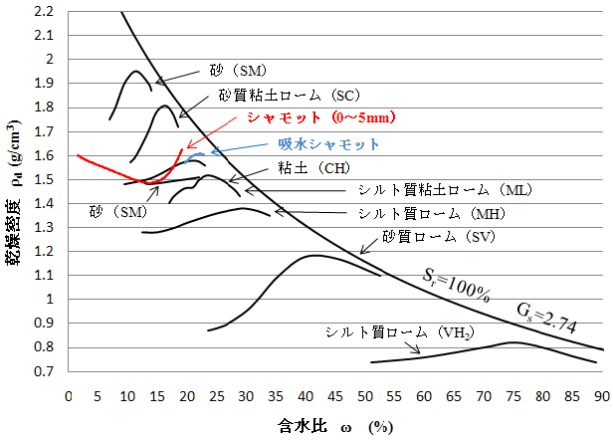

図6　土の締固め曲線（他の材料との比較）

4. おわりに

表面の粗度が高く，角張った多孔質の材料であるため，内部摩擦角が高く，比較的軽量であるという長所がある．また，透水性もよく圧密沈下しにくいことなどを考えても砂に近い材料として取り扱い可能であると言える．

材料として安価であること，軽量であることを考えると，流動化処理工法における骨材としての使用，スラグのようにパックドレーンなどの中詰め材料やドレーン材（粒度調整をある程度自在に可能かどうか，非排水時の挙動の確認）としての使用，暗渠やトレンチなどの裏込め材などとしての用途も考えられる．また，価格と安定提供可能量としては震災復興支援に貢献できることも検討可能と考える．

≪参考文献≫

1) 地盤工学会: 土質試験　基本と手引き, 社団法人地盤工学会, 2001
2) Maeda, K. et al.: Stress-chain based micromechanics of sand with grain shape effect, Granular Matter, Vol.12, No.5, pp.499-505, 2010.
3) K. Maeda and H. Hirabayashi: Influence of grain properties on macro mechanical behaviors of granular media by DEM, Journal of Applied Mechanics, Vol.9, JSCE, pp.623-630, 2006.
4) 松尾新一郎・福本武明: “マサ土の破砕性に影響する諸要因”, 土質工学会論文報告集, Vol.16, No.4, pp.85-92, 1976