

液状化した砂の膨張特性

科学技術振興事業団 正会員 ○藤井 敏美
 福山大学工学部 正会員 西原 晃
 福山大学工学部 正会員 柴田 徹

はじめに

本研究は地震などで液状化した後の地盤の力学挙動を解明するために、液状化砂の膨張特性(体積変化率)を実験的に調べることを目的とした。

1. 実験の方法

図-1の装置を用いて、浸透水によるクイックサンド実験を行なった。使用した実験試料は、粒径の異なる3種類の砂、および4種類のガラスビーズである。

土槽は補強したアクリル製円筒で、タンクAとB間に水位差を与えることで、底部から上向き浸透を生じさせる。図示の位置に3個の間隙水圧計を設置し、それらの差から図-1 クイックサンドの実験装置動水勾配を求めた。浸透水流速は、タンクBからの越流水を経時的に計量して求めた。

2. 実験結果の概要

豊浦砂に対する浸透実験結果を図-2に示す。図-2より、以下のような特徴が指摘できる。

1) 流速 v が限界値 v_c 以下では、 v と動水勾配 i とが比例関係にあり、Darcy則が成立する。 v_c は限界動水勾配 i_{cr} に到達時点の v に対応しており、この $v \leq v_c$ 間では間隙比 e の変化はみられない。

2) 限界動水勾配 i_{cr} は粒子比重を G_s として、

$$i_{cr} = (G_s - 1) / (1 + e) \quad (1)$$

で与えられ、 $v > v_c$ の範囲では、間隙水圧計から求めた i が、式(1)の値とほぼ一致している。

3) $v > v_c$ の範囲では、間隙比 e が流速 v にほぼ比例して増加する。

3. 膨張率と流速の関係

体積膨張率は

$$V_L / V_0 = (1 + e) / (1 + e_0) \quad (2)$$

キーワード 液状化、膨張、粘性、浸透水流、融点。

連絡先 〒729-0251 広島県福山市学園町1番地三蔵 福山大学 TEL 084-936-2112 FAX 084-936-2023

で定義される。ここに e_0 は液状化する前の初期間隙比である。図-3は砂およびガラスビーズに対する実験結果の中から、代表的な膨張率 $V_L / V_0 \sim$ 透水流速 v 関係をプロットしたものである。

この図には、比較のために吉見らの実験結果¹⁾も併記してある。図-3より $v > v_c$ の範囲で $V_L / V_0 \sim v$ 関係はほぼ

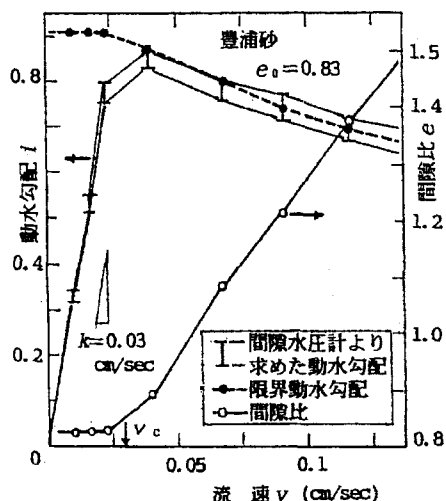


図-2 浸透水流に対する動水勾配、間隙比の変化(豊浦砂)

と、砂とガラスの各グループ別にみて、粒径が大きくなるほど直線の勾配(膨張係数)は小さく、限界流速 v_c は大きくなることが分かる。

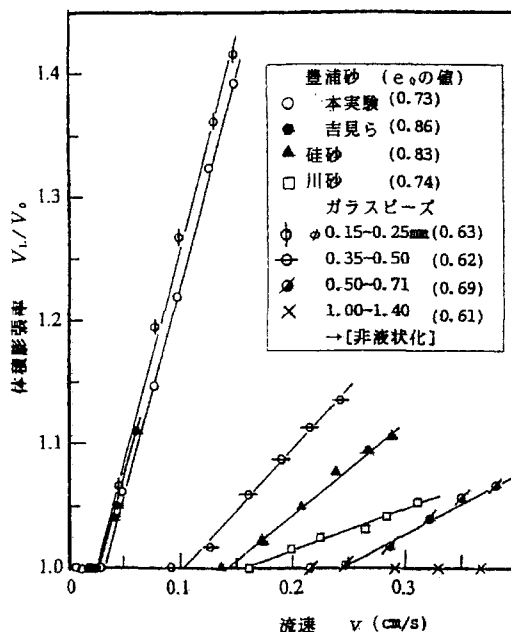


図-3 浸透流速と膨張率の関係(代表例)

これらの関係を式示すると

$$v > v_c: V_L/V_0 = 1 + \delta_w(v - v_c) \quad (3)$$

となり、 δ_w は膨張係数である。ここで物質を加熱したときの膨張に関して、

$$V_L/V_0 \cong 1 + \delta(T - T_m) \quad (4)$$

が成り立つ。²⁾ただし T_m は物質の融点(絶対温度)、 δ は加熱による膨張係数である。上記の式(3)と(4)を比較すれば、粉粒体を液化させるときの浸透水流速 v は、加熱による融解時の温度 T に対応し、限界流速は融点に相当するといえる。

4. 限界流速と粒径の関係

限界流速 v_c は、限界動水勾配 i_{cR} とDarcy則を用いて、

$$v_c = k \cdot i_{cR} \quad (5)$$

と書ける。また透水係数 k はPoiseuilleの式を基本にして次式で表わされる³⁾。

$$k \cong C \gamma_w e^3 D^2 / (50(1+e)\eta) \quad (6)$$

ここに C ；粒子溝造係数、 γ_w ；水の単位体積重量、 D ；粒子径、 η ；水の粘性係数である。したがって v_c と D の関係としては、近似的に次式が成立する。

$$v_c \propto D^2 \quad (7)$$

図-4は、 v_c と粒径(平均粒径 D_{50})の関係をプロットした結果である。

この図には、参考のために間隙比 e を0.7~0.9とし、

宇野⁴⁾の提案式から求まる関係を網目の範囲で併記した。データはばらついてはいるが、今回の実験でも式(7)の成立が認められる。

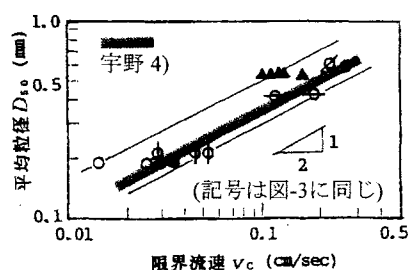


図-4 限界流速と粒径の関係

5. 膨張係数と限界流速の関係

粉体工学の分野における研究例²⁾で、液状化させた粉体の体積変化や粘性特性の関係を表したものに次式がある。

$$\delta_A U_c \cong 1/6 \quad (8)$$

ここに δ_A ；空気流による膨張係数、 U_c ；液化する時の限界流速である。上記の式(8)は U_c が大きいほど δ_A が小さいことを表わしており、これは加熱による融解現象において、融点 T_m が高い物質ほど膨張率 δ が低いという特性に対応すると考えられる。この関係が砂やガラス

ビーズを用いた浸透水流の場合にも当てはまるかどうかを次に検討する。

図-5は均等粒径材料の場合に、 D_{50} に対する膨張係数

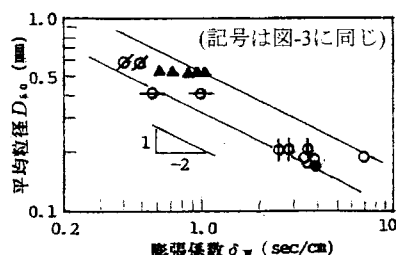


図-5 膨張係数と粒径の関係

δ_w をプロットしたものである。粒径が細粒になるほど膨張係数は大になる傾向を示しており、おおむね

$$\delta_w \propto (D_{50})^{-2} \quad (9)$$

と表わすことができる。先に導かれた式(7)で $D=D_{50}$ とし、式(9)と組み合わせると、 v_c と δ_w の積は一定となる。図-6は各実験データに基づき、液状化後の体積膨張係数 δ_w と、液状化発生時の限界流速 v_c を求めて、両対数表示したものである。図-6より、以下のような考察ができる。

図中には

$(\delta_w \cdot v_c)$ の値

を記入しているが、それによると古川・大前の送気実験で得られた

$(\delta_A \cdot U_c) = 1/6$ を上限とし、

川砂の1/16程度を下限とする範囲内に収まっている。

古川・大前

の送気実験用 図-6 限界流速と膨張係数の関係
材料、および今回の豊浦砂・硅砂・ガラスビーズはいずれも均等粒径である。それに対して $(\delta_w \cdot v_c) = 1/16$ の川砂は均等係数=2.33であった。このように、粒径の均等程度の違いが $(\delta_w \cdot v_c)$ の値に影響する可能性が考えられる。

おわりに

本実験は上向き浸透水流に対するもので、その成果は地盤の堀削時に発生するボイリング問題の解決にも寄与できると考えている。砂のような粉粒体の液状化は、固体を加熱したときの融解現象にたとえられる。その際に「温度」の働きをするのは浸透水の「流速」であることが明らかになった。つまり浸透水流速が増えて液状化に至る過程での体積膨張が「流速」を「温度」に置き換えることによって解釈できることになった。

参考文献

- 1) Y. Yoshimi, et al.: One-Dimensional Volume Change Characteristics of Sands under Very Low Confining Stresses, S&F, Vol.15, No.3, pp.51-60, (1975).
- 2) J. Furukawa, T. Ohmae: Liquidlike Properties of Fluidized Systems, Industrial & Eng. Chemistry, Vol.50, No.5, pp.821-828, (1958).
- 3) 山口拍樹: 土質力学(全改定), 技報堂出版, p.56, (1994).
- 4) 宇野尚雄: 土の浸透破壊の発生・拡大機構に関する研究, 文部省科研費補助金研究成果報告書, pp.4-9, (1990).