

粘土を含む砂の液化について

大原 資生*・安永 文夫**・藤井 信夫*

Experimental Study on Liquefaction of Saturated Sand Contained a Little Clay.

Sukeo ŌHARA, Fumio YASUNAGA and Nobuo FUJII

Abstract

Experiments on the liquefaction of the saturated sand contained a little clay, were carried out, in order to clarify the effect of the cohesion and the clay contents on liquefaction.

Soils used in this experiment are Shingu coarse sand contained a clay at the rate of 5~15%.

The results of this experiment are follows.

- (1) In the cohesive sand, occurrence of the liquefaction determined simply by the ratio $(\tau_d - c)/\sigma_v'$ (τ_d : repeated shear stress, c : cohesion, σ_v' : initial confining pressure).
- (2) In this experiments, the liquefaction of the sand contained clay at the rate of 20% over, is difficult to occurrence.

1. 緒 言

ゆるく堆積した砂層がせん断振動をうけた場合に液化するという現象を Liquefaction といい、その土質工学的な研究が各所で行われている。

われわれの実験室でも純粋な砂についての実験をほぼ完了し、現在、砂よりさらに微細な粒径をもつシルトと特殊土壌として有名なシラスについての実験を行っているが、一般の砂質土でもある程度の粘土分を含んでいるという意味から、また粘着力の存在が液化にどのように影響するかということをしらべるために、試料として砂に粘土を加えたものを用いて液化の実験を行った。用いた装置は動的な単純せん断試験機で、試料は新宮粗砂に粘土を混合したものである。

その実験および結果についてのべる。

2. 試 料

この実験に用いた試料は平均粒径0.82mmの新宮粗砂に、平均粒径0.0072mmの粘土を、含有率(乾燥重量比)がほぼ5%, 10%, 15%となるように加え、飽和状態で用いた。

試料を飽和させるには、いつものように所定の重量の試料をビーカーに入れ、脱気水に十分浸し、それを湯煎しながら攪拌をくり返して完全に脱気した後、さ

らに24時間放置した。

新宮砂およびそれに混合した粘土の粒度分布曲線は Fig. 1 に示した。

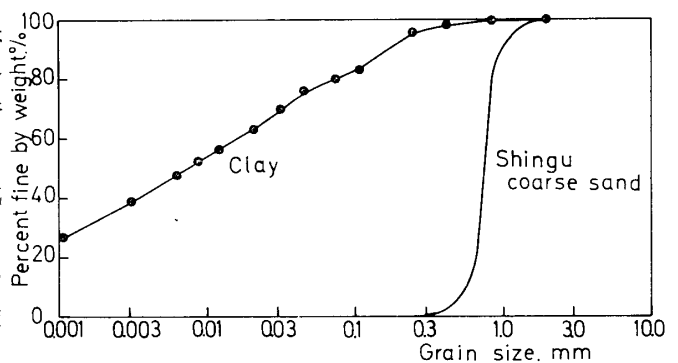


Fig. 1 Grain size distribution curve

3. 実験装置および実験方法

この実験に用いた装置はわれわれの実験で試作し砂の液化実験にも用いられている動的単純せん断試験機である。その詳細は前論文¹⁾にもあるので、ここでは省略し、その概要だけをのべる。

せん断箱は Kjellmann 型で、供試体は直径 75 mm、厚さ 20mm であり、ゴムスリーブの中に収められている。その外側には厚さ 2 mm、内径が 75.2 mm、外径が 96 mm のアクリル・リングが 12~14 枚積み重ねられた状態ではまっている。

* 土木工学科

** (財)大阪土質試験所

上部加圧板は水平方向に固定され、下部加圧板は試料合に固定されていて、これに押し引きの力が加わるために供試体にせん断力が加わる。

押し引きの力は複働式のエアシリンダーの左右の圧力室の圧力を交差的に高めることによって生じる。

この装置では2個のシリンダーを並列に使い、試料合に押し引きの力を与える役目をしない方のシリンダーのピストンロッドを偏心板に接続してピストンを往復運動させることによって、供試体に与えられる押し引きの力を正弦波状に変化している。周期は0.5秒である。

この実験では、緒言でのべたように粘土の含有率がどの程度まで増加すれば液化が生じないか、また粘土によって生じる粘着力が液化の発生にどのように影響するかということをしらべるのが目的であるので、一応、鉛直圧が0.3kg/cm²の場合だけについて実験を行なってみた。

飽和した供試体を作るには前述のようにして準備した試料を水と一緒にせん断箱に装着したゴムスリーブの中に流しこみ、タンパーによって適当な力で締め固め、相対密度を3段階変化した供試体について実験を行なった。ただし、粘土の含有率が異なった試料すべてを通して同一の相対密度をもつ供試体は作ることはできなかった。この原因は、粘土粒子は砂の間げきの中に入りこむので、粘土の含有率が多くなると供試体の相対密度は当然大きくなるからである。

このようにして作られた供試体を鉛直圧0.3kg/cm²で圧密する。圧密の完了は間げき水圧計で測定する。この装置では供試体の間げき水圧は下部加圧板の透水板を通して得られた間げき水圧が測定される。間げき水圧計は受圧面の直径が6mmの電気抵抗線ひずみゲージ型のものである。

圧密の完了によって供試体の初期有効圧は0.3kg/cm²となるので、この状態でエアシリンダーに送りこむ空気圧を調節して、適当なせん断応力を供試体が液化するまで加える。その際の間げき水圧、せん断ひずみの変化および加えられるせん断応力をペン書きオシログラフに記録する。

4. 実験結果および考察

Fig. 2がこの実験の記録例であり、これは粘土の含有率が14.4%、初期間げき比が0.5の場合のものである。通常の砂の場合の液化状態と特にかわった点は、この記録からは認められない。

これらを従来通りにくり返しせん断応力 τ_d と初

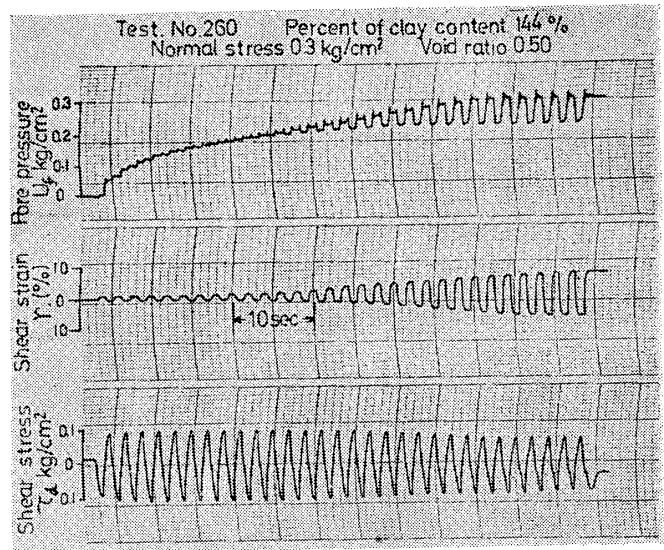


Fig. 2 Record of dynamic simple shear test

期有効圧 σ_v' の比(これを以後、応力比という) τ_d/σ_v' と液化を生じるに要するせん断応力のくり返し回数 n_L との関係で整理したのが、Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5の実線の付近にプロットした点である。これらはそれぞれ粘土含有率が、5.6%, 10.4%, 14.4%の場合の結果である。

これらの図を比較するとわかるように、粘土の含有率が增加すると、液化を生じるに要する応力比 τ_d/σ_v' の値が全体的に大きくなっていることがわかる。

この原因として考えられるのは、まず粘着力の増加であろう。

そこで、Fig. 2のような記録から初期液化が生じた時点の有効圧を求め、それを横軸にとり、それとせん断応力 τ_d との関係を書けばFig. 6, Fig. 7, Fig. 8が得られる。これらは一種のせん断破壊の結果を示すもので、これらの図は液化時の試料のモール・クーロンの破壊線と考えることができる。この線から求めた粘着力、内部摩擦角が、各図中に示してある。当然のことながら粘土含有率が多い試料ほど粘着力は増加し、内部摩擦角は低下していることが明らかである。

いま、粘着力のある場合の初期液化時の限界応力条件を次のように考察する。すなわち

$$\tau_d = c + (\sigma_v' - u_f) \cdot \tan \phi \quad (1)$$

ここに τ_d : くり返しせん断応力

c : 粘着力

σ_v' : 初期有効鉛直圧

u_f : 初期液化時の間げき水圧

ϕ : 内部まさつ角

が成立つものとする。

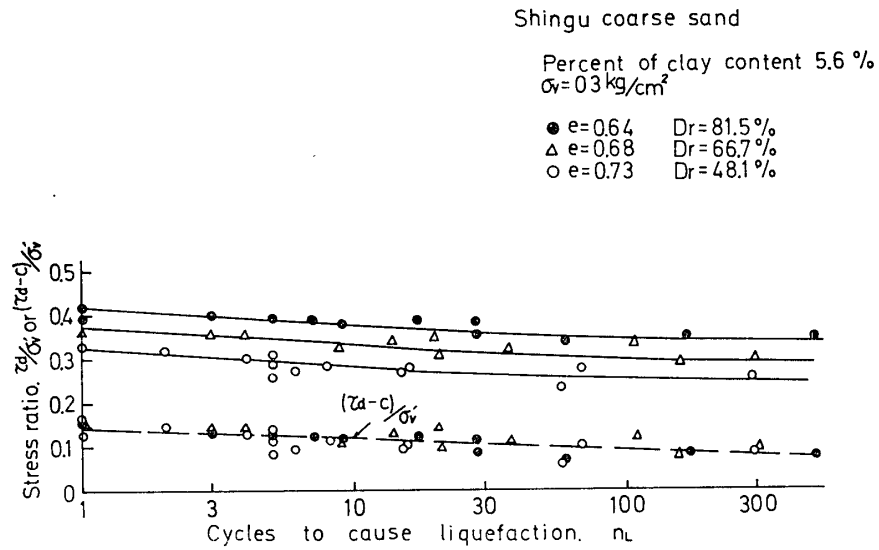


Fig. 3 Stress ratio required to cause liquefaction

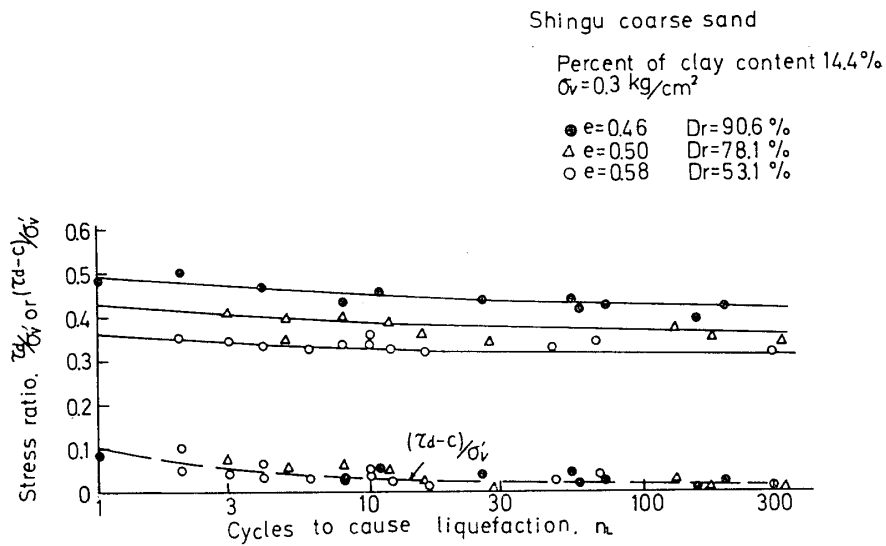


Fig. 4 Stress ratio required to cause liquefaction

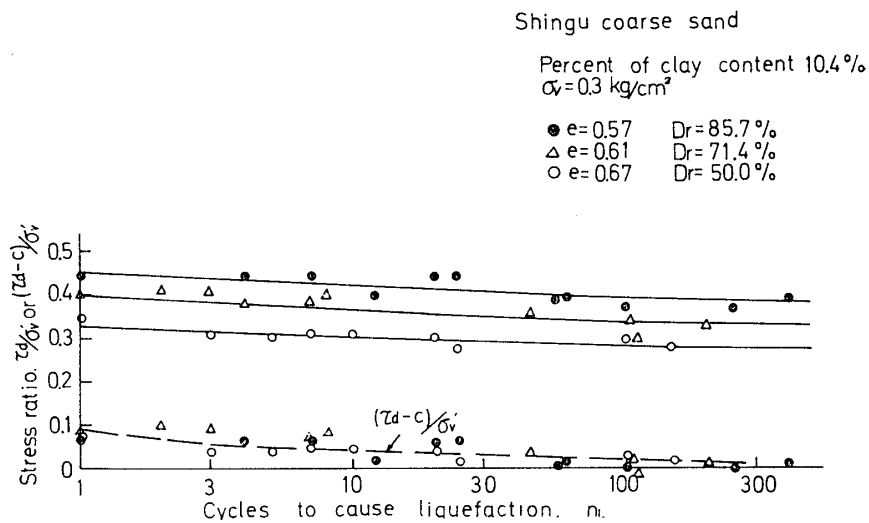


Fig. 5 Stress ratio required to cause liquefaction

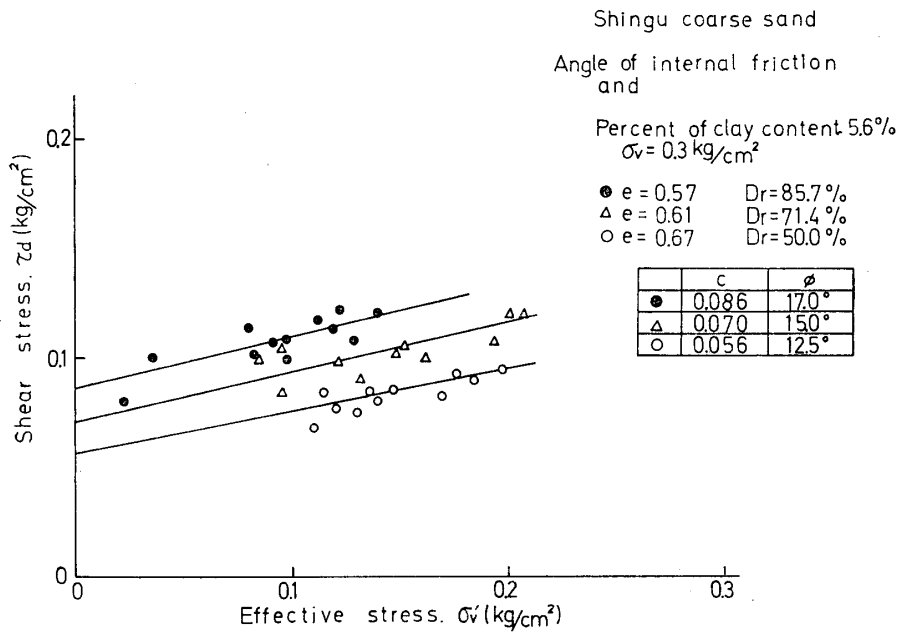


Fig. 6 Mohr diagram at liquefaction

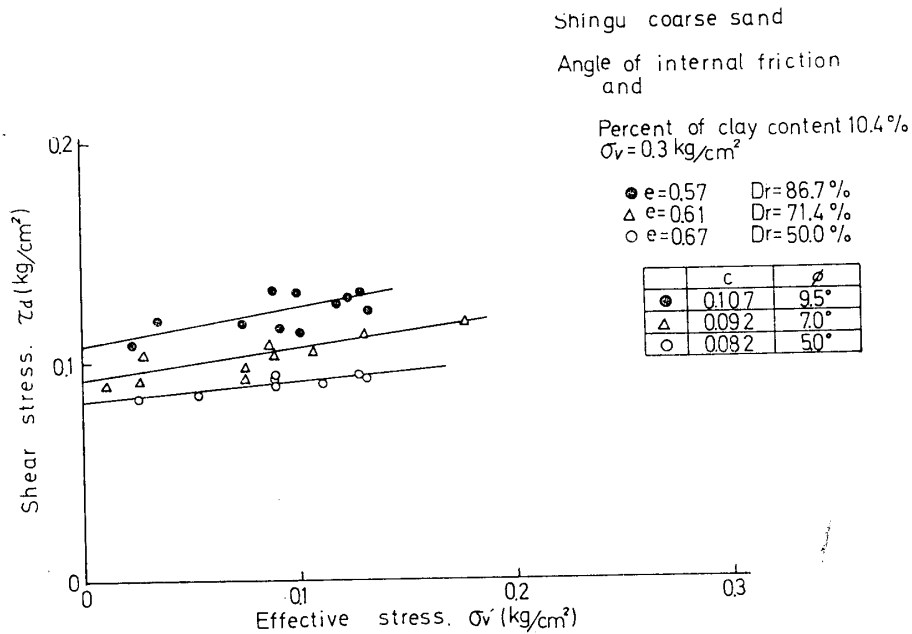


Fig. 7 Mohr diagram at liquefaction

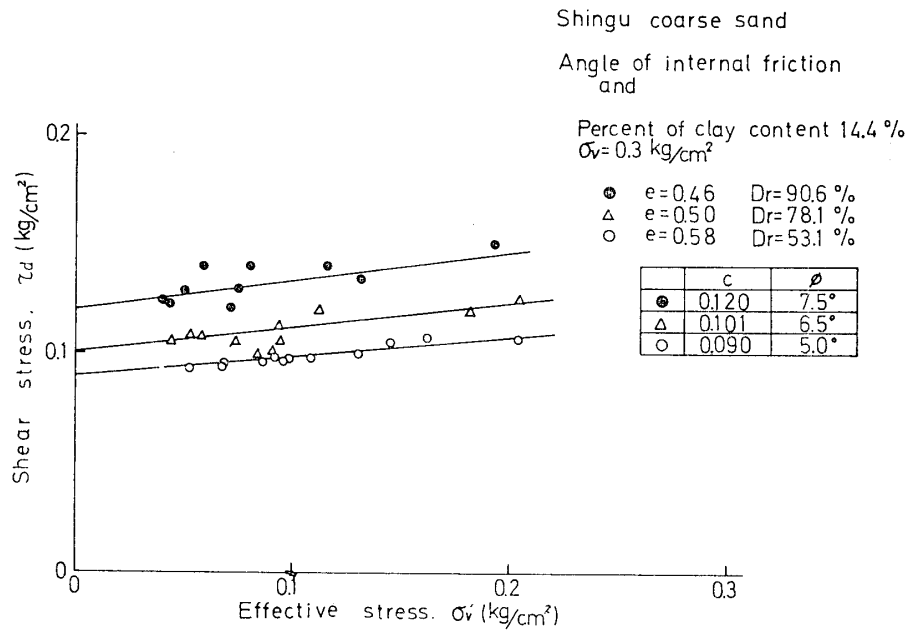


Fig. 8 Mohr diagram at liquefaction

(1)式から

$$(\tau_d - c) / \sigma'_v = (1 - u_f / \sigma'_v) \tan \phi \quad (2)$$

をうる。そこで Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 の結果を縦軸の応力比を $(\tau_d - c) / \sigma'_v$ として整理し替えてみると相対密度のちがいでよって 3 本の別々の実線にのっていた実験値が、同じ図の破線で示される 1 本の線にまとまり、相対密度の影響がなくなった形となる。この計算に用いた粘着力 c の値は Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 において相対密度の異なるそれぞれの試料に対して得られた値を用いた。

通常、砂について、応力比 τ_d / σ'_v で整理した結果についてではあるが、相対密度のちがいでよる影響が実験結果に生じることが認められているが、この実験結果では粘土含有率が同一の試料についてはそのような傾向は見られない。

この点についての考察であるが、砂の場合に相対密度の影響が応力比にあらわれるのは、その内部摩擦角が相対密度によって変化するためであろう。

前の実験結果では新宮砂の場合には相対密度の 45.2% ~ 77.4% の範囲の変化に対し、内部摩擦角は 24.0° ~ 39.5° に変化している。

しかるに今回用いた試料では、同一の粘土含有率の試料の相対密度のちがいでよる内部摩擦角のちがいは砂ほど大きくないことが Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 からわかる。すなわち、粘土含有率が 5.6% の試料では相対密度 D_r が 50.0 ~ 85.7% の範囲の変化に対し、その内部摩擦角 ϕ は 12.5° ~ 17.0° の変化、粘土含有率 10.4% の試料では D_r が 50.0% ~ 86.7% の変化に対し、 ϕ は 5.0° ~ 9.5° の変化、粘土含有率 14.4% の試料では D_r が 53.1% ~ 90.5% の変化に対し、 ϕ は 5.0° ~ 7.5° の変化といったように相対密度のかなり、大幅な変化に対しても内部摩擦角は数度の変化しかない。

結局、今回の実験に用いた試料では相対密度のちがいでよって、その内部摩擦角があまり大きく変化しないので、実験結果に相対密度の影響があらわれなかったものと考えられる。

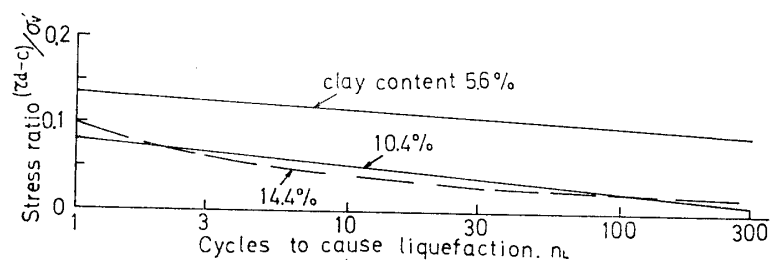


Fig. 9 Comparison between stress ratios required to cause liquefaction

Fig. 9は今回の実験を $(\tau_d - c)/\sigma_v'$ と n_L との関係で整理した結果、すなわちFig. 3, Fig. 4, Fig. 5の破線で示した結果をまとめたものである。

これよりわかることは、粘土含有率が10.4%と14.4%の試料の実験値はほとんど区別できない程度に重なっていること、粘土含有率が5.6%の実験値は、これらの値とかけはなれた値となっていることである。

このように粘土含有率が5.6%の試料の結果だけが他の2者とかけはなれている原因についても、内部摩擦角の差ということであらう。すなわち粘土含有率が10.4%と14.4%の試料間の内部摩擦角の差はあまりなく、粘土含有率5.6%の試料のそれはこれらの約2倍となっている。これが両者の間に差が生じた原因と考へる。

次に、液化の発生に対する粘土の含有率の影響であるが、実験では粘土含有率が20%程度となると、液化が非常におこりにくいということがわかった。

この結果を図示する1つの方法として書いたのが、Fig. 10, Fig. 11である。これは相対密度80%と65%の状態において、液化を生じるに必要な応力比 τ_d/σ_v' の粘土含有率による変化を求めたものである。

これらの図からわかるように粘土含有率が増加してくると液化に要する応力比 τ_d/σ_v' は次第に大きくなり、しかも n_L ごとの応力比の値に差がなくなることがわかる。

このことは液化の発生が n_L に無関係になるということの意味し、この図に示されるように $n_L = 1$ と $n_L = 100$ の応力比が等しいということは、そのような破壊は液化とはいえず、単なるせん断破壊であると考察することができる。

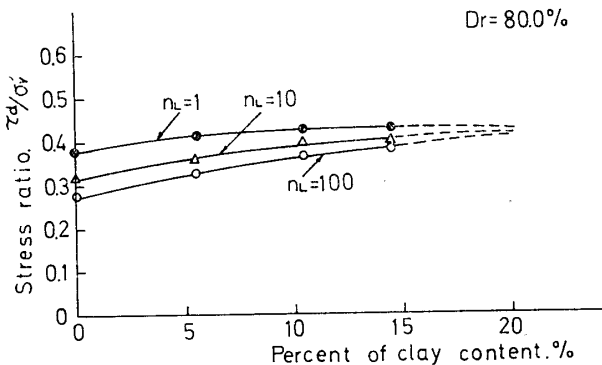


Fig. 10 Relationships between stress ratio required to cause liquefaction and clay content

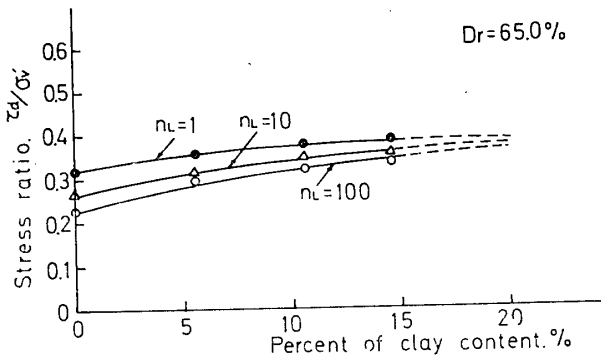


Fig. 11 Relationships between stress ratio required to cause liquefaction and clay content

そのような考え方によってFig. 10, Fig. 11を見るならば、3本の実験曲線を点線で示すように粘土含有率20%くらいのところまで延長するとほぼ1点に収束する形となることがわかり、粘土含有率が20%程度の試料についての液化の実験が行ないえなかったという事実を裏付けている。

5. 結 言

以上述べたように、砂に粘土を加えた試料を用いた動的単純せん断試験によって液化に対する実験を行なって、粘着力の液化に及ぼす影響および粘土含有率の液化発生に及ぼす影響についてしらべた。

その結果、本実験から次のことがわかった。

- (1) 液化に対する粘着力の影響は応力比を $(\tau_d - c)/\sigma_v'$ と考えることによって粘着力のない場合と同じ傾向をうるることができる。すなわち粘着力をもつ砂質土では液化を生じるに要するせん断応力のくり返し回数 n_L は $(\tau_d - c)/\sigma_v'$ の値によって一義的にきまるといえることがわかった。
- (2) また、この実験結果から粘土の含有率が20%以上の砂質土では液化は発生しにくいと判断される。

参 考 文 献

1) S. O-HARA: Technology Reports of the Yamaguchi University, 1-1, 121 (1972)

昭和48年12月13日受理)