

III-56 粘土を含む砂の液状化について

九州大学工学部 正員 山内 豊 聡

1. まえがき 前回の報告¹⁾では、砂の液状化は材料の微視的要因が関係することを示した。そのさい、冲積シラスでは、粘土が、流亡したシラスの微粒子に代っている場合があり、それが液状化を著しく阻止することにも触れた。実際に現場で問題になる砂地盤は、多少とも粘土を含む場合が大部分であり、新潟の砂地盤はむしろ特別の場合であるように考える。このような“きれいな砂”から成る地盤における液状化の調査研究に基づいて、粘土を含む砂地盤の液状化対策を講じていたのでは、しばしば過大設計になりかねない。今回は、三軸的繰返し荷重のもとでの“きれいな砂”と、活性のある粘土を含む“きたない砂”ともいべき粘土混り砂の挙動を対比しながら調べた結果を報告するものであるが、この繰返しの荷重条件は装置の機能に制約されて、周期の長いことなど、地震時の荷重条件とはだいぶ違っていることを最初にお断りしたい。もちろん筆者は、地震時の挙動を論ずることを目的にしているが、液状化の起こしやすさを論ずるためには十分役立つと考える。しかし、砂から成る道路基礎の性状を調べる場合は、荷重条件は定量的にもかなり相似性を認めてよいだろう。そして事実、シラス地帯の道路では飽和シラス地盤の液状化の問題がある。

2. 活性のある粘土の役割 シラスのような破砕ガラス状粒子から成る材料に活性のある粘土が含まれる場合、粘土は粘着力よりむしろ粗粒ないし非活性微粒子(シラスの微粒子は非活性)に対する付着力としての作用を考えるべきであろう。そして冲積層のように長い年月を経たものでは、いわゆるセメンテーションの作用が加わるべきであり、この結合力は、周知のように、静電気的結合とくに粒子間の面・端結合のほか、時間、風化、乾燥などの履歴的要因の影響が大きい。しかし、埋立て後間もない地盤や自然地盤でもかく乱した粘土混り砂では、セメンテーションの影響は小さい。液状化を阻むのは活性のある粘土であるが、砂質土のなかで細粒分が、活性、非活性のいずれのものであるかが、粒度曲線からは判断できないところに問題がある。

3. 三軸的繰返し載荷試験に用いた試料 試料は大別して表-1に示すような3種類であり、No. 1, 2は実際地盤として液状化について検討の急がれるものである。これに対し、No. 3は粘土含有の影響を基礎的に調べる目的で合成した試料である。この有明粘土は、 $G_s: 2.65$, $W_L: 113\%$, $I_p: 42\%$ の活性粘土である。試料No. 1, 2は図-1, 2にそれぞれ、(a), (b)として対比して示したような地盤から採取したものである

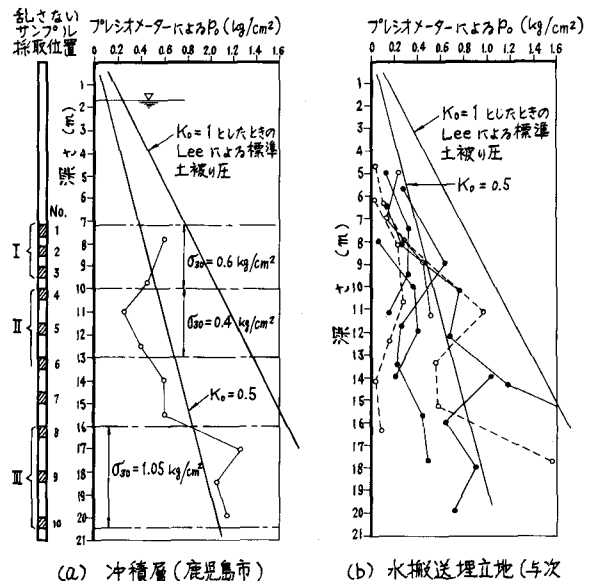


図-1 2種類のシラス地盤の p_0 値(試料No. 1, 2)

が、とくに(b)の地盤は、すでに報告²⁾したように、静的支持力(プレシオメーター試験による P_0 値で表わされる)と動的支持力(標準貫入試験による N 値で表わされる)に、かなりの食い違いがある場合

表-1 試験に用いた試料

No.	活性粘土の含有	供試体の状態
1	少量含む	乱さない試料(NCサツラ)
2	全く含まない	乱した試料
3	0~9.1%	乱した試料(合成試料)

採取場所

鹿児島市街地(新屋敷町)

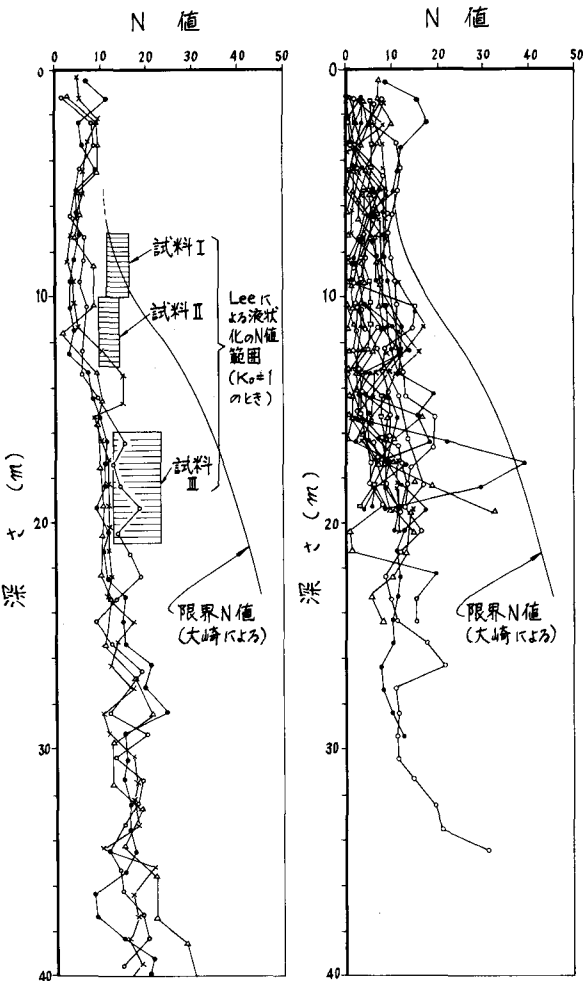
同市の水搬送埋立地(与次郎ヶ浜)

同市のきれいな山シラスに有明粘土を添加

合である。各試料の粒度は図-2に示すようなものであり、No.1のⅢのほかは均等係数の大きい材料であり、No.2の試料はかなり粗粒である。また、No.3の合成試料では、活性粘土の添加による粒度曲線の相違が明瞭でない点が注目される。

4. 三軸の繰返し載荷試験 それら3種類の試料に対して、三軸の繰返し載荷試験を行なった結果が図-4であるが、それぞれの試料で、 σ_{1r}/σ_{1f} の値(σ_{1r} :繰返し軸荷重強度、 σ_{1f} :側圧を加えた状態での破壊軸荷重強度)を変えている。かならずしも、同一荷重条件のもとでの挙動の違いを比較し得ないが、これはまだ十分数多く試験を行っていないためである。各試料のうち、No.1の試料の試験

では、図-1(a)で示した P_0 値に基づいて実際の側圧を選んでいる。この繰返し載荷試験の結果からつぎのことがわかる。(1) 試料No.1では凍状化は起きない。これは、この試料の母材料がシラスであっても、含有する活性粘土が閉じき水圧の上昇を著しく妨げるためであると判断される。含有する活性粘土は少量であるが、それを判別



(a) 沖積層(鹿児島市) (b) 水搬送埋立地(与次郎ヶ浜)

図-2 2種類のシラス地盤の N 値曲線(試料No.1,2)

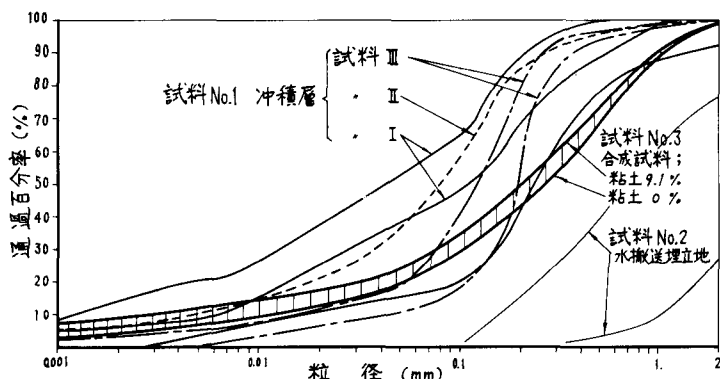


図-3 3種類の試料の粒度

定量する方法は

まだない。もち

ろん粒度曲線か

らは活性粘土の

判別定量は不可

能である。(2)

試験No.2では、

かなりはっきり

した液状化が起

きている。(3)

試験No.3では、

粘土0%の場合

(筆者のいう“き

れいなシラス”、

顕著な液状化を

起しているが、

粘土の添加量が

増すに従って液

状化は不完全と

なり(partial

liquefaction)、

粘土量9.1%にな

ると液状化は全

く起こさなくな

る。また、軸ひ

ずみは、粘土量

74%を境として

逆に累積しやす

くなっている」

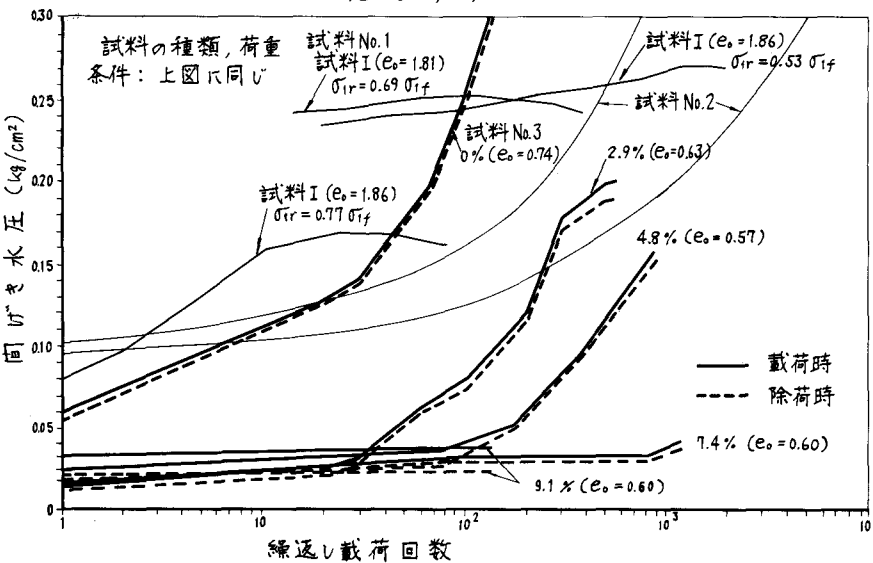
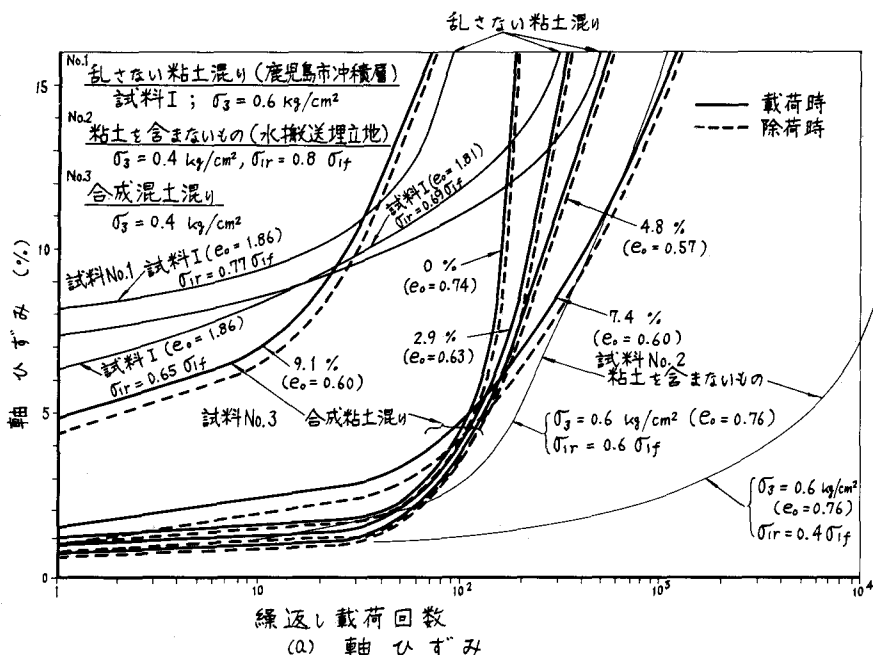
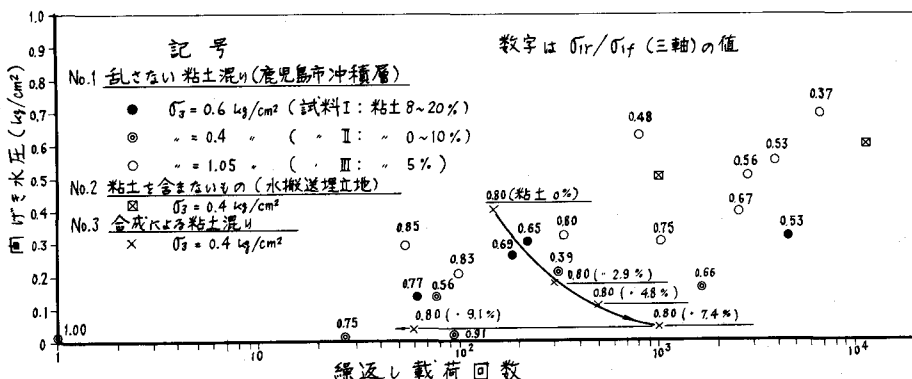


図-4 3種類の試料に対する三軸の繰返し載荷試験結果

いま、軸ひずみ15%に対する、それぞれの試料の繰返し載荷回数と間げき水圧の関係をとりまゐめると図-6に示すようになり、粘土含有の有無を初め、 $\bar{\sigma}_v / \bar{\sigma}_f$ の値の影響などがかなりよく理解される。

5. 既往の液状化の判定規準の批判 1964年新潟地震後、これまでいくつかの液状化の危険のある砂地盤の判定規準が提案されてきた。それらは新潟のような、“きれいな砂地盤”に対しては優れたものが多いが、まえがきで述べたように、粘土を含有する砂地盤には疑問がある。ごく最近 Lee³⁾は、岸田⁴⁾らの調査データを基にして、新しい液状化の危険の判定規準を作った。この規準は、図-1のうゑに記入してあるように、深さ方向に土被り圧が新增する砂地盤を対象にして、6項目の条件を示

している。すな
わち、① 震度が
Ⅴ～Ⅵ、② 粗粒
で $D_{50} < 2\text{mm}$ 、③
 $C_u < 10$ 、④ 完全
飽和、⑤ 有効載
荷重 $< 2\text{kg/cm}^2$ 、
⑥ $D_r < 75\%$ を条
件としていて、



地盤の性質とし 図-5 軸ひずみ15%に対する繰返し載荷回数と間きき水圧の関係(図-4に示さないものを含む)

ては、あくまで粒度条件に優位を占めさせている。試料1の場合、 $C_u = 58 \sim 15$ のほかは液状化する条件のものであるが、試験結果は全く液状化を起こさない。試料2の場合、 $C_u = 21$ のように非液状化の条件を示しているものもあるが、試験では全部液状化を起こした。このような判定規準の不適合の根本的な原因は、試料3の試験結果がよく示しているように、活性粘土の有無が粒度条件を優越するからである。

6. コンシステンシー試験による液状化の判定 以上のように、砂の液状化に対する含有活性粘土の影響は明らかにされたと考えるが、それを判定する方法として、コンシステンシー試験に着目し、試料No.3についてそれを行なった結果が図-7である。それによると、液性限界の測定ができない限界が粘土量10%付近であり、繰返し載荷試験によって完全に液状化を起こさない粘土量(7.4%と9.1%の間)に近い。十分な精度を持つものではないが、少なくともシラス地盤では有用な規準になるであろう。なお、コンシステンシー試験は、乱した状態での試験であるから、たとえ活性粘土がセメンテーション作用をあたえている場合でも、その作用は安全側の要因である。つぎに、砂の静的と動的の性質の相違の点では、インターロッキング効果を生ずる材料ほど、つまりピーク応力と終極応力の差がはっきりしているものほど液状化しやすいようである。

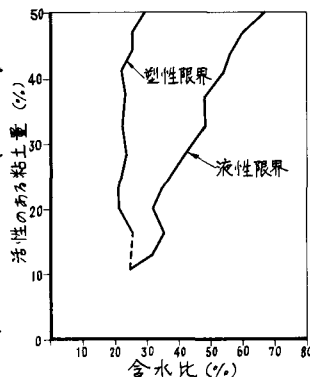


図-6 試料No.3に対する
コンシステンシー試験値

7. 結び この報告は、“きれいな砂”の場合、とくに液状化しやすいシラスを対象に、活性粘土の含有によって液状化が著しく妨げられることを示したのち、粘土混りの砂地盤に、これまでの液状化の判定規準の不備を指摘した。またコンシステンシー試験によってその判定を行なう試案について述べた。このような問題の認識は、実際の沖積砂地盤が“きれいな砂”から成るものは比較的小さいと思われることから必要なものと考え。なおシラスを初め、火山灰質砂は、普通砂とは微視的要因をかなり異にするものである。今後は普通砂についても検討する予定である。なお本文の実験については、技術員中島通夫君の労によるものが多い。また日本道路公団福岡支社におけるシラス地帯の構造物基礎の検討会で示唆を受けるところがあったほか、地盤調査のデータは(株)基礎地盤コンサルタントの好意によるものが多いことを付記して、深甚の謝意を表するものである。引用文献①山内才次郎講演集,Ⅱ,昭.45, ②山内,才次郎講演集,Ⅱ,昭.44, ③Lee, S & F, 11-1, 1971, ④Kishida, S & F, 9-1, 1969