

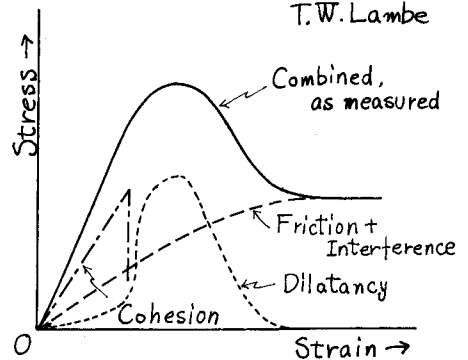
III-65 固結させた土の変形に伴う強度成分の分担率の変化

早稲田大学理工学部 正員 森 麟
早稲田大学大学院 学生員 〇 遠藤 博

1. まえがき

結合剤で固結させた土の強度増加機構を考える上で破壊時における摩擦成分・ダイレイタンス成分と粘着力成分のピークのずれが重要な問題点となる。T.W. Lambe¹⁾は粘性土の強度を図-1のような強度成分に分けており、その強度成分は変形とともに図のように変化して行くことを予想している。しかし、これは実験的に明らかにされたものではないので、結合剤にアクリルアミド系のものを用いた時の、各ヒズミ段階における強度成分の分担率の変化状況を1つの仮定を設けて測定する試みをした。

図-1 変形に伴う強度成分の変化



2. 実験方法

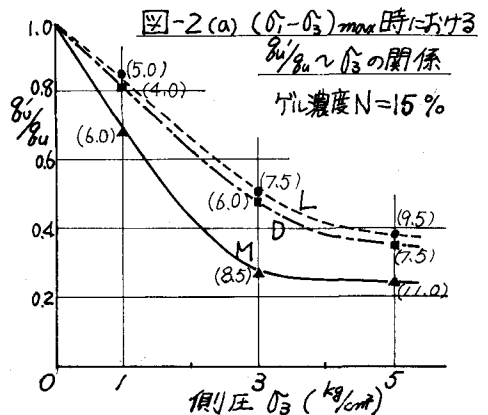
本実験に使用した試料は相馬標準砂(粒径0.84~0.42mm, 密度 $\gamma_d=1.46$, $M:\gamma_d=1.55$, $D:\gamma_d=1.63$ %の3種類)である。結合剤はアクリルアミド系ゲル(濃度 $N=15\%$ ゲル粘着力 $C_0=0.36$ %, $N=25\%$ $C_0=0.65$ %の2種類)を用いた。 $\phi=5$ cm, $H=10$ cmの2割れモールドに所定の密度になるよう乾燥砂を詰め込み、上から結合剤を流し込んで間ゲキを満たし、固結させて供試体を作った。なお、試験は普通のヒズミ制御方式の一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を使用した。

3. 実験結果及び考察

3.1 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ における粘着力成分の変化

最大軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ において、結合剤による粘着力成分がどの位発揮されているのかを調べるために次のような実験を行なった。軸差応力が最大になる所で変形を止め、軸圧及び側圧を除いて供試体を取り出し、一軸圧縮試験を行ない、その一軸圧縮強度 σ_u を求める。そして最初から普通の一軸圧縮試験を行なって求めた固結砂の一軸圧縮強度との比 σ_u'/σ_u を求める。このようにして、側圧と $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時の σ_u'/σ_u との関係性を求めたのが図-2(a)(b)である。固結砂の一軸圧縮強度は全て結合剤の粘着力に依存している筈であり、一軸圧縮強度が σ_u' に下がるということは、結合剤

図-2(a) $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時における

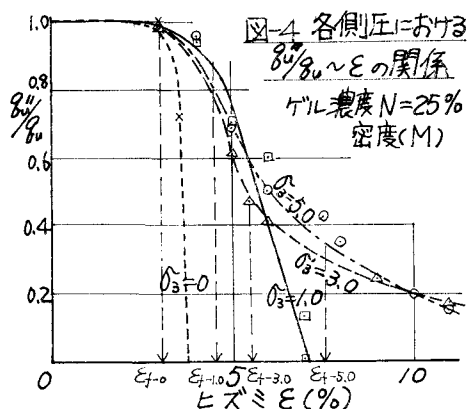
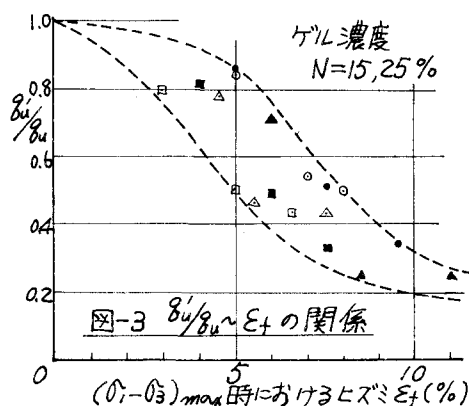
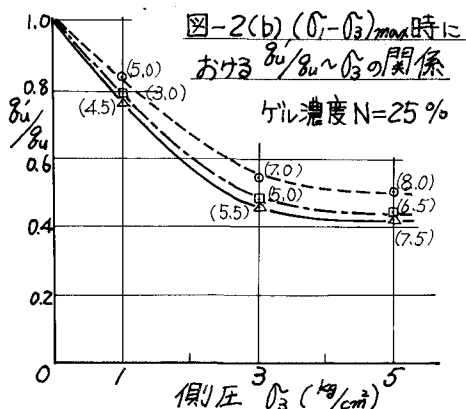


による粘着力が最初より小さくなったということである。したがって $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ の値は $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時における粘着力成分の大きさの変化を表わすものであると考えられる。このように考えて図を見ると、いずれの場合も側圧が大きくなるにつれて $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ が小さくなる。特に、側圧 $\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ 位までの変化が激しいようである。これから、側圧が大きくなるにつれて、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時の粘着力成分は、一軸圧縮強度において示すような大きさのものではなくなることがわかる。また、図中でプロットのそばに示してある数字は $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時の軸ヒズミ ε_t を示しているが、側圧が大きくなるにつれて ε_t は大きくなって行くことがわかる。そして、側圧が大きくなるに従って $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ が減少することと、 ε_t が大きくなることは密接な関係がありそうである。そこで供試体の密度及び結合剤の濃度に関係なく、一つにまとめて ε_t と $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ との関係を示してみると、図-3 が得られる。この図から $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ の減少は $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ に到達するまでの変形量で決まってくるのではないかと予想することができる。

3.2 変形に伴う粘着力成分の減少

そこで、今度は変形に伴って粘着力成分がどのように変化するかを調べるために、任意の軸ヒズミで変形を止めて軸圧及び側圧を除き、供試体を取り出して一軸圧縮試験を行ない、 σ_u を求めた。そして、 $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ とその止めたヒズミ ε との関係を求めたのが図-4 である。この図から、ヒズミ ε が3%を超えると $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ は1から低下して行くことがわかる。またその変化の仕方も側圧によって異なる。側圧の低い時には小さなヒズミで $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ がゼロになるが、側圧が大きくなると、ヒズミが大きくなっても $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ はゼロにならない。これは側

圧が低い時には、変形が進むにつれて、ある一つのスバリ面が発生してその面における結合剤が完全に切れてしまうが、側圧が大きくなると変形が進んでも明瞭なスバリ面が出ず、供試体がタル型に膨れるだけであるという試験後の観察からも説明できる。また、ヒズミ ε が3%までは $\frac{\sigma_u}{\sigma_u}$ は1に等しく、減少しないことが図からわかるが、これは $\varepsilon = 3\%$ 位までの小さな変形では、間ガキ中の結合剤の変形が小さく、結合剤の極限強度までに達していないためと考えられる。それは、一軸圧縮強度 σ_u が $\varepsilon = 3\%$ 前後で最大値を示すことから納得できる。結局、側圧によって多少異なるが、いずれの

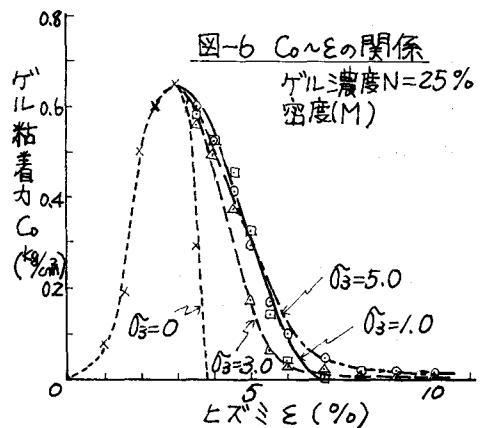
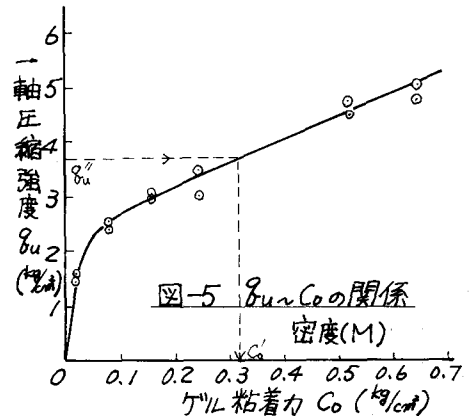


場合も変形に伴って粘着力成分は減少して行くことが図から十分説明できる。粘着力成分が減少して行くということは、変形に伴って結合剤が順次切れていって、粒子を拘束する力がなくなっていくためではないかと考えている。側圧が大きくなると $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時のヒズミ ε_1 が大きくなり、 ε_1 に到る間に結合剤がどんどん切れてしまい、 ε_1 時には結合剤がほとんど役に立っていないことになる。図-4に各側圧における ε_1 を示してあるが、各側圧における $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時の粘着力成分の分担の割合の変化がよくわかると思う。

3.3 変形に伴う強度成分の分担率の変化

3.1及び3.2で粘着力成分が変形に伴って変化し、それが側圧によっても変わてくることが判明した。しかし、それはあくまで一軸圧縮強度の減少から定性的に判断しただけであって、定量的に、つまり全体の強度に対して粘着力成分がどの位の割合で寄与し、また変化して行くのかは求められていない。ところで、先の研究から²⁾、固結砂の粘着力成分は薄膜粘着力及び構造的粘着力という2つの粘着力成分から成り立っていることがわかっている。しかし、構造的粘着力はほぼ負圧に基づく見掛けの粘着力で、摩擦抵抗に属することになっているので、ここでは粘着力成分に入れないことにする。そして間ゲキ中の結合剤の強さ(薄膜粘着力)のみを粘着力成分とし、次のような仮定を行なって変形に伴う粘着力成分を定量的に求めてみようと考えた。

一軸圧縮強度が σ_u から σ_u' に下がるということは、使用した結合剤の強度 C_0 が C_0' に変化したためであると仮定する。つまり結合剤自身の強度が C_0 であるような結合剤濃度と砂を固結させれば、その供試体の一軸圧縮強度は σ_u になるということと同じであるとする。図-5に結合剤強度をいろいろ変えて作った固結砂の一軸圧縮強度 σ_u とその結合剤自身の粘着力 C_0 との関係を求めた。そして、図-5を利用して、3.2で求めた σ_u' から逆にゲル粘着力 C_0' を求めた。このように変形に伴って σ_u が減少するということは、ゲル粘着力 C_0 が順次減少して行くことだと考えると、各々の側圧に対して図-6が求まる。ただし、結合剤は $\varepsilon = 3\%$ になって初めてその能力をフルに発揮するものとし、 $\varepsilon = 0 \sim 3\%$ においては結合剤の粘着力はゼロから次第に増加して行くものとして図-5を利用した。この図-6はあくまで変形に伴う結合剤の粘着力の変化を表わしているだけであって、さらに $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \varepsilon$ 曲線における粘着力成分の変化を示すためには、粒子間ゲキに薄くなって入っているために増加される薄膜粘着力を考えなければいけない。相馬砂(M)の薄膜粘着力を調べると結合剤強度の約2倍になることがわかる。また、軸差



応力で表わす場合には粘着力の2倍をとることが妥当であると考えられるので、さらに2倍することが必要で、結局図一六の C_0 を4倍したものが粘着力成分であると考えられる。

固結砂の強度成分は粘着力成分、ダイレイタンシー成分、摩擦に基づく成分の3つから成り立つと考え、上に述べたことからまず粘着力成分が求まる。次に、供試体の体積変化はセル内の水の出入を測定することによって求められるので、 $\sigma_3 \times \frac{dV}{d\varepsilon}$ より変形に伴うダイレイタンシー成分を計算することができる。こうして変形に伴う強度成分の変化を求めたのが図一七(a)(b)(c)である。全体の強度から両成分を差し引けば摩擦に基づく成分が求まる。図では摩擦成分もピークを示すが、これは摩擦成分の中に、前に述べた構造性粘着力を繰り入れているためと考えることもできる。図一七から、ピーク時において示される各強度成分の全体の強度に対する分担率が、側圧によって大きく変化して行くことが明らかにされた。

4. あとがき

変形に伴う強度成分の分担率の変化を調べてみたが、やはり無理な仮定を設けているため、まだまだ問題点が多い。しかし、側圧が大きくなると粘着力のピークは全体の強度のピークと一致せず、破壊の様式は側圧によって異なってくるということがわかり、今までの薄膜および構造性粘着力による強度の増加だけでは説明がでない部分がでてきた。今後はこれらの問題点を解決して、結合剤で固結させた土の強度機構をさらに明確にして行きたいと思っている。

最後に、本研究の実験を共にした福島 公君、多石 克己君に謝意を表する。

参考文献

- 1) T. W. Lambe 「A Mechanistic Picture Of Shear Strength In Clay」 Shear Strength Conference 1960
- 2) 森 鹿彦・佐藤勝久 「結合剤による土の強度増加機構」 土と基礎 December, 1968
森 鹿彦・伊藤雅夫 「結合剤で固結させた土の構造性粘着力」 土と基礎 June, 1969 など

図一七 変形に伴う強度成分の変化
ゲル濃度 $N=25\%$
密度(M)

