

III-287 土の残留強度の物理化学的性質

関東学院大学 工学部 正 宋 永煜
名城大学 理工学部 正 岡田 富士夫

1 序論 この研究は人工過圧密粘土を用いて、後述(約90%)より速く直接せん断排水試験による土の残留強度を求めたものである。試料は、カオリン、ベントナイト(モンモリロナイト系粘土)と関東ロームを用いている。前者の粘土では、各種の単一カチオン吸着処理した後、その残留抵抗角の変化とX線回折による粒子配向の度合いを求めている。関東ロームでは、そのアロフエン含有量と残留抵抗角、またはコンシステンシー限界との関係を探っている。近年、残留強度に関する論文は少なくないが、その物理化学的性質を論じたものは数えるほどしかない。その代表的なものでは、J.C. Kenney が吸着単一カチオン粘土の残留強度を論じ、L.D. Wesley がジャワ島の火山灰土のアロフエン含有量との関係を示している。なお、残留強度を求める方法には、本研究で用いた直接せん断試験法に加え、リングシエア法、3軸試験法などがあるが、いずれもその結果は、あまり異なりなく、せん断速度も、ある最大限度までは無関係であることが知られている。

II 実験結果と考察 図-1 は、関東ロームを含む代表的な粘土の残留抵抗角の大きさと変化と斜線に分類したものである。Kenney による粘土の残留抵抗角は、カオリン15°、イライト10°、モンモリロナイト5°前後であり、本研究の結果とはほぼ一致する。Wesley によるジャワ火山灰土の残留抵抗角は、約25°以上であり、関東ロームも、この範囲にあることが分る。関東ロームの残留抵抗角が一般土に比べて、著しく高いことが注目される。また関東ロームの天然土は、過圧密2~4倍の土で、ピーク抵抗角は25~30°であることが知られているが、これよりその定常軟化化(softening)はあり、著しく低いことが分る。図-2 は、各種の単一カチオンを吸着した粘土の残留抵抗角の変化と同じく45°斜線に分類したものである。これから粘土の残留抵抗角は、粘土鉱物の種類と、その化学性によって変化することが分る。なかでも活性粘土であるモンモリロナイト系粘土(ベントナイト)は、カチオン原子価の大きいほど残留抵抗角が大きくなる。しかも先行圧密荷重には、ほとんど無関係であることが分る。一方非活性粘土のカオリン系粘土には、このような明瞭な傾向が見られない。この理由は、モンモリロナイト系粘土では、その粒子が小さく(200~2000Å)、活性の大きい平板状粘土であるため、カチオンによる化学的な反応に反応することが根本的な原因と考えられる。この化学性は、一般に吸着カチオン原子価の低いものほど粒子の反発力が強く、分散構造を形成しやすいのに対し、原子価の高いものは凝集構造になりやすいことが知られている。また凝集構造の土のせん断強度は、分散構造のものよりも高い。これから吸着カチオン原子価の大きいモンモリロナイト系粘土の残留抵抗角は、低いものより大である。これに対し、粒子大(200Å)、活性度小のカオリン系粘土では、このような物理化学的な反応は顕著でなく、多分に粒子の物理性が優越するため、化学性による序列は明瞭でない。一方、板状粒子のせん断過程における微視構造の変化から見ると、粘土粒子はピークから残留強度に達するにつれてせん断に平行に配列する配向構造になる。

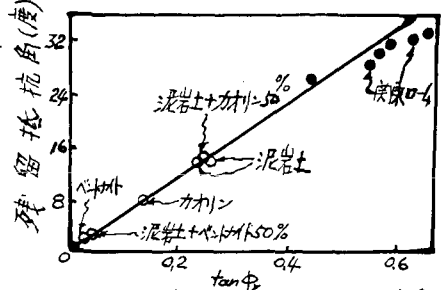


図-1 代表的な粘土の残留抵抗角

図-2 は、各種の単一カチオンを吸着した粘土の残留抵抗角の変化と同じく45°斜線に分類したものである。これから粘土の残留抵抗角は、粘土鉱物の種類と、その化学性によって変化することが分る。なかでも活性粘土であるモンモリロナイト系粘土(ベントナイト)は、カチオン原子価の大きいほど残留抵抗角が大きくなる。しかも先行圧密荷重には、ほとんど無関係であることが分る。一方非活性粘土のカオリン系粘土には、このような明瞭な傾向が見られない。この理由は、モンモリロナイト系粘土では、その粒子が小さく(200~2000Å)、活性の大きい平板状粘土であるため、カチオンによる化学的な反応に反応することが根本的な原因と考えられる。この化学性は、一般に吸着カチオン原子価の低いものほど粒子の反発力が強く、分散構造を形成しやすいのに対し、原子価の高いものは凝集構造になりやすいことが知られている。また凝集構造の土のせん断強度は、分散構造のものよりも高い。これから吸着カチオン原子価の大きいモンモリロナイト系粘土の残留抵抗角は、低いものより大である。これに対し、粒子大(200Å)、活性度小のカオリン系粘土では、このような物理化学的な反応は顕著でなく、多分に粒子の物理性が優越するため、化学性による序列は明瞭でない。一方、板状粒子のせん断過程における微視構造の変化から見ると、粘土粒子はピークから残留強度に達するにつれてせん断に平行に配列する配向構造になる。

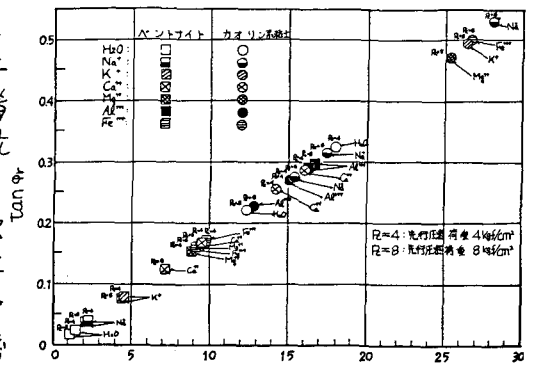
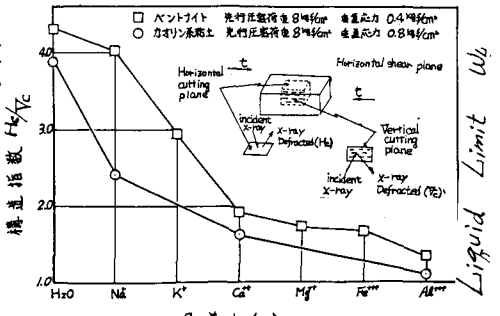
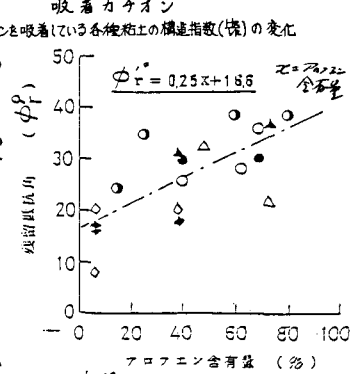


図-2 単一イオンを吸着している各種粘土の残留抵抗角

つてくることが知られている。この残留強度における粒子配向の度合いをX線回折によるピーク強度から構造指数を定義して調べた結果が図-3である。構造指数とは、図-3に模式図で示されているように、残留強度時におけるせん断試験の水平断面から回折されるX線回折強度(H_h)と、これに垂直な面から回折されるX線強度(H_v)の比である。これから構造指数の大きいものほど配向度は良いことになる。X線強度は、バランキをもつものであるが、平均値をとって図示したものが図-3である。この図からモンモリロナイト系粘土の構造指数がカオリン系粘土より高く、各粘土とも原子価の大きいカチオンを含むものほど配向度が悪いことが分る。これから活性微粒土で見る限り、原子価大→凝集構造形成→残留強度大→配向度低下→構造指数低下の傾向で、図-2の傾向と一致する。図-4はジャワの火山灰土を含む関東ロームなどのアロフエン含有量と残留抵抗角の関係を表わしたものである。アロフエンの定量法には、また標準化されたものがあるが、本研究で用いた北川のBML-05N/1604処理法は、比較的きつものと言われている。圧着の間には、



ほぼ $\phi = 0.25x + 16.5$ の直線関係があることが分る。アロフエンの形状、性質は定かでないが、一次粒子の挙動に近いので、ハロサイトなどの二次粒子含有量に比べて残留抵抗角に及ぼす影響が大きいことが考えられる。図-5は、アロフエン含有量と液性限界の関係を示したものである。少しバランキが多いが、ほぼ $w_L = 78 + 0.57x$ の直線関係がある。アロフ



エンは巨視的には一次粒子の挙動をなしているが、微視的には保水能力を有していることが分る。関東ロームの高含水比は、多分に、この微視的挙動に由来していることが推察される。図-6は、アロフエン含有量と塑性限界の関係を示したものであり、ほぼ $w_p = 50 + 0.51x$ の直線関係がある。

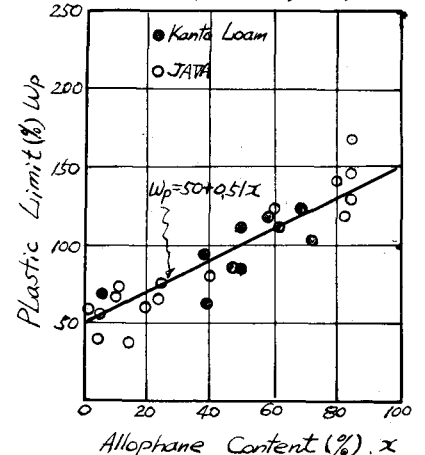
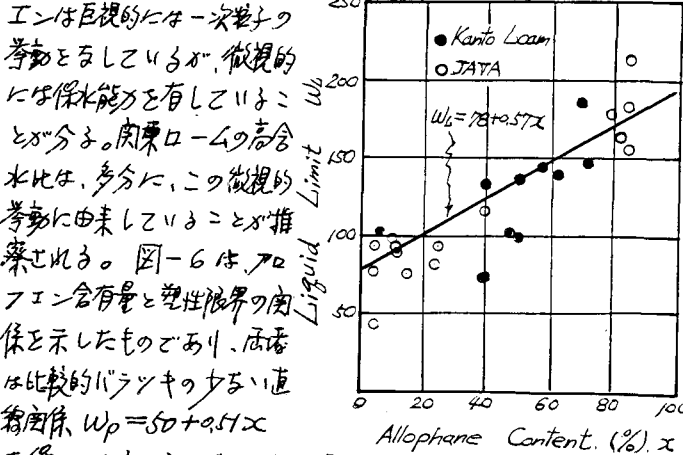


図-5 Relationship between Allophane Content and Liquid Limit
図-6 Relationship between Allophane Content and plastic Limit

III 結論

- 本研究における結論は、次の通りである。
- ① 火山灰土の残留抵抗角は、一般土に比べて高く(25°以上)、活性粘土は吸着カチオンの原子価に支配される。
 - ② アロフエン含有量と残留抵抗角、またはコンシステンシー限界との間には、各々直線関係がある。
 - ③ アロフエンの巨視的挙動は、一次粒子に類似し、微視的には水分保持の性質を有している。

参考文献: 1. Kenney, T.C. (1977): Residual Strength of Mineral Mixtures, 9th Int. Conf. S.M.F.E., Tokyo, Vol. 1, pp.155-160
2. Wesley, L.D. (1977): Some Basic Engineering Properties of Halloysite and Allophane Clays in Java, Indonesia, Geotechnique 27, (Nov.), pp.491-492
3. 北川靖夫 (1977): 炭炭研報, B, No.29, pp.1-24.