

粘土構造とせん断強さに関する研究 (I)

名城大学 理工学部 正員 岡田 富士夫

1. まえがき

粘土の力学的挙動は土の種類, 先向応力の履歴, 間ゲキ水の質と量, 土粒子の配向・配列 (構造) などによって支配されることが, 幾多の研究者によって明らかにされつつある。¹⁾

近年, 土の強度係数の差異は土粒子の初期の配向状態によるものと考え, 電子顕微鏡, X線回折の手法は土構造と決定するに採用されている。^{2) 3)}

X線回折応用の手法は海成堆積粘土の構造判別のために実用に応用するかどうか試みた結果, 混合粘土鉱物で構成されている場合においては, 単一鉱物の構造変化の判別は困難であるが, 相対的な変化は推定可能であるを得ている。⁴⁾

しかし, これまでの粘土の構造に関する多くの研究は, 粘土を液状化してから, 一次元または三次元的に強制的に圧密した試料について試みられていることが多い。わが国のように, 急峻な地形をなす現地盤では, 断層, 褶曲, 傾斜など複雑な状態で均衡を保っていると考えられる。

従って, 自然地盤の土構造の把握と強度係数との関係を解明することは重要なことであると考えられる。本報告ではせん断過程における粘性土の構造変化についてと異なる方向での試料での強度係数と一面せん断試験によって求め, 初期の構造との関係を検討したものである。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は愛知県日進町産 (赤池) で, 現在, 名古屋市地下鉄操作用の建設が行われている現場より採取したものである。試料の採取深度は地表面下16~18mであり, 試料の γ 値の平均値は50であり, 粘土はかなり硬質なものである。異なる方向での試料は現地盤の鉛直軸に対する角(θ)とし, この角度が0, 15, 30, 45, 60, 75, 90°の7種類を採取したものであり, 試料の物理的性質はTable 1. に示してある。

Table 1. Index properties of sample

G _s	LL(%)	PL(%)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	A	Wn(%)	$\gamma_t(g/cm^3)$	e
2.848	73	31	1.3	63.7	35.0	2.31	30.3	1.984	0.87

X線回折による土構造観察のための供試体はMitchell⁵⁾ 1956 とMartin 1956 が試みたほぼ同じ方法のPolyethylene glycol (Carbowax 6000)を用いる方法で, 60°Cに溶解した溶液中に, 供試体は2週間浸し, その後, ゆっくりと室温に降下させ, 供試体は金剛版のAA400, 600, 800, 1200-CWの順位で磨き, 試料面の微細粒子はセロテープで数十回除去した。

X線回折は30 Kv, 電流10 mA, のScale factor を常時一定で行った。

せん断過程における供試体は非圧密・急速せん断 (1mm/min) でせん断させる過程であり, 水平変位量が0.2mm間隔に1mm変位まで5段階についてせん断力を解放したものである。供試体の構造変化はせん断方向と同一方向面の切片(H-section)と直交する面(V-section)も, とともに供試体の中央部分で得たものから試みることにした。

この試料の粘土鉱物の判定は無処理, 熱処理 (110℃), エテレングリコール処理, 硝酸アンモン処理, 酢酸カリ処理, 酢酸マグネシウム処理を行ったX線回折曲線の変化より, 判別した結果, 試料の粘土鉱物の主成分は Montmorillonids, Chlorites, Halloysite であり, その他として, Quartz および Felspars の混合することが推察される試料である。

構造変化は Montmorillonids ($2\theta \approx 5^\circ, 17\text{\AA}$), Halloysite ($2\theta \approx 8.5^\circ, 10\text{\AA}$) および Chlorites ($2\theta \approx 12.5^\circ, 7\text{\AA}$) について, 試みることにした。

3. セン断過程の構造変化

X線反射強さは Fig. 1 で示す 4 つの測定法がある。

セン断過程の構造変化は P, PW の測定法に従って行った。

この試験に供した試料は大きな土塊より, 平らな面を成形し, 同一方向面を有する供試体 18 個を作成し, 水平変位量が 0.2 mm 間隔の供試体を各々の 3 個についてである。

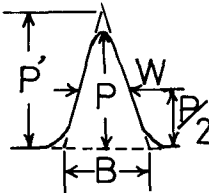
Table 2 はその測定結果を示す。従って, τ (kg/cm²) の値は 3~15 の平均値であり, X線反射強さ (Hcps.Vcps) は 3 個の供試体における平均値を意味する。

上段の結果は P 法によるものであり, 下段のは P・W 法より求めた結果である。

P と P・W 法のいずれの結果も, 17 $\text{\AA}$ の鉱物は著しい構造変化を示すことが認められる。また, その変化はセン断応力が子時になるまで, 最大の構造変化を示す傾向を表わしたのである。

P 法によつて構造変化を検討した時, 10 $\text{\AA}$ と 7 $\text{\AA}$ の結果は水平変位 H・D の 0.6 mm 以上の過程において, 微妙な変化 (Vcps の減小・Hcps の増加) が認められる。また, その変化は無視され

てしまうほどであった。しかし, P・W 法においては, P 法で無視されるような 10 $\text{\AA}$ と 7 $\text{\AA}$ の構造変化を起している傾向であった。その変化は Vertical Section の強度の減小と Horizontal section の増加することが認められた。また, 構造変化の降伏点は面間距離 ($\text{\AA}$) によつて異な



P Peak height
P' Corrected peak height
PW Approximate triangle
 $\frac{P'B}{2}$ Corrected triangle

Fig. 1. Methods of peak size measurement
(Mc Nail Bonelli 1968 and Kazi 1972a)

(P)		17 $\text{\AA}$		10 $\text{\AA}$		7 $\text{\AA}$	
τ kg/cm ²	H.D. mm	Hcps	Vcps	Hcps	Vcps	Hcps	Vcps
0	0	32.4	33.6	32.4	29.0	30.4	30.0
0.95	0.2	36.5	37.8	31.4	29.5	33.3	30.7
1.60	0.4	42.0	43.6	36.4	31.6	34.1	31.4
1.95	0.6	48.1	34.3	34.6	30.5	31.4	27.9
1.62	0.8	35.0	33.7	33.1	26.6	32.8	25.4
1.50	1.0	37.5	31.8	31.4	23.8	33.9	23.2

(PW)		17 $\text{\AA}$		10 $\text{\AA}$		7 $\text{\AA}$	
H.D. mm		Hcps	Vcps	Hcps	Vcps	Hcps	Vcps
0		30.2	32.4	41.1	41.2	37.4	44.3
0.2		39.9	33.7	36.9	41.6	39.6	39.2
0.4		46.3	46.1	38.1	42.1	43.3	42.6
0.6		45.1	35.4	43.1	42.3	53.6	42.3
0.8		34.2	33.6	44.6	30.9	51.9	32.9
1.0		40.6	30.9	45.4	29.9	62.1	33.7

Table 2.
Relations between shear stress, shear displacement and intensity of X ray diffraction from horizontal and vertical section by P and PW.

ている傾向であることが示めされた。その降伏点は面間距離の異なる程、構造変化が早く降伏点に達する傾向と思われる変化であった。

4. 供試体の方向による強度係数の変化とX線反射強度の関係

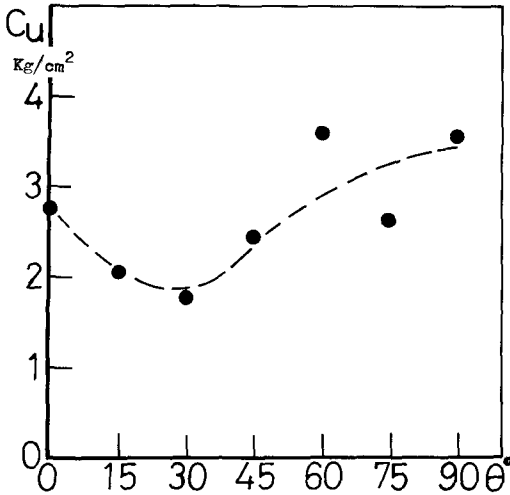


Fig. 2. Relation between Cohesion and angle of Shear plane from vertical plane.

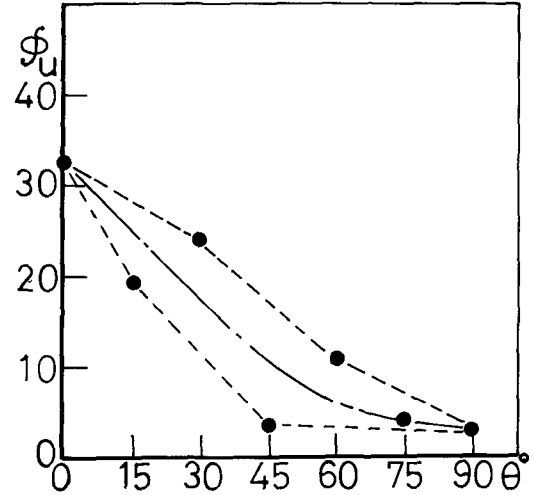


Fig. 3. Relation between angle of internal friction and angle of shear plane from vertical plane.

Fig. 2. および Fig. 3 は供試体のせん断面と鉛直軸と作る角(θ)が $0 \sim 90^\circ$ を 15° 間隔で得る試料について、載荷直後にせん断面に移る方法で求めた強度係数の C_u (Kg/cm²)と ϕ_u の変化を示した。

C_u の変化量は最大と最小の差が 1.75 Kg/cm^2 もあり、 ϕ_u では変化量が約 30° もあった。

C_u と ϕ_u は θ の 45° 以上において、ほぼ一定値を得ることが分かった。

赤池粘土は James M. Duncan と H. Bolton Seed の試みた粘土における異方性と応力の研究の London clay (O.C. Deep) と $\beta = 30^\circ$ 位いまで、比較的よく類似した傾向であることが Fig. 4 で判明した。しかし、地質構造変化の激しい我国では、複雑な履歴の要因によるため、赤池粘土の強度係数は変動の卓越している傾向が認められた。

Fig. 4 は X 線回折強度 (17A) 変化と粘着力 C_u の相互関係を各方向に作成したせん断面に直交する Vcps で検討した

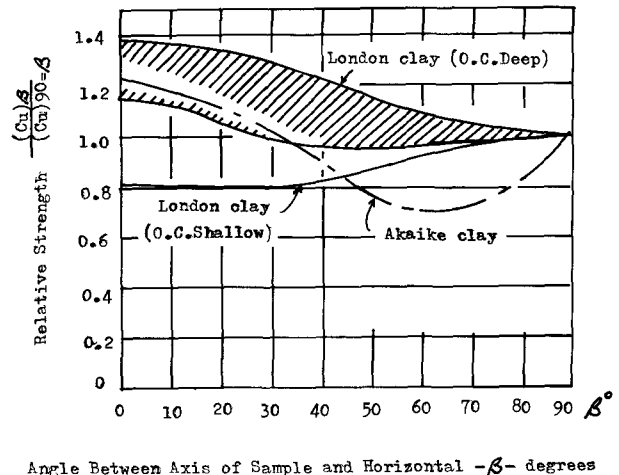


Fig. 4. Relation between change of β and Relative strength on C_u .

国である。

X線回折17Å Vcpsの結果はCuの変化する傾向とほぼ一致した変化をすることがわかった。

従って、この結果は次のようなことの応用に役立つであろう。

我々が一般に地盤調査をする時、試料は地表面に直交する鉛直の方向の供試体について、強度常数を求めることが多い。この時、近似するSectionから土構造を計測することによって、全ての方向の強度常数の予測が可能と判断される傾向が得られた。

まとめ

以上、赤地粘土(凝積粘土)に対する、X線回折でセリ断過程の構造変化を把握することと土の強度常数の関係を知る目的の研究において、結果をまとめると次のようになる。

1) セリ断過程における土構造の変化は θ の大きな角度ほど卓越した変化のあること、またその変化は θ に近似する過程において、構造変化も急変すると判断された。

2) X線応用の手段によって差がある。PとPW法を比較した場合、P法では顕著に確認できない10Å, 7Åの変化が、PW法において明確に認めることが可能であることがわかった。

3) DuncanらがLondon Clayにおいて示したように、赤地粘土はLondon Clay以上に θ 方向に与る強度常数の変化のあることがわかった。また、Cuの変化と17Å(Vcps)の変化は、関係のある傾向の存在と認ることができた。

本研究において、多大な協力を与えてくれた土木工学科4年の砂口、神山、露崎おさむ倉吉の4君と青木建設の高松主任に、深甚なる謝意を述べます。

参考文献

- 1) 山崎不二夫・山内豊聡監訳(1972): R. N. ヤン、B. P. ワーケンテン著『土質工学の基礎』鹿島出版
- 2) 松尾新一郎・宋永煥(1971): 締固め土の構造と工学的性質の相関性に関する微視的研究。
土木学会論文報告集第189号。PP 63~77。
- 3) Ryumoshin Yoshimaka, Hidehiko Kazama(1973): Micro-Structure of Compacted Kaolin clay, Soils and Foundation, Vol.13, No.2, PP19~34
- 4) 岡田富士夫・山内豊聡・松田滋(1974): 一次元圧密の海成堆積粘土の構造変化について。
九州大学工学集報第47巻第6号。PP 707~711。
- 5) Mitchell, J.K.(1956): The fabric of natural clays and its relation to engineering properties. Proc. Highway Res. Bd., Vol.35. PP.693-713
- 6) James M. DUNCAN, and H. BOLTON SEED, (1966): Anisotropy and Stress Reorientation in clay, Proc. A.S.C.E., Vol.92, SM 5, PP 21-50.

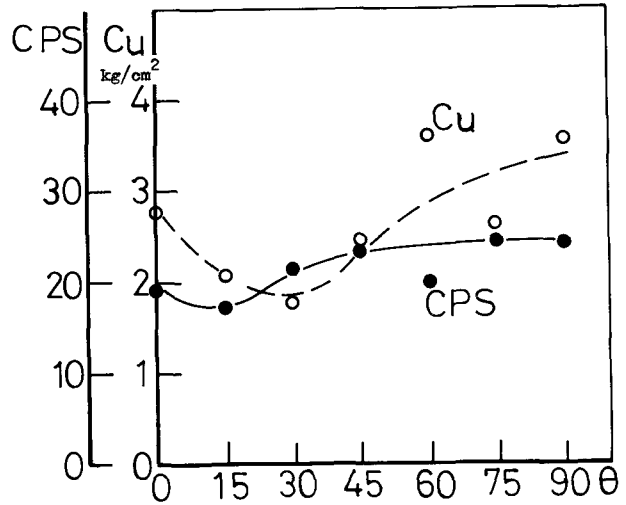


Fig. 5.
Relation between intensity with 17 Å of X ray diffraction from vertical section and change of cohesion.