

住友セメント(株)中央研究所 ○吉 原 正 博

石 崎 仁

銀 山 功

軟弱地盤対策工法の1つとして近年注目を浴びているセメント系固化材による地盤改良工法がある。そして、セメント系安定処理土(改良土)の力学特性が次第に明らかになっている。しかし、改良土の一軸圧縮強度を取り上げてみても、様々な要因が一軸圧縮強度に関与している。三軸圧縮試験についても同様である。そこで、著者らは一種類ではあるが、一軸圧縮強度に影響を与えると思われる要因として、初期含水比・固化材添加率・材令などを変えた改良土の三軸圧縮圧密非排水試験を行ない、実験結果を整理したので報告する。

1. 試料および実験方法

試料に用いた原土は千葉県市川市より採取した粘性土で、その物理的性質を表-1に示す。原土は所定の含水比に調整した後、当社のセメント系固化材を使用し、所定の添加率、水固化材重量比でホバート型ソイルミキサーで混合かくはんした。実験内容は表-2に示す。供試体寸法は $\phi 50 \text{ mm} \times H 100 \text{ mm}$ とし、脱型後、材令日まで水中養生した。水温は $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ である。表-2において、 W_0 は調整した原土の含水比・ A_w は添加率(固化材重量/原土の湿潤重量)・ W/C は水固化材重量比・ q_u は一軸圧縮強度・記号は図-2以降に対応している。

また、圧密時間は24時間とし、24時間経ても間隙水圧が0にならない場合は、間隙水圧の減少率が $0.003 \text{ kgf/cm}^2/\text{hr}$ 以下になった時に打ち切った。そして圧密を促進させるために供試体周面にろ紙を巻き、排水は上端のみとし、間隙水圧は底部で測定した。

2. 実験結果および考察

図-1は、No.3の供試体において初期圧密有効応力を変化させた場合の有効応力経路図である。●印は軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 1 \text{ } \mu\text{min}$ である。この原土においても2本の限界状態線が描かれることがわかる。しかし文献¹⁾の報告ほど、小さな初期圧密有効応力で有効応力経路は顕著に左側へ回り込まないし、初期圧密有効応力が大きくなれば、かなり右側へ回り込む傾向がある。この傾向は他の試験にも見られた。原因として、原土の土粒子自身の圧縮性と供試体にろ紙を巻いたことが考えられる。圧密促進のため供試体周面にろ紙を巻くと、圧密中の供試体横断面内の体積ひずみ分布は不均一となる。この状態で速いひずみ速度で非排水せん断試験すると、せん断初期では間隙水圧の反応が遅れると考えられる。図-1の変位速度 $0.01 \text{ } \mu\text{min}$ 印の有効応力経路は、せん断速度が遅いために、間隙水圧の反応が良好であったと考えられる。このことから、

表-2 実験内容

No	W_0 (%)	A_w (%)	W/C (%)	材 令 (日)	q_u (kgf/cm^2)	
1	80	10	100	7	4.37	○
2	80	10	100	91	8.82	●
3	80	5	100	7	1.22	●
4	100	10	100	7	2.25	△
5	100	10	100	28	3.32	▲
6	100	10	100	60	4.41	▲
7	100	10	100	91	5.80	▲
8	100	10	0	7	4.88	□
9	100	20	100	28	8.40	■
10	100	7.5	100	28	4.86	■

表-1 土の物理的性質

比 重	飽 和 度	自然含水比	液性限界	塑性限界	レキ分	砂 分	細 粒 分	強熱減量	日本統一
G_s	S_r (%)	W_n (%)	LL (%)	PL (%)	2.0 mm 以上 (%)	2.0 mm ~ 74 μm (%)	74 μm 以下 (%)	I _g Loss (%)	土 質 分 類
2.646	98.4	50.6	50.6	20.7	0	30.8	69.2	—	MH

同一ひずみ速度でも圧密排水条件により有効応力経路が異なる可能性があることに留意する必要がある。また、図-1中の▲印、■印はそれぞれ軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 0.1, 0.01 \text{ } \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ と変化させた場合であるが、有効応力より求めた限界状態線は軸ひずみ速度の影響を受けないことがわかる。

図-2に三軸圧縮試験の圧密過程に得られた ϵ_v (体積ヒズミ)と $\frac{\sigma'_v}{q_u}$ (初期圧密有効応力と一軸圧縮強度との比)の関係を示す。この図より一軸圧縮強度に無関係に相関関係があることがわかる。そして相関関係において直線が $\frac{\sigma'_{v,cri}}{q_u}$ 軸との交点を見れば約 $\frac{\sigma'_v}{q_u} = 0.5$ くらいである。つまり、 $\frac{\sigma'_v}{q_u} \leq 0.5$ であればセメント水和物と土粒子の団塊はさして形状も変化せず密になろうとする。言い換えれば団塊内に空隙を残したままの状態である。一方、 $\frac{\sigma'_v}{q_u} > 0.5$ となれば徐々にセメント水和物の固結力は失われ、団塊そのものが崩壊して団塊内の空隙をセメント水和物と土粒子で埋めようとするため、 ϵ_v が大きくなると考えられる。また同様な傾向が文献(2)にも見受けられる。

図-3は軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 1 \text{ } \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ での $(\sigma_a - \sigma_r)_{\text{max}}/q_u$ (最大軸差応力と一軸圧縮強度の比)と $\frac{\sigma'_{v,cri}}{q_u}$ の関係図です。この図からも一軸圧縮強度に無関係に、 $(\sigma_a - \sigma_r)_{\text{max}}/q_u$ と $\frac{\sigma'_{v,cri}}{q_u}$ は相関関係にある。そして、限界拘束応力 $\sigma'_{v,cri}$ と q_u の関係は約 $\frac{\sigma'_{v,cri}}{q_u} \approx 0.5$ となり、 $\frac{\sigma'_v}{q_u} \leq 0.5$ であれば $(\sigma_a - \sigma_r)_{\text{max}}/q_u \approx 1$ となる。これは文献(2)、(3)と同様な結果である。また $\frac{\sigma'_v}{q_u} > 0.5$ では、軸ひずみ速度が一定であれば改良土の摩擦則が原土の含水比や添加率や材令に左右されず、一軸圧縮強度に関与されることが言える。

図-4は、各々の実験において有効応力で整理して得た有効内部摩擦角 ϕ' と一軸圧縮強度との関係図です。図より q_u が大きくなれば ϕ' は小さくなる傾向がある。改良土は原土と比べて極端に間隙比の減少がないにもかかわらず大きな粘着力を有する。間隙比の減少が少なければ、土構造の摩擦抵抗はそれほど変化しないので、粘着力が増加すれば見かけ上の内部摩擦角は小さくなる。粘着力を一軸圧縮強度で代表できるものとするれば図-4の結果を説明できる。

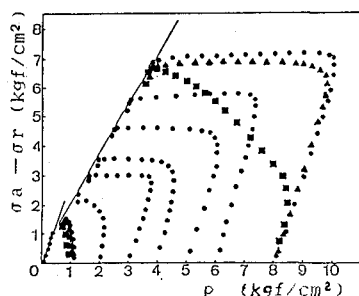


図-1 有効応力経路図

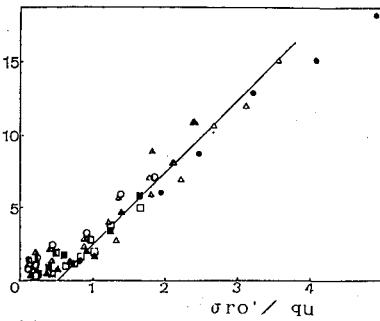


図-2 $\sigma'_{v,cri}/q_u \sim \epsilon_v$ 関係図

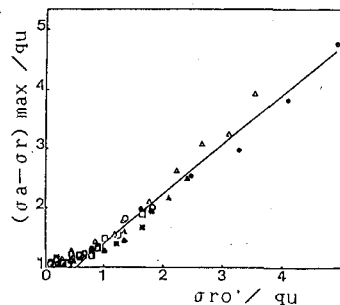


図-3 $\sigma'_{v,cri}/q_u \sim (\sigma_a - \sigma_r)_{\text{max}}/q_u$ 関係図

3. 結論

図-2、図-3より $\sigma'_{v,cri}$ はセメント水和物と土粒子の団塊が崩壊するかどうかの応力であると言い換えることができる。そして、この実験に関しては、 $\sigma'_{v,cri}$ はほぼ一定値となることがわかる。また、有効内部摩擦角は一軸圧縮強度が大きくなれば、減少する傾向がある。

4. 参考文献

- 1) 吉原・石崎・銀山 (1983) 第38回土木学会年次講演集
- 2) 寺師・田村・光本他 (1980) 港湾技術研究所報告 第19巻
- 3) 小林・大野・龍岡他 (1981) 第16回土質工学会概要集
- 4) 石崎・銀山 (1983) 第38回土木学会年次講演集

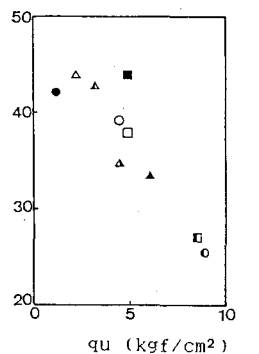


図-4 $q_u \sim \phi'$ 関係図