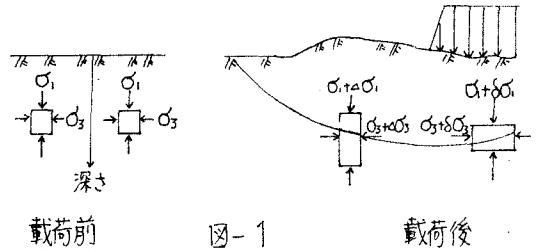


1 はじめに 築堤荷重による地盤の安定解析には一般に $\phi_c=0$ 解析法などが用いられるが、その場合、地盤の強度の指標としては一軸圧縮強さや原位置ベーン強さなどが用いられる。非排水状態で載荷された地盤の変形状態および応力状態を概念的に描いたのが図-1である。

この図にも示すように築堤荷重によって地盤内には、伸張応力状態と見なせる領域が発生し、破壊スベリ面がこの領域を通る場合にはこの領域内の強度としては伸張強度を用いなければならない。一般に伸張強度(C_{ue})は圧縮強度(C_{uc})よりも小さく、粘性土におけるその値は、Henkel¹⁾ Parry²⁾らによれば圧縮強度の70~80%の値と報告されている。



載荷前

図-1

載荷後

圧縮強度と伸張強度との関係は、①圧縮時と伸張時の

内部摩擦角 ϕ は等しい。②破壊時の平均有効主応力は圧縮時、伸張時とも等しい。という条件のもとに

$$C_{ue} = \frac{3 - \sin \phi}{3 + \sin \phi} \times C_{uc} \quad \text{----- (1)式}$$

なる関係がある。しかし②の条件は一般には成立しないので(1)式を用いて圧縮強度から伸張強度を推定することはできない。筆者は $\phi_c = \phi_e$ なる等方圧密無機質粘性土において

$$\frac{C_{uc}}{C_{ue}} = 1 + \frac{2}{3} (C_{yp})_c \quad \text{----- (2)式}$$

なる関係を実験的に導いたので以下これに関して報告するとともに、有機質土における圧縮強度と伸張強度との関係を考察する。

2 記号の説明 圧縮状態、伸張状態の定義は一般に行なわれているように、中間主応力が最小主応力に等しい場合を圧縮、最大主応力に等しい場合を伸張とし、(a)軸圧 σ_1 増加、側圧 σ_3 一定の圧縮試験をCompression Test, (b) σ_3 一定、 σ_1 減少の圧縮試験をExpansion Test, (c) σ_3 一定、 σ_1 増加の伸張試験をExtension Test, (d) σ_3 減少、 σ_1 一定の伸張試験をTension Testと呼び各試験から得られる定数値にはその試験名を示すサビックスを用いる。たとえば、 ϕ_{comp} , ϕ_{exp} , ϕ_{ext} , ϕ_{ten} , etc.

3 土の強度増加率 一般に土の強度増加率(C_{yp})はSkemptonにより
$$\frac{C_u}{P} = \frac{\{K + (1-K)A_f\} \sin \bar{\phi}}{1 + (2A_f - 1) \sin \bar{\phi}} \quad \text{----- (3)式}$$

として与えられているがこの式を適用できるのは圧縮試験に対してであり、伸張試験に対しても適用させるためには

$$\frac{C_u}{P} = \frac{\{K + (1-K)A_f\} \sin \bar{\phi}}{1 \pm (2A_f - 1) \sin \bar{\phi}} \quad \text{----- (4)式}$$

と与えなければならない。(4)式において右辺分母の正負の符号は圧縮試験の場合に正、伸張試験の場合に負となる。Kは圧密時の主応力比であり、 A_f は破壊時のSkemptonの側圧係数である。

4 側圧係数 A , a , $\bar{A}$ 三軸試験の技術が進んで三軸伸張試験が行なわれるようになった結果Skemptonの側圧係数 A の値は一つの土に対しても圧縮試験と伸張試験の各々に対してかなり異なることがわかった。そこでHenkel¹⁾は側圧係数の表示として中間主応力の影響を考慮した係数“ a ”を提案した。 a と A との関係は軸対称応力状態のもとで $\sqrt{2}a = \pm(A - 1/3) \quad \text{----- (5)式}$ なる関係がある。又、セン断によって発生した全側圧をセン断のために要した主応力差は $\sigma_3 - \sigma_1$ で除した値を $\bar{A} = \sigma_3 / (\sigma_3 - \sigma_1)$ と記すと $\bar{A}$ と a との関係は $\sqrt{2}a_{comp} = \bar{A}_{comp} - 1/3$, $\sqrt{2}a_{exp} = \bar{A}_{exp} + 1/3$, $\sqrt{2}a_{ext} = \bar{A}_{ext} - 1/3$, $\sqrt{2}a_{ten} = \bar{A}_{ten} + 1/3$ となる。

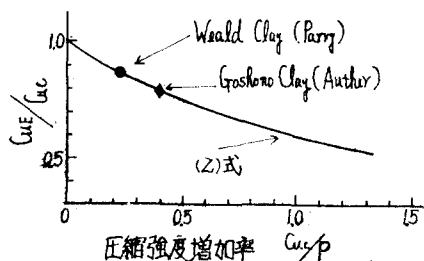
Henkel¹⁾はWeald Clay に対するせん断試験結果($\bar{\phi}_{comp} = \bar{\phi}_{Ext}$)より $\bar{A}_{comp} = 0.94$, $\bar{A}_{Ext} = 12.8$ を得て $\sqrt{2}A_{comp} = \sqrt{2}A_{Ext} (=0.61)$ なることを見出し、 α 係数は圧縮時、伸張時とも等しいと結論している。筆者らの行なった秋田市御所野の無機質粘性土($\bar{\phi}_{comp} = \bar{\phi}_{Ten}$)に対するせん断試験³⁾においては $A_{comp} = 0.673$, $A_{Ten} = -0.024$ となるが α 係数は $\sqrt{2}A_{comp} = 0.39$, $\sqrt{2}A_{Ten} = 0.31$ となりほぼ $A_{comp} = A_{Ten}$ となる。又、Parry²⁾らの実験データより $\bar{A}$ 係数を求めてみると $\bar{A}_{comp} = 0.935$, $\bar{A}_{Exp} = -0.058$, $\bar{A}_{Ext} = 1.624$, $\bar{A}_{Ten} = 0.282$ となるが α 係数を計算すると $\sqrt{2}A_{comp} = 0.602$, $\sqrt{2}A_{Exp} = 0.609$, $\sqrt{2}A_{Ext} = 0.58$, $\sqrt{2}A_{Ten} = 0.615$ となり、ほぼ $A_{comp} = A_{Exp} = A_{Ext} = A_{Ten}$ なる関係が見い出される。軽部⁶⁾らは大阪中積層粘土に対するせん断試験($\bar{\phi}_{comp} = \bar{\phi}_{Ext}$)より $A_{comp} = 0.14$, $A_{Ext} = 0.12$ を得ておりHenkelが得たような両試験の α の一致は見られなかったと報告しているが $\bar{A}$ の差に比して α の差は小さいので、ここでは $\bar{\phi} = \bar{\phi}$ なる無機質粘性土の破壊時の α 係数は一つの土に対して応力の作用状態に無関係にほぼ一定であるとして、以下の検討を行なう。

5 C_{uc} と C_{ue} との関係 $\bar{\phi} = \bar{\phi}$ なる無機質粘性土においてはほぼ $A_{comp} = A_{Exp} = A_{Ext} = A_{Ten}$ であること、および(5)式より、 $A_E = \frac{2}{3} - A_C$ ----- (6)式なる関係が導かれる。ここに $A_C = A_{comp} = A_{Exp}$, $A_E = A_{Ext} = A_{Ten}$ とする。(6)式と(4)式より圧縮強度増加率、伸張強度増加率はそれぞれ圧縮試験から得られる定数値を用いて

$$\frac{C_{uc}}{P} = \frac{\sin \bar{\phi}_c}{1 + (2A_c - 1) \sin \bar{\phi}_c}, \quad \frac{C_{ue}}{P} = \frac{\sin \bar{\phi}_c}{1 + (2A_c - \frac{1}{3}) \sin \bar{\phi}_c}$$

となり、これより C_{ue} と C_{uc} の関係として $\frac{C_{uc}}{C_{ue}} = 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{C_{uc}}{P} \right)$ ----- (2)式

が導かれる。(2)式の関係は圧縮試験の結果から伸張強度が推定できることを示しておりその意味においては有用な式と言えよう。筆者らの実験データを用いて圧縮試験結果より伸張強度を推定し実測値と比較をしてみると、推定値 $\div 0.320 \times P$, 実測値 $\div 0.316 \times P$ (但し P は圧密圧力)となり推定値と実測値はほぼ一致する。(2)式の関係を図に示すと右図のようになる。図にはParry²⁾らの実験結果をも示しているが(2)式をほぼ満足することがわかる。又(2)式は圧縮強度増加率が大きいほど、圧縮強度に対する伸張強度の比は小さいことを示している事に注目したい。さて、以上は通常の無機質粘性土に対する議論であるが、有機質土に対しては多少様子が異なる。



筆者らの行なった有機質土に対する圧縮伸張試験結果では

$$(\sqrt{2}A_{comp}) \div 2 \times (\sqrt{2}A_{Ten}), \quad \bar{\phi}_{comp} \div 2 \times \bar{\phi}_{Ten}$$

なる関係が得られており、これから $\frac{C_{u, comp}}{P} = \frac{\sin \bar{\phi}_{comp}}{1 + (2A_{comp} - 1) \sin \bar{\phi}_{comp}}, \quad \frac{C_{u, Ten}}{P} = \frac{\sin(\frac{1}{2} \bar{\phi}_{comp})}{1 + A_{comp} \sin(\frac{1}{2} \bar{\phi}_{comp})}$

なる関係が得られるが、(2)式のように圧縮試験結果から伸張強度を推定することは一般にはできない。よなわち有機質土の伸張強度は実験より求めなければならない。

6 ダイラタンシー α 係数は土のダイラタンシーの密接に関連した係数であるが、上述のように通常の無機質粘性土に対して $\frac{a_c}{a_e} \div \frac{\bar{\phi}_c}{\bar{\phi}_e} \div 1$ 筆者らの用いた有機質土に対して $\frac{a_c}{a_e} \div \frac{\bar{\phi}_c}{\bar{\phi}_e} \div 2$

なる関係が導かれたのは非常に興味深く、内部摩擦角に及ぼすダイラタンシーの影響を暗示している一側と思われる。諸戸⁷⁾らは三主応力を制御した砂のせん断試験において内部摩擦角はダイラタンシーの出力に帰因するものであると結論している。これらの関係は今後の課題として研究して行きたい。

参考文献 ① D.J. Henkel "The shear strength of saturated remoulded clays" Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, Colorado (1960)
② Parry R.H.G. "Triaxial Compression and Extension Test on Remoulded Saturated Clay" Geotechn. Vol. 10, No. 9 (1960) 314
③ 最上武雄編著 "土質力学" 技報堂
④ 加藤及川宮川 "有機質土の粘性土の二軸圧縮伸張試験に関する考察" 昭和54年度土木学会東北支部研究発表会発表要旨集
⑤ 軽部・栗原 "解凍粘土のダイラタンシーせん断強度について" 土木学会論文集 1975 ⑥ 諸戸及川 関本 "三主応力状態における砂の挙動" 秋田大学学報 1975