SCP 打設によって撹乱を受けた粘土地盤の変形・強度について

山口大学工学部　正会員　松田　博
五洋建設(株)　正会員　藤原　克久
山口大学大学院　学生員○江本　直矢

1. まえがき

粘土地盤に砂杭を打設する際には、ケーシングを貫入したうえでさらにバイブロフロットの押し引きを繰返すことによって、砂杭の直径が所定の値に確保される。その際、砂杭周辺の粘土はただ単に一方向のせん断を受けるだけではなく、繰返しせん断、圧縮等複雑な変形を受ける。このような挙動を室内において再現することは容易ではないが、ここでは、撹乱の程度をせん断ひずみと繰返しせん断の回数によって制御できることから、動的単純せん断試験装置を用いて、粘土の撹乱がせん断強度に及ぼす影響を調べた。一方、従来から用いている動的単純せん断試験機においては繰返しせん断の方向と繰返しせん断後に行なう静的せん断の方向が一致していたが、砂杭打設時に粘土が受ける撹乱はせん断方向が必ずしも特定されていない。そこで、ここでは繰返しせん断の方向と静的せん断の方向を一致させるか、あるいは直交させることの可能な多軸単純せん断試験装置を新たに作成して、繰返しせん断方向と静的せん断方向の違いが静的強度に及ぼす影響を調べた。

2. 撹乱を受けた粘土の圧密・強度特性に関する室内実験

2.1 実験方法　用いた試料は、不撹乱の徳山粘土(G_s=2.680、w_L=113.0%、w_P=37.3%、I_p=75.7)である。まず、σ_{vo}で圧密後、定体積条件で繰返し単純せん断試験を行なった。その後、鉛直方向変位の拘束を解除して再びσ_{vo}で圧密を行った後、定体積条件のもとで静的せん断試験を行った。また、繰返しせん断試験の直後に静的せん断試験を行うという実験も行った。静的試験を行なうにあたっては、せん断方向を 2 方向、すなわち繰返しせん断と同一方向(X方向)とする場合、直角方向(Y方向)とする場合について実験を行なった。今回は、いずれの場合も繰返し回数 n は 200 回とし、ひずみ振幅γ_{dyn}は 0.5～10 %の間で変化させた。また、静的せん断時のひずみ速度は 1 %/min とした。

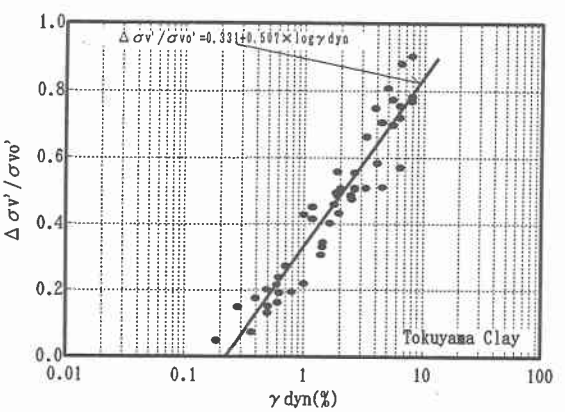
2.2 繰返しせん断によって生じる有効応力の減少　正規圧密粘土に対して定体積条件のもとで繰返しせん断を行うと、繰返し回数の増加とともに過剰間隙水圧が粘土層内に蓄積され、有効応力が減少する。この有効応力減少量$\Delta\sigma_v'$とγ_{dyn}の関係を示したものが図－1 である。図中のプロットは実測値であり、直線は、各プロットに対して次式のように直線近似したものである。

$$\Delta\sigma_v' / \sigma_{vo}' = D + E\,\ell og\gamma_{dyn} \quad (1)$$

ここに、D、Eは定数である。同図より、ひずみ振幅の増加とともに有効応力が著しく減少することが分かる。

2.3 繰返しせん断中に発生した過剰間隙水圧消散速度

SCP打設によって粘土内に蓄積した過剰間隙水圧は時間経過とともに消散するが、この消散速度は強度回復と密接に関係することから、ここでは繰返しせん断後の再圧密過程における圧密速度を調べた。圧密係数比C_{vd}/C_v (C_{vd}:繰返しせん断後の再圧密過程における圧密係数、C_v:正規圧密状態の圧密係数)と応力減少比 *SRR*[1] の関係を示したものが図－2 である。ばらつきはみられるものの、繰返しせん断が作用すると圧密係数は増加する

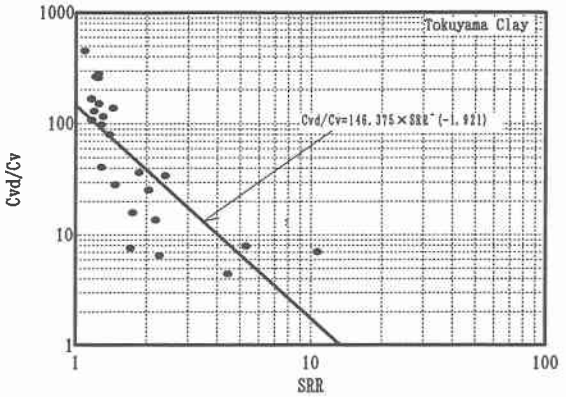


図－1

こと、また乱れの程度が著しくなって SRR が増加すると圧密係数比 C_{vd}/C_v は減少する傾向のあることがわかる。そして、C_{vd}/C_v と *SRR* の間には次式の関係が成り立つ。

$$C_{vd}/C_v = a \times (SRR)^b \quad (2)$$

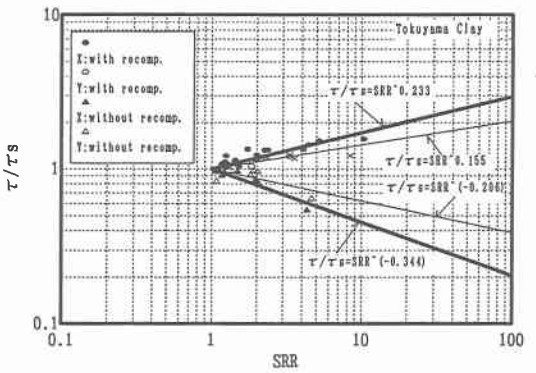
ここに、a、b は実験定数である。すなわち、SCP 打設によって粘土が撹乱を受けた場合、圧密速度は増加するが、増加の割合は撹乱の程度によって異なる。このことより、砂杭間の粘土の過剰間隙水圧の消散速度については、撹乱の程度が大きいことから、圧密係数の著しい増加は期待できないが、改良域からの距離の増加とともに撹乱の程度が減少し、圧密係数の増加が期待される。



図－2

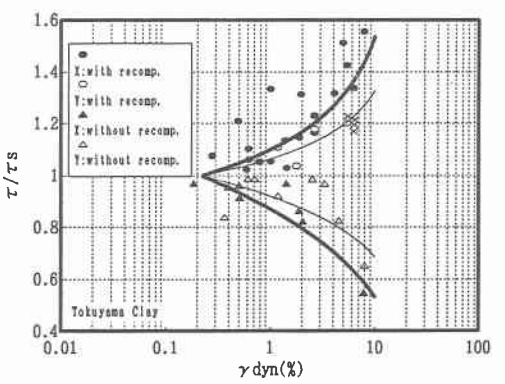
2.4 繰返しせん断履歴後の強度特性　繰返しせん断履歴を持つ粘土の静的せん断強度 τ（静的せん断ひずみ 15％時のせん断強度）を、繰返しせん断履歴のない粘土のせん断強度 τ_s で正規化した強度比 τ/τ_s と *SRR* の関係を示したものが図－3 である。同図には繰返しせん断方向と静的せん断方向を同一とした場合（X）と直交させた場合（Y）の結果について示している。同図より τ/τ_s と *SRR* の関係は両対数紙上で、直線で近似されることから、τ/τ_s は *SRR* を用いると次式のように表される。

$$\tau/\tau_s = SRR^{\xi} \quad (3)$$



図－3

ここに、ξ は実験定数である。一方、*SRR* はせん断ひずみ振幅の関数として表されることから τ/τ_s は繰返しせん断時のひずみ振幅 γ_{dyn} の関数として表すことができる。そこで、τ/τ_s と γ_{dyn} の関係を示したものが図－4 である。せん断強度は、繰返しせん断直後は 10-20%程度低下し、再圧密を行なうと、ひずみ振幅の大きさによっても異なるが、せん断強度は50％程度増加することがわかる。また、繰返しせん断直後は、X方向の強度の低下が顕著であるのに対して、再圧密後はY方向の強度増加はX方向の強度ほど期待できないことがわかる。したがって、繰返しせん断後の強度を推定する場合、繰返しせん断と同一方向のせん断試験によって、強度を推定すると危険側の結果を与えることになる。



図－4

3. まとめ

ここでは徳山粘土について繰返しせん断後の静的強度を多軸単純せん断試験装置を用いて調べた。その結果、繰返しせん断直後は一旦強度が低下するが（τ/τ_s=0.8～0.9 程度まで低下）、再圧密の進行とともに強度は回復し、強度比は最終的に 1.2～1.5 になること、また繰返しせん断と同一方向のせん断試験によって再圧密後の強度を推定すると危険側の結果を与えることが分かった。

参考文献：1）松田博、中川義守、石井一郎、粘性土の繰返しせん断後の再圧密・強度特性、粘性土の動的性質に関するシンポジウム発表論文集、pp.163-168。