自然堆積粘土三軸供試体の非排水繰返しせん断挙動とその圧密後の単調せん断挙動

名古屋大学 正会員 中井健太郎、中野正樹、野田利弘 フェロー会員 浅岡顕

## 1.はじめに

図-1と図-2はGEOASIA(文献1),2)などを含む)に よる盛土構造物~砂・軟弱粘土互層の自然堆積地盤系の 地震中・地震後の動的/静的水~土骨格有限変形解析の 結果である<sup>3)</sup>。図は地震発生から30年後のせん断ひずみ 分布を示している。盛土が締固め不足の場合は、図-1の ように、側方流動によって盛土自身が大きく変形し、上 部砂層も引きずられるように側方へ変位する。この時、 粘土層にはひずみがほとんど発生していない。一方、盛 土が締め固まっていて十分に密な場合、図-2のように、 盛土自身はほとんど変形していない。しかし上部砂層と 下部粘土層との層境に大きな応力集中が発生し構造が低

位化して(つまり乱れが生じて)、その後粘土層で長期沈下を誘発する。(実際、地震後に沈下が加速化した例 は報告されている<sup>4)</sup>。)盛土自身の変形量が大きい場合は、地震動によるエネルギーの多くが盛土周辺で消散 されてしまい、他層でせん断ひずみの発生は小さくなるが、変形量が小さい場合は他層で大きくなる。

本報では、三軸試験機を用いて行った、自然堆積粘土供試体の繰返し非排水せん断試験、その後の圧密試験、 ならびに、さらにその後の単調せん断試験の結果について述べる。

2. 試料および試験方法

試料は三重県四日市市周辺から採取した沖積粘土で、採取深度は GL-18.0~19.9m である。当該粘土層はN値が0~4と小さく、非常に軟 弱な粘土である。物理特性を表-1に、粒径加積曲線を図-3に示す。

できるだけ乱さないよう採取した試料を =35mm、h=80mm に成形し て三軸試験機にセットした後、背圧を 196kPa かけて飽和度を高めた。 拘束圧 $\sigma_c$ は試料採取深度を考慮して、土被り圧を挟んだ 98kPa と 196kPa とした。所定の圧密圧力で 48 時間等方圧密した後、軸力制御で 側圧一定繰返し非排水三軸試験を実施した。繰返し応力は正弦波形で与 え、応力振幅 $\sigma$ は応力振幅比一定 $\sigma/\sigma_c$  = 0.5 となるように調整し、周期 120 秒で繰り返した。所定の回数繰り返した後、繰返しを止めてからそ のまま排水コックを開き、その後の圧密・せん断挙動についても調べた。 3.自然堆積粘土の繰返し非排水せん断挙動



図-2 盛土が十分に締め固まっていて密な場合

表-1 物理特性

土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.67
液性限界 w <sub>L</sub> (%)	59.9
塑性限界 $w_p(\%)$	28.0
塑性指数 I <sub>p</sub>	31.9



図-4 に拘束圧 98kPa の試験結果(軸差応力 $q \sim = m$ ひずみ $\varepsilon_a$ 関係と $q \sim = m$ 均有効応力p'関係)を示す。繰返し回数は 280 回である。土被り圧以下の拘束圧で等方圧密したため、試料は過圧密状態にある。繰返し初期こそp'の減少が見られるが、減少量は次第に小さくなり、p' = 60kPa ( $p'/\sigma_c = 0.6$ )で収束した。試験中 $\varepsilon_a$ はほとんど生じず、繰返しせん断中に供試体が変形していない。図-5 は拘束圧 196kPa の試験結果である。拘束圧が土被り圧以上であるため、ほぼ正規圧密状態にある。繰返し初期にp'が大きく減少するが、図-4 とは異なって収束しない。有効応力パスは途中から「8」の字型を描き、繰返しとともに少しずつp'が減少する。 $\varepsilon_a$ を

自然堆積粘土、繰返しせん断、圧密、非排水せん断 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-3834, FAX 052-789-3836

見てみると、繰返し初期はほとんど生じないものの、低有 効応力下において伸張側で次第に進展していく。最終的に は繰返し回数 70 回で  $\varepsilon_a$ が 20%を超え、供試体が脆性破壊 した。この時 p'=40kPa ( $p'/\sigma_c=0.2$ ) であり、過圧密状態 (図-4)よりも p'の減少が大きい。なお、間隙水のマイグ レーションの効果を検討するために、周期 2400 秒でも試験 したが、大きな違いは得られなかった。

4.繰返しせん断後の圧密挙動とせん断挙動

繰返しせん断後の圧密挙動について調べた。排水コック を開くと、繰返し非排水せん断時に蓄積した過剰水圧( p' の減少)の消散とともに圧密が進行する。圧密終了までに 要した時間は約24時間であった。試験条件および試験結果 を表-2 に示す。過圧密粘土は繰返しせん断中の p'減少が小 さいため、比体積変化量(圧密量)も小さい。一方、正規 圧密粘土は繰返し回数が多いほどその後の比体積変化量も 大きくなっている。試験結果から、繰返しせん断後の比体 積変化量は最大 $\varepsilon_a$ と関連があり、最大 $\varepsilon_a$ が大きいほど、そ の後の比体積変化量も大きくなることがわかった。

図-5 は、圧密後に単調載荷非排水三軸試験を行った結果 である。拘束圧 98kPa については、繰返しせん断履歴のな い試験結果も同時に示している。繰返しせん断履歴のない [A]は、硬化後の軟化挙動(「巻き返し挙動」)といった典型 的な自然堆積粘土の非排水せん断挙動を示す。顕著な軟化 挙動を示すことから、構造高位な軟弱粘土と捉えることが できる。一方、繰返し載荷履歴のある[B](表-2中[1]) [C] (表-2中[3])を見てみると、いずれもピークを迎えた後で [A]と同じように軟化挙動を示しており、繰返しせん断後も 高位な構造を有する軟弱な粘土のままであることがわかる。 5.まとめ

軟弱な自然堆積粘土は、特に過圧密比が小さい(正規圧 密状態にある)時に、繰返しせん断によって p'が減少し、

大きなひずみが発生する。また、繰返しせん断終了後に排水条件にすると、蓄積した過剰水圧の消散とともに 圧密が進行する。図-1、図-2における解析では、構造劣化が起因となって長期大沈下が生じていた。

本報で示した試験は、等方応力条件下であるため、繰返しせん断後も高位な構造を残したままであったと考 えられる。盛土載荷等がある実地盤を想定した高応力比下での同様の三軸試験を実施し、繰返しせん断に伴う 構造劣化等の骨格構造の変化の様子も調べてゆきたい。

参考文献 1) Asaoka & Noda (2007): All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on Constitutive Modelling - Development, Implementation, Evaluation, and Application, Hong Kong, China, pp.11-27. 2) Asaoka, A. et.al. (2002) : An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanism of soils, S&F, Vol.42, No.5, pp.47-57. 3) 竹内秀克他(2007):砂・粘土互層地盤~盛土系の地震中/地震後挙動に及ぼす盛土等の硬さ の影響, 第 42 回地盤工学研究発表会. 4)佐々木康,加納誠二,辻誠治(2003): ジオグリッドによる堤防の地震時 变形抑止効果,地盤工学会誌,第51巻,第3号,pp.28-30.





表-2 繰返しせん断後の圧密挙動

	[1]	[2]	[3]	
拘束圧 (kPa)	98	196	196	
応力振幅比 $\sigma/\sigma_c$	0.5	0.5	0.5	
圧密前 p' (kPa)	60	65	45	
繰返し回数	280	63	70	
最大 $\varepsilon_a$ (%)	0.30	6.35	11.0	
比体積変化量 Δv	0.02	0.07	0.13	
$\begin{bmatrix} C_{1} \\ C_{2} \\ C_$				
図-6 圧変後の単調非排水せん断挙動				