

正規圧密粘性土の破壊後挙動に関する三軸圧縮試験

名古屋大学大学院	学生員	○	中野 正樹
名古屋大学大学院	学生員		小倉 和巳
名古屋大学工学部	正 員		浅岡 顕

1. はじめに

正規圧密粘性土が非排水状態でせん断破壊に至る時、正の過剰間隙水圧が発生する¹⁾。この正の間隙水圧は供試体内で間隙水のマイグレーション（移動のこと）を起こす原動力となる。本研究において、この間隙水のマイグレーションによる「破壊後挙動」に注目し、まず非排水三軸圧縮試験を破壊するまで行い、その直後軸変位を固定したままで排水を許し十分圧密させ、再度非排水圧縮試験を行った。そして破壊時の間隙水圧、排水量、および破壊後の軸差応力の増加などを調べた。また、研究に先立ち「破壊後挙動」に関する既往の研究についてごく簡単に整理しておく。

2. 既往の研究

「破壊後挙動」に注目した研究は非常に少ないが、工学的に同じ意味合いをもつと思われる研究として「繰返し載荷」と「土の乱れ」の大きく2つが挙げられる。

まず「繰返し載荷」について、地盤に地震や交通荷重あるいは波浪などの繰返し荷重を受けると、間隙水圧が蓄積し砂地盤であれば液状化を起こし、粘土地盤であれば有効応力の低下に伴う強度減少、沈下等が生じるという問題背景より研究が進められていた。このようにほとんどが繰返し載荷により蓄積された間隙水圧に注目しているが、「破壊後挙動」に関する研究として2, 3示す。

(1)N.G.I.の研究では、正規圧密粘土の場合繰返し載荷によって、たとえ破壊状態に至った供試体でさえも、その後の排水履歴を含むことによって静的せん断強度は増加するとともに、次の繰返し荷重に対する抵抗力も増加する、という報告がある²⁾。また過圧密粘土では、繰返し載荷に対する抵抗力がむしろ低下する結果が、Bishopらの実験³⁾およびAndersenらの実験⁴⁾によって得られている⁵⁾。

(2)伊藤ほか⁶⁾、正規圧密粘土を非排水繰返し載荷し、排水を許すことにより蓄積した間隙水圧を消散させ、静的せん断試験を行いせん断強度を調べている。そして繰返し載荷中、破壊に至らない場合のせん断強度は、同じ応力状態で静的に行ったせん断強度とほぼ同じになったが、破壊に至る場合のせん断強度は劣化するという結果を得た。これは破壊によって粒子構造が大きく乱れるため、その後圧密されても、間隙比の減少量に相当する強度が発揮できないためであると考察している。

(3)草野ほか⁷⁾、沖積攪乱砂について、繰返しせん断応力により完全液状化後、再圧密するとかなり多くの排水量を伴い密になるが、液状化強さの増加はみられないこと、しかし完全液状化後小さな繰返し荷重を加えることにより液状化強さは著しく回復することを実験より示した。

次に「土の乱れ」における背景は、サンプリングや成形時による資料の乱れに伴い、地盤のせん断強度を低く見積もることが挙げられる。「破壊後挙動」とは若干性質が異なるが、興味深い研究について示す。

(1)保坂ほか⁸⁾、密な砂について、排水三軸試験を行いせん断履歴を与え、再び等方圧に戻し非排水せん断試験を行うと、与えた軸ひずみが大きくなるにつれて強度が下がることを報告している。

(2)八木らは⁹⁾、粘性土について、三軸圧縮試験で10%の軸ひずみを与えた後、再圧密した供試体に対し非排水三軸圧縮試験を行った結果、ひずみ履歴を与えない試料より強度が大きくなっていることを示し、このことは再圧密により、間隙比が小さくなったためであると考察している。また塑性指数が小さいほど強度劣化は大きいことも述べている。

以上のように、「破壊後挙動」に注目した研究は少ないものの、以下で述べる研究と関連も深い。そこで次章では、「破壊後挙動」に注目した三軸圧縮試験について報告する。

3. 繰り返し正規圧密粘土の三軸圧縮試験

試験に用いた試料は「川崎粘土」と呼ばれる $Ip=26$ の海成粘土である。試験方法は、結果とともに図1に示す軸差応力 $q \sim$ ひずみ ε 曲線を使って説明する。 $p'=3.0$ (kgf/cm^2)で24時間等方圧密し、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_1=0.0375$ (%/min)で初期非排水せん断試験を行ったところ(図1①)、ひずみ $\varepsilon_1=13.5$ (%), 軸差応力 $q_{1max}=3.29$ (kgf/cm^2)で破壊した。薄いせん断面が斜めに何本も入っているのが観察できた。さらに破壊時の低部ベDESTAL部で測った間隙水圧は、 2.07 (kgf/cm^2)であった。破壊直後、軸ひずみを固定し排水コックを開け排水させた(図1②)。この間の経時ごとの排水量は図2に、また排水に伴い軸差応力は減少してゆく様子を図3に示す(図1③)。排水は24時間行い、最終の排水量および軸差応力は $\Delta v=2.76$ (cm^3)、 $q_{1min}=1.38$ (kgf/cm^2)であった。さらに排水コックを閉めて初期と同じひずみ速度で再度非排水せん断試験を行うと、前よりも軸差応力は大きくなり $q_{2max}=5.57$ (kgf/cm^2)でピークが現れ、その後一定値に落ち着くようになった(図1④)。このときの強度比は $q_{2max}/q_{1max}=1.69$ である。せん断面は初期に起きたせん断面が成長したものと観察できた。図4には試験全体の有効応力パス(間隙水圧は供試体底部より測定)であり図中の番号は図1と合せてある。点線は排水(圧密)しているためその詳細はわからない。限界状態線は $M=1.59$ で、破壊後の粘土供強試体においても同じ値を示している。

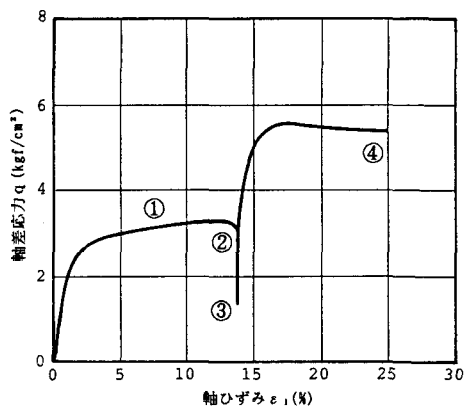


図1 軸差応力 $q \sim$ ひずみ ε 曲線

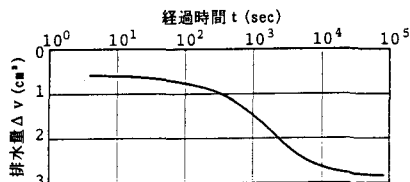


図2 せん断後の排水量

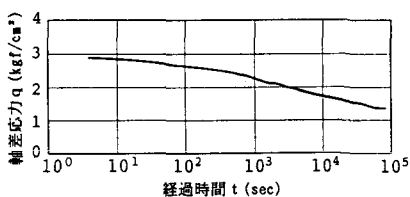


図3 排水に伴う軸差応力の減少

4. おわりに

このように破壊に至るまでに発生した間隙水圧により水のマイグレーションを起こし、排水(圧密)し間隙比を低下させ、破壊後の軸差応力は1.69倍大きくなることがわかった。最初の「非排水せん断」と同じ主応力方向で再度「非排水せん断」を行った理由などは講演時に述べる。

5. 参考文献

- 1) Bishop, A. W. & Henkel, D. J. (1962): Edward Arnold, London
- 2) NGI (1975): Report 74037-9, Oslo, Norway.
- 3) Bishop, A. W. & Henkel, D. J. (1953): Proc. 3rd Int. Conf. SMFE, Zurich, Vol. 1, pp. 94-99
- 4) Andersen, K. H. et al (1976): Proc. Int. Conf. Behaviour of Off-Shore Structures' 76, Vol. 1, Trondheim, Norway, pp. 392-403
- 5) 安原他(1988): 第23回土質工学研究発表会 pp. 745-748
- 6) 伊藤他(1975): 第10回土質工学研究発表会 pp. 341-344
- 7) 草野他(1978): 第13回土質工学研究発表会 pp. 541-544
- 8) 保坂他(1985): 第20回土質工学研究発表会 pp. 559-560
- 9) 八木他(1989): 土木学会第44回年次学術講演会 pp. 454-455

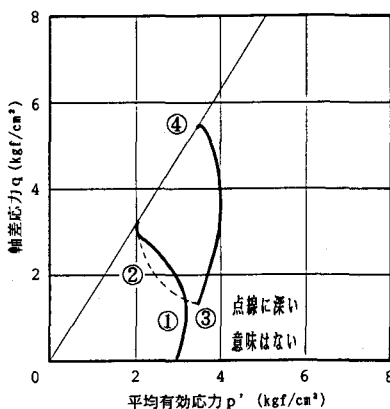


図4 試験全体の有効応力パス
(試料底部非排水端での間隙水圧を使用)