

Ⅲ - A 275 堆積泥岩の変形係数に及ぼすひずみ速度の影響について

東急建設 技術研究所 正会員 松本 正士
 東京大学 生産技術研究所 正会員 佐藤 剛司
 東京大学 工学部 正会員 龍岡 文夫

1. はじめに

堆積泥岩を対象とした大型工事では、軟岩の剛性の値そのもの、それに及ぼすひずみ速度の影響を把握する必要がある。そこで、ひずみ速度を100倍に変化させた大振幅の繰返し三軸試験を行った。

2. 試験装置および試料

0.01~0.0001%/分の範囲でひずみ速度を制御可能な軸載荷装置を用いたり、供試体変位は、図1中の挿入図に示すように①ダイヤルゲージ(ロッド変位:EXT)と非接触型変位計による②キャップ変位(GS.cap)および③供試体に直接貼付けたターゲットの2点間距離(GS.local)、及び④LDTの4方法で測定した。試料は、神奈川県相模原市に構築された地下空洞深度82.5m地点より、ダイレクトコアサンプリング法により採取した上総層群堆積軟岩(泥岩)である。直径約5cmのコアを長さ約15cmに整形し、石膏でキャッピングした。供試体側面のみをろ紙を取付け、三軸セルにセットした。二重負圧法により飽和化をはかり、現地の有効上載圧とほぼ等しい有効拘束圧0.8MPa(背圧0.2MPa一定)で等方圧密し、排水条件で三軸試験を行った。含水比は25%、B値は0.93であった。

3. 試験条件

$q=(\sigma_1 - \sigma_3)=0.5\text{MPa}$ まで、ロッド変位による軸ひずみ速度($\dot{\epsilon}_v$)= 7×10^{-7} /分(slow 載荷)で載荷した。なお、LDT測定による $\dot{\epsilon}_v$ は、測定①での値の約半分である。その後 $q=0$ まで除荷した(slow 小振幅載荷)。続いて、同じ $\dot{\epsilon}_v$ で $q=3.9\text{MPa}$ まで載荷し $q=0$ まで除荷した(slow 大振幅載荷)。さらに約100倍の $\dot{\epsilon}_v=6 \times 10^{-5}$ /分(fast 載荷)で $q=3.9\text{MPa}$ まで載荷し、除荷を行った(fast 大振幅載荷)。最後に、slow 載荷で圧縮破壊した(slow せん断)。

4. 試験結果および考察

$q \sim \epsilon_v$ 関係を図1に示す。④LDTと③GS.localで測定した局所測定軸ひずみは類似である。②外部計測のGS.capの軸ひずみはこれより大きく、特にslowでの初期載荷でその差が顕著となった。①EXTはさらにひずみの誤差が大きい。

図2に、①での軸ひずみ速度0.01%/分での類似なCU三軸圧縮試験の結果を示す。この軸ひずみでの7ケースの試験による圧縮強度の平均値は7.75MPaであり、図1を見ると軸ひずみ速度 7×10^{-7} /分の圧縮強度は6.5MPa弱であるので、軸ひずみ速度が100倍低下するとピーク強度は確実に低下すると言える。また、供試体の個体差があるので厳密な比較は出来ないが、図1,2を比較すると、応力レベルが高いほど、接線剛性 E_{tan} に及ぼすひずみ速度の影響は大きい事が伺える。

④LDTから求めた $q=4.0\text{MPa}$ までの $q \sim \epsilon_v$ 関係を図3に示す。図3では、繰返し載荷とひずみ速度の影響が混在しているので、

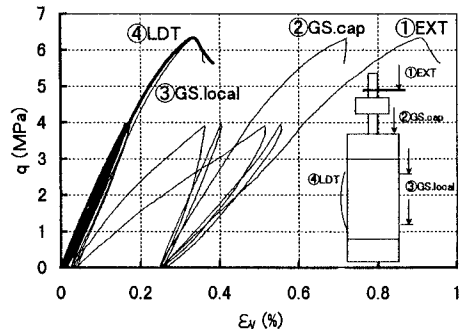


図1 $q \sim \epsilon_v$ の全体図

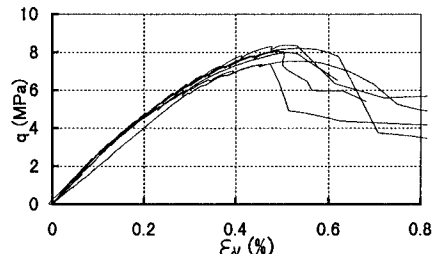


図2 $\dot{\epsilon}_v=0.01\%/分$ のCU三軸圧縮試験結果

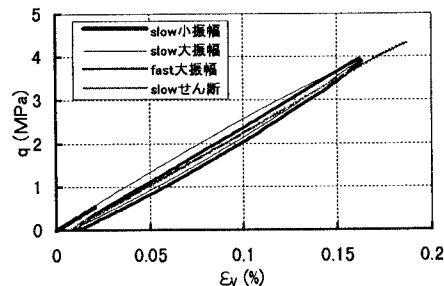


図3 LDTの $q \sim \epsilon_v$ 拡大図

キーワード：堆積泥岩、変形係数、ひずみ速度、応力履歴

連絡先（〒229-11 神奈川県相模原市田名 3062-1、Tel0427-63-9509、Fax0427-63-9503）

軸ひずみの影響は直接議論しにくい。しかし全体的に見ると、ひずみ速度の影響は大きいとは言えない。

図4.5に q が増加している載荷時の $E_{tan} \sim q$ 関係を示す。これらの結果から、次の事が分かる。

1) 図5を見るとslow載荷で q が小さい時の E_{tan} は、初期載荷時よりも大振幅繰返し載荷後の方が若干小さい。これは、 $q=3.9\text{MPa}$ までの応力履歴によるdamageの影響と思われる³⁾。
 2) 図4を見ると、 $q=2.4\text{MPa}$ までは『初期載荷時と繰返し載荷後のslowでの載荷時』と『繰返し載荷後のfastでの載荷時』で E_{tan} の値はほぼ同じである。仮に上記1)の理由により、 E_{tan} に対する繰返し載荷の影響があれば、『fast初期載荷時の E_{tan} の値』はこの図に示す『繰返し載荷後のslow載荷時での E_{tan} の値』よりも若干高くなる。図5中の破線は $E_{tan}(\bullet) \times (E_{tan}(\circ)/E_{tan}(\times))$ として推定した初期fast載荷の関係である。すると、slow載荷時よりもfast載荷時の方が E_{tan} がやや大きい、と言う事になる。しかしその差は小さい。一方、これまでの研究によると4、『 $q_{max}/2$ 以下の q では繰返し載荷による E_{tan} の変化は非常に小さい』。これらを合わせて考えると、『 $q_{max}/3$ 以下の $q=2.4\text{MPa}$ までは、 E_{tan} に及ぼすひずみ速度の影響は小さい』と結論できる。

3) しかし図5を見ると、 $q=0.0$ 近くではfast初期載荷での E_{tan} は非常に大きく、また q の増加に伴う低下も著しい。これは『載荷初期の変形特性はほぼ弾性的であり、その時のヤング率は、非排水条件での値は排水条件での値より大きい。一方、この軟岩は透水性が低いのでfast初期載荷の初期では非排水状態に近く、せん断に伴い排水条件に近づいて行った。これに対してslow載荷では載荷初期から排水条件がほぼ満足されていた』⁵⁾と解釈すれば納得できる。

4) slow初期載荷時では、 $q=2.4\text{MPa}$ 程度から低下しはじめる E_{tan} (図4.5での α)は、しかし、繰返し載荷後では $q=3.5\text{MPa}$ から低下し始める(図4.5での β)。これは繰返し載荷を受けると変形特性がより弾性的になり、それに伴い E_{tan} に及ぼすひずみ速度の影響が低下するためであろう。このことは、図6に示すように繰返し試験での除荷時には E_{tan} に及ぼすひずみ速度の影響は小さい事に対応している。なお、図6において、除荷開始直後のfast載荷での E_{tan} がslow載荷での値よりも若干大きいのは、やはり排水条件が満足されていないからであろう。

5. 結論

(1) 非排水状態での接線ヤング率 E_{tan} で表現される変形特性に及ぼすひずみ速度の影響は、破壊状態に近い程大きく、等方応力状態に近い程小さい。特に $q_{max}/3$ 以下の $q=2.4\text{MPa}$ までは E_{tan} に及ぼすひずみ速度の影響は非常に小さい。(2) あるレベルまでの応力履歴を受けた後は、そのレベル以下の応力での除荷時、再載荷時はひずみ速度の影響は小さくなる。(3) 以上合わせると、軟岩の変形特性は弾性的であるほど、変形特性に及ぼすひずみ速度の影響は小さい。従って、原位置で長期間クリープ変形した後、載荷に対して小さなひずみしか生ぜず変形特性が弾性的である場合は、変形特性に及ぼすひずみ速度の影響は以外に小さい事が想定される。

参考文献 1) 天谷他, 1997, 三軸載荷装置システムにおけるACサーボモータの利用, 第32回地盤工学研究発表会、2) 佐藤他, 1997, 軟岩の三軸クリープ試験法の開発, 第32回地盤工学研究発表会、3) 王他, 1995, 大きな繰返し応力履歴を受けた堆積軟岩の変形特性について, 土木学会第50回年次学術講演会、4) 松本他, 1997, 堆積泥岩の変形係数に及ぼすクリープ履歴およびひずみ速度の影響, 第32回地盤工学研究発表会、5) 鈴木他, 1994, 堆積軟岩の三軸圧縮試験と繰返し三軸試験による変形特性の関連について, 第29回土質工学研究発表会

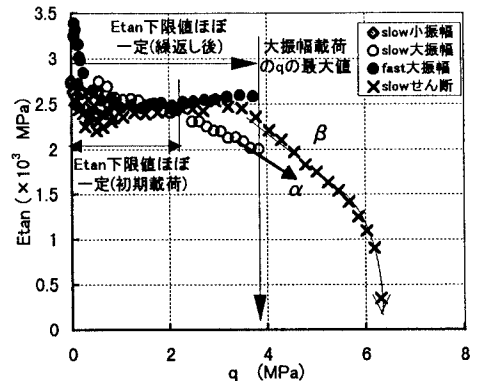


図4 $E_{tan} \sim q$ の全体図(載荷時)

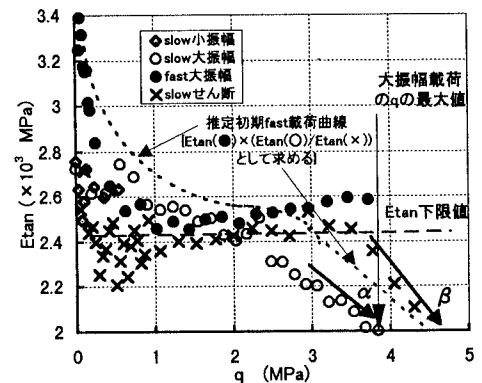


図5 図4の拡大図

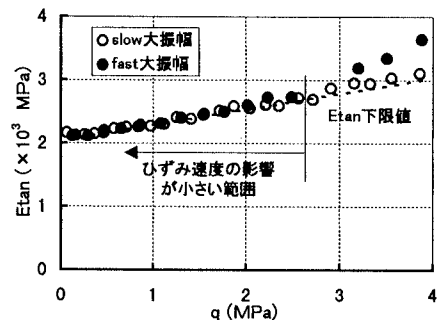


図6 $E_{tan} \sim q$ の全体図(除荷時)