

三軸圧縮・伸張試験による広範囲ひずみ域での泥炭の変形挙動

秋田工業高等専門学校 ○非会員 永井雄斗 非会員 八柳秀紀 正会員 山添誠隆  
秋田大学 正会員 荻野俊寛

1. まえがき

近年の土地利用の高度化に伴い、泥炭地盤においても家屋や鉄道などの既設構造物が近接するなかで構造物を建設せざるを得ない事例が増えている。このような近接施工では、構造物直下の変形挙動はもとより、小ひずみが発生する周辺地盤の変形挙動も正確に評価する必要がある。そこで本研究では、高精度デジタルサーボモーターを搭載した三軸試験機を用いて、微小ひずみから大ひずみまでの泥炭の圧縮時、伸張時の変形挙動について検討を行った。

2. 試験概要

実験に用いた試料は秋田県横手市大雄で採取されたもので、その基本的物性は表1に示すとおりである。三軸試験は30kPaまで等方圧密し、载荷時に及ぼす二次圧密の影響を相対的に小さくするために軸ひずみ速度が $d\varepsilon_a/dt=0.0001\%/min$ 以下になるまで待ったのちに圧密を打ち切り、その後非排水条件下において微小ひずみ領域で繰返し载荷を実施した後、 $d\varepsilon_a/dt=0.005\%/min$ の軸ひずみ速度で緩速単調载荷を行った。なお、圧縮試験では、载荷中にいくつかの軸ひずみ（ $\varepsilon_a=0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10\%$ ）において鉛直方向の微小振幅繰返し試験（ $\varepsilon_a=\pm 0.005\%$ ）およびベンダーエレメント試験（以下BE試験）を実施した。

3. 試験結果・考察

(1) 応力経路と応力-ひずみ関係

本論文で用いる弾性係数は、定義の違いによって図1のように区分した。すなわち、弾性係数には微小ひずみ領域（ $10^{-3}\%$ 程度以下のひずみ域）における $E_0$ 、任意の応力点と原点を結んだ割線弾性係数 $E_{sec}$ 、任意の応力点における傾きである接線弾性係数 $E_{tan}$ の3つがある。

図2は非排水三軸圧縮・伸張試験の応力経路図である。破壊状態の応力比 $M$ （限界応力比）は圧縮側では $M=2.82$ 、伸張側では $M=-1.81$ となった。この $M$ に対応する有効せん断抵抗角 $\phi'$ は、圧縮側では $\phi'=73.6^\circ$ 、伸張側では $\phi' > 90^\circ$ となる（参考までに図2の伸張側には $\phi'=90^\circ$ に対応する $M=-1.5$ の破壊線も書き入れた）。土の $\phi'$ は $0\sim 90^\circ$ の範囲にあるので、伸張側では植物繊維の引張り抵抗が破壊強度に影響していると考えられる。

図3は偏差応力 $q$ と軸ひずみ $\varepsilon_a$ の関係である。圧縮と伸長の結果を比較しやすいように、 $q$ および $\varepsilon_a$ ともに絶対値で表示している。図3から、圧縮と伸長の試験結果はほぼ同じ $q-\varepsilon_a$ 関係を示しているが、同一の $\varepsilon_a$ に対する $q$ は伸張試験の方が若干大きい。なお、図2に示した応力経路において、応力点が破壊線に達するときの $|\varepsilon_a|$ は圧縮側・伸張側ともに7%程度である。それ以降も $\varepsilon_a$ の増加に対して $q$ は増加しているが、これは主に植物繊維の引張り抵抗に起因す

表1 実験に用いた泥炭の物性

土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	1.662
自然含水比 $w_n(\%)$	702
強熱減量 $L_t(\%)$	70.2
初期間隙比 $e_0$	12.7
圧縮指数 $C_c$	7.6~7.7
圧密降伏応力 $p_c(\text{kN/m}^2)$	23~25

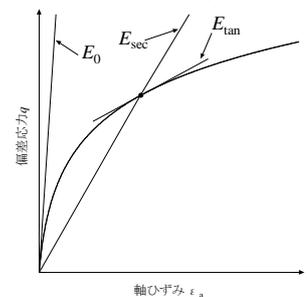


図1 弾性係数の定義

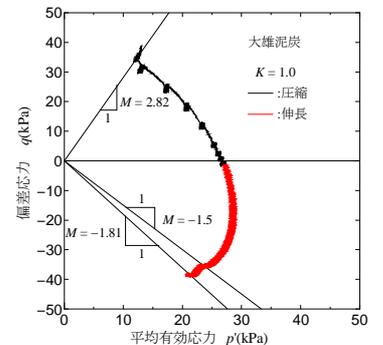


図2 応力経路図

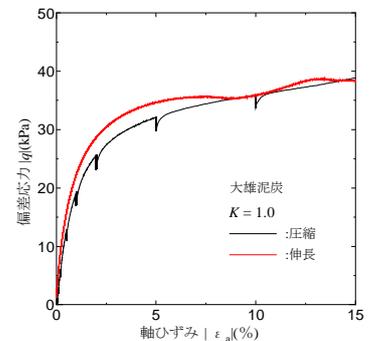


図3 応力-ひずみ関係

キーワード：泥炭，弾性係数，三軸圧縮試験，三軸伸張試験  
連絡先：〒011-8515 秋田県秋田市飯島文京町 1-1 TEL 018-847-6073

るものと考えられる。

図4は非排水三軸圧縮・伸張試験を行う直前に行った微小ひずみ領域における繰返し载荷の結果である。この図からわかるように、微小ひずみ領域における $\Delta\epsilon_a$ に対する $\Delta q$ の傾きは伸張試験の方がやや大きく、 $E_0$ は圧縮試験では $5.3\text{MN/m}^2$ 、伸張試験では $5.5\text{MN/m}^2$ となる。したがって、伸張試験に供した試験材は、圧縮試験に用いた試験材よりも初期剛性がやや大きい。図3において伸張試験の方が大きな $q$ を示したが、この初期剛性の大きさの違いが $q-\epsilon_a$ 関係に影響を与えた可能性がある。

(2) 圧縮・伸張試験での $E_{\text{sec}}$

図5は圧縮・伸張試験の $E_{\text{sec}}/E_0$ と鉛直ひずみ $\epsilon_a$ の関係を示したものである。図4に示したように、圧縮試験と伸張試験に用いた試験材の $E_0$ は若干異なるため、 $E_{\text{sec}}$ は $E_0$ で正規化して示すことにした。圧縮・伸長の両試験の $E_{\text{sec}}/E_0-\epsilon_a$ 関係はほぼ同じ挙動を示しており、 $\epsilon_a$ が10%以下では $E_{\text{sec}}/E_0$ の低下は小さい。しかし、 $\epsilon_a$ がそれ以上になると $E_{\text{sec}}/E_0$ は $\epsilon_a$ に依存して大きく低下する。泥炭では植物繊維の絡み合いによって、砂や粘性土よりも弾性係数の非線形性が小さいことが急速繰返し载荷試験の結果からも示されているが、本試験結果もこれと同様の結果が得られた。

(3)  $E_{\text{tan}}$ の弾性成分とひずみ依存性

図6に三軸圧縮試験において所定の $\epsilon_a$ で行った微小振幅繰返し試験、およびBE試験から求めた $E_{\text{tan}}$ の弾性成分 $E_{\text{tan}}^e$ を示した。微小ひずみ領域におけるBE試験の $E_{\text{tan}}^e$ は、三軸試験から求めた値よりも若干大きい。両試験とも $\epsilon_a$ が $5 \times 10^{-1}\%$ 以下までは $E_{\text{tan}}^e$ はほぼ一定であるが、 $\epsilon_a$ がこれよりも大きくなると $E_{\text{tan}}^e$ はやや低下する。 $\epsilon_a$ が $5 \times 10^{-1}\%$ よりも大きくなると図2および図3からわかるように、せん断に伴う過剰間隙水圧の発生により $p'$ は大きく低下するが、これが $E_{\text{tan}}^e$ の低下に影響を与えていると考えられる。いずれにしても、 $E_{\text{tan}}^e$ の低下は $\epsilon_a$ が10%程度に至っても比較的小さく、このことから変形の主体は塑性変形によるものと推測される。

4. 結論

- ・ 緩速単調载荷三軸試験より、泥炭の $E_{\text{sec}}/E_0-\epsilon_a$ 関係は圧縮および伸張側ともに同様の挙動を示し、 $E_{\text{sec}}/E_0$ は $\epsilon_a$ が10%以下まではほとんど低下せず、 $\epsilon_a$ がそれよりも大きくなると急激に低下することがわかった。
- ・ 微小振幅繰返し試験およびベンダーエレメント試験の結果から、 $E_{\text{tan}}$ の弾性成分はひずみ依存性が小さく、泥炭における変形の主体は塑性変形によることが明らかになった。

参考文献

1) 林宏親, 西本聡, 橋本聖, 梶取真一: 中空ねじり試験による正規圧密泥炭の動的変形特性, 地盤工学会北海道支部技術報告集 第53号, pp.89-96, 2013.

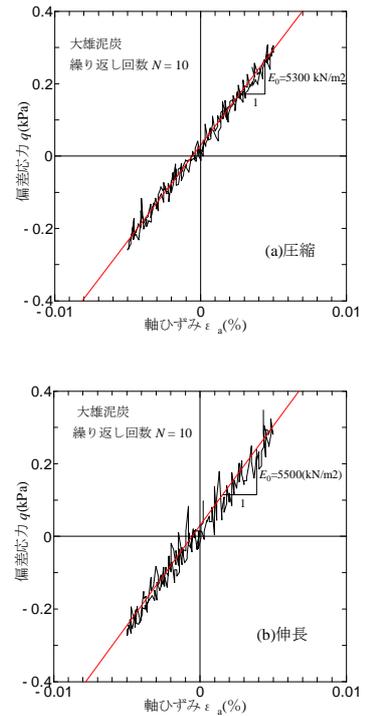


図4 微小ひずみ領域の繰返し载荷結果

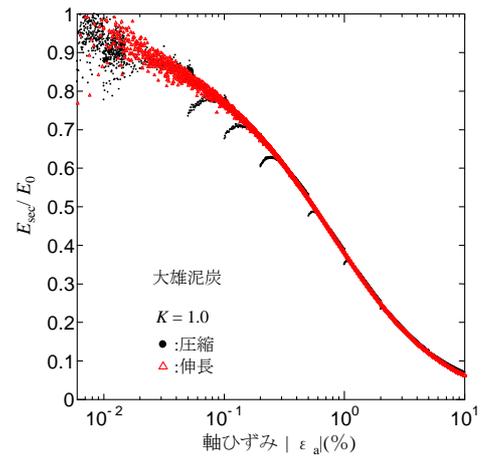


図5  $E_{\text{sec}}/E_0 \sim \epsilon_a$ 関係

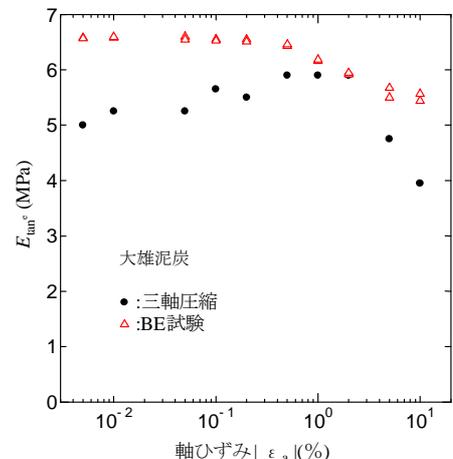


図6 繰返し試験時の $E_{\text{tan}}^e \sim \epsilon_a$ 関係