

## 荷重除荷を受けた泥炭の長期沈下挙動とアイソタック則による解釈

秋田工業高等専門学校 非会員 ○安養寺 由紀菜 非会員 工藤 颯太 正会員 山添 誠隆 正会員 花田 智秋  
秋田大学大学院 正会員 荻野 俊寛

### 1. はじめに

関東以北に広範囲に分布する泥炭地盤は、超軟弱なため、圧密促進および残留沈下低減のためにプレロード工法がしばしば用いられる。本工法は図1に示すように予め構造物よりも大きな荷重を載荷し、所定の沈下量に至ったのち一部荷重を撤去するもので、荷重撤去後の地盤は膨張し、その後再沈下が起きる。この再沈下挙動は実務では経験的な手法<sup>1)</sup>で予測しているため、荷重条件・施工条件が異なる場合には精度が担保できない。本研究では、北海道内で採取した不攪乱泥炭試料に対して荷重除荷を伴う系統的な長期圧密試験を実施し、プレロード荷重の大きさや載荷時間が長期沈下挙動に及ぼす影響を調べた。また、モデル化を目的に人為的に荷重除荷履歴を受けた泥炭に対するアイソタック則の適用性を明らかにする。

### 2. アイソタック則

アイソタック則とは、 $\epsilon$ - $\log p$  曲線( $\epsilon$ :ひずみ,  $p$ :圧密圧力)がひずみ速度によって一意に定まり、ひずみ速度が小さくなると左側に、大きくなると右側に平行移動するという経験則である。このアイソタックによって荷重除荷を受けた土の挙動を解釈すると図2のようになる。初期状態①にある土がプレロード荷重の載荷を受けると圧密が進行し状態②に至る。その後、一部荷重の撤去により状態③に移り(弾性的挙動)、有効応力一定下のもとで再沈下(二次圧密)が起こる(状態④)。未対策の場合は状態①から②'を経由し、かなりの時間が経過した後に状態④に達するが、プレロード工法ではその時間を大幅に短縮できる。ただし荷重除荷履歴を受けた泥炭についてもアイソタック則が成立するかは不明な点が多く、その実験的な解明が必要である。

### 3. 用いた試料と試験方法

試験に用いた試料は北海道空知郡南幌町にて採取した不攪乱試料である。試料は同一深度から円柱形アクリルサンプラーを用いて採取した。試料の物理化学特性は表1に示すとおりで、高含水・繊維質な泥炭である。荷重除荷を伴う長期圧密試験は、標準圧密試験機を用いた。供試体寸法は直径60mm、高さ20mmで、排水条件は両面排水である。正規圧密状態となるよう初期に $p_0=40\text{kN/m}^2$ で1時間圧密したのち、プレロード荷重に相当する荷重 $\Delta p(=p_p-p_0)$ を一定時間載荷した(荷重増分比 $\Delta p/p_0$ は2以上)。 $\Delta p$ の載荷時間は10min, 1h, 24hの3ケースである。その後 $\Delta p_u(=p_p-p_f)$ の荷重撤去を行い、沈下量を約1ヵ月計測した。ここで、最終の圧密圧力は $p_f=80\text{kN/m}^2$ で、過圧密比は $OCR(=p_p/p_f)=1.0, 1.1, 1.3, 1.5, 2.0$ である。また、別途、CSR試験も行い、基本的な圧密特性およびアイソタック挙動を調べた。なお、CRS試験の供試体寸法は直径60mm、高さ20mmで、背圧は $100\text{kN/m}^2$ 、片面排水条件とした。圧密中にひずみ速度を変化された変速CRS試験では、 $0.02\%/min$ を基準に、圧縮ひずみ5%毎に1/10倍, 1倍, 10倍に交互に変化させた。

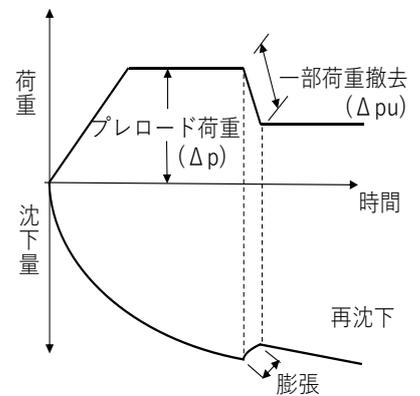


図1 プレロード工法の模式図

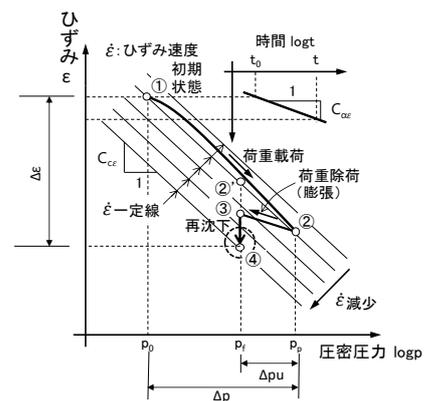


図2 アイソタック則

表1 試料の物理化学特性

固体部分の密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1.71 (平均値)
自然含水比 $w_n$ (%)	683 (平均値)
強熱減量 $L_i$ (%)	71 (平均値)

キーワード：泥炭, プレロード, 沈下, Peat, Preload, Settlement

連絡先：〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1番1号

4. 実験結果および考察

図3は変速 CRS 試験から得られた  $\epsilon$ - $\log p$  曲線 ( $\epsilon$ : ひずみ,  $p$ : 圧密圧力) である。この図からひずみ速度を大きくすると右側に、逆に小さくすると左側にシフトするアイソタク挙動が確認できる。

図4は荷重撤去を伴う長期圧密試験結果から求めたひずみ増分  $\Delta\epsilon$  ( $\Delta\epsilon$  の定義は図2参照) と時間  $t$  の関係で、プレロード荷重  $\Delta p$  の載荷時間は 10min である。この図から、 $\Delta p_u$  の除荷にともない泥炭試料は一旦膨張し、体積変化が生じない平衡状態を続いたのち、再び沈下に転じており、また膨張量および再沈下が生じるまでの時間は OCR が大きいほど増加していることがわかる。

図5は  $\Delta p$  の載荷時間が 24h の場合であるが、図4と比較して載荷時間が大きくなると膨張量が大きく、また再沈下に要する時間が大きくなっていることがわかる。再沈下現象は、荷重除荷による吸水膨張と粘性による体積圧縮のバランスによって決まり、10min の載荷期間では相対的に粘性による体積圧縮が大きいため、膨張量が小さく、また再沈下時間が短くなったものと推測される。

図6はひずみ速度  $\dot{\epsilon}$  とひずみ増分  $\Delta\epsilon$  の関係を示したもので、プレロードの載荷時間は 10min である。荷重撤去後、二次圧密沈下の進行により  $\dot{\epsilon}$  が減少しながら  $\Delta\epsilon$  が増大していることがわかる。荷重除荷を受けた場合についても (OCR=1.1, 1.3, 1.5, 2.0), 最終的には荷重除荷を伴わない試験結果 (OCR=1.0) と同一の  $\Delta\epsilon$ - $\dot{\epsilon}$  関係に収斂している様子が見てとれる。同様の傾向は、プレロードの載荷時間が 1h, 24h についても認められた。このことはプレロード荷重の大きさや載荷時間に関わらず、荷重撤去後の有効応力およびひずみが同じであれば同一のひずみ速度になることを表しており (図2の状態④), 荷重除荷履歴のある泥炭についてもアイソタク則が成立することを示唆するものである。

5. 結論

北海道空知郡南幌町で採取した不攪乱泥炭試料を用いて、荷重除荷を伴う長期圧密試験を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 変速 CRS 試験から泥炭に対してもアイソタク則が適用可能である。
- 2) 荷重除荷を受けた泥炭は、荷重撤去により膨張し、その後再沈下に転じるが、OCR が大きいほど、またプレロード荷重の載荷期間が長いほど、膨張量が大きく、再沈下に転じる時間が大きくなった。
- 3) 人為的に過圧密履歴を受けた泥炭の再沈下挙動は、プレロード荷重の大きさや載荷時間によらず、有効応力およびひずみが同じであれば同一のひずみ速度に収斂し、アイソタク則に従う。

<参考文献>

- 1) 深沢栄造, 山田清臣, 栗原宏武: プレローディング工法で改良した高有機質土地盤の長期沈下挙動, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.59-68, 1994.

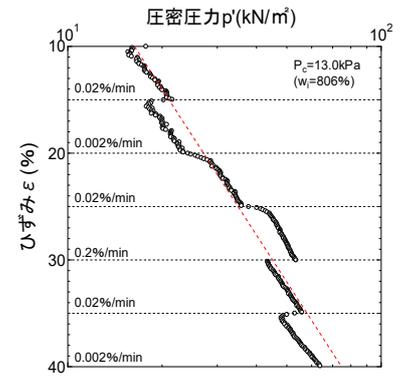


図3 変速 CRS 試験から求めた  $\epsilon$ - $\log p$  曲線

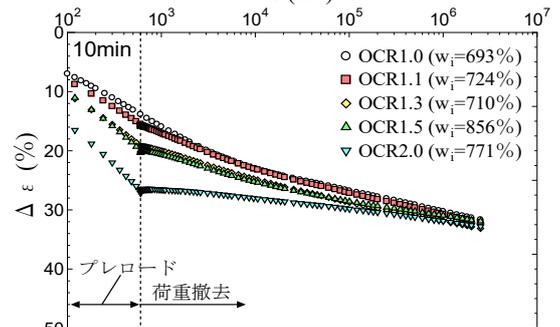


図4 長期圧密試験結果:  $\Delta\epsilon$ - $t$  関係(載荷時間 10min)

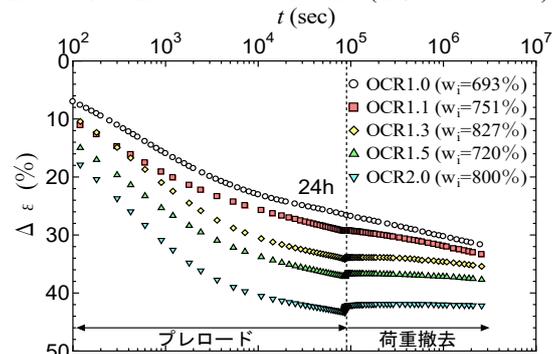


図5 長期圧密試験結果:  $\Delta\epsilon$ - $t$  関係(載荷時間 24h)

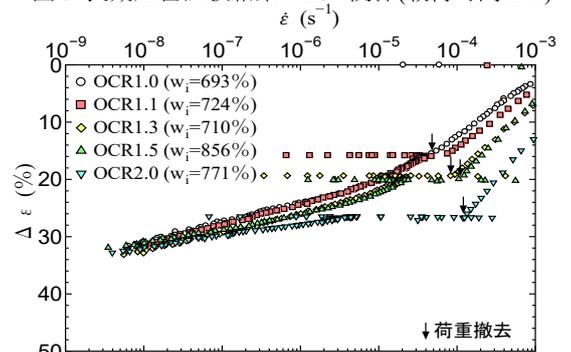


図6 長期圧密試験結果:  $\Delta\epsilon$ - $\dot{\epsilon}$  関係(載荷時間 10min)