

泥炭性軟弱地盤における静止土圧係数の測定

Measurement of K_0 Values in Peaty Soft Ground

北海道開発土木研究所 ○正員 林 宏親 (Hirochika Hayashi)

同 正員 西本 聡 (Satoshi Nishimoto)

1. まえがき

地盤の変形応力解析として、弾塑性モデルを用いた有限要素解析を行うことが、実務においても一般的になりつつある。地盤の弾塑性解析を行う上で、原位置での応力状態の把握が重要であることはいうまでもない。特に、静止土圧係数 K_0 値を正しく評価する必要がある。

粘土に対しては、 K_0 圧密三軸試験あるいは各種原位置試験などを用いた K_0 値の研究が多く実施されているが、泥炭に対して十分な検討がなされているとはいえない。泥炭地盤の弾塑性有限要素解析を行う場合、 K_0 値の決定法が、地盤の水平変形に影響を与えることが確認されている¹⁾ ことから、泥炭地盤の K_0 値を精度良く評価する方法を確立する必要がある。この際、実務を念頭に置くと、信頼性が高くかつ簡易で経済的な測定方法が望ましい。

以上のことを背景に、泥炭性軟弱地盤から採取した試料に対して K_0 圧密三軸試験を実施するとともに、同一箇所においてダイラトメーター試験を行ったので報告する。

2. 調査・試験方法と調査地点

2.1 調査地点と地盤物性

北海道開発局・札幌開発建設部が建設を進めている道央圏連絡道路の美原道路において、調査を実施した。 K_0 圧密三軸試験、ダイラトメーター試験のほかに、通常の物理・力学試験、電気式コーン貫入試験が実施された(図-1)。当該地盤は、表層に自然含水比 400%~500%の泥炭があり、その下位に有機質粘土、砂質シルト、粘土が堆積している、いわゆる典型的な泥炭性軟弱地盤である。泥炭層はほぼ正規圧密状態であるが、有機質粘土層はやや過圧密状態にある。

2.2 K_0 圧密三軸試験

泥炭層(採取深度 1.00m~1.86m)、有機質粘土層(採取深度 3.00m~3.86m) および粘土層(採取深度 12.50m~13.36m) からシンウォールチューブにて採取された試料に対して、地盤工学会基準に従い K_0 圧密三軸試験が実施された。泥炭試料については、トリミングを行わず、直径 75mm・高さ 75mm の供試体寸法とした。これは、乱れを極力少なくするためである。それ以外の試料の供試体寸法は、直径 50mm・高さ 100mm である。

図-2 に試験装置のシステムを示す。 K_0 圧密の制御は、軸変位と体積変化の測定により間接的に側方ひずみを検出し、それに応じて側圧を増減する方法を採った。また、供試体内に過剰間隙水圧が生じないように、

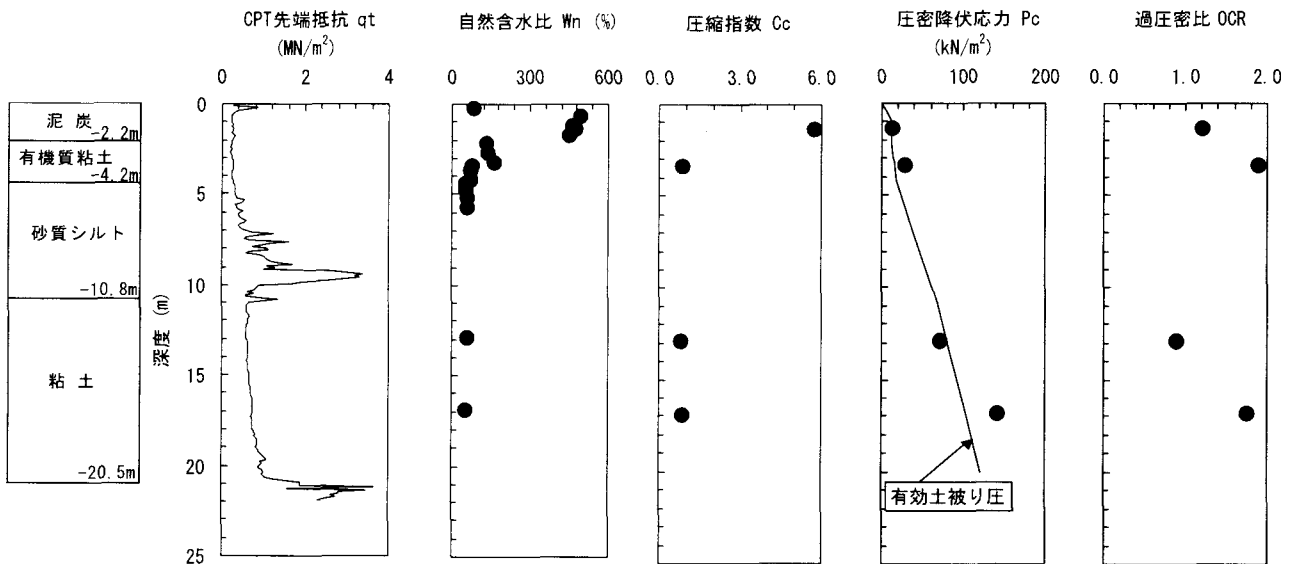


図-1 試験箇所の地盤物性

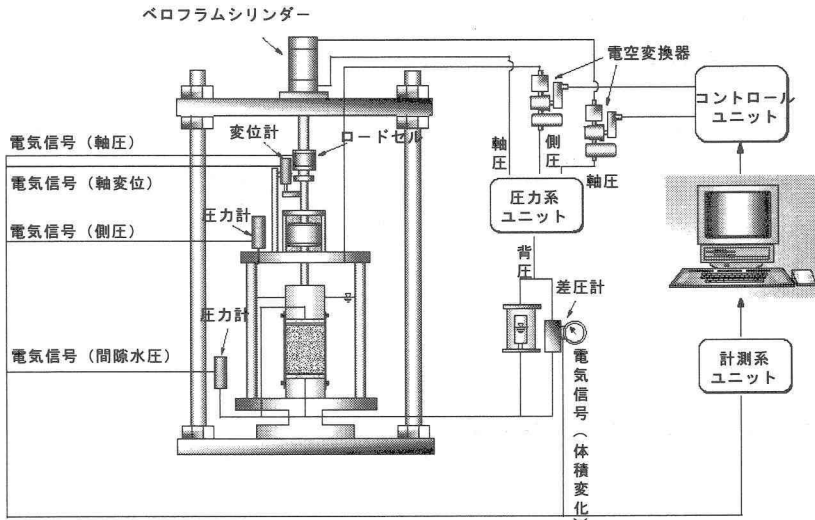


図-2 K_0 圧密三軸試験装置の概要

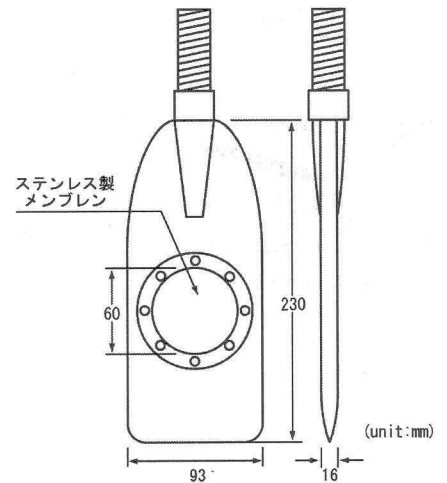


図-3 ダイラトメーターのブレード

0.2kN/m²/minの軸方向荷重速度とし、圧密降伏応力よりも十分に大きな荷重をした後、除荷した。

2.3 ダイラトメーター試験

ダイラトメーター試験（以下、DMTとする）は、幅93mm厚さ16mmの薄い板状のブレード（図-3）を地盤内に貫入し、所定深度まで貫入した後、ブレードに内蔵されたメンブレンをガス圧によって、その中央部を1.1mm膨張させ、地盤を水平方向に荷重する原位試験である。得られた測定値より、3種類のインデックスが計算される。ここでは、そのうち、静止土圧係数の推定に用いられる水平応力インデックス K_D のみ取り扱う。 K_D は1)式で表される。

$$K_D = (P_0 - u_0) / \sigma'_v \quad 1)$$

ここで、 P_0 :測定値(kN/m²)

u_0 : 静水圧(kN/m²)

σ'_v :有効土被り圧(kN/m²)

3. 試験結果と考察

3.1 K_0 圧密三軸試験

現時点において、土の K_0 値を求める手法として最も精度が高いものは、 K_0 圧密三軸試験と思われる。そこで、この方法を用いて、泥炭の K_0 値を測定した。比較の意味で、有機質粘土と粘土についても試験を実施した。

軸方向圧密圧力 σ'_v と K_0 値の関係を図-4に示す。泥炭においても、他の土質同様に、圧縮過程での正規圧密領域において、 K_0 値がほぼ一定値となっている。また、除過過程（過圧密領域）では、 K_0 値が急激に増大する一般的な傾向を示した。泥炭、有機質粘土および粘土の正規圧密領域での K_0 値は、各々0.48、0.57、0.52であった。

図-4から過圧密比OCRと K_0 値の関係を両対数で

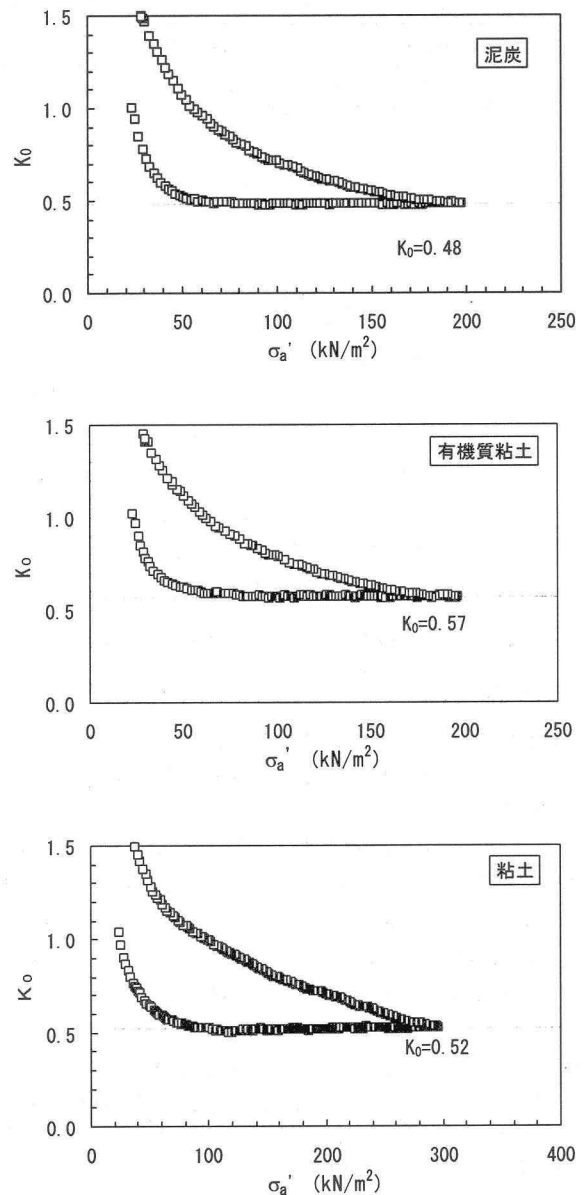


図-4 軸方向圧密圧力と K_0 値

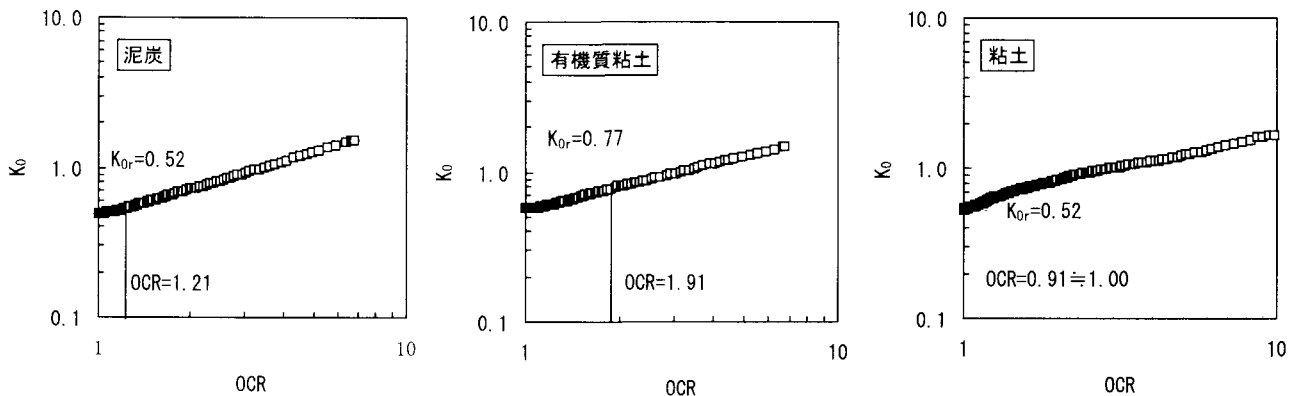


図-5 過圧密比 OCR と K_0 値の関係

表-1 試験結果の一覧

土質	採取深度 (m)	自然含水比 W_n (%)	強熱減量 Li (%)	せん断抵抗角 ϕ' (deg.)	正規圧密での K_0 K_{0nc}	原位置OCRでの K_0 K_{0oc}
泥炭	1.00~1.86	477	58	45.4	0.48	0.52
有機質粘土	3.00~3.86	82	17	45.3	0.57	0.77
粘土	12.50~13.36	64	0	30.4	0.52	0.52

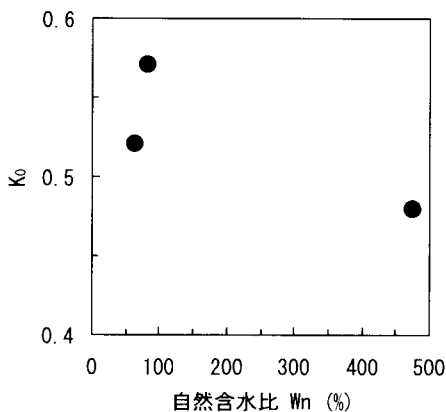


図-6 自然含水比と K_{0NC}

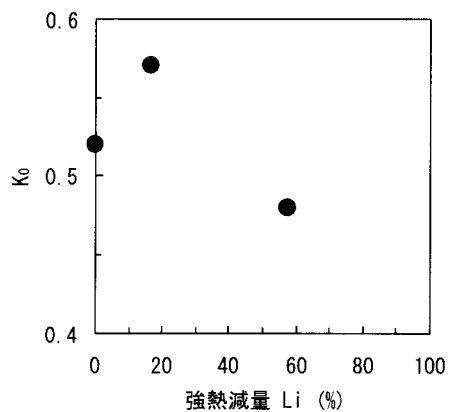


図-7 強熱減量と K_{0NC}

整理すると図-5のようになる。泥炭においても、OCRと K_0 値の関係は両対数状で直線として表されることが確認された。

表-1に物理試験結果、等方圧密非排水三軸圧縮試験から得られた有効せん断抵抗角、正規圧密での K_0 値(以下、 K_{0NC})および原位置OCRでの K_0 値(以下、 K_{0OC})の関係を整理する。自然含水比ならびに強熱減量と正規圧密領域での K_0 値の関係を図-6、7に示す。強熱減量の増加に伴い K_{0NC} が減少することは既に指摘されている²⁾が、ここでも同様な傾向を示している。この関係の精度が高まれば、強熱減量から泥炭の K_0 値の推定が可能となるかもしれない。泥炭地盤は極めて不均質に堆積しており、少ないサンプルから地盤全体の力学定数を決定するより、数多くの簡易的な試験から推定する方が有効と考えられる。

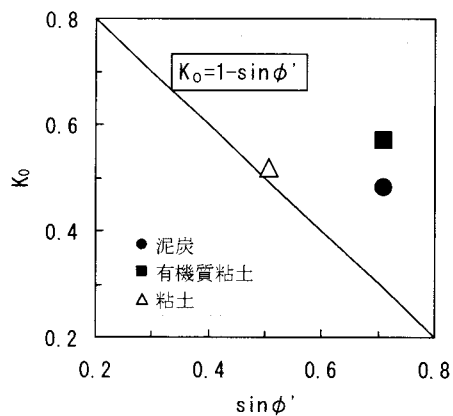


図-8 $\sin \phi'$ と K_{0NC}

K_{0NC} の推定式として Jaky の式がよく知られている。

$$K_{0NC} = 1 - \sin \phi' \quad 2)$$

Jaky 式は砂質土だけではなく、粘土に対しても有効な関係式であることが確認されている³⁾。そこで、今回の試験結果について、 $\sin \phi'$ との関係を整理した (図-8)。粘土については、Jaky 式とほぼ等しい関係であったが、泥炭および有機質粘土はその傾向は認められなかった。

3.2 ダイラトメーター試験

泥炭地盤は、極めて不均質に堆積していることが知られている。したがって、数少ないサンプリング試料に対する室内試験から地盤全体の定数を決定するのは合理的ではない。簡便な原位置試験あるいは物理試験結果を数多く実施し、その結果をもって地盤全体の代表値を決定する方法がよいと考えられる。その観点から、DMT 結果から K_0 値の推定について試みた。

前述の通り、DMT から得られるのはインデックスであり、 K_0 値を推定するには経験的な相関式を用いる必要がある。この推定式には、様々なものが提案されているが、日本の沖積粘土には 3) 式の適用性が高いとされている⁴⁾。

$$K_{0DMT} = 0.29 K_D^{0.57} \quad 3)$$

ここで、 K_{0DMT} : 推定された K_0 値
 K_D : DMT インデックス 1) 式

本検討では、泥炭層ならびに有機質土層に対しても 3) 式を適用した。DMT から推定された K_0 値 (以下、 K_{0DMT}) を図-9 に示す。 K_0 圧密三軸試験から得られた K_{0OC} も併記した。泥炭および粘土については、 K_{0OC} とほぼ等しい K_{0DMT} が得られている。しかし、有機質粘土では、 K_{0DMT} からの推定値が過小である。DMT は連続的かつ簡便に K_0 値を推定できることから、泥炭地盤の K_0 値の評価法として有効な手法と考えられるが、3) 式の適用性あるいは高有機質土に対する新たな推定式について、検討を継続する必要がある。

5. まとめと今後の課題

泥炭地盤の K_0 値を精度良く評価する方法を確立することを目的にして、泥炭地盤から採取した試料に対して K_0 圧密三軸試験を行うとともに、同一箇所においてダイラトメーター試験を実施した。

その結果、強熱減量の増加に伴い K_{0NC} が減少することが再確認された。また、泥炭には Jaky 式の適用性が低いことがうかがえた。さらに、ダイラトメーター試験から推定された K_0 値には、土質によって K_0 圧密三軸試験から得られた K_{0OC} と異なる結果となり、推定式について今後の検討を必要とすることが明らかとなった。

本報告は、少ないデータからの検討であり、明確な結論を導くには至っていない。さらに、試験結果の蓄

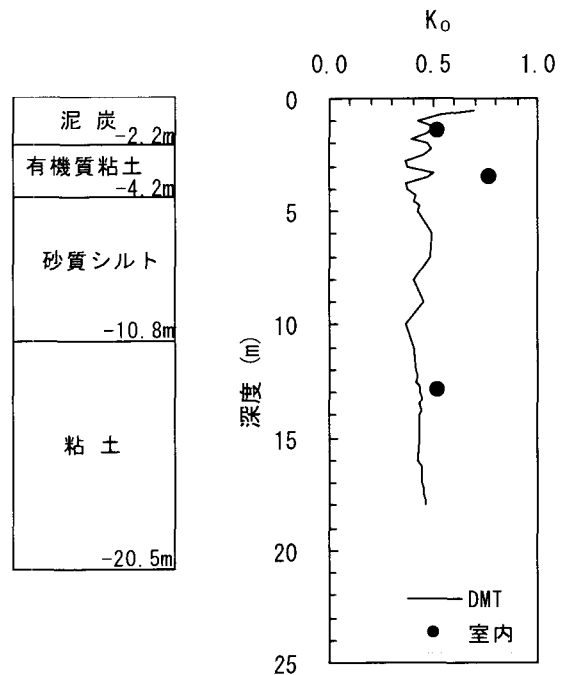


図-9 DMT から推定した K_{0DMT} の深度分布

積を図りたいと考えている。

謝辞

本試験調査の実施にあたって、北海道開発局札幌新道建設事務所のご協力を頂いた。また、基礎地盤コンサルタント (株) の小田美明氏には貴重なご助言を頂いた。ここに記して、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) Hayashi, H., Nishikawa, J., Yamaguchi, S., Mitachi, T. and Fukuda, F.: Finite Element Analysis of Peaty Ground using a Cam Clay Model, Proceedings of IS-Tohoku, Sendai, pp.123-127, 1998
- 2) 土質工学会・高有機質土の力学的性質および試験方法に関する研究委員会：高有機質土の工学、pp158-162、1990
- 3) Watabe, Y., Tanaka, M., Tanaka, H. and Tsuchida, T.: K_0 -consolidation in a Triaxial Cell and Evaluation of In-situ K_0 for Marine Clays with Various Characteristics, Soils and Foundations, Vol.43, No.1, pp.1-20, 2003
- 4) 岩崎公俊：フラット・ダイラトメーター試験による静止土圧係数の評価、第30回土質工学研究発表会発表講演集、pp.271-272、1995