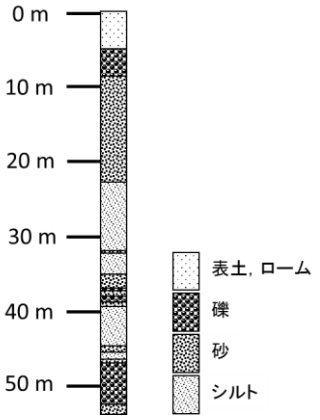
不撹乱土の力学的特性に対する温度の影響
Influence of temperatures to mechanical properties of undisturbed soils

○山田孝大* 佐藤友孝** 向後雄二** 斎藤広隆**
YAMADA Kodai, SATO Tomotaka, KOHGO Yuji, SAITO Hirotaka

1. はじめに

近年,再生可能エネルギーの一つである地中熱を利用した地中熱ヒートポンプ（GSHP）が注目を集めている．GSHP では，大気と土中の温度差を用いて，冬場は地中から熱をくみ上げ暖房に使用し，夏場は反対に地上の熱を地中に放出し冷房する．そのため，GSHP の利用により地中の熱環境が変化し,地盤の強度や変形特性に影響を及ぼす可能性がある．

これまで，温度調整型三軸圧縮試験機を用いて，締め固められた飽和土と不飽和土の体積変化挙動，せん断特性に対する温度の影響を調べてきた（向後ら，2013）．その結果，①ピーク強度は温度依存性を示し，温度の低いものほど大きな強度を示すこと，②限界状態での強度は温度の影響をほとんど受けないこと，などの特性を明らかにした．ここでは，不撹乱試料を対象として三軸圧縮試験を行い，上記の特性を調べることにした．



図―1 ボーリング柱状図
Drilling log

2. 実験方法

実験には，東京農工大学府中キャンパスでボーリング採取された不撹乱試料のうち，深度 29~30 m，33~34 m のものを用いた．ボーリング柱状図を図―1 に，今回用いた不撹乱土の粒度分布を表―1 に示す．ボーリングコア試料の一部を取り出し，直径 5 cm，高さ 10 cm となるように整形した．これを温度調整型三軸圧縮試験機に設置し，圧密排水条件下で実験を行った．供試体作製時の初期条件および実験条件を表―2 に示す．

試験手順は次の通りである．供試体を三軸室に設置後，供試体に所定の温度を作用させ，初期拘束圧としてセル圧 10 kPa をかけた．

表―1 粒度分布
Particle size distribution

深度 (m)	sand (%)	silt (%)	clay (%)
29〜30	82.0	14.9	3.1
33〜34	97.9	2.1	0.0

表―2 供試体の初期条件
Initial conditions of the specimens

供試体番号	深度 (m)	温度 (℃)	初期含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)	土粒子密度 (g/cm^3)	間隙比
S-1	29〜30	20	41.9	1.15	2.708	1.36
S-2	29〜30	20	47.7	1.12	2.646	1.42
S-3	29〜30	40	47.5	1.09	2.684	1.39
S-4	33〜34	20	14.2	1.62	2.668	0.64
S-5	33〜34	20	15.5	1.56	2.624	0.69

*東京農工大学大学院農学府 Graduate School of Agriculture, Tokyo Univ. of Ag. and Tech.
**東京農工大学大学院連合農学 United Graduate School of Agriculture, Tokyo Univ. of Ag. and Tech.
キーワード：温度，不撹乱土，せん断

次に，セル圧 10 kPa，間隙水圧 10 kPa で通水後，セル圧を 210 kPa に調節し，間隙水圧 200 kPa で背圧をかけ，供試体を飽和した．有効拘束圧が 210 kPa になるようにセル圧を 410 kPa まで上昇させ，圧密を行った．圧密終了後，軸ひずみ速度 0.03 %/min でせん断を行った．

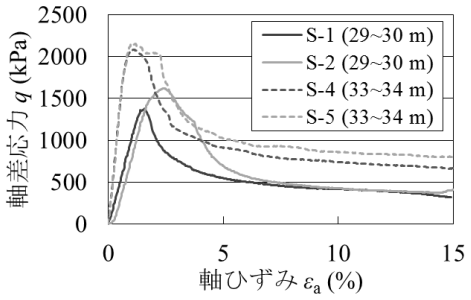
3. 実験結果

温度 20 ℃一定条件における，深度ごとの軸ひずみε_a—軸差応力 q（$=\sigma_1-\sigma_3$）関係を図—2 に，軸ひずみε_a—体積ひずみε_v関係を図—3 に示す．ここで，σ_1は最大主応力，σ_3は最小主応力である．図—2，図—3 より，各深度で軸差応力のピークが見られ，ひずみ軟化に伴って体積膨張を生じ，不撹乱土は過圧密的な挙動を示した．また，各深度で初期剛性と限界状態での強度が同じであった．さらに，深度によって軸差応力のピークと体積ひずみの挙動が異なり，33~34 m の試料は 29~30 m の試料よりピーク強度が大きく，体積膨張が大きくなる傾向を示した．これについては，33~34 m の試料の方が大きな乾燥密度を持つためだと考えられる．

次に，深度 29~30 m における，温度が異なる場合（20 ℃, 40 ℃）のε_a-q関係を図—4，$\varepsilon_a-\varepsilon_v$関係を図—5 に示す．軸差応力に関して，多少のばらつきはあるものの，温度の影響はほとんど見られなかった．体積ひずみに関しては，温度の低い供試体ほど膨張した．軸差応力と体積ひずみの結果から，既往研究の特性①と特性②の存在がそれぞれ確認された．

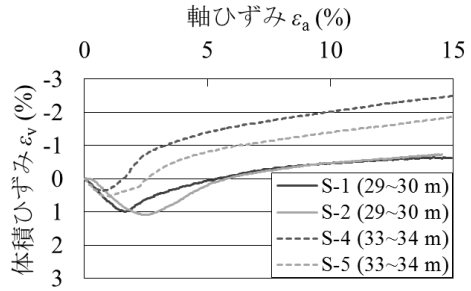
4. おわりに

異なる深度の不撹乱試料を対象として三軸圧縮試験を行い，土性や温度が力学的挙動に与える影響を調べた．その結果，①温度一定条件では乾燥密度が大きいほど過圧密的な挙動を示すこと，②土性が同じ場合，温度が低いほど過圧密的な挙動を示すことが分かった．



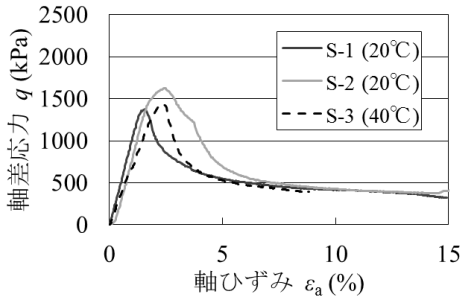
図—2　20 ℃におけるε_a-q関係

ε_a-q curve at 20 ℃



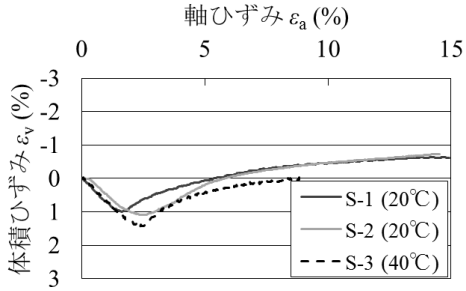
図—3　20 ℃における$\varepsilon_a-\varepsilon_v$関係

$\varepsilon_a-\varepsilon_v$ curve at 20 ℃



図—4　温度が異なる時のε_a-q関係

ε_a-q curve at different temperatures



図—5　温度が異なる時の$\varepsilon_a-\varepsilon_v$関係

$\varepsilon_a-\varepsilon_v$ curve at different temperatures

参考文献　向後雄二，斎藤広隆，PYONE Win Win (2013)：不飽和土の力学的挙動への温度の影響とそのモデル化，農業農村工学会論文集，287，45-53