

群馬大学 正員 榎戸源則
 松本 伸
 竹内博輝
 新岡恵三

1. まえがき

凍土の力学特性についての既往の研究は、-30℃以下の低温についての報告は少ない。そこで、本報告においては、-30~-70℃の凍土の一軸圧縮強度試験をおこなった。試料土として、豊浦標準砂とカオリナイト（粘性土）を用いて、既往の研究との比較、関連および連続性の有無を検討したものである。

2. 実験方法および実験概要

供試体の作製は次の方法によった。標準砂は、所定の型枠に水と砂とを少量づつ入れ、突き回めと振動を与えながら充填する。カオリナイトは420μふるいを通過させた後、所定の含水比になるよう蒸留水を加え、ミキサーで練り返したものを予備圧密槽に入れ、両面排水で約2時間、圧力4 MPaで圧密し、整形し所定の型枠に入れビニール袋で密封する。これらの試料をフリーザー（-100℃まで冷却可能）に入れ、所定の試験温度まで急速凍結する。

一軸圧縮試験は、フリーザーから取出し脱型した供試体を断熱槽に封入した状態で万能試験機にセットしひずみ制御方式でおこなう。断熱槽に液体窒素を流入し、温度計により自動制御されるので、所定試験温度±1℃以内に保持される。荷重およびひずみは、差動トランス式の荷重計および変位計の記録信号をH.G.により30秒毎に自記される。供試体の諸定数と実験条件を表-1、2に示す。一軸圧縮強度は、応力～ひずみ曲線に最大値が存在しない場合、ひずみが10%のときの応力を σ_{10} とした。変形係数は、一軸圧縮強度の1/2のときの応力とひずみの比 $E_{1/2}$ を用いた。

3. 実験結果および考察

(1) 応力～ひずみ曲線（図-1, 2）：図-1に標準砂、図-2にカオリナイトの実験結果を示す。いずれの場合も低温になる程、一軸圧縮強度は増大しピークも明瞭に現われている。特に標準砂については顕著で、-50℃、-70℃ではピークが突出している。粘性土については、多少の土質の相違はあるが、温度低下により一軸圧縮強度は増加するが、ひずみが2%程度で最大強度を示した後、曲線が緩ばい状態を示している点は、既往の研究とほぼ同様の傾向といえよう。

(2) 一軸圧縮強度の温度依存性（図-3, 4）：図-3は豊浦標準砂の一軸圧縮強度～温度曲線を示す。0~-30℃は高志らの実験結果を記入したものであるが、-30℃~-70℃の本研究結果と、-30℃において見事に連続している。同じ標準砂を用いているとはいえ、実験条件の標準化について一つの示唆を与える実験結果であろう。0~-70℃までの曲線を見ると、0~-30℃まで温度低下による強度増加が著しく、-30~-50℃において強度増加が多少ゆるやかになつた後、-50℃をこえると再び著しい強度増加がみられる。

図-4はカオリナイトの一軸圧縮強度と温度との関係を示す。0~-30℃はKapurらの実験結果を点線

表-1 供試体(砂)の定数・実験条件

	本研究	高志らの研究
試料	豊浦標準砂	同
形状寸法	円柱形5φ×10 ^{mm}	同
含水比	20%	20~26%
乾燥密度	1.57 g/cm ³	1.5~1.65 g/cm ³
ひずみ速度	約1%/min	約0.8%/min
粒 径	0.1~0.42 mm	同
測定温度	-30~-70℃	0~-30℃

表-2 供試体(粘性土)の定数・実験条件

	本研究	高志らの研究
試料	カオリナイト	藤の森粘土
形状寸法	円柱形5φ×10 ^{mm}	同
含水比	35%	28%
乾燥密度	1.33 g/cm ³	1.46 g/cm ³
ひずみ速度	約1%/min	同
型性限界	23.27%	30, 91%
測定温度	-30~-70℃	0~-30℃

で示した。本研究と既往の研究結果とは、粘性土とはいえ標準砂の場合のように同一土質ではないので、 -30°C において曲線は円滑に連続せず、多少のずれがみられる。また、カオリンの強度は標準砂の場合と異なり、温度低下に伴ない曲線の勾配が急となっており、温度低下による強度増進の著しいことを示している。

もう一点注目すべきは、 -70°C において標準砂、カオリンとも一軸圧縮強度がほぼ $420 \sim 430 \text{ kg/cm}^2$ 程度の同一値を示しており、土質（砂質土と粘性土）による差異がないことである。即ち、温度が -70°C 程度に低くなると、一軸圧縮強度は温度のみに依存し土質に無関係であるといえる。

(3) 変形係数の温度依存性（図-5, 6）：図-5に標準砂の場合、図-6にカオリナイトの場合について変形係

数と温度との関係を示す。標準砂については、温度低下と共に変形係数は、 $-30 \sim -50^{\circ}\text{C}$ の間はほぼ直線的に増加し高志らの実験結果と同じ傾向を示す。しかし、 -50°C をこえと変形係数は急激に曲線的に増加している。粘性土の変形係数は温度低下と共にほぼ直線的に増加しており、高志らの実験結果のように、 -20°C で変形係数の増加が頭打ちにはなっていない。

(4) 一軸圧縮強度、変形係数とひずみ速度との関係： $-30 \sim -70^{\circ}\text{C}$ の低温においても、一軸圧縮強度とひずみ速度の対数値とはほぼ直線関係にある。変形係数については一軸圧縮強度程明瞭な関係はみられなかった。

(5) 不凍水の及ぼす影響について
不凍水が凍土の力学的諸性質を支配する重要な要素であることは最近明かにされてある。本研究においても、不凍水と熱量計（デュフ一瓶）を用いて直接測定する方法とBET法により比表面積を測定し計算する二方法により求めた。これら不凍水との関係についてはあらためて報告する。尚、本研究は昭和59年度科学研究費補助金（一般研究（B））の交付をうけ実施されたものである。関係各位に感謝申し上げる。

（参考文献）

- 1) 高志他：砂凍土の一軸圧縮強度とひずみ速度に関する研究，土木学会論文，302号
- 2) 高志他：均質な粘土凍土の一軸圧縮強度に関する研究，土木学会論文，315号

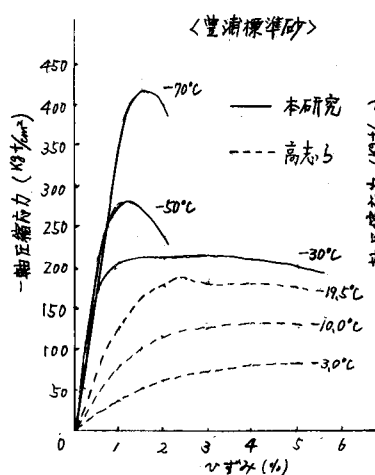


図-1 応力-ひずみ曲線

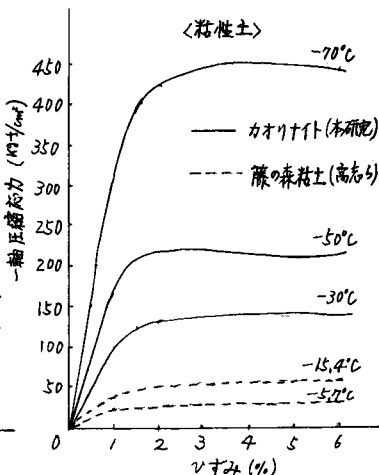


図-2 応力-ひずみ曲線

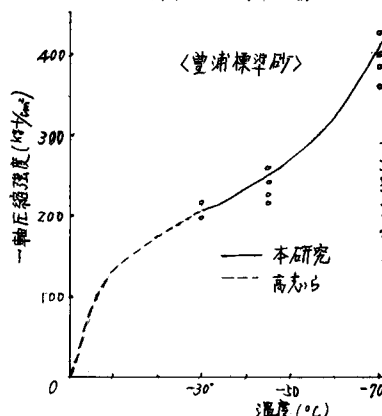


図-3 一軸圧縮強度-温度曲線

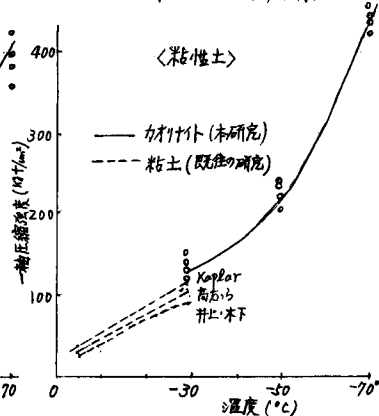


図-4 一軸圧縮強度-温度曲線

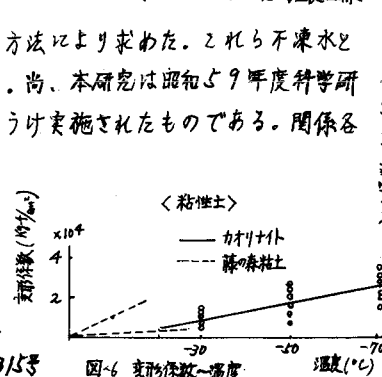


図-6 変形係数-温度

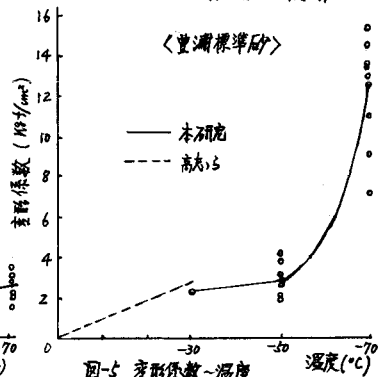


図-5 変形係数-温度