

III-290

不凍水の凍土に及ぼす影響

群馬大 正員 榎戸源則・高崎市 松本伸

群馬大 正員 永瀬英生・群馬大 正員 鶴飼恵三

1. まえがき

0℃以下になっても凍結しない凍土中の水を不凍水という。不凍水についての既往の研究は極めて少ない。これは、不凍水の測定が困難であり、労力と費用を要する非常に地味な仕事であることによると思われる。しかし、凍土中の不凍水が凍土の性質特にその強度に重大な影響を及ぼすことは、最近明かにされつつある。本報では、不凍水について、熱量計による直接測定結果と比表面積による間接的計算結果とを比較し、凍土の一軸圧縮強度との関係を比較検討したものである。

2. 実験方法および実験結果

凍土試料としては、標準砂とカオリンを用いた。実験方法は既報の方法に準ずるとした¹⁾。

(1)熱量計による不凍水の測定：凍土を熱量計(デュワー瓶+水)中に投入し融解させる。凍土中の水がすべて凍結しているとすれば、その水分に相当する熱量を熱量計から吸収する筈である。しかし、実際には、それより少ない熱量しか吸収されない。これは、凍土中の水がすべて凍結しておらず、凍土中に未凍結の水即ち不凍水が存在しているからであるとみられる。そこで、凍土を熱量計で融解させた時の温度変化を測定することにより、熱量の収支を次式により計算し不凍水量を求める。

(熱量計の失った熱量) = (土粒子の得た熱量) + (不凍水の得た熱量) + (氷の得た熱量)

$$\text{これから、試料中の氷の重量 } M_3 = \frac{(M_1+W)(T_1-T_f) - (M_2+M_3)(C_2-1)(T_0+T_f)}{79.7+(C_3-1)T_0}$$

ここに、M:試料重量(g), M₁:熱量計内の水の重量(g), M₂:試料の土粒子重量(g), M₃:試料の氷の重量(g)

M₄:試料中の水(不凍水)の重量(g), C₂:乾燥土の比熱(cal/g/°C), C₃:氷の比熱(0.475cal/g/°C)

T₀:試料温度(°C), T₁:水の温度(°C), T_f:混合後の温度(°C), W:熱量計の熱容量(cal/°C)

故に不凍水量は M₄=M-M₂-M₃, 不凍水の混合割合 W_uは W_u=M₄/(M₃+M₄) となる。図-1 および図-2 に標準砂とカオリンについて、不凍水量との関係を示す。

(2)比表面積による不凍水の計算：試料単位重量中に含まれる土粒子の表面積 S(m²/g) を比表面積という。BET法による比表面積測定法により、標準砂およびカオリンの比表面積の値は、それぞれ 0.31 (m²/g) および、18.51(m²/g) となった。BET法とは、吸着ガス(窒素ガス)により比表面積を測定する方法で Brunauer, Emmett および Teller によって開発された。次に、比表面積を用いて不凍水を求めるには、次の二方法によった。

a)Andersonの実験式： $\ln W_u = 0.2618 + 0.5519 \ln S - 1.4495 S^{-0.264} \ln \Delta T$

ここに、W_u:不凍水分比(土粒子100gあたり不凍水量 g/100g-soil)

S:比表面積(m²/g), ΔT:氷点降下度(°C)

b)Dillonの実験式： $W_u = \frac{S \cdot T}{T_0 \cdot A_c} \cdot 1 \cdot 2.8 \cdot 10^{-2}$

ここに、W_u:不凍水分量(乾燥土粒子1gに対する不凍水量 %), S:比表面積(m²/g), T:凍土の温度(°K)

T₀:氷点(°K), A_c:土の活性度(=I_p/(<2μ)), l:定数(非膨潤性粘土 1, 膨潤性粘土 2)

図-3に、Andersonの式による不凍水量と温度との関係を標準砂について示した。図-4は、カオリンについて、AndersonおよびDillonの式によって算出された不凍水量との関係を示している。Dillonの

実験式は、標準砂の活性度 A_c の測定が困難なため、カオリンについてののみ求めた。

3. 考察

(1)不凍水量と温度との関係： 熱量計により測定された不凍水は、図-1および図-2から明かなように、砂の場合は温度が低下しても、不凍水量はさしたる減少の傾向を示さない。しかし、カオリンの不凍水量は、温度低下とともに減少している。次に、比表面積によるAndersonおよびDillonの実験式からの算定値をみると、標準砂の場合は、図-3に示されるように、図-1の熱量計による測定値よりかなり小さな値となっている。カオリンについては、図-4のようにAndersonの式による値とDillonの式による算定値ともかなり近似しているが、図-2の熱量計による測定値に比し小さい値となっている。このように、それぞれの測定値や計算値はかなりのばらつきがあり、いずれの値を真実の値とするか判断し難いが、カオリンについては、図-4の計算結果が比較的近似しており、BET法による比表面積の測定法も信頼性が高く、また、図-2の測定値とも類似しているので、温度低下とともに不凍水が減少するといえよう。

(2)不凍水と一軸圧縮強度との関係： (1)で述べた不凍水量と温度との関係を一軸圧縮強度と温度との関係¹⁾と結びつけ、不凍水量と一軸圧縮強度との関係を求めると、図-5、図-6のような関係が得られる。標準砂、カオリンとも不凍水量が減少すると、一軸圧縮強度は増加している。

尚、本研究は昭和59・60年度文部省科学研究費補助金(一般研究(B)59460140)により実施された。

<参考文献>

- 1) 榎戸他：-30~-70℃における凍土の一軸圧縮特性、土木学会第40回年次学術講演会概要集、1985.
- 2) Anderson & Tice: Predicting Unfrozen Water Contents in Frozen Soils from Surface A.M..
- 3) Dillon & Andersland: Predicting Unfrozen Water Contents in Frozen Soils.

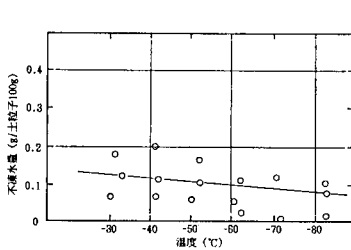


図-1 標準砂の不凍水量と温度(熱量計による)

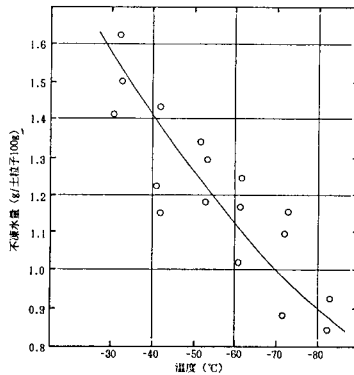


図-2 カオリンの不凍水量と温度(熱量計による)

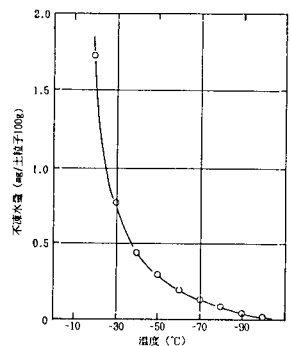


図-3 標準砂の不凍水量と温度(Andersonの式)

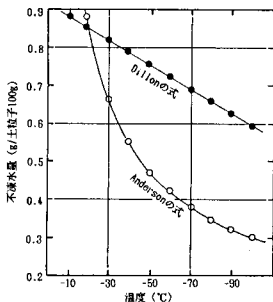


図-4 カオリンの不凍水量と温度(比表面積による)

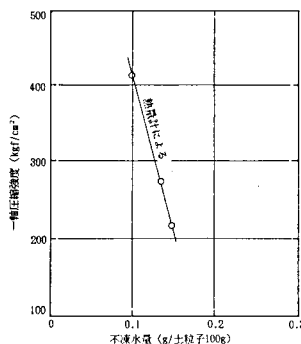


図-5 標準砂の一軸圧縮強度と不凍水量

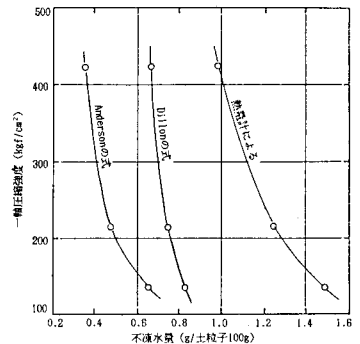


図-6 カオリンの一軸圧縮強度と不凍水量