

1 はじめに

グラウトは地盤凍結工事にも空隙填充や地下水流速の低減のために使われ、ときとして薬液注入工法施工後の地盤を凍結することもある。このような場合注入固結土の凍結強度についての知識が必要となるが、常温における強度特性については多くの研究^{1,2)}があるものの、氷点以下の低温における先行研究は見当たらない。

本研究は注入固結土の凍結後の強度特性を調べる第1段階として、土と混じらない固結注入材を対象として凍結温度および凍結後の一軸圧縮強度と温度の関係を汎用されている4種類のグラウト材(セメントミルク、セメントベントナイト、デンカES、LW-1)について調べたものである。

2 実験方法

2-1 試料および供試体の作成方法

試験に用いた試料の配合および平均的物理定数を表1に示す。供試体はCM、CBは混和剤を円形容器に流し込んで、ES、LWはA液B液を別々に作り攪拌混合してゲル化直前に円形容器に流し込んで7日間水中養生し、養生後容器より抜き出しラップしたものを-25℃に維持されているアイスストッカー内で下面より一次的に凍結し、凍結後端面を整形して直径5cm高さ10cmの円柱形に仕上げた。供試体は実験温度に1日以上なじませたのち試験に供した。

2-2 実験装置および試験法

使用した圧縮試験機は容量10tの歪速度制御式の試験機で、低温室内に設置し供試体と載荷部分は防熱箱でおおい試験中の変動幅は±0.2℃程度に抑えた。歪速度は1%毎分に設定し、荷重および歪はX-Yレコーダーで、温度は記録計で自記々録させた。なお、供試体の寸法、歪速度が一軸圧縮強度におよぼす影響については文献3,4を参照されたい。

固結注入材の強度は配合、養生期間にも影響されるが、その差異はわずかであったので本稿にはそれぞれの代表的配合の7日間養生供試体についての結果を報告する。

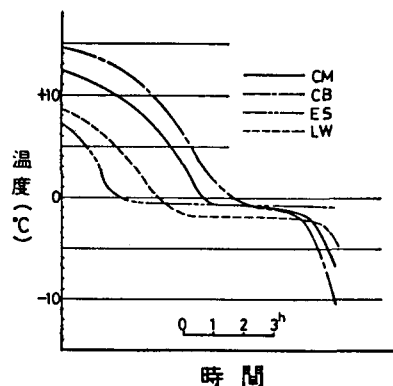


図1 固結注入材の温度降下曲線

3 実験結果

3-1 凍結温度

強度試験にさきだって行なった各固結注入材の凍結温度の測定結果を図1に示す。凍結潜熱により温度降下曲線の降下が停滞した温度をもって凍結温度とした。

表1 一軸圧縮試験用供試体の配合、ゲルタイムと平均的物理定数

グラウト材	略号	注入剤400ℓを作る場合の配合 (A液200ℓ, B液200ℓ)	ゲルタイム	単位体積重量	乾燥密度	凍結温度
セメントミルク	CM	セメント304Kg 残水	——	1.777 g/cm ³	1.889 g/cm ³	-0.8℃
セメントベントナイト	CB	セメント300Kg ベントナイト6Kg 残水	——	1.669	1.079	-1.0
デンカES	ES	A: 電化ES30Kg セッター0.6Kg 残水 B: セメント120Kg 残水	約70秒	1.208	0.422	-0.65
LW-1	LW	A: 3号ケイ酸ソーダ100ℓ 残水 B: セメント80Kg 残水	約80秒	1.213	0.394	-1.8

3-2 応力-歪曲線

図2に試験温度 -10°C および -20°C における固結注入材の応力-歪曲線を示す。LWはピークのはっきりしない粘土質凍土に似た曲線⁴⁾を示す。このためLWでは歪が供試体長の10%になったときの荷重を元の供試体断面積で割った値 σ_{10} を、ピークのあるCM、CB、ESでは最大荷重を元の供試体断面積で割った値 q_u を一軸圧縮強度とした。

3-3 一軸圧縮強度と温度

図3に各試料の一軸圧縮強度と温度の関係を示す。各試料とも凍結することにより強度は大きく増加し、また温度が低い程強度が増加する。強度順位は $\text{CM} > \text{CB} > \text{ES} > \text{LW}$ の順であるが、未凍結強度に対する増加率は、LW、ESが大きい。比較のために常温における固結注入材の強度を縦軸上に、また豊浦標準砂および藤の森粘土の凍土の強度^{3,4)}を図示しておいた。

3-4 変形係数と一軸圧縮強度

変形係数E50と一軸圧縮強度の関係を図4に示す。なお、変形係数E50は、 $\frac{1}{2} p_u$ および $\frac{1}{2} \sigma_{10}$ に相当する歪との比率として次式で求めた。

$$\text{変形係数 } E50 = \frac{\frac{1}{2} \times q_u (\sigma_{10})}{q_u (\sigma_{10}) \text{ の } \frac{1}{2} \text{ に相当する歪} / 100}$$

変形係数も $\text{CM} > \text{CB} > \text{ES} > \text{LW}$ の順となり、バラツキは大きい。温度の低下、強度の増加と共に大きくなる傾向がある。

4 おわりに

本実験により

- (1) 固結注入材の凍結温度は土の凍結温度(塩分等の溶解していない場合ほぼ 0°C)と大差がない。
- (2) 固結注入材は凍結すると強度が増加する。
- (3) 温度が低くなるほど強度が増す。
- (4) 豊浦標準砂、藤の森粘土の凍土と比較して固結注入材の凍結強度が特に劣ることはない。

ことが判明した。

注入材の地盤への浸透状態が凍土の強度におよぼす影響、解凍後の強度等は今後の課題である。おわりに、本実験を担当した榎精研、技術研究所の山本英夫、岡本純、松浦多貴子の3氏に感謝の意を表す。

(参考文献)

1. 三木、斎藤(1978); 注入薬液の地盤浸透と固結土供試体の強度特性, 土と基礎 Vol. 26. No. 8. Ser. No. 246. PP. 19~28
2. 三木、斎藤、鈴木、前島(1978); 普通ポルトランドセメントおよびセメント急硬機(デンカES)を用いた固結土供試体の一軸圧縮特性, 第13回土質工学会研究発表会講演集 PP. 1405~1408
3. 高志、生頼、山本、岡本(1978); 砂質凍土の一軸圧縮強度, 第13回土質工学会講演集 PP. 453~456
4. 高志、生頼、山本、(1978); 粘土質凍土の一軸圧縮強度, 土木学会第33回講演会概要Ⅲ PP. 466~467

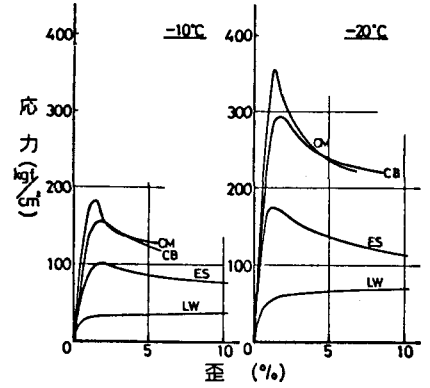


図2 固結注入材の応力-歪曲線

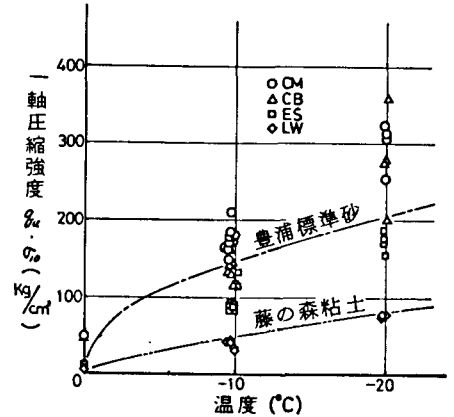


図3 一軸圧縮強度 $q_u \cdot \sigma_{10}$ と温度

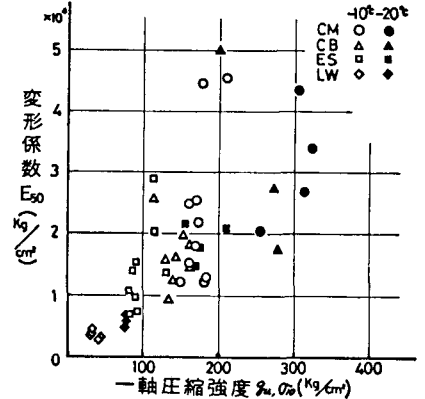


図4 変形係数E50と一軸圧縮強度