

III-288 ひずみ速度が凍土のせん断特性におよぼす影響について

鹿島建設(株) 技術研究所 正員 田中益弘
 塙 信之

I はじめに

湾岸部や海底下でのトンネル地中接合や拡幅工事の補助工法として凍結工法を適用し、凍土を耐力壁として利用する場合、塩分濃度を考慮した凍土の力学特性を明らかにする必要がある。凍土の力学特性は、凍土中の水や不凍水等により粘弾性的挙動を呈するため、温度やひずみ速度の影響を大きく受ける。筆者らは、ひずみ速度が凍土の力学特性におよぼす影響について一連の試験を実施しているが、今回、塩分濃度を考慮した凍土のせん断（二面せん断）特性におよぼすひずみ速度の影響を調べたのでその結果について報告する。

II 試験概要

1) 試料：試料は豊浦産標準砂と岐阜産調整粘土である。供試体は、所定の含水比と塩分濃度で調整した試料を $4 \times 4 \times 12$ cm の鋼製モールド内に詰め、サランラップで包み試験温度で 24hr 以上急冷凍結させた後表面を仕上げて作成した。土性値および供試体作成条件を表-1に示す。

2) せん断試験装置：試験装置は、低温恒温槽を有する万能試験であり、供試体周囲の雰囲気温度の保持は、液化炭酸ガスの自動噴射で、またひずみ速度の設定はプロダグ装置で行い、データは X-Y レコーダーで記録した。

3) 試験方法 試験は、 -10°C 、 -20°C で凍結した供試体を万能試験の低温恒温槽内の載荷装置に設置して、設定したひずみ速度で、図-1に示す Gunnar Aas の方法と同じ簡易的な直接せん断（二面せん断）方式で行った。ひずみ速度は、0.1, 1.0, 10 %/min の3種類である。

III 試験結果および検討

1) 荷重～変位曲線と破壊形態

各くひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の代表的な荷重～変位（ $P \sim \delta$ ）曲線の一例を図-2に示す。この図から $P \sim \delta$ 曲線は、初期の立上りが大きく、破断点の変位が小さいぜい性破壊形態を示すものと、立上りがゆるやかで、破断点の変位が大きい延性破壊形態を示すものに分けることができる。これを、ひずみ速度との関連でみると、塩分濃度に関係なく、早いひずみ速度ではぜい性破壊を、ひずみ速度が遅くなると、延性破壊ないしは中位のぜい性破壊(mode-rate brittle)を呈している。ここで注目しなければならないのは、ひずみ速度が遅い（0.1 %/min） $P \sim \delta$ 曲線の荷重が小さい変位で見られるピーク値からはややと落込む挙動で、これは、すでに報告した圧縮や曲げの場合における降伏後の荷重の平坦挙動とはことなることにある。このことは、設計における凍土の長期せん断強さを考える上で、注意しなければならないことを示している。

2) せん断強さと変形係数

せん断強さ τ とひずみ速度の関係を図-3に示す。図から塩分を含まない

表-1 土の物性値及び供試体作成条件

土の物性値				供試体作成条件			
項目	試料	標準砂	調整粘土	項目	試料	標準砂	調整粘土
比重 G_s	2.647	2.660		含水比 $W(\%)$	25	60	
液性限界 $W_L(\%)$	—	42.5		湿潤密度 $\rho_i(\text{g/cm}^3)$	1.95 ~ 1.99	1.59 ~ 1.64	
塑性限界 $W_p(\%)$	—	21.0		飽和度 $S_r(\%)$	95 以上	95 以上	
乾砂分 $(\%)$	100	4		塩分濃度 $S(\%)$	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3	
シルト分 $(\%)$	0	35		凍結温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$	-10, -20	-10, -20	
細粘土分 $(\%)$	0	61					

X: 供試体作成時の水の塩分濃度（溶液に対する溶質の重量百分率）で表示。

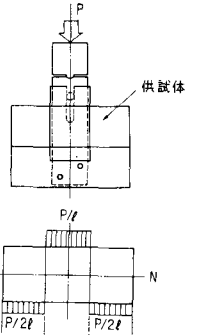


図-1 載荷装置

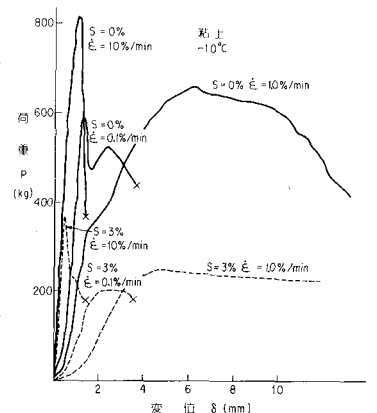


図-2 荷重～変位曲線

砂を除いては $\dot{\epsilon}$ の増加とともに τ は若干増加していることがわかる。この傾向をより明確にするため、 $\dot{\epsilon}=1\%/min$ の τ を基準にして、強さ比を土質および温度別に示すと図-4のようになる。この図より

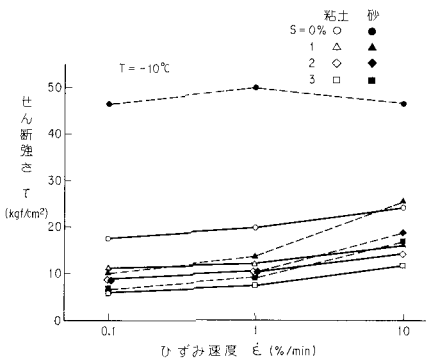


図-3 せん断強さとひずみ速度の関係
さにおよぼす影響について以下のことがいえる。

①土質や温度に関係なく、塩分を含む方がひずみ速度の影響は大きい。また、塩分濃度別にみるとバラツキはあるものの塩分濃度の高い方がその傾向は卓越している。

②粘土より砂の方が、また凍結温度が高い方が影響は大きい。

図-5は、せん断・曲げ強さ比 (τ/σ_b) とひずみ速度の関係を示す。図は粘土の結果であるが、 (τ/σ_b) は $\dot{\epsilon}$ の増加とともにわずかに増える傾向がみられるものの、概ね0.5である。既報²⁾では、曲げ圧縮強さ (σ_b/q_u) は概ね1であったことから、ひずみ速度に関係なくせん断強さは圧縮強さの半分程度となる。なお砂の (τ/σ_b) は図示してないが概ね0.5であり、 (σ_b/q_u) は0.5であったことから、粘土と同様、せん断強さは圧縮強さの半分程度となる。

図-6は、変形係数 E_{50} とひずみ速度の関係を示す。 $P \sim \delta$ 曲線からも明かなように、延性破壊を起した $\dot{\epsilon}=1\%/min$ の E_{50} が最小値を示す結果となった。

3)破壊ひずみと破壊時間

図-7は、 $P \sim \delta$ 曲線の最大荷重に対応するひずみから求めた破壊ひずみ ϵ_f とひずみ速度の関係を示す。 ϵ_f は $1\%/min$ で大きく、圧縮や曲げ試験における $\dot{\epsilon}$ の減少とともに ϵ_f が増加する傾向とは異なる。一方、 ϵ_f に到達する時間 $T_f = \epsilon_f / \dot{\epsilon}$ は図-8に示すように、 $\log T_f$ と $\log \dot{\epsilon}$ の間にはほぼ直線関係がみられることから、 $\dot{\epsilon}$ がわかれば破壊時間 T_f が算定出来ることを示唆している。なお、 n は土質や温度で定まる定数である。

図-7 破壊ひずみとひずみ速度の関係

参考文献

- 1)田中他；ひずみ速度が凍土の強度特性におよぼす影響について 第34回土木年次講演会
- 2)田中他；ひずみ速度が凍土の曲げ強さにおよぼす影響について 第38回
- 3)Gunnar Aas ; Laboratory Determination of Strength Properties of Frozen Salt Marin Clay, ISGF'80

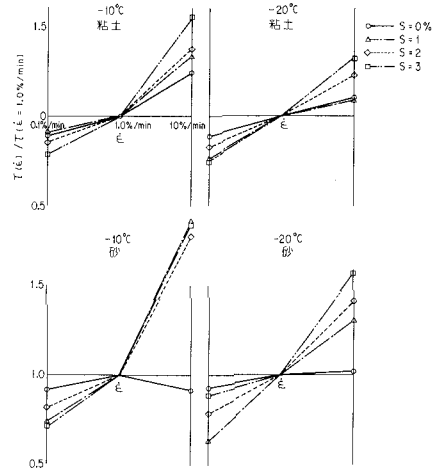


図-4 せん断強さ比とひずみ速度の関係

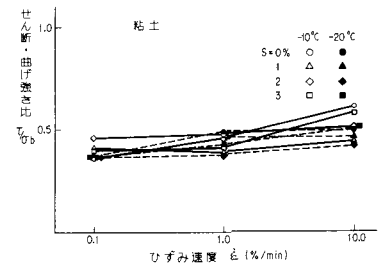


図-5 せん断・曲げ強さ比とひずみ速度の関係

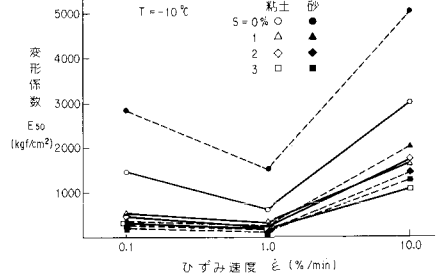


図-6 変形係数とひずみ速度の関係

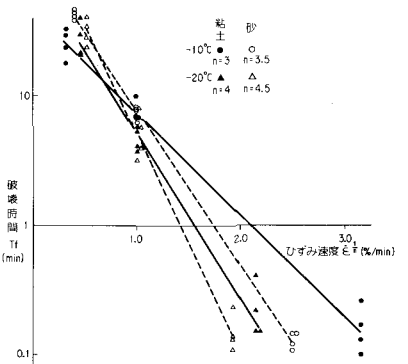


図-8 破壊時間とひずみ速度の関係