

III-247

繰返し応力下の火山灰質粘性土の変形と破壊

日本大学理工学部 正 員 巻内 勝彦
 （株）青木建設 正 員 安田 晴彦
 日本大学大学院 学生員 峯岸 邦夫

1. まえがき

繰返し载荷を受ける土の変形・強度には、硬化・軟化・疲労現象などが見られ、それらは試料土の状態（間隙比、飽和度、配向構造等）、応力レベル（拘束圧、偏差応力等）、繰返し载荷条件（周期、波形、回数等）、そして試料土の種類（粒度、コンシステンシー等）によって大きく異なる。火山灰質粘性土である関東ロームが路床・路体の盛土材料として用いられる場合には、その初期状態によって圧縮性や強度特性が著しく変化し、長期にわたりその影響が現れることが知られている。

今回の研究では、締固めた不飽和状態の粘性土（関東ローム）について繰返し三軸圧縮試験を行い、応力・ひずみ・回数の関係に与える応力レベルおよび飽和度（含水比）の影響を調べることを目的にした。

2. 供試体の条件および作製方法

実験に使用した試料は、船橋市内採取の火山灰質粘性土（ VH_2 , 比重 $G_s=2.76$, 自然含水比 $w_n=108.6\%$, 液性限界 $w_L=113.0\%$, 塑性指数 $I_p=49.5$ ）の攪乱試料で、風乾により初期含水比 $w_0=50\%$ とした。供試体作製時の乾燥密度は、締固め試験（標準および修正プロクター法）の結果に基づき $\rho_d=0.87\text{ t/m}^3$ とした。またこの時の試料の含水比は、飽和度 $S_r=70\%, 80\%, 90\%$ に相当する $w=55\%, 63\%, 71\%$ とした。供試体の作製方法は、各含水比ごとに試料を調整し、内径50mmの塩化ビニール製モールドに入れ、まずランマー（2.5 kg）で所定の打撃回数で突き固めた後、大型圧縮試験機により高さ120mmの円柱供試体に圧縮成形した。その後、飽和養生箱に入れて2日間放置した。

3. 载荷試験方法

本実験では、繰返し応力レベルは静的三軸圧縮強度の結果に基づき応力比（ σ_d/σ_s ）は、0.40～0.95とした。繰返し载荷試験は、動的三軸圧縮試験装置を用い非排水条件で行った。実験手順は、供試体を三軸室にセットし、0.2kgf/cm²の拘束圧（路床条件を想定）で等方圧密後、繰返しせん断過程に入った。なお、载荷回数 N は供試体が破壊に至るまでまた破壊しない場合は15000回までとし、周期は1 Hz、サイン波形とした。

4. 結果と考察

図-1により、塑性ひずみ（残留ひずみ）は、応力レベルに比例してひずみの累加が増大する傾向を示し、 $S_r=70\%, 90\%$ では応力比が0.80以上で载荷回数の増加にともないひずみは急速に進行して破壊（せん断面発生）もしくは大変形に至る。ただし、 $S_r=80\%$ は応力比が0.85に至るまで破壊が生じない。また、破壊に至った供試体はクリープ変形に類似の3つの段階（遷移、定常、加速段階）を経て破壊に至っている。ひずみの進行を定式化する上で図-1の定常領域（直線区間）を一次回帰して傾き α を求め、それを飽和度との関係で示したのが図-2である。応力が高くなると飽和度の影響を受け、

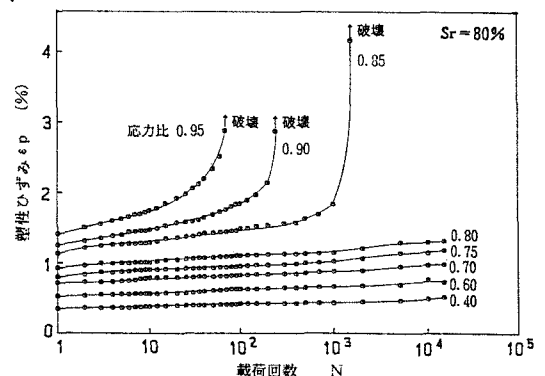


図-1 繰返し応力に対する塑性ひずみと载荷回数の関係

傾き α は増加する傾向を示す。図-3 の応力比との関係では、応力比が0.7~0.8を越える付近で傾き α は急増しひずみの定常~加速段階への移行がうかがえる。また、 $S_r=90\%$, 70% , 80% の順に大きい。図-4 より弾性ひずみは、繰返し応力に依存するが、変形係数（図示していない）は応力比および载荷回数に関係なくほぼ一定値を示す。図-5 の弾性ひずみの傾き α は飽和度による影響はなく、高応力比になると若干大きくなる。低応力比では供試体の挙動は一部に弾性体としての骨格構造を保持したまま他方で逐次的塑性すべりを発生していることになる。また高応力比下では、土構造内部の土粒子の滑動を誘発しながら可逆的ダイレイタンスを大きくするために弾性ひずみが増加していくと考えられる。図-6 は、一定ひずみおよび破壊した場合の $S-N$ 曲線（いわゆる Wöhler 曲線）を示したものである。他の飽和度も類似傾向であるが、 $S_r=80\%$ が最も右上に位置し、 $S_r=90\%$, 70% の順に左方へと移動している。これは、 $S_r=80\%$ が最適含水比よりやや乾燥側にあり、土粒子構造が安定しているためと考えられる。 $S_r=70\%$ では、脆性体としての要素が大きくなるためにひずみが小さい段階でかつ少ない载荷回数で破壊点に達している。 $S_r=90\%$ は、湿潤側にあるため、進行性破壊的にひずみ量が大きく、また強度も弱い。また、 $S_r=80\%$, 90% , 70% の順で曲線勾配が小さくなり、耐久限界応力 (σ_d/σ_{sat} , $N=\infty$) が大きい。

5. 結論

以上の結果をまとめると次の通りである。

- ① 塑性ひずみの進行は、応力レベルに比例して増加し、遷移、定常、加速の3段階を経て変形する。そして応力比0.80以上では、せん断すべり破壊もしくは大変形を起こす。
- ② 最適含水比より乾燥側では脆性的破壊を起こし、湿潤側では進行性破壊による大変形を起こす。
- ③ 応力および载荷回数の影響は、 $S-N$ 曲線パターンで示すことができる。そして、 $S_r=80\%$, 90% , 70% の順で大きくなる。

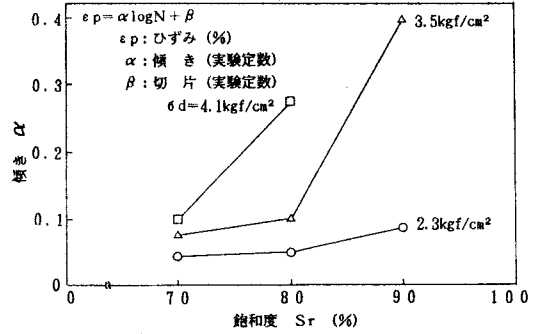


図-2 傾き α と飽和度の関係（塑性ひずみ）

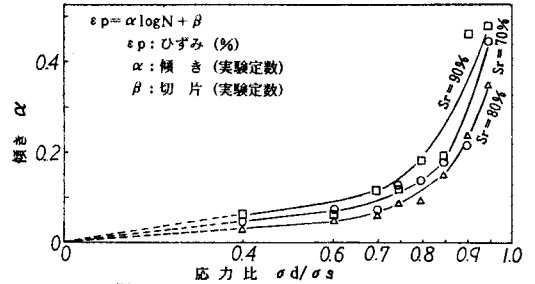


図-3 傾き α と繰返し応力比の関係（塑性ひずみ）

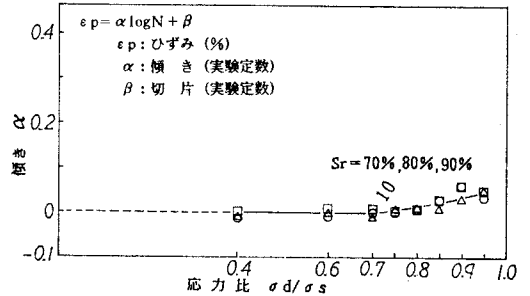


図-5 傾き α と繰返し応力比の関係（弾性ひずみ）

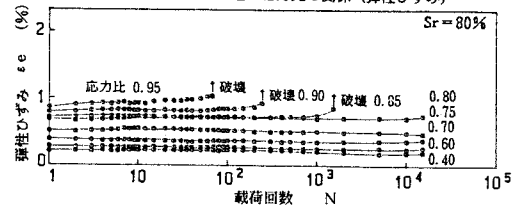


図-4 繰返し応力に対する弾性ひずみと载荷回数の関係

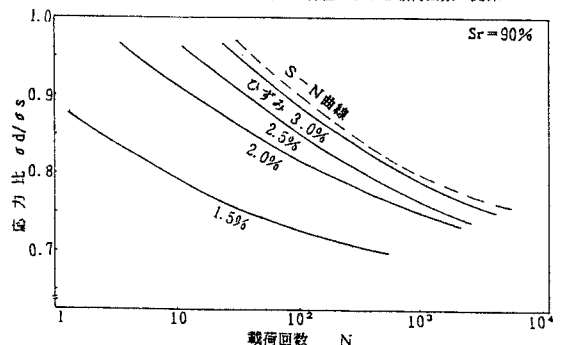


図-6 繰返し応力比と载荷回数の関係