

盛土材料のクリープ試験と極限上限降伏値

徳島大学大学院 学 ○藤井宏一、東海林宏樹
同上 学 黒崎ひろみ
関西電力・総研 正 長谷川靖明
徳島大学工学部 正 望月秋利

1. まえがき

許容変形量が制限される重要盛土構造物ではクリープによる長期変形が問題となり、変形量の定量的な把握、クリープ特性の解明が必要となる。本研究では、クリープ特性の一要因であるせん断クリープに着目し、これまで充分な研究がなされていなかった盛土材料(土砂材料)を対象に三軸圧縮 CD 試験によるクリープ試験を行い、その流動曲線の特性から「極限上限降伏値(τ_{UF})」の提案をし、また同試料を用いて行った一面せん断試験によるクリープ試験結果(別報¹⁾)との比較について報告する。

2. 試験試料および試験方法

用いた試料は検討対象とした盛土現場から採取した泥質片岩、砂質片岩の混合材料で、表-1 に試料の物理的性質を、表-2 に標準試験、クリープ試験の試験条件を示す。表-1 中に示した強度定数は、 σ_3 一定・三軸圧縮 CD 試験(標準試験)によって得られた結果である。

供試体は、前日から含水比調整しておいた試料を 64×41×81mm の供試体用モールドに、突き板、突き棒を用いて所定の密度になる様に突き固めて作成し、それを凍結させ保存した。その後凍結試料にゴムスリーブをかぶせてから試験機にセットし、10kPa の負圧を与えた状態で、再度アルミ板(10mm 厚)で供試体を囲み、その上からコードヒータで解凍(約 12 分)した。これは、均質な試料を確実に作成するために開発した手法である。

クリープ試験は村山ら²⁾が提案している、「三軸試験機を用い、平均主応力(σ_m)一定・CD 条件で、一定の偏差応力を継続载荷する方法」にならった。载荷段階は σ_3 一定・三軸圧縮 CD 試験強度を基準に、表-2 に示す 7 段階を標準とした。ただし、今回は一般に実施される様に载荷段階毎に新しい試料を用いるのではなく、一連の载荷試験に対して 1 つの試料で試験を行う「段階载荷法」を採った。これは

主として各段階の試験結果への試料のばらつきの影響を避けるためである。各段階の終了は、軸ひずみ速度が、0.0005%/min(粘土 CD 試験速度の 1/500)を基準とし、その速度以下になった場合、次の段階に移るようにした。

3. 試験結果とその検討

図-1 は $\sigma_m=50\text{kPa}$ に対する、主応力差～軸ひずみの関係を示したものである。各载荷段階において軸ひずみが増加し、载荷段階 40%以降においてひずみの伸びが大きくなる。

図-2 は、図-1 での各载荷段階における経過時間を初期化し、同時間における軸ひずみの増加分を累積して、軸ひずみ～経過時間の関係を示したものである。この図における各载荷段階の最終軸ひずみが、個別载荷法での各せん断応力における軸ひずみに対応する(整理方法は別報¹⁾参照)。

表-1 試料の物理特性

試料名	D+CL級材料
土粒子密度 $\rho_s(\text{kN/m}^3)$	26.9
最大粒径 D(mm)	2.8
$\rho_{d\max}(\text{kN/m}^3)$	18.4
内部摩擦角 ($^\circ$)	31.45
粘着力 (kPa)	18.6

表-2 試験条件

項目	条件
供試体寸法 (mm)	L64×W41×H81
供試体作成法	凍結法
締固め度 Dc(%)	92
含水比 w(%)	13.3
排水条件	CD
体積ひずみ測定方法	GAPセンサー
载荷段階 τ/τ_f (%)	20,40,60,80 90,95,100

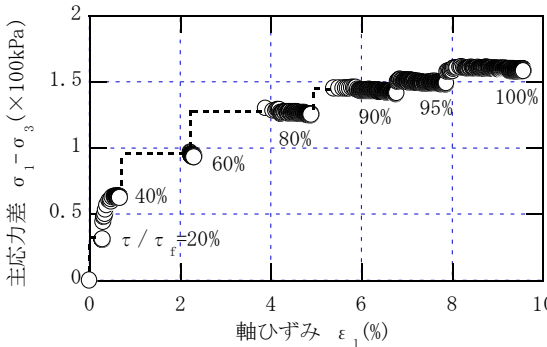


図-1 主応力～軸ひずみ図

キーワード せん断クリープ、極限上限降伏値、段階载荷法、三軸圧縮試験

連絡先 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部 TEL 088-656-9721

図-3 は、各載荷段階における経過時間 30 秒、1 分、5 分、10 分時のひずみ速度 ($d\varepsilon/dt$ %/min) を示したものである。

村山ら²⁾は、各時間における流動曲線のひずみ速度が 0 となる点を下限降伏値 ($\tau_L: \tau_L/\tau_f=20\sim30\%$ 程度)、流動曲線の変曲点を上限降伏値 ($\tau_U: \tau_U/\tau_f=60\sim70\%$ 程度) と定義し、粘性土に対して、 $\tau<\tau_L$ の領域では弾性、 $\tau_L<\tau<\tau_U$ の領域では粘弾性、 $\tau_U<\tau$ の領域では粘弾塑性の挙動を示し、 τ_U は時間によらずほぼ一定となると説明している。しかし図-3 を見ると、 τ_U は経過時間が大きい方が明らかに大きくなる傾向が認められる。そこで図-4 に、図-3 より得られた τ_U/τ_f を時間に対してプロットした。この関係を双曲線 ((1) 式) で近似し、その漸近線で得られる値を「極限上限降伏値 (τ_{UF})」と定義した。この値の意味は「 τ_{UF} 以上のせん断応力が継続的に載荷される場合、せん断クリープで破壊する可能性が大きな限界値」である。すなわち τ_{UF} 以下であれば、クリープ変形は継続するが破壊する可能性が少ないことを意味する。

$$\tau_{UF} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{b}{\sqrt{t} + a} + c \right) \quad (a, b, c : \text{定数}) \quad (1)$$

図-4 の結果に対しては、 $\tau_{UF}/\tau_f=96.2\%$ が得られた。以前は τ_U の平均値を上限降伏値とし、それ以上はクリープ破壊の可能性のある範囲と解釈していたため、例えば盛土斜面でもクリープ破壊に対する安全率の確保が検討されたこともあるが ($\tau_U/\tau_f=65\%$ の場合、 $F_s \cong 1.5$ に相当)、今回の試験でその極限が τ_{UF} と解釈されることから、今までの盛土のクリープ破壊に対する理解、すなわち今回対象としたような良く管理された盛土ではクリープで破壊することはほとんどない、という経験と整合する結果を得た (ちなみに $\tau_{UF}/\tau_f=96.2\%$ の場合、 $F_s \cong 1.04$)。

表-3 は、同じ試料で行った一面せん断試験機によるクリープ試験の結果を合わせて示したものである。一面せん断試験機は、クリープ試験が行える様に改良した「徳島大学型一面せん断試験機¹⁾」を用いた。三軸試験による結果では、 $\sigma_m=50、100\text{kPa}$ の結果とも τ_{UF}/τ_f にほとんど差はなく、今回採用した供試体の凍結法の妥当性を示したものと考えている。また一面せん断試験の圧密圧力 (σ_p) が 100kPa の結果と、三軸圧縮試験で得られた結果がほぼ同じであるところから、一面せん断試験機でも同等の試験結果が得られるものと考えてよさそうである。この点については現在検討を続けている。

3. まとめ

試料のばらつきの試験結果への影響を低減する目的で、供試体の作成方法に凍結法を、また試験方法として段階載荷法を採用し、精度の良い結果が得られた。また従来のクリープ試験では三軸圧縮試験機を用いるのが一般的であったが、本研究では改良を加えた一面せん断試験機の安定性・簡易性に着目し、クリープ試験を実施したところ、三軸圧縮試験機で得られた結果とほぼ同じであり、その実用性が確認できた。また流動曲線の特性から極限上限降伏値を定義して、新たな降伏値の位置付けを行った。

参考文献： 1) 吉田ら (2002)：一面せん断試験機を用いた砂質土のクリープ試験方法の開発、土木学会第 57 回年次学術講演会 2) 村山朔郎 (1990)：土の力学挙動の理論、技報堂

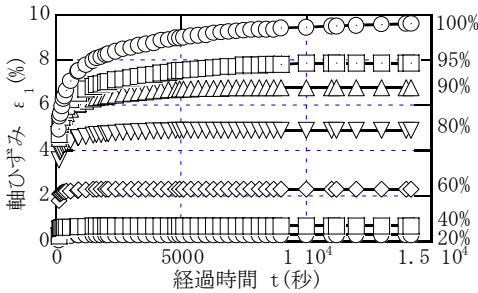


図-2 軸ひずみ～経過時間図

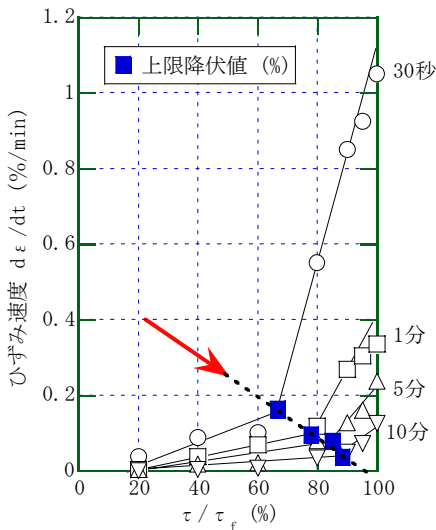


図-3 流動特性図

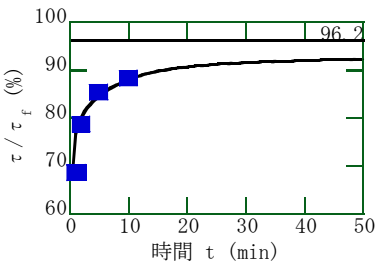


図-4 上限降伏割合～時間図

表-3 一面・三軸試験結果

試験機	圧密応力 (kPa)	τ_L/τ_f (%)	τ_{UF}/τ_f (%)	F_s
三軸	50	19.88	96.22	1.04
	100	24.09	97.52	1.03
一面	50	13.23	82.32	1.21
	100	21.99	94.07	1.06