

粘土の降伏値に関する考察

京都大学防災研究所 正員・柴田 徹
京都大学大学院 学生員 星野 満

降伏値の概念

粘土のせん断強度に与える時間効果を問題にする場合には、通常、せん断強度のほか、各種の降伏値が提案されている。そしてこれら降伏値はせん断応力 σ' のみでなく、 τ と有効垂直応力 σ_v' の相互関係によって定義するのが妥当と考えるので、この報告では図-1 のように $\tau \sim \sigma_v'$ 座標を用いて表示する。図中、水平と ϕ' の傾斜をなす線は通常のせん断試験より求まる破壊線であるが、いま $\phi' > \phi_m'$ であるような ϕ_m' (モビライズされた内部摩擦角) を想定すると、 ϕ_m' の大きさによっていろいろ降伏値を定めることができる。その中でもここで ϕ_1 ・ ϕ_2 降伏値 (ϕ_1' , ϕ_2') と仮称するものが代表的であって、 ϕ_m' が $\phi_m' < \phi_1'$ であればフリープ量はほぼ $\log$ と比例して増加し、やがてフリープは飽和して安定する。したがってこの場合は粘土は破壊を生じることなく安定であり、 ϕ_1' は粘土の長期強度 (ultimate continuous str.) に相当する。つまり ϕ_m' が $\phi_1' < \phi_m' < \phi_2'$ (ϕ_2 降伏値) の範囲にあれば偏差フリープは定常状態となり、いわゆる Bingham 領域があらわれる。このとき体積フリープはおおむね停止している。 ϕ_m' がさらに大きくなり、 $\phi_m' > \phi_2'$ ではフリープ破壊が顕著にあらわれるようになる。定性的には以上の説明が可能であるが、降伏値に関しては不明な点が多く残されているので、三軸スライス試験機を用いて行なっている実験結果を報告する。

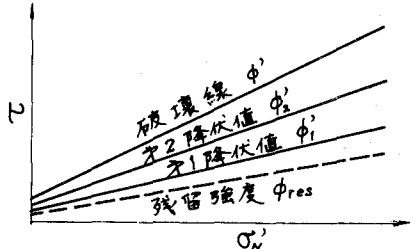


図-1

試料

実験に使用した試料の物性は、粘土分 32%, L.L. 36%, P.I. 10.4% のシルト質粘土である。これを液性限界以上の含水比で約半日間練り返したのち、試料作成用大型リットル圧密機で 0.5 kg/cm² で圧密が終了したものをパラフィンで包み、含水比の均一化をはかるために 20°C 以上、恒温室内で養生した。

排水条件とクリープ強度

粘土地盤が長期間にわたって一定荷重を支持する場合の地盤強度は、粘土の圧密係数や排水距離等によって、非排水クリープ強度から排水クリープ強度まで広範囲に変化する。しかしクリープ破壊の現象も有効応力の観点から考えると、通常、破壊条件と同一の規準にしたがってこれを以前に説明した。

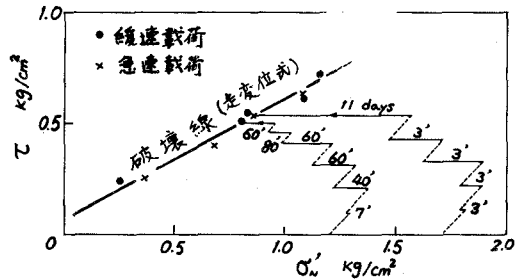
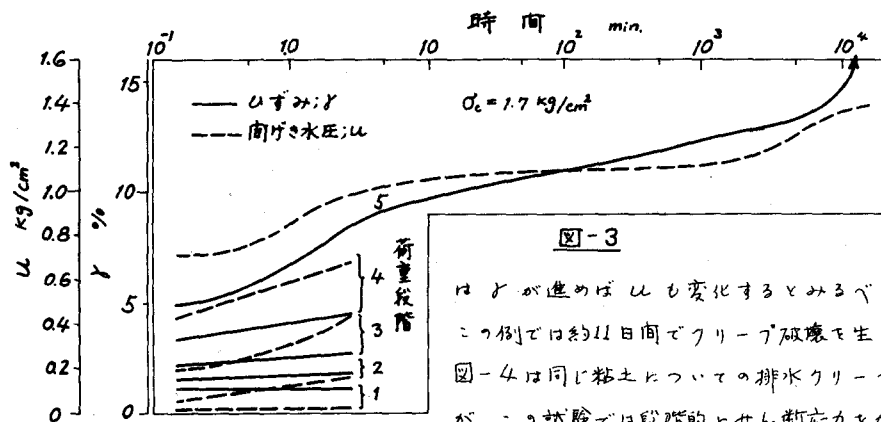


図-2

図-2 は非排水クリープ試験において、一定のせん断応力レベルに達するまでの荷重段階と、繰返して急激荷重にわたったときのクリープ強度を、 $\tau \sim \sigma_v'$ 座標上に描いたものであり、この程度の試験ではいずれも通常の定変位試験より求めた破壊線にはほぼ一致するので、顕著な時間効果はみられない。図-3 は急激荷重の場合のクリープひずみ ϵ と過剰間隙水圧 u の時間的変化を示した例であり、 ϕ_4 段階目までは 3 分ごとに荷重を増加し、 ϕ_5 段階目で所定のクリープ試験を行なっている。



クリープ中に u の変化がみられないという報告もあるが、それは特殊条件下であって、一般に

は σ が進めば u も変化するとみるべきであろう。なおこの例では約11日間でフリーブ破壊を生じている。つぎに図-4は同じ粘土についての排水クリープ試験結果であるが、この試験では段階的にせん断応力を加える過程におい

て、最大・最小主応力間の $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 値を一定に保っているで、せん断面上の有効応力軌跡は図のように左上方に延びている。そして排水クリープも非排水の場合と同様に、フリーブ強度は通常破壊線近傍にプロットされることが明らかである。

降伏値に対する時間効果

非排水クリープの場合には、緩速・急速う別なく破壊は σ'_u 図上で同一線上にプロットされることも図-2においてみた。しかし降伏値に関しては、時間の影響をうけてかなり大巾に変動するようである。例えば図-5は緩速・急速载荷に対する σ'_u 降伏値を示したもので、急速载荷による降伏値は緩速のものに比べてかなり低くあらわれている。一方、図中には図-6の $\log \tau \sim \log \sigma$ 関係から求めた上限降伏値線 (τ_u) も併記してあるが、 τ_u に対する時間効果はあまり顕著ではない。ところで室内試験での供試体寸法、試験期間を対象にするとすれば、長期強度に対して上述の降伏値や規準にとればよいことが示唆されるが、数10年を単位とする実際の工学問題では、進行性破壊等の現象のために単純ではなく、残留強度を規準にとるべき場合も少なくないと思われる。この粘土の残留強度は、2%以下の粘土含有量より、 $\phi_{res} \approx 25^\circ$ と推定されるので、緩速载荷による降伏値にはほぼ一致している。上限降伏値や、急速载荷による降伏値が残留強度よりも低くあらわれる可能性があることの意味の考察は、今後の問題として残される。

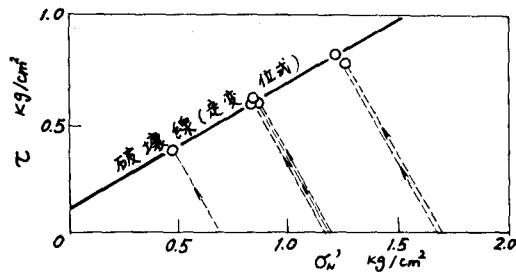


図-4

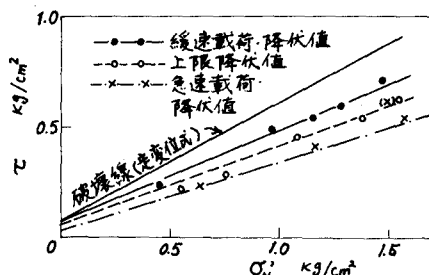


図-5

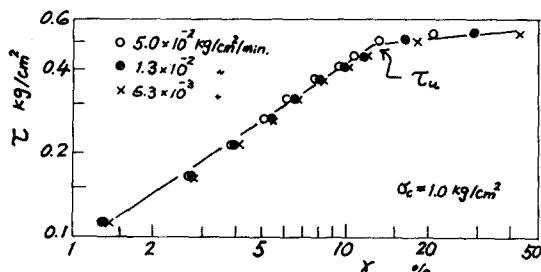


図-6

1) 柴田, 星野: 粘土の三軸スライスせん断試験について, 119, 1 (1968)