

PII-12 砂の急速載荷時における過剰間隙水圧

森林総合研究所 ○三森利昭・落合博貴・大倉陽一
林野庁経営企画課（元森林総合研究所）川浪亜紀子

1. はじめに

自然斜面において降雨を原因として発生する崩壊について、「崩壊が発生した時の土層は完全飽和している」と考えて解析する例がこれまで多い。しかし、既往の地山における間隙水圧の観測例からも、豪雨中においても斜面全体が完全飽和しているとは考えにくく、崩壊が発生する斜面の多くは不飽和であろうと著者は考える。著者らが行ってきた崩壊実験でも、崩壊直前における不飽和域は斜面の多くを占めており、崩壊時の不飽和土の挙動を明らかにする必要があると考える。また、崩壊の発生時に過剰間隙水圧が発生し崩壊の土石流化の原因となっていることが、高速リングせん断試験(佐々ら(1994))・急速載荷三軸試験(海堀(1997))、室内規模の崩壊実験などから、次第に明らかになりつつある。佐々らは、崩壊土が斜面下の土砂堆積域に達した時に、崩壊土砂の急速載荷により、堆積域(不飽和)に過剰間隙水圧が発生し、この結果、堆積域上を崩土が長距離流下するモデルを提唱している。著者(1998)は、室内崩壊実験によって、斜面下部のあまり変位のない圧縮域において、有効応力が0となるような過剰間隙水圧が崩壊時に発生すること、不飽和状態であっても圧縮により間隙水圧の急上昇が見られることなどをこれまでに明らかにした。しかし、このような、急速載荷時における不飽和土中の間隙水圧挙動に関する研究はほとんど無く、今後の課題となっている。今回、簡易な急速載荷試験装置を用いて、カラム規模の飽和・不飽和条件下における急速載荷実験を行ったので、その結果を報告する。

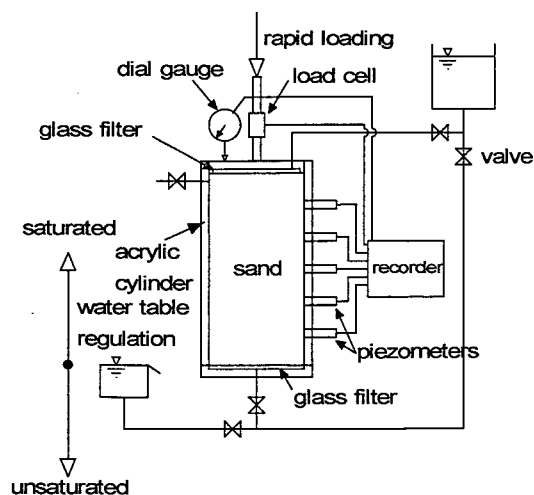


図1. 試験装置の概略

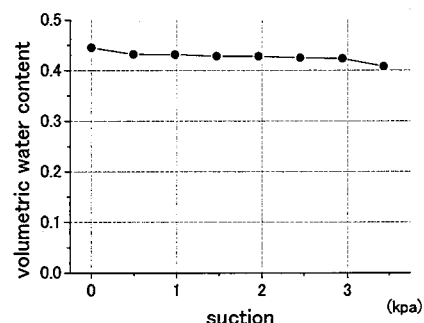


図2. 供試砂の水分特性

2. 実験方法

実験装置は、内径150mm長さ300mmの亚克力製円筒の上下に、ガラスフィルターを介して、水の流入・流出が可能となっている(図1)。上部フィルターはOリングを二重に設置したピストンとなっており、これにロードセルを介し空気圧制御したペロフラムシリンダーによって、所定の応力で急速に土に載荷する。亚克力円筒の周囲には、50mmごとに間隙水圧計を設置して、急速載荷時の間隙水圧変化を測定する。下部フィルターはカラム内の水位調整のためのタンクに接続されている。また、土の伸縮(ひずみ)を計測するためにダイヤルゲージを上部のピストンに設置した。これらの計測器の指示値は、1kHzでPCに記録した。供試砂は豊浦標準砂で、水中を落下堆積させて容器に詰め、いわゆる緩詰めとした。乾燥密度： γ_d は1.38~1.40g/cm³である。図2の水分特性曲線に示すように、suctionが小さな領域では、体積含水率にほとんど変化は見られない。

実験はカラム内の水位を変化させ、水位をカラム上端とし排水バルブを載荷中に開けた飽和・排水条件(I)、カラム上端に水位を固定しバルブを載荷中に閉じた飽和・非排水条件(II)、カラム下端に水位を固定しカラム内の土を不飽和とし非排水で圧縮を行う不飽和・非排水条件(III)、カラム中央に水位を固定しカラム内を飽和と不飽和の部分が発生させ載荷中非排水とした飽和と不飽和・非排水条件(IV)、の4種類を行った。最終載荷加重はいずれの実験においても約60kPaで、載荷開始から約0.3秒で最大値まで載荷した。

3. 結果と考察

図3~6に急速載荷時の間隙水圧・載荷加重・変位の実験結果を示す。飽和非排水(II)の場合の間隙水圧値は、加重増加に少し(約0.01sec)遅れるが、水圧計の位置にかかわらずほとんど同時に反応を始めている。不飽和(III・IV)の場合も同様に加重増加に対し遅れて(約0.02~0.03sec)反応を始めるが、やはり間隙水圧の変化値に位相差は現れていない。間隙水圧の伝播速度は、1kHzのサンプリングレートで関知できないことを考慮すると、少なくとも、50~200 m/sec以上であり、かなり速い速度で伝播するものと思われる。

間隙水圧の上昇値(Δu)は計測位置の違いにもかかわらず、各実験ともほぼ同じ値を示している。不飽和(III)、飽和不飽和(IV)の実験とも、間隙水圧の上昇値はそれぞれの実験においても深さに関係なくほとんど同じであり、また、試料内での飽和不飽和状態に関係なく、間隙水圧の上昇量は各実験において同一であった。不飽和における2実験とも間隙水圧は負から正值に転化していた。Bishop(1973)が提唱した間隙圧係数： $B (= \Delta u / \Delta \sigma)$ は、飽和の実験(II)では0.342、不飽和(III)で0.272、飽和不飽和(IV)で0.181で、不飽和の2実験とも飽和実験より小さな値となった。

今回の実験では、不飽和であってもサクシジョンの最大値で2.5kPa程度で、図2に示すように体積含水率にほとんど変化が無く、ほとんど飽和といって良い状態である。しかし、このようなサクシジョン値は、豪雨中の自然斜面でもよく見られる値であり、このような状態で土が崩壊などによって急速に圧縮されると、負の間隙水圧は容易に正值に転化して有効応力は下がり、不飽和であっても流動化しやすくなることがわかる。この現象については特に注目する必要があると著者らは考える。

また、飽和・非排水実験においても収縮が観察されたが、水は非圧縮性であるので、今回のような K_0 条件下の飽和・非排水の圧縮の場合、Bの値は1.0になるはずであるが、0.342と小さな値にとどまっている。この原因としては、容器の剛性不足・フィルターの脱気が不十分・砂とフィルターとの接触不良によるベディングエラー等が考えられる。ひずみが0.002程度と比較的大きいことから容器の剛性不足による膨張とは考えにくく、ベディングエラーかあるいはフィルター脱気不足のため急速圧縮時にフィルターへ水が入り込むことが原因と思われる。これらの回避のためには、フィルターの飽和に留意するとともに、先行圧密を行うことによってベディングエラーの回避を図る必要がある。

4. おわりに

砂の急速載荷時における間隙水圧の変化について報告した。不飽和であっても湿潤な状態では、急速載荷によって、間隙水圧は負から正に転化し、有効応力の低下を招くことがわかった。

参考文献

- Bishop, A.W.(1973): The influence of an undrained change in stress on the pore pressure in porous media of low compressibility, *Geotechnique*, Vol.23, No.3, pp.435-442.
 海堀(1997): 流動型崩壊発生メカニズムの研究のための試作機の試作と適用, *新砂防*, Vol.49, No.6, pp.24-28.
 三森(1998): 崩壊土砂の流動化機構に関する実験的研究, *土砂・洪水災害研究に関するワークショップ論文集*, pp.8 1-88.
 Sassa, et al. (1994): Prediction of landslide motion based on the measurement of geotechnical parameters. *Proc., International Workshop on Prediction of Rapid Landslide Motion*, pp.13-43.

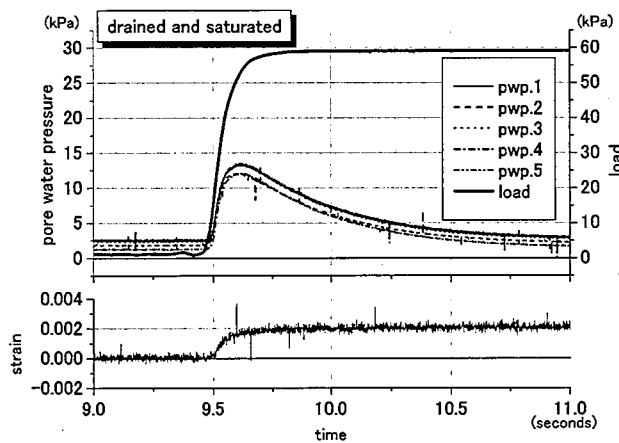


図3. 飽和排水急速載荷試験結果 (I)

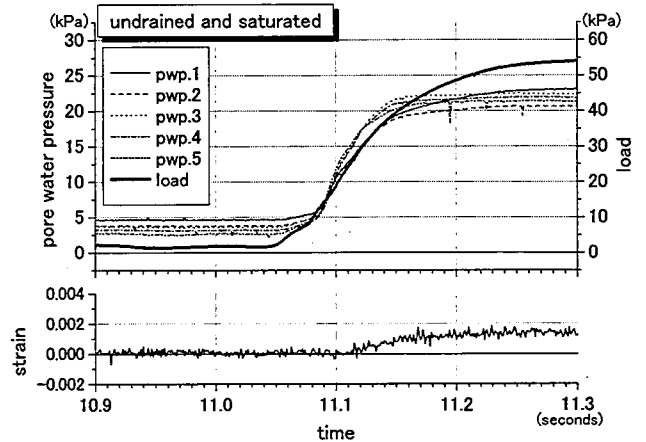


図4. 飽和非排水急速載荷試験結果 (II)

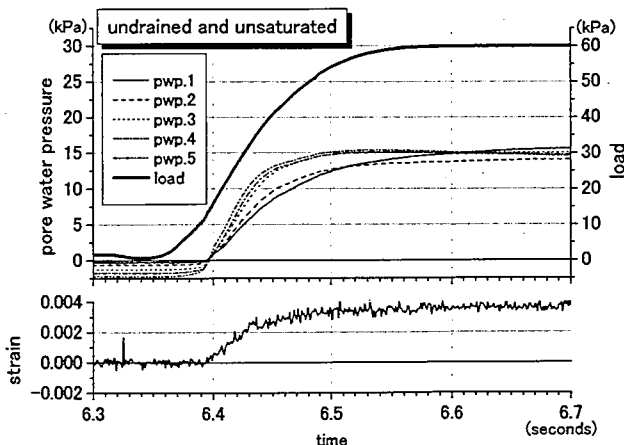


図5. 飽和不飽和・非排水急速載荷試験結果 (III)

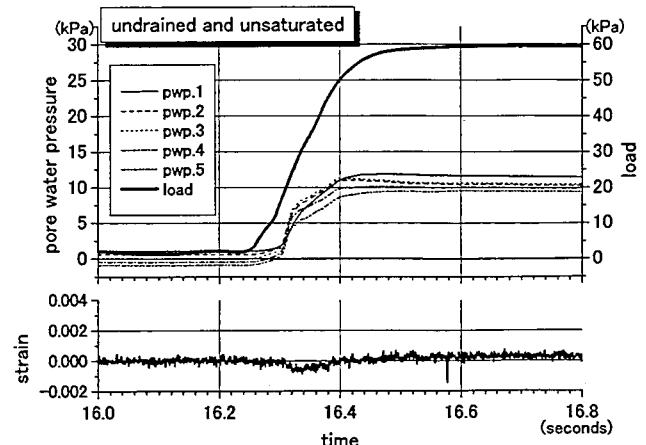


図6. 不飽和非排水急速載荷試験結果 (IV)