

降雨浸透による砂質模型斜面の間隙水圧上昇に伴うせん断変形

高知大学
防災科学技術研究所

○笹原克夫
酒井直樹

1. はじめに

斜面崩壊発生予測手法として、例えば齊藤式や福岡式などの崩壊直前の3次クリープの変形を表現する経験式のような、地表面変位を用いた方法が知られ、実務にも用いられている。しかし例えば降雨による斜面崩壊を考えると、降雨強度の変化など、斜面内の応力変化をもたらす要因もあり、降雨浸透に伴う斜面のせん断変形を力学的に表すモデルが必要である。特に斜面内の間隙水圧の変化は斜面の変形・破壊挙動に大きな影響を及ぼす。本報告では模型斜面に人工降雨を与えた時の斜面の変形挙動について検討し、応力～ひずみ関係を求めることを目的とする。

2. 実験装置と方法

実験のために図-1に示すような模型斜面を作成した。筑波山まさ土 ($D_{50}=1.3\text{mm}$, $U_c=22.23$, $\rho_s=2.675\text{g/cm}^3$)を用いて水平方向に20cmずつ敷きならし、人力で踏み固めて模型斜面を作成した。斜面方向に50～80cmごとに土のサンプリングを行い、間隙比が0.65～0.68で含水比が3.7～4.4%とほぼ一定であることを確認した。斜面の降雨浸透や圧縮・せん断変形挙動は図-1に示すような計測装置で計測した。このうち本報告では斜面下から300cmの位置の土壌水分計による深さ10cm毎の体積含水率と、斜面下から350cmの位置のテンシ

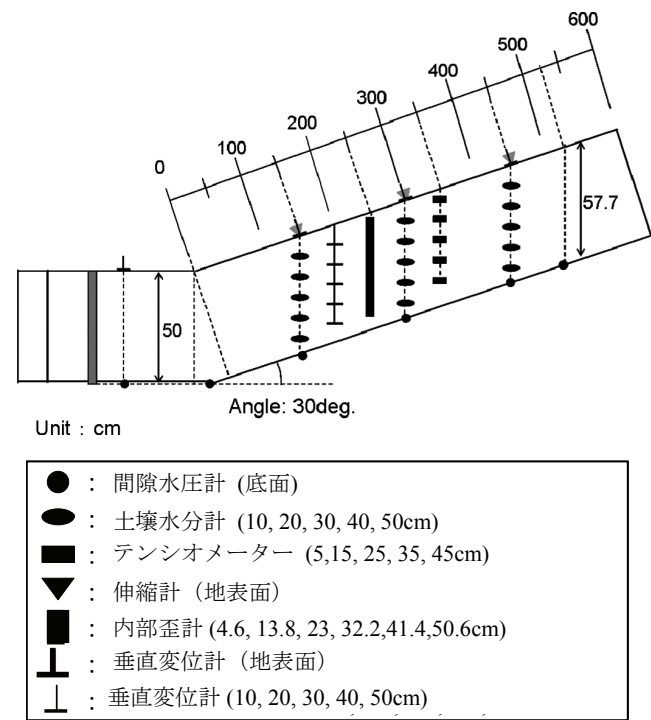


図-1 実験装置

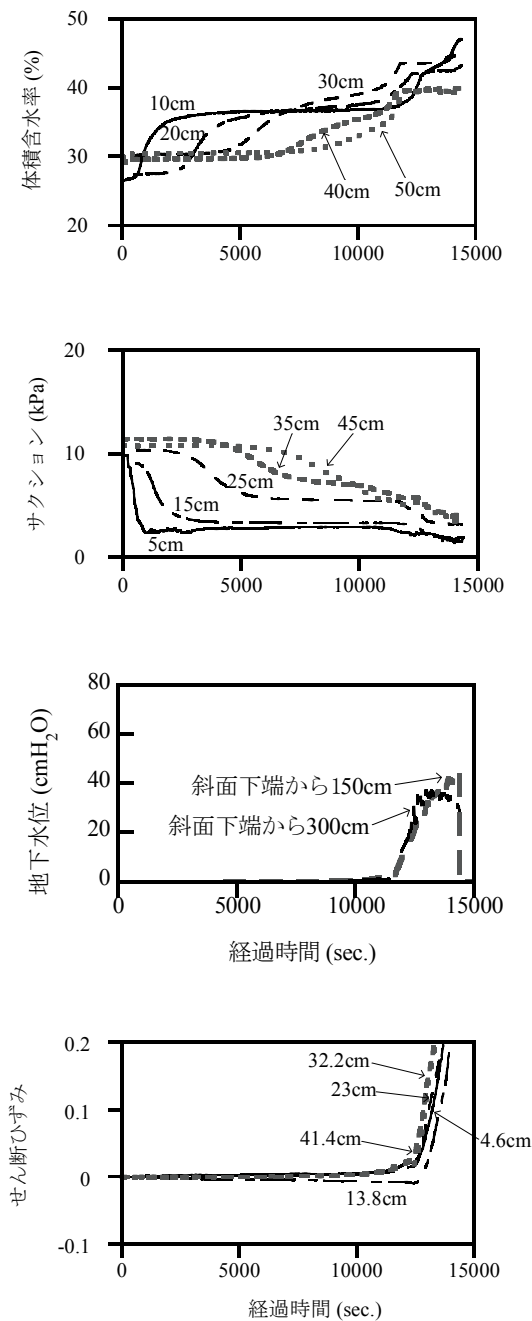


図-2 体積含水率、サクション、底面地下水位とせん断ひずみの経時変化

オメータによる深さ 10cm 毎のサクシジョンの計測値を降雨浸透の検討のために使用した。また斜面のせん断変形については斜面下から 250cm の位置に設置した内部歪計による深さ 9.2cm 毎の傾斜計の傾斜変化のデータを使用した。なお内部歪計は長さ 9.2cm のプローブ内に傾斜計を設置したものを、ボルト・ナットで深さ方向に 6 個連結したものである。各プローブの傾斜変化を θ とすると $\tan\theta$ がせん断ひずみに等しいと考えた。

実験では事前に 30mm/h ないしは 15mm/h で継続時間 180 分の降雨イベントを 3 日間程度の間隔で 3 回与え、その後 30mm/h の降雨を崩壊発生まで与えた。この最後の降雨中の斜面内の挙動を対象とする。

3. 実験結果

図-2 に斜面中の体積含水率、サクシジョン、模型底面での地下水位、そしてせん断ひずみの経時変化を示す。ここで体積含水率とサクシジョンの深さは、計測値の補間により内部歪計によるせん断ひずみ計測深での値を求めた。体積含水率とサクシジョンは降雨開始後、斜面内の浅い箇所から変化し始めるが、せん断ひずみが増加し始めるのは、降雨期間後半の、30cm より浅い箇所の体積含水率が 2 回目の上昇を始めると共に、サクシジョンが 2 回目の減少を開始する約 12,000 秒後である。このタイミングで斜面底面に地下水位が発生して上昇を始めている。つまりせん断ひずみの増加は間隙水圧の上昇と密接に関連していることが示唆される。

4. 斜面内の間隙水圧とせん断ひずみ

上記のことから、斜面内の各深さにおける間隙水圧とせん断ひずみの関係について検討する。斜面内の間隙水圧は、図-3 のように定義する。つまり斜面内の各深さにおいて、それより上部にある地下水位ということである。

図-4 に斜面内のせん断ひずみと間隙水圧の関係を示す。なお図-2 に示す地下水位が到達していない深さ 4.6cm と 13.8cm は検討対象外である。図-4(a)を見ると、各深さとも間隙水圧が発生する前の不飽和状態でもせん断ひずみが増加することがわかる。そして間隙水圧の上昇と共にせん断ひずみが著しく増加する。ただし間隙水圧上昇量に対するせん断ひずみ増加量は、はじめは小さく、せん断ひずみ増加に伴って増加する。つまり土の応力～ひずみ関係を表す双曲線で近似できる。また深い箇所の方が初期の立ち上がり勾配が大きくなると共に、最大間隙水圧も大きくなる。

図-4(b)を見ると間隙水圧発生前の不飽和状態でのせん断ひずみの発生がよくわかる。深さ 23cm ではせん断ひずみが 0.09 まで、32.2cm では 0.05 まで、そして 41.4cm では 0.03 まで、間隙水圧の発生しない不飽和状態でせん断ひずみが増加していることがわかる。つまり浅い箇所の方が不飽和状態でのせん断の進行が大きいということになる。

5. まとめ

以上のように斜面内のせん断ひずみは不飽和状態でも進行するものの、間隙水圧の上昇に伴うせん断ひずみ増加が著しいこと、間隙水圧とせん断ひずみの関係は双曲線関数で近似されることが判明した。

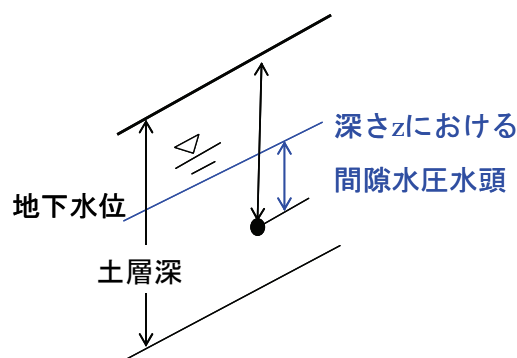


図-3 各深さにおける間隙水圧の定義

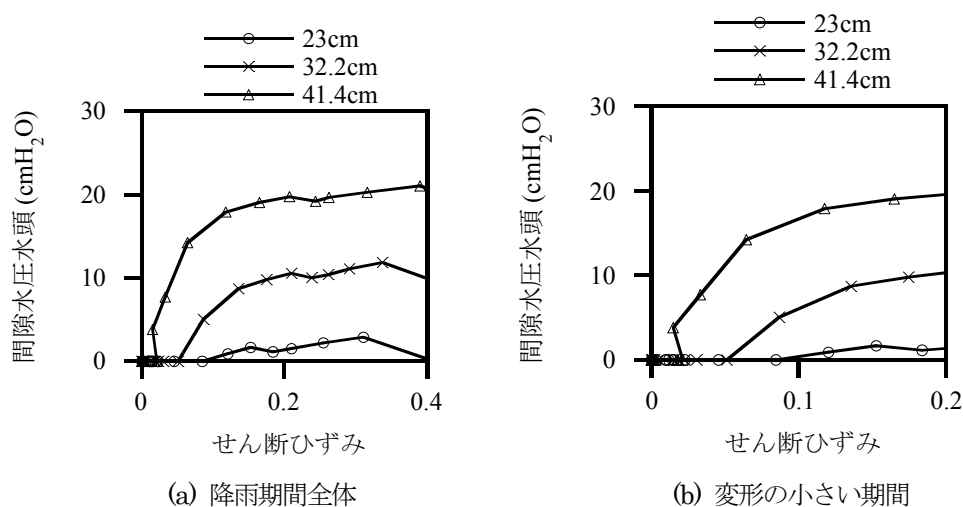


図-4 斜面内のせん断ひずみと間隙水圧水頭の関係