

強降雨時における地盤内の間隙空気圧ならびに間隙水圧の挙動に関する実験的研究

立命館大学大学院 学生員 ○檀上徹
 東北大学大学院 正会員 里見知昭
 立命館大学 正会員 酒匂一成
 立命館大学 フェロー 深川良一

1. はじめに

近年、日本各地でゲリラ豪雨の発生頻度が増加する傾向があり、豪雨による土砂災害が各地で発生している。そこで、降雨時の斜面を安定的に評価するためには、地盤内の水分量を直接測定することが重要とされている。一般的には土壌水分計やテンシオメータが用いられ、著者らはテンシオメータを用いて現地計測を行っている。しかしながら、テンシオメータは地盤内の空気圧を 0kPa と仮定しているため、実際の地盤内における間隙空気圧の挙動を把握せずに測定している。また、既往の研究により、間隙空気圧が雨水の浸透スピードに与える影響が大きいとされている¹⁾。そこで、本研究の目的として、著者らが行ってきた、降雨量 10, 50, 100 mm/h の条件²⁾より大きな降雨量 200mm/h を設定し、排気条件・地下水条件を変えたときの、地盤内の間隙空気圧の挙動の検証を行った。また、間隙空気圧の影響を考慮した間隙水圧の測定を行った。

の設定は、カラム底のバルブの開閉による調節で行い、地下水条件の設定は、カラム底から 10cm 高さの土の底面との境界面まで水を入れた状態を地下水ありとして試験を行った。降雨量 200mm/h は、防災科学技術研究所の雨量装置を用いて設定を行った。

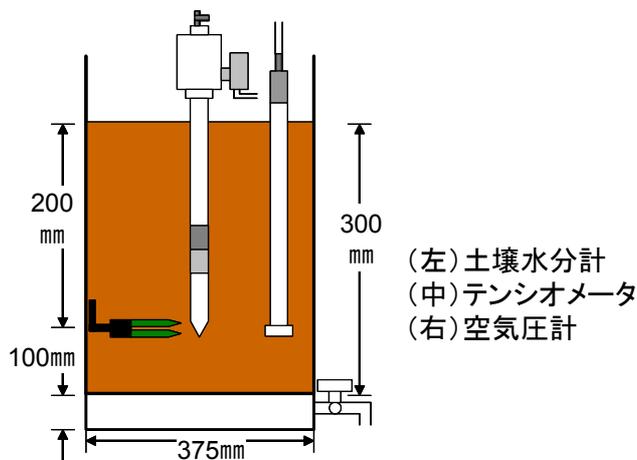


図-1 一次元浸透カラム試験のモデル図

2. テンシオメータの概要

一般的な土の構成において、間隙とは水と空気の和で表すことができる。それぞれの圧力でも同じことが言えるから、以下の式が成り立つ。

$$u'_w = u_w + u_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 u'_w : 間隙圧 (テンシオメータの値)、 u_w : 間隙水圧、 u_a : 間隙空気圧を示し、 u'_w と u_a は計測機器によって測定可能なため、式(1)より次式が得られる。

$$u_w = u'_w - u_a \quad \dots\dots\dots (2)$$

従来は u_a (間隙空気圧) を 0kPa と仮定していたので、次式のようになる。

$$u_w = u'_w \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)より、テンシオメータから得られる計測値は、間隙圧を間隙水圧とみなしている。本研究では式(2)による u_w の評価を試みる。

3. 一次元浸透カラム試験の概要

図-1 に一次元浸透カラム試験のモデル図、表-1 に土の初期設定、表-2 に試験条件を示す。試験は降雨条件を 200mm/h とし、排気条件と地下水条件を変えて、3Case 行った。土の初期条件は全て同じものとした。排気条件

表-1 土の初期設定

試料	滋賀県信楽産まさ土 (9.5mmふるい通過試料)
設定含水比	5(%)
設定乾燥密度	1.52(g/cm ³)
設定間隙比	0.72
土粒子密度	2.615(g/cm ³)
透水係数	9.15×10 ⁻⁴ (cm/s)

表-2 試験条件

Case	降雨条件	排気条件	地下水条件
Case1	200mm/h	非排気	地下水あり
Case2			地下水なし
Case3		排気	

4. 試験結果

以下に試験結果を示す。図-2、図-3、図-4 にそれぞれ Case1、Case2、Case3 の試験結果を示し、図-5 には学内で行った、100mm/h・非排気・地下水なしの試験結果を示す。図-2、図-3、図-5 の試験においては、地表水がテンシオメータ上部のセンサー部分にまで到達したため、センサーの水没を防ぐために降雨を強制終了した。

キーワード：間隙空気圧、間隙水圧、降雨

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路 1-1-1 立命館大学 TEL：077-566-1111

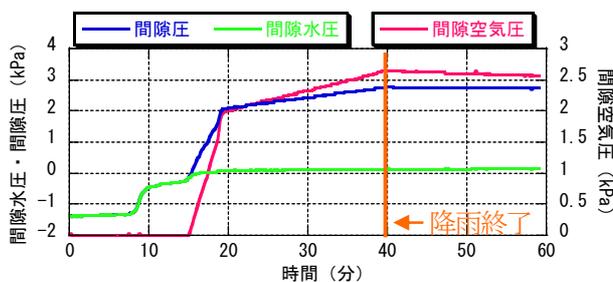


図-2 Case1 (非排気・地下水あり)

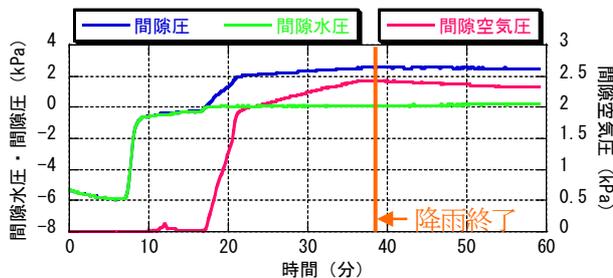


図-3 Case2 (非排気・地下水なし)

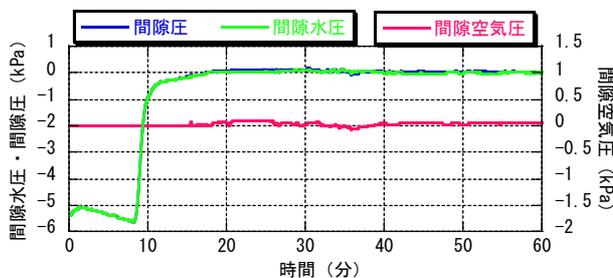


図-4 Case3 (排気・地下水なし)

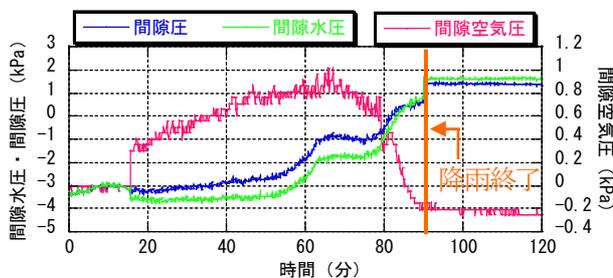


図-5 (100mm/h・非排気・地下水なし)

表-3 各条件における間隙空気圧(kPa)の増分の最大値

降雨量	非排気 地下水あり	非排気 地下水なし	排気 地下水なし
10mm/h	1.21	1.01	0.4
50mm/h	0.6	0.76	0.35
100mm/h	1.31	1.16	0.46
200mm/h	2.62	2.44	0.18

5. 考察

Case3 (図-4) の排気条件の場合、学内でのカラム試験²⁾同様、間隙空気圧は発生しなかった。排気条件となっているため、地盤内の空気が流出したと考えられる。地表面に水溜りが Case1 (図-2) と Case2 (図-3) それぞれ、試験開始 20 分と 23 分に発生した際に、間隙空気

圧の急激な上昇が確認できた。今回の雨量装置の雨滴の粒径は学内での実験 (図-5) の大きさと比べて非常に小さかったため、その結果、浸透過程に大きな違いが見られたと考えられる。

Case1 (図-2) の試験開始 15~20 分と、Case2 (図-3) の試験開始 16~22 分の際に、間隙圧が上昇しているが、間隙空気圧の測定を行わない場合、間隙圧の上昇が何の上昇かが判断できない。

Case2 (図-3) の試験終了後にバルブを開け排気状態にしたところ、大きな音とともに地表面の水溜りが一気に浸透し流出した。このことから、地盤内に存在する間隙空気が降雨の浸透を妨げていることが確認できた。

表-3 より、これまでのカラム試験をまとめると、降雨量が増大すると、間隙空気圧の増分が大きくなる傾向があり、非排気条件、地下水ありでの条件においても増分が多く見られる。その理由としては、空気に比べて水は圧縮性が低いので、地下水なしの条件においては、地盤内の空気はカラム底に圧縮される。地下水ありでは地下水に妨げられ、地盤内にパッキングされるため、地下水なしに比べて間隙空気圧の増分に繋がると考えられる。

6. おわりに

本研究では、降雨 200mm/h での排気条件・地下水条件の変化における地盤内の間隙空気圧の測定と、雨量に対する間隙空気圧の挙動について、一次元浸透カラム試験を行った。結果として、降雨強度が増すにつれて、地盤内の間隙空気圧の上昇が大きく見られた。また、間隙空気圧の測定により、間隙圧 (テンシオメータの値) と間隙水圧の値が違うため、テンシオメータを用いてリアルタイムに斜面の安定性を議論する際には、間隙空気圧を考慮した間隙水圧を用いることが望ましいと考えられる。今後、現地への導入を行い、実斜面での長期計測を行ってきたい。

謝辞：間隙空気圧測定に関して、岡山大学西垣誠教授、小松満准教授に貴重なアドバイスを頂いた。また、防災科学技術研究所の酒井直樹研究員には、降雨実験において多大なご協力を頂いた。ここに謝意を示す。

参考文献

1)西垣誠, 小松満, 白石剛史: 豪雨時における間隙空気の影響を考慮した降雨浸透挙動の計測法に関する研究, 土木学会中国支部第 59 回研究発表会, pp.207-208, 2007.
 2)檀上徹, 里見知昭, 酒匂一成, 深川良一: 雨水浸透時の地盤内における間隙水圧および間隙空気圧の計測に関する一考察, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.961-962, 2009.