第Ⅲ部門

斜面への雨水浸透と安定性に及ぼす降雨形態の影響

大阪大学大学院工学研究科学生員 〇藤本 彩乃 伊藤 真一 臼木 陽平 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小田 和広 小泉 圭吾

1. はじめに

近年、日本では集中的な豪雨による土砂災害が多発してい る。筆者らの研究グループでは、ある自然斜面を対象に斜面 災害の発生機構に関する研究を行っている^{1),2)}。当該斜面で は、過去に降雨形態の異なる2種類の豪雨を経験している。 そこで本研究では、対象斜面に対し、雨水浸透解析と斜面安 定解析を実施し、斜面への雨水浸透と斜面の安定性の関係に 対する降雨形態の影響について考察を行う。

2. 降雨条件

解析には、過去に対象地で観測された2種類の豪雨(集中 豪雨型と長雨型)を適用した。図-1は2009年台風9号による 豪雨(以下、降雨①(集中)と呼ぶ)時の時間雨量と累積雨量を 示している。最大時間雨量47(mm/h)、累積雨量234(mm)を 記録している。図-2は2013年台風18号による豪雨(以下、 降雨②(長雨)と呼ぶ)時の時間雨量と累積雨量を示している。 最大時間雨量は19(mm/h)であるが、断続的な雨が1日以上 降り続け、累積雨量は221(mm)に達している。この2種類の 豪雨はその降雨形態は大きく異なるものの、累積雨量は同 程度である。

3. 雨水浸透解析

降雨期間中の斜面内の水分状況を把握するために、飽和不 飽和浸透流解析コード HYDRUS³⁾を用いて雨水浸透解析を実 施した。水分特性曲線モデルとして以下に示す van Genuchten モデルを用いた。モデル式は以下に示す通りである。

 $S_{e} = (\theta - \theta_{r} / \theta_{s} - \theta_{r}) = \{1 + (-\alpha \psi_{m})^{n}\}^{-m}$ 、m = 1 - 1/n $k = k_{s} \times S_{e}^{-l} \{1 - (1 - S_{e}^{-1/m})^{m}\}^{2}$ ここで、 S_{e} :有効飽和度、 θ :体積含水率、 θ_{s} :飽和体積含水率、 θ_{r} :残留体積含水率、 α :空気侵入値関わるパラメータ、 ψ_{m} :土壌水分吸引水頭、 n: 形状パラメータ、l:無次元パラメータ **表**-1 は雨水浸透解析に用いたパラメータを示している。これ らのパラメータは室内試験ならびに事前解析によって決定さ れた。図-3 は累積雨量と斜面底部の間隙水圧の経時変化を





図-2 時間雨量と累積雨量(降雨②(長雨))



Ayano FUJIMOTO, Shinichi ITO, Yohei USUKI, Kazuhiro ODA and Keigo KOIZUMI afujimoto@civil.eng.osaka-u.ac.jp

示している。同図より、降雨①(集中)と降雨②(長雨)では、 降雨形態が異なるのに対し、間隙水圧が発生し、ピーク値 に至るまで、また、その後の経時変化は類似している。そ して、間隙水圧のピーク値もほぼ等しい。このことから、 間隙水圧の経時変化は降雨形態に依存しないことがわかる。 図-4 は斜面内のある断面における有効飽和度の深度分布 を示している。降雨期間中である累積雨量が 200mm に到 達した時点では、降雨①(集中)における有効飽和度は、約 0.6mの深度では約88%であるのに対し、約1.1m以深では 約27%であり、深度における差が大きい。これは、集中豪 雨によって表面部分の飽和度が一気に高まり、その後、雨 水が鉛直下方に浸透しているためである。一方、降雨②(長 雨)では、深度約 0.8m までは約 72%であり、降雨①(集中) に比して有効飽和度は低い。しかし、それ以深では逆に高 くなっている。これは降雨②(長雨)では雨水がゆっくりと 時間をかけて浸透しているためである。但し、斜面底面が飽 和し、間隙水圧が発生した時点から間隙水圧がピーク値に達 するまでの有効飽和度の深度分布はほぼ同様であることがわ かる。つまり、雨水が斜面内を浸透していく過程では降雨形 態の影響は顕著であるが、間隙水圧発生後の土中水の挙動に はほとんど影響がない。また、今回2つのケースにおいて、 ピーク時の間隙水圧の値には差がほとんど認められなかった のは、累積雨量がほぼ等しかったためと考えられる。すなわ ち、間隙水圧の値は累積雨量に依存するものと考えられる。

4. 斜面安定解析

雨水浸透解析の結果に基づき、斜面安定解析ソフト HYDRUS Slope Stability Module⁴⁾を用いて、フェレニウス法に よる斜面安定解析を実施した。表-2 は斜面安定解析に用いた パラメータを示している。また、図-5 は間隙水圧と安全率の 経時変化を示している。間隙水圧が発生すると安全率が低下



図-4 有効飽和度と深度の関係



表-2 斜面安定解析に用いたパラメータ

図-5 間隙水圧と安全率の経時変化

しはじめ、間隙水圧がピーク値に達した時点で安全率が最小になった。今回、2 つのケースにおいてピーク 時の間隙水圧に差がなかったため、両ケースにおける安全率の最小値もほぼ等しい。

5. まとめ

本研究において得られた知見は以下の通りである。①斜面内への雨水浸透過程における降雨形態の影響は 大きい。②斜面底部が飽和後の間隙水圧の挙動に及ぼす降雨形態の影響はほとんど無い。③間隙水圧のピー ク値は、降雨形態によらず、累積雨量が支配的である。④安全率の最小値は間隙水圧のピーク値に依存する。 参考文献

- 1) 新都市社会技術融合創造研究会:ゲリラ豪雨時に対応した道路のり面監視方法に関する研究 報告書,
- 国立大学法人大阪大学大学院工学研究科:ゲリラ豪雨時に対応した道路のり面監視方法に関する研究 報告書
- 3) D. Rassam · J. Simunek · M. Th. van Genuchten: HYDRUS-2D による土中の不飽和流れの計算, 2004.
- 4) PC-PROGRESS : HYDRUS Slope Stability Module User Manual, 2014