

平成30年7月豪雨時における道路のり面の変状事例に対する土壌雨量指数による解釈

大阪産業大学 正会員 小田和広
 大阪大学 正会員 小泉圭吾
 鹿児島大学 正会員 伊藤真一
 西日本高速道路株式会社 正会員 藤原優
 大阪産業大学 学生会員 ○深田詳

1. はじめに

土壌雨量指数とは、降雨による土砂災害の危険度の高まりを把握するための指標であり、気象警報の発令の根拠の一つとなっている。道路のり面の危険度評価においても従来の連続雨量に代わり、土壌雨量指数を用いることの検討が進んでいる。ところで、土質力学的には、斜面の安定は地下水位に依存している。つまり、土が飽和することによる単位体積重量の増加は滑動力を増加させる。また、地下水の浮力による有効応力の減少はせん断抵抗を減少させる。ここで、土壌雨量指数は、土中に含まれる水分量の指標ではあるが、地下水位と直接的に対応するものではない。したがって、土壌雨量指数が斜面のすべりメカニズムを十分にフォローできるかという点には議論がある。本研究では、土壌雨量指数をのり面の危険度評価に用いることの議論の一助とすべく、平成30年7月豪雨において変状が生じたのり面について、その変状メカニズムをデータ同化解析によって明らかにするとともに、土壌雨量指数と変状の関係について考察する。

2. 解析手法

筆者らが用いた雨水浸透解析¹⁾には、赤井らの方法に基づく飽和不飽和浸透流解析手法を適用した。解析には、水分特性曲線モデルとして、van Genuchten モデル、また、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデルを用いた。それぞれを式(1)および(2)に示す。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = \left\{ 1 + (-\alpha \psi)^n \right\}^{1-1/n} \quad (1)$$

$$k = k_s \times S_e^{0.5} \left\{ 1 - (1 - S_e^{n/n-1})^{1-1/n} \right\}^2 \quad (2)$$

ここに、 S_e ：有効飽和度、 θ_s ：飽和体積含水率、 θ_r ：残留体積含水率、 k_s ：飽和透水係数、 α 、 n ：パラメータ、 k ：透水係数、 ψ ：土壌水分吸引水頭である。

データ同化手法として、融合粒子フィルタ (MPF)¹⁾を用いた。

3. 解析対象と解析モデル

本研究では、近畿地方に位置する道路沿いの盛土のり面を研究の対象とした²⁾。研究対象の盛土は主にま

土で構成されている。盛土には、雨水浸透によるのり面の健全性を把握するために、土壌水分計、傾斜計、雨量計、RTK-GNSS、また、地下水位の影響を把握するために水位計を設置した。このうち、土壌水分計は地表面から深度40cm、80cmおよび100cmにそれぞれ設置した。また、雨量計も計測地点近傍に設置した。いずれも計測間隔は10分である。

図-1は解析モデルを示している。雨水の浸透挙動は重力による影響が支配的であることから、鉛直方向の浸透のみを考慮する次元問題としてモデル化を行った。地層区分は土壌水分計の設置位置を勘案して行った。また、地下水位の発生と消失を再現するため、浸透係数を用いた排水境界条件によって解析モデル底面の境界をモデル化した。

4. データ同化結果の妥当性

図-2は計測深度がそれぞれ40cm、80cmおよび100cmの体積含水率の経時変化における計測値とデータ同化結果の比較を示している。図中、実線が現地計測値を、破線がデータ同化解析の結果である。いずれの深度においても体積含水率が一旦上昇し、その後、一時的に増加が止まる。その後、体積含水率はピークに達した後、ほぼ平衡状態になった後、時間の経過とともに徐々に減少する。そのような現場計測の挙動をデータ同化結果は適切に再現できている。

5. 土壌雨量指数と地下水位の挙動

図-3は土壌雨量指数と地下水位の経時変化を示して

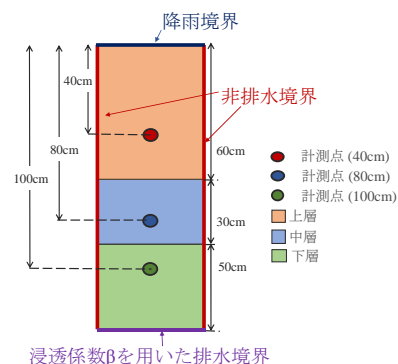


図-1 解析モデル

キーワード データ同化, 斜面, 体積含水率, 数値解析, 現場計測, 変状

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内3丁目1-1 大阪産業大学工学部都市創造工学科 TEL 072-875-3001

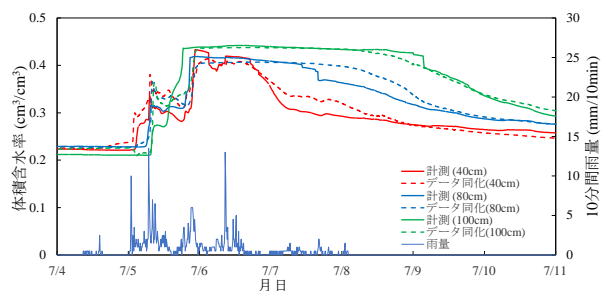


図-2 体積含水率の経時変化に計測値とデータ同化結果の比較

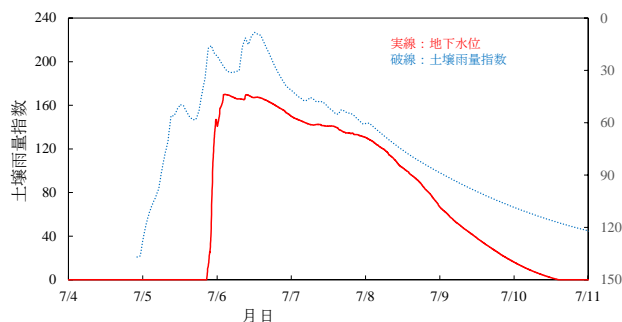


図-3 地下水位と土壌雨量指数の経時変化

いる。なお、設置した水位計によって得られた地下水位は約 18m の深度にあり、降雨期間中ほとんど変動が無かった。したがって、既に指摘されているように、今回発生が推定された地下水は一時的なものである²⁾。

地下水位は 7/5 の深夜に発生し、その後、急激に上昇する。7/6 の早朝にピーク値の約 40cm の深度に達する。その後、7/6 の夕刻までその水位を保った後、時間の経過とともに単調に地下水位は低下している。

土壌雨量指数は 7/5 に顕著に増加している。これは、この時点から激しい降雨があったためである (図-2 参照)。降雨が一旦下火になった 7/5 の昼頃に土壌雨量指数は一旦減少するものの、その後の降雨によって 7/5 の深夜まで増加し、最初のピークを迎える。日付が変わって 7/6 の朝方までに雨が小康状態になると土壌雨量指数は減少するが 7/6 の昼頃の降雨によって再度増加し、第 2 のピークを迎える。降雨が小康状態になると土壌雨量指数は単調に減少する。

6. 変状メカニズム

図-4 は地下水位と変状の経時変化を併せて示している。変状は体積含水率の現場計測地点からやや離れた地点に設置された RTK-GNSS によって得られた。地下水位が地表面から約 60cm に達すると変状が生じている (●)。つまり、地下水位の上昇による有効応力の減少がのり面の不安定化をもたらし、その結果変状が生じたものと考えられる。なお、変状は 24 時間連続して生じているように見えるが、これは、RTK の誤差を 24 時間分のデータを移動平均によって処理したためであ

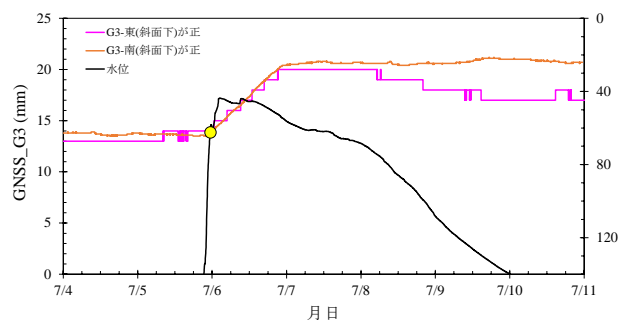


図-4 地下水位と変状の経時変化

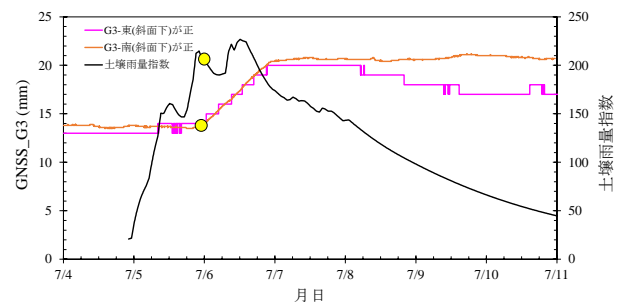


図-5 土壌雨量指数と変状の経時変化

る。本来、変状は瞬間的に生じ、その後、変状は生じなかったと考えられる。

7. 土壌雨量指数と変状の関係

図-5 は土壌雨量指数と変状の経時変化を併せて示している。変状は土壌雨量指数の最初のピークの直後に生じる。この時の土壌雨量指数の値は約 200 である。なお、地下水位が 60cm より上昇したとき、斜面が不安定状態にあると考えると、地下水位が下降して 60cm に達するのは土壌雨量指数が約 160 であるので、この値が危険度評価の一つの基準となる。

8. まとめ

本研究を通じて得られた主な知見は以下の通りである。

- ① 土壌雨量指数の増加過程では、その挙動から地下水位の形成やピークに達することなどを推定することは困難である。一方、減少過程では土壌雨量指数と地下水位ともに単調に減少する。
- ② この事例では、地下水位が地表面から 60cm 程度に達すると変状が生じる。
- ③ 変状が生じ始めるときの土壌雨量指数は約 200 であった。

参考文献

- 1) 伊藤真一ほか：融合粒子フィルタを用いた境界条件を含む浸透解析モデルの推定手法の提案，土木学会論文集 C, Vol.76, No.1, pp.52-66, 2020.
- 2) 堤浩志ほか：高速道路沿いのり面における平成 30 年 7 月豪雨時の土中水分計測結果の考察，第 54 回地盤工学研究発表会, pp.1769-1770, 2019.