

(独)土木研究所 ○酒井直樹, 山越隆雄, 栗原淳一  
 高知大学農学部 笹原克夫  
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 森田耕司

1. はじめに

風化花崗岩が多く分布する地域において、降雨による斜面崩壊や土石流などの土砂災害が頻発し、その被害が後を絶たない。このような災害は極めて突発的であるため、発生が予測が難しい。土砂災害対策のうち、ソフト対策の基本となる崩壊予測の手法の一つに斜面変位による崩壊予測<sup>1)</sup>がある。斜面崩壊の場合、前兆現象としての変位が生じてから崩壊までの変位が微小であり短時間で崩壊に至るため、実用化が難しいと言われてきた。それは、降雨時の不飽和砂質土斜面における崩壊機構<sup>2)</sup>が明らかではなかったことも一因である。しかしながら、その崩壊機構の解明が進んだ近年では、崩壊メカニズムに基づいた浸透流解析と FEM を組み合わせた土質力学的手法などが多く報告<sup>3)4)</sup>されている。地表面変位と崩壊との関係では、鈴木ら<sup>4)</sup>が室内実験レベルで、FEM を用いて崩壊時間を予測できることを報告している。また、実斜面において行った斜面崩壊実験<sup>5)</sup>でも数十分前から変位が観測されたことが報告されている。

以上のことより、降雨時の斜面崩壊メカニズムを適切にモデル化することができれば、の斜面崩壊を予測することができ、より精度の高い崩壊予測ができるようになる。そこで本研究の目的は、不飽和斜面が降雨浸透により飽和化することにより生じる斜面表層の変位に着目し、風化花崗岩地域において変位計測を中心に各種観測を行い降雨に対する斜面変位の応答特性を調べ、その斜面変位の挙動をモデル化することである。

2. 観測地概要

観測地は、広島市街地から西方約 11km に位置する太田川水系八幡川流域に属する荒谷地区である。調査地周辺には、基盤岩として広島花崗岩類が広範囲に分布し、場所により風化が進んでおり、斜面崩壊や土石流などが発生する素因を形成している。平成 11 年には、荒谷川で土石流が発生し、莫大な被害が発生している。観測斜面は、それらの崩壊跡地や緩急斜面などの微地形を考慮し決

定した。測線では、簡易貫入試験や断面調査、各種物理試験を行い、対象とする風化層の特性を検討し、簡易貫入試験と断面観察により実際に風化層と基盤層の確認を行った。その結果を図-3 に示す。貫入試験の結果から、表層風化部は、Nd が 50 以上の層を基盤とし、平均すると 2m 弱程度である。

3. 観測地概要

モニタリングは 2004 年 4 月から、2005 年 11 月まで行った。観測項目は、降雨、テンシオメータ、伸縮計、傾斜計である。期間中で最大の降雨に対する計測結果例 (2005 年 9/4~9/7) を示す。総雨量は 236mm、最大時間雨量は 52mm であった。ここでは便宜上本格的な降雨の始まる 9/6 10:00 (図中の破

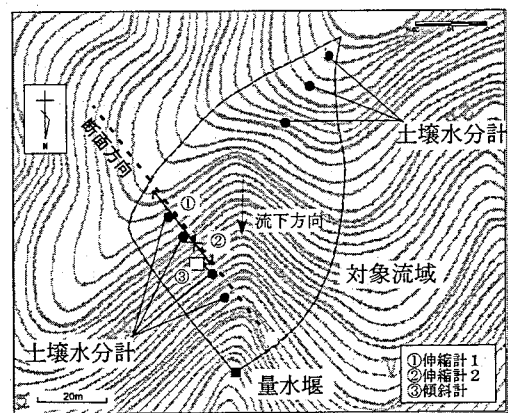


図-2 観測位置平面図

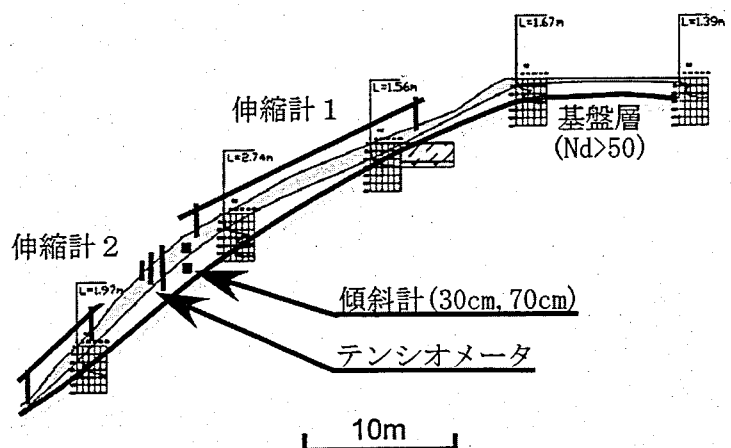


図-3 測線断面方向機器設置位置図

線の時点)を境にそれ以前の降雨を「初期降雨」、その後の本格的な降雨を「本降雨」とする。

サクシジョンの計測による降雨の浸透状況を図4(a)に示す。深さ方向に15, 50, 100cmの3点で測定している。初期降雨では、表層(15cm)のみが降雨に反応し、挙動に問題があるもののサクシジョンが低下している。本降雨では表層(15cm)が完全に飽和し、深度100cmの地点でも飽和しているが50cmの地点ではピークから遅れて飽和が進んでいる。

図4(b)に伸縮計の結果を示す。上部1では、初期降雨発生と同時にわずかな伸張が発生し、初期降雨中も、漸増しながら伸張が進み、本降雨に入って伸張の変位速度が増加し、降雨のピーク後は変位の増加は見られなくなった。累積で1.0mmの伸張変位が生じており、杭間が伸張するつまり斜面下方へ動いていることを示す。一方下部2では、初期降雨の段階では、ほとんど変化せず、本降雨に対応して、伸張が観測されている。傾斜計(図4(c))は、両深度とも初期降雨中はほとんど変化がないが、本降雨中は、斜面方向へ傾きが増加し、降雨終了とともに変位が見られなくなり、累積変位は0.005°の増加を示した。

#### 4. 変位のモデル化

<解析モデル<sup>3)</sup>> ここでは、降雨による影響として、降雨浸透により、飽和度の増加による粘着力の減少と自重の増加を考慮する解析モデルを提案し、飽和不飽和浸透流解析と弾塑性有限要素解析を連立させた解析手法を用いて計算を行った。地盤モデル(図5)は図3の調査結果よりモデル化し、図4で観測された降雨を用いて計算を行った。表層風化部を計算領域とし、基盤における変位境界と水理境界は、それぞれXY固定、非排水としている。解析に用いたパラメータを表1に示す<sup>3)</sup>。サクシジョン(飽和度)と粘着力の関係から飽和度の増加による粘着力の低下を計算している。図5の計測点は、実際の伸縮計1の移動杭の位置(図3)と一致する。

<解析結果> 計測点での計算結果を図6に示す。モデル計算結果の挙動を追うと、初期降雨では、小さな降雨ピークに応じて変位が累積しており、本降雨には、降雨量の増加に伴い変位も増加し、降雨ピークを過ぎると増加も止まるといふ、降雨の影響が計算結果に反映されている。計算結果を図4(b)での伸縮計の挙動(1上部設置)と比較すると、初期降雨には変位は漸増し、本降雨に急増部分が見られ、概ね挙動を表現しているといえる。一方、累積変位量については、オーダが合うことが確認できた。

#### 5. まとめ

提案した解析手法を用いて、降雨による斜面変位のモデル計算を行い、変位挙動の定性的な検討を行った。今後は斜面変位観測データの集積、その特徴の把握を行う。また解析計算を行い、その検証を行っていく予定である。

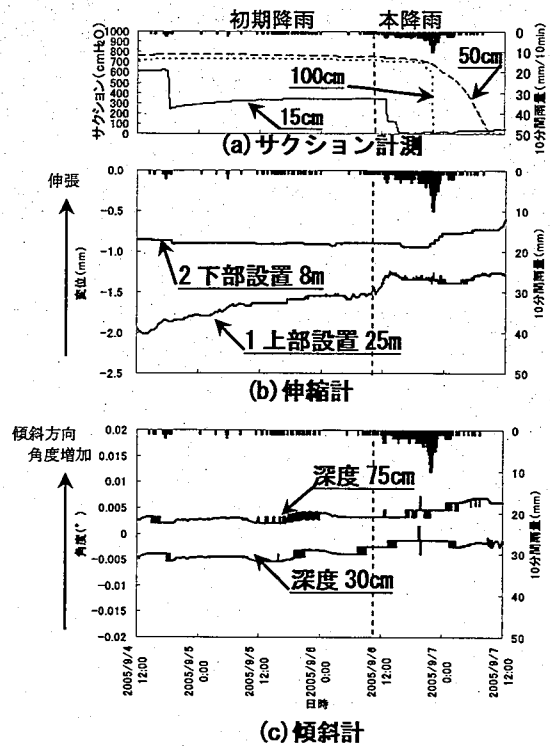


図-4 観測された降雨による応答特性

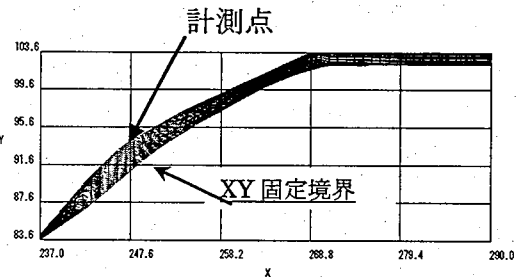


図-5 地盤モデル

表1 解析モデルパラメータ<sup>3)</sup>

|                     |                        |                       |                                   |
|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 土粒子密度               | 26.5 kN/m <sup>3</sup> | $\lambda$             | 0.6                               |
| (1/G <sub>0</sub> ) | 0.035                  | $\mu$                 | 0.48                              |
| C <sub>d</sub>      | 0.017                  | サクシジョンと粘着力            | C(S)=2.063*S <sup>0.596</sup> kPa |
| $\sigma_{min}$      | 98kPa                  | 飽和透水係数 K <sub>s</sub> | 0.02084 (cm/sec)                  |
| C <sub>c</sub>      | 0.073                  | 水分特性モデル(バングヌヒテン)      | $\alpha=0.0522, n=5.6784$         |
| C <sub>s</sub>      | 0.011                  | 飽和体積含水率 $\theta_s$    | 0.4                               |

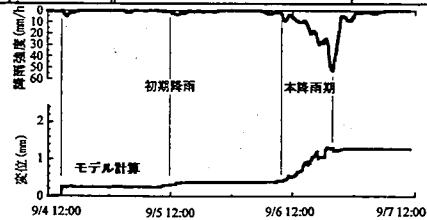


図-6 モデル計算による応答変位

#### 参考文献

- 1) 林拙郎、移動計測による崩壊発生時期の予測、地すべり・斜面崩壊の予知予測シンポジウム論文集、地すべり学会関西支部、pp1-30、1991
- 2) 笹原克夫、海老原和重、綱木亮介、急勾配斜面の崩壊発生機構に関する実験的研究、地すべり、32, No.4, pp.1-8, 1996
- 3) 笹原克夫、酒井直樹、孫躍、阪上最一、降雨に伴う斜面崩壊の2次元FEM解析手法の提案、第42回地盤工学研究発表会概要集、2006(投稿中)
- 4) 鈴木隆、大塚悟、梅田美彦、浸透特性を考慮した降雨時斜面崩壊の予測に関する数値解析、第40回地盤工学研究発表会、2005
- 5) 落合ら、人工降雨による実斜面崩壊実験と斜面変動、砂防学会研究発表概要集、2003