

### 3次元有効応力解析による平成26年広島豪雨災害を対象としたすべり安定性評価

(株) 構造計画研究所 正会員 ○渡辺 高志 正会員 三橋 祐太  
正会員 岡村 航 正会員 島袋 ホルヘ

#### 1. はじめに

斜面の安定性が消失して発生する災害は、地震時や人為的な構造物の施工過程などの様々な要因によって生じるが、その多くは降雨時に見られる。降雨時には、土中の水分量の増加による粘着力の低下や、間隙水圧の発生による有効応力の低下が生じ、斜面の安定性が失われる。平成26年8月豪雨においては広島市安佐北区・安佐南区で地山の表層崩壊により多くの土石流が発生し、死者75名に及ぶ大きな災害がもたらされた。

本研究では、このような災害の予測手法として、有限要素法による3次元有効応力解析と斜面のすべり安全率計算手法を適用し、平成26年広島豪雨災害を対象とした降雨時の地山の安定性評価を行った。

#### 2. 安定性評価手法

降雨時の地山を対象とした有限要素解析は2段階に分けて行う。地形を考慮した地圧の評価には十分に広域な領域を考慮する必要があり、一方で降雨による表層崩壊の検討には地表付近の詳細なモデル化が必要である。本研究では、背後の山頂を含む地山全体の全応力解析を実施し、その後に表層付近に着目した有効応力解析を行った。表層地盤の初期応力は全応力解析結果から補間して設定した。

最後に有効応力解析結果より、地表付近の地盤の有効応力と飽和度を参照し、表層土の局所的な安全率を計算した。

#### 3. 広域を対象とした全応力解析

前述のとおり、地山の表層崩壊を検討する上で初期地圧の設定は重要であり、本研究では阿武山の山頂を含む広域のモデル化を行った。国土地理院の基盤地図情報より、5mメッシュを平面直角座標系に変

換し、標高値を補間計算することにより、地形を詳細にモデル化したFEMメッシュを作成した。モデル化領域は平成26年8月20日早朝に県営緑丘住宅背後で発生した土石流の流下地点を原点とし、東西にそれぞれ0.6km、南に0.5km、北に1.5km、標高-100m以上を対象とした。

各境界面はローラー支持とし、モデル全体を表1に示す物性値で地山の全応力解析を行った。図1に解析結果より主応力の分布図を示す。

表1 全応力解析における地盤物性値

単位重量	弾性係数	ポアソン比
20.0 kN/m <sup>3</sup>	60.0 GPa	0.30

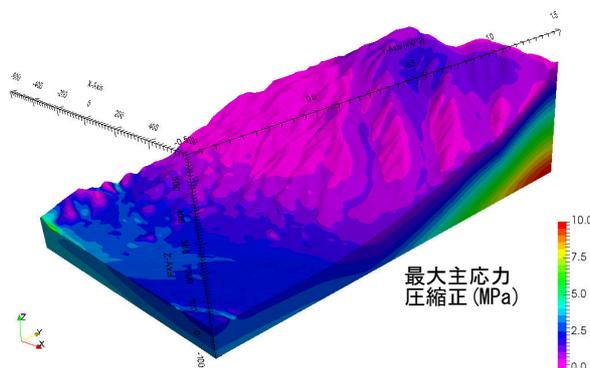


図1 広域を対象とした全応力解析結果

#### 4. 表層を対象とした有効応力解析

降雨を考慮した有効応力解析では、緑丘住宅の背後斜面の表層地盤を対象に、東西640m、南北1280mに領域を狭め、地表からG.L.-10mまでのFEMメッシュを作成し、全応力解析結果から初期応力の補間を行った。文献より、地盤をG.L.-2mを境に岩盤部と表土に分け、表2に示す地盤物性を設定した。不飽和特性はVGモデルによって設定した。特に重要となる表土(まさ土)の水分特性曲線を図2に示す。

キーワード 斜面安定性, 有効応力解析, 3次元有限要素法

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3 (株) 構造計画研究所 防災・環境部 TEL 03-5342-1137

表 2 有効応力解析における地盤物性値

単位重量	岩盤	表土
弾性係数	60.0 GPa	60.0 MPa
ポアソン比	0.30	0.30
初期間隙率	0.0082	0.5300
飽和透水係数	$1.25 \times 10^{-8}$ m/s	$2.70 \times 10^{-6}$ m/s
VG モデル $\alpha$	0.01 $m^{-1}$	7.00 $m^{-1}$
VG モデル n	2.26	1.82

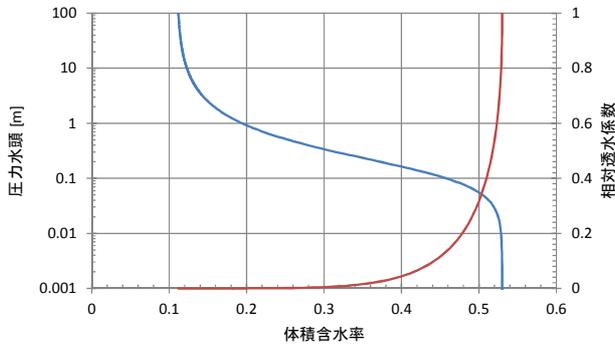


図 2 表土に設定した不飽和特性

境界条件は各境界面の変形を拘束し、水理境界としては不透水条件とし、地表面は滲出面境界を設定してこれらの節点に降雨強度に基づく流量を与えた。降雨強度は気象庁のアメダスより三入の気象データを使用し、8月19日の17時から24時間の1時間値から設定した。初期条件は、表土の自然含水比から初期サクションを設定し、降雨の設定前にモデル化領域内で十分に拡散させてから決定した。図3に解析結果より、雨量が最大となる時刻断面の解析結果を示す。なお、全応力と非定常有効応力の解析はNASKA3D（構造計画研究所）を用いて行った。

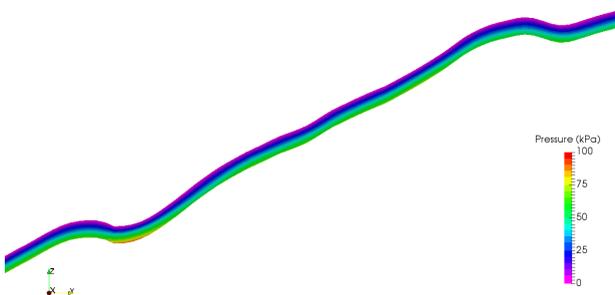


図 3 中央断面における間隙水圧分布図（一部拡大）

5. 地山表層の3次元すべり安全率評価

有効応力解析結果より、有効応力と飽和度を参照して3次元斜面のすべり安全率評価をPOST-S/3D（構造計画研究所）により行った。地盤強度は平成26年

広島豪雨災害合同緊急調査団による調査報告書より、飽和度82.0%の粘着力を22.0kPaとし、飽和時に0kPaとなるように線形で設定し、内部摩擦角は40.8度とした。図4に雨量が最大となる時刻における、地表面から深さ1.5m位置における局所安全率（抵抗力/滑動力）の分布を示す。なお、左図は調査報告書より土石流の流況図である。右に示す有効応力解析結果に基づく局所安全率分布は土石流の発生箇所をよく捉えており、例えば黒丸で示した調査による露岩位置近傍で、局所安全率は特に小さくなっている。

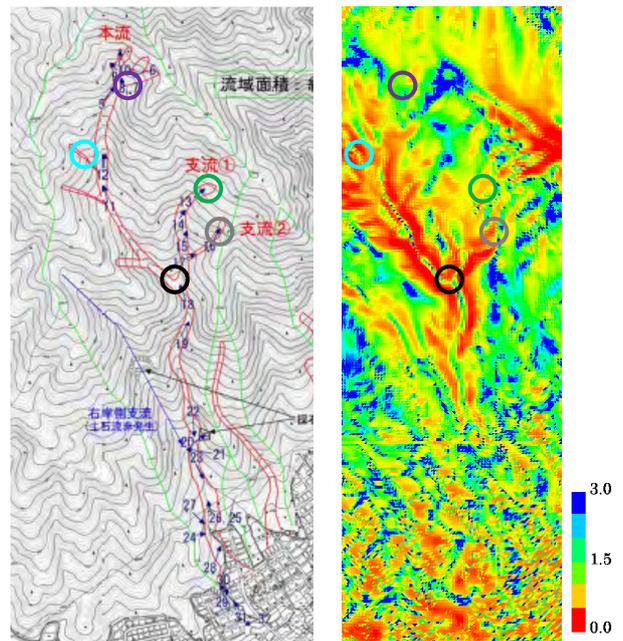


図 4 G.L.-1.5mにおける局所安全率分布

6. まとめ

本研究では、平成26年広島豪雨災害地区の実地形を考慮した広域の全応力解析を行い、得られた応力を表層詳細モデルに引き継ぎ、有効応力解析を行った。得られた応力を用いて、地形の3次元性を考慮したすべり安全率を計算した。

得られた地山表層の局所安全率分布は、調査により得られている流況図と整合的であり、適用した手法の妥当性が示された。

参考文献

平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書, 2014.  
西垣誠, 竹下祐二, 河野伊一郎: 室内試験による不飽和特性の非定常算定方法, 土木学会論文集, No.454/III-20, pp.103-112, 1992.