

RBSMを用いた簡易 3 次元斜面安定解析手法の開発

Development of simplified three-dimensional slope stability analysis by RBSM

濱崎英作¹⁾, 竹内則雄²⁾, 大西有三³⁾

Eisaku Hamasaki, Norio Takeuchi and Yuzo Ohnishi

1) 博(工) (株) アドバンテクノロジー (〒980-0013 仙台市青葉区花京院1-4-8, E-mail: hamasaki@advanttechnology.co.jp)

2) 工博 法政大学 工学部 教授 (〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1, E-mail: takeuchi@k.hosei.ac.jp)

3) 工博 京都大学 理事・副学長 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町, E-mail: ohnishi@geotech.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

We developed a three-dimensional slope stability analysis by RBSM, considering the static force between columns. This method was found to exert almost the same effect as three-dimensional analysis technique of Janbu's method for Lateral restraint effect. In addition, we aimed at improvement of the model for effects of pore pressure in this study. In this report we show the method of this analysis and explain the result of calculating at Vajont in Italy.

Key Words : RBSM, Three-dimensional slope stability analysis, Pore pressure

1. はじめに

RBSMは地盤の破壊現象を解析する有効な手法の一つであるが、筆者らはこれを応用して3次元斜面安定解析手法(ここではRBSM3Dとする)にまで発展させてきた。これまでの研究の結果、当手法は側方拘束効果に関しJanbu3Dとほぼ同じ効果を発揮することわかった。また、本研究ではさらに水没斜面も含めた間隙水圧の作用に関したモデルの改良なども図った。本報告は、これらの計算手法を示すと共に、本解析を用い破壊プロセスが検証できたバイオント地すべり解析を紹介するものである。

2. モデルの概要

(1) 基本的な考え方

本モデルはX方向、Y方向を等間隔にメッシュ化された領域を作った四角柱を基本としたモデルである。ただし移動体縁辺のメッシュでは厳密には必ずしも4角柱とならないため今回3角柱、台形柱、5角柱も考慮し、すべり領域が完全に網羅できるように工夫した(図-1)。

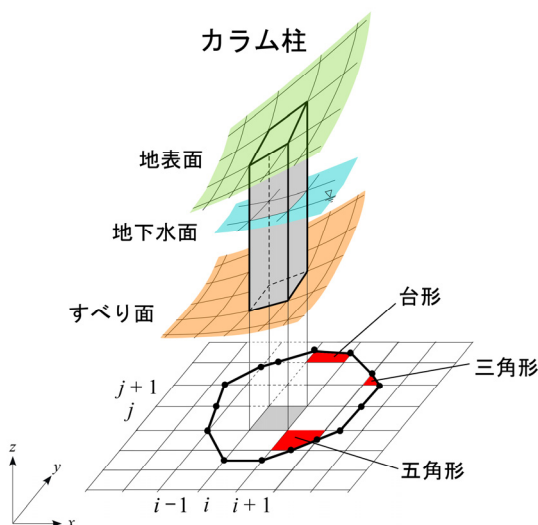


図-1 カラム形状の概念図

まず、これらメッシュ内にある各々のカラム間の接触面面積、カラム底面(すべり面)面積を計算し、それぞれ鉛直方向、せん断方向のペナルティバネ(λ)でつないでモデル化した。カラムは回転を考慮せず並進性のみの扱いとしx, y, z方向の変位を未知数として剛体バネモデルの離散化手法をもとに解くものである。結果として、カラム変位とすべり面のせん断力、垂直力が得られる他、せん断強度を与えることで従来手法と同じような斜面のすべり安全率(F_s 値)が得られる。

λ はあくまで力の伝達が主たる役割であり弾性解として解くため、これまでのHovlandやJanbu3Dと同様、簡便な条件で解析可能である。なお、計算手法、構成式の詳細は文献[1]を参照されたい。

(2) 間隙水圧の設定

カラムに作用する荷重は自重の他、間隙水圧、地震力、アンカー力などがあるが、例えばダム湛水池など一部移動体が水没するような斜面では、水圧の与え方が重要となる。図-2は断面で見た水没部と非水没部での水圧作用の取り扱いを示したものである。すなわち、すべり面ばかりでなくカラム側面と水没部においては地表面に懸かる水圧を考慮して計算するモデルとした。

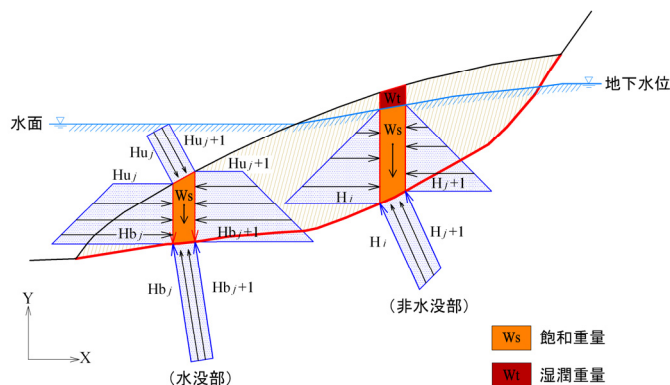


図-2 カラム柱への水圧分布とその作用

3. 側方拘束圧効果の検証

図-3のように四角なすべり面の底形状としてモデルa, bを用意し, 鉛直層厚(d)を一定とし幅(W)を変化させて感度分析を試みた。

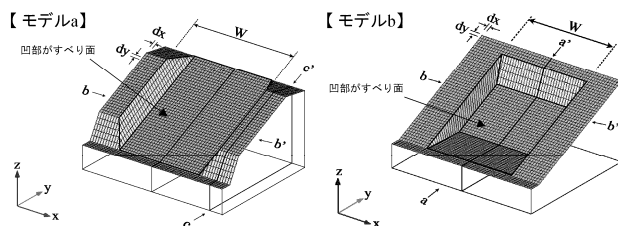


図-3 形状効果判定用モデル図

解析式はRBSM3D, HovlandおよびJanbu3Dで比較した。図-4に結果を示す。Hovlandは形状効果を発揮せず, W/dに関わらず安全率Fsは一定である。しかし, Janbu3DとRBSM3Dは共にW/dが小さい間は側方拘束が大きいいためFs値が大きく, 他方徐々にW/dが大きくなるにつれFs値が次第に収束して一定になっている。側方だけに着目したモデルaの形状では, RBSM3DとJanbu3DはW/d>5でほぼ同じ値になっている。一方, モデルbではRBSM3DとJanbu3DはW/d=8~9のところで一定となる傾向を示すものの, Fs値自体はRBSM3Dの方が大きい値を示している。これはRBSM3Dがy軸方向の拘束効果も示しているためと判断される。

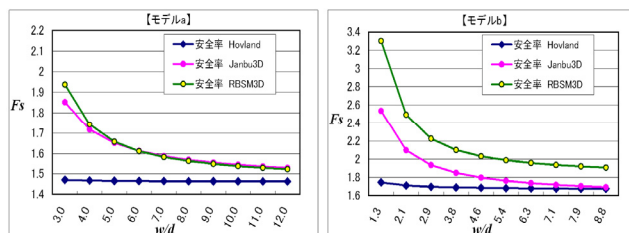


図-4 形状効果判定用モデル図

4. バイオント地すべりのモデル計算

(1) バイオント地すべり概要

1960年9月に完成したイタリアのバイオントダムでは湛水開始後の1963年10月, 湛水池左岸斜面の幅2.0km, 長さ1.6kmで巨大地すべりが発生し貯水池の中に一気に突入した。この段波によって越流した水は下流の村を壊滅させ2000人以上の死者を出した。地質はジュラ紀(Malm統)～後期白亜紀の石灰岩・ドロマイトである。

(2) バイオント地すべりのモデル化

計算に用いた dx , dy は各々50mとした。解析期間は1960年8月から大崩壊に至る1963年10月まで, 月単位でその時々々の湛水位を入力して計算した。岩盤内水位と水位低下時残留は石灰岩地帯であることに鑑み, ここでは無いものと仮定した。単位体積重量を 25kN/m^3 , 粘着力 $C=0\text{kPa}$, 内部摩擦角は $\phi=23.3^\circ$ とした(図-5)。

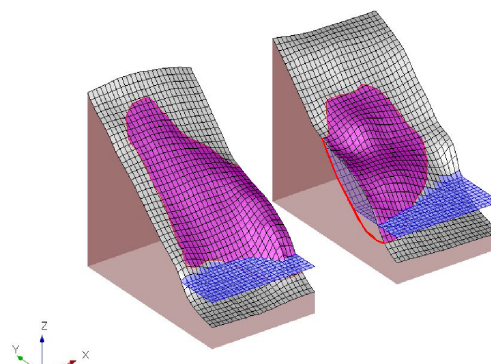


図-5 バイオント地すべりモデル

(3) 解析結果

RBSM3Dの計算の結果, 湛水面の水位上昇に追従しFs値が低下しており, 岩盤変位の増大傾向とよく一致した結果となった。また, 計算では当初1.02ほどであった安全率Fsは大崩壊に至る湛水面710m(1963/10/9)のとき0.98と4ポイントも低下しており, 斜面が大きく不安定化し破壊に至ったことを概ね再現している。

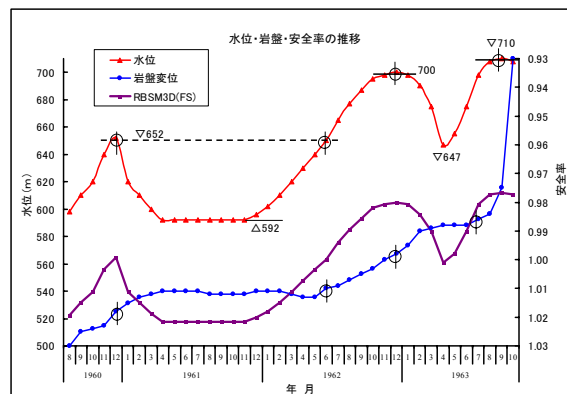


図-6 バイオントにおける湛水位, 岩盤変位, 安全率の推移

5. 結論

開発してきた三次元斜面安定解析モデルはRBSMの解法を簡易化したものである。研究の結果, 通常のHovland法やJanbu3D法と同じくように簡便に解くことが可能であり, かつJanbu3D法のような側方効果も考慮できる手法であることがわかった。一方で計算は弾性問題として解くため非常に安定で解は容易に求められる。今回, ダム湛水の斜面安定を検証するためバイオント地すべりを検討した結果, 破壊現象を再現した。

なお, 竹内則雄先生(共著)にはこれまで多くのご教示をいただきました。ありがとうございました。また今回還暦を迎えられること, 誠にめでたうございます。先生の今後ますますのご発展ご健康を祈念してやみません。

参考文献

- [1] 濱崎英作, 竹内則雄, 大西有三(2006): 三次元斜面安定問題に対する簡易離散化極限解析法の開発, 地すべり, Vol.42, No.5pp.9-17
- [2] 鶴飼恵三(1987): 簡易Janbu法による斜面の3次元安定解析, 地すべり, Vol.24, No.3pp.8-14