

SlopeRBSM3D による地すべり移動特性解析

ークロアチア共和国コスタニェック地すべりの変位解析ー

(株)アドバンテクノロジー 濱崎英作、宮城豊彦
 新潟大学名誉教授 丸井英明
 富山県立大学 古谷元

1. はじめに

RBSM (剛体バネモデル) は、要素表面にバネを設けて極限離散化して解く数値解析法の一つである^[1]。この手法は、人骨の亀裂解析やコンクリートのひび割れ解析など多岐にわたって応用されている^[2]。これを応用し簡便に使える斜面の3次元安定解析用としてSlopeRBSM3Dが開発された^[3]。筆者らは2009年～2014年に実施されたJICA/JSTによるSatreps事業の中でクロアチア共和国の首都ザグレブ市にあるコスタニェック地すべりの調査解析を実施した。この地すべりではRBSM3Dの改良モデルを用いて、当地すべりの変位方向の解析を試みた。この結果、変位方向に概ね一致した解析出力が得られたので、ここに報告するものである。

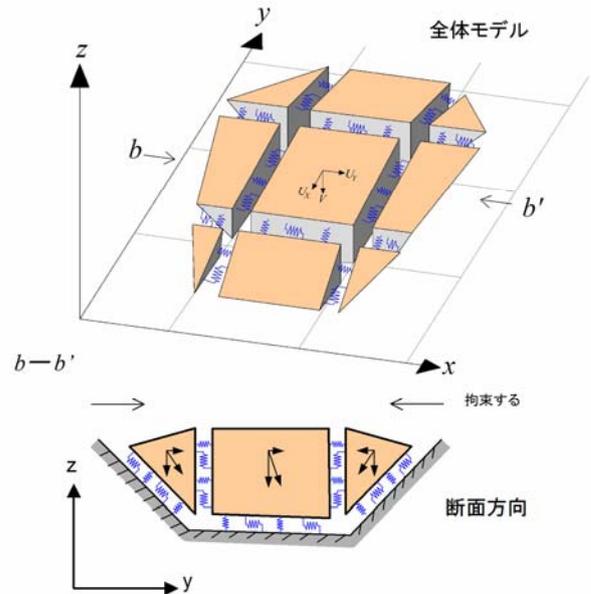


図-2 RBSM3D 模式概念図

2. SlopeRBSM3D のモデル概要

本モデルは、グリッド分割したカラム柱間の接触面面積、カラム底面(すべり面)面積を計算し、それぞれに鉛直方向、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ものである(図-1、図-2)。

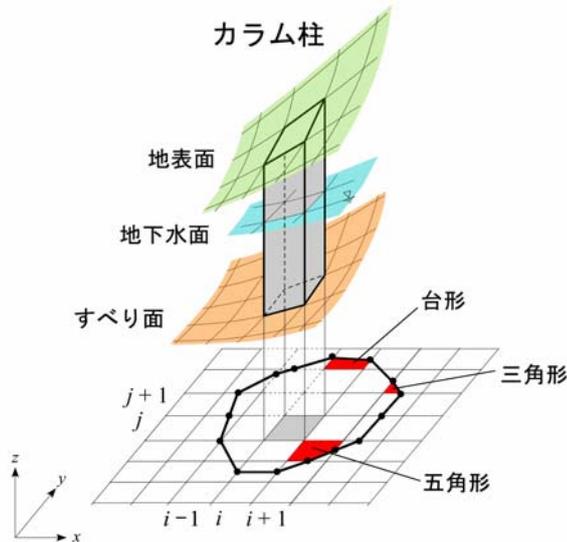


図-1 RBSM カラム形状の概念図

カラムは回転を考慮せず並進性のみを扱うもので、 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、Hovland や Janbu3D と同様、簡便な条件で解析可能となる。なお、初期モデルの λ ではあくまで力の伝達が主たる役割であり、 λ をすべり面全般にわたって同じく一定に配置(垂直 $E_n=1.0$ 、せん断方向、 $E_{sx}, E_{sy}=0.5$)して弾性解として解いたものである。

今回、弾性解として解くことには変わらないものの、領域毎のすべり面のバネ比(E_s -ratio)を変えることが出来るように工夫し、かつ領域毎の x 方向、 y 方向のベクトルを集計して領域の合力方向(=すべり方向)が求まるようにした。今回この最新改良モデルでコスタニェック地すべりの挙動を解析した。

3. 検討地の概要

コスタニェック地すべりは幅約 1,000m, 最大長さ約 1,300m, 平均長さ約 1,100m, 層厚 70m~90m に及ぶ大規模地すべりで、クロアチア共和国の首都ザグレブ市の郊外、西側丘陵地帯の西端部付近に位置する。地質的には層理面の発達したトリポリマール（泥灰岩）が分布するところで、この地層は走行 北北東-南南西で平均 5° 程度の緩い流れ盤構造で東向きに傾斜している。他方東側境界は南北に直線上に伸びる急崖境界面（断層？）に規制され、流れ盤の層理面と東側の急崖面を境とする複雑なすべり面構造を持って変動している。地すべり発生の直接的原因は 1962 年から始まった地すべり末端でのセメント用泥灰岩の掘削だったが、この掘削で末端隆起などの地すべり変状が明らかとなったため 1975 年には掘削終了となっている。しかしながら、地すべり対策工は施工されておらず変動は断続的に変動は継続し、1988-1994 間の移動杭観測で図-3 の様に変位した。

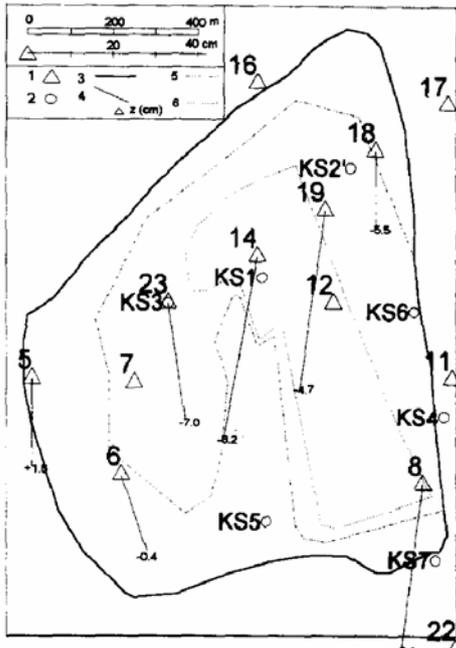


図-3 地すべり変動状況^[4]

この図から、1998 年 9 月から 1994 年 2 月にかけて末端掘削エリアの北側～北東側の大きな範囲で南南西方向（東方向を 0° とし、反時計回りに約 260°）へ、西側エリアが南南東（約 285°～300° 方向）へ変動しているのが分かる。

4. 解析結果

移動方向（最小安全率方向）は当地区を分割前の SlopeRBSM3D で解析した場合 290°、

ホフランド法では 280°、3次元ヤンプー法では 267° となり、実体とはややかけ離れている。そこで改良した領域分割法を用いて、①北側～北東側エリア、②西側エリア、③掘削エリアの3区分に分割し、それぞれの移動方向について検討した結果を図-4に示す。図に示すように領域区分した**ケース 001 (水色)**でも、かなり実体に近づいていることがわかる。なお相対的な引張ゾーンと考えられる①の領域ですべり面バネ比を 1/100 に設定した**ケース 008 (茶色)**では、①領域の移動方向が 261°、②領域が 311° となって概ね移動方向が再現できていることがわかった。

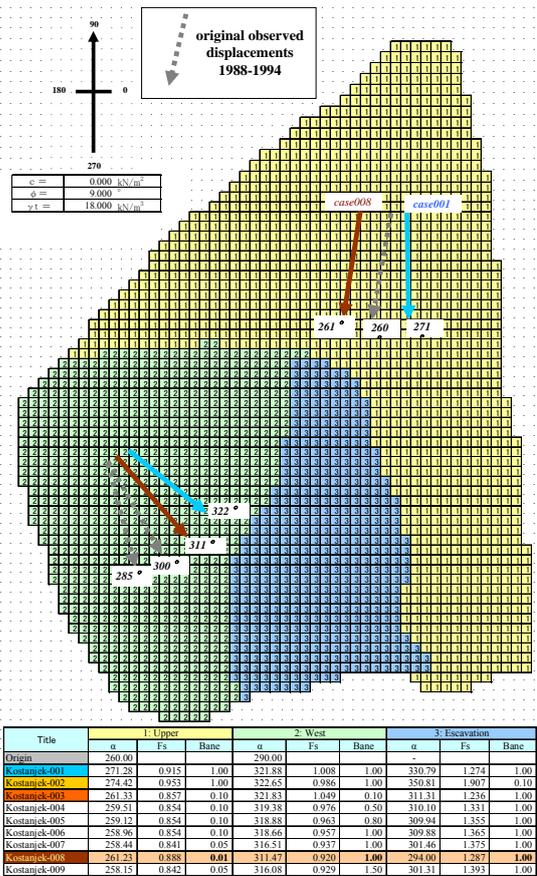


図-4 地すべり変動の解析結果

参考文献

- [1] 川井忠彦(1991):離散化極限解析法概論、培風館、164p
- [2] 竹内則雄(1991):地盤力学における離散化極限解析、培風館、204p
- [3] 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、地すべり学会誌、Vol.42, No.5(2006), January, pp.389-397,
- [4] Bogdan Stanic・Ervin Nonveiller(1996):The Kostanjek landslide in Zagreb、Engineering Geology 42 ,pp.269-283