

神奈川県横須賀土木事務所 正会員 ○日比野 新一 中野 和幸 進藤 豊
同 上 正会員 田口 雅丈 加藤 尚子

1. はじめに

急斜面の崩壊は、降雨が原因となることが多く、その規模は雨量に関係していることが知られている[1]。防災計画の立案や工事の安全施工のために、この降雨による崩壊時の地山物性値を把握する必要があるが、実測することは非常に困難であり、数値的なシミュレーションに頼らざるを得ない。そこで、本稿では、この問題を解決するための第一歩として、あるモデル地山に対して有限要素法による解析を行い、地山物性値と崩壊との関係の導出し、崩壊時の物性値の予測を行う。

2. 計算手法概要

表層の浅い風化層で突発的に起る崩壊現象を想定し、有限要素法を用い、地山を完全弾塑性体として2次元ひずみ解析を行った。破壊基準は、Mohr-Coulomb破壊基準と引張破壊基準を採用した。降雨の作用は、表層の粘着力C、内部摩擦角 ϕ を急激に低下させるものと仮定し、発生する塑性変形に伴う変位量を観察して、崩壊の有無および量を推定した。

初期地圧は自重を全載荷して弾性計算により求め、破壊基準を越える応力があれば、初期応力法[2]により塑性解析を行った。応力の修正方向は、図-1に示すとおり降伏面に垂直となるように行い、修正量 δh は基本的に降伏面からの距離 h に等しく($\alpha=1$)とった。崩壊領域は、要素図心の変位量で判定した。ここで、判定値は降伏した要素の分布状況と、崩壊形態の一致を考察し、試行の結果、5mmとした。また、反復計算回数は、収束状況と実用的計算時間を考慮して、100回を限度とした。

解析領域は、図-2に示す高さ7m、角度63.4°(2:1勾配)、表層風化部1mの単純化した2層系地山とした。地山物性値は三浦半島の第3紀泥岩層を想定し、表-1のとおりとし、表層のC、 ϕ を、それぞれ0.98~9.8KPa、0~30°の範囲で変化させ、40CASEについて計算を行った。

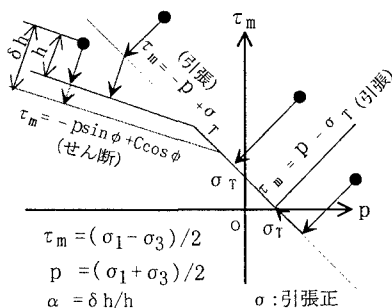


図-1 降伏面と応力修正方法

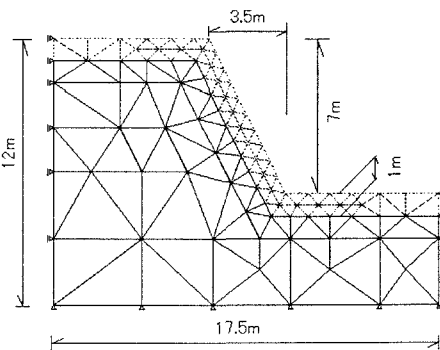


図-2 解析領域

表-1 地山物性値

3. 計算結果と考察

計算結果の一例として、 $C=2.2\text{KPa}$ 、 $\phi=15^\circ$ の場合について変位ベクトルを示せば図-3のとおりで、崩壊の様子は法肩部が前にせり出ししながら下方に移動し、法中間部では法面に沿って下方に移動し、法尻では前にはらみ出す形態となっており、実際の崩壊形態と比較して妥当なものと言える。計算結果をまとめたものが表-2であり、最大崩壊面積は10.5m²、最大高さは8.0mとなった。崩壊高さが崖の高さを上回ったCASEは、法尻水平部が膨れ上がり破壊を起こしたも

	ヤング率 E[KPa]	ポアソン 比ν	単位体積 重量γ [N/cm ³]	粘着力 c[KPa]	内部摩擦 角φ[deg]	引張強 度σ _t [KPa]
表層	1180~ 20400	0.46~ 0.35	0.016~ 0.017	0.98~ 9.8	0~30	0.49
基層	20400	0.35	0.017	255	20	9.8

のである。

この結果を用い、崩壊の有無とC、 ϕ との関係を判別分析により推定すると、的中率95%で式(1)が得られた。また、崩壊したCASEについて崩壊面積Aと崩壊高さHについて重回帰分析を行うと、式(2)、(3)が得られ、重回帰係数は、それぞれ0.904、0.899であった。

$$\begin{aligned} G &= -1.53C - 0.288\phi + 14.18 & G \geq 0: \text{崩壊}, G < 0: \text{安定} & (1) \\ A &= -0.609C - 0.124\phi + 11.6 & R &= 0.904 & (2) \\ H &= -0.218C - 0.055\phi + 8.45 & R &= 0.899 & (3) \end{aligned}$$

ここで比較のため、図-3に示したCASEについて、応力修正量に応じて各要素ごとに粘着力Cを低減させて計算を行った結果を、図-4に示す。 ϕ は 15° に固定し、この値を式(1)に代入して得られた崩壊を起こす限界粘着力 $C=6.0\text{KPa}$ から計算を始め、破壊基準を越える要素について $\alpha=1.05$ を採用して図-1に示すように応力を修正し、この応力状態が降伏面上となるよう 2.2KPa を限度としてCを低減させた。この図から、変位に関しては、 $\alpha=1$ の場合の最大値 6.2cm に対して 4.2cm と小さな値となるが、変位の形態は類似することが読み取れ、崩壊面積、崩壊高さは同じ値となった。

さらに、著者らが三浦半島における災害の事例から、統計的に得た崩壊量の回帰式[1]に、今回の解析モデルを当てはめると、時間雨量 $40\sim 30\text{mm/h}$ のとき、崩壊高さ $H=6.76\text{m}$ 、崩壊幅 $B=6.34\text{m}$ 、崩壊量 $V=30\text{m}^3$ となり、奥行き方向断面変化とほぐし土量変化を考慮し、崩壊面積 $A=2V/1.3B$ とすれば 7.28m^2 となり、このA、Hの値を式(2)、(3)に代入してC、 ϕ を逆算すると、それぞれ 4.40KPa 、 13.4° と妥当な範囲内であった。しかし、これ以外の雨量については妥当なC、 ϕ が得られなかった。この原因として、C、 ϕ の変化領域を表層 1m に固定しているため、小規模な崩壊が表現されていないこと、また、実際の地山では過去の応力履歴により、初期地圧が自重とは異なること、などが考えられる。

3. おわりに

今回の計算は、限られた地山形状および物性値について行ったものであるが、本計算手法により、急斜面の崩壊の有無および崩壊量と物性値との関係式が得られた。今後は風化厚、斜面の高さ、角度などを変えて適用範囲を拡大していきたい。

謝辞：日本大学総合研究所 教授 田村 重四郎 先生には、草稿を読んでいただき、有益なご助言・ご指導をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田口・日比野・高山・中野・加藤：急傾斜地における斜面崩壊について，土木学会第24回関東支部技術研究発表会講演概要集，pp352-353，1997
- 2) D.J.ネイラー・G.N.パンディ他，稲田・赤石監訳：地盤工学における有限要素法，鹿島出版会，pp105，1987

表-2 計算結果のまとめ

	度数 [CASE]	崩壊面積 A[m ²]	崩壊高さ H[m]	100回以内収束 回数 [CASE]
崩壊	26	4.4~10.5	3.3~8.0	0
安定	14			9

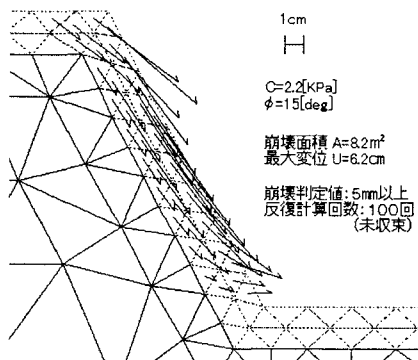


図-3 変位ベクトル($\alpha=1$)

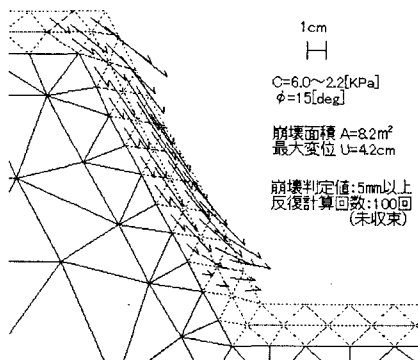


図-4 変位ベクトル($\alpha=1.05$)