

田切谷壁における応力状態について

—— 有限要素法による弾性解析 ——

State of Stress of Valley-side Slope Made of Asama
Pumice Flow Deposits

松倉 公憲*・近藤 昭彦**

Yukinori MATSUKURA and Akihiko KONDOH

I はじめに

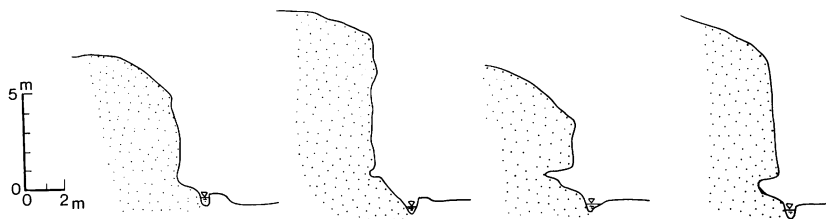
岩盤あるいは土からなる斜面の安定性を考える場合、斜面内部での応力状態を知ることは重要である。このような応力状態を野外で実測することは難しい。光弾性を利用した実験的解析による方法もあるが、境界条件の調節が難しいとされている。

近年、数値解析の一つである有限要素法(Finite Element Method)が、岩盤内の応力状態を再現させる方法として注目されている。この方法を斜面に適用した解析例としては、Clough and Woodward (1967) のアースダムでのものや、Duncan and Dunlop (1969) の割れ目の多い固結粘土からなる人工掘削斜面でのもの、村田ほか(1980, 1984) のシラスの切土斜面でのものなどがある。しかし、これらはいずれも人工の盛土お

よび掘削斜面での解析であり、自然の地山での解析例は少ないようである。そこで、本研究は有限要素法を用いて、軽石流堆積物からなる谷壁斜面を対象に、その自然地山内の応力状態を再現することを試みた。

II 田切谷壁の形態と軽石流堆積物の物性

浅間火山の南西麓には、軽石流堆積物からなる緩斜面が広く形成されている。この緩斜面を開析する谷は、谷壁が垂直で、谷底が平坦な箱型の特異な断面形態をもち「田切(たぎり)」と呼ばれている。小諸市御影新田付近の田切谷壁のいくつかの断面形を第1図に示した。いずれの断面も3~7mのほぼ垂直な谷壁をもっている。谷壁の基部、すなわち谷底から1~2mの高さの所にはノッチが形成されていることが多い。ノッチの奥行き最大の約140cmほどであった。



第1図 田切谷壁の断面形

* 筑波大学地球科学系 ** 筑波大学・院・地球科学研究科(現 筑波大学水理実験センター) (1985年7月8日受理)

田切谷壁は、ノッチの部分も含めて、浅間第1軽石流堆積物で構成されている (Aramaki, 1963)。この軽石流の噴出はほぼ 13,000 年前とされており (富樫, 1983), その堆積物は谷壁全体にはほぼ均質である。レキ分43%, 砂分50%, シルト・粘土分7%からなり、間隙率42%, 乾燥単位体積重量 1.56gf/cm^3 , 自然含水比の単位体積重量 1.72gf/cm^3 という値をもち、ゆるく固結 (山中式土壤硬度で29~33mm) している。

自然含水比状態の試料を用いて行なった一軸圧縮試験および点載荷圧裂引張試験の結果、圧縮強度 (S_c) は約 1.1kgf/cm^2 (試験数 10ケの平均), 引張り強度 (S_t) は 0.3kgf/cm^2 (同15ケの平均) が得られた。これらの値より、脆性度 ($B_r = S_c/S_t$) はほぼ 3.7 となる。一軸圧縮試験時に測定された軸ひずみと横方向のひずみから、ポアソン比 (ν) として約 0.35 という値が得られた。また、低拘束圧 ($\sigma_3 = 0.5$ および 1.0kgf/cm^2) での三軸圧縮試験時の応力-ひずみ曲線から、ヤング率 (E) はほぼ 150kgf/cm^2 と見積られた。

軽石流堆積物と類似の性質をもつものとしてシラスがある。村田ほか (1980) はその力学的特性

を考慮して、シラスを3つに分類し、 $S_t > 0.2\text{kgf/cm}^2$, $B_r < 10$ のものを、最も岩石に類似した特性を有するとして、準弾性シラスと呼んでいる。田切谷壁をつくる軽石流堆積物は、上述したように、 $S_t = 0.3\text{kgf/cm}^2$, $B_r = 3.7$ という値をもつことから、準弾性シラスと同様の性質すなわち引張り強度が相対的に大きく弾性的な性質が顕著であると考えてよいであろう。

III 田切谷壁内の応力分布

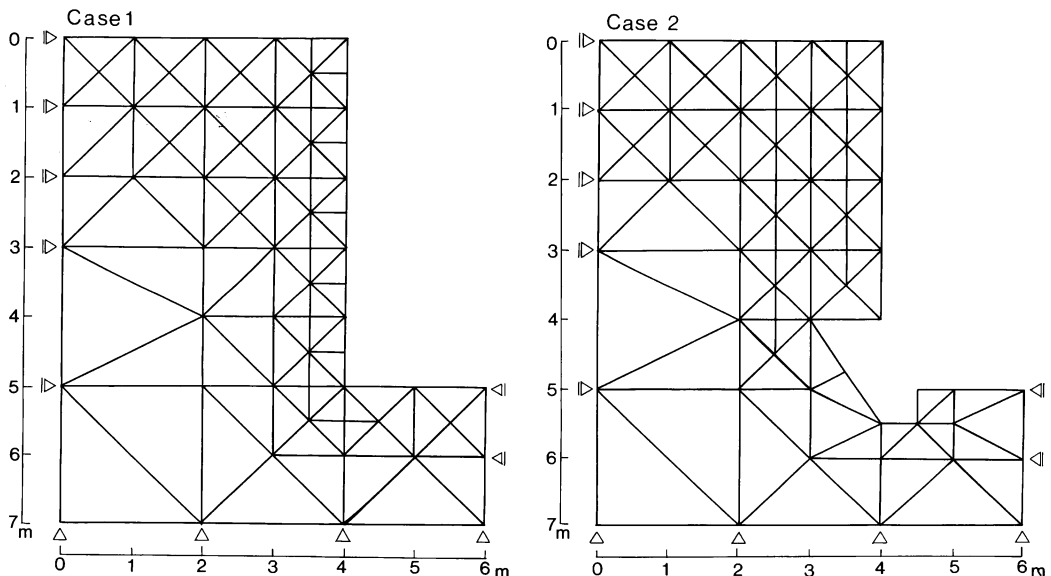
1) 解析方法

前章から、田切谷壁を構成する軽石流堆積物は比較的均質な弾性体とみなしうる。そこで、有限要素法による弾性解析を行なった。ここでは三角形要素を用いた平面応力問題として解析した。

解析には第2図に示したような2つの斜面を取上げた。これらの斜面形状は、第1図に示した現実の斜面にできるだけ近いものとして設定された。

Case 1 : 高さ5 mの垂直な谷壁をもつ場合 (要素数95, 節点数62)

Case 2 : Case 1 と同じ規模の斜面であるが、



第2図 有限要素法解析のためのモデル斜面

谷底から1 mの高さのところ奥行きが1 mのノッチをもつ場合(要素数95、節点数62)

谷壁近傍の要素分割にあたっては、応力集中の可能性を考慮して、他の場所に比較して細かくした。

前述の物性値のデータを用い、単位体積重量(γ)を1.72 gf/cm³、ヤング率(E)を150 kgf/cm²、ポアソン比(ν)を0.35とし、各節点に作用する荷重は自重のみとした。すなわち地表面に沿って水平方向に x 軸を、鉛直下向きに y 方向をとった場合、深さ h の節点における初期土圧は $\sigma_x = \lambda\gamma h$ 、 $\sigma_y = \gamma h$ 、 $\tau_{xy} = 0$ (ここで $\lambda = \nu/(1-\nu)$; λ は側圧係数)と与えられる。境界条件は、左右の側方境界に対しては水平変位を拘束し、下方境界に対しては水平変位および鉛直変位とも拘束する完全固定とした。

2) 解析結果および考察

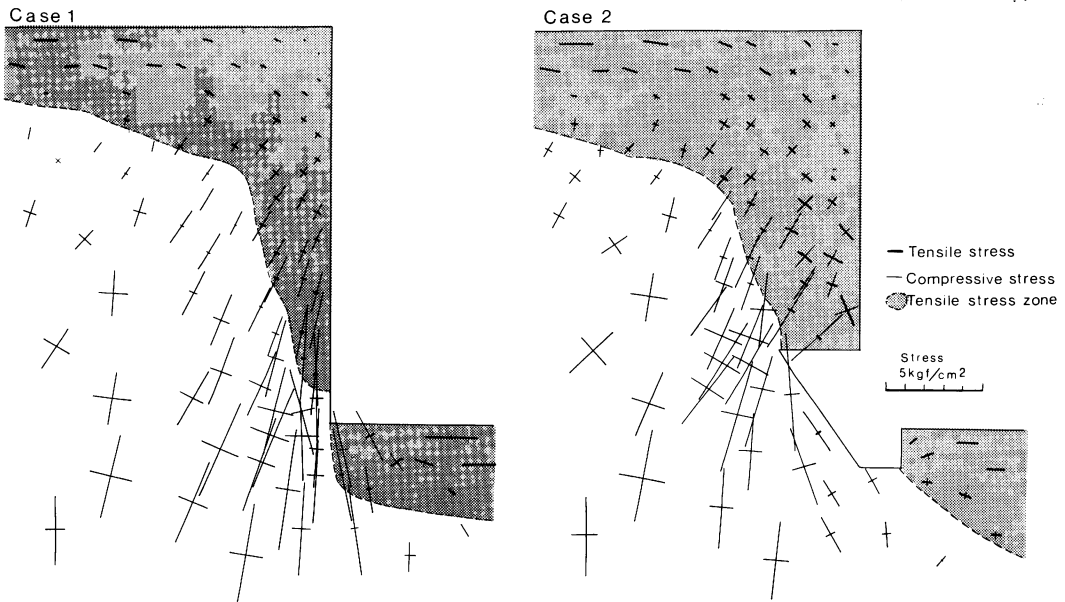
解析結果の主応力分布を第3図に示した。図中の線分は各要素における最大主応力と最小主応力の大きさと方向を示している。主応力は圧縮と引張りに分けて表現してある。特に引張り応力の作

用する領域には網目をかけた。

ノッチのない Case 1 の場合、地表面から深くなるほど主応力(ほとんどが圧縮)の大きさが増大し、斜面先部での主応力が特に大きい。谷壁近傍と谷壁の肩にあたる部分において引張り応力の領域があり、谷壁にはほぼ直交する方向に引張り応力が働いている。特に壁の上部での引張り応力の値が大きくなっている。川本・藤田(1968)や村田ほか(1980, 1984)の解析においても、谷壁が垂直に近くなるほど谷壁近傍に引張り応力が作用することが知られている。すなわち、本解析もこれらと同様の結果が得られたことになる。

一方、ノッチのある Case 2 の場合でも Case 1 とほぼ同様の応力分布を示すが、ノッチ周辺での圧縮応力が大きいことと、引張り応力の値が Case 1 より大きくなっており、しかも引張り応力の領域がさらに拡大していることが読みとれる。

また、いずれの場合も谷底部にも引張りの領域が存在するが、これは右側方鉛直境界の境界条件の影響がでているものと考えられる。ここでは、谷壁の安定を考える意味から、主に谷壁近傍の応



第3図 解析によって得られた主応力状態

力状態について考察することにする。

谷壁近傍と上部の引張り応力はほぼ谷壁に垂直な方向を向くことから、谷壁に平行な亀裂を発生させる可能性をもつことになる。ノッチのある場合には、この引張り応力の領域が拡大し、応力の値も大きくなることから、引張り亀裂発生の可能性はさらに高くなる。

また、谷壁斜面先部付近あるいはノッチの周辺の圧縮応力が大きい。この部分は最大主応力と最小主応力の差も大きくなる。このことは、これらの部分からの局所的な破壊の可能性も暗示している。いずれにしても、ノッチのある場合は、ノッチのない場合と比較して、引張り亀裂の発生や局所破壊の可能性がより大きくなる。このことは、仮にノッチの奥行きが時間的に徐々に増大するとすれば、その時谷壁全体は徐々に不安定性を増すことになる。

IV おわりに

有限要素法を用いて、田切谷壁内の応力分布を解析した結果、谷壁近傍と上部に引張り応力が発生し、谷壁に平行な引張り亀裂の発生する可能性が示唆された。また、谷壁斜面の斜面先およびノッチの近傍での圧縮応力が大きく、その主応力差も大きく、この部分からの局所的な破壊の可能性も暗示された。今後は、ノッチのある場合の方

が、引張り亀裂発生の可能性が高くなることを含め、ノッチの拡大に伴なう田切谷壁の安定・不安定の問題、すなわち谷壁で生起する破壊の現象との関連性について検討しなければならない。

文 献

- 川本朧万・藤田益夫 (1968) : 自由斜面の変形と応力状態について (その 1. 等方性および異方性線型弾性斜面). 土と基礎, 16—8, 37—46.
- 富樫茂子 (1983) : 浅間火山第 1 軽石流堆積物中の炭化木の ^{14}C 年代. 火山 第 2 集, 28, 163—165.
- 村田秀一・山内豊聡・後藤恵之輔 (1980) : しらすの切土斜面の弾性解析. 鹿児島工業高等専門学校研究報告, 第 14 号, 53—64.
- 村田秀一・山内豊聡・後藤恵之輔 (1984) : 引張破壊に着目したしらす切土斜面の安定性について, 土木学会論文報告集, 343 号, 15—24.
- Aramaki, S. (1963) : Geology of Asama Volcano. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo*, XIV Part 2, 229—443.
- Clough, R. W. and Woodward, R. J. (1967) : Analysis of embankment stresses and deformations. *Jour. Soil Mech. & Found. Division, ASCE*, 93, SM 4, 529—549.
- Duncan, J. M. and Dunlop, P. (1969) : Slopes in stiff-fissured clays and shales. *Jour. Soil Mech. & Found. Division, ASCE*, 95, SM 2, 467—492.