

III-394

三次元簡易Janbu法に基づくアンカー力評価法

仁田ソイロツク(株) 正会員 山川 治
徳島大学工学部 正会員 山上 拓男

1. はじめに

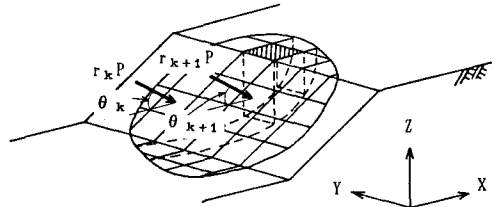
近年、地すべりなど変状をきたした斜面の安定化を図る際、アンカー工が広く利用されるようになってきた。しかし、その設計法には未解決の問題点がいくつか含まれている。山上・山川¹⁾はそれらの内でアンカーによる抑止力を取り上げ、極限平衡法の立場から、より合理的な評価法を提案した。それは、アンカー力を地表面での集中荷重とみなし、二次元極限平衡法に基づく安全率算定式に導入する方法であった。本文では、この評価法を三次元場に拡張すべく、極限平衡法の理論式として鶴飼らにより提案されている三次元簡易Janbu法²⁾を用いた結果を述べるものである。

2. 理論式の展開

筆者らの提案する抑止力評価法は、『アンカー力は地表面に作用する集中荷重である』との仮定に基づいている。そして地表面の集中荷重が鉛直および水平成分に分解され、理論式に導入される(図-1参照)：

$$\begin{aligned} P_v &= r_k P \sin \theta_k \\ P_H &= r_k P \cos \theta_k \end{aligned}$$

.....(1) 図-1 地表面に作用するアンカー力



ここに、 r_k はアンカーが複数打設されると、各々のアンカー力の比例関係を定める係数であって、アンカー力算定時には前もって与えられるものとする。 P はこれら比例関係を仮定する際の基準となるアンカー力、 θ_k はアンカー傾角である。なお、アンカー打設方向は xz 面に平行であると仮定する。

いま、アンカー力が作用しているコラムに注目し、コラム側面に働く内力の合力とその xz 面および yz 面内の成分を含む面(鶴飼らはこれをB面と呼ぶ)の法線方向に関する力の釣り合いから次式が得られる：

$$(1 + \eta \tan^2 \alpha_{yzij}) \Delta N_{ij} / J_{ij} + \Delta T_{ij} \sin \alpha_{xzij} = \Delta W_{ij} + \Delta P_{ij} + P_{vij} \quad \text{.....(2)}$$

ここに、

$$J_{ij} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_{xzij} + \tan^2 \alpha_{yzij}} \quad \text{.....(3)}$$

η ：未知定数、 ΔN_{ij} 、 ΔT_{ij} ：コラム底面に働く全垂直力とせん断力、 ΔW_{ij} ：コラムの全重量、 ΔP_{ij} ：コラムに鉛直方向の分布荷重が作用する場合、それを集中荷重に置き換えた力、 α_{xzij} 、 α_{yzij} ：水平面に対するコラム底面の x 軸方向および y 軸方向での角度。

また、コラム ij の安全率を F_σ とすると、 ΔT_{ij} は次式となる：

$$\Delta T_{ij} = \{c \Delta S_{ij} + (\Delta N_{ij} - \Delta u_{ij} \Delta S_{ij}) \tan \phi\} / F_\sigma \quad \text{.....(4)}$$

ここに、 ΔS_{ij} はコラム ij の底面積であり、次式で表される：

$$\Delta S_{ij} = J_{ij} \Delta x_{ij} \Delta y_{ij} \quad \text{.....(5)}$$

Δx_{ij} 、 Δy_{ij} ：コラムの x 軸方向および y 軸方向での分割幅、 Δu_{ij} ：間隙水圧、 c 、 ϕ ：粘着力および内部摩擦角。

そして、水平方向(x 軸方向)に関するすべり土塊全体の力の釣り合いから次式が導かれる：

$$\sum_{i,j} \{k_h (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij}) - P_{Hij}\} = \sum_{i,j} (\Delta T_{ij} \cos \alpha_{xzij}) \quad \text{.....(6)}$$

ここに、 k_h ：水平震度係数。

したがって、式(2)、(4)および式(6)より

$$F_\sigma = 1 / \sum_{i,j} \{ (k_h + \tan \alpha_{xzij}) (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij}) + r_k P (\sin \theta_k \tan \alpha_{xzij} - \cos \theta_k) \}$$

$$\times \sum_{i,j} \{ (c - \Delta u_{ij} \tan \phi) (1 + \eta \cos^2 \alpha_{xzij} \tan^2 \alpha_{yzij}) \Delta x_{ij} \Delta y_{ij} \\ + (\tan \phi + \eta F_{\theta} \sin \alpha_{xzij} \tan^2 \alpha_{yzij} / J_{ij}) (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij} + r_k P \sin \theta_k) \} / \cos \alpha_{xzij} m \alpha_{ij} \quad \cdots (7)$$

ここに、

$$m \alpha_{ij} = (1 + \eta \tan^2 \alpha_{yzij}) / J_{ij} + \sin \alpha_{xzij} \tan \phi / F_{\theta} \quad \cdots (8)$$

なお、鶴飼らは、勾配が緩やかな斜面の場合には、 F_{θ} は η の変化に対してほぼ一定であり、その時の η の値はかなり小さくなることを確認している。そして、勾配が 45° 以下の斜面に対しては $\eta=0$ より得られる近似式を提案している。この場合、式(7)は次式となる：

$$F_{\theta} = 1 / \sum_{i,j} \{ (k_h + \tan \alpha_{xzij}) (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij}) + r_k P (\sin \theta_k \tan \alpha_{xzij} - \cos \theta_k) \} \\ \times \sum_{i,j} \{ (c - \Delta u_{ij} \tan \phi) \Delta x_{ij} \Delta y_{ij} + \tan \phi (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij} + r_k P \sin \theta_k) \} / \cos \alpha_{xzij} m \alpha_{ij} \quad \cdots (9)$$

ここに、

$$m \alpha_{ij} = 1 / J_{ij} + \sin \alpha_{xzij} \tan \phi / F_{\theta} \quad \cdots (10)$$

である。ここで、 $r_k=1$ (すなわち各々のアンカー力がすべて等しい) と仮定すると、式(9)は次のように変形できる：

$$P = 1 / \sum_{i,j} \{ F_{\theta} (\sin \theta_k \tan \alpha_{xzij} - \cos \theta_k) - \tan \phi \sin \theta_k / \cos \alpha_{xzij} m \alpha_{ij} \} \\ \times [\sum_{i,j} \{ (c - \Delta u_{ij} \tan \phi) \Delta x_{ij} \Delta y_{ij} + \tan \phi (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij}) \} / \cos \alpha_{xzij} m \alpha_{ij} \\ - F_{\theta} \sum_{i,j} (k_h + \tan \alpha_{xzij}) (\Delta W_{ij} + \Delta P_{ij})] \quad \cdots (11)$$

3. 適用例および結び

図-2に示す均質地山中のすべり面を対象として本手法を適用した結果を述べる。図中のすべり面に沿う現状安全率は三次元簡易Janbu法では $F=1.01$ であった。そこで、傾角 30° のアンカーを y 軸方向に3本(コラム番号 $i=1,2,3$)打設して安全率を1.20まで高める場合を想定し、これに要するアンカー力を算出した。このとき、式(7)に含まれる未知定数は $\eta=0$ であるとし、また各アンカーが負担すべき抑止力は相等しいと仮定した。

アンカー力算定結果を表-1にまとめた。この表から分かるように、本手法によれば打設位置に応じたアンカー力が明確に評価されている。そして、必要アンカー力は斜面下部で小さく、上部で大きくなる傾向にある。

このように、極限平衡法の立場にある本手法は理論的根拠をなんら損なうことなく三次元場に適用できるため、実用上極めて有利な方法であると言えよう。今後は、理論式として三次元Spencer法などを取り込む予定である。

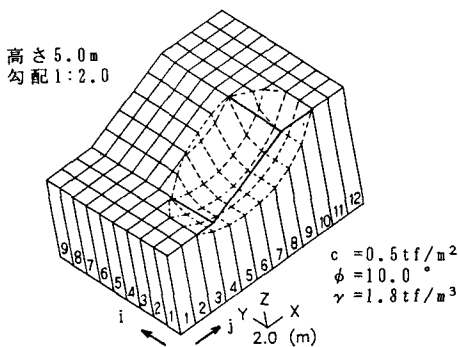


図-2 適用例

表-1 アンカー力算定結果

アンカー打設位置	1本当たりのアンカー力(tf)
$i=1 \sim 3, j=4$	9.89
$i=1 \sim 3, j=5$	10.95
$i=1 \sim 3, j=6$	12.12
$i=1 \sim 3, j=7$	13.56
$i=1 \sim 3, j=8$	15.69

- 【参考文献】 1) 山上拓男、山川治：斜面安定工におけるアンカー力の新しい算定法、土と基礎、Vol.38、No.5、pp.51～58、1990.2) 鶴飼恵三：簡易Janbu法による斜面の3次元安定解析、地すべり、Vol.24、No.3、pp.8～14、1987.