

Ⅲ-25 2列の壁を有する斜面の安定解析法

(株)アーバン・プロジェクト 正会員 ○神田幸正
徳島大学工学部 フェロー 山上拓男
徳島大学工学部 正会員 蔣 景彩
徳島大学工学部 学生会員 洲本幸太

1. 緒言 斜面の安定性を高める目的で、斜面地山中に壁状の構造物を設ける場合がある。ところが、このような壁を用いて斜面の安定性の向上を図る工法において、斜面全体としての安定性の評価法や壁自体の設計法は現在のところまだ確立されていない。こうした問題に対し、有限要素法 (FEM) に代表される数値解析は確かに有効なツールである。しかしながら、適切なパラメーターの設定など、その取扱いは難しく日常業務で用いるのは時期尚早である。これに対し、山上らは極限平衡法 (LEM) の枠組で、簡便で使い勝手が良く、広範な地盤に対して適用可能な「壁を有する斜面の安定解析法」を提案している¹⁾。本報は、この提案法に基づいて2列の壁を有する斜面の安定解析法を展開したものである。

2. 提案法の基本概念 提案法の特徴は、〔1〕「壁を境として、その上流側と下流側のすべり土塊はそれぞれ異なる安全率を持ち得ると考える」ことと、〔2〕安全率を直接計算によって求めようとするのではなく、逆に「安全率 (計画安全率) を設計者が指定し、実際にこれら安全率の値が確保されるためには、壁はどれだけの強さ (規模) のものでなければならないか？」といった設計法を採ることである。今、ある不安定な斜面の安

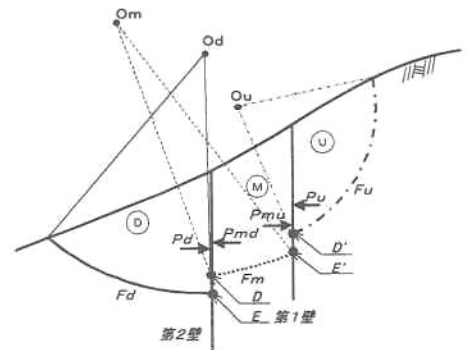


図-1 相互作用力とすべり土塊

定性を向上させるため、2列の壁を打設したとする (図-1)。このとき、斜面は壁によって上流土塊①、中間土塊②および下流土塊③の3つに分断される。提案法ではこれら3つの土塊にそれぞれの計画安全率 (F_u , F_m 及び F_d) が指定されるが、この計画安全率の下で動員されているであろう壁と上、下流側すべり土塊との相互作用力 (の合力) をそれぞれ P_u と P_{mu} (第1壁) 及び P_{md} と P_d (第2壁) とする。これら相互作用力を与える関係式は、「Bishop 法」に基づいて導かれる。ただし、相互作用力の作用点をすべり層厚の下 1/3 に、また、作用方向は水平であると仮定した。後者の仮定は壁と土塊との接触面において摩擦成分を無視することに相当するが、こうした仮定が常に正当化されるわけではない点今後の検討課題と考えている。また、壁を境としてその下流側すべり面の端点 (E or E') は、上流側すべり面の端点 (D or D') より常に下位に位置するかもしれない両者は一点で会合するとの制約条件を設ける (図-1)。無論安定解析において壁の厚さは考慮しない。

3. 臨界すべり面の定義とその探索法 極限平衡法において臨界すべり面は安全率最小のすべり面と定義されるが、提案法では、臨界すべり面を「壁にとって最も危険な上・下流側一組のすべり面」と定義し直す。そして、この様に定義された臨界すべり面を探索するのに、前報同様¹⁾ 以下の二通りの手順を経るものとする (図-2 参照)。

① P_{max} 法: $\Delta P_a = P_u - P_{mu}$, $\Delta P_b = P_{md} - P_d$ の最大値 (ΔP_{max}) を与える一組のすべり面、

② ΔM_{max} 法: $\Delta M_a = P_u \cdot h_u - P_{mu} \cdot h_{mu}$, $\Delta M_b = P_{md} \cdot h_{md} - P_d \cdot h_d$ の最大値 (ΔM_{max}) を与える一組のすべり面。上記二つの方法で探索され

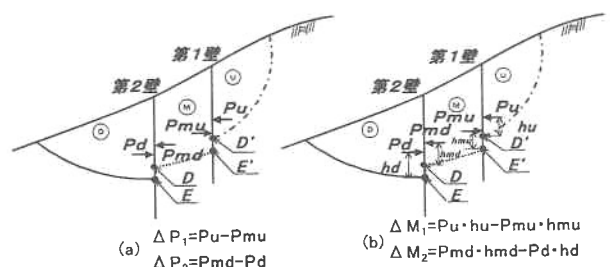


図-2 ΔP_{max} 法と ΔM_{max} 法の臨界すべり面

たすべり面の組のいずれが壁にとってより危険であるかを前もって知ることは一般に困難である。そこで、これら二つを共に適用し、得られた結果に基づいて、(本報では触れないが)更に壁の構造解析を行い、壁にとってより危険な状態を対象に壁の設計を行えば良い、とするのが提案法の趣旨である。

4. 相互作用力の基礎式の誘導 上流および下流土塊の相互作用力 (Pu と Pd) は、計画安全率が指定されると直ちに Bishop 法の安全率算定式 (モーメント釣合い条件式) から導かれる。一方、中間土塊では未知量である相互作用力が P mu, P md と2つあることから、Bishop 法の安全率算定式のみでは解を得ることが出来ない。そこで、中間土塊④全体としての水平方向の力の釣合い条件式を新たに導入した。紙面の都合上、詳細については割愛し、各相互作用力の基礎式のみ提示する。符号等については、図-3を参照されたい。

$$P_u = \frac{\gamma_u}{l_u} \left(\sum_u W \cdot \sin \alpha_u - \frac{1}{F_u} \sum_u R^i \right) \tag{1}$$

$$P_d = \frac{\gamma_d}{l_d} \left(\frac{1}{F_d} \sum_d R^i - \sum_d W \cdot \sin \alpha_d \right) \tag{2}$$

$$P_{mu} = \frac{1}{l_{mu} - l_{md}} \left\{ r_m \left(\frac{1}{F_m} \sum_m R^i - \sum_m W \cdot \sin \alpha_m \right) - l_{mu} \cdot \sum_m \left[\frac{c' \cdot \Delta l}{\cos \alpha_m} + W \cdot \tan \phi' - \frac{u \cdot \Delta l \cdot \tan \phi'}{\cos \alpha_m} - F_m \cdot W \cdot \tan \alpha_m \right] \cdot \frac{1}{F_m + \tan \alpha_m \cdot \tan \phi'} \right\} \tag{3}$$

$$P_{md} = \frac{1}{l_{mu} - l_{md}} \left\{ r_m \left(\frac{1}{F_m} \sum_m R^i - \sum_m W \cdot \sin \alpha_m \right) - l_{md} \cdot \sum_m \left[\frac{c' \cdot \Delta l}{\cos \alpha_m} + W \cdot \tan \phi' - \frac{u \cdot \Delta l \cdot \tan \phi'}{\cos \alpha_m} - F_m \cdot W \cdot \tan \alpha_m \right] \cdot \frac{1}{F_m + \tan \alpha_m \cdot \tan \phi'} \right\} \tag{4}$$

$$\text{ここに、} R^i = \sum_m \{ c' \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha_m + (W - u \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha_m) \tan \phi' \} \cdot 1 / \cos \alpha_m (1 + \tan \alpha_m \cdot \tan \phi' / F_m) \tag{5}$$

5. 解析事例 本提案法を、仮想斜面に適用する(本報では、紙面の都合上△Pmax 法における解析結果のみを示す)。土質定数はC=1.5tf/m², Φ=15° , γ=1.8tf/m³である。壁を打設しない場合の臨界すべり面の安全率はF₀=0.93であった。この斜面に法肩とその下流5mの位置に壁を打設し、計画安全率F_u=F_m=F_d=1.2のもとで算定した△Pmaxは、第1壁(法肩:DL=20m)で32.9tf/m, 第2壁(DL=15m)で20.5tf/mである。同条件のもと、DL=15mと20mにそれぞれ壁を1列のみ打設した場合の△Pmaxは、おのおの39.9tf/mと32.3tf/mである。今、相互作用力が直線分布を成すものと仮定すれば、DL=15mと20mの双方において壁を2列打設する方が壁に掛かる相互作用力の差(ΔP)が小さくなっている(図-4, 図-5)。

ただし、この結果は壁を2列とした方が、より効果的・経済的であるといった結論を直ちに導くものではない。それについては、壁の構造解析により壁の規模が決定されて始めて比較できるものであるが、現時点では議論の対象としていない。

6. 結言 本提案法は、「取扱いが容易である」および、「計算に要する時間が短時間である」といった点に於いて、有限要素法に代表される他の数値解析手法が持たない利点を有している。そのため、日常業務に於ける極めて有効なツールと成りうる解法であると確信している。今後は、提案法により算定された抑止力のもとで、抑止壁の構造形式等を決定するルーチンを追加するなど、その実用性をさらに向上させる予定である。

参考文献 1) T Yamagami, et al. *A Limit Equilibrium Stability Analysis of Slopes with a Stabilizing Wall*, 2nd Int. Conferences on Landslides, Slope Stability & The Safety of Infra-Structures:27-28 July 1999, Singapore, pp.277-284

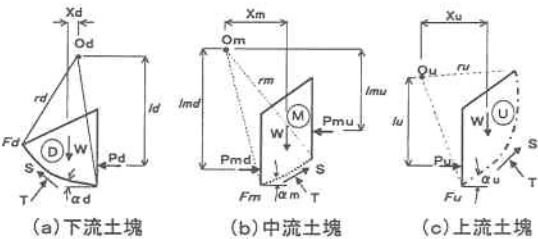


図-3 上・中・下流土塊のフリーボディーダイアグラム

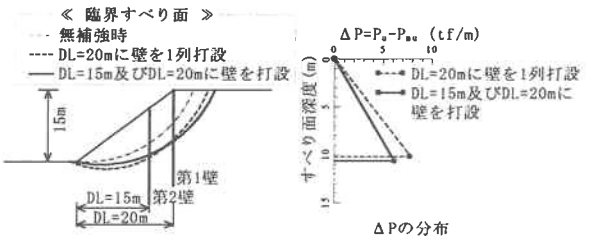


図-4 第1壁 (DL=20m) にて ΔP最大

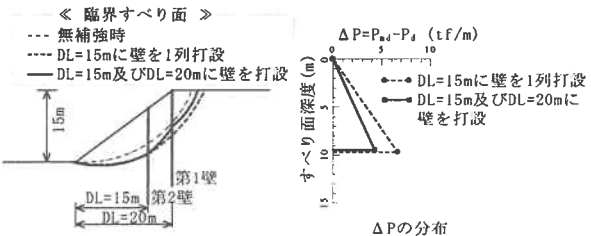


図-5 第2壁 (DL=15m) にて ΔP最大