

太洋技術開発(株)

正 員 〇 浜 田 英 治

東京大学生産技術研究所

正 員 龍 岡 文 夫

(1) まえがき

鉄筋による斜面の補強法の基礎的研究として室内模型実験を行い、補強材の長さ、配置密度、挿入方向と補強効果との関係、さらに補強材の張力、曲げ変形との関係について考察した。(1)ここではそれらの実験結果をもとに、補強された斜面の安定解析を極限つりあい法で行った結果について報告する。

(2) 実験方法

実験は図-1に示す斜面形状で行い、地盤は気乾状態の豊浦標準砂で作成した。土槽の側壁は厚さ30mmのアクリル板を使用しているが、側壁面と砂との摩擦を軽減させている。(2)補強材は表面に接着剤で標準砂を付着させた針金(直径0.09cm、砂付着後約0.18cm)を使用した。図-2に補強材の配置位置を示す。斜面は図-2に示すフーチングを変位制御で載荷することによって破壊させたが、解析には図中に示す分割ロードセルの中央1/3の部分(Ax.1, Ax.2, Ax.5, Ax.6, S.1, S.3)の測定値を用いた。

(3) 解析方法

補強斜面の安定解析を極限つりあい法で行う。今回は斜面の円弧すべり安定計算法(簡易Bishop法)を修正して用いることにしたが、すべり面が円弧であると仮定したのは次の理由による。(1)実際に観察されたすべり面は円弧に近いものであった(2)円弧と仮定すると計算が簡明になる。計算は図-3に示すように、力のつりあいにフーチング底面のせん断応力 S と補強材の張力 T_{ri} を取り入れた次式を用いた。

安全率 $F_s = \{1 / (\sum W_i \sin \alpha_i + \sum \{(\sin \alpha_i + \tan 30^\circ \cos \alpha_i) \cdot Q_i - (\cos \alpha_i - \tan 30^\circ \sin \alpha_i) \cdot S_i\} \cdot d - T_{ri} \cos(\theta + \theta)) / \sum \{C \cos \alpha_i + (W - u \cos \alpha_i) \cdot \tan \phi' + T_{ri} \sin \theta \tan \phi'\} / (\cos \alpha_i + \tan \phi' \sin \alpha_i / F_s)\}$ ここで、 ϕ' : 内部摩擦角、 C : 粘着力、 Q : フーチング軸方向応力、 θ : 補強材の挿入角度、 W_i : 分割片の自重、 d : 分割片の幅、 α_i : 分割片の底辺の傾き、 l : 分割片の底辺の長さ、 u : 間げき水圧。今回の模型実験では $C = 0$ 、 $u = 0$ 。フーチングによる軸方向分布応力は図-4に示すように実験軸応力 q_1, q_2 (kgf/cm²)から推定し $q_1 = 2/5 P_1$ 、 $q_2 = 2/5 \cdot (P_2 - P_1)$ (kgf/cm²)とした。フーチング底面の摩擦角の分布は測定値を用いた。図-4 安定計算のための分布荷重

安全率 $F_s = \{1 / (\sum W_i \sin \alpha_i + \sum \{(\sin \alpha_i + \tan 30^\circ \cos \alpha_i) \cdot Q_i - (\cos \alpha_i - \tan 30^\circ \sin \alpha_i) \cdot S_i\} \cdot d - T_{ri} \cos(\theta + \theta)) / \sum \{C \cos \alpha_i + (W - u \cos \alpha_i) \cdot \tan \phi' + T_{ri} \sin \theta \tan \phi'\} / (\cos \alpha_i + \tan \phi' \sin \alpha_i / F_s)\}$ (図-3 簡易 Bishop 法による安定解析)

• $\sum \{C \cos \alpha_i + (W - u \cos \alpha_i) \cdot \tan \phi' + T_{ri} \sin \theta \tan \phi'\} / (\cos \alpha_i + \tan \phi' \sin \alpha_i / F_s)$ ここで、 ϕ' : 内部摩擦角、 C : 粘着力、 Q : フーチング軸方向応力、 θ : 補強材の挿入角度、 W_i : 分割片の自重、 d : 分割片の幅、 α_i : 分割片の底辺の傾き、 l : 分割片の底辺の長さ、 u : 間げき水圧。今回の模型実験では $C = 0$ 、 $u = 0$ 。フーチングによる軸方向分布応力は図-4に示すように実験軸応力 q_1, q_2 (kgf/cm²)から推定し $q_1 = 2/5 P_1$ 、 $q_2 = 2/5 \cdot (P_2 - P_1)$ (kgf/cm²)とした。フーチング底面の摩擦角の分布は測定値を用いた。図-4 安定計算のための分布荷重

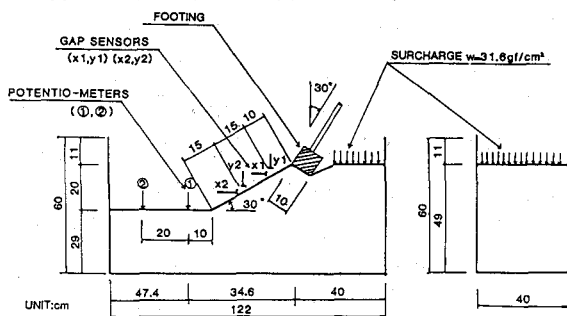


図-1 模型斜面の形状と寸法

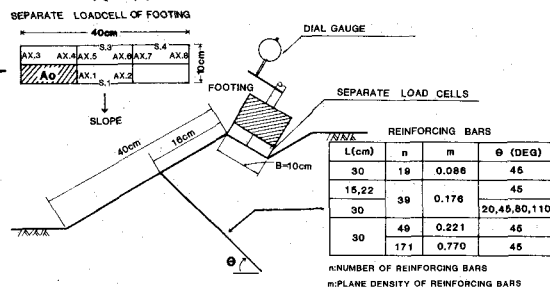
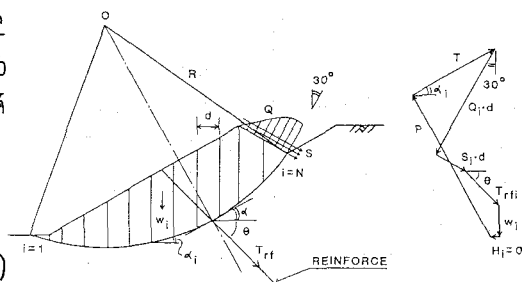
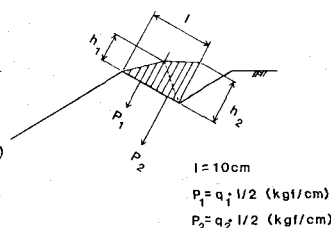
図-2 荷重、軸変位の測定位置と補強材の配置位置
SLOPE STABILITY ANALYSIS METHOD
(SIMPLE BISHOP METHOD)

図-3 簡易 Bishop 法による安定解析



解析では本来補強材の張力の分布を予測し、これにもとづいて斜面の破壊強度も予測するのが理想だが、前者の理論的予測は現在容易ではない。したがって、今回の解析では円弧すべり線を用いた極限つりあい法の適用性だけを検討することにした。すなわち、補強材の張力を与えた安定計算でどれだけ実験結果を予測できるかを調べることにした。解析は以下に示す手順で行った。

Step.1…無補強斜面の実験結果からすべり面と荷重を与え、 $F_s = 1$ として内部摩擦角を求める。このようにして求めたものは 48.2° であり、強度の異方性、進行性破壊、 ϕ の拘束圧依存性を無視して $\phi = \text{一定}$ として解析する。

Step.2…補強斜面の実験結果から得られたフーテンク応力と補強材の張力分布(図-4に示すように3点の測定値の線形補間)を与え、解析で臨界円を捜し、最小安全率 $(F_s)_{\min}$ を求める。このようにして求めた $(F_s)_{\min}$ が1.0であり、かつすべり線が実際のすべり面を表わし、図-4 計算結果の1例($n=39, \theta=45^\circ$)ていればこの解析法は正しいことになる。

Step.3…補強材の張力分布とStep.2で求めた $(F_s)_{\min}$ を与える円弧を与えておいて、 $(F_s)_{\min} = 1.0$ にした時の $Q_{\max}$ を計算する。 $Q_{\max}$ が測定値と同じであればこの解析法は正しいことになる。

SLOPE STABILITY ANALYSIS METHOD
(SIMPLE BISHOP METHOD)
AR DRIED TOYURA SAND; $\phi = 48.2^\circ, \gamma = 1.601 \text{ gf/cm}^3$
REINFORCE; $n=39, \theta=45^\circ, L=30 \text{ cm}$

	TEST	BISHOP
$q(\text{kgf/cm}^2)$	0.397	0.437
$R(q/q)$	1.134	1.349
$(F_s)_{\min}$	1.030	1.0

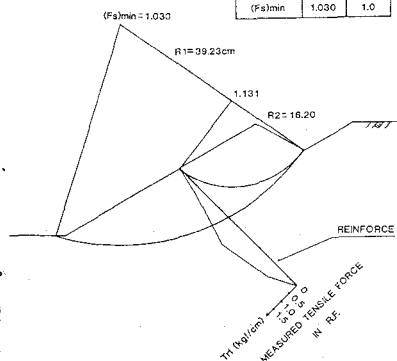


図-4 計算結果の1例($n=39, \theta=45^\circ$)

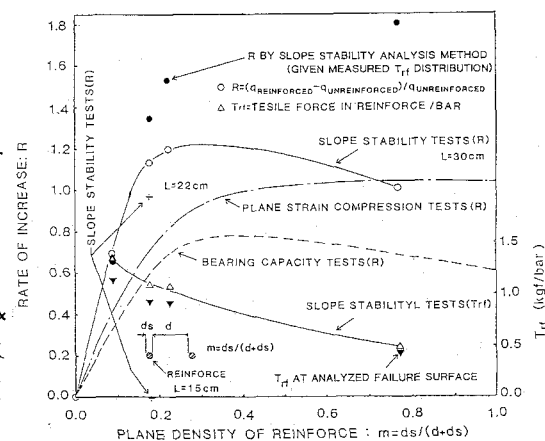


図-5 補強材の平面配置密度と強度増加率、張力

(4) 解析結果

図-4に $n=39$ 本($\theta=45^\circ$)の場合の臨界円と図の表中に実験の $q_{\max}$ ($Q_{\max}$)と $(F_s)_{\min} = 1.0$ とした時の $q_{\max}$ を示す。この場合、両者の差は 0.04 kgf/cm^2 でよく一致している。図-5は n を変えた場合の補強材の平面配置密度 m と強度増加率 R の関係を示す。実験と解析の R の差が最も大きいのは $n=171$ の場合でその差は $q_{\max}$ にし、図-6は補強材の配置方向(図中に示す)と強度の増加率の関係を示す。この場合は $\theta=20^\circ$ 以外は非常によく一致している。 $\theta=20^\circ$ の場合は補強材の上部の補強材を通過しない円弧で $(F_s)_{\min}$ となったため、解析時は $T_{rf} = 0$ である。

(まとめ)何らかの方法で補強材の張力分布を予測できれば、極限つりあい法による斜面安定解析法で斜面の強度をある程度予測することが可能である。(謝辞)一緒に実験を行った日大生産工学部(現日本鋼管工事)の森平啓一氏に感謝の意を表します。(参考文献)(1)鉄筋による斜面の補強模型実験(第2報)、

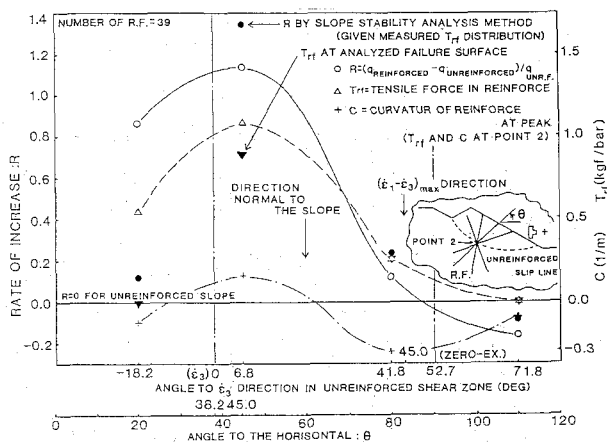


図-6 補強材の挿入方向と強度増加率、張力、曲率

“鉄田、龍風、森平”(2)砂の模型支持力実験における側壁面条件の影響”生原、龍風”以上第19回土質工学研究発表会