

名古屋大学工学部 正会員 川本 桃乃
本州四国連絡橋公団 正会員 吉田 巖
大成建設 正会員 竹田 直樹

1. まえがき 斜面上基礎地盤の支持力は種々の荷重に対する安定解析を通して算定される。一般に基礎地盤の安全率の問題を考えると、地盤のモデル化、荷重状態、地盤内応力の評価、破壊に対する地盤の抵抗強度の評価等が考慮の対象になるが、とくに問題になるのは破壊様式とそれに伴う安全率の算定である。岩盤斜面上の基礎の問題にすることが多くなっているが、この場合、工質斜面の安定解析や工質地盤の支持力算定を拡張して適用される傾向にある。しかし、岩盤の変形や強度特性は内部に含まれる不連続性や、応力状態に応じて新しく発達する不連続面に強く影響を受ける。工質斜面における基礎に対してはすべり面法や剛塑性理論に基づく支持力計算式が適用されるが、岩盤斜面には不適当であることや、岩盤斜面における基礎の破壊状態や支持力計算で仮定されているようなすべり面上のすべり破壊と一致するかどうかなど、多くの未解明な点がある。したがって、本研究では、岩盤斜面上に設置された直接基礎の破壊機構と支持力と有限要素解析によって検討した。

2. モデル化と解析手法 岩盤は岩とクラックからなる構造と考え、岩は弾性材料として取り扱う。

そして岩盤に潜在的なクラックがある場合、応力状態に応じて逐次局部すべり破壊をおこしたところでクラックが発生する場合を考える。岩の破壊規準と応力・ひずみ関係、潜在クラックのすべり破壊規準および応力-相対変位関係として図-1 および図-2に示すものを仮定する。応力状態に応じて破壊面を考慮して解析を進めるために、特別な要素(ジョイントトライアングル要素)を考える。図-3に示すように、一般の三角形要素の中にジョイント要素を組み込める要素である。図中の角度 θ はせん断破壊による場合は、モールの応力円に破壊規準に達したときの破壊面の基準座標のx軸となす角である。引張破壊の場合は最小主応力面への軸となす角度である。ジョイントを含む三角形要素138の剛性方程式と、要素の内部節点と頂点に関する部分に分けて考えると、 $\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_x \\ U_y \end{Bmatrix}$ と表わされる。これより内部節点に関する項を消去すると、 $\{F_s\} = [K_{ss}]\{U_s\}$ 、ここに、 $[K_{ss}] = [K_{ss}] - [K_{sk}][K_{kk}]^{-1}[K_{ks}]$ 。解析過程は次のようである。解析の対象となる岩盤斜面を有限要素に分割し、その際、クラックがあらかじめ存在する場合には、まえもってジョイントトライアングル要素をあてはめておく。そして、岩の性質、クラックの性質に関するデータを入力する。次に、荷重、境界条件を入力して全体剛性方程式をつくり、節点変位および応力を求め、各要素について応力状態と破壊条件と比較し、破壊規準を超える場合には、その要素とジョイントトライアングル要素に置き換え、ある荷重段階においてすべての要素の規準内におさまるように反復計算を繰り返す。

ただし、この計算では簡単のために、先在クラックは最初から降伏しているものとした。

3. 解析結果 傾斜角 45° の岩盤斜面を考える。先在クラックの状態により4つのcaseに分ける。case 1は先在クラックのない場合、case 2はクラックが1個、case 3はクラックが5個、case 4は12個の場合である。計算に用いた岩盤の材料常数は、岩に対して、 $E = 1.5 \times 10^5 \text{ t/cm}^2$ 、 $\nu = 0.33$ 、 $\sigma_c = 2.5$

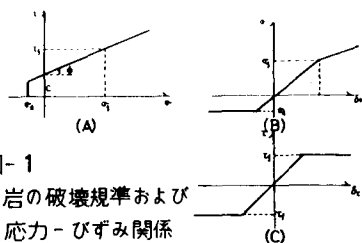


図-1 岩の破壊規準および応力-ひずみ関係

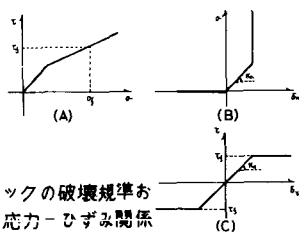


図-2 クラックの破壊規準および応力-ひずみ関係

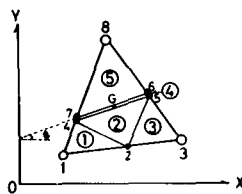


図-3 ジョイントトライアングル要素

t/m^2 , $\sigma_c = 2.0 t/m^2$, $C = 10 t/m^2$, $\phi = 25^\circ$, フラッフに対して, セン断形状については $K_s = 0.1 t/m^2$, $K_n = 10 \times 10^5 t/m^2$, 引張りについては $K_{st} = 0.1 t/m^2$, $K_{nt} = 0.1 t/m^2$. 図-4 に示すように斜面のリ屑から水平地面上に $6m$ にわたって等分布荷重 P が作用する場合を考える. 荷重の増加による代表的な位置での鉛直, 水平変位を図-4 に, フラッフの発生状態と弾塑性解析による降伏領域の発達状況とともに示すと, 図-5 のようである. 図-6 と図-7 は, case 4 の場合の先在ジョイントに対する荷重の相対位置によるフラッフの発達ほう位に変位ベクトルの変化を示している. 石膏模型実験と比較するために, 表-1 に示す材料定数を用いて計算した荷重-変位曲線を示すと図-8 のようである.

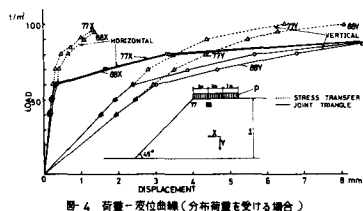


図-4 荷重-変位曲線 (分布荷重を受ける場合)

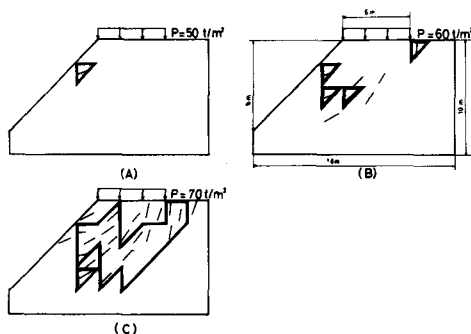


図-5 クラックの発達状況および降伏領域の発達状況

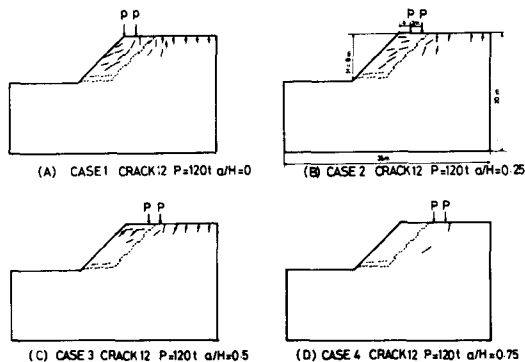


図-6 集中荷重を受ける岩盤斜面のクラックの発達状態 (先在クラックとの関係)

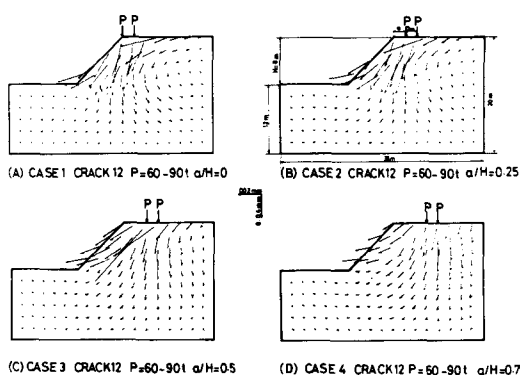


図-7 先在クラックの状態による変位ベクトルの差異 (集中荷重の場合)

表-1 解析に用いた材料定数

E	γ	γ	C	ϕ
18800	0.18	0	15	17°
σ_T	K_{SIT}	K_{NIT}	K_{SR}	K_{NR}
7.99	0.1	10^5	0.1	10^5
K_{ST}	K_{NT}			
0.1	0.1			

σ_T : MAXIMUM TENSION STRESS
IT : INITIAL JOINT
R : AFTER SHEAR FAILURE
T : AFTER TENSION FAILURE
UNIT : kg, cm

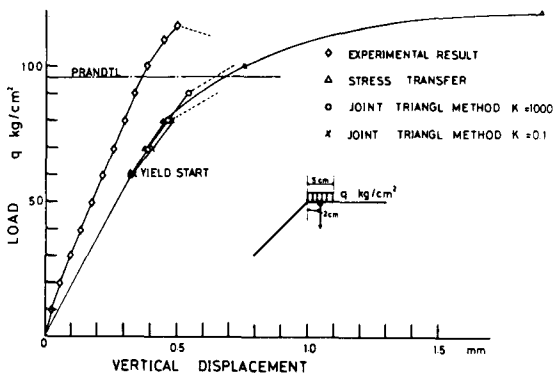


図-8 荷重-変位曲線 解析結果と実験結果の比較)