引き抜き破壊を考慮した補強土地盤の安定解析に関する研究

鳥取大学工学部(正)　　榎　明潔
鳥取大学大学院(学)　○清水　チカラ
広島県庁(正)　　徳澤　政秀

1.緒論

近年、ジオテキスタイルを用いた補強土工法が盛んであり、その解析、設計法も数多く提示されてきている。本研究ではその中の1つの安定解析法「一般化された極限平衡法(GLEM)」[1)]の仕事法に引き抜き破壊の考えを導入し安定解析を行う。また、その結果から敷設する補強材長について提案する。

2.補強材の引張り破壊と引き抜き破壊のメカニズムの違い

図－1の様に補強土の要素を垂直応力σ_0、せん断応力τ_0で直接せん断するときせん断面における真の垂直応力σ_nとせん断応力τ_nは次の様に表される。

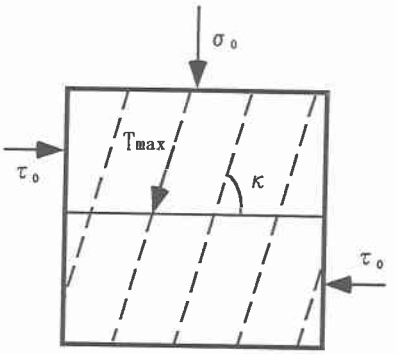
$$\sigma_n = \sigma_0 + nT_{max}\sin\kappa \qquad (1)$$
$$\tau_n = \tau_0 - nT_{max}\cos\kappa$$

ここに、n: すべり面の単位長さあたりの補強材の数、T_{max}: 単位幅当たりの補強材の補強材力、κ: 破壊時に補強材とすべり面のなす角である。また、すべり面における破壊条件式より

$$\tau_n = \sigma_n \tan\phi + c \qquad (2)$$

これら(1)、(2)式からσ_nとτ_nを消去すると

$$\tau_0 = \sigma_0 \tan\phi + \{c + nT_{max}(\sin\kappa\tan\phi + \cos\kappa)\} \qquad (3)$$



図－1　せん断箱

となる。ここで補強材に引張り破壊が起きたとするとT_{max}は一定なので(3)式から、地盤の粘着力が増えた様に見える。ところが補強材が引き抜き破壊を起こしたとすると(3)式のT_{max}は

$$T_{max} = (\sigma_m \tan\delta + a_d)\cdot A \qquad (4)$$

(ここに、σ_m: 破壊時の補強材に働くの垂直応力、δ: 補強材と土の外部摩擦角、a_d: 補強材と土の付着力である。)となる。さらにσ_mは、$\sigma_m = b\sigma_n$（ただし、b: 水平方向と補強材の傾きの余弦とする。）であると考えると

$$T_{max} = (b\sigma_{n0}\tan\delta + a_d)A \qquad (5)$$

となり、これを(3)式に代入すると

$$\tau_0 = \sigma_0\left\{\tan\phi + nAb\tan\delta\frac{\cos(\kappa-\phi)}{\cos\phi}\right\} + \left\{c + nAa_d\frac{\cos(\kappa-\phi)}{\cos\phi}\right\} \qquad (6)$$

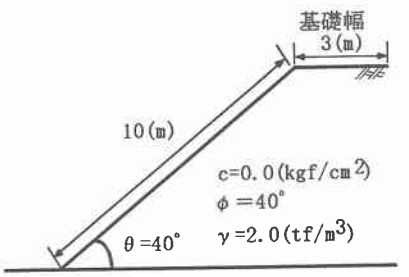
という形に変形できる。この式は補強材に引き抜き破壊が起きたとすると内部摩擦角ϕと粘着力cの両方が増えたように見えることを示す。

3.解析手順

本研究では斜面形状(図－2)を固定し、その幾何形状で図－3に示す手順で解析を行った。

①補強土地盤を異方性のc，ϕ地盤と見なし最適化する。
補強材が全て引張り破壊をしたと考え地盤が新たな異方性のc、ϕ地盤に置き換わったとし最適化するものである。

②補強材が全て引張り破壊をしたと考え最適化する。
ここでは全ての補強材が引き抜き破壊を起こさないように、補強材を最小安全率を与えるすべり面と法面との距離に比べて補強材を充分に長く敷設する必要がある。これを考慮してこの②では、最小すべり面を与えるすべり面とすべての補強材が確実に交点を持つようにするため、補強材長を基礎幅の10倍の30mとして敷設して最適化を行った。



図－2　解析した斜面

③すべり面を②で求めたものに固定し補強材の引き抜き強度と引張り強度が等しくなるような補強材長dを求めて、その長さで補強材を敷設してみる。ここでは引き抜き強度に直接関係するのはすべり面より奥

の補強材の上の土の重量であると考えて、

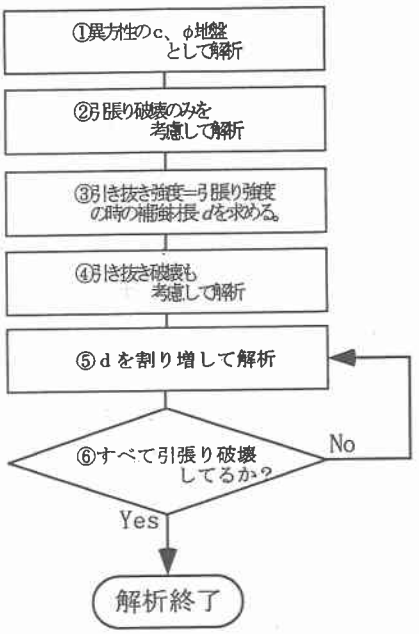
$$b \cdot W = \sigma_m \cdot A \qquad (7)$$

とした。(ただし、b：水平方向と補強材の傾きの余弦、W: すべり面より奥の補強材の上の土の重量、σ_m：破壊面における補強材の垂直応力、A: すべり面より奥の補強材の面積である。)

④③の補強斜面について引き抜き破壊と引張り破壊の両方を考慮して最適化する。

ここでどちらの破壊が起こるのかは、その補強材の引張り強度と引き抜き強度の小さい一方であるとし、他方はそのとき関係しないとした。それを一本ずつ判別し最適化した。

⑤補強材長を少しずつ伸ばしていく。すると全ての補強材が引っ張り破壊をするようになる。つまり、②で求めた最小支持力と等しくなったときの補強材長を求める。



図－3　解析手順のフロー

4.解析結果および考察

それぞれの補強材の引き抜き強度と引張り強度が等しくなるように補強材を敷設して最適化すると図－4の様にすべり面が無補強材領域や引き抜き破壊を起こす領域に移動してしまう。それにより支持力が著しく低減してしまい、支持力が無補強時と変わらなくなってしまう。そこでこの引き抜き強度と引張り強度の等しい補強材長dを基準に取りそれをどのくらい割り増したら補強材が極限平衡状態で引張り破壊を起こし、補強材を十分に長くしたときと同じ支持力を得られるかを図－2の斜面で単位深さ当たりの補強材の引張り強度(補強材の引張り強度／補強材の敷設間隔(dv))を変えないようにして、補強材の敷設間隔を変えて解析した結果を図－5に示した。これによると補強材の敷設間隔 dv を小さくしても単純に支持力は上がらないことが分かる。これは補強材が位置によって有効に作用したり、作用しなかったりするからであると考えられる。

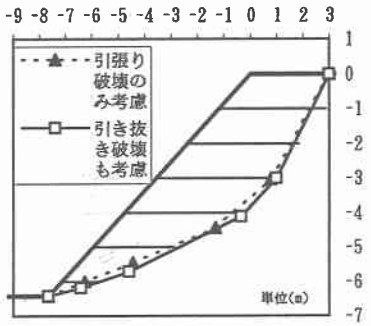
また問題点として次の3点があげられる。

①最適化するときの初期すべり面を補強材の端の近辺にしているので、極小の支持力であって、最小の支持力ではない可能性がある。

②引き抜き強度が補強材の上の土の重量と強度定数にのみ関係があるとしている。

③補強材にかかる力の偏りを考えていない。

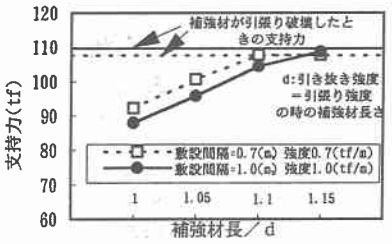
このような点を改善する必要があると思われる。



図－4引き抜きをしてしまう例

5.結論

この補強材の引き抜き破壊を導入した GLEM を利用して解析を行えば、改良するべき点はあるが、最適な補強材の敷設長さの近似解を求められる。



図－5　支持力

参考文献

1)Enoki,M.el al:Generalized Limit Equiliburium Method and Its Relation to Limit Analysis Method,.S&F, Vol.31,NO2,pp.1-13.　2)土木学会第50回年次学術講演会　Ⅲ－787　補強土斜面の安定解析　榎　明潔、徳澤　政秀.　3)土木学会第49回年次学術講演会　Ⅲ－848　補強土地盤上の基礎の安定解析法　榎　明潔、二木　幹夫、佐伯　忠史.