

補強土構造物の安定解析への速度場法の適用

熊本大学工学部 正 ○楊 俊傑 九州大学工学部 正 落合英俊
九州大学工学部 正 林 重徳 熊本大学工学部 正 鈴木敦巳

1. まえがき 極限解析法の一つである速度場法は、極限釣合法と同様に合理的な破壊メカニズムを設定できれば、実務でも比較利用され易く、補強土構造物の安定解析の有力な手法になり得る。本文では、速度場法を補強土構造物の安定解析に適用する場合の考え方を提案する。

2. 速度場法を補強土構造物の安定解析に適用する場合の考え方 速度場法は、外力と仮想変位によってなされる外力仕事と、内力と内部ひずみによってなされる内力仕事を等値して、外力を求める仕事法である。すべり面における内部仕事(内部消散) E_s は材料の構成式と変位の適合条件によって得られる次式で算定される¹⁾。 $E_s = c_s V \cos \phi_s L_s \cdots \cdots (1)$ ここに、 L_s はすべり面の長さ、 V はそのすべり面に沿う速度成分、 c_s 、 ϕ_s は土の粘着力と内部摩擦角である。補強材を用いた補強土工法は、土の内部摩擦角 ϕ_s を向上させずに、補強材に生じた力によってすべりに抵抗するものとして評価できるものである。したがって、この補強材力を付加される力としてすべり面に作用するものと見なして、補強材を含んだすべり面における補強材力による内部仕事を全内部仕事に付加すれば、補強した場合の外力を速度場法で求めることができる。

図-1 は補強盛土ののり肩部に帯状荷重が作用し、補強盛土が崩壊する場合に、生じるすべり面と補強材の相対位置を想定するものである。図-1 に示すような、① G_R のように補強材を横切るすべり面、② H_R のように補強材上面のすべり面において内部消散の計算方法を確立すれば、速度場法は補強土構造物の安定解析に適用できるものである。補強材を横切るすべり面(G_R)では、図-2 (単位長さのすべり面を考える)に示すように、補強材力

F_T をすべり面方向の成分 $F_T \sin \theta'$ とすべり面に垂直な方向の成分 $F_T \cos \theta'$ に分けて考えられる。そこで、すべり面方向の成分 $F_T \sin \theta'$ がすべりに対する直接抵抗力になる。一方、すべり面に垂直な方向の成分 $F_T \cos \theta'$ はすべり面に作用する直応力を増加させることによって土のせん断抵抗力($F_T \cos \theta' \tan \phi$)が増加する。式(1)からも分かるように速度場法では直応力 σ とせん断応力 τ を求める必要がない。したがって、土だけの粘着力 c_s と、すべり面に平行する補強材力の成分 $F_T \sin \theta'$ (見かけの粘

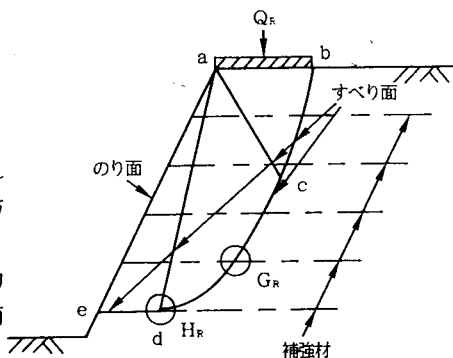


図-1 補強材とすべり面の相対位置

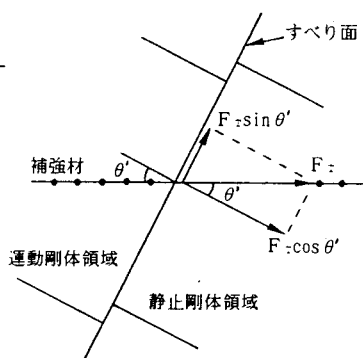


図-2 図-1中の G_R のようなすべり面と交差する場合の補強材の効果とその評価

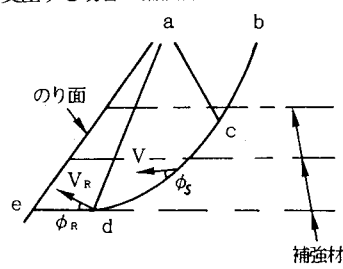
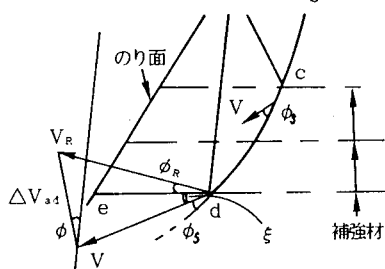


図-3 図-1中の H_R のような補強材上面のすべり面 de に沿う速度成分 V_R の決定
既知: V , ϕ_s , ϕ_R , ξ (すべり面 cd の形状次第)
未知: V_R , $\Delta V_{s,d}$
(a) すべり面 cd と de が滑らかに接しない場合
(b) すべり面 cd と de が滑らかに接する場合
 $\phi_R = \phi_s$
 $V_R = V$

力 c_T と置く)を用いて補強材を横切るすべり面での内部消散 E_{R1} が計算される²⁾³⁾。

$E_{R1} = (c_s + c_T) \times V \cos \phi_s L = c_s \times V \cos \phi_s L + c_T \times V \cos \phi_s L = E_s + E_T \dots \dots (2)$ ここに、 E_s と E_T はすべり面においてそれぞれ土だけと補強材だけの消費するエネルギー、 V はすべり面に沿う速度成分、 L はすべり面の長さである。次に、図-1に示すような、補強材上面で生じたすべり面 $d e$ での内部消散を考える。すべり面 $c d$ と $d e$ が d 点で滑らかに接しないと考えた場合(すべり面 $c d$ と $d e$ が全く別の二つのすべり面)には、図-3(a)に示すように、すべり面 $a d$ に関するホトグラフを作成して、すべり面 $a d$ に沿う速度の不連続値 ΔV_{ad} とすべり面 $d e$ に沿う速度の成分 V_R を決定する。さらに、補強材と土の一面せん断試験結果より、その見かけの内部摩擦角、粘着力を ϕ_R 、 c_R と求めて、クーロンの破壊基準式が成立するとする⁴⁾。そこで、すべり面 $d e$ に沿う内部消散 E_{R2} は次式で算定できるものとする。

$E_{R2} = (c_R + c_{T2}) \times V_R \cos \phi_R L_{de} \dots \dots (3)$ ここに、 c_{T2} は、補強材に張力が生じた場合、張力がすべり面と平行するので、その張力となり、張力が生じない場合、ゼロとなる。一方、図-3(b)に示すように、すべり面 $c d$ が滑らかに d 点を通過すると考えた場合(すべり面 $d e$ と $c d$ が同一のすべり面)には、すべり面 $d e$ がすべり面 $c d$ の延長で、土中で発生すると考えて、土の強度定数(c_s 、 ϕ_s)を用いて内部消散を算定する(式(1))。すべり面における補強材力の発生し方(受働、主働)や種類(引張り、圧縮、せん断)等によらず、上述のような考え方を適用し、補強土崩壊時ですべり面に平行する補強材力の成分さえ用いれば、無補強の場合の計算方法に従い速度場法を各種の補強土構造物⁵⁾の安定解析に適用できる。

3. 速度場法による上界値計算の精度について 速度場法を用いて比較的簡単に精度の良い解を求めるために二つの方法がある。一つは速度場法から得られた解はどれほど正解値に近いかは仮定された破壊メカニズムはいかに現実の物理現象を表現しているかにかかっているため、現場における観測例や室内実験の結果により合理的な破壊メカニズムを設定する方法である¹⁾。もう一つの方法は、変数(X とする)を含む破壊メカニズムを仮定し、解析して得られた解(外力)をその変数 X で微分することによって、仮定された破壊メカニズムの中で正解に最も近い解を求めるものである¹⁾。すなわち、変数 X を含む解 Y が式(4)のように得られるとする。 $Y = f_1(X) \dots \dots (4)$ この式を X で微分し、 $\partial Y / \partial X = 0 \dots \dots (5)$ の条件から X を求める。この X を式(4)に代入すれば、仮定された破壊メカニズムの中で最も正解値に近い解 Y が得られる。しかし、補強の場合には、式(5)の条件から求められた X は数値ではなく、補強材力 F の関数であることが明かである。 $X = f_2(F) \dots \dots (6)$ ここでは、補強材力 F はまた、式(7)のように補強材の性状、敷設方法、敷設層数および土中における状態などに支配されるものである。 $F = f_3(\text{補強材の性状, 敷設方法, 敷設層数, 土中における状態} \dots \dots) \dots \dots (7)$ 補強材力 F の具体的な関数形式(7)がある方法で(例えば、模型実験)定められれば、この F を正解値に近い解を得るための式(6)に代入し、さらに、式(6)を式(4)に代入すれば、補強材の性状、敷設方法、敷設層数、土中における状態などの条件を含んだ汎用の、正解値に最も近い上界値の式が得られる。もし、補強材力 F の具体的な関数形式(7)が定められなければ、正解値に最も近い解は、ある与えられた問題(補強材やその敷設方法等)しか得られないものである。この場合、式(4)を用いて作図して外力 Y の最小値(または最大値)を求める。

4. おわりに 本文で提案した考え方を用いて、速度場法で各種の補強土構造物の安定解析を行うことができるが、従来の設計法に用いられた解析方法と、適用性、簡便さ、利用されやすさ、解の精度等の面から、検討した上で速度場法を利用すべきであると考えている。

参考文献

- 1) 木村・日下部：土の強さと地盤の破壊入門，土質工学会，pp. 273～312, 1987. 7.
- 2) 楊ら：土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，第Ⅲ部，pp. 1182～1183, 1993. 9.
- 3) 楊ら：第8回ジオテキスタイルシンポジウム論文集，pp. 8～17, 1993. 12.
- 4) ジオグリッド研究会：「ジオグリッド工法」ガイドライン，第1分冊，pp. 129～132, 1990. 7.
- 5) 土質工学会編：補強土工法，土質基礎工学ライブラリー29，1986.