

III-564

速度場法による補強土構造物の安定解析について

熊本大学工学部 正〇楊 俊傑

九州大学工学部 正 落合英俊

" 正 林 重徳

1. まえがき 極限約合法は簡便であるため補強土構造物の安定解析手法の一つとして広く用いられているが、この方法から得られた解の性格は仮定された破壊メカニズムによって変わる欠点がある。速度場法は極限解析法の一つであり、正解値との位置づけ(正解値を下回らず上界値を与える)が分かること、また、合理的な破壊メカニズムを設定できれば、実務でも比較の利用されやすいことから、支持力問題、土圧問題、斜面安定問題によく用いられている¹⁾²⁾。速度場法は補強土構造物の安定解析に適用できれば有力な手法になり得る。本文は速度場法を用いた補強土構造物の安定解析の新しい手法を提示する。

2. 速度場法による補強土構造物の安定解析の考え方 速度場法は可容速度場(破壊メカニズム)に基づいて全外力仕事と全内部消散を計算し、次のように両者を等値して境界外力を求める極限解析法である。すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{全外力仕事(境界外力による仕事+土塊自重による仕事)} \\ & = \text{全内部消散(各すべり面に沿う内部消散の代数和)} \end{aligned} \quad (1)$$

速度場法を補強土構造物の安定解析に適用する場合の最大のポイントは、補強材が発揮する補強効果をいかに的確かつ簡便に評価できるかにある。ここでは、この効果を次のように想定するすべり面における内部消散に組み入れることによって評価する。

図-1に示すように、せん断面を横切る形で補強材を配置すると、すべり面では付加的なせん断応力が生じる。この付加されたせん断応力は、Jewellの方法を利用して次のように考えられる³⁾⁴⁾。

$$\begin{aligned} \Delta \tau_T &= \frac{P_R}{A} \cos \theta' \cdot \tan \phi + \frac{P_R}{A} \sin \theta' \\ &= \Delta \sigma_T \cdot \tan \phi + c_T \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 P_R はせん断面の位置で補強材に発生した引張力、 A はせん断面の面積、 θ' は補強材とせん断面のなす角度であり、 $\Delta \sigma_T = (P_R/A) \cos \theta'$ 、 $c_T = (P_R/A) \sin \theta'$ である。

右辺第一項は補強材力によるせん断面上の鉛直応力の増加に起因した土のせん断抵抗増分を、第二項は補強材力自身によるせん断抵抗の増分を表している。

式(2)からも分かるように、土自身の変形・強度特性(c や ϕ 等)を向上させる化学的地盤改良工法等と違って、補強土工法はせん断面に作用する直応力の増加による土のせん断抵抗の増加と補強材力の分力による見かけの粘着力の増加として評価できるものである。したがって、運動する剛体ブロックの速度は、補強材を敷設した場合においても、敷設しない場合と同じく、静止域に対して ϕ だけの傾きを持つものと考えることができる。また、補強によるせん断抵抗増分の表示式(2)は土のせん断抵抗式と同型であるので、補強材による内部消散も無補強の土だけの場合と同様に表示できよう。すなわち、補強材敷設による内部消散は、すべり面に発現する補強材による見かけの粘着力(c_T)を用いて次式のように算定される。

$$\text{内部消散} = (c_T) \times (\text{速度の不連続値}) \times (\text{速度の不連続線の長さ}) \quad (3)$$

上述のように、速度場法を補強土構造物の安定解析に適用する場合、式(1)の右辺において、補強材による

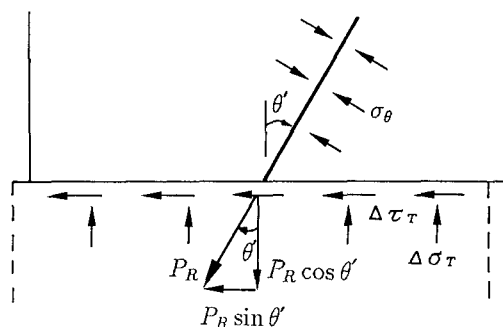


図-1 一面せん断の概念図(Jewell 1987)

内部消散を全内部消散に付加するという簡単な操作によって、速度場法で補強土構造物の安定解析を行うことができる。

3. 主働土圧軽減の計算例 補強の場合の破壊メカニズムを設定できれば、上述の考え方を用いて、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。ここでは、補強材を敷設することによる主働土圧の軽減を計算することによって、速度場法の補強土構造物の安定解析への適用を試みる。

まず、無補強の場合を考える。図-2に示すような擁壁面が鉛直でかつ滑らかであり、擁壁背後の地表面が水平な場合での主働土圧について、木村・日下部¹⁾は一本の直線すべり場を用いた破壊メカニズムに基づいて、すべり面と壁のなす角 β を変数として次式のように主働土圧の下界値を求めている。

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot \tan \beta \tan \left(\frac{\pi}{2} - \beta - \phi \right) - \frac{c H \cos \phi}{\cos \beta \cos (\pi/2 - \beta - \phi)} \quad (4)$$

上式を β で微分し、 $\frac{\partial P_a}{\partial \beta} = 0$ の条件から $\beta = \pi/4 - \phi/2$ が求まり、これを式(4)に代入すれば仮定された直線すべり面の破壊メカニズムの中で最も大きい主働土圧が

$$P_{au} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) - 2cH \cdot \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (5)$$

と求まる。

図-2に示すような擁壁の裏に補強材を水平に n 層敷設した場合(図-3)、すべり面の形が変わると考えられるが、ここでは、補強材を敷設することによって無補強の場合に比べて土圧がどれくらい軽減されているか計算して見たいので、補強の場合は無補強の場合と同じすべり面($\beta = \pi/4 - \phi/2$)を仮定する。

図-3に示すように、すべり面の位置で第 i 層の補強材による見かけの粘着力 c_{Ti} は次式のようになる。

$$c_{Ti} = F_{Ti} \frac{\cos(\pi/4 + \phi/2)}{H/\cos(\pi/4 - \phi/2)} \quad (6)$$

式(3)に、上式の c_{Ti} 、速度の不連続値($V_0 \cos \phi$)および速度の不連続線の長さ($H/\cos(\pi/4 - \phi/2)$)を代入して第 i 層の補強材による内部消散が得られる。

$$E_{Ti} = F_{Ti} V_0 \cos \phi \cos(\pi/4 + \phi/2) \quad (7)$$

ここに、 F_{Ti} はすべり面の位置で第 i 層の補強材に生じた引張り力である。

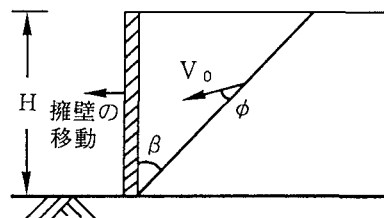


図-2 主働土圧を求める直線すべり面
(木村・日下部 1987)

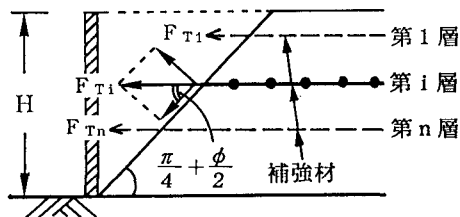


図-3 補強材敷設による内部消散の計算図

n 層敷設した場合には、補強材による全内部消散は各層のその代数和である。

$$E_T = \sum E_{Ti} = V_0 \cos \phi \cos(\pi/4 + \phi/2) \cdot \sum F_{Ti} \quad (8)$$

式(1)の右辺に補強材敷設による内部消散 E_T を付加して整理すれば、軽減された土圧が簡単に求められる。

$$\Delta P_T = P_{au} - P_{ar} = \cos \phi \cdot \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \sum F_{Ti} \quad (9)$$

ここに、 P_{ar} は補強の場合の主働土圧($\beta = \pi/4 - \phi/2$ 時)である。

4. あとがき 速度場法は各種の補強土構造物の安定解析問題に簡単に適用できる。ただし、無補強の場合と同じく速度場法を適用する際にも、対象とする補強土構造物の破壊メカニズムを合理的に設定するのが肝要である。謝辞：本研究を遂行するに当たって、ご指導頂いた熊本大学工学部の鈴木先生および北園先生に深甚の謝意を表します。

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) 前田：斜面上の直接基礎の支持力評価に関する研究，九州大学学位論文，1991. 3) Jewell, R.A. and

Wroth, C.P.: Direct shear tests on reinforced sand, Geotechnique, Vol. 37, No. 1, pp. 53～68, 1987.

4) 龍岡：文献抄録，補強した砂の直接せん断試験，土と基礎，Vol. 36, No. 1, pp. 92～95, 1988.