

鹿児島大学大学院理工学研究科 学生会員 川村 宗範  
 鹿児島大学大学院理工学研究科 正会員 酒匂 一成  
 鹿児島大学 正会員 北村 良介

1. まえがき

北村らは、土粒子の形状・大きさの不規則性を考慮し、確率・統計を援用した不飽和土質力学の体系化を試みている<sup>1), 2)</sup>。本論文では、確率・統計を援用した不飽和土質力学で用いられている粒子間力度の概要を示し、地盤工学的問題の一つである土圧問題への適用法を提案する。また、その手法を用いた計算結果とランキン土圧の計算結果の比較を行う。

2. 北村らによる確率・統計を援用した不飽和土質力学の概要

図-1 は、接点角  $\beta_1$  と接平面の法線の関係を示す。また、図-2 は、接平面と粒子間力度（単位面積当たりの粒子間力の合力）を示す。粒子間力度は、接平面上の接点での粒子間力の単位面積当たりの総和（合力）とする。

北村らによる確率・統計を援用した不飽和土質力学では、次式に示す粒子接点に働く単位面積当たりの合力である粒子間力度を使用する。

$$\vec{F}_{\beta_1} = \vec{F}_{matr, \beta_1} + \vec{F}_{grav, \beta_1} \quad (1)$$

ここに、

$\vec{F}_{\beta_1}$  : 接点角  $\beta_1$  における接平面での粒子間力度、

$\vec{F}_{\beta_1, matr}$  : 接点角  $\beta_1$  における接平面での表面張力による粒子間力度、

$\vec{F}_{\beta_1, grav}$  : 接点角  $\beta_1$  における接平面での自重による粒子間力度。

図-2 より、接線成分と法線成分の粒子間力度は、式(2), (3)に示される。

$$\vec{F}_{\beta_1, T} = \vec{F}_{grav, \beta_1, T} \quad (2)$$

$$\vec{F}_{\beta_1, N} = \vec{F}_{matr, \beta_1} + \vec{F}_{grav, \beta_1, N} \quad (3)$$

図-3 は、粒子間力度がすべりの条件を満足したとき

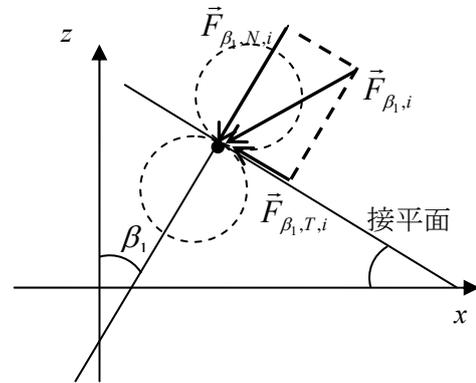


図-1 粒子間力  
 粒子間力の合力

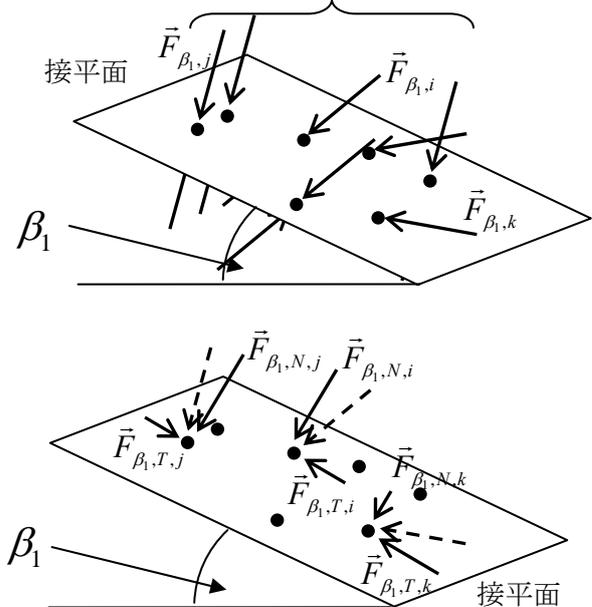


図-2 接平面と粒子間力・粒子間力度

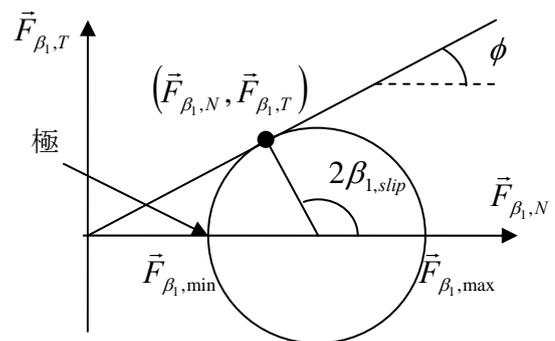


図-3 破壊時のモールの応力円

のモールの円を示す。このとき、潜在すべり面の角度  $\phi_{ps}$  は、以下の式により定義することができる。

$$\tan\phi_{ps} = \tan(2\beta_{1,slip} - \pi/2) = \max(\vec{F}_{\beta_1,T} / \vec{F}_{\beta_1,N}) \quad (4)$$

ここに、 $\beta_{1,slip}$  : 潜在すべり面の角度。

### 3. 不飽和土の土圧の計算過程

まず、土圧の計算を行うに当たり、 $\beta_1=0$  の接平面 (図-4 における水平面) に垂直に作用する粒子間力度を計算する。今回、乾燥土に関する土圧を計算するが、この場合、 $\beta_1=0$  の接平面に作用する法線方向の粒子間力度は、次式に示すように従来の土質力学の鉛直応力と同等になる。

$$\vec{F}_{\beta_1=0,N} = \vec{F}_{grav,\beta_1=0} = \rho_d g h_{up} = \frac{\rho_s}{1+e} g h_{up} \quad (5)$$

ここに、 $\rho_d$  : 乾燥密度、 $e$  : 間隙比、 $\rho_s$  : 土粒子密度、 $g$  : 重力加速度、 $h_{up}$  : 土被り厚さ。

$$\vec{F}_{\beta_1,T} = (\vec{F}_{\beta_1=0,N} - \vec{F}_{\beta_1=90,N}) / 2 \cdot \sin 2\beta_1 \quad (6)$$

$$\vec{F}_{\beta_1,N} = (\vec{F}_{\beta_1=0,N} + \vec{F}_{\beta_1=90,N}) / 2 + (\vec{F}_{\beta_1=0,N} - \vec{F}_{\beta_1=90,N}) / 2 \cos 2\beta_1 \quad (7)$$

ここで、式(4)を満足するような壁面に作用する粒子間力度  $\vec{F}_{\beta_1=90,N}$  を求めることで、土圧が求められる。この過程は、従来のランキン土圧と同じものである。本論文で提案する手法の最大の特徴は、法線成分の粒子間力度を計算する際に、不飽和土中の含水状態に起因する表面張力による粒子間力度を考慮することが可能となることである。

### 4. 不飽和土の土圧計算結果

ここでは、乾燥土に関する土圧計算を行い、ランキン土圧の計算結果との比較を行う。

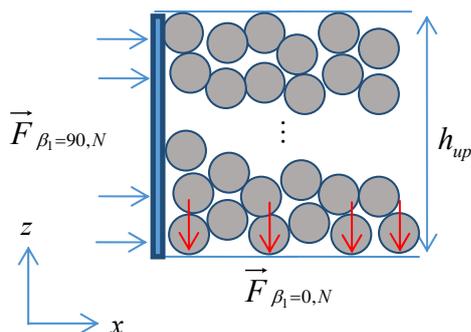


図-4 土圧に対応する粒子間力度

表-1 計算に用いる土の性質を示す諸量

土粒子密度	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.57
乾燥密度	$\rho_d$	g/cm <sup>3</sup>	1.07
間隙比	$e$	-	1.40
内部摩擦角	$\phi$	deg.	35

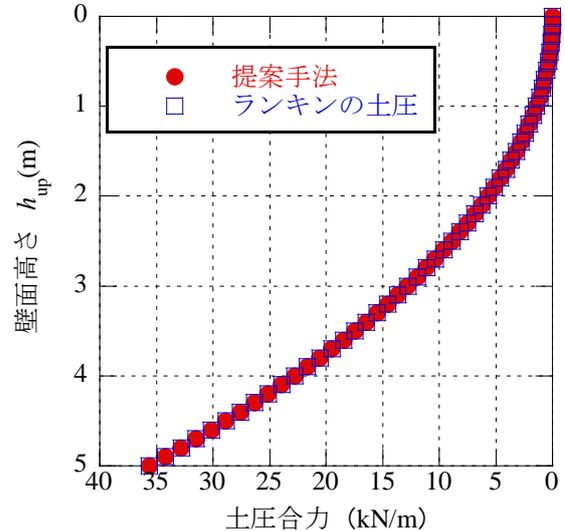


図-5 計算結果の比較

表-1 に計算に用いる入力パラメータを示す。不飽和状態を考慮するには、表面張力や粒度が必要となる。図-5 は、ランキン土圧と提案手法の計算結果の比較である。図より、乾燥土を想定した場合、その土圧合力は同じ値を示している。

### 5. おわりに

本提案手法では、不飽和土中の水分状態を考慮した土圧計算ができることである。本論文では、計算手法の概要を示すと同時に、乾燥土を想定した場合は、ランキン土圧と同等な結果が得られることを示した。今後は、間隙内に水分がある場合の影響も考慮した計算結果を示し、従来の手法との計算結果の違いや妥当性について検証していきたい。

謝辞：本研究は、科研費 (若手 A) (24686056、酒匂) の支援を受けた。ここに、謝意を示す。

### 参考文献

- 1) 北村良介、酒匂一成、荒木功平、宮本裕二：確率・統計を援用した不飽和土質力学の体系化、土木学会論文集 C、Vol.66, No.3, pp.498-515, 2010.
- 2) 北村良介、稲垣祐輔、小田川隼祐、山田満秀：確率・統計を援用した不飽和土質力学について (その 5 : 表面張力・自重による粒子間力・粒子間応力)、第 46 回地盤工学研究発表会、pp.711-712、2010.