

III-426

DEMにおける粒子間の強度定数と巨視的強度定数の関係について

(株)奥村組 正会員 浅野 剛

埼玉大学 正会員 岩下和義

1. はじめに

個別要素法が粒状体解析に対し定量的にも有効なツールであることは、アルミ棒あるいはアクリル棒を用いたせん断試験のシミュレーションにより明らかにされている^{1),2)}。しかしながら、実地盤への適用という観点から考えた場合、粒子の大きさ、配列、形状の再現の難しさから定量的な評価が可能であるとは言えないのが現状である。本研究は、個別要素法により二軸圧縮試験および擁壁に作用する土圧の解析を行ない、巨視的な強度と個別要素法において用いるパラメータの関係を明確にし、実地盤における定量的評価のための基礎的なデータを得ることを目的としている。

2. 要素間の粘着力を考慮しない場合

要素間の粘着力を考慮しない二軸圧縮試験の解析ケースを表-1に、初期要素配列を図-1に示す。解析は要素接平面の法線方向と最大主応力方向がなす角 θ_a 、拘束圧 σ_3 、要素間摩擦角 ϕ_p をパラメータとしており要素間粘着力 c_p はいずれのケースも 0 kgf/cm^2 としている。解析は供試体の側方より σ_3 を作用させた後、供試体上面の一系列の要素を一定速度で下方に移動させることにより実施した。図-2に σ_3 、 θ_a および ϕ_p を変化させた場合のピーク荷重時の巨視的摩擦角 $\phi_{\max}$ 、要素配列から定まるすべり面（配列すべり面）をはさむ要素間の平均実働摩擦角 ϕ_μ および平均噛み合せ角 ϕ_b を示す。 ϕ_μ と ϕ_b の和が配列すべり面上での全摩擦角 ϕ_s となるが、滑動面³⁾と配列すべり面が異なる場合には $\phi_{\max}$ と ϕ_s は一致しない。滑動面の方向と要素配列から定まるすべり面の方向とのズレ角 $\Delta\theta$ と $\phi_{\max}$ と ϕ_s との差 $\Delta\phi$ の関係はモールの応力円を考慮することにより図-3に示すように決定できる。図-3には解析結果も併記しているが、 $\Delta\theta=10^\circ$ 程度であれば $\Delta\phi=1\sim3^\circ$ であり $\phi_{\max} \approx \phi_s$ となることがわかる。 σ_3 の $\phi_{\max}$ に対する影響は比較的大きく $\sigma_3=0.5\sim4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で 20° 程度変動するが、 σ_3 が小さいほど $\phi_{\max}$ は大きくなっており定性的な傾向としては実際の現象と一致していると言える。ピーク荷重が大きくなるほどピーク時の供試体の変形が進行するため ϕ_b は小さくなる傾向が見られるが、 $\phi_p < 30^\circ$ の場合には ϕ_b の変動は小さい。 θ_a は

表-1 二軸試験解析ケース

	θ_a (度)	ϕ_p (度)	σ_3 (kgf/cm ²)
CASE1 ϕ	30	40	0.5
CASE2 ϕ	30	40	1.0
CASE3 ϕ	30	40	2.0
CASE4 ϕ	30	40	4.0
CASE5 ϕ	35	40	1.0
CASE6 ϕ	40	40	1.0
CASE7 ϕ	30	0	1.0
CASE8 ϕ	30	15	1.0
CASE9 ϕ	30	30	1.0

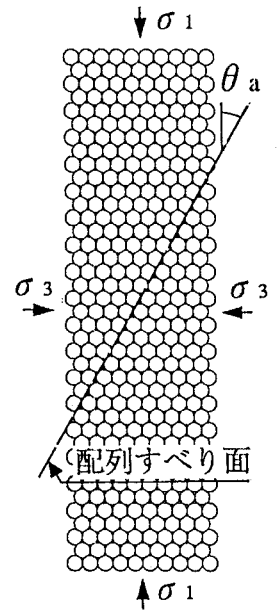


図-1 初期要素配列

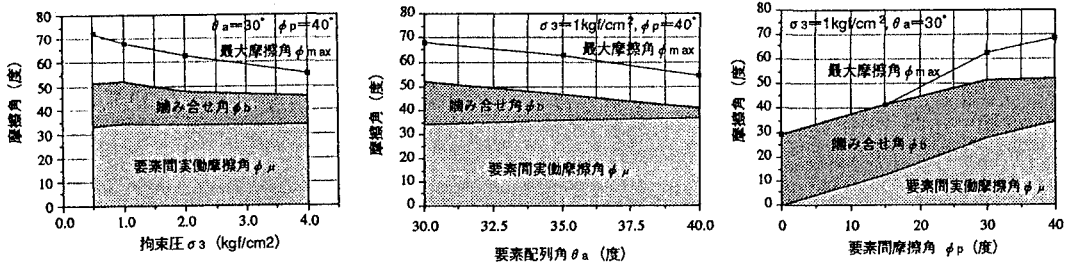


図-2 二軸圧縮試験の解析により得られた摩擦角

ϕb に直接に影響し θa の変化量は ϕmax の変化量にはほぼ一致している。また $\phi \mu$ は ϕp により決定され、 $\phi p \leq 20^\circ$ の場合には $\phi max = \phi \mu + \phi b \div \phi p + (90^\circ - 2\theta a)$ となり、解析条件である ϕp および θa より ϕmax の値を予測することができる。 $\phi p > 20^\circ$ の場合にも結果的に $\phi max \div \phi p + (90^\circ - 2\theta a)$ となっているが、これは ϕmax の増加にともない滑動面の勾配が立ってくるため $\Delta \theta$ および $\Delta \phi$ が大きくなることに起因するものである。

3. 要素間の粘着力を考慮する場合

解析ケースを表-2に示す。解析は θa 、 $\sigma 3$ 、 $c p$ をパラメータとしており、 ϕp はいずれも 0° としている。拘束圧が異なる5ケースのピーク荷重時の応力円を図-4に示す。図-4では $\phi max = 23^\circ$ となっており、 ϕb とはほぼ一致している。また巨視的粘着力 $c max$ も $c p$ にはほぼ一致しており、図-5に示すようにCASE 6 c、7 c、8 c、9 cにおいても $\phi max = \phi b$ として得られる $c max$ は $c p$ に一致している。これは $\phi \mu = 0^\circ$ であることから $\phi s = \phi b$ となり、 $\phi \mu \neq 0^\circ$ の場合に比べて $\Delta \theta$ が小さくなるため、 $\phi max \div \phi s$ となることに起因するものである。本文で用いた要素配列に対しては、 $\phi p = 0^\circ$ とした場合の解析では $\phi max \div \phi b$ と考えることができる。

4. 擁壁に作用する土圧の計算

図-6に示す解析モデルを用い、表-3に示すケースについて擁壁に作用する受働土圧の計算を行なった。表-3には二軸圧縮試験結果に基づく ϕmax も併記している。解析は擁壁を一定速度で移動させることにより実施し、土圧は擁壁を停止し要素の運動が収束した時点で計算した。図-7に解析結果を示す。図-7には二軸圧縮試験の解析より得られた ϕmax 、より算出されるRankineの主働土圧を併記しているが解析結果とはほぼ一致していることがわかる。

5. おわりに

DEMにおける粒子間の強度定数と巨視的強度定数の関係を明確にし、その関係を用いることにより擁壁に作用する主働土圧の算定が可能であることを示した。しかし、本文における計算例は限定されたケースであり、今後より多くのケースについての解析が必要と思われる。

【参考文献】 1) 中瀬他：平面ひずみ試験に対する個別要素法の適用、土木学会論文集、No 454/III-20、1992 2) 松岡他：個別要素法による粒状体のせん断機構の微視的考察、第28回土質工学研究発表会、1993 3) 土質工学会編：粒状体の力学、pp 95～103、1993

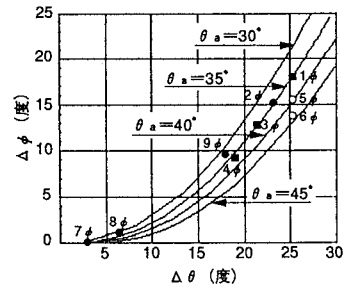


図-3 $\Delta \theta$ と $\Delta \phi$ の関係

表-2 二軸試験解析ケース

	θa (度)	$c p$ (kgf/cm ²)	$\sigma 3$ (kgf/cm ²)
CASE1 c	3 0	5.0	0.0
CASE2 c	3 0	5.0	0.5
CASE3 c	3 0	5.0	1.0
CASE4 c	3 0	5.0	2.0
CASE5 c	3 0	5.0	4.0
CASE6 c	3 5	5.0	1.0
CASE7 c	4 0	5.0	1.0
CASE8 c	3 0	1.0	1.0
CASE9 c	3 0	1 0.0	1.0

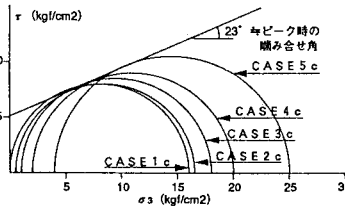


図-4 二軸圧縮試験の解析結果
($\sigma 3$ が異なる場合)

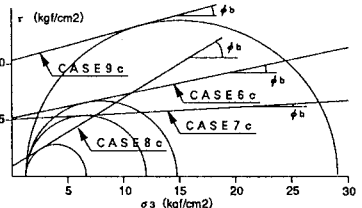


図-5 二軸圧縮試験の解析結果
(θa 、 $c p$ が異なる場合)

表-3 擁壁土圧の解析ケース

	θa (度)	ϕp : ϕmax (度)	$c p$ (kgf/cm ²)
CASEA	3 0	15:42	0.0
CASEB	4 0	15:32	0.0
CASEC	3 0	0:27	0.0

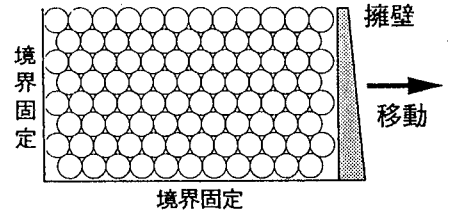


図-6 解析モデル（擁壁土圧）

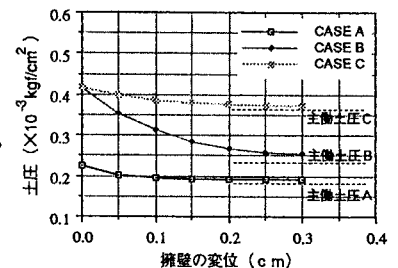


図-7 解析結果（擁壁土圧）