

III-432

CEMによる圧縮試験法と強度パラメータの決定法についての考察

(株)地崎工業 正会員 ○村上 敏夫
近畿大学 正会員 久武 勝保
大成建設(株) 松山 雅彦

1. はじめに

地盤の連続体・不連続体挙動を統一的に解析する手法としてCEM¹⁾を開発してきたが、斜面の崩壊やトンネル切羽の崩壊挙動を定性的に表現できるまでに至っている²⁾。そこで本研究は、CEMによる圧縮試験法を開発し、この試験結果からCEMパラメータの決定方法について考察する。

2. 要素パッキングと圧縮試験手順

CEMによる圧縮試験解析の前段階として、試験体を作成するための要素パッキングが必要である。著者等は、比較的広い矩形領域にランダムに配置した要素を自然落下させ、周囲の壁を狭めてゆく方法でパッキングを行ってきた³⁾。しかし、この方法では重い要素ほど下部に溜ったり、壁に近い要素ほどより密集する傾向がある。また、実地盤をモデル化する段階では、試験体作成に用いた要素数の数十倍から数百倍の要素数でパッキングを行うため、これに要する計算時間も増大する。そこで、以下の方法でパッキングを行う。

まず試験体を構成する要素の初期位置をFig. 1に示す一定の矩形領域内に乱数発生により決定する。次に、x座標が L_x の下側境界とy座標が L_y の右側境界を微小量移動させ、Fig. 2に示す位置に変更する。移動後の境界のx、y座標を L'_x, L'_y とする。同時に、矩形内の各要素位置を次式により強制的に変更する。 x_i, y_i

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i \cdot L'_x / L_x \\ y'_i &= y_i \cdot L'_y / L_y \end{aligned} \quad (1)$$

および x'_i, y'_i は変更前および変更後の要素位置である。これを繰り返し矩形領域を縮小させ、要素を接触させる。この間、接触が生じる位置の分布は以前の方法に比べ、より均等になる。要素位置変更後の計算は今まで通りに行うが、Fig. 3に示す様に要素が境界を跨ぐ場合には、次の様に考える。説明のため、要素a、bの様に境界を跨ぐ要素を境界上要素、その他の要素を境界内要素と呼ぶ。境界内要素は、図の実線で示す要素から接触外力を受ける他に、境界上要素を $L_y(L_x)$ だけy(x)軸方向にシフトさせた複製の要素(図の破線で示す要素)からも接触外力を受けるものとする。例えば、要素cは要素aの複製である要素a'から接触外力を受けるものとする。一方、境界上要素は、実線の要素から接触外力を受ける他に、その複製の要素が受ける接触外力と同等の外力を受けるものとする。例えば、要素aは、その複製の要素a'が要素cから受ける接触外力と同等の外力を受けるものとする。つまり、向かい合う境界を繋ぎ合わせて要素が移動する領域をエンドレスにしたわけである。この様に要素パッキングを行っておけば、試験体の要素群をひとつのユニットとして考え、これを L_x または L_y ずらして敷き詰めることにより地盤を想定したパッキングが短時間でできることになる。パッキングは、Fig. 4に示す領域を上下に2分する破線より要素中心が下側にある要素に対して上側にある要素が及ぼす接触力のx軸方向成分の総和を L_y で除した値を σ_x 、同様な考えでy軸方向の平均接触力を σ_y として求め、 L_x, L_y を微調整することにより、 σ_x, σ_y が予め設定しておいた拘束圧力 σ_3 に収束するまで行う。

Table 1に示す条件で行った試験体のパッキングをFig. 5に示す。 k_n, k_t は要素の法線および接線方向の単位面積当たりのバネ定数、 c は単位面積当たりの粘着力、 ϕ と ρ は要素の摩擦角と密度、 r_1, r_2, r_3 は要素半径、 $N_1:N_2:N_3$ および $\Sigma V_1:\Sigma V_2:\Sigma V_3$ は要素の個数と体積和の比率である。なお、CEMによる圧縮試験結果から求まる粘着力、摩擦角および試験体の密度との混同を避けるため、CEMの入力定数にはeの添字を付し、またCEMの圧縮試験結果によるものには*の添字を付す。圧縮は、上下部の太線の要素を拘

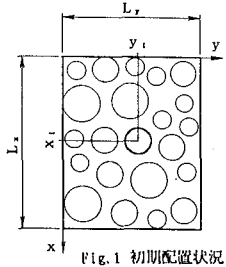


Fig. 1 初期配置状況

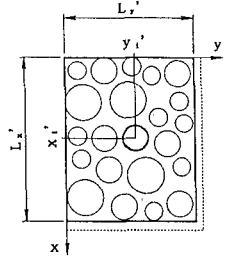


Fig. 2 要素の強制移動

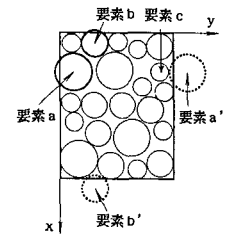


FIG. 3 境界を跨ぐ要素の扱い

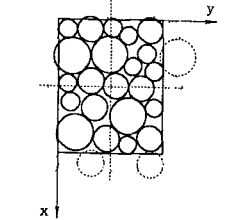


Fig. 4 要素の平均圧縮力の算出

束し、両側面の要素に σ_s に見合う水平力を作用させた後、上部の太線の要素を一定速度で降下させて行う。太線の要素が受ける接触力のx軸方向成分の総和を試験体の幅で除した値を軸力 σ_1 とする。

3. 解析結果と考察

要素間の粘着力 c_e を0、要素間の摩擦角 ϕ_e を 10° とする入力定数を与え、拘束圧力 σ_s を1000, 2000, 3000 dyn/cm²の3通りに異ならせて圧縮試験を実施した。なお、 c_e 、 ϕ_e 、 σ_s 以外の入力定数はTable 1の値を用いている。Fig. 6は試験結果から得られた軸ひずみと軸差応力の関係である。同図より、軸ひずみが約1.3%の時点に軸差応力が増加傾向から横ばい傾向に転じていることがわかる。軸ひずみ1.3%時の σ_1 、 σ_s からモールの応力円を描いたのがFig. 7である。図に示す様に、拘束圧力の異なる三円にほぼ接する直線を引くことができる。この傾きの角度を圧縮試験結果から得られる内部摩擦角 ϕ_* とする。いまの場合、 ϕ_* は 18.8° である。同様な方法で、 ϕ_e が 5° と 15° に対応する ϕ_* を求め、 ϕ_* と入力定数 ϕ_e の関係を表したのがFig. 8である。この関係を利用することにより、任意の内部摩擦角 ϕ_* に対応するCEMの入力定数 ϕ_e を決定することができる。

要素間の摩擦角 ϕ_e を0、要素間の粘着力 c_e を1250~10000 dyn/cm²の間で異なる入力定数を与え、1000 dyn/cm²の拘束圧力で行った圧縮試験結果をFig. 9に示す。同図から、軸差応力がほぼ収束する時の軸ひずみは1.7%程度であることがわかる。この軸ひずみ時の σ_1 、 σ_s から圧縮試験による粘着力 c^* の値を $(\sigma_1 - \sigma_s)/2$ として求め、これと入力定数 c_e の関係を表したのがFig. 10である。同図より任意の粘着力 c^* に対応する入力定数 c_e を決定することができる。

4. おわりに

CEMによる圧縮試験法を開発し、この試験結果から求まる内部摩擦角、粘着力に対応するCEMの入力パラメータの決定法について考察した。また、要素パッキングを工夫し、種々の改善を行った。

- 参考文献 1) 久武・村上・森：CEMによる連続体・不連続体の統一解析の試み、第24回岩盤力学に関するシンポジウム、1992
2) 久武・村上：CEMによる地盤解析に関する考察、第25回岩盤力学に関するシンポジウム、1993
3) 久武・村上・松山：CEMによる圧縮試験シミュレーション、第28回土質工学研究発表会、1993

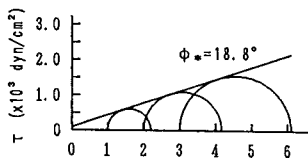


Fig. 7 モールの応力円

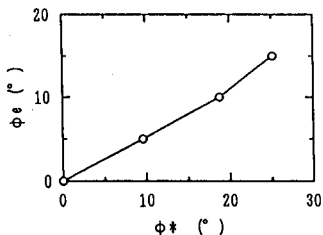


Fig. 8 内部摩擦角 ϕ_* と入力定数 ϕ_e の関係

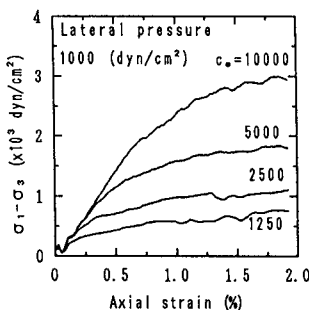


Fig. 9 軸差応力と軸ひずみの関係

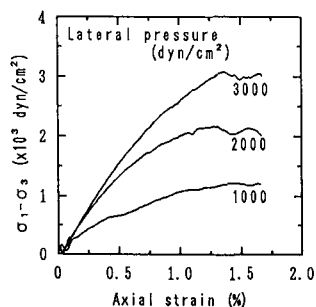


Fig. 6 軸差応力と軸ひずみの関係

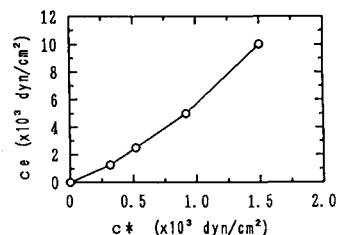


Fig. 10 粘着力 c^* と入力定数 c_e 関係

Table 1 解析で用いたパラメーター

kn	1.0x10 ⁷ dyn/cm ²
ks	2.5x10 ⁸ dyn/cm ²
ce	0.0 dyn/cm ²
φe	0°
ρe	2.5 gr/cm ³
r ₁	0.14, r ₂ =0.28, r ₃ =0.32 cm
N ₁ :N ₂ :N ₃	6.48 : 2.30 : 1
ΣV ₁ :ΣV ₂ :ΣV ₃	1.24 : 1.76 : 1
σ _s	1000 dyn/cm ²

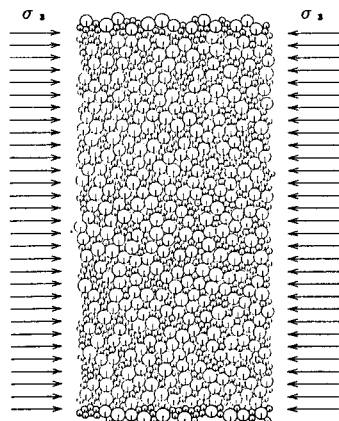


Fig. 5 圧縮試験の試験体