

III-B 403 CEM解析における入力パラメータ決定手法の開発

近畿大学理工学部 学生会員 鄭 重宏
 同上 正会員 久武 勝保
 地崎工業 正会員 村上 敏夫

1. はじめに

地盤の連続体的挙動だけでなく不連続体的挙動をも一貫して表現できる統一解析手法として、著者らはCEMを開発した。今日、本研究により斜面の崩壊やトンネル切羽の安定・崩壊現象を定性的に表現できるまでに至っている。しかし、CEMを実地盤に適用し定量的に予測・表現するまでには至っていない。そこで本研究では、貧配合のモルタル材料を使用した三軸圧縮試験結果の値（実験値）とCEM圧縮試験解析結果の値（解析値）とが一致するように、CEM入力パラメータの値を合理的に決定する手法について述べる。

2. モルタル材料の三軸試験結果

Fig. 1、Fig. 2はモルタルで作成した供試体の三軸圧縮試験結果である。Fig. 1は軸差応力と軸ひずみの関係図であり、それぞれ拘束圧を変化させて実験を行ったものである。Fig. 2はFig. 1の結果から求めたモル円図であり、破壊包絡線からこの供試体の内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c を求めることができる。また、Fig. 1における応力-ひずみ曲線から各拘束圧下の変形係数 E を求めた。

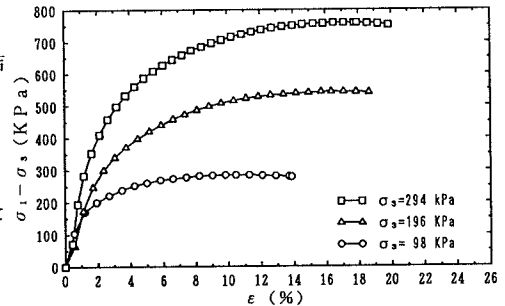


Fig. 1 軸差応力と軸ひずみの関係

3. 圧縮試験解析手法

圧縮試験解析を行うに当たり、最初に要素どうしを適度に接触させることを目的に、パッキング解析を必要がある。まず、約1000個の要素を矩形領域内に乱数発生させることにより、要素の初期位置を決定する。その後、矩形領域の大きさを徐々に縮小させ、この縮小比率に応じて要素位置を変化させる。これを繰り返して要素を接触させる。圧縮試験解析は、こうして要素を接触させパッキングした要素集合体(Fig. 3)の最上部と最下部を固定し、両側面の要素に拘束圧に見合った応力 σ_3^* を作用させた後、固定していた最上部の要素を一定速度で載荷させることで行う。下部の要素が受ける応力の鉛直方向成分の総和を試験体の幅で割った値を σ_1 とする。

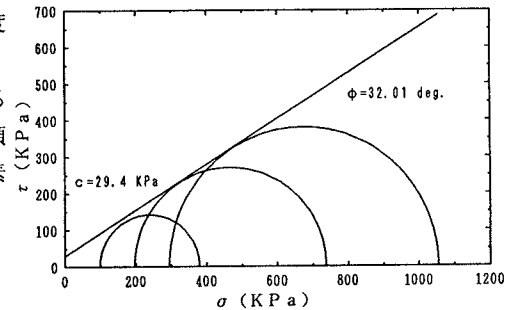


Fig. 2 モル円

4. 解析結果と入力パラメータの決定

解析値として出力される c^* 、 ϕ^* 、および E^* が実験値 c 、 ϕ 、および E に一致するようにCEMの入力パラメータの値を決めることを考える。Fig. 1に示すように E は拘束圧 σ_3 の影響を受けるので、後の都合のため、ここでは σ_3 が98KPaの場合の E と、 σ_3^* が1KPaの場合の E^* を一致させることとする。ここで定めるCEM入力パラメータの値とは強度特性に影響を与える要素間内部摩擦角 ϕ 、要素間粘着力 c と変形特性に影響を与える要素間法線方向分布係数 k_n の3パラメータである。要素間接線方向分布係数 k_s は k_n の常に0.25倍になるよう設定する。

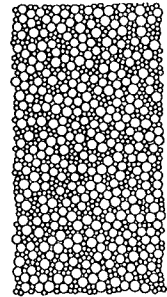


Fig. 3 CEM要素集合体

(1) ϕ の決定 k_n を 1.0×10^8 KPa/cm、 c を0、 ϕ を 10° とし、拘束圧 σ_3^* を1.0

、2.0、3.0KPaと変化させた3回の解析を行った。Fig. 4は解析結果から得られた応力-ひずみ曲線図であり、そのピーク強度から得た円筒の破壊包絡線から ϕ^* を求めることができる。この場合では ϕ^* は 22.3° になる。同様に ϕ_e を 20° 、 30° としたときの ϕ^* を求め、入力パラメータ ϕ_e と出力結果 ϕ^* の関係を表したものがFig. 5である。実験値が $\phi=32^\circ$ であるから、 $\phi^*=32^\circ$ に対する ϕ_e の値をFig. 5から 18.3° と求めることができる。

（2） c_e の決定 k_n を 1.0×10^3 KPa/cm、 ϕ_e を上記で決定した 18.3° 、 c_e を1.0KPaとし、 σ_s^* を変化させた解析を行う。応力-ひずみ曲線図から円筒を描き c^* を求め、 c_e を2.0KPaとした場合の解析も行う。Fig. 6は入力パラメータ c_e と出力結果 c^* の関係図である。ただし、 σ_s^* で無次元化している。実験値の c/σ_s が0.3であるので、これに対応する $c^*/\sigma_s^*=0.3$ から c_e/σ_s^* を求めると2.7になる。

（3） k_n の決定 既に決定したパラメータの値、 $\phi_e=18.3^\circ$ 、 $c_e=2.7$ KPaを用いると共に、 σ_s^* を1.0KPaとして、 k_n を 2.0×10^3 、 4.0×10^3 、 6.0×10^3 KPa/cmと変化させた解析を行った(Fig. 7)。それぞれの応力-ひずみ曲線から変形係数 E を求め、 k_n との関係を示したものがFig. 8である。これも E^* を σ_s^* で無次元化している。実験値の E/σ_s は158.2であるのでこれに対応する E^*/σ_s から k_n を求めると 4.38×10^3 KPa/cmが得られる。

最後に解析の応力 σ を実験の応力 σ_s に対応させる作業を行う。解析における拘束圧 σ_s^* を実験での拘束圧 σ_s に対応させるため σ_s/σ_s^* の値 α を求めておく。そして k_n と c_e を α 倍する。よって求められたパラメータは、 $\phi_e=18.3^\circ$ 、 $c_e=2.64 \times 10^2$ KPa、 $k_n=4.29 \times 10^5$ KPa/cmである。以上の結果を用いて、Fig. 1の拘束圧 $\sigma_s=98$ KPaの応力-ひずみ関係を本CEMでシミュレートした結果がFig. 9である。

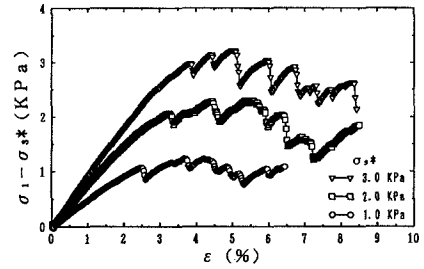


Fig. 4 軸差応力と軸ひずみの関係

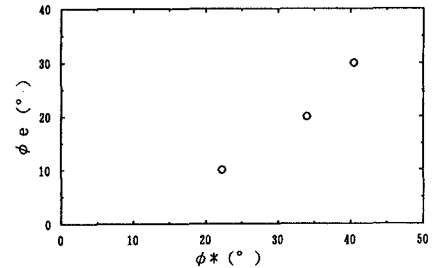


Fig. 5 ϕ_e と ϕ^* の関係

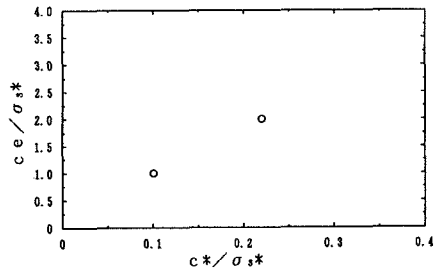


Fig. 6 c_e/σ_s^* と c^*/σ_s^* の関係

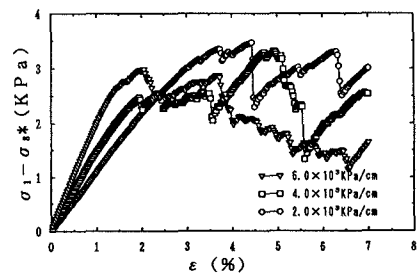


Fig. 7 軸差応力と軸ひずみの関係

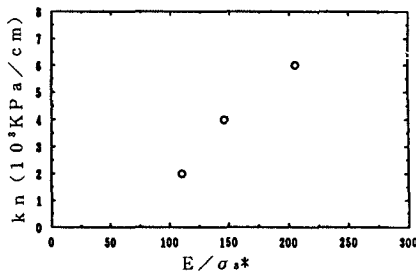


Fig. 8 k_n と E/σ_s^* の関係

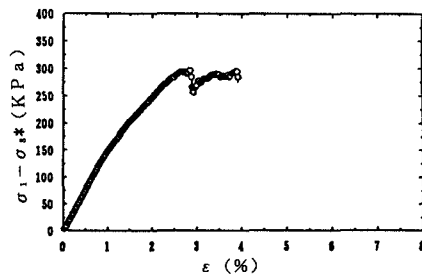


Fig. 9 軸差応力と軸ひずみの関係