

埼玉大学工学部 正員 吉中 龍二進
埼玉大学工学部 正員 山辺 正

1. まえがき

近年、地盤工学に有限要素法が適用され、地盤の物性を評価する上でも、応力～ひずみ関係の非線形性や地盤内部に存在する不連続面なども考慮して、多くの研究成果が発表されている。

ここでは、軟岩の応力～ひずみ関係に着目しRichard-Abbott¹⁾の提案式を用いて、ひずみ軟化する場合の適用性について考察する。

2. 非線形な表現法

従来、土質材料の非線形な応力～ひずみ曲線にはKondner²⁾の双曲線近似法が広く用いられている。

しかし、この表現法は応力～ひずみ関係が、ひずみ軟化から塑性流動、さらにひずみ硬化に至る一般的な地盤材料の挙動を表現しえないという点で不十分なものである。(図1,2参照)

それに対して、Richard-Abbottの表現法¹⁾はピーク後の応力～ひずみ曲線の接線勾配 E_p に負の値を導入することにより、ひずみ軟化する部分を表現することが可能である。次に、この方法について簡単に説明する。すなわち、応力に関して次式で表わされる。

$$\sigma = \frac{E_r \varepsilon}{\{1 + (E_r \varepsilon / \sigma_0)^m\}^{1/m}} + E_p \varepsilon \quad \dots\dots ①$$

$$E_r = E_i - E_p$$

ここでの各定数は図1に示すものであるが、①式における m は形状に関する係数で次のように決定される。

まず実験した応力～ひずみ曲線から代表的な2点を選定し、次の各係数を決定する。

$$\left. \begin{aligned} E_a &= \sigma_a / \varepsilon_a, \quad E_b = \sigma_b / \varepsilon_b, \quad R = E_b / E_a \\ A &= E_r / (E_a - E_p), \quad B = E_r / (E_b - E_p) \end{aligned} \right\} \dots\dots ②$$

①,②式より次の方程式を満足する m の値により曲線が定まる。

$$A^m - (B/R)^m + (1/R^m - 1) = 0 \quad \dots\dots ③$$

なお、 m が収束する条件として $B < RA$, $A > 1$ が必要だが、応力～ひずみ曲線のほとんどが、この条件を満たしているといわれる。このようにして m がおまれば、基準応力 σ_0 (図3参照)も次式により計算できる。

$$\sigma_0 = E_r \varepsilon_a / (A^m - 1)^{1/m} \quad \dots\dots ④$$

また、①式において、 $m=1$, かつ $E_p=0$ のときは $E_r=1/a$, $\sigma_0=1/b$ としたときのKondnerの双曲線近似式と同一となることがわかる。(図1参照)

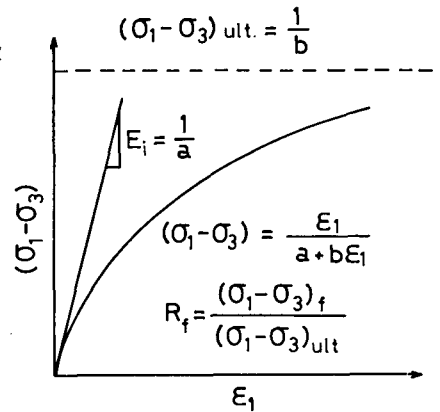


図1 Kondnerの表示

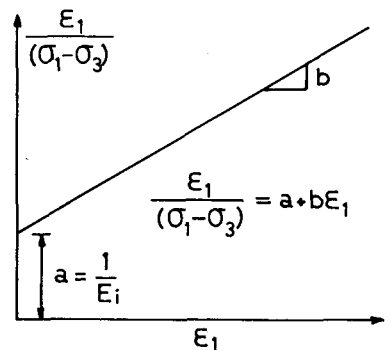


図2 座標変換した双曲線

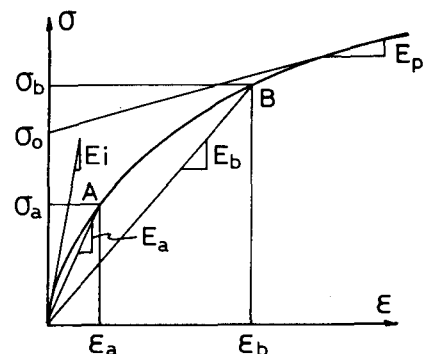


図3 Richard-Abbottの表示

3. 解析例

以上の解析手法によって、シルト岩 ($q_u = 21 \text{ kg/cm}^2$) 及び凝灰質砂岩 ($q_u = 130 \text{ kg/cm}^2$) について Kondner の双曲線近似的式と Richard - Abbott の表示式を適用した結果について述べる。実施した実験は、いずれも圧密排水の三軸圧縮試験である。

図4は、ひずみ硬化する場合の実験値と両近似式の比較でシルト岩を例にとっているが、いずれも良い近似となっている。このようなひずみ硬化をする場合には、両式とも拘束圧力の如何にかかわらず、その近似度は高い。一方、図5はひずみ軟化する場合の比較で凝灰質砂岩の例であるが、Kondner の式ではピーク応力後の挙動を表現することができない。また、残留強度については、Richard - Abbott の式 (①式) によっても定めることはできないが、他の強度条件式³⁾を適用することによりその値を拘束圧力などの関数として求めることができる。

図6は、拘束圧力の増大に伴い強度が増加する様子を凝灰質砂岩について、①式と比較したものぐいずれの場合にも残留応力状態を除いて、その近似度は高い。図7は、シルト岩を対象に①式による解析を行ない、式中の諸定数と σ_3 との関係を示している。本図から、 σ_3 の増大に伴い、各定数がそれぞれ一定値に収束していることがわかる。なお、このシルト岩の場合には $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$ までの応力-ひずみ関係が、ほぼ塑性流動であった。

4. まとめ

i) ひずみ硬化する応力範囲を中心に、2種類の軟岩を対象として Richard - Abbott の表現法の適用性について調べたが、

ii) ひずみ硬化する場合には、 E_p に負の値を与えることにより残留状態を除いて、①式で精度よく近似できる、

iii) ①式中の各定数と拘束圧力 σ_3 とは、図7で示されるような関係にあり塑性流動となる応力を境にして、各定数が一定値に収束する傾向がある、などの知見を得た。

なお、残留強度については他の強度条件式を併用して決定できないが残留状態に至るまでのひずみ量の表現については現在検討中である。

最後に、本研究をすすめるに当っては、当研究室の高井進 (現、鹿島建設)、弥永信俊 (現、前田建設) 両君に多大の協力を得たことを記して感謝します。

5. 参考文献

- 1) Richard, R.M. & Abbott, B.J. (1975) Proc. ASCE, EM4, 511~515
- 2) Kondner, R.L. (1963) Proc. ASCE, SM1, 115~143
- 3) 例えば 吉中, 山辺 (1979) 土木学会, 第12回岩盤力学に関するシンポジウム, 31~35

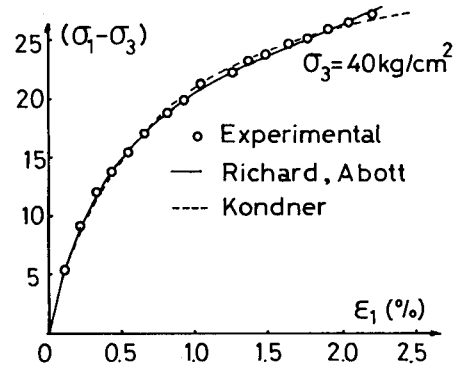


図4 シルト岩における応力-歪曲線

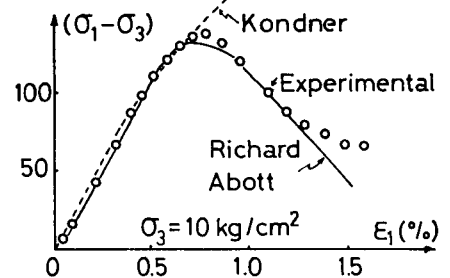


図5 凝灰質砂岩における応力-歪曲線1

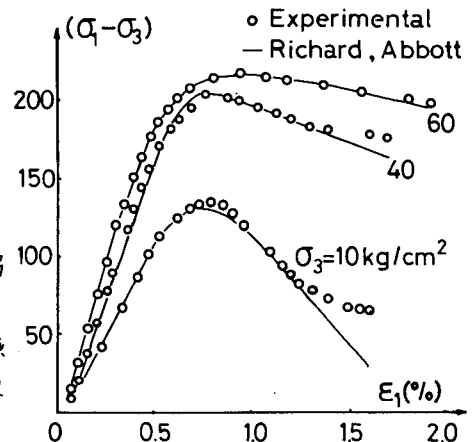


図6 凝灰質砂岩における応力-歪曲線2

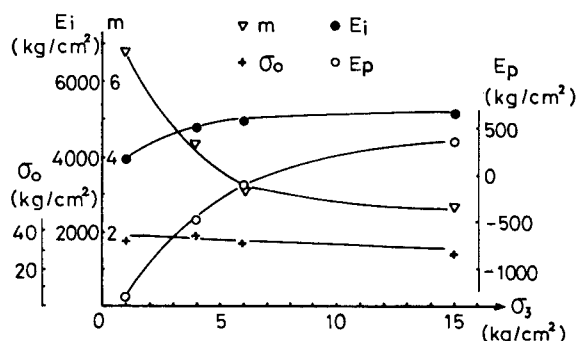


図7 ①式の各定数と拘束圧力の関係