

III-182 平均主応力一定条件下における第三紀堆積泥岩の挙動に関する研究

清水建設㈱ 土木本部開発部 正会員 ○ 川崎 広貴 中沢 亨
清水建設㈱ 技術研究所 正会員 渡辺 浩平 傳田 篤

1. はじめに

筆者らは、側圧一定三軸圧縮試験により第三紀堆積泥岩の力学特性について種々の検討を行ってきた¹⁾。

その結果、最大強度までの変形特性については、拘束圧の違いによって弾性変形を示す場合とひずみ硬化を伴う弾塑性変形を示す場合があることが確認された。また、ひずみ硬化を伴う弾塑性変形を起こす部分については、足立ら²⁾ および西³⁾ によって提案された構成式をもとに、これらを準用した弾塑性モデルによって最大強度までの挙動が表現できることがわかった。さらに、弾性定数については拘束圧依存性があり、平均主応力の一次式で表現できることもわかった。そこで、これらの関係をもとに、今回同一泥岩試料について平均主応力一定条件下で三軸圧縮試験を行ったので、これらの試験結果およびシミュレーション結果について報告する。

2. 試験概要および試験結果について

試験は平均主応力一定の排水条件下で行なった。平均主応力は5.0、10.0、15.0、20.0kgf/cm²の4種類である。また、バックプレッシャーは1.0kgf/cm²である。図-1に、正八面体せん断応力(τ_{oct})～軸ひずみ(ε_1)関係についての試験結果を示す。

平均主応力5.0kgf/cm²の場合には応力～ひずみ関係が途中で終了しているが、これは側圧が引張応力となり試験が不可能となったためである。最大強度(τ_{oct})_iについては、側圧一定三軸圧縮試験から平均主応力12.5kgf/cm²を境に(1)式および(2)式で表される関係が得られている。

$$(\tau_{oct})_i = 1.95 + 1.120 \sigma'_m : \sigma'_m < 12.5 \text{ kgf/cm}^2 \quad (1)$$

$$(\tau_{oct})_i = 10.5 + 0.434 \sigma'_m : \sigma'_m \geq 12.5 \text{ kgf/cm}^2 \quad (2)$$

(1)式より平均主応力が5.0kgf/cm²のときの最大強度(τ_{oct})_iは7.55kgf/cm²で、側圧が0となるときの正八面体せん断応力 $\tau_{oct}=7.07\text{kgf/cm}^2$ よりも大きな値となり、破壊が発生しなかったことが裏付けられる。ちなみに、(1)式の関係からは平均主応力が6.6kgf/cm²以下では、最大強度に達するまでに側圧が0になってしまう。

図-1で最大強度までの変形特性についてみると、平均主応力10.0kgf/cm²以下の場合には弾性変形のみを示し、15.0kgf/cm²以上ではひずみ硬化を伴う弾塑性変形を示しているのがみられる。つぎに弾性領域における弾性係数の拘束圧依存性について検討を行なうために、今回試験を行なった4種類の平均主応力について得られた応力～ひずみ関係から接線せん断弾性係数Gを求め、図-2に示した。接線せん断弾性係数Gについては、側圧一定三軸圧縮試験から平均主応力 σ'_m と(3)式に示すような関係が求められている。

$$G = 470 + 36 \sigma'_m \quad (3)$$

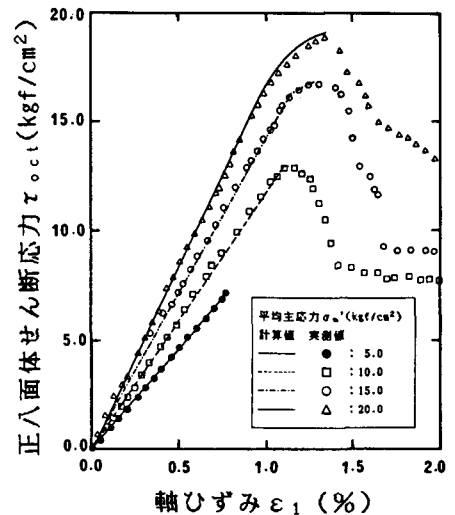


図-1 応力～軸ひずみ関係

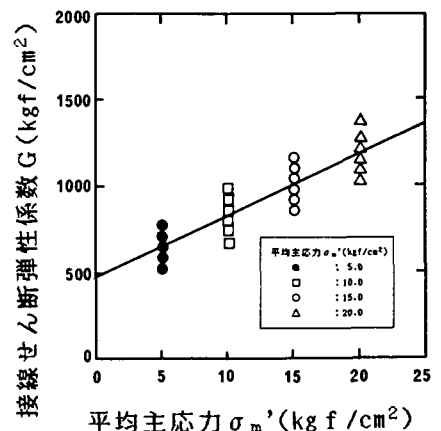


図-2 Gの拘束圧依存性

図-2にはこの関係を実線で示したが、今回の試験結果についても同様の関係によって表わされることがわかる。

図-3にはこれらの試験の最大強度、初期降伏点、残留強度を示した。また、側圧一定三軸圧縮試験から得られた結果についても黒塗の記号で示しておいた。さらに、図中には応力経路、実験式として用いた最大強度線、初期降伏線も示しておいた。

3. 構成式およびシミュレーション結果

構成式については、側圧一定三軸圧縮試験の検討で用いたものと同じものを用いた。この構成式での降伏規準 f 、塑性ポテンシャル g 、硬化則および平衡状態線は、それぞれ(4)(5)(6)(7)式のように表されている。塑性ポテンシャルとしてVon-Misesの規準を用いているが、今回の試験結果についても図-3に示すように平均主応力15.0および20.0kgf/cm²の場合の塑性ひずみ増分方向が垂直になっており、適用可能と考えた。

$$f = \frac{\tau_{oct}}{\sigma_m + A^*} - \left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m + A^*} \right)_y \quad (4)$$

$$g = \tau_{oct} - k \quad (5)$$

$$\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m + A^*} = \frac{(M_f/R_f) G' r_{oct}^p}{(M_f/R_f) + G' r_{oct}^p} \quad (6)$$

$$\left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m + A^*} \right)_{yi} = \alpha M_m \left(\frac{\sigma_{mc} + A^*}{\sigma_m + A^*} - 1 \right)^{1/2} \quad (7)$$

ここで、 A^* と R_f は定数、 M_f は最大強度での応力比、 σ_{mc}' は圧密降伏圧力、 G' は塑性せん断係数である。

図-1に(1)式から(7)式までを用いて行った正八面体せん断応力(τ_{oct})→軸ひずみ(ϵ_1)関係のシミュレーション結果を示したが、実測値ときわめて良い一致を示していることがわかる。

解析に用いた物性値は、 $A^*=24.22$ 、 $M_f=0.434$ 、 $\alpha M_m=0.26$ 、 $R_f=0.95$ である。図-4には塑性せん断係数 G' の値を示した。

黒塗の記号は側圧一定三軸圧縮試験から得られた値である。

以上より、今回検討を行った応力範囲について、上述の構成式によって最大強度までの挙動が表現できることがわかった。

4. あとがき

平均主応力一定三軸圧縮試験を行い、第三紀堆積泥岩の力学特性について検討を加えた。その結果、側圧一定三軸圧縮試験から得られた関係を用いて最大強度までの挙動が表現できることがわかった。

最後に、本研究を行うにあたっては、京都大学足立紀尚教授に御指導いただいたことを記して感謝いたします。

参考文献

- (1)渡辺浩平・川崎広貴・傳田篤・中沢亨：第三紀堆積泥岩の弾塑性挙動に関する研究、第21回土質工学研究発表会、1986.6 (2)K.Akai, T.Adachi and K.Fujimoto, "Constitutive Equation For Geomechanical Materials Based on Elasto-Viscoplasticity", 9th ICSMFE, Tokyo, pp1~10, 1977 (3)西好一：非排水繰返し荷重下における飽和砂の弾塑性挙動と構成式、土木学会論文集 第319号、pp115~125、1982

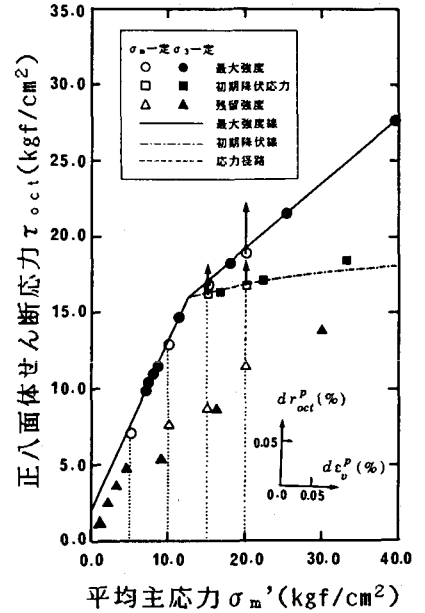


図-3 強度および塑性ひずみ増分

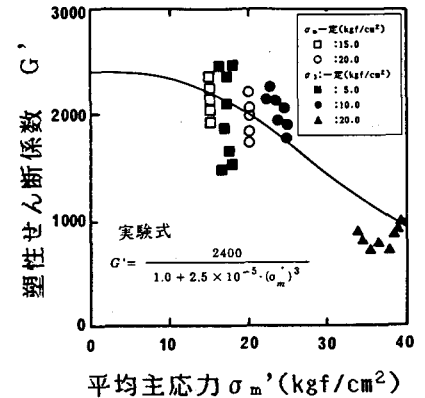


図-4 G' の拘束圧依存性