

京都大学工学部 赤井浩一
 “ 足立紀尚
 京都大学大学院 ○ 東木雅和

1. はじめに

半固結状態にある堆積岩の力学特性を明らかにすることは、間隙水の影響の大小で土質材料と岩石質材料を区別する立場を取ると、学問的には土質力学と岩石力学の境界領域の問題であり、土木工学の面からは、これら軟岩を基礎地盤として重量構造物を建設することの可否や設計指針を与えるために必要である。

本研究は神戸付近に広く分布する多孔質の凝灰質細粒砂岩を試料に選り三軸応力下の応力-変形はらびにフリーア特性を実験的に調べ、その理論づけと構造物基礎地盤としての設計指針を与えることを目的としている。ここでは、比較的低側圧 ($0 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$) のもとで、応力-変形、強度特性はらびに間隙水圧の影響について調べた結果を報告する。

2. 試料と実験装置

試料は神戸市垂水区下畑町地先で、地表面下約 10 m で採取した神戸層群の多井畑累層に属する凝灰質細粒砂岩である。地質調査によると、神戸層群は花崗岩と不整合を以て断層で接し、多井畑累層と岩屋累層に分れている。さらに多井畑累層は、(I)砂岩、泥岩互層、(II)砂岩、(III)凝灰岩、凝灰質砂岩層の三層に大別され、しかもこれらの単層はかたらずに均質ではなく強度的な差がかなり存在することが明らかになっている。このことは以下の留意すべき知見である。

供試体は約 50 mm 立方のブロックとして採取したものを、コーカッターを用いて整形し、直径 50 mm 、高さ 100 mm の円筒形である。試料の物理諸量は表-1に示すが、間隙水比が 0.66 、飽和度がほぼ 100% である。

低側圧に対する実験装置は、通常の土質用三軸試験機を用い、試験は平均 $0.7 \times 10^{-4} \%/ \text{min}$ と $2.6 \times 10^{-4} \%/ \text{min}$ の変位制御で行なっている。ここで平均と記したのは荷重とフルービングリングで測定しているから、厳密に一定の変位制御で行はうことが不可能であるためである。

間隙水圧の測定は、当初 Null Balance 型の装置を用いたが、現在は受圧面の直径が 5 mm の半導体型圧力変換器を用いている。この圧力変換器の圧力に対する受圧部の容積変化は $1.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{kg/cm}^2$ であり、水の圧縮率 $4.9 \times 10^{-5} / \text{kg/cm}^2$ (15°C) に比較しても、供試体内と導管部の水の占める容積を考慮すれば微小である。このことから測定精度は高く、さらに長期安定性と温度変化に対する補償も考えている。

表-1 物理諸量

含水比	w	24.50%
湿潤密度	γ_t	2.02 g/cm^3
乾燥密度	γ_d	1.63 g/cm^3
間隙水比	e	0.66
飽和度	S_r	(ほぼ) 100%
粒子比重	G_s	2.70

3. 実験方法と結果

実験は非排水せん断試験(U-Test)と圧密非排水せん断試験(CU-Test)を行っている。間ゲキ水压の測定は双方に行っているが、以下の方法を取っている。供試体をセットする前に三軸室内にサフションを作用させ、約1時間、間ゲキ水压測定系と排水系を脱気を行ない、供試体セット後 0.2 kg/cm^2 の側圧を作用させ10分間排水を行ないセットの際に混入した余分の水と空気を排除し、その後、所定の側圧を作用させ、せん断を開始するまで約1時間、発生間ゲキ水压が定常になるまで待つ。実際には5~10分で定常状態に達する。この結果より、等方作用圧力(側圧 σ_c)と発生間ゲキ水压 U_0 の関係を図-1に示す。これから $U_0 = \sigma_c - 0.90 (\text{kg/cm}^2)$ となり Skempton の B 値は1で、試料を採取した場所が地表面下約10mであったこと、飽和度が100%に近く骨格の圧縮率が水のそれにくらべ大であることなどが結論づけられる。U-Testはこの後直ちにせん断を行なうが、CU-Test では 0.5 kg/cm^2 の initial back pressure を適用し約18時間圧密してから、非排水せん断を行なう。

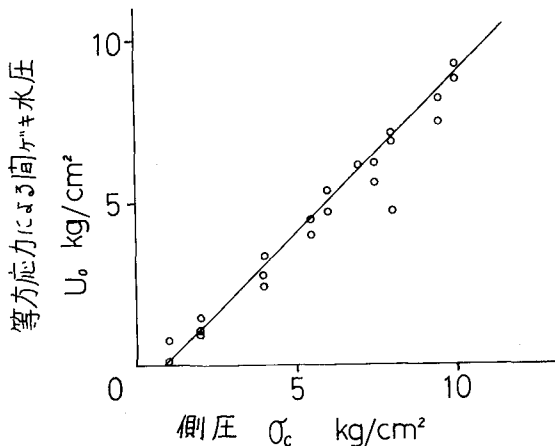


図-1 等方応力による発生間ゲキ水压

側圧の大きさに応じて応力-ひずみと強度への影響を調べるために、U-Test に対する、各側圧における、応力、間ゲキ水压-ひずみ曲線の代表的なものを図-2に示す。この図から間ゲキ水压のピークは最大強度に達する前に生じ、それ以後は減少する。また側圧が 2 kg/cm^2 以下では側圧の増大による強度の増大がみられるが、側圧が 2 kg/cm^2 以上になると強度は増大しない。この実をより明らかにするため、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{max}}$ と側圧の関係を示したものが図-3である。図-2で間ゲキ水压がピークに達するまでと弾性領域と考えると、非排水条件の

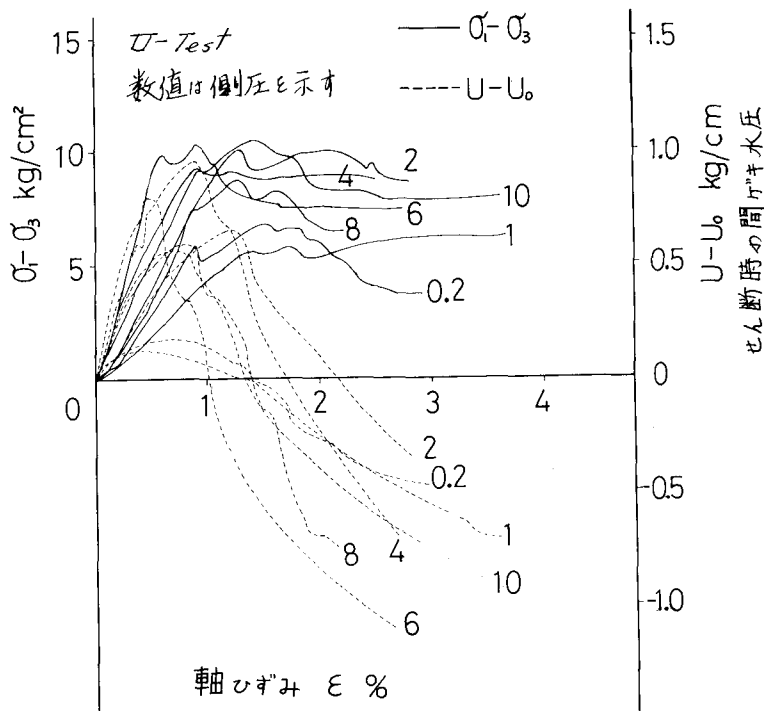


図-2 応力、間ゲキ水压-ひずみ曲線

もとは、理想弾性体として解析できるのは、ひずみで1%までであるといえる。IT-Testの結果とMiller⁽¹⁾の岩石の工学的分類を拡大解釈して、各種側圧に対する強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と応力-ひずみ曲線の $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ に相当する点における接線勾配として求めた変形係数 E_{50} の関係を示したものが図-4である。この試料はほぼ完全飽和であるから、ポアソン比を0.5と近似して、理想弾性体の応力-ひずみ関係を用いると、 $E = (\sigma_1 - \sigma_3) / \epsilon$ と求まるから、 E_{50} は $(\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon$ 曲線から求まると考えてよい。この図からIT-Testによる本試料の平均圧縮強度は 10 kg/cm^2 、変形係数 E_{50} は 10^3 kg/cm^2 、側圧のいかんにかかわらず、弾性体として解析はひずみで1%までと結論づけられる。

以上のことから、強度の増大は圧密とせん断時の排水によるものが期待できるが、逆に高側圧による圧密により、長期に渡って形成される構造の破壊による強度低下も考えられる。この観測から行っているのがCIT-Testである。

図-5はCIT-Testによる応力、間隙水圧-ひずみ曲線の代表例である。この図から明らかに、圧密圧力の増大とともに強度の増大がみられる。またIT-Testと異なり、間隙水圧は最大応力まで最大値に達し、そのときのひずみも圧密圧力の増大とともに増加している。また変形係数 E_{50} はIT-Testほどばらつかず $2 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ である。しかって弾性解析が行えるひずみの範囲もIT-Testに対してより増大している。

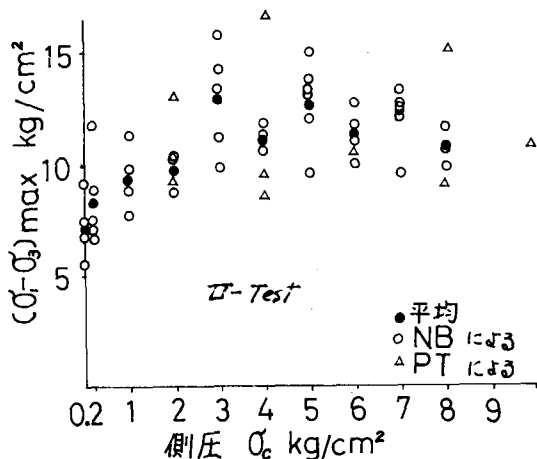


図-3 各側圧力と最大強度

これらのことから、本試料に対しては間隙水圧の排水条件とその挙動が力学特性に多大の効果を与えており、有効応力による解析が必要がある。図-6はせん断面ともなる間隙水圧と $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$

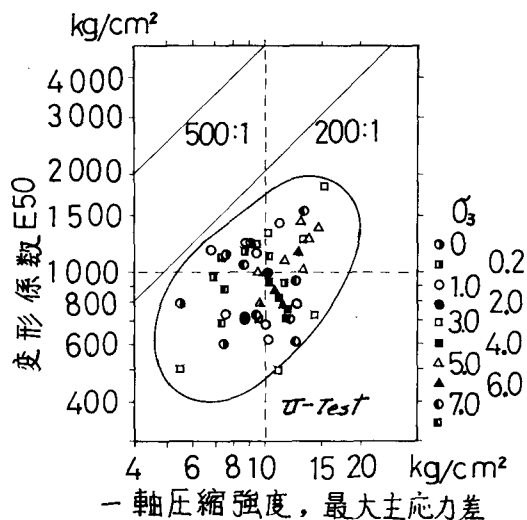


図-4 圧縮強度-E50 関係

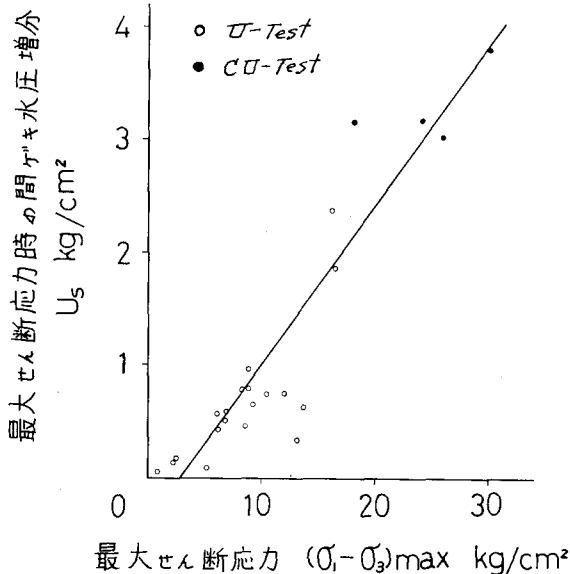


図-6 最大せん断応力と発生間隙水圧の関係

の関係を示す図で、Skempton の A_f -値は、この直線の勾配として求まる 0.13 である。図-7 は有効応力をもとづく Mohr の応力円を示し、 10 kg/cm^2 の側圧までは Mohr-Coulomb の破壊基準が近似的に適用でき、有効応力に対する内部摩擦角と粘着力はそれぞれ $\phi' = 40^\circ$ 、 $c' = 3 \text{ kg/cm}^2$ である。近似的としたのは図-8 に示す、有効応力比 $(\sigma' - \sigma'_3) / \sigma'_m$ と間隙水圧の図から、内部摩擦角が圧密圧力の増大につれて減少する傾向があるから、より大きな応力範囲では Mohr の破壊基準によるものと予想される。また図-8 から、この試料に対しては排水を行なう実験は不可欠であり、我料的には土質材料に属すると考えてよい。

以上から求まる結論は、この側圧範囲に対する強度の増大は圧密排水、さらにせん断時の排水によって期待できるから、重量構造物の基礎地盤とするためには排水を促進する工法を考へる必要がある。

本研究は本州四国東海橋公団から財団法人防災研究協会への委託研究の一環として行っているものであり、研究全般に渡っては大阪府立工業高等専門学校より山本和夫助教授と実験には本学技官、田伏宜夫君の助力を得ていることを付記して感謝の意を表す。

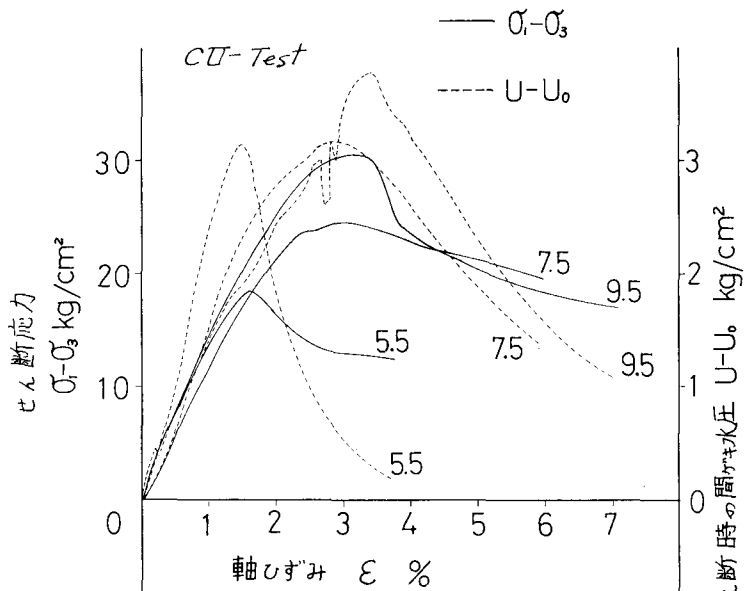


図-5 応力、間隙水圧 - ひずみ曲線

参考文献

- (1) 例えは、Deere, D. W.; "Rock Mechanics in Engineering Practice", ed. by Stagg & Zienkiewicz, John Wiley & Sons, pp. 4-12, 1968

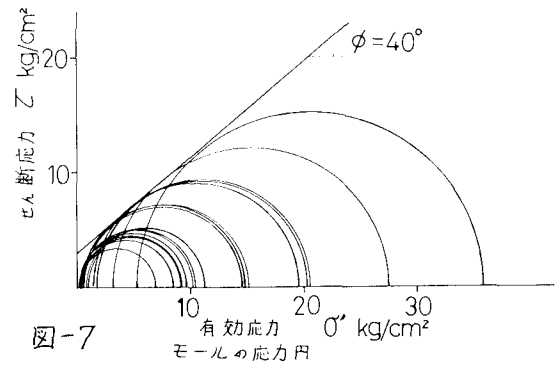


図-7

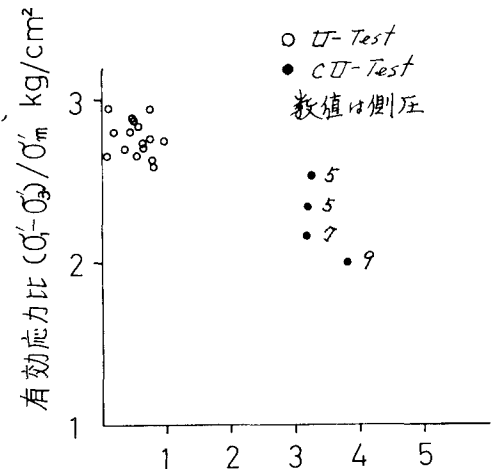


図-8 発生間隙水圧 $U - U_0$ kg/cm^2
有効応力比 - 間隙水圧 関係