

富山県立技術短期大学 正員 山野隆康

1. まえがき

土の変形挙動は、試料の含水状態や締まりの程度、応力履歴などに敏感な反応を示すため、なかなかその性格を捕え難い。しかし従来の土のせん断に関する研究が、ピーク時の応力関係にのみ着目する傾向があったのも事実で、これへの反省も強まってきている。筆者はこのほど富山県白岩川ダムのコア用土に対する三軸圧縮試験を行なう機会を得たが、試験終了後ふと思いついて応力-ヒズミ関係を整理していくうちに、ヒズミエネルギーと有効応力の間に成立する相関性の存在を発見したのでここに報告する。

2. 試料

第3紀層泥岩を破砕した材料であるが、試験にあたってはとくに2.0mm以下として使用した。表-1にその粒度を示す。比重は $G_s=2.685$ であった。JISA 1210 方法1.1による締固め曲線を図-1に示す。

3. 試験の企画

排水条件としてはUU試験とCU試験を、供試体成形時含水比を W_{dry} , W_{opt} , W_{wet} の3種に、また成形時含水比のまま三軸試験を行なうI型と、成形後相当日数浸水してから試験に供するII型の2種で都合2組のヒズミ制御型三軸圧縮試験を企画した。成形時含水比は、 $\gamma_{d,max}=1.51\text{ g/cm}^3$ の95%に相当する乾燥密度 $\gamma_d=1.43\text{ g/cm}^3$ を生ぜしめる含水比として W_{dry} , W_{wet} を決め、次に両者の中間値を求めて W_{opt} と表示した。供試体の浸水にあたっては、モールド上下端面に有孔金属盤を当てて締め付け、吸水による膨張を防いだ。表-2のテスト名欄は以上の内容を記号化したものである。なおI, IIとあるのは乾燥密度の目標を $\gamma_{d,max}$ として成形した追加分である。

表-1 試料の粒度

粒径 (mm)	重量百分率 (%)
2.0 ~ 0.42	2
0.42 ~ 0.074	50
0.074 ~ 0.005	44
0.005 以下	4
均等係数	7

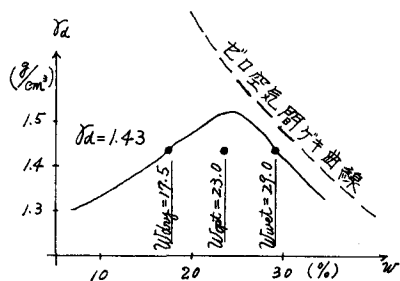


図-1 試料の締固め曲線と供試体成形の目標値

4. 試験方法

イギリス型三軸試験機を用いた。供試体の直径約5cm、高さ12cmである。成形は8層に分け目標の密度が得られるよう試行により突固め回数を決定した。突棒は直径2.5cm、重さ約1.4kgのものである。なお含水比のばらつきを避けるため10個の供試体を一度に成形(kg/cm^2)するようにした。液圧は1, 2, 3, 4, 5 kg/cm^2 の5種とした。間ゲキ圧の測定をすべての供試体について行なった。またCU型IIについてはペーパードレーンを巻き付け1.0 kg/cm^2 のバックプレッシャーを負荷した。飽和度の低い供試体は負の間ゲキ圧を有しており、自由水を接触させると直ちに吸水するから、間ゲキ圧測定も飽和土と同様にはできな。今回は上下端面に当てるポラスストーンを表面乾燥

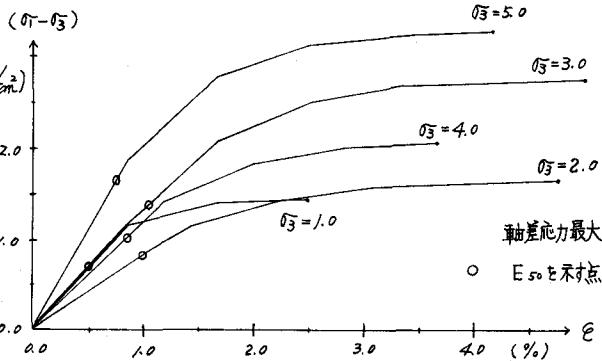


図-2 応力-ヒズミ曲線 (UUOII)

内部飽和に近い状態にして用いたが、測定された α 値のもつ意味を厳密に論じうるものではないのはもちろんである。しかし一種の工学的指数として応力関係の相対評価に用いることは許されると考える。ヒズミ速度は $0.09\%/min$ とした。また液圧、間隙気圧、バックプレッシャーの測定には感度 $0.015\%/cm^2$ の精密圧力計を用いた。

5. 試験結果

供試体の成形は表-2のとおりおおむね目標値に近い値で行なわれた。UUUIIの場合を図-2、図-3に示したが、これは不飽和土に対する強度定数 C, ϕ を、有効応力を整理することの合理性を立証する代表として抽出したものである。すなわち水平面と 60° の傾きをもつ面上の応力について描いたベクトルカーブを、全応力と有効応力について対比したのが図-3であるが、全応力では不ぞろいなピーク点が有効応力にすると明らかに直線上に並ぶのである。UU試験から求まる C', ϕ' の工学的意味については本報告の趣旨からそれるので省略する。なお、UUUIIの場合は、ベクトルカーブ(有効応力)が重なり合い完全飽和土のそれに近い状態となった。 C', ϕ' を不定と記載したのはこの事情による。

軸方向圧縮の開始から軸差応力の最大点に至るまでの応力-ヒズミ関係を示したのが図-2である。かなり入念に実験を行なっても締固め土の変形状態は整然と現われないうのが通例であり、UUUIIほどではないが他の試験でも変形初期の入り乱れは例外なく見受けられる。最大軸差応力の左の点を通る割線係数を表-2に示したが、 $E_{50} \sim \sigma_f$ の形に図化して規則性の感じられるものは例しかなかった。そこで種々検討を続けていくうちに A_{50} と σ_{mf}' の相関性を見いだした。図-4はUUUIIの場合を示したものである。

ここに $A_{50} = \frac{1}{4}(\sigma_f - \sigma_3)_f E_{50}$ 最大軸差応力の左の点に至るまでのヒズミエネルギー。 応力-ヒズミ曲線がこの間で直線に近似するとして計算したもの。

$\sigma_{mf}' = \sigma_f' + \frac{1}{3}(\sigma_f - \sigma_3)_f$ 最大軸差応力に達した時点における平均有効主応力。したがって $\sigma_f' = \sigma_3 - \alpha_f$ である。

上記の関係は、理論と実験の双方から深く追究していかなければ定量的に扱えないものであるが、とりあえず次式の形に整理してみた。

$$A_{50} = C_A + R_A \sigma_{mf}' \quad \text{----- (1)}$$

ここに実験定数 C_A, R_A をエネルギー係数と呼ぶことにする。

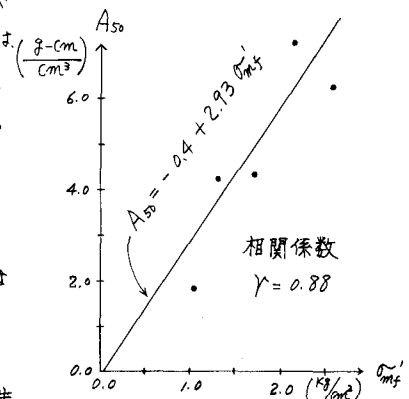
C_A, R_A および相関係数 γ を表-2に示す。直線関係において個数5のとき有意であるためには $\gamma > 0.88$ でなければならぬが、これに該当しないのはUUUII、UUUIIだけである。前にも触れたとおり飽和度の高い供試体に対するUU試験では $\sigma_f', (\sigma_f - \sigma_3)_f$ とも σ_3 にかかわりなく一定値をとる傾向があるから、 $A_{50} \sim \sigma_{mf}'$ の相関には飽和度としての限界があるものと推定される。なお σ_{mf}' のかわりに

$$\sigma_{m50}' = \sigma_3 - \alpha_{50} + \frac{1}{3}(\sigma_f - \sigma_3)_{50}$$

を用いるほうが理にかなうと思われるが、 γ はかえって小さくなるようである。

6. 結語

粘性土と砂質土の中間的性質をもつ一つの試料を対象に、排水条件や供試体の条件を種々に変えて一連の三軸圧縮試験を行なったところ、図-4 A_{50} と σ_{mf}' の関係(UUUII)派生的な成果ではあるが変形挙動について興味ある相関を見いだした。



しかしタイプの異なる試料や液圧範囲を大巾に変えた場合にどの程度適用性をもつかについて、まだ追求の余地は多い。またエネルギー係数とせん断強度定数の関係や、 $A_{50} \sim \sigma_{mf}$ 関係の利用価値を論ずるものはさらに将来のことと考える。な

表-2 三軸圧縮試験結果一覧表

テスト名	割線係数範囲	成形時平均値		C (kg/cm^2)	ϕ	C' (kg/cm^2)	ϕ'	エネルギー係数・相関係数		
	E_{50} (kg/cm^2)	γ_d ($\%$)	S_r ($\%$)					C_A	R_A	r
UU ϕ I	265 ~ 474	1.40	49	1.3	26°10'	1.2	28°00'	-26	10.5	0.98
UU ϕ II	169 ~ 246	1.45	74	0.9	18°20'	0.8	24°40'	-10	7.9	0.98
UUWI	17 ~ 57	1.47	88	0.7	12°00'	0.3	36°40'	14	8.0	0.78
UU ϕ II	123 ~ 207	1.44	50	0.4	13°10'	0.2	28°40'	-4	5.3	1.00
UU ϕ II	83 ~ 218	1.44	71	0.5	10°40'	0.1	32°10'	0	2.9	0.88
UUWI	9 ~ 13	1.45	95	0.5	0°30'	不定	不定	不定	不定	0.28
CU ϕ I	255 ~ 297	1.44	52	0.7	27°00'	0.7	30°40'	-14	8.5	0.98
CU ϕ I	139 ~ 201	1.48	75	0.6	22°00'	0.7	22°40'	-5	6.2	0.99
CUWI	40 ~ 169	1.44	94	0.6	22°00'	0.1	35°40'	11	6.2	0.91
CU ϕ II	181 ~ 282	1.40	47	0.5	18°30'	0.2	33°00'	-4	4.7	0.95
CU ϕ II	147 ~ 251	1.45	71	0.4	16°10'	0.3	26°20'	-3	4.1	0.94
CUWI	66 ~ 243	1.49	93	0.8	25°10'	0.2	35°40'	17	5.0	0.94
UU ϕ I'	155 ~ 199	1.51	81	0.9	15°40'	0.9	18°30'	-7	6.3	0.99
UU ϕ II'	197 ~ 266	1.50	77	0.8	9°00'	0.6	16°50'	-2	3.1	0.96
CU ϕ I'	148 ~ 250	1.51	78	0.7	18°30'	0.8	19°00'	-4	4.8	0.98
CU ϕ II'	124 ~ 213	1.46	75	0.3	16°00'	0.3	26°10'	-2	4.0	0.99

〈注〉 UU ϕ I' ~ CU ϕ II' は目標密度を $\gamma_{dmax} = 1.51 \text{ g/cm}^3$ としたもの。

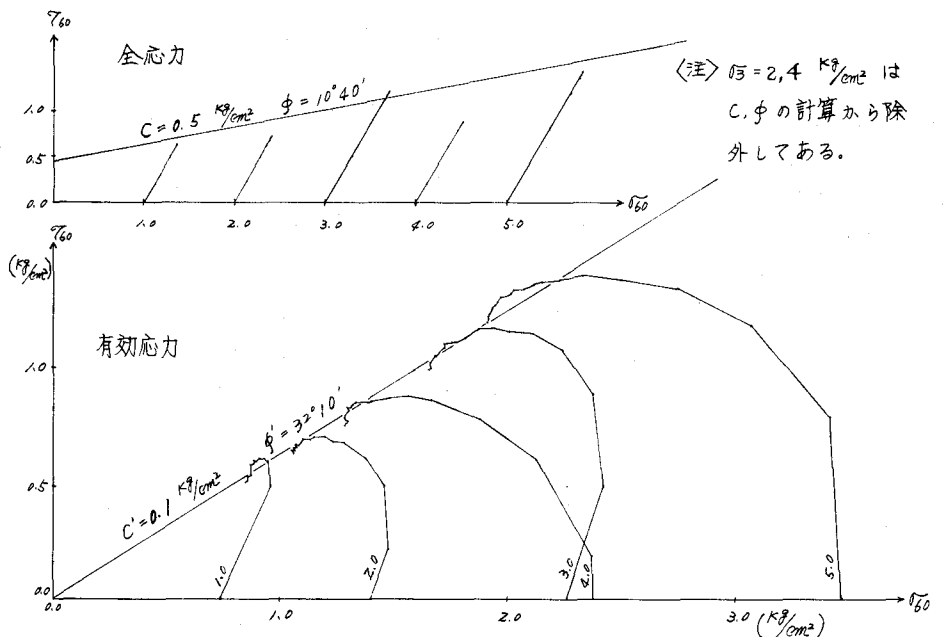


図-3 ベクトルカーブ (UU ϕ II)