

大山・蒜山ロームの力学的性質について

鳥山 暁 司

The Mechanical Properties of Daisen Loam and Hiruzen Loam

Koushi TORIYAMA

Abstract The consolidation tests and consolidated undrained triaxial compression tests were performed on the specimen of Daisen loam and Hiruzen one which water contents were natural one and dry side of natural one. The following results are obtained from these experiments.

1. On undrained condition, pore pressure is increased for long time after increment of confining pressure σ_3 . There are fairly specimen which pore pressure coefficient $B = \Delta u / \Delta \sigma_3$ is greater than 1.0 in a certain stage of increment of confining pressure.
2. The coefficient of consolidation for pore pressure c_{vu} of Daisen loam is greater than $1.0 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ and that of Hiruzen loam is greater than $2.0 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$. The value of c_{vu} is almost smaller than coefficient of consolidation for volumetric strain or axial strain.
3. The rupture envelope expressed by effective stress is nearly constant for the specimen which water content is from natural water content to 20 ~ 30% dry side of natural one. The ratio of undrained shear strength to consolidation pressure c_u/p is greater than 0.3.

Key words : Daisen loam, Hiruzen loam, pore pressure coefficient, consolidation, shear strength

1. ま え が き

我が国には多くの火山があるため、火山灰に由来するロームが各地に分布している。この内、関東地方のロームは以前から多くの研究がある¹⁾。また、九州地方のロームについてはいくつかの研究が行なわれ^{2),3)}、東北地方のロームについてもいくつかの研究が行なわれている^{4),5)}。中国地方にも大山、蒜山、その他の火山があり、これに由来するロームが各地に存在し、土木工事の際にその取り扱いが問題になっているが、なぜかこれについての研究がほとんど行なわれておらず、松浦・芳賀^{6),7)}が山陰の火山灰土の基本的な力学的性質を実験していることと、岩成・その他⁸⁾がクロボクの力学的性質を実験している程度である。このため、個々の現場ではその取り扱いに苦慮しているようである。ここでは中国地方の

代表的な火山である大山と蒜山に由来するロームを盛土材として利用する場合に必要な圧密特性と剪断特性についての基本的な実験結果を報告する。

2. 試料土と実験方法

実験に用いた火山灰質のロームは農林水産省の大山山麓開拓建設事業所で建設中の下蚊屋ダムの遮水ゾーンの混合材に用いるロームのテストピットより採取したもの(大山ローム)と岡山県真庭地方振興局で工事中の広域農道の切り土現場より採取したもの(蒜山ローム)である。これらの材料はいずれもビニール袋に入れて乾燥を防いで研究室に搬入した。大山ロームの自然含水比は約60%、蒜山ロームは約80%である。また、これらの物理的性質は表1に示す。

これらのロームは高含水比で剪断強度が低く、そのま

表1 ロームの物理的性質

試料土	大山ローム	蒜山ローム
G_s	2.729	2.632
w_l (%)	96.0	87.2
w_p (%)	51.1	40.2
I_p	44.9	47.0
礫分 (%)	4.1	0.0
砂分 (%)	43.9	3.0
シルト分 (%)	14.0	56.0
粘土分 (%)	38.0	41.0
w_{opt} (%)	32.7	41.3
$\rho_{d_{max}}$ (g/cm ³)	1.340	1.230

までは盛土材料として利用困難である。下蚊屋ダムではロームと角礫凝灰岩を混合して遮水材料とする。岡山県の農道についてはこれをそのまま盛土材料としているが、施工性の確保とローム材の圧密の促進のため、ジオテキスタイルと砂質材料をサンドイッチ状に撒きだしている。したがって、これらロームを盛土に用いる場合、その圧密特性と圧密による剪断特性の変化を明らかにしておくことが望ましい。さらに施工性の改良方法として、乾燥が考えられるため、乾燥による圧密および剪断特性の変化についても実験した。試料土の乾燥は室内に試料土を薄く広げて徐々に乾燥させ、よく混合してビニール袋に密封して、1週間以上置いたのち実験に用いた。供試体は直径5.0 cm、高さ12.5 cmのモールドに試料土を5層に分けて入れ、オーバーコンパクションを避けるため、自然含水比の場合はこれを直径4.6 cmの木の棒を人力で静かに押して締固め、やや乾燥させた試料土では木の棒を標準締固め用ランマーで2~7回突き固めて作成した。なお、風乾状態から加水した場合の試料土の締固め曲線を図1に示す。

圧密実験は飽和粘土については標準圧密試験が一般的に用いられる。しかし、締固めたロームは軟弱とはいえ不飽和であるため、標準圧密試験では沈下の進行と間隙圧の発生、消散が平行して生じ、試験結果の意味があいまいになる。そこで圧密試験は三軸セルを用いて、非排水状態で側圧 σ_3 を20分ごとに増加して、間隙圧と軸変位を測定する非排水過程と σ_3 が所定の値に達したのち、排水をして、間隙圧、排水量(排気量も含む)、軸変位を測定する排水過程に分けて実験行なった。間隙圧の測定は供試体底面で行ない、排水は供試体の上面から行なった。このため、軸変位と排水量は供試体の平均値を、間隙圧は不透水面の値を示している。今までの実験結果か

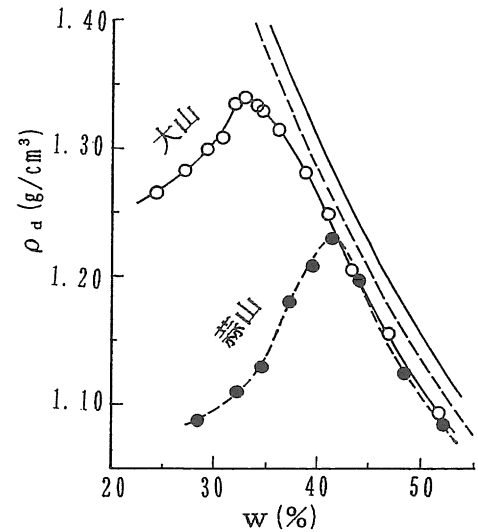


図1 風乾試料土の加水による締固め曲線

ら、大山ロームについては側圧が所定の値になった後、20分後に排水を行なった。この場合、排水開始後、30~60分程度の間、間隙圧がわずかに増加する供試体が生じた。そこで蒜山ロームについては非排水状態での増圧を1時間間隔とし、所定の側圧に達したのち約16時間置いたのち、排水試験を始めた。排水試験での結果より圧密係数、その他を求めるためには、実験結果を $\log t$ に対してプロットし、一次、二次圧密を分離した。不飽和土の圧密にはTerzaghiの圧密理論は厳密には適用できないが、これに代わる実用的な圧密理論が無いため、圧密度30, 50, 80%での圧密係数を求めた。

剪断試験はすべて圧密非排水圧縮試験とし、剪断速度は0.1%/minとした。圧密には供試体側面にドレーン用の濾紙を付けた。間隙圧の消散は数時間で終わるが、圧密は2日間とした。実験は非水浸状態で行ったが、両試料土とも、最も乾燥した試料土については水浸状態でも実験を行い、水浸の影響を調べた。

3. 非排水状態での側圧と間隙圧の関係

両ロームとも普通の締固めた粘性土と比較して3つの大きな特徴を示した。

第1は非排水状態での間隙圧の経時変化である。普通の粘性土では側圧の増加後、間隙圧は約10分間、増加するとほぼ一定値になり、1時間ほど経過すると、間隙圧は徐々に減少する。これは圧縮された間隙空気が間隙水中に徐々に溶解するためと考えられる。このため、不飽和土の圧密試験では非排水での側圧は20分毎に増加し、所定の側圧に達したのち20分後に排水を開始して

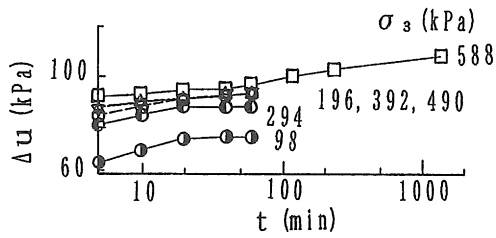


図2 非排水状態での間隙圧の経時変化(大山ローム)

きた。ロームにおいては図2に大山ロームで $p = 98 \sim 490 \text{ kPa}$ までは60分間隔で98kPaずつ増圧し、 $p = 588 \text{ kPa}$ では1410分間隔を一定に保った場合の時間と間隙圧の増分の関係を示すが、側圧が196~294 kPa程度までは1時間以内に間隙圧の増加は終わり、その後はほぼ一定値を保つが、側圧が588kPaになると5~6時間以上にわたり間隙圧が増加している。このため、大山ロームで20分間隔で増圧後、排水を開始すると、20~40分程度は間隙圧が増加する供試体があった。

第2の特異な点は図2の $p = 588 \text{ kPa}$ の場合および図3に明らかのように、増圧のある段階において間隙圧係数 $B = \Delta u / \Delta p > 1.0$ となる供試体が大山ロームでは17本中7本で、蒜山ロームでは15本中5本で生じたことである。飽和土で $B = 1$ 、不飽和状態では $B < 1$ となるはずである。この原因としては増圧が正確に98kPaでなく誤差があることが考えられる。誤差としては1~2kPa程度は考えられるが、20kPa以上も誤差は生じえない。つぎに水漏れが考えられるが、この場合、 $B > 1$ の生じた側圧以上では間隙圧は側圧に等しくなり、 $B = 1$ となるはずであるが、 $B > 1$ となった後も、 $u < p$ で、 $B < 1$ となっており、水漏れとは考えられない。したがって、ある増圧段階で $B > 1$ となるのは実験上の誤差とは考えられず、ロームの特異な性質と思われる。

第3の特異な点は圧密後、再度、非排水で増圧した場合の間隙圧にある。図3(a)は $\sigma_s = 588 \text{ kPa}$ まで非排水で増圧した場合と294kPaで一度圧密を行なった後、非排水で588kPaまで増圧した場合を示す。一般の締固め土では一度圧密を行なうと、それ以後に生じる間隙圧は非常に小さくなる。図3(b)のように、ロームの場合も圧密後の増圧が小さい間はBが小さいが、圧力が大きくなると、 $B > 1$ となるような大きな間隙圧の増加を生じ、先行する圧密の効果が殆ど消滅する。

このような特異な傾向は大山、蒜山ロームとも自然含水比およびこれを20%以上、乾燥させた供試体についても認められる。現場においては気候によっては乾燥を期待できる場合もあるが、この乾燥による盛土の間隙圧

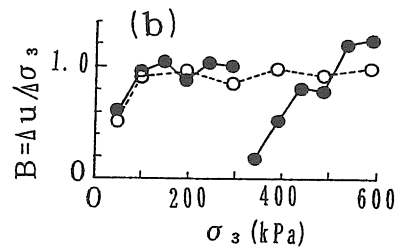
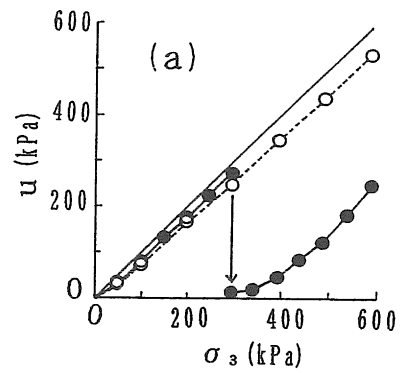


図3 側圧-間隙圧と側圧-間隙圧係数の関係

を低減する効果はあまり期待できないであろう。

4. 圧密過程について

圧密過程での間隙圧 u 、体積ひずみ ϵ_v 、軸ひずみ ϵ_a と $\log t$ の一例を図4に示す。間隙圧は0に漸近するが0とならず5~10kPa程度の間隙圧の残留する供試体もある。 ϵ_v と ϵ_a は一次圧密と二次圧密に分離できるが、両者の100% 圧密点は必ずしも一致しない。

間隙圧の30, 50, 80%消散と ϵ_v 、 ϵ_a の一次圧密の30, 50, 80%点の時間からTerzaghi圧密に基づく圧密係数を求めた。以後、間隙圧についてはサフィックス u 、体積ひずみについては v 、軸ひずみについては ϵ で、圧密度についてはサフィックス30, 50, 80を付けて表す。盛土の安定性の検討には間隙圧が最も重要であるから、

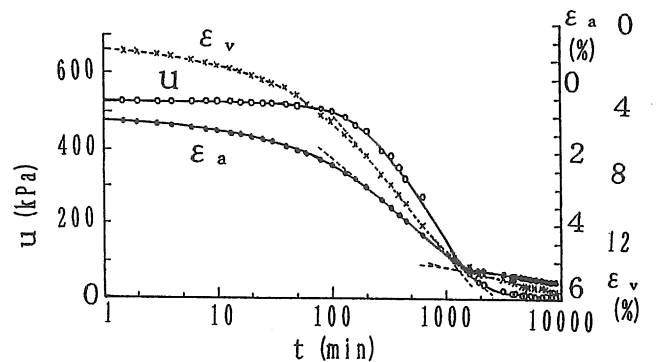


図4 自然含水比の大山ロームの圧密過程

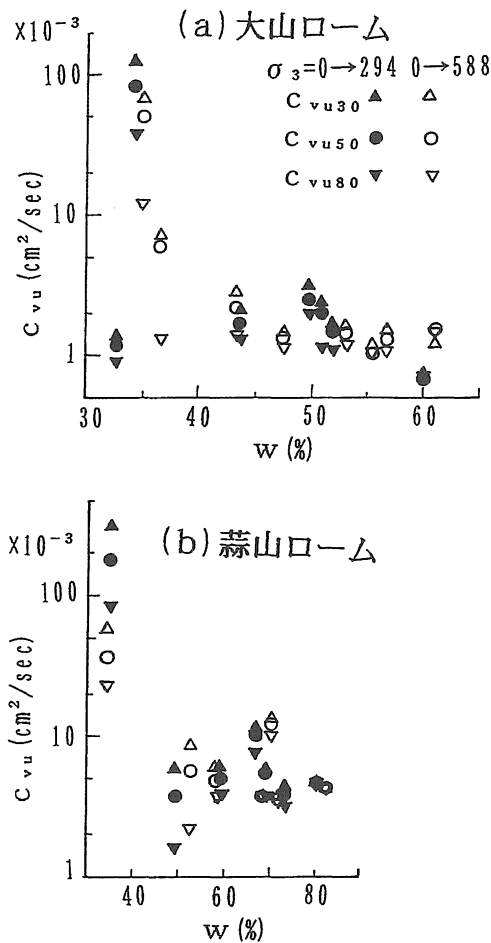


図5 間隙圧消散よりの圧密係数と含水比の関係

図5に間隙圧からの圧密係数と締めめ含水比の関係を示す。図には $p = 0 \rightarrow 588\text{kPa}$ と $0 \rightarrow 294\text{kPa}$ の場合を示す。 $p = 294 \rightarrow 588\text{kPa}$ の c_{vu} は $0 \rightarrow 294\text{kPa}$ での値とほぼ等しいので図には省略した。大山ロームでは約20%、蒜山ロームでは約30%の乾燥によっても c_{vu} は殆ど変化しない。乾燥の圧密促進への効果を生じるには大山ロームで30%、蒜山ロームで40%以上も含水比を低下させる乾燥を必要とする。これは実際には不可能であり、これより、乾燥による圧密の促進は期待できない。また図より、大山ロームでは $c_{vu} > 1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s} \approx 1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ であるが、蒜山ロームでは $c_{vu} > 2 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ であり、多くは $c_{vu} > 4 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ である。

間隙圧からの c_{vu50} と体積ひずみからの c_{vv50} 、軸ひずみからの c_{ve50} の関係を大山ロームについて図6に示す。蒜山ロームも大山ロームと同様に $c_{vu50} < c_{vv50}$ 、 c_{ve50} であるが、蒜山ロームの方が差は小さい。しかし、いずれの場合も間隙圧からの圧密係数の方がひずみからの圧密係数より小さいから、間隙圧の消散を検討する場合には圧密中の間隙圧を測定する必要がある。なお、前述したよ

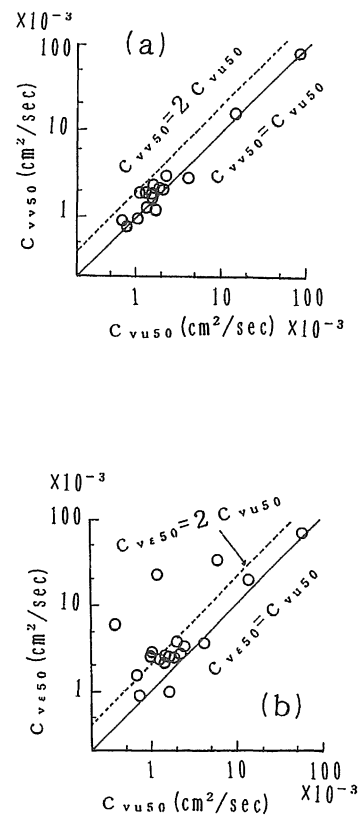


図6 間隙圧消散よりの圧密係数と体積ひずみ、軸ひずみよりの圧密係数との関係

うに、この場合も非排水と排水過程を分離する必要がある。

5. 剪断特性について

三軸圧縮試験での応力-ひずみ関係の一例を自然含水比の蒜山ロームについて図7に示す。大山ロームもほぼ同様の傾向を示す。一般の締めめた粘性土では偏差応力 σ_3 の低い範囲でピークを生じて、 σ_3 が大きくなるとピークを生じない場合がある。これに対して、ロームでは自然含水比の場合も含水比を低下させた場合も、 σ_3 が低い範囲では偏差応力にピークが生じなくても、 σ_3 が大きくなるとピークを生じるという特異な傾向が認められる。剪断中の間隙圧は含水比の低下とともに小さくなるが、自然含水比での大山ロームで $A_f = \Delta u_f / (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は0.10から0.87へ、蒜山ロームでは0.38から0.88へ側圧の増加とともに大きくなっている。正規圧密粘土の間隙圧係数 $A_f = 0.5 \sim 1.0$ であり⁹⁾、乱されたロームが軟弱なことを示している。

表2, 3に大山ロームと蒜山ロームの6本の供試体の

表2 大山ロームの強度定数

No	w %	ρ_d g/cm ³	ϕ' deg	c' kPa	ϕ_{cu} deg	c _{cu} kPa	c _u /p	c _{up} kPa
D L A	57.96	1.031	29.9	19.1	13.5	34.0	0.304	43.4
D L B	55.10	1.064	26.8	21.4	15.7	33.1	0.367	45.2
D L C	48.93	1.150	28.4	31.5	14.4	59.8	0.330	77.6
D L D	46.99	1.160	25.1	40.9	17.4	48.7	0.423	67.1
D L E	34.25	1.315	27.3	36.8	23.3	45.1	0.648	68.9
D L G	58.11	1.024	26.2	26.1	14.8	62.2	0.294	89.7
S L E	34.19	1.234	28.7	20.4	19.1	17.2	0.482	25.6

[注：S L EはD L Eを水浸したもの]

表3 蒜山ロームの強度定数

No	w %	ρ_d g/cm ³	ϕ' deg	c' kPa	ϕ_{cu} deg	c _{cu} kPa	c _u /p	c _{up} kPa
H L A	79.47	0.833	33.6	3.9	15.7	13.1	0.365	17.1
H L B	70.00	0.908	30.8	8.9	15.1	24.4	0.355	31.2
H L C	59.19	1.016	31.1	22.1	16.2	56.4	0.386	74.8
H L D	73.21	0.894	31.0	9.8	14.0	22.4	0.318	28.5
H L E	55.62	1.032	28.1	29.0	18.8	50.9	0.470	71.7
H L F	71.69	0.891	33.1	6.7	19.4	21.8	0.493	31.7
H L G	35.61	0.959	25.0	68.6	23.5	70.8	0.532	127.1
H G S	34.60	1.042	21.7	22.3	18.3	8.5	0.338	23.2

[注：H G SはH L Gを水浸したもの]

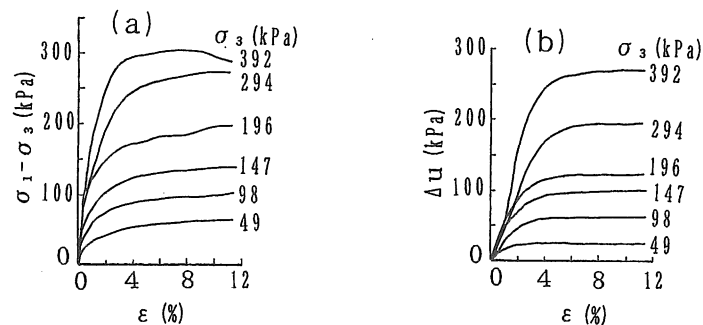


図7 自然含水比の蒜山ロームの応力-ひずみ、間隙圧-ひずみ曲線

平均含水比，乾燥密度，有効応力と全応力での強度定数，非排水剪断強度 $c_u = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ と圧密応力 $p = \sigma_3$ の関係を

$$c_u = c_{u0} + (c_u/p)p$$

と表した場合の c_{u0} と c_u/p の値を示す。 c_u/p は圧密による強度増加率を表し， c_{u0} は $\sigma_3 = 0$ のときの非排水剪断強度 $q_u/2$ に相当するが，蒜山ロームでの結果では

$c_{u0} > q_u/2$ となった。これは圧密に時間を要し，この間にロームのチキソトロピックな強度回復が一部で生じたためと考えられる。

有効応力での $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ と $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ の関係をプロットすると図8となる。表2，3より ϕ' ， c' は各含水比で差があるようにみえるが，これは僅かなバラツキによるものである。全体を1本の直線で近似すると

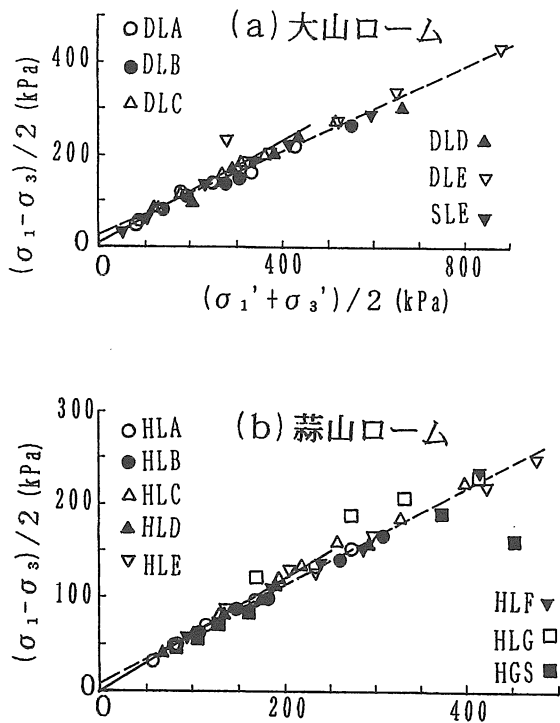


図8 大山ロームと蒜山ロームの有効応力での強度特性

大山ローム $\tau = 28.0 + \sigma' \tan 27.3^\circ$ (kPa)

蒜山ローム $\tau = 9.2 + \sigma' \tan 31.7^\circ$ (kPa)

となる。この場合、図から明らかなように $p' < 150 \text{ kPa}$ では実験値は直線より下にある。そこで $p' < 200 \text{ kPa}$ の場合のみを用いると

大山ローム $\tau = 5.1 + \sigma' \tan 34.3^\circ$ (kPa)

蒜山ローム $\tau = -2.4 + \sigma' \tan 37.1^\circ$ (kPa)

$p' = 200 \text{ kPa}$ は土柱高さで 10m 以上あるから、一般の安定解析には $p' < 200 \text{ kPa}$ の式を用いるべきである。このことは標準的な三軸圧縮試験で粘着力 c' が得られても低応力の範囲で実験を行なうと、 c' は殆ど期待できなくなることを意味している。内部摩擦角が大山ロームで 7° 、蒜山ロームで 5° 大きくなっているため、一見、大きな剪断強度が得られるような錯覚がするが、浅いすべりの安全率には粘着力が大きく影響して、摩擦抵抗力の効果は小さいため、浅いすべりに対しては低圧での三軸圧縮試験が重要となる。

全応力での $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ と $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ の関係を蒜山ロームについて図9に示す。全応力では各含水比で剪断中の間隙圧 Δu_r が異なるため、有効応力の場合のように、全体を1本の直線で近似することはできない。この場合も $\sigma_3 = 49 \text{ kPa}$ での点は直線の下に位置することが多く、低圧では三軸圧縮試験から求めた粘着力がそのまま期待できないことを示唆している。

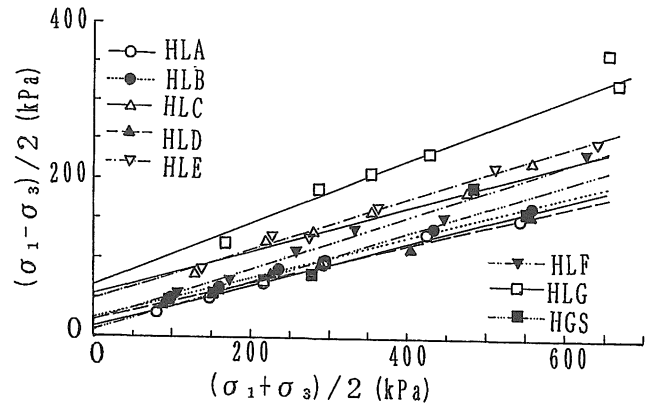


図9 蒜山ロームの全応力での強度特性

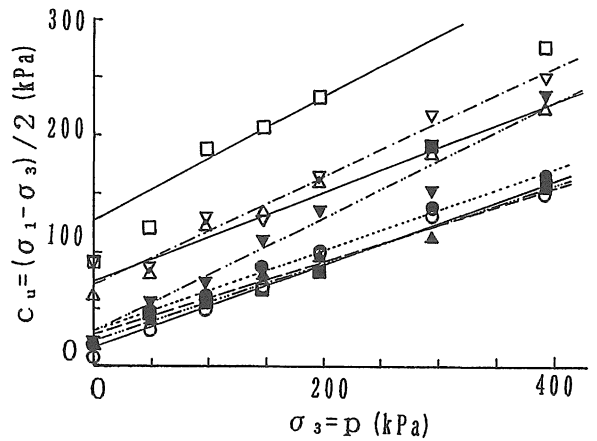


図10 蒜山ロームの圧密圧力 $p = \sigma_3$ と非排水強度 $c_u = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ の関係 (記号は図9と同じ)

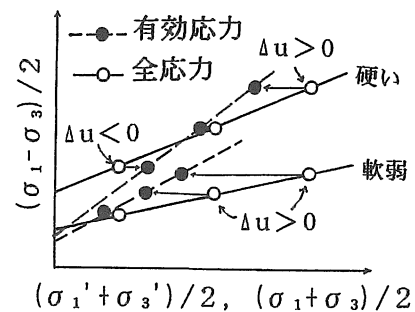


図11 有効応力と全応力での破壊包絡線への間隙圧の影響

非排水剪断強度 c_u と圧密応力 $\sigma_3 = p$ の関係を蒜山ロームについて図10に示す。図には縦軸 ($\sigma_3 = 0$) に $c_u = q_u / 2$ もプロットしている。 $\sigma_3 = 0$, 49 kPa での点は直線の下に位置することが多い。したがって、圧密による剪断強度の増加を考慮した設計をする場合、 $\sigma_3 = p \sim c_u$ の関係をそのまま用いることは危険であり、盛土当

初の剪断強度としては $q_u/2$ をとり、その後の圧密による強度増加分については実験より得られた (c_u/p) の値を用いれば、やや安全側の剪断強度を設計に用いることになる。

一般に盛土のすべりは深さ 10m 以下のことが多い。この場合、すべり面上の垂直応力は 200kPa 以下であり、これは側圧 σ_3 にすると 100～150kPa 以下であり、三軸圧縮試験としては低圧に属する範囲である。 $\sigma_3 < 50\text{kPa}$ での三軸圧縮試験では各種の誤差の影響が大きくなり、実験結果の信頼性に問題が生じてくる。そこで標準的な三軸圧縮試験結果から設計に用いるための、やや安全側の設計値を決めることが必要となる。低圧部では直線より下に点があるから、粘着力は大きく割り引く必要がある。これに対して、内部摩擦角は実験値をそのまま用いてよい。

圧密非排水三軸圧縮試験結果を有効応力と全応力で整理した。この実験では圧密に多くの時間を要し、剪断に要する時間は間隙圧を測定する場合でも 2～3 時間、測定しない場合は数十分である。したがって、三軸圧縮試験を計画する場合、間隙圧の測定を行なう方が、材料の剪断特性をみる上からも望ましい。

締固めた粘性土の設計には多くの場合、全応力での結果が用いられる。これは盛土での間隙圧は圧密によって消散するし、圧密過程も圧密理論によってある程度計算できるが、剪断による間隙圧を推定することが困難なためである。表 2、3 より全応力での $\phi_{cu} < \phi'$ であるが水浸した SLE と HGS を除いて $c_{cu} > c'$ である。これはロームのような軟弱な土では側圧が低いときの間隙圧係数 A_r は小さいが側圧が大きくなると A_r も大きくなり、図 11 のように有効応力での c' が小さくなり、 ϕ' が大きくなるためである。密な締固め土では側圧が低い場合、負の間隙圧が生じるが、側圧が大きくなると正の間隙圧となり、やはり有効応力での c' が小さくなり、 ϕ' が大きくなる。このため、浅いすべりに対しては全応力の方が大きな安全率を与えることになる。前述のように低圧部では実験よりの点が直線の下側にあるから粘着力を小さくする必要があるので、設計に用いる粘着力としては c_{cu} と c' のうち小さい方またはこれよりさらに小さい値をとることが望ましい。

6. あとがき

ここでは高含水比の 2 種の締固めた火山灰性のロームの圧密特性と剪断特性についての実験結果を示した。こ

れより

1) 非排水状態で間隙圧は長時間にわたって増加しないし一定値を保ち、部分的には間隙圧係数 B が 1.0 以上となることがある。

2) 圧密係数は大山ロームで $1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ 以上、蒜山ロームで $2 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ 以上となった。したがって、実験を行わずに圧密係数を決める場合には $1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{day}$ をとれば安全側の値となる。 $T_v = 1.0$ で不透水面の間隙圧の圧密度は 93% であるから、90% 圧密に要する時間 $t_{90} = T_v H^2 / c_v < H^2 / c_v < 100 H^2$ (day) となり、圧密に要する時間を概算できる。

3) 含水比が 20～30% 変化しても、有効応力でのモール・クーロン式はほぼ 1 本の直線となる。この場合、 $p' < 200\text{kPa}$ では実験結果が直線の下側になるから、設計には粘着力はかなり小さくとる必要がある。全応力では含水比により c_{cu} 、 ϕ_{cu} が変化するが、この場合も低圧部分で実験結果が直線の下側になる。

4) 非排水強度の増加率 c_u/p は 0.3 以上となったが、盛土内では圧密応力は等方的ではないから、安全側をみて 0.25 程度にするのが妥当と考えられる。

これらの圧密係数および剪断特性はほぼ軟弱な飽和粘土を想定すればよいことになる。ただし、締固めたロームは高含水比でも不飽和であるから、 $\phi_u > 0$ となるであろう。しかし、 B が大きいから ϕ_u は小さく、非排水強度では盛土の安定は確保できないと思われる。

謝 辞

本研究を行うに際しては、試料土の供給については大山ロームについては当時の大山山麓開拓建設事業所工事課長の三垣哲之氏に、蒜山ロームについては岡山県真庭地方振興局の遠藤和弘氏に多大のご援助を賜りました。また、実験に際しましては、当時の専攻生の鶴野晴延君、沖田真紀君、田中 緒君、武本吉弘君、永安 誠君、福田幸輝君に多大のご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。また、本研究には平成 6 年度文部省科学研究費 [一般研究 B (課題番号 06452368)] の補助を受けました。

引用文献

- 1) 火山灰質粘性土 執筆小委員会, 第 2 章 火山灰質粘性土, 日本の特殊土, 土質工学会編: 21-83 (1974).

- 2) 山内豊聡・卷内勝彦・鈴木敦巳・安原一也, 九州の有機質土について, 土と基礎, **21**-2: 37-46 (1973).
- 3) 北園芳人・鈴木敦巳・Hector Paiz・後藤章二, 火山灰質粘性土盛土路床の繰返し走行試験, 土と基礎, **37**-4: 11-16 (1989).
- 4) 諸戸靖史, 高含水比火山灰質粘性土の締固めびせん断強度特性, 土と基礎, 35-4: 43-48 (1987).
- 5) 諸戸靖史, 火山灰風化粘性土の化学的・物理的性質, 土と基礎, **39**-6: 9-14 (1991).
- 6) 松浦 誠・芳賀保夫, 山陰の火山灰土の土性と強度(その1), 第15回土質工学研究発表会講演集: 129-132 (1980).
- 7) 松浦 誠・芳賀保夫, 山陰の火山灰土の土性と強度(その2), 第15回土質工学研究発表会講演集: 133-136 (1980).
- 8) 岩成敬介・藤村 尚・木山英郎・勝見 雅: 締固めた黒ボクのクリープ特性について, 鳥大工学部研究報告, **9**: 245-253 (1978).
- 9) 赤井浩一: 土質力学, 朝倉書店: 93 (1966).