

投稿論文 (和文ノート)

**TECHNICAL
NOTE**

粘性土の一軸圧縮試験結果におよぼす応力解放の影響

外崎 明*・張 惠文**・赤石 勝***

本研究は、原地盤内有効応力の解放が一軸圧縮試験結果におよぼす影響について、原地盤内のせん断挙動を想定した三軸 CU 試験と三軸圧縮試験機を利用した一軸圧縮試験を行い、両者の差を比較検討した。その結果、応力解放後の非排水強さは圧密有効応力の大きいものほど B 値は低下し、強度減少も大きいことを示した。さらに過圧密粘土の一軸圧縮強さは、有効応力解放前に受けていた偏差応力の大きさの影響を受けることが明らかとなった。

Key Words: cohesive soil, unconfined compression test, shear strength, sample disturbance

1. 緒言

一軸圧縮試験結果は、軟弱地盤の安定・変形解析に広く利用されている¹⁾。三軸試験に比較して試験が簡単であり、同じ経費であれば不均質な地盤から、より多くの情報が得られるためと思われる。一軸圧縮強度には簡単な試験法に起因する種々の影響が含まれている^{2),3)}。しかしながら、実際地盤の強度と異なる一軸圧縮強度と、多くの仮定に基づく安定計算法が都合良く影響し合い、安定計算結果は比較的現場に近い予測を与えると信じられているのが現状と思われる。施工前予測の信頼性を向上させるためには、試験法や設計法に含まれる種々の問題点の影響を明確にすることが必要と考えられる。

この報告は、原地盤内有効応力の解放が一軸圧縮試験結果におよぼす影響について実験的に検討したものである。有効応力解放による非排水せん断強度の低下に関する多くの研究によれば^{4)~7)}、鋭敏な粘土でも強度低下は 1 割以下でそれほど大きくないと言われている。既往の研究の多くが正規圧密粘土を対象としているので、本研究では過圧密粘土も対象として解放時の有効主応力比の大きさが一軸圧縮強度に及ぼす影響を調べた。

2. 原地盤内有効応力解放の影響

原地盤内で K_0 圧密状態にある粘性土に作用する有効応力を解放すると、土試料内には一般に式 (1) で表される負の間隙圧 Δu が生じ、試料の等方有効応力 p'_c は式 (2) で表される。

$$\Delta u = -B(p'_c + Dq_0) \dots\dots\dots (1)$$

$$p'_c = -\Delta u \dots\dots\dots (2)$$

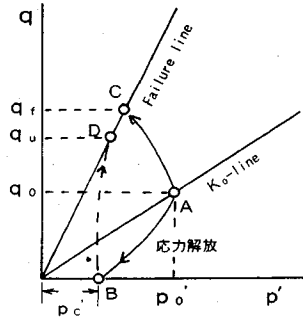


図-1 地盤内有効応力解放前後の応力経路

ここに、 p'_0 と q_0 は K_0 圧密時の平均有効応力と偏差応力、 B と D は定数、また有効応力解放後も土試料が飽和していれば間隙圧係数 $B=1$ である。

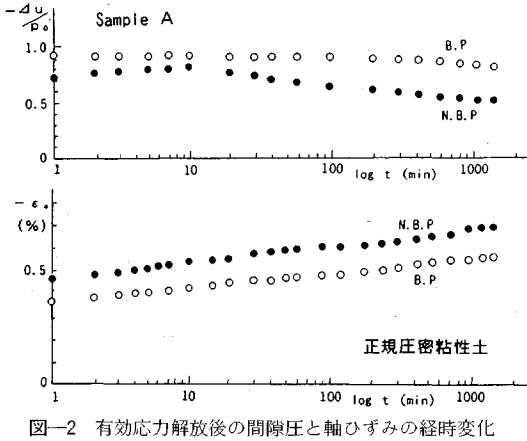
したがって解放前後の地盤内有効応力は、それぞれ図-1の A, B 点で示される。AB 間の平均有効応力の差は、土の力学的特性に依存する。有効応力解放後の B, D 値によっては p'_c がきわめて小さくなり A, B 間の平均有効応力の差が大きくなる。また、B 点の試料を三軸室内で再び原地盤内の有効応力 A 点に戻した場合、試料内には一般に正の間隙圧が残留する。圧密によってこの間隙圧が消散すれば原位置間隙比は減少し、原位置強度より少し大きめのせん断強度が得られる⁸⁾。図-1において非排水せん断時有効応力経路を原地盤で AC、一軸圧縮試験で BD とすれば、C と D の差が応力解放による圧縮強度の差ということになる。

この報告では、次章以降で三軸 CU 試験によって原地盤内のせん断挙動を想定した有効応力経路 AC を、三軸試験機を利用した一軸圧縮試験によって有効応力経路 BD を調べ、両者の差がせん断強度におよぼす影響を考察している。

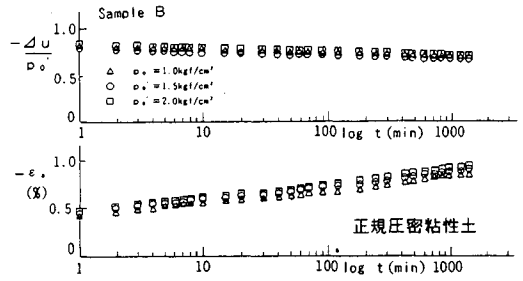
* 正会員 工博 金沢工業大学助教授 土木工学科
(〒921 金沢南局区内野々市町扇が丘7-1)
** 正会員 工博 国立中央大学助教授 土木工学系
*** 正会員 工博 東海大学教授 工学部土木工学科

表一 実験に用いた試料の物理的性質

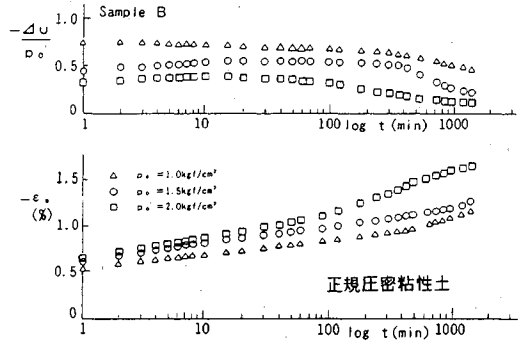
試料	G _s	W _L (%)	I _p (%)	Grading(%)			K ₀
				Clay	Silt	Sand	
A	2.626	121.6	68.1	52	45	3	0.43
B	2.699	81.5	37.1	34	42	24	0.40



図二 有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみの経時変化



図三 有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみの経時変化 (バックプレッシャーを用いた場合)



図四 有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみの経時変化 (バックプレッシャーを用いない場合)

3. 試料および実験方法

実験には沖積粘性土を用いた。物理的性質は、表一に示す通りである。

乱されない試料 A：地盤内有効土かぶり圧 $p_0 (= 10 \text{ tf/m}^2)$ に等しい圧力で K_0 圧密後、三軸 CU 試験を実施した。応力解放とバックプレッシャー有無の影響を調べる場合は、 K_0 圧密後非排水条件下で圧密圧力を解放し、24 時間後三軸圧縮試験機を用いたひずみ制御による一軸圧縮試験を実施した。

繰り返し試料 B：液性限界以上の含水比で十分繰り返した試料を、 0.1 kgf/cm^2 の等方圧密圧力で予備圧密した後、直径 5 cm、高さ 12.5 cm の円柱供試体を作成した。所定の平均有効応力 1.0、1.5、あるいは 2.0 kgf/cm^2 で K_0 圧密あるいは等方圧密後、乱されない試料と同様な三軸 CU 試験と一軸圧縮試験を実施した。

過圧密粘性土の実験では、平均有効応力 1.5 kgf/cm^2 で 48 時間 K_0 圧密した供試体を過圧密比 $\text{OCR}=2, 4$ あるいは 6 まで 48 時間吸水膨張した後、三軸 CU 試験ならびに一軸圧縮試験を実施した。

なお、いずれの試験も圧縮速度は $0.2\%/min$ 、バックプレッシャーを用いた場合その大きさは、 2 kgf/cm^2 である。

4. 実験結果と考察

(1) 有効応力解放後の間隙圧と伸張ひずみ

図二は、三軸室内で K_0 圧密された供試体 (試料 A) の有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみ ϵ_a の経時変化を示したものである。 ϵ_a の負号は伸張ひずみを示してい

る。 K_0 圧密終了後の B 値は、すべての試料で 0.98 以上であった。有効応力解放 15 分後頃に間隙圧はピークに達し、その後徐々に減少している。また、バックプレッシャーを用いた場合、より大きな間隙圧が発生している。これに対し軸ひずみは、有効応力解放後ほぼ時間の対数に比例して変化している。また、バックプレッシャーを用いない場合のほうが大きな伸張ひずみを生じている。繰り返した試料 B の有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみの経時変化を図三 (バックプレッシャーを用いた場合)、図四 (バックプレッシャーを用いない場合) に示した。図二とほぼ同じ傾向を示している。また、図よりバックプレッシャーを用いた場合、間隙圧および伸張ひずみの大きさは圧密時の有効応力の大きさの影響をほとんど受けない。一方、バックプレッシャーを用いない場合は圧密有効応力の影響は明らかで、圧密有効応力の大きいものほど間隙圧の減少は大きく、伸張ひずみは増加する傾向が認められる。

図四の一軸圧縮試験終了後測定した B 値は、 $0.82 \sim 0.38$ に低下しており、解放した平均有効応力 p_0 の大きいものほど B 値の低下率が大きい。その B 値を式 (1) に代入し、 D 値を求め B, D 値と p_0 の関係を示したのが図五である。 D 値は B 値と逆に p_0 の大きいものほど増加していき、 $0.45 \sim 0.79$ の値を示した。

しかしながら、図三の一軸圧縮試験終了後の B 値は実験前とほとんど変化なく 0.98 以上であった。有効応力を解放すると飽和土であっても間隙水中に溶け込ん

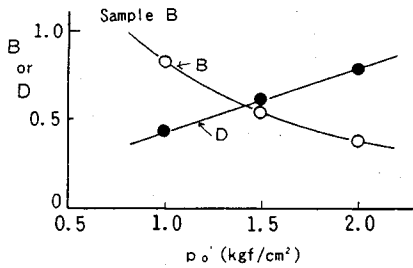


図-5 圧密有効応力と B 値および D 係数の関係

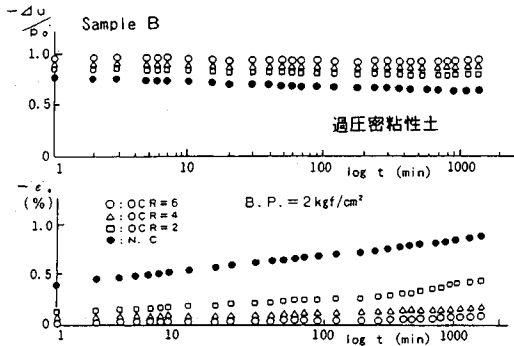


図-6 有効応力解放後の間隙圧と軸ひずみの経時変化

ていた空気が気泡となって膨張すると言われている⁹⁾。したがってバックプレッシャーを用いない場合、圧密圧力の大きなものほど B 値が低下したと思われる。

以上のことより、非排水条件下で圧密有効応力を解放して K_0 圧密圧力の大きなものほど伸張ひずみの増加は大きく、これが間隙圧密係数の変化やせん断強度に影響していると考えられる。

次に過圧密粘性土に関しても有効応力解放の影響を調べた。図-6 は、過圧密粘性土の圧密有効応力解放後の間隙圧と伸張ひずみの経時変化を示したものである。過圧密比 OCR=6 の供試体には等方圧密圧力が作用しているためか有効応力解放後の軸ひずみは一番小さい。また、解放した平均有効応力にはほぼ等しい間隙圧が発生し、経時変化はほとんど認められない。

K_0 正規圧密試料に作用する軸方向の有効応力は、一般に半径方向の有効応力より大きい。圧密時の有効応力が解放された場合、試料はより大きな有効応力が解放された軸方向に伸び、非排水条件下では体積変化がないため半径方向に縮む可能性がある。しかし、OCR4~6 程度の過圧密試料はほぼ等方有効応力に近い状態で圧密されているため有効応力解放に伴うせん断変形は小さいと推測される。非排水条件のせん断変形に伴い発揮されるダイレイタンスは時間依存性であるため、過圧密試料より異方性の大きな正規圧密試料の有効応力解放時、間隙圧や伸張ひずみに顕著な経時変化が観察されたものと考えられる。

(2) 有効応力経路とせん断強度

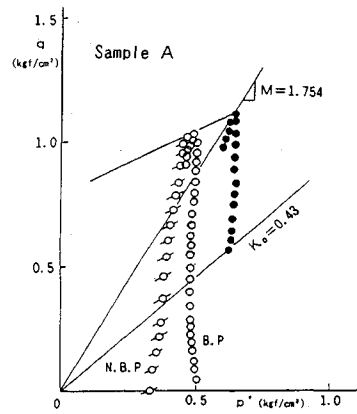


図-7 一軸圧縮試験と K_0 CU 試験の有効応力経路

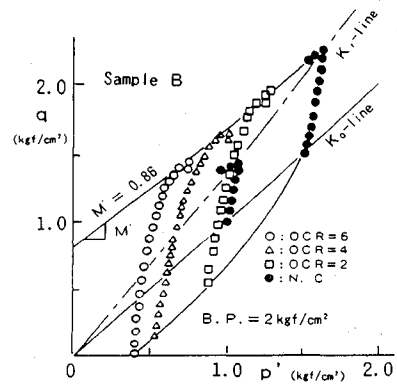


図-8 K_0 正規・過圧密粘性土の K_0 CU 試験結果

図-7 は、 K_0 正規圧密粘性土 (試料 A) の三軸 CU 試験ならびに一軸圧縮試験時の有効応力経路を示したものである。圧密有効応力を解放した一軸圧縮試験の有効応力経路は正規圧密粘性土の破壊線を越えて破壊している。また、有効応力を解放した一軸圧縮試験の最大偏差応力は三軸試験のそれより一割程度減少している。

K_0 正規・過圧密粘性土 (試料 B) の三軸 CU 試験の有効応力経路を示したのが図-8 である。図-9 は図-8 に示した三軸試験と同じ圧密圧力で圧密後圧密圧力を解放した供試体の一軸圧縮試験の有効応力経路である。図-8 と図-9 の比較から OCR の大きな供試体ほど有効応力の解放がせん断時の有効応力経路におよぼす影響の小さいことが観察される。図-8, 9 の強度線の位置と勾配はほぼ等しい。また、図-8 の有効応力を解放した K_0 圧密粘土の強度線の勾配もほぼ同じ大きさである。有効応力を解放して B 値の低下した供試体は、せん断時過圧密粘性土と類似の挙動を示すようである。

応力解放した一軸圧縮試験の q_u と解放しない CU 試験の最大偏差応力 q_l の比をとって、解放前の有効応力比 $K (= \sigma'_r / \sigma'_a)$ との関係調べたのが図-10 である。図から明らかなように、K が小さくなるほど、あるいは応力解放前の偏差応力の大きなものほど強度低下率は

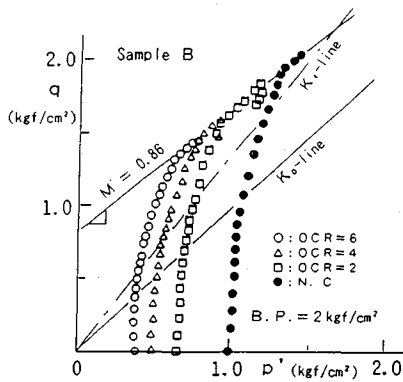


図-9 K_0 正規・過圧密粘性土の一軸圧縮試験結果

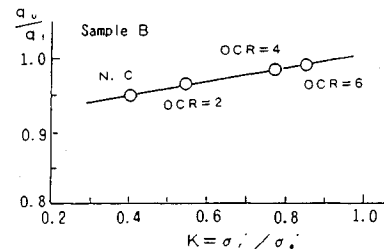


図-10 応力解放前の有効応力比と強度低下率

大きくなる。

図-11 は、 K_0 正規圧密粘性土の応力解放前の p_0 と応力解放による強度低下の割合を B.P. の有無によって比較したものである。B.P. を加えた場合、強度低下の割合は p_0 の大きさに関係なくほぼ一定値を示し B.P. を加えない場合には、 p_0 の大きなものほど強度低下の割合は大きくなる傾向が認められる。

5. 結 言

三軸 CU 試験によって原地盤内有効応力の解放が一軸圧縮試験結果におよぼす影響について実験的に検討した。以下得られた主な結果を要約すると次の通りである。

- 1) 有効応力解放後、非排水条件下で発生するせん断変形は、時間依存性である。
- 2) 有効応力解放によってバックプレッシャーを用いない一軸圧縮試験用飽和供試体は、不飽和になっている可能性が指摘された。
- 3) 応力解放時の有効応力比の大きな、すなわち過圧密

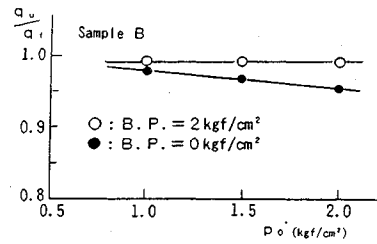


図-11 有効圧密圧力と強度低下率

比の大きな過圧密粘土ほど強度低下率が小さく、せん断変形(伸張ひずみ)も小さい。

原地盤強度より小さな一軸圧縮強度を安定計算に用いることは安全側の誤差となるが、過圧密粘土の一軸圧縮強度が原地盤強度に近い結果となり、過圧密粘土地盤の安定計算から得られる安全率に影響している可能性がある。しかしながら、ボーリングから室内試験に至るまでの過程で試料の乱れに影響する要因はきわめて多いため、現時点では応力解放による低下の補正は考える必要はないと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路土工・軟弱地盤対策工指針。
- 2) 松岡元：土の一軸圧縮強度の意義，土と基礎，31巻4号，pp.53~57, 1983.
- 3) 三田地利之・工藤豊・梅木宏也・谷口善則：異方圧密粘土の強度に及ぼすサンプリング時の応力解放の影響，北海道大学工学部研究報告，第149号，pp.37~47, 1990.
- 4) 奥村樹郎：粘土試料のカク乱による力学特性の変化とその補正，土質工学会サンプリングシンポジウム，pp.63~73, 1970.
- 5) Noorany, I. and Seed, H.B.: Insitu strength characteristics of soft clays, Proc. ASCE, Vol.91 SM2, pp.49~80, 1965.
- 6) Skempton, A.W. and Sowa, V.A.: The behaviour of saturated clays during sampling and testing, Geotechnique, Vol.13, No.4, pp.269~290, 1963.
- 7) Ladd, C.C. and T.W. Lambe: The strength of undisturbed clay determined from undrained tests, ASTM, STP No.36, pp.342~371, 1963.
- 8) 最上武雄：土質力学，技報堂，pp.535~538, 1969.
- 9) 奥村樹郎：粘土試料のカク乱に関する研究(第2報)，港湾技術研究所，8巻3号，pp.77~98, 1969.

(1993.9.6 受付)

THE INFLUENCE OF STRESS RELEASE ON THE UNCONFINED COMPRESSION TEST RESULTS

Akira TONOSAKI, Huei-Wen CHANG and Masaru AKAISHI

In order to investigate the effects of disturbance on the unconfined compression strength due to release of confining pressure, undrained triaxial compression tests are performed on normally- and over-consolidated saturated cohesive soils. Release of confining pressure yields the decrease of pore pressure coefficient and unconfined compressive strength. The rate of decrease in strength due to release of confining pressure depends on the deviator stress before the removal of total stresses acting on the specimens.