

III-145

締固め土の先行圧縮応力と応力履歴による強度の推定

真柄建設㈱土木本部技術課 正会員○森影 篤史
 真柄建設㈱土木本部技術課 上田 信二
 真柄建設㈱技術研究所 正会員 髙本 裕昌
 金沢大学土木建設工学科 正会員 太田 秀樹

1. はじめに

締固め土の現場における代表的管理指標である密度・含水比から、簡易な手法により、その工学的性質(強度・変形性・遮水性等)を推定することの意義は大きい。筆者らは、「室内での簡易な圧縮～一面せん断試験により、締固め土の密度・含水比から先行圧縮応力と強度を推定する手法」を提案してきた^{1), 2)}。しかし、現場の締固め土は、大部分がこの手法から求められる先行圧縮応力よりも小さな垂直応力を受けた過圧密状態にある。したがって、締固め土に先行圧縮応力の概念を導入するためには、この過圧密状態を考慮する必要がある。ここでは、既往の圧縮～一面せん断試験に除荷過程を追加し、締固め土の先行圧縮応力と応力履歴による強度について検討を加えたので報告する。

2. 試料および試験方法

試験に用いた試料は、金沢市近郊に分布する大桑層の山砂で、物理的性質は表-1に示す通りである。試験は、含水比 $w=20, 25, 30\%$ の三段階に調整した試料を用いて、圧縮～除荷～せん断といった一連の試験を一面せん断試験機のみで行うもので、その手順は図-1に示す通りである。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮過程

静的な先行圧縮応力: σ_c により締固めた土の、圧縮終了時の乾燥密度: ρ_d および含水比: w と σ_c の関係を図-2に示す。図より、各含水比の乾燥密度は、圧縮応力が大きくなると高くなり、 $\log \sigma_c$ と直線関係にある。また、含水比が高くなると、この関係は密度の高い方へほぼ平行に移動する。圧縮試験の結果から、乾燥密度: ρ_d と間隙比: e の関係に注意すれば、飽和粘性土の正規圧密領域における $e-\log P$ 曲線の直線性と同じことが、締固め土=不飽和土においても含水比ごとに成立することがわかる。

3.2 除荷過程

圧縮終了後、所定の垂直応力まで除荷したが、除荷に伴う供試体の膨張はごくわずかで、乾燥密度は圧縮終了時とほとんど変わらない。したがって、文中の乾燥密度は圧縮終了時の値であるが、除荷終了時=転圧完了時の値と考えても良い。

3.3 せん断過程

まず、図-3に除荷しない場合すなわち正規圧密状態の非排水せん断強度: S_u と先行圧縮応力: σ_c の関係を示す。図中には、各含水比での値が同時に示してあるが、含水比によらず S_u は σ_c に比例し、原点を通る直線で表される。この関係は、正規圧密時の飽和粘性土の非排水せん断強度: C_u が圧密圧力: P に比例する関係と同じであり、強度増加率: $m=C_u/P$ に相当する値は $m=0.24$ である。

表-1 試料の物理的性質

土質分類	SM	最大粒径: D_{max}	2.0 mm
粗砂分	3.6 %	均等係数: U_c	4.054
細砂分	72.4 %	曲率係数: U_c'	1.525
シルト分	22.0 %	比重: G_s	2.708
粘土分	2.0 %	塑性指数: I_p	NP

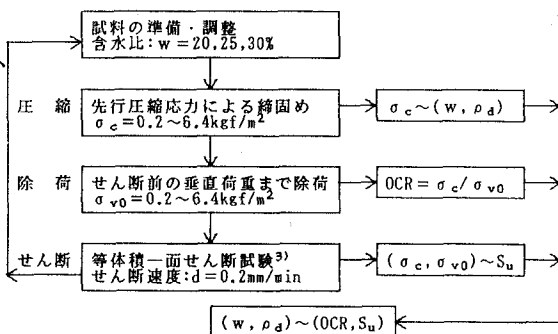


図-1 試験手順

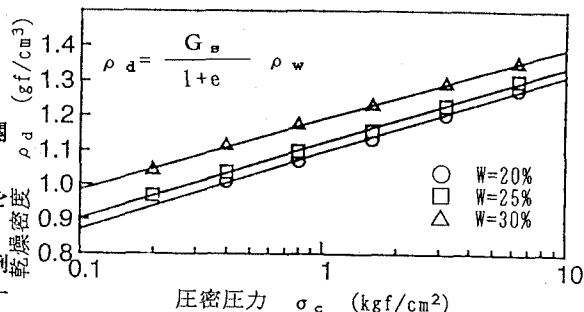


図-2 先行圧縮圧力と乾燥密度・含水比の関係

次に、除荷時の過圧密状態におけるせん断前垂直応力： σ_{v0} と S_u の関係を図-4に示す。図より、同じ先行圧縮応力で締固めた過圧密土の非排水せん断強度は含水比によらず σ_{v0} と1:1に対応している。また、これらの点を結んだ曲線は、各先行圧縮応力： σ_c に対してほぼ相似で、締固め過圧密土の $\sigma_c \sim \sigma_{v0} \sim S_u$ には明かな相関関係があると考えられる。

ここで、この締固め土＝不飽和土の圧縮特性および正規圧縮強度の特性が、飽和粘性土の特性と類似している点に着目し、飽和粘性土と同じように過圧密比を用いてその関係を整理してみる。図-5は、過圧密比： $OCR = \sigma_c / \sigma_{v0}$ とせん断前の垂直応力に対する強度の比： S_u / σ_{v0} の関係を、両軸に対数目盛をとって表したものである。図より、 $\log(S_u / \sigma_{v0})$ は $\log OCR$ と比例関係にあり、 S_u / σ_{v0} は次式で表される。

$$S_u / \sigma_{v0} = m \cdot OCR^\Lambda \quad \text{----- ①}$$

ここで、 S_u ：非排水せん断強度

OCR ：荷圧密比 $= \sigma_c / \sigma_{v0}$

m ：強度増加率， Λ ：定数

本試料では、 $m=0.24$ ， $\Lambda=0.78$ として求められた。

①式は、一般に広く知られている飽和粘性土の非排水せん断強度と応力履歴の関係を示す式に他ならない⁴⁾。このことは、この締固め土＝不飽和土の強度特性が、「締固めによる先行圧縮応力の概念」を導入することによって、従来の飽和粘性土に対する考え方を用いて統一的に表現できることを意味している。また、図-2に示すように、先行圧縮応力と密度・含水比の関係は圧縮試験により一義的に決定できる。したがって、締固め土に先行圧縮応力の概念を導入すれば、密度・含水比という管理指標から直ちに、現場の垂直応力に応じたせん断強度を推定する事が可能で、この逆もまた簡単にできる。

4. まとめ

締固め土に先行圧縮応力の概念を導入するため、山砂試料を用いて現場の過圧密状態を考慮した圧縮～除荷～一面せん断試験を実施したところ、以下の結論を得た。

- (1) 締固め土の強度特性は、先行圧縮応力による過圧密比を用いれば、従来の飽和粘性土の強度と応力履歴の関係式で統一的に表現できる。
- (2) 密度は除荷の影響をあまり受けず、先行圧縮応力と密度・含水比の関係は、圧縮試験により一義的に決定できる。
- (3) 上記(1)，(2)の関係より、密度・含水比という管理指標から直ちに、現場の垂直応力に応じたせん断強度が推定できる。

上記の結論は、締固め土の設計・管理における本手法の有用性を示すもので、種々の試料による検証が早急に必要である。

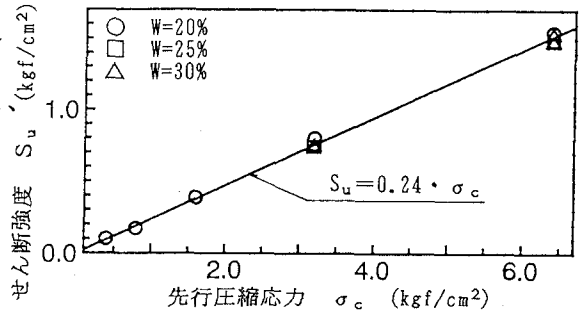


図-3 先行圧縮応力と非排水せん断強度の関係

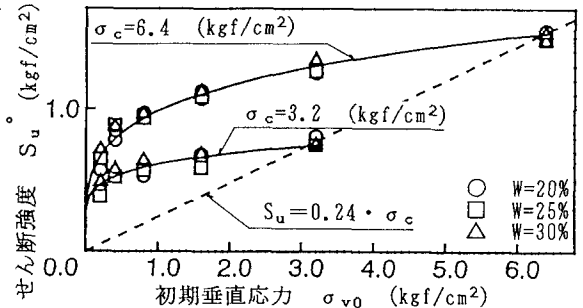


図-4 せん断前の垂直応力とせん断強度の関係

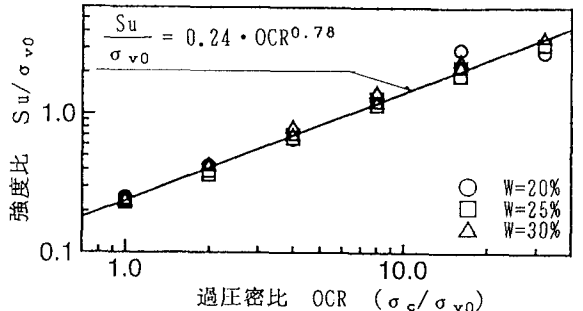


図-5 過圧密比とせん断強度／垂直応力の関係

1) 太田秀樹・西田義親・国安逸朗・金子義信：土の締固め—管理基準と品質検査—，土と基礎，34-5，pp.43～48，1986。

2) 太田秀樹・伊藤雅夫・石黒 健・米谷 敏：締固められた粘性土の先行圧縮応力と強度の推定，土木学会論文集，No.436，pp27～36，1991

3) 土質工学会：土の強さと地盤の破壊入門，pp264～249

4) 土質工学会：土質試験の方法と解説，pp366～367