

真空圧密と載荷圧密の室内試験による比較・検討

佐賀大学 理工学部 学生員○松永 圭一郎
 佐賀大学 理工学部 学生員 喜連川 聡容
 佐賀大学 低平地研究センター 正会員 柴 錦春
 佐賀大学 理工学部 正会員 坂井 晃

1. はじめに 軟弱地盤を圧密させる工法の1つとして真空圧密工法がある。真空圧密は載荷圧密に比べると、盛土材搬入の必要がない、軟弱地盤せん断破壊の恐れがないという利点がある。しかし設計上、真空圧密は載荷圧密と同等の結果を得ることができるか、排水境界条件は、真空圧密の効果にどのような影響を及ぼすのか、という疑問を解明する必要がある。本研究では、室内試験で真空圧密と載荷圧密を行い、沈下量を比較・検討した。また、理論分析・解析によって真空圧密のメカニズムを明らかにした。

2. 試験方法 過剰間隙水圧を測定できる「層別型繰り返し圧密試験装置」を使用して試験を行った。供試体の寸法は、標準圧密試験と同じく、直径6cm、高さ2cmである。一般的に真空圧密が地盤に与える真空圧(大気圧との差圧)は60~80kPaである。したがって、本試験において用いた荷重は、載荷圧密の場合は空気圧80kPa、真空圧密の場合は真空圧80kPaとした。なお試験は、真空圧密と載荷圧密との比較、排水境界条件の影響を検討するため、図-1に示す4パターンに分けて行った。

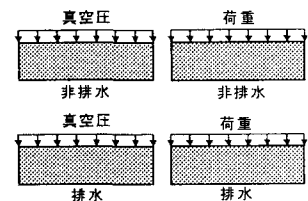


図-1 試験パターン

3. 使用した試料 試料は30kPaで再圧密させた有明粘土試料を使用した。粘土の物性、及び力学特性を表-1に示す。

表-1 粘土の特性

粒度			γ_s (kN/m ³)	ω (%)	ω_L (%)	ω_P (%)	e_c (-)	p_c (kPa)	C_c (-)
粘土分(%)	シルト分(%)	砂礫分(%)							
31.0	67.8	1.2	13.93	97.13	116.60	57.46	2.32	30	1.19

4. 試験結果

(1) 片面排水の場合の比較

沈下量-時間、及び間隙水圧-時間曲線をそれぞれ図-2(a)、(b)に示す。試験結果の信頼性を高めるために、1条件ごとに2つの試験を行った。図からわかるように結果のばらつきが小さい。間隙水圧の測定は試料底面で行っており、載荷圧密で最大値76.8kPa、真空圧密で最小値-73.0kPa(真空圧73.0kPa)であった。これらは加えた荷重より小さいものになっているが、その原因は試料のB値が約0.9で1.0よりも小さかった為だと考えている。載荷圧密と真空圧密の沈下量-時間曲線(図-2(a))を見てみると、真空圧密の沈下量が、載荷圧密の沈下量よりも小さくなっている。これは、載荷圧密が1次元(1D)圧密であるのに対し、真空圧密の場合は、等方(ISO)圧密の傾向(理想的な等方圧密ではない)があるからである。ここで、1次元圧密の鉛直ひずみを ϵ_{V1D} 、等方圧密の鉛直ひずみを ϵ_{VISO} とすると、弾性理論より以下の式が得られる。

$$\frac{\epsilon_{V1D}}{\epsilon_{VISO}} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \quad \dots \textcircled{1}$$

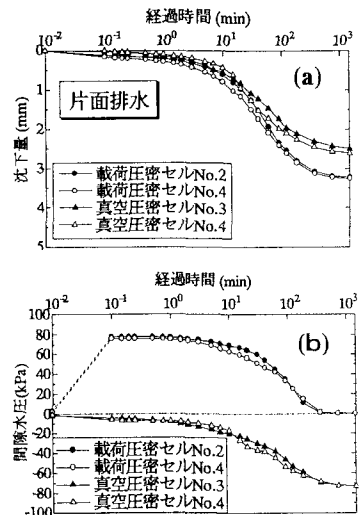
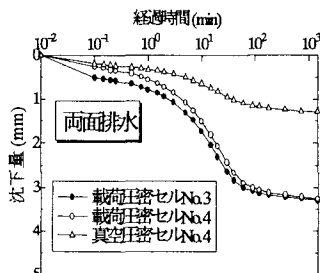


図-2 片面排水における各試験結果

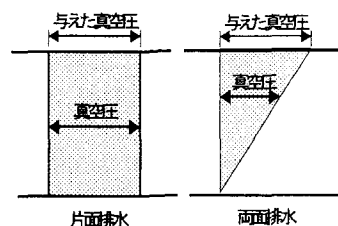
ただし、 μ : ポアソン比であり、 μ が0でなければ $\epsilon_{V1D}/\epsilon_{VISO} > 1.0$ となる。これは、真空圧密の沈下量が小さい場合の定性解釈である。現場の地盤においては自重が働くため、真空圧密の場合では1D圧密に近くなるものとする。なお、双方の圧密速度に関しては、ほぼ同じであった。

(2) 両面排水の場合の比較

真空圧密と載荷圧密の沈下量－時間曲線の比較を図－3に示す。両面排水の条件下において、真空圧密の試験は1つしか成功しなかった。その原因は、等方圧密の傾向によって、試料周面に隙間（水路）が生成され、真空圧がうまくかからなかった為だと考えている。成功したケースは20kPaの荷重＋60kPaの真空圧を載



図－3 両面排水試験結果

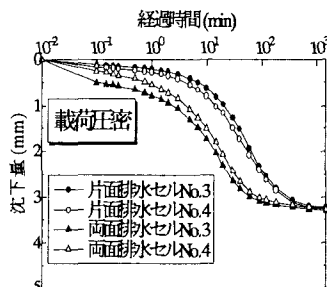


図－4 排水条件による真空圧分布の

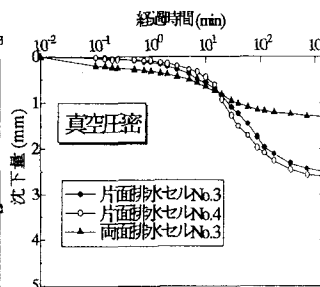
荷して試験をおこなったものであった。また真空圧密の場合、水は真空圧をかけた面からのみの排水となるため、底面を排水状態にすることには、そこに真空圧がかからないようにする、という役割だけがある。この場合、理想的な真空圧の分布は図－4のようになる。結果、両面排水における真空圧密の沈下量は載荷圧密の半分以下(図－3)となり、沈下速度も真空圧密の方が遅くなった(理論的には載荷圧密の1/4となる)。

(3) 排水条件の比較

図－5、6で、載荷圧密と真空圧密の両面・片面排水の沈下量－時間曲線を比較している。載荷圧密の場合、周知のように沈下速度は違うが、最終沈下量はほぼ等しくなっている。これに対し真空圧密の場合、片面排水では、沈下速度が速く、最終沈下量も大きい。したがって、真空圧密の場合は、両面排水の地盤条件を避けるべきである。



図－5 載荷圧密試験結果



図－6 真空圧密試験結果

5. 理論値の算出、及び実測値との比較

1D圧密の場合、最終沈下量 S_{c1} を式②で計算する

$$S_{c1} = m_v \cdot \Delta P \cdot h \quad \dots \textcircled{2}$$

ISO圧密の場合、最終沈下量 S_{c2} を式③で計算する。

$$S_{c2} = m_v \cdot \Delta P \cdot \frac{(1 - \mu)}{(1 + \mu)} \cdot h \quad \dots \textcircled{3}$$

ここに h ：供試体の高さ、 m_v ：体積圧縮係数、 ΔP ：圧力増分、 μ ：ポアソン比

計算に用いた μ は0.3である。理論値の精度を高めるため、80kPaの荷重増分を20kPaずつに、4つの領域に分け、それぞれの m_v を求めて沈下量を計算した。理論値と実測値を表－2にまとめている。

表－2から以下のことがわかる。

表－2 沈下量の理論値と実測値との比較 (単位:mm)

(1) 載荷圧密の場合、理論値と実測値がほぼ一致している。

(2) 真空圧密の場合、実測値は1D圧密の理論値より小さいが、ISO圧密の理論値よりも大きい($(S_{c1} + S_{c2})/2 \approx$ 実測値)。

試験条件			載荷片面	載荷両面	真空片面	真空両面
実測値	1D	S_{c1}	3.24	3.28	2.55	1.29
		ISO	—	—	1.76	0.85
	ISO	S_{c2}	—	—	—	—

6. 結論 試験結果、及び理論分析結果に基づいて以下の結論が得られた。

- (1) 真空圧密の沈下量は、載荷圧密の沈下量より小さい。その理由は真空圧密には等方圧密の傾向があるからである。現場では真空圧密でも地盤の自重作用によって、1D圧密に近い挙動が起こっていると考えられる。
- (2) 真空圧密は、地盤の排水条件によってその効果が大きく異なり、片面排水の方が沈下量が大きく、沈下速度も速い。したがって真空圧密の場合両面排水の地盤条件を避けるべきである。

<参考文献> 1) 喜連川謙容 柴錦春 三浦哲彦：真空圧による軟弱地盤改良効果に関する検討 土木学会西部支部講演概要集 2002
2) D.T.Bergado, J.C.Chai, N.Miura and A.S.Balasubramaniam: PVD Improvement of soft Bangkok Clay with Combines Vacuum and Reduced Sand Embankment preloading: Geotechnical Engineering Journal, Vol29, No1, 95-122:1998