

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 工学系研究科 学生員 ○松永 圭一郎
 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。真空圧密については、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、という疑問に対する統一的理解がまだない。そこで本研究では、室内圧密試験で1層および2層試料に対し、片面排水、両面排水の条件で載荷圧密、真空圧密を行い、沈下量および試料内の間隙水压変化を比較・検討することによって、真空圧密の特性を明らかにした。

2. 試験方法 過剰間隙水压を測定できる「層別型繰返し圧密試験装置」を使用して試験を行った。供試体の寸法は、直径6cm、高さ2cmである。現場で地盤に与える真空圧(大気圧との差圧)は60~80kPaであるため¹⁾、本試験において用いた荷重は、載荷、真空圧ともに80kPaとした。試験のパターンを表-1にまとめている。1層の場合の試料は再圧密した有明粘土(以下粘土試料)である。2層の場合、1層は粘土試料を、もう1層には有明粘土と2mmふるい通過砂を重量比50%で混合した再圧密試料(以下混合試料)を用いた(図-1)。再圧密に用いた荷重は、ともに30kPaである。試料の物性値は表-1に示している。

表-1 試験パターン

想定地盤	載荷方法	排水境界条件	初期応力(kPa)	試料パターン
1層	荷重	片面排水	0.40.80	粘土のみ
		両面排水	0.80	
	真空	片面排水	0.40.80	
		両面排水	80	
2層	真空	片面排水	80	Case1, 2(図-1)
		両面排水	80	Case1, 2(図-1)

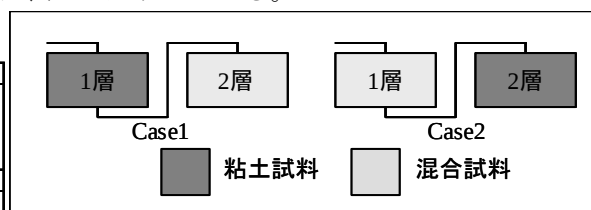


表-2 粘土の特性

図-1 2層の試料パターン

	粘土分	シルト分	砂礫分	ω_L (%)	ω_P (%)	e(-)	Cc(-)	mv(m ² /kN)	k(m/s)
粘土試料	31.0	67.8	1.2	116.60	57.46	3.625	0.884	3.22E-03	1.44E-09
混合試料	-	-	-	-	-	1.111	0.212	1.24E-03	3.13E-09

3. 試験結果の比較・考察

(1) 1層試料の場合

(a) 初期応力の影響 1層の片面排水条件では、初期垂直応力(σ'_{v0})0、40、80kPaで載荷圧密と真空圧密を行った。 $\sigma'_{v0}=40$ 、80kPaの場合は、まず40、80kPaで試料を圧密し、その上で80kPaの荷重、真空圧をかけて試験を行った。沈下量の比較は図-2に示す。もちろん σ'_{v0} が小さい場合は沈下量が多い。ここで、載荷圧密と真空圧密の沈下量を比較してみると、 $\sigma'_{v0}=0$ 、40kPaのとき載荷圧密の沈下量が真空圧密のものより大きくなっている。しかし、 $\sigma'_{v0}=80$ kPaでは双方の沈下量がほぼ等しくなっている。側方変位を拘束した条件においては、載荷圧密の変形は一次元的なものになるが、真空圧密は試料に等方圧密応力増分を与えるため、側方変位が発生する可能性がある。試料内で内向きの側方変位が発生すれば、垂直方向の沈下量は1次元圧密より小さくなる。 K_0 を静止土圧係数、真空圧を σ_{vac} とすると、内向きの側方変位が発生する条件は、式(1)のように表される。

$$\sigma_{vac} > \frac{K_0 \cdot \sigma'_{v0}}{1 - K_0} \quad \dots (1)$$

$K_0=0.5$ とすると、式(1)は $\sigma_{vac} > \sigma'_{v0}$ となる。 $\sigma'_{v0}=0$ 、40kPaの場合、この条件を満たしているため、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。

キーワード：真空圧密 載荷圧密 2層地盤

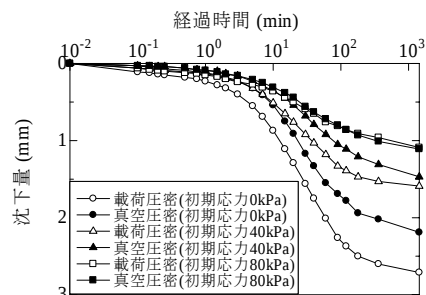


図-2 時間-沈下量関係(片面排水)

(b) 排水境界条件の影響 図-3は、初期垂直応力 80kPa、片面、両面排水条件における載荷圧密、真空圧密の時間-沈下量関係の比較である。周知のように載荷圧密の場合、排水境界条件は圧密速度に影響を与えるが、最終沈下量にはほとんど影響しない。しかし、真空圧密の場合排水境界条件が最終沈下量に大きく影響を及ぼしているのが分かる。両面排水条件における真空圧密の沈下量は、片面排水の半分となっている。片面排水の場合は載荷、真空圧密ともに全層に 80kPa の有効応力を与えることができる。しかし真空圧密の場合、両面排水条件では底面の過剰間隙水圧が 0 となる為、全層に等しい真空圧をかけることができない。真空圧密の場合、片面、両面排水ともに表面からのみの排水となるため、理論上圧密速度は等しい。

(2) 2層試料の場合

(a) 片面排水 図-4で2層、片面排水条件における真空圧密の沈下量を比較している。Case1(粘土試料が表層)の圧密速度が、Case2(混合試料が表層)に比べて遅くなっているが、最終沈下量はほぼ等しい。これは、粘土試料の透水係数が混合試料よりも小さいため、下にある混合試料からの排水に、より長い時間がかかったからである。図-5に試料中の間隙水圧等時線を示しているが、これからもCase1の水圧消散がCase2に比べて遅い事が分かる。

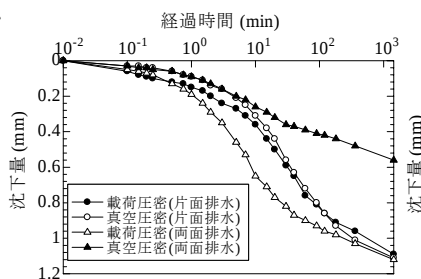


図-3 時間-沈下量関係

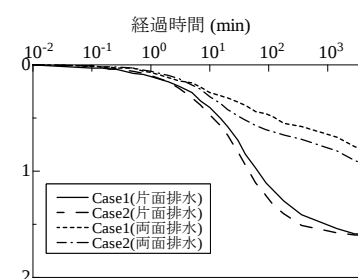


図-4 時間-沈下量関係(真空圧密)

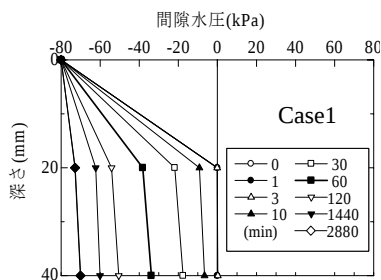


図-5 間隙水圧-深さ関係(真空圧密片面排水)

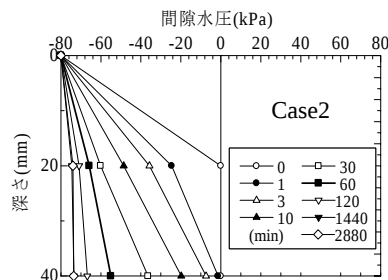


図-6 間隙水圧-深さ関係(真空圧密-片面排水)

(b) 両面排水 2層、両面排水条件における真空圧密の沈下量を図-4に示している。Case1,2ともに1層の場合と同じく、両面排水の沈下量の方が片面排水の場合よりも小さかった。ここで注目すべきは、層の位置関係の違いが沈下量に影響している点である。両面排水載荷圧密の場合、試料の順位は沈下量に影響を及ぼさないが、真空圧密両面排水試験では、排水が一方向(上向きのみ)となるため、試料の順位が圧密効果に影響を及ぼす。図-4に示すように両面排水の場合、Case2の沈下量の方が大きくなっている。両面排水の場合、最終状態では上向きの定常流が発生する。2層中の水流の連続状態を維持するためには、低透水係数層(粘土試料)中の動水勾配(表面と底面との真空圧の差)を高める必要がある。従って、図-6の様に、最終的な真空圧分布が試料の順位によって異なり、沈下量に違いが出てきている。

4. 結論 載荷圧密および真空圧密試験結果を比較することより以下の結論を得た。

- (1) 真空圧密の沈下量は、載荷圧密の沈下量より小さいか、または等しくなる。真空圧により試料に内向きの側方変位が発生する場合、真空圧密の沈下量は載荷圧密の沈下量よりも小くなるが、その差は初期有効応力が大きくなると縮まる。
- (2) 真空圧密は片面排水条件での沈下量が大きくなる。
- (3) 2層地盤を真空圧密する場合、片面排水条件では、層の順位は圧密速度に影響を及ぼすが、沈下量には影響しない。しかし両面排水の場合には沈下量にも影響を及ぼす。表層に透水係数の低い試料がある場合、沈下速度は遅く、沈下量も小さくなる。

<参考文献> 1)Chai, J.-C., Hayashi, S. and Carter, P. J. (2005). Characteristics of vacuum consolidation. Proc. 16ICSMGE, Osaka