

土的先期固结压力的测定与分析

钱炳生 杨熙章 徐存森

(上海勘察院) (同济大学) (华东电力设计院)

Determination and Analysis of Pre-consolidation of Soils

Qian Bingsheng Yang Xizhang Xu Cunsen

ABSTRACT

This paper makes a comparison of various methods for determining the pre-consolidation stress from e - $\log P$ curve of soils obtained from one-dimensional consolidation test.

The classical approach given by A. Casagrande indicated that P_c value may be determined by finding the point with the maximum curvature on the e - $\log P$ curve. As a supplementary method, this paper suggests a quick consolidation method to shorten the test period and a correction formula derived from the conception of stress-compressibility and time-compressibility interrelationship to modify the test result into e - $\log P$ curve with 24 hour duration of loading increment.

一、序 言

土的先期固结压力为土层在地质历史形成过程中所承受过的最大有效压力。研究土的先期固结压力以判定地基土属于正常固结的,超压密的或者欠压密的状态,从而正确地判定地基土的强度与稳定性以及估算建筑物或构筑物的沉降和桩基承载力。对此早已引起国内外土力学研究者与工程技术人员的重视。

测定土的先期固结压力的方法,总的可以归纳如下二种:

1. 土的压缩特性;

2. 土的强度变化规律。其中用第一种方法即进行原状土的单向压缩试验的成果 $e \sim \log P$ 曲线来判定土的先期固结压力 P_0 值,已被国内外广泛使用。本文列举了几种不同的分析方法进行比较,此外,为缩短试验周期,提出采用快速固结试验求 P_0 的方法及其校正公式。

本次试验研究采用原状土与制备土分别进行。其中对于制备土予压 2kg/cm^2 回弹稳定后,再进行先期固结压力的测定,这样以予设 2kg/cm^2 的先期固结压力的试样进行试验,可以排除原状土由于取土及试验过程中不可避免的扰动的影响,以利于资料分析。

* 参加本试验工作的还有俞自东、周端芳二位同志。

** 本文1981年4月收到。

二、仪器设备及试验方法

本次试验研究采用杠杆式单向固结仪进行, 杠杆比1:10, 试样面积 30cm^2 , 高度 2cm , 加荷等级为0.1、0.25、0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0、6.0、8.0、10.0、15.0、 20.0kg/cm^2 。

试验内容包括: 人工制备的予压土样, 原状密实的暗绿色亚粘土, 及灰色软粘土共3组, 分别进行慢固结试验、快速固结及重塑土试验。各组土的物理性指标见表1。

表1 土试样的基本物理性质

组别	试样编号	取土深度 M	自重力 压力 kg/cm^2	试验方法	土的基本物理性指标										备注
					γ_0 g/cm^3	G	W %	e	S_r %	W_L	W_P	I_P	I_L	土名	
A	A_1-1	预压	预压 2kg/cm^2	正常慢固结	1.73	2.74	42.9	1.263	93	44.4	22.0	22.4	0.96	灰色粘土	制备土
	A_1-2				1.73	2.74	42.9	1.263	93						
	A_1-3				1.745	2.74	42.9	1.244	94						
	A_2-1			二小时快固结	1.76	2.74	42.9	1.225	96						
	A_2-2				1.75	2.74	42.9	1.237	95						
	A_2-3				1.76	2.74	42.9	1.225	96						
B	B_1-1	15	1.22	正常慢固结	1.72	2.74	50.3	1.394	99	44.4	22.0	22.4	1.18	灰色淤泥质粘土	原状土
	B_1-2				1.75	2.74	50.3	1.353	100						
	B_1-3				1.74	2.74	50.3	1.367	100						
	B_2-1			二小时快固结	1.70	2.74	50.3	1.422	97						
	B_2-2				1.73	2.74	50.3	1.380	100						
	B_2-3				1.74	2.74	50.3	1.367	100						
C	C_1-1	25	2.1	正常慢固结	2.00	2.73	22.2	0.666	90	32.8	17.3	15.5	0.32	暗绿色亚粘土	原状土
	C_1-2				2.00	2.73	22.2	0.666	90						
	C_1-3				2.02	2.73	22.2	0.652	93						
	C_2-1			二小时快固结	2.01	2.73	22.2	0.660	91						
	C_2-2				2.03	2.73	22.2	0.643	94						
	C_2-3				1.99	2.73	22.2	0.676	89						

试验方法:

第一组试验采用人工制备土予压至 2kg/cm^2 稳定两天(予压荷重等级为 $0.1, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0\text{kg/cm}^2$), 然后逐级退荷回弹至 0.1kg/cm^2 , 待稳定后进行再压缩试验, 其中包括慢固结试验(间隔24小时逐级加荷)试样三个, 二小时的快速固结试验试样三个, 以及重塑土的慢固结试验试样二个。

第二组试验采用上海地区埋深在 15.0m 左右原状的淤泥质软粘土, 分别进行慢固结、二小时的快速固结和重塑土的慢固结试验。试验时各做了三个试样的平行试验。

第三组试验采用上海地区埋深在 25.0m 左右密实的暗绿色亚粘土, 分别进行慢固结、二小时快速固结和重塑土的慢固结试验。试验时也分别进行了三个试样的(重塑土二个试样)平行试验。

三、资料 分 析 方 法

A. 根据慢固结试验的 $e \sim \log P$ 曲线判定先期固结压力 P_0 的几种方法

1. 在 $e \sim \log P$ 曲线上找出最小曲率半径的坐标点, 然后再按卡氏法(Casagrande)求先期固结压力 P_c 值。分别采用如下二种方法求 $e \sim \log P$ 曲线的最小曲率半径的坐标点 O' 。

a. 在 $e \sim \log P$ 曲线段中先定出曲率较大的 $A'B'$ 段, 并在 $A'B'$ 范围内以等距离选取几个点, 再作各截距割线的垂直二等分线(如 $O'O$), 以邻近二垂线相交的曲率半径最小时相应曲线上的一点(如 O), 为最小曲率半径的座标, 从 O 点作平行于横座标的直线 OC 和切线 OD 。然后再作 $\angle COD$ 的角平分线 OE 并与 BB' 的延长线 BG 相交 F , 则 F 点座标的固结压力, 为土的先期固结压力, 以 P_c 表示(见图1)。

b. 延长 $e \sim \log P$ 曲线的起始直线段 AA' 及后部直线段 BB' , 分别找出二直线与曲线的交叉点 G, H , 联割线 GH , 平移 GH , 使之切 $e \sim \log P$ 曲线于 O' 点, O' 点为要求的曲线的最小曲率半径的座标点, 然后按卡氏法求先期固结压力, 以 P'_c 值表示(见图2)。

2. 根据日本“土质试验法”提出的三笠氏的屈服应力 P_y 法, 先计算 $e \sim \log P$ 曲线直线段的斜率, 即土的压缩指数 C_c , 然后以 $C'_c = 0.1 + 0.25C_c$ 及 $C''_c = \frac{1}{2}C'_c$, 分别计算 C'_c 及 C''_c 值。作斜率为 C'_c 的直线与 $e \sim \log P$ 曲线相切于 O' 点, 自 O' 点作斜率为 C''_c 的直线, 使与 $e \sim \log P$ 曲线直线段的延长线交于 E 点, E 点的横座标相应的压力即为土的屈服应力 P_y , 相当于土的先期固结压力(见图3)。

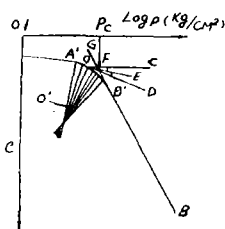


图 1

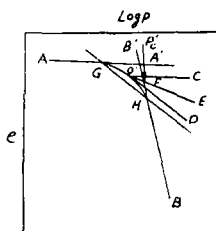


图 2

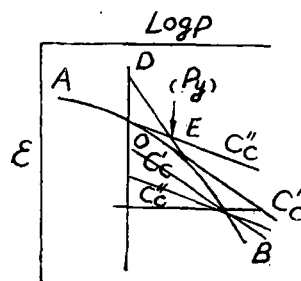


图 3

3. 根据“土的灵敏度法”（双线法），采用预压荷重下（已知土的先期固结压力）的制备土，天然结构的原状土与结构完全破坏的重塑土，进行慢固结的平行试验，然后分别绘制 $e \sim \log P$ 曲线，计算出各级荷重下原状土与扰动土的孔隙比差值 Δe 值，绘制 $\Delta e \sim \log P$ 曲线，以 Δe_{\max} 相应的固结压力，即为土的先期固结压力（见图11），以 $P_{\text{灵}}$ 表示。

B.快速固结试验测定土的先期固结压力

修正 2 小时快速固结试验的 $e \sim \log P$ 曲线，然后按卡氏法判定土的先期固结压力。

1. 理论依据及校正公式

根据现有的试验资料证实粘土类土在各级荷重下，次固结的时间压缩指数 $C_{\alpha} = \frac{de}{d \log t}$

(图 4) 与相应荷重下的压缩指数 $C_c = \frac{de}{d \log P}$ (图 5) 之间存在着单一的线性关系，即

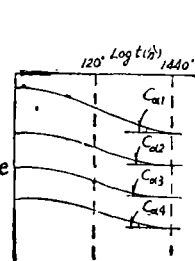


图 4

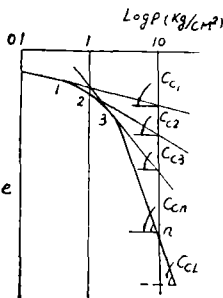


图 5

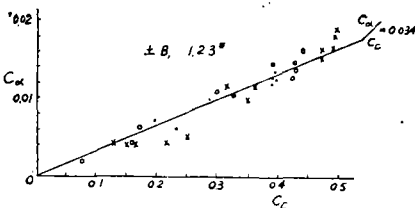


图 6

$C_{\alpha}/C_c=a$ 的线性关系（图 6、7）。这种关系在时间、有效应力与孔隙比的所有组合中都是正确的，根据国外某些土力学研究者所提供的不同土的 a 值一般在 0.02~0.10 范围内,对于非有机质土其范围为 0.02~0.06〔2〕。根据土力学基本理论，可以按主固结終了后 t_1 时的 $e \sim \log P$ 曲线，推导历经不同时间的 $e \sim \log P$ 曲线，只要利用 t_1 时的 $e \sim \log P$ 曲线算出各级荷重下的 C_{c1} 值，乘以恒定的 a 值后即可得出各级荷重下的 C_{α} 值（即 $C_{\alpha i}=C_{c i} \cdot a$ ），再以 $\Delta e=C_{\alpha i} \cdot \Delta \log t$ 计算自 t_1 后历经 t 时的各级荷重下次固结增量来调整 t_1 时的 $e \sim \log P$ 曲线，即可得到推求历经 t 时的 $e \sim \log P$ 曲线（图 8）。

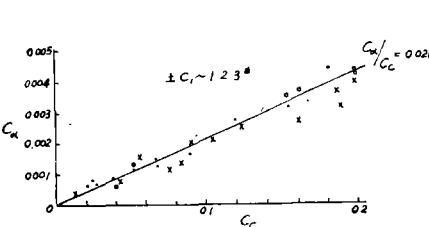


图 7

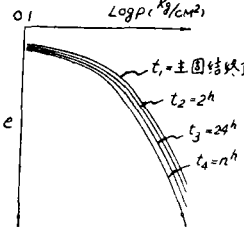


图 8

根据快固结试验 $e \sim \log P$ 曲线推求 24 小时慢固结的 $e \sim \log P$ 曲线的校正公式的推导：

按上节 $C_{\alpha}/C_c=a$ (1)

$$\text{即 } \frac{C_{\alpha 1}}{C_{c 1}}=\frac{C_{\alpha 2}}{C_{c 2}}=\cdots \cdots \frac{C_{\alpha i}}{C_{c i}}=\frac{C_{\alpha t}}{C_{c t}}=a \quad (2)$$

主固结结束后 t_1 至同一间隔时间 t_2 任何级荷重下的

$$C_{\alpha i} = \frac{de_i}{d \log t} = \frac{de_i}{\log t_2 - \log t_1} \quad (\text{见图 4}) \quad (3)$$

$$\text{最终级荷重下的 } C_{\alpha i} = \frac{de}{\log t_2 - \log t_1} \quad (4)$$

以式 (3), (4) 代入式 (2)

$$\frac{de_i / \log t_2 - \log t_1}{C_{\alpha i}} = \frac{de_i / \log t_2 - \log t_1}{C_{\alpha i}}$$

$$\text{即 } \frac{de_i}{C_{\alpha i}} = \frac{de_i}{C_{\alpha i}}, \quad de_i = \frac{de_i}{C_{\alpha i}} \cdot C_{\alpha i} \quad (5)$$

式中: C_{α} ——次固结时间压缩指数

C_c ——压缩指数

i —— 顺序号 1, 2, 3, 4, 5 ……

L —— 最终级荷重顺序号

$t_1 t_2$ ——时间

de ——次固结增量

利用 (5) 式, 可根据主固结完成后某一时间 t 的 $e \sim \log P$ 曲线来推求相当于 24 小时慢固结的 $e \sim \log P$ 曲线, 以确定先期固结压力 P_c 及压缩指数 C_c 。

2. 具体步骤

(1) 快速固结试验测得各级荷重下的试样变形量, 另测在最终级荷重下间隔 24 小时的试样稳定后变形量;

(2) 绘制快速固结 (一般为 2 小时压缩时间) 的 $e \sim \log P$ 曲线;

(3) 通过 $e \sim \log P$ 曲线的各点的坐标, 分别作曲线的切线 (见图 9) 求相应的压缩指数 $C_{\alpha i}$, 如图 9 中的 i 点的 $C_{\alpha i} = \frac{e_A - e_B}{\log P_B - \log P_A} = \frac{e_1 - e_{10}}{\log_{10} - \log_1} = e_1 - e_{10}$;

(4) 使用公式 $de_i = \frac{de_i}{C_{\alpha i}} \cdot C_{\alpha i}$ 计算次固结增量;

(5) 以 $de_i (i=1, 2 \dots L)$ 修正快速固结的 $e \sim \log P$ 曲线, 绘制相当于 24 小时的慢固结的 $e \sim \log P$ 曲线, 并用此判定 P_c 及 C_c 值。

3. 资料整理

根据实测数据, 绘制各个试样 (包括快、慢固结) 的 $e \sim \log P$ 曲线及各级荷重下的 $e \sim \log t$ 曲线, 以确定 P_c 、 C_c 以及各级荷重下的 $C_{\alpha i}$ 与相应的 $C_{\alpha i}$ 值。按 B 组及 C 组分别得 $C_{\alpha i}$ 与相应的 $C_{\alpha i}$ 值的坐标点入 $C_{\alpha} \sim C_c$ 图内, 即图 6.7. 所示。再将各组土的快速固结和慢固结的三个平行试验, 各级荷重下的孔隙比取其算术平均值, 绘制综合的 $e \sim \log P$ 曲线, 分别确定 P_c 及 C_c 值, 另外再根据常规的综合固结度校正法⁽³⁾

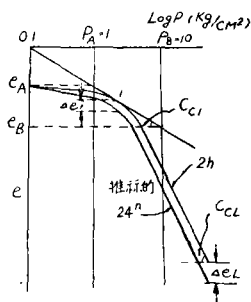


图 9

及本文推导的次固结增量校正法（公式5），对快速固结的综合 $e \sim \log P$ 曲线进行校正，确定相应的 P_c 及 C_c 值（见图14, 15, 16）。

P_c 的确定，采用Casagrande提出最小曲率半径法求解（见图1）。

四、成果分析

1. 制备土

在土的先期固结压力测试工作中，原状土结构受到破坏后，不能从试验成果中反映土的真实变形特性。如图10中曲线A表示结构未破坏的原状土的 $e \sim \log P$ 曲线，曲线的拐弯部分明显，B为原状土扰动后的曲线，最小曲率半径位置不明显，C为结构完全破坏的重塑土，接近一直线。基于上述原因，为排除原状土扰动后的影响，本次试验中除原状土外，同时采用预设 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 先期固结压力的制备土进行分析是有意义的。

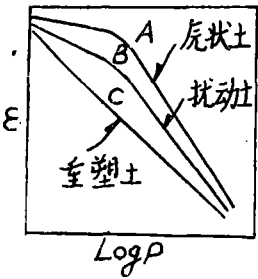


图10

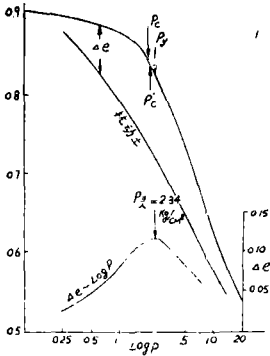


图11 土A综（慢）

对制备土慢固结的试验资料用第一种分析方法得出的 P_c 值与已知的先期固结压力比较，误差范围为 $-0.05 \sim +0.15\text{kg}/\text{cm}^2$ ， P_c' 值的误差范围为 $-0.1 \sim +0.27\text{kg}/\text{cm}^2$ 。以第二种方法整理的 P_y 值，误差范围为 $+0.14 \sim +0.50\text{kg}/\text{cm}^2$ ；以第三种方法，即灵敏度法 $P_{\text{灵}}$ 的误差范围为 $+0.30\text{kg}/\text{cm}^2$ （见附表2及附图11）。根据上述结果，我们认为用 P_c 方法的整理，可以得到最小的误差。

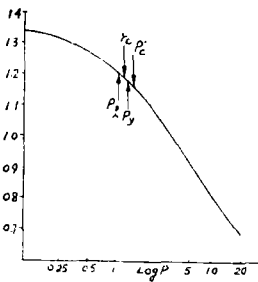


图12 土B综（慢）

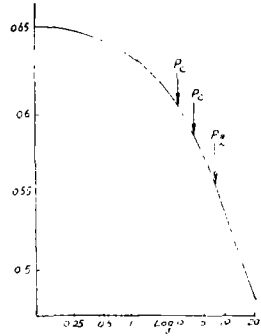


图13 土C综（慢）

表2

几种不同整理方法的成果比较

试样编号	试验方法	$P_{ck}/\text{kg}/\text{cm}^2$ 最小曲率 半径法	$P_{c'}/\text{kg}/\text{cm}^2$ 割线平 移法	$P_y/\text{kg}/\text{cm}^2$ 日本屈服 应力法	$P_{\text{灵}}/\text{kg}/\text{cm}^2$ 灵敏 度法
A_1-1	慢固结	2.05	1.90	2.17	
A_1-2	慢固结	2.15	2.27	2.50	
A_1-3	慢固结	1.95	1.90	2.14	
$A_1(\text{综合})$	慢固结	2.08	2.26	2.34	2.30
B_1-1	慢固结	1.17		1.38	
B_1-2	慢固结	1.08		1.20	
B_1-3	慢固结	1.14		1.23	
$B_1(\text{综合})$	慢固结	1.10	1.45	1.23	1.00
C_1-1	慢固结	3.4			7.0
C_1-2	慢固结	3.4			7.0
C_1-3	慢固结	3.0			
$C_1(\text{综合})$	慢固结	3.2	4.5		8.0

2. 原状土

用于试验研究的原状土,属于上海地区第四纪的沉积土。 B 组($B_1-1,2,3$)为浅层淤质粘土,以地质成因分析属正常压密的土,其先期固结压力应接近于土的自重压力($1.22\text{kg}/\text{cm}^2$)。深层的密实的暗绿色亚粘土 C 组($C_1-1,2,3$)为早期的地壳表层土,由于干缩作用形成了超压密状态,其先期固结压力应大于土的自重压力($2.3\text{kg}/\text{cm}^2$)。根据资料整理结果(见附表2及附图12,13), B 组($B_1-1,2,3$)慢固结的综合 $e \sim \log P$ 曲线的 P_c 值为 $1.1\text{kg}/\text{cm}^2$,略小于土的自重压力, P_y 值为 $1.23\text{kg}/\text{cm}^2$, $P_{c'}$ 值为 $1.45\text{kg}/\text{cm}^2$, P_y 值较 P_c 值大10%左右,但接近自重压力, $P_{c'}$ 值较 P_c 值大30%左右。 C 组($C_1-1,2,3$)慢固结的综合 $e \sim \log P$ 曲线的 P_c 值为 $3.2\text{kg}/\text{cm}^2$, $P_{c'}$ 值为 $4.6\text{kg}/\text{cm}^2$,较 P_c 值大48%。用灵敏度法分析结果, B 组 $P_{\text{灵}}$ 为 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右, C 组 $P_{\text{灵}}$ 为 $8.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

根据上述试验成果分析,淤质粘土用最小曲率半径求得的 P_c 值小于土的自重压力,从观察 $e \sim \log P$ 曲线的形状,可以认为由于土的原状结构受到一定程度的破坏的缘故。与前述制备土情况相同, P_y 值略大于 P_c 值。我们认为,对于土质较软,在取土试验过程中,土结构不可避免地受到一些破坏的情况下,用日本的“屈服应力法”求 P_y 值,能得到接近土的先期固结压力的数值。以制备土的分析为依据,对密实土用最小曲率半径法(卡氏法)求 P_c 值,是适用的。 $P_{c'}$ 值不论对软土或密实土都呈偏大的倾向。“灵敏度法(双线法)”对软土

偏小，对密实土呈明显偏大现象，可能与起始孔隙比有关，特别对密实土，要重塑与原状土相同起始孔隙比的试样是困难的。

3. 快速试验法

试验研究成果见附表3及附图6, 7, 14, 15, 16。图6, 7, 表明对同一种土的 $C_a \sim C_c$ 确实存在着良好的线性关系，根据统计分析，淤泥质粘土(B组) C_a/C_c 的特性参数 a 值为0.034，密实的暗绿色亚粘土(C组)的 a 值为0.021。固结时间的不同，得出的 P_c 值也不同，历时延长会使 P_c 减小，但对原状土在主固结完成后各个时间的 $e \sim \log P$ 曲线的直线段的斜率（即 C_c ）几乎是不变的。根据预设先期固结压力的人工制备土试样的试验成果表明，采用24小时的稳定时间，能得出符合实际的 P_c 值，而用2小时快速试验不予校正的成果会得出偏大的 P_c 值。根据土的时间~压缩与应力~压缩的特性〔2〕及 $e \sim \log P$ 曲线的特征，在先期固结压力以后直线阶段各级压力下的 C_c 值是相同的。按 $C_a/C_c = \text{常数} a$ 的假设，在直线阶段，次固结的增量为历时 t 的函数，与压力无关，因此在主固结终了后，不同间隔时间的 $e \sim \log P$ 曲线直线部分的斜率是不变的，试验研究证实了这一特征（见表3及图14, 15, 16）。如采用常规的综合固结度校正法对快速固结的 $e \sim \log P$ 曲线进行等比例的校正，会增

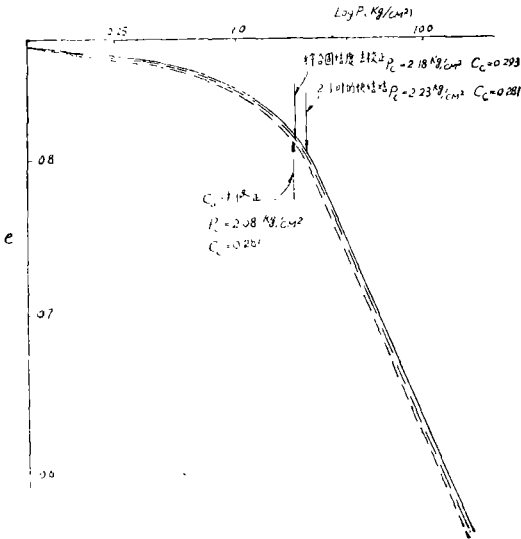


图14 土A综

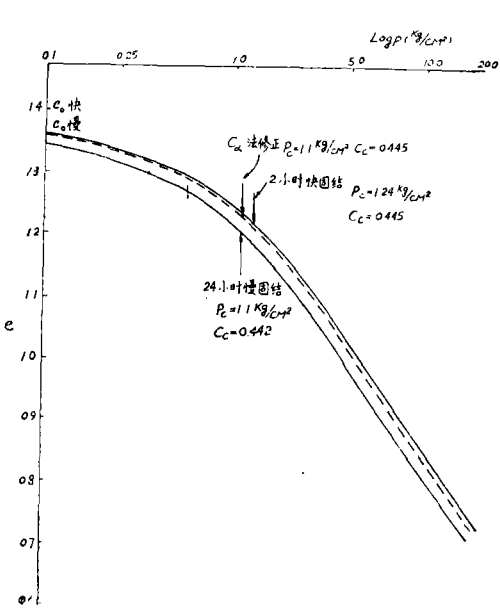


图15 土B综

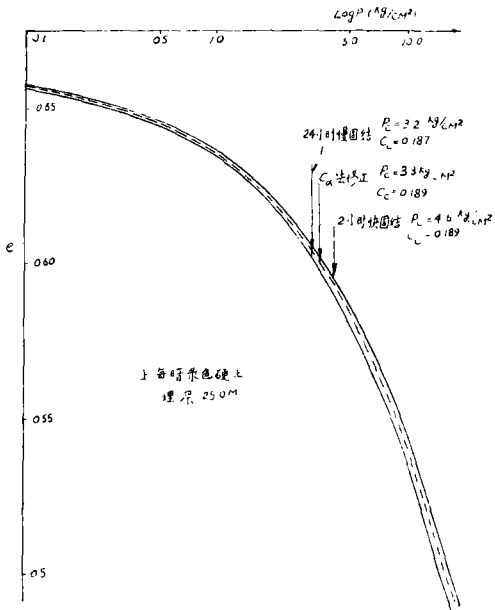


图16 土C综

表3

快速法比较试验成果汇总

组 别	试 样 编 号	试 验 方 法	先期固结压力 $P_c \cdot \text{kg/cm}^2$	压缩指数 C_c	$C_u/C_c=a$	
A	A_1-1	慢 固 结	2.05			
	A_1-2		2.15			
	A_1-3		1.95			
	A_2-1	快速固结	2.23			
	A_2-2		2.24			
	A_2-3		2.25			
	A_1 综合1, 2, 3	慢 固 结	2.08	0.312		
	A_2 综合1, 2, 3	快速固结	2.23	0.281		
		快速固结 (C_c 修正)	2.08	0.280		
		快速固结 (综合固结度修正)	2.18	0.293		
B	B_1-1	慢 固 结	1.17		0.034	
	B_1-2		1.08			
	B_1-3		1.14			
	B_2-1	快速固结	1.37			
	B_2-2		1.13			
	B_2-3		1.25			
	B_1 综合1, 2, 3	慢 固 结	1.10	0.442		
	B_2 综合1, 2, 3	快速固结	1.24	0.445		
		快速固结 (C_c 修正)	1.10	0.443		
		快速固结 (综合固结度修正)	1.24	0.455		
C	C_1-1	慢 固 结	3.40			0.021
	C_1-2		3.40			
	C_1-3		3.00			
	C_2-1	快速固结	4.50			
	C_2-2		4.50			
	C_2-3		4.20			
	C_1 综合1, 2, 3	慢 固 结	3.20	0.187		
	C_2 综合1, 2, 3	快速固结	4.20	0.189		
		快速固结 (C_c 修正)	3.30	0.189		
		快速固结 (综合固结度修正)	4.00	0.192		

大直线段部分斜率 C_c 及相应的先期固结压力 P_c 值, 也许与次固结增量的理论不符。对制备土快速试验的 C_c 值小于慢固结的原因尚待进一步研究。本文提出的校正公式与方法, 对快速固结试验成果通过次固结增量的修正, 在探索中取得了满意的结果。

结 论

根据本文研究成果的分析, 归纳以下几点看法:

(一) 采用24小时固结的单向固结试验来测定土的先期固结压力, 在保持土试样原状结构的条件下, 可以得出良好的结果的。

(二)用本文介绍的几何作图法,在 $e \sim \log P$ 曲线上找到最小曲率半径点的座标后,再按卡氏法确定土的先期固结压力 P_c 值,是行之有效的,其相对误差最小;

(三)用日本三笠氏法求得的 P_y 值,一般略大于卡氏的 P_c 值,但对软粘性土,在取土试验过程中,原状结构不可避免地受到一些扰动,的情况下,可以采用此法判定其先期固结压力;

(四)考虑到应力~压缩与时间~压缩的相互关系,对上海地区土的压缩特性进行了研究,可以证实任何一种粘性土的次固结时间压缩指数 C_{α} 与压缩指数 C_c 的比值为一常数,即 $C_{\alpha}/C_c=a$ 。根据这个概念,本文导出了次固结增量修正法,以推算主固结结束后任何时间 t 的 $e \sim \log P$ 曲线,据此,可以采用2小时的快速固结试验的成果,推求相当于24小时慢固结试验的 P_c 与 C_c 值;

(五)试验荷重可按如下等级 kg/cm^2 施加;

0.1、0.25、0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、3、4、6、8、10、15……。最终级荷重的控制应以 $e \sim \log P$ 曲线能反映明显的直线段为准。如采用2小时快速试验最终级荷重 T ,必须加测24小时的变形量;

(六)为保证土的原状结构,建议采用大口径的薄壁取土器;

参 考 文 献

- [1] A·Casa grande, The determination of the pre-consolidation load and it's practical significance, pro. 1st ICOSOMFE, Vol I 1936.
- [2] Mesri G and Godlewski P·M, The time-compressibility and Stress-Compressibility interrelation ship, Pro ASCE Vol 103. GT5 1977. P.417—430
- [3] 水利电力部,土工试验规程,上册SDS01—79.

(上接第33页)

2. 观测范围以外的沉陷过程的预报

由表6第5项可见,正交多项式不能使用在实测范围以外的预报,因为多项式逼近仅仅是一种数学方法,它不能反映沉陷过程的内在规律。表6第4项是用酒埠江坝67年前沉陷资料建立回归方程预报以后的沉陷量,与实测值比较预报值最大相对误差为6.6%。

分析计算了各项初期的沉陷观测资料建立回归方程,预报二年、五年、十五年以后的沉陷量并与实测值比较成果(见表7)。分析计算初步说明:

1. 土坝沉陷过程符合对数函数(或双曲函数)规律。用竣工初期的观测资料可预报以后的沉陷过程,预报期越短精度越高。

2. 由于理论计算的预留沉陷超高往往不符合实际,因此如果竣工之初(例如头一两年)能及时观测,取得足够的实测资料(例如一年至少不少于4次)建立沉陷过程的回归方程,并预测运用后期的稳定沉陷量。可以考虑以稳定沉陷量加上一定的安全修正值作为竣工后坝顶预留沉陷超高的参考指标。

3. 可由初期实测资料建立的沉陷回归方程,预报沿坝轴各断面间或断面内各点的沉陷量,从而估算不均匀沉陷,以研究坝体是否可能裂缝和防止开裂的措施。

(注)文中的原体观测资料摘自79年全国土面坝观测工作会议上官厅等十五个水库的观测工作报告。

参 考 资 料

中国科学院数学研究所统计组,常用数理统计方法,科学出版社,1979年。