

用室内小型载荷试验模拟野外大压板 (或基础) 载荷试验 $p-s$ 曲线(一)

陈 国 政

(中国有色金属工业西安勘察院 西安 710054)

【提要】本文介绍了室内小型载荷试验的原理、设备装置及方法,据所获得的19组70多点室内与野外大小压板载荷试验对比研究,以建立的经验关系式解释出的野外载荷试验 $p-s$ 曲线,经对比验证,曲线变形形态、类型及特点极为相似,结果可靠。从而提出用简易的室内小型载荷试验,可取代笨重的野外载荷试验,这对地基土非线性变形计算和建筑性能评价,是可行的具有实际意义的一种新方法。

【关键词】室内小型载荷试验 模拟野外载荷试验 $p-s$ 曲线对比 经验关系式解释

【Abstract】 This paper introduces the principle and method of the small loading test in lab. Through comparison the studies of loading test between in situ and in lab, it is possible to replace the in-situ large plate loading test with simple small loading test in lab. It is feasible to the nonlinear deformation calculation of ground soil and the evaluation of the construct property. It is a new method with practical significance.

【Key words】 The small loading test in lab, To simulate the in-situ loading test, comparison of the $p-s$ curve, Explain to experienced relation form

0 前言

野外静力载荷试验,其特点是能直接模拟实际基础的工作条件,能保持地基土在天然状态下进行试验,能真实地反映地基土特性,其结果公认可靠,是目前评价地基土建筑性质的一种较好方法。

现行规范(GBJ7-89)^[1],在条文中严格强调,确定地基土容许承载力仍以野外静力载荷试验为主。然而,野外静力载荷试验设备笨重、费力又费时,投资大,且只能适用浅层,对地下水位以下深层试验难度大并有风险,受技术条件限制往往无法进行,妨碍了广泛应用。

因此,笔者致力于探求用室内简易新方法,使其既保持野外静力载荷试验的优点又

能克服野外静载荷试验的一些缺点。1971年曾大胆地提出:用室内小型载荷试验模拟野外压板宽 $b=71\text{cm}$ 的静力载荷试验(以下简称野外载荷)方法。试图在一定条件下取代野外载荷。

1972~1974年期间,在陕、甘、青、宁及山西五省区,结合生产曾进行了室内小型模拟载荷试验(以下简称室模试验)与野外载荷对比,计17组50多次,还与实际基础试验对比2组20多次。

根据所获得的室模试验与野外大小压板试验和搜集到的有关资料,经对比分析找到了 A 与 B 参数(详见于后),从而建立了经验关系式,利用 A 与 B 参数和经验关系式,可用室模试验资料解释出相当于野外载荷(或基

础) 试验的 $p-s$ 曲线, 结果理想。

1 室模试验

1.1 原理

室模试验本身是对野外载荷模拟, 野外载荷试坑宽是压板宽三倍, 试验土层厚度是压板宽1.5倍左右; 而室模试验采用试验面土层宽为压板宽2.80~3.39倍, 试验土试料高度为压板宽1.98~2.80倍, 两者相比, 室模试验边界条件与野外载荷基本相同。

室模试验, 是用一般土工试验固结仪改装后, 对圆柱状原状土(以下简称试件)进行试验, 由杠杆加压作用在压板上对试验土层施加荷载, 测定土的压力 p 与沉降 s 关系曲线。

1.2 设备装置

利用室内土工试验固结仪, 除去压缩部分, 经专门加工配件改装而成, 主要由平衡杠杆、加压架、承压钢板及百分表等组成, 如图1所示。

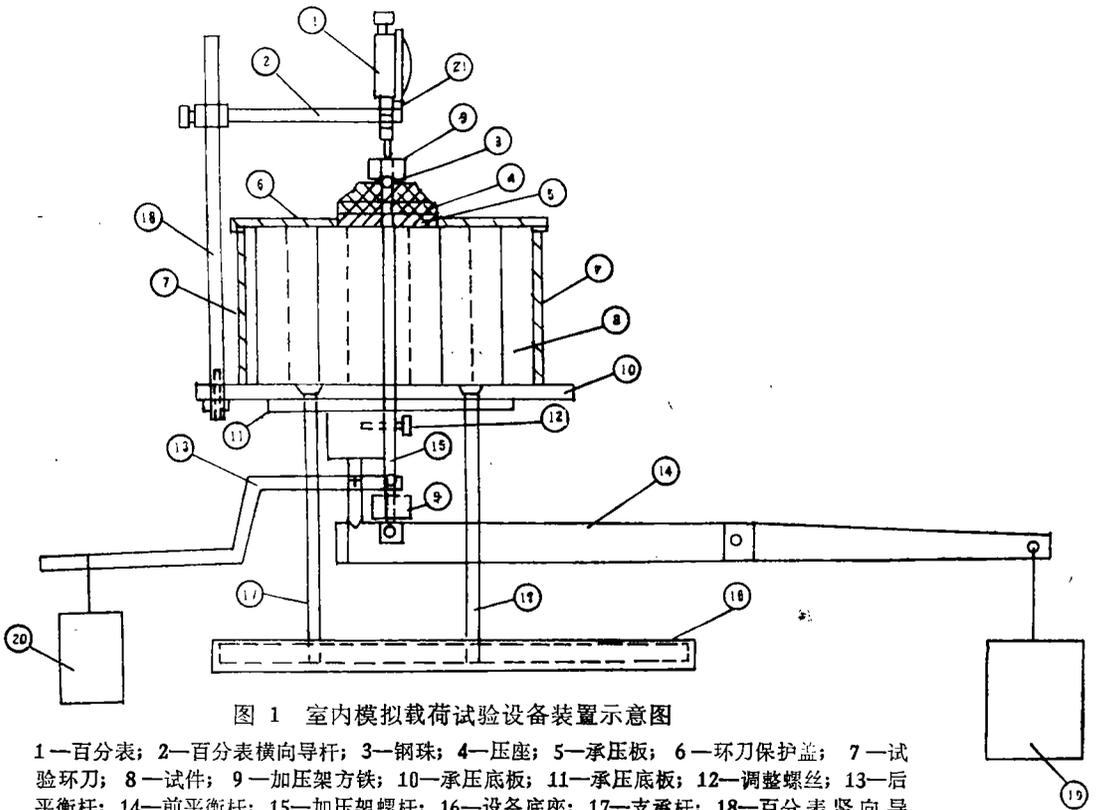


图1 室内模拟载荷试验设备装置示意图

1—百分表; 2—百分表横向导杆; 3—钢珠; 4—压座; 5—承压板; 6—环刀保护盖; 7—试验环刀; 8—试件; 9—加压架方铁; 10—承压底板; 11—承压底板; 12—调整螺丝; 13—后平衡杆; 14—前平衡杆; 15—加压架螺杆; 16—设备底座; 17—支承杆; 18—百分表竖向导杆; 19—加荷荷重; 20—平衡荷重; 21—固定百分表螺丝

1.3 采取试件规格与压板尺寸

为与野外载荷对比, 试件于野外载荷试坑中相同土层同一试验标高进行, 平面位置在试验面上或周边范围内, 试件平面尺寸、高度及对应压板尺寸列入表1。

试件用环刀采取, 采取前将环刀壁涂润滑油(减小摩擦)而后置于试坑土柱上, 用环刀边削边均匀的压入, 使之其上、下两端预留多出1.5cm, 待安装前再修整。若当时不

表1 室模试验采用压板种类与对应试件尺寸

序号	试件尺寸		室模压板尺寸		备注	
	直径 d/cm	高度 H/cm	面积 F/cm^2	直径 d/cm		宽度 b/cm
1	24	14	50	7.98	7.07	
2	14	14	32	6.38	5.66	
3	14	14	24.6	5.60	4.96	
4	10	10	12.6	4.00	3.55	
5	10	10	6.2	2.81	2.49	

立即安装,要求用原土填塞妥善保管,使之保证天然结构不变。

1.4 设备安装与试验方法简述

1.4.1 设备安装

安装步骤如下:

- (1) 设备各部件用螺丝全部固定;
 - (2) 将提前选取好的试件两端精心修整削平后,放置在承压钢板上并对准中心;
 - (3) 试验面上铺一张“美能”纸,代替砂垫层用;
 - (4) 套上环刀保护盖;
 - (5) 对准试件中心安放承压板;
 - (6) 放置钢珠于凹处;
 - (7) 调整加压架螺丝和杠杆平衡,用水平尺量测,保持水平;
 - (8) 固定百分表,调整零点;
- 最后对设备全部检查,认为合格为止。

1.4.2 试验

设备安装结束后,进行试验加荷观测工作。加荷方式、荷级大小、资料整理计算、比例界限 p_0 点的判定等均与野外载荷一致。所不同的是加荷后沉降稳定标准有别,因室内压板较小,沉降也小,采取稳定标准每小时沉降增量 Δs 小于0.01mm,比野外载荷为小。

2 用室模试验解释野外载荷(或基础)试验 $p-s$ 曲线方法

2.1 经验关系

据由西北各省区所获得的室模与野外大小压板(或基础)试验对比资料,未发现因压板尺寸小沉降出现反常现象,参见文献^[2]。若将室模试验与野外载荷二者 $p-s$ 曲线各级荷载下两者沉降 s 之比或取 $p-s$ 曲线近似直线段斜率 C 两者之比,都具有参数关系,分别用 A 与 B 表示。计算式为:

$$A = \frac{s_{7.1}}{s_{71}} \quad B = \frac{C_{7.1}}{C_{71}}$$

式中: $s_{7.1}$ ——野外载荷 $b=71\text{cm}$ 的 $p-s$ 曲线沉降量, cm;

$s_{7.1}$ ——室模试验 $b=7.1\text{cm}$ 的 $p-s$ 曲线沉降量, cm;

C_{71} ——野外载荷 $b=71\text{cm}$ 的 $p-s$ 曲线近似直线段的斜率;

$C_{7.1}$ ——室模试验 $b=7.1\text{cm}$ 的 $p-s$ 曲线近似直线段的斜率。

A 与 B 参数就是室模试验 $p-s$ 曲线放大倍数,若将室模试验 $p-s$ 曲线分别乘以 A 或 B 参数,其结果即转换为相应的野外载荷 $p-s$ 曲线。用 A 参数求得相当野外载荷 $p-s$ 曲线称为 A 参法,用 B 参数求得相当野外载荷 $p-s$ 曲线称为 B 参法。

通过实践比较得知,计算 A 参数较繁琐,求 B 参数简捷,所以推荐 B 参法。用 B 参法解释为野外载荷 $p-s$ 曲线结果对比,见文献^[2]。

据获得的对比资料,经过多方面分析,发现室模试验压板宽 $b=7.1\text{cm}$ 时, A 和 B 参数都与土的压缩系数 a_{1-2} 成线性关系(见图2和3)。关于室模试验压板宽 b 小于 7.1cm ,如 $b=3.55\text{cm}$ 等(适用于钻孔取土) A 与 B 的相关关系资料较多,因篇幅所限,笔者将另文介绍。

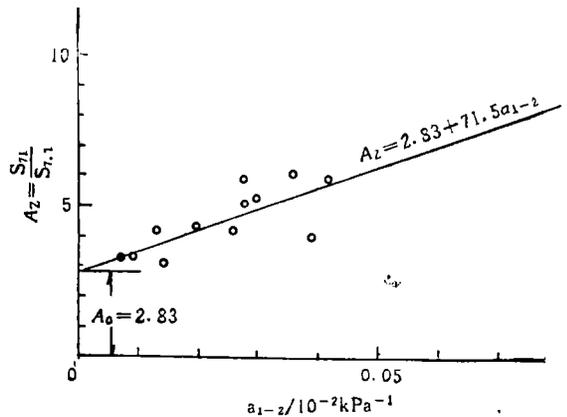


图2 $A-a_{1-2}$ 相关图

而从野外载荷与大压板(或基础 $b=200\text{cm}$ 时)^{[3][4]}的 $p-s$ 曲线两者沉降之比,得出 A_{200} 参数,用下式表示:

线段斜率 $C_{7.1}$ 有密切关系 (见图 4)

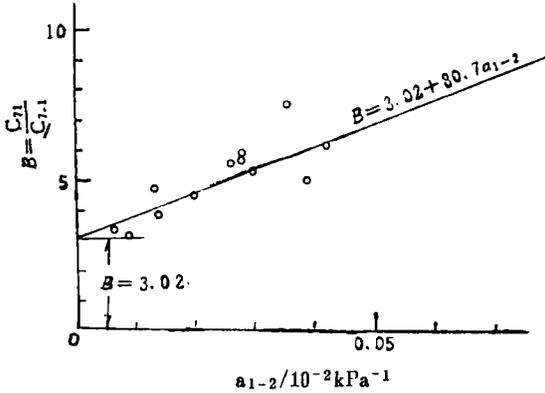


图 3 $B-a_{1-2}$ 相关图

$$A_{200} = \frac{s_{200}}{s_{7.1}}$$

式中: s_{200} ——大压板 (或基础) 宽 $b = 200$ cm 时的沉降量, cm。

分析 A_{200} 值与野外载荷 $p-s$ 曲线近似直

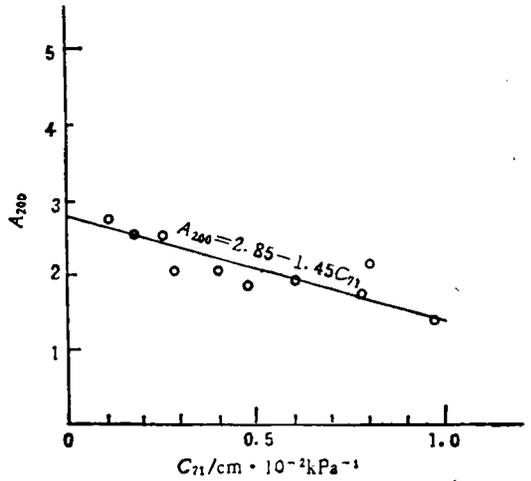


图 4 $A_{200}-C_{7.1}$ 相关图

经过数理统计分析, 上述关系建立的回

归方程式如表 2。

表 2 建立的回归方程式汇总表

公 式	回归方程式	相关系数 R	统计 组数 N	土的均匀程度	相关系数检验	线性关系	适用 范围
(1)	$A = 2.83 + 71.5a_{1-2}$	0.78	12	有 3 组非均质土	$R > 0.576$	成立	$a_{1-2} = 0.005 \sim 0.100$
(2)	$B = 3.02 + 80.7a_{1-2}$	0.78	12	有 3 组非均质土	$R > 0.576$	成立	$a_{1-2} = 0.005 \sim 0.100$
(3)	$A_{200} = 2.85 - 1.45C_{7.1}$	0.81	10	一般均质土	$R > 0.632$	成立	$C_{7.1} = 0.11 \sim 0.97$

注: 所谓非均质土, 是指试件中含圆砾 (或角砾) 以上颗粒, 在土工试验室不能进行试验分析或有困难的土。

2.2 解释野外载荷 (或基础) $p-s$ 曲线方法

2.2.1 用室模试验解释为野外载荷 $p-s$ 曲线分为以下两种方法:

(1) 沉降比—— A 法, 其计算公式为:

$$s_{7.1} = s_{7.1} \times A \quad (4)$$

$$C_{7.1} = C_{7.1} \times A \quad (5)$$

式中符号同前。

(2) 斜率比法—— B 法, 用下式表示:

$$s_{7.1} = s_{7.1} \times B \quad (6)$$

$$C_{7.1} = C_{7.1} \times B \quad (7)$$

式中符号同前。

用室模试验相应的 a_{1-2} 分别代入公式 (1) 与 (2), 先求出 A 与 B 值, 然后再将 A 与 B 值分别乘以室模试验 $p-s$ 曲线各级载荷下沉降量 $s_{7.1}$ 放大, 即解释为相当野外荷载 $p-s$ 曲线。

上述方法要求室模试验及相应的室内固结试验不少于两个以上的平行试验。

2.2.2 用野外载荷解释为大压板 (或基础) $b = 200$ cm 的 $p-s$ 曲线

用野外载荷 $p-s$ 曲线近似直线段斜率 $C_{7.1}$, 代入表 2 中公式 (3), 则求出 A_{200} 值, 将其值再乘以野外载荷 $p-s$ 曲线纵坐标各个

$s_{7.1}$ 值,从而得出相当于大压板(或基础)

$b=200\text{cm}$ 试验和 $p-s$ 曲线,计算公式为:

$$s_{200} = s_{7.1} \times A_{200} \quad (8)$$

$$C_{200} = C_{7.1} \times A_{200} \quad (9)$$

式中: C_{200} ——大压板(或基础) $b=200\text{cm}$ 时的 $p-s$ 曲线近似直线段斜率;

其它符号同前。

2.2.3 用室模试验解释为大压板(或基础)

$b=200\text{cm}$ 的 $p-s$ 曲线

根据室模试验资料,解释出为野外载荷

$p-s$ 曲线得出的结果,按公式(3)求出 A_{200} 值,然后用 A_1 与 A_{200} 乘积再乘以室模试验 $p-s$ 曲线各级荷载下沉降量 $s_{7.1}$ 值,即相应的解释为大压板(或基础)宽 $b=200\text{cm}$ 试验的 $p-s$ 曲线。其计算式为:

$$s_{200} = s_{7.1} \times A_{7.1} \times A_{200} \quad (10)$$

式中符号同前。

用室模试验解释为野外载荷(或基础)试验的 $p-s$ 曲线,其具体步骤可按表3与表4的顺序进行。

表3 用室模试验解释为野外载荷 $p-s$ 曲线

实 测 数 据			经 验 关 系 参 数		解释为野外载荷沉降量 s/cm	
荷 重 $P/10^2\text{kPa}$	野外载荷 沉 降 量 s/cm	室模试验 沉 降 量 $s_{7.1}/\text{cm}$	$A=2.83+71.5a_{1-2}$	$B=3.02+80.7a_{1-2}$	A法	B法
					$s=s_{7.1} \times A$	$s=s_{7.1} \times B$
0.5	0.058	0.018	3.33	3.58	0.060	0.064
1.0	0.126	0.034			0.113	0.122
1.5	0.127	0.053			0.176	0.190
2.0	0.218	0.069			0.230	0.247
2.5	0.269	0.085			0.283	0.304
3.0	0.337	0.102			0.340	0.365
3.5	0.442	0.126			0.420	0.451
4.0		0.152			0.506	0.544
4.5		0.250			0.833	0.895

注: 1. $a_{1-2}=0.007$; 2. 绘制的 $p-s$ 曲线对比见图5。

表4 用室模试验解释为实际基础试验 $p-s$ 曲线

实 测 数 据			经 验 关 系 参 数		解释为实际基础 $b=200\text{cm}$ 试验的沉降量 s/cm
荷 重 $P/(10^2\text{kPa})$	基础试验的 沉 降 量 s_{200}/cm	室模试验 沉 降 量 $s_{7.1}/\text{cm}$	$A=2.83+71.5a_{1-2}$	$A_{200}=2.85-1.45C_{7.1}$	$s_{200}=s_{7.1} \times A \times A_{200}$
					0.25
0.50	0.324	0.024	0.501		
0.75	0.786	0.036	0.751		
1.00	1.224	0.051	1.064		
1.25	2.184	0.095	1.981		
1.50	3.782	0.185	3.858		
1.75	5.862	0.331	6.903		
2.00	11.242	0.513	10.698		

注: 1. $a_{1-2}=0.098$; 2. $C_{7.1}=0.500$; 3. 绘制的 $p-s$ 曲线对比见图6。

(未完待续)