

饱和性水稻土承载特性的研究

李葵酉 杨建刚

(西南农业大学)

A STUDY ON THE BEARING CHARACTERISTICS OF SATURATED PADDY SOIL

Li Guiyon and Yang Jiangan

(Southwestern Agricultural University)

土壤的承载能力是土壤-机器系统的主要参数之一。对于不同类型的土壤,反映其承载能力的荷载与沉陷关系的曲线图形是不相同的。荷载与沉陷曲线图形的多样性,排除了赋予任何普遍有用的数学定义的可能性^[1]。例如均质的半无限土体应用 Bekker 提出的压力与沉陷关系的数学模型可能出入不大,但对成层土壤(如水稻土)应用 Bekker 模型将产生难以克服的困难^[2]。特别是对长年渍水且分层现象严重的冬水田、沅田等饱和性水稻土,其承载特性更具有其独特的性状。多年来,我们致力于研究和探索这一复杂的问题。从1980年至1984年先后在四川、湖北、贵州等省的18个县选点进行了田间测试,这些测点分布见表1。

表1 测试点分布

年 份	地 区
1980	四川省 校部农场
1981	四川省 万县、巴县、北碚、清白江
1982	四川省 璧山、遂宁、仁寿、绵阳
1983	四川省 西充、乐山、宜宾
1984	四川省 泸县、长寿、涪陵
1984	湖北省 宜都、洪湖
1984	贵州省 遵义、息峰

通过对所测数据的拟合和统计分析,为研究长年渍水的饱和性土壤压力与沉陷关系打下了坚实的科学基础。

一、实测曲线的拟合和数学模型的选定

土壤的承载特性和许多因素有关,如土壤质地、承载面积和形状、穿入速率等。就是同一块水稻土在田间测得的荷载与沉陷关系曲线的散布也可能是很大的。如图1所示为

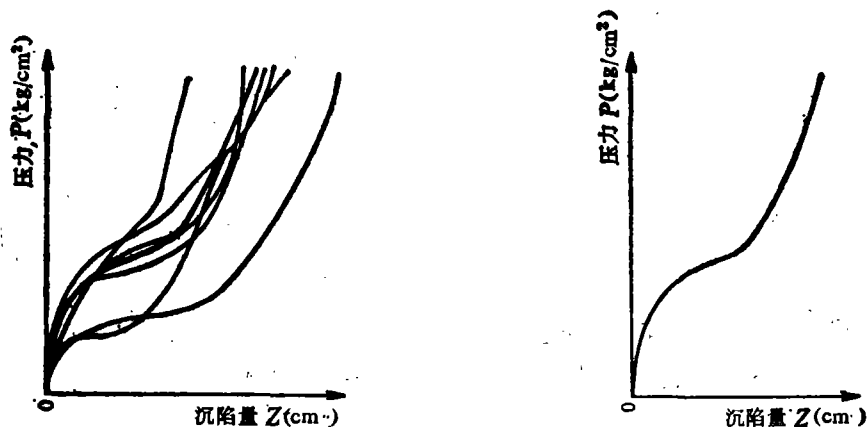


图 1 田间测试的压力与沉陷关系的曲线束 图 2 典型的冬水田水稻土压力与沉陷关系曲线

典型的冬水田(硬底层 25cm 左右)中测得的压力与沉陷关系曲线束,它们是一群交叉的曲线。显然单独的穿入试验是不可靠的,须对这些散布的曲线总的趋向进行统计评定。将曲线束中随机误差明显部分剔除,按照 Bekker 对 $Z-P$ 曲线因变量取平均值的方法^[1]整理成粗实线,为便于分析,用典型冬水田为例如图 2 所示。

整个曲线的几何形状可分为凹段与凸段,那么这两段间必会出现拐点。曲线的始、末均有一小段具有与压力 P 轴平行的趋向,表明压力的急剧增加。根据以上典型曲线的特点分析,经研究可选用如下函数式来表征其压力 P 与沉陷量 Z 的关系:

$$Z = H(1 - e^{-nP^2}) \quad (1)$$

式(1)的 $Z-P$ 关系具有如下特点:

(1) $P \rightarrow 0$ 时, $Z \rightarrow 0$ 则 $Z' \rightarrow 0 \therefore Z' = ZHnP e^{-nP^2}$

(2) $P \rightarrow \infty$ 时, $Z \rightarrow H$ 则 $Z' \rightarrow 0$

(3) 当 $Z'' = 0$ 则 $P = \sqrt{1/2n}$, 即在 $P = \sqrt{1/2n}$ 处曲线有拐点。

以上这些特点与实测的 $Z-P$ 曲线的特征是基本吻合的。另外式(1)示数学模型的量纲固定,比起 Bekker 模型 ($P = KZ^n$) 由于 n 值变化造成量纲不定无疑是一大优点。系数 H 的量纲为 $[L]$, n 的量纲为 $[L^2/M^2]$ 。量纲一固定,其物理意义就易于解释了。

二、模型与实测曲线的拟合及误差分析

对式(1)直接进行线性化回归分析是比较困难的。为便于进行一元线性回归分析,将式(1)修改为:

$$Z = H' - H e^{-nP^2} \quad (2)$$

当然,此处引入的 H' 值,在进行曲线拟合时先由实验结果初定出来(一般为硬底层深度)。不同的 H' 值,按线性化处理后拟合出不同的回归方程,取拟合结果最佳者为 $\Delta H = H' - H$ 最小者。图 3 和图 4 为一实测曲线的拟合结果。回归直线与实测点处于显著相关,其相关系数 $r = 0.993$, 对 0.997 的概率,有 $(\rho - 0.762, \rho + 0.762)$, 见图 3。

应当说明,采用式(2)时, $P \rightarrow \infty, Z \rightarrow H'$; 当 $P = 0$ 时, $Z = H' - H$, 如图 4 所示。但是由于此误差仅处于曲线的开始阶段, 因此对评价其承载特性一般不起作用^[1]。在压力很小时,式(2)是一种近似(原则上应 $P = 0, Z = 0$)。

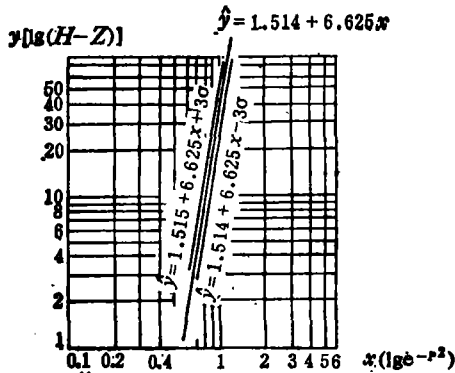


图 3 线性回归方程及其误差带(双对数)

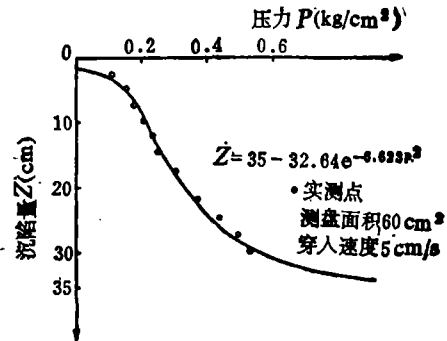


图 4 壁山 1 号田实测数据与回归方程比较

三、系数 H 、 n 的影响因素及物理意义

为了考查系数 H 、 n 的影响因素, 用不同面积的圆形测板分别以不同的穿入速率进行承压试验, 其结果及方差分析见表 2 和表 3。

从表 3 方差分析可见, 测板面积对 H 的影响是很显著的, 而穿入速率对 H 的影响却很小, 误差均属测量造成。对于 n , F 检验不显著, 即面积与速率均对 n 影响不大。

表 2 壁山 1 号田数据

系 数	面 积 (cm^2)	速率 (cm/S)		
		2.5	5	15
H	40	31.507	31.475	32.85
	60	29.90	32.638	27.29
	80	32.965	34.72	38.67
	100	40.597	41.873	41.8
n	40	6.998	3.742	4.15
	60	9.64	6.623	8.53
	80	11.472	11.64	7.04
	100	8.903	8.121	8.28

从前面分析已知, 当 $P = P_K = \sqrt{1/2n}$ 时, 为 $Z-P$ 曲线上的拐点。因此, P_K 是表征土壤特性的一个特征压力值。参数 n 反映了该值的大小。显然 n 值大, 则 P_K 值小, 这意味着只要较小的压力, 则 $Z-P$ 曲线即出现了拐点, 这只有土壤表现较“软”的情况下才可能。反之, n 值小, P_K 值大则反映了土壤比较“硬”。由于 n 值既不受测试条件的影响, 又反映了土壤“软”和“硬”的量度, 可见它是反映了土壤力学性质的一个物理量, 可称为变形系数, 它的量纲为 $[L^4/M^2]$, 单位常用 Cm^4/kg^2 表示。

表 3 二元方差分析表

$H F_{0.01}(3,6) = 9.78$											
来源	平方和	自由度	均方	F	显著性	来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
面积	227.99	3	75.997	16.13	**	面积	56.013	3	18.671	3.705	
速率	5.39	2	2.659	0.57		速率	10.213	2	5.106	1.013	
误差	28.27	6	4.712			误差	30.234	6	5.039		
总和	261.65	11				总和	96.46	11			

四、分析和讨论

经过多年反复测试、分析和验证,从实践中逐步确认用方程(1)作为分层现象显著的饱和性水稻土承载特性的数学模型达到了满意的结果。由于土壤的不均匀性,虽属同一类型的水稻土在田间测试中也会出现差异。因而在使用该模型时,还须注意下述几个问题:

1. 从前述分析已知,拟合曲线与实测点在初始阶段($P \rightarrow 0$)很小的范围内可能有一误差 $\Delta H = H' - H$ 。由于这一误差很小(最大不超过 2—3cm)“在分层现象显著且表层情况差别很大的水稻土中,沉陷曲线的最初部分给运动性能分析带来很小的误差,而这些很小的差别对评价其承载特性不起作用”。在文献[1]中 Bekker 对此已有详细论述。

2. 由于这一类水稻土的“软”、“烂”是较突出的,而这种“软”、“烂”又往往和耕作制度,田块所处地形高低,地下水和土壤熟化程度等因素有关。用 n 值来描述土壤这一物理性状的量度,只能是一个综合值。用此模型只反映这一类分层现象明显的水稻土,对其它形态的水稻土是否适用,尚需进一步做实验。

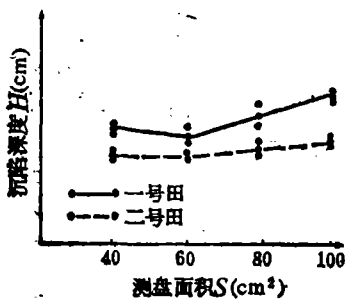


图 5 测盘面积与沉陷深度 H 值的关系
不断实践,但其实用性是无疑的了。

3. 从前述方差分析中知道, H 值受测板面积的变化影响较大,这意味着不同的测板面积,在同一土壤中表现了不同的“硬底层”,图 5 反映了“面积与深度”的变化关系,即随着面积的增大 H 也增大。因此系数 H 反映了测盘沉陷深度的变化可作为沉陷深度的一个量度,我们称之为沉陷系数。而穿入速率对这一类土壤的承载特性影响不大,只要将穿入速率控制在一定范围内,就不会产生测试上的误差。总之,要提高模型的精确度还需要

参 考 文 献

- [1] Bekker (美), 1978: 地面车辆系统导论。机械工业出版社。
 [2] 陈秉聪, 1981: 土壤—车辆系统力学。农机出版社。