

文章编号: 100226819(2001)0420026204

土壤振动压实下动态性能试验研究

秦四成¹, 程悦荪¹, 李 忠², 戴培清², 白 笃²

(1. 吉林大学南岭校区机械学院; 2 内蒙古北方重工业集团有限公司)

摘 要: 该文根据振动压路机的载荷特征, 选择典型的土壤介质, 在三轴仪上进行静、动态压实试验, 将压实过程分为三种不同的变化阶段, 并给出不同阶段的土壤性能复刚度, 为振动压路机的系统研究提供了依据。

关键词: 土壤; 振动压实; 动态性能; 试验

中图分类号: S219.01 **文献标识码:** A

农田水利工程和建筑工程中的土壤是振动压路机的作业对象, 振动压实下土壤的性能决定着压实的程度及振动压路机的工作状态, 而振动轮的动态载荷较其他载荷具有较大的区别, 对土壤压实的研究是振动压路机系统研究的重要组成部分。

到目前为止, 人们还没有找到一种较为合理和较为准确的方法, 测量或计算振动压路机的“压路机—土壤”模型中的土壤刚度和阻尼, 虽然曾有一些方法可以测量弹性地基基础的刚度和阻尼, 但是这些方法只适用于固定基础, 不能用于“压路机—土壤”的振动系统。

本次研究, 选择在农田水利工程和建筑工程中具有代表性的原生亚沙土、改性膨胀土次基础材料和水泥土路面材料作为研究对象, 研究其动态压实负荷下主要性能的特点及其变化特征, 为振动压路机系统研究提供试验数据。

1 仪器概述

采用 DTC—306 型多功能电液伺服动态三轴仪, 其组成如图 1 所示, 其采用闭路液压加载系统, 可进行应力控制下的静、动态三轴试验。

2 土壤静态压实试验

研究的土样均取自某施工现场的原生亚沙土和两种已拌合好的即将压实的改性土料(改善、稳定原生土的工程性能), 一种是石灰膨胀土, 掺灰比例为 4% ~ 8%, 常用作次基础材料, 一种是在膨胀土中掺

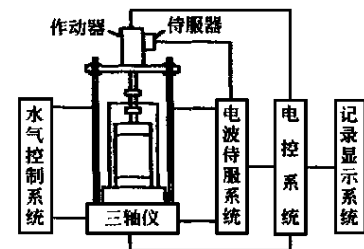


图 1 三轴仪组成框图

Fig 1 The apparatus components

入一定比例水泥而成的水泥土, 又称为路面材料。在实验室内按有关行业标准、规范进行相关的土工试验, 试验结果见表 1。

在 DTC—306 型三轴仪上, 依据标准 SD 128—84, 保持相应的围压, 按一定的变形速度逐渐加大轴向载荷, 获取加载过程中的载荷—位移曲线, 见图 2, 根据库伦—摩尔理论, 求得土壤的抗剪强度参数, 见表 1。

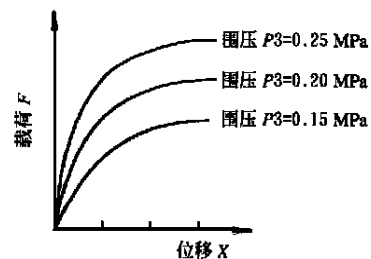


图 2 土壤静态性能曲线

Fig 2 The curves of soil static performance

近于双曲线型式的试验曲线, 是前人关于土壤压缩应力—应变关系研究所采用的模型, 但其载荷状态与振动轮的载荷状态不同, 故不适于振动压实的土壤性能。

收稿日期: 2001 20207

作者简介: 秦四成, 博士, 副教授, 长春市人民大街 142 号 吉林大学机械学院, 130025

表 1 土壤基本参数试验值

Table 1 The test values of soil property parameter

	含水率 $\delta\%$	干密度 $\rho_k \cdot m^{-3}$	最大干密度 $\rho_{kmax} \cdot m^{-3}$	密实度 $\rho\%$	内聚力系数 c (MPa)	内摩擦角 ϕ (°)
原生亚沙土	16	1650	1750	94	0.048	17
石灰膨胀土	14	1750	1850	95	0.055	18
水泥土	7.5	1960	2020	97	0.068	18.5

3 土壤动态压实试验

由于振动压路机的工作特点,即有一定的静载压实作用又具有相当的动载压实能力,并且参加振动的土体质量是随振动压路机的工作过程而不断变化的。在实验室内模拟振动压路机振动轮的载荷特征,进而确定被试土壤的动力参数,是当前切实可行的一种分析方法。

根据振动轮实际载荷状态,确定的土样试验工况为:

工况 1(相当于振动轮低振幅作业)

$$F = 1.0 + 1.8 \sin 8t \quad \text{kN}$$

工况 2(相当于振动轮高振幅作业)

$$F = 1.0 + 2.5 \sin 8t \quad \text{kN}$$

其中: 8 — 为振动轮的工作频率。

某一工况下土样的试验曲线如图 3 所示。

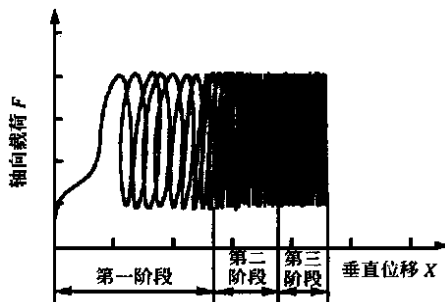


图 3 某一工况下土样的试验曲线

Fig 3 The soil test curve in the operating mode

4 土壤动态压实试验结果分析

由试验载荷—变形曲线,可根据不同的特征区分为不同的阶段:

第一阶段,土壤密实度较小,土壤在周期作用的动载荷作用下,表现为土壤内阻尼性能的存在,形成载荷—变形的滞回圈,并产生较大的塑性变形,表明土壤颗粒在动载作用下,调整相对位置需要花费时间,并较多地吸收振动轮振实作用产生的能量。

第二阶段,土壤密实度增加,土壤在周期载荷作用下,产生以弹性变形为主的弹塑性载荷—变形关

系,土壤的变形量相对减少,吸收振动轮振动能量减少,土壤弹性增加,塑性减少。

第三阶段,随着土壤密实度增加至一定的程度,土壤在动载荷作用下,表现为相对刚性的载荷—变形关系,土壤不再产生变形,不再吸收振动轮的振实能量,振动轮振动参数组合成的工作状态已对土壤不产生有利的压实,该状态下振动轮的压实潜力已充分发挥完了,应更换、调整相应的工作参数,方能产生进一步的压实。

随着振动轮与土壤间振动能量的交换传递,土壤产生相对变形,由实测的载荷—变形关系,变形滞后载荷的相位趋于零,表明土壤材料的粘性阻尼较小,主要是结构阻尼,其力学性能的复刚度可表示为

$$K^* = K(1 + G i) \quad (1)$$

式中 K —— 土壤对振动载荷的弹性系数,它不消耗能量; G —— 土壤承受振动载荷时的损耗因子; $i^2 = -1$ 。

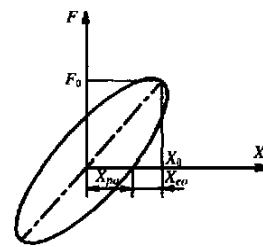


图 4 载荷—位移关系

Fig 4 The load-displacement relationship

由于土壤材料并非是完全弹性体, $F-X$ 关系是非线性的,如图 4 所示,相对同一 F 值和 X 值,系由塑性变位量 X_{po} 和弹性变位量 X_{eo} 两部分组成,载荷增大, F 值增大,相对变位 X 中的 X_{po} 与 X_{eo} 的比例发生变化,损耗因子可由下式给出

$$G = \frac{1}{2P^1} \frac{W_G}{W} \quad (2)$$

式中 W_G —— 表示滞回曲线内面积; W —— 表示作功量 $W = F_0 \Delta X_0$

各阶段土壤性能描述: 土壤性能的典型变化过程如图 5 所示。

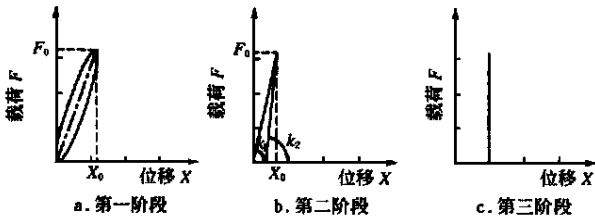


图 5 土样性能的典型变化过程

Fig 5 The soil property changing process in the typical case

第一阶段, 土壤密实度较小, 土壤在周期作用的动载荷作用下, 表现为土壤内阻尼性能的存在, 形

成载荷-变形的滞回圈, 并产生较大的塑性变形, 表明土壤颗粒在动载作用下, 调整相对位置需要花费时间, 并较多地吸收振动轮振实作用产生的能量。

第二阶段: 载荷-变形关系表现为弹性变形和塑性变形两部分, 即加载直线 k_1 和卸载直线 k_2

$$G = \frac{1}{2P^1} (1 - \frac{k_1}{k_2}) \quad (3)$$

而 $K = k_1$

第三阶段: 载荷-变形关系表现为相对刚性性能, 即 $K = \infty, X = 0$

根据试验曲线, 经计算的土样性能参数复刚度如表 2 所示。

表 2 不同工况下土样的复刚度 $K(1 + Gi)$

Table 2 The values of the soil complex rigid in the operating modes

$kN \cdot m^{-1}$

	原生亚沙土	石灰膨胀土	水泥土	
工况一	第一阶段	$107\,500 \times (1 + 0.750i)$	$134\,500 \times (1 + 0.76i)$	$182\,400 \times (1 + 0.82i)$
	第二阶段	$157\,000 \times (1 + 0.053i)$	$165\,000 \times (1 + 0.042i)$	$213\,000 \times (1 + 0.038i)$
	第三阶段			
工况二	第一阶段	$215\,000 \times (1 + 0.80i)$	$245\,000 \times (1 + 0.81i)$	$293\,400 \times (1 + 0.78i)$
	第二阶段	$235\,500 \times (1 + 0.053i)$	$273\,000 \times (1 + 0.032i)$	$321\,200 \times (1 + 0.028i)$
	第三阶段			

由表 2 可以看出, 三种土壤的动力刚度 K 值均随载荷振幅的增加而增加, 并随载荷振幅的减小而减小。它表明, 随载荷振幅的增加, 试件产生一定的逐渐增大的塑性压缩变形, 材料间颗粒排列更加紧密, 导致材料内摩擦力的增大, 结构阻尼增加, 动力刚度 K 值也逐渐增加, 当土壤密实度进一步增加, 土壤颗粒排列至一定的程度, 土样塑性压缩变形减小, 土壤的结构阻尼减小, 动力刚度 K 值增加, 直至最后阶段, 在一定的载荷状态下, 土壤不再发生塑性变形, 土壤性能表现为相对刚性的状态, 这种土壤性能规律性的变化, 在不同的土壤介质试验中均有相似的现象, 这是振动压路机“振动轮—土壤系统”动态性能研究的基础。图 6 为压实次数与土壤密实度的关系。

5 结论

1) 土壤的静载压实试验和动载压实试验具有不同的试验结果, 静载压实曲线近于双曲线, 而动载压实曲线具有不同型式的变化过程, 从土样压实结

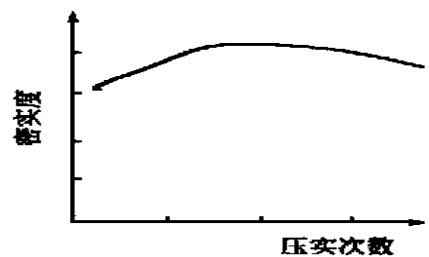


图 6 压实次数与土壤密实度的关系

Fig 6 The relationship between the soil compacted and the drum times

果看, 动载压实较静载压实效率高, 压实效果好。

2) 通过对土壤在三轴仪上的动态试验得知, 模拟振动轮动态载荷下的土壤载荷-变形关系是分析该状态下土壤性能的必要手段。

3) 根据试验曲线, 将土壤性能变化分为不同的三个阶段, 并给出了各阶段土壤性能复刚度的不同表达式, 概略地说明了土壤性能随振动轮振实作业次数增加而变化的过程, 为系统的分析振动压路机各种动态性能提供有用的参数。

[参 考 文 献]

- [1] 秦四成 振动压路机振动压实及其系统动力学研究 [D]. 长春: 吉林工业大学, 1998
- [2] 曾春华 关于土在重复载荷下动态特性的综述[J]. 土木工程学报, 1988, 21(2): 70~ 80
- [3] Boscardin D. Hyperbolic parameters for compacted soils[J]. J geotechnical engineering A SCE, 1990, 116(1): 88~ 104
- [4] Duncan Nonlinear analysis of stress and strain in soil [J]. J SoilMech and Found A SCE, 1996, (5): 1629~ 1653

Dynamic Study on the Soil Compaction by Vibratory Roller

Qin Sicheng¹, Chen Yuesun¹, Li Zhong², Dai Peiqing², Bai Du²

(1. Mechanical College, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Inner Mongolia North Heavy Industries Group Corp Ltd, Huhhot 130025, China)

Abstract: According to the load property of vibratory roller, the compaction simulation test of the soil was carried out in the triaxial testing apparatus. The soil compaction process is divided into three stages. The stiffness and damping parameters in different stages were given. This is the basic theory of the vibratory compaction.

Key words: soil; vibratory compaction; dynamic property; test

会 讯

“国际水资源项目研讨会”召开

全球环境基金会(GEF)、世界工程组织联合会(WFEO)与国际工程咨询协会(FDIC)共同组织“国际水资源项目研讨会”于2001年6月7~8日在世界银行总部召开。会议的主题是 GEF 与工程界的对话, 以便工程界参与 GEF 的国际环

境保护项目的可行性研究与实施。WFEO 农业与食品工程委员会委员杨邦杰(本刊编委)出席了会议, 并向有关方面介绍了农业对环境的影响和农业工程科技可以发挥的作用。

(本编辑)