

固结应力及应力加载比对粉土力学特征影响研究

万亮亮¹ 贾景超¹ 吴岗² 陈斌¹ 刘雨童³

(1. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450000;

2. 起航<山东>投资建设集团有限公司, 山东 济南 250000;

3. 中共高碑店市委党校, 河北 保定 071000)

【摘要】随着时间的发展, 现代城市建筑大多是高层建筑、地下商场、地下车库以及地铁高铁等, 它们大多兴建在建筑、城市管道线路、道路等密集地带, 这些地方对于基坑开挖所带来的变形主要是因为土体内部产生不均匀沉降所导致的。因此, 在基坑开挖过程中对于土的应力-应变过程都有其独特的规律。对于隧道开挖、狭长的基坑开挖和堤坝来说, 土体在开挖过程中, 可将土体状态简单的看成二维的平面应变状态。通常情况下, 土体的力学参数均会采用常规三轴试验获取其力学参数。

【关键词】固结应力; 加载比; 平面应变状态; 抗剪强度

近代土力学的发展表明: 土的力学性质不仅取决于土体最初和最终的应力水平和应力状态, 而且与应力和应变状态变化的方式及此前的应力历史有关。土力学性质受应力路径影响问题成为岩土专家^[5]受重视的问题。土体加荷路径与侧向卸荷路径对土体强度特性产生不同影响。陈欧等^[1]进行平面应变实验对砾石土强度和变形进行研究, 得出在平面应变状态下的强度指标比三轴试验高; 殷宗泽等^[2]在固结排水条件下对小浪底土进行平面应变实验与常规三轴试验, 实验表明: 在平面应变情况下样品内摩擦角比较大, 破坏应力比较小; 马险峰^[3]等对砂土进行平面应变剪切试验, 研究表明平面应变抗剪强度和三轴试验抗剪强度参数的转换关系; Ma^[4]进行平面应变试验分析了不同含水量与围压作用下平面应变实验与常规三轴试验的差异, 实验结果表明含水量对土强度的影响大于围压的影响, 平面应变条件下的土强度明显大于常规三轴条件下的土强度。故本文采用自制平面应变仪器对粉土不同固结应力与加载比对土体的影响展开研究。

一、不同固结应力对粉土的影响

(一) 实验准备

1. 试样制备

本文立足于工程实践问题, 选取郑东新区的粉土进行实验, 它的物理特性指标如下, 粉土Gs为 2.69g/cm^3 、最大 $p2.06\text{g/cm}^3$ 、最优 $w16\%$ 、 $W_L22.1\%$ 、 $W_P13.1\%$ 、 I_p9 、粉土 $d=0.075\text{mm}$ 以上的土体颗粒 m 占 $m_{总}$ 为 40.5% 的土体。试样放置通风处进行风干, 再用碎土机粉碎并过 0.5mm 筛子。将过筛土放入烘箱 24h 烘干备用。对土体进行自然降温, 按照初始含水量 12% 、 14% 、 16% 进行重塑土配置。土体配好后放入保湿缸保湿待用。

2. 试样剪切

实验采用应力控制法。通过改变砝码重量实现应力的改变。剪切过程是保持侧向不变对轴向逐级加载。剪切前保持土体稳定后不再限制侧向应力。逐级加荷为每级荷载为 10kPa 或 20kPa 。本试验选择固结排水剪切。

(二) 试验方案

为研究粉土的剪切特性受不同固结应力影响, 因此, 对等压固结应力为 30kPa 、 50kPa 、 100kPa 的图样进行加载路径实验。试验在平面应变状态下进行实验。选取干密度不同含水率相同的粉土进行上述实验。试样破坏准则: $\varepsilon_{竖}=15\%$ 为破坏点。实验方案如表1所示。

表 1 不同固结应力实验方案

实验类型	初始干密度	初始侧向应力	固结竖向应力	初始竖向应力
A	1.35g/cm ³	30Kpa	30Kpa	30Kpa
B	1.40g/cm ³	50Kpa	50Kpa	50Kpa
C	1.45g/cm ³	100Kpa	100Kpa	100Kpa

（三）实验结果及其分析

上述实验表明，粉土在不同固结应力下的应力应变曲线为硬化性。随着试样破坏、固结应力增大，曲线切线模量在增大，极限竖向应变逐渐增大，主偏应力也在增大；但竖向应力的变化却很小。保持围压恒定，初始固结应力由小到大，相同的偏应力、不同固结应力粉土试样的应变由大到小。这种现象的发生是土体颗粒间隙与土粒的相对位因初始固结应力等增大而减小。因此，也不能忽略初始固结应力对粉土试样的影响。粉土的结构和强度收到的初始固结应力不同而发生改变。

综上所述，土颗粒间的相对位移、排列以及土体所受初始固结应力的不同而产生影响，最终导致强度受到影响。所以，在实际工程中，需要充分也要考虑应力历史及不同的土体特性对工程的影响。

实验结果表明，在加荷路径下，不同干密度试件达到破坏时的应力路径一直线，这条直线叫做破坏主应力线。

抗剪强度同样是土力学的核心问题，土体抗剪

强度用黏聚力 c 和内摩擦角 ϕ 来表示。粘聚力与内摩角对计算各种实际工程十分重要。因此对于实际工程的这两个参数的选取对计算结果的准确性十分重要。

内摩擦角算法如下：在试样达到破坏后找到破坏点，在实验数据中找到大小主应力，并做出摩尔应力圆，三组实验产生三个圆，并找出三个圆的公切线，由公切线得出土体粘聚力与内摩擦角。结果见表 2。

从表 2 得出，试样在加载路径下进行固结排水实验，其 $\phi=44^{\circ}$ ，但 c 随初始干密度的增大而增大。

二、不同应力加载比对粉土力学特征影响研究

（一）实验准备

对于在加载路径下不同的加载应力比对土体剪切特性的影响。分别选取应力比为 1:2、1:3、1:4 进行加载实验并分析结果。

试样参数为 $p=1.35\text{g/cm}^3、1.40\text{g/cm}^3、1.45\text{g/cm}^3$ ，相同 $w=14\%$ 的粉土试样进行平面应变状态下不同应力比的加载破坏实验。通过应力控制进行，试样破坏准则： $\epsilon_{\text{竖}}=15\%$ 为破坏点。

表 2 加载实验得到的抗剪强度指标

实验类型	初始干密度 (g/cm ³)	内摩擦角	粘聚力 (kPa)
A	1.35g/cm ³	44°	20kPa
B	1.40g/cm ³	44°	50kPa
C	1.45g/cm ³	44°	60kPa

表 3 不同应力加载比例（ $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ ）实验方案

加载比例	初始干密度	初始侧向应力	固结竖向应力	初始竖向应力
1:2	1.35g/cm ³	30Kpa	30Kpa	30Kpa
1:3	1.40g/cm ³	50Kpa	50Kpa	50Kpa
1:4	1.45g/cm ³	100Kpa	100Kpa	100Kpa

加载按照应力比进行为分级稳定后加载，侧向荷载分别去 10kPa、20kPa。竖向何在按照上述 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ 进行施加。方案见表 3。

（二）实验结果及分析

实验进行加荷实验，不同 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ ，粉土的偏应力 - 应变曲线呈现出硬化型。粉土试样得 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 、曲线切线模量，随加 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ 增大而逐渐增大。试样破坏后，偏应力、竖向应变表现为逐渐变大。

试验结果表明：初始侧向应力相同的试样，随加载应力比的增大，试样达到破坏，试样的 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 呈线性增大。不同干密度的 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ 曲线呈现平行趋势。

三、结论

上述试验结果表明：

（一）粉土在不同固结应力下的应力应变曲线为硬化性。随着试样破坏、固结应力增大，曲线切线模量在增大，极限竖向应变逐渐增大，主偏应力也在增大；但竖向应力的变化却很小。

（二）在加荷路径下，不同干密度试件达到破坏时的破坏点基本为一直线，并被称为加荷路径下，试样破坏的主应力线。

（三）试样在加载路径下进行固结排水实验，其 $\phi = 44^\circ$ ，但 c 随初始干密度的增大而增大。

（四）实验进行加荷实验，不同 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ ，粉土的偏应力 - 应变曲线呈现出硬化型。粉土试样得 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 、曲线切线模量，随加 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ 增大而逐渐增大。试样破坏后，偏应力、竖向应变表现为逐渐变大。

（五）初始侧向应力相同的试样，随加载应力比的增大，试样达到破坏，试样的 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 呈线性增大。不同干密度的 $\Delta \sigma_3 / \Delta \sigma_1$ 曲线呈现平行趋势。

参考文献：

[1] 陈鸥，左永振，孔宪勇. 砾石土强度和变形的平面应变试验研究 [J]. 人民长江, 2010, 41(9): 69-72.

[2] 殷宗泽，赵航. 中主应力对土体本构关系的影响 [J]. 河海大学学报, 1990, 18 (5): 54-61.

[3] 马险峰，望月秋利，温玉君. 基于改良型平面应变仪的砂土特性研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(9): 1745-1754.

[4] Lin Ma. The Comparison of the Loess Mechanical Properties under Plane Strain and Conventional Triaxial Experiments[J]. Advanced Materials Research, 2014, (919-921): 791-794.

[5] M. Pastor, O. C. Zienkiewicz, A. H. C. Chan. Generalized plasticity and the modelling of soil behaviour[J]. International Journal for Numerical & Analytical Methods in Geomechanics, 2010, 14(3): 151-190.

作者简介：

万亮亮（1998-），男，硕士在读。研究方向：粉土力学性质研究；

通讯作者：贾景超（1980-），男，博士，副教授。研究方向：膨胀土、平面应变下土的力学特性、基坑支护等研究。