



# 土石混填路基原位直剪与室内大型直剪试验比较

## Comparison of shear test in site and lab large-scale shear test for rock-soil aggregate of roadbed

董云<sup>2,1</sup>, 柴贺军<sup>1</sup>, 杨慧丽<sup>3</sup>

(1. 重庆交通科研设计院道路研究所, 重庆 400067; 2. 淮阴工学院, 江苏 淮阴 223001; 3. 山东省菏泽市公路管理局, 山东 菏泽 274000)

**关键词:** 土石混合料; 路基; 原位直剪试验; 室内大型直剪试验; 改进

**中图分类号:** TU 411.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2005)02-0235-04

**作者简介:** 董云(1974-), 男, 硕士, 主要从事公路结构设计与灾害防治研究。

### 0 引言

路基作为公路的主要结构层, 支撑着路面结构并和路面结构一起共同承受车辆荷载的作用, 一旦路基发生破坏或失稳, 将影响路面的服务能力, 因此, 提高路基强度和稳定性是保证公路高效运行的关键。而要达到这一目的, 可通过选用强度高、稳定性好的路基填料, 充分地进行路基压实, 减少路基在行车荷载作用下产生的变形, 增强路基的强度和稳定性。土石混填路基正是由于土石混合料强度高、易于压实及分布广泛等特点而被普遍采用。但是, 由于土石混合料物质组成复杂、结构分布不规则及采样困难, 要确定其强度指标较为困难。常规方法有原位剪切试验、室内大型直剪试验和室内大型三轴试验。为快速准确的确定土石混合料的强度指标, 我们对室内大型直剪试验进行了改进, 并结合工程实际, 对原位直剪试验与改进后的大型直剪试验进行了比较。

### 1 原位直剪试验

工程施工过程中最大粒径达到 300 mm, 在室内研究其原级配抗剪强度比较困难, 从而在现场进行原位剪切试验, 以探求土石混合料的抗剪强度特性, 确保工程质量。原位直剪试验的试样从土石混填路基现场选取, 试样尺寸为 1500 mm×1500 mm×750 mm, 能把试验体的非均匀性、颗粒骨架以及空洞等结构特性对抗剪强度的影响较好地反映出来。

#### 1.1 试验原理

依据摩尔 (Mohr) —库仑 (Coulomb) 强度理论, 原位直剪试验原理如图 1 所示。

它是在土石混填路基现场开挖试坑, 制作试样, 并用刚性剪切盒 (只有上盒) 套在试样外 (见图 2), 按图 1 所示原理施加垂直和水平荷载, 使试样在垂直力与水平力作用下, 在既定的剪切面 (底面) 发生剪

切破坏, 根据不同垂直荷载及使试样发生剪坏的水平荷载, 获得路基填料的抗剪强度指标。

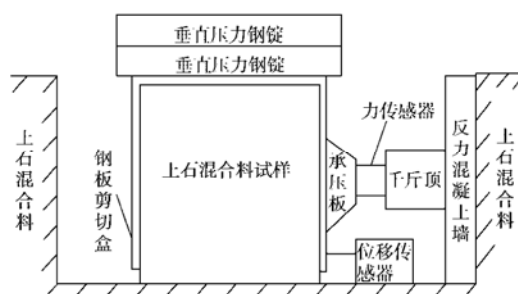


图 1 原位直剪试验原理

Fig. 1 The principle of shear test in site

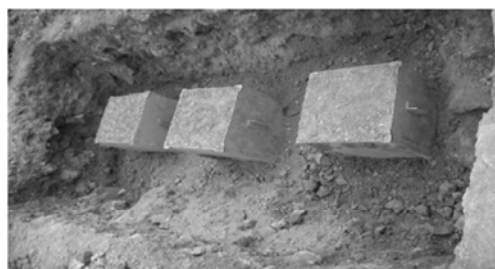


图 2 现场试验试件

Fig. 2 The sample of site test

#### 1.2 现场主要试验操作

##### (1) 试件制备

在拟定的试验地段开挖试坑, 当挖至预定深度后, 停止全面开挖。然后在坑底挖出一条土埂, 深至剪切面附近。在土埂上放剪力盒, 边切削边向下徐徐压下剪力盒至要求试验深度, 使水平推力方向与要求剪切方向一致并避免扰动试件土体。在剪力盒下边预留 3 ~ 5 cm 剪切缝, 修平试件顶面, 使试件高出剪力盒 2 cm

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目 (20023180034); 国家自然科学基金资助项目 (40102026)

收稿日期: 2004-03-16

左右,用细砂填实剪力盒与试件土体的局部缝隙,使试件顶部呈水平状态。

### (2) 设备安装

在试件顶面放上承压板并找平,再将滚轴排、承压板、千斤顶等依次放上,使垂直力位于剪切面中心,反力由其上堆放的重物提供,水平千斤顶安放于试件下部后方,使推力位于中间且与要求剪切方向一致。

### (3) 现场剪切

试验设备安装完成以后,分级施加垂直荷载,每 5 min 读一次变形,当 5 min 内每分钟变形不超过 0.05 mm 时,即认为稳定,再施加下一级荷载,直至达到预定的法向荷载。各级法向荷载等量分级施加,预定法向荷载稳定后,按预估最大剪切荷载的 8%~10%等量分级匀速施加水平推力,每 30 s 施加一级剪切荷载,并记录剪切荷载和剪切变形,当剪切变形急剧增大,水平推力不再上升或出现下降,或剪切变形达到试件尺寸的 1/10 时(试件的水平位移由安装的百分表测定),终止试验。按上述方法在不同法向荷载下进行其它试件的剪切试验,分别获得不同法向荷载下相应的水平剪切力。

### 1.3 试验结果分析及存在的不足

大型原位试验的压力由液压千斤顶提供,对土石混合料施加剪切力,试验结果如图 3 所示。在试验过程中发现剪切位移有“跳跃”现象,造成剪切力的突变。这是由于土石混合料存在部分超粒径颗粒,如果这些颗粒恰好位于剪切面上,则剪切必须绕过这些颗粒,在空间上出现波浪式<sup>[1]</sup>,因此,真实剪切面并不是图 4 所示的平直的 SS 面,而是 S'S'曲面。在剪切过程中,实际剪切面 S'S'上部分颗粒被剪断或在棱角处发生破碎,造成位移的“跳跃”和剪切力的突变。

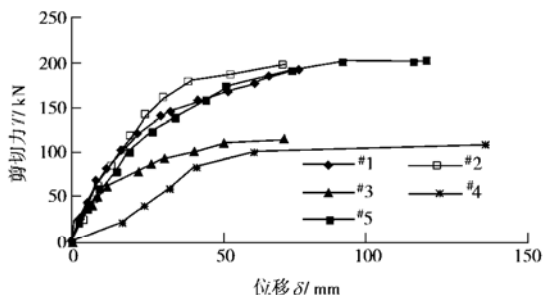


图 3 各试件剪切力—位移曲线

Fig. 3 T- $\delta$  curves



图 4 土石混合料剪切面

Fig. 4 Shear surface of soil-rock aggregate

### (1) 试验结果分析

对各试件所得的法向应力和剪应力进行线性回归按图解法求得混合料的抗剪强度指标为  $\varphi = 23.1^\circ$ ,  $c = 0.04$  MPa, 回归相关系数  $r = 0.78$ 。

### (2) 原位剪切试验存在的主要问题

原位剪切试验能够反映施工现场每一测点的实际强度,但相比之下,原位剪切试验具有一些不足之处,主要表现在以下几个方面。

a) 试验操作较为复杂,尤其在试件制备、设备安装、及垂直荷载的设置上,需耗费大量的人力、物力。

b) 试验精度不高,主要由设备的安装误差、剪切面相对固定而不是沿试件最薄弱面破坏及剪切过程中未计入因剪切面减小而相应调整垂直荷载造成剪切过程中  $\sigma$  不断变化等造成。

c) 试验结果离散性较大,即使是同一试坑的试件,回归相关系数较低,由不同试坑的试件进行强度指标比较时,甚至出现负相关。

## 2 室内大型直剪试验

室内大型直剪试验是依据摩尔(Mohr)—库仑(Coulomb)强度理论,对从施工现场取回的料样进行等量替代或等比例缩小等处理后,沿用细粒土直剪试验原理,加大剪盒尺寸进行的室内剪切试验。由于常规的室内直剪试验存在一些问题和不足,本课题对室内大型直剪试验进行了改进研究,以期通过改进后的室内大型直剪试验获得土石混合料更可靠的强度指标。

### 2.1 试验原理

改进后的大型直剪试验,试验设备原理如图 5 所示。试验设备见图 6。

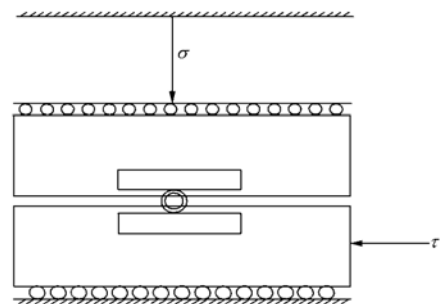


图 5 改进的直剪试验原理

Fig. 5 The principle of improved shear test

它是将土石混合料按要求的密度装入由上下盒组成的剪切盒中,在不同的垂直压力下固结,真正保持垂直压力在剪切过程中不变,由小到大逐级施加水平推力,使下盒移动,并通过传力装置使上盒向相反的方向均匀的发生位移,上下盒错开,使混合料受

剪,直至发生剪切破坏,测出在该垂直压力下的最大剪力。通过对不同垂直压力和相应的最大剪力进行线性回归,得到其强度指标。



图6 改进后的大型土石混合料多功能试验机

Fig. 6 The improved apparatus for soil-rock aggregate

## 2.2 改进后试验设备的主要特点

改进后的设备克服了常规试验设备存在的主要问题,主要具有如下特点。

### (1) 破坏面不固定

混合料往往是不均匀的,在上、下盒之间设置活动的开口,转料时装上挡板,剪切前卸掉挡板,这样破坏面不再是固定的平面,而是在开口范围内,由最大剪应力集中带决定的最薄弱面。

### (2) 垂直荷载保持居中不偏心

在剪切过程中,下盒在剪切力的推动下移动,通过设置在反力框架上的齿轮及上下剪盒上的齿条,带动下盒向相反方向同步移动,而垂直力由于设置了上滚排而保持不变,能够保证在剪切过程中垂直荷载始终作用在剪切面的中心。

### (3) 正应力 $\sigma$ 恒定

通过设置水平位移传感器和电气控制系统,适时读取计算剪切面面积,根据设定的正应力  $\sigma$  及适时的剪切面积,自动调整垂直荷载的大小,保证在剪切过程中正应力不变。

### (4) 操作简便

由于垂直荷载通过反力框架固定,而上下剪切盒都不固定,故装样时可将剪盒推出反力框架,装料、卸料方便。

### (5) 试验项目完善

通过应用辅助设备,扩充了试验项目和内容,如可根据试样的最大粒径应用不同尺寸的剪盒进行剪切试验,可以在剪切破坏卸载后量测剪切面的起伏特征,可以进行大型固结试验、渗透试验等。

## 2.3 试验结果分析及存在的不足

### (1) 试验结果分析

由自动采集的试验数据描绘的剪切力与位移的关系曲线如图7所示,图中正应力的脚标按正应力增大的顺序排列。

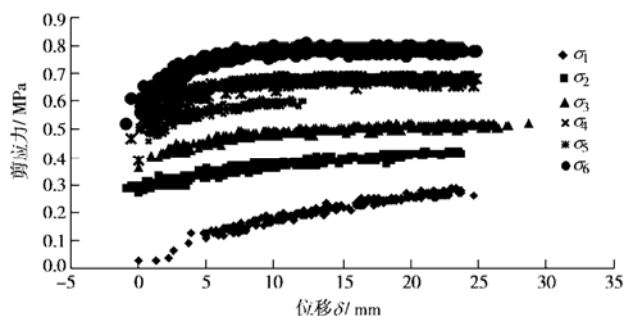


图7 剪切力-位移关系曲线

Fig. 7 Curves of  $T - \delta$

由图7可以看出:一是剪切“跳跃”十分明显,并且伴随着剪切的全过程。从“跳跃”的幅度看,小围压和大围压的“跳跃”幅度稍大,中等围压的“跳跃”幅度相对较小。分析认为小围压时“跳跃”大是如图3所示剪切面上颗粒的翻滚造成;而围压高时“跳跃”大,是由于不断的有颗粒被剪碎造成,其实,这种剪切过程中的“跳跃”正是土石混合料剪胀性的表现。

由自动采集的垂直荷载、水平剪力及水平位移,进行数据处理并描绘剪切过程中的  $\tau - \sigma$  变化关系如图8所示。

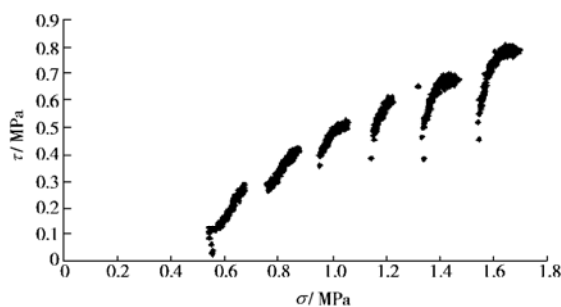
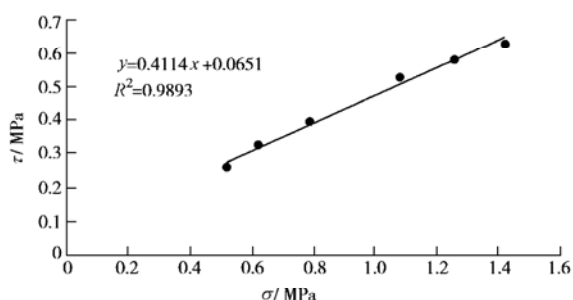


图8 剪切过程中的  $\tau - \sigma$  变化趋势

Fig. 8 The variation of  $\tau - \sigma$  in test

图8中曲线说明:在不同的围压下,剪切破坏均有  $\sigma$  的增长,此增长可解释为,由于采用刚性剪盒,试样体积无法膨胀而在  $\sigma$  上的反应。 $\sigma$  越高,  $\sigma$  的增长越小,符合围压越高,剪胀越小的认识。由此也可以通过与三轴试验的对比,确定剪胀在体积上与在  $\sigma$  上反应的关系。再者,可以客观的显示图中各荷载级别下破坏点的  $\tau$ ,  $\sigma$  基本呈直线关系。

对破坏点的  $\tau$ ,  $\sigma$  进行线性回归如图9,可得混合料的强度指标为  $\varphi = 22.36^\circ$ ,  $c = 0.065$  MPa,线性相关系数  $r = 0.99$ 。

图9  $\tau - \sigma$  回归曲线Fig. 9 The linear regression of  $\tau - \sigma$ 

## (2) 室内大型直剪试验的主要不足

与原位试验相比,室内大型直剪试验主要存在以下不足:①受剪盒尺寸限制,根据前人研究,剪盒尺寸至少为最大粒径的 8~10 倍,故一般在室内要进行试样的超粒径处理,对试验结果有一定的影响;②室内试验为扰动样试验,不能完全反应施工现场的土石混合料结构及物质组成的不均匀性。

## 3 讨 论

原位剪切试验操作较为复杂,试验结果精度相对较低,并比较离散,但原位剪切试验能够反应施工现

场试验点的实际强度,对于既成路基的强度和稳定性分析,不失为一种可靠的试验方法;改进后的室内大型直剪试验操作相对简便,能准确反应剪切过程中的应力、应变及位移之间的关系,试验结果精确可靠,可用于对填料总体代表性强度指标的测试,对于工程设计和科学研究是一种经济简便的试验方法。两种试验方法各有优缺点,并能够相互补充,在实际施工过程中,可根据需要和实际情况选择使用。

## 参考文献:

- [1] 余景顺,等.路基土石混合料原位剪切试验研究[J].公路,2003,(6).
- [2] Mandl. Fully developed Plastic Shear Flow of granular Materials[J]. Geotechnique, 20(3): 277 - 307.
- [3] 刘斯宏.适用于土石材料的现场直剪试验法[J].华东水电技术,2000,(4).
- [4] 郭庆国.粗粒土的工程特性及应用[M].郑州:黄河水利出版社,1998.
- [5] SD128—87,土工试验规程[S].

## 《岩土工程学报》稿件远程处理系统开通

经过多方的努力,《岩土工程学报》稿件远程处理系统已投入使用,该系统包括作者投稿、作者查稿、专家审稿和编辑远程四个功能块。作者、审稿人和编辑可以通过登陆网址:<http://www.cgejournal.com>,分别点击各功能块来完成相应的功能。作者可以通过该系统填写个人信息、设置用户名和密码以及上载投稿件的 WORD 文档,并且还可以随时查询稿件的审理进程。审稿人可以根据收到稿件审稿单上的用户名和密

码登陆,然后评审相应的稿件并填写审阅意见。《岩土工程学报》稿件远程处理系统的开通将给广大读者、作者和编辑部的工作带来方便,并提高稿件处理效率,欢迎广大读者使用本刊稿件远程处理系统进行投稿、查询稿件,也欢迎我刊审稿人使用本系统完成审稿。为了更好地改进我们的工作,欢迎您在使用本系统过程中提出宝贵的意见和建议。

(本刊编辑部)