

膨胀土路基填料的土工试验方法研究

余湘娟 高明军

(河海大学土木工程学院岩土工程研究所 南京 210098)

柯弘生 郑晨辉

(江苏省高速公路建设指挥部 南京 210005)

摘 要 对掺石灰处理膨胀土的掺灰率、无侧限抗压强度、试样饱和对其力学性质的影响以及膨胀力等问题进行了试验研究.根据试验结果比较 提出了不同龄期的掺灰率应用不同 EDTA 耗量标准曲线的建议及用三轴仪量测膨胀力的改进方法 供公路路基土工试验参考.

关键词 膨胀土 掺灰率 膨胀力

中图号 TU443

随着高等级公路建设的迅速发展,公路通过特殊地质、不良地质地区及用不良土源来填筑路基的几率也愈来愈大.如江苏省在公路建设中,通过膨胀土地区的公路就有宁连线、淮江线等.由于公路沿线土地珍贵,土源紧张,只能利用当地中等或弱膨胀土掺石灰处理后来填筑路基.因此,测试现场压实土样的掺灰率、膨胀土的胀缩性及力学特性是检验公路路基施工质量的重要手段.本文就掺石灰处理膨胀土试验中的几个问题进行了专门研究.

1 掺石灰剂量的测定

在掺石灰处理膨胀土路基的施工中,如何测定现场压实土样的掺灰率是检测施工质量的重要内容之一.根据交通部发布的《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[1],水泥或石灰稳定土中水泥或石灰剂量的测定方法,主要是用 EDTA 二钠滴定法(EDTA 二钠是乙二胺四乙酸二钠的简称).该方法是将石灰土浸提液用 EDTA 二钠标准液滴定到钙指示剂指示变色终点时,测 EDTA 二钠的耗量.EDTA 与浸提液中的游离钙离子有关,通过几种给定石灰剂量的石灰土测定 EDTA 耗量的标准曲线,就可以确定测试的石灰土中的掺石灰率.文献[1]中称本方法不受水泥和石灰稳定土龄期(7 d 以内)的影响.但是,从施工现场取回的路基压实土样用这种方法测定,确定的掺灰率往往很低,因此笔者在室内进行了专门的试验,观察同一种掺灰土试样在不同龄期时测试的掺灰率.

试验用淮江线江都段的一种弱膨胀土样,其天然含水率为 30.9%,液限为 54.3%,塑限为 21.9%,自由膨胀率为 41%.按《公路路基设计规范》^[2],膨胀土工程地质分类为弱膨胀土,试验时按干土质量 6% 掺入生石灰.为了模拟现场施工程序,取场拌路拌的掺灰率各为 3%,即生石灰消解后先掺入一半,在石灰土的最佳含水率下分别放置 1 d、3 d、7 d、14 d,作为场拌,然后再掺入剩下的一半消石灰,又分别放置 1 d、7 d、14 d,作为路拌.共计测试场拌、路拌 12 种不同龄期组合的试样,结果如图 1 所示.由图中可见,场拌 1 d、3 d、7 d 测试的掺灰率相近,但 14 d 的掺灰率则下降了 1/3 ~ 1/2.在同一场拌条件下,路拌 1 ~ 7 d 的测试掺灰率下降了 1/2,7 d 以后则变化不大.

试验用石灰土试样的实际掺灰率是 6%,但在不同龄期测出

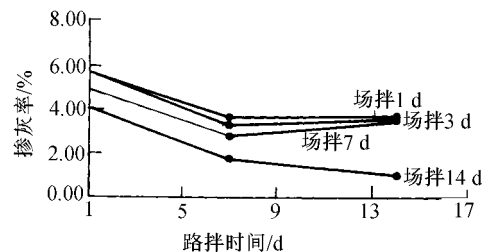


图 1 掺灰率随龄期变化曲线

Fig.1 Lime ratio vs age

的掺灰率都在下降,原因是随着龄期增长,石灰土中的一部分钙离子已经与土中的矿物发生反应,生成新的化合物,因此游离钙离子减少,用初始的 EDTA 耗量标准曲线确定的掺灰率必然下降.正确的做法是在不同的龄期应该用不同 EDTA 耗量标准曲线,只有这样才能在不同龄期都能测出实际的掺灰率 6%.由此可见,现场土料的掺灰率应在路拌后尽快测试,否则即使龄期不超过 7 d,也需要用相应龄期的 EDTA 耗量标准曲线确定.

2 无侧限抗压强度试验试样尺寸及强度

根据《土工试验方法标准》^[3]和《公路土工试验规程》^[4]规定,无侧限抗压强度试验的圆柱状试样直径宜为 35~50 mm,高度与直径之比采用 2.0~2.5.对于细粒土通常采用直径为 39.1 mm、高度 80 mm 的圆柱状试样.按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》规定,无侧限抗压强度试验的试样为直径 50 mm、高 50 mm 的圆柱体.为了比较两种规格试样尺寸不同所测强度的差别,对同一种土料多种配比情况,用两种尺寸制备试样进行无侧限抗压强度对比试验.一种尺寸按《土工试验方法标准》和《公路土工试验规程》,直径 39.1 mm,高 80 mm;另一种尺寸按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》,直径 50 mm,高 50 mm.两种尺寸试验的结果如图 2 所示.共有 7 组试验.由试验结果可见,∅39.1 mm×80 mm 试样的无侧限抗压强度比 ∅50 mm×50 mm 试样的无侧限抗压强度略小,其比值为 1:1.08.因此,若用 ∅39.1 mm×80 mm 试样的试验结果按《公路路面基层施工技术规范》^[5]进行强度的判别,结果是偏于安全的.

3 试样饱和对掺灰土力学性质的影响

为了研究膨胀土掺石灰压实后路基土的力学性质,在室内需进行掺灰土的饱和与非饱和试样不同龄期的力学性质试验.对于饱和试样,由于抽气饱和的时间不同,将得到不同的强度.笔者对某工地膨胀土填料掺灰率为 4% 的土样进行了两种不同时间抽气饱和试样的试验.第一种试验是按《土工试验方法标准》在试样制备后立即抽气饱和,然后在水中养护 1 d、7 d 和 28 d 三种不同养护龄期进行试验(称先抽气饱和试样);第二种试验是按《公路路面基层施工技术规范》,试样制备后在一定温度下保湿养护至预定龄期的前一天抽气饱和,然后进行试验(称后抽气饱和试样).对比试验项目有压缩和无侧限抗压强度两种.根据对比试验结果,整理得到两种不同抽气饱和时间的无侧限抗压强度与龄期关系曲线如图 3 所示,压缩模量与龄期的关系曲线如图 4 所示.由以上两组关系图可见,试样含水率较低时,先抽气饱和试样的压缩模量和无侧限抗压强度比后抽气饱和试样的要大,当含水率为 14% 时,7 d 龄期先抽气饱和试样的压缩模量和无侧限抗压强度是后抽气饱和试样的 1.5 倍,而 28 d 龄期先抽气饱和试样的压缩模量和无侧限抗压强度是后抽气饱和试样的 1.75 倍.这些结果表明,先抽气饱和试样由于有足够的水分使石灰与膨胀土起化合作用,改善了土的力学性

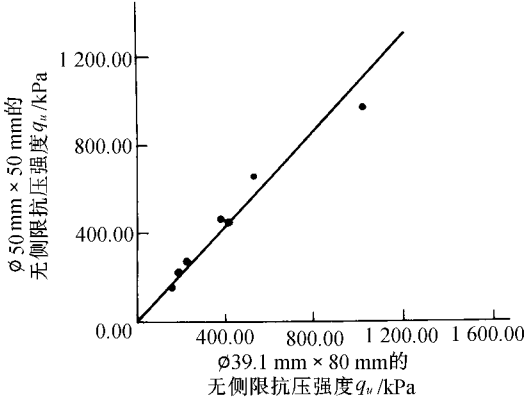


图 2 不同试样尺寸无侧限抗压强度对比试验结果
Fig.2 Unconfined compression strength for different sizes

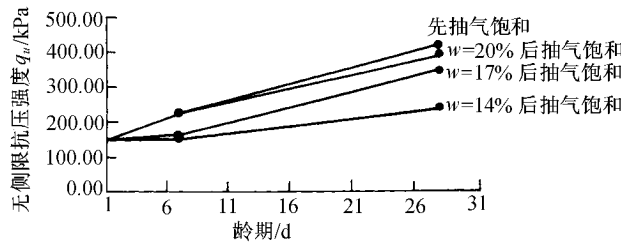


图 3 不同抽气饱和和时间试样无侧限抗压强度随龄期变化曲线
Fig.3 Unconfined compression strength for different saturated time and different ages

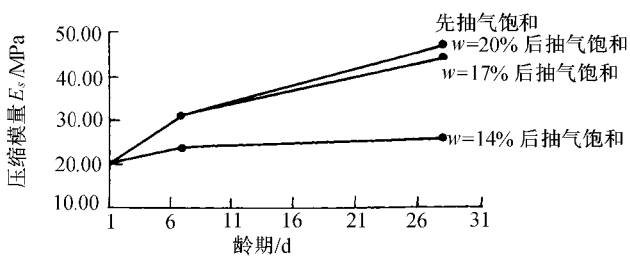


图 4 不同抽气饱和和时间试样压缩模量随龄期变化曲线
Fig.4 Compressibility modulus for different saturated time and different ages

质,所以压缩模量和强度提高.从试验曲线还可看出,随着制备试样的含水率增大,这种差别逐渐减小.由图中可见,制样时含水率越大,后抽气饱和试样的压缩模量和无侧限抗压强度越接近先抽气饱和试样的数值.经计算,试验的掺石灰土样的饱和含水率约为 21%($\rho_d = 1.73 \text{ g/cm}^3$, $G_s = 2.72$).当制样含水率为 20%,已接近饱和含水率时,后抽气饱和试样的无侧限抗压强度和压缩模量已接近先抽气饱和试样.因此,在实际工程中,用石灰处理膨胀土填筑路基时,在保证达到压实度的前提下,碾压时的含水率增大,有利于石灰与土料化合,改善其力学性质和减小工后浸水引起的膨胀量.但含水率也不宜增大太多,以免妨碍压实,达不到要求的干密度和引起较大的收缩变形.

4 膨胀力的测定及估算

按《土工试验方法标准》和《公路土工试验规程》规定,膨胀力试验是用固结仪测试的.试样的制备与安装同固结试验,但用许多小铅丸代替砝码对试样加压力,便于随时增减荷载.当试样注水后发生膨胀时,立即施加相当的平衡荷重,不使试样膨胀.因为注水后试样将不断膨胀,就要不断地增加平衡荷重,直至试样在某级荷重下间隔 2 h 不再膨胀时,则作为试样在该级荷重下达到稳定,然后用总平衡荷重计算膨胀力.整个试验过程中不断添加铅丸较麻烦.为此笔者改进了测试方法,用应变控制三轴仪的加荷装置,控制试样注水后不发生膨胀,在此条件下测试膨胀力.试验装置如图 5 所示.将装有试样的固结容器置于安放三轴仪压力室的底座上,钢环上的变形量表与试样底座接触用以监控试样变形,试样上的加压活塞与量力钢环接触用以量测膨胀力.当试样注水膨胀时,立即转动手轮,保持试样不变形,同时利用三轴仪轴向加压钢环测得对试样所加的压力,直至试样稳定不再膨胀为止.试样稳定时由三轴仪轴向加压的量力钢环计算的轴向压力就是膨胀压力.这样测膨胀力达到了试验要求,测试精确度较高,且操作简单易行.

膨胀力与无压膨胀率都是膨胀土压实试样在无侧向变形条件下注水引起的.膨胀力是限制试样不发生膨胀所产生的内应力,无压膨胀率是膨胀力完全释放,即试样上压力为零时的膨胀率.膨胀力与无压膨胀率都与试样的膨胀指数 C_s 有关, C_s 是膨胀变形与压力对数的比值.如图 6 试样浸水膨胀后的 $e \sim \log P$ 曲线所示.由于膨胀力 P_e 测定较麻烦,而且需要专门的设备,为此可以根据试样压缩试验减压测得的膨胀指数 C_s 和无压膨胀试验测得的孔隙比变化 Δe 估算如下:

$$\log P_e = \Delta e / C_s$$

这样估算的数值较粗略,但可以省去实测膨胀力试验的麻烦,在工程应用上是可行的.

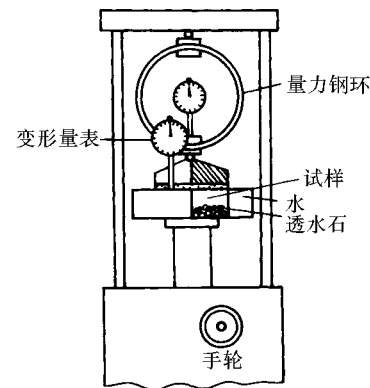


图 5 膨胀力试验装置示意图

Fig.5 The apparatus for swelling pressure test

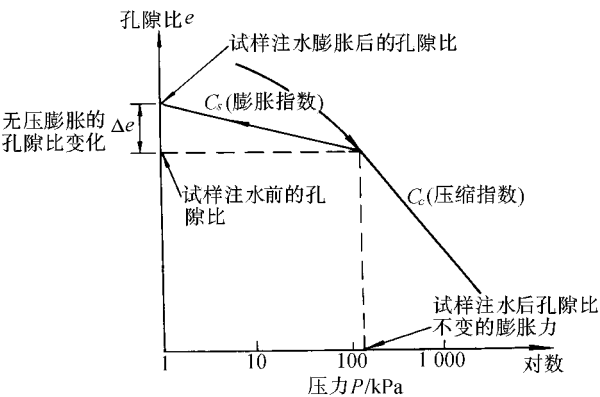


图 6 用 $e \sim \log P$ 曲线估算膨胀力示意图

Fig.6 Estimated swelling pressure with $e \sim \log P$ curve

5 结 语

a. 测试现场压实土料的掺灰率应在路拌后尽快测试,否则即使龄期未超过 7 d,也需用相应龄期的 EDTA 耗量标准曲线确定.

b. 按《土工试验方法标准》,用 $\varnothing 39.1 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 试样测得的无侧限抗压强度比按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》用 $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 试样测得的略小,用此数值判别填土稳定性偏于安全.

c. 按《土工试验方法标准》试样制备后即抽气饱和与按《公路路面基层施工技术规范》试样保湿养护至预

定龄期前一天抽气饱和和两种饱和试样测得的无侧限抗压强度和压缩模量有差别 ,但随着制备含水率增大其差别减小 ,当接近饱和含水率时差别即消失 .

d.膨胀力试验改用应变控制三轴仪的加荷装置控制试样注水后不发生膨胀变形测膨胀力 ,比按《土工试验方法标准》增加压力操作简便 ,测试精度也较高 .在无膨胀力测试设备的情况下 ,可以用无压膨胀的孔隙比变化和膨胀指数粗略地推算膨胀力 ,在工程应用上能满足需要 .

试验是为设计和质量检测提供依据的重要手段 ,使试验方法更完善和操作简便是使试验结果可靠与实际应用可行的保证 .本文提出的各种方法只是对试验方法改进的探索 ,需要进一步的实践和不断积累经验使之趋向成熟 .

参 考 文 献

1 中华人民共和国交通部 .JTJ057—94 公路工程无机结合料稳定材料试验规程 .北京 :人民交通出版社 ,1994.19 ~ 25 ,38 ~ 42
2 中华人民共和国交通部 .JTJ013—95 公路路基设计规范 .北京 :人民交通出版社 ,1996.126 ~ 132
3 中华人民共和国水利电力部 .GBJ123—88 土工试验方法标准 .北京 :中国计划出版社 ,1989.82 ~ 85 ,99 ~ 100
4 中华人民共和国交通部 .JTJ051—93 公路土工试验规程 .北京 :人民交通出版社 ,1993.110 ~ 112
5 中华人民共和国交通部 .JTJ034—93 公路路面基层施工技术规范 .北京 :人民交通出版社 ,1993.26 ~ 45

Test Mothed of Subgrade for Highway Filled with Swelling Soil

Yu Xiangjuan Gao Mingjun

(College of Civil Engineering ,Hohai Univ . ,Nanjing 210098)

Ke Hongsheng Zhen Chenhui

(Highway Construction Office of Jiangsu Province , Nanjing 210005)

Abstract In this paper ,the swelling of lime-treated clays is studied by test of the lime ratio ,unconfined compression strength ,the effect on mechanical properties , saturation of specimens , and swelling pressure . On the basis of the comparison of test results , it is suggested that the lime ratio for different ages should depend on diffeent EDTA standard consumption curves and that the swelling pressure should be measured with the triaxial cell .The suggestion can be used in the test of subgrade for highway engineering projects .

Key words swelling soil ; lime ratio ; swelling pressure