

新型轻质材料填筑路堤的试验与稳定分析

张海霞

(河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 通过室内抗压、抗拉及抗剪强度试验,说明了轻型混凝土可作为一种新型的路堤填筑材料.轻型混凝土的容重仅为压实土的 $1/3$ 到 $1/2$,其抗压强度、抗拉强度、抗剪强度比压实土高得多,压缩性很小.工程实例表明它在软基上筑堤具有广阔的应用前景.

关键词 轻型混凝土 路堤 抗剪强度 稳定分析 经济

中图分类号 :TU44 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2001)06-0103-03

我国高速公路建设主要集中在经济比较发达的东部沿海地区.沿海地区浅层广泛分布第四系沉积的软粘土地层,在高压缩性和低承载力的软土地基上的高速公路路堤建设,控制路基沉降和保持路堤稳定是关键技术.我国大部分高速公路建成以后,设置了较多的软基过渡路段,在该路段行驶车辆必须减速.通过对多条高速公路的现场调查表明,当路堤高度小于 1.2 m 时,软土路堤的沉降非常小,当路堤高度超过 3 m ,软土路基出现大量沉降.因此,软土地基处理主要针对路堤高度超过 3 m 、软土层厚度较大使得采用天然地基时工后沉降大于容许值的路段.

1 高速公路软土地基处理方法

目前常用的适合大面积、较低荷载强度(一般在 100 kPa 以下)的高速公路建设软土地基处理方法有堆载预压、排水固结、置换等几类.

1.1 堆载预压法

一般采用等载或超载的方法,先修筑路堤,在铺设路面之前,给予充分的时间,让路基完成大部分的固结沉降,然后再铺设路面.这种方法从静态上讲是最廉价的地基处理施工方法,但要求施工工期长,往往是许多高速公路施工期所不容许的.特别是对于厚度大,渗透系数小的软土层,要完成大部分的固结沉降需要几年甚至几十年的时间.

1.2 排水固结法

在软土层内打设袋装砂井或塑料排水板作为排水通道,减小渗径以加速地基排水固结,缩短预压时间以满足建设工期的要求.当软粘土路堤厚度大、强度低、工期短时,现已开发出真空预压与堆载预压法联合的排水固结法,达到在较短的时间内完成固结沉降的目的,取得了好的效果.

1.3 置换法

当软弱地基上路堤高度较大,而且天然地基承载力不足时,常采用挤密砂桩、碎石桩、搅拌桩、粉喷桩等方法形成复合地基.在复合地基范围内用强度高、压缩性低的材料置换软弱土层,利用水泥、石灰等材料与土作用后形成强度较高的复合土体.当软土层较薄时,常采用挖除软土换填性质好的压实土的完全置换法.通过使用不同置换材料和设计不同的置换率,置换后的复合地基可达到要求的强度和变形值.但该方法一般费用较高,加大了工程建设费用,限制了其在公路建设中大面积应用.

以上方法均是采用压实填土的方式修筑路堤,通过加固地基土,使路基强度提高、压缩性减小.在我国平原地区,建设高速公路的地基承载力低、压缩性高.在路堤附近没有填筑的土源时,这些方法使公路建设费用很高.由勘探资料和观测资料发现,软土地区地表以下由于地质作用或蒸发作用常存在一层厚 $0.5 \sim 3.0\text{ m}$

的硬壳层,它的压缩性较小.在高度小于 1.2 m 的路堤下,有硬壳层时普遍沉降量较小,地基不必再处理.如果路堤高度超过 3 m,可以借鉴在建筑行业广泛应用的轻型加气混凝土,将其用作路堤填筑材料,减轻路堤重量,从而减小路基沉降量,满足工程需要.

2 轻型混凝土的物理力学性质

2.1 密度

轻型混凝土是一种细骨料加气混凝土,制作方法是:骨料与水泥浆在模型中加气拌和成型,切割成需要的形状.成型后的轻型混凝土的切面为蜂窝状.自然状态的密度和强度可按照要求控制,湿密度在 650 ~ 750 kg/m³,水中浸泡 2 个月后,擦干表面的轻型混凝土湿密度为 800 ~ 900 kg/m³.浸泡一年后的湿密度为 1 020 ~ 1 050 kg/m³.因此,轻型混凝土在自然状态密度为压实土的 1/2 ~ 1/3.浸泡在地下水位以下一年以内的轻型混凝土浮密度在零左右,随浸水时间延长,水逐渐渗入,密度逐渐增加.因此该材料最好在地下水位以上使用.

2.2 抗压强度

按照建筑材料试验规程的抗压强度试验方法,对轻型混凝土材料进行了 5 组静力抗压强度试验.试样尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体.试验在 RMT-150B 型岩石力学试验系统上进行.采用应力控制和应变控制两种试验方式.应力控制试验方法为:设定最大加荷限制值以保护力传感器,设置加荷速率,以给定的加荷速率对试样匀速加载,直到试样破坏或加载到最大加荷限制值.当试样压坏时,压力快速降低,仪器有自动停止功能,以保护油缸和位移传感器.应变控制试验方法为:设定最大轴向应变控制值(根据不同试验材料设置,轻型混凝土设置值为 3%),设置加压方向变形速率,加载使试样匀速变形直到破坏或试样应变达到设定值.当试样压力或应变达到设定值而未破坏时,可增加设定值,继续加载使试样破坏.试验结果见表 1 所示.进行了两组循环加载抗压强度的材料疲劳试验,用于模拟路堤土体受车辆荷载作用,试验结果见表 2 所示.疲劳试验加载过程如下:试样 6 施加正弦变化的荷载,荷载变化频率 1 Hz,控制周期应力为 ± 0.22 MPa,应力均值分别为 0.89 MPa,1.11 MPa,1.33 MPa,每级荷载均值下循环加载 100 次.然后控制周期应力为 ± 0.44 MPa,应力均值分别为 1.0 MPa,1.33 MPa,1.56 MPa,1.78 MPa 和 2.00 MPa,每级荷载均值下循环加载 100 次,当应力均值为 2.00 MPa,加载 100 次后试样出现大的变形,保持应力均值不变继续加载 120 后试样破坏.试样 7 施加矩形冲击变化的荷载,荷载变化频率 1 Hz,控制周期应力为 ± 0.22 MPa,应力均值分别为 1.33 MPa,1.56 MPa,1.78 MPa,每级荷载均值下循环加载 100 次,当应力均值为 2.00 MPa,加载 17 次后试样破坏.

2.3 抗拉强度

土体为散粒材料,基本不能承受拉应力,轻型混凝土材料则具有一定的抗拉强度,用作路堤填筑时,可以较好抵抗路基的不均匀沉降.采用劈裂试验法进行了 6 组抗拉强度试验,结果见表 3 所示.由表 3 可见,轻型混凝土有一定抗拉强度,用它作路堤将使沉降较均匀.若要增加轻型混凝土的抗拉强度,可在加工过程中加入需要的钢筋,钢筋可加在拉应力大的局部位置,以控制工程造价.

2.4 抗剪强度

为了与土体材料对比,分析轻型混凝土筑堤时路堤和路基的稳定性,进行了 4 组抗剪强度试验,试验方法遵循土工试验方法的直剪试验标准,结果见表 4 所示.由表 4 可见,轻型混凝土材料的抗剪强度比土体大

表 1 轻型混凝土静力抗压强度试验成果

Table 1 Static compressive strength of light concrete						
试样编号	加载方式	峰值抗压强度 /MPa	破坏应变 /%	残余抗压强度 /MPa	残余应变 /%	弹性模量 /GPa
1	应力控制	1.956	0.60			0.496
2	应变控制	2.233	0.65	1.8	1.6	0.267
3	应变控制	3.022	0.50	1.3	1.2	0.987
4	应变控制	3.367	0.60	1.1	1.1	0.810
5	应变控制	2.511	0.65	1.8	1.8	0.597

注:试样 1 ~ 5 材料和尺寸均相同,仅加载方式不同.

表 2 轻型混凝土循环加载抗压强度试验结果

Table 2 Compressive strength of light concrete under cyclic compression						
试样编号	加载方式	峰值抗压强度 /MPa	破坏应变 /%	弹性模量 /GPa	加载次数 /周	加载频率 /Hz
6	应力控制	2.478	0.60	0.656	820	1
7	应力控制	2.556	0.50	0.647	317	1

得多,当采用库仑强度理论整理试验结果时,凝聚力大于 1.0 MPa,内摩擦角与砂土相近.

3 使用实例

广东某高速公路 200 m 试验段,路基地表硬壳层以下为软粘土.软粘土层厚度为 9 ~ 11 m,平均天然含水率为 47%,孔隙比为 0.853,压缩系数为 0.86 MPa⁻¹,容许承载力为 50 kPa,快剪强度指标 $c_u = 12.5$ kPa, $\varphi_u = 2^\circ$.在地表面以下有 1.8 ~ 2.2 m 厚的硬壳层,硬壳层的含水量为 28% ~ 35%,压缩系数为 0.35 MPa⁻¹(地面以下 1.5 m 取样).现在该路段修建高度为 3.5 ~ 3.8 m 高速公路路堤.采用轻型混凝土作为路堤填筑材料,轻型混凝土顶面直接连接路面面层(见图 1).轻型混凝土自然状态湿密度为 700 ~ 750 kg/m³,加工成长 2 ~ 4 m,宽 0.6 m,厚 0.2 m 的块状.最下两层在轻型混凝土块下侧布置加筋层.块体采用砌墙方式交错排列,块体间无连接.由瑞典条分法计算,得到路堤完工时的路基抗滑稳定安全系数为 1.1 满足施工期规范要求.该路段自 1998 年投入使用以来,运行良好,最大沉降仅 12 cm.路堤中点与路肩沉降差不超过 6 cm.路堤每米综合造价为 22 510 元,比该公路其它相似路段用碎石桩或搅拌桩进行地基处理的综合造价低、施工速度快、工后沉降量小.

参考文献：

[1] JTJ051-93,公路土工试验规程[S].
[2] JTJ017-96,公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
[3] 叶书麟.地基处理工程实例应用手册[M].北京 中国建筑工业出版社,1998.

Experiments and Stability Analysis of Road Embankment Filling with a New Light Material

ZHANG Hai-xia

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

Abstract : Compression tests, tension tests and direct shear tests on light concrete show that it can be used as a new material for embankment filling. The unit weight of light concrete is only one third to a half of that of compacted soil, while its compressive strength, tensile strength, and shear strength are much higher, and its compressibility is small. Application shows that light concrete can be widely applied in embankment construction.

Key words : light concrete ; road embankment ; shear strength ; stability analysis ; economy

表 3 轻型混凝土抗拉强度试验结果

Table 3 Tensile strength of light concrete

试样编号	加载方式	抗拉强度 /kPa	说 明
8	应变控制	277	1. 试样尺寸 :150 mm × 150 mm × 150 mm
9	应变控制	226	2. 试验方法 :劈裂试验
10	应变控制	311	3. 试样状态 :自然湿度、室温
11	应变控制	281	4. 抗拉强度由劈裂强度换算得到
12	应力控制	328	
13	应力控制	306	

表 4 轻型混凝土抗剪强度试验结果

Table 4 Shear strength of light concrete

试样编号	法向应力 /kPa				凝聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
	200	400	600	800		
1	1 302	1 396	1 504	1 597	1 200	26.5
2	1 268	1 372	1 482	1 590	1 158	28.4

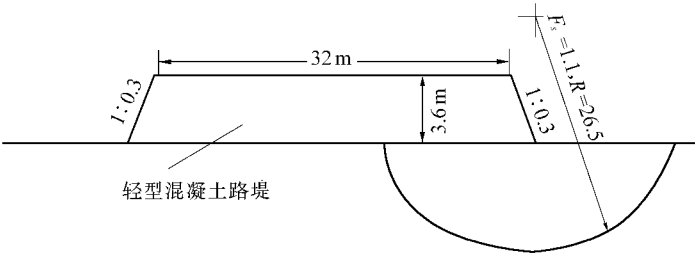


图 1 轻型混凝土路堤断面示意图

Fig.1 Section of light concrete embankment