

改良膨胀土筑堤压实度控制标准研究

张文慧,王保田,张福海

(河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要 针对宁淮高速公路石灰改良膨胀土路堤填筑过程中用干土法标准击实试验结果作为标准压实度难以达到要求的问题,进行了干土法和湿土法室内标准击实试验.试验结果表明干土法标准击实所得的最大干密度要大于湿土法标准击实所得的最大干密度,且有较大差别.根据宁淮高速公路实际施工状况,采用湿土法标准击实试验结果作为压实度控制标准是符合现场实际的.试验段碾压后现场 CBR 试验结果表明,改良土的 CBR 值满足规范要求,说明用湿土法标准击实试验结果作为宁淮高速公路路堤填筑控制标准能够满足工程质量要求.

关键词 改良膨胀土;标准击实;压实度;干土法;湿土法

中图分类号 :TU471.91 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2005)02-0198-04

宁淮公路(南京至淮安高速公路)是江苏省高速公路网规划“四纵四横四联”主骨架“纵三”高速公路的重要组成部分,全长 110 多 km,其中 92 km 区域为弱到中等膨胀土地基,用石灰改良膨胀土作为路堤填料.

宁淮高速公路石灰改良膨胀土采用 2 次掺灰施工工艺.取土坑土料的天然含水率为 27%~32%,在施工过程中需将其降低到最优含水率 $w_{op} \sim (w_{op} + 3\%)$ 范围内,以利于膨胀土的粉碎.首先,在取土场挖的土中掺加 2% 的生石灰(第 1 次掺灰)使土料“砂化”,然后将土料在取土坑中堆放 3 d,并在掺灰的第 2 天和第 3 天各翻拌 1 次,使掺入的石灰均匀.3 d 后,将第 1 次掺灰后的土料运到路基上铺平并翻拌、破碎,进一步降低其含水率和土块大小.当土料的含水率降低到 $w_{op} + 5\%$ 左右时,再在土料中掺入 3% 的消解灰(含灰量以生石灰质量计量)进行第 2 次掺灰,然后,用稳定土拌和机粉碎、拌和土料,直到土料最大土块直径小于 50 mm 且含水率在 $w_{op} \sim (w_{op} + 3\%)$ 范围内.检测石灰剂量,若符合要求,则用 18~21 t 三轮压路机连续压实到设计干密度.

1 标准击实试验

文献 1 指出:“对高含水率黏质土进行对比试验,发现按干法(用风干土依次加水做击实试验)与按湿土法求得的结果有很大差别,对于最大干密度,前者大,后者小;对于最佳含水率,前者小,后者大.对于这种高含水率的土,如仍按干土法做击实试验,则无形中增大了对土基压实的要求,施工中实际上是达不到的,因而采用湿土法比较符合实际.”文献 2 中关于击实试验的条文说明中指出:“土样制备方法不同,所得击实试验成果也不同.试验证明,最大干密度以烘干土最大,风干土次之,天然土最小;最优含水率也因制备方法不同而不同,以烘干土为最低.这种现象黏土最为明显,……”某些特殊土(如红土),含水率的配置方法对压实影响尤为显著.将天然含水率的土风干为不同含水率的一组试样(称为由湿到干)进行击实,与事先将天然含水率的土风干,再加水制备成不同含水率的试样进行击实(称为由干到湿),两种制样方法所得试验差异较大,……”文献 3、4 采用不同击实功和不同试验方法研究了土体最大干密度的变化规律,文献 5 对改性膨胀土的压实控制标准进行了研究.不同含水率配置方法,即由湿到干和由干到湿变化过程不同,某些特殊土(如红土)的最大干密度和最优含水率有明显差别.膨胀土是一类特殊的黏性土,其中含有较多的亲水性矿物(如蒙脱石),不同含水率配置方法获得的击实试验结果也应有明显差别.

1.1 干土法

改良膨胀土干土法标准击实试验步骤如下.

1.1.1 取样

先挖除取土点位置处的表层耕植土,用挖土机挖至将来大面积取土时的开挖底面,然后自下向上均匀地挖起一铲土,每一层土都要取到,按四分法取 30 kg 土样运回试验室后,将大土块切碎 ($d_{\max} \leq 5\text{ cm}$),并将土料拌匀备用。

1.1.2 试样制备

a. 第 1 次掺灰:测定土样的含水率,按干土质量掺加 2%(每 100 g 干土加 2 g 生石灰)的生石灰模拟现场第 1 次掺灰“砂化”过程。另取占干土质量 3% 的生石灰消解,作为第 2 次掺灰用灰。将第 1 次掺灰后的土样放置在大塑料桶内焖 3 d(第 2 天和第 3 天各翻拌 1 次)。

b. 第 2 次掺灰:在第 1 次掺灰后的第 4 天将塑料桶内的土料倒出,拌匀,将第 1 天消解的 3% 消石灰掺入土样中拌匀并将土样过 5 mm 筛,然后将土样装入大塑料桶内放置一昼夜。

c. 风干:第 2 次掺灰后的第 2 天风干至含水率为 10% 左右。

d. 加水:将风干后的土样按照含水率相差 2% ~ 3% 依次加水制备 7 个试样,7 个试样的含水率应分别在 21% ~ 23% ,19% ~ 21% ,17% ~ 19% ,15% ~ 17% ,13% ~ 15% ,11% ~ 13% 和 9% ~ 11% 的范围内。将加好水的土样密封在塑料袋中放置一昼夜,使土料含水率均匀。

1.1.3 击实

在第 1 次掺灰后的第 6 天按文献 [1] 要求进行击实试验。

1.2 湿土法

改良膨胀土湿土法标准击实试验步骤如下。

1.2.1 取样

同干土法。

1.2.2 试样制备

a. 第 1 次掺灰:同干土法。

b. 第 2 次掺灰:在第 1 次掺灰后的第 4 天将塑料桶内的土料倒出,拌匀,将第 1 天消解的 3% 消石灰掺入土样中拌匀后放置一昼夜。

c. 风干:第 2 次掺灰后的第 2 天将土样过 5 mm 筛,然后将 25 kg 的土样摊薄放置在水泥地面或台面上风干。土样含水率每降低 2% 按照四分法取 2.5 kg,同时用微波炉快速测定土样含水率。若满足要求(每个试样间含水率相差 2% 左右,含水率应分别在 21% ~ 23% ,19% ~ 21% ,17% ~ 19% ,15% ~ 17% ,13% ~ 15% ,11% ~ 13% 和 9% ~ 11% 的范围内),试样即可留用,用塑料袋装好并密封,否则将塑料袋中的土样倒出拌匀,继续风干直至含水率达到要求。重复以上步骤,直至 7 个试样的含水率全部达到预定的范围。将土样密封在塑料袋中放置一昼夜,使含水率均匀。风干必须在室内 1 d 内完成。

1.2.3 击实

在风干后的第 2 天按文献 [1] 要求进行击实试验。

1.3 干土法和湿土法标准击实试验的对比分析

由于本次施工中路堤填筑材料膨胀土对水的敏感程度较强,虽然最终设定的含水率相同,但是由于湿土法和干土法达到设定含水率的途径不同,对最终的试验成果影响很大,如图 1 所示,两种方法无论是最大干

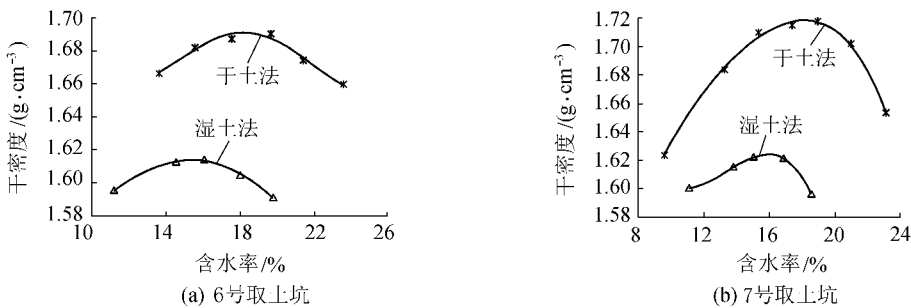


图 1 击实试验结果

Fig.1 Result of standard compaction

密度还是最优含水率都有较大的差距. 6 号取土坑 5% 灰土干土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.692 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 18.2\%$;湿土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.614 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 15.2\%$. 7 号取土坑 5% 灰土 ,干土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.718 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 18.2\%$;湿土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.624 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 16.2\%$.

2 结果分析

宁淮高速公路路基部分在现场设计了 4 个试验段 ,其碾压过程如下 :在 2 次掺灰拌和均匀后 ,先用轻型压路机压平 ,再用平地机把地面整平 ,然后用振动碾碾压 2 遍 ,接着用重型静压碾(18 ~ 21 t)碾压 . 第一试验段静压碾碾压 5 遍 ,第二试验段静压碾碾压 4 遍 ,第三试验段用振动碾碾压 3 遍 ,静压碾碾压 2 遍 ,第四试验段分为两幅 ,其中一幅用振动碾碾压 3 遍 ,另一幅用振动碾碾压 5 遍 ,接着两幅都用静压碾碾压 8 遍 . 4 个试验段的压实度检测结果见表 1 . 其中 :第一、二试验段取土坑湿土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.614 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 15.2\%$;干土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.692 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 18.6\%$. 第三、四试验段取土坑湿土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.648 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 14.8\%$;干土法击实结果 : $\rho_{d_{\max}} = 1.717 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{op}} = 17.4\%$,压实度大于或等于 90% 为合格 .

表 1 4 个试验段压实度检测结果

Table 1 Compaction degree results of four test sections

试验段及序号	含水率/%		干密度/(g·cm ⁻³)		按干土法击实结果 判断的压实度/%		干土法检测 点数 合格率/%	按湿土法击实结果 判断的压实度/%		湿土法 检测点数 合格率/%
	范围	平均	范围	平均	范围	平均		范围	平均	
第一试验段 (K173 + 600 ~ K173 + 740)	17.5 ~ 21.5	19.8	1.269 ~ 1.616	1.509	75.0 ~ 95.5	89.2	55.0	78.6 ~ 100	93.5	85.0
第二试验段 (K170 + 680 ~ K170 + 840)	18.9 ~ 22.8	21.2	1.396 ~ 1.552	1.466	82.5 ~ 91.7	86.7	10.0	86.5 ~ 96.2	90.8	70.0
第三试验段 (K174 + 020 ~ K174 + 150)	18.7 ~ 21.8	19.7	1.475 ~ 1.568	1.510	86.1 ~ 91.3	88.0	10.0	89.5 ~ 95.2	91.6	100.0
第四试验段 (K173 + 120 ~ K173 + 300)	17.1 ~ 20.2	18.6	1.518 ~ 1.607	1.564	88.4 ~ 93.5	91.1	69.5	92.1 ~ 97.5	94.9	100.0

注 :前 3 个试验段密度和含水率测试点数均为 20 ,第四试验段测点数 16 . 第四试验段干密度取现场静压 4 遍后的值(因 4 遍后随着碾压遍数的增加干密度有所降低) .

从表 1 可以看出 ,若用干土法标准击实结果作为压实度检测标准 ,4 个试验段检测点的合格率分别为 55% ,10.0% ,10.0% ,69.5% ,平均压实度分别为 89.2% ,86.7% ,88.0% ,91.1% ;而用湿土法标准击实结果作为压实度检测标准时 ,4 个试验段检测点的合格率分别为 85.0% ,70.0% ,100.0% ,100.0% ,平均压实度分别为 93.5% ,90.8% ,91.6% ,94.9% . 第一、二试验段压实度检测点数的合格率低主要是由于碾压时间过长引起的 .

从上述试验段施工工艺及标准击实试验的步骤可以看出 ,路堤在填筑过程中 ,改良膨胀土含水率由高到低变化 ,干土法标准击实试验过程中改良膨胀土含水率是高→低→高变化 ,湿土法标准击实试验过程中改良膨胀土含水率是高→低变化 . 对比分析可以发现 ,湿土法标准击实试验的含水率变化过程与路堤实际施工过程一致 .

3 试验段现场 CBR 试验结果

在完成 4 个试验段碾压后进行了 CBR 试验和无压膨胀量试验 ,结果见表 2 . 由表 2 可知 ,改良膨胀土的无压膨胀量比一般黏性土低 ,说明改良膨胀土不具备影响工程安全的胀缩性 . 改良土的 CBR 高于文献 [6] 要求的路堤填土的 CBR ,说明尽管相同的压实度下湿土法标准击实结果对应的干密度比干土法标准击实结果对应的干密度低 ,但用湿土法标准击实结果作为压实度控制标准 ,改良膨胀土的 CBR 仍满足文献 [3] 要求 .

表 2 CBR 试验结果
Table 2 Results of CBR

试验段及序号	CBR/%		无压膨胀量/%		试验时间
	范围	平均	范围	平均	
第一试验段 (K173 + 600 ~ K173 + 740)	31.1 ~ 102.9	59.9	0.040 ~ 0.185	0.104	碾压结束后 第 38 天试验
第二试验段 (K170 + 680 ~ K170 + 840)	23.9 ~ 91.0	46.2	0.000 ~ 0.360	0.075	碾压结束后 第 36 天试验
第三试验段 (K174 + 020 ~ K174 + 150)	56.4 ~ 98.9	75.4	0.047 ~ 0.735	0.277	碾压结束后 第 14 天试验
第四试验段 (K173 + 120 ~ K173 + 300)	49.3 ~ 86.9	69.0	0.015 ~ 0.935	0.481	碾压结束后 第 15 天试验

4 结 论

宁淮高速公路路堤在填筑过程中 ,石灰改良膨胀土的含水率由高到低变化 ,变化过程与湿土法标准击实试验含水率的变化过程相似 ,故在压实度检测时应以湿土法标准击实试验结果作为检测标准 .

参考文献：

[1] JTJ051—93 公路土工试验规程 [S].
[2] SL237—1999 土工试验规程 [S].
[3] 张莉萍 . 击实实验若干问题的探讨 [J]. 山西建筑 , 2002 (5) 24—25 .
[4] 张志权 . 提高击实试验结果准确性的探讨 [J]. 岩土工程界 , 2004 , 7 (5) 31—37 .
[5] 李国维 , 翟立群 , 邓飞宇 , 等 . 改性膨胀土路基填筑施工压实控制标准研究 [J]. 公路 , 2000 (3) 22—25 .
[6] JTJ013—95 公路路基设计规范 [S].

Compaction degree control standard for stabilized expansive soil
in embankment construction

ZHANG Wen-hui , WANG Bao-tian , ZHANG Fu-hai

(Geotechnical Research Institute of Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The maximum dry densities obtained by two standard compaction methods , the watering method and water-reducing method , are of great differences . The agreement of the variation of moisture content in the expansive soil during the construction process with that in soil samples in laboratory test by water-reducing method indicates that only the result from the standard compaction test by the water-reducing method can be taken as the compaction degree control standard . Although the dry density obtained by the water-reducing method is smaller than that obtained by the watering method under the same compaction degree , the result of the field CBR test shows that the CBR strength of the stabilized soil meets the requirement of specifications . Results from laboratory and field tests demonstrate that the adoption of test results from standard compaction with the water-reducing method as the compaction degree control standard for expansive soil in embankment construction for Ninghuai Expressway can ensure the quality of the project .

Key words :stabilized expansive soil ; standard compaction ; compaction degree ; watering method ; water-reducing method