

文章编号: 1000-5013(2007)03-0316-04

高液限粘土压实性能的试验

刘 江, 张荣堂, 严东方

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 通过室内试验,分析高液限粘土的压实性能和最佳压实状态,结合路基工艺实验成果,提出直接利用高液限粘土修筑公路路基的质量控制标准.以福建厦门集美大道高液限粘土为例,经室内试验和现场工艺试验系统分析认为,浸水加利福尼亚承载比(CBR)大于3,只适用于下路堤的填筑,其压实度标准 $K=94\%$.按6种击实功组合,对不同含水量的高液限粘土进行了系列化浸水 CBR 试验.结果表明,在最佳压实状态下,随着水质量分数的逐渐增大,所采用的击实功宜相应减小,通过水的质量分数和击实功的适当控制,高液限粘土可用于拟建道路的下路堤填筑.

关键词: 高液限粘土;加利福尼亚承载比实验;水的质量分数;击实功;最佳压实状态

中图分类号: U 416.1+61.03

文献标识码: A

高液限粘土具有液限水的质量分数大、塑性指数高、水稳定性差,以及压实后即处于不稳定状态的特点,属于不良路基填料.按照《JTJ 033-95 公路路基施工技术规范》的规定,不能直接用于高等级公路路基^[1].在福建省公路建设中多处遇到这种土质,由于其数量很大,废弃换填或改良利用都耗资巨大.本文以厦门市集美大道实体工程桩号为 K2+500~K3+100 的路段约 0.24 hm³ 的高液限粘土挖方为研究对象,进行室内实验和现场工艺试验研究,找出高塑性粘土高稳定强度、低胀缩量的最佳状态.使其在不添加外加剂的情况下,可直接用于高等级公路路基,满足设计稳定强度的要求.

1 高液限粘土的物理性质

本试验取土料场于厦门市集美大道的西亭村附近,地形为残坡积台地,土体按地质成因属花岗岩残坡积土,呈棕红夹灰白色,主要由粘粒和石英砂构成,其中砂的质量分数为 42.05%,粉粒和粘粒的质量分数为 57.95%.这种土的液限、塑限均很高,塑性指数也很大,属于典型的含砂高液限粘土(CHS)^[2].其主要物理性质指标及标准击实试验结果,如表 1 所示.表中, w 为天然水的质量分数, ρ_s 为土粒密度, w_L , w_s 分别为液限和塑限, s 为塑限指数, ρ_{dh} 为重型击实最大干密度, w_{wh} 为重型击实最佳水的质量分数, ρ_{dL} 为轻型击实最大干密度, w_{wL} 为轻型击实最佳水的质量分数.

表 1 高液限粘土工程性质指标试验成果

Tab. 1 Parameters of high liquid-limit clay

w / (%)	ρ_{dh} / $g \cdot cm^{-3}$	w_L / (%)	w_s / (%)	s	ρ_{dL} / $g \cdot cm^{-3}$	w_{wL} / (%)	ρ_{dh} / $g \cdot cm^{-3}$	w_{wh} / (%)	颗粒分析/(%)		
									> 2 mm	2~0.074 mm	<0.074 mm
20~ 26	2.65	53	28	25	1.65	18	1.80~ 1.84	12.6~ 15.6	8.31	33.74	57.95

2 最佳压实状态

为了探索西亭高液限粘土的压密机理与最佳压实状态,在不同水的质量分数、不同击实功下做了一

收稿日期: 2006-08-22

作者简介: 刘 江(1977-),男,硕士研究生,主要从事地基的研究;通信作者:张荣堂(1964-),男,教授,博士,E-mail: oslocatcn@yahoo.co.uk

系列 CBR 对比试验.同时,为真实地模拟路堤施工时的现场工况,所有土样均采用湿法制样.

2.1 水的质量分数和击实功与初期强度

按重型 3 ×14,3 ×22,3 ×41,3 ×60,3 ×79 和 3 ×98 次的 6 种击实功组合,对不同水的质量分数的高液限粘土进行了系列化不浸水 CBR 试验.按试验成果,根据不同水的质量分数 w 、不同击实功 E_c (可用每层击数 n 表示)绘制不浸水 CBR 强度 (R_{CB}) 值,如图 1 所示.由此可总结出如下 3 种规律.(1) 在不浸水条件下,高液限粘土的强度均较大,且水的质量分数越小,CBR 强度 (R_{CB}) 值越高.(2) 这种土质在不同的水的质量分数下均有一个最大强度值,水的质量分数越小,最大强度越高.达到最大强度所需的击实功与水的质量分数大致成反比.

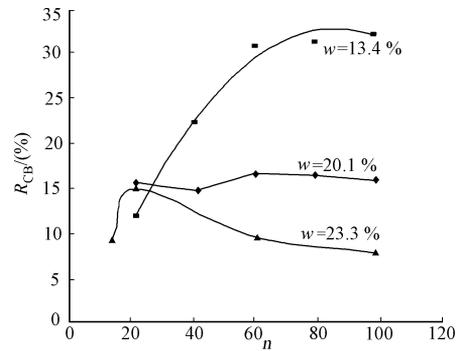


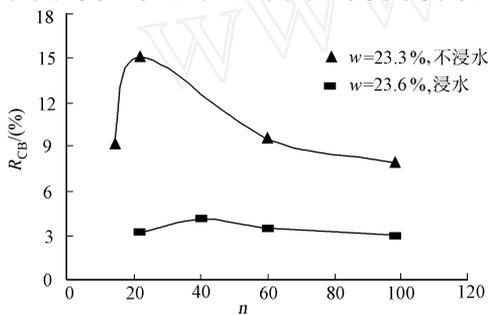
图 1 击实功与 CBR 的关系曲线

Fig. 1 Curve between compaction work and CBR

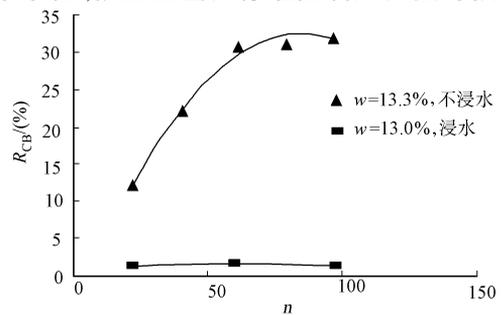
(3) 在某一固定水的质量分数下,击实功与对应的强度并不成正比,而是在某一击实功下有一个最大强度值,当大于或小于该击实功时,强度均会下降.这说明,对高液限粘土而言,适度大小的外部作用功可以形成土的结构强度,但如外部作用功超过一定的限度,它就会使土体产生剪切破坏作用.

2.2 水的质量分数和击实功与稳定强度的关系

2.2.1 浸水和不浸水 CBR 强度对比 根据湿法制件浸水 96 h 后,与不浸水对比,其 CBR 试验结果如图 2 所示.图 2 说明,高液限粘土不同于其他土质,其初期压实强度(不浸水 CBR)和稳定强度(浸水 CBR)并不在同一状态下达到最优.由于高液限粘土的强亲水性,按重型击实标准控制压实虽可获得很



(a) 接近天然水的质量分数



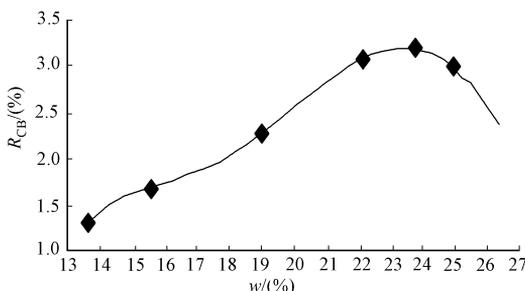
(b) 接近重型标准最佳水的质量分数

图 2 浸水与不浸水强度对比

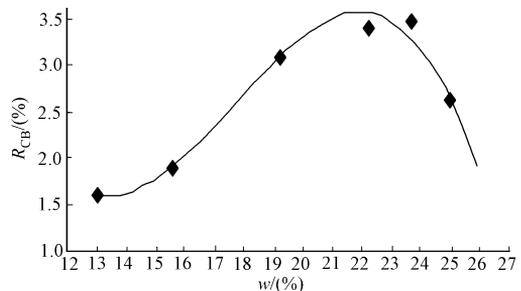
Fig. 2 Comparison between soaked and unsoaked strength

大的初期强度,但这一强度并不稳定,一旦公路路基进入正常使用期,路基土会不可避免地吸收周围的水分而迅速丧失高强度.此外,高液限粘土的天然水的质量分数一般远大于重型击实的最佳水的质量分数,工程实践中将其晾晒,以接近重型击实标准下的最佳水的质量分数,但这往往也是很困难的.

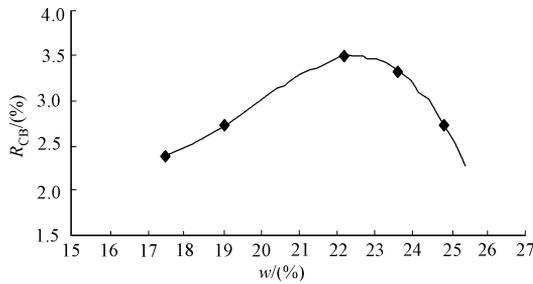
2.2.2 最佳压实状态分析 为了寻求最佳压实状态,根据湿法制件浸水 96 h 的 CBR 试验数据,可绘制成一定击实功下的 CBR 与 w 的关系曲线,如图 3 所示.由此可见,在一定击实功下 CBR 强度与 w 呈近似的抛物线关系,其 CBR 有一个峰值,说明它在某一特定水的质量分数下达到最大.不同的击实功



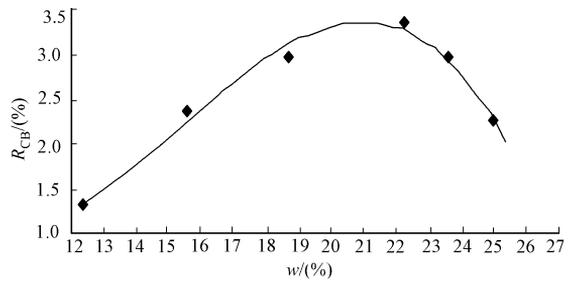
(a) 3 ×22 次



(b) 3 ×60 次



(c) 3 ×14 次



(d) 3 ×98 次

图3 击实功下 w-CBR 关系图

Fig. 3 w-CBR relationship

下,这种高塑限土存在 CBR > 3 的范围,这与沪杭高速公路(上海段)填料的 CBR 特性是一致的^[3]. 综合分析这 4 个图,可以得出以下 2 个结论. (1) 随着最佳压实状态下特定水的质量分数的逐渐增大,所采用的击实功宜相应减小. (2) 施工水的质量分数 w 在 21.7% ~ 25.0% 时,用重型 3 ×22 次实功;施工水的质量分数 w 在 20.0% ~ 24.4% 时,用重型 3 ×41 击实功;施工水的质量分数 w 在 19.0% ~ 24.3% 时,用重型 3 ×60 击实功;施工水的质量分数 w 在 18.0% ~ 23.0% 时,用重型 3 ×98 击实功击实的试件,都能得到 CBR > 3 的稳定强度,能满足下路堤的强度要求. 这就是西亭高液限粘土的最佳压实范围.

3 高液限粘土的压实控制标准

交通部颁布的《JTG D30 - 2004 公路路基设计规范》指出,对于高塑性土作为填料,当达到重型击实试验法确定的压实度有困难时,可按规定值适当降低 1% ~ 3%^[4]. 但该规范并没有详细分析高塑性土的路用性能与控制压实质量的方法,不便于具体操作与实施. 由中国路桥集团第一公路工程局主编的最新《JTG F10 - 200X 公路路基施工技术规范(送审稿)》中,明确规定了高塑性土路基的压实度标准和高塑性土的应用范围,结合室内试验结论,针对集美大道西亭高液限粘土浸水 CBR 大于 3 而只适用于下路堤的填筑,因此确定压实度标准为 K = 94%. 现场用土在不同水的质量分数时土的标准干密度值 d_{max} 和 K = 94% 时,应达到的施工压实干密度 d,如表 2 所示. 表中,标准干密度 d_{max} 为最佳压实状态

表 2 西亭高液限粘土的标准干密度和施工压实干密度

Tab. 2 Standard dry density and construction compaction dry density of high liquid-limit clay

w / (%)	19	20	21	22	23	24
d _{max} / g · cm ⁻³	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.63
d / g · cm ⁻³	1.67	1.65	1.62	1.59	1.56	1.53

下某一特定水的质量分数时的理论最大干密度,其计算式: $d_{max} = GS_r / (S_r + Gw) = G / (1 + Gw)$. 其中, G 为土粒密度, S_r 为土体的饱和度,显然与理论最大干密度相应的饱和度为 100%; w 为最佳压实状态下的某一特定水的质量分数. 表中, d = 94% d_{max}.

4 实验路工艺试验成果

以上述室内研究成果为基础,集美大道施工单位现场填筑工艺试验. 填料的松铺填筑厚度为 30 cm,所用压实机械型号为 YZ18B,

表 3 现场工艺试验压实度检测结果

Tab. 3 Compaction results in-situ test

序号	测点桩号	d / g · cm ⁻³	w / (%)	d _{max} / g · cm ⁻³	K / (%)
1	K3 + 300	1.61	22.8	1.65	97.5
2	K3 + 280	1.64	21.5	1.69	97.2
3	K3 + 270	1.58	22.5	1.66	95.2
4	K3 + 275	1.58	27.4	1.54	103.0
5	K3 + 320	1.61	21.4	1.69	95.3

碾压参数经比较最终确定为“静压 2 遍 + 小振 7 遍”. 试验结果如表 3 所示. 由表 3 可知,压实后的路基均能满足压实度 K = 94% 的要求,这说明所采用的碾压施工控制标准和碾压参数是可行的. 最终,我们确定相应的控制值作为施工压实控制指

标,如表 4 所示.

表 4 集美大道高液限粘土施工压实控制指标

Tab. 4 Control index of compaction of high liquid-limit clay in Jimei avenue

w/ (%)	19 ~ 20	20 ~ 21	21 ~ 22	22 ~ 23	23 ~ 24
碾压参数 (YZ18B)	松铺 30 cm,静压 2 遍+小振 7 遍				
d/ g · cm ⁻³	1.65	1.62	1.59	1.56	1.53

5 结论

经室内试验和现场工艺试验系统分析,得出以下 3 个结论.(1) 集美大道西亭高液限粘土存在最佳压实状态.在该状态下,这种土体能满足下路堤的稳定强度要求(浸水 CBR > 3). (2) 现场水的质量分数宜控制在 19% ~ 24% 范围内.(3) 该研究成果对于福建省大量存在的高液限粘土的应用具有较强的指导意义,但由于高液限粘土性质、成分各异,因此福建泉厦公路曾成功应用高液限土 11 hm³ 直接填筑路基与弃土换填方案相比,可节省直接投资 297 万元^[5]. 厦门市集美大道工程高液限土的挖填总量达 0.24 hm³, 应用该成果与弃土换填方案相比,可节省直接投资约 648 万元.

参考文献:

- [1] 交通部第一公路工程总公司. J TJ 033 - 95 公路路基施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,1996:14-15.
- [2] 交通部公路科学研究所. J TJ 051 - 93 公路土工试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,1993:1-11.
- [3] 张奎鸿. 沪杭高速公路(上海段)路堤材料 CBR 值以及相关因素研究[C]. 沪杭高速公路(上海段)论文集. 上海:[出版者不详]. 1999:20-26.
- [4] 交通部第二公路勘察设计院. J TGD30 - 2004 公路路基设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2005:10-12.
- [5] 陈礼彪,赵宣宪. 用最佳压实理论修筑高型性土路基的试验研究[J]. 公路,1997,12:14-18.

Experimental Investigation on Compactibility of High Liquid-Limit Clays

LIU Jiang, ZHANG Rong-tang, YAN Dong-fang

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Compactibility and optimum compaction state of high liquid-limit clay are analyzed according to indoor experiment, a corresponding construction guidance is put forward to instruct the embankment compaction of this kind of soil. Taking the high liquid-limit clay in Jimei avenue Xiamen as an example, through the systematic analysis of laboratory test and in-situ test, California bearing ratio (CBR) of the clay > 3, so it can only be filled in embankment and $K > 94\%$. For different moisture contents in high liquid-limit clay, a series of CBR laboratory tests are carried out under six combinations of compaction work. On condition of optimum compaction state, with increasing moisture content, compaction work decreases correspondingly. Controlling properly moisture content and compaction work, high liquid-limit clay can be filled in embankment.

Keywords: high liquid-limit clay; CBR test; moisture content; compaction work; optimum compaction state

(责任编辑:黄仲一)