

路基土的 CBR 强度与压实度关系的试验研究

邓 露¹ 李向东¹

(1. 华中科技大学 土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 加州承载比 CBR (California Bearing Ratio) 是国际上普遍认同在公路工程中广泛使用的一个性能指标, 它是评价路基土强度和稳定性的主要依据之一. 虽然压实度和 CBR 强度均被用作为衡量路基土的性能的指标, 但两者之间的对应关系尚待探讨. 通过对制样方法的改进, 制作了五种不同预定压实度的 CBR 试件并测试其 CBR 强度值, 求得了路基土的 CBR 强度和压实度之间的关系, 并得出了关于路基土的各项性能与压实度之间关系的有价值的结论.

关键词: 路基土; 液限; 塑限; 压实度; CBR 强度

中图分类号: U416.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-7037(2005)增-0109-03

天然土作为路基的一部分, 必须具备一定的强度来承受其自身以及上部路面的压力和车辆载荷的压力作用. 我国 JT J013-95 《公路路基设计规范》和 JT J014-97 《公路沥青路面设计规范》均提出路基填料的最小 CBR 值指标, 作为路基填料的依据. 虽然压实度和 CBR 强度均被用作为衡量路基土的性能的指标, 但两者之间的关系尚待探讨. 通过对武汉地区典型的粘土的试验分析, 探求 CBR 强度值与压实度之间的关系.

根据文献[1]给出的试验方法, 可由以上数据结果得到锥入深度 H 与含水量 W (%) 的对数关系(图1, 2), 从而可确定试验用土的液限为 40.58, 塑限数为 24.13, 并确定该土为低液限粘土, 用 CL 表示.

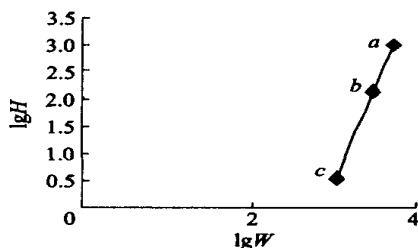


图1 $H-W$ 关系图

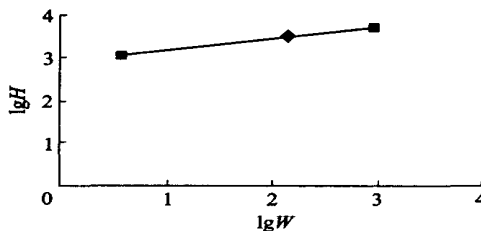


图2 含水率和干密度的曲线关系

1 土样的性质测试

1.1 液限塑限试验

试验采用液限塑限联合测定法测试土的液限和塑限来确定土的类型. 根据以往经验, 武汉地区粘土的液限一般在 35 ~ 45 之间, 塑限一般大于 20, 为了能够准确求出液限和塑限, 故试验配备土样共六个级别的含水量, 根据试验结果对试验数据的误差进行调整, 采用 LP-100 型液限塑限联合测定仪(表 1).

表 1 液限塑限联合试验记录

试验项目	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组
入土深度 $h1/mm$	1.78	5.45	8.50	10.27	19.92	21.93
$h2/mm$	1.72	5.90	8.50	10.41	19.92	22.22
$(h1 + h2) / 2$	1.75	5.68	8.50	10.34	19.92	22.08
干土质量/g	9.79	11.25	13.74	9.18	11.74	13.97
含水量 水分质量/g	2.05	3.31	4.44	3.15	4.81	5.98
含水量/(%)	20.90	29.40	32.30	34.30	41.00	42.80

收稿日期: 2005-01-20.

作者简介: 邓露(1984-), 男, 本科生, 武汉, 华中科技大学土木工程与力学学院(430074). All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1.2 重型击实试验

试验的目的是为了得到土的最大干密度及对应的最佳含水量,为CBR强度试验试件的制备提供依据.根据试验数据,绘制出干密度与含水量的关系曲线(图2).

从图2中可以看出,土的干密度随含水率的增加先逐渐增加而后减小,并且在含水率达到15.3%时,试验土的干密度达到最大值 1.86 g/cm^3 .这是因为在含水率很低的初始情况下,含水率的增加起到了类似增加润滑剂的作用,有利于土粒的移动和相互嵌紧.而后来过多的水分则最终使土粒与土粒分开,导致紧密程度降低,因而土的干密度下降.最终试验结果为最佳含水量:15.3%,最大干密度: 1.86 g/cm^3 .

2 CBR强度试验

2.1 试验介绍与方法

CBR(承载比)值一般采用贯入量为2.5 mm时的单位压力与标准碎石压入相同贯入量时,标准荷载强度的比值,同时计算贯入量为5 mm时的承载比,若大于2.5 mm时的承载比则试验重作,如结果仍然如此则采用5 mm时的承载比.本次试验预定了实际工程中经常出现的87%,90%,93%,95%和98%的压实度.

根据文献[1]以及国外的相关试验标准,要想使CBR试件达到预定的相关压实度是很困难的^[2],因为在实验操作必须非常连续的前提下,操作人在操作的同时监测的结果是不够精确的^[3].本次试验巧妙地解决了这个问题(见步骤c.),并拟定试验方法如下.

- a. 根据重型基实实验,求出粘土的最佳含水量和最大干密度.
- b. 制备土料.将试验土样调成最佳含水量后拌和均匀,闷料24 h.
- c. 制件.本试验为了达到预定的压实度采用了与规范不同的压实方法.先根据试筒的体积、预定的压实度以及要求土样的密度,求出试件所需的土样质量,然后采用压力机把称量好的土体准确压实到试筒的体积为止.用这种方法可以制成具有预定压实度的试件,在制备试件时采取基层抗压强度制件方法中规定的分层捣实、模具上下面预留2~3 cm的高度,再压实成型,保证了所制试件的压实均匀性.
- d. 泡水4 d后测量膨胀量和吸水量.
- e. 做CBR贯入试验测定其承载比(CBR)值.

2.2 数据处理和分析

根据试验结果,绘制出单位压力 P 和贯入量 L 的关系曲线,从 $P-L$ 关系曲线上读取贯入量为2.5 mm和5.0 mm时的单位压力 $P_{2.5}$ (MPa)和 $P_{5.0}$ (MPa)的值,则

$$CBR_{2.5} = P_{2.5} / 7 \times 100\%;$$

$$CBR_{5.0} = P_{5.0} / 10.5 \times 100\%.$$

CBR强度一般采用 $CBR_{2.5}$,但如果 $CBR_{2.5} < CBR_{5.0}$,则试验要重做,如果结果仍如此,则采用 $CBR_{5.0}$,最后取同压实度下三个试件的平均值为试验最后结果.

本次试验中,5组不同压实度试件的膨胀量,吸水率试验结果见图3和图4.从图3中可以看出,

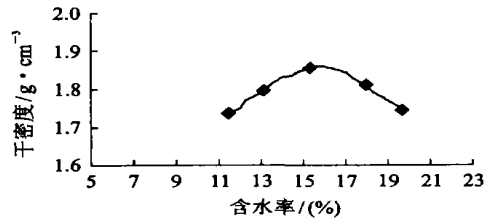


图3 压实度与吸水率的关系曲线

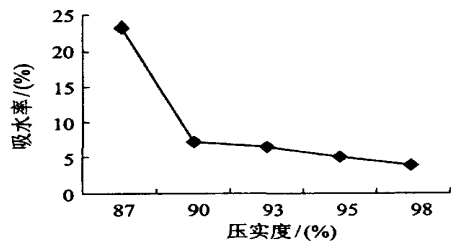


图4 压实度与膨胀量的关系曲线

土样的吸水率随压实度的降低而逐渐上升.这是因为压实度的降低增加了土中的空隙率,从而使之能够容纳更多的水.但当压实度达到87%时,土样的吸水率突然上升至23.3%,显然此时过多的水分已经破坏了土体原有的结构,这在工程实际中应引起足够的重视.图5中,土样的浸水膨胀量与压实度基本成线性关系,因为压实度越大,土样的起始干密度就越大,则产生越大的膨胀量.这也与实践经验相符.

从表2中可以看出,15组数据中的 $CBR_{2.5}$ 均大于 $CBR_{5.0}$,因此 $CBR_{2.5}$ 可取作为CBR强度.根据文献[1]对于3个平行试验的精度要求,除了压实度为98%的试件以外,其它4组试件都达到了“3个平行试验结果计算的承载比变异系数 C_v 小于12%”的要求,因此压实度为87%,90%,93%和95%的4组试件,其CBR值取平均值后分别为:2.31,2.91,3.81和4.53.对于压实度为98%的试件,则按照规定“去掉偏离较大的值,取其余两个

的平均值”, 得到其 CBR 值为 5.40, 从而得出 CBR 强度与压实度之间的曲线关系(图 5).

表 2 CBR 强度试验结果

压实度 I (%)	CBR 值	第一组	第二组	第三组	平均值	CBR 取值
87	CBR _{2.5}	2.26	2.35	2.31	2.31	2.31
	CBR _{5.0}	2.05	2.09	2.08	2.07	
90	CBR _{2.5}	2.92	2.81	3.01	2.91	2.91
	CBR _{5.0}	2.57	2.53	2.68	2.59	
93	CBR _{2.5}	3.82	4.01	3.60	3.81	3.81
	CBR _{5.0}	3.46	3.63	3.17	3.42	
95	CBR _{2.5}	4.48	4.82	4.30	4.53	4.53
	CBR _{5.0}	4.07	4.41	3.89	4.12	
98	CBR _{2.5}	4.68	5.32	5.48	5.16	5.40
	CBR _{5.0}	4.52	5.11	4.54	4.72	

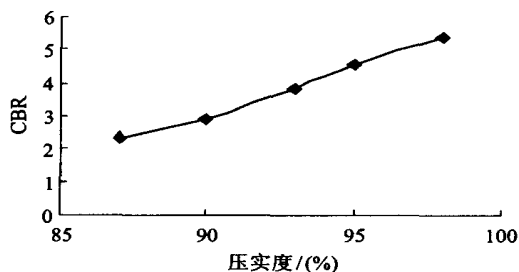


图 5 CBR 强度与压实度的关系曲线

汪益敏等^[4]指出, 地基基层材料的抗压强度与压实度的关系基本成直线变化, 压实度越大抗压强度越大, 刘登普等^[5]通过试验得出两者大致呈指数关系. 现设其表达式为 $y = ae^{bx}$, 式中, y 为 CBR 强度, x 为压实度(%), 探求系数 a 和 b 的值.

先将方程 $y = ae^{bx}$ 变换为 $\ln y = \ln a + bx$, 又设 $y = \ln y, a = \ln a$ 后, 则方程可变换为 $y = a + bx$. 于是利用最小二乘法来确定系数 a 和 b 的值, 即求系数 a 和 b 的值, 使

$$Y = \sum_{i=1}^5 [\bar{y}_i - (a + b \bar{x}_i)]^2 \quad (\text{取最小值}).$$

令 Y 分别对 a 和 b 取偏导数后得到

$$\frac{\partial Y}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^5 \bar{x}_i \bar{y}_i + 2a \sum_{i=1}^5 \bar{x}_i^2 + 2b \sum_{i=1}^5 \bar{x}_i = 0; \tag{1}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^5 \bar{y}_i + 2a \sum_{i=1}^5 \bar{x}_i + 2 \times 5b = 0. \tag{2}$$

把测试所得五组数据结果代入式(1)及(2)得到

$$10a - 12.88 + 926b = 0; \tag{3}$$

$$85.894b - 1.204.32 + 926a = 0. \tag{4}$$

联立两方程解出 $a = -6.052, b = 0.0793$.

把 $a = -6.052$ 代入 $a = \ln a$ 中得到 $a = 0.00236$.

由此可得 CBR 与压实度的关系: $y = 0.00236e^{0.00793x}$, 该式的相关系数为 $R^2 = 0.9946$, 说明所推导公式与原始数据间具有良好的相关性, 因此可得出以上假定指数关系成立, 该试验粘土 CBR 与压实度之间的关系式为: $y = 0.00236e^{0.00793x}$ (x 取值范围为 85 ~ 100).

3 结 论

a. 试验粘土的 CBR 强度随压实度的增大而显著增大, 基本呈现指数关系, 提高路基土的压实度即可降低回填路基的后期固结沉降又可有效提高土体的 CBR 强度.

b. 作为路基土, 试验粘土的 CBR 强度偏低, 只有当压实度达到 97% 以上时, CBR 强度才达到路基填料基本要求 CBR 值.

c. 在压实度逐渐增大的情况下, 试验粘土的吸水量有突变减少的现象(图 3). 根据设计规范要求土基的回弹模量值大于 30 MPa(高速公路、一级公路)及 25 MPa(其它公路), 通过土的不同压实度下的含水量计算出土的不同平均稠度, 查其附录中粘质土稠度与回弹模量参考值对应表可知, 压实度必须控制在 90% 以上方能满足设计规范对土基的回弹模量值要求.

d. 不同的粘土具有不同的物理力学性质, 其承载比 CBR 与压实度之间的关系会有所不同, 但是其指数关系还是能够肯定的, 可通过实际测试来确定 a 及 b 的值, 进而确定其具体对应指数关系式. 以上仅针对粘土而言, 对于其它类别的土, 如砂土、碎石土等尚需进行更多的试验研究.

参 考 文 献

- [1] 交通部公路科学研究所. 公路土工试验规程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [2] ASTM D1883-87, Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils[S].
- [3] Krietch A J. Leachability of Asphalt and Concrete Pavements[R]. Indiana: Indianapolis, 1992.
- [4] 汪益敏, 张丽娟, 苏卫国. 加固土的 CBR 实验研究[J]. 广东交通公路, 2001, (71): 82-85.
- [5] 刘登普. 半刚性基层材料压实度与强度的关系[J]. 公路与汽运, 2002, (3): 42-44.

(下转第 115 页)

4 结 论

近年来,集成的理论和方法(产品数据集成、过程集成、供应链集成等)在建筑业中的应用是热门课题之一。作者提出的面向大型工程建设项目全寿命周期的动态联盟组织模式,是对大型工程建设项目管理的组织集成方面的一种探讨,以期对提高我国大型建设工程项目的集成化管理有所借鉴。

参 考 文 献

[1] 姜惕麒,于保平. “鸟巢”决策集体无意识[EB/OL].
http://www.southcn.com/new s/china/zgkx/
200408110203.html.

[2] 徐晓飞. 未来企业的组织形态——动态联盟[J]. 中国机械工程, 1996, 7 (4): 15-19.

[3] A li Jaafari. Life-cycle project management: a proposed theoretical model for development and implementation of capitalproject [J]. Project Management Journal, 2000, (3): 26-29.

[4] Thomas Froese. Project management application models and Computer-assisted construction planning in total project systems[J]. International Journal of Construction Information Technology, Special Issues on Integrated Environments, 1997, 5 (1): 39-62.

[5] 赵天齐,陈禹六. 大型复杂产品研制与生产的动态联盟模式[J]. 计算机集成制造系统, CIMS, 2000, 6 (5): 1-7.

[6] 杨 维. 建设项目全寿命管理系统的探讨 [D]. 上海: 同济大学经济与管理学院, 1999.

Research of Agile Virtual Enterprise Model of Engineering Project Management Based on Project Life-cycle

ZHANG Sheng-ping¹ DING Lie-yun¹

(1. School of Civil Eng. & Mechanics, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: Under the traditional project management model, it easily happen the phases distracted and information shared difficultly for the large scale construction project management, because of large construction cycle and a large number of joiner. Consequently, proposes the Agile Virtual Enterprise (AVE) organization model facing large scale engineering construction project is proposed, which helps to realize multi-subject coordination, and achieve the planning, decision and realization. Finally, the AVE is analyzed in detail under the general contractor model.

Key words: engineering project management; Agile Virtual Enterprise (AVE); project life-cycle management; integrated management

(上接第 111 页)

Experiment Study of the Relationship Between the CBR Strength and Degree of Compaction of Subgrade Soil

DENG Lu¹ LI Xiang-dong¹

(1. School of Civil Eng. & Mechanics, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: California Bearing Ratio (CBR) has been commonly accepted and used as an indication of resistance and stability of subgrade all over the world. Although CBR and degree of compaction are both used as the indication of resistance of subgrade, the relationship between the two still requires further investigation. The formula showing the relationship between the CBR strength and degree of compaction of subgrade soil is obtained through an improved experiment method, in which soil samples with five predetermined degrees of compaction are produced and their CBR strengths are tested. Also some useful conclusions are obtained regarding the relationship between the swelling characteristic of subgrade soil and degree of compaction, which can serve as reference for road engineers.

Key words: subgrade soil; liquid limit; plastic limit; degree of compaction; CBR strength <http://www.cnki.net>