

板岩路基填料 CBR 特征及影响因素分析

王雪红¹, 王永和¹, 卿启湘^{1, 2}

(1. 中南大学土木建筑学院, 湖南长沙 410075; 2. 湖南大学机械与工程学院, 湖南长沙 410082)

摘要: 软岩在武广铁路客运专线的全线挖方中占 60 % 之多, 能否用作路基的填料, 对工程费用和环境保护的影响都很大。通过对武广沿线 2 种典型的板岩填料进行的室内承载比试验, 分析了其特征及影响因素, 并利用 EXCEL “分析工具库” 中的 “无重复双因素方差分析” 工具对各种影响因素的显著性进行了分析, 试验结果和分析所得的结论为武广客运专线路基和相关工程的设计与施工提供了参考。

关键词: 板岩; 承载比; 影响因素; 双因素方差分析

中图分类号: TU441+.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)02-0100-04

Study on Influence Factors and Feature of California Bearing Ratio of Slate Subgrade Fillings

Wang Xuehong¹, Wang Yonghe¹, Qing Qixiang^{1,2}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China;

2. College of Mechanism and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: All fronts cubage of cut soft rock along Wu-Guang passenger express railway for special use takes up more than 60 %. And whether it can be used as filling of subgrade, it has enormous affection on construction costs and environmental protection. Through the indoor CBR experiment studies on the two kinds representative slate filling, its characteristic and influencing factor has analyzed, the implement of “nonrepeitative double factor variance analysis” in “analysis tool storage room” of EXCEL carries out analysis on the significance of various influencing factor and provides a reference to Wu-Guang railway and relevance project construction.

Key words: slate; california bearing ratio; influencing factor; double factor variance analysis

0 前言

CBR试验全称加州承载比(California Bearing Ratio)试验,系美国加利福尼亚州公路局最早提出的一种确定路基相对承载力的试验,该试验后由美国陆军工程部用于机场跑道以及公路等的柔性路面设计。该试验是将规定尺寸的探头贯入土中,在一定的贯入深度时,以其相对应的荷载强度和 CBR 标准强度比较,来确定路基承载力的相对值。室内击实试样 CBR 试验的贯入探头直径为 50 mm,和铁路道碴的尺寸相近,试验将探头贯入土中的过程和道碴在列车荷载作用下挤陷

入基床表面的现象极为相似,所以将 CBR 试验应用于铁路路基压实质量管理也是比较合理的^[1]。武广客运专线沿线的白垩系——下第三系及元古界泥质粉砂岩、泥岩、含砾砂岩、泥质板岩、千枚状板岩等全风化~弱风化软岩弃碴,多为软岩或极软岩,抗风化能力、抗水性以及抗变形能力均较差,其风化后强度急剧降低。

根据现行铁路路基设计规范,它们均属 C、D 级填料,而该类弃碴填料全线占 60 % 左右,从而使得作为路基填料的软岩工程特性的研究意义重大。如能采取一些工程措施,将软岩用作路基填料,一方面可以节省大量工程投资,另一方面可以减少弃方占地,同

收稿日期: 2007-02-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50678177)

作者简介: 王雪红(1983-),女,山西吕梁人,中南大学土木建筑学院硕士生,主要研究方向为路基及其支挡结构。

时也有利于环境保护, 社会、经济效益十分可观。

1 板岩的基本特征

试验所用板岩弱风化、强风化和全风化体取自武广客运专线DK1593+650~DK1593+850工点, 呈黄色。泥质板岩与千枚状板岩的颗粒范围大, 以中砾(20~5 mm)为主, 平均含量达到31%, 粗砾和细砾次之, 同时含有一定数量的砂粒、粉粒和粘粒, 不均匀系数一般均大于5, 曲率系数等于1~3, 属级配良好。这种粒料组合特征既决定了试验中所配制试样的密实程度, 又决定了试样饱水过程中吸水量的大小, 其物理特性指标见表1。

表1 板岩岩石物理性质表

Table 1 Slate physical properties table

岩样	天然含水率	天然密度	干密度	液限	塑限	塑性指标
	$\omega / \%$	$\gamma / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\gamma_d / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$w_L / \%$	$w_p / \%$	I_p
千枚状板岩	8.9~12.4	2.18~2.23	1.84~1.86	46.5~48.6	25.0~27.0	21.5~23.5
强风化岩样						
泥质板岩	2.16~2.19	2.18~2.23	1.84~1.87	45.6~46.8	26.7~27.3	18.9~19.5
强风化岩样						

2 承载比的本质特征

根据土力学原理, 由土壤形成的“土体”在贯入试验中所反映的强度实质上是它的局部抗剪切强度, 可以采用库伦定律表示为:

$$\tau = \sigma \tan \phi + c$$

式中: τ 为抗剪切强度; σ 为剪切面上法向压力; $\tan \phi$ 为摩擦系数; c 为土壤的内聚力。

其中, 内聚力实际上是土壤之间的连接力, 是阻止土壤颗粒发生相对移动的主要力。当剪力超过内聚力后, 内摩擦力将开始起阻止作用; 当剪力超过两者之和时, 土体就发生破坏。在外荷载和自重的作用下, 路基内部产生剪应力和相应的变形, 当作用在路基上的荷载超过其抗剪强度时, 就会产生剪切破坏。因此, 可以对土样进行贯入试验得到 CBR 值, 以此评价路基土体的抗剪强度, 从而间接得到路基土的局部抗剪强度^[2]。

室内加州承载比(CBR)试验严格按《公路土工试验规程》(JTJ051-93)进行。按照重型击实 II 法, 每层击数分别为30、50及98次制备试件, 然后在浸水1、4、7、10 d 进行膨胀量测试和贯入试验。采用贯入量为2.5 mm 时的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比, 同时计算贯入量为5 mm 时承载比。如果贯入量为5 mm 时的承载比大于2.5 mm 时的承载比, 则要求试验重做。如结果仍然如此, 则采用5 mm 时的承载比。

3 CBR 值的影响因素

CBR 试验主要是评价粘性材料的潜在强度, 结合

具体的工程试验, 分析有关因素对 CBR 试验结果的影响, 可以判定填料的适用性, 为工程的选料及施工提供快捷、直观的判断标准。一般而言, 影响板岩 CBR 值的主要因素为粘土矿物成分、浸水时间、粒径大小、击实度等。

3.1 土中矿物成分、粘土矿物成分对 CBR 值的影响

不同地域的软岩风化物, 因其风化、风化物的颗粒成分以及矿物成分的差异, 必然将导致软岩弃碴重塑土的力学指标有较大差异。风化软岩的主要粘土矿物为高岭石、蒙脱石和伊利石。这些矿物成分的含量不同, 导致风化物不同的工程特性, 尤其是其中的粘粒矿物对风化物的性质影响较大。其中高岭石相邻晶胞之间具有较强的氢键连结, 结合牢固, 水分子不能自由渗入, 形成较粗的孤粒, 比表面积小, 亲水性弱, 压缩性较低, 抗剪强度较大; 蒙脱石相邻晶胞间距离较大, 连结较弱, 水分子易渗入, 形成较细的粘粒, 比表面积较大, 亲水性较强, 膨胀性显著, 压缩性高, 抗剪强度低; 伊利石的工程地质性质则居于两者之间。元古板溪群及冷家溪群风化千枚状板岩、泥质板岩属极软岩, 呈弱酸性, 化学成份均以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 为主, 占 81.46%~93.38%。板岩风化物 X 射线的衍射分析结果见表2。

表2 板岩矿物成分

Table 2 Slate mineral ingredient

软岩类型	主要矿物成分 / %				
	二氧化硅	白云母	高岭石	石灰石	$(\text{MgAl})_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
千枚状板岩	90.2	2.9	6.9	-	-
泥质板岩	85.4	13	1.2	-	-

由表2可知, 千枚状板岩和泥质板岩原生矿物石英含量较为相近, 泥质板岩中白云母的含量高于千枚状板岩中的含量, 而且所含粘土矿物的总量分别为6.9%和1.2%, 由于粘土矿物的总量对土体性状的影响程度远远超过土中所含粘土矿物的相对数量的影响^[3], 由此可以判断泥质板岩的 CBR 值大于千枚状板岩的 CBR 值。

3.2 浸水时间对 CBR 值的影响

为了预测路基土或基层填料在使用期间经历气象变化和长年运行过程中的含水量的变化, 以及在最恶劣情况下来推算 CBR 值, 规范规定试样浸泡 96 h。在本试验中, 分别将试样浸泡 1、4、7、10 d 来推算其相应的 CBR 值。当浸水后的试样发生剪切移动时, 并不是土体颗粒之间发生摩擦作用, 而是通过周围的水层相互摩擦。由于水层具有润滑作用, 因此水层越厚摩擦力就越小, 也就是说吸水量越多摩擦力就越小。由图1可知, 击实次数分别为30、50、98次时, 曲线的斜率逐渐增大, 最后趋向于0, 表明 CBR 值随浸水时间的增加快速减小, 即同一土样在相同的压实度下, 浸水 10 d 的 CBR 相对下降值明显大于浸水 1 d 的相对下

降低。击实 98 次浸水 10 d，试样的 CBR 值较浸水 1 d 天的 CBR 值减少近 48%。浸水 4 d 后，泥质板岩和千枚状板岩击实试件的外表面均产生较明显的淤泥膨胀变形，说明这些风化软岩弃碴虽经压实，仍具有原岩浸水极易软化、强度降低的特点。

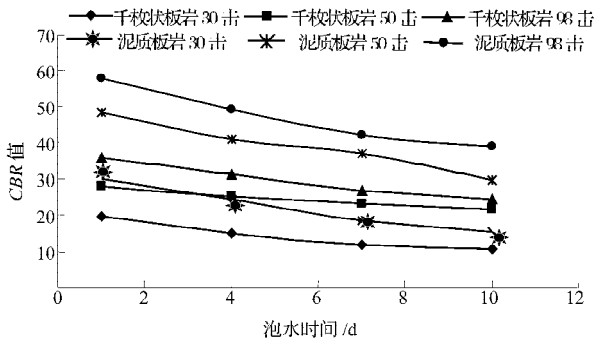


图 1 粒径 < 38 mm 不同板岩在不同击实度下的 CBR 值
Fig.1 CBR value of different slate with particle size less than 38mm under differently solidity

3.3 粒径大小对 CBR 值的影响

由图 2 可知，土颗粒的最大粒径对 CBR 值的影响不大。同一类土粒径越大，则 CBR 值也越大，不同土料其最大粒径是不同的，粒径越大则浸水对其影响越小，即对浸水越不敏感，相应的 CBR 下降值就越小。尤其在南方多雨地区，很难通过控制最佳含水量来达到最大干密度，以实现最大压实度，实际施工时可通过增加粗颗粒的含量或参照细粒土改良的办法来实现对压实度和强度的要求。

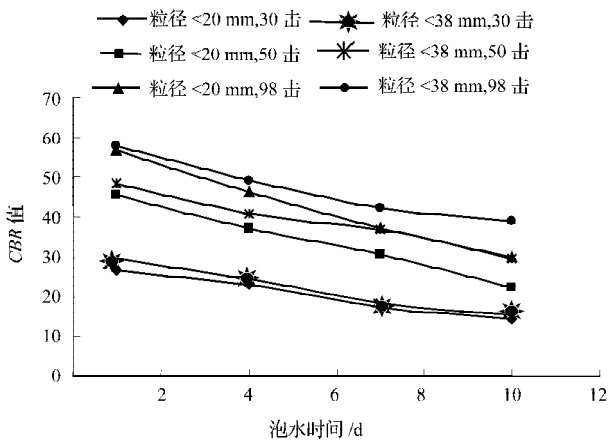


图 2 泥质板岩不同粒径不同击实度下的 CBR 值
Fig.2 CBR value of different particle size argillaceous slate under differently solidity

3.4 压实度对 CBR 值的影响

由图 2 可知，随着击实次数的增加，土样的 CBR 值也在增加。击实次数不同时，不同浸水时间的 CBR 值的变化程度也有差异。击实 50 次和 30 次的 CBR 相对下降值明显大于 98 次的相对下降值。其主要原因是随着击实次数的增加，土的密实度越大，CBR 值也呈现增大趋势。击实 98 次时，同一土样的 CBR 值变化较

小，也就是土样承载能力较均匀；在击实 30 和 50 次时，CBR 值变化较大，反映了土样在受到局部荷载时不均匀沉降差较大。

3.5 试验条件对 CBR 值的影响

CBR 贯入试验中反映贯入量的 2 百分表读数相差较大，致使取值较难，产生此问题的原因主要有以下几点：

1) 试验仪未放置水平。由于重力作用，贯入杆上钢珠与凹座未紧密接触，在荷载作用下，钢珠的轻微移动都会引起百分表的极大变化；

2) 贯入杆与试件顶面未完全接触。在荷载作用下，必然导致贯入杆局部受力，使贯入杆贯入深度不均，反映为百分表读数相差较大；

3) 试料的土质分类对读数的影响。经过多次试验发现，对于细粒土试件，大颗粒含量少，贯入杆贯入过程中受力较均匀，相对而言，其百分表读数相差较少；对于粗粒土或巨粒土试件，贯入杆贯入过程中，其外缘极易遇到较大颗粒，从而影响其贯入深度，导致百分表读数有较大差异。

4 影响因素显著性分析^[4, 5]

在工程实际中对路基填料的 CBR 值影响比较显著的因素进行严格控制是十分必要的。本文采用双因素无重复试验方差分析对上述影响因素进行分析，即利用 EXCEL“分析工具库”中的“无重复双因素方差分析”工具，分别判断浸水时间与压实度、粒径与压实度、粒径与浸水时间中的哪些因素对 CBR 值有显著影响。表 3 是以粒径 < 38 mm 的泥质板岩为例的影响因素值和分析结果，分析结果综合见表 4。

表 3 粒径 < 38 mm 泥质板岩影响因素值

Table 3 Particle size less than 38 mm argillaceous

因素	观测数	求和	平均	方差
泡水 1 d	3	135.8	45.266 7	204.303 3
泡水 4 d	3	114.5	38.166 7	156.893 3
泡水 7 d	3	97.3	32.433 3	154.723 3
泡水 10 d	3	83.8	27.933 3	137.563 3
击实 30 次	4	88.1	22.025 0	40.249 2
击实 50 次	4	155.5	38.875 0	61.709 2
击实 98 次	4	187.8	46.950 0	70.763 3

由方差分析结果可知，泡水时间和压实度的方差分析 F 值均大于 F-crit 值，而且该 F 值对应的显著性水平几乎为 0，所以这 2 个因素对 CBR 值有极显著的影响；而粒径对 CBR 值的影响相对于泡水时间和压实度而言较小。在实际工程中，处于不同部位的路基土受地下水、降水的影响是不同的，而路基土的实际工作条件和试件浸水 96 h 的状态是不一定相同的，所以应根据所在地区的水文特性和路面承受荷载的实际情况来确定浸水时间和 CBR 的允许值，同时要

严格按照规范要求进行压实, 以便达到压实效果。

表 4 无重复双因素方差分析结果综合表

Table 4 Nonrepeative double factor variance analysis result comprehensive table

差异源	平方和	自由度	均方	F 计算值	P-value	F 值	显著性
泡水时间	505.043 3	3	168.347 8	76.978 5	0.000 0	4.757 1	0.012 9
击实次数	1 293.845	2	646.922 5	295.811 1	0.000 0	5.143 3	0.003 4
误差	13.121 67	6	2.186 9				
总计	1 812.01	11					
泡水时间	91.323 75	3	30.441 3	58.400 5	0.003 7	9.276 6	0.110 7
粒径大小	0.361 25	1	0.361 2	0.693 0	0.466 2	10.128 0	0.003 5
误差	1.563 75	3	0.521 3				
总计	93.248 75	7					
粒径大小	11.206 67	1	11.206 7	15.008 9	0.060 6	18.512 8	0.060 6
压实次数	580.96	2	290.480 0	389.035	0.002 6	19.000 0	0.002 6
误差	1.493 333	2	0.746 7				
总计	593.66	5					

5 结语

在分析千枚状板岩和泥质粉砂岩基本特性的基础上, 研究了 CBR 值的影响因素, 并利用 EXCEL “分析工具库” 中的 “无重复双因素方差分析” 工具进行分析, 初步得出以下结论:

1) 在标准的击实试验和相同的试验条件下, 对泥质板岩和千枚状板岩而言, 影响 CBR 值的主要因素是压实次数和泡水时间, 其次为矿物类型及其含量的多少和颗粒粒径的大小;

2) 泥质板岩和千枚状板岩这两种软岩风化物, 在足够的夯实功作用下, 所填筑的路基强度可以达到要求值。在南方多雨地区, 采用这些风化软岩的弃碴填筑路基时, 如果难以通过增大夯实功来提高路基的填筑强度, 可通过增加粗颗粒的含量, 或参照细粒土改良的办法, 实现路基承载强度的提高;

3) CBR 值随泡水时间的延长而降低。在南方多雨地区, 这些风化软岩弃碴不宜直接填筑路基。因此, 在实际应用中必须通过添加掺合料进行改性, 以提高它们的抗软化能力, 抵御雨水的浸蚀, 同时加强坡面防护及基面排水措施。需要强调的是, 这些风化软岩填

料不能直接用于浸水地区路堤的填筑。

参考文献:

- [1] 杨广庆, 刘树山, 刘田明. 高速铁路设计与施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [2] 陈柏年, 朱凤艳, 韩勤. CBR 试验内在机理研究及影响因素的分析[J]. 交通标准化, 2001 (1): 28-30.
- [3] 杨广庆, 高民欢, 张新宇. 高速公路路基填料承载比影响因素研究[J]. 岩土工程学报, 2006 (1): 97-100.
- [4] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 刘达民, 程岩. 应用统计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 王永和, 胡萍, 卿启湘. 影响土样击实试验结果的试验分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2006, 3 (6): 31-34.
- [7] 卿启湘, 王永和, 李光耀, 等. 软岩填筑高速铁路路堤的室内试验研究[J]. 岩土力学, 2006, 27 (7): 1119-1123.
- [8] 方焘, 郑明新, 郭建湖. 软岩填筑路基的压实特性研究[J]. 路基工程, 2006 (1): 52-55.
- [9] JTJ 051-93, 公路土工试验规程[S].