

盱眙黏土团粒大小对填料水稳性影响试验

郑 军¹, 阎长虹¹, 夏文俊², 崔大伟², 周 欣²,
张义贵³, 张 睿³, 詹奇伟¹

(1. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 江苏省高速公路建设指挥部,
江苏 南京 210004; 3 淮安市高速公路建设指挥部, 江苏 淮安 223001)

摘要: 为研究盱眙黏土团粒大小对改良填料水稳性的影响, 结合苏北某高速公路工程实际, 对不同团粒粒径的石灰土、新型固化土的8组试样进行了加州承载比试验。结果表明: 石灰土、新型固化土的膨胀量、吸水量随团粒粒径的增大表现为先减小后增大的趋势, 而加州承载比值随团粒粒径的增大则表现为先增大后减小的趋势。同时, 对比两种改良方法, 新型固化剂的整体改良效果好于灰土, 且在较大的团粒粒径处达加州承载比最大值, 同时填料水稳性受团粒粒径影响不及灰土大。在以上试验结果的基础上, 就盱眙黏土的团粒大小对填料水稳性的影响机理进行了分析和讨论。

关键词: 黏土; 团粒; 水稳性; 加州承载比

中图分类号: TU443 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0412-04

Experimental Study on Size Effect of Aggregate Derived from Clay in Xuyi on Water Stability of Filled Material

ZHENG Jun¹, YAN Chang-hong¹, XIA Wen-jun², CUI Da-wei²,
ZHOU Xin², ZHANG Yi-gui³, ZHANG Rui³, ZHAN Qi-wei¹

(1. Department of Geoscience, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

2. Jiangsu Highway Construction Headquarters, Nanjing 210004, Jiangsu, China;

3. Huai'an Highway Construction Headquarters, Huai'an 223001, Jiangsu, China)

Abstract To study the size effect of clay aggregate in Xuyi on water stability of improved filled material in a highway project in the north of Jiangsu Province, the California Bearing Ratio (CBR) tests were performed on eight types of samples stabilized by lime and CMSC firming agent which were added into clay with different grain sizes. It is found that the swelling rate and the absorption of water quantity of the lime soil and the improved soil by CMSC firming agent firstly decrease and then increase along with the increasing of average grain size of aggregates. However, the CBR value of the lime soil and the improved soil by CMSC firming agent firstly increases and then decreases along with the increasing of average grain size of aggregates. Meanwhile, through comparing the two soil-stabilizing methods, the whole improved effect of improved soil by CMSC firming agent is better than the lime soil. The CBR value could reach its maximum more easily when its average grain size of aggregates is greater than the lime soil. And the size effect of aggregate on the CBR value of improved soil by CMSC firming agent is less than the lime soil. On the basis of the above findings, the influence of aggregate size on water stability of studied soils is analyzed and discussed. The conclusion drawn from the test is significant and useful for further studies on the engineering properties of filled materials.

Key words: clay; aggregate; water stability; California Bearing Ratio

收稿日期: 2008-01-20

基金项目: 江苏省交通厅科技开发项目(2006-45-3); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20070284006)

作者简介: 郑 军(1981-), 男, 江苏海安人, 工学博士研究生, 从事特殊土环境岩土工程研究。E-mail: zheng1981jun@tom.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

在公路路基填筑中,水稳性是衡量路基填料耐久性的一项重要指标。长期以来,以何种标准判断路基填料的水稳性是否满足要求并未统一,在不同的工程设计中检测方法和标准也不同,一般以试件湿时与干时的无侧限抗压强度的比值作为参考,但相关公路规范一直未明确给出其指标要求。近年来,随着加州承载比(California Bearing Ratio, CBR)试验方法及相应规范的引进,公路建设对路基填料提出更为严格的要求,除了要求满足压实度标准外,还需要满足强度指标要求,并逐渐将其作为主要的判断标准。CBR试验是模拟公路路基填料在满足压实度要求时,处于受水浸泡的最不利环境下,土颗粒间孔隙被水充填,填料连结强度降低的实际情况。在路基设计中,不同强度路基填料具有不同的贯入深度,因此采用在贯入量为2.5 mm时单位压力与标准压力之比作为材料的CBR值,以此来表征路基填料的强度和水稳性能。交通运输部已实施的规范^[1-2]提出了路基不同部位填料的最小强度要求,将其作为路基填料选择的依据和判断标准。

以黏性土为路基填料时,团聚能力是其重要特性之一,团粒大小常会影响路基填料的改良效果^[3-4],从而对路基强度和稳性产生影响。因此,在公路工程中土料粒径的控制是路基填筑施工技术的主要标准之一。前人^[5-6]已指出土料粒径对CBR值的影响,并对比了各规范^[7-9]对于土料粒径规定的不同,提出可通过试验寻找两者之间的关系,以用于路基施工强度检测或评定。因此,有必要探讨不同大小的团粒对路基填料水稳性的影响,即研究团粒大小对CBR值的影响。

笔者以苏北某高速公路盱眙黏土的科研项目为依托,研究了团粒大小对填料水稳性的影响。在试验基础上分析了填料水稳性随粒径的变化规律,并对变化机理进行讨论,为深入探讨路基填料的路用性能和确保路堤填筑质量提供了帮助。

1 试验流程

1.1 试样制备

试验用土取自苏北某高速公路科学试验段K5+500 m附近取土场,颜色呈棕黄色,分布浅灰斑点,其基本物理力学性质见表1。试验所用CMSC

型固化剂为所在课题组通过工业废物的再利用自行研制的一种固体化合物粉末,能够固化土体、增加强度、降低收缩,从而加强了路基整体性和防水渗透能力,避免路面开裂,提高了公路施工质量。所用生石灰为一般公路和城市建设用灰,其氧化钙和氧化镁的质量分数均在75.23%以上。

表1 黏土的物理力学性质指标

Tab. 1 Physical and Mechanical Properties of Clay

相对密度	液限/%	塑限/%	塑性指数
2.70	53.0	22.8	30.2
自由膨胀率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	最优含水率/%	
44.50	1.55	22.81	

将风干土过标准筛得到4种不同粒径的土样,其粒径分别为小于2 mm、2~5 mm、5~10 mm、10~20 mm。试验中的灰土是将土样与8%干土重的生石灰均匀混合,考虑最优含水率和石灰反应所需水量加入水,将拌和均匀的样品装入容器内盖紧,润湿一昼夜备用。CMSC型固化剂改良土的配制是将CMSC型固化剂以2%干土重的剂量掺入干土中,同时掺入6%干土重的生石灰,并按最优含水率和石灰反应所需的水量喷洒水,焖料一昼夜。后将上述拌料在新型击实筒内击实,击实次数为98次,取出试件进行养护。试件养护至规定龄期(28 d)后取出,将试件浸入水中,试件顶面放置荷载板和安装百分表,4昼夜后即进行贯入试验。本试验重点是研究盱眙黏土团粒大小对填料水稳性的影响,因而新型击实筒的研制使用和石灰与CMSC型固化剂的掺量均参考了本科研课题的其他相关研究试验确定。

1.2 试验方法

试件根据不同的土质改良方法分为两类,分别是灰土和CMSC型固化剂改良土,每一类中根据粒径的大小分为4组,分别是小于2 mm、2~5 mm、5~10 mm、10~20 mm。为了图表描述清晰,文中采用平均值来代替上述4组粒径,即0.5 mm、3.5 mm、7.5 mm和15 mm。对两类试件中各组不同粒径的样品进行CBR试验,所有试验包括之前已对盱眙黏土基本物理性质测定的试验均按规范^[7]进行,并分别对石灰改良土和CMSC型固化剂改良土进行了平行对比试验。CBR试验采用CBR-1型承载强度试验仪,击实筒内径为152 mm,升降仪速率为1 mm/min。CBR试验需先对试件进行浸水试验^[10],规范规定试件需在水中浸泡4昼夜。

2 试验结果

由表 2 可知两类改良填筑土各组试件的 CBR 值,同时图 1~3 反映了不同改良土的膨胀量、吸水量和 CBR 值与团粒粒径的关系。由图 1 可以看出,在膨胀量方面,随着粒径的增大,灰土和新型固化土的膨胀量随粒径的增大表现为先减小后增大;在吸水量方面,随着粒径增大,灰土和新型固化土的吸水量也表现为先减小后增大;但在 CBR 值方面,随着粒径的增大,灰土和新型固化土的 CBR 值则先增大后减小。

表 2 试件的 CBR 试验指标值

Tab. 2 CBR Value of the Specimens

编号	平均粒径/mm	石灰质量分数/%	CMSC 型固化剂质量分数/%	膨胀量/%	吸水量/g	CBR/%
1	0.5	8		0.247	185	119.82
2	3.5	8		0.027	102	174.41
3	7.5	8		0.098	122	164.30
4	15.0	8		0.125	143	160.73
5	0.5	6	2	0.150	159	165.31
6	3.5	6	2	0.093	128	168.57
7	7.5	6	2	0.061	124	175.49
8	15.0	6	2	0.107	134	160.65

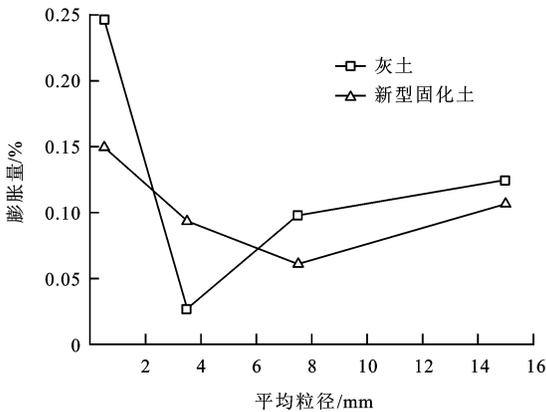


图 1 改良土的膨胀量随粒径的变化

Fig. 1 Variation of the Swelling Rate of Improved Soil with Grain Size

对于灰土而言,当团粒的平均粒径大于 3.5 mm 时,其膨胀量、吸水量逐渐增大,而 CBR 值则逐渐减小;当团粒的平均粒径小于 3.5 mm 时,其膨胀量、吸水量逐渐减小, CBR 值则逐渐增大。对于新型固化剂改良土而言,当团粒平均粒径大于 7.5 mm 时,其膨胀量、吸水量逐渐增大,而 CBR 值则逐渐减小;当团粒平均粒径小于 7.5 mm 时,其

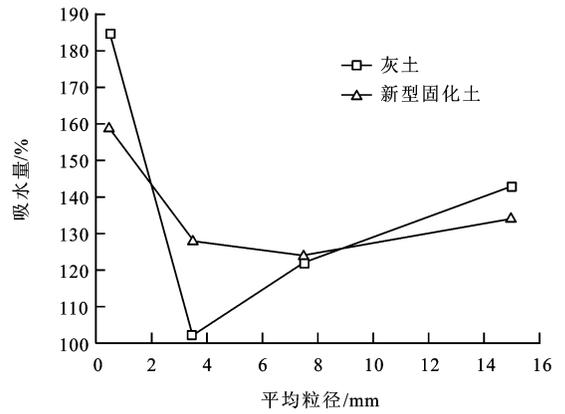


图 2 改良土的吸水量随粒径的变化

Fig. 2 Variation of the Absorption of Water Quantity of Improved Soil with Grain Size

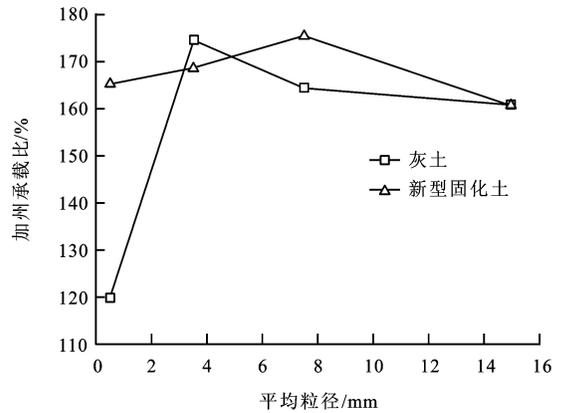


图 3 改良土的 CBR 值随粒径的变化

Fig. 3 Variation of the CBR Value of Improved Soil with Grain Size

膨胀量、吸水量逐渐减小,而 CBR 值则逐渐增大。

3 分析与讨论

从图 1~3 可以看出,两类改良土试件的膨胀量、吸水量和 CBR 值随平均粒径的变化会出现转折点,且转折点前后的变化规律正好相反。

由文献[3,4]可知,土体的改良效果与团粒粒径大小关系密切。当团粒粒径较小时,颗粒与固化剂之间彼此的接触面积较大,即与固化剂反应的比表面积较大,单位面积上胶结的颗粒数目相对较多,改性较为彻底,颗粒间连结力增强,使土体具有较高的强度;而团粒粒径较大时,与固化剂反应的比表面积则相对较小,固化剂反应易停留在颗粒表面,导致较大团粒内部的土粒未得到充分改性,从而降低了土体的均一性,使土体的强度相对较低。

由细小团粒改性所得试件,由于其团粒细小,

土与固化剂的接触面积大,两者间的反应彻底而剧烈,颗粒之间胶结紧密,这种较大的胶结力易在试件内部形成不均匀应力的分布,从而在试件表面产生较多的细微裂纹,特别是石灰土试件,由于石灰的掺入,试件产生硬化收缩,增加了试件的裂纹发育。而由粗大团粒改性所得试件,由于改性的不彻底,颗粒间的胶结力并不大,试件有的部位甚至是土粒与土粒之间的接触,因此试件表面的细微裂纹并不太发育。不过当击实功较小时,粗颗粒的团粒易在试件表面出现较多团粒的轮廓线,但本文中的击实次数都统一为重型锤的98次,击实功较大,因此对此暂不讨论。

当浸水时,由于由细小团粒改性所得试件表面发育有较多细微裂纹,因此这些裂纹成为了水分入渗的良好通道,水的楔劈作用,使裂纹张开、扩大和加深,并易贯通成较大的裂隙,从而破坏了试件的整体性,降低了试件的CBR值。而由粗大团粒改性所得试件,虽然其试件表面的细微裂纹并不很发育,但改性的不彻底,导致试件内部依然存在较多的土粒,降低了其均一性,因此其CBR值也不高。

由中等粒径的团粒改性所得试件,由于其改性程度比粗颗粒改性所得试件好,细微裂纹的发育程度又不及细颗粒改性所得试件,因此试件的膨胀量、吸水量都较小,而承载强度则相对较高,易在中等粒径处达到CBR值的峰值。

同时,灰土的试验值随粒径的变化曲线是在平均粒径为3.5 mm处出现了转折点,新型固化剂改良土的试验值随着粒径的变化曲线是在平均粒径为7.5 mm处出现了转折点,即新型固化土的转折粒径大于灰土;并且灰土的CBR值随粒径的波动幅度比新型固化土更大,在0.5 mm粒径处其CBR值最低,为119.82%。

新型固化土的转折粒径大于灰土,这主要是因为生石灰易水化生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,而且固化剂中的钙离子化合物也微溶于水中,上述两种化合物的 Ca^{2+} 离子都易进入到土颗粒内部。但固化剂中的钙离子化合物,相较于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 而言,更稳定,更不易与空气中 CO_2 发生反应而造成 Ca^{2+} 离子的流失。因此固化剂中该化合物所含 Ca^{2+} 离子易充分被黏土颗粒吸收,从而补充了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 由于易与空气中 CO_2 发生反应所造成的 Ca^{2+} 离子的流失。所以当团粒粒径较大时,新型固化剂溶液能够以较长时间入渗到团粒内部,给土粒充分的 Ca^{2+} 离子,

且能与土体发生新的反应,产生新的凝胶物质,更增强了试件的致密性。而灰土改性时,由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液较易与空气中的 CO_2 发生反应,因此 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液入渗到粗颗粒团粒内部较浅范围内的时候,大多就已和 CO_2 发生了化学反应。因此,新型固化剂更易在较大粒径的团粒中发挥功效,其承载强度峰值也稍大,水稳性更优。

另外,由于石灰改性会产生硬化收缩,增加了试件的裂纹发育,因此石灰改性试件在团粒粒径为0.5 mm处的CBR值最低,且其CBR值的波动幅度较大。CMSC型固化剂改性所得的凝胶物质在形成与生长中会产生一定的膨胀,可以降低胶凝过程中产生的体积收缩,填充了结构中的部分孔隙,消除产生的部分细微裂纹,因此其CBR值的波动幅度相对较小。

综上所述,在路基施工中,可将改良土的转折粒径作为填料改性时的最优改良粒径,不仅能减少将粒径粉碎至更细所需的工作量,而且可以达到较好的水稳性。

4 结语

(1)当盱眙黏土团粒粒径较小时,虽然其改性较为彻底,改性效果很好,但粒间的胶结力过大,试件内部易产生不均匀应力,从而使试件表面出现较多的细微裂纹,降低了试件的整体性,其承载强度并不高。

(2)当盱眙黏土团粒粒径较大时,由于固化剂易停留在团粒表面和较浅范围内,试件内部依然存在较多的未得到改性的土粒,从而使得试件的均一性大大较低,其承载强度也不高。

(3)当盱眙黏土团粒粒径中等时,由于其改性效果比粗颗粒好,细微裂纹又不及细颗粒发育,因此试件的膨胀量、吸水量都较小,而承载强度则相对较高,易在此粒径范围达到CBR值的峰值。

(4)新型固化剂由于自身改性的优点,更易在稍大的粒径范围内发挥作用,达到CBR峰值,具有较好的应用前景。

(5)在实际工程施工中,探讨黏土颗粒的最优改性粒径,不仅可以达到最佳的改良效果,而且减少了工程施工中为减小颗粒粒径带来的工程量,极大地增强了路基的稳定性和强度,降低了工程施工成本。

(下转第437页)

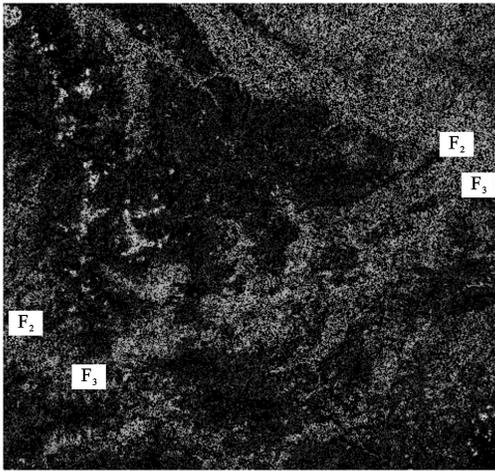


图2 ETM+5波段影像的灰度等值线

Fig. 2 Raster Contour Image of ETM+5

性、空间分辨率、统计特性等进行深入分析,选择合适的波段进行融合,查阅相关资料,建立遥感影像的断裂解译标志,根据解译标志进行分析,通过不同遥感图像处理方法的对比分析,解译出武都一文县间的断裂构造,并根据现有的地质资料及实地调查进行解译结果验证,解译正确率为100%。

4 结语

由于地球演变和遥感成像的复杂性,目前对遥感图像的分析大多集中在定性分析上,同时,也没

有形成一门成熟的理论体系。经过对研究区的综合分析,建立断裂构造的遥感解译标志,通过遥感图像的多种处理技术,探讨线性构造遥感解译的理论和方法,对于公路规划和勘察、电力选线、区域性地质调查等方面具有积极的意义。

参考文献:

- [1] Lillesand K. 遥感与图象判读[M]. 黎勇奇译. 北京: 高等教育出版社, 1986.
- [2] 王润生. 地质勘查图像分析与综合[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [3] 陈述彭, 赵英时. 遥感地质学[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.
- [4] 国家地震局地震研究所, 国家地震局地质研究所. 中国活动构造典型卫星影像集[M]. 北京: 地震出版社, 1982.
- [5] 李永颐. 遥感地质学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1990.
- [6] 韩玲. 多源遥感信息融合技术及多源遥感信息在地质中的应用[D]. 西安: 西北大学, 2005.
- [7] 韩玲, 吴汉宁, 杜子涛. 多源遥感影像数据融合方法在地质中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3): 78-81.
- [8] 张景发, 王四龙, 侯孝强. 活动断裂带中遥感数字图像处理技术——以鲜水河活动断裂带为例[J]. 地震地质, 1996, 18(1): 1-10.
- [9] 张景发, 陶夏新, 田云锋, 等. 城市周边活断层探测中遥感技术的应用[J]. 自然灾害学报, 2005, 13(1): 137-145.
- [10] 卢海峰, 马保起, 刘光勋. 甘肃文县北部北东向断裂带新构造活动特征[J]. 地震研究, 2006, 29(2): 143-146.
- [11] 侯康明, 雷中生, 万夫岭, 等. 1879年武都南8级大地震及其同震破裂研究[J]. 中国地震, 2005, 21(3): 295-297.

(上接第415页)

参考文献:

- [1] JTG D30—2004, 公路路基设计规范[S].
- [2] JTJ 014—97, 公路路基施工技术规范[S].
- [3] 张小平, 施斌. 石灰改性膨胀土团聚体的试验研究[J]. 工程勘察, 2006(5): 1-5.
- [4] 蔡奕, 施斌, 刘志彬, 等. 团聚体大小对填筑土强度影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(12): 1482-1486.
- [5] 朱志铎, 郝建新, 黄立平. CBR试验影响因素及在工程中应注意的几个问题[J]. 岩土力学, 2006, 27(9): 1593-1600.
- [6] 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]. 标准化工作, 2001(1): 28-30.
- [7] JTJ 051—93, 公路土工试验规程[S].
- [8] JTJ 059—95, 公路路基路面现场测试规程[S].
- [9] D 193—93, CBR标准试验方法[R]. 华盛顿: 美国材料试验协会(ASTM), 1995.
- [10] 郭军辉, 阎长虹, 夏良斌, 等. 某一级公路路基填土膨胀性试验[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 85-89.