

文章编号:1673-9469(2011)04-0044-04

块石抛填地基灌浆加固效果评价

董倩^{1,2}, 况龙川¹, 孔凡林²

(1. 重庆科技学院 建筑工程学院, 重庆 401331; 2. 重庆市建筑科学研究院, 重庆 400020)

摘要:在分析块石抛填地基灌浆加固机理和灌浆参数计算方法的基础上,针对山区块石抛填地基的特点,探讨试验检测法评价其灌浆加固效果的适用性、有效性,并结合实际工程进行了对应分析。分析结果表明:采用单一试验检测评价方法可靠性低、成本高,只有综合采用瑞雷波、荷载板和动力触探法才是山区块石抛填地基经济、适用、可靠的检测评价法,而相应地基承载力及变形模量综合评价是其加固效果合理、适用的判定指标。

关键词:灌浆;地基;碎石土;加固效果评价

中图分类号: TU 441

文献标识码: A

Reinforcement assessment of grouting reinforcement for crushed rock soil fills foundation

DONG Qian^{1,2}, KUANG Long-chuan¹, KONG Fan-lin²

(1. Department of Civil Engineering and Architecture, Chongqing University of Science & Technology Chongqing 401331, China; 2. Chongqing Research Institute of Building Science, Chongqing 400020, China)

Abstract: Firstly, The reinforcing mechanism of grouting and grouting parameter calculation method about crushed rock soil fill foundation was analyzed. Basing on the characteristics of crushed rock soil fill foundation in mountain areas, validity and rationality of test method to evaluate grouting reinforcement effect were studied by combining with the actual engineering. The results indicate that a single test evaluation method has the high cost and low reliability. It is a reliable and economy method to evaluate the reinforcement effect by applying Rayleigh wave, static load test and dynamic penetration test. The comprehensive evaluation by using bearing capacity of foundation and deformation modulus is a reasonable and applicable judge criterion for the effective improvement range.

Key words: grouting; foundation; crushed rock soil; reinforcement assessment

在新一轮发展规划的推动下,基础设施建设进入了高速发展阶段。然而伴随经济发展及城市规模的急剧扩大,西南地区一些典型的山地城市可直接利用的天然地基日渐枯竭,为满足工程建设的需要,越来越多的人工地基(块石抛填土)被采用。抛填料主要成份为页岩、粉砂岩等石料,石质坚硬,粒径大小不等,有时还含有建筑垃圾、工业矿渣、废料、粉煤灰等中的一种或几种,堆积杂乱,层厚变化大,整个场地分选性差,颗粒大小悬殊,土石比例不稳定。

由于山地城市块石抛填土地基情况比较复杂,所以块石抛填场地地基处理与一般场地的处理相比有较大区别,而且范围大,大部分为新的、厚度不等、不规范填筑、成分复杂,该类场地处理的难度大,国内外类似工程可以借鉴的经验很少。处理的关键是采取适宜、经济、可行的加固处理措施,控制沉降达到场地正常使用要求,并作好防排水系统,防止地表水大量下渗加大湿陷沉降,目前除强夯法外,对此经济可行加固处理技术还较少,尤其是既有建筑物的地基加固^[1]。

收稿日期:2011-09-04

基金项目:重庆市教委科学技术研究项目(KJ101414);重庆市建设科技计划项目(城科学2009第77号)

作者简介:董倩(1971-)女,辽宁沈阳人,博士,副教授,从事地基处理技术研究。

灌浆法由于加固效果显著、施工设备简单、施工迅速和工程造价低廉等优点在地基处理中得到广泛应用^[2],但目前采用灌浆法加固山区块石抛填地基的应用技术研究还不深入,其中块石抛填地基灌浆加固技术指标和加固效果是目前科研和工程技术人员最为关注的问题。因此,开展山区块石抛填地基灌浆加固效果评价研究工作,会对山地城市块石抛填地基工程的设计和施工起指导作用。

1 地基机理分析及灌浆参数

块石抛填地基土孔隙较大、渗透性较好,在灌浆压力的作用下,一般只会发生渗透过程,其机理属于渗透灌浆。渗透灌浆时浆液沿着土体孔隙均匀扩散,基本上不改变地层颗粒位置,类似水在其中渗透,因此,浆液在土层中的流变性不仅取决于浆液性质和流速,而且在很大程度上还取决于土层的结构、孔隙连通性、颗粒直径等。根据达西定律。

$$V_i = K_g J_w \quad (1)$$

式中 V_i —渗透速度; K_g —水在土中渗透系数。
 J_w —水力坡度。

$$J_w = -\frac{dh}{dr} = -\frac{dp}{\gamma_g dr} \quad (2)$$

$$V_i = \frac{Q}{A_i} \quad (3)$$

$$K_g = \frac{K_w}{\beta} \quad (4)$$

推导出浆液的渗透公式

$$dP = \frac{Q\beta\gamma_g dr}{A_i K_w} \quad (5)$$

式中 dP —灌浆压力; h —灌浆压差; dr —扩散半径;
 Q —浆液流量; β —浆液粘度水粘度比; γ_g —浆液的容重; A_i —渗透面积; K_w —水在土中渗透系数。

当浆液作渗透扩散时,实际工程中根据灌浆方式不同,浆液扩散形状主要有球面、柱面两种形式。根据总灌浆量 QT 和液扩散范围内的浆液体积 V 相等的关系可确定球面和柱面渗透扩散半径 R 和灌浆时间 T 的相互关系。

$$R = \sqrt{\frac{3K_w h r_0}{\beta n_i}} \quad (6)$$

$$R = \sqrt{\frac{2K_w h T}{\beta n_i \ln \frac{R}{r_0}}} \quad (7)$$

式中 n_i —土体孔隙比; r_0 —灌浆孔半径。

已知灌浆压差 h 和灌浆时间 T 确定扩散半径 R 、已知扩散半径 R 和灌浆压差 h 计算出灌浆时间 T 。以及已知灌浆扩散半径 R 和灌浆时间 T 计算灌浆压差 h 等工程问题^[3-5]。

2 加固效果评价方法探讨

作为灌浆加固地基主要控制技术指标和选择地基处理方案的重要依据,灌浆有效加固范围是加固效果的主要评价指标,是灌浆设计与施工中最为关键的问题之一。实际上,大多数工程中,由于影响灌浆的因素较多,所以上述设计理论计算的扩散半径与实际相差较大,特别是对于块石抛填地基土,理论计算方法多是只能定性,难以定量,因此目前多采用试验检测方法来确定灌浆有效加固范围^[6-8]。

由于灌浆固结体在地层中直接形成,属于隐蔽工程,灌浆质量主要检测内容有^[9-10]:固结体的整体性和均匀性;固结体的有效直径;固结体的垂直度;固结体的强度特性;固结体的溶蚀和耐久性能等。

灌浆加固效果试验检测主要有荷载板、静力触探、标准贯入、动力触探等试验方法。在实际工程中,山区块石抛填地基具有基底起伏变化较大、回填物质复杂、块石较多等特点,使得回填区在水平方向及垂直方向存在极大的不均匀性,而且往往面积较大。因此,采用载荷板试验虽然可靠性高,但时间长、检测工程量大、成本高。动力触探试验测试点间距过大时,容易漏测地基较薄弱部位,且受填料和地基性能影响大,特别块石抛填地基灌浆处理后表层致密,不容易进尺,深层遇到未击碎的块石时,也会遭遇进尺困难问题,只有采用重型或超重型动力触探才具有可行性。可见由于施工工艺参数、土质条件等很多因素都会影响地基加固效果,若单独采用一种检测方法,很难经济、准确地评价,特别是地基处理面积和厚度较大时。目前,瑞利波法作为快速无损检测,具有成本低、效率高、检测点可根据需要随意调节,检测结果直观易懂和可获取总貌等优点,宜作为大面积广泛检测的手段。因此,综合以上三种方法检测评价山区块石抛填地基灌浆加固效果可易获得满意结果。

通过上述灌浆质量 5 项主要检测内容确定灌浆后一定范围内对应的指标增量或承载力、变形等指标均达到设计值,表明该范围以内的土体得

到了有效加固。

鉴于山区块石抛填地基土条件不确定因素多,工程实践中可根据现场情况,先采用瑞雷波法初步掌握地基承载力分布情况、地基均匀性等基本信息,以确定测区内覆盖层分层厚度及灌浆后的效果,为工程施工提供一定的物探依据,然后进行一定数量的荷载板和重型动力触探试验,探明该场地的工程地质特性,获取相关物理力学指标,得到灌浆后地基真实而可靠的结果,进行定量分析,以验证灌浆后是否满足地基承载力设计要求。

3 工程实例

重庆某工程项目占地 $2.78 \times 10^5 \text{ m}^2$, 场地覆盖土层厚度为 0—43 m, 为近 2 年的新近填土, 填料主要由碎石土、素填土及少量生活垃圾组成, 含有一定量的褐色粉质粘土和黄褐色沙土, 块石粒径不均, 回填不均。

在该场地地基处理范围内有一条长约 350 m 的箱涵, 涵洞留设检查井和排气井, 由于土石方回填施工时未形成保护土拱, 为保护箱涵、检查井和排气井不受破坏, 对该部分范围进行灌浆处理, 钻孔总进尺约为 10 000 m, 灌浆总进尺约为 5 200 m。

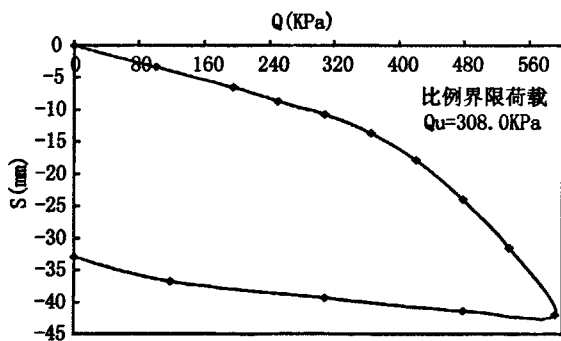


图1 荷载板试验数据

Fig.1 Results of static load experiment

由于该场地全部都是抛填后形成的施工场地, 场地内新填土内存在的大量空隙给施工中的灌浆控制带来困难, 特别是回填料中夹带着大量的块状岩石, 极有可能存在架空现象, 容易造成钻孔施工过程中垮孔, 且在灌浆施工中容易跑浆, 造成吃浆量过大, 加上施工场地内部存在箱涵以及检查井、排气井, 形成了大量的临空面, 若箱涵以及检查井、排气井的密封性能不好, 容易形成跑浆通道, 给定向定量的灌浆控制带来很大困难, 影响

灌浆加固效果。

为确保灌浆加固效果, 满足设计文件对地基的技术要求, 施工过程中对灌浆前灌浆后的地基土体物理力学参数进行测试分析, 主要运用了瞬态瑞雷波探测、静荷载和动力触探试验多种手段, 评价灌浆地基加固的效果。图 1 为荷载板试验曲线, 图 2 为灌浆后瑞雷波深度速度曲线。试验测试结果如下:

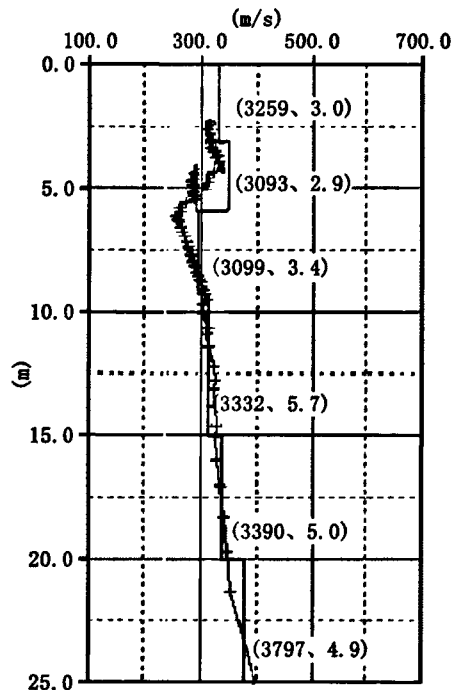


图2 灌浆后瑞雷波深度速度曲线

Fig.2 Rayleigh wave dispersion curves of after grouting

1) 瑞雷波试验: 检测结果表明地基处理后标高 -3 m—-6 m 地基承载力特征值 $\geq 200 \text{ kPa}$, 变形模量 $\geq 15.0 \text{ MPa}$; 标高 -6 m—-9 m 地基承载力特征值 $\geq 150 \text{ kPa}$, 变形模量 $\geq 10.0 \text{ MPa}$ 。据场地设计要求给合规程, 标高 -3 m—-9 m 地基承载力特征值及变形模量满足设计要求。

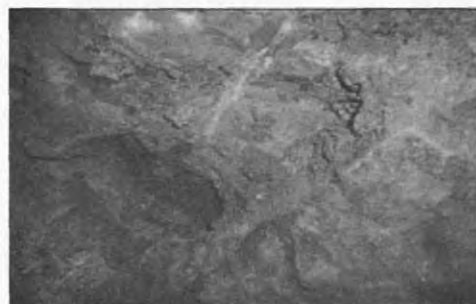
2) 荷载板试验: 该地块的承载力特征值及变形模量满足设计要求: 即地基处理后标高 -1 m—-3 m 地基承载力特征值 $\geq 250 \text{ kPa}$, 地基的变形模量 $\geq 20 \text{ MPa}$ 。

3) 动力触探试验: 灌浆后承载力平均值为 318.0 kPa 。比较试验结果可以看出, 动力触探的试验结果差异较大, 且变化不大, 其主要原因为试验层位块石较多, 且个别粒径偏大, 回填不均所致。

4) 试验性灌浆效果检验: 检验方法为在该试验灌浆孔旁 1.5 m 处开挖探坑至 8 m 观察, 观察结果表明: 5 m 处地基周围空洞基本被水泥砂浆填充密实, 未发现较大空洞。8 m 处地基周围填石空洞绝大部分被水泥砂浆填充密实, 局部存在细小空洞, 孔洞内留有水泥砂浆并将孔洞上下连为一体(见图 3)。



(a) 5 m 处



(a) 8 m 处

图3 灌浆后探坑照片

Fig. 3 Photograph of test boring after grouting

综上所述, 瑞雷波、静荷载、动力触探和试验性灌浆效果检验得出的结论基本一致, 而且工程完工后的长期变形观测资料表明: 建筑基础的平均沉降量 ≤ 200 mm, 筏板基础的整体倾斜 ≤ 0.003 , 说明综合采用瑞雷波、荷载板和重型动力触探试验获得检测结论正确。但值得注意的是虽然动力触探试验结果与静荷载试验结果基本相符, 但由于重型触探试验成果依据规范确定的值偏大, 因此需采用载荷试验标定后来确定, 准确度

较差, 建议承载力主要以荷载板试验结果及瑞雷波波速推算值作为依据。

4 结语

地基灌浆加固效果的评价, 采用单一试验检测评价方法可靠性低、成本高, 只有采用综合检测评价法, 对比分析和综合互补, 得到的评价结论才准确、可靠。对于山区块石抛填地基, 试验检测时, 地基承载力及变形模量是综合评价的判定指标, 瑞雷波、荷载板和动力触探综合检测是经济、适用、有效的评价方法。

参考文献:

- [1] 王铁宏. 全国重大工程项目地基处理工程实录 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 杨米加, 陈明雄, 贺永年. 注浆理论的研究现状及发展方向 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (06): 1234 - 1239.
- [3] 郝哲. 复注及多孔注浆理论研究 [J]. 力学与实践, 2004, 26 (03): 409 - 420.
- [4] NONVEILLER E. Grouting theory and practice [M]. Netherlands: Elsevier Science Publisher B. V., 1989.
- [5] 郑长成. 灌浆压力对裂隙岩体可灌性的影响分析 [J]. 湖南文理学院学报 (自然科学版), 2006, 18 (03): 52 - 56.
- [6] BABAN R, GEYMAYER H. Investigations on grouting of resins into joints and cracks of mass concrete [J]. Rock and Concrete Grouting, 1993 (10): 352 - 360.
- [7] 李立刚. 小浪底高压旋喷灌浆技术及应用实例简述 [J]. 水利水电科技进步, 2002, 22 (2): 89 - 94.
- [8] MULLER R. Equipment for today's grouting technology [J]. Rock and Concrete Grouting, 1993 (10): 1312 - 1324.
- [9] 邹 翀. 盾构隧道同步注浆技术 [J]. 西部探矿工程 2003 (4), 41 - 46.
- [10] 罗 微. 土石坝灌浆技术的理论研究与应用 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.

(责任编辑 刘存英)

作者：[董倩](#)，[况龙川](#)，[孔凡林](#)，[DONG Qian](#)，[KUANG Long-chuan](#)，[KONG Fan-lin](#)
作者单位：[董倩, DONG Qian\(重庆科技学院建筑工程学院, 重庆401331; 重庆市建筑科学研究院, 重庆400020\)](#)，[况龙川, KUANG Long-chuan\(重庆科技学院建筑工程学院, 重庆, 401331\)](#)，[孔凡林, KONG Fan-lin\(重庆市建筑科学研究院, 重庆, 400020\)](#)
刊名：[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) **ISTIC**
英文刊名：[Journal of Hebei University of Engineering\(Natural Science Edition\)](#)
年，卷(期)：2011, 28 (4)

参考文献(10条)

1. [王铁宏](#) [全国重大工程项目地基处理工程实录](#) 2005
2. [杨米加;陈明雄;贺永年](#) [注浆理论的研究现状及发展方向](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2001(06)
3. [郝哲](#) [复注及多孔注浆理论研究](#)[期刊论文]-[力学与实践](#) 2004(03)
4. [NONVEILLER E](#) [Grouting theory and practice](#) 1989
5. [郑长成](#) [灌浆压力对裂隙岩体可灌性的影响分析](#)[期刊论文]-[湖南文理学院学报\(自然科学版\)](#) 2006(03)
6. [BABAN R;GEYMAYER H](#) [Investigations on grouting of resins into joints and cracks of mass concrete](#) 1993(10)
7. [李立刚](#) [小浪底高压旋喷灌浆技术及应用实例简述](#)[期刊论文]-[水利水电科技进展](#) 2002(02)
8. [MULLER R](#) [Equipment for today's grouting technology](#) 1993(10)
9. [邹翀](#) [盾构隧道同步注浆技术](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#) 2003(04)
10. [罗微](#) [土石坝灌浆技术的理论研究与应用](#)[学位论文] 2009

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201104012.aspx