

均匀设计在室内大型注浆试验研究中的应用

杨 坪¹, 陈 安²

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要 介绍了均匀设计试验方法的特点及优越性, 利用试验点在试验范围内的均匀分布, 能大大减少试验次数且获得较好的试验效果。将均匀设计方法引入到注浆试验研究中, 并对试验进行了详细设计, 实践表明, 均匀设计试验法是一种有效、可靠的试验设计方法。

关键词 均匀设计; 试验因素; 试验设计; 注浆

中图分类号: X212.6; TV543 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2006)03-0009-03

Application of Uniform Design in Grouting Experiment/YANG Ping¹, CHEN An² (1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Institute of Geology & Environmental Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: The advantages of uniform design are introduced in this paper. The uniform design seeks experimental points to be uniformly scattered in the experimental domain, which reduce experiment times greatly and get good experiment effect. Grouting experiment was designed by uniform design. It is proved that uniform design was efficient, credible method of experimental design.

Key words: uniform design; experimental factors; experimental design; grouting

1 概况

目前国内外对注浆技术方法的研究远远不能满足实践要求^[1~3], 笔者提出进行室内注浆模拟试验的方法, 以求对注浆技术进行更深入的研究。试验设计方法多种多样, 常用的试验方法有: 正交设计法、回归设计法、神经网络设计法、全面试验法、旋转设计法等, 各有其优缺点, 应该根据不同的试验要求, 选取合理的试验设计方法来指导试验, 以达到预期的目的。本试验采用自制的试验装置(如图 1 所示), 试验箱的外观尺寸为 1670 mm × 1230 mm × 1023 mm, 工作区间 0 ~ 1500 mm × 1220 mm × 1000 mm。每次试验体积约为 1.83 m³, 需要的材料、人力较多, 因此要求选用一种试验次数相对较少、方法可靠的试验设计方法。

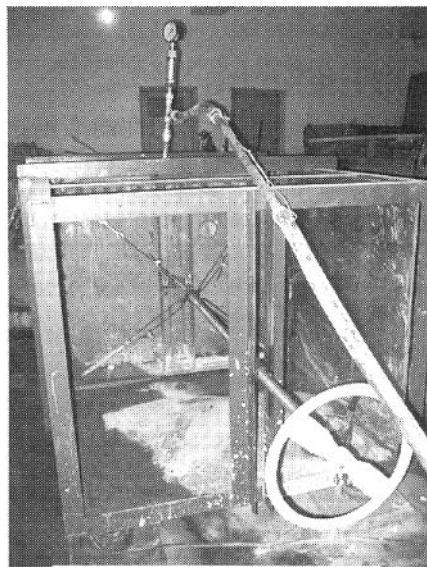


图 1 注浆试验装置

2 均匀设计法

在 20 世纪 70 年代, 我国开始推广正交设计试验法并取得丰硕成果。正交设计试验法是从全面试验中挑选部分试验点进行试验, 它在挑选试验点时有两个特点, 即均匀分散, 整齐可比。均匀分散使试验点具有代表性, 整齐可比便于试验的数据分析。为照顾整齐可比, 试验点就不能充分地均匀分散, 且

试验点的数目比较多, 试验次数随水平数的增加而成平方增加。如果选用正交设计试验法指导本试验, 势必大大增加试验的时间和费用。

1978 年, 我国著名数理统计专家方开泰与数论专家王元提出了一种全新的试验设计方法——均匀设计试验法。这种方法去掉了正交设计的整齐可比

收稿日期 2005-10-09

作者简介: 杨坪(1977-), 男(汉族), 四川泸州人, 同济大学土木工程博士后流动站博士后, 地质工程专业, 从事注浆方面的研究工作, 上海市杨浦区三门路 318 弄 28 号 803 室(200439), 13611665248, csuyangp@163.com; 陈安(1971-), 男(汉族), 河南潢川人, 中南大学博士, 地质工程专业, 从事地基处理方面的研究工作, 中南大学主校区研北 601, 13677399079, csuchenan@126.com。

要求 ,通过提高试验点均匀分散的程度 ,使试验点具有更好的代表性 ,用较少的试验获得较多的信息^[4~7]。

2.1 均匀设计法的特点

- (1)每个因素的每个水平只做一次试验。
- (2)任两个因素的试验点在平面格子点上 ,每行每列有且仅有一个试验点。
- 以上两点的性质反映了试验安排的均衡性 ,即对每个因素 ,每个因素的水平一视同仁。
- (3)均匀设计表任两列组成的试验方案一般并不等价 ,因此 ,每个均匀设计表必须有一个附加的使用表。
- (4)当因素的水平数增加时 ,试验数按水平数的增加在增加。如当水平数从 9 水平增加到 10 水平时 ,试验数 n 也从 9 增加到 10。而正交设计当水平增加时 ,试验数按水平数的平方的比例在增加。当水平数从 9 到 10 时 ,试验数将从 81 增加到 100。由于这个特点 ,使均匀设计更便于使用。
- (5)均匀设计法提供的均匀设计表在选用时有较多的灵活性。

2.2 均匀设计法的优越性

下面以偏差作为度量均匀性的准则 ,将均匀设计与正交设计进行比较 ,见表 1~3。

表 1 试验数相同(因素 $s=3$)时的正交设计与均匀设计的偏差比较表

均匀设计	偏差	正交设计	偏差
$U_8^*(8^8)$	0. 200	$L_8(2^7)$	0. 5781
$U_9(9^5)$	0. 3102	$L_9(3^4)$	0. 4213
$U_{12}^*(12^{10})$	0. 1838	$L_{12}(2^{11})$	0. 5781
$U_{16}^*(16^{12})$	0. 1262	$L_{16}(4^5)$	0. 3301
$U_{25}(25^9)$	0. 1294	$L_{25}(5^6)$	0. 2710

表 2 水平数相同时正交设计与均匀设计的偏差比较表

均匀设计	偏差	正交设计	偏差
$U_6^*(6^2)$	0. 1875	$L_{36}(6^2)$	0. 1597
$U_7(7^2)$	0. 1582	$L_{49}(7^2)$	0. 1378
$U_8^*(8^2)$	0. 1445	$L_{64}(8^2)$	0. 1211
$U_9(9^2)$	0. 1574	$L_{81}(9^2)$	0. 1080

表 3 偏差相似时正交设计与均匀设计试验次数的比较表

均匀设计	偏差	正交设计	偏差	正交法/均匀法 (试验次数)
$U_8^*(8^2)$	0. 1445	$L_{36}(6^2)$	0. 1597	4/5
$U_{10}^*(10^2)$	0. 1125	$L_{49}(7^2)$	0. 1378	4/9
$U_{10}^*(10^2)$	0. 1445	$L_{64}(8^2)$	0. 1211	6/4
$U_{13}^*(13^2)$	0. 0962	$L_{81}(9^2)$	0. 1080	6/2

从表 1 中可明显的看出 ,均匀设计法的均匀性明显地好于正交设计法。从表 2 可以看出 ,当水平

数相同时两者的均匀性相差不大 ,但正交设计为 n^2 时 ,均匀设计试验次数仅为 n 。由表 3 可以看出 ,在偏差相似的情况下 ,均匀设计比正交设计的试验次数少了很多。

3 基于均匀设计的注浆试验设计

3.1 试验因素的确定

在砂卵(砾)石层注浆中 ,影响注浆效果的主要因素有注浆参数(注浆压力 p)、地层特征(孔隙率 q 、渗透系数 k 等)、浆液参数(水灰比 m)等^[8,9]。所以试验的主要因素选取注浆参数(注浆压力 p)、地层特征(孔隙率 q 、渗透系数 k 等)、浆液参数(水灰比 m)3 个因素。

3.2 试验水平的选定

各因素的水平主要根据经验和现有的资料确定。现有的资料表明 ,常用的注浆水灰比为 0. 5~2. 0 ,其范围较大 ,即水平较多。因此 ,水灰比选取 7 个水平。相应的注浆参数和地层特征参数也选 7 个水平。各因素的水平如表 4、表 5 所示。

表 4 第一批试验各因素水平表

水平	因素		
	注浆压力/MPa	水灰比	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0. 04	0. 6	0. 0984
2	0. 08	0. 8	0. 1082
3	0. 12	1. 0	0. 116
4	0. 16	1. 2	0. 141
5	0. 20	1. 4	0. 162
6	0. 24	1. 6	0. 195
7	0. 28	1. 8	0. 234

表 5 第二批试验各因素水平表

水平	因素		
	注浆压力/MPa	水灰比	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0. 06	0. 5	0. 101
2	0. 10	0. 7	0. 112
3	0. 14	0. 9	0. 118
4	0. 18	1. 1	0. 134
5	0. 22	1. 3	0. 165
6	0. 26	1. 5	0. 203
7	0. 30	1. 7	0. 207

3.3 均匀试验表的选取

根据因素的个数及水平数 ,选用均匀设计表见表 6、表 7。

3.4 制定试验方案

根据均匀设计表使用表 ,试验选用均匀设计表 6 的 2、3、4 列 ,试验安排如表 8、表 9 所示。

总计安排试验 14 次 ,分 2 批进行试验。按上述

表 6 均匀设计表

水平	因素			
	因素 1	因素 2	因素 3	因素 4
1	1	3	5	7
2	2	6	2	6
3	3	1	7	5
4	4	4	4	4
5	5	7	1	3
6	6	2	6	2
7	7	5	3	1

表 7 均匀设计表 $U_7^*(7^4)$ 的使用表

s	列号			偏差 D
2	1	3		0. 1582
3	2	3	4	0. 2132

表 8 第一批试验安排表

试验号	试验因素		
	注浆压力/MPa	水灰比	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0. 20	1. 8	0. 116
2	0. 08	1. 6	0. 195
3	0. 28	1. 4	0. 0984
4	0. 16	1. 2	0. 141
5	0. 04	1. 0	0. 234
6	0. 24	0. 8	0. 1082
7	0. 12	0. 6	0. 162

表 9 第二批试验安排表

试验号	试验因素		
	注浆压力/MPa	水灰比	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
8	0. 22	1. 7	0. 118
9	0. 10	1. 5	0. 203
10	0. 30	1. 3	0. 101
11	0. 18	1. 1	0. 134
12	0. 06	0. 9	0. 207
13	0. 26	0. 7	0. 112
14	0. 14	0. 5	0. 165

试验安排进行试验 ,并取得了预期的试验成果。

4 试验数据处理

试验数据用计算机回归处理 ,得到扩散半径与注浆因素间的关系式为 :

$$R = 219. 1838m^{0. 1837}k^{0. 4499}p^{0. 4586} \tag{1}$$

$$b_m = 0. 3925 \quad b_k = 0. 7016 \quad b_p = 1. 4907 \quad r = 0. 49$$

式中 : R ——浆液的扩散半径 ,cm ; m ——水灰比 ;
 k ——渗透系数 ,cm/s ; p ——注浆压力 ,MPa ; b_m 、 b_k 、

b_p ——分别为浆液的扩散半径对水灰比 m 、渗透系数 k 、注浆压力 p 的标准回归系数 ,该系数越大 ,所对应的因素对扩散半径 R 的影响就越大 ; r ——复相关系数。

从式 (1)中可见 ,影响扩散半径最为显著的因素是注浆压力 ,其次是地层的渗透系数 ,浆液的水灰比对浆液的扩散半径影响相对较小。

5 结语

本试验将均匀设计试验法引入到注浆试验研究中 ,使用合适的均匀设计表安排试验 ,试验次数显著减少 ,花较少的时间和人力取得了满意的试验结果。实践表明 ,均匀设计是一种有效、可靠的试验设计方法。

参考文献 :

[1] Littlejohn ,Stuart. The Development of Practice in Permeation and Compensation Grouting a Historical Review (1802 - 2002) Part 1 Permeation Grouting [C]. Geotechnical Special Publication , 2003 ,120 (I) :50 - 99.

[2] Littlejohn ,Stuart. The Development of Practice in Permeation and Compensation Grouting a Historical Review (1802 - 2002) Part 2 Compensation Grouting [C]. Geotechnical Special Publication , 2003 ,120 (I) :100 - 144.

[3] Yang M ,Chen M ,He Y. Current Research State of Grouting Technology and Its Development Direction in Future [J]. Yanshi Lixue Yu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2001 ,20(6) :839 - 841.

[4] Kai tai Fang ,Lin ,D. K. J ,Winker. Uniform Design :Theory and Application [J]. Technometrics , 2000 ,42(3) :237 - 48.

[5] Runze Li ,Lin ,D. K. J ,Yan Chen. Uniform Design :Design , Analysis and Applications [J]. International Journal of Materials & Product Technology , 2004 ,20(1 - 3) :101 - 114.

[6] Yi zeng Liang ,Kai tai Fang ,Qing song Xu. Uniform Design and Its Applications in Chemistry Anal Chemical Engineering [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems , 2001 ,58(1) :43 - 57.

[7] Ming Tang ,Jiukun Li ,Ling Yau. Application of Uniform Design in the Formation of Cement Mixtures [J]. Quality Engineering , 2004 ,16(3) :461 - 474.

[8] Warner ,Jim. Pressure Grouting [J]. Geotechnical News , 2005 ,23(2) :8 - 39.

[9] El Kelesh ,Adel M. ,Matsui ,Tamotsu. Effect of Soil and Grouting Parameters on the Effectiveness of Compaction Grouting [C]. Geotechnical Special Publication , 2003 ,120 (II) :1056 - 1070.