

水泥土的室内试验研究

高亚成

郑建青

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

(浙江省温州市水利水电勘测设计院 温州 325000)

摘 要 为研究水泥搅拌法加固软土的特点和可靠适用性,进行了室内多因素水泥土的试块配比试验.试验结果表明:淤泥质粘土中掺入一定量的水泥搅拌后,土的物化性质得到改善,水泥在原土中的胶凝和骨架作用,加强了土颗粒间的联结性,降低了土的孔隙率和含水量,增大了土的密度,提高了土的抗压强度和抗拉、抗剪能力.研究结果为有效控制和检验水泥土搅拌法对软土地基的加固效果提供了依据.

关键词 水泥土 抗压强度 孔隙率 密度 声波速度

中图号 TQ172.12

江苏南京地区淤泥质粘土地层分布较为广泛.近年来,在多层住宅建设和高等级公路建设中,软土地基的加固处理越显重要.为了探索水泥搅拌法对软土地基处理的适宜性和可靠性,我们结合南京宁马高速公路建设的需要,在室内模拟多因素的水泥土配比试块,进行工程物理力学性能试验研究,同时分析和研究了声波速度与抗压强度的对应关系,为利用应力波检测和评价搅拌桩桩体质量提供了物性依据.现将试验研究成果简述如下:

1 试验方法简介

1.1 水泥加固土的原土特征

水泥加固土的原土取自南京宁马高速公路 A2 标路基地下约 3 m 深处的淤泥质粘土.该层土在天然状态下呈软流塑状并具高压缩性,工程物理力学性质差,是工程建设中需加固处理的淤泥质粘土.

1.2 水泥土试块的制备和养护

在水泥土试块制备的过程中,主要把淤泥质粘土按干容重配制成含水量为 30%,40%,50% 等一系列试验样土.水泥采用 425 # 硅酸盐水泥和 425 # 矿渣水泥,按 5%,8%,10%,12%,15% 水泥掺入比将水泥和土搅拌均匀装入 7.07 cm × 7.07 cm × 7.07 cm 的钢模中均匀捣实抹平,12 h 后脱模装入塑料袋送入保持一定相对湿度的养护室,分空气中养护和水中养护两种方式.以后按 15 d,30 d,60 d,90 d 等龄期分批进行各类试验和波速测试.

1.3 试验仪器和规程

鉴于目前水泥土试验无国家规范,本次试验参照土工试验及混凝土试验规定进行.试验设备:声波测试采用长沙旭华仪器仪表厂的 CE—9201 型声波仪.抗压、抗剪、抗拉试验采用自制设备.

2 水泥土的试验成果及分析

2.1 水泥土的物理性质

2.1.1 水泥土的含水量(w)

原土搅拌水泥后经过水泥的水解、水化作用和硬结析水作用,水泥土的含水量较原土含水量有所降低.一般地讲,水泥土的含水量随水泥掺入量增加而降低(图 1).试验还表明,不同的搅拌方式及养护条件对含水量的降低程度会有所不同.

2.1.1.2 水泥土的孔隙率(n)

孔隙率为水泥土的孔隙体积与总体积之比. 孔隙率的大小主要反映了水泥土的致密程度. 孔隙率的大小受水泥掺入比和原土含水量的影响, 掺入比高, 水泥水化物充填量大, 孔隙率就小(图 2).

2.1.1.3 水泥土的干密度(ρ_d)

水泥搅拌在软土中经过理化反应的生成物充填原土原生孔隙, 不但起到减小孔隙的作用, 而且也起到了提高密度的作用(图 2). 不同掺入比的水泥土相比较, 密度增大范围在 0.05 ~ 0.15 g/cm³ 之间, 比原土密度增大 0.3 ~ 0.6 g/cm³. 图 3 中还反映出了密度与孔隙率之间的负相关关系. 当水泥掺入量一定时, 随着含水量的增加, 孔隙率增大, 干密度减小; 反之, 当含水量不变时, 水泥掺入量增加, 孔隙度减小, 干密度增大(图 2).

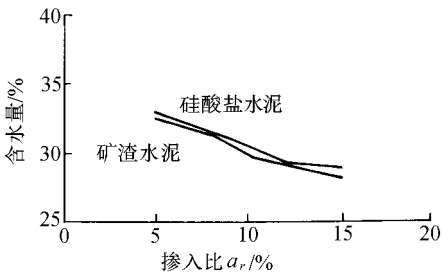


图 1 水泥掺入比 a_r 与加固土含水量 w 的关系

Fig.1 The relation between moisture content and cement ratio

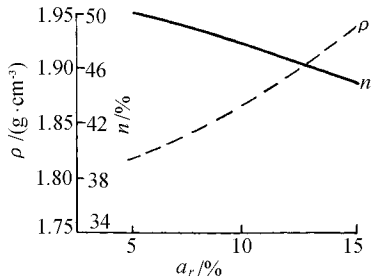


图 2 水泥掺入比 a_r 与加固土干密度 ρ_d 、孔隙率 n 的关系

Fig.2 The relation of soil dry density, porosity and cement ratio

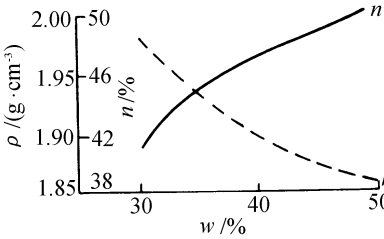


图 3 软土含水量 a_r 与加固土孔隙率 ρ_d 、干密度 n 的关系

Fig.3 The relation of soft soil moisture content, porosity and dry density of reinforced soil

2.1.1.4 水泥土的声波传播规律

声波在水泥土中的传播速度(V_p)的大小不但取决于动弹模、密度、泊松比以及水泥土的结构、孔隙度、介质成分等因素的变化, 而且受水泥的掺入比、原土含水量以及龄期时间影响甚大(图 4). 本次试验表明, 波速与抗压强度之间具有良好的幂函数对应关系(图 5). 其数学回归方程式为

$$V_p = 1490R^{0.26}$$

相关系数为 0.932.

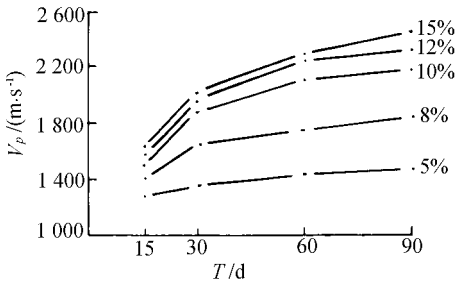


图 4 不同水泥掺入比情况下水泥土龄期与波速 V_p 的关系

Fig.4 Acoustic velocity VS cement soil age under different cement ratios

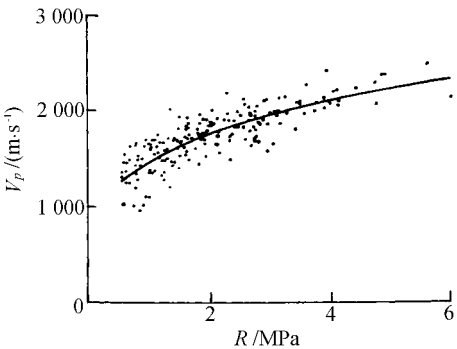


图 5 水泥土抗压强度 R 与声波波速 V_p 的关系

Fig.5 Acoustic velocity VS compressive strength of cement soil

2.2 水泥土的力学性质

2.2.1 水泥土的抗压强度

a. 本次共完成 212 组 616 块水泥土的抗压强度试验. 试验结果表明, 水泥土的抗压强度在 0.56 ~ 6.04

MPa 之间,比天然原土的抗压强度大 30~60 倍,但水泥土的抗压强度要受到多种因素的相互制约和影响.

b. 影响水泥土强度的因素. (a) 水泥类型 选用 425 # 普通硅酸盐水泥和矿渣水泥在同等条件下比较试验发现,矿渣水泥土试验强度要高于硅酸盐水泥土试块的强度约 10%~15% (图 6). (b) 水泥土龄期^[1] 水泥土强度随龄期增长的趋势 (图 7),一般 30 d 前强度增加约为 90 d 龄期强度的 45%~60%,30~90 d 中强度增加仍较大,到 90 d 龄期之后强度还有缓慢增加的趋势. 因此,水泥土的强度的增加,其养护期是较长的. (c) 水泥掺入量 水泥土强度随水泥掺入比的变化 (见图 8),当原土含水量不变时,抗压强度随水泥掺入量的增加而增加,室内试验中当水泥量从 5% 提高到 15% 时,掺入比增长 3 倍,90 d 的水泥土抗压强度约增加 6~8 倍. 另一方面,从图 7 中也可以发现,水泥掺入比 < 8% 时,水泥在原土中难以形成石化骨架,抗压强度低,加固效果差. (d) 水泥土含水量 室内试验表明,水泥土的掺入量不变时,原土含水量高则抗压强度低 (图 9). 原土含水量每增加 10%,强度约降低 15%. 因此,实际工程中遇到含水量较高的软土应及时调正水泥掺入量,以保证工程质量. (e) 水泥土养护条件^[2] 室内试验中清水养护的试块强度均低于空气中养护的试块强度 (图 10). 实际的工程中旁侧原土体的含水量会形成水压差自动补给加固体,因此水泥土的强度应接近清水养护条件的试块强度.

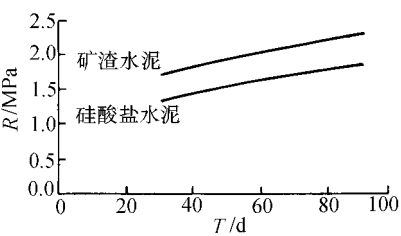


图 6 不同水泥种类对加固土的影响

Fig. 6 Influence of cement types on reinforced soil

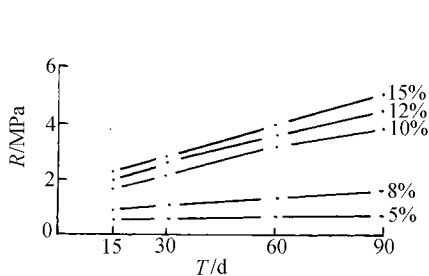


图 7 不同水泥掺入比情况下加固土龄期 T 与强度 R 的关系

Fig. 7 The relation of strength and age of reinforced soil under different cement ratios

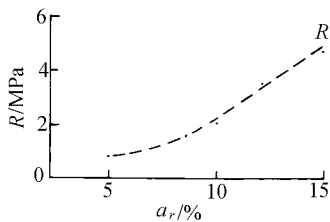


图 8 水泥掺入比 a_r 与强度 R 的关系

Fig. 8 The relation of strength and cement ratio

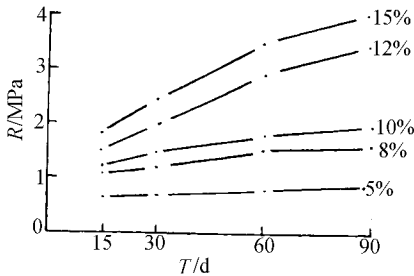


图 9 软土含水量 W 与强度 R 的关系

Fig. 9 Strength VS moisture content of soft soil

2.2.2 水泥土的抗拉强度

水泥土的抗拉强度规律及其影响因素与抗压强度一致,抗拉强度随水泥土抗压强度的增加而增加. 本次试验抗拉强度最小值为 0.06 MPa,最大值为 0.35 MPa,抗拉强度为抗压强度的 8%~16%,一般为 14%.

2.2.3 水泥土的抗剪强度

水泥土的抗剪 (直剪) 试验 :当试块龄期为 90 d,水泥掺入比 10%~15%、含水量为 35%~50% 时,所得到的粘聚力从 0.31~0.97 MPa,内摩擦角为 11.3°~37.2°,抗剪强度一般为抗压强度的 17%,而原状土粘聚力从 0.008~0.092 MPa,内摩擦角为 5°~23°.

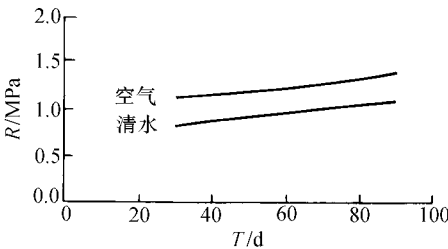


图 10 不同养护条件对加固土影响

Fig. 10 Influence of different conditions on reinforced soil

3 结 论

- a. 室内水泥土配比试验结果表明,南京地区淤泥质粘土掺入一定量的水泥搅拌后土性和抗压、抗拉、抗剪强度得到改善,复合地基承载力明显提高.
- b. 水泥在原土中起到了胶凝和骨架作用,加强了土颗粒之间的联结性,降低了孔隙率和原土含水量,密度比原土密度提高 $0.3 \sim 0.6 \text{ g/cm}^3$.
- c. 声波速度与抗压强度之间存在着良好的对应关系,这就为应力波法检测和评价搅拌桩桩体质量提供了物性依据.
- d. 水泥土的强度要比原土强度高数十倍,但它受到水泥掺入比、原土含水量、龄期等因素的制约和影响.工程设计施工中含水量在 $35\% \sim 50\%$ 之间的淤泥质粘土,水泥掺入比在 $10\% \sim 15\%$ 之间有良好加固效果.
- e. 水泥土的抗拉强度和抗剪强度规律及其影响因素与抗压强度一致.抗拉强度一般为抗压强度的 14% ,抗剪强度一般为抗压强度的 17% .

参 考 文 献

1 张登良.加固土原理.北京:人民交通出版社,1990.15~60

2 李作勤.粉喷桩-复合地基的一些问题.见:刘明贵主编.基桩与场地检测技术论文集.武汉:湖北科学技术出版社,1995.212~222

Laboratory Experimental Research on Cement Soil

Gao Yacheng

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Zhen Jianqing

(Zhejiang Wenzhou Water Resource and Water Power Survey and Design Research Institute, Wenzhou 325000)

Abstract Based on laboratory tests of cement soil grading, the property of soft soil reinforced by use of the mixing method is revealed in this paper. The test results are ①The soil property will be improved when mixed with cement in mucky soil ;②The cement plays a role of gelation and skeletal texture in undisturbed soil ;③The connection between soil particles will be strengthened ;④The moisture content and porosity will be reduced ;⑤The compressive, tesile and shear strength will be improved. The results can be used for checking and controlling the effect of softsoil foundation improvement with cement mixing method.

Key words cement soil ;compressive strength ;porosity ;density ;acoustic velocity