

文章编号:1007-6492(1999)04-0078-04

## 新型土壤稳固剂处治稳定土的试验研究

王 鹏,王复明,李 强,谷胜利

(郑州工业大学水利与环境工程学院,河南 郑州 450002)

**摘 要:**为改善传统路面基层材料的不足,寻求一种技术经济合理,使用性能好的新型材料作路面基层,通过室内试验,测试了 ISS、LE-3001、LPC-600 3种液体土壤稳固剂稳定土的7天浸水抗压强度,并做了石灰土对比试验.结果表明,掺加少量石灰,能使液体土壤稳固剂稳定土的强度得到显著提高,对减少石灰剂量,提高基层强度,减薄基层厚度有着明显的意义.为液体土壤稳固剂的推广应用提供了科学依据.

**关键词:**土壤稳固剂;石灰土;抗压强度;半刚性基层

**中图分类号:** U 414.03 **文献标识码:** A

### 0 引言

路面基层是柔性路面和半刚性路面的主要承重层,基层的质量直接影响路面的使用性能和使用寿命,故基层应有足够的强度和稳定性.早期的路面强度是依靠各种碎、砾石本身的强度以及它们之间相互嵌挤的作用力得以保证的.但随着车载质量和轴载的增加及交通量的增大,对路面的承载能力要求越来越高,加之优质石料的料源日益减少,取而代之的是采用水硬性结合料稳定土处治层作基层来满足路面的强度和稳定性.通常采用的水硬性结合料为石灰、水泥、粉煤灰以及各种工业废渣.在大量的使用和实践过程中,人们发现采用水泥稳定土的基层一般能满足强度要求,但要严格控制粒料的级配,同时造价较高;而采用石灰稳定土,其抗拉强度又较低,抗冲刷能力、冰冻稳定性较差,收缩性较大,在过分潮湿情况下难于成型和发展高强度;石灰工业废渣稳定土也存

在干缩和温缩系数大的问题<sup>[1,2]</sup>.除此之外,它们在施工过程中都存在灰尘较大,空气污染严重,施工工期长等弱点.因此,提出技术经济合理,使用性能好的材料作基层受到广泛重视.国内一些机构纷纷从国外引进各种不同类型的土壤稳固剂,并进行着大量的探索和研究.本文着重对3种液体土壤稳固剂——ISS、LPC-600、LE-3001进行抗压强度的试验研究.

### 1 原材料性质

#### 1.1 3种土壤稳固剂的性质

传统的土壤稳固剂多为固态,如石灰、水泥以及各种工业废渣等.而这3种新型的土壤稳固剂都是液态的,其中ISS-2500已在全世界50多个国家广泛应用,而LE-3001、LPC-600也在美国、欧洲、加拿大、北美等国家得到应用.这3种土壤稳固剂在应用时对土质都有一定的要求,其物理性质列于表1.

表1 土壤稳固剂的物理性质

| 稳固剂名称    | 状态 | 颜色  | 毒性 | 可溶性   | 使用时稀释比      | 每立方米土体施用剂量/(L/m <sup>3</sup> ) | 适用范围            |
|----------|----|-----|----|-------|-------------|--------------------------------|-----------------|
| ISS-2500 | 液体 | 黑色  | 无  | 无限溶于水 | 不限          | 0.2                            | pH值不限的土壤        |
| LE-3001  | 液体 | 粉红色 | 无  | 无限溶于水 | 1:(30~50)   | 0.3~0.8                        | pH值不限的土壤        |
| LPC-600  | 液体 | 棕黑色 | 无  | 无限溶于水 | 1:(200~400) | 0.21                           | pH值小于7.0~7.5的土壤 |

#### 1.2 土样概况

现从漯河地区取得两种土样,给土样编号为

1<sup>#</sup>土和2<sup>#</sup>土.先进行物性实验,取得土的液、塑限及塑性指数,并通过颗粒分析确定两种土样的

收稿日期:1999-07-01;修订日期:1999-09-10

基金项目:河南省科技攻关项目(968010400)

作者简介:王 鹏(1973-),女,河南省洛阳市人,郑州工业大学硕士研究生.

粘土含量,测得的结果列于表2和表3。

表2 土样的物性指数

| 土样号            | 液限指数 | 塑限指数 | 塑性指数 |
|----------------|------|------|------|
| 1 <sup>#</sup> | 30.0 | 17.8 | 12.2 |
| 2 <sup>#</sup> | 34.0 | 19.0 | 15.0 |

表3 土样的粘土含量 %

| 土样号            | 颗粒直径/mm |        |        |
|----------------|---------|--------|--------|
|                | ≤0.074  | ≤0.005 | ≤0.002 |
| 1 <sup>#</sup> | 89      | 21     | 9.5    |
| 2 <sup>#</sup> | 89      | 30     | 9      |

根据规范<sup>[3]</sup>,在最佳含水量下制作抗压试件,需要通过击实试验先确定两种土样的最佳含水量和最大干体积质量,为和传统的12%石灰土强度作比较,同时测试出掺加12%石灰粉的石灰稳定土的最佳含水量和最大干容重。击实试验的结果列于表4。

表4 土样击实试验测试结果

| 土样号                     | 最大干体积质量/(g/cm <sup>3</sup> ) | 最佳含水量/% |
|-------------------------|------------------------------|---------|
| 1 <sup>#</sup>          | 1.79                         | 15.5    |
| 2 <sup>#</sup>          | 1.76                         | 17.0    |
| 2 <sup>#</sup> 石灰土(12%) | 1.61                         | 21      |

2 土壤稳固剂的作用机理

2.1 ISS-2500 离子土壤稳固剂作用机理

ISS-2500 土壤稳固剂主要是利用电化原理将土粒表面的吸附水分置换成为自由水,从而使土粒表面失去对水的静电吸附力,在最佳含水量时压实,可使土壤密实度大大提高,土壤不再吸收水分,故可避免因土膨胀及缩水而导致的路面损毁现象的出现。而且一旦ISS与土发生电化反应,就是永久性的,不可逆转的,使土壤中的稳定剂不再被水溶走。

2.2 LPC-600 和 LE-3001 作用机理

LPC-600 和 LE-3001 是以化学作用方式和

粘土或石灰、水泥等材料的颗粒表面上的带离子发生反应,消除掉颗粒表面的电荷以及这些电荷造成的吸附水层,并将土壤由亲水性变为憎水性,遇水时便不会发生塑软及膨胀,从而保持了稳定土良好的承载强度、结构状态以及水稳定性。另外,反应生成物在凝固前呈胶体状,能在土壤压实时起润滑作用,使土壤更容易被充分压实,提高压实效果;在凝结过程中,反应生成物又可逐渐占据土壤中的剩余空隙,排斥掉其中的水分和空气,不但可以使土壤稳固层的空隙率降低,避免毛细现象,提高稳固层的冰冻稳定性。而且还可使土壤稳固层的密实度及抗渗性大大提高,并使土体抗拉、抗弯能力得到改善和提高。再者,颗粒间凝结物是胶状物,允许相邻颗粒间产生一定量的角度位移和扭动(相当于铰的作用),而不至于破断,这使得土体具有一定的柔性和随变能力,可以吸收由于温差而形成的微量膨胀和收缩变形,从而使土体具有良好的温度稳定性。

3 试验方案

针对ISS-2500、LPC-600、LE-3001 3种土壤稳固剂7天浸水抗压强度的试验研究,先后做了2组试验。第一组试验制作的试件情况列于表5,旨在就同一种土样对3种土壤稳固剂稳定土与石灰土的7天浸水抗压强度进行比较,另外考察3种土壤稳固剂对不同土质的适用情况。第二组试验是在第一组试验的基础上,进一步研究LE-3001和ISS-2500的特性及剂量。第二组试验制作的试件情况列于表6。

试验时按照规范的要求<sup>[3]</sup>,对同一种稳定土至少制6个试件,试件从试模内脱出后,立即放到密封湿气箱和恒温室内进行保湿养生,养生6天,第7天将试件浸泡在水中,24小时后从水中取出,拭去试件表面自由水,然后测定其抗压强度。

表5 第一组试验的试件情况

| 土样             | 稳定土类型   | 试件组号 | 7天抗压试件/个 | 配比                                |
|----------------|---------|------|----------|-----------------------------------|
| 1 <sup>#</sup> | ISS     | J    | 6        | ISS 剂量为 0.2L/m <sup>3</sup>       |
|                | LPC-600 | I    | 6        | 掺加 4% 石灰,剂量为 0.21L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | H    | 6        | LE-3001 剂量为 0.8L/m <sup>3</sup>   |
| 2 <sup>#</sup> | 石灰土     | C    | 6        | 掺加 12% 石灰                         |
|                | ISS     | D    | 6        | ISS 剂量为 0.2L/m <sup>3</sup>       |
|                | LPC-600 | A    | 6        | 掺加 4% 石灰,剂量为 0.21L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | B    | 6        | LE-3001 剂量为 0.8L/m <sup>3</sup>   |

表 6 第二组试验的试件情况

| 土样             | 稳定土类型   | 试件组号 | 7 天抗压试件/个 | 配比                             |
|----------------|---------|------|-----------|--------------------------------|
| 1 <sup>#</sup> | ISS     | R    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.2 L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | S    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.3 L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | T    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.8 L/m <sup>3</sup> |
| 2 <sup>#</sup> | ISS     | K    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.2 L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | L    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.3 L/m <sup>3</sup> |
|                | LE-3001 | M    | 6         | 掺加 4% 石灰, 0.8 L/m <sup>3</sup> |
|                | 石灰土     | N    | 6         | 掺加 12% 石灰                      |

根据第一组的试验方案制作试件, 其抗压强度的测试结果列于表 7.

4 试验结果与分析

4.1 第一组试验的结果与分析

表 7 第一组试验结果

| 土样号            | 试件组号 | 7 天浸水抗压强度/MPa | 强度偏差系数/% | 吸水量/% | 试件描述  |
|----------------|------|---------------|----------|-------|---|
| 1 <sup>#</sup> | I    | 0.59          | 12.3     | 2.18  | 第 7 天饱水时情况较好, 在养生期间质量有增有减, 入水即冒水泡, 养生期间质量有所减少.  |
|                | J    |               |          |       | 养生期间面上长白毛, 养生后质量稍微有所减少.                         |
|                | H    |               |          |       | 7 天养生浸水后情况较好, 在养生期间质量略有损失.                      |
| 2 <sup>#</sup> | A    | 0.72          | 8.3      | 1.17  | 养生期间面上长白毛, 浸水后由于吸水, 面上出现开裂、散解, 土体强度遭到破坏, 但土体尚存. |
|                | B    |               |          |       | 养生期间质量略有损失, 7 天养生浸水后情况较好.                       |
|                | C    |               |          |       | 养生期间质量反而略有增长, 整体虽存在, 但试件已无强度. 养生期间试件质量有所增加.     |
|                | D    |               |          |       |   |

由试验结果可以得出:

(1) 在第 7 天对抗压试件饱水时发现, 凡掺加石灰土的试件, 土的整体强度和水稳定性都较好, 反之, 未掺加石灰土的试件, 有的入水后即发生开裂、散解; 有的浸水 24 小时后, 整体虽存在, 但试件已无强度.

(2) 采用 LE-3001 稳固的土样试件, 在养生期间均出现质量稍有减少的现象, 表现出稳固剂的斥水性, 使土体内的结合水稍有排出.

(3) 7 天饱水抗压强度测试结果表明, 采用 LPC-600 稳固的试件较石灰土处治的试件强度提高近 30%, 2<sup>#</sup>土较 1<sup>#</sup>土粘性大, 结果表明土的粘性越大, 强度提高得越多.

4.2 第二组试验的结果与分析

鉴于第一组试验的结果, 给 LE-3001 和 ISS 稳定土中也掺加少量辅剂——4% 的石灰, 试验结果列于表 8.

表 8 第二组试验结果

| 土样号            | 试件组号 | 7 天浸水抗压强度/MPa | 强度偏差系数/% | 吸水量/% | 试件描述                  |
|----------------|------|---------------|----------|-------|-----------------------|
| 1 <sup>#</sup> | R    | 1.45          | 11.75    | 1.31  | 养生期间质量略有减少, 且比较均匀一致.  |
|                | S    | 1.85          | 10.44    | 0.88  | 养生期间质量略有减少.           |
|                | T    | 1.83          | 13.22    | 1.33  | 养生期间质量稍微有增有减, 但变化量很小. |
| 2 <sup>#</sup> | K    | 1.58          | 10.97    | 1.19  | 养生期间质量略有减少.           |
|                | L    | 1.55          | 10.86    | 0.74  | 养生期间质量稍微有增有减, 但变化量很小. |
|                | M    | 2.04          | 11.15    | 1.14  | 养生期间质量稍微有增有减, 但变化量很小. |
|                | N    | 1.19          | 6.09     | 1.09  | 养生期间质量略有减少.           |
|                |      |               |          |       |                       |

由以上试验结果可以看出:

(1) 掺加 4% 石灰后的土样, 无论是经 ISS 处治还是经 LE-3001 处治, 在第 7 天经 24 小时浸水后, 其水稳定性都很好, 不再出现开裂和散解.

(2) 掺加 4% 石灰后的土样, 无论是经 ISS 处

治还是经 LE-3001 处治, 第 7 天饱水抗压强度都得到很大的提高. 其中 2<sup>#</sup>土经 ISS 处治后强度均值为 1.58 MPa, 经 LE-3001 处治后强度均值达到 2.04 MPa, 而经 12% 石灰处治后强度的均值为 1.19 MPa. 显然, 经 ISS 处治后强度较石灰处治后

强度提高了32.8%,经LE-3001处治后强度较石灰处治后强度提高了71.4%。同样对1#土,经ISS和LE-3001处治后,强度也有很大提高,但由于它不及2#土粘性大,所以提高不如2#土大。

(3)对1#和2#土变换LE-3001的掺加剂量进行实验,结果表明:对2#土采用不同剂量时,影响很大。剂量取用 $0.3\text{ L/m}^3$ 时,试件7天饱水抗压强度均值为 $1.55\text{ MPa}$ ;而剂量取用 $0.8\text{ L/m}^3$ 时,试件7天饱水抗压强度均值达到 $2.04\text{ MPa}$ 。而对1#土来讲,采用不同剂量,影响不是很大。剂量取用 $0.3\text{ L/m}^3$ 时,试件7天饱水抗压强度均值为 $1.85\text{ MPa}$ ;而剂量取用 $0.8\text{ L/m}^3$ 时,试件7天饱水抗压强度均值达到 $1.83\text{ MPa}$ 。本文分析认为,这与土的粘性有很大关系。当粘性大时(如2#土),如果添加的LE-3001剂量小,不足以和土中的粘粒充分反应,故强度提高不大。对1#土来讲,本身

粘土含量不是很高,取用 $0.3\text{ L/m}^3$ 的剂量,就足以充分反应,再增加剂量意义也不大。

## 5 结论

根据试验结果和分析可知,采用少量液体土壤稳固剂稳定粘性土,可以大大提高稳定土的强度。若采用这样的稳定土做路面的底基层或基层,可以达到足够的强度要求,这对减少石灰的剂量,提高路面基层的强度有着明显的意义。

## 参考文献:

- [1] 沙庆林.高等级公路半刚性基层沥青路面[M].北京:人民交通出版社,1998.1-29.
- [2] 方福森.路面工程[M].北京:人民交通出版社,1989.7-9.
- [3] JTJ 057-94,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].

## Experimental Research on Compressive Strength of Stabilized Soil Treated by Liquid Soil Stabilizer

WANG Peng, WANG Fu-ming, LI Qiang, GU Sheng-li

(College of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** This paper aims to seek a new economically feasible base course material that performs well. Based on the experiments in laboratory, 7 days soaked compressive strength of soil treated by three kinds of liquid soil stabilizer (ISS, LE-3001, LPC-600) is tested. Comparison with the lime stabilized soil, the conclusion that these three kinds of liquid soil stabilizer, mixed with a little lime, can improve the compressive strength of soil is drawn. It can serve to reduce the dosage of lime, improve the strength of base and lessen the thickness of base-course. It also provides the scientific basis for the popularization and application of liquid soil stabilizer.

**Key words:** soil stabilizer; lime stabilized soil; compressive strength; semi-rigid base-course