

二灰砂砾振动压实参数

李炜光, 申爱琴, 张玉斌

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:通过振动压实试验,分析了振动频率、激振力、静面压力等参数对二灰砂砾压实效果的影响;在确定的最佳振动配置条件下,研究了振动时间、含水质量分数对振动压实效果的影响。通过对比测试静力压实与振动压实方法成型的二灰砂砾试件强度,发现振动法成型的二灰砂砾结合料质量分数不宜超过 15%,否则会出现明显的流浆现象,并且早期强度衰减较大,最大干密度也随之降低;但是,二灰砂砾后期强度有明显提高,表明振动法能够用于成型二灰砂砾骨架密实结构。

关键词:道路工程;二灰砂砾;振动压实;振动频率;激振力;静面压力

中图分类号:U414 **文献标志码:**A

Vibrating-compaction parameters of lime-fly-ash sand-gravel

LI Wei-guang, SHEN Ai-qin, ZHANG Yu-bin

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Through the vibrating-compaction test, the influence of vibrating frequency, vibrating force, and still pressure on the compaction results of lime-fly-ash sand-gravel was analyzed. Under the optimum vibrating condition, the effect of vibrating time and the water content in the lime-fly-ash sand-gravel on the compaction results was studied. The strengths of the test piece made by still-compaction and vibrating-compaction were measured. It was found that the mass content of lime-fly-ash in the vibrating compaction sand-gravel should not be over 15%; the initial strength of the vibrating-compaction sand-gravel decreases greatly with time; its max dry-density also decreases with time; but its later strength increases greatly. The results show that the vibrating compaction can be used to compact the lime-fly-ash sand-gravel. 10 tabs, 5 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; lime-fly-ash sand-gravel; vibrating-compaction; vibrating frequency; vibrating force; still-pressure

0 引言

随着振动压路机^[1]在公路建设中的普及,对目前普遍采用击实法确定二灰砂砾物理指标的方法提出了质疑^[2]。众所周知,击实法是通过施加冲击荷载对材料进行压实,与现场静力压路机对材料产生

的压实效果基本相似;但振动压路机是通过高频振动使材料液化导致密实^[3-4],显然与击实试验依据的原理不同^[5],而实际碾压过程中压实度的保证主要依靠振动压路机碾压获得^[6]。此时,通过室内击实试验模拟现场的振动压实,测定的最大干密度和最佳含水质量分数,显然与振动压实下所能达到的指

收稿日期:2006-09-13

基金项目:交通部 2000 年公路工程建设标准、规范、定额等编制、修订项目

作者简介:李炜光(1971-),男,山西黎城人,副教授,博士,E-mail:lwg9055@163.com。

标存在较大差异。目前,为提高半刚性材料的抗裂性能以及抗冲刷性能,对粗集料质量分数的规定越来越高^[7-8],采用击实方法确定物理指标时,石料破碎率较高,影响测试结果;但在实际应用时,振动压实中骨料实际破碎率并不高。为此,本文针对二灰砂砾的振动压实进行了研究,在大量研究基础上确定了二灰砂砾振动参数。

1 研究方案

试验中所用砂砾均采用河南平顶山地区的天然砂砾,粉煤灰使用西安灞桥电厂的二级粉煤灰,石灰采用陕西富平地区钙质一级灰,原材料物理指标见

表 1。为了研究静面压力、偏心块交角、振动频率等振动参数对二灰砂砾振动压实效果的单因素影响规律,采用相同的含水质量分数,该值采用的是重型击实试验得到的最佳含水质量分数。并且在振动参数调试过程中,砂砾级配均对应规范中值级配^[3],试验中所用砂砾级配如表 2 所示。

表 1 原材料技术指标

| 试样名称 | 检测项目 | | | | 备注 |
|------|------|---------------------|----------|-------|-----------|
| | 细度/% | 钙、镁质量分数/% | 含泥质量分数/% | 针片状/% | |
| 粉煤灰 | 18 | | | | 二级粉煤灰 |
| 石灰 | | CaO(68.4), MgO(1.9) | | | 一级钙质灰 |
| 砂砾 | | | 5.5 | 15.3 | 压碎值 18.3% |

表 2 研究振动参数的砂砾级配方案

| 项目 | 通过率 | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 筛孔尺寸/mm | 37.50 | 31.50 | 19.00 | 9.50 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.60 | 0.075 |
| 规范中值级配/% | 100 | 92.5 | 75.0 | 60.0 | 45.0 | 35.0 | 26.0 | 18.5 | 7.5 |
| 设计最佳级配/% | 100 | 75.0 | 60.0 | 43.0 | 30.0 | 25.0 | 17.0 | 11.0 | 0 |

在振动压实试验中,需要研究静面压力、偏心块交角、振动频率等振动参数对压实效果的影响,同时找到最佳的振动参数组合,最终提出合适的二灰砂砾振动压实条件。所有的试验均采用干密度作为压实效果评价指标,振动压实的试件圆柱形尺寸为 $\Phi 15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 。

2 室内试验

2.1 试验仪器

试验设备采用长安大学自行研制加工的振动成

型压实机。振动器通过内部偏心块高速旋转产生正弦变化的激振力,激振力的大小与振动频率、偏心块的角度和配重有关,可以通过调整 3 个参数的关系来调整激振力。两偏心块之间夹角在 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间,可以 30° 为间隔进行调整。

2.2 振动参数的影响

2.2.1 频率对压实效果的影响

试验采用配重为上车配重 3 块、下车配重 6 块(简称 S3X6),偏心块夹角 60° ,试验结果如表 3 和图 1 所示。

表 3 不同频率时的振动效果

| 频率/Hz | 25 | 28 | 30 | 35 |
|---------------------------------------|---------|---------------------|------------------|----------------------|
| 干密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | 1.871 | 1.938 | 1.930 | 1.954 |
| 仪器运行状态 | 无振动跳起现象 | 大约 2~4 min 出现振动跳起现象 | 10~30 s 出现振动跳起现象 | 振动开始后不久,压头开始剧烈冲击试件表面 |

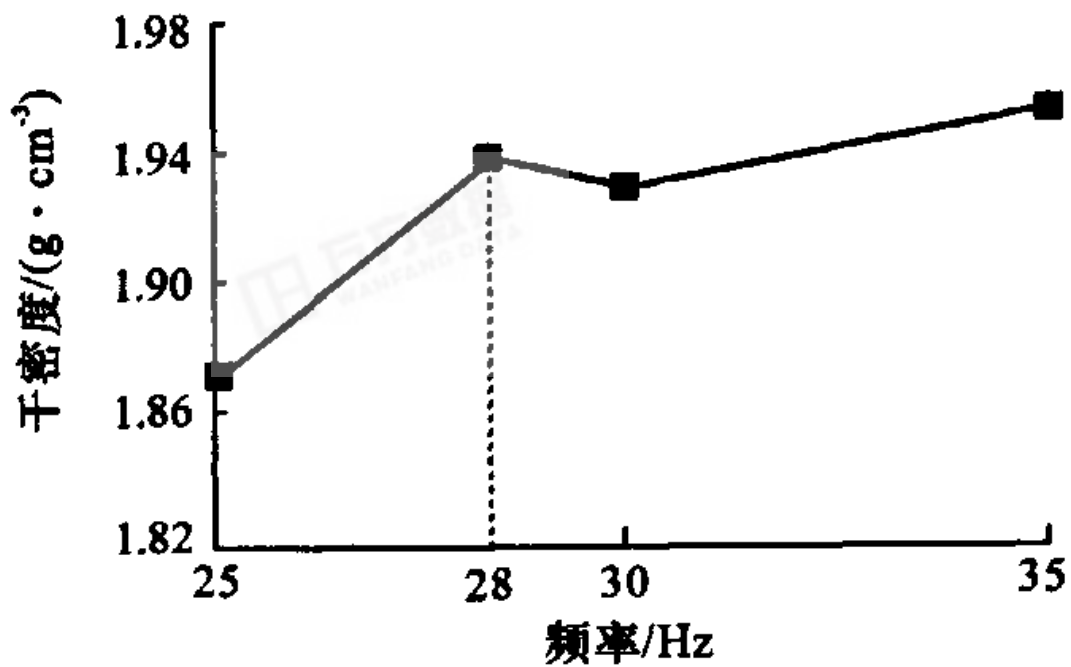


图 1 频率改变对振动压实效果的影响

从表 3 和图 1 可以看出,28 Hz 时振动压实效果比较明显,故二灰砂砾振动频率采用 28 Hz。

2.2.2 激振力对压实效果的影响

激振力是压实效果的一个重要因素,激振力太高或太低都不能达到较好的振实效果。由于偏心块

夹角可以调整激振力,所以可用调整偏心块的夹角来找到合适的激振力。该试验采用频率为 28 Hz,配重为 S3X6,试验数据如表 4 和图 2 所示。

表 4 激振力对压实效果的影响

| 偏心块夹角/($^{\circ}$) | 120 | 90 | 60 | 30 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 干密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) | 1.924 | 1.954 | 1.970 | 1.970 |

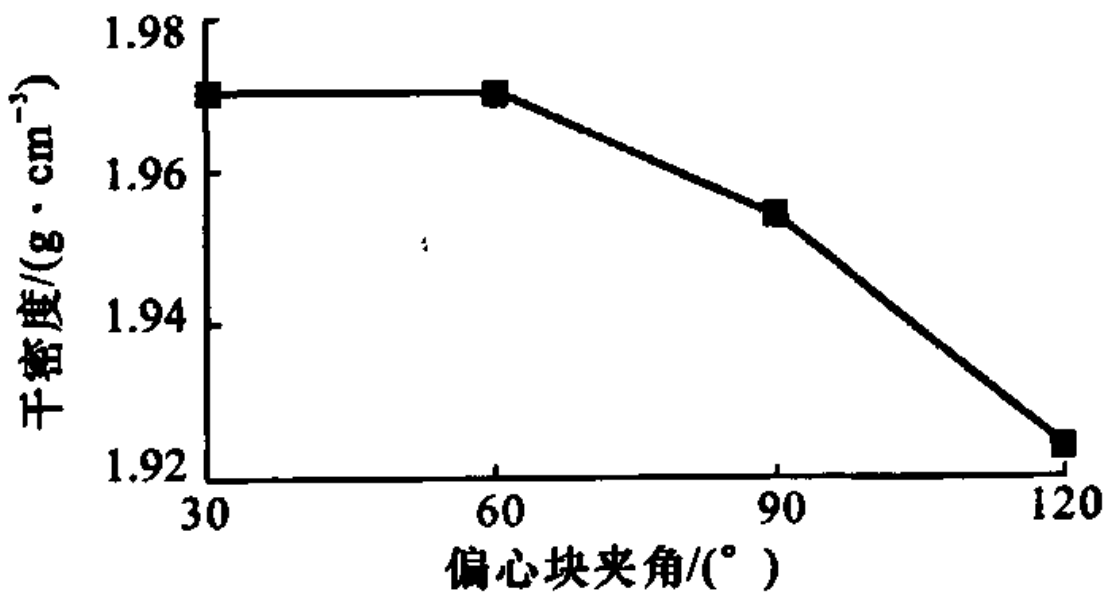


图 2 激振力对压实效果的影响

从图 2 可见,偏心块夹角 60°时振动压实效果较佳,而偏心块夹角为 30°时,由于振动时间很短,不易控制其振动状态,所以采用偏心块夹角为 60°时的激振力对试件进行压实。

2.2.3 静面压力对压实效果的影响

由于静面压力与配重块有关,所以用调节配重的方法调整静面压力,其他条件固定不变,即频率 28 Hz,偏心块的夹角为 60°,试验数据见表 5 和图 3。

表 5 静面压力对压实效果的影响

| 配重号 | S2X3 | S3X6 | S5X9 |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| 干密度/(g·cm ⁻³) | 1.976 | 1.977 | 1.963 |

注:配重号 S2X3 为配重块加载,上面 2 块,下面 3 块;S5X9 为配重块加载,上面 5 块,下面 9 块;S3X6 为配重块加载,上面 3 块,下面 6 块。

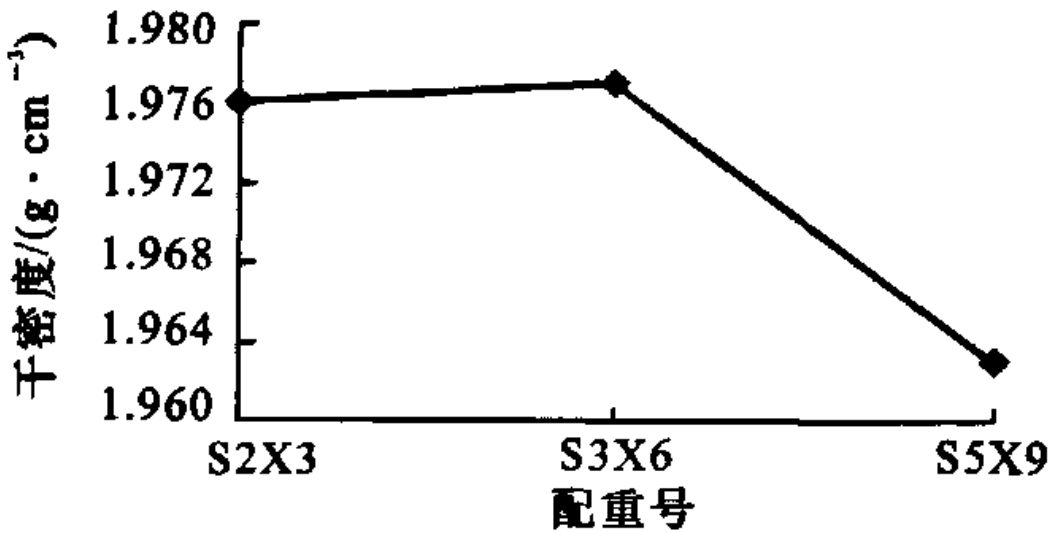


图 3 静面压力对压实效果的影响

由图 3 可见,配重对压实效果影响不是很明显,因此选取 S3X6 的配置方式。

2.2.4 最佳振动配置条件的确定

由以上数据可见,频率在 28 Hz,偏心块夹角为 60°,配重在 S3X6 配置条件下,能达到较好的振动压实效果。本文还研究了不同二灰质量分数对该配置的影响,试验结果见表 6 和图 4。

表 6 二灰质量分数与最大干密度的关系

| 二灰质量分数/% | 最佳含水质量分数/% | 振动压实最大干密度/(g·cm ⁻³) | 重型击实最大干密度/(g·cm ⁻³) |
|----------|------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 15 | 9.7 | 1.993 | 2.060 |
| 20 | 11.2 | 1.917 | 2.056 |
| 30 | 16.1 | 1.729 | 1.985 |

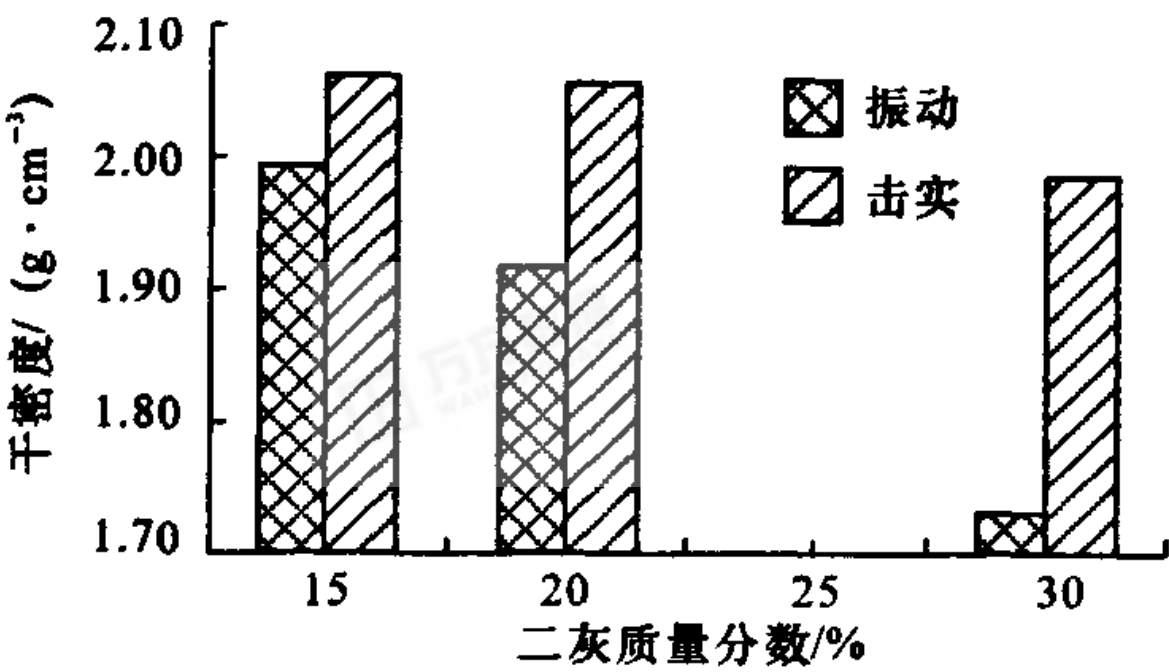


图 4 二灰质量分数与最大干密度的关系

从图 4 可见,随着二灰质量分数的增加,二灰砂砾最大干密度随之降低。在振动条件下,二灰砂砾的最大干密度低于重型击实标准条件下的测定值。对比表 6 测试结果还可发现,当二灰质量分数由 15%增加到 20%时,重型击实最大干密度减少值仅为 0.004 g/cm³;而振动压实最大干密度减少 0.076

g/cm³,两者相差近 18 倍。当二灰质量分数从 20%增加到 30%时,重型击实最大干密度减少了 0.071 g/cm³;振动压实最大干密度减少 0.188 g/cm³,两者相差近 2.5 倍。

同时,测试中还发现,二灰质量分数的增加,加剧了振动中的流浆现象,此时过多的二灰浆体仅起到润滑作用,并且振动压实与重型击实下得出的最大干密度差值明显增加,结合料浪费严重。

试验结果表明,二灰质量分数越大,振动法确定的最大干密度越低,流浆越严重,结合测试结果,二灰质量分数不宜大于 15%。

2.2.5 振动时间对振动压实效果的影响

试验采用规范中值级配,石灰:粉煤灰:砂砾(质量比)=6:14:80,实验方案见文献[3],试验结果见表 7。

表 7 振动时间对振动压实效果的影响

| 振动顺序 | 振动时间/s | 干密度/(g·cm ⁻³) |
|------|--------|---------------------------|
| 1 | 302 | 1.972 |
| 2 | 190 | 1.970 |
| 3 | 169 | 1.975 |
| 4 | 154 | 1.969 |

由表 7 可见,同样配置条件下,振动时间对振动干密度影响不大,而是与振动仪器有关系。振动仪器在振动压实的开始阶段,所需时间较长,变化较大,此后振动时间趋于稳定,一般为 2.5 min 左右。

2.2.6 振动压实标准的确定

从振动时间试验结果可知,用振动时间作为控制振动压实的标准明显不妥。所以,在振动压实试验中,采用振动状态的改变作为振动压实的标准,也就是采用振动回弹跳起状态作为试件压实的控制标准,这样压实试验干密度才具有可比性。

2.2.7 含水质量分数对振动压实效果的影响

由于二灰砂砾中含水质量分数较大,因此对水的影响也进行了分析。试验中原材料及配比均同前,试验结果见表 8 及图 5。

表 8 含水质量分数对振动压实效果的影响

| 含水质量分数/% | 8.0 | 9.0 | 10.5 | 12.0 |
|---------------------------|-------|-------|--------|-------|
| 干密度/(g·cm ⁻³) | 1.897 | 1.942 | 1.970 | 2.020 |
| 振动现象 | | | 有少量水渗出 | 严重唧浆 |

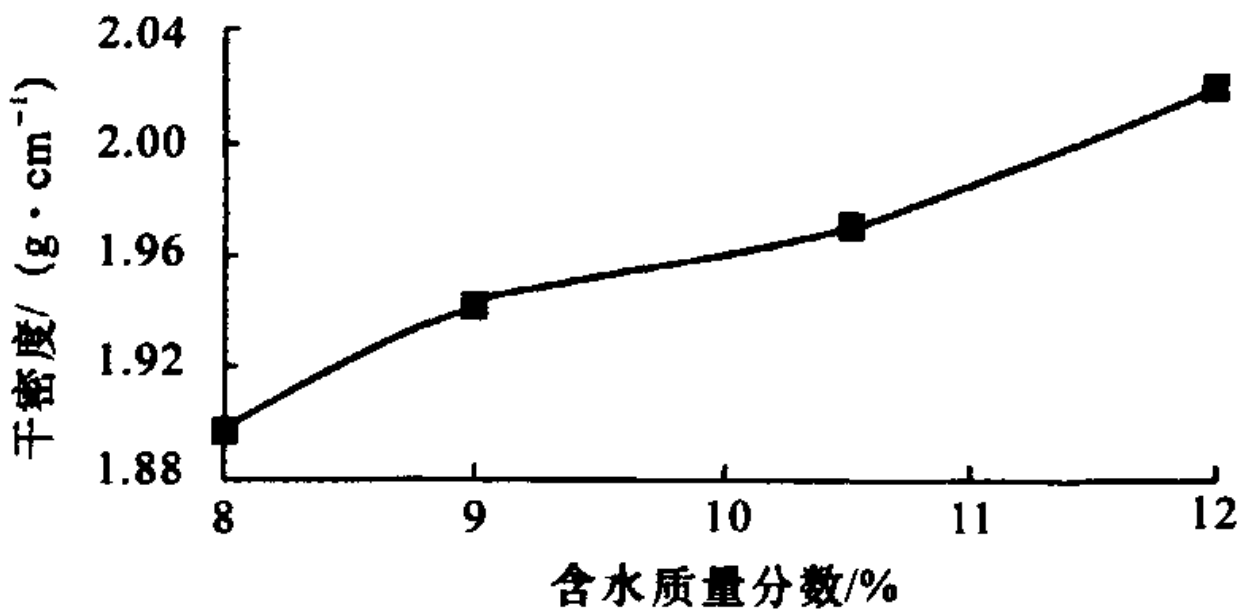


图 5 含水质量分数与振动干密度的关系

由表 8 和图 5 可见,振动压实试验中含水质量分数改变对振实效果影响很大,所以采用振动方法测定最佳含水质量分数,应以振动现象作为标准,当振动压实有少量水分被挤出时,即认为是最佳含水质量分数。

3 结果分析

在上述的配置条件下(频率 28 Hz,配重 S3X6,偏心块夹角 60°)进行了二灰砂砾的振动压实试验,试验方案见文献[3],试验结果见表 9。

表 9 振动压实试验结果

| 代号 | 级配特点 | 配合比 (质量比) | 最大干密度/ (g·cm ⁻³) | 最佳含水质量 分数/% |
|------|--------|--------------|---------------------------------|----------------|
| Z-1 | 规范中值级配 | 6:14:80 | 1.917 | 11.2 |
| Z-1' | 规范中值级配 | 5:10:85 | 2.014 | 10.1 |
| Z-2 | 设计级配 | 6:14:80 | 1.872 | 10.4 |
| Z-2' | 设计级配 | 5:10:85 | 2.022 | 9.4 |

根据振动压实结果,用仪器成型试件,养生 7 d 和 28 d,测其无侧限抗压强度,结果见表 10(表中所测数据均为强度值,测试试件个数为 9 个/组)。

表 10 振动、静力成型试件强度对比

| 代号 | 振动成型的强度/MPa | | 静力成型的强度/MPa | |
|------|-------------|------|-------------|------|
| | 7 d | 28 d | 7 d | 28 d |
| Z-1 | 0.65 | 1.82 | 1.64 | 2.45 |
| Z-1' | 0.78 | 1.83 | 1.20 | 1.85 |
| Z-2 | 0.52 | 2.09 | 0.74 | 2.20 |
| Z-2' | 0.75 | 2.23 | 0.70 | 1.98 |

表 10 测试结果表明,从 7~28 d 强度增长看,振动与静压成型方法得到的设计级配方案(Z-2 与 Z-2')强度增长均高于规范中值级配方案(结合料相同条件下);当二灰质量分数由 20%降低到 15%时,振动成型试件强度均有所提高;而与之相反,静力成型试件强度均有不同程度降低,表明振动法成型二灰砂砾试件,二灰质量分数不宜超过 15%,而为了保证混合料中的结合料用量,二灰用量不宜再减少^{[5]23}。从破坏的试件断面来看,振动成型试件的粗集料间的接触明显多于静力成型试件,由此说明,振动法成型的试件能够通过振动作用加大骨架密实结构的形成,从而提高了二灰砂砾后期强度增长。

4 结 语

(1)通过振动法确定二灰砂砾的物理指标,但此时二灰质量分数不能超过 15%。

(2)二灰砂砾振动参数:频率 28 Hz,采用上面配重 3 块,下面 6 块,即 S3X6,偏心块夹角 60°。

(3)利用振动方法成型试件易形成骨架密实结构,但其不同于静力成型方法,不能够简单的利用干密度与含水质量分数的关系曲线找出最大干密度和最佳含水质量分数,并以此来成型试件,其最大干密度和最佳含水质量分数还需要工程经验才能确定。

(4)在相同振动参数条件下,振动时间对振动效果影响不大,一般采用回弹跳起的状态作为二灰砂砾压实的控制标准,而不采用时间作为控制标准。

参考文献:

References:

[1] 李炜光,申爱琴,张玉斌. 二灰稳定集料抗裂性能评价与应用[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(2): 1-5.
LI Wei-guang, SHEN Ai-qin, ZHANG Yu-bin. Anti-cracking capability of lime-fly-ash-stabilized-aggregate in road base[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(2): 1-5.

[2] 李炜光,申爱琴,张玉斌. 二灰碎石抗裂级配与应用[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(6):7-10.
LI Wei-guang, SHEN Ai-qin, ZHANG Yu-bin. Anti-cracking capability of lime-fly-ash stone [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(6):7-10.

[3] 李炜光,武彦林,申爱琴. 二灰砂砾路用性能研究[J]. 重庆交通学院学报,2004,23(4):67-72.
LI Wei-guang, WU Yan-lin, SHEN Ai-qin. Lime-fly ash sand synthesize performance research[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23(4): 67-72.

[4] 李美江. 道路材料振动压实特性研究[D]. 西安:长安大学,2002.

[5] 申爱琴. 二灰砂砾基层综合路用性能及配比设计[R]. 西安:长安大学,2004.

[6] Akoto B K A. Influence of flyash on the strength characteristics of lime-laterite soil mixtures [J]. Australian Road Research, 1988,18(4):224-231.

[7] 蒋新明,郑 舟. 二灰碎石抗裂性的研究[J]. 中国公路学报,2002,15(3):28-32.
JIANG Xin-ming, ZHENG Zhou. Study of crack resistance of lime-flyash-macadam mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(3): 28-32.

[8] JTJ 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].