

文章编号: 1002-0268 (2005) 12-0067-04

轻便触探检测公路桥涵台背回填 中粗砂的试验方法研究

刘仰韶, 田卿燕, 吕建兵
(广东交通集团检测中心, 广东 广州 510800)

摘要: 通过模型试验与现场试验, 论证了轻便触探检测桥涵台背中粗砂的相对密实度的可行性, 并与静力触探进行了比较, 验证了其合理性。在此基础上, 通过简单统计建立了轻便触探锤击数 N_{10} 与相对密实度 D_r 之间的经验关系, 提出了用轻便触探检测公路桥涵台背回填中粗砂相对密实度的试验方法。

关键词: 桥涵台背回填; 轻便触探; 锤击数; 相对密实度; 试验方法

中图分类号: U443.21

文献标识码: A

Study on the Light Dynamic Penetration to Test Coarse Sand in Bridge Back-sand Filling

LIU Yang-shao, TIAN Qing-yan, LV Jian-bing

(Guangdong Transportation and Communication Testing Center, Guangdong Guangzhou 510800, China)

Abstract: On the basis of lab and field tests, the feasibility of light penetration is proved to test coarse sand relative density at abutment back of bridge-culvert back sand filling. And its reasonability is testified through comparison with static penetration. In addition, the experiment relationship between the blow counts N_{10} and the relative density D_r is built by simple statistics. A light penetration test method is put forward to test the coarse-sand relative density at abutment back of bridge-culvert back sand filling.

Key words: Back filling at abutment back of Bridge or culvert; Light dynamic penetrating; Blow counts; Relative density; Test method

《公路路基施工技术规范》(JTJ033-95)规定,公路桥涵台背回填宜选择砂类土或渗透性好的材料。中粗砂不但透水性好,而且可就地取材,价格低廉,施工方便,因而被广泛用于高速公路的桥涵台背回填,但是对表征台背填砂质量的技术指标——相对密实度,至今还没有一个合适的检测方法。所谓合适的检测方法,不仅是指检测方法正确,而且还要实用方便和快捷,不影响工程进度。

本文通过模型及现场试验,在理论上佐证轻便触探可用于检测回填中粗砂的回填质量的基础上^[1],对轻便触探检测回填中粗砂的试验方法进行了系统的研

究,归纳分析了轻便触探的锤击数与中粗砂的相对密实度之间的相关关系,并通过与静力触探试验的对比,进一步验证了这种方法的可靠性。

1 模型试验

1.1 试验工作

本文根据高速公路桥涵常用的台背回填料的特点,选择4种不同的中粗砂作为试验用砂,在 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$ 的模型槽中进行了模型试验,得出了一系列的试验数据(见图1~图4)。模型试验所用的轻便触探设备指标如表1所示。试验用砂的颗粒组成和物理

收稿日期: 2005-06-26

基金项目: 广东省交通厅资助项目(2002-013)

作者简介: 刘仰韶(1957-),男,广东兴宁人,高级工程师,主要从事公路工程的检测和研究工作。(ljzh@126.com)

性质指标分别列于表 2 和表 3。

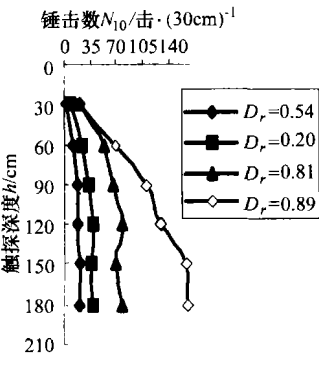


图 1 1 号砂的结果

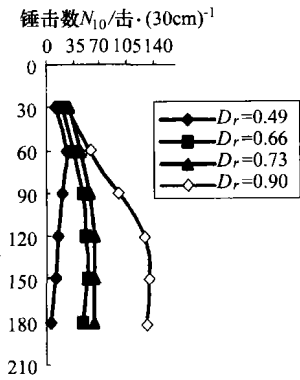


图 2 2 号砂的结果

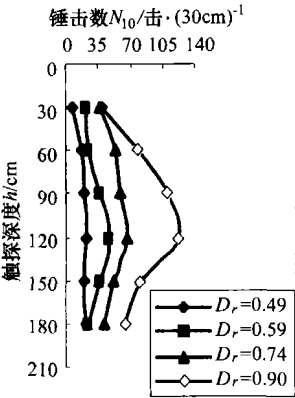


图 3 3 号砂的结果

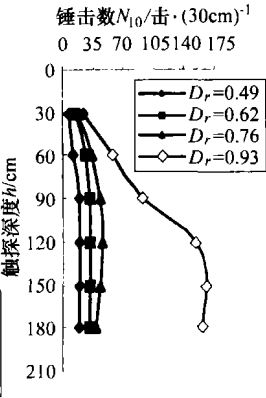


图 4 4 号砂的结果

表 1 模型试验所用的轻便触探设备指标

落锤		探头		探杆直径	贯入指标
质量/kg	落距/cm	直径/mm	锥角/(°)	/mm	/击(30cm) ⁻¹
10±0.2	50±2	40	60	25	N ₁₀

表 2 模型试验用砂的颗粒组成

砂号	10mm	5mm	2mm	0.5mm	0.25mm	0.074mm
1	97.2	86.8	32.9	6.3	0.0	0.0
2	100	99.8	92.6	42.6	17.5	4.0
3	100	94.1	73.4	41.2	13.9	2.9
4	100	95.3	66.8	20.8	3.2	1.2

表 3 模型试验用砂物理性质指标

砂号	细度模数 M _x	G _s	e _{max}	e _{min}	F	d ₅₀ /mm	C _u	C _c	土类
1	4.17	2.65	0.9410	0.3862	1.4358	1.285	5.54	1.76	特粗砂
2	2.47	2.63	1.0293	0.4611	1.2323	0.565	3.49	0.9	细砂
3	2.66	2.65	0.7980	0.4096	0.9478	0.600	6.18	0.61	中砂
4	3.36	2.66	0.9710	0.4409	1.2014	1.450	5.00	0.59	粗砂

1.2 模型试验成果分析

1.2.1 临界深度 h_{cr}

运用轻便触探检测桥涵台背回填砂的相对密度时,砂表层也是不可忽略的重要部分,但由于受表层效应及砂体自重应力的影响,从表层一定深度范围,轻便触探锤击数 N₁₀随着触探深度的增加而逐渐增加,为了得到该触探深度范围内轻便触探锤击数随深度的变化规律,以便对桥涵台背回填砂的施工质量进行合理的控制和对回填砂的相对密度进行有效的评价,因此,有必要确定轻便触探临界深度的大小,并以临界深度为界,对临界深度以上、临界深度处及以下轻便触探锤击数随深度的变化规律分别进行研究。图 1~ 图 4 为砂土相对密度 D_r 与 N₁₀ 和 h 的关系曲线图,从图中可看出探头从土面开始贯入,随着贯入深度的增加, N₁₀ 逐步增加,当达到一定深度后,锤击数 N₁₀ 达到最大值,以下则略有增加,本文将这个深度称为临界深度,用 h_{cr} 表示。

通过对模型试验结果的分析,得出 4 种砂的临界深度 h_{cr}-D_r 的关系(如图 5 所示),从图 5 可以看出,轻便触探试验的临界深度 h_{cr} 是确实存在的,且随相对密度 D_r 的增加而增加。

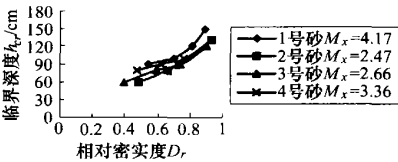


图 5 模型试验的 h_{cr}-D_r 关系图

1.2.2 轻便触探的锤击数 N₁₀

根据模型试验结果及文献[1]可知,在临界深度以上,轻便触探的锤击数 N₁₀随着触探深度 h 和砂的相对密度 D_r 的增加而增加;临界深度处及以下,轻便触探的锤击数基本保持稳定,试验结果表明,相对密度 D_r 是影响临界深度处的锤击数 N_{10L} 的最灵敏的因素,临界深度处轻便触探的锤击数 N_{10L} 与砂的相对密度有较好的相关关系(见图 6),从图 6 可以看出,临界深度处的锤击数 N_{10L} 随 D_r 增加而明显增大。

另外,锤击数 N_{10L} 还与砂的细度模数 M_x 也有关系,由图 6 可知, D_r < 0.80 时,当 N_{10L} 一定时,细度模数 M_x 越大,则相对密度就越大, D_r 的大小顺序依次为:细砂 < 中砂 < 粗砂 < 特粗砂。

1.2.3 轻便触探检测台背回填砂的相对密度的对比分析

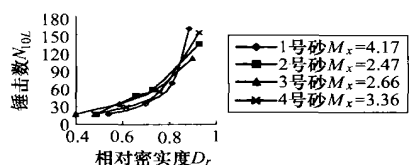


图 6 模型试验的 $N_{10L}-D_r$ 关系图

静力触探由于前人已经做了大量的模型试验研究,其理论和试验研究已相对成熟,已经被工程界接受和验证^[2-4],为了验证轻便触探检测桥涵台背回填中粗砂的相对密实度的可行性,在与轻便触探模型试验的同时进行了静力触探对比试验^[5]。综合分析静力触探与轻便触探的试验结果的相关性发现,两种方法检测中粗砂的特征指标之间存在线性关系,且相关性很大,如表 4 所示。

表 4 临界深度以上的轻便触探锤击数 N_{10} 与静力触探锥端阻力 Q_c 的相关关系

砂号	相关公式	相关系数 ρ
1	$N_{10} = 5.6916 Q_c + 3.1361$	0.9852
2	$N_{10} = 4.5820 Q_c + 7.4610$	0.9800
3	$N_{10} = 4.4725 Q_c + 7.3006$	0.9881
4	$N_{10} = 4.0083 Q_c + 2.3670$	0.9791

1.3 模型试验的 D_r-N_{10} 的经验公式回归

在临界深度 h_{cr} 以上,运用克莱姆法则对 4 种模型试验用砂的大量的试验数据进行统计分析与线性回归,得到砂的相对密实度 D_r 与砂的细度模数 M_x 、锥尖入土深度 h 及轻便触探的锤击数 N_{10} (锤击数/30cm) 之间的函数关系,见公式(1);在临界深度处及以下,通过非线性回归分析得出,锤击数 N_{10L} 与相对密实度 D_r 之间的关系满足对数函数关系,见公式(2)。

$$D_r = 0.3237 + 0.1090M_x - 0.0037h + 0.0070N_{10} \quad (\rho = 0.9175) \quad (1)$$

$$D_r = -0.1057 + 0.2080\ln(N_{10L}) \quad (\rho = 0.9368) \quad (2)$$

式中, D_r 为砂的相对密实度; N_{10} 为临界深度以上的轻便触探的锤击数; M_x 为砂的细度模数; h 为轻便触探

锥尖入土的深度, cm, $h < h_{cr}$; N_{10L} 为临界深度处的轻便触探的锤击数; 其它符号意义同前。

2 现场试验

2.1 现场试验工作

本文所得出的模型试验成果在多条高速公路中均进行了现场试验,现以粤赣高速公路 22 合同段 K124 + 820 盖板涵的两个涵背(实测形状如图 7 所示)为例,对其进行现场试验研究,以了解模型试验中模型槽的尺寸对试验结果的影响,验证轻便触探模型试验与现场试验结果的相关性,以及模型试验结果现场应用的方法。

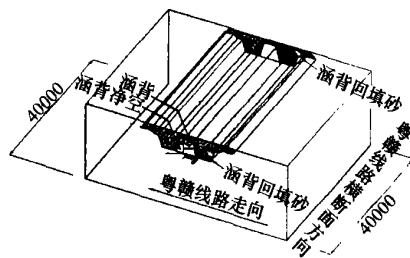


图 7 现场试验台背实测图

现场试验台背的有效试验尺寸大于 $3\text{m} \times 3\text{m} \times 5\text{m}$,涵背回填砂的颗粒组成及物理指标如表 5 所示。触探结果如图 8 所示。

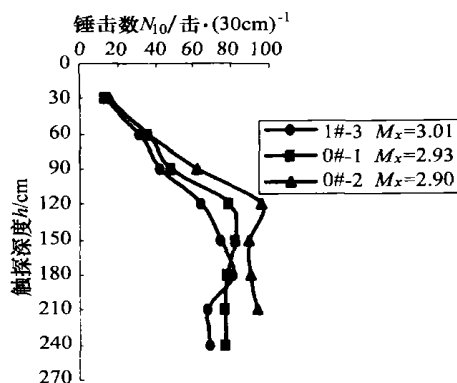


图 8 现场试验轻便触探 N_{10} 与 h 关系

表 5 现场试验用砂颗粒组成及物理性质指标

细度模数 M_x	颗粒组成/%									G_s	e_{min}	e_{max}	d_{50}/mm	F	C_u	C_c
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.3	0.15	0.075	<0.075							
3.00	98.4	93.7	74.2	55.1	28.6	6.6	1.5	0.2	0	2.65	0.4171	0.9065	1.08	1.1730	4.2	0.7

注: 筛孔尺寸单位为 mm。

2.2 现场试验数据分析

从图 8 与图 1~ 图 4 可以看出,现场轻便触探曲线形式及变化规律与模型试验一致。

由文献[6]可知,模型试验中轻便触探的锤击数

N_{10} 的修正系数为 $\sqrt{\frac{2}{3}}$ 。图 9 为模型试验 4 号粗砂的临界深度处的锤击数 N_{10L} 除以相似系数 $\sqrt{\frac{2}{3}}$ 后得出了临界深度处的 $N_{10L}-D_r$ 的关系与现场试验锤击数的关

系的对比图,由图 9 可以看出,经修正以后,当模型试验与现场试验的轻便触探的锤击数 N_{10L} 相同的情况下,砂的相对密度基本一致。由此推定,将公式(1)与(2)修正后见公式(3)和(4)。

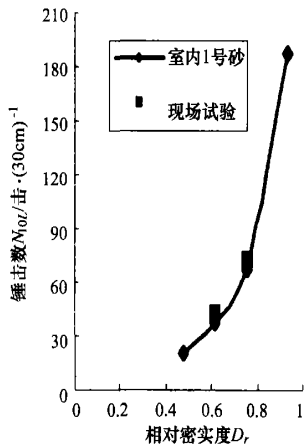


图 9 4 号砂与现场试验 N_{10L} 比较

$$D_r = 0.323\ 7 + 0.109\ 0M_x - 0.003\ 7h + 0.007\ 0N'_{10} \tag{3}$$

$$D_r = -0.105\ 7 + 0.208\ 0\ln(N'_{10L}) \tag{4}$$

式中, N'_{10} 为修正后的在临界深度以上的轻便触探的锤击数, $N'_{10} = N_{10}/\zeta$, $\zeta = \sqrt{\frac{2}{3}}$; N'_{10L} 为修正后的在临界深度处及以下的轻便触探的锤击数, $N'_{10L} = N_{10L}/\zeta$; h 为轻便触探的触探深度, cm, $h < h_{cr}$; 其它符号的意义同前。

将现场 1#-2 测点试验数据分别代入经验公式(1)与(2),计算出 D_r 值与现场实测值之间的对比情况,如表 6 所示。由表 6 得知,在现场试验过程中,当触探深度为 $h < h_{cr}$ 时,用公式(1)所求出的相对密度 D_r 与现场试验实测值之间的误差均小于 10%;当 $h \geq h_{cr}$ 时,用公式(2)所求出的值的相对误差小于 10%,验证了模型经验公式(1)与(2)的正确性及现场应用的可行性。

表 6 现场 1#-2 测点回填砂的计算 D_r 值
与现场实测 D_r 对比情况

M_x	h	N_{10}	计算值	实测值	差值/比例
3.00	30	28	0.73	0.76	-0.03/-3.9%
3.00	60	44	0.73	0.76	-0.03/-3.9%
3.00	90	59	0.72	0.76	-0.04/-5.3%
3.00	120	80	0.81	0.76	0.05/6.6%
3.00	150	75	0.79	0.76	0.03/3.9%

将文献[1][5][6]中关于模型试验 4 号砂的试验数据分别代入修正公式(3)与(4),计算出了现场轻便触探试验的相对密度与现场实测值之间的对比情

况,如表 7 所示。由表 7 得知,在触探深度为 $h < h_{cr}$ 时(临界深度以上),用公式(3)所求出的相对密度 D_r 与现场试验实测值之间的误差均小于 5%;当 $h \geq h_{cr}$ 时(在临界深度及以下),用公式(4)所求出的值的相对误差小于 10%,故室内模型试验的结果经修正以后是正确的,可以应用于现场检测中。

表 7 模型 4 号砂的计算 D_r 值与现场试验实测 D_r 对比情况

M_x	h	N_{10}	计算值	实测值	差值/比例
3.36	30	17	0.73	0.76	-0.03/-3.9%
3.36	60	34	0.76	0.76	0.00/0.0%
3.36	90	43	0.73	0.76	-0.03/-3.9%
3.36	120	45	0.73	0.76	-0.03/-3.9%
3.36	150	44	0.72	0.76	-0.04/-5.3%

3 轻便触探检测桥涵台背回填砂的试验方法

(1) 现场施工时,因为每个标段的用砂都有固定的砂石场提供,因此检测前应从提供现场用砂的砂石场取有代表性的砂样,根据现行的规范^[7]进行室内试验,试验项目包含颗粒分析,来获取砂的细度模数 M_x 。

(2) 轻便触探检测桥涵台背回填砂的相对密实度的深度宜控制在 2m 以内,且不大于 3m。

(3) 根据现场桥涵台背的具体形状和面积,每个台背宜布置 3~5 个测点,随机分布。两测点之间的距离应大于 1.2m,每个测点与台背的边界之间的有效距离应大于 0.6m^[1,6],以避免测点对测点及台背边界对测点的影响。

(4) 采用表 1 所示的轻便触探设备,从回填砂的表面开始触探,保持探杆垂直,将 10kg 的锤提升至 50cm 的有效落距后,自由落下,锤击频率为 15~30 击/min。连续向下贯入,记录每触探 30cm 的锤击数 N_{10} 。当每贯入 30cm 的锤击数超过 100 击时,或触探深度达到 3m 后,停止作业。

(5) 以 N_{10} 为横坐标,触探深度 h 为纵坐标,绘制 $N_{10}-h$ 曲线,根据现场回填材料特点对触探异常点进行修正^[9,10],排除由巨粒组以上的颗粒对触探结果的影响。

(6) 根据 $N_{10}-h$ 曲线确定轻便触探试验的单测点的临界深度 h_{cr} (随着贯入深度的增加, N_{10} 逐步增加,当达到一定深度后,锤击数 N_{10} 达到最大值,以下则略有增加,本文将这个深度称为临界深度),在临界深度以上,将实测的 N_{10} 代入经验公式(3)计算砂的相对密度 D_r ;在临界深度处及以下,代入经验公式(4)计算 D_r 。

(7) 以 0.6m 为一层分别按公式(5)来计算相对密度代表值
(下转第 74 页)

隧道的入口处构筑一定形状的人造山后,再进行隧道的开挖,则可较好的解决上述困难。

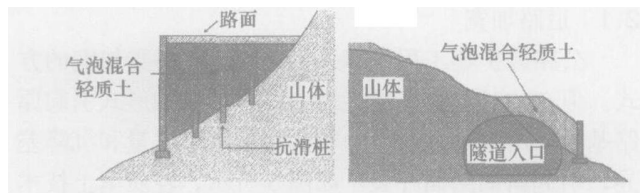


图7 陡峭地段的路基填筑原理图

图8 隧道入口的填筑原理图

2.5 桥(涵)背的填土

在软基桥台台背填土路段采用楔形轻质土彻底消除了路堤自身的工后沉降,大大减少地基的工后沉降,对于缓解桥头跳车,减轻涵顶荷载等具有很好的效果,如图9、图10所示。

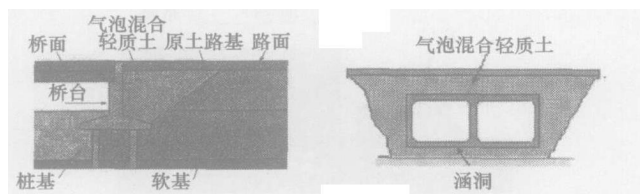


图9 桥台背填筑原理图

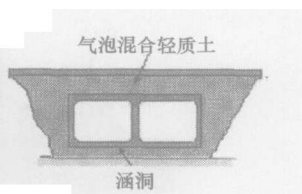


图10 箱涵背填筑原理图

(上接第70页)

$$D_{ik} = \bar{D}_r - \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} S \quad (5)$$

式中, $\bar{D}_r$ 为台背每层各测点所有的相对密实度单值的平均值; t_α 为 t 分布表中随层数和保证率(或置信度 α) 而变的系数; t_α 见文献[11]附表B, 保证率为95%; S 为各单点值的标准差; n 为单值数量。

4 结论

(1) 轻便触探试验过程中, 砂的相对密实度是影响锤击数 N_{10} 的最灵敏的因素, 砂的细度模数 M_x 对锤击数 N_{10} 也有一定的影响。

(2) 根据对模型试验结果的分析, 在临界深度以上, 砂的相对密实度与轻便触探的锤击数 N_{10} 基本呈线性关系, 运用克莱姆法则回归得到公式(1); 临界深度处及以下, 轻便触探的锤击数 N_{10L} 与相对密实度 D_r 之间的关系满足对数函数关系, 回归得到公式(2)。

(3) 将模型试验的经验公式(1)和(2)经过模型相似系数修正后得到了修正公式(3)和(4)。在触探深度为 $h < h_{cr}$ 时, 可用公式(3)根据现场试验得到的参数计算砂的相对密实度; 当 $h \geq h_{cr}$, 可用公式(4)根据实测 N_{10} 计算现场回填砂的相对密实

2.6 寒冷地区道路冻胀翻浆的防治

轻质土作为寒冷地区冻土与道路路基之间的隔热层, 以切断路基路面与冻土之间的能量交换, 为解决寒冷地区道路的冻胀翻浆病害提供了新的技术手段。

3 结论

本文介绍了气泡混合轻质土的基本概念, 详细分析了轻质土的物理力学特性和影响因素等。列举了它在土建工程、特别是交通土建工程中的主要应用领域, 对于我国方兴未艾的公路建设和即将或正在开始的高速公路大规模改扩建具有重要的应用价值, 拓展了对特殊工程的处理方法, 对于提升与丰富我国的公路建设技术具有现实意义。

参考文献:

- [1] 陈忠平, 王树林, 邓江. 气泡混合轻质填土新技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 三他. 气泡混合轻质土工法 FCB 工法 [J]. 土木施工, 1992 (33): 37-44.
- [3] 三他. 气泡混合轻质土工法 [J]. 基础工, 1994 (10): 16-21.

度。

(4) 根据试验研究及与静力触探的比对分析, 验证了用轻便触探检测公路桥涵台背回填中粗砂的相对密实度的可行性。在此基础上, 本文提出了一套可行的公路桥涵台背回填中粗砂相对密实度的检测方法。

参考文献:

- [1] 刘仰韶, 田卿燕, 吕建兵. 轻型动力触探检测公路桥涵台背回填中粗砂的机理研究 [J]. 中南大学学报, 2005 (10).
- [2] 崔新壮, 丁桦. 静力触探锥头阻力的近似理论与实验研究进展 [J]. 力学进展, 2004-02: 251-262.
- [3] 陈维家. 砂类土中静力触探机理研究 [D]. 长沙: 长沙铁道学院, 1987.
- [4] 唐贤强, 等编. 地基工程原位测试技术 [M]. 中国铁道出版社, 1993.
- [5] 田卿燕, 吕建兵, 刘仰韶. 静力触探检测公路桥涵台背回填中粗砂的试验研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2005 (3).
- [6] 刘仕顺, 吕建兵, 田卿燕. 公路桥涵台背回填中粗砂的模型试验相似分析 [J]. 公路与汽运, 2005-06: 115-118.
- [7] GB/T 14684-2001, 建筑用砂 [S].
- [8] JTJ051-1993, 公路土工试验规程 [S].
- [9] 周筱滨. 动力触探 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1986.
- [10] 张平, 田红花. 有关动力触探影响因素修正问题的探讨 [J]. 沈阳大学学报, 1999 (2): 80-83.
- [11] JTG F80/1-2004, 公路工程质量检验评定标准 [S].