

文章编号:1672-3961(2008)04-0053-04

强夯在威乳高速公路改建工程中的应用研究及一般性推广

崔新壮, 商庆森, 姚占勇

(山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061)

摘要:旧路改建高速公路会遇到诸如地基不均匀沉降及老路堤压实度低等问题,这些问题限制了这项技术的应用.依托威乳高速公路,研究了强夯在旧路改建高速公路中的应用技术.通过试夯及现场对超静孔隙水压力、动土应力测试及压实度检测,确定了地基与路堤强夯工艺参数.夯后对路堤进行弯沉、回弹测试及路堤沉降观测分析发现强夯方案完全能满足规范要求.最后对威乳路试夯结果进行一般性推广,得到了不同高度路堤对应的止夯标准.

关键词:道路工程;旧路改建;强夯;不均匀沉降;止夯标准

中图分类号:U418.8 文献标志码:A

The application of dynamic compaction to the reconstruction of old road to expressway and its generalization

CUI Xin-zhuang, YAO Zhan-yong, SHANG Qing-sen

(School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In the reconstruction of old road to expressway, there are some difficulties constraining the reconstruction such as the differential settlement of sub-grade and the relatively low compaction degree of the old embankment. The application of dynamic compaction was studied in the Weihai-Rushan expressway reconstruction engineering. Through field measurements of excess pore water pressure, dynamic soil stress and soil compaction degree, dynamic compaction parameters for sub-grade and embankment were obtained. After dynamic compaction, the measurements of deflection, resilience modulus and settlement showed that the dynamic compaction construction method could meet the expressway construction specifications. Dynamic compaction test results were generalized and the tamping-stopping criterion of embankments with different height was put forth.

Key words: road engineering; old road reconstruction; dynamic compaction; differential settlement; tamping-stopping criterion

0 引言

近年来随着公路运输的发展,许多公路有待提高道路等级或拓宽改建,这样不仅可以提高道路服务功能,改善现有道路路网结构,使其具有更高的技术经济价值,而且还可以少占土地并有利于环境保护.素有“神州第一路”美誉的沈大高速公路已于2002年5月开始了改造成八车道高速公路的施工,

拉开了我国大规模高速公路改扩建的序幕.近年来山东大学还就等级路升级改建高速公路的关键技术开展了深入研究.在旧等级路扩建高速公路工程中有以下关键问题需要解决:

(1) 新老地基不均匀沉降问题.一方面老天然地基经过多年固结,密实程度远大于新天然地基,刚度和强度增大;一方面使新填筑的路堤荷载成为偏心荷载,如图1中的阴影部分所示,而在道路改建中,引起地基产生沉降的荷载主要是这部分荷载.

收稿日期:2007-11-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50708056);山东省自然科学基金资助项目(Q2006F02)

作者简介:崔新壮(1974-),男,山东寿光人,副教授,工学博士,主要从事路面病害和地基处理方面的研究.

E-mail: cuixz@sdu.edu.cn

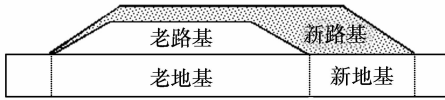


图1 新老道路示意图
Fig.1 Diagram of old and new subgrades

(2) 老路堤压实度不足问题. 老等级路路堤的压实度远远小于现行高速公路路堤压实度标准, 不能直接利用.

(3) 新老路基结合部薄弱带的处理问题. 新老地基的不均匀沉降必将反射到路基上, 造成路基在接茬处发生错动, 影响道路的正常使用寿命. 图2是用差分程序FLAC3D计算得到的沉降云纹图, 图中新老路堤高度分别为6 m和4 m. 由图2可知新路堤各质点主要向新地基方向运动, 而且在新老路基接茬处形成很大的差异沉降.

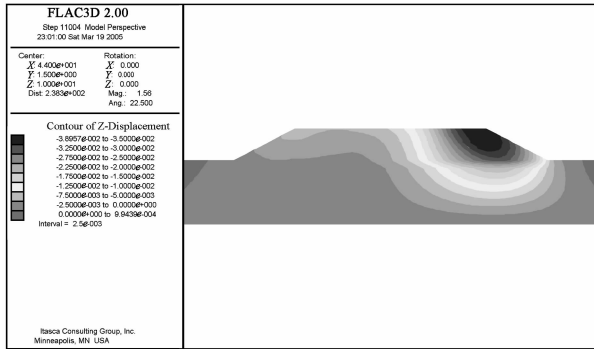


图2 沉降云纹图
Fig.2 Moire pattern of settlement

目前应用最广泛的不均匀沉降处理技术有土工合成材料加固^[1]、复合地基、轻质路堤^[2]、强夯等^[3-6]. 其中强夯由Menaúrd最早使用, 因为施工简单、成本低, 而且效率高、加固深度大, 被广泛用于道路扩建工程, 但在旧路改建高速公路工程中还很少采用, 主要是因为旧路堤压实度都不能满足现行规范要求, 而路堤的强夯质量控制标准很难与道路规范衔接, 基本上还是遵循着地基强夯处理中贯入度(最后两击夯沉量的平均值)标准, 显然是不合理的.

威乳高速公路是国家重点公路威海~乌海线威海至青岛支线的重要组成部分, 线位大部分与老的威乳汽车专用路重合, 如图1所示. 威乳汽车专用路路基宽度为18 m, 高度一般为1~6 m. 老路基的土质较复杂, 且当时施工时未经充分碾压, 压实度较低. 作为设计方案的一种, 拟将旧路路堤作为高速公路的一部分进行利用. 依托威乳高速公路改建工程, 对强夯在旧路改建高速公路中应用的关键技术进行研究. 这一研究将为今后我国道路改扩建工程提供重要的参考.

1 地基的强夯处理技术

图2所示的计算结果表明, 对新地基进行处理是防止不均匀沉降的关键. 试验段选在威乳高速公路K59+800-K59+900段. 该段地基2~3 m以上为含砂砾的粘性土, 2~3 m以下普遍存在古河道砂沉积, 5~8 m为片麻岩风化壳, 裂隙发育. 地下水稳定埋深约1.7 m, 为第4系孔隙潜水, 主要受大气降水补给.

在对地基的试夯中, 先铺底夯(点夯), 待产生的超静孔隙水压力消散后再满夯. 试夯时锤径互切, 所用夯锤重量为10 t, 底面积为4 m², 单击夯击能为600 kN·m. 试夯前先清表, 并用挖掘机对老路堤刷坡, 去除杂草及植物根系.

高速公路施工规范中要求地表以下30 cm的压实度不低于90%. 但是, 试验段老路基高度为4 m, 在其自重作用下老地基经过多年固结, 新老地基密实程度的差异已经不局限于地表以下30 cm的范围内, 而夯锤冲击地面引起的强大动应力恰恰能够满足加固地基深层的目的. 然而, 由于地下水位较高, 在夯数达到一定值时, 土体接近饱和, 地基将很难再压实, 所以存在一个最优的夯击数. 为了确定试夯中的夯击数, 在地基中埋置了动孔隙水压力和动应力传感器.

图3所示为动孔隙水压力峰值随击数的变化规律, 测点距地表3 m, 距夯点中心的距离 s 分别为0 m和2 m. 图4所示是土压力峰值随击数的变化规律.

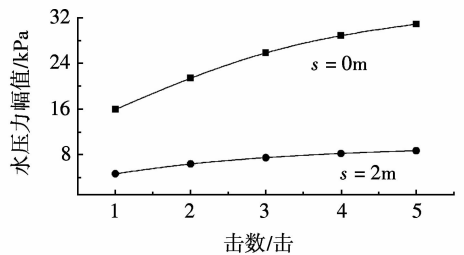


图3 动孔隙水压力幅值随击数的变化曲线
Fig.3 Curves of dynamic pore pressure vs. tamping number

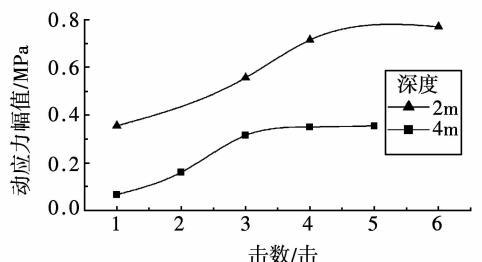


图4 土压力幅值随击数的变化曲线
Fig.4 Curves of dynamic soil pressure vs. tamping number

测点在夯点中心下方,深度分别为2 m和4 m.可见,无论是动孔隙水压力还是动应力,当超过4击后,幅值将增加缓慢,说明最大夯击数不宜超过4击.

为了确定铺底夯与满夯之间的时间间隔,用静态孔隙水压传感器跟踪测试了夯后超静孔隙水压力的消散,孔压消散曲线如图5所示.可见超静孔隙水压力随时间消散很快,在最初的半小时内,孔压消散50%,大约需要两天固结就能基本结束.地基土以风化料为主,渗透系数大,所以固结较快.由此可以得出结论:铺底夯完成两天后就可进行满夯.

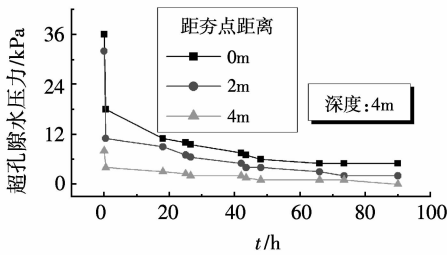


图5 夯后超静孔隙水压力随时间的消散曲线
Fig.5 Dissipation curves of pore pressure after tamping

根据以上测试结果与分析,在试验段铺底夯(4击)结束两天后满夯一遍(2击),最后用推土机整平.在地表以下30 cm处测压实度,均超过90%.说明该强夯方案能满足道路规范要求.

2 路堤的强夯处理技术

传统的旧路改建高速公路方法是翻压法,即:先将老路堤土翻到一边,然后对地基处理,再用分层碾压法施工路堤.这种方法不仅成本高、工期长,而且占用耕地多.故此,我们提出了一种全新的设计理念:先对老路堤点夯,然后在旧路堤边坡开挖1.0 m宽、1.5 m高的台阶,对新填路堤分层施工,待新老路堤齐平后,对新老路堤接茬进行强夯处理;之后继续分层碾压至路堤设计标高;同时,为了给予路面结构一个均匀稳定的支撑体系,80 cm路床区要求由分层碾压方法完成.

强夯一般用在地基处理中,当将其用于路堤夯实时,其质量控制标准必须以现行高速公路路基施工规范作为质量控制标准,即夯后各区的压实度不得小于规范规定的压实度标准.在地基强夯中,有效加固深度 h 通常用 Menaárd 公式来确定:

$$h = \alpha \sqrt{MH} \quad (1)$$

式中: MH 为单击夯击能,即夯锤质量与起吊高度的乘积,单位为 $t \cdot m$; α 为修正系数,与土性有关,大致范围为 0.34 ~ 0.80.在此较保守取 $\alpha = 0.4$,则对 4 m

高的老路堤, $MH = 100 t \cdot m$,因为强夯试验中, $M = 10 t$,所以起吊高度 $H = 10 m$.

另外,对一些工程实例的统计结果表明,对非饱和和地基土,夯击次数大于5时已达到80%以上的加固程度(即在给定的单击功能下完成夯沉量的80%以上),夯击次数大于10时已基本达到较理想的加固程度.故在对旧路堤进行强夯时,点夯击数分别取8、10、12,以做比较优选.新老路堤接茬处为薄弱区,点夯时比路堤多2击.

路堤强夯完毕后,先是用取芯机取相应层位的土芯,然后测压实度,发现结果离散性很大,可能在操作过程中土样受到了扰动.后改为用挖掘机对夯后路堤进行破坏性开挖,在路堤中部和边缘相应层位分别测压实度,结果离散性小,所以我们依此结果为依据进行分析.压实度检测结果如表1所示.总的看来,当点夯数为10击时,夯实效果最好.当点夯数为8击时,压实效果不够,而当点夯数为12击时,对路堤的深层扰动破坏开始出现,反而引起压实度降低.由表1还可见,浅地表压实度普遍偏低,这是因为点夯的作用是对路堤深层进行加固,但易引起浅层扰动,为了对浅层加固,点夯完毕后进行满夯,击数为2击,夯击能为 $60 t \cdot m$.

表1 夯后压实度检测结果

深度 /m	压实度/%					
	点夯数 8 击		点夯数 10 击		点夯数 12 击	
	中部	边缘	中部	边缘	中部	边缘
0.2	92	-	90	90	91	91
0.3	87	-	90	90	91	91
0.6	92	-	98	93	-	-
1.0	92	94	95	94	94	90
1.4	89	95	94	92	-	-
1.8	91	90	93	95	91	92
2.0	93	-	-	-	-	-
2.2	-	92	94	92	-	-
2.6	94	92	98	92	91	80
2.8	92	-	-	-	-	-
2.9	-	89	-	-	-	-
3.1	-	89	97	91	91	-

3 夯后路堤质量检测与沉降观测

威乳路路堤弯沉设计值为 213.3(0.01 mm),同时规范规定回弹值不得小于 40 MPa.试验段路堤施工完毕后进行的弯沉和回弹试验发现,实测弯沉值均小于设计值,平均为 85(0.01 mm),回弹值远大于

规范值,平均值为 60 MPa.这说明旧路堤的强夯处理方案能满足设计要求.

试验段自 2005 年 6 月 15 日开始施工,至 2007 年 7 月 30 日路基施工全部结束.施工期间在路堤内埋设了沉降杯以跟踪测试沉降.通过对试验数据进行拟合分析,得到 2007 年 7 月 30 日以后总工后沉降的横向分布曲线如图 6 所示.可见最大工后沉降不到 5 cm,平均不均匀沉降为 0.27%.沈大高速公路改扩建工程路基加宽技术研究课题组提出了新加宽路基工后沉降量不大于 8 cm 的控制标准.而河海大学在沪宁高速公路拓宽工程试验段地基处理中期报告中指出:拼接路基施工后,原高速公路路堤中心与新路肩的横坡度增大值应小于 0.5%.所以从工后沉降角度考虑,本课题组提出的旧路堤利用方案同样能满足设计要求.

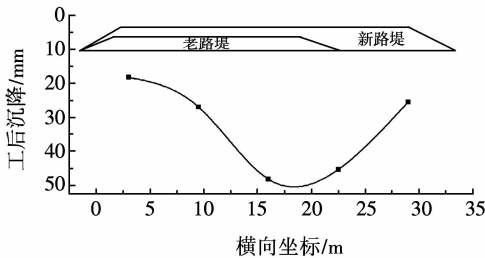


图 6 工后沉降横向分布曲线

Fig.6 Transversal distribution curve of settlement

4 路堤强夯方案的一般性推广

在道路规范中,路堤施工质量主要通过压实度来控制,所以对路堤进行强夯加固时,止夯标准也应该是各层满足相应的压实度.在前面论述的威乳路试夯中,夯后路堤压实度已满足了规范要求.对土性相近的路堤,能否将威乳路的试夯成果进行一般性推广,得到不同高度路堤对应的止夯标准,是值得进一步研究的课题.

宏观上,对土性相近的路堤,其压实度 D_c 主要与有效加固深度 h (即路堤高度)和贯入度 s (最后两击夯沉量的平均值)有关,即:

$$D_c = f(h, s) \quad (2)$$

将上式无量纲化,得:

$$D_c = F\left(\frac{s}{h}\right) \quad (3)$$

s/h 的物理意义为最后两击路堤各点平均残余塑性应变的平均值.

假设任一层的压实度 D_{ci} 与 s/h 符合线性关系,如下:

$$D_{ci} = a_i \frac{s}{h} \quad (4)$$

式中: a_i 为对应于第 i 层的系数.

a_i 反映了压实度与最后两击路堤各点平均残余塑性应变的平均值,与压实度有关.根据道路规范,路堤各压实分区的压实度不变,假设在该分区内 a_i 也是常数.那么由式(4)知 s/h 也为常数.

以威乳路试夯段为例, $h = 4 \text{ m}$, $s = 0.05 \text{ m}$, 所以有:

$$s = 0.0125h \quad (5)$$

以往在对半无限大地基进行强夯时,往往用 5 cm 的贯入度作为止夯标准;而式(5)表明,贯入度与路堤高度有关,所以借用地基强夯的贯入度作为有一定高度路堤的止夯标准是不正确,易导致过夯或有效加固深度不够.

由式(4)和式(5)知,对与威乳试夯段相近土性的路堤, $D_{ci}/a_i = 0.0125$,进一步知道 96%、94%、93% 压实度对应的 a_i 分别为 76.8、75.2、74.4.

需要说明的是,式(5)所示的 s 与 h 的关系是由威乳路试夯段得到的.对不同土性的路堤,建议分别进行试夯,然后得到相应的 s 与 h 的关系式,为以后路堤强夯工程提供重要的参考.

5 结论

利用旧路堤修建高速公路存在诸多问题需要解决,如新老地基不均匀沉降及老路堤压实度不足等问题.为解决这些问题,本文依托威乳高速公路建设,对强夯技术在旧路改建高速公路中的应用进行了研究.通过对强夯过程中和夯后地基中的超静孔隙水压力和土压力进行了跟踪测试和分析,确定了地基强夯中的关键工艺参数.通过对老路堤试夯,并结合工程经验及现场压实度等指标检测,确定了路堤强夯的工艺参数.夯后通过对路堤进行弯沉、回弹试验及现场沉降观测分析,发现强夯方案完全满足道路规范要求.另外,计算发现强夯方案的实施使成本减小为翻压方案的 44.3%,工期缩短为翻压方案的 71.6%,说明本文提出的强夯方案大大优于翻压方案.最后对威乳路试夯结果进行一般性推广,提出了路堤强夯的止夯标准.

参考文献:

- [1] 凌建明, 钱劲松, 黄琴龙. 路基拓宽工程处治技术及其效果[J]. 同济大学学报, 2007, 35(1): 45-49.

(上接第 56 页)

- LING Jian-ming, QIAN Jin-song, HUANG Qin-long. Sub-grade treatment techniques and effects for highway widening [J]. Journal of Tongji University, 2007, 35(1):45-49.
- [2] 吴征, 曾明, 钱志斌. EPS 轻质路堤的施工方法探讨 [J]. 公路交通科技, 2003, 20(4):30-33.
- WU Zheng, ZENG Ming, QIAN Zhi-bin. Brief introduction to construction method for EPS lightweight embankment [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(4):30-33.
- [3] MENAARD L, BROISE Y. Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation [J]. Geotechnique, 1975, 25(1):3-18.
- [4] 水伟厚, 王铁宏, 王亚凌. 碎石回填地基上 10000 kN·m 高能级强夯标准贯入试验 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28(10):1309-1312.
- SHUI Wei-hou, WANG Tie-hong, WANG Ya-ling. SPT for dynamic compaction with 10000 kN·m high energy on foundation back filled with crushed stone [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(10):1309-1312.
- [5] ROESSET J W. Impact of weight falling onto the ground [J]. J Geotech Engrg, 1994, 120(8):1395-1412.
- [6] HWANG J H, TU T Y. Ground vibration due to dynamic compaction [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2005, 26:337-346.

(编辑:孙广增)