

文章编号: 0451—0712(2005)01—0064—04

中图分类号: TU433

文献标识码: B

强夯块石墩软基处理工程沉降观测分析

房后国¹, 刘娉慧¹, 李祖信²

(1. 吉林大学建设工程学院 长春市 130026; 2. 东莞市建筑设计院 东莞市 420034)

摘 要: 对深圳湾填海区强夯块石墩道路软基处理工程的沉降资料进行分析, 指出强夯块石墩复合地基在荷载作用下的沉降由3部分组成, 强夯引起的淤泥固结沉降及块石垫层荷重作用下复合地基的剩余沉降占总沉降相当大的比例, 并由实测资料推算了最终沉降量, 评价了强夯块石墩加固软基的工程效果。

关键词: 淤泥; 软基处理; 强夯块石墩; 沉降

强夯块石墩是近年来发展起来的一种有效的软基加固方法, 由于使用强夯块石墩加固软基的历史较短, 对强夯块石墩复合地基的承载力和沉降的认识也存在差异, 其加固机理也有待进一步研究。工后沉降观测成果表明, 强夯块石墩复合地基的沉降偏大, 沉降计算值与实测结果往往相差较大。强夯块石墩通过置换、排水和挤密等联合作用, 与墩周土形成复合地基, 在荷载作用下沉降规律较为复杂, 通过研究沉降观测资料是分析强夯块石墩复合地基沉降特性、评价加固效果最直接有效的方法。

1 工程地质条件

深圳湾填海区第一期填海规划用地总面积为

288.5 hm², 场地属海湾潮间带及海积平原, 呈北高南低之趋势, 地面标高都低于平均海面, 大部分为海水浸没, 海床上面遍布一层3.0~7.4 m左右厚度的淤泥和淤泥质土, 其物理力学性质极差。同时, 考虑淤泥具有流动特性, 工程建设先进行围堰, 将填海区与外海隔开, 再把整个加固区分割成小区填海造陆, 因此必须先进行道路软基处理, 之后才能进行后续的填海和其他建设工程。在钻探揭露深度内, 根据场地岩土层结构特征自上而下分为5层, 第4层可分3个亚层, 各层主要物理力学性质指标如表1所列。

2 地基处理

2.1 地基处理的技术要求

表1 各土层主要物理力学性质指标建议值												
序号	地层名称	厚度 m	γ kN/m ³	E_s /MPa	C kPa	φ /(°)	C_v m/d	fk kPa	C_v m ² /s	ω %	e	$N_{63.5}$ 击
1	淤 泥	0.5~4.8	15.5	1.5	5.3	2.64	0.000 5	40	5.5×10^{-4}	80.0	2.17	
2	淤泥质砂	1.1~3.5	19.2	3.0			0.002	100	3.3×10^{-3}	28.1	0.82	
3	粘 土	0.6~4.5	18.86	4.0	32	7.7		140		34.4	0.91	7.0
4	含砾粘土	6.0~7.4	20	5.5		22	35	190		17.2		8.5
5	粉质粘土	0.9~3.4	19.1	5.5	22			180		29.7	0.80	
6	砾质粘土	4.6~8.7	18	6.5	30	28		200		30.5	0.93	

经软基处理形成复合地基后, 必须达到以下技术要求。

- (1) 道路设计荷载: 汽—超20。
- (2) 工后沉降小于15 cm, 沉降差异小于0.1%。
- (3) 道路路基交工(验收)面回弹模量 $E_0 \geq$

25 MPa, 软基处理交工(验收)面复合地基承载力 \geq 140 kPa。

- (4) 道路路基密实度(重型击实标准)要求。
 - ①白石洲路、四号路: 路槽下0~80 cm深度内应 $\geq 95\%$, 路槽80 cm以下深度应 $\geq 93\%$ 。

②其余路段:路槽下 0~80 cm 深度内应≥93%,路槽 80 cm 以下深度应≥90%。

2.2 地基处理方法

根据场地工程地质条件,对比了多种地基处理设计方案,确定场区道路软基主要采用强夯块石墩处理,部分淤泥层厚度较大的路段采用碎石桩堆载预压排水固结和深层搅拌桩处理,各条道路的地基处理方法见表 2。

表 2 各路段软基处理方法

道路名称	桩号范围	处理方法
白石洲路	K2+253.19~K2+283.19	碎石桩堆载预压
	K2+499.19~K2+529.19	
	K0+060.00~K2+253.19	强夯块石墩
	K2+529.19~K3+673.87	
二号路	K2+283.19~K2+343.19	深层搅拌桩
	K2+439.19~K2+499.19	
	K0+095.31~K0+501.70	强夯块石墩
三号路	K0+055.31~K0+095.31	碎石桩堆载预压
	K0+096.38~K0+569.41	强夯块石墩
	K0+056.38~K0+096.38	碎石桩堆载预压
四号路	K0+000.00~K0+286.44	强夯块石墩
五号路	K0+021.51~K0+600.42	强夯块石墩
六号路	K0+024.03~K0+771.89	强夯块石墩
七号路	K0+024.96~K0+917.36	强夯块石墩
八号路	K0+022.51~K1+046.11	强夯块石墩
区间路	K0+000.00~K0+279.92 K0+379.99~K0+660.24 K0+760.24~K1+036.82 K1+136.82~K1+474.54 K1+574.54~K1+897.77	强夯块石墩

2.3 设计参数的选择

(1)墩长、墩径、墩间距及夯点的布置:要求强夯块石墩穿透淤泥层,使块石墩着底;块石墩平均直径 1.2 m;夯点间距按 3 m×3 m 正方形布置;复合地基加固的置换率 $m=16\%$ 。

(2)夯锤、夯击次数、收锤标准:异形钢锤直径 1.0 m、高为 2.5 m,单击最大夯击能为 3 000 kN·m,总击数达到 21 击以上,最后 2 击夯沉量<100 mm;普通夯锤的大锤直径 2.0 m、高 0.6 m,单击最大夯击能为 2 000 kN·m,夯击击数达到 6 击,每夯相互搭接长度为 30 cm,最后 2 击夯沉量<50 mm。

(3)填石厚度:填石厚度≥3.0 m,填料以中风化、微风化石料为主,最大粒径≤80 cm。

2.4 施工质量检测

(1)载荷试验表明,软基经块石墩处理后,复合地基承载力在 155 kPa~179 kPa 之间,满足设计提出的技术要求。

(2)采用地质雷达和斜钻检测块石墩的墩径、外形及墩长情况,结果表明块石墩形态不很规则,呈冬瓜状、花瓶状、靴状等,墩轴心处块石密实程度大,墩边缘则密实程度减弱,块石粒径较大时,墩径也较大。墩径平均为 1.5 m 的墩体占 90%,墩底偏斜占 10%,墩体着底合格率为 96%。

3 沉降观测项目的布置

路基经强夯块石墩、搅拌桩和碎石桩等处理后,分层填筑路基土至完工(验收)面标高,仍会有一定的沉降量。为掌握沉降发展过程和评价软基处理效果,在强夯块石墩处理路段的块石垫层上布设沉降板和全断面沉降仪观测沉降量。考虑到经强夯后的路基沉降量较小,全断面沉降观测精度不高,因此以沉降板观测为主,只在具有埋设和观测条件的白石洲路段,设置全断面沉降仪。各条道路沉降板及全断面沉降仪布置如表 3 所列。

表 3 道路沉降观测项目布置数量

观测项目	分区	观测断面数	数量
断面沉降板	二号路	2	6
	三号路	2	6
	四号路	2	6
	五号路	3	9
	六号路	3	9
	七号路	3	9
	八号路	3	9
	区间路	7	21
	白石洲路	8	40
	白石洲路	4	4

4 沉降观测成果及分析

路基土分层填筑碾压,加载过程如图 1 所示,典型沉降过程曲线如图 2 所示,加载过程与沉降过程有较好的对应关系。由图中曲线可以看出,在路基土填筑期间产生了较大沉降,平均沉降速率约为 0.94 mm/d;加载完成后 1 个月,其沉降速率约为 0.34 mm/d;恒载 5 个月后 1 个月的沉降速率降至 0.05 mm/d,曲线已变得平缓,表明沉降已基本完成。

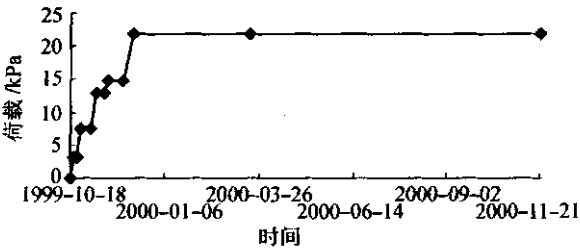


图 1 白石洲路 K3+100 加载过程

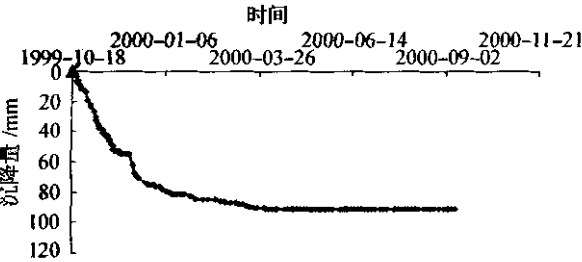


图 2 白石洲路 K3+100 沉降过程

加载完成 7 个月后各沉降观测断面中心线沉降板实测沉降 S_t 见表 4, 沉降量差别的原因是由于淤泥厚度及性质不均匀所致。软基处理后, 块石墩和墩周淤泥形成复合地基, 复合地基和下卧层成为路堤填筑时的压缩层。关于块石墩复合地基在荷载作用下的固结沉降规律, 尚无比较统一认同的理论和计算方法, 为了计算最终沉降量, 仍沿用实测沉降曲线进行推算。计算中采用双曲线法、三点法和 Asako 法等 3 种方法。

强夯块石墩复合地基最终沉降量由 3 部分构成:

$$S_{\infty}=S_1+S_2+S_3$$

S_1 为强夯引起的淤泥固结沉降及块石垫层荷重作用下复合地基的剩余沉降。在强夯过程中, 由于强夯的振动、挤压和扰动等原因, 墩间淤泥中出现超静孔隙水压力, 墩间淤泥土的强度有所降低。但墩体施工完成后, 墩体具有良好的排水能力, 随着时间的推移, 淤泥中孔隙水顺利排出, 孔隙水压力逐渐消散, 土颗粒重新排列, 有效应力增加, 其抗剪强度随土体的排水固结而逐渐增长。而墩体与淤泥共同构成散体材料的复合地基, 承载力主要取决于墩周土体的侧向压力, 墩周淤泥的侧向压力的大小对墩体的承载能力起关键作用, 二者之间是此长彼长的相互制约过程。

S_2 为路基土堆载作用下加固区的压缩量。在荷载作用下, 块石墩的存在使墩间土从原来主要是垂向受力的状态变为主要是水平向受力的状态, 当荷载作用下两者发生相同的沉降时, 会使大部分荷载

表 4 各断面中心线沉降板实测沉降值和推算最终沉降

道路名称	沉降板号 (里程)	实测 S_t mm	推算 S_{∞} /mm		
			三点法	Asako	双曲线
白石洲路	T0+100	35	43	45	51
	T0+600	55	105	121	137
	T1+100	73	111	118	126
	T1+550	106	132	145	158
	T2+100	56	98	103	118
	T2+600	79	102	121	137
	T3+100	91	135	146	154
	T3+600	63	94	103	114
二号路	T0+100	76	99	108	119
	T0+400	79	108	113	124
三号路	T0+100	121	145	168	179
	T0+400	146	197	204	225
四号路	T0+100	124	169	179	187
	T0+250	70	89	106	116
五号路	T0+100	61	92	110	124
	T0+250	78	134	145	161
	T0+500	91	147	156	167
六号路	T0+100	73	124	135	144
	T0+400	126	167	179	195
	T0+700	104	135	149	162
七号路	T0+100	124	175	189	201
	T0+500	97	149	154	162
	T0+900	77	113	126	139
八号路	T0+100	109	136	147	157
	T0+550	214	247	261	273
	T1+000	71	96	114	126
区间路	T0+100	132	156	165	179
	T0+400	92	134	150	169
	T0+600	102	127	139	153
	T0+900	77	104	124	141
	T1+200	101	138	143	157
	T1+600	89	124	137	149
	T1+850	132	168	179	192

由块石墩承担, 而作用在墩间土上的荷载相应地减少, 提高了软基的承载力, 降低了压缩量。

S_3 为堆载作用下的下卧层的压缩量, 为工后沉降的重要组成部分。

根据已有资料的可比性, 分析四号路测点 T0+100 和三号路测点 T0+400 的沉降组成(淤泥厚度

5.1 m)。其中,相应的 S_1 可以通过非堆载区的沉降板观测成果确定,得 $S_1=35\text{ mm}$; S_3 由场区堆载预压工程分层沉降观测确定,得 $S_3=19\text{ mm}$;从而可知在路基土堆载作用下加固区压缩量 $S_2=70\text{ mm}\sim 92\text{ mm}$;由此可见 S_1 占总沉降的相当大比例。而复合地基最终沉降量计算值 $S'=S_2+S_3=71\text{ mm}$,与观测结果相差较大。

经强夯块石墩处理后,软基横断面沉降如图 3 所示,与碎石桩堆载预压横断面沉降曲线(图 4)形式完全不同。碎石桩堆载预压差异沉降发生在路基两边缘,差异沉降量较小;而强夯块石墩处理后横断面沉降曲线呈波浪状。这是由于块石墩体和墩周淤泥刚度相差较大所致,差异沉降发生在墩体和墩周淤泥之间,为调整不均匀沉降,需要铺设合理厚度的块石层和风化石渣层。

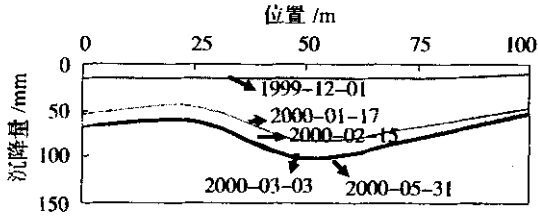


图 3 白石洲路 K0+550 横断面沉降量(强夯块石墩)

5 结语

- (1)深圳湾填海区道路软基经强夯块石墩处理后,复合地基承载力和工后沉降量满足技术要求,表明工程加固效果是好的。
- (2)分层填筑路基土至交工(验收)面标高,仍发

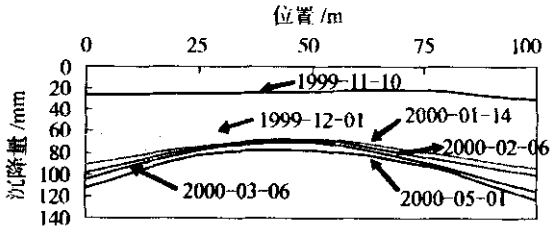


图 4 白石洲路 K2+600 横断面沉降量(碎石桩预压)

生较大沉降,但填土完成 3 个月后,地基平均固结度达到 75%,大部分沉降基本完成,经实测资料推算,工后沉降满足小于 15 cm 的设计要求。

(3)强夯引起的淤泥固结沉降和块石垫层荷重作用下复合地基的剩余沉降占总沉降相当大的比例,在沉降计算中应加以考虑。

(4)强夯块石墩加固软基具有很大的优势和应用前景,尚需在其加固机理、计算理论和检测手段方面作更深入的研究。

参考文献:

- [1] 鄢鹤萍,潘兼荣,王必卫.强夯块石墩加固软土地基的设计与施工[J].公路,2001,(8).
- [2] 王家远.碎石桩复合地基承载力和沉降若干问题[J].土工基础,1996,(6).
- [3] 闫明礼.地基处理技术[M].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [4] 余宗川,等.垫层作用下石灰桩复合地基工作性状[M].岩土工程学报,1998,(2).
- [5] 吴廷杰,杨志红.碎石桩复合地基应力传递的研究[J].地基处理,1994,5(4).

Analysis of Observation Data of Soft Ground Treated with Dynamic Compacted Stone Piers

FANG Hou-guo¹, LIU Ping-hui¹, LI Zou-xing²

(1 Construction Engineering College, Jilin University, Changchong 130026,China,

2 Dongguan Architectural Design Institute, Dongguan 420034,China)

Abstract: The observation data of composite foundation treated with dynamic compacted stone piers are analyzed, and the conclusion make out that the settlement of composite foundation with heavily rammed stone piers can be divided into three parts. Consolidation settlement of soft soil induced by dynamic compaction and the residual settlement under loading of rubble bedding, which takes a large proportion of total settlements. The ultimate settlement is calculated on the basis of monitoring data and the reinforcement of dynamic compacted stone piers is evaluated.

Key words: soft soil; soft ground treatment; dynamic compacted stone pier; settlement