改进沉管碎石桩复合地基的几点认识

夏才安[1]　蔡继武[2]　郑永胜[1]　邱良佐[1]
(1 浙江工业大学建工学院，杭州，310014)　(2 临海市城建局，临海，317000)

提　要　本文通过二项碎石桩复合地基处理的工程实例比较，提出改进沉管碎石桩复合地基的几点认识。

一　沉管碎石桩复合地基的概述

沉管碎石桩按施工方法不同可分为三种：

1. 管内投料重锤夯实法；
2. 管内投料振实法；
3. 先拔管后投料复打密实法。

本文讨论的是第二种：管内投料振实法。

适用土层：松散或易液化砂质土、粉土为主，其次为杂填土(以建筑垃圾为主)和素填土(粉土类为主)。

适用条件：可允许上部存在 2~5m 厚的极软弱土，如淤泥、淤质土等，通过建造半地下室或地下室，形成补偿基础。

补偿基础以下为需要振动填密的适用土层，一般宜选砂质土及粉土或中细砂层，为充分发挥复合地基作用，在复合地基顶部可适当增厚碎石垫层(0.2~0.5m)，有条件时可增至 0.5~1m。

碎石桩复合地基的下卧层应能满足承载力及沉降变形要求。

因此，沉管碎石桩复合地基可通过将各种有利工程地质条件与优选施工工艺相结合组成有效方案。

一般设计要求：桩径 300~800mm，杭州常用 377mm，采用等边三角形或正方形布桩，桩间距<4d(d 为桩径)，松软土层不厚时，应穿过松软土层，加固宽度超过基础的宽度，每边放宽 1~3 排。用于防液化时放宽不小于处理深度的 1/2，并不应小于 5m。上覆厚度大于 3m 的非液化土层时，每边放宽不宜小于液化层厚度的 1/2，并不应小于 3m。

通过本文的二项工程实例，分别按一般设计要求与改进的设计要求作对比，两者在施工工艺、桩长、基础外加固宽度等方面有较大改变。改进后的沉管碎石桩复合地基的承载力标准值比天然地基提高 1.78~3.00 倍，碎石桩桩长减少 2/3 左右(13m 减少至 4.4m)，结顶后沉降量 3~21mm，一般为 11~15mm 左右，取得较好效果，使用已近一年，均较正常。

二　工程实例

1．按一般设计要求的沉管碎石桩复合地基

简况：位于杭州东部滨江区，为 7 层砖混凝土结构，采用半地下室(自行车库或汽车库)，桩径 377mm，砂:石子=3:7，含泥量<5%，等边三角形布桩，桩距横向 1.5m，纵向 1.3m，桩长 13m，基础外宽度增加 4 排，要求拔管速度 1.5m/分，每拔 1~1.5m 停拔振动 5 秒钟，要求充盈系数 1.20(实测 1.16 左右)，施工顺序从南、北两侧向中间打桩挤密，密实后地面下沉 0.5m 左右，见图 1。

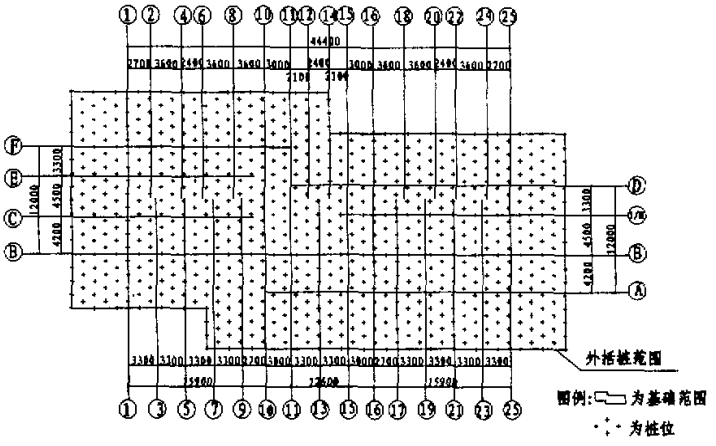


图 1　一般设计桩位平面分布示意图

表 1 标准贯入试验实测值一览表

土层深度 H（m）	统　计 总次数	复合地基桩间土 标准贯入试验值 N(击/30cm)	复合地基桩间土 承载力 f_k(kPa)	桩间土 压缩模量
填土（1.8~4.0m）	6	15	150	10.0
粉土（1.8-4.0m）以下	59	21	200	13.0

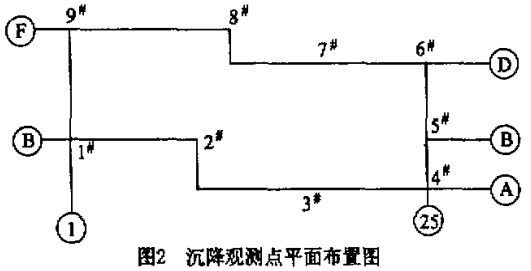


图2　沉降观测点平面布置图

表 2　沉降观测结果表

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
沉降量（mm）	23	22	33	43	38	34	32	28	25

2. 改进的沉管碎石桩复合地基

杭州市文晖路东，建筑物为八层框架结构，设地下室一层，桩径 377mm，桩距 1.2m，正方形布桩，有效桩长 4.4mm，拔管速度 1.2m/分，下部 4m 反插 8 次，每次上升 1m，反插 0.5m，每次上升后停拔，振动 10 秒钟。实测充盈系数 1.20~1.63，一般为 1.35~1.45 左右。振密后地面下沉不明显，详见图 3、表 3、表 4、图 4。

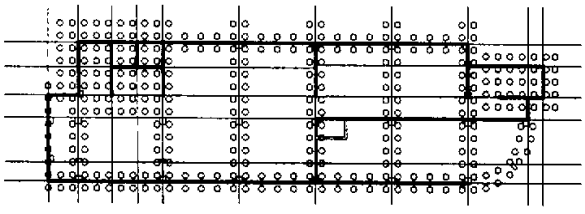


图 3　桩位平面布置图

表 3　改进碎石桩复合地基效果对比表

加固前后 比较检测方法	天然地基	改进的复合地基	提高倍数	备注
静载荷试验（kPa）	135	375~405	1.78~2.00	
静力触探q_c值 (kPa)	3000	5100~6500	1.75~2.17	

表 4　沉降观测结果表

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
沉降量(mm)	11	21	14	3	15	13	13	11	3

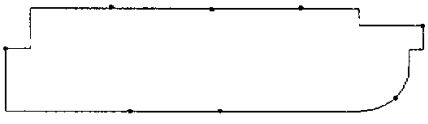


图 4　沉降观测点平面布置图

三　几点认识

改进的沉管碎石桩复合地基取得较好效果，主要有利因素如下：

1．改进的沉管碎石桩复合地基充分利用了工程地质条件，上部采用补偿基础，中部采用碎石桩复合地基作持力层，下部有土质较好的土卧层，见图5所示。

2．优化了施工工艺：分别对桩距、桩长作了改进，加强了复振、反插、饱和激振等措施，完成了去液化作用，提高了复合地基密实度，底部对下卧层有一定振密作用。

补偿层	淤泥、淤质土杂填土等	（2~5m）	f_k< 105kPa
持力层	细砂土、砂质粉土等	（4~6m）	f_k 115-13kPa
下卧层	砂质粉土、粉土、粘土	（>6m）	$f_k \geqslant$130kPa

图5 工程地质条件示意图

3．依据双层地基原理，改进后的碎石桩复合地基强度远大于下卧层，类似于上硬下软的双层地基，有利于竖向应力扩散，与静载荷试验结果较为吻合。

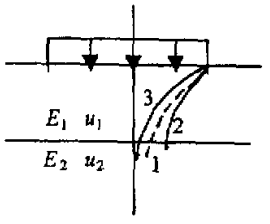


图6 双层地基竖向应力分布图

图中 曲线1为均质地基中附加应力分布图；
曲线2为岩层上可压缩土层中的附力应力分布图；
曲线3为上层坚硬下层软的双层地基中附加应力分布图；
E_1、E_2为持力层与下卧层变形模量；
u_1、u_2为持力层与下卧层泊松比。

4．改进的沉管碎石桩复合地基，是各种有利条件优化组成，仍需通过复合地基静载荷试验等可靠检测方法验证方可采用，其适用性有一定局限性。但仍具备进一步优化组合发掘潜力的各种有利因素，有可能在9~14层小高层建筑的地基处理方面获得成功。

参考文献

[1] 龚晓南：《复合地基.浙江》，浙江大学出版社。

[2] 龚晓南，俞建霖，严平主编：《岩土力学与工程的理论及实践》，上海，上海交通大学出版社，1999。

[3] 华南理工大学、浙江大学等四校合编：《.地基与基础》，北京，中国建筑工业出版社，1980。