汕头地区振冲碎石桩加固可液化地基的工程实践

黄上进　　何文魁
（汕头市升平建筑设计院，汕头，515021）（汕头市金园区工程质量监督站，汕头，515041）

提　要　本文根据汕头地区振冲碎石桩加固可液化地基的工程实践，阐述了振冲碎石桩技术可靠、施工快捷，是加固可液化地基的有效方法之一。

一　前　言

汕头地处沿海，工程地质构造复杂，大部分地区上部软弱土层较厚，含水量大，力学性能差，同时又是国家重点抗震城市，地震设防烈度为 8 度。软土地基加上 8 度抗震设防，使得汕头地区多层及高层建筑工程的基础形式，绝大部分采用桩基，桩长一般超过 30m，基础造价占整个工程造价的比重不低。但对于某些场地的地基而言，工程采用桩基，仅仅是为了满足地基的抗震要求，消除沙土地基的液化，而没有认真考虑如何处理、改良和加固可液化砂土地基，提高地基的抗液化能力和承载力，以降低基础工程造价。

近年来，汕头地区开始尝试采用振冲碎石桩加固可液化地基，工程实践证明，振冲碎石桩技术可靠，成本较低，施工快捷，效果良好，是加固可液化地基的有效方法之一。

二　地震作用下的地基液化问题

液化是指固态物体转化为可流动液体的一种物态转变现象。地震时，饱和砂土或粉土颗粒在强烈振动下发生相对位移，颗粒结构有压密趋势，若排水不畅，则砂土中的孔隙水压就要上升，导致砂土颗粒间的有效应力下降乃至丧失，砂土颗粒局部或全部处于悬浮状态，土体抗剪强度等于零，变成可流动的悬浊液，这就是地震液化。

液化会引起地面喷水冒砂、地基失效、侧向扩展及地基不均匀沉陷等，从而造成建筑物的破坏。由于地基液化而造成建筑物严重震害的例子很多。如 1964 年日本新泻地震、1976 年我国唐山地震都曾由于饱和砂土地基液化而失效，造成大量建筑物的不均匀下沉及倾斜。

三　振冲碎石柱加固地基的抗液化工作机理

国内外研究和地震灾害调查表明：振冲碎石桩加固可液化地基，效果显著。例如日本

1964 年新泻地震和 1968 年十胜冲地震时，未进行加固处理砂土地基上的建筑物破坏严重，而经振冲碎石桩加固处理的砂土地基，经地震考验未发现液化失稳现象，建筑物也无明显破坏。其主要工作机理：

1. 当可液化的砂土地基用振冲碎石桩加固处理后，地基土的相对密实度能大幅度提高，孔隙率降低，干密度和内摩擦角增大，产生很好的密实效用。它既包括振冲对砂土地基的振密效应，还包括成桩后使桩位的砂土被挤入桩间砂土的挤密效应。

2. 碎石桩体可发挥类似砂井的排水效用，形成了砂土中良好的排水通道，缩短土中水渗流途径，加速了超孔隙水压力的消散。因此在反复地震作用下，孔隙水压力不易增长，也就不会发生液化。

3. 碎石桩体及其上部碎石垫层增加了土层的覆盖压力，改变了松散砂土和粉土的排列方式，遏制了喷水冒砂等宏观液化的发生。

4. 碎石桩体不仅分担了上部竖向荷载的作用，而且还分担了地震剪切应力对土体的作用，提高了地基土的整体抗剪强度。

四　振冲碎石柱加固可液化地基的工程实例

汕头地区某些场地的地质构造情况、比较适合用振冲碎石桩法处理加固，从而达到消除地基液化，提高地基承载力，降低基础造价的目的。表 1 为部分工程实例。

五　工程实例分析

1. 从表 1 中可知，振冲碎石桩加固后的粉细砂层，平均标贯击数在 20 击以上，大于加固前粉细砂层的平均标贯击数及液化判别标贯击数临界值，说明加固效果比较明显，可达到地基抗液化的目的。

2. 砂土地基经振冲碎石桩加固后，不仅改善了地基的抗震性能，地基承载力也得到相应提高。汕头地区地基浅部粉细砂层承载力标准值一般为 f_k=80～100kPa，经振冲碎石桩加固后，载荷试验测得复合地基承载力标准值 $f_{SP,k}$=140～165kPa。

3. 许多工程实例的沉降观测资料表明，采用振冲碎石桩加固砂土地基后，改善了地基土的变形特性，提高了其抗剪能力，减少了在荷载作用下可能发生的沉降和不均匀沉降。

由于沉降计算较为复杂且计算结果往往与实际沉降不相符合，汕头地区振冲碎石桩加固砂土地基的变形控制，主要根据被加固的粉细砂层的厚度，凭工程经验估计：当厚度超过 6m 以上时，多层建筑物的沉降量一般在 80mm 以内；厚度在 5～6m 时，沉降量为 80～100mm；厚度 4～5m 时，沉降量大于 100～150mm；厚度小于 4m 时，不宜用振冲碎石桩加固。

4. 由于振冲碎百桩复合地基承载力达到 140kPa 以上，多层建筑物的基础一般可采用钢筋混凝土条形或十字交叉基础。按目前汕头地区的工程造价，地基加固和基础造价每平方米 70～85 元，若采用预制桩或钻孔灌注桩，同类建筑物的基础造价，每平方米为 120～170 元。两者对比，经济效益比较可观。

表 1 振冲碎石桩加固可液化地基工程实例统计表

序号	工程名称	层数	桩长(m)	桩径(m)	桩距(m)	砂层厚度(m)	上部杂填土厚度(m)	下卧层(淤泥)厚度(m)	加固前标贯击数N(击)	加固前f_s(kPa)	液化临界标贯击数N_{cr}(击)	加固后标贯击数(击)	复合地基承载力标准值f_{spk}(KN)	竣工时间	最大沉降量(mm)
1	汕头市广播电视大学	八	6.5	0.8	1.8	中细砂层7.0~7.5	0.2~0.8	15.6~28.5	7.8	80	13	22	150	1995.12	80
2	汕头市侨中科学馆	七	8.0	0.8	1.8	细砂粉砂层7.5~9.0	0.2~0.6	18.7~27.1	10.5	100	12	21	150	1996.8	62
3	汕头市津怀中学有汉科学馆	四层半	7.0	0.8	1.8	细砂层7.5~9.0	0.2~0.5	7.5~27.7	10.0	90	11	21	150	1996.9	60
4	汕头市新石小学教学楼	七	7.0	0.8	1.8	细砂层7.5~9.0	0.3~0.6	6.0~25.7	9.8	100	11	23	165	1996.7	45
5	汕头市教育局一中宿舍楼	七	6.0	0.8	2.0	中细砂层6.3~6.8	0.2~0.8	15.3~30.3	7.7	90	13	22	140	1997.12	50
6	汕头市利生前危改1幢	九	6.5	0.8	1.8/1.6	细砂层6.5~7.2	0.4~0.8	20.7~26.1	7.7	80	10	22	160	1998.4	47
7	汕头市红领巾路滨海大厦	十	6.5	0.8	2.2	细砂层5.1~6.5	0.2~1.2	15.2~24.8	8.5	80	11	20	160	1998.6	90
8	汕头市红领巾路79号商住楼	八	7.3	0.8	1.8	细砂层7.0~8.3	0.5~0.8	15.8~23.6	9.5	90	11	28	165	1998.6	47
9	汕头市华侨新村路金骏园	八	6.5	0.8	1.6	粉细砂层6.5~7.6	0.5~0.8	21.0~28.8	8.0	90	12	32	165	2000.4	32
10	市大华路二三巷危改2幢	七	7.0	0.8	1.8	细砂层7.5~8.5	0.5~0.8	22.4~30.1	10.0	90	11	33	150	1999.1	34
11	汕头市大华路旧座住宅楼	六	5.5	0.8	2.0	细砂、粉砂层3.6~5.6	1.2~1.7	21.0~23.0	10.0	80	11	20	160	2000.4	120
12	汕头市离心机厂宿舍楼	七	7.0	0.8	2.0	细砂层7.0~7.5	0.5~0.8	12.6~25.3	8.0	80	10	23	150	1999.3	45
13	陵海老村改造片1幢	七	5.5	0.8	2.0	细砂、粉砂5.5~7.0	0.2~0.5	18.0~25.7	10.4	100	11	20	160	2000.3	90
14	汕头市卫工一幢3幢	七	6.0	0.8	2.2	粉细砂层6.5~7.2	0.3~0.7	19.0~29.5	7.9	80	10	19	150	1999.11	50
15	汕头市气象局宿舍楼	七	7.3	0.8	1.8	细砂层7.5~9.5	0.1~0.6	4.9~23.5	11.0	110	12	42	160	1999.4	30

备注：汕头市利生前危改1幢和市红领巾路79号商住楼碎石桩单桩载荷试验最大值达到500kN。

六 结 语

1. 汕头地区某些场地的地基，上部粉细砂层较厚，采用振冲碎石桩加固地基，密实效应较为明显，能普遍提高桩间土层的标贯平均击数和抗震能力，有效地消除砂土地基的液化，可作为多层建筑物的浅基持力层。

2. 振冲碎石桩加固可液化砂土地基后，地基承载力提高幅度在 40%以上，相比其它桩基础可节省不少基础造价，有较好的技术经济意义。

3. 振冲碎石桩复合地基的沉降计算理论和方法仍不够成熟。建筑物的沉降量大小，仍靠设计人员的经验估算。实际工程中，计算值与实测值的差异，在一定程度上，影响了振冲碎石桩法的进一步推广应用。

参考文献

[1] 《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)。

[2] 丰定国等：《工程结构抗震》，北京，地震出版社，1995。

[3] 龚晓南：《地基处理新技术》，西安，陕西科学技术出版社，1997。

[4] 林本海等：《复合地基的液化检验理论及其应用》，北京，中国水利水电出版社，1999。

[5] 《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91)。