第17卷 第2期
1997年4月
桂林工学院学报
JOURNAL OF GUILIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Vol. 17 No. 2
Apr. 1997

振冲碎石桩设计理论在工程中的应用

杨继革
（冶金工业部沈阳勘察研究所，110015）

姜兰芳
（东北煤田地质局）

佘金萍
（冶金部华东勘察基础工程总公司）

欧阳建华
（阜新电力修造厂）

摘 要 通过40余项工程实践及振冲碎石桩设计理论的应用，认为在工程设计中桩土应力比（n 值）必须进行实测，即 $n=f_p/f_s$ 才能使得计算结果与实际相吻合。在以振冲密实为主的振冲碎石桩工程设计中，以置换率 m 作为主要参数计算桩距的方法，可供处理地基时参考。

关键词 振冲碎石桩；桩土应力比；置换率；振冲置换；振冲密实

分类号 TU472.31；TU472.1

1 振冲碎石桩加固机理

1.1 砂性土

振冲加固砂性土地基是在地基土中产生周期性振动挤压作用，从而使周围土体产生动孔隙水压力（图1），当动孔隙水压力值超过某一数值，即砂性土产生人工“液化”，处于液化状态的砂土颗粒在重力作用下重新排列，作新的紧密堆积，乃至达到新的稳定状态。砂土颗粒的重新排列，可提高砂土的密实度，增加强度，减少变形。

1.2 粘性土

振冲碎石桩加固粘性土地基是通过碎石桩，将均一的地基变成复合地基。在复合地基中碎石桩与桩间土共同作用，改变原来均一地基土的物理力学性质，达到加固改良地基的作用。

2 振冲碎石桩设计理论探讨

振冲碎石桩设计理论目前还处在半理论、半经验状态。这是因为一些设计方法，如对有抗震要求的松砂地基的挤密标准、复合地基承载力计算方法、最终沉降量计算方法、抗滑稳定计算方法等都还不够成熟。然而在前人的工作经验及笔者对秦皇岛电业大厦、包钢设计院秦皇岛分部设计科研主楼、美亚湛江炼油厂、苏家屯热电厂新建工程、大连海湾变电所振冲加固工程等40余项的工作实践综合研究认为：振冲碎石桩设计理论的采用，首先要分清它的加固机理，是以振冲置换为主还是以振冲密实为主。

2.1 振冲置换

1996年11月18日来稿，12月30日改回。

第一作者简介：杨继革，男，1961年出生，高级工程师，岩土工程专业。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

该法是以碎石桩置换为主要目的的处理方法。

$$f_{spk}=f_s+(n-1)m\cdot f_s \quad ; \qquad E_{spk}=E_s+(n-1)m\cdot E_s$$

式中：f_{spk}—复合地基承载力标准值；f_s—桩间土承载力标准值；n—桩与桩间土应力比；m—置换率；E_{spk}—复合地基压缩模量；E_s—桩间土压缩模量。

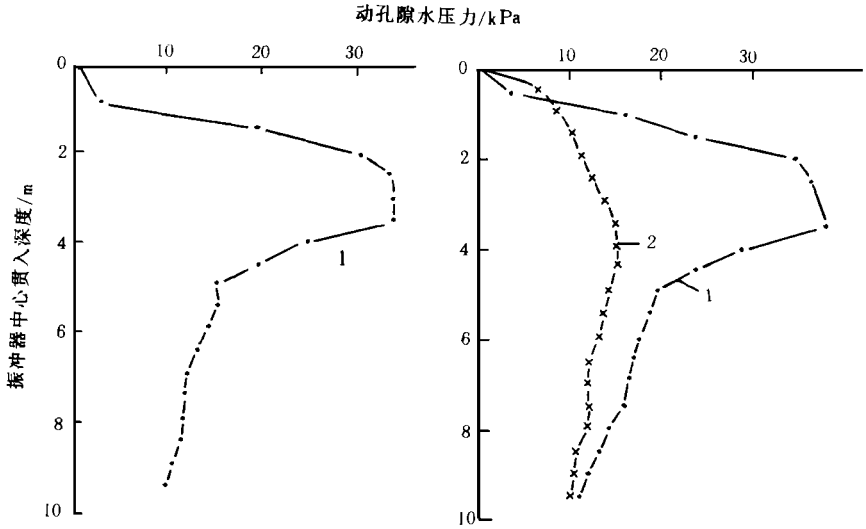

图 1 振冲器贯入过程中动孔隙水压力过程变化曲线

Fig. 1 The curve of the pore water pressure process

图中：1—距振冲器 1m；2—距振冲器 2.25m

该方法的主要设计参数为桩土应力比 n 值，该值的取定决定复合地基承载力标准值及压缩模量的计算值是否与实际相吻合。n 值与外部荷载及时间有关，这在大压板复合地基的载荷试验观察中十分明显，即在整个建设过程中是变量，最后逐渐趋于稳定。所以桩土应力比要进行实测，即 $n=f_p/f_s$ 这样才能使设计与实际更相吻合。振冲置换法处理软弱地基土可改变其结构构成，提高地基土的变形模量与弹性模量，从而减小基础沉降量及回弹量。多项工程实践认为，采用变间距或变桩长设计可有效地解决地基的差异沉降。工程实践证实：置换率 m 的大小影响 n 值，这是因为桩的强度与土的侧限力 ρ_3 有关。

2.2 振冲密实法

是以振密地基土为主要目的的地基处理方法。如有抗震要求的松砂地基，则要根据砂土的颗粒组成，起始密实程度，地下水位，建筑物的设防烈度来计算振冲的加固深度、布点型式、间距、振密标准及加固范围。

笔者认为：振冲密实法的设计理论，对其加固范围的确定目的在于保护基础下的砂体。根据“扩散理论”来计算加固范围更接近实际。

振冲碎石桩处理砂性土地基的桩距计算公式，可采用 $f_{spk}=m\cdot f_p+(1-m)f_s$ 公式来推导出桩距公式更与工程实际相吻合，并在工程中得到应用。

其计算公式的推导：

$$m=(f_{spk}-f_s)/(f_p-f_s)$$

三角形布桩：$L=\frac{D}{2}\sqrt{\frac{\pi}{m\cdot\sin 60^\circ}}$；正方形布桩：$L=\frac{D}{2}\sqrt{\frac{\pi}{m}}$；单排布桩：$L=\frac{D^2}{4}\frac{\pi}{mB}$

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

式中：L—碎石桩桩距；D—碎石桩桩径；f_{spk}—复合地基承载力标准值；f_s—桩间土承载力标准值；f_p—碎石桩承载力标准值；m—置换率；B—基础宽度

3　工程实例分析

选用 5 项具代表性的工程为例。其工程加固的土质分别为松散砂土地基、淤泥质粉质粘土地基、软塑粉质粘土地基及素填土地基。其各项工程概况及力学指标，加固效果如表 1。现对其分别评述如下：

表 1　5 项工程实例的加固效果统计

Table 1　Statistics of consolidation effect of 5 engineering projects

工程名称	加固土层	加固前		加固后采用的检测手段	加固后		桩径/m	复合地基承载力标准值/kPa	复合地基压缩模量/MPa
		承载力标准值/kPa	压缩模量/MPa		桩间土承载力标准值/kPa	桩体承载力标准值/kPa			
秦皇岛电业大厦	中砂层，稍密，液化	130	10	重型圆锥动力触探试验，静力载荷试验，瑞利波试验	300	600	0.70～0.75	450	40
包钢设计院秦皇岛分部设计科研主楼	中、粗砂松，散－稍密，液化	120	8.5	重型圆锥动力触探试验，标准贯入试验	300	600	0.6	360	40
美亚湛江炼油厂	灰黑色粉质粘土，软塑。浅灰色淤泥，流塑	80 50	3.0	重型圆锥动力触探试验，静力载荷试验，标准贯入试验	80	300	1.20 1.30	150～180	8
苏家屯热电厂新建工程	粉质粘土，软塑	110	3.5	重型圆锥动力触探试验，静力载荷试验，大压板 2.6m×2.6m	130	300	0.8～0.9	180（理论计算），210（实测）	12
大连海湾变电所	素填土，松散，主要由碎石及粘性土组成	该工程设计浮桩，桩座在 6.5m 以下的淤泥层上		重型圆锥动力触探试验	180	320	0.7～0.8	210	11

（1）上述工程均是采用经验公式：$f_{spk}=m\cdot f_p+(1-m)f_s$ 进行设计，项目都已建成投产多年，使用良好，且地基土加固后理论计算与实测吻合性较好。

（2）砂性土地基的振密效果明显，桩间土强度明显提高。若桩土应力比以经验值取定则较难把握设计的准确性，亦即很难与实际相吻合。

（3）对于 m 值的分析，桩径不是定值，它与加固土层的物理力学性质有关，特别在粘性土中更明显，差异更大；高压缩性土桩径大，低压缩性土桩径小。

（4）在大连海湾变电所振冲工程中，成功地运用“扩散理论”和“碎石桩群的均布作用”，采用浮桩群处理素填土地基，取得成功经验，该项工程已投产 8 年，效果很好。

（5）采用振冲碎石桩设计理论计算的复合地基承载力标准值，往往低于大压板复合地基载荷试验得出的承载力标准值。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

4 结束语

（1）振冲碎石桩的设计理论还处在半理论、半经验状态，根据工程实例及前人的施工经验，得出了对设计理论在工程中应用的认识。由于所作的大型原位测试及其它非常规手段测试还不够齐全，仍须在今后的工程实践中加以总结、论证，使振冲碎石桩设计理论得以完善。

（2）振冲碎石桩的破坏形式有 3 种：即鼓出破坏、刺入破坏和剪切破坏。研究表明只要桩长大于临界长度（约桩径 4 倍）就不会发生刺入破坏。笔者遵守了这一原则，故所有工程的项目均未发生刺入破坏。

（3）不同土类的碎石桩加固效果不同。砂性土地基挤密效果非常明显，可大幅度提高地基土强度及抗液化能力；而粘性土其强度提高不大。

（4）应力扩散理论和碎石桩群的均布作用为采用浮桩群处理厚层软土地基提供了理论依据，并在一些工程实践中得到应用，从而取得可观的经济效益和社会效益。

（5）碎石桩理论可有效地计算复合地基承载标准值、沉降量、稳定性。但对这些理论计算参数的选定需在工程实践中进一步验证。关于复合层的应力分布理论，仅以桩与桩间土的加权平均不够，有待在今后的工程实践中验证，它将会促进碎石桩设计理论的发展，使之客观地反映工程实际情况。

APPLICATION OF THE DESIGN THEORY OF THE VIBRO—PERCUSSIVE DETRITAL PILE TO THE ENGINEERING PROJECT

Yang Jige
（*Shenyang Research Institute of Investigation*，*MMI*）
Jiang Lanfang
（*Northeast Bureau of Coal Geology*）
Yu Jinping
（*East China Co. of Investigation Engineering*，*MMI*）
Ouyang Jianhua
（*Fuxin Electric Power Repair Plant*）

Abstract On the basis of more 40 engineering projects evaluation and of the the application of the design theory of the vibro—percussive detrital pile, it is proposed that n value—the stress ratio between pile and soil in the process of engineering design must be measured, namely, $n = f_p / f_s$, the calculation result can be in concordance with practices. In the engineering design of the vibro—percussive detrital pile with mainly vibro—percussive densification, a calculation method of the pile distance as the main parameter by using the replacement ratio can be referred to the processing of foundation.

Key words stress ratio between pile and soil; replacement ratio; vibro—percussive replacement; vibro—percussive densification

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www