

文章编号: 1000-7598-(2006)12-2159-05

二元桩复合地基设计计算及其检测方法探讨

黄昌乾¹, 陈昌彦², 王超凡¹

(1. 中航勘察设计研究院, 北京 100086 2. 北京市勘察设计研究院, 北京 100038)

摘 要: 对两种桩型所构成的二元桩复合地基的设计计算方法进行了全面的对比分析, 指出了一些错误的荷载板放置方式, 提出了二元桩复合地基的一些载荷试验检测方法。

关 键 词: 二元桩; 复合地基承载力; 载荷试验检测

中图分类号: TU 413.4

文献标识码: A

Analysis of computation methods of bearing capacity and load test methods for binary pile composite subgrades

HUANG Chang-qian¹, CHEN Chang-yan², WANG Chao-fan¹

(1. Geotechnical Institute of China Aviation Industry, Beijing 100086, China; 2. Beijing Geotechnical Institute, Beijing 100038, China)

Abstract: The computation methods of bearing capacity of binary pile composite subgrades are analyzed roundly; and some wrong laying methods of load test board are pointed out; at the same time, some methods of load test are put forward for binary pile composite subgrades.

Key words: binary pile; bearing capacity of composite subgrades; load test method

1 引 言

近年来, 随着工程建设规模的增大, 相应地对地基基础条件的要求亦越来越高, 复合地基加固技术得到了迅速发展和广泛应用, 并发展成一些相对复杂的复合地基技术, 诸如由多种桩型、桩体材料或桩长等组成的多元桩复合地基, 其中以两种桩型构成的二元桩复合地基最为普遍。所谓二元桩复合地基主要是由两种施工工艺不同, 或桩体材料不同, 或者是桩长不同的两类桩体组合成的复合地基。其组合型式主要有两种, 一种是刚性桩与柔性桩的组合, 另一种是长短不同的刚性桩组合。

目前工程中对单一桩型的复合地基的设计计算形成了较为成熟的技术规范^[1], 但是对于多桩型的复合地基的设计计算、静载荷检测等方法都尚处于探讨中。本文重点对二元桩复合地基的设计计算及其静载荷检测中的一些重要问题进行深入探讨。

2 二元桩复合地基承载力计算方法

两种桩型构成的复合地基中, 因其桩体材料不

同, 或者是桩长不同而在复合地基中的作用是不同的。通常, 将单桩承载力高的桩作为主桩, 将另外一种桩称为辅桩^[2]。辅桩和主桩对应的单桩承载力特征值分别为 R_{a1} 和 R_{a2} , 截面面积分别为 A_{p1} 和 A_{p2} , 面积置换率分别为 m_1 和 m_2 。目前两种桩型复合地基承载力计算方法主要有两种:

(1) 直接利用力学平衡原理, 依据公式 (1) 进行计算^[3]:

$$f_{spk} = \gamma_1 m_1 \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + \gamma_2 m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta(1 - m_1 - m_2)f_{sk} \quad (1)$$

式中 f_{spk} 和 f_{sk} 分别为地基处理后最终的复合地基和桩间天然土承载力特征值; γ_1 , γ_2 和 β 分别为辅桩、主桩和桩间天然土承载力发挥系数, 实际工作中, 为了简化计算, 常取 $\gamma_1 = \gamma_2 = 1.0$ 。

(2) 根据复合地基的定义, 在满足力学平衡的基础上, 先将辅桩进行常规的复合地基计算, 得到等效的辅桩复合地基的承载力特征值 f_{spk1} , 然后在此等效复合地基基础上, 对主桩进行最终的复合地基承载力特征值 f_{spk} 。在假设 $\gamma_1 = \gamma_2 = 1.0$ 的条件下,

收稿日期: 2005-02-24

作者简介: 黄昌乾, 1972 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事水文地质与工程地质勘察、岩土工程勘察与设计、地基检测等工作。

E-mail: huang3262@163.com

相应的计算公式如下:

$$f_{\text{spk1}} = m_1 \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + \beta(1-m_1)f_{\text{sk}} \quad (2)$$

$$f_{\text{spk}} = m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta_1(1-m_2)f_{\text{spk1}} \quad (3)$$

$$f_{\text{spk}} = \beta_1 m_1 (1-m_2) \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta_1 \beta (1-m_1)(1-m_2)f_{\text{sk}} \quad (4)$$

上述式中 β 为桩间天然土承载力发挥系数; β_1 为辅桩处理后的等效桩间土承载力发挥系数。

一般情况下, β_1 和 β 的值均小于或等于 1.0, m_1 和 m_2 的值也均小于或等于 1.0。而对比式 (1) 和式 (4), 可以发现式 (4) 中对 R_{a1} 和 f_{sk} 的折减因子多于式 (1), 且这些折减因子一般均小于 1.0, 因此, 在同等条件下, 式 (4) 计算出的复合地基承载力要小于或等于式 (1) 计算出的结果, 从而使计算的承载力值偏小, 使工程偏于安全。

文献[2]中建议先按照主桩进行等效复合地基承载力 f_{spk1} 的计算。但是根据有关试验结果, 一般情况下, 当存在褥垫层时, 复合地基受力后, 地基土先行发挥作用, 为此, 本文建议先采用辅桩进行等效桩间土承载力计算, 然后再进行复合地基最终承载力计算。

3 式 (1) 和式 (4) 计算结果差异举例比较

若直接采用解析解方法比较式 (1) 和式 (4) 的计算结果是不甚方便的。为此, 这里举例计算进行说明。假设桩的布置型式如图 1 所示, 因两种桩的布置型式固定, 复合地基设计参数也固定, 即其中的 R_{a1} 和 R_{a2} , A_{p1} 和 A_{p2} , β_1 和 β 以及 f_{sk} 等都相同。所以, 采用上述两种计算公式进行计算, 其计算结果的不同, 只能是计算公式的不同造成的, 与其它因素无关。这里假设: $\gamma_1 = \gamma_2 = 1.0$, 桩 1 直径 500 mm, 桩 2 直径 400 mm, 桩间距 $a = b = 2$ m, $\beta_1 = \beta = 0.9$, $f_{\text{sk}} = 100$ kPa, 其它有关设计参数取值如表 1。 $f_{\text{spk}[1]}$ 和 $f_{\text{spk}[4]}$ 分别表示按照式 (1) 和式 (4) 计算的结果, 见表 1。

由表 1 的计算结果可见, 式 (1) 和式 (4) 计算的承载力是不同的。对于相同的设计参数, 根据式 (4) 计算的承载力值都小于或等于由式 (1) 计算的结果。在其它参数固定, 主桩单桩承载力不同

时, 二者承载力差值相同, 差值比例随单桩承载力差值增大而减小。

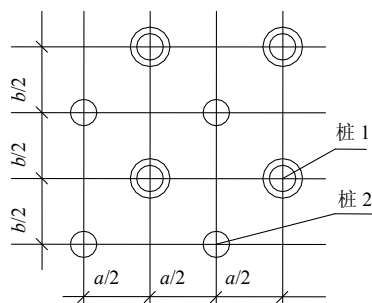


图 1 桩布置示意图

Fig.1 Sketch of piles

表 1 按照两种不同公式计算的 f_{spk} 结果

Table 1 Results of m and f_{spk} from two different formulas

参数	R_{a1} /kN	R_{a2} /kN	m_1	m_2	$f_{\text{spk}[1]}$ /kPa	$f_{\text{spk}[4]}$ /kPa	差值 /kPa	差值比例 /%
test1	100	200	0.049	0.031	157.8	146.4	11.4	7.8
Test2	100	400	0.049	0.031	207.8	196.4	11.4	5.8
Test3	100	600	0.049	0.031	257.8	246.4	11.4	4.6

若将 R_{a1} 和 R_{a2} 承载力大小进行互换, 在其它参数不变的条件下, $f_{\text{spk}[1]}$ 和 $f_{\text{spk}[4]}$ 的计算结果计算结果见表 2。

表 2 R_{a1} 和 R_{a2} 承载力大小互换后按照两种不同公式计算的 f_{spk} 结果

Table 2 Results of m and f_{spk} from two different formulas after change the value of R_{a1} and R_{a2}

参数	R_{a1} /kN	R_{a2} /kN	m_1	m_2	$f_{\text{spk}[1]}$ /kPa	$f_{\text{spk}[4]}$ /kPa	差值 /kPa	差值比例 /%
test1	200	100	0.049	0.031	157.8	143.2	14.6	10.2
Test2	400	100	0.049	0.031	207.8	186.8	21.0	11.2
Test3	600	100	0.049	0.031	257.8	230.4	27.4	11.9

由表 2 计算结果可见, 若按照文献[2]中建议, 先按照主桩进行等效复合地基承载力 f_{spk1} 的计算, 则按照公式 (1) 和公式 (4) 计算的复合地基承载力结果有所不同。当辅桩 R_{a1} 单桩承载力不同时, 二者承载力差值也不同, 二者差值大小随两种桩承载力差值增大而增大, 差值比例也随单桩承载力差值增大而增大。同时, 表 2 中的计算结果, 无论是承载力差值还是差值比例均比表 1 中的计算结果要大。所以, 这里建议先采用辅桩进行等效桩间土承载力计算, 然后再进行复合地基最终承载力计算。

4 复合地基承载力载荷试验检测方法讨论

二元桩复合地基中, 两种桩一般采用如下图 1 所示的正方形或矩形布桩方式。

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)^[1]及其它规范规定,应采用静载荷试验方法检测桩式复合地基的承载力,其中有关多桩复合地基载荷试验要求如下:承压板可用方形或矩形,其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。桩的形心应与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。

但是实际工作中,对于二元桩复合地基的静载荷检测方法并没有明确规定,各单位常常各行其是,其中有许多方法是不可取的。

4.1 有效的载荷试验检测方法

图 1 所示的矩形或方形布桩型式是最常用的,从理论上严格地讲,其复合地基载荷试验应根据两种桩的布置型式以及其强度和刚度的情况综合确定承压板的尺寸及形式。对于如图 1 所示的复合地基,只有当保证压板下对称分布两根辅桩 1 和两根主桩 2 时,才能保证桩的形心与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。如图 2 和图 3 所示的承压板放置方式,其中承压板型式可以采用方形或圆形,这样可以使承压板下的等效地基均匀稳定,能更好地模拟实际的地基条件,其中以图 3 方式为最好。为了保证承压板下的两种桩的面积置换率与设计值相同,无论采用多大尺寸的承压板,都应该注意保持承压板下辅桩 1 的数量应与主桩 2 的数量相同。

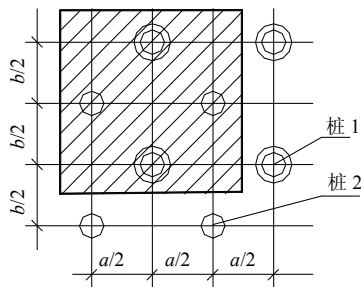


图 2 承压板放置方式示意图
Fig.2 Laying sketch of load test board

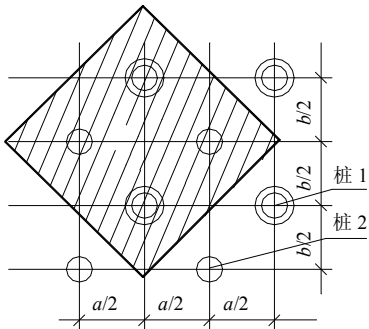


图 3 承压板放置方式示意图
Fig.3 Laying sketch of load test board

但是,承压板尺寸越大,需要的堆载越大,实际工作难度也越大,同时要求承压板的刚度也要足够大,因此在实际工程中如果当辅桩与主桩的承载力和刚度相差不大时可以采用图 4 的形式进行设计,这样可以减小载荷试验时的堆载(反力),但应保证承压板最小尺寸为 $a \times b$,同时保证桩的形心与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。

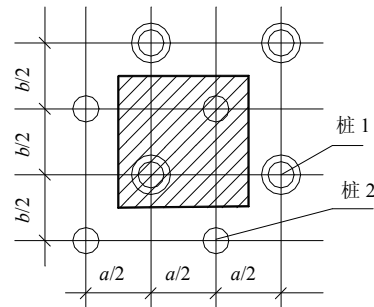


图 4 承压板放置方式示意图
Fig.4 laying sketch of load test board

当设计的复合地基承载力和桩间距都很大时,采用上述图 2~图 4 等 3 种方式进行复合地基载荷试验,则承压板尺寸必然会很大,其刚度很难保证,此时要求的堆载也非常大,实际工作中会有一定的难度。所以,国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)第 7 章中要求^[4],复合地基承载力特征值可采用增强体的载荷试验结果和其周边土的承载力特征值(载荷试验结果)结合经验确定。

因此对于二元桩复合地基,为了减小施加反力的难度,根据上述复合地基承载力的理论计算方法,可以考虑采用如下两种方式进行检测评价复合地基承载力特征值。方案一是分别进行单桩 1、单桩 2 及其桩间土 3 项载荷试验,然后根据其试验结果,按照式 (1) 或式 (4) 进行理论计算。根据以往只有一种桩条件下的复合地基载荷试验经验,这种做法的结果比直接按照上述的双桩复合地基载荷试验结果偏于安全。方案二是进行辅桩 1 的单桩复合地基载荷试验(按照桩 1 的面积置换率,同时压桩 1 和天然土)、单桩 2 (主桩) 载荷试验,然后根据其试验结果,按照公式 (3) 进行理论计算。与方案一相比,这种方法可以减少试验数量,同时,减小了复合地基承载力计算结果与实际结果的误差。从这一角度讲,公式 (3) 较公式 (1) 有优势,便于实际工作中使用。

4.2 不合理的静载荷检测方法

在复合地基静载荷检测过程中,承压板的放置

方式与板下各桩的布置关系对检测结果的有效性具有重要影响,其基本原则应保证桩的形心与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。但是以图5~图8所示的4种承压板放置方式常常在一些工程中采用,这些方法都是不恰当的。虽然其对应的桩数和面积置换率是准确的,但位于承压板边缘的每一根桩都是具有一定桩身强度和刚度的一个整体,即使承压板有很小一部分面积坐落于一根桩之上,因承压板具有很大的刚度,则这一根桩实际在受压的过程中所发挥的作用远远大于与该部分面积相应比例的承载力。故用这种方式试验所获得的结果将远大于实际的地基承载力。

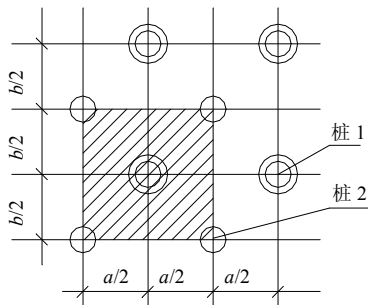


图5 承压板放置方式示意图
Fig.5 Laying sketch of load test board

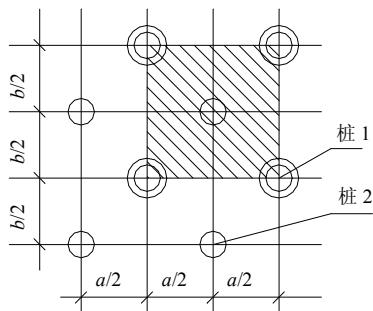


图6 承压板放置方式示意图
Fig.6 Laying sketch of load test board

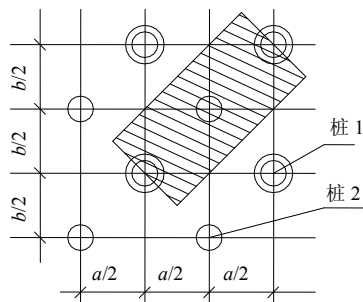


图7 承压板放置方式示意图
Fig.7 Laying sketch of load test board

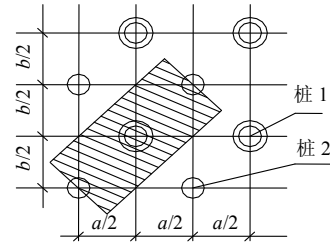


图8 承压板放置方式示意图
Fig.8 Laying sketch of load test board

图9所示的布置方式虽然与图4的效果相当,但是对于长条形矩形压板在以往的工程中用的少,积累的经验少,当利用 S/b (承载压板沉降与压板宽度比)值进行复合地基承载力取值时,尚缺乏更多的实践依据,因此对于此类的承压板在使用中应注意相关的问题。

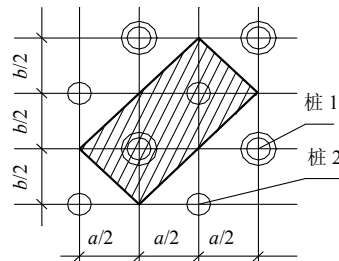


图9 承压板放置方式示意图
Fig.9 Laying sketch of load test board

5 结 语

(1) 二元桩复合地基承载力计算方法主要有两种,即式(1)和式(3),式(4),其中式(3),式(4)较式(1)偏于安全。

(2) 建议先采用辅桩进行等效桩间土承载力计算,然后再进行复合地基最终承载力计算。

(3) 在二元桩复合地基承载力检测时,当桩为矩形或方形布置时,宜采用矩形或方形承载压板荷载试验,压板尺寸应根据桩的面积置换率、布置间距以及两种桩的刚度等情况综合确定。实际工作中,可采用本文图2~图4所示的压板布置方式较为合理。

(4) 当二元桩复合地基承载力和桩间距较大时,若有地方成熟经验,载荷试验可以采用以下方法:(1)先分别进行辅桩1,主桩2及其桩间土3项载荷试验,再根据试验结果,按照式(1)或(4)进行计算。(2)先进行辅桩1的单桩复合地基载荷试验,主桩2的单桩载荷试验,再根据其试验结果,按照式(3)进行理论计算。式(3)较式(1)可以减少试验数量,同时也减小了复合地基承载力计算结果与实际结果的误差,因此公式(3),(4)更有优势。