岩土工程

CFG 复合地基桩材特性的试验分析

范　云, 汪英珍
(石家庄铁道学院 ,石家庄　050043)

[摘　要]通过对 CFG 复合地基桩体材料的室内配比试验 ,获得了不同配比情况下桩体材料强度的变化规律 ,提出了 CFG 桩桩体材料配比时应遵循的某些原则和方法。

[关键词]CFG 桩材　坍落度　灰石比　泥石比　吸水率　复合地基
[中图分类号]TU472 ,TU502　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2002)04 - 0094 - 03

CFG 桩(Cement Flyash Graval Pile)复合地基是近年来出现的一种新型地基加固技术 ,它的桩体材料是由少量的水泥、粉煤灰、石屑及碎石等材料加水拌合而成 ,它采用螺旋钻机、洛阳铲或振动沉管桩机等设备进行成孔 ,是一种具有较高粘结强度的刚性桩 ,CFG 桩与桩间土以及桩顶与基础底面间的褥垫层共同组成复合地基。与一般的柔性桩复合地基相比 ,用 CFG 桩处理地基时 ,可大幅度提高地基承载力 ,并可通过调节桩长、桩距及桩体材料配比等指标较大幅度调节复合地基承载力的变化区间 ,特别是天然地基承载力较低而设计要求的承载力较高 ,用柔性桩复合地基难以满足设计要求时 ,CFG 桩复合地基则有明显的优势。CFG 桩复合地基可用于填土、饱和及非饱和粘性土、松散砂土等。既可用于挤密效果好的土 ,又可用于挤密效果差的土。由于通过 CFG 桩处理过的复合地基具有承载力高、沉降变形小、施工简单、造价低等特点 ,因此具有明显的社会和经济效益。

2　CFG 桩体材料的组成

CFG 桩是采用水泥 C、粉煤灰 F、碎石 G、石屑 Sx 等材料加水拌合形成混合料后经灌注而成 ,这些成分各自含量的多少对混合料的强度、和易性都有很大的影响。桩体中的骨干材料为碎石 ,系粗骨料;石屑为中等粒径骨料 ,在水泥掺量不高的混合料中 ,掺加石屑是配比试验中的重要环节。若不掺加中等粒径的石屑 ,粗骨料间多为点接触 ,接触比表面积小 ,联结强度一旦达到极限 ,桩体就会破坏。掺加的石屑可填充碎石间的空隙 ,使桩体混合料的级配良好 ,比表面积增大 ,从而使桩体的抗剪、抗压强度得到很大提高。实践表明 ,在碎石含量和水泥掺量不变的情况下 ,掺入石屑比不掺入石屑的强度可增加 50 %以上[1]。

粉煤灰是细骨料 ,又有低标号水泥的作用 ,掺入粉煤灰后可明显增强桩体的后期强度。粉煤灰的质量取决于 Al_2O_3 和 SiO_2 的含量。它的粒度成分及各种粒度的相对比例也是影响粉煤灰质量的重要指标。

水泥通常采用 425# 普通硅酸盐水泥。

碎石的粒径一般为 20～50 mm。石屑的粒径一般为 2.5～5 mm。

3　石屑掺量对桩体强度的影响

通过石屑掺量试验 ,可确定混合料强度与石屑率 λ 的关系 ,从而确定最佳石屑率。石屑率是指混合料中石屑的重量 G_2 与碎石和石屑重量的和 $(G_1 + G_2)$ 之比值[2]。即:

$$\lambda = G_2/(G_1 + G_2) \quad (1)$$

在水灰比 W/C(水/水泥)和二灰比 F/C(粉煤灰/水泥)保持常量的情况下 ,石屑率对混合料强度的影响存在一个最佳值范围 ,在这个最佳值范围内 ,抗压强度 R_{28} 达到最大值 ,石屑率过高或过低 ,强度都有下降趋势 ,并且不同地点、不同碎石成分、不同粒径及石粉含量均对最佳石屑率的大小产生影响。

当石屑率为一定时 ,不同的水泥、粉煤灰掺量其混合料立方抗压强度 R_{28} 和灰水比 C/W 的关系基本呈线形关系 ,这种规律与混凝土的规律基本一致。因此说 ,控制灰水比是保证混合料强度的重要指标 ,同时大量的试验与实践表明[3] ,混合料的掺水量按坍落度为 3 cm 左右控制时较为合理。

[收稿日期]2001 - 11 - 20;[修订日期]2002 - 01 - 23;[责任编辑]李石梦。
[第一作者简介]范　云(1954 年 -) ,男 ,1982 年毕业于华北水利水电学院水利工程系 ,1988 年获河海大学岩土工程硕士学位 ,副教授 ,主要从事道路与铁道工程教学和科研工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4　改变水泥、粉煤灰掺量对桩体强度的影响

为了研究和分析粉煤灰、水泥的不同掺入量对桩体强度的影响,我们采用 2～4 cm 的石灰岩碎石、0.5～1 cm 的石灰岩石屑、上安电厂的湿排三级粉煤灰、425# 普通硅酸盐水泥作为基本试验材料,并定义灰石比 f_s 为粉煤灰的重量 G_3 与碎石和石屑的重量($G_1 + G_2$)之比值,即:

$$f_s = G_3/(G_1 + G_2) \tag{2}$$

定义泥石比 n_s 为水泥重量 G_4 与碎石和石屑的重量($G_1 + G_2$)之比值,即:

$$n_s = G_4/(G_1 + G_2) \tag{3}$$

图 1 是石屑率为 48.5 %、灰石比为 22.4 %、坍落度为 3 cm 左右时,桩体材料强度 R_{28}、变形模量 E_0 与泥灰比 C/F 的关系曲线(粉煤灰含量不变)。从图 1 看出,随着水泥用量的增加,桩体强度逐渐增大,但在不同的泥灰比含量区间,桩体的强度增长速率有所不同,在某一含量变化区间强度的增长率接近于零,强度曲线基本保持水平,这说明尽管含灰量是影响桩体强度的重要因素,但强度并非完全由含灰量这一单一因素所决定,因此在进行桩体材料配比时,应合理的确定含灰量,以保证在最经济的条件下得到最高的桩体强度。

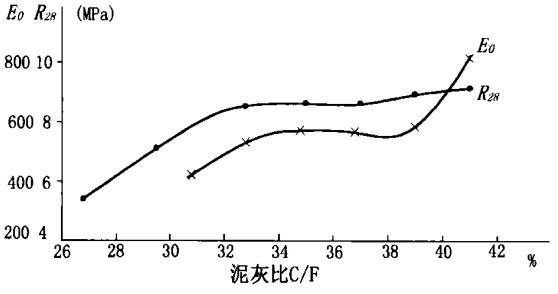

图 1　桩体强度 R_{28}、变形模量 E_0 与泥灰比 C/F 的关系曲线

图 2 是石屑率为 48.5 %、泥石比为 7.8 %、坍落度为 3 cm 左右时,桩体材料强度 R_{28}、变形模量 E_0 与灰泥比 F/C 的关系曲线(水泥含量不变)。从图可见,随粉煤灰用量的增加,桩体强度也急剧增大,在某一配比时达到了强度峰值,其后桩体强度随着粉煤灰含量的增大而逐渐的降低,这表明进行桩体材料配比时,应使灰泥比 F/C 处于最优(图中约为 2.5左右)值附近时,才能得到最高的桩体强度值。

5　桩体材料的变形特性

图 1 和图 2 还分别表示了桩体材料变形模量

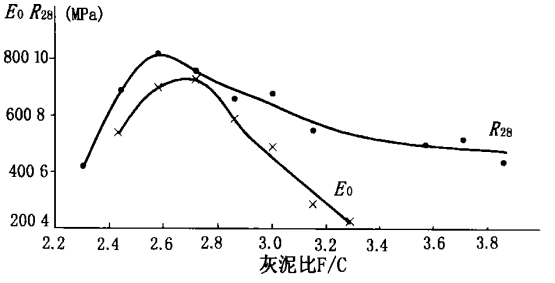

图 2　桩体强度 R_{28}、变形模量 E_0 与灰泥比 F/C 的关系曲线

E_0 随灰泥比及泥灰比变化的关系曲线。

图 1 表明桩体材料的变形模量 E_0 如同强度 R_{28} 一样,随着水泥掺量的增加,桩体的变形模量 E_0 也随之增大,但在不同的泥灰比含量区间,桩体的变形模量 E_0 增长速率有所不同,并且在泥灰比的某一变化区间内,变形模量 E_0 出现滞长现象,使得关系曲线呈现类似的反“S”形,因此,在进行桩体材料配比时,水泥的掺入量亦应控制在某一合理的变化区间,才能保证在经济条件下获得较为理想的桩体材料变形特性。

图 2 表明桩体材料变形模量 E_0 与灰泥比的变化规律类似 R_{28} 随灰泥比的变化过程,即随着灰泥比 F/C 的增大亦在某一灰泥配比时 E_0 出现峰值,这说明粉煤灰的掺入量亦应控制在某一合理的变化区间,才能保证在经济条件下获到理想的变形模量。

6　桩体材料的孔隙性

CFG 桩桩体材料的孔隙性大小与组成骨料的级配有关,当级配较差时,桩体内的骨料间大多为点接触,形成较多的内部微孔隙,导致桩体材料的透水性能明显增强,为了解 CFG 桩桩体材料孔隙性的大小,我们分别作了不同二灰比(F/C)时桩体材料的吸水率试验,所谓吸水率 W_X 是指桩体试件在常压、室温条件下吸入水的重量与试件固体重量之比值,以百分数表示。试验时将试件放入烘箱,在 105 ℃～110 ℃温度下烘 12 h,取出试件后,将其放入干燥器内冷却至室温,并称取试件的重量 m_1,将试件放入底部留有 1～2 cm 间隙的容器内,并向容器内每隔 2 h 注水至试件的不同高度处,直至水位高出试件 1～2 cm,继续浸泡 48 h,取出试件后用湿毛巾擦去表面水分,称取饱水试件的重量 m_2,按下式计算吸水率 W_X:

$$W_x = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\ \% \tag{4}$$

吸水率的大小反映桩体材料内部贯通孔隙的多少,并间接地反映了桩体材料的透水性能。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图 3 是石屑率为 48.5 %、泥石比为 7.8 %、坍落度为 3 cm 左右时,桩体材料吸水率随二灰比(F / C)变化的关系曲线,从图中看出,桩体材料孔隙性的大小不仅仅取决于骨料的级配,同时与粉煤灰的含量密切相关,当粉煤灰的含量逐渐增大时(水泥含量保持不变)桩体材料的吸水率由大逐渐变小,当达到某一最小值后,又逐渐增大,这表明完全可以通过调整桩体材料二灰比的大小,按照工程特点实现对桩体透水性能的控制。

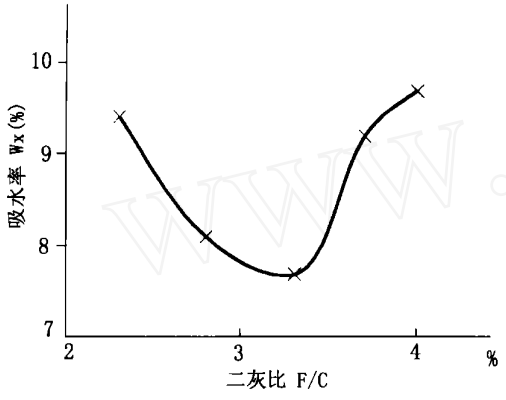

图 3 桩体材料吸水率随二灰比变化的关系曲线

通过对现场施工时截下的桩体材料的分析和浇水试验,发现 CFG 桩体材料的透水性能与粉砂和细砂相似,同时在桩体材料上,肉眼观察可见明显的孔隙。采用沉管方式形成的 CFG 桩体,孔隙性相对要小一些,但在成桩的最初 24 h 内桩体的透水性能仍然较强,因此 CFG 桩体事实上是一良好的排水通道,对桩间土超静水压力的消散极为有利,这也是 CFG 桩复合地基的另一大优点。

7 龄期对桩体材料强度的影响

粉煤灰的掺入增加了混合料的和易性、改善了材料的级配、减少了水泥用量。尽管 CFG 桩体材料的强度与普通混凝土相比属低强度材料(一般小于 C_{20}级),但与其他常规地基加固材料相比,已经是目前强度最高、变形模量最大、经济性能比最好的地基加固材料之一。如何评价 CFG 桩体的强度,到目前为止尚没有统一的标准,大多借用龄期为 28 天的混凝土试块标准抗压强度进行评价,然而试验表明 CFG 桩体材料的强度与普通混凝土的强度特性有很大的不同,对于混凝土而言,通常 28 天就已经达到强度的百分之百,此后强度不再或很少增长。而 CFG 桩体材料的强度一直在缓慢地增长,通过测试室内标准养护条件下试块的抗压强度发现,养护 90 天的强度几乎是 28 天时强度的两倍,并且还将随时间继续增长,有关资料表明这种增长要长达半年以上。图 4 即是对石屑率为 48.5 %、灰石比为 22.4 %、泥石比为7.8 %、坍落度为 3 cm 左右的混合料做室内试验时,测得的标准养护条件下,试块抗压强度随龄期的变化曲线。显然,以 28 天时的强度作为 CFG 桩体材料的强度标准是不合理的,好在桩体材料强度随着时间是在逐渐增长。在没有更好的评价方法之前,人们仍然借用常规的混凝土指标进行评价,这种后期强度不断增长的特性,使得加固后的复合地基偏于安全。

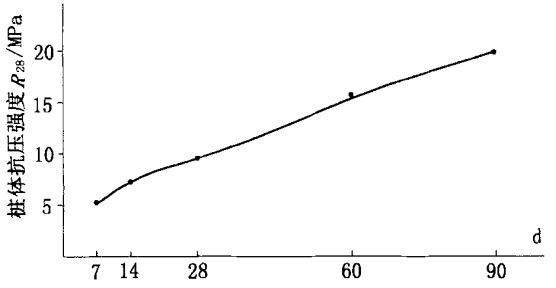

图 4 桩体材料强度随龄期的变化曲线

[参考文献]

[1] 阎明礼. 地基处理技术[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.

[2] 牛志荣. 复合地基处理及其工程实例[M]. 北京:中国建材工业出版社,2000.

[3] 范 云. 楼房的基坑支护与地基加固[J]. 铁道建筑,1997(9):36～38.

TESTS AND ANALYSIS FOR PILE MATERIAL PROPERTY OF CFG FILE COMPOUND FOUNDATION

FAN Yun, WANG Ying - zhen

(*Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang* 050043)

Abstract: Based on indoor component tests, variation regular patterns of intensity of CFG pile composition at different component ratio has been obtained. Some necessary principles and methods must be followed for obtaining satisfactory CFG pile composition of compound foundation.

Key words: CFG pile composition, slump, ratio of lime and gravel, ratio of cement and gravel, suction coefficient, compound foundation

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net