

CFG 桩复合地基应力传递及沉降计算研究

刘 昭¹, 王吉庆¹, 平沙沙², 王晓光¹

(1. 长安大学公路学院, 西安 710061; 2. 西安交通大学理学院, 西安 710049)

摘 要:分析 CFG 桩的加固机理和竖向的应力传递特征。通过一个工程实例, 验证了 CFG 桩的设计计算思路, 分析弦线模量法和复合模量法在计算沉降方面的利弊, 并与实测沉降进行对比分析, 发现弦线模量法比较适合关中地区 CFG 桩复合地基的设计计算, 具有推广价值。

关键词:CFG 桩; 复合地基; 弦线模量法; 复合模量法; 设计计算

中图分类号:TU47

文献标识码:A

复合地基是指在天然地基中设置一定比例的增强体置换一部分土, 并由原土和增强体共同承担由基础传递下来的荷载的一种人工地基。从 20 世纪 70 年代至今, 复合地基技术得到了极大的发展^[1], 其中碎石桩在砂土、粉土中消除地基液化和提高地基承载力取得了较好的效果, 但在用于塑性指数较大的粘性土时承载力提高幅度不大。我国发展了多种适合我国国情的复合地基形式, 其中实体桩复合地基技术得到了广泛的应用^[2], 其中最著名的就是本文要论述的 CFG 桩复合地基: 复合地基的设计应符合新《地基基础设计规范》(GB50007-2002), 主要以控制变形为主, 因此复合地基的沉降计算是目前需迫切解决的问题。

1 CFG 桩复合地基加固的机理

1.1 CFG 桩简介

CFG 桩是水泥粉煤灰碎石桩(Cement Flyash Gravel Piles), 它是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和, 用成桩机械制成强度等级为 C8 ~ C25 的高粘结强度桩^[3]。这种处理方法是在碎石桩体中添加以水泥为主的胶结材料, 添加粉煤灰增加混合料的和易性, 同时还添加适量的石屑以改善级配, 使桩体胶结强, 从散体材料桩转化为具有高粘结强度的桩, 和桩间土、褥垫层一起形成复合地基, 共同承担上部基础传来的荷载^[4]如图 1 所示。

1.2 桩土应力传递模式

本次试验段位于陕西省兴平市, 属关中湿陷性黄

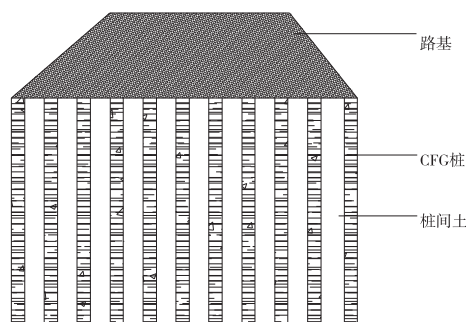


图 1 CFG 桩复合地基示意图

土, 路基主要采用 CFG 桩处理, 桩长 22 m, 在其间有 13 m 长的柱锤扩孔桩, 为了得到 CFG 桩上的应力传递规律及复合地基的沉降量, 在四个断面 CFG 桩的桩顶、桩底分别埋设压力盒, 并在桩底 22 m 深度埋设沉降计, 并对土体进行双桥法静力触探, 主要采用试坑取土, 在试坑无法达到的深度采用钻孔取土, 进行室内试验, 获取土体的基本物理力学指标(含水率、空隙比、压缩模量等)。

通过双桥法静力触探试验得到 CFG 桩复合地基的锥尖阻力和侧摩阻力的变化情况如图 2 所示, 实测桩、土应力承担情况如图 3 所示。

从图 2 中可以发现 CFG 桩的锥尖阻力明显大于侧摩阻力, 随着深度的变化两者均表现出增加的趋势, 其中锥尖阻力和侧摩阻力在 13 m 和 22 m 左右有极具增加的突起, 这是由于 CFG 桩长为 22 m, 13 m 范围内进行了辅助的柱锤扩孔, 所以在 13 m 左右由于局部增加了

收稿日期:2012-03-11

作者简介:刘 昭(1987-), 男, 陕西省咸阳市人, 助教, 硕士, 主要从事岩土工程设计、施工、监测以及高速铁路路基设计及沉降控制方面的研究, (E-mail) balicun281@163.com

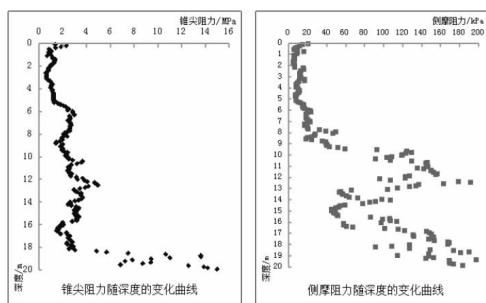


图2 静力触探所得锥尖阻力和侧摩阻力随深度的变化情况

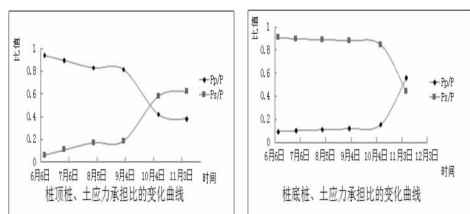


图3 实测桩土应力承担比随时间的变化曲线

注: P_p - 桩承担的应力 P_s - 土承担的应力 P - 总应力

桩的置换率,挤压两侧土体使侧摩阻力增加,锥尖由于受到碎石、水泥等压缩模量较大材料的影响,锥尖阻力也产生上述突变。根据地质勘探资料在 22 m 左右,产生了地层的变化,有沙土混杂碎石层产生,所以上述两种指标也急剧增加,表明此层土体的承载力急剧增加,作为 CFG 桩的持力层是合理的。

实测得到桩顶、桩底的应力值,通过桩的置换率即可得到桩、土的应力承担比,其随时间的变化情况如图 3 所示,

$$P_p = P_1 * m \quad P_s = P_2 * (1 - m)$$

其中, P_p 为桩承担的应力, P_s 为土承担的应力, P_1 为实测桩应力, P_2 为实测桩间土应力, m 为复合地基的面积置换率。

在 CFG 桩顶,桩土应力比在成桩后的应力占到总应力的 90% 左右,在 CFG 桩底,桩间土承担的应力占到 80% 以上,随着时间的延续,在 CFG 桩顶处:桩承担的应力逐渐在减小,桩间土承担的应力逐渐在增加;在 CFG 桩底:桩间土承担的应力在缓慢地减小,桩承担的应力在缓慢地增加,总体来看 CFG 桩复合地基,桩、土之间的应力无论是在桩顶还是在桩底,应力承担情况最终混在 40% ~ 60% 之间趋于稳定。

分析产生这种变化的原因:在桩顶处由于桩体的压缩模量比桩间土的压缩模量大得多,受到荷载作用时,在地基表层:桩体会出现应力集中,使得桩承担的应力明显大于桩间土承担的应力,由于模量之间的差异,桩间土会产生相对于桩向下的位移(沉降),对于桩体来说这种负摩阻力是不利的,会引起桩的进一步下沉,桩土

之间出现相对位移,影响荷载的传递,最终会在中性点处出现同时沉降的情况,即所谓的等沉面,等沉面以上的桩间土将相对桩体向下移动,从而对桩产生负摩擦阻力;而在等沉面以下,桩体相对于桩间土向下移动,故桩间土对桩体产生正摩擦阻力。中性点位置的影响因素很多^[5],经研究发现,中性点的位置与土的地层分布有很大关系,尤其是成层土层的压缩量、抗剪强度指标,塑限等。

2 沉降计算

地基基础设计规范中指出:复合地基的设计计算应以沉降变形控制为主^[6],应力控制为辅,现在主流的设计计算主要是采用桩土应力比结合桩土面积置换率的复合模量法进行沉降计算,也有在复合模量法的基础上建立起来的修正的复合模量法和本文介绍的弦线模量,本文采用复合模量法和弦线模量法,所得沉降结果与实测沉降进行对比分析见表 1,从表 1 中可以发现弦线模量法计算关中地区沉降结果是比较接近实测沉降值的。

表 1 两种沉降计算方法所得沉降量与实测沉降
(单位:mm)

	1 断面			2 断面		
	弦线模量法	复合模量法	实测	弦线模量法	复合模量法	实测
中线	12.02	119.02	5.28	8.94	35.50	6.39
坡顶	10.18	91.35	4.05	2.63	24.23	3.16
坡脚	1.84	41.12	1.96	0.62	9.97	1.12
	3 断面			4 断面		
	弦线模量法	复合模量法	实测	弦线模量法	复合模量法	实测
中线	20.14	93.28	13.37	7.61	82.34	5.46
坡顶	16.08	71.55	9.88	2.75	58.47	2.11
坡脚	2.25	30.35	1.59	0.13	38.30	0.84

2.1 复合模量法

复合地基加固区中增强体和基体两部分视为一复合土体,采用复合模量 E_c 来评价复合土体的压缩性,进而采用分层总和法计算加固区沉降 S_1 。复合模量 E_c 是按照图 1 的理想条件来推导的,根据桩土变位相等得到

$$E_c = mE_p + (1 - m) E_s$$

式中: m 为复合地基面积置换率, E_s 和 E_p 分别为桩和桩间土的压缩模量。

复合模量是采用面积加权平均法得到的,它无法反映桩长、桩土之间的相互作用效应等因素的影响,随着桩长的增加,桩侧摩阻力增大,桩分担的荷载百分比增大,从而使桩的抵抗变形的能力增强,相应的复合模量也增大;但是,由于负摩擦阻力的影响,桩上的应力逐渐向桩间土传递,致使因此计应力的传递模式发生变化,所以用复合模量算出的沉降会有较大的误差,需要进行经验修正。

2.2 弦线模量法

根据取得的土样基本物理指标(孔隙比、含水率),参照关中地区弦线模量表,内插各土层的弦线模量^[7]。

分层压缩量基本公式为

$$S_i = \frac{\Delta P_i}{E_{ch(i)}} \times h_i$$

分层总和公式为:

$$S = \sum S_i = \sum \beta_i \frac{\Delta P_i}{E_{ch(i)}} h_i$$

其中, ΔP_i 为附加应力差值, β_i 这修正系数, $E_{ch(i)}$ 为 i 层土的弦线模量。

目前所用压缩模量和变形模量都不能准确地反映土的非线性变形特性。国内外大是资料已经证实,用压缩模量很难解决地基变形计算问题。我国(工业与民用建筑地基基础设计规范)(TJ7—74)也规定沉降计算应乘以经验系数法。基于载荷试验的弦线模量法能比较真实地反映地基变形特性,考虑到土体的非均匀性和深层土体进行载荷试验的难度,焦五一同志在 1982 根据 70 多份载荷试验资料,统计得到陕西关中平原地区一般黄土(液限值在 30.0 左右)的弦线模量和孔隙比、含水量,建立了弦线模量和土物指标之间的关系。经过大量资料的验证修正,比较能反应关中地区的黄土特性。

3 结束语

(1) CFG 桩应力应力的传递规律受到桩长、压缩模量、置换率、抗剪强度指标等因素有关,地层的分布在 CFG 桩复合地基设计计算时应引起足够重视。

(2) 弦线模量法在计算关中地区路基沉降方面显现

出了比较好的效果,可以推广使用,就其应用于全国尚需进一步研究总结;复合模量法在满足沉降控制要求的前提下,怎么获取准确的参数,怎么进行参数修正以及修正系数的普遍适应性需进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] Goughnour R R. Settlement of vertically loaded stone column in soft ground [A]. Proc of 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering: Improvement of Ground [C]. Rotterdam: Balkema, 1983:235-240.
- [2] 曾国熙,卢肇钧,蒋国澄,等.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [3] 阎明礼.CFG 桩复合地基技术及工程实践[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [4] 王 旭.CFG 桩复合地基在工程中的应用[J].中国水运,2008,8(12):204-205.
- [5] 潘 星.CFG 桩复合地基沉降计算探讨[J].岩土力学,2005,26(5):248-251.
- [6] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [7] 焦五一.对“地基沉降计算的新方法”的讨论[J].岩土工程学报.2009,28(10),2154-2156.
- [8] 刘 昭,王吉庆,平沙沙,等.CFG 桩处理湿陷性黄土地基物力学性质研究[J].四川理工学院学报.2012,25(1):86-89.
- [9] 焦五一.地基变形计算的新参数-弦线模量的原理和应用[J].水文地质和工程地质,1982(2):29-33.

Research on CFG Pile Composite Foundation Stress Transmission and Settlement Calculation

LIU Zhao¹, WANG Ji-qing¹, PING Sha-sha², WANG Xiao-guang¹

(1. Highway Institute, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2. School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In the analysis of the reinforcement mechanism and the vertical stress transfer characteristics of CFG pile, the calculation ideas about CFG pile design is verified in the case of project, compared with the actual calculation of settlement, the advantages and disadvantages of calculation of the settlement by strings modulus method and composite modulus method are analysed. It is discovered that strings modulus method is suitable for the calculation design of CFG pile composite foundation in the Guanzhong region and has promotional value.

Key words: CFG pile; composite foundation; strings modulus method; composite modulus method; design calculation