

# 某高层住宅楼 CFG 桩复合地基非线性 沉降规律监测分析

李长洪<sup>1)</sup> 乔兰<sup>1)</sup> 蔡美峰<sup>1)</sup> 王国艳<sup>2)</sup>

1)北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083 2)中铁十六局第四工程有限公司,北京 101400

**摘要** 对 CFG 桩复合地基的沉降进行精密水准测量监测,通过非线性数据拟合趋势分析得出复合地基沉降与时间关系的非线性沉降规律,指出复合地基在建筑物自重荷载作用下的蠕变性以及不均匀沉降特征,并进一步说明结构和地基基础变形协调的重要性。

**关键词** 复合地基;地基沉降;变形监测;CFG 桩

**分类号** TU 472

CFG(Cement Fly-ash Gravel)桩是水泥粉煤灰碎石桩的简称,它是在碎石桩的基础上加入一些石屑、粉煤灰和少量水泥加水拌和制成的一种具有黏结强度的非柔性、非刚性亚类桩,适用于处理软土地基,近年来已被广泛应用于建筑、铁路公路、市政、水利水电、桥梁涵洞等工程,其经济效益显著,有广阔的发展前景<sup>[1-6]</sup>。

CFG 桩复合地基承载机理及基本性状的研究还处于初级阶段,没有比较成熟的理论分析和计算方法<sup>[7]</sup>。把 CFG 桩应用于高层建筑复合地基其表现出的非线性沉降规律及断桩的力学作用机理尚不十分清楚。本文以某高层住宅楼 CFG 桩复合地基沉降观测结果为基础,分析 CFG 桩复合地基沉降与时间关系的非线性沉降规律。

## 1 工程概况与地质条件

某高层住宅楼位于北京市海淀区,工程场地平坦,地面标高为 48.10~48.68 m。该建筑地上 22 层,地下 2 层,基坑深 7.2 m;建筑总面积 16 500 m<sup>2</sup>,总高度为 59.4 m;建筑结构为全现浇钢筋混凝土剪力墙,筏板基础,基础埋深-6.63 m,坐落在砂质粉土层上。该建筑南面是一幢六层商住楼,西面是一幢六层住宅楼,东邻城市道路,北接建筑工地,施工中不允许有噪声。地表层为 1.3~3.5 m 厚的人工填土层,以粘质粉土和粉质粘土等素填土为主,局部夹杂含多量的炉渣、砖渣、石子等的

杂填土。紧接着是第四纪冲洪积地层,总厚度 25.3~29.1 m。其中由上到下是粘质粉土、砂质粉土层,层厚 2.0~4.0 m;砂质粉土、夹粉质砂土层,层厚 2.0~3.0 m;淤泥质土层,夹粉质粘土、粘质粉土层,该土层具有高压缩性,层厚 1.0~3.0 m;淤泥质土层,夹多层粉细砂薄层,层厚 7.0 m;粉质砂土层,夹多层粉质粘土,层厚 1.6~4.0 m;粉质粘土、砂质粉土层,层厚 0.5~3.0 m;粉细砂层,层厚 0.3~2.5 m;粉质粘土层,夹粘土、重粉质粘土层,层厚 10.0~11.0 m。再往下是第四纪沉积地层,总厚度 4.5~15.2 m。其中由上到下是夹重粉质粘土层,粘质粉土层,夹粘土层,厚度 2.0~5.0 m;中细砂层,层厚 0.5~2.0 m;圆砾层,夹粘土层及中细砂层,层厚达 10 m 时尚未穿透。

基础坐落在砂质粉土层上,该层地基土承载力标准值为 200 kPa,并且在其下存在淤泥质土层。若采用天然地基,无论是持力层还是软弱下卧层均不能满足上部结构对地基承载力和地基沉降的要求,必须进行地基处理,处理后的复合地基承载力应达到 380 kPa,且要求地基沉降小于 50 mm。

## 2 复合地基沉降监测结果及分析

### 2.1 沉降监测结果

沉降监测采用精密水准测量的方法。在建筑物承重墙墙壁上的关键部位安设监测点,测点采用直径 10 mm 的钢筋浇注在建筑物的墙壁上,插入深度 10~20 cm,并设保护装置;在远离建筑工

地且不受其他扰动影响的地方安设三个基准点, 基准点采用直径 22 mm 的螺纹钢和混凝土浇筑埋入地下 1.5 m. 然后采用精密水准仪进行建筑物建造过程及竣工后的沉降测量. 当沉降变形较小时, 规定每完成两层测量一次; 如变形较大, 应增加测量次数, 并及时反馈监测信息指导施工, 研究纠正和处理措施, 保证建筑工程施工顺利进行. 当建筑工程施工完成并且获取一定的监测数据之后, 进行沉降规律分析. 表 1 为 7 个完整

数据监测点的测量结果.

2.2 沉降量与时间关系趋势分析

对表 1 测量数据进行非线性数据拟合分析, 分别得到了各测点沉降和平均沉降趋势的非线性拟合曲线方程、误差平方、预测沉降稳定时间和最终(极限)沉降量, 表 2 是分析结果汇总表. 图 1 是 1# 点沉降量与时间关系趋势的非线性拟合曲线(其他点非线性拟合曲线在此省略), 图 2 是平均沉降量与时间关系趋势的非线性拟合曲线.

表 1 沉降监测结果

Table 1 Results of the subsidence survey

时间/d	沉降值/m							平均
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	
0	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 000 000
15	-0.000 43	-0.000 50	-0.000 18	0.000 53	0.000 19	-0.000 49	-0.000 52	-0.000 200 476
27	-0.000 72	-0.001 01	-0.000 66	-0.000 53	-0.001 24	-0.002 12	-0.002 47	-0.001 249 524
35	-0.001 73	-0.001 51	-0.001 52	-0.000 84	-0.001 40	-0.002 24	-0.002 67	-0.001 701 429
52	-0.002 84	-0.003 17	-0.001 74	-0.002 40	-0.001 26	-0.003 78	-0.005 07	-0.002 894 286
65	-0.004 45	-0.004 54	-0.002 94	-0.003 19	-0.003 78	-0.006 32	-0.006 83	-0.004 577 143
78	-0.006 37	-0.006 41	-0.005 01	-0.004 27	-0.004 88	-0.008 85	-0.008 58	-0.006 338 571
93	-0.008 64	-0.009 04	-0.007 31	-0.006 83	-0.007 47	-0.010 81	-0.010 00	-0.008 585 714
106	-0.009 35	-0.008 69	-0.007 21	-0.006 68	-0.007 75	-0.011 18	-0.010 40	-0.008 751 429
121	-0.011 82	-0.011 96	-0.009 21	-0.008 63	-0.008 91	-0.012 99	-0.012 12	-0.010 805 714
144	-0.014 32	-0.015 54	-0.012 33	-0.011 43	-0.011 63	-0.017 04	-0.014 71	-0.013 857 143
157	-0.019 94	-0.020 53	-0.014 38	-0.019 78	-0.020 52	-0.022 38	-0.022 09	-0.019 945 714
236	-0.020 91	-0.020 89	-0.015 62	-0.017 24	-0.017 76	-0.022 82	-0.022 33	-0.019 638 571

表 2 沉降值与时间关系的非线性拟合结果

Table 2 Nonlinear fitting result of the relationship between subsidence and time

测点	拟合曲线方程	R <sup>2</sup>	预测稳定时间/d	预测最终沉降量/m
1#	$y=9.212\ 381\times 10^{-8}x^2-1.256\ 300\times 10^{-4}x+2.032\ 622\times 10^{-3}$	0.946 467 9	681.85	0.040 80
2#	$y=1.090\ 670\times 10^{-7}x^2-1.308\ 412\times 10^{-4}x+2.114\ 038\times 10^{-3}$	0.936 652 0	599.82	0.037 13
3#	$y=1.026\ 146\times 10^{-7}x^2-1.030\ 067\times 10^{-4}x+1.746\ 955\times 10^{-3}$	0.947 314 3	501.91	0.024 10
4#	$y=6.236\ 718\times 10^{-8}x^2-1.056\ 665\times 10^{-4}x+2.200\ 199\times 10^{-3}$	0.872 872 5	847.13	0.042 56
5#	$y=7.573\ 431\times 10^{-8}x^2-1.105\ 158\times 10^{-4}x+2.072\ 441\times 10^{-3}$	0.869 835 0	729.63	0.038 25
6#	$y=1.817\ 892\times 10^{-7}x^2-1.546\ 804\times 10^{-4}x+2.015\ 813\times 10^{-3}$	0.952 299 9	425.44	0.030 89
7#	$y=1.408\ 050\times 10^{-7}x^2-1.382\ 490\times 10^{-4}x+1.320\ 372\times 10^{-3}$	0.945 698 5	490.92	0.032 61
平均	$y=1.092\ 144\times 10^{-7}x^2-1.240\ 842\times 10^{-4}x+1.928\ 920\times 10^{-3}$	0.932 797 8	568.08	0.033 32

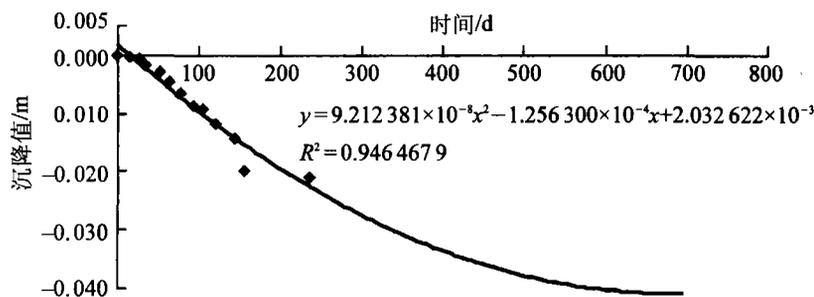


图 1 1# 点沉降量与时间关系监测及趋势分析曲线

Fig.1 Relationship between surveyed subsidence and time at 1# survey point as well as the trend analysis curve

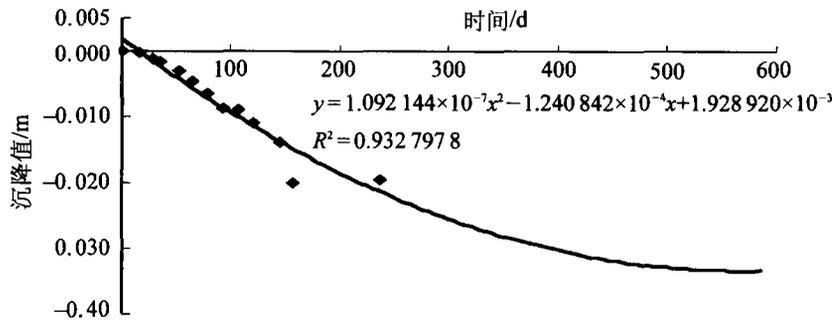


图2 平均沉降量与时间关系监测及趋势分析曲线

Fig.2 Relationship between average surveyed subsidence and time as well as the trend analysis curve

### 3 结论

(1) 实测沉降与时间关系非线性趋势分析曲线均符合二次曲线型式,且二次项系数接近  $10^{-8}$  数量级,一次项系数接近  $10^{-4}$  数量级,常数项接近  $10^{-3}$  数量级。

(2) 复合地基在建筑物自重荷载作用下产生蠕变,一般稳定时间约为一两年。

(3) 根据沉降与时间关系非线性趋势二次拟合曲线预测,在建筑物自重荷载作用下地基产生一定量的不均匀沉降,这将在上部建筑结构中产生附加内应力,对结构的稳定性及其设计产生深远的影响,表明上部结构设计和地基基础设计要充分考虑结构和地基基础的变形协调。

### 参考文献

- 1 阎明礼,刘国安,杨军,等.水平荷载作用下CFG桩复合地基的性状[J].建筑科学,1994(4):27
- 2 续君兰,龚天真.振动挤密碎石桩与CFG桩联合应用处理地基[J].施工技术,1998(9):13
- 3 吴春林,阎明礼.CFG桩复合地基承载力简易计算方法[J].岩土工程学报,1993,15(3):94
- 4 朱斌.CFG桩复合地基在常青花园一期工程中的应用[J].土木基础,1997,11(4):45
- 5 唐建中,阎明礼.水泥粉煤灰碎石桩复合地基的工程特性[J].建筑科学,1991(1):28
- 6 阎明礼,吴春林,杨军.水泥粉煤灰碎石桩复合地基试验研究[J].岩土工程学报,1996,18(2):55
- 7 张雁,黄强.半刚性桩复合性状分析[J].岩土工程学报,1993,15(2):63

## Analysis on the Nonlinear Subsidence Survey Results of CFG Pile Composite Foundation of a High-building

LI Changhong<sup>1)</sup>, QIAO Lan<sup>1)</sup>, CAI Meifeng<sup>1)</sup>, WANG Guoyan<sup>2)</sup>

1) Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Fourth Engineering Limited Company of Railway Sixteenth Office in China, Beijing 101400, China

**ABSTRACT** According to the precise level survey on the subsidence of CFG pile composite foundation and the nonlinear fitting trend analysis, the nonlinear relationship between composite foundation subsidence and time was obtained. The properties of creep and uneven subsidence were pointed out under the effect of building deadweight. The importance of harmony between structure and foundation deformation was emphasized in the subsidence

**KEY WORDS** compound foundation; subsidence of subsoil; deformation monitoring; cement fly-ash gravel pile