

# 垫层对 CFG 桩复合地基影响的分析

李少和<sup>1</sup> 易发成<sup>1</sup> 王殿刚<sup>2</sup>

(1. 西南科技大学城建学院, 四川绵阳 621010; 2. 浙江义东北经济开发区管委会, 浙江杭州 322000)

【摘要】对 CFG 桩复合地基垫层进行分析, 探讨了垫层厚度和模量对桩土应力比、桩侧摩阻力、沉降变形、承载力的影响, 并得出一些规律。

【关键词】复合地基; 垫层厚度; 模量; 应力比

【中图分类号】TU 472

## Analyzing the Influence of Cushion in CFG Pile Composite Foundation

Li Shaoh<sup>1</sup> Yi Facheng<sup>1</sup> Wang Diangang<sup>2</sup>

(1. School of Construction and Natural Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010

2. Supervising Committee of Economy Developing District of Yi Northeast, Hangzhou Zhejiang 322000 China)

【Abstract】The cushion in CFG pile composite foundation is studied, the influence of the different cushion thickness and compression modulus in CFG pile composite foundation to stress ratio of pile and soil, friction in side of pile, settlement and bearing capacity are also discussed.

【Key Words】composite foundation; cushion thickness; modulus; stress ratio

### 0 引言

在刚性桩复合地基中, 褥垫层技术是关键性技术之一。大量文献只是研究垫层的作用、垫层的合理厚度和垫层模量的选取, 而关于铺设垫层厚度、模量对复合地基性状方面的影响却很少研究。本文通过分析探讨垫层厚度和模量的变化对复合地基的应力场、桩土应力比、沉降变形、承载力方面以及桩侧摩阻力等的影响, 得出一些规律。

### 1 刚性桩和碎石桩以及天然地基的应力场比较

天然地基、碎石桩和 CFG 桩的应力分布明显不同(见图 1<sup>[1]</sup>)。碎石桩是作为增强体对天然地基起置换作用, 相当于提高了天然土的模量, 从有限元分析来看, 碎石桩体加固的复合地基在变形模式上和天然地基有很大的相似性。原因是碎石桩体模量和

天然地基土的模量相差不大。但对于 CFG 桩而言, 地基土的垂直应力扩散范围在桩顶较小, 大部分的应力通过桩体传到桩端, 这与桩体的模量有很大关系, 也与 CFG 桩垫层的设置有一定关系。当然, 在 CFG 桩顶铺设一定的褥垫层对基底的应力影响很大, 但随着深度的增加, 垫层的影响力逐渐减弱, 到了桩的底端, 垫层对其已不再有影响。这和碎石桩只能影响浅层的应力场相似。在桩顶, 碎石桩应力扩散比 CFG 桩的要大。

### 2 垫层厚度和模量对桩土应力比的影响

褥垫层是一种保证桩和桩间土变形协调、充分发挥桩和桩间土的承载力的有利手段。复合地基的基本工作性状是桩和桩间土的变形协调, 充分发挥桩间土的作用<sup>[2]</sup>。

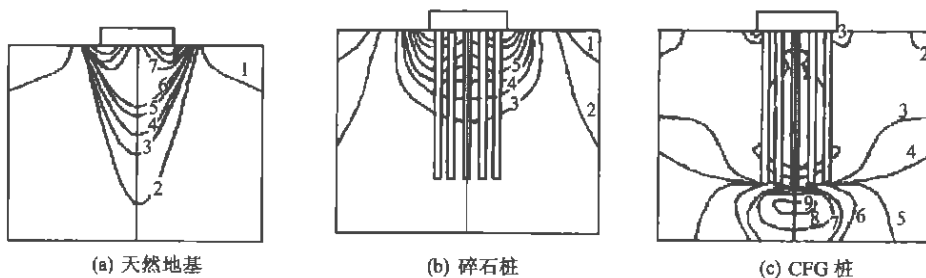


图 1 天然地基、碎石桩、CFG 桩受力的应力分布对比图

### 2.1 垫层厚度对桩土应力比的影响<sup>[3]</sup>

在刚性桩复合地基中, 铺设一定厚度的褥垫层, 通过大量实践和研究得出: 它不仅能够使桩和桩间土共同受力, 而且垫层厚度对桩土应力比有很大的影响。通过图 2<sup>[4]</sup> 可以看到随着垫层厚度的增加, 桩、土应力比在减小, 变化幅度最大的是 0~40 cm 范围内, 在 40~60 cm 降低幅度变得非常缓慢, 超过 60 cm 时, 桩、土应力比的值降低的效果很不明显。因此, 要想有效调整桩土之间的应力比, 那么, 垫层厚度的设置大约在 0~40 cm 左右, 但垫层厚度很薄时, 就不能充分发挥桩间土的作用, 因此, 在垫层厚度的选取方面要认真考虑, 以求得最佳的垫层厚度。达到桩和桩间土共同承担荷载, 同时减小地基对基础的应力集中。

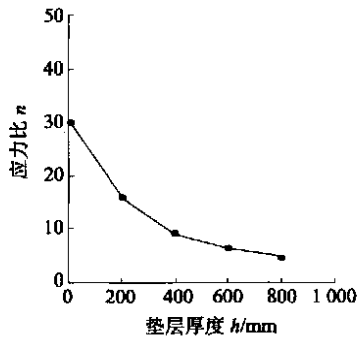


图 2 不同垫层厚度与桩土应力比关系

### 2.2 垫层模量对桩土应力比的影响<sup>[5]</sup>

随着垫层模量的增加, 桩、土应力比在增加, 这与垫层厚度对桩土应力比的影响截然相反(见图 3)。但当模量较大时, 增大的幅度减小。这是因为垫层模量较低时, 垫层的流动性很好。此时, 垫层可以很好地进行流动补偿。随着垫层模量的增加, 垫层的流动性越来越差, 变形协调能力也降低, 即流动补偿作用下降, 结果造成桩顶应力集中增加。当模量增加达到一定程度时, 其调整桩土应力比的作用已很不明显了。因此, 在工程中, 垫层模量的级配也要根据实际工程选取, 要发挥桩的作用时, 垫层的模量选择大一点, 要发挥桩间土的作用时, 垫层的模量选择要小些。

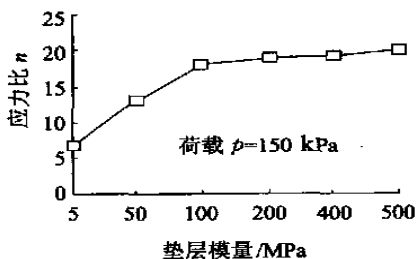


图 3 垫层模量与桩土应力比的关系图

### 3 垫层对复合地基侧摩阻力的影响

#### 3.1 垫层厚度对侧摩阻力的影响<sup>[6]</sup>

褥垫层的存在使桩体产生向上刺入垫层的变形, 在上部荷载和垫层模量一定的情况下, 当垫层厚度很小时, 桩的上刺入量很小, 垫层的变形协调不明显。随着垫层厚度的增加, 桩体上刺入量逐渐增大, 桩身最大应力位置下移, 相应的负摩阻力值也增大, 中性点的位置向下移动; 对桩而言, 桩的负摩阻力增大, 桩端的有效应力增大, 桩的有效桩长度减小, 但由于垫层厚度增大, 桩土应力分担比减小, 即在桩上分担的荷载减小, 桩间土分担的荷载增加。试验表明: 随着垫层厚度的增加, 桩的最大应力减小, 同时, 由于桩间土承受荷载, 产生正向压力, 增大了桩周的摩阻力; 此时, 桩端处围压增加, 桩的端承作用得到发挥和加强, 桩体的承载能力反倒有所提高。

#### 3.2 垫层模量对桩的侧摩阻力的影响

褥垫层模量的大小对桩体侧摩阻力有很大的影响。在垫层和上部荷载一定的情况下, 当垫层模量很小时, 由于垫层的流动补偿性大, 在受到上部荷载时, 桩的上刺作用刺入量大, 桩土应力比很小, 结果更多的垫层土变成桩间土的一部分, 在外部荷载的作用下, 桩与桩间土之间的负摩阻力增大, 中性点的位置亦向下移动; 当垫层模量逐渐增大时, 桩顶刺入量减小, 桩土应力比增大, 相应的负摩阻力减小, 桩体的有效桩长增加, 垫层模量增大, 桩体的最大正应力逐渐增大<sup>[7]</sup>。这是因为其它条件不变的情况下, 垫层模量增大, 则桩土应力比增大, 桩体承担的荷载逐渐增大。由此可得: 当模量大到一定程度, 桩体的最大正应力增加缓慢。

### 4 垫层厚度和模量对沉降的影响

#### 4.1 垫层厚度对地基沉降的影响

据文献[7]用有限元对不同厚度褥垫层厚度与地基沉降关系的分析得出: 随着垫层厚度的增加, 复合地基的沉降也有所增加, 且厚度-沉降曲线几乎是线性关系。但当垫层厚度达到 0.45 m 后, 垫层厚度对复合地基的沉降几乎没有影响, 究其原因是因为上部荷载一定的情况下, 垫层厚度加大, 桩顶作用的荷载减小, 而土表面作用的荷载增加, 使得桩顶沉降略有减小, 而土的沉降加大, 总体上复合地基的沉降在增大; 当垫层厚度达到一定水平, 荷载已得到充分调整, 桩土应力比基本不变或变化很小, 沉降也基本不再增加。

#### 4.2 垫层模量对地基沉降的影响

当垫层厚度和上部荷载一定时, 随着垫层模量

的增加,基础的沉降减小,当模量增大到一定程度时,沉降减小变缓(见图4),这是因为当桩土应力比趋于稳定时,沉降量基本上是桩间土的压缩量。因此,在进行复合地基设计时,要选择合适的垫层厚度和模量,从而调整桩土应力比和基础的沉降量。

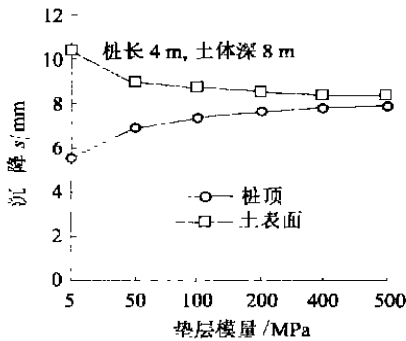


图4 垫层模量与地基沉降的关系图

## 5 垫层厚度和模量对承载力的影响

### 5.1 垫层厚度对承载力的影响<sup>[4]</sup>

垫层厚度不同,复合地基承载力的值也不相同,合理的垫层厚度能够提高复合地基的承载力。当然,垫层厚度本身对提高复合地基的承载力是很小的,因为它只是对地基的浅层作用是有效的,但它能使桩和桩间土应力比达到最佳分配值,使桩和桩间土的承载力同时得到提高,从而使复合地基的承载力得到整体提高。

### 5.2 垫层模量对复合地基承载力的影响<sup>[8,9]</sup>

当垫层模量较小时,桩土应力比很小,即在相同的外部荷载和垫层厚度的情况下,桩体承担的荷载小,桩间土承担的荷载大。随着垫层模量的增大,桩土应力比增大。

垫层对复合地基的承载力的影响从某种意义上讲是间接的,其厚度和模量的不同改变了桩和桩间土的应力分担比,从而使桩和桩间土的承载力达到最佳状态,提高了整个复合地基的承载力。因此,在工程设计中,要根据实际情况,选择合适的垫层厚度和模量,使桩和桩间土分担的比例达到最优,充分发挥桩间土的作用,以此提高复合地基的承载力。

## 6 结论

1) 在 CFG 桩复合地基中,其褥垫层厚度和模量

对桩土应力比、沉降量、侧摩阻力及承载力的影响等进行了综合阐述和分析。

2) 选取不同垫层厚度和模量的 CFG 桩复合地基,对桩周土应力比随厚度增加而减小,随模量的增大应力比增大。

3) 褥垫层厚度和模量对侧摩阻力的变化及影响,明显指出了厚度增大,负摩阻力增加,桩端有效应力增加;模量增大时,负摩阻力减小,桩土应力比增大,桩体垂直应力增加。

4) 从分析褥垫层厚度和模量对复合地基沉降的影响,可以得出,随厚度增大,复合地基沉降也有所增加;随着模量增加,基础的沉降量减小;

5) 褥垫层厚度与模量对复合地基承载力的影响,其厚度和模量对复合地基总体是随厚度增加和模量的增大,对其地基承载力整体是增大的。

从以上几点的认识可以清晰地看出,复合地基 CFG 刚性桩的褥垫层厚度和模量的选取对地基的力学性质影响是很大的,正确合理的选取厚度和模量对工程的设计有着十分重要的经济价值和现实意义。

## 参 考 文 献

- 1 王瑞芳. CFG 桩复合地基工作性状研究.[学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2003. 8~9
- 2 秦建庆. 水泥土桩复合地基变形控制中的若干问题探讨. 岩土工程技术, 1999(2): 8~11
- 3 阎明礼. CFG 桩复合地基技术及工程实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 85~87
- 4 郑东明. CFG 桩复合地基褥垫层效用的有限元分析. 地下空间, 1999, 19(6): 89~92
- 5 化建新. CFG 桩垫层效应研究. 岩土工程技术, 1998(1): 49~50
- 6 李 宁. 复合地基中褥垫层作用机理研究. 岩土力学, 2000, 21(1): 11~12
- 7 孙 燕. CFG 桩复合地基的性状. 广西工学院学报. 1997, 8(4): 27~28
- 8 李建光. 组合桩复合地基沉降变形研究及优化设计探讨.[学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2002: 42~44
- 9 李 宁. 褥垫层对复合地基承载机理的影响. 土木工程学报. 2001. 34(4): 68~73

收稿时期: 2004-11-20