

研究报告

钢纤维混凝土厚承台承载力影响因素分析

孙成访^{1,2}, 谷倩², 陈习子², 彭少民²

(1. 广西工学院土木系, 柳州 545006; 2. 武汉理工大学土建学院, 武汉 430070)

[摘要] 在完成30个缩尺模型为1:5的二桩混凝土和钢纤维混凝土承台试件的试验研究中, 通过改变混凝土强度、钢纤维体积率、承台有效厚度、配筋量及配筋方式, 观察和记录了不同条件下桩承台裂缝的开展与分布, 承台底部中点挠度、侧边混凝土应变和底部受拉钢筋应变, 并系统地分析了影响钢纤维混凝土二桩厚承台极限承载力的主要因素。分析结果为进一步研究钢纤维混凝土二桩承台的抗冲切、抗剪及配筋计算提供了试验基础, 并为《钢纤维混凝土结构技术规程》的修订提供了背景材料。

[关键词] 钢纤维; 纤维增强混凝土; 桩基厚承台; 承载力; 影响因素

[中图分类号] TU528.572 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)06-0079-05

随着高层、超高层建筑的发展, 桩基以其承载力高、能减少地基不均匀沉降和抗震性能好等优点, 在工程上得到广泛的应用。桩基承台起着承上启下的作用, 是桩基础的重要组成部分, 在设计中应予以重视。因此, 对桩基承台的受力机理及其承载力的研究具有重要的理论意义和工程参考价值。

在实际工程中, 为了满足承台承载力的要求, 使单根桩都落在45度冲切锥范围内, 桩基承台做得相当厚, 其三维尺寸比较接近。为了提高其承载力, 并且达到减小承台厚度的目的, 笔者根据钢纤维混凝土抗拉、抗剪性能强和抗裂性能好等特点^[1], 进行了钢纤维混凝土二桩厚承台试验研究。本文仅就影响承台极限承载力的因素作了分析。分析结果可以作为研究钢纤维混凝土二桩承台的抗冲切、抗剪切及配筋计算的基础, 为《钢纤维混凝土结构技术规程》的修订提供试验依据。

1 试验概述

1.1 试验目的

本试验以探讨钢纤维混凝土二桩承台的传力机

理与传力模式为目的, 建立其承载力计算公式。通过改变不同参量, 考查混凝土强度、承台有效厚度 h_0 、钢纤维体积率 ρ_f 、钢筋用量 A_s 及配筋方式等主要因素对承台开裂荷载 P_{cr} 与极限承载力 P_u 的影响。

1.2 试件制作

试件按具有代表性的钢筋混凝土预制桩截面尺寸和常用的桩间距设计^[2]。钢纤维混凝土二桩承台共制作4组15种30个试件, 取距厚比 w/h_0 在0.45~1.27之间(w 为桩中心至最近柱边的水平距离, h_0 为承台有效厚度), 其中4种为不含钢纤维的普通混凝土对比试件, 11种试件的钢纤维体积率分别为0.5%、1.0%或1.5%, 有三种试件钢纤维体积率相同但钢纤维的长径比 l_f/d_f 不同(见表1)。

按1:5的模型率确定钢纤维混凝土二桩承台的尺寸, 试件的详图如图1所示。混凝土强度等级为C30; 承台底部混凝土的保护层厚度为40 mm。

试件材料采用425#普通硅酸盐水泥、中砂、10~20 mm碎石, 钢纤维为剪切型, 长径比为31、

[收稿日期] 2001-09-20; **[修回日期]** 2003-03-27

[基金项目] 中国工程建设标准化协会《钢纤维混凝土结构设计与施工规程》项目(CECS38:92); 广西自然科学基金资助项目(0146005)

[作者简介] 孙成访(1970-), 女, 吉林德惠市人, 武汉理工大学在读博士, 广西工学院讲师

表1 钢纤维混凝土二桩承台实测参数与试验数据一览表

Table 1 The actually measured parameters and experiment result in test

试件编号	h/mm	ρ_f /%	底部受 力钢筋	ρ_s /%	w/h_0	f_{cu} / $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	p_{cr} / kN	p_u / kN	l_f/d_f	备注
CT1-1	350	0	6 ϕ 8	0.42	0.45	39.48	350	690		对比试件
CT1-2	350	0.5	6 ϕ 8	0.42	0.45	39.04	400	715	38.6	
CT1-3	350	1.0	6 ϕ 8	0.42	0.45	39.78	420	778	38.6	
CT1-4	350	1.5	6 ϕ 8	0.42	0.67	36.41	480	890	38.6	
CT2-1	250	0	6 ϕ 8	0.58	0.67	39.48	180	408		对比试件
CT2-2	250	0.5	6 ϕ 8	0.58	0.67	39.04	250	506	38.6	
CT2-3	250	1.0	6 ϕ 8	0.58	0.67	39.78	230	560	38.6	
CT2-4	250	1.0	6 ϕ 8	0.58	0.67	36.47	200	490	31	
CT2-5	250	1.0	6 ϕ 8	0.58	0.67	40.90	250	620	46.6	
CT3-1	200	0	6 ϕ 8	0.76	0.88	39.48	110	329		对比试件
CT3-2	200	0.5	6 ϕ 8	0.76	0.88	39.04	130	380	38.6	
CT3-3	200	1.0	6 ϕ 8	0.76	0.88	39.78	140	410	38.6	
CT4-1	150	0	6 ϕ 8	1.09	1.27	39.48	90	290		对比试件
CT4-2	150	0.5	6 ϕ 8	1.09	1.27	39.04	100	290	38.6	
CT4-3	150	1.0	6 ϕ 8	1.09	1.27	39.78	130	310	38.6	

注: h 为承台试件厚度; f_{cu} 为混凝土基体立方体抗压强度; ρ_s 为纵向钢筋配筋率; ρ_f 为钢纤维体积率; p_{cr} 为试件的开裂荷载; p_u 为试件的极限荷载。

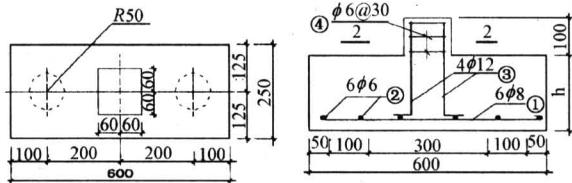


图1 试件详图

Fig.1 The detail of test specimens

38.6 和 46.6。采用 I 级热轧光面 $\phi 8$ 钢筋。混凝土采用强制式搅拌机拌制, 室外自然环境养护, 试验时混凝土龄期为 28 d。

试验时, 用同批浇筑的 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 的混凝土立方体试块测定其实际立方体抗压强度, 用同批截取的钢筋试件测定其实际屈服强度和极限抗拉强度。

1.3 试验装置及测试方法

整个试验系统 (如图 2 所示) 由加载装置、应变测量装置和数据采集装置组成。加载装置为 YES-500 型压力机, 用 YJ-25 型静态电阻应变仪测量承台底部受拉钢筋应变和侧边混凝土应变, 数据由应变仪接计算机采集、输出。用百分表测量承台底部中点挠度, 用放大镜观察承台的裂缝开展与分布情况, 记录承台的 p_{cr} 与 p_u 。

采用逐级加载方式, 每级荷载增值为预估破坏荷载的 10% ~ 15%, 临近破坏时减半, 每级加荷后持荷 4~5 min, 然后进行观测、读数。

1.4 试件参数及试验结果

试验实测参数与主要试验结果见表 1。试验结果表明, 钢纤维混凝土二桩厚承台的破坏主要是由于桩柱连线范围内的混凝土或钢纤维混凝土柱的劈裂破坏引起的, 试验中尚未发现因柱的冲切作用而破坏的试件。图 3、图 4 所示为典型试件破坏时的裂缝分布与破坏形态。

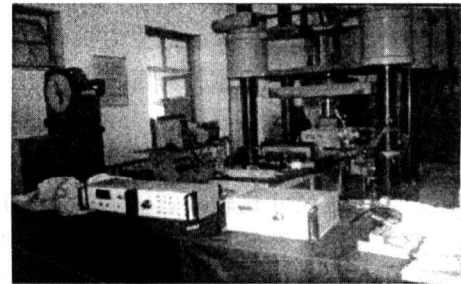


图2 试验装置全貌

Fig.2 Loading apparatus and instruments

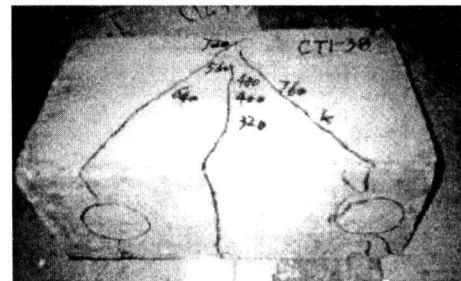


图3 试件 CT1-3 破坏时裂缝分布

Fig.3 Crack distribution on failure of CT1-3

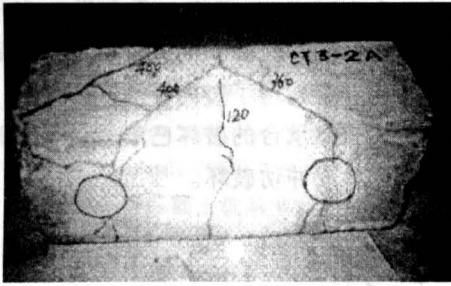


图 4 试件 CT3-2 破坏时裂缝分布

Fig.4 Crack distribution on failure of CT3-2

2 承台极限承载力的主要影响因素

笔者在文献 [3] 中，已从整个试验过程的观察分析和试验结果的归纳统计中得出：影响承台极限承载力的主要因素有钢纤维体积率、钢纤维长径比、混凝土强度、承台有效厚度、承台剪跨比、配筋率与配筋方式等。

2.1 钢纤维体积率 ρ_f

二桩厚承台的破坏主要是由于桩柱连线范围内的钢纤维混凝土柱的主拉应力超过钢纤维混凝土的抗拉强度，而使混凝土柱产生劈裂破坏。钢纤维的掺入能有效阻止混凝土裂缝的产生，因而能提高承台的极限承载力。

承台试件的极限承载力随钢纤维体积率的增加而大致呈线性增加。图 5 为承台的 $p_u / (f_{cu} A_s)$ 与 ρ_f 关系曲线，当 $0 \leq \rho_f \leq 1.0\%$ 时， ρ_f 对承台影响不大，对薄承台（如第四组试件， $h_0 = 110 \text{ mm}$ ）基本不产生影响。当 $1.0 \leq \rho_f \leq 1.5\%$ 时，对厚承台影响很大。由此可见，为了经济有效地提高承台极限承载力，在较薄承台中，钢纤维掺量不宜过大；在厚承台中，钢纤维的体积率宜控制在 $1.0\% \sim 1.5\%$ 之间。

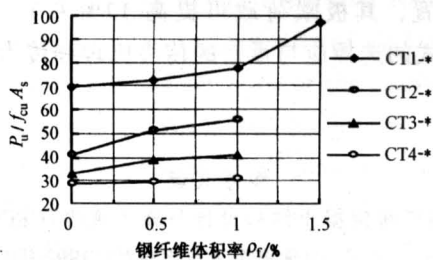


图 5 $p_u / (f_{cu} A_s) - \rho_f$ 关系曲线

Fig.5 $p_u / (f_{cu} A_s) - \rho_f$ curve

2.2 钢纤维长径比 l_f / d_f

钢纤维长径比 l_f / d_f 是影响钢纤维混凝土受力特性的主要因素之一。图 6 所示为由试件 CT2-3、CT2-4 和 CT2-5 试验结果所绘的 $p_u / (f_{cu} A_s)$ 与 l_f / d_f 关系曲线，三个试件除了 f_{cu} 和 l_f / d_f 不同外，其余参数均相同。由图 7 可以明显看出承台极限承载力 p_u 随着长径比 l_f / d_f 的增大而提高。

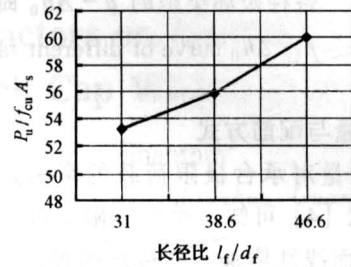


图 6 $p_u / (f_{cu} A_s) - l_f / d_f$ 关系曲线

Fig.6 $p_u / (f_{cu} A_s) - l_f / d_f$ curve

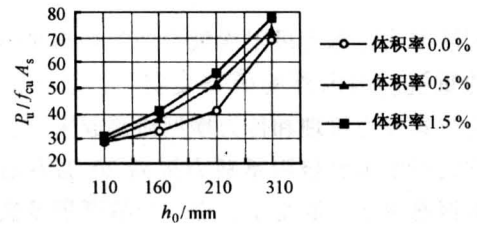


图 7 $p_u / (f_{cu} A_s) - h_0$ 关系曲线

Fig.7 $p_u / (f_{cu} A_s) - h_0$ curve

2.3 混凝土强度等级

由试件 CT2-3、CT2-4 和 CT2-5 试验结果可以看出，随着混凝土强度等级的提高，承台极限承载力也相应地提高，承台极限承载力与混凝土抗拉强度成正比关系。

2.4 承台剪跨比 $\lambda = a / h_0$

承台剪跨比 λ 反映了承台中弯矩和剪力的比值，也是影响承台极限承载力的主要因素之一。一般厚承台中， $\lambda \leq 1.0$ ，其破坏主要是由于冲剪作用引起。对于相同承台平面尺寸， h_0 越大则 a / h_0 越小（ a 为柱边至桩边的水平距离）。试验表明随着 λ 的减小，承台的极限承载力呈线性增长趋势。

2.5 承台有效厚度 h_0

试验表明承台有效厚度 h_0 是影响承台极限承载力的主要因素之一。由图 8 可见承台极限承载力随着承台有效厚度的增加而线性增长。

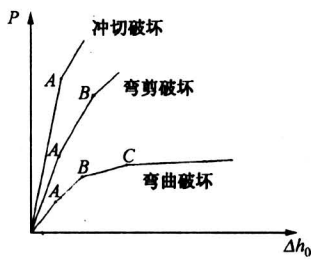


图8 各种破坏类型的 $p - \Delta h_0$ 曲线

Fig.8 $p - \Delta h_0$ curve of different failure

2.6 配筋量与配筋方式

钢筋用量对承台极限荷载的影响是不可忽视的。由文献 [4] 可知，承台极限承载力随钢筋用量 A_s 增加而线性增加。在传统的设计方法中，认为当桩落在承台 45° 冲切锥体以内时，承台只要能满足抗剪和抗冲切强度要求就可以按构造配置钢筋的做法欠妥，忽略了底部钢筋对承台抗冲剪的贡献。

配筋方式对承台极限承载力的影响越来越引起人们的重视。国内外的研究表明^[5]，承台的配筋方式应与其传力机理和传力模型协调起来，合理的配筋方式可使承台极限承载力提高 20 % 左右。通过分析钢筋应变、混凝土应变、裂缝开展及破坏形态，认为钢纤维混凝土二桩承台的传力模型可采用空间桁架模型或拉压杆模型，桩径范围内的钢筋起拉杆的作用。研究表明^[6]，钢筋集中布置在桩径范围内是最有效的。

2.7 柱桩界面尺寸的影响

一般厚承台中，距厚比 $w/h_0 \leq 1.0$ ，其破坏主要是由于弯剪作用引起。对于相同承台平面尺寸， h_0 越大则 w/h_0 越小 (w 为柱边至桩中心的水平距离)。试验表明随着 w/h_0 的减小，承台的极限承载力呈线性增长趋势。当 h_0 和承台长边尺寸一定时，随着桩、柱尺寸的增加，距厚比相对变小，承台极限承载力呈增长趋势。

3 承台的破坏类型

通过试验得出的荷载 - 挠度 ($p - \Delta$) 关系曲线 (如图 9 所示) 与公认的荷载 - 挠度关系曲线 (如图 7) 的对比^[7]，可以看出薄承台的破坏类型为弯曲破坏，而厚承台的破坏类型随着距厚比的降低由弯剪破坏向冲切破坏过渡。

在受弯构件中，沿构件纵向变形相对较小可以

忽略不计。由文献 [8] 可知，承台纵向变形已经达到与竖向变形同一量级，而且随着承台剪跨比的减小，纵向变形还超过了竖向变形。

综上所述，厚承台的破坏已不具备弯曲破坏的特征，属于弯剪或冲切破坏。

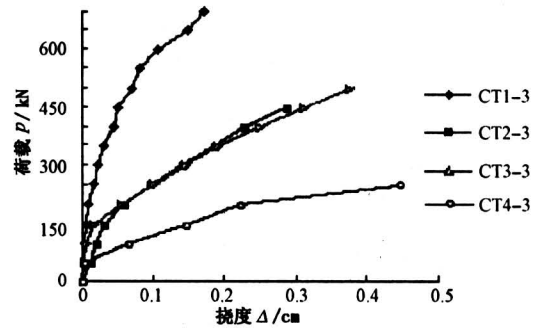


图9 试件荷载 - 挠度曲线

Fig.9 Loading-deformation curve of specimens

4 结论

1) 影响承台极限承载力的主要因素有钢纤维体积率、钢纤维长径比 l_f/d_f 、基体混凝土强度、承台有效厚度、承台剪跨比、配筋率与配筋方式等。

2) 钢纤维混凝土二桩厚承台的破坏类型为弯剪或冲切破坏，其传力模型可简化为空间桁架模型或拉压杆模型；

3) 钢纤维的掺入能有效地延缓承台的开裂，减小承台有效厚度，提高承台开裂荷载和极限承载力，改善承台的延性性能；

4) 承台的极限荷载随钢纤维体积率的增加而增加。厚承台钢纤维对承载力贡献更经济；

5) 配筋方式对承台极限荷载也有较大的影响，同等条件下，将钢筋集中布置在桩径范围，较钢筋均匀布置，其极限荷载可提高 17% 左右。因此，配筋方式的选择应与承台的传力机理和传力模型协调起来。

参考文献

[1] 钢纤维混凝土结构设计与施工规程 (CECS38:92) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992

[2] 建筑地基基础设计规范 GB50007 - 2002 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002

[3] 孙成访. 钢纤维混凝土二桩、五桩厚承台试验研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2002. 35 ~ 63

[4] 李继祥, 许成祥, 谷 倩, 等. 钢纤维混凝土四桩厚

- 承台受冲切承载力研究[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(1): 59~64
- [5] Mark E P, Whittaker W L. Effects of fiber content and damaging load on steel fiber reinforced concrete stiffness [J]. ACI Journal, 1983; January-February: 13~16
- [6] 谷 倩. 纤维混凝土桩基承台的试验研究和非线性分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2001. 51~52
- [7] 邵卓民. 钢筋混凝土剪扭构件的软化桁架理论[J]. 建筑结构, 1987, (2):
- [8] 罗君东. 二桩承台试验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 1993. 67~68

The Experimental Research on Affecting Factors on Bearing Capacity of Steel Fiber Reinforced Concrete Thick Cap With Two Piles

Sun Chengfang^{1,2}, Gu Qian², Chen Xizi², Peng Shaomin²

(1. Department of Civil Engineering, Guangxi Institute of Technology, Liuzhou, Guangxi 545006, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China)

[Abstract] An experimental research is carried out on thirty specimens of steel reinforced concrete and steel fiber reinforced concrete (SFRC) two-pile thick cap of 1:5 model ratio with different concrete strength, volume ratio of steel fiber, effective thickness of cap, reinforcement steel ratio and method. On the basis of experimental records, such parameters as the crack distribution and extending, the deformation at the mid-point on the bottom of specimens and the strain of concrete and tension bearing steel bar, the main factors which affect the ultimate bearing capacity of SFRC two-pile thick cap are analyzed systematically in this paper, which provide reliable data for further research on punch strength, shear strength and calculation on steel of SFRC cap with twopile. Meanwhile an available and reasonable reference is provided for revising the norm.

[Key words] steel fiber; fiber reinforced concrete; pile thick cap; bearing capacity; affecting factors

(cont. from p.48)

Characteristic Analysis for Journal Bearing Under Thin Film Lubrication

Qu Qingwen, Chai Shan, Yao Fusheng

(The Provincial Key Laboratory of Precision Mould, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255012, China)

[Abstract] The characteristic of the bearing under thin film lubrication is far different to that of conventional calculation bearing. After that the affection of the gap of bearing on lubricant is considered, the properties of lubricant will display great change. Because of this change, the characteristics of thin film lubrication are generally researched and recognized. An equivalent viscosity corrected model is applied to analyze characteristic of journal bearing in this paper. For infinite width bearing, an analysis equation on pressure distribution is gained. Then, the properties of journal bearing are calculated accurately.

[Key words] thin film lubrication; equivalent viscosity; journal bearing