

型钢混凝土(SRC)暗梁受弯承载力试验研究

张成中, 郭亚康, 杨 勇, 任 瑞, 薛 皓

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710000)

摘要: 型钢混凝土(SRC)暗梁在大跨度组合楼盖中具有广泛应用前景, 结合 6 个型钢混凝土暗梁试件的单调静力试验, 对型钢混凝土暗梁的受弯破坏形态、承载能力和受弯刚度进行了研究。试验着重研究了暗梁截面高度、型钢截面尺寸、型钢截面类型等关键参数对型钢混凝土暗梁的承载能力、受弯刚度的影响规律及影响特点。试验研究表明, 所提出的型钢混凝土暗梁具有良好的受力性能, 进一步结合型钢混凝土暗梁受力机理的理论分析, 分别采用“刚心法”和“换算截面法”建立了型钢混凝土暗梁的受弯刚度计算公式, 并基于现有规程和理论, 提出了型钢混凝土暗梁的正截面受弯承载力计算方法。

关键词: 型钢混凝土; 暗梁; 受弯性能; 受弯承载力; 受弯刚度; 试验研究

中图分类号: TU445

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)01-0064-06

Experimental study on flexural capacity of steel reinforced concrete (SRC) shallow beam in slim floors

ZHANG Chengzhong, GUO Yakang, YANG Yong, REN Rui, XUE Hao

(School of Civil Engineering Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an, 710000, China)

Abstract: Steel reinforced concrete (SRC) shallow beam in slim floors has a wide application prospect in long-span composite floors. Combined with monotonous static test for six steel reinforced concrete shallow beam specimens, SRC shallow beam flexural failure patterns, its bearing capacity and the flexural stiffness are studied. Experimental research on the shallow beam section height, the size of the steel section, steel cross section type and other key parameters that influence the law and characteristics of the carrying capacity as well as the bending stiffness of the SRC shallow beam. Results show that the proposed SRC shallow beam in slim floors gives good bending performance. Based on SRC beam stress mechanism of theoretical analysis, the 'stiffness-center method' and 'transformed-section method' are adopted to an SRC shallow beam flexural stiffness calculation formula. In accordance with the existing codes and theory, and the normal section bending capacity calculation method of the steel reinforced concrete shallow beam in slim floors is put forward.

Key words: steel reinforced concrete (SRC); shallow beam; bending performance; bending capacity; flexural stiffness; experimental study

近年来, 国内外对于平板楼盖^[1-2] (亦称无梁楼盖)的使用较多, 传统的平板楼盖一般采用现浇钢筋混凝土楼板, 为提高楼盖承载能力和刚度, 通常在平板楼盖中设置钢筋混凝土暗梁, 形成钢筋混凝土暗梁楼盖。在大跨度楼盖中, 为在有限的楼板厚度下进一步提高楼盖整体刚度和承载能力, 近年来常设置型钢混凝土 (steel reinforced concrete, 简称 SRC) 暗梁, 形成型钢混凝土暗梁平板楼盖 (slim floors)。

型钢混凝土暗梁平板楼盖是指在暗梁楼盖中内置型钢所形成的钢-混凝土组合暗梁楼盖。与

普通钢筋混凝土平板楼盖相比, 型钢混凝土暗梁平板楼盖拥有较好的受力性能。目前, 国内外对型钢混凝土暗梁楼盖开展的部分研究^[3-5]表明暗藏型钢能有效提高组合平板楼盖的刚度和承载力, 并且由于型钢暗藏于混凝土中, 组合平板楼盖具有良好的耐火性能, 验证了型钢混凝土暗梁楼盖的有效性和可行性, 但对型钢混凝土暗梁研究尚不完善和系统, 并未覆盖工程中常见的截面形式。课题组近期结合工程实际, 完成了 6 个型钢混凝土暗梁试件的试验研究, 对暗梁截面高度、暗藏型钢截面尺寸以及型钢类型等关键因素对型钢混凝土

收稿日期: 2016-08-26

修改稿日期: 2016-12-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478287, 51578443); 陕西省自然科学基金资助项目(2015JM5187); 陕西省自然科学基金青年人才资助项目(2016JQ5113)

作者简介: 张成中(1974—), 男, 副教授, 主要从事组合结构、工程结构耐久性等方面研究。E-mail: 582516777@qq.com.

土暗梁受弯性能的影响开展了研究，并在试验研究基础上，提出了型钢混凝土暗梁受弯刚度和受弯承载力计算公式。

1 试验方案

1.1 试件设计

本批试验开展了 SRC-1~SRC-6 共 6 个型钢混凝土暗梁试件的试验研究。其中，试件 SRC-1~SRC-5 中型钢为普通 H 型钢，试件 SRC-6 中型钢为蜂窝型钢(孔洞为角度 120°的边长为 88 mm 正六

边形，间距为 88 mm，采取上下部分焊接而成)。通过改变 6 个试件的截面高度、型钢截面尺寸及型钢截面类型，来分析不同参数的影响。通过比较试件 SRC-1、SRC-2、SRC-5，SRC-3、SRC-4 两组试件，来研究试件截面高度的影响；通过比较 SRC-4 和试件 SRC-5 来研究型钢截面高度的影响；通过试件 SRC-3 和试件 SRC-6 来比较普通型钢暗梁与蜂窝型钢暗梁。试件横截面及配筋见图 1，试件纵截面及配筋见图 2，试件主要参数见表 1，钢材力学性能见表 2。

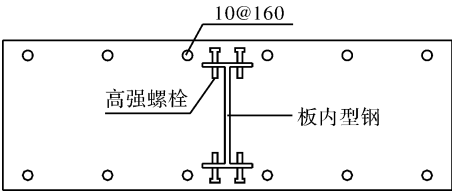


图 1 试件横截面示意图
Fig. 1 Cross section of the specimens

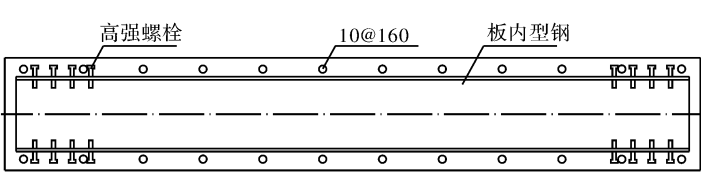


图 2 试件纵截面示意图
Fig. 2 Longitudinal section of the specimens

表 1 试件主要参数

Tab. 1 Main parameters of the specimens

编号	试件尺寸 /mm	试件高度 /mm	型钢类型	型钢尺寸 /mm	混凝土设计 强度等级	剪跨比	混凝土立方体抗压 强度均值/MPa	弹性模量 /MPa
SRC-1	2 700×900	450	H 型钢	200×100×5.5×8	C40	3.01		
SRC-2	2 700×900	350	H 型钢	200×100×5.5×8	C40	3.01		
SRC-3	2 700×900	260	H 型钢	150×75×5×7	C40	3.01	53.3	3.25×10 ⁵
SRC-4	2 700×900	300	H 型钢	150×75×5×7	C40	3.01		
SRC-5	2 700×900	300	H 型钢	200×100×5.5×8	C40	3.01		

表 2 钢材力学性能表

Tab. 2 Mechanical property of steel

类型	屈服强度 /MPa	极限强度 /MPa	弹性模量 /MPa
钢筋	334	438	2.1×10 ⁴
型钢	300	404	2.05×10 ⁵

型钢混凝土暗梁未设置横向钢筋，其界面组合性能不如传统型钢混凝土。为了增强型钢与混凝土的粘结性能防止型钢端部粘结滑移^[6-7]，同时为方便施工，在型钢端部 25 cm 的范围内的上下翼缘板均采用均布高强螺栓作为抗剪连接件。每个试件按双层双向进行配筋，钢筋保护层取 30 mm，型钢下翼缘距离板底 60 mm 处。

1.2 试验加载和测试

试验在西安建筑科技大学结构工程与抗震教育部重点实验室进行，采用 5 000 kN 电液伺服压力机加载，加载方式有两点对称加载和单点集中加载方式(除试件 SRC-1 为单点集中加载，其余

试件都为两点集中加载)，加载示意图见图 3~4。位移计 8 个，测量支座、加载点、中点的位移变化；混凝土应变片 10 个，测量试件中部混凝土应变；型钢应变 16 个，测量试件中部型钢应变。采取位移控制加载，每级加载值为 1.0 mm，先按 0.5 mm/s 进行预加载至开裂荷载的 70% 然后卸载，卸载完毕开始正式加载。在开裂荷载前按 1.0 mm/s 进行加载，在试件出现裂缝后将加载速率调至 0.5 mm/s，直至峰值荷载后调回 1.0 mm/s 进行加载至荷载下降至极限荷载的 85% 时试验结束。

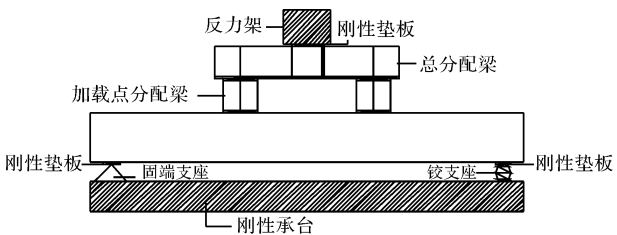


图 3 两点对称加载

Fig. 3 Symmetrical two concentrically loads

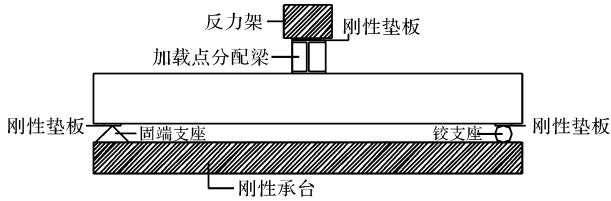


图 4 单点加载

Fig. 4 Single-point loading

2 试验现象及结果分析

2.1 试验现象

试件首先在跨中附近位置开始出现裂缝，随

着荷载的增加，裂缝缓慢开展。由于型钢刚度较大，裂缝发展至型钢下翼缘处出现“停滞”现象。当荷载加到约为极限荷载的 50% 时，裂缝基本出齐；荷载继续增加，裂缝开始斜上发展指向加载点，加载到极限荷载 75% 左右，型钢下部受拉翼缘屈服，并随之腹板高度方向也相继屈服，此时裂缝发展迅速，发展到受压区出现横向裂缝；随着荷载进一步增加，横向裂缝贯通，保护层混凝土剥落，受压区混凝土被压碎，试件破坏。6 个试件均发生典型弯曲破坏，其中 SRC-1 试件主裂缝发展图及其他构件典型裂缝形态详见图 5。

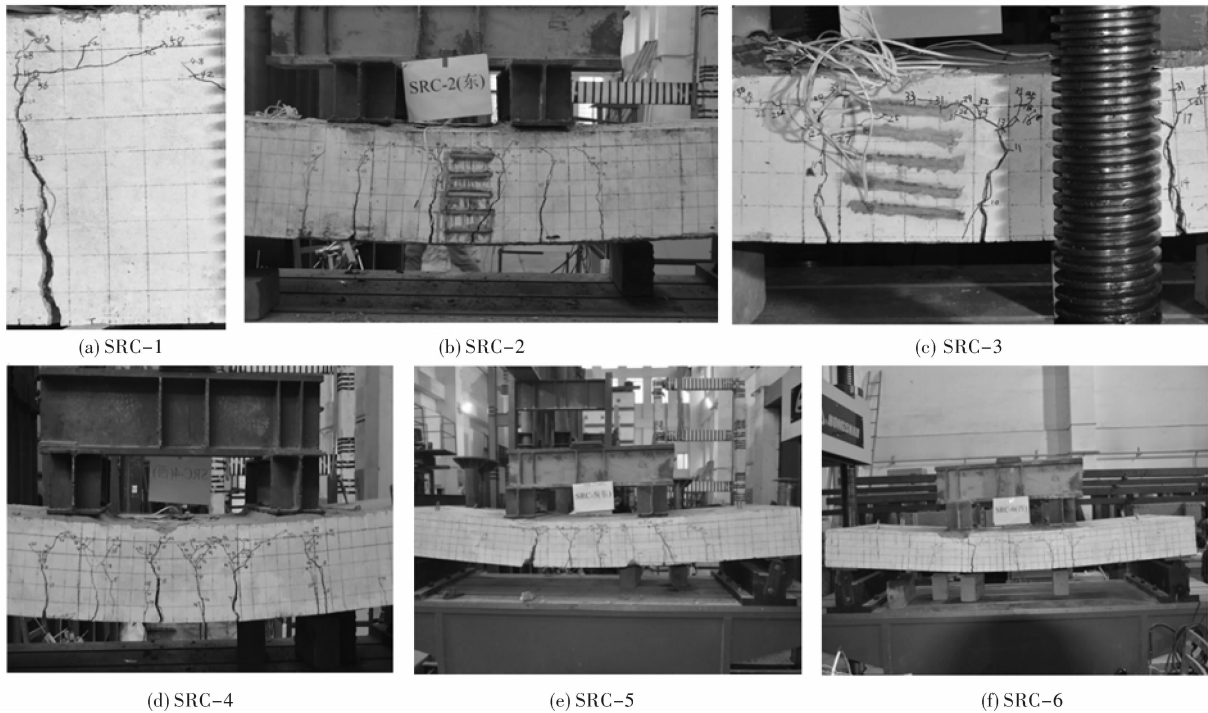


图 5 各试件裂缝开展图

Fig. 5 Crack propagation figure of all specimens

2.2 试验结果分析

图 6 为 6 个试件的荷载-挠度试验实测曲线，在加载初期试件处于弹性阶段，曲线随荷载的增

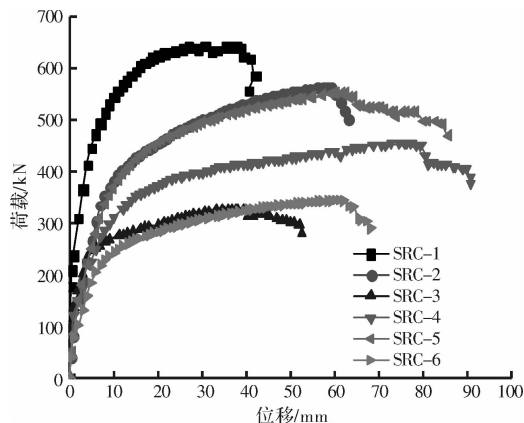


图 6 试件荷载-挠度实测曲线

Fig. 6 Specimen load-deflection curve

加平缓发展，弹性特征明显；随着荷载的增加，型钢受拉区开始屈服，荷载-挠度曲线发生较大偏折，试件刚度开始大幅下降，试件挠度增加变快；当荷载达到峰值并开始下降时，受拉区型钢已经完全屈服，纯弯段挠度大幅增长，但是荷载并未马上下降而是继续保持了一段较为平缓的下降曲线，直至最终破坏也未出现明显的下降段，表现出较好的延性性能。根据所得荷载-跨中挠度试验曲线，可以得到试件最终承载能力，如表 3 所示。

表 3 试件承载力试验结果

Tab. 3 Bearing capacity of the specimens

编号	SRC-1	SRC-2	SRC-3	SRC-4	SRC-5	SRC-6
承载 /kN	646	560	324	450	528	350

根据上述试验结果,对型钢混凝土暗梁试件受弯性能的主要影响参数进行分析.从 SRC-1、SRC-2、SRC-5 和 SRC-3、SRC-4 两组对比试件可以看出型钢混凝土暗梁截面高度对暗梁受弯性能的影响情况.第一组试件 SRC-1、SRC-2、SRC-5 的试验结果表明,随着试件截面厚度增加,试件受弯承载力增加;从第二组试件 SRC-3、SRC-4 也可得出相同规律.从试件 SRC-4 和 SRC-5 的试验结果可以看出,在其他条件不变的情况下,随着型钢截面尺寸增加,承载力增加.从试件 SRC-3 和 SRC-6 的试验结果可以看出,采用蜂窝钢的 SRC-6 试件的极限承载力相对试件 SRC-3,提高了 9%.结果表明,将型钢进行改造成蜂窝型钢,可以更充分利用材料.采用通用屈服弯矩法对试件屈服位移进行计算,极限位移采用荷载下降至极限荷载 85% 时的位移,六个试件的位移延性系数均达到 4.0 以上.结果表明,型钢混凝土暗梁具有良好的延性.

3 受弯承载力计算方法

目前型钢混凝土的计算方法^[8],主要根据型钢和混凝土粘结滑移问题的不同考虑产生了三种不同的理论模型^[9-12]:

(1)参照钢结构的方法进行计算,并对外部混凝土的作用进行分析.

(2)参照钢筋混凝土结构的计算方法进行计算,也就是认为型钢于混凝土可以达到钢筋与混凝土的粘结效果,共同工作.

(3)简单地认为型钢混凝土的承载力为型钢部分承载力与混凝土部分承载力的叠加.

通过研究我国组合结构最常用三种计算方法,提出最适应于型钢混凝土暗梁的正截面承载计算方法.

3.1 《钢骨混凝土结构技术规程》计算方法^[13]

$$M \leq M_{by}^{ss} + M_{bu}^{tc} \quad (1)$$

式中 M_{by}^{ss} 为型钢部分受弯承载力; M_{bu}^{tc} 为钢筋混凝土部分受弯承载力.

其中型钢混凝土部分则按

$$M_{by}^{ss} = \gamma_s W_{ss} f_{ssy} \quad (2)$$

而混凝土部分受弯承载力可按照混凝土结构设计规范^[14]受拉钢筋对受压区压力合力点取矩进行计算

$$M_{rcbu} = A_s f_{sy} \gamma h_{b0} \quad (3)$$

3.2 《型钢混凝土结构技术规程》^[15]计算方法

$$M \leq f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f_y A_s' (h_0 - a_s') +$$

$$f_y A_s' (h_0 - a_s') + M_{aw} \quad (4)$$

$$f_c b x + f_y A_s' + f_y A_s' - f_y A_s - f_a A_{af} + N_{aw} = 0 \quad (5)$$

3.3 《钢与混凝土组合结构》^[16]计算方法

当中和轴经过上翼缘时:

$$M \leq f_c b x (a_s' - \frac{x}{2}) + f_y A_s (h - a_s' - a_r') +$$

$$f_y A_s' (a_s' - a_r') + f_s A_{ss} \frac{h_s}{2} \quad (6)$$

当中和轴在上部混凝土中时,可分为考虑型钢上翼缘作用和不考虑其作用两种情况计算. $x \leq 0.8a_s'/(1+f_s/(1.003E_{ss}))$ 时,型钢全截面屈服按下式计算:

$$M \leq f_y A_s (h - a_r - x) + f_s A_{ss} (h - x - a_s - 0.5h_s) + f_y A_s' (x - a_r') + 0.5f_c b x^2 \quad (7)$$

若 $0.8a_s'/(1+f_s/(1.003E_{ss})) \leq x \leq 0.8(h - a_s)/(1+f_s/(1.003E_{ss}))$, 则忽略型钢上翼缘作用按下式计算:

$$M \leq f_y A_r (h - a_r - a_s') + f_s h_s (A_{st} + t_w h_s / 2) + f_y A_s' (a_s' - a_r') + f_c b x (a_s' - x/2) \quad (8)$$

由于《型钢混凝土组合结构技术规程》只适用于中和轴位于型钢腹板中的情况,对于本试验中型钢完全处中和轴之下的对比试件并不适用.因此,按照《钢骨混凝土结构技术规程》、《钢与混凝土组合结构》中算法对本试验进行验算,所得结果进行对比如表 4.

表 4 两种理论计算对比

Tab. 5 The contrast of two theoretical calculation methods

试件编号	F_s/kN	F_g/kN	F_s/F_g	F_z/kN	F_s/F_z
SRC-1	646	442	1.46	533	1.21
SRC-2	560	368	1.52	459	1.22
SRC-3	324	226	1.43	272	1.19
SRC-4	450	323	1.39	394	1.14
SRC-5	528	385	1.37	451	1.17

注: F_s 表示试验值; F_g 表示《钢骨混凝土结构技术规程》计算值; F_z 表示《钢与混凝土组合结构》计算值.

由表 5 可见采用《钢与混凝土组合结构》中的计算方法相比《钢骨混凝土结构技术规程》中的算法,计算结果与试验值更为接近.《钢骨混凝土结构技术规程》采用的简单强度叠加法计算值与实际值相差较大,只能作为初步估算的最低安全限值使用.而《钢与混凝土组合结构》中的算法计算所得型钢混凝土暗梁的正截面承载力比试验结果偏小 15%~22%,因此,在实际应用中,可保证了一定安全性.

4 受弯刚度计算方法

4.1 考虑“刚心”的受弯刚度计算方法

在型钢混凝土暗梁中,型钢翼缘和腹板之间的混凝土,由于受到型钢翼缘和腹板的约束,混凝土强度稍有提高,同时裂缝开展滞后,且在正常使用阶段该部分的刚度相对其他部分有所提高,形成一个“刚心区”^[14]。在受弯刚度计算中,可以把型钢混凝土暗梁截面刚度视为由以下三部分组成:(1)钢筋混凝土部分(不包括刚心部分);(2)型钢刚度;(3)被型钢约束的混凝土刚心区刚度。在受弯刚度计算时采用以下基本假定:(1)型钢混凝土暗梁在使用阶段符合平截面假定;(2)在使用阶段,钢筋、型钢和混凝土均在弹性范围内工作;(3)裂缝截面不考虑受拉混凝土作用。

则可以得到荷载短期效应作用下,型钢混凝土暗梁中钢筋混凝土部分的刚度:

$$B_{rc} = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\Psi + 0.2 + \frac{6\alpha_E \rho}{1 + 3.5\gamma_f}} \quad (9)$$

其中, Ψ 式中为裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数:当 $\Psi < 0.2$ 时,取 $\Psi = 0.2$;当 $\Psi > 1.0$ 时,取 $\Psi = 1.0$;对直接承受重复荷载的构件,取 $\Psi = 1.0$ 。

根据对各试件裂缝的观察和分析,从裂缝宽度、上下底面裂缝的贯穿程度可发现,确实存在一个基本未开裂的“刚心区”。文献[14]建议采用一个等效矩形来计算刚心区的面积,并建议刚心区宽度取为 1.6 倍的型钢较窄翼缘宽度。

考虑到本试验所采用的型钢混凝土暗梁的截面宽度远大于型钢翼缘宽度(约为型钢翼缘 9 倍),结合裂缝观察结果发现,型钢混凝土暗梁的刚心区折算宽度要比 1.6 倍的型钢较窄翼缘宽度稍大,在此,按公式(10)计算刚心区折算宽度:

$$b_c = 1.83b_s \quad (10)$$

则可以得到刚心区的混凝土刚度为:

$$B_c = E_c [1/12 b_c h_s^3 + b_c h_s (h_s - \bar{x} + a'_s)^2] \quad (11)$$

型钢的刚度为:

$$B_{ss} = E_{ss} [I_{sso} + A_{ss} (a'_s + h_s/2 - \bar{x})^2] \quad (12)$$

式中: E_{ss} 为型钢的弹性模量; I_{sso} 为型钢对自身重心的惯性矩; A_{ss} 为型钢全截面面积; \bar{x} 为中和轴平均高度; b_c 为折算宽度; b_s 为型钢较窄翼缘宽度。

4.2 换算截面法

在开裂前型钢混凝土暗梁基本处于完全弹性

变形阶段,其截面刚度可按照截面的换算刚度计算。开裂后至受拉区型钢屈服之前的阶段中,由于混凝土开裂,型钢混凝土暗梁的刚度明显有所下降,进入非线性变形。型钢混凝土暗梁刚度 B_s 由钢筋混凝土截面刚度 B_c 和型钢截面刚度 B_{ss} 组成,作出如下假定:(1)型钢混凝土暗梁截面应变符合平截面假定;(2)型钢混凝土暗梁中的型钢与混凝土协调变形,认为型钢的平均曲率与钢筋混凝土的平均曲率相等。

$$B = B_c + B_{ss} \quad (13)$$

$$B_{ss} = E_s I_s \quad (14)$$

$$B_c = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\Psi + 0.2 + \frac{6\alpha_E \rho}{1 + 3.5\gamma_f}} \quad (15)$$

4.3 刚度计算的总结与分析

按照考虑“刚心”的受弯刚度计算法和换算截面法分别对本试验试件的进行位移计算,得出结果对比如下表 5。考虑“刚心”的受弯刚度计算法准确度较高且误差在 10% 以内,而换算截面法计算方法过于简化、保守,与实际结果相差较大。

表 5 两种刚度计算方法对比

Tab. 4 The contrast of two stiffness calculation methods

编号	f_a/mm	f_b/mm	f_t/mm	$u_a/\%$	$u_b/\%$
SRC-1	7.90	8.17	7.32	7.9	11.6
SRC-2	12.55	13.70	12.15	3.3	12.7
SRC-3	8.52	9.19	8.34	2.1	10.2
SRC-4	13.80	14.73	12.93	6.7	13.6
SRC-5	9.72	10.39	9.12	6.6	13.9

注: f_t 表示试验测量值,指的是取荷载为极限荷载 70% 时所对应的位移值; f_a 表示考虑“刚心”的受弯刚度法计算值; f_b 表示换算截面法计算值; u_a 表示考虑“刚心”的受弯刚度法误差 $(f_a - f_t)/f_t$; u_b 表示换算截面法误差 $(f_b - f_t)/f_t$ 。

5 结论

本文完成了 6 个型钢混凝土暗梁试件试验研究,结合试验结果和理论推导,对型钢混凝土暗梁的正截面承载力和刚度进行了分析,主要得出结论如下:

(1)型钢混凝土暗梁具有较好受弯性能,型钢混凝土暗梁中型钢与混凝土粘结良好,截面基本符合平截面假定,变形计算及承载力分析计算时可按完全共同工作考虑。建议采用文献[16]中的方法计算型钢混凝土暗梁的正截面受弯承载能力。

(2)随着截面高度、型钢截面高度增加,暗梁受弯承载能力提高;蜂窝型钢是一种有效的提高受弯承载能力的途径。型钢混凝土暗梁中,也存在“刚心区”,在刚度计算中采用考虑刚心的“刚心

法”更为准确。

参考文献 References

- [1] 朱聘儒. 双向板无梁楼盖[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
ZHU Pinru. Two-way and Flat Slab [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999.
- [2] 沈蒲生. 楼盖结构设计原理[M]. 北京:科学出版社,2003.
SHEN Pusheng. Structure design principle of the Floor [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003.
- [3] TSAVDDARIDIS K. D. Experimental and computational study of the vertical shear behaviour of partially encased perforated steel beams[J]. Engineering Structures 2013, 56:805-822.
- [4] WANG Yuanqing, YANG Lu, SHI Yongjiu. Loading capacity of composite slim frame beams[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2009, 65(3): 650-661.
- [5] 郑廷银,蔡万军,杨波. 楼板对新型组合暗梁楼盖静力性能的影响[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2010,32(3):1-6.
ZHENG Tingyin, CAI Wanjuan, YANG Bo. Effect of floor plate on static performance of new type combinatory concealed-beam floor [J]. Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition), 2010,32(3):1-6.
- [6] NARDIN De S, El Debs A L H C. Study of partially encased composite beams with innovative position of stud bolts[J]. Journal of Constructional Steel Research 2009, 65(2): 342-350.
- [7] NARDIN De S, El Debs A L H C. Composite connections in slim-floor system: An experimental study[J]. Journal of Constructional Steel Research 2012, 68(1): 78-88.
- [8] 杨勇,聂建国. 型钢混凝土结构(SRC)设计规程比较[J]. 工业建筑,2006,36(1):81-84.
YANG Yong, NIE Jianguo. Comparison of the specifications for design of SRC structures[J]. Industrial Construction, 2006,36(1):81-84.
- [9] 邵永健,赵鸿铁. 型钢混凝土梁正截面受弯承载力计算理论的对比分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2006,38(3):375-378.
SHAO Yongjian, ZHAO Hongtie. Comparative study on the calculation theory for the flexural capacity of steel reinforced concrete beams [J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2006,38(3):375-378.
- [10] 车顺利. 型钢高强高性能混凝土梁的基本性能及设计计算理论研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2008.
CHE Shunli Research on Basic Behaviors and Design Theory of Steel Reinforced High Strength and High Performance Concrete Beams [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2008.
- [11] 郭志毅. 钢-混凝土简支组合梁抗弯性能的试验与理论研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.
GUO Zhiyi. Experiments and Theoretic Research on Flexural Behavior of Simple Supported Steel-Concrete Composite Beams [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2007.
- [12] 刘尔怡. 中部设置型钢的混凝土梁受弯性能研究[D]. 长沙:湖南大学,2011.
LIU Eryi. Flexural Behavior of Steel Reinforced Concrete with Steel in the Middle [D]. Changsha: Hunan University, 2011.
- [13] 中华人民共和国发展改革委员会. 钢筋混凝土结构设计规程:YB9082-97[S]. 北京:冶金工业出版社,1998.
Development and Reform Commission of the P. R. C. Specification for Design of Steel Reinforced Concrete Structure; YB9082-97[S]. Beijing: China Metallurgical Industry Press, 1998.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范:GB50010-2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the P. R. C. Code for design of concrete Structures; GB50010-2010[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010.
- [15] 中华人民共和国建设部. 型钢混凝土组合结构技术规程:JGJ138-2001/J130-2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
Ministry of Housing Construction of the P. R. C. Technical Specification for Steel Reinforced Concrete Composite Structures; JGJ138-2001/J130-2001[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002.
- [16] 赵鸿铁. 钢与混凝土组合结构[M]. 北京:科学出版社,2001.
ZHAO Hongtie. Steel and Concrete Composite Structures [M]. Beijing: Science Press, 2001.

(编辑 桂智刚)