

钢筋混凝土深受弯构件受剪承载力的计算

刘立新¹, 邢学军², 崔 俊³

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州工业大学建筑公司, 河南 郑州 450002;
3. 郑州工业大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 结合我国混凝土结构设计规范修订的需要, 较详细地分析了钢筋混凝土深受弯构件剪切破坏的特点及影响受剪承载力的主要因素, 提出了可衔接深梁和浅梁的钢筋混凝土深受弯构件的受剪承载力计算公式, 为修订、补充我国混凝土结构设计规范的相关内容提供了依据。
关键词: 深受弯构件; 深梁; 短梁; 受剪承载力
中图分类号: TU 375.1 文献标识码: A

0 引言

工程结构中通常将跨高比 $l_0/h \leq 5$ 的钢筋混凝土受弯构件称为深受弯构件; 其中 $l_0/h \leq 2$ 的受弯构件又称为深梁, $l_0/h = 2 \sim 5$ 的受弯构件又称为短梁, 而跨高比 $l_0/h > 5$ 的梁则称为浅梁。随着我国高层建筑的增多, 深受弯构件在高层建筑转换层大梁、基础梁中的应用日趋普遍, 但我国混凝土结构设计规范中仅列入了浅梁和深梁的设计方法, 短梁的设计方法则尚未列入。因此本次规范修订时, 将补充包括短梁在内的深受弯构件的设计方法作为重点修订内容之一。我国现行混凝土结构设计规范 GBJ 10 - 89 中浅梁和深梁受剪承载力计算分别采用以下的公式^[1]:

浅梁在均布荷载作用下:

$$V \leq 0.07f_c b h_0 + 1.5f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0; \quad (1)$$

浅梁在集中荷载作用下:

$$V \leq \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (1.4 \leq \lambda \leq 3); \quad (2)$$

深梁(不区分均布或集中荷载):

$$V \leq 0.12[1 + 2(\rho_s + \rho_{sh})] f_c b h, \quad (3)$$

以上式中: b, h, h_0 分别为梁截面宽度、高度和有效高度; f_c, f_{yv} 分别为混凝土的轴心抗压强度和箍筋的屈服强度; A_{sv}, s 分别为竖向腹筋的截面面

积和间距; λ 为剪跨比; ρ_s, ρ_{sh} 分别为梁底纵向钢筋和水平腹筋的配筋率, $\rho_s = A_s / (bh), \rho_{sh} = A_{sh} / (bs_v); A_s, A_{sh}, s_v$ 分别为梁底纵向钢筋的截面面积、水平腹筋截面面积和水平腹筋的间距。

从式(1)~(3)可以看出, 在浅梁受剪承载力计算公式中, 竖向腹筋起较大作用, 不考虑水平腹筋和纵筋的作用; 而在深梁的受剪承载力计算公式中则考虑水平腹筋和纵筋的作用, 不考虑竖向腹筋的作用。浅梁和深梁受剪承载力的影响有所不同, 这为解决深梁、短梁和浅梁受剪承载力计算的衔接问题, 即解决深受弯构件受剪承载力的计算问题带来了一定困难。近年来, 国内众多学者对钢筋混凝土深受弯构件的受剪性能进行了较多的试验研究和理论分析, 提出了很多有益的设计建议^[2~4]。本文即是在上述研究的基础上, 结合我国规范修订的具体要求, 提出钢筋混凝土深受弯构件受剪承载力计算的设计公式, 为规范修订、补充这方面的内容提供依据。

1 影响深受弯构件受剪承载力的主要因素

1.1 剪跨比 λ 和跨高比 l_0/h 的影响

试验研究结果表明, 对集中荷载作用下的深受弯构件, 剪跨比 λ 是影响受剪承载力的主要因素, 随着剪跨比的增大, 受剪承载力下降; 对均布

荷载作用下的深受弯构件,跨高比 l_0/h 是影响受剪承载力的主要因素,随着跨高比的增大,受剪承载力下降.图 1、图 2 分别是集中荷载作用下无腹筋梁受剪承载力随剪跨比变化的情况和均布荷载作用下无腹筋梁受剪承载力随跨高比变化的情况.本次规范修订时,为适应高强混凝土的特点并与欧美规范相协调,将混凝土抗剪强度指标改用 f_t 表示,因此图 1、图 2 中的纵坐标用 $V_u/(f_t b h_0)$ 表示, V_u 为试验梁的极限抗剪承载力.为与现行 GBJ 10-89 规范相比较,图中还画出了式(1)~(3)的曲线.近似取 $f_t=0.1f_c$, $h_0=0.9h$).

从图 1、图 2 中可以看出,在集中荷载作用下,式(2)和式(3)不能衔接,在均布荷载作用下,式(1)和式(3)也不能衔接.为使深受弯构件受剪承载力计算表达式能与浅梁相衔接,并与 GBJ 10-89 规范相协调,对集中和均布荷载作用下的无腹筋梁,其受剪承载力可分别用下面公式表示:

$$V_c = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 \quad (0.25 \leq \lambda \leq 3); \quad (4)$$
$$V_c = 0.7 \frac{8 - l_0/h}{3} f_t b h_0 \quad (2 \leq l_0/h \leq 5), \quad (5)$$

式中: V_c 表示无腹筋梁即混凝土作用项的抗剪承载力.式(4)中,当 $\lambda < 0.25$ 时,取 $\lambda = 0.25$; 当 $\lambda > 3$ 时,取 $\lambda = 3$; 式(5)中当 $l_0/h < 2$ 时,取 $l_0/h = 2$; 当 $l_0/h > 5$ 时,取 $l_0/h = 5$.从图中可以看出:式(4)及式(5)可较好地实现剪跨比或跨高比的过渡.

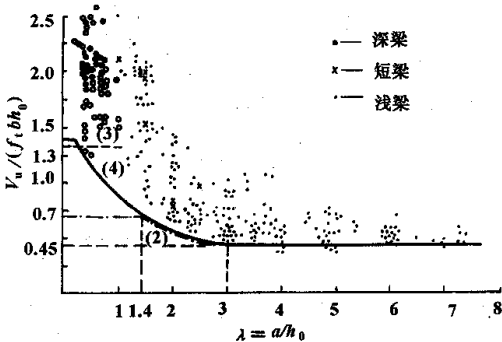


图 1 集中荷载作用下无腹筋梁的受剪承载力

1.2 纵向受拉钢筋配筋率 ρ_s 的影响

梁底纵向受拉钢筋可限制斜裂缝的开展,增强骨料咬合作用并可提供销栓力,因此增大纵向钢筋的配筋率 ρ_s 可提高抗剪承载力.图 3、图 4 分别表示集中荷载和均布荷载作用下纵筋配筋率 ρ_s 的影响.从图中可见,随着 ρ_s 的增大,抗剪承载力增加,大致呈线性关系,且剪跨比或跨高比较小

时,纵筋的作用明显;随着剪跨比或跨高比的增大,纵筋的作用有所降低.

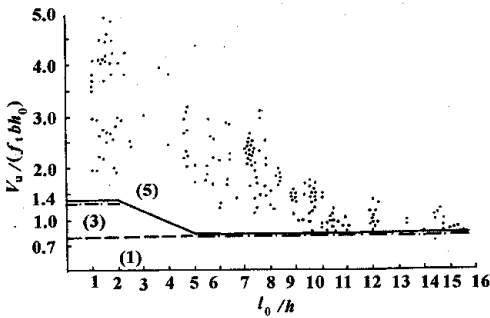


图 2 均布荷载作用下无腹筋梁的受剪承载力

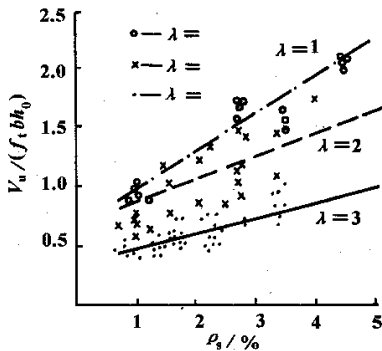


图 3 集中荷载下纵筋配筋率的影响

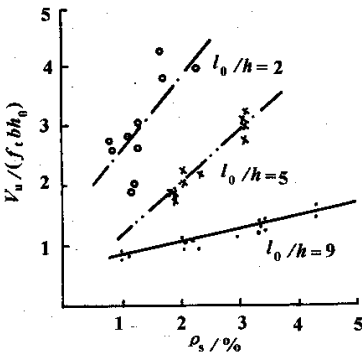


图 4 均布荷载下纵筋配筋率的影响

1.3 竖向和水平腹筋的影响

图 5、图 6、图 7 分别为剪跨比 $\lambda = 0.5, 1.0, 2.0$ 时,集中荷载作用下的深受弯构件的竖向腹筋和水平腹筋应变图.从图中可见,当剪跨比小于 1 时,水平腹筋的应变大于竖向腹筋的应变,即水平腹筋的作用大于竖向腹筋的作用;当剪跨比等于 1 时,水平腹筋的应变和竖向腹筋的应变大致相同,即二者作用也大致相同;当剪跨比大于 1 时,竖向腹筋的应变大于水平腹筋的应变,即竖向腹筋的作用大于水平腹筋的作用.从图中还可看出,当剪跨比较大时,斜裂缝穿过处的腹筋应力可以

达到屈服强度。

图8、图9、图10分别是跨高比 $l_0/h = 2.0$, 4.0 7.0 时,均布荷载作用下的竖向腹筋和水平腹筋的应变图,从图中可见,当跨高比小于4时,水平腹筋的应变大于竖向腹筋的应变;当跨高比等于4时,水平腹筋的应变和竖向腹筋的应变大致相同;当跨高比大于4时,竖向腹筋的应变大于水平腹筋的应变。从图中也可看出:当跨高比较大时,斜裂缝穿过处的腹筋应力也能达到屈服强度。

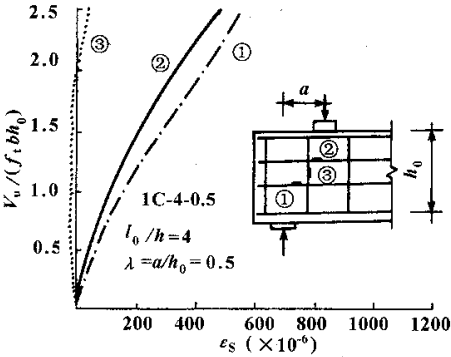


图5 $\lambda = 0.5$ 时的腹筋应变

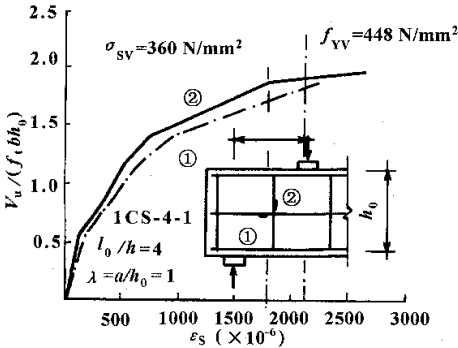


图6 $\lambda = 1.0$ 时的腹筋应变

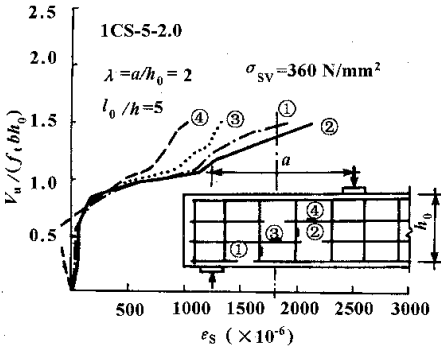


图7 $\lambda = 2.0$ 时的腹筋应变

2 深受弯构件受剪承载力的计算及设计建议

从以上分析可以看出,随着剪跨比或跨高比

的增大,钢筋混凝土深受弯构件受剪承载力时混凝土和纵向钢筋的作用逐渐降低,竖向腹筋的作用增大而水平腹筋的作用减小,这些规律与理论分析的结果是一致的。

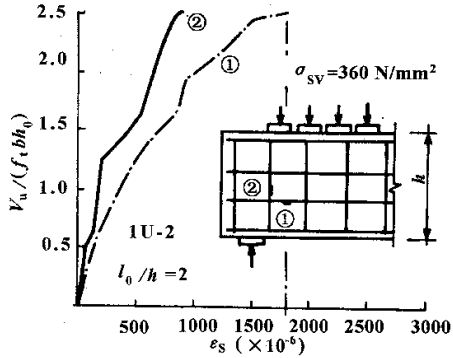


图8 $l_0/h = 2.0$ 时的腹筋应变

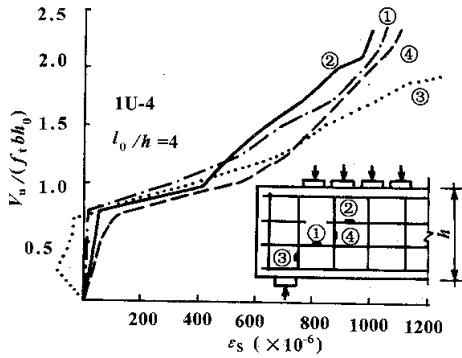


图9 $l_0/h = 4.0$ 时的腹筋应变

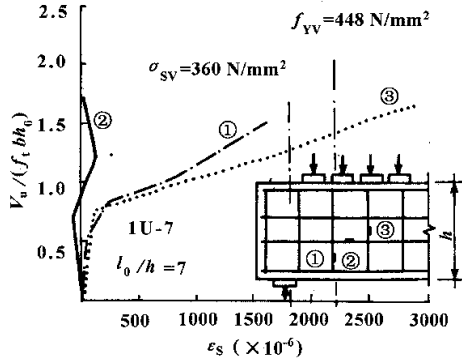


图10 $l_0/h = 7.0$ 时的腹筋应变

考虑到工程设计人员的习惯并与 GBJ 10 - 89 规范相协调,本次规范修订时对浅梁受剪承载力的计算采用下面公式:
均布荷载作用下:

$$V \leq 0.7f_t b h_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0; \quad (6)$$

集中荷载作用下:

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 1.0f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0, \quad (7)$$

与式(1)式(2)相比,式(6)式(7)除了将 f_c 改用 f_t 表示外,对竖向腹筋作用项的系数分别由1.5和1.25降低到1.25和1.0,这一方面是为了适当提高可靠度,另一方面也是为了适应采用Ⅲ级钢筋做腹筋的需要(f_{yv} 的上限值由310 N/mm²提高到360 N/mm²).从式(6)式(7)还可以看出,新修订的浅梁受剪承载力计算公式中,除了集中荷载作用下的混凝土作用项考虑了剪跨比的影响外,其余各项的系数均取常数,与试验规律并不完全相符,这主要是为了简化设计,方便工程技术人员需要.

为了与浅梁受剪承载力式(6)式(7)相协调,根据深受弯构件的特点,建议钢筋混凝土深受弯构件受剪承载力设计计算公式采用下面的形式.均布荷载作用下:

$$V \leq 0.7 \frac{8 - l_0/h}{3} f_t \beta_p b h_0 + 1.25 \frac{l_0/h - 2}{3} f_{yv} \frac{A_{sv}}{s_h} h_0 + \frac{5 - l_0/h}{6} f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0 ; \tag{8}$$

集中荷载作用下:

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t \beta_p b h_0 + \frac{l_0/h - 2}{3} f_{yv} \frac{A_{sv}}{s_h} h_0 + \frac{5 - l_0/h}{6} f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0 , \tag{9}$$

式中: A_{sv} 、 A_{sh} 分别为竖向腹筋和水平腹筋的截面面积; f_{yv} 、 f_{yh} 分别为竖向腹筋和水平腹筋的屈服强度; s_h 、 s_v 分别为竖向腹筋和水平腹筋的间距; β_p 为纵向钢筋配筋率作用系数,取 $\beta_p = 0.78 +$

$15\rho_s$, ρ_s 为纵向钢筋配筋率,当 $\rho_s < 1.5\%$ 时取 $\rho_s = 1.5\%$;式(8)中,当 $l_0/h < 2$ 时,取 $l_0/h = 2$,当 $l_0/h > 5$ 时,取 $l_0/h = 5$;式(9)中,当 $\lambda < 0.25$ 时,取 $\lambda = 0.25$,当 $\lambda > 3$ 时取 $\lambda = 3.0$.

从式(8)式(9)可以看出,当 $l_0/h \leq 2$ (即深梁)时,竖向腹筋项为零,上述公式变为

$$V \leq 1.4 f_t \beta_p b h_0 + 0.5 f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0 ; \tag{10}$$

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t \beta_p b h_0 + 0.5 f_{yh} \frac{A_{sh}}{s_v} h_0 . \tag{11}$$

式(10)式(11)虽然在形式上与式(3)不同,但均反映了纵向受拉钢筋和水平腹筋的影响,能够较好地衔接(图1、图2).当 $l_0/h > 5$ 时(取 $\beta_p = 1.0$)则水平腹筋项为零,就得到与式(6)式(7)完全相同的形式.由此可见,式(8)式(9)既反映了深受弯构件受剪承载力的特点,又能较好地实现从深梁到浅梁的过渡,可作为规范修订时补充这方面内容的依据.

参考文献:

[1] GBJ 10-89 混凝土结构设计规范[S].
[2] 刘立新.钢筋混凝土深梁和浅梁受剪承载力的统一计算方法[J].建筑结构学报,1995,12(4):13-21.
[3] 钱国梁,陈跃庆,何英明.钢筋砼梁与深梁承载力统一计算方法的探讨[J].建筑结构,1995(8):24-29.
[4] 刘立新,蔡耀东,陈 萌.钢筋混凝土深梁、短梁和浅梁的受剪承载力分析及设计建议[J].郑州工业大学学报,1998,19(2):1-8.

Calculation for Shear Capacity of Reinforced Concrete Deep Flexural Members

LIU Li-xin¹, XING Xue-jun², CUI Jun³

(1. College of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Building Construction Company of Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 3. Comprehensive Designing Institute of Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract In this paper, the behavior and the main factors affecting shear capacity of reinforced concrete deep flexural members are discussed in detail, the calculating formulas for shear capacity and the design suggestion of reinforced concrete deep flexural members are also given, and this may serve the reference for revision of P. R. C. Design Code.

Key words deep flexural members; deep beams; short beam; shear capacity