

基于修正压力场理论的有腹筋钢筋混凝土 受弯构件受剪计算

魏巍巍^{1,2}, 贡金鑫¹

(1. 大连理工大学 建设工程学部, 辽宁大连 116024; 2. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088)

摘要:修正压力场理论认为有腹筋构件的受剪承载力由沿裂缝面传递的剪应力和穿过裂缝面的箍筋提供,忽略了受压区承担的剪力,受剪承载力计算结果偏小。基于修正压力场理论,根据钢筋混凝土受弯构件的剪切破坏机理,考虑上部受压区混凝土和下部受拉区骨料咬合力及箍筋共同提供受剪承载力,提出截面受剪承载力计算方法。与所收集的国内外有腹筋梁的 275 个试验结果比较表明:采用本文方法计算的受剪承载力与试验结果的变异性较小,可用于钢筋混凝土梁的抗剪分析。

关键词:钢筋混凝土梁;修正压力场理论;抗剪模型;抗剪强度

中图分类号:TU375.101 **文献标志码:**A

Shear strength prediction of reinforced concrete flexural members with stirrups based on modified compression field theory

WEI Weiwei^{1,2}, GONG Jinxin¹

(1. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. CCCC Highway Consultants Co., Ltd, Beijing 100088, China)

Abstract: In the MCFT, shear capacity of RC members is considered to be resisted by cracked concrete and stirrups. So, the shear capacity calculated by MCFT is underestimated due to ignortion of the shear carried by concrete in compression zone. In this paper, a further study was made based on the modified compression field theory. A method for predicting the shear capacity considering the contribution of the concrete in compression, shear stress transferred across the crack interface, and stirrups based on shear failure mechanism of reinforced concrete member was developed and verified with extensive experimental data from different sources (275 data sets in total). It is found that the variation coefficients of ratio of shear strength calculated using the derived expressions to test data are small. So it is suitable for shear analysis of reinforced concrete beams.

Keywords: reinforced concrete beam; modified compression field theory; shear model; shear strength

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAJ01B06-06)。

作者简介:魏巍巍(1982—),女,辽宁锦州人,工学博士。E-mail:3134586weiweiwei@gmail.com

收稿日期:2009年9月

0 引言

由于钢筋混凝土构件抗剪问题的复杂性,从20世纪初至今,其理论和试验研究一直是一个不断深化的课题,至今没有得到很好的解决。但随着试验研究和理论分析的深入,提出的计算模型更趋于合理,可以从不同程度和角度揭示混凝土的受剪机理,同时也更接近于试验结果^[1-2]。虽然目前很多国家混凝土结构设计规范给出的受剪承载力计算公式仍是基于试验结果统计分析的半理论半经验公式,但一些新的以力学理论为基础的方法已逐步被纳入设计规范,其中具有代表性的是20世纪80年代加拿大多伦多大学提出的修正压力场理论^[3-4],开辟了一条解决钢筋混凝土构件受剪问题的新途径,已经得到国际上的广泛认可,并成为 AASHTO LRFD-1994, 2007《美国桥梁结构设计规范》^[5]、CSA A23.3-94、CSA A23.3-04《加拿大混凝土结构设计标准》^[6]、CSA 2000《加拿大公路桥梁设计标准》^[7]和 MC 2010《欧洲模式规范》(草案)混凝土结构受剪设计方法的基础。

然而,修正压力场理论认为有腹筋构件的受剪承载力由沿裂缝面传递的剪应力和穿过裂缝面的箍筋提供,忽略了上部受压区混凝土对抗剪的贡献,因而计算的受剪承载力偏小。对于无腹筋钢筋混凝土梁,研究表明受压区混凝土可承受20%~40%的剪力,因此考虑受压区提供的抗剪作用是有必要的。混凝土受压起两方面的作用,一方面是平衡弯矩产生的纵向受拉钢筋的拉力,另一方面是提供抗剪能力。为此,本文基于同时考虑上部受压区混凝土、下部受拉区骨料咬合力及箍筋共同提供的抗剪能力,上部受压区按弯曲理论分析,下部受拉区采用修正压力场理论,提出了有腹筋钢筋混凝土构件抗剪强度的计算方法。

1 经典修正压力场理论

压力场及修正压力场理论所针对的是钢筋混凝土构件(板)的纯剪状态。在修正压力场理论中,将开裂的混凝土作为一种新材料,具有自身的应力-应变关系,并按照平均应力和平均应变建立了平衡、协调和本构方程。该模型考虑了压杆倾角的变化、混凝土的应变软化效应,以及裂缝处的局部应力条件,可以准确计算钢筋混凝土膜单元在平面剪力和轴力作用下的应力和变形。文献[8]中给出了修正压力场理论的15个基本方程,利用这些方程可以分析钢筋混凝土构件的抗剪问题。

对于承受弯矩、剪力和轴力作用的钢筋混凝土梁,其剪切破坏与板有一定差别(主要是存在弯矩),当发生剪切破坏时,梁腹板会出现大量的斜裂缝,尽管受剪承载力不是完全由腹板提供,但修正压力场理论认为腹板提供的是主要部分,因此忽略受压区提供的抗剪作用。图1为混凝土受弯构件基于修正压力场理论抗剪的基本模型。临界剪切面的弯矩由构件受弯产生的压力 C 和纵筋拉力 T 组成的力偶承担,剪力 V 假定由穿过斜裂缝的箍筋竖向拉力 V_s 、沿裂缝面传递的剪应力(即骨料咬合力) v_a 承担,忽略纵筋的销栓作用。加拿大规范 CSA A23.3-04、加拿大桥梁规范、CSA 2000 和美国桥梁设计规范 AASHTO LRFD-1994 ~ AASHTO LRFD-2007 都是基于这一认识应用修正压力场理论。

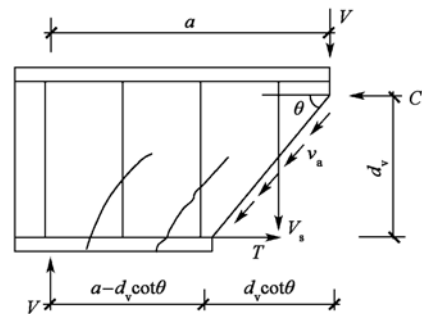


图1 基于修正压力场抗剪理论模型

Fig. 1 Shear model based on modified compression field theory

对于钢筋混凝土梁,竖向挤压应力 f_c 很小,可忽略不计,即 $f_c = 0$ 。因此按修正压力场理论对钢筋混凝土构件进行分析时,对文献[8]中的方程进行重新整理,不考虑水平方向的应力平衡和纵向钢筋的应力-应变关系,剪切面上的剪应力和裂缝宽度不同,按平均考虑,梁截面高度的一半处的平均纵向应变 ϵ_x 取纵筋应变 ϵ_{sx} 的一半,纵筋应变 ϵ_{sx} 由弯矩、剪力下的平衡条件得到^[9-11]:

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{sx}}{2} = \frac{\frac{M}{d_v} + 0.5V\cot\theta}{2E_s A_s} \quad (1)$$

式中: θ 为裂缝倾角; E_s 为钢筋弹性模量; A_s 为纵筋面积; M 、 V 分别为计算截面处的弯矩和剪力;设计时为简化计算,将 $0.5\cot\theta$ 保守取为 1.0 ($\theta = 26.6^\circ$,实际的 θ 通常大于该值),分析表明^[9],其误差很小; d_v 为受压区合力与受拉钢筋中心的距离,取 $d_v = 0.9d$, d 为截面有效高度。

由文献[8]中的式(2)、式(3)、式(5)~式(7)、式(12)~式(15)和本文式(1)即可求解10个未知参数,即平均主拉应力 f_1 、平均主压应力 f_2 、横向钢筋的应力 f_{sz} 、剪应力 v 、沿裂缝面传递的剪应力 v_a 、裂缝倾角 θ 、平均纵向应变 ϵ_x 、平均主拉应变 ϵ_1 、平均

主压应变 ε_2 和平均竖向应变 ε_2 。

对于有腹筋梁,假定剪切破坏时裂缝处和裂缝间的箍筋均达到屈服强度,即 $f_{s2cr} = f_{sc} = f_{sv}$, 其中 f_{s2cr} 为横向裂缝处的应力; f_{sv} 为箍筋屈服强度。因此由文献[10]的式(5)可得到修正压力场理论的截面剪应力为:

$$v_{as} = v_a + \rho_v f_{sv} \cot\theta \quad (2)$$

式中: ρ_v 为配箍率。由式(2)可看出,修正压力场理论的受剪承载力是由沿裂缝面传递的剪应力即骨料咬合力和箍筋共同承担的。

2 建议的计算方法

本文采用的抗剪模型如图2所示,假定有腹筋梁截面的剪力由上部受压区混凝土提供的受剪承载力、下部受拉区的骨料咬合力和箍筋共同承担,因此,截面受剪承载力可表示为:

$$V = V_c + V_{as} \quad (3)$$

式中: V_c 为受压区混凝土受剪承载力; V_{as} 为受拉区骨料咬合力和箍筋提供的受剪承载力。本文主要分析式(3)中上部受压混凝土提供的受剪承载力 V_c , 而下部受拉区提供的受剪承载力 $V_{as} = v_{as} b(d - x_n)$ 由修正压力场理论按式(2)计算。

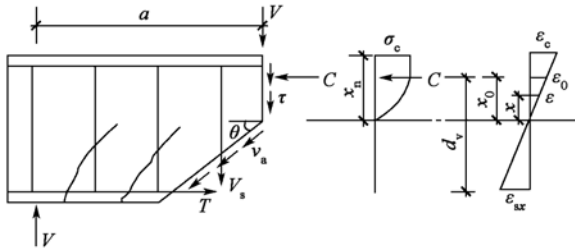


图2 有腹筋梁抗剪模型

Fig.2 Shear model of reinforced concrete beam with stirrups

2.1 受压区混凝土受剪承载力

如图2所示,假定有腹筋钢筋混凝土梁受压区混凝土任意点处的水平应变为 ε , 该点到中和轴的距离为 x , 且截面应变符合平截面假定,则有:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 x}{x_0} = \frac{\varepsilon_c x}{x_n} = \frac{\varepsilon_{sx} x}{d - x_n} \quad (4)$$

式中: x_n 为中和轴高度; ε_0 为混凝土峰值应力对应的应变,取 0.002; x_0 为混凝土压应变 ε_0 对应的截面高度; ε_c 为混凝土受压边缘应变; ε_{sx} 为纵筋应变,按式(1)计算。

计算受压区任意点处的压应力 $\sigma(\varepsilon)$ 时,采用现行混凝土规范^[12]的混凝土受压应力-应变关系

($f'_c \leq 50\text{MPa}$):

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} f'_c \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] & (\varepsilon \leq \varepsilon_0) \\ f'_c & (\varepsilon_0 < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu}) \end{cases} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5),得到受压区混凝土合力为:

$$C = \int_0^{x_n} \sigma(\varepsilon) b dx = \int_0^{x_n} f'_c b \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] dx + \int_{x_n}^{x_n} f'_c b dx = f'_c b x_n \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_c} \right) \quad (6)$$

合力 C 与受拉钢筋中心的距离为:

$$d_v = d - x_n + \frac{\int_0^{x_n} \sigma(\varepsilon) b x dx}{C} = d - x_n + \frac{\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_c} \right)^2 \right] x_n}{1 - \frac{1}{3} \times \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_c}} \quad (7)$$

由力平衡条件,即受压区合力与受拉纵筋力相等得:

$$C = E_s A_s \varepsilon_{sx} + (f_1 - v_{as} \cot\theta) b (d - x_n) \quad (8)$$

将式(6)代入式(8),并考虑平截面假定(式(4))得到:

$$f'_c b x_n \left[1 - \frac{1}{3} \times \frac{\varepsilon_0 (d - x_n)}{\varepsilon_{sx} x_n} \right] = A_s E_s \varepsilon_{sx} + (f_1 - v_{as} \cot\theta) b (d - x_n) \quad (9)$$

整理得中和轴高度为:

$$x_n = \frac{\left(\frac{\varepsilon_0}{3\varepsilon_{sx}} + \frac{A_s E_s \varepsilon_{sx}}{f'_c b d} + \frac{f_1 - v_{as} \cot\theta}{f'_c} \right) d}{\left(\frac{\varepsilon_0}{3\varepsilon_{sx}} + 1 + \frac{f_1 - v_{as} \cot\theta}{f'_c} \right)} \quad (10)$$

如图2所示,在剪力和弯矩作用下,梁中和轴以上受压混凝土承受压应力 σ 和剪应力 τ 的组合作用,其破坏满足双轴应力准则。本文采用式(11)的双轴应力准则^[13]。

$$\frac{\tau}{f'_c} = \sqrt{a + b \left(\frac{\sigma}{f'_c} \right) + c \left(\frac{\sigma}{f'_c} \right)^2} \quad (11)$$

式中: f'_c 为混凝土圆柱体抗压强度; σ 为受压区混凝土的压应力; τ 为受压区混凝土的剪应力; a 、 b 和 c 为试验确定的系数,文献[13]通过试验给出的值为 $a = 0.00981$, $b = 0.112$, $c = -0.122$ 。由于按该参数式(11)不能满足混凝土达到抗压强度时剪应力为零(即 $\sigma_c = f'_c$ 时 $\tau = 0$) 的条件,本文修改为 $a = 0.01$ 。

将式(5)代入式(11)得到任意点处的剪应力与压应变 ε 的关系,沿受压区高度积分,得受压区混凝土提供的受剪承载力为:

$$\begin{aligned}
V_c &= \int_0^{x_n} \tau b dx = \int_0^{x_n} f'_c \sqrt{0.01 + 0.112 \left(\frac{\sigma_c}{f'_c}\right) - 0.122 \left(\frac{\sigma_c}{f'_c}\right)^2} b dx + \int_{x_n}^{x_0} 0 dx \\
&= \int_0^{x_n} f'_c \sqrt{0.01 + 0.112 \left[2 \left(\frac{x}{x_0}\right) - \left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right] - 0.122 \left[2 \left(\frac{x}{x_0}\right) - \left(\frac{x}{x_0}\right)^2\right]^2} b dx \\
&= f'_c b \int_0^{x_n} \sqrt{-0.122 \left(\frac{x}{x_0}\right)^4 + 0.488 \left(\frac{x}{x_0}\right)^3 - 0.6 \left(\frac{x}{x_0}\right)^2 + 0.224 \left(\frac{x}{x_0}\right) + 0.01} dx
\end{aligned}$$

令 $t = x/x_0$, 则有:

$$\begin{aligned}
V_c &= f'_c b x_0 \int_0^1 \sqrt{-0.122t^4 + 0.488t^3 - 0.6t^2 + 0.224t + 0.01} dt \\
&= 0.128f'_c b x_0 = 0.128f'_c b \frac{\varepsilon_0 (d - x_n)}{\varepsilon_{sx}} \quad (12)
\end{aligned}$$

2.2 受拉区受剪承载力

有腹筋钢筋混凝土梁受拉区承担的剪应力为:

$$v_{as} = \frac{V_{as}}{b(d - x_n)} = \frac{V - V_c}{b(d - x_n)} \quad (13)$$

其中, 截面总剪力 V 由式(3)计算得到, 对于集中荷载下的简支梁, V 按集中荷载作用点处的截面计算, 其表达式为:

$$V = \frac{E_s A_s \varepsilon_{sx}}{\frac{a}{d_v} + 0.5 \cot \theta} \quad (14a)$$

式中: a 为集中荷载到支座的距离; d_v 按式(7)计算。

对于均布荷载的情况, V 按距支座有效高度 d 处的截面计算, 其表达式为:

$$V = \frac{E_s A_s \varepsilon_{sx}}{\left(1 - \frac{1}{l/d}\right) d + \left(1 - \frac{2}{l/d}\right) d_v + 0.5 \cot \theta} \quad (14b)$$

式中: l/d 为跨高比。

裂缝倾角 θ 和纵筋应变 ε_{sx} (或梁截面中高处应变 $\varepsilon_x = \varepsilon_{sx}/2$) 需与修正压力场理论公式一起通过迭代计算。

2.3 计算步骤

根据前面推导的受压区受剪承载力计算式并结合修正压力场理论可对钢筋混凝土构件受剪承载力进行分析, 需要迭代计算。本文采用优化方法, 为此构造式(15)的目标函数。

$$\begin{aligned}
Z &= \min \{ (\rho_v f_{sz} + f_1 - v_{as} \tan \theta)^2 + \\
&\quad [(f_1 + f_2) - v_{as} (\tan \theta + \cot \theta)]^2 + \\
&\quad (\rho_v f_{yv} - v_{as} \tan \theta + v_a \tan \theta)^2 \} \quad (15)
\end{aligned}$$

当优化计算使得 $Z = 0$ (实际计算中足够小即可) 时, 式(15)即满足构件的平衡条件。

已知构件截面宽度 b 、有效高度 d 、混凝土圆柱体抗压强度 f'_c 、配筋率 ρ_v 、箍筋屈服强度 f_{yv} 、钢筋面积 A_s 和剪跨比 a/d (或跨高比 l/d), 以 ε_{sx} 、 ε_1 和 $\tan \theta$

为优化变量, 则计算 x_n 、 V_c 和式(15)中 f_{sz} 、 f_1 、 f_2 、 v_a 和 v_{as} 及总受剪承载力 V 的步骤如下:

(1) 假定纵筋应变 ε_{sx} 、主拉应变 ε_1 和 $\tan \theta$ 的初值, 如 $\varepsilon_{sx} = 0.001$, $\varepsilon_1 = 0.001$, $\tan \theta = 1.5$;

(2) 联合式(10)、(12) ~ (14) 计算截面中和轴高度 x_n 、受压区混凝土的受剪承载力 V_c 和受拉区承担的剪应力 v_{as} ;

$$(3) \text{ 计算裂缝处的剪应力 } v_a = \frac{0.18 \sqrt{f'_c}}{0.31 + \frac{24w}{d_a + 16}}$$

其中, 裂缝宽度 $w = \varepsilon_1 s_0$, 裂缝间距 s_0 取 $300 \text{mm}^{[11-12]}$;

$$(4) \text{ 计算主拉应力 } f_1 = \frac{0.33 \sqrt{f'_c}}{1 + \sqrt{500\varepsilon_1}}$$

(5) 计算主压应变 ε_2 和竖向应变 ε_z :

$$\begin{aligned}
\varepsilon_2 &= (\varepsilon_1 - \varepsilon_x) \tan^2 \theta - \varepsilon_x \\
\varepsilon_z &= \varepsilon_1 - (\varepsilon_1 - \varepsilon_x) \tan^2 \theta
\end{aligned}$$

(6) 计算主压应力 $f_2 = f_{2\max} \left[\frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0} \right)^2 \right]$;

最大主压应力 $f_{2\max} = \frac{f'_c}{0.8 + 170\varepsilon_1}$, 需满足 $f_{2\max} \leq f'_c$ 的条件, 即受拉软化后的最大压应力不得超过混凝土抗压强度。

(7) 计算裂缝间的箍筋应力 $f_{sz} = E_s \varepsilon_z \leq f_{yv}$;

(8) 由式(3)得到截面的受剪承载力。

2.4 与试验结果比较

为了验证本文提出的受剪承载力计算式的适用性, 搜集了国内外共 233 组集中荷载作用下有腹筋简支梁和 42 组均布荷载作用下有腹筋简支梁的受剪承载力试验数据^[14-16], 梁截面宽度 $b = 76 \sim 400 \text{mm}$, 有效高度 $d = 155 \sim 1500 \text{mm}$, 立方体抗压强度 $f_{cu} = 14.0 \sim 62.5 \text{MPa}$, 混凝土圆柱体抗压强度 $f'_c = 11.2 \sim 50.0 \text{MPa}$, 纵筋配筋率 $\rho = 0.50\% \sim 4.99\%$, 配箍率 $\rho_v = 0.08\% \sim 2.25\%$, 剪跨比 $a/d = 1.00 \sim 5.05$ (集中荷载), 跨高比 $l/d = 4.6 \sim 12.0$ (均布荷载)。

图3给出了试验结果与按经典修正压力场理论和按本文方法的计算值之比随混凝土圆柱体抗压强度 f'_c 、配箍量 $\rho_v f_{yv}$ 、剪跨比 a/d 和纵筋配筋率 ρ 的变化关系。由图中可看出,按经典修正压力场理论的试验点均在 $V_{test}/V_{calc} = 1$ 的直线上,相对保守,而按本文方法的试验点在 $V_{test}/V_{calc} = 1$ 的直线上下波动,说明采用本文的方法更能反映实际情况。

表1给出了按我国规范、美国规范、修正压力场理论和按本文方法计算的结果,表中最后两列分别给出了试验结果与计算结果比值的平均值和变异系数,计算中混凝土强度取试验中实测的强度值。“集中”表示集中荷载下试验结果与计算结果的比较,“均布”表示均布荷载下试验结果与计算结果的比较,“全部”表示全部试验结果(集中荷载和均布荷载下)与计算结果的比较。由表中结果可以看出,所有的计算结果都比试验结果的平均值小,试验结果与按本文方法计算的结果比值的平均值接近于1且变异系数与修正压力场理论和我国规范接近,小于美国规范的变异系数,说明本文给出的方法是比较合

理的,反映了有腹筋钢筋混凝土构件的受剪机理,但工程设计中应用还需进一步简化。

表1 有腹筋钢筋混凝土简支梁受剪承载力计算结果对比
Table 1 Comparison of shear strength equations for reinforced concrete members with stirrups

计算方法	荷载形式	V_{test}/V_{calc}	
		平均值	变异系数
GB 50010—2002 ^[12]	集中	1.347	0.230
	均布	2.143	0.259
	全部	1.469	0.243
ACI 318-08 ^[17]	集中	1.660	0.308
	均布	2.636	0.241
	全部	1.810	0.293
按修正压力场理论	集中	1.523	0.239
	均布	1.945	0.194
	全部	1.589	0.230
有腹筋梁抗剪模型	集中	1.093	0.223
	均布	1.088	0.224
	全部	1.092	0.223

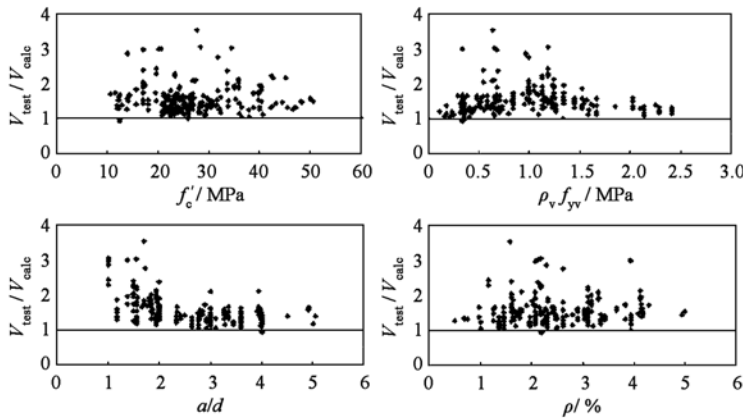
3 计算分析

3.1 受压区混凝土应力

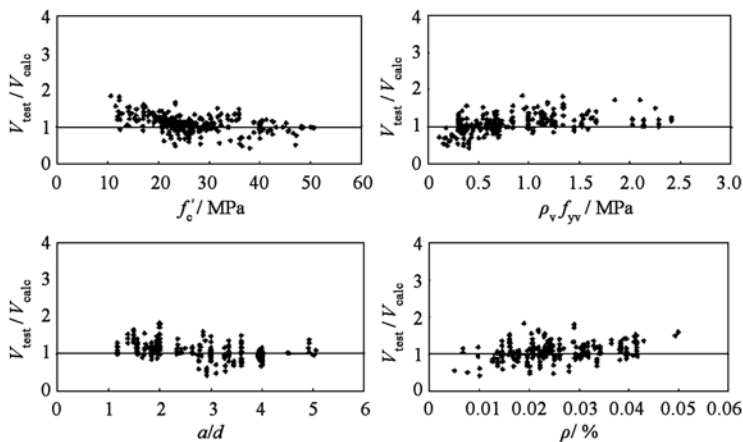
为了研究按本文方法计算的混凝土受压区压应力和剪应力沿受压区高度的变化情况,选取钢筋混凝土梁基本参数为:梁截面宽度 $b = 200\text{mm}$,梁截面有效高度 $d = 535\text{mm}$,混凝土圆柱体抗压强度 $f'_c = 30.4\text{MPa}$,配箍率 $\rho_v = 0.283\%$,箍筋强度 $f_{yv} = 352.8\text{MPa}$,纵筋配筋率 $\rho = 4.18\%$,剪跨比 $a/d = 2.82$,计算压应力(式(5))和剪应力(式(11))沿受压区高度的变化(x 为至受压边缘的距离),如图4所示。由图中可以看出,靠近受压边缘处($\varepsilon_0 < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu}, x/x_n < 0.15$),混凝土达到抗压强度,相应的剪应力为零。 $x/x_n = 0.15$ ($\varepsilon = \varepsilon_0$)时混凝土达到峰值应力,超过该峰值点后,混凝土压应力逐渐减小,到中和轴高度处为零,而剪应力先逐渐增加到最大值然后减小。

3.2 剪跨比对受剪承载力的影响

图5a给出了钢筋混凝土梁受剪承载力随剪跨比的变化,基本参数为 $b = 200\text{mm}$, $d = 392\text{mm}$, $f'_c = 22.6\text{MPa}$, $\rho_v = 0.38\%$, $f_{yv} = 331.2\text{MPa}$, $\rho = 3.1\%$ 。从图中可看出,按本文方法计算可以反映剪跨比对受剪承载力的影响,相对于修



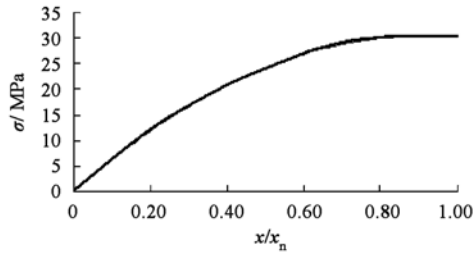
(a) 按修正压力场理论



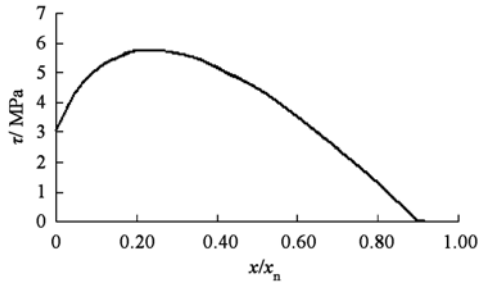
(b) 有腹筋梁抗剪模型(本文建议方法)

图3 不同参数对受剪承载力的影响

Fig. 3 Effect of various factors on shear strength



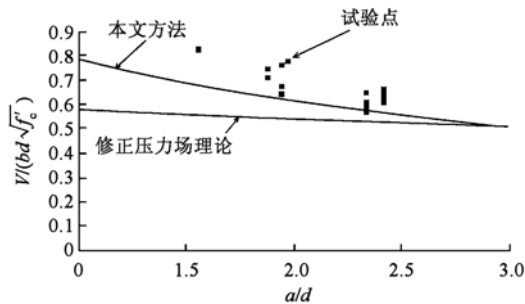
(a) 压应力的变化



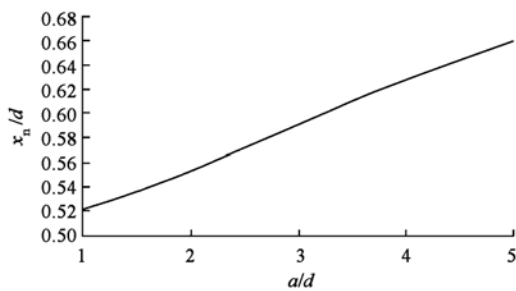
(b) 剪应力的变化

图4 受压区混凝土压应力和剪应力沿截面高度的变化

Fig.4 Variation of compressive stress and shear stress with depth in compression zone



(a) 受剪承载力的变化



(b) 中和轴高度的变化

图5 受剪承载力和中和轴高度随剪跨比的变化

Fig.5 Variation of shear capacity and neutral axis depth with ratio of shear span to depth

正压力场理论更接近试验结果。图5b给出了该钢筋混凝土梁按本文方法考虑受压区时中和轴高度随剪跨比的变化,随剪跨比增加,中和轴高度增大。

3.3 受剪承载力构成

为研究受压混凝土、箍筋和骨料咬合力对钢筋混凝土梁受剪承载力的贡献大小,选取钢筋混凝土

梁基本参数为: $b = 200\text{mm}$, $d = 535\text{mm}$, $f_c' = 30.4\text{MPa}$, $f_{vy} = 352.8\text{MPa}$, $\rho = 4.18\%$, $a/d = 2.82$, 按本文方法计算各剪力分量随配箍率的变化情况,如图6所示,配箍率很小时,受压区混凝土承担大部分的剪力,随着配箍率增加,箍筋承担的剪力增大,受压区混凝土承担的剪力减小,骨料咬合力的贡献变化不大。图中 V_s 为沿斜裂缝面骨料咬合作用承担的剪力, V_s' 为穿过斜裂缝的箍筋承担的剪力。

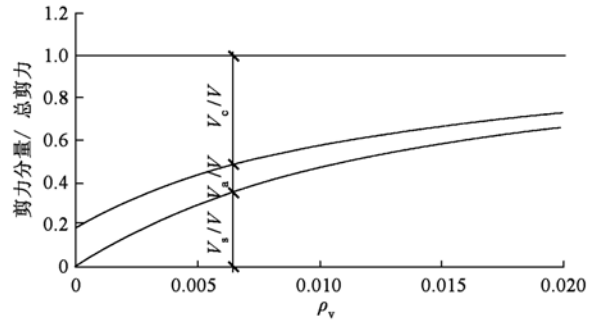


图6 剪力分量随配箍率的变化

Fig.6 Variation of shear components with ratio of stirrups for reinforced concrete beam

4 结论

本文根据钢筋混凝土受弯构件的剪切破坏机理,考虑上部受压区和下部受拉区混凝土共同提供受剪承载力,上部受压区根据双轴应力准则得到混凝土受剪承载力,下部受拉区混凝土利用修正压力场理论公式计算得到骨料咬合力和箍筋提供的受剪承载力,并给出了计算方法。得到以下主要结论:

(1)采用本文方法计算的受剪承载力与试验结果相比变异系数较小,可用于有腹筋钢筋混凝土构件的受剪承载力分析;

(2)对于剪跨比较小的构件,按本文方法可以合理地反映剪跨比对受剪承载力的影响,更接近于试验结果。

参考文献

- [1] 贡金鑫,魏巍巍,胡家顺. 中美欧混凝土结构设计[M]. 北京:中国建筑业出版社,2007. (Gong Jinxin, Wei Weiwei, Hu Jiashun. Design of concrete structure based on Chinese, American and European code [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007. (in Chinese))
- [2] 贡金鑫,魏巍巍,赵尚传. 现代混凝土结构基本理论及应用[M]. 北京:中国建筑业出版社,2009. (Gong Jinxin, Wei Weiwei, Zhao Shangchuan. Basic theory and application of modern concrete structure [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese))

- [3] Vecchio F J, Collins M P. The Modified Compression Field Theory for reinforced concrete elements subjected to shear[J]. ACI Journal, 1986, 83(2): 219-231.
- [4] Vecchio F J, Collins M P. Predicting the response of reinforced concrete beams subjected to shear using Modified Compression Field Theory[J]. ACI Structural Journal, 1988, 85(3): 258-268.
- [5] AASHTO LRFD-1994. AASHTO LRFD bridge design specifications[S]. Washington DC: American Association of State Highway Transportation Officials.
- [6] CSA A23. 3-1994, CSA A23. 3-2004. Design of concrete structures[S]. Mississauga: Canadian Standards Association.
- [7] CAN/CSA-S6-00 Canadian highway bridge design code[S]. Toronto: CSA International, 2000.
- [8] 魏巍巍, 贡金鑫, 车轶. 无腹筋钢筋混凝土构件基于修正压力场理论的抗剪计算[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(8): 79-85. (WEI Weiwei, GONG Jinxin, CHE Yi. Shear strength of reinforced concrete members without stirrups based on Modified Compression Field Theory[J]. Journal of Building Structures, 2010, 31(8): 79-85. (in Chinese))
- [9] Bentz E C, Collins M P. Development of the 2004 Canadian Standards Association (CSA) A23. 3 shear provisions for reinforced concrete[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2006(33): 521-534.
- [10] Bentz E C, Vecchio F J, Collins M P. Simplified Modified Compression Field Theory for calculating shear strength of reinforced concrete elements[J]. ACI Structural Journal, 2006, 103(4): 614-624.
- [11] Collins M P, Mitchell D, Adebare P, Vecchio F J. A general shear design method[J]. ACI Structural Journal, 1996, 93(1): 36-45.
- [12] GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. (GB 50010—2002 Code for design of concrete structures [S]. (in Chinese))
- [13] 周氏, 康清梁, 童保全. 现代钢筋混凝土基本理论[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1989.
- [14] 中国建筑科学研究院. 钢筋混凝土构件试验数据集——85年设计规范背景资料续编[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [15] Zararis P D. Shear strength and minimum shear reinforcement of reinforced concrete slender beams[J]. ACI Structural Journal, 2003, 100(2): 203-214.
- [16] Transportation Research Board. Simplified shear design of structural concrete members[R]. NCHRP REPORT 549. Washington DC: NCHRP, 2005.
- [17] ACI 318-08 Building code requirements for reinforced concrete [S]. Farmington Hills, MI, USA: ACI, 2008.

会议信息

2011 年中国西安国际建筑科技大会

2011 年中国西安国际建筑科技大会 (ICTAS - Xi'an 2011) 将于 2011 年 9 月 23 日 ~ 25 日在中国历史名城西安召开。该会议由中国工程院土木、水利与建筑工程学部和中国土木工程学会主办, 西安建筑科技大学承办。

会议主题为创新、安全、可持续发展, 包括结构体系创新与工程结构防灾、建筑创新、建筑能源与环境的可持续发展、建筑材料的创新与应用四个分主题。本次会议的工作语言为英语, 所有论文必须用英文撰写。

会议投稿截止日期为 2011 年 6 月 15 日。录用的论文将刊登在 Applied Mechanics and Materials 和 Advanced Materials Research 期刊上, 所有录用的文章将被 EI Compendex 检索。热烈欢迎国内外的专家、学者与工程技术人员投稿并参加会议。

详情请登录会议网站 <http://ICTAS2011.xauat.edu.cn> 查询会议 1 号征文通知。