

钢筋混凝土构件抗剪强度 研究的新进展

丁自强

(水利系)

提 要: 本文扼要地阐述了近十几年来我国在钢筋混凝土构件抗剪强度研究方面所取得的新进展, 包括: 剪跨比和间接加载对抗剪强度的影响, 连续梁、约束梁、预应力混凝土梁、弯筋梁、压杆和拉杆的抗剪强度等。

关键词: 抗剪强度, 钢筋混凝土结构, 结构构件, 研究

钢筋混凝土构件的抗剪强度计算是一个研究已久但尚未很好解决的重要课题。

我国现行抗剪强度计算方法以《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74)⁽¹⁾ 规范为代
表, 其斜截面的抗剪强度 V_u 按式(1a)计算:

$$V_u = 0.07f_c b h_0 + \alpha_{sv} \frac{A_{sv}}{S} f_{yv} h_0 + 0.8f_y A_{sb} \sin\alpha \quad (1a)$$

对于集中荷载作用下的矩形截面简支梁, 当集中荷载在计算截面产生的剪力值占该截面总剪力值的 80% 以上, 且集中荷载作用点至支座之间的距离 $a \geq 1.7h_0$ 时, 按式(1b)计算:

$$V_u = \frac{0.4}{\lambda + 4} f_c b h_0 + \alpha_{sv} \frac{A_{sv}}{S} f_{yv} h_0 + 0.8f_y A_{sb} \sin\alpha \quad (1b)$$

式中:

f_c — 混凝土的轴心抗压强度;

b — 截面宽度;

h_0 — 截面有效高度;

A_{sv} — 配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积;

S — 沿构件长度方向上箍筋的间距;

α_{sv} — 抗剪强度影响系数; $\alpha_{sv} = 1.5 \sim 2.0$

$\lambda = \frac{M}{Vh_0}$ 为计算截面的剪跨比;

其中 M 、 V 取计算截面处的弯矩和剪力, 当 $\lambda > 4$ 时, 取等于 4。

f_y — 钢筋的抗拉强度;

A_{sb} — 配置在同一截面内的弯筋截面面积;

①收到日期: 1988.06.02

α — 弯筋与构件纵轴的夹角。

计算公式的适用范围为:

(1)、截面的限制条件:

$$KV \leq 0.3f_c b h_0 \quad (2)$$

对于薄腹梁等斜裂缝开展较大的构件,

$$KV \leq 0.2f_c b h_0 \quad (3)$$

式中 K — 强度安全系数。

满足式(2)的相应最大配箍特征值为:

$$\left(\frac{\mu_{sv} f_y}{f_c} \right)_{\max} = 0.153 \quad (4)$$

(2)、最小配箍率 $(\mu_{sv})_{\min}$:

$$(\mu_{sv})_{\min} = \left(\frac{A_{sv}}{bs} \right)_{\min} = 0.015 \frac{f_c}{f_y} \quad (5)$$

上述计算方法计算形式简单, 方便设计。但与欧美各国规范相比, 我国公式取值要高得多, 箍筋用量偏低, 可靠指标 β 值远远低于目标可靠指标的要求。此外, 《TJ10-74》的公式主要依据集中荷载下 T 形截面简支梁的试验数据, 对于复杂荷载、间接加载、连续梁、约束梁、框架柱、预应力砼梁等均缺少规定, 适应范围受到限制, 因此, 《TJ10-74》颁布后, 我国有关单位在抗剪强度专题组的组织下开展了系统的研究, 取得了前所未有的进展。

1 考虑剪跨比影响的无腹筋梁和箍筋梁的抗剪强度

剪跨比对钢筋混凝土梁抗剪强度的影响是明显的, 如图 1。为了深入了解剪跨比的影响, 同济大学进行了多点等代均布荷载和多点不对称集中荷载简支梁的试验, 并结合国内外 145 根各种荷载情况下受剪破坏试验梁的资料进行分析^[4], 认为:

① 对于 1 点或 2 点对称集中荷载情况, 按公式(1a)计算在剪跨比 $\lambda > 2$ 时, 以及按式(1a)和式(1b)配套计算在 $\lambda > 4$ 时, 计算结果偏于不安全。在剪跨比小时, 计算结果能满足精度要求。破坏斜截面末端位置是在集中荷载作用点处。

② 对于等代均布荷载、均布荷载和多点不对称集中荷载等情况, 式(1a)计算结果普遍偏低, 破坏位置与实际不符。例如均布荷载的危险斜截面位置不在支座截面, 而是在支座与跨中之间的某一位置。

文献[4]建议考虑剪跨比和纵筋影响的抗剪强度计算公式为:

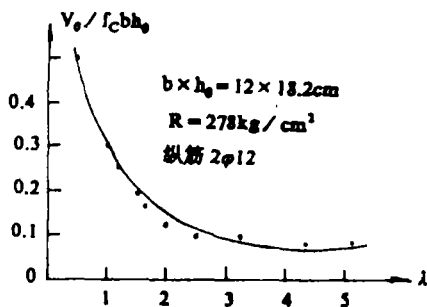


图 1

$$V_{\alpha} = \frac{0.04(2+p)}{\lambda-0.3} f_c b h_0 + (0.25 + 0.4\lambda) \frac{A_{sv}}{S} f_{yv} h_0 \quad (6)$$

式中当 $\lambda < 1$ 时, 取 $\lambda = 1$; 当 $\lambda > 4$ 时, 取 $\lambda = 4$ 。

$p = 100\mu$, 当 $p > 3$ 时, 取 $p = 3$ 。

式(6)右边第一项为无腹筋梁的抗剪强度, 第二项为箍筋对抗剪强度的增值。

郑州工学院曾进行以水袋加载的真正均布荷载试验^[5], 跨高比 $l/h_0 = 3.9 \sim 13.1$, 得破坏斜截面位置 a_u 与 l/h_0 有如图2的线性关系。其关系式为:

$$\frac{a_u}{l} = \frac{0.23}{l/h_0} + 0.20 \quad (7)$$

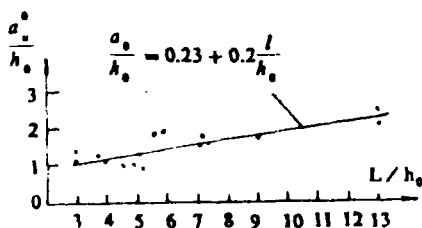


图 2

当 $\frac{l}{h_0} = 4 \sim 13$ 时, $\frac{a_u}{l} = 0.26 \sim 0.22$, 可近似取 $a_u \approx \frac{l}{4}$, 即均载梁的破坏斜截面位置在离梁端 $\frac{1}{4}$ 跨度附近。

因此破坏斜截面处的广义剪跨比 $\frac{M}{Vh_0}$ 可以表示为: $\frac{M}{Vh_0} = \alpha \frac{l}{h_0}$ 。

α 为一与 a_u 有关的系数。由此可见, 对于均载梁的抗剪强度, 可以用跨高比 l/h_0 来代替剪跨比以考虑其影响。文献[5]建议的无腹筋均载梁的抗剪强度计算公式为:

$$V_c = \frac{0.11}{0.15 \frac{l}{h_0} + 0.5} f_c b h_0 \quad (8)$$

在此, 当 $\frac{l}{h_0} < 4$ 时, 取等于4; 当 $\frac{l}{h_0} > 10$ 时, 取等于10。

2 间接加载梁的抗剪强度

在通常情况下, 钢筋混凝土梁抗剪强度的试验数据是直接加载和直接支承的情况下得出的, 而实际工程中并不完全如此, 如肋形楼盖中的主梁和次梁, 框架和桥梁结构中的纵梁和横梁等。一般认为, 间接加载梁的抗剪强度低于直接加载梁。为此, 重庆建筑工程学院进行了试验研究^[6]。

2.1 影响抗剪强度降低的主要因素

2.1.1 剪跨比。小剪跨时影响大, 大剪跨时没有显著影响。

2.1.2 加载横梁的位置。无论是有腹筋或无腹筋梁, 当加载横梁位于梁的受拉区, 其抗剪强度降低最多, 当横梁与主梁等高时降低较少, 当横梁位于受压区时, 就几乎没有降低。

2.1.3 配筋率。在无腹筋或配筋率少的情况, 间接加载对抗剪强度降低的影响大。随着腹筋用量的增加, 降低程度便逐渐减小。配箍率的影响程度还与横梁的位置有关, 当横

梁位于受拉区时, 配箍率的影响大, 配箍较多, 试件破坏时有较多的箍筋参加工作, 其抗剪强度的降低程度有所补偿。

根据以上分析, 文献[6]提出了集中荷载作用下间接加载直接支承的相对抗剪强度降低百分率 p 的公式:

$$p = \frac{25}{\left(\mu_{sv} \frac{f_y}{f_c}\right)^{0.3} \left(\frac{a}{h_0}\right)^{1.6}} \% \quad (9)$$

该公式的适用条件: $a/h_0 = 1 \sim 4.5$, 梁中仅配垂直箍筋, 加载横梁位于受拉区。

2. 2 提高间接加载梁抗剪强度的措施

2. 2. 1 集中荷载作用点附近附加横向钢筋如吊筋或箍筋, 如图 3。附加吊筋梁的抗剪强度 V_u^i 按下式计算:

$$V_u^i = (1 - p)V_u^d + 0.8f_y A_{sb} \sin \alpha \quad (10)$$

式中:

V_u^d — 附加吊筋直接加载时的抗剪强度;

A_{sb} — 集中荷载一侧的吊筋截面面积。

2. 2. 2 按《TJ10-74》方法考虑, 但可作如下改进:

对于横梁高度不超过主梁高的 $2/3$ 并位于受压区的简支梁, 可只在横梁两侧各按构造要求附加 $1 \sim 2$ 个箍筋, 并不作计算。

对于其它情况, 可按《TJ10-74》方法计算, 如下式, 但应将安全系数提高 10% 。

$$A_s \geq \frac{KP}{f_y \sin \alpha} \quad (11)$$

由于附加箍筋能完全补偿间接加载所降低的抗剪强度, 建议提倡采用箍筋, 并限制吊筋用量。

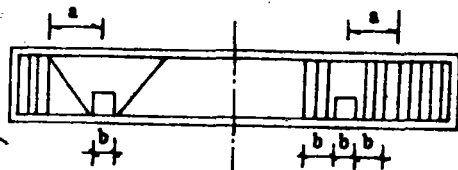


图 3

3 连续梁和约束梁的抗剪强度

《TJ10-74》关于抗剪强度的计算公式主要是依据集中荷载下简支梁的试验数据得出的, 对于连续梁和约束梁是否适用, 由于缺乏试验研究的依据, 规范中没有明确说明。我国同济、清华、天大、哈建工、南工、重建工和郑工^[7]就此进行了大量的研究。

3. 1 无腹筋连续梁约束梁的工作特点

3. 1. 1 裂缝出现和裂缝形态

裂缝首先出现在弯矩 (绝对值) 最大的区域, 即在一般情况下, 当弯矩比 ψ (ψ 为最大负弯矩 M^- 与最大正弯矩 M^+ 之比的绝对值, $\psi = |\frac{M^-}{M^+}|$) 小于 1 时, 裂缝首先在正弯矩区出现, 当 $\psi > 1$ 时, 裂缝首先在负弯矩区出现, 当 $\psi = 1$ 时, 则可能在正弯矩区先出现, 也可能在负弯矩区先出现或同时出现, 具有随机性。

图4为一约束梁的裂缝图,由该图可知,它有与简支梁相似的弯剪缝和腹剪缝。但在反弯点两侧,可能出现两条大致平行的主要斜裂缝(或临界斜裂缝)在该两裂缝之间形成一近似菱形的斜压体。此外,还有沿纵筋形成的撕裂裂缝。

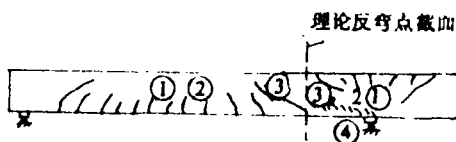


图4

- ①受弯正裂缝 ②弯剪斜裂缝
③腹剪斜裂缝 ④撕裂裂缝

3.1.2 应力重分布

从图5的应变实测结果来看,斜裂缝出现前,纵筋各点的应变与弯矩成比例增加,斜裂缝出现后,特别是斜裂缝发展到与纵筋相交时,纵筋应力会产生急剧的重分布。受拉范围增大,应力零点向弯曲受压区移动,而和钢筋同一部位的混凝土应变仍为压应变。说明纵筋与周围混凝土之间发生了相对滑动,导致纵筋与周围混凝土粘结破坏而开裂。

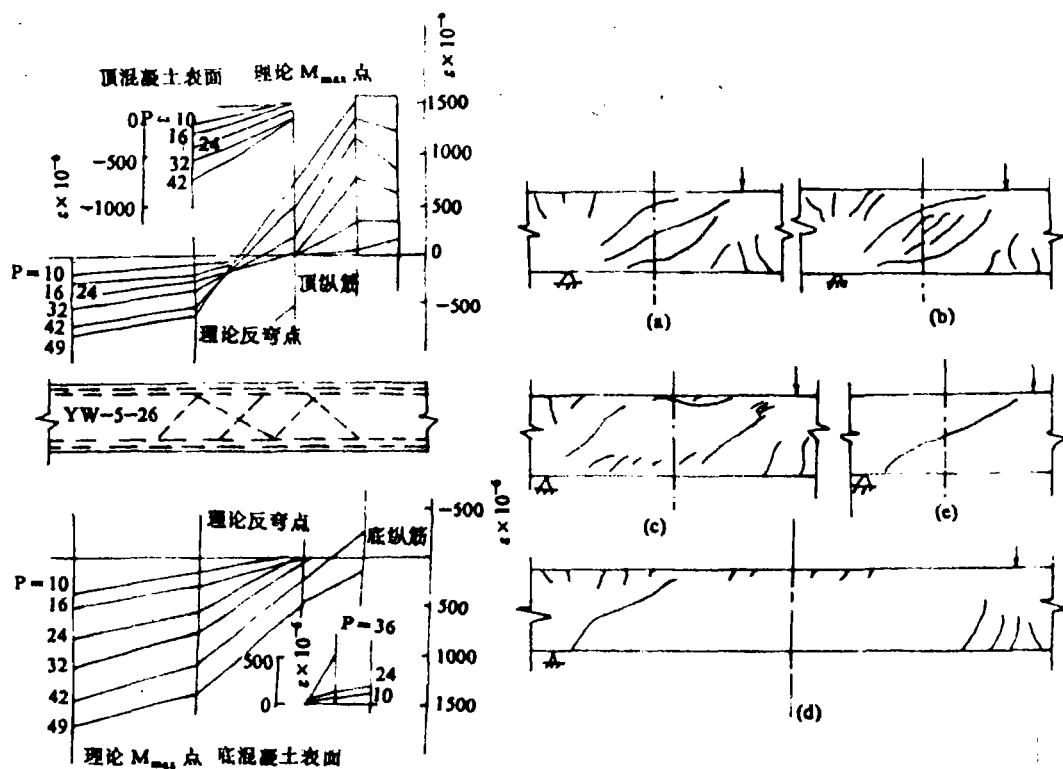
图5 试验段实测应变值(应变以拉为正⁽⁵⁾)

图6

3.1.3 破坏形态

① 斜截面破坏

当广义剪跨比 $\lambda < 1$ 时,斜压体两侧的主要斜裂缝开裂荷载均为极限荷载的 65%~70%,继续加载可使斜压体产生两种破坏形式;一种是在斜压体内沿长对角线形成一条新的裂缝,使梁破坏,如图6a;另一种是在斜压体内形成若干近于平行的斜向裂缝被压

碎而使梁失去承载能力, 如图 6b, 这两种情况可统称为斜压破坏。

② 剪压——撕裂破坏

当 $1 < \lambda < 2$ 时, 斜压体两侧的主要斜裂缝相继延伸到纵筋后, 沿纵筋断断续续出现粘结破坏斜裂缝, 破坏时这些裂缝贯通起来, 沿纵筋形成撕裂裂缝, 在支座和加载点附近出现混凝土斜向被压碎现象, 如图 6c, 破坏在剪压和撕裂同时作用下产生。

③ 斜拉——撕裂破坏

在 $\lambda > 3$ 时且无腹筋或腹筋配置极少时可能产生此类破坏, 在反弯点一侧的一条临界斜裂缝一旦出现, 就立即发展到纵筋处, 沿纵筋形成撕裂裂缝, 如图 6d, 其极限荷载等于或略大于开裂荷载。

④ 对角线斜拉破坏

$\lambda < 1$ 的无腹筋或配箍很少的梁, 当荷载增加到一定程度时, 可能沿加载点与支座的连线方向突然出现破坏斜裂缝, 如图 6e。事先无任何明显预告, 破坏时可听到混凝土爆裂声, 开裂荷载与极限荷载大体相等。

3. 1. 4 剪跨比 (或跨高比) 与弯矩比对抗剪强度的影响

① 剪跨比的影响

连续梁约束梁的剪跨比如何定义, 国内外各研究者有以下的不同方法。

a) 广义剪跨比⁽⁸⁾⁽⁹⁾

$$\lambda = \frac{M}{Vh_0} \quad (12)$$

对于连续梁和约束梁 $\lambda \neq \frac{a}{h_0}$, 这和简支梁是不同的, 如图 7a。

图 7a。

b) 按集中荷载与支座反力至反弯点之间的距离, 分别定义剪跨比⁽¹⁰⁾, 如图 7b, 即:

$$\lambda_1 = \frac{a_1}{h_0} = \frac{M^+}{Vh_0} \quad (13a)$$

$$\lambda_2 = \frac{a_2}{h_0} = \frac{|M^-|}{Vh_0} \quad (13b)$$

分析资料时取 λ_1 、 λ_2 中的较大值。

c) 计算剪跨比⁽¹¹⁾, 如图 7c。

$$\lambda = \frac{a}{h_0} \quad (14)$$

显然, 广义剪跨比与计算剪跨比之间将存在下式的关系, 与弯矩比 ψ 的大小有关。

$$\frac{M}{Vh_0} = \frac{a}{h_0} \cdot \frac{1}{(1 + \psi)} \quad (15)$$

无腹筋约束梁的抗剪强度随剪跨比的增大而降低, 与简支梁相似, 图 8 为同样的试验资料分别按广义剪跨比和计算剪跨比绘制的关系。从图 8a 知, 当广义剪跨比约小于 3 时, 约束梁的抗剪强度比简支梁低。从图 8b 知, 当按计算剪跨比考虑时, 约束梁的抗剪强度比简支梁高, 这是因为试验点按式(15)的关系向右移动的缘故。

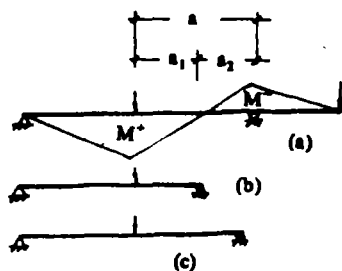


图 7

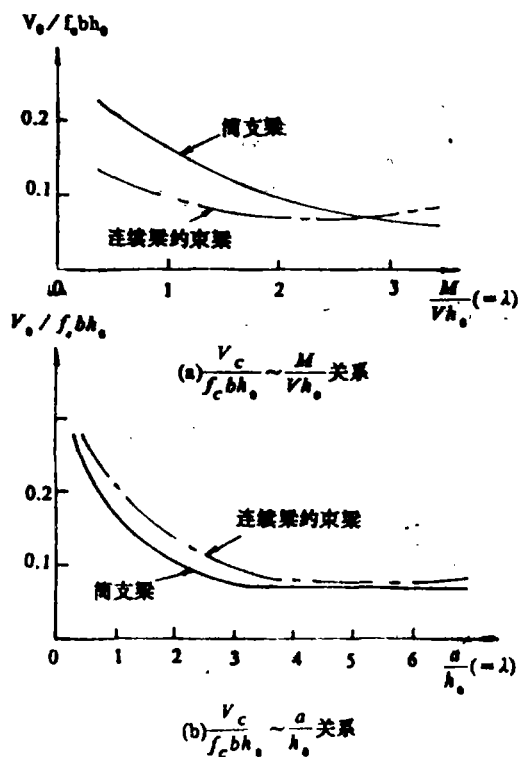


图 8

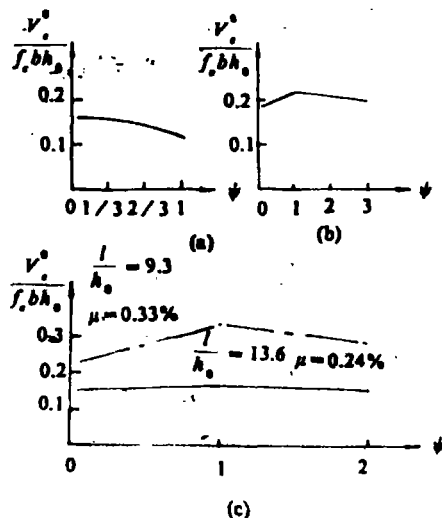


图 9

② 弯矩比的影响

图 9 为抗剪强度与弯矩比的关系,图 9a 按广义剪跨比考虑。图 9b、9c 分别按计算剪跨比考虑,在弯矩比等于 1 时达到最大值,在剪跨比或跨高比较大时,弯矩比对抗剪强度几乎没有影响。以上说明连续梁约束梁抗剪强度与剪跨比的关系,与剪跨比的定义有关。

3. 2 腹筋的抗剪作用

试验表明,当试件混凝土强度较低时,部分集中荷载作用下的连续梁试件,当配箍特征值($\mu_{sv} \frac{f_y}{f_c}$)在 0.022~0.033 之间,此值已超过式(5)的 0.015,试件尚出现或接近斜拉破坏。

部分均布荷载作用下的连续梁,当($\mu_{sv} \frac{f_y}{f_c}$) > 0.10 尚小于式(4)的 0.153,试件即发生斜压破坏,箍筋作用未能充分发挥,除上述情况外,根据实测,与临界斜裂缝相交的箍筋和弯筋⁽¹²⁾,在试件破坏时均能达到屈服强度,说明腹筋均能发挥抗剪作用,试件的抗剪强度随腹筋的增加而增加。

3. 3 关于抗剪强度计算

关于无腹筋或有腹筋连续梁约束梁的抗剪强度计算,各研究者提出了 20 余个建议公式⁽⁷⁾,公式的基本形式相似。分析表明,若采用计算剪跨比,则连续梁、约束梁和简支梁的抗剪强度采用统一计算公式表达是可行的。

若与《TJ10-74》比较可得如下结果:

① 将《TJ10-74》抗剪强度计算公式用于集中荷载作用下的连续梁和约束梁, 当广义剪跨比 >1.5 时, 偏于不安全; 用于计算梁上部全跨均布荷载的连续梁和约束梁偏于安全, 而对于某些局部承受均布荷载的连续梁可能偏于不安全。

② 对于集中荷载和均布荷载作用下的连续梁和约束梁, 为防止斜压破坏, 建议将构件截面最小截面尺寸限制条件式(2)中的系数 0.3 降低到 0.24 和 0.26, 为了防止斜拉破坏, 建议将下限公式(5)的系数由 0.015 适当提高。

4 压杆和拉杆的抗剪强度

轴力和剪力、弯矩同时作用的构件, 即所谓偏拉剪或偏压剪构件, 根据支座有无弯矩作用, 又可分为两种情况: 支座弯矩为零的简支杆件; 支座有弯矩作用的框架柱。对这类杆件《TJ10-74》没有涉及。近年来, 同济、天大、南工、重建工和西安冶金工程学院等就此进行了研究。

4.1 轴力作用下的简支杆件

4.1.1 受力特点^[13]

① 裂缝形态

受有轴向压力作用的杆件与无轴力的梁相比, 由于压力作用的影响, 垂直裂缝出现较晚, 裂缝宽度较窄, 压区高度较大, 斜裂缝倾角较小, 受有轴向拉力作用的构件则与此相反。

② 箍筋的作用

实测表明, 无论构件是否作用轴力(拉、压), 在破坏时, 箍筋的应力均能达到屈服, 轴力的存在并不明显地影响构件中箍筋所承担的那部分剪力。这是因为轴力的存在同时影响斜裂缝的倾角和受压区混凝土高度, 两者的增减互有消长, 使得斜裂缝在杆轴长度方向上的投影长度无明显变化。因此, 与无轴力杆件相比, 穿越斜裂缝的箍筋量没有变化。

③ 受有轴向拉力构件的抗剪强度, 与偏心距无关。在小偏拉情况下, 构件虽已裂通, 但纵筋销栓力和斜截面上的骨料咬合力依然存在, 试验结果得出混凝土所承受的剪力最小值 V_{cmin} 为:

$$V_{cmin} = 0.02f_c b h_0 \quad (16)$$

4.1.2 轴力对抗剪强度的影响

试验表明, 压力能提高抗剪强度, 如图 10, 但当轴压力 $N \geq (0.3 \sim 0.5)f_c b h_0$ 后, 抗剪强度不再增加。拉力的作用会降低杆件的抗剪强度。总起来说可以简化为如图 11 所示的线性关系。

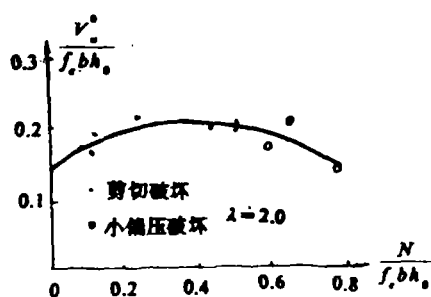


图10 轴压比对破坏形态的影响

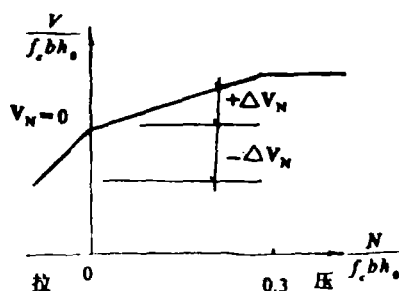


图11 轴力对抗剪强度的影响

4. 1. 3 关于抗剪强度计算

根据图 11 可知, 坐标原点处的截距表示 $N=0$ 即受弯构件的抗剪强度 $V_{N=0}$, 则轴力作用下的抗力 V_N 可表示为:

$$V_N = V_{N=0} + \Delta V_N \quad (17)$$

式中 ΔN ——轴力对抗剪强度的增量, $\Delta V_N = 0.09N$. N 以压为正, 拉为负. 当 $V_{N=0}$ 的计算符合式(1b)的条件时:

$$\Delta V_N = \frac{0.153}{\lambda} N$$

计算 ΔV_N 的限制条件, 当为轴向压力作用时, 若:

$$0.5 \geq \frac{N}{f_c b h_0} > 0.3 \text{ 时, 取 } \frac{N}{f_c b h_0} = 0.3;$$

若 $N \geq 0.5 f_c b h_0$ 时, 由正截面强度控制设计.

当 $\lambda \geq 3$ 时, $\Delta V_N = 0$.

4. 2 框架柱⁽¹⁴⁾

多层框架结构在竖向力和水平力共同作用下, 框架柱柱端有相反方向的弯矩作用, 柱中有一个反弯点, 其受力情况与受有轴压力的连续梁相似.

4. 2. 1 破坏形态

图 12 为两点反对称加载的试验梁, 其跨中 H 长度段相当于框架柱的层高. 由图 12a 至 12e 可知, 在单调加载情况下, 破坏形态随剪跨比 ($\lambda = \frac{H}{2h_0}$) 的增加, 逐渐由斜拉破坏变为剪压破坏以至粘结破坏, 与连续梁的破坏形态相类似. 在低周反复荷载作用下产生交叉斜裂缝, 如图 12f.

4. 2. 2 轴压力对抗剪强度的影响

根据试验分析, 可以认为影响框架柱抗剪强度的主要因素除轴压力以外, 其余均与连

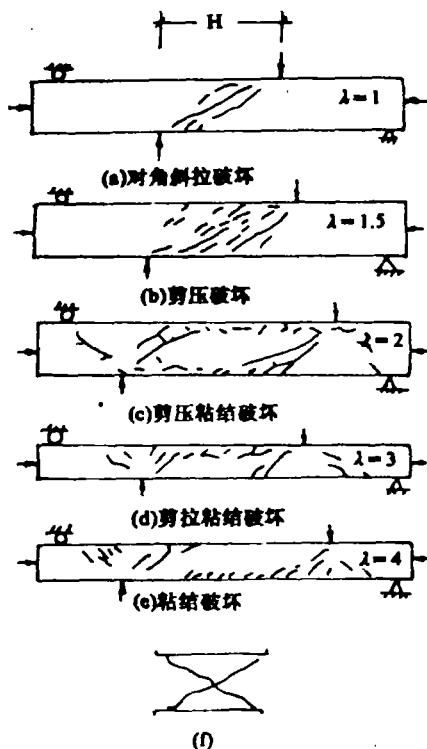


图12

续梁约束梁相同。图 13 为压剪关系曲线试验结果, 其变化关系可概括为三个阶段:

- ① 低轴压时为上升段, $N < 0.5f_c b h_0$ 。
- ② 平缓段, $N = 0.5 \sim 0.8f_c b h_0$ 。
- ③ 高轴压时为下降段, $N > 0.8f_c b h_0$ 。

4. 2. 3 箍筋的作用

当箍筋配置较多且间距较密时, 斜裂缝的宽度和间距减少, 构件的抗剪强度和变形能力也较高, 但过多配箍筋不能使箍筋充分发挥作用, 构件因混凝土被压碎而破坏, 破坏形态由剪压变为斜压破坏。因此高配箍柱的抗剪强度不能如愿的提高, 它应有一个限值。该上限值专题组建议为 $0.26f_c b h_0$ 。

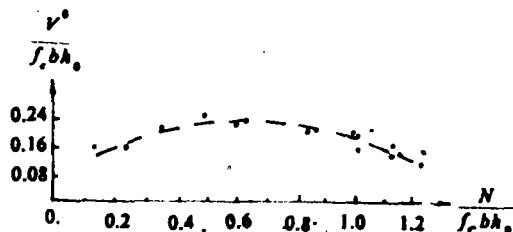


图 13

4. 2. 4 关于抗剪强度计算, 专题组建议仍采用式(17)的形式, $\Delta V_N = 0.07N$, 且要求 $N \leq 0.3f_c b h_0$ 。

5 弯筋梁的抗剪强度

工程中可能遇到仅配置弯筋的构件, 但《TJ10-74》的公式(1)不能简单地取消等式右边第二项来计算弯筋梁。关于弯筋梁的抗剪强度, 郑工就此进行了试验研究^{(5) (12) (15)}。

5. 1 关于破坏形态

弯筋梁的破坏形态, 无论是简支梁和约束梁, 与箍筋梁的破坏形态类似。在均布荷载下弯筋梁的试验中, 文献[15]结合水工特点采用低的纵筋配筋率, 结果发现斜截面破坏时纵筋大多屈服, 临界斜裂缝两边有明显错动, 并且具有较好的变形能力, 大体上是剪弯同时(或互有先后)破坏, 可称为剪弯破坏或弯剪破坏。这种破坏的抗剪强度低于通常高纵筋配率时的抗剪强度, 为抗剪强度的下限值, 但可能更接近于工程实际。

5. 2 弯筋的作用

5. 2. 1 试验表明, 弯筋的适当配置改善了构件的破坏状态, 避免了斜拉破坏。

5. 2. 2 提高了抗剪强度

试验证明, 斜拉破坏在临界斜裂缝出现的同时或稍加一级荷载产生, 破坏剪力 V_u 与裂缝出现剪力 V_{crs} 之比, $\frac{V_u}{V_{crs}} = 1 \sim 1.2$ 。配置适当的弯筋后, 这一比值提高到 $2.3 \sim$

2.9。弯筋对抗剪强度的增值超过本身的强度。这是因为弯筋方向与主拉应力方向比较一致, 承受主拉力最有效; 其次是弯筋限制斜裂缝开展, 增加了骨料咬合力和受压区混凝土高度, 也提高了抗剪强度。根据实测, 通过简支梁和约束弯筋梁破坏斜截面的弯筋应变的 138 个实验值, 有 135 个已经屈服, 其余三个也接近屈服, 因此, 式(1)右边第三项的系数可提高到接近或等于 1。

5. 3 抗剪强度计算

5. 3. 1. 适用于各种荷载梁的计算公式

$$V_u = \eta \frac{0.07 + 3.5\mu}{\lambda - 0.3} f_c b h_0 + f_y A_{sb} \sin \alpha \quad (18)$$

式中:

μ — 通过斜截面始端的纵筋配筋率, 当 $\mu > 3\%$ 时, 取 $\mu = 3\%$ 。

λ — 广义剪跨比, 当 $\lambda < 1$ 时, 取 $\lambda = 1$; 当 $\lambda > 3$ 时, 取 $\lambda = 3$ 。

η — 低配筋折减系数, 当 $\mu \geq 1.5\%$ 时, 取 $\eta = 1.0$; 当 $\mu < 1\%$ 时, 取 $\eta = 0.3$;

当 $\mu = (1.0 \sim 1.5)\%$ 时, η 按线性内插取值。

按式(18)计算时需按斜截面所在实际位置 (破坏斜截面末端) 的剪力和剪跨比计算。

5. 3. 2 适用于均布荷载的弯筋梁

$$V_u = \frac{0.11}{0.15L/h_0 + 0.5} f_c b h_0 + f_y A_{sb} \sin \alpha \quad (19)$$

此式按斜截面始端的剪力计算, 不考虑斜截面范围内的垂直荷载, 和现行方法一致。

6 预应力砼梁的抗剪强度

关于预应力混凝土梁的抗剪强度, 南工、天大等进行了试验^[16]。试验表明预应力混凝土梁破坏形态与非预应力混凝土梁相似。

6. 1 预应力的作用

预应力的作用相当于在构件上施加了一个压力, 与偏压构件相似, 预应力的施加能提高抗剪强度; 但当梁中换算截面重心处的混凝土预应力 σ_{pc0} 与混凝土的轴压强度 f_c 之比大于 0.3~0.4 时, 预应力的有利作用有下降的趋势, 如图 14。

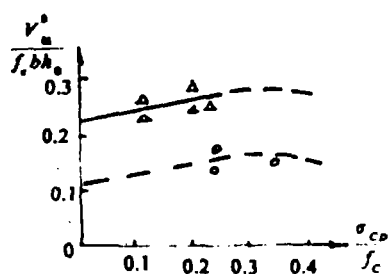


图 14 Δ 有槽 I 形梁 ($\mu_{sv} \frac{f_y}{f_c} = 0.08$, $a/h_0 = 1.5$)

\circ 无槽矩形梁 ($\mu_{sv} \frac{f_y}{f_c} = 0$, $a/h_0 = 2.0$)

图 14 预应力梁抗剪能力 σ_{pc0}/f_c 的关系图

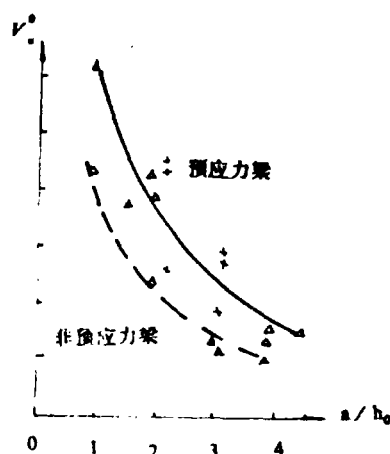


图 15 抗剪强度与剪跨比的关系

6. 2 剪跨比的影响

如图 15, 和非预应力砼梁类似, 预应力砼梁的抗剪强度随剪跨比的增大而减小, 且预应力对抗剪强度的提高幅度与剪跨比有关。

6.3 配筋率的影响

预应力混凝土与非预应力混凝土梁的对比试验表明, 和偏压剪构件相似, 预应力的作用并不增大破坏斜截面的水平投影长度, 因此, 可以认为, 预应力的施加, 并不增加箍筋所承担的剪力, 在同一剪跨比时, 抗剪强度的提高值为常数。

6.4 抗剪强度的计算方法

预应力混凝土梁的抗剪强度 V_u 为普通钢筋混凝土梁抗剪强度 V_{sv} 与施加预应力所提高的抗剪强度 V_p 之和。

$$V_u = V_{sv} + V_p \quad (20)$$

简化以后, V_p 可按式计算

$$V_p = \frac{0.12}{\lambda} N_{p_0} \left(1 + 5 \frac{e_{p_0}}{h}\right) \quad (21a)$$

当不考虑剪跨比时, 可令 $\lambda = 1.7$, 则式(21a)成为:

$$V_p = 0.07 N_{p_0} \left(1 + 5 \frac{e_{p_0}}{h}\right) \quad (21b)$$

式中:

N_{p_0} —— 达到消压弯矩时预应力钢筋的合力。当 $N_{p_0} > 0.3 f_c A_0$ 时, 取 $N_{p_0} = 0.3 f_c A_0$ 。

A_0 —— 换算截面的截面面积。

e_{p_0} —— N_{p_0} 至换算截面重心的距离。

对于集中荷载作用下的预应力矩形截面简支梁, 当剪跨比较大时, 抗剪强度试验值有低于《TJ10-74》计算值的现象, 因此, 对于这种梁不宜再考虑预应力的有利作用, 取 $V_p = 0$ 。

参 考 文 献

- [1] 钢筋混凝土设计规范(TJ10-74). 中国建筑工程出版社, 1974
- [2] Report of ACI-ASCE committee 326. Shear and Diegonal Tension. ACT Manual of Concrete Practice. Part 2-1972
- [3] The Joint ASCE-ACI Task COmmittee 426. The Shear Strength of Reinforced Concrete Members Journal of the structural Division. 1973,1
- [4] 同济大学工程结构教研室. 钢筋混凝土简支梁考虑剪跨比影响的抗剪强度计算. 钢筋混凝土结构研究室报告选集[2]. 中国建筑工业出版社, 1981 年
- [5] 丁自强, 黄相才, 葛友庭. 均布荷载钢筋弯混凝土弯筋梁抗剪强度的试验研究. 水力发电. 1984,1
- [6] 重庆建筑工程学院土木系. 间接加载钢筋混凝土梁的抗剪强度. 钢筋混凝土结构报告选集[2]. 中国建筑工业出版社, 1981 年
- [7] 抗剪强度专题组. 钢筋混凝土结构抗剪强度设计方法的研究. 1986,1

- 【8】 谢育良, 李寿康等. 集中荷载下无腹筋钢筋混凝土约束梁的抗剪强度. 同济大学土建结构工程系, 1981,9
- 【9】 K.G.Moody, M.Viest etc. Shear Strength of Reinforced Concrete Beams. Part 2—tests of Restrained Beams Without Web Reinforcement, Journal ACI 1955,1
- 【10】 陈文钦, 牛绍仁, 秦文斌. 集中荷载下钢筋混凝土约束梁抗剪强度的试验研究. 重庆建筑工程学院论文单行本, 1984
- 【11】 卫纪德, 朱聘儒. 集中荷载作用下有腹筋钢筋混凝土约束梁抗剪强度. 哈尔滨建筑工程学院工程结构教研室, 1984,9
- 【12】 丁自强, 赵广田. 均布荷载作用下钢筋混凝土约束梁抗剪强度的试验研究. 水力发电, 1986,4
- 【13】 抗剪强度专题组. 钢筋混凝土偏心受压和偏心受拉构件抗剪强度的试验研究. 综合研究报告修改稿, 1981,11
- 【14】 抗剪强度专题研究组. 钢筋混凝土框架柱的抗剪强度. 建筑结构学报, 1987,3
- 【15】 丁自强, 黄相才. 集中荷载钢筋混凝土简支梁抗剪强度的试验研究. 水力发电, 1980,5
- 【16】 南京工学院, 天津大学. 预应力梁的拉剪强度计算. 钢筋混凝土结构研究报告选集[2]. 中国建筑工业出版社, 1981,9
- 【17】 混凝土结构设计规范修订组. 钢筋混凝土结构设计规范(送审稿), 1986,1
- 【18】 混凝土结构设计规范修订组. 混凝土结构设计条文说明(送审稿), 1986,1

New Progress of Research on Shear Strength of Reinforced Concrete Elements

Ding Ziqiang
(Hydr. Eng. Kept.)

Abstract: New progress of research on shear strength of reinforced concrete elements made in our country for the last ten years are briefly presented in this paper. Which involve: influence of ratio of shear span to effective depth and indirected load on shear strength; shear strength of continuous beams, reinforced concrete beam with bent-up bars and element with axilly load, etc.

Keywords: shear strength, reinforced concrete structure, structural member, researches

(上接 37 页)

to verify the validity of this program. With the help of this program, detail discussions of the effects of initial deflection and residual stress on the behavior of beam-columns, especially on the biaxially loaded beam-columns, have been conducted.

Keywords: Residual stress, deformation, ultimate load, stable