

# 无腹筋 RC 梁受剪承载力统一分析

李广慧 陈捷\* 刘立新  
(郑州工业大学土建系)

**摘 要** 运用有限单元法代替传统的试验方法,分析具有不同配筋率、跨高比、剪跨比及加荷形式的无腹筋 RC 梁的受剪性能与破坏机理,总结出无腹筋 RC 梁受剪性能随跨高比或剪跨比连续变化的规律性。在此基础上,提出了无腹筋 RC 梁的受剪失效模式、计算模型及相应的计算方法。通过引入“当量剪跨比”的概念,将均布荷载与集中荷载作用下的无腹筋 RC 深梁、短梁及浅梁的受剪承载力计算统一起来。所建议的公式与短梁试验结果符合良好,并与现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)有很好的衔接。

**关键词** 钢筋混凝土梁;受剪承载力;非线性有限元

**中图分类号** TU31

## 0 引言

钢筋混凝土梁的受剪计算问题是钢筋混凝土领域研究较多的问题,然而因其复杂性,迄今仍未得到完善解决。美国、前苏联的规范是采用较低的剪切强度值或下包线来指导工程设计。我国《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)中给出的是一个基于斜截面极限平衡的半经验公式,因而缺乏理论上的依据。而且,对于深梁( $l_0/h \leq 2$ )及浅梁( $l_0/h > 5$ )分别给出不同的受剪承载力计算公式。如对于  $l_0/h > 5$  的浅梁为:

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

或

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

对于  $l_0/h \leq 2$  的简支深梁,则为:

$$V \leq 0.12[1 + 22(\rho + \rho_{sh})] f_c b h \quad (3)$$

式中:  $\rho$ ,  $\rho_{sh}$  分别为纵筋及水平腹筋的配筋率,其它符号意义同规范<sup>[1]</sup>。

对于介于深梁与浅梁之间的短梁,规范<sup>[1]</sup>中没有给出相应的计算公式,这就给工程设计人员留下了较难处理的空白。

针对这一问题,许多研究者从不同角度进行了探讨,并提出了一些理论模式和计算方法<sup>[2,3,5]</sup>。本文运用非线性有限元分析程序对仿真梁进行了计算分析,旨在探讨当参数连续变化时,无腹筋钢筋混凝土梁的受剪机理的变化规律性,从而为无腹筋钢筋混凝土深梁、短

收稿日期:1997—11—11

\* (河南财经学院,郑州,450002)

第一作者 男 1970年10月生 硕士学位 助教

梁、浅梁的受剪承载力统一计算提供理论依据。

## 1 仿真梁设计

为了与短梁课题组的试验结果相比较,所设计的仿真梁尺寸及配筋均与文献[2]中的一致,并增加了跨高比及剪跨比的变化序列,补充了低配筋率序列。

截面尺寸:  $b \times h = 120 \times 300 \text{ mm}$ ;

材料:混凝土采用 C20,纵筋为 II 级;

参数变化:跨高比  $l_0/h = 1.0 \sim 10.0$ , 剪跨比  $\lambda = 0.5 \sim 5.7$ , 纵筋配筋率  $\rho = 0.6 \sim 2.92\%$ ;

加荷方式:均布荷载和集中荷载(两点对称加载)。

## 2 计算结果分析

### 2.1 纵筋配筋率的影响

计算分析表明,当纵筋配筋率较低(如  $< 0.6\%$ )时,垂直裂缝和弯剪裂缝开展较为充分,因而拱的作用较弱,多发生斜拉或受弯破坏,而只有小剪跨比( $\lambda < 0.5$ )或小跨高比( $l_0/h < 1.5$ )时,才有可能发生斜压破坏。其它条件给定时,只有当纵筋配筋率达到一定值时,受剪破坏才会先于受弯破坏。若配筋率固定时,随着跨高比或剪跨比的增大,仍会发生受弯破坏。

由此可知,正是纵筋配筋率、跨高比和剪跨比的相对大小决定了钢筋混凝土无腹筋梁的受弯或受剪破坏。

### 2.2 受剪承载力

通过比较分析,总结出了钢筋混凝土无腹筋梁受剪承载力随剪跨比或跨高比变化的规律性。

(1)跨高比相同时,受剪承载力随剪跨比的增大而降低,当  $\lambda > 2.5$  时,已基本趋于定值。但值得注意的是,当剪跨比较小( $< 0.5$ )或跨高比较小( $< 1.5$ )时,受剪承载力反而有所降低,而不象传统看法那样,认为受剪承载力会一直增大。

笔者认为,合理的解释应是梁的受剪机理发生了改变,由拉杆拱作用变为界面剪切作用,致使受剪承载力有所降低。

(2)当剪跨比相同而跨高比不同时,受剪承载力虽有波动,但变化不大,因而集中荷载下仅需考虑剪跨比的影响。

(3)若以支座剪力表示受剪承载力时,同等条件下承受均布荷载梁的受剪承载力要大于承受集中荷载梁的受剪承载力。文献[2]曾分析是由于未计入剪跨内的均载的影响所致。当以斜截面末端的外剪力来表示梁的受剪承载力,计入剪跨内的均载的影响时,则两种荷载作用下梁的受剪承载力大致相当。

### 2.3 破坏形态

传统的斜截面受剪试验研究指出,无腹筋钢筋混凝土梁的斜截面受剪破坏形态分为斜压、剪压及斜拉三种破坏形态。但是,从笔者所做的工作来看,似乎还应包括一种“纯剪破

坏”。在集中荷载下剪跨比小于 0.5、均布荷载下跨高比小于 1.5 时,即发生这种破坏。其特征是:腹剪缝成层状分布,弯曲正裂缝和弯剪缝几乎不怎么发展,在支座边缘还出现近乎竖直向上的劈裂缝,纵筋及受压区钢筋的应力水平都很低,远低于钢筋的屈服强度,最后的破坏是因支座边缘及集中荷载作用点处的混凝土单元被压碎所致。其裂缝的发展如图 1 所示。

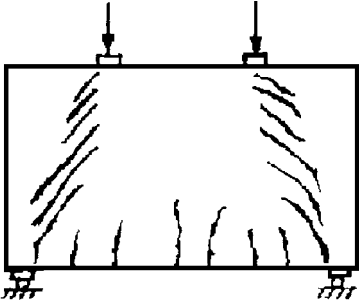


图 1 纯剪破坏形态示意图

集中荷载作用下,  $\lambda=0.5\sim1.4$  时,发生斜压破坏;  $\lambda=1.4\sim3.0$  时,发生剪压破坏;  $\lambda>3.0$  时发生斜拉或受弯破坏。

均布荷载作用下,  $l_0/h=2.0\sim5.0$  时,发生斜压破坏;  $l_0/h=5.0\sim8.0$  时,为受弯破坏;  $l_0/h>8.0$  时,为斜拉或受弯破坏。

2.4 应力分析

(1)  $\sigma_y$  的影响

由圣维南原理可知,在集中荷载附近区域,由于应力变化较为剧烈,且无法确知其应力分布,因而对于短梁,特别是深梁,  $\sigma_y$  对受剪承载力及破坏形态的影响都是很大的。无腹筋钢筋混凝土梁之所以会发生斜压破坏,主要原因是由于  $\sigma_y$  的作用,使支座与集中加荷点之间形成斜压柱体,最后因棱柱体抗压强度不足而破坏。程序计算出的  $\sigma_y$  分布如图 2 所示:

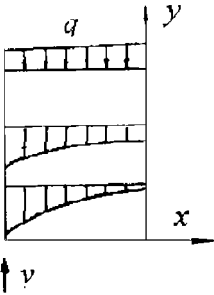


图 2  $\sigma_y$  的分布示意图

在跨中,  $\sigma_y$  向下逐渐减小,至梁底变为 0,并不断地向支座处集中。

(2)  $\tau_{xy}$  的影响

当剪跨比很小( $<0.5$ )时,梁的受力类似于直接剪切,  $\tau_{xy}$  的作用就非常突出,由于  $\tau_{xy}$  和  $\sigma_y$  的共同作用,将梁端劈成许多斜向柱体,临近破坏时,在支座边缘形成近乎竖直的劈裂缝而导致破坏。

(3)应力分析图

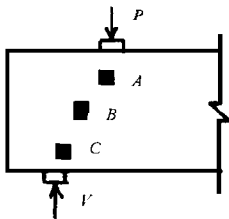


图 3 短梁

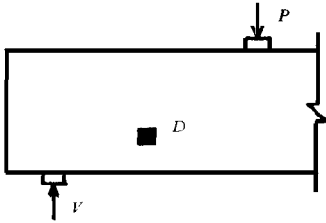


图 4 浅梁

为了分析  $\tau_{xy}$ 、 $\sigma_y$  及  $\sigma_x$  对受剪机理的影响,在图 3、图 4 所示的短梁及浅梁中分别取微元体作定性分析。由应力分析图可知,用主应力表示时, A 点处于双向受压状态; B 点、C 点、D 点均为拉压状态,只是  $\tau_{xy}$ 、 $\sigma_y$  及  $\sigma_x$  的相对比值大小才决定了  $\sigma_1$  及  $\sigma_3$  的相对大小。当  $\tau_{xy}$  的相对影响较大时,即极可能发生纯剪破坏;当  $\sigma_y$  的相对影响较大时,在集中荷载作用点与支座间形成一斜压柱体,即“拱作用”较为突出,发生斜压破坏;随着剪跨比的增大,剪压

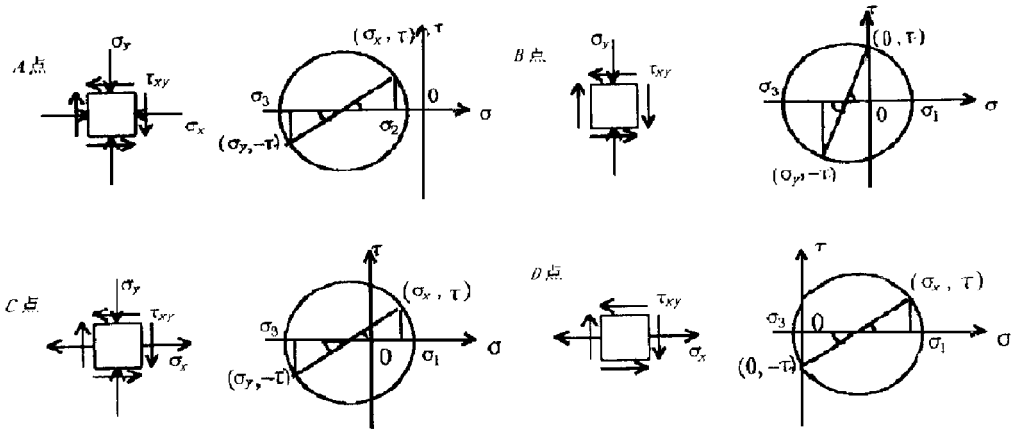


图5 微元体应力分析示意图

区  $\sigma_x$  的影响加大,在  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  和  $\tau_{xy}$  的共同作用下,将发生剪压破坏;当剪跨比(或跨高比)增大到一定程度且抗剪箍筋  $A_{SV}$  配置不足时,在受拉区混凝土的  $\sigma_x$  和  $\tau_{xy}$  共同作用下,发生斜拉破坏; $\sigma_x$  起主导作用且受拉钢筋  $A_S$  配置不足时,发生受弯破坏。

### 3 计算模式与计算公式

综观国内、外主要混凝土结构设计规范<sup>[4]</sup>,无腹筋钢筋混凝土梁受剪承载力的计算模式主要可分为三大类:

- (1) 斜截面极限平衡法。如我国及前苏联规范等;
- (2) 桁架比拟法。如美国、新西兰及欧洲主要规范等;
- (3) 容许应力法。如日本规范等。

除此之外,还有近年来一些研究者提出的计算模型。如平衡(塑性)桁架模型<sup>[5]</sup>、软化桁架模型<sup>[5]</sup>、桁架拱模型<sup>[3]</sup>,等等。其中,桁架拱模型<sup>[3]</sup>已被国内外同行所认可。

对于本文提出的纯剪破坏形态,因所有规范均未提及,故笔者建议采用文献[6]中的剪摩理论来求解,计算公式为:

$$v_{tf} = \mu \frac{A_{tf}}{A_g} f_y \quad (4)$$

式中:

- $v_{tf}$  —— 抗剪强度;
- $\mu$  —— 摩擦系数( $>1.4$ );
- $A_{tf}$  —— 屈服的纵筋面积;
- $A_g$  —— 开裂截面面积;
- $f_y$  —— 纵筋的屈服强度。

至于斜压、剪压及斜拉破坏,文献[3]中给出了基于桁架拱模型的无腹筋钢筋混凝土梁受剪承载力统一计算公式,该公式将钢筋混凝土深梁、短梁、浅梁的受剪承载力计算统一起来,且与该领域的试验结果较好地吻合,但不足之处在于不能与现行规范<sup>[1]</sup>很好地衔接

鉴于此,本文试图建立一个可与现行规范<sup>[1]</sup>相衔接的计算公式。

在均布荷载作用下,若引用文献<sup>[2]</sup>给出的当量剪跨比: $\lambda=0.23+0.2 l_0/h$ ,则可将集中荷载与均布荷载作用下的受剪承载力计算统一起来。

经回归分析,本文建议如下的无腹筋钢筋混凝土梁受剪承载力统一计算公式:

$$V \leq V_c = \alpha_c \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 \quad (5)$$

$$\alpha_c = 1 + (1 + 13.5 \rho)(0.311 - 0.222 \lambda) \quad (6)$$

式中:

$\lambda$ ——剪跨比( $\lambda = a/h_0$  或 ( $\lambda = 0.23 + 0.2 l_0/h \geq 0.5$ );

$\rho$ ——纵筋配筋率( $\rho = A_s/bh_0$ );

$\alpha_c$ ——剪跨比及配筋率影响系数( $\alpha_c \geq 1.0$ )。

该统一公式不仅将集中荷载与均布荷载作用下的受剪承载力计算统一起来,而且,当  $\lambda \leq 0.5$  时可与现行规范<sup>[1]</sup>中深梁受剪承载力计算相接;当  $\lambda \geq 1.4$  时,又可与规范<sup>[1]</sup>中浅梁受剪承载力计算相接。

可靠度分析表明:该公式的平均  $\beta$  指标为 3.3~4.4,满足可靠性要求。

## 4 结论

(1) 建议无腹筋钢筋混凝土梁的受剪破坏模式中增加“纯剪破坏”。从而,无腹筋钢筋混凝土梁的受剪破坏模式共有四种:纯剪、斜压、剪压及斜拉。

(2) 纯剪承载力计算可采用“剪摩理论”,斜压、剪压及斜拉可采用“桁架拱”模型。其中,拱作用随着剪跨比的增大而减小。

(3) 引入“当量剪跨比”,可将集中荷载与均布荷载作用下的受剪承载力计算统一起来。

(4) 目前的受剪承载力计算公式都是针对某一特定破坏模式的,通用性更好的计算模型及公式还有待进一步研究。

**致谢:**本文的工作得到了丁自强教授的指导,在此深表感谢。

## 参考文献

- 1 《混凝土结构设计规范》(GBJ10—1989).北京:中国建筑工业出版社,1989
- 2 丁自强等.钢筋混凝土短梁抗剪性能的试验研究分项研究报告.郑州工学院,1990.4
- 3 刘立新.钢筋混凝土深梁、短梁和浅梁受剪承载力的统一计算方法.建筑结构学报,1995.16(4).13~21
- 4 丁自强.钢筋混凝土构件受剪承载力设计方法—规范方法综述.水工混凝土与钢筋混凝土通讯, No. 3, 1993
- 5 Hsu, T. T. C., TOWARD A UNIFIED NOMENCLATURE FOR REINFORCED-CONCRETE THEORY, Jour. of Struct. Engrg. Vol. 122, No. 3, 1996
- 6 R. PARK and T. PAULAY, Reinforced Concrete Structures, USA, 1975

## A Unified Analysis of Shearing Capacity of RC Beams Without Web Reinforcement

Li Guanghui Chen Jie\* Liu Lixi

(Zhengzhou University of Technology)

\*(Financial and Economical Institute of Henan)

**Abstract** This paper substitutes nonlinear analysis method of reinforced concrete finite element for traditional experimental method. Mechanical behaviors and failure properties of reinforced concrete beams are analyzed with different reinforcement ratios, span to height ratios, shear span to height ratios and loading forms. Based on this three mechanical models, corresponding failure models, and calculation methods of reinforced concrete beams are proposed. Moreover, by introducing the concept of "equivalent shear span to height ratio", a unified analysis method of shearing capacity of R·C· deep, short and shallow beams under concentrated and evenly distributed loads is proposed. It is compatible with experimental results of short beams, and is in line with the current Chinese design code of concrete structure(GBJ10—89).

**Keywords** reinforced concrete beams; shearing capacity; nonlinear FEM

(上接 23 页)

## Research on Fault—Diagnosing System Based on Multiple—Layer Artificial Neural Networks

Wang Zhipeng Sun Huiguo Shi Bin

(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Based on artificial neural networks and Bayesian decision rules, a hierarchical modular diagnosis network is proposed with respect to multiple—detectors multiple—faults simultaneous on—line diagnosis for the large—scale complicated rotary system. The subnetworks have good capability of classification, and the whole network is capable of multiple—faults simultaneous perfect diagnosing.

**Keywords** artificial neural networks; fault diagnosis; bayesian decision rules; grey correlation; time series