

混凝土梁极限承载力计算方法的改进

张云莲

周立峰

(杭州应用工程技术学院 土木系 杭州 310012) (999 企业集团 深圳 518000)

摘 要 讨论了《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)关于细长梁正、斜截面极限承载力计算存在的不足,给出了改进的计算方法。

关键词 混凝土梁 极限承载力 正截面 斜截面

中图分类号 TU375.1-02

现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)^[1]关于梁极限承载力计算是依据普通混凝土试验资料给出的,10多年来的工程经验表明它对于普通混凝土,即中、低强度的混凝土是合适的^[2]。

自80年代初以来,高强混凝土技术在我国逐渐成熟并开始进入工程应用。随着混凝土强度的提高,混凝土材料的固相本质发生变化,界面消失。此外材料内部的孔隙变得细小、均匀,并且孔隙率降低。这些变化在材料的力学性能上反映为高强混凝土受压应力—应变图形明显地不同于普通混凝土^[3],如图1所示。强度提高,上升段的线性关系保持到较高的应力水平,与峰值应力相应的应变 ϵ_0 增大,下降段变得陡峭,极限应变减小。因此据以计算正截面受弯承载力的适合普通混凝土的截面受压区应力—应变模式不再适用于高强混凝土^[4]。同样,依据70年代中、低强度混凝土试验结果分析所得的斜截面承载力计算公式也有待于修正以适用于高强混凝土。

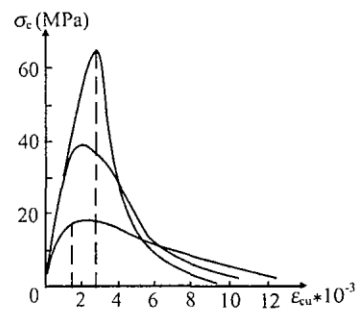


图1 低、中、高强混凝土 ϵ_c 、 σ_c 曲线

此外,近10年来,结构工程技术的长足进步,导致大跨结构的增加。在这些结构中,梁的高度往往很大,现行规范基于普通梁试验结果的计算公式有必要计入构件的尺寸效应。

对于混凝土梁极限承载力的计算,有必要加以改进,使之既能综合反映高、中、低强度混凝土的特性,又能保留现行规范简明、实用的优点。

1 混凝土的非均匀受压极限应变和应力—应变关系

混凝土的非均匀受压极限应变 ϵ_{cu} 是基于平截面变形假定的正截面受弯承载力计算中建立界限破坏条件以及确定钢筋应力 σ_s 的一个重要参数. 严格来说它不是一个常数, 它与混凝土的强度级别、加荷速度、截面的应变梯度、截面形状以及截面混凝土约束状态有关, 在中、低强度混凝土一般配筋条件下, 受弯构件实测 ϵ_{cu} 约为 0.003 ~ 0.004, 试验结果的统计平均值为 0.0033, 综合高强混凝土的试验资料, ϵ_{cu} 可表达为图 2:

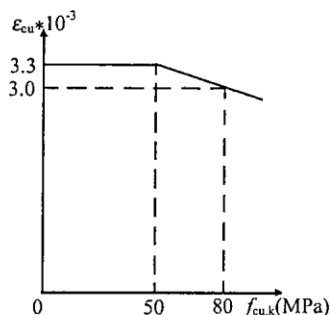


图2 混凝土非均匀受压极限应变 ϵ_{cu} 的取值

$$\epsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \cdot 10^{-5} \leq 0.0033 \quad (1)$$

上式可以看作现行规范(GBJ10-89)取值的延伸, 反映高强混凝土 ϵ_{cu} 减小的特征.

基于相同的考虑, 正截面受压区混凝土应力—应变关系修改为:

$$\sigma_c = \begin{cases} \sigma_0 \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^n \right], & \epsilon_c \in [0, \epsilon_0] \\ \sigma_0, & \epsilon_c \in (\epsilon_0, \epsilon_{cu}] \end{cases} \quad (2)$$

式中: ϵ_0 ——对应于 σ_c 达到 σ_0 时的压应变, n ——系数,

$$\epsilon_0 = 0.0020 + 0.5(f_{cu,k} - 50) \cdot 10^{-5} \geq 0.0020 \quad (3)$$

$$n = 2 - (f_{cu,k} - 50)/60 \leq 2.0 \quad (4)$$

式(2)的图形示于图 3. 显然, 对于中、低强度混凝土即 $f_{cu,k} \leq 50$ MPa 时, $n = 2$, 式(2)还原为现行规范取值. 式(2)把高强混凝土与中、低强混凝土很好地衔接起来, 同时也反映了高强混凝土的受力特征, 与国内 64 根高强混凝土扁压短柱的试验结果基本接近.

2 等效矩形应力图形

等效矩形应力图形的特征值为其应力强度值 $\gamma\sigma_0$ 以及高度 βx_c . 从理论上来说, 在承载力计算中, 可采用任何一种合适的应力图形, 只要计算结果能与试验结果基本符合. 在现行设计规范中, 等效矩形应力图形的应力强度取 f_{cm} , 它通过构件强度试验的结果反算求得. f_{cm} 并不是混凝土材料的一个物理指标. 严格地说, 它只适用于矩形截面. 对于矩形截面, 可求得 $\gamma = 0.968$, $\beta = 0.832$, 据以计算所得的正截面承载力与普通混凝土构件的强度试验结果基本符合, 但对于高强混凝土构件则明显偏大^[4].

借鉴国外先进规范的成功经验(美国规范 ACI318, 欧洲模式规范 CEB-FIP/MC1990)

$$\alpha_1 = 1.0 - (f_{cu,k} - 50)/500 \leq 1.0 \quad (5)$$

$$\beta_1 = 0.8 - (f_{cu,k} - 50)/500 \leq 0.8 \quad (6)$$

α_1 、 β_1 反映混凝土强度提高带来的材料脆性的增加. 修改后的等效矩形应力图形对于高强混凝土截面的误差与现行规范对于普通混凝土截面的误差大致相当.

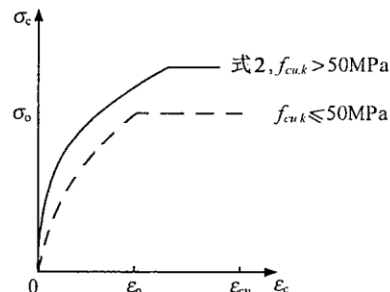


图3 简化的 $\sigma-\epsilon_c$ 曲线

3 截面平衡破坏时相对界限受压区高度 ξ_b

对应于以上各项修改,截面平衡破坏时相对界限受压区高度 ξ_b 则可表达为:

$$\xi_b = \begin{cases} \frac{\beta_1}{1 + f_y/E_s \varepsilon_{cu}}, \\ \frac{\beta_1}{1 + 0.002/\varepsilon_{cu} + f_y/E_s \varepsilon_{cu}}. \end{cases} \quad (7)$$

4 斜截面承载力计算公式的修改

考虑混凝土强度提高及尺寸效应的影响,对于斜截面承载力计算公式的修改可以采用在总体上保持现行规范的计算公式表达形式,即保持原有的形式,作局部调整的方法。

根据均布荷载作用下 80 根无腹筋简梁(其中 59 根浅梁,7 根短梁,14 根深梁)的试验结果,以支座处剪力进行计算可得:

$$V_c = 0.7\beta_h\beta_{\rho}f_tbh_0 \quad (8)$$

式中: β_h ——截面尺寸效应系数, $\beta_h = 80\sqrt{2/h}$; β_{ρ} ——纵向受拉钢筋配筋率影响系数, $\beta_{\rho} = (0.7 + 20\rho)$; h ——梁截面高度(mm)

根据集中荷载作用下 222 根无腹筋简支梁(其中 144 根浅梁,14 根短梁,64 根深梁)的试验结果,以支座处剪力进行计算可得:

$$V_c = \frac{1.75}{\lambda + 1}\beta_h\beta_{\rho}f_tbh_0 \quad (9)$$

式中: $\lambda = \frac{M}{Vh_0} \in [0.25, 3.0]$

取偏下限值:

$$V_c = \begin{cases} 0.75f_tbh_0 & \text{—— 均布荷载作用下} \\ \frac{1.75}{\lambda + 1}f_tbh_0 & \text{—— 集中荷载作用下} \end{cases} \quad (10)$$

则可满足 0.95 的可靠概率要求。

斜截面承载力的上限值用混凝土强度影响系数 β_c 修正:

$$V \leq \begin{cases} 0.25 & \text{—— } h_w/b \leq 4 \\ 0.20 & \text{—— } h_w/b \geq 6 \end{cases} \beta_c f_t bh_0 \quad (11)$$

当 $h_w/b \in (4, 6)$ 时,可按直线内插法确定 V 值。

$$\text{式中: } \beta_c = \begin{cases} 1.0 & \text{—— } f_{cu,k} \leq 50\text{MPa} \\ 0.8 & \text{—— } f_{cu,k} = 80\text{MPa} \end{cases} \quad (12)$$

当 $f_{cu,k} \in (50, 80)\text{MPa}$ 时,按直线内插法确定 β 值。

5 结 论

现行混凝土结构设计规范(GBJ10-89)关于梁极限承载力的计算方法受制于当时的技术条件,以中、低强度的普通混凝土试验资料为依据而建立,对于高强混凝土,其计算明显地高估承载力。本文对试验方法的改进与近 10 多年来的相关高强混凝土试验资料基本一致,满足结构可靠度的要

求,同时与现行规范方法相衔接.

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家标准.混凝土结构设计规范(GBJ10-89).北京:中国建筑工业出版社,1989
- 2 中国建筑科学研究院编.钢筋混凝土结构设计及构造(1985年设计规范背景资料汇编).北京:中国建筑科学研究院,1985.112~114
- 3 ACI Committee 363. State and Art Report on High-strength Concrete. Journal of ACI, 1984. 26~31
- 4 陈肇元等.高强混凝土及其应用.北京:清华大学出版社,1992.158~162
- 5 中国土木工程学会高强混凝土委员会.高强混凝土结构设计与施工指南.北京:中国建筑工业出版社,1994.4~7

Improvement of the calculation method of ultimate loading capacity of concrete beam

Zhang Yunlian

(Hangzhou Institute of Applied Engineering, Hangzhou 310012)

Zhou Lifeng

(999 Group Ltd. Co.)

Abstract The deficiencies about calculation method of ultimate loading capacity of normal section and diagonal section of slender beam in the current Concrete Structure Design Code (GBJ10-89) are discussed in this paper. The improved calculation method is herein put forward.

Key words concrete beam ultimate loading capacity normal section diagonal section