

文章编号: 1006-7329(1999)05-0027-04

大偏心受压围套加固钢筋混凝土柱 正截面承载力的理论分析

TU 375.3

(5)
-30

江世永¹ 龚崇斌¹ 白绍良² 刘详义¹

(1. 后勤工程学院 军事土木工程系 400041; 2. 重庆建筑大学 建筑工程学院 400045)

摘要 利用组合截面平截面应变假定, 对初始荷载为轴向压力的围套加固钢筋混凝土构件的截面应变进行了推导, 分析了极限状态时组合截面的相对界限受压区高度及混凝土与钢筋的应力大小, 并提出实用计算公式。

关键词 平截面假定; 组合截面; 初始轴向压力; 承载力; 强度折减

中图法分类号 TU37 **文献标识码** A

钢筋混凝土柱 加固 截面

加大截面法是一种传统的加固方法, 工艺简单, 适用面广, 可广泛用于一般梁、板、柱、墙等混凝土结构的加固。其加固效果与原结构在加固时的应力水平、结合面构造处理、施工工艺、材料性能等因素直接相关。《混凝土结构加固技术规范》CECS25:90认为: 当用加大截面法加固钢筋混凝土偏心受压构件时, 应按整体截面以现行国家标准《混凝土结构设计规范》GBJ10-89中有关公式进行其正截面承载力计算。其中, 新增受压混凝土和纵向钢筋的强度均乘以0.9的折减系数。不少学者经过试验分析对这一规定提出了不同看法, 因此有必要进行深入的研究。

1 计算假定

参照《混凝土结构设计规范》GBJ10-89及有关试验研究, 加固结构截面承载力可按下列基本假定进行计算分析:

- 1) 截面变形保持平面;
- 2) 混凝土轴心受压的应力 σ_c 与应变 ϵ_c 关系为抛物线, 按下式计算, 极限变形值取 $\epsilon_{c0} = 0.002$

$$\sigma_c = \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_c \quad (1)$$

式中 f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值。

- 3) 混凝土非均匀受压时的应力 σ_c 与应变 ϵ_c 关系为抛物线和水平线之组合曲线, 按下式计算, 极限变形值取 $\epsilon_{cu} = 0.0033$

$$\begin{cases} \sigma_c = \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_{cm} & \epsilon_c \leq \epsilon_{c0} \\ \sigma_c = f_{cm} & \epsilon_{c0} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \end{cases} \quad (2)$$

式中 f_{cm} 为混凝土弯曲抗压强度设计值。

- 4) 钢筋应力 σ_s 与应变 ϵ_s 关系为直线和水平线之组合折线, 按下式计算, 受拉钢筋极限变形值取 $\epsilon_{su} = 0.01$

$$\begin{cases} \sigma_s = \epsilon_s E_s & \epsilon_s E_s < f_y \\ \sigma_s = f_y & \epsilon_s E_s \geq f_y \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期: 1998-11-17

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59338130)

作者简介: 江世永(1965-), 男, 湖北人, 后勤工程学院教授, 博士后, 主要从事工程检测与加固研究。

5) 加固结构承载能力极限状态, 是以截面变形达到下列情况之一时: 当原混凝土或新加混凝土压应变达到混凝土极限变形值 ϵ_{c0} 或 ϵ_{cu} 时; 当原钢筋或新加钢筋拉应变达到钢筋的极限变形值 ϵ_{s1} 时; 当混凝土达到 ϵ_{cu} 及钢筋达到 ϵ_{s1} 时。

2 理论分析

2.1 加固结构截面相对界限受压区高度 ζ_b (图 1)^[2]

1) 围套受压混凝土达到极限状态, 同时围套受拉钢筋屈服时的相对界限受压区高度 ζ_{b1} :

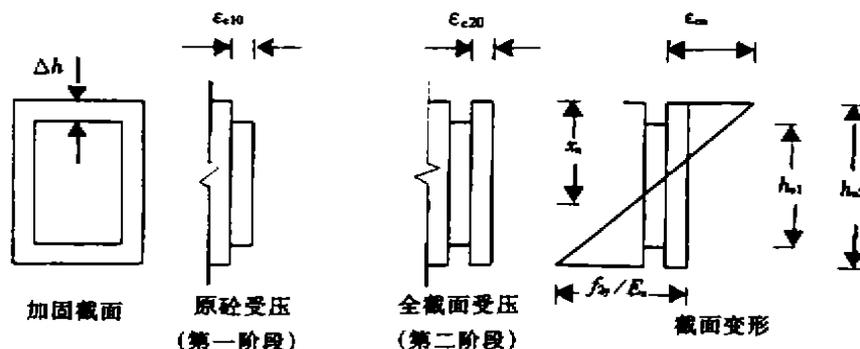


图 1 截面尺寸及应力、应变图

$$\zeta_{b1} = 0.8 \frac{x_n}{h_{02}} = 0.8 \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10} + \left(\frac{f_{ty}}{E_s} - \epsilon_{c10} \right)} = 0.8 \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}}{\epsilon_{cu} + f_{ty}/E_s} \quad (4)$$

2) 围套受压混凝土达到极限状态, 同时核心区受拉钢筋屈服的相对界限受压区高度 ζ_{b2} :

$$\begin{aligned} \zeta_{b2} &= 0.8 \frac{x_n}{h_{01} + \Delta h} = 0.8 \frac{x_{01} + \Delta h}{h_{01} + 2 \cdot \Delta h} \cdot \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10} + f_{ty}/E_s} \\ &= 0.8 \frac{1 + \Delta h/h_{01}}{2 + 2 \Delta h/h_{01}} \cdot \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10} + f_{ty}/E_s} \end{aligned} \quad (5)$$

2.2 界限状态时受压混凝土及钢筋应力

1) 相对界限受压区高度为 ζ_{b1} 时

$$\begin{aligned} \sigma_{s1} &= (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[\frac{1 + \Delta h/h_{01}}{1 + 2 \Delta h/h_{01}} \cdot \frac{\zeta_{b1}}{0.8} \right] E_{s1} \\ &= (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[\frac{0.8}{\zeta_{b1}} \cdot \frac{1 + \Delta h/h_{01}}{1 + 2 \Delta h/h_{01}} - 1 \right] E_{s1} \\ \epsilon_{c1} &= (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[1 - \frac{0.8}{\zeta_{b1}} \cdot \frac{\Delta h/h_{01}}{1 + 2 \Delta h/h_{01}} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \sigma_{c1} = \left[2 \left(\frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_{cm1} & \epsilon_{c1} \leq \epsilon_{c0} \\ \sigma_{c1} = f_{cm1} & \epsilon_{c0} < \epsilon_{c1} \leq \epsilon_{cu} \end{cases} \quad (7)$$

2) 相对界限受压区高度为 ζ_{b2}

$$\begin{aligned} \epsilon_{c1} &= (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[1 - \frac{0.8}{\zeta_{b2}} \cdot \frac{\Delta h/h_{01}}{1 + 2 \Delta h/h_{01}} \right] \\ \begin{cases} \sigma_{c1} = \left[2 \left(\frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c0}} \right) - \left(\frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] f_{cm1} & \epsilon_{c1} \leq \epsilon_{c0} \\ \sigma_{c1} = f_{cm1} & \epsilon_{c0} < \epsilon_{c1} \leq \epsilon_{cu} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: f_{1r}, f_{2r} 分别为核心区、围套的受拉纵筋抗拉强度;

h_{01} 为核心区有效截面高度;

Δh 为新增围套混凝土厚度;

ϵ_{cu} 为混凝土极限压应变, 取为 $\epsilon_{cu} = 0.0033$

ϵ_{c10} 为核心区初始压应变, 可按下列方法确定:

$$\text{核心柱承受第一阶段轴向压力时: } \frac{\sigma_{c1}}{f_{c1}} = \left[2 \frac{\epsilon_{c10}}{\epsilon_{c0}} - \left(\frac{\epsilon_{c10}}{\epsilon_{c0}} \right)^2 \right] = \beta$$

$$\epsilon_{c10} = (1 - \sqrt{1 - \beta}) \epsilon_{c0}$$

2.3 大偏心受压围套加固钢筋混凝土构件正截面承载力实用计算方法

由于初始应力水平 β 的存在, 核心区受压混凝土应力超前, 必须满足下述条件:

$$\frac{\Delta h}{h_{01}} \geq \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + f_{2r} / E_{s2} - 2 \epsilon_{c10}} \quad (9)$$

才能保证围套受压混凝土首先破坏, 即以围套混凝土应变达到 ϵ_{cu} 为构件承载能力极限状态。

对于核心区受压混凝土, 一般情况下, 当 $\zeta \leq \zeta_{b1}$ 时, ϵ_{c1} 均接近或大于 ϵ_{c0} , 故取 $\sigma_{c1} = f_{cm1}$ 。

对于受拉区纵筋应力, 当 $\zeta > \zeta_{b1}$ 时, 构件发生小偏压破坏, 当 $\zeta \leq \zeta_{b1}$ 时, 发生大偏心受压破坏, 此时 $\sigma_2 = f_{y2}$; 当 $\zeta \leq \zeta_{b2}$ 时, $\sigma_{s1} = f_{y1}$, 当 $\zeta_{b2} < \zeta < \zeta_{b1}$ 时,

$$\sigma_{s1} = (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[\frac{0.8}{\zeta} \cdot \frac{1 + \Delta h / h_{01}}{1 + 2 \cdot \Delta h / h_{01}} - 1 \right] E_{s1}$$

$$\text{强度折减系数: } \alpha_{s1} = (\epsilon_{cu} + \epsilon_{c10}) \left[\frac{0.8}{\zeta} \cdot \frac{1 + \Delta h / h_{01}}{1 + 2 \cdot \Delta h / h_{01}} - 1 \right] \frac{E_{s1}}{f_{y1}}$$

参照《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89) 中大偏心受压截面承载力的计算公式, 本文提出以下建议计算公式(图 2)^[3]:

1) 当 $N < f_{cm2} b \cdot \Delta h$ 时(或 $\zeta h_0 < \Delta h$)

$$N = f_{cm2} \cdot b \cdot \zeta h_0 + f'_{y2} A'_{s2} - f_{y2} A_{s2} - \alpha_{s1} f_{y1} A_{s1}$$

$$M = f_{cm2} b \cdot \zeta h_0^2 (1 - 0.5 \zeta) + f'_{y2} A'_{s2} (h_0 - a'_{s2}) - \alpha_{s1} f_{y1} A_{s1} (\Delta h + a_{s1} - a_{s2}) - N \cdot \left(h_0 - \frac{h}{2} \right)$$

2) 当 $N < f_{cm2} [b \cdot \Delta h + (b - b_1) a'_{s1}] + f_{cm1} a'_{s1} \cdot b_1$ 时(或 $\Delta h < \zeta h_0 < \Delta h < a'_{s1}$)

$$N = f_{cm2} [(b - b_1) \zeta h_0 + b_1 \cdot \Delta h] + f_{cm1} \cdot b_1 (\zeta h_0 - \Delta h) + f'_{y2} A'_{s2} - f_{y2} A_{s2} - \alpha_{s1} f_{y1} A_{s1}$$

$$M = f_{cm2} b \cdot \Delta h \cdot \left(h_0 - \frac{\Delta h}{2} \right) + [f_{cm1} b_1 + f_{cm2} (b - b_1)] (\zeta h_0 - \Delta h) + \left(h_0 - \frac{\zeta h_0 + \Delta h}{2} \right)$$

$$f'_{y2} A'_{s2} (h_0 - a'_{s1}) - \alpha_{s1} f_{y2} A_{s2} (\Delta h + a_{s1} - a_{s2}) - N \cdot \left(h_0 - \frac{h}{2} \right)$$

3) 当 $N > f_{cm2} [b \cdot \Delta h + (b - b_1) a'_{s1}] + f_{cm1} a'_{s1} \cdot b_1$ 时(或 $\zeta h_0 > \Delta h + a'_{s1}$)

$$N = f_{cm2} [(b - b_1) \zeta h_0 + b_1 \cdot \Delta h] + f_{cm1} \cdot b_1 (\zeta h_0 - \Delta h) + f'_{y2} A'_{s2} + f'_{y1} A'_{s1} - f_{y2} A_{s2} - \alpha_{s1} f_{y1} A_{s1}$$

$$M = f_{cm2} b \cdot \Delta h \cdot \left(h_0 - \frac{\Delta h}{2} \right) + [f_{cm1} b_1 + f_{cm2} (b - b_1)] (\zeta h_0 - \Delta h) \left(h_0 - \frac{\zeta h_0 + \Delta h}{2} \right) +$$

$$f'_{y2} A'_{s2} (h_0 - a'_{s2}) - f'_{y1} A'_{s1} (h_0 - \Delta h - a'_{s1}) - \alpha_{s1} f_{y1} A_{s1} (\Delta h + a_{s1} - a_{s2}) - N \cdot \left(h_0 - \frac{h}{2} \right)$$

将强度折减系数 α_{s1} 的计算式代入基本方程, 即可求解。

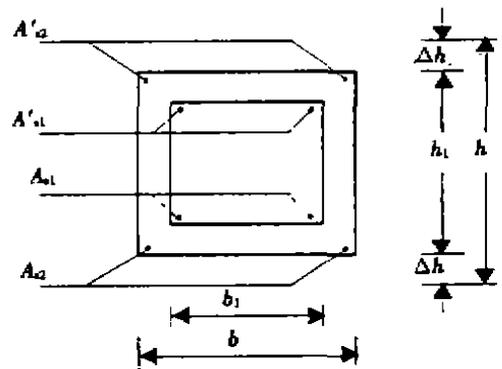


图 2 截面尺寸及配筋

3 算例分析

将数据: $b_1 \times h_1 = 180 \times 180 \text{ mm}$, $f_{cm1} = 27.5 \text{ N/mm}^2$, $f_{y1} = 392.5 \text{ N/mm}^2$, $\Delta h = 60 \text{ mm}$, $f_{cm2} = 16.36 \text{ N/mm}^2$, $f_{y2} = 360 \text{ N/mm}^2$, $\beta = 0.25$, $N = 416.6 \text{ kN}$, 代入上述公式, 得 $a_{s1} = 1.47 > 1$, 故取 $a_{s1} = 1$ 。 $M_{u1} = 113 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 而在同等条件下的试验结果 $M_{u2} = 117 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 可见计算值与试验值吻合较好。

4 结束语

上述分析表明, 对于大偏心受压围套加固构件, 初始轴向压力的存在对于核心区受压混凝土及受压钢筋应力发挥起有利作用, 基本上能达到其设计强度; 而对于核心区受拉纵筋来说, 则降低了其应力水平, 有可能需对其屈服强度进行强度折减。经过试验研究及算例分析, 发现其结果与本文建议计算公式的计算结果吻合较好, 验证了建议计算公式的适用性。

参 考 文 献

- [1] 混凝土结构设计规范(GBJ10-89)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989
- [2] 王传志, 滕智明. 钢筋混凝土结构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985
- [3] 田 炜. 大偏心围套加固柱二次受压试验研究及破损状态可靠性评估[D]. 东南大学硕士论文, 1992

Theoretical Analysis of Load Capacity of Eccentric Reinforced Concrete Columns with Concrete Cover

JIANG Shi-yong¹ GONG Chong-bing¹ BAI Shao-liang² LIU Xiang-yi¹

(1. Logistical Engineering University, 400041 China; 2. Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045 China)

Abstract Based on the plane-section hypothesis of combination section, this paper describes the section strains of reinforced concrete columns with concrete cover under initial axial pressure and analyses the height of relative limit compression area and the stress of concrete and reinforcing bar of combination section in ultimate state. Meanwhile, the paper proposes practical calculation method of load capacity.

Key Words plane-section hypothesis; combination section; initial axial pressure; load capacity; strength reduction