

文章编号:1000-582X(2002)03-0115-05

非卸载条件下受拉区加固梁的抗弯设计法*

全学友,刘春茂

(重庆大学土木工程学院,重庆 400045)

摘要:本文以应变平截面假定为基础,对非卸载条件下受拉区加固梁截面的钢筋应变发展及抗弯承载力的发展进行分析研究。研究表明,初弯矩比越大,承载能力极限状态下增补钢筋应变发展越低;增补钢筋用量越大,初配钢筋应变发展越低。当初配钢筋配筋量较小时,即使初弯矩比较大,只要增补钢筋配筋量适当,可以保证初配钢筋及增补钢筋均受拉屈服,并使截面抗弯承载力得到显著提高。

关键词:加固;初配钢筋;增补钢筋;增大截面法;抗弯能力

中图分类号:TU209

文献标识码:A

采用正确的加固方法才能达到预期的加固效果^[1]。在受拉区补充浇筑现浇钢筋混凝土的增大截面加固法由于具有良好的耐火性及耐久性而往往用于对梁的抗弯加固;粘钢加固法以及碳纤维^[2]加固由于类似于在受拉区补充受拉钢筋,同样可视为受拉区增大截面加固法的一种特例。虽然《混凝土加固技术规范》(CECS 25:90)要求加固时要卸去梁已经承担的全部荷载^[3],但实际工程中由于技术、设备以及经济方面的考虑,加固时能卸去原有荷载的情况并不多见。多数情况下,截面是在初弯矩作用下进行加固的,原有受拉区钢筋(以下将称之为初配钢筋)先于增补钢筋受力,这样,当截面处于受弯承载力极限状态时,增补钢筋可能屈服,也可能不屈服。因此,如何进行初弯矩作用下受弯构件的抗弯承载力设计是加固设计这一领域颇受关心的问题。本文的目的,就是借助已有的受弯构件正截面设计理论,进一步研究初弯矩作用下增大截面法受拉区加固梁的抗弯设计方法。

1 初配钢筋 A_{s1} 与增补钢筋 A_{s2} 的屈服条件

初弯矩标准值 M_{1k} 作用下初配钢筋的拉应变及压区边缘混凝土应变可按以下方法计算^[4]:

$$\text{初配钢筋拉应变 } \epsilon_{s11} = \frac{\sigma_{s11}}{E_s} = \frac{M_{1k}}{0.87E_s A_{s1} h_{01}} \quad (1)$$

$$\text{压区混凝土边缘应变 } \epsilon_{c11} = \frac{M_{1k}}{\xi E_c b h_{01}^2} \quad (2)$$

其中 $\alpha E = E_s/E_c$, $\rho_{s1} = A_{s1}/bh_{01}$, E_s 、 E_c 分别为钢筋和混

凝土的弹性模量。笔者将只针对单筋矩形截面进行研究,即 $\frac{1}{\xi} = 6 + \frac{0.2}{\alpha E \rho_{s1}}$ 。

受拉区增大截面完成后,组合截面^[5]的应变增量亦将呈线形分布,见图1。承载力极限状态下,压区边缘混凝土压应变达 ϵ_u ,初配钢筋 A_{s1} 的应变由 ϵ_{s11} 增至 ϵ_{s1} ,增补钢筋 A_{s2} 则获得拉应变 ϵ_{s2} 。 ϵ_{s1} 及 ϵ_{s2} 的大小,决定 A_{s1} 及 A_{s2} 钢筋屈服或不屈服。

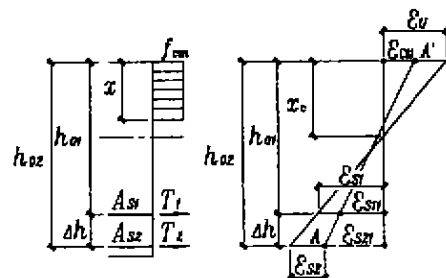


图1 加固前后截面及截面应变分布

1.1 初配钢筋的屈服条件

利用应变平截面假定,可以推导出初配钢筋 A_{s1} 的屈服条件为:

$$x = 0.8x_c \leq \frac{0.8h_{01}}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_u}} \leq \xi_b h_{01} \quad (3)$$

其中 $\xi_b = \frac{0.8h_{01}}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_u}}$ 。上式表明, A_{s1} 钢筋的屈服条件与

* 收稿日期:2002-01-10

作者简介:全学友(1963-),男,四川遂宁人,副教授,主要从事结构工程检测方面的研究工作。

普通受弯构件适筋梁的限制条件是相同的。

1.2 增补钢筋的屈服条件

利用图1中的几何关系,可以推导出要保证 $\epsilon_{s2} \geq \epsilon_{y2}$, 则受压区高度 x 必须满足

$$x = 0.8x_c \leq \frac{0.8h_{02}}{1 + \frac{f_{y2}}{E_s \epsilon_u} + \frac{\epsilon_{s21}}{\epsilon_u}} \leq \xi_y h_{02} = (1 + \delta) \xi_y h_{01} \quad (4)$$

式中, $\delta = \Delta h / h_{01}$, 称为截面有效高度增长率; ξ_y 称为加固截面的界限相对受压区高度

$$\xi_y = \frac{0.8}{1 + \frac{f_{y2}}{E_s \epsilon_u} + \frac{\epsilon_{s21}}{\epsilon_u}} \quad (5)$$

利用图1中的几何关系,可以推导出

$$\epsilon_{s21} = \epsilon_{s11} + (\epsilon_{s11} + \epsilon_{c11}) \delta \quad (6)$$

ϵ_{s21} 的物理意义为在初弯矩标准值 M_{1k} 作用下,未加固截面在增补钢筋 A_{s2} 位置处按应变平截面假定计算的应变推算值。对 A_{s2} 钢筋而言,该应变本身并不存在,但却反映了应力滞后的程度。

2 抗弯承载力有关分析公式的建立

加固截面中的初配钢筋与增补钢筋屈服与否将面临4种组合情况,经推导,相应的承载力计算公式如下(其中 f_{y2} 为增补钢筋的屈服设计强度):

a. 当初配钢筋 A_{s1} 及增补钢筋 A_{s2} 均受拉屈服时

$$\zeta - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} - \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{M_u}{f_{cm} b h_{01}^2} = \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \quad (8)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta \leq (1 + \delta) \zeta_y \quad (9)$$

其中, $\zeta = \frac{x}{h_{01}}$ 为对初始截面的相对受压区高度; $\rho_{s2} =$

$\frac{A_{s2}}{b h_{01}}$, 即新增钢筋相对于原截面的配筋率。

b. 当初配钢筋 A_{s1} 受拉屈服而增补钢筋 A_{s2} 不屈服时

$$\zeta^2 - [\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} - \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} (\epsilon_u + \epsilon_{s21})] \zeta -$$

$$0.8(1 + \delta) \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} \frac{E_s \epsilon_u}{f_{y2}} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{M_u}{f_{cm} b h_{01}^2} = \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \quad (11)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta > (1 + \delta) \zeta_y \quad (12)$$

c. 当初配钢筋 A_{s1} 不屈服而增补钢筋 A_{s2} 屈服时

$$\zeta^2 - [\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{\epsilon_u + \epsilon_u}{f_y} - \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}}] \zeta -$$

$$0.8 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{E_s \epsilon_u}{f_y} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{M_u}{f_{cm} b h_{01}^2} = \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) -$$

$$0.8 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \left(\frac{1 - 1.25\zeta}{\zeta} \right) \frac{E_s \epsilon_u}{f_y} \quad (14)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta \leq (1 + \delta) \zeta_y \quad (15)$$

d. 当初配钢筋 A_{s1} 及增补钢筋 A_{s2} 均不屈服时

$$\zeta^2 - [\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{\epsilon_u}{f_y} + \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} \frac{\epsilon_u + \epsilon_{s21}}{f_{y2}}] E_s \zeta -$$

$$0.8 [\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{\epsilon_u}{f_y} + \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} \frac{\epsilon_u}{f_{y2}} (1 + \delta)] E_s = 0 \quad (16)$$

$$\frac{M_u}{f_{cm} b h_{01}^2} = \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) -$$

$$0.8 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \left(\frac{1 - 1.25\zeta}{\zeta} \right) \frac{E_s \epsilon_u}{f_y} \quad (17)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta > (1 + \delta) \zeta_y \quad (18)$$

此外,考虑到初始截面抗弯承载能力 $M_{u1} = A_{s1} f_y (h_{01} - \frac{0.5 A_{s1} f_y}{f_{cm} b}) = A_{s1} f_y h_{01} (1 - 0.5 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}})$, 则式(1)的 ϵ_{s11} 、式(2)的 ϵ_{c11} 可以改写为:

$$\epsilon_{s11} = \frac{1.15 M_{1k}}{M_{u1}} (1 - 0.5 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}) \frac{f_y}{E_s} \quad (19)$$

$$\epsilon_{c11} = \frac{\alpha E}{\zeta} \frac{M_{1k}}{M_{u1}} \rho_{s1} (1 - 0.5 \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}) \frac{f_y}{E_s} \quad (20)$$

其中 $\frac{M_{1k}}{M_{u1}}$ 称为初弯矩比。从以上各式可以看出,承载力

系数 $M_u / f_{cm} b h_{01}^2$ 、 ϵ_{s11} 、 ϵ_{c11} 以及 ϵ_{s21} 决定于 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 、 ρ_{s1}

$\frac{f_{y2}}{f_{cm}}$ 、 $\frac{M_{1k}}{M_{u1}}$ 以及 δ 等相对量,这对在一般意义上分析问题

提供了条件。

3 初弯矩比对加固效果的影响

以下分析过程中,将以截面压区边缘混凝土应变达 $\epsilon_u = 0.0033$ 为承载力极限状态标志,同时假定混凝土强度等级为 C30,初配钢筋及增补钢筋均为 II 级。

3.1 承载力极限状态下初配钢筋 A_{s1} 及增补钢筋 A_{s2} 的应变

初配钢筋 A_{s1} 的应变 ϵ_{s1} 及增补钢筋 A_{s2} 的应变 ϵ_{s2} 按下式计算：

$$\epsilon_{s1} = \frac{0.8 - \zeta}{\zeta} \epsilon_u \quad (21)$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.8(1 + \delta)\epsilon_u - (\epsilon_u + \epsilon_{21})\zeta}{\zeta} \quad (22)$$

图2为当取截面有效高度增长率 $\delta = 0.2$ 时,在 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 与 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 四种不同取值组合情况下截面达到极限承载力时 A_{s1} (图中细线) 及 A_{s2} (图中粗线) 钢筋的应变随初弯矩比 $\frac{M_{1k}}{M_{u1}}$ 变化的情况。该两组曲线揭示了如下的规律性：

- 1) $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 与 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 均较小时, A_{s1} 及 A_{s2} 钢筋均可以获得很高的拉应变,但只要 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 和/或 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 较大时, A_{s1} 及 A_{s2} 钢筋所能达到的拉应变显著降低;2) 任何情况下,增补钢筋的拉应变随初弯矩比的增大而降低,甚至不屈服;3) 初配钢筋及增补钢筋给定时,不论初弯矩比如何,只要 A_{s2} 钢筋能达到屈服,则 A_{s1} 钢筋在承载力极限状态下的应变维持不变,但当 A_{s2} 钢筋因初弯矩比较大不能屈服时, A_{s1} 钢筋的拉应变随初弯矩比的提高而提高,甚至可以从不屈服进入屈服状态。

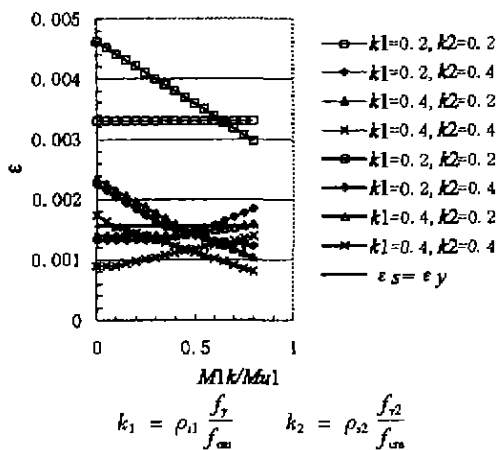


图2 初配钢筋 A_{s1} 及增补钢筋 A_{s2} 应变受初弯矩比的

表1 $\delta = 0$ ($\delta = 0.2$) 时 $M_u/f_{cm}bh_0^2$ 与 $M_u^0/f_{cm}bh_0^2$ 的比较

M_{1k}/M_{u1}	$M_u/f_{cm}bh_0^2$				$M_u^0/f_{cm}bh_0^2$			
	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.4$
0.0	0.32 (0.36)	0.402 (0.488)	0.402 (0.444)	0.417 (0.512)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.1	0.32 (0.36)	0.398 (0.488)	0.400 (0.444)	0.414 (0.511)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)

3.2 加固截面的抗弯承载力发展

加固设计实践中,往往采用这样一种设计模式,即按原截面尺寸及设计弯矩求出配筋量后,如果钢筋实配量不足,则直接补足不足部分或将不足部分适当增大后作为增补钢筋用量,基本上没有考虑初弯矩的影响。

两个抗弯承载力计算值 $\frac{M_u^0}{f_{cm}bh_0^2}$ 与 $\frac{M_u}{f_{cm}bh_0^2}$ 之间的比较,可以用于研究初弯矩对加固截面承载力的影响,同时检验前述设计方法是否合理及其适用范畴。 M_u^0 为将 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 与 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 合并作为初始截面 $b \times h_0$ 的配筋计算的承载力,不存在初弯矩影响的问题; M_u 则是按加固截面计算同时考虑初弯矩影响的抗弯承载力计算值。

表一给出了截面有效高度增长率 $\delta = 0$ (这基本上类似于直接在受拉钢筋上焊接增补钢筋或粘贴钢板的情况) 和 $\delta = 0.2$ 时,不同 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 、 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 组合情况下

$\frac{M_u}{f_{cm}bh_0^2}$ 与 $\frac{M_u^0}{f_{cm}bh_0^2}$ 的比较情况(表中 $k_1 = \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 、 $k_2 = \rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$)。表中数据显示, $\delta = 0$ 时,当配筋量较大时,只

要有初弯矩存在,相同配筋总量情况下 $\frac{M_u}{f_{cm}bh_0^2}$ 总小于

$\frac{M_u^0}{f_{cm}bh_0^2}$,表明初弯矩限制了截面抗弯承载力的发展; δ

$= 0.2$ 时,即使是在较高的初弯矩比 $\frac{M_{1k}}{M_{u1}}$ 情况下,加固

截面的 $\frac{M_u}{f_{cm}bh_0^2}$ 仍大于 $\frac{M_u^0}{f_{cm}bh_0^2}$,表明增大截面有效高度

可以有效地提高截面抗弯能力。同时还说明,只要截面有效高度增长率适当,前述按初始截面计算配筋量并直接将配筋差额作为增补钢筋对截面进行加固的方法也可以保证加固截面具有需要的抗弯承载能力。

M_{1k}/M_{u1}	$M_u/f_{cm}bh_0^2$				$M_u^0/f_{cm}bh_0^2$			
	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.2$ $k2 = 0.4$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.2$	$k1 = 0.4$ $k2 = 0.4$
0.2	0.32 (0.36)	0.392 (0.488)	0.398 (0.444)	0.411 (0.502)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.3	0.32 (0.36)	0.387 (0.488)	0.396 (0.444)	0.408 (0.492)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.4	0.32 (0.36)	0.381 (0.482)	0.394 (0.444)	0.405 (0.483)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.5	0.32 (0.36)	0.376 (0.472)	0.388 (0.439)	0.402 (0.474)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.6	0.32 (0.36)	0.370 (0.463)	0.385 (0.433)	0.399 (0.464)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.7	0.32 (0.36)	0.365 (0.454)	0.381 (0.427)	0.396 (0.455)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)
0.8	0.32 (0.36)	0.359 (0.445)	0.377 (0.421)	0.391 (0.446)	0.32 (0.32)	0.402 (0.402)	0.402 (0.402)	0.417 (0.417)

图 3 为在给定初配钢筋 $\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 及初弯矩比 $\frac{M_{1k}}{M_{u1}}$ 的

情况下,加固截面承载力系数 $\frac{M_u}{f_{cm}bh_0^2}$ 随增补钢筋变化

的情况。该组曲线揭示了如下的规律:1) 只要初配钢筋较小,则随增补钢筋的增大,加固截面抗弯能力具有很大的增长空间,甚至数倍于加固前的截面抗弯能力。2) 初弯矩比越大,截面最终随增补钢筋增长可能达到的极限抗弯能力相应降低。3) 只要初配钢筋或增补钢筋中任何一种不屈服,则抗弯能力增长速度相应降低,当两种钢筋均不屈服时,抗弯能力随增补钢筋增大而增长的速度进一步降低。

4 抗弯承载力设计方法

4.1 设计准则

加固设计首先应建立相应的设计准则^[6],对增大截面法受拉区加固,为使截面具有足够的延性,要求承载力极限状态下受拉钢筋均能达到屈服或 A_{s1} 与 A_{s2} 钢筋中至少一种达到屈服。此外,前述分析表明,即使增大增补钢筋用量,只要不能屈服,则抗弯能力提高很少,因此从经济角度讲,也要求受拉钢筋能达到屈服。但当截面高度增长受到限制同时又要求加固截面抗弯能力大幅度提高时,则可以只保证增补钢筋屈服。

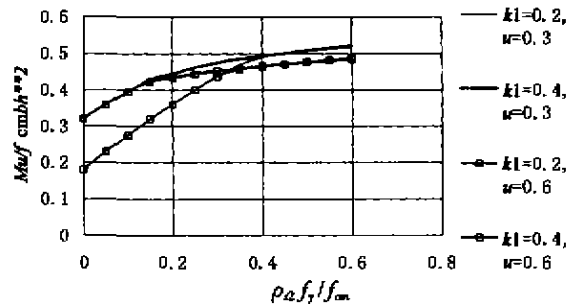
4.2 抗弯承载力设计方法

a. 初始钢筋 A_{s1} 与增补钢筋 A_{s2} 均受拉屈服时:

$$\zeta - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} - \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{M}{f_{cm}bh_0^2} \leq \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \quad (24)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta \leq (1 + \delta)\zeta_b \quad (25)$$



$$k_1 = \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \quad u = \frac{M_{1k}}{M_{u1}}$$

图 3 极限抗弯承载力系数与增补钢筋 $\rho_{s2} \frac{f_y}{f_{cm}}$ 的关系

b. 当初配钢筋 A_{s1} 受拉屈服而增补钢筋 A_{s2} 不屈服时:

$$\zeta^2 - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \zeta + [(\epsilon_u + \epsilon_{s2})] \frac{E_s}{f_{y2}} \zeta - 0.8(1 + \delta) \frac{E_s \epsilon_u}{f_{y2}} \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} = 0 \quad (26)$$

$$\frac{M}{f_{cm}bh_0^2} \leq \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) - \rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \quad (27)$$

$$\zeta \leq \zeta_b \text{ 且 } \zeta > (1 + \delta)\zeta_b \quad (28)$$

c. 当初配钢筋 A_{s1} 不屈服而增补钢筋 A_{s2} 屈服时:

$$\zeta^2 + \zeta - 0.8\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{E_s \epsilon_u}{f_y} - \rho_{s2} \frac{f_{y2}}{f_{cm}} = 0 \quad (29)$$

$$\frac{M}{f_{cm}bh_0^2} \leq \zeta(1 + \delta - 0.5\zeta) -$$

$$0.8\rho_{s1} \frac{f_y}{f_{cm}} \delta \left(\frac{1 - 1.25\xi}{\xi} \right) \frac{E_s \varepsilon_u}{f_y} \quad (30)$$

$$\xi > \xi_b \text{ 且 } \xi \leq (1 + \delta)\xi_b \quad (31)$$

5 结论

1) 非卸载条件下增大截面法受拉区加固, 特别适合于初配钢筋配筋率较低的情况。在这种情况下, 不论初弯矩比如何, 只要增补钢筋配筋率适当, 承载能力极限状态下可以保证初始钢筋及增补钢筋均能受拉屈服, 并使截面抗弯承载能力得到显著提高。

2) 截面加固后, 承载能力极限状态下初配钢筋所能发挥的应变明显降低, 且降低的幅度随增补钢筋配量的增大而增大, 甚至不屈服。

3) 初弯矩比对增补钢筋的应变发展有明显影响, 初弯矩比越大, 承载能力极限状态下所能发挥的应变越小, 甚至不屈服。

4) 承载能力极限状态下, 增补钢筋与初配钢筋可

以都屈服, 也可以只保证任一种钢筋屈服。当加固条件不能保证至少二者之一屈服时, 则不能使用非卸载条件下的受拉区增大截面加固法, 至少不能使用非预应力的受拉区增大截面加固法。

参考文献:

- [1] 齐放. (建)构筑物加固设计失误与规范管理[J]. 建筑结构, 1997, 167(11): 10-11.
- [2] 赵彤, 谢剑. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
- [3] 中国工程建设标准化协会标准. 混凝土结构加固技术规范(CECS 25:90)[M]. 北京: 中国计划出版社, 1992.
- [4] 天津大学、同济大学、东南大学主编. 混凝土结构(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [5] 王天穗, 廖理杨. 砼构件粘钢加固正截面计算中的若干问题[J]. 建筑结构, 1997, 167(11): 13-15.
- [6] 刘西拉, 李田. 混凝土结构补强设计准则的研究[J]. 建筑结构学报, 1993, 14(3): 30-50.

Design Method of Moment-strengthening on Tension Side When Load Un-removed

QUAN Xue-you, LIU Chun-mao

(Institute of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Based on the linear strain distribution assumption, strain development of tensile bars and ultimate moment capacity of strengthening section, which strengthened on tension side with service load un-removed, is investigated. It is showed that the higher the service-load bending moment to original moment capacity ratio M_{1k}/M_{u1} is, the smaller the tensile strain of strengthening re-bars, and the more the amount of strengthening re-bars, the smaller the tensile strain of original re-bars. It also showed that, When original re-bar area is relatively small and strengthening re-bar area is adequate, both original and strengthening re-bars may get yielded and a great increment in section moment capacity is achieved, even though the ration M_{1k}/M_{u1} has a relatively high value.

Keywords: Repairing; Strengthening-rebar; Section-enlarging

(责任编辑 成孝义)