

文章编号 1000-5013(2001) 04-0385-04

外贴纤维布加固砼梁的截面延性分析

方 德 平

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 分析外贴纤维布加固砼梁截面的弯矩-轴力-曲率关系, 计算梁的屈服、极限弯矩和曲率, 以及延性系数. 计算结果表明, 随着配筋率和纤维配置率的增加, 纤维加固效应、极限应力和梁的延性降低. 在较高的配筋率和纤维配置率情况下, 实验的破坏特征与计算的不一致.

关键词 梁, 弯矩, 曲率, 纤维布, 延性

中图分类号 TU 377.9⁺ 40.2

文献标识码 A

在土木工程中, 由于各种原因需要经常对已有的建筑物进行维修、加固. 其中, 纤维材料用于加固结构是一种新技术^[1~2], 有很高的强度重量比、极好的耐腐蚀性和耐久性、施工便利等优点. 目前, 对纤维布加固结构的各种性能研究还不很深入. 纤维布加固砼梁的研究表明^[3~5], 外贴纤维布后梁的承载能力和刚度明显提高, 但延性大幅度降低. 延性是结构抗震性能一个重要指标. 基于已有的实验^[6, 5], 本文提出计算纤维布加固梁的延性的方法, 计算了不同配筋率和纤维配置率对梁的破坏特征、极限弯矩和延性的影响.

1 基本假设

先作如下4点假设. (1) 梁受弯后, 截面上的砼、钢筋和纤维布的应变符合平截面假设. (2) 一般外贴的纤维布较薄, 假设其拉力作用在梁底处. (3) 开裂后砼的抗拉强度忽略不计. (4) 砼、钢筋和纤维材料的应力-应变关系.

对于砼, $\alpha = f_c [2\epsilon / \epsilon_c - (\epsilon / \epsilon_c)^2]$, $0 \leq \epsilon \leq \epsilon_c$; $\alpha = f_c, \epsilon_c \leq \epsilon \leq \epsilon_{cu}$. 其中, α 和 ϵ_c 分别为应力和应变, f_c 为强度, $\epsilon_c = 0.002$, $\epsilon_{cu} = 0.003$. 对于钢筋, $\alpha = E_s \epsilon, \epsilon \leq f_s / E_s$, $\alpha = f_s, \epsilon \geq f_s / E_s$. 其中, α 和 ϵ 分别为应力和应变, f_s 为强度, E_s 为其弹性模量. 对于纤维材料和线弹性材料, $\alpha = E_f \epsilon$. 其中, α 和 ϵ 分别为应力和应变, f_f 为强度, E_f 为弹性模量.

根据实验, 纤维布加固后梁的弯曲破坏类型主要有4种. (1) 受压区砼被压坏. (2) 纤维布拉断破坏. (3) 粘结破坏(砼被拉下). (4) 砼-胶界面发生剥离破坏. 后两种破坏带有明显的脆性, 应通过锚固手段和提高施工质量加以避免. 对其进行较精确的计算较为困难, 可参考文献[6]的弹性分析作近似估算. 本文只对前两种的破坏进行分析.

收稿日期 2001-04-20

作者简介 方德平(1965-), 男, 副教授

基金项目 福建省自然科学基金资助项目

Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2 梁截面的弯矩-轴力-曲率的关系

T 形截面开裂后的内力和应变,如图1所示.图中, y_c 是形心轴的高度, A_{s1} , A_{s2} 为拉压钢筋

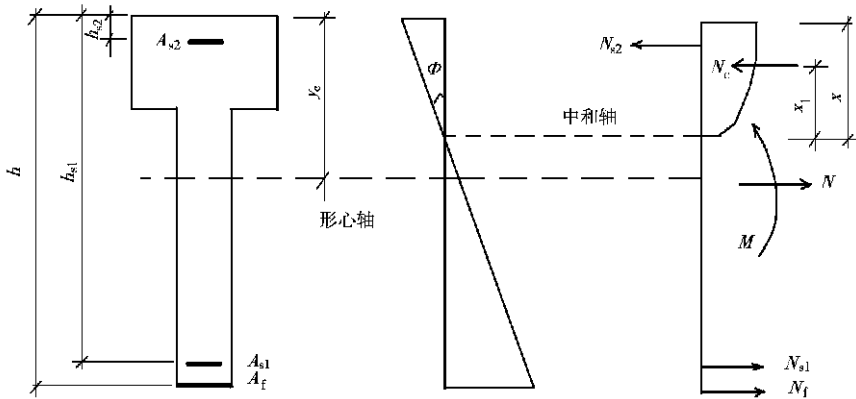


图1 开裂截面的内力和应变

的面积, A_f 为纤维面积, h , h_{s1} , h_{s2} 分别为截面度和拉压钢筋离受压力缘的距离.而 N_c , N_{s1} , N_{s2} , N_f 分别为砼、拉压钢筋和纤维布的合力, x 为砼受压高度, x_1 为 N_c 到中和轴的距离, Φ 为截面的曲率, M 和 N 为截面的弯矩和剪力.

根据砼的应力-应变关系,对于给定的 x 和 Φ , N_c 和 N_{cx} 可以由数值积分求得.拉区钢筋的应变为 $\epsilon_{s1} = \Phi(h_{s1} - x)$,则

$$N_{s1} = \epsilon_{s1} E_s A_{s1}. \quad (1)$$

当钢筋屈服时($\epsilon_{s1} > f_s / E_s$), $N_{s1} = f_s A_{s1}$,压区的钢筋的应变为 $\epsilon_{s2} = \Phi(x - h_{s2})$,即

$$N_{s2} = \epsilon_{s2} E_s A_{s2}. \quad (2)$$

当钢筋屈服时($\epsilon_{s2} > f_s / E_s$), $N_{s2} = f_s A_{s2}$,纤维布的应变为 $\epsilon_f = \Phi(h - x)$,即

$$N_f = \epsilon_f E_f A_f. \quad (3)$$

其平衡方程为

$$N_{s1} - N_{s2} + N_f - N_c = N, \quad (4)$$

$$N_c x_1 + N_{s1}(h_{s1} - x) + N_{s2}(x - h_{s2}) + N_f(h - x) = M + N(y_c - x). \quad (5)$$

对于已知的 M , N ,有如下迭代求解 x , Φ 的步骤.(1)对于给定 x ,计算不同的 Φ (0~ Φ_c 0.003 3, $\Phi_c(h - x) = f_t / E_f$),求解出方程(4)中的 Φ ,代入方程(5).如果误差小于设定误差值(在 x , Φ 范围内的最小者,并且小于0.01 M),得到 x , Φ .(2)对于不同的 x 值(从0.05 h 到0.70 h),反复计算步骤(1),直到求得 x , Φ .

本计算方法同文献[5]相比,给出了求解 x , Φ 的计算过程,考虑了受压钢筋的作用.文献[4]的方法只适用于截面的极限弯矩的计算.本方法可以分析截面全教室过程的内力和变形,从而求得截面的延性系数.

3 梁截面的全过程分析

本文对文献 [4] 的实验梁作了计算, 结果如表1所示. 表中 M_y 为屈服弯矩, M_u 为极限弯矩. 图2 为梁尺寸, 截面宽 150 mm, 高 300 mm, 纯弯段不配箍筋, 其余箍筋为 $\varnothing 6@80$. $A_{s1} = 308\text{ mm}^2$, $A_{s2} = 57\text{ mm}^2$, $h_{s1} = 270\text{ mm}$, $h_{s2} = 30\text{ mm}$, $f_s = 374\text{ MPa}$, $E_s = 200\text{ GPa}$. 砼立方抗 为 32.6 MPa , $f_c = 24.2\text{ MPa}$, 砼弹性模量 $E_c = 39\text{ GPa}$. 碳纤维增强聚合物 (CFRP) 贴于

表1 纤维布加固梁的计算值和实验值

梁号	加固方式	$M_y/\text{kN}\cdot\text{m}$		$M_u/\text{kN}\cdot\text{m}$		破坏特征	
		实验值	计算值	实验值	计算值	实验值	计算值
WLe1	未加固	33.0	27.6	37.5	29.6	砼压坏	砼压坏
WLe3	一层纤维	33.0	29.4	49.4	43.7	纤维断	纤维断
WLe17	三层纤维	40.5	33.9	61.5	58.7	纤维断	砼压坏

梁底(贴1层和3层), 宽 140 mm, 厚 0.111 mm, 长 1 700 mm, $f_t = 3\ 550\text{ MPa}$, $E_t = 235\text{ GPa}$.

对于 WLe1, WLe3 梁的极限弯矩, 计算值和实验值有一定的差别. 经过计算, 对应于 WLe1 梁极限弯矩实验值的截面内力臂为 326 mm, 对应于 WLe3 梁的内力臂(从钢筋处算起)为 281 mm, 超过 h_{s1} . 究其原因, 可能是极限状态时钢筋的应变比较大, 接近于纤维的极限应变 1.5%, 是钢筋进入强化阶段所至. 对 WLe17 梁, 实验的破坏特征是纤维拉断, 但在计算中为砼压坏. 贴3层纤维, 依平截面假设, 砼受压区高度

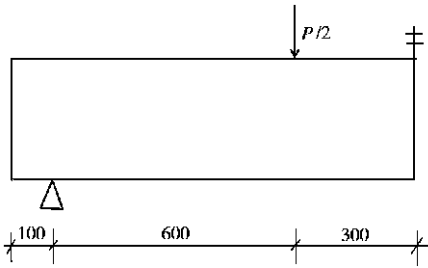


图2 实验梁的几何尺寸(mm)

x 较大, 纤维应变 $\epsilon = \epsilon_{cu}(h - x)/x$ 小于其极限应变 1.5%. 显然, 在梁的受弯极限阶段, 实际截面的变形和受力较为复杂. 总之, 计算结果偏于安全, 具有实际的工程应用价值.

本文对不同的配筋率和纤维配置率作了计算, 如表2所示. 表中 ξ 为相对受压区高度, M_{u0}

表2 不同的配筋和纤维配置率梁的弯矩和延性计算值

A_{s1}/mm^2	ξ	A_t/mm^2	$M_y/\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_u/\text{kN}\cdot\text{m}$	M_u/M_{u0}	μ	μ/μ_0	σ_{tu}/MPa	破坏特征
202	0.077	0.0	18.3	20.0	1.00	11.10	1.00	—	C
		15.5	20.5	34.6	1.73	6.11	0.55	3 550	F
		31.0	22.6	47.5	2.38	6.17	0.56	3 384	C
		46.6	24.7	54.4	2.72	5.30	0.48	2 854	C
308	0.117	0.0	27.6	29.6	1.00	8.50	1.00	—	C
		15.5	29.4	43.7	1.48	6.08	0.82	3 550	F
		31.0	31.8	52.0	1.76	5.00	0.59	2 856	C
		46.6	33.9	58.7	1.98	4.33	0.51	2 172	C
405	0.155	0.0	35.6	38.2	1.00	6.15	1.00	—	C
		15.5	37.8	49.9	1.30	4.87	0.79	2 930	C
		31.0	39.5	57.3	1.50	4.19	0.68	2 443	C
		46.6	41.8	62.7	1.64	3.75	0.61	2 162	C

为未加固梁的极限弯矩, μ_0 为未加固梁的延性系数, σ_u 为极限状态时的纤维应力, C 为受压区 砼被压坏, F 为纤维拉断破坏. 图3为 $A_{s1} = 308\text{ mm}^2$ 梁的弯矩-曲率关系曲线, 从上到下分别为

3, 2, 1层纤维布和无加固纤维梁的曲线.

4 结束语

结合表1, 2及图3, 可以得出以下结论. (1) 通过本文的计算方法, 可以分析纤维布加固梁发生砼压坏和纤维拉断破坏时, 截面全过程的弯矩-曲率关系曲线, 可求得屈服弯矩、极限弯矩和延性系数等指标. 同实验结果相比较, 计算的结果偏于安全, 具有实际的工程应用价值. (2) 对配筋率较低的梁, 加固后承载力提高较为明显. 纤维配置率增加, 加固效应降低, 纤维的极限应力也相应降低, 未被拉断. 随着配筋率和纤维配置率的增加, 延性系数明显下降. (3) 在较高的配筋率和纤维配置率情况下, 实验的破坏特征与计算的不一致, 如3层纤维梁 WLc17. 其原因有待于进一步研究.

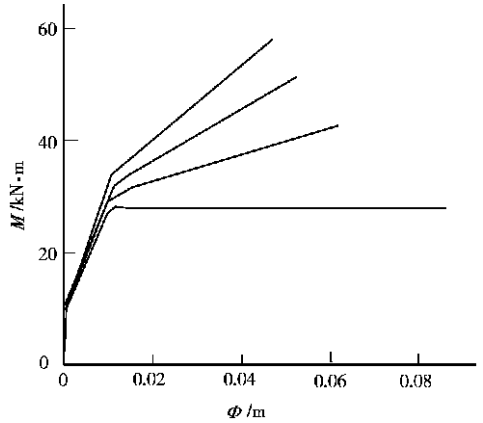


图3 梁的弯矩-曲率关系曲线

参 考 文 献

- 1 李 荣, 佟晓利, 颜子涵. 碳纤维材料加固混凝土结构技术应用实践[J]. 工业建筑, 1998, (11): 11 ~ 13
- 2 岳清瑞, 陈小兵, 牟宏远. 碳纤维材料(CFRP)加固修补混凝土结构新技术[J]. 工业建筑, 1998, (11): 1 ~ 5
- 3 曹双寅, 邱洪兴, 腾锦光等. 纤维加固受弯构件全过程分析和承载力计算[J]. 工业建筑, 2000, (10): 27 ~ 30
- 4 吴 刚, 安 琳, 吕志涛. 碳纤维布用于钢筋混凝土梁抗弯加固的实验研究[J]. 建筑结构, 2000, (7): 3 ~ 6
- 5 吴 刚, 吕志涛. 外贴 CFRP 加固混凝土结构的抗弯设计方法[J]. 建筑结构, 2000, (7): 7 ~ 10

Analysing the Sectional Ductility of Concrete Beam with Fibre Sheet Sticking on Externally as Reinforcer

Fang Deping

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract In relation to the concrete beam with fibre sheet sticking on externally for its reinforcement, the relationship between bending moment-axial force-curvature of its section is analysed; and its yield and ultimate bending moment and curvature and also the coefficient of its ductility are calculated. As indicated by results of calculation, along with the increase of steel ratio and fibre collocation, effect of fibre reinforcement and ultimate stress of fiber sheet and ductility of beam will decrease. Under the condition of a higher steel ratio and fibre collocation, the characteristic of experimental type of failure is inconsistent with that of calculating type.

Keywords beam, bending moment, curvature, fibre sheet, ductility