

文章编号 1000-5013(2001)02-185-04

钢筋混凝土梁的统一设计

王 卫 红

(泉州市城市规划设计研究院, 泉州 362000)

摘要 钢筋混凝土梁的正截面抗弯和斜截面抗剪是分别进行设计的, 梁正截面和斜截面承载力公式也是分别根据各自试验提出. 正截面试验时所用的箍筋量和斜截面试验时所用的纵筋量, 都要比设计大得多, 以保证出现典型的弯曲或剪切破坏形式. 但试验和公式中忽略了纵筋量和箍筋量的相互影响. 文中根据塑性理论, 考虑混凝土单元开裂后的性能改变, 利用有限元方法, 对一根给定集中荷载作用下钢筋混凝土矩形截面梁进行统一设计. 同时, 求出其达到极限状态时, 设计所需要的纵筋量和箍筋量的相互关系. 建议取纵向钢筋恰好屈服点作为统一设计的参考点, 并据此设计配筋.

关键词 统一设计, 有限元方法, 设计参考点

中图分类号 TU 375.104

文献标识码 A

目前, 在各国混凝土规范中, 钢筋混凝土梁的正截面抗弯和斜截面抗剪是分别进行设计的, 正截面和斜截面承载力公式也是分别由各自试验提出. 进行正截面试验时, 为了防止发生斜截面破坏, 保证试件发生典型的正截面破坏, 往往在梁中配置过多的箍筋, 以致破坏时虽然纵向钢筋屈服. 但绝大多数箍筋没有屈服. 进行斜截面试验^[1]时, 为了防止发生正截面破坏, 保证试件发生典型的斜截面破坏, 常在梁中配置超量的纵向钢筋. 这样, 导致试验破坏时通过临界斜裂缝的大多数, 甚至全部箍筋屈服. 但其纵向钢筋没有屈服(这与正截面设计纵向钢筋屈服的假设不符). 根据这些试验, 可以认为纵向钢筋数量对抗剪承载力影响较小. 大量试验和理论分析已经证明, 将钢筋和混凝土假设成理想弹塑性、均质材料进行研究设计是可行的^[2]. 这样既可以简化理论, 又能够满足工程计算的精度要求. 本文就是利用有限元方法, 根据塑性理论, 研究钢筋混凝土梁的给定荷载作用下, 设计所需要的纵筋量和箍筋量的相互关系. 与此同时, 进行统一设计, 找出其变化规律, 为优化设计提供依据.

1 基本方法

有限元分析表明^[3], 对于配箍量一定的钢筋混凝土梁, 如果纵向钢筋配置较多, 破坏时, 纵向钢筋不发生屈服. 而随着纵向钢筋量的减少, 纵筋力减少较小. 混凝土受压区高度变化不大, 临界斜裂缝的倾角变化很小. 通过临界斜裂缝的箍筋能够绝大部分, 甚至全部屈服, 梁呈剪切

破坏形式. 纵向钢筋数量对抗剪承载力影响较小. 如果纵向钢筋配置较少, 破坏时纵向钢筋发生屈服, 随着纵筋量的减少, 纵筋力按比例减小. 其混凝土受压区高度显著减少, 临界裂缝的倾角明显增大, 而且通过斜裂缝的箍筋已不能够全部屈服, 甚至不屈服. 梁的抗剪能力急剧下降, 梁呈弯曲破坏形式, 纵向钢筋数量对抗剪承载力影响较大. 所以, 设计时应综合考虑纵筋量和箍筋量对梁承载力的影响.

按照目前的《GB 10-89 混凝土结构设计规范》(以下简称《规范》)公式进行设计, 纵向钢筋量由正截面承载力公式确定, 箍筋量由斜截面承载力公式确定. 当荷载超过规定以后, 梁即发生弯曲破坏, 且发生剪切破坏. 这在实际上是不可能的, 只能造成梁承载力的下降. 在给定荷载下, 当纵向钢筋较多、箍筋较少时, 梁发生剪切破坏. 纵向钢筋较少, 箍筋较多时, 梁发生弯曲破坏. 配筋在两者之间时, 梁的破坏形式应介于弯曲和剪切之间. 所以, 对于给定荷载下钢筋混凝土梁的设计, 配置的纵向钢筋量和箍筋量不是唯一的, 而且两者互相影响. 这可以进行统一设计, 甚至根据某一标准(强剪弱弯、总用钢量最少等)进行优化设计.

在有限元分析和设计时, 可以将钢筋混凝土梁看成是平面应力问题. 它忽略了钢筋的销栓作用, 并假定钢筋只能承受纵向应力, 为理想弹塑性材料. 对于混凝土, 考虑平面双向应力对其材料强度的影响(抗拉强度和双轴抗压强度由 Kupfer 强度准则求解). 它认为混凝土开裂前为理想弹塑性材料, 但开裂后的混凝土单元不再能够承受拉力. 考虑到混凝土的实际受力性能, 偏安全地认为混凝土单元开裂和受压屈服后, 主应力方向不再改变. 根据《规范》及文献[4, 5], 取混凝土的极限压应变为 0.003 3. 有限元计算时, 为了准确反映混凝土单元的应力变化(开裂、受压屈服等), 采用增量加载. 每级荷载增量计算时采用迭代法, 收敛后再施加下一级荷载.

为了保证有限元方法收敛, 要求划分的网格能够精确反映单元的受力状态, 以使每个单元接近常应力状态. 根据文献[2]的建议, 取标量“网格精度系数” Δ 作为衡量网格划分的精度标准, 即

$$\Delta = U/T,$$

其中, U 为单元按平均应力计算所得到的内能, T 为单元节点力所作的功. 划分网格时, 至少要求应力较大的单元网格精度系数 Δ 尽量接近 1(建议取 $\Delta = 0.95$).

需要说明的是由于忽略钢筋的销栓作用, 以及假设混凝土单元开裂后, 主应力方向不再改变. 因此, 以上的有限元模型不能完全反映钢筋混凝土梁的实际抗剪能力. 但是, 有限元分析在很大程度上仍反映出构件性能的变化规律. 尤其在纵向钢筋屈服后, 钢筋的销栓作用和混凝土开裂面上骨料的咬合作用对梁抗剪能力的影响会逐步减小, 分析的结果更接近实际.

2 算例与分析

为了研究钢筋混凝土梁, 其设计时所需要的纵筋量和箍筋量的相互关系, 以便进行统一设计. 本文对以下矩形截面梁进行了分析设计.

已知钢筋混凝土简支梁截面尺寸为 $200 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$, 承受集中荷载 $F = 70.2 \text{ kN}$, 弯矩 $M = 91.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$. 那么图 1 为其计算简图($X = 1300 \text{ mm}$). 采用 C20 混凝土, 纵向受力钢筋采用 Ⅱ级钢, 箍筋和架立钢筋采用 Ⅰ级钢. 根据《规范》设计, 纵向受拉钢筋 $A_s = 824.8 \text{ mm}^2$, 箍筋 $A_{sv}/S = 0.306 \text{ mm}$.

有限元分析设计时, 根据《规范》材料参数取混凝土的轴心抗压强度 $f_c = 10 \text{ MPa}$, 抗拉强度 $f_t = 1.1 \text{ MPa}$, 弹性模量 $E_c = 25.5 \text{ GPa}$, 泊桑比 $\nu = 0.15$. 纵向受力钢筋抗拉强度 $f_y = 310 \text{ MPa}$, 弹性模量 $E_s = 200 \text{ GPa}$; 箍筋和架立钢筋抗拉强度 $f_y = 210 \text{ MPa}$, 弹性模量 $E_s = 210 \text{ GPa}$.

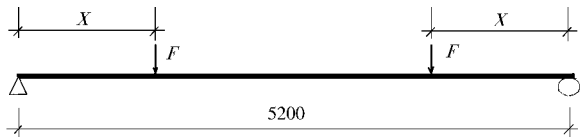


图 1 计算简图

根据对称性, 取简支梁的左半部分分析设计, 网格划分如图 2 所示(梁高度方向划分 20 段). 钢筋配置在网格的分界线上, 当纵向受拉钢筋较少(面积小于 4 根直径 20 mm 的级钢)时, 单排布置(取 $h_0 = h - 35 \text{ mm}$); 当纵向受拉钢筋较多时, 分两排布置(两排钢筋中心距取 45

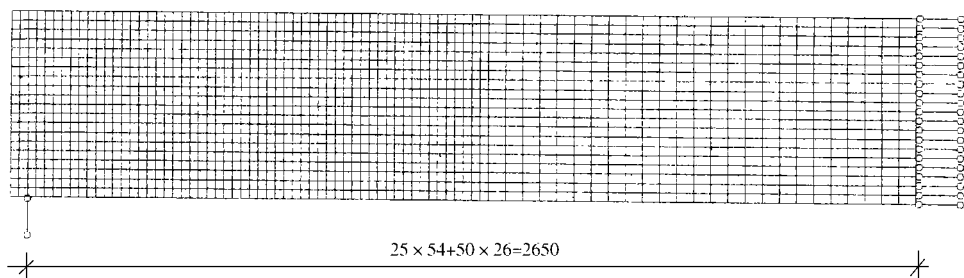


图 2 网格划分

mm). 箍筋分两个区段布置, 跨中纯弯段按构造配置箍筋($A_{sv}/S = 0.190 \text{ mm}$), 其余按有限元设计计算配置箍筋. 考虑架立钢筋时, 采用 $2\phi 8$, 并将其布置在距截面上边 35 mm 的位置.

分析设计时, 分别考虑设置和不设置架立钢筋两种情况(图 3 中曲线 1 和 2), 以了解结构的安全储备. 当混凝土单元压应变近似达到极限压应变 0.003 3 时, 认为构件到达极限状态. 此时的用钢量为设计需要值. 例题的计算结果见图 3, 图中单位长度的箍筋面积表征为 S .

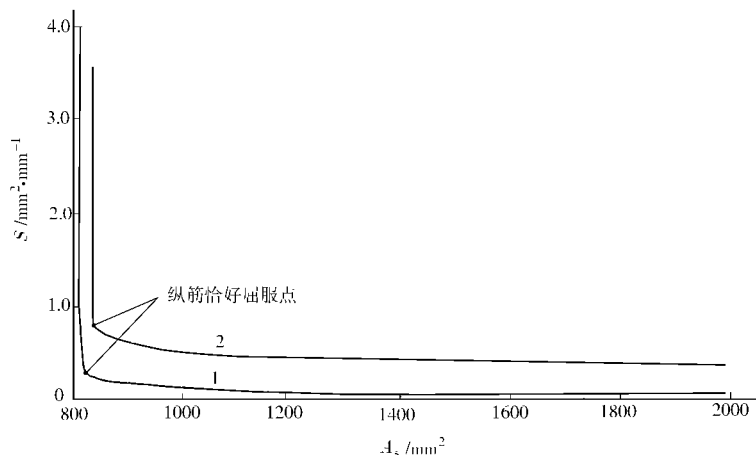


图 3 钢筋混凝土梁纵向钢筋量和箍筋量的关系

从图 3 可以看出, 在一定范围内, 随着纵筋量的减少, 所需的箍筋量逐渐增加. 当纵筋量很多, 纵筋没有屈服时, 所需的箍筋量较少, 其受纵筋量变化的影响较小. 构件主要发生剪切破坏, 与试验比较吻合. 当纵筋量减少, 在纵筋屈服点附近时, 两者关系曲线发生突变, 所需的箍

筋量较多. 这方面的试验较少. 当纵筋量继续减少、纵筋屈服以后, 所需的箍筋量很多, 而且对纵筋量变化比较敏感. 一般当纵向钢筋恰好屈服时, 构件的总用钢量相对较少.

3 结论

根据以上的有限元分析计算, 可以得出以下两点. (1) 钢筋混凝土梁设计所需的纵向钢筋量和箍筋量是互相影响的, 应进行统一设计. (2) 在纵向钢筋恰好屈服点处, 梁的总用钢量相对较少, 建议取该点作为设计控制点, 作为进行设计的依据.

参 考 文 献

- 1 卫纪德. 集中荷载作用下有腹筋约束梁的抗剪强度[J]. 哈尔滨建工学院学报, 1985, (3): 16~31
- 2 Anderhegen E, Despot Z, Steffen P, et al. Reinforced concrete dimensioning based on element nodal forces[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1994. 120(6): 1 718~1 731
- 3 姜庆远, 邵永松. 纵向钢筋屈服后的钢筋混凝土梁抗剪强度的有限元分析[J]. 世界地震工程, 2000, 16(1): 135~137
- 4 Hsu-Thomas T C. Unified theory of reinforced concrete[M]. Florida: CRC Press, 1993. 1~190
- 5 Muttoni A, Schwartz J, Thürlimann B. Design of concrete structures with stress fields based[M]. Berlin: Birkhäuser, 1996. 17~18

A Study on Integrated Design of RC Beam

Wang Weihong

(Municipal Designing Inst. of City Planning, 362000, Quanzhou)

Abstract Normal sectional bending and bevel shear of RC beam are respectively designed; and normal sectional and bevel formulas of bearing capacity are advanced in line with respective test. The amount of hoop reinforcement used in normal sectional test and the amount of longitudinal reinforcement used in bevel test are much more larger than those of design so as to assure the appearance of typical bending or shearing failure. In test and formula, the mutual influence of the amount of hoop reinforcement and the amount of longitudinal reinforcement is neglected. Based on theory of plasticity, the author designs integrately a RC beam with rectangular section under a given centralised loading by using finite element method, with the performance change of concrete after unit cracking being taken into account and finds out the correlation between the amount of longitudinal reinforcement and the amount of hoop reinforcement demanded by the design at limit state; and suggests to take the just yield point of longitudinal reinforcement as reference point for integrated design, on which the design of reinforcement is based.

Keywords integrated design, finite element method, reference point for the design