

文章编号 1000-5013(2005)02-0152-04

大偏心体外预应力节段梁的非线性分析

方 德 平

(华侨大学土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 预应力梁的体外筋等效为其作用在梁上的等效荷载,并由荷载作用前后锚具和转向座的不同位移计算出体外筋的变形和力,进而对体外预应力梁进行非线性分析.基于此通用方法,文中用 3 种方法分析大偏心体外预应力节段梁.(1) 假设节段梁为通长的现浇梁,忽略节段单元内的普通钢筋,只考虑通长的预应力筋.(2) 假设节段梁为通长的现浇梁,同时假设普通钢筋也是通长的.(3) 在节缝处加设一个节缝单元,其长度与钢筋的最小锚固长度有关.在节缝单元中,只考虑穿过其中的预应力筋;而对于节段单元,还考虑其中的普通配筋.试验和理论计算表明,大偏心体外预应力现浇梁和节段梁的受力性能相近,且主要取决于体外筋.可用方法(1) 分析大偏心体外预应力节段梁.

关键词 体外筋, 预应力, 非线性, 大偏心, 节段梁

中图分类号 TU 378.202

文献标识码 A

体外筋在许多国家得到广泛的应用,由于体外筋和砼之间没有粘结,已有的研究^[1].把体外筋处理为无粘结筋.然而,与梁内部的无粘结筋不同,体外筋的外形是由转向座弯折体外筋而形成的.在外荷载作用下,除了转向座外,体外筋的变形与梁的挠度并不一致,即产生所谓的偏心距损失,如图 1 所示.当梁接近破坏时,挠度较大,应考虑这一损失.体外筋的应力增量低于同类型的无粘结筋,其抗弯强度也低于无粘结梁.一种可能提高抗弯强度的方法是增大转向座,提高体外筋的偏心距,形成所谓的大偏心体外筋预应力梁.分析体外筋梁的抗弯强度遇到两个问题:(1) 变形协调条件;(2) 偏心距损失.在已有的方法中,参照无粘结的作法,引入变形折减系数,把体外筋的应力增量问题从与梁整体变形相关,简化为只与梁截面变形相关.这一近似方法为工程界所接受.从 20 世纪 70 年代开始,预制节段梁施工法为人们接受并逐步得到推广应用.由于节段之间存在节缝,又没有普通钢筋通过,直接影响到梁的力学性能.节缝的存在削弱了结构的刚度,最终反映在梁的极限抗弯承载能力、抗剪承载力.其结构的整体刚度和受力截面的应力分布等均与整体梁不同.中国目前尚无预制节段混凝土桥梁设计规范^[2],如何考虑大偏心和偏心距损失,以及节段梁节缝变形的影响,还需试验的积累和进一步的研究.本文在这方面作了一些探讨.

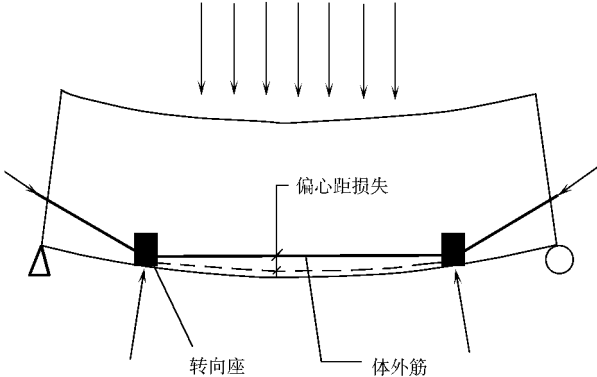


图 1 体外预应力梁

1 假设

本文作了以下 6 点假设.(1) 砼梁的截面变形服从平截面假设.(2) 普通钢筋、有粘结预应力筋和砼之间粘结良好.(3) 在预应力单独作用下或砼开裂前,构件处于线弹性状态.(4) 体外筋和转向座之间的摩擦力忽略不计.(5) 开裂后,砼的抗拉强度忽略不计.(6) 砼、普通钢筋和预应力筋的应力-应变关系

收稿日期 2004-10-29

作者简介 方德平(1965),男,副教授,主要从事预应力结构的研究. E-mail: fdp@hqu.edu.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不同. 其中砵为

$$\alpha_c = f_c [2\varepsilon_c / \varepsilon_0 - (\varepsilon_0 / \varepsilon_0)^2], \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_0, \quad \alpha_c = f_c, \quad \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}.$$

在上式中, α_c 和 ε_c 分别其应力和应变, f_c 为其强度, $\varepsilon_0 = 0.002$, $\varepsilon_{cu} = 0.0035$. 普通钢筋为

$$\alpha_s = E_s \varepsilon_s, \quad \varepsilon_s \leq f_s / E_s, \quad \alpha_s = f_s, \quad \varepsilon_s \geq f_s / E_s.$$

在上式中, α_s 和 ε_s 分别其应力和应变, f_s 为其强度, E_s 为其弹性模量. 预应力筋的应力-应变关系, 则取用 1996 年日本土木学会 (JSCE) 标准, 如图 2 所示.

σ_p 和 ε_p 分别其应力和应变, f_p 为其抗拉强度, E_p 为其弹性模量, E_1 为其屈服段模量.

2 梁的有限元计算

梁是指不含体外筋的砵梁. 体外筋的作用表示为作用在梁上的等效荷载, 如图 1 所示集中力. 这样, 有两种荷载作用在梁上, 即外荷载和体外筋的等效荷载. 本文采用文 [3] 的分析方法, 由截面的平衡求得弯矩-轴力-曲率 ($M-N-\varphi$) 的关系, 得出杆单元的刚度. 对于一个梁单元, 假设其刚度为常量, 划分足

够多的梁单元, 以模拟砵开裂后刚度沿梁的长度方向的变化. 比较加载前后的转向座和锚具的不同位移, 计算出体外筋的变形和应变. 根据预应力筋的应力-应变关系, 求出预应力增量 ΔP 和等效荷载增量. 当满足收敛条件时, 输出梁的轴力、弯矩和节点位移, 以及体外筋的应力. 一般而言, 节段梁内有非通长的节段单元内的普通钢筋和通长的预应力筋. 文 [4] 用一个弹簧模型来模拟节段梁的节缝开裂, 其假定节缝截面之间布满只受拉, 不受压的线弹性弹簧, 但文中未给出弹簧刚度的表达式. 同时, 这一模型也有一些缺陷, 如未考虑通长的体内预应力筋的拉力作用, 同时节缝截面的开裂也不是线弹性的.

本文用 3 种方式来考虑节段梁的节缝的影响. (1) 不考虑节缝开裂的影响, 把节段梁当作通长的现浇梁. 忽略节段单元内的普通钢筋, 只考虑通长的预应力筋. 可认为其计算的承载力是节段梁的下限. (2) 不考虑节缝开裂的影响, 但假设普通钢筋也是通长的, 同时考虑通长的普通钢筋和预应力筋. 可认为其计算的承载力是节段梁的上限. (3) 在节缝处加设一个节缝单元, 只考虑穿过其中通长的预应力筋. 对于节段单元, 还考虑其中的普通配筋. 不过节缝附近的普通钢筋, 由于剪应力传递长度, 不能充分发挥其强度, 如图 3 所示. 按规范的纵向受拉钢筋的最小锚固长度公式 l_a , 近似认为在 $l_a/2$ 范围内, 计入钢筋效应, 另一半则划归节缝单元, 节缝单元的长度为 $l_a + \delta$. 本文的方法满足了梁截面的 $M-N-\varphi$ 关系和体外筋的变形协调条件.

由于把体外筋的作用表示为其等效荷载, 并且通过荷载作用前后转向座和锚具的不同位置来计算其预应力增量, 因而也自动地考虑了偏心距的损失. 同时, 它以节缝单元模拟了节段梁的受力性能, 考虑了节段梁的上下限. 本文的方法能普遍地适用于各种体外筋的结构.

3 计算结果

本文分析计算梁的几何尺寸, 如图 4 所示. A-1, D-1 为整体现浇梁, A-1a, D-1a 为节段梁, 节段长为 312.5 mm. A-1 梁和 A-1a 梁, D-1 梁和 D-1a 梁的几何形状相同. 梁中的箍筋均为 | 10@100; 现浇梁 A-1, D-1 的配筋为 4 根有粘结预应力筋, 面积为 $4 \times 51.61 \text{ mm}^2$, 预拉应力为 969 MPa, 预应力筋形心离砵边缘 40 mm. 节段梁的配筋, 节段内的钢筋 4 | 10, 图 3 中的 δ 为 50 mm, 2 根通长有粘结预应力筋 ($2 \times$

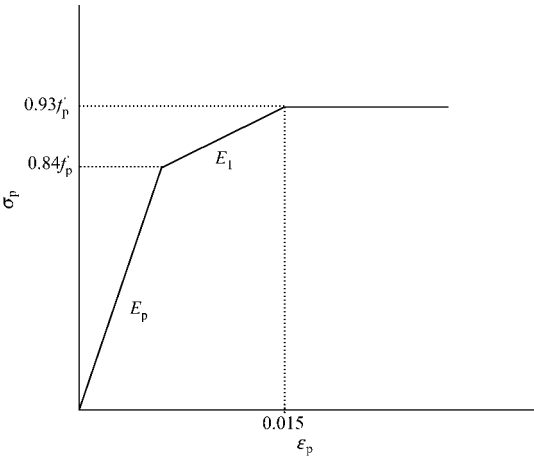


图 2 预应力筋的应力-应变关系

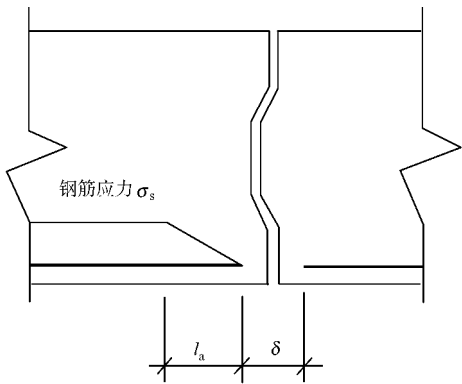


图 3 节缝剪应力传递长度

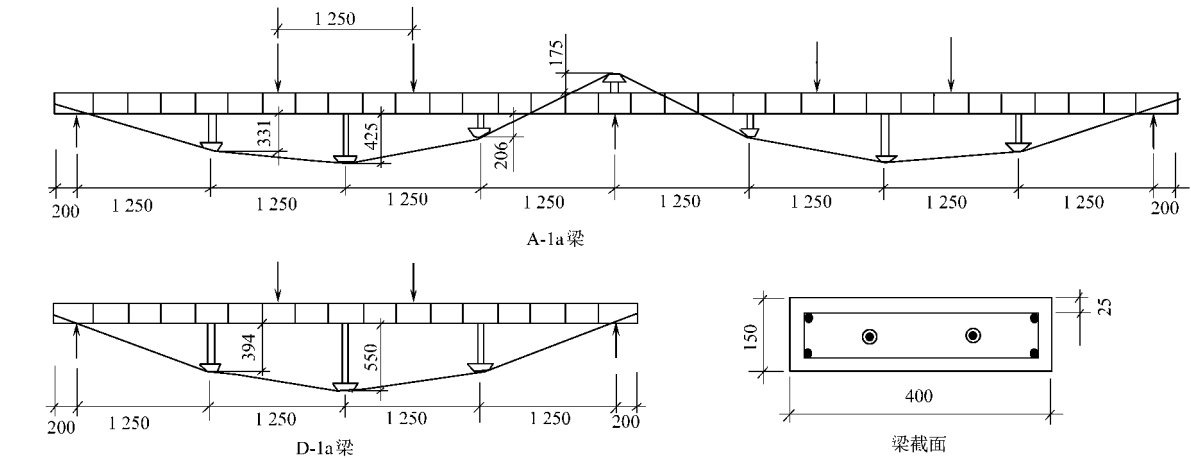


图 4 体外筋节段梁的几何尺寸和断面配筋

92.9 兆帕) 穿过整根梁的中部, 预拉应力为 1.076 GPa, 用环氧树脂粘接两节段单元. 体外预应力筋的面积均为 69.68 mm², 预拉应力为 359 MPa, 在端部处过截面形心. 钢筋 $f_s = 340$ GPa, 预应力筋 $f_p = 1.860$ GPa, E_s 和 E_p 均为 200 GPa, E_1 为 23.3 GPa. 梁的基本参数及计算和试验结果, 如表 1 所示. 在转向座和体外筋之间垫上 3 层聚四氟乙烯, 并以油脂润滑, 减少体外筋的摩擦损失.

表 1 试验梁的试验值和计算值

梁号	类型	f_c / MPa	P_u / kN			Δ / mm			σ_p / GPa		
			实验值			实验值			实验值		
			左跨	右跨	计算值	左跨	右跨	计算值	左端	右端	计算值
A-1	现浇	37.0	107.9	108.6	121.3	82.7	82.6	119.1	1.681	1.673	1.686
A-1a	节段	44.7	97.6	104.0	-	80.1	80.0	-	1.604	1.577	-
D-1	现浇	42.0	94.5		102.7	130.3		142.2	1.692	1.698	1.729
D-1a	节段	52.0	86.3		-	100.2		-	1.642	1.637	-

梁的一个节段为一个杆件单元, 把转向座处理成刚性单元. 表 1 为试验梁的试验值和计算值, 表 2 为节段梁的 3 种方式计算值. 当计算不能收敛, 或者某一单元砼压应变十分接近 ε_u 时, 求得极限荷载.

表 2 节段梁的 3 种方式计算值

梁号	P_u / kN			Δ / mm			σ_p / GPa		
	方式(1)	方式(2)	方式(3)	方式(1)	方式(2)	方式(3)	方式(1)	方式(2)	方式(3)
A-1a	102.2	111.3	105.8	122.8	108.4	114.0	1.689	1.531	1.603
D-1a	89.3	97.1	93.9	138.6	112.7	127.2	1.721	1.539	1.672

图 5 分别为 A-1 梁和 A-1a 梁, D-1 梁和 D-1a 梁的跨中挠度-荷载曲线. 表 1 的试验值表明, 现浇梁和节

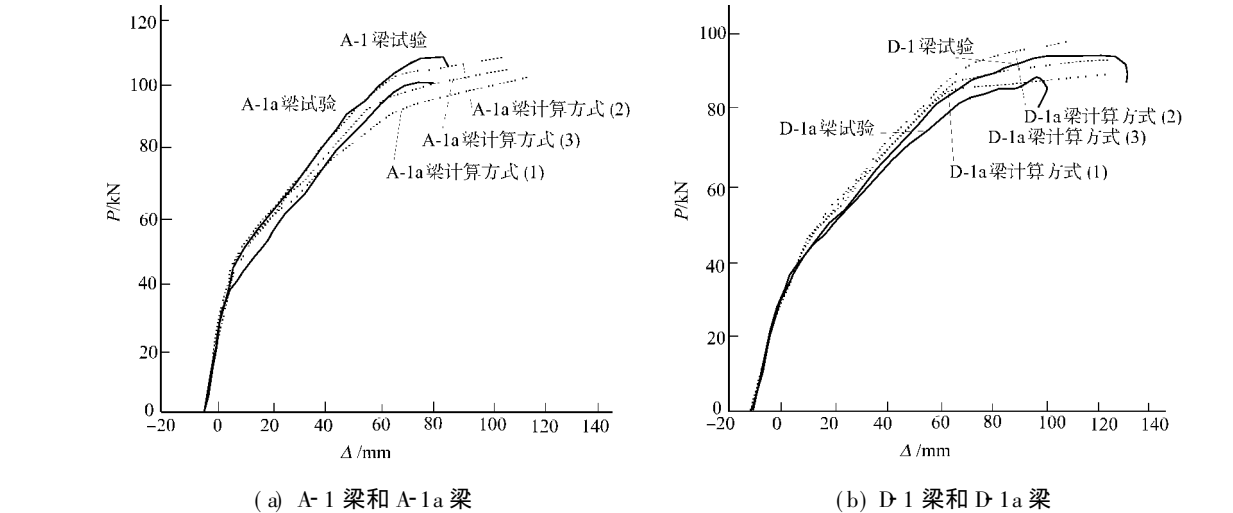


图 5 梁跨中挠度-荷载曲线

段梁的极限荷载、跨中挠度和体外筋应力的差别较小. 表 2 和图 5 计算值表明, 在 3 种方式中, 方式(1)的极限荷载稍小, 跨中挠度和体外筋应力稍大. 因为忽略节段单元内的普通钢筋, 梁的刚度较小, 所以跨中挠度和体外筋应力均稍大. 方式(2)的极限荷载稍大, 跨中挠度和体外筋应力稍小. 因为假设节段单元内的普通钢筋为通长钢筋, 梁的刚度较大, 所以跨中挠度和体外筋应力均稍小. 方式(3)的计算值介于方式(1),(2)之间.

4 结束语

(1) 从试验和理论计算可看出, 大偏心体外预应力现浇梁和节段梁的受力性能相近, 且主要取决于体外筋, 体内普通钢筋和预应力筋的作用较小. (2) 从本文的节段梁的 3 种方式计算值来看, 承载力下限的方式(1)的值与承载力上限的方式(2)的值之间的差值小于 10%, 且下限的方式(1)的值更接近于试验值. 因而, 可以忽略大偏心体外节段梁的节缝开裂的影响, 把节段梁当作通长的现浇梁. 同时, 可以忽略节段单元内的普通钢筋, 只考虑通长的预应力筋. (3) 体外筋的大偏心能有效地提高梁的抗弯强度, 充分利用体外筋强度, 达到经济的目的.

参 考 文 献

1 Alkhari F M, Naaman A E. Analysis of beams prestressed with unbonded internal or external tendons[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1993, 119(9): 2 680~ 2 700
2 李 坚, 陆元春. 预制节段混凝土桥梁的设计与工程实践[J]. 城市道桥与防洪, 2003, 6(11): 35~ 38
3 方德平. 大偏心体外筋预应力梁的弯矩-曲率分析法[J]. 建筑结构, 2002, 32(6): 19~ 22
4 徐 栋, 项海帆. 体外预应力混凝土桥梁非线性分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 402~ 406

Nonlinear Analysis of the Externally Prestressed Segmental Beams with Large Eccentricity

Fang Deping

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract The external tendon of prestressed beam is equivalent to the equivalent load exerting on this beam; deformation and force of external tendon are calculated from different displacements of anchorages and deviators before and after the loading; and then, nonlinear analysis of externally prestressed beam is carried out. Based on this method in common use, three kinds of analyses are presented here to analyse externally prestressed segmental beams with large eccentricity. Firstly, assume the segmental beam to be monolithic, consider only the continuous prestressed strand and neglect the action of the reinforcement in the segment. Secondly, assume the segmental beam to be monolithic, and the reinforcement in the segments to be continuous as well. Thirdly, add the segmental joint a segmental element, of which the length relates to minimum anchorage length of the reinforcement. In the element of segment joint, only the continuous prestressed strand is considered; while in the element of segment, the common reinforcement is considered as well. As indicated by both testing and theoretical calculation, the flexural performance of the segmental beam with large eccentricity and that of monolithic beam are similar to each other, which depends chiefly on the external tendon; the externally prestressed segmental beams with large eccentricity can be analysed by the first method.

Keywords external tendon, prestress, nonlinear, large eccentricity, segmental beam