

20 m 跨径后张预应力混凝土 空心板梁变形的试验研究

70-73

邹毅松

徐向茜

TU378.203

(重庆交通学院桥梁系 400074)

(重庆建筑大学建筑工程学院 400045)

摘要 介绍了二十米跨径预应力混凝土空心板梁的荷载试验结果,并对该梁的裂缝开展及挠度发展等变形行为进行了分析研究。此外,通过该梁的非线性计算结果与实测结果的分析对比,对预应力混凝土空心板梁的非线性破坏规律进行了有益探索。

关键词 后张预应力混凝土空心板梁; 裂缝; 挠度; 试验研究

中图分类号 TU311

混凝土作为一种建筑材料问世以来,迄今已有一百多年的历史,而预应力钢筋是改进混凝土结构性能、提高工程结构质量的有效手段,大量的工程实践和试验研究对混凝土材料、钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的认识积累了丰富的经验。然而,钢筋混凝土是一种复杂的复合工程材料,它的力学行为和破坏规律尚需进一步探索,尤其预应力混凝土结构,预应力钢筋强度的不同对预应力混凝土的非线性破坏规律及承载力有明显的影 响。现行混凝土结构设计规范中有关非线性阶段的论述都是基于试验数据的经验关系之上的。预应力混凝土结构的非线性行为是由多种因素决定的,其中,混凝土梁的刚度与变形之间的非线性行为是它的一个重要方面。因此,对预应力混凝土梁的变形进行试验研究、进一步分析其破坏规律是十分必要的。

1 试验概况

正在修建的重庆(渝)-长寿(长)高等级公路上原设计有多处采用20米跨径先张预应力混凝土空心板(或箱形板)桥,因其预应力钢材-冷拉III、IV级钢筋采购困难以及施工工艺上的麻烦,特更改为以低松弛钢绞线为预应力钢筋的后张法预应力混凝土箱形梁。按重庆高等级公路建设指挥部的要求,重庆交通学院桥梁系对该足尺梁进行荷载试验,以考察预应力混凝土箱形梁的受力性能和变形行为。为此,拟定如下加载方案:

(1) 荷载位置和变形测点位置如图1所示。

(2) 对板作使用荷载的三次静力循环加卸载:

第一循环: $P = 0 \rightarrow 14.6 \rightarrow 29.2 \rightarrow 43.8 \rightarrow 58.4 \rightarrow 73 \rightarrow 0$ (kN)

第二循环: $P = 0 \rightarrow 14.6 \rightarrow 29.2 \rightarrow 43.8 \rightarrow 58.4 \rightarrow 73 \rightarrow 0$ (kN)

第三循环: $P = 0 \rightarrow 14.6 \rightarrow 29.2 \rightarrow 43.8 \rightarrow 58.4 \rightarrow 73 \rightarrow 86.7 \rightarrow 102 \rightarrow 117 \rightarrow 0$ (kN)

裂缝出现前每级荷载到位后持续5分钟测读挠度和应变,预计开裂荷载前缩小荷载级差直至裂缝出现,以便准确获得开裂荷载,这三次循环以考察箱形板梁在重复荷载作用下的一些行为。

(3) 为了考察该箱形板梁在破坏阶段的抗裂强度及裂缝发展情况,进行了破坏试验。

第四循环: $P = 0 \rightarrow 43.8 \rightarrow 73 \rightarrow 117 \rightarrow 137 \rightarrow 146 \rightarrow 167 \rightarrow 197 \rightarrow 227 \rightarrow 255 \rightarrow 0$ (kN)

第五循环: $P = 0 \rightarrow 50 \rightarrow 100 \rightarrow 157 \rightarrow 202 \rightarrow 209 \rightarrow 227 \rightarrow 255 \rightarrow 0$ (kN)

收稿日期:1999-03-01

邹毅松:男,1957年生,讲师

裂缝出现后每级荷载到位后持续 10 分钟测读挠度、应变及裂缝宽度, 预计开裂荷载前缩小荷载级差直至破坏, 以便准确获得破坏荷载。

2 试验过程中的变形描述

2.1 挠度发展过程

在对空心板梁进行的 0→使用荷载 (外加荷载 73 kN) 的两次静力循环加载试验中未发现有裂缝, $P = 73$ kN 时所对应的跨中挠度为 13 mm, 卸载后跨中有微小残余挠度 0.49 mm, 可表明荷载与挠度具有良好的线弹性关系; 在第三循环加载过程中, 当 $P = 110$ kN 时, 所对应的跨中挠度为 18 mm, 预应力空心板梁下缘混凝土开裂, 挠度发展速度有所加快, 继续加载至 $P = 117$ kN 时, 跨中挠度为 20 mm, 此后卸载到零, 裂缝完全闭合, 但跨中有残余挠度 1.02 mm, 较前两次循环加载卸载后的残余挠度有所增加, 这表现出预应力混凝土梁所特有的裂缝闭合性能; 当 $P = 197$ kN 时, 预应力空心板梁已处于严重的非线性阶段, 对应跨中挠度接近 40 mm。

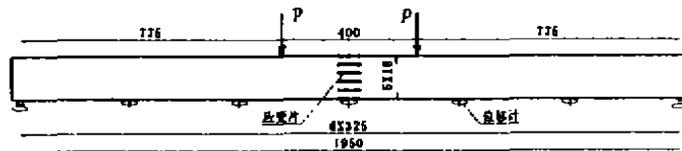


图 1 预应力空心板梁加载位置及测点布置图

2.2 裂缝发展过程

在前两次静力循环中均未发现有裂缝, 第三次静力循环从 $P = 102$ kN 到 $P = 117$ kN 的加载过程中, 当加载至 $P = 110$ kN 时, 听到梁内有响声出现, 这表明混凝土下缘开裂, 当 $P = 117$ kN 时, 在纯弯段发现 7 条裂缝, 最大裂缝宽度 0.12 mm, 最大缝高 22 cm, 梁的两侧面的裂缝高度和宽度大致相同, 但卸载为零后所有裂缝完全闭合。第四次循环加载至 $P = 73$ kN 时, 裂缝才重新张开, 最大缝宽 0.05 mm, 此后裂缝宽度和高度随着荷载的增加而增大; 荷载增大至 $P = 135$ kN 时出现一批新裂缝: 最大裂缝宽 0.18 mm, 最大缝高 45 cm, 其中部分裂缝发展成为弯剪斜裂缝, 此时, 裂缝分布趋于均匀, 裂缝间距约为 30 cm; 当荷载加至 $P = 167$ kN 时出现另一批新裂缝, 使裂缝平均间距减小为 20 cm, 此后随着荷载的增加, 已有裂缝的高度和宽度逐渐增大, 并不断有新裂缝出现, 至 $P = 255$ kN 时, 最大正裂缝宽 0.55 mm, 最大裂缝高度约 70 cm, 裂缝平均间距为 12 cm。

2.3 跨中截面的应变发展情况

前两次静力循环跨中截面各测点的应变随着荷载的增大而增大, 应变沿板高度成直线分布, 空心板梁全截面参加工作。加载至 $P = 73$ kN, 板上下缘的混凝土应变分别为 $-132\mu\epsilon$ 和 $130\mu\epsilon$, 卸载至零后, 各测点残余应变几乎为零, 表明荷载与应变之间的弹性关系。第三次静力加载至 $P = 102$ kN 时, 空心板下缘混凝土应变较前 6 级荷载发展快, 即应变速度明显加大, $P = 110$ kN 时空心板下缘混凝土开裂, 裂缝穿过的应变片受损, 但从空心板下面所遗留应变片的测试结果表明, 部分受拉区混凝土仍参与工作, 其应变较开裂前有明显减小, 而空心板上缘混凝土应变速率较开裂前有所增大, 这表明受压区混凝土已开始进入塑性范围, 当加载至 $P = 255$ kN 时, 空心板上缘混凝土应变已达 $1428\mu\epsilon$, 此时空心板已临近破坏。

3 试验结果分析

根据本次荷载试验情况, 对预应力混凝土空心板梁在各级荷载作用下的变形行为以及用非线性的混凝土应力应变关系进行计算的结果作比较分析如下。

3.1 预应力空心板梁在使用荷载下的裂缝和挠度

从上述试验结果可以看出,当荷载增加至 $P = 110 \text{ kN}$ 空心板梁下缘混凝土开裂,卸载后所有裂缝在板梁自重作用下完全闭合,再次加载至 $P = 73 \text{ kN}$ 时原有裂缝才重新张开,且裂缝宽度仅 0.05 mm ,这已充分表明,该预应力空心板梁具有良好的裂缝闭合性能。因此,可以认为,即使在偶然超载情况下空心板梁产生了裂缝,但待该超载移去后裂缝可以完全闭合,而在通常使用荷载下,空心板梁一定能保持全截面工作。

在各级循环荷载作用下,预应力空心板梁的跨中实测挠度 f_s 与计算跨中挠度 f_j 的比较见表 1、表 2 和表 3。在使用荷载阶段,计算跨中挠度按线弹性理论得到,混凝土弹性模量据实测资料推算得到 $E_c = 45\,000 \text{ MPa}$ 。

表 1 第一循环加载的跨中实测挠度与计算挠度的比较

$P(\text{kN})$	14.60	29.20	43.80	58.40	73.00
$f_s(\text{mm})$	2.60	5.21	7.81	10.42	13.02
$f_c(\text{mm})$	2.40	5.11	7.73	10.46	13.02
f_s/f_j	0.92	0.98	0.99	1.00	1.00

表 2 第二循环加载的跨中实测挠度与计算挠度的比较

$P(\text{kN})$	14.60	29.20	43.80	58.40	73.00
$f_s(\text{mm})$	2.60	5.21	7.81	10.42	13.02
$f_c(\text{mm})$	2.20	4.62	7.18	9.56	11.88
f_s/f_j	0.84	0.89	0.92	0.92	0.91

表 3 第三循环加载的跨中实测挠度与计算挠度的比较

$P(\text{kN})$	14.6	29.2	43.8	58.4	73.0	87.6	102.0	110.0
$f_s(\text{mm})$	2.60	5.21	7.81	10.42	13.02	15.62	18.19	19.62
$f_c(\text{mm})$	2.28	4.90	7.73	9.97	12.27	14.89	17.82	21.65
f_s/f_j	0.88	0.94	0.99	0.96	0.94	0.95	0.98	1.10

从表中挠度数据可见,在使用荷载作用下(相当于外荷载 $P = 73 \text{ kN}$),最大挠度仅为 13 mm ,远小于《公路桥涵设计规范》规定的容许挠度($L/600 = 32.5 \text{ mm}$),这证明该预应力空心板梁具有足够的抗弯刚度来保证正常使用荷载下的变形要求。

3.2 预应力空心板梁在带裂缝工作阶段的分析

在带裂缝工作阶段,挠度发展比较快,这是由于受拉区混凝土已退出工作,梁的有效截面减小,抗弯刚度降低所致。换言之,空心板梁混凝土的开裂,也就是荷载存储于板梁内部的应变能被释放,应变能释放的过程也就是混凝土微结构的损伤过程。在第三循环加载结束后,留下了 1.02 mm 的残余挠度,表明混凝土板梁内部损伤已经出现,但此时荷载与挠度的关系仍大致呈线性关系,挠度仍能较大幅度恢复。在第四、第五循环加载后期,随着裂缝的开展,空心板梁的抗弯刚度明显降低,板梁的挠度速率明显加快,这时板梁内部结构严重损伤,整个梁的变形处于严重非线性破坏阶段。从板梁破坏时最大挠度达 152 mm 表明,该梁的破坏属延性破坏。

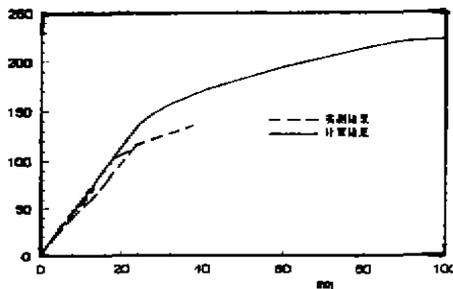


图 2 跨中截面荷载-挠度曲线

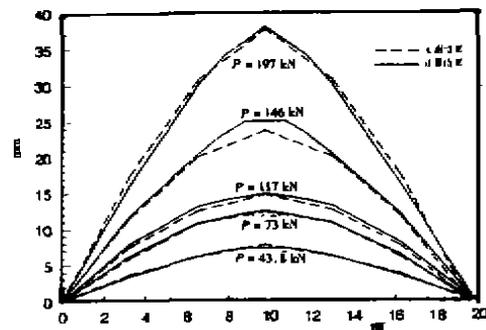


图 3 挠度沿梁长的变化曲线

3.3 预应力空心板梁的非线性分析

根据试验空心板梁的几何尺寸、混凝土标号、预应力钢筋及普通钢筋的数量,进行了预应力钢

筋混凝土的非线性计算分析,非线性计算中,受压区混凝土采用 Hognestad 的应力应变模型,受拉区混凝土采用线性断裂模型,而普通钢筋和预应力钢筋视为屈服极限不同的理想弹塑性材料。计算结果与试验结果的比较见图 2 及图 3 所示。

4 结 论

本文对预应力混凝土空心板梁的荷载试验结果进行了介绍,并对该梁的裂缝开展及挠度发展等变形行为进行了分析以及通过该梁的非线性计算结果与实测结果的分析对比,得出如下结论:

(1) 该预应力混凝土空心板梁在正常使用荷载作用下具有良好的弹性和足够的抗弯刚度,能够保证使用阶段的变形要求。

(2) 该试验梁具有足够的抗裂能力,在使用荷载作用下不会开裂,从而保证该梁具有良好的耐久性。

(3) 混合配筋的后张预应力箱形梁对裂缝的开展有较好的约束力,可减小同级荷载下的裂缝间距和裂缝宽度,使裂缝分布趋于均匀,克服了单一配筋的预应力混凝土梁的不足。

(4) 通过理论计算和实测结果的对比分析,探讨了板梁在静力循环荷载作用下内部损伤的发展和破坏规律。

(5) 根据本文的试验结果,尚可进一步对预应力混凝土板梁的变形破坏机理作探讨。

参 考 文 献

- 1 聂建国,沈聚敏. 钢筋混凝土梁长期斜裂缝宽度的试验研究. 建筑结构学报,1995,16(3):3~9
- 2 朱伯龙,董振祥. 钢筋混凝土非线性分析. 上海:同济大学出版社,1985:50~63

Test Study of Prestressed Concrete Hollow Slab Beam by Post – Tensioning with Twenty Meter Span

Zhou Yisong

(Department of Bridge and Structure, Chongqing Jiaotong Institute, 400074)

Xu Xiangqian

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

Abstract In this paper, the experimental results on a prestressed concrete hollow slab with twenty meter span were reported. The deformation behaviors of the hollow slab beam were analyzed. Besides, through the analysis and contrast of the theoretical results and measured ones, the nonlinear deformation and failure behaviors on the hollow slab beam were discussed.

Key Words prestressed concrete hollow slab beam by Post – tensioning; cracking; deflection; test study