

文章编号: 1002-0268(2006)04-0037-04

微弯板的模型试验研究

张娟秀, 叶见曙, 钱培舒, 姚伟发

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 模型试验是研究结构受力性能的有效方法。本文对在车轮荷载作用下, 两种不同边界条件的微弯板进行模型试验研究, 探讨不同边界条件下微弯板的受力性能。试验结果表明, 有无侧向约束是影响微弯板受力性能的重要因素之一; 在旧桥微弯板板底中尽管存有一些开裂现象, 但仍可继续使用。

关键词: 拱桥; 微弯板; 模型试验

中图分类号: U448.22

文献标识码: A

Model Test on Slab with Slightly Curved Bottom

ZHANG Juan-xiu, YE Jian-shu, QIAN Pei-shu, YAO Wei-fa

(Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Model testing is an effective method for understanding the behavior and fundamental characteristics of a slab with slightly curved bottom. The two model slabs bearing wheel load under different boundary conditions were tested, in order to investigate the behavior of the slabs under different boundary conditions. The results show that lateral restriction is one of the most important factors for the behavior of a slab with slightly curved bottom, and the cracking slab could be in service.

Key words: arch bridges; slabs with slightly curved bottom; model tests

钢筋混凝土微弯板具有制作简单、用钢量省、承载潜力较大的优点, 因而在刚架拱桥、桁架拱桥中常用作桥面板。

钢筋混凝土微弯板是一种在竖向荷载作用下支承处有水平推力的板。由于拱的作用, 使得它有较大的承载力。近年来, 对于刚架拱和桁架拱的调查中, 发现微弯板的开裂成为主要病害, 甚至还出现了板断裂的情况。

在过去的几十年中, 对微弯板的研究资料很少, 已有的试验研究仅限于加载单板的试验研究, 同时, 旧桥技术改造中面临着微弯板开裂后对使用性能和承载能力的影响问题, 在这一方面仅靠已有的设计计算近似方法是难以判断的, 因为这种近似方法可以从设计上偏安全控制承载力的计算, 但无法判定

微弯板的开裂对使用的结构影响问题。

为了研究在车轮荷载作用下, 钢筋混凝土微弯板开裂后以及边界条件改变条件下微弯板实际工作状态, 进行了微弯板的模型试验研究。

1 模型试验

1.1 微弯板模型

依据《钢筋混凝土桁架拱桥标准图》^[3] 中的混凝土微弯板按 1/2 进行缩尺 (图 1), 设计的模型微弯板的跨径为 1 415 mm, 板宽 1 245 mm, 板跨中截面高 80 mm, 支承截面高 180 mm, 板端肋厚 55 mm。

模型微弯板采用 C25 混凝土, 由 325 级普通硅酸盐水泥、砂及粒径 2~10 mm 的小石子配制。通过

收稿日期: 2005-12-01

基金项目: 西部交通建设科技项目 (200131822358)

作者简介: 张娟秀 (1973-), 女, 江苏滨海人, 博士研究生, 主要从事桥梁结构耐久性研究. (zjxse@163.com)

试拌定出了模型混凝土配合比：水泥 砂 石 水=1 1.35 2.50 0.465。实测混凝土立方体抗压强度为 28 MPa，弹性模量为 2.5×10^4 MPa。钢筋采用 Ⅱ 级，直径为 6 mm。

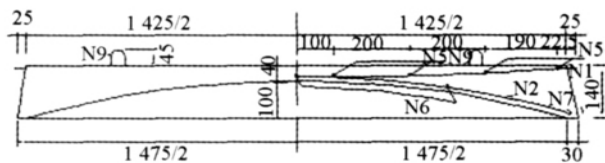


图 1 试验微弯板的构造与配筋图 / mm

Fig.1 The structure and reinforcement arrangement drawing of test slab with slightly curved bottom

1.2 试验方案

试验共制作 3 块截面尺寸、配筋相同的微弯板模型，编为 1 号、2 号、3 号板。在养护模型微弯板时砌筑支承结构，该结构具有 4 块板位，即 1、2、3 号板位和预留板位（图 2a）。待模型混凝土达到设计强度后将微弯板模型试件吊至支承结构，板就位后，将板与板在接头处预留钢筋（N9）焊接，在板与板之间沟槽中浇筑砂浆，使板与板结合好。按以下 2 种情况分别实施试验：

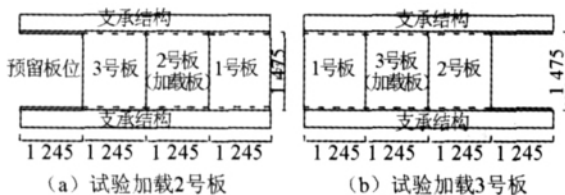


图 2 试验板位示意图 / mm

Fig.2 Sketch map of slab location

(1) 如图 2a 所示，将 2 号板的预留钢筋和支承结构的相应位置预留钢筋焊接，在其板边与支承结构之间沟槽中浇筑砂浆（图 3a），使 2 号板与支承结构结合好。试验加载 2 号板。

2 号板的边界条件为：与 1、3 号板的连接方式同实际桥梁中微弯板与微弯板的连接，与支承结构完全连接，不发生水平侧移，以模拟实际桥梁中微弯板与拱片混凝土良好结合。

试验中，加载点在 2 号板上，但 2 号板与 1 号、3 号板有良好连接，不形成 2 号板单独受力。

(2) 切开 1、2 号板之间的连接，将 1 号板吊至预留板位，并与 3 号板连接，则 3 号板相邻于 1、2 号板之间（图 2b）。试验加载 3 号板。

3 号板的边界条件为：与 1、2 号板的连接方式同实际桥梁中微弯板与微弯板的连接。微弯板简支在支承结构上，且 3 号板与支承结构之间有间隙（图 3b），以允许微弯板有水平位移发生。

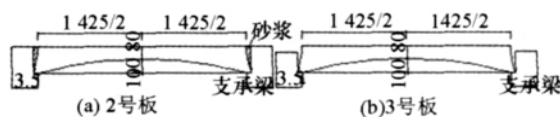


图 3 微弯板试验边界条件示意图 / mm

Fig.4 Sketch map of critical condition of test on slab with slightly curved bottom

这种加载试验下，3 号板也不是单独受力。

钢筋混凝土微弯板模型试验在东南大学道桥试验室进行，图 4 为试验现场图。



图 4 试验照片

Fig.4 Test photo

1.3 应变片和挠度计布置

试验时，主要观测各级荷载作用下各测点挠度、支承边中心点水平侧移、应变及其变化规律、裂缝开展、开裂荷载值、破坏荷载值。在 2 号板底中心点、四分点安装位移计，测挠度。除了在 3 号板底中心点、四分点安装位移计测挠度外，在支承边中心点安装位移计，测 3 号板支承边水平位移。位移测点布置如图 5a、b 所示。试验 2 种工况应变测点布置在板顶和板底中心点、四分点、八分点、周边（图 6）。在图 5 和图 6 中，○ 符号表示板挠度的测点，⊗ 表示板水平位移的测点，● 表示板顶和板底的应变片。

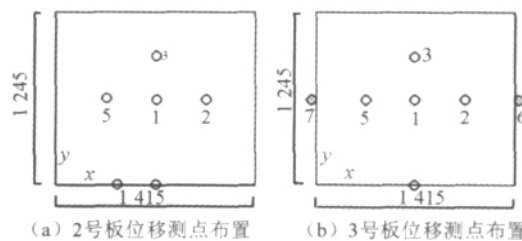


图 5 测点布置图 / mm

Fig.5 Arrangement of test point

1.4 加载方式

在试验构件上，模拟车轮荷载作用下，通过量测与微弯板工作性能有关的各种参数（挠度、应变等）分析参数发展变化规律，从强度、刚度、抗裂性等来研究混凝土微弯板实际工作性能，估计微弯板承载力，确定微弯板对使用要求的符合程度。

试验模拟汽车轮载（局部均布荷载），用千斤顶

单点加载，在加载板下垫细砂层，使荷载均匀传递。加载位置（图 6 中 120 mm×320 mm 载位区）选在微弯板最不利加载位置，即板中心位置。

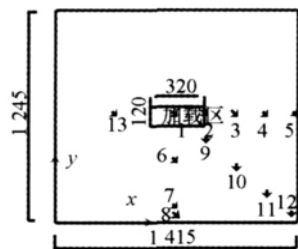


图 6 试验应变测点布置/mm
Fig.6 Arrangement of strain point

考虑到观察、测读仪表和分析数据的需要，常采用分级加载的方法对结构施加荷载，每级荷载值约为 10%~20% 的标准荷载（结构承受标准荷载是结构的工作状态）。在临近开裂和破坏前，可取 5% 的标准荷载或更小的荷载值作为一级荷载值，以便准确确定开裂和破坏荷载值。试验在加载位置上以较小的增量 1.5 kN 逐级加载至控制截面出现裂缝，然后以较大增量（5 kN）继续加载直至破坏，邻近破坏时以较小增量（2 kN）加载，测得微弯板的初裂荷载和破坏荷载以及其在加载过程中的各参数数据。

2 试验结果与分析

2.1 挠度结果及分析

图 7 为试验得出的微弯板荷载-挠度曲线，在 35 kN 和 40 kN 荷载作用下，2 号板底中心点挠度分别为 0.420 mm 和 0.537 mm，3 号板底中心点挠度为 0.510 mm 和 0.660 mm。表明在同级荷载作用下，3 号板（支承边有侧移）的挠度比 2 号板（支承边无侧移）大，且相同荷载增量（ ΔP ）时，3 号板挠度增量 $\Delta\delta$ 比 2 号板挠度增量要大。

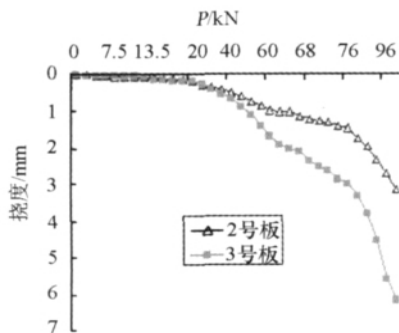


图 7 荷载-板中心点挠度图
Fig.7 Load-deflection of central point of slab

在微弯板中心处作用模拟轮载时，试验得出的板的挠度曲面如图 8 所示，从图中可以看出，2 号板和

3 号板的挠度沿长边方向的衰减都比短边方向快。

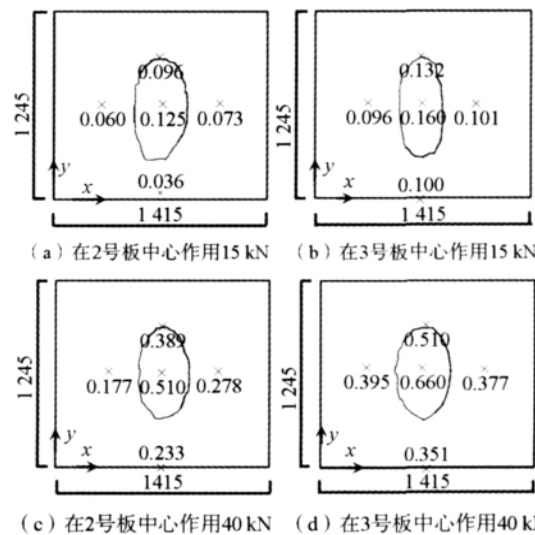


图 8 模拟轮载作用下板挠度曲面图/mm

Fig.8 Curved surface diagram under simulation wheel load

2.2 侧移实测结果

在模拟轮载作用下，微弯板在点位 6 和 7 发生的侧移值在理论上应该数值相等，方向相反，且随着荷载的增大而增大。试验得出的 3 号板发生在测点 6 和 7 的侧移值见表 1，实测结果与理论结果规律较为吻合。表 1 中点位见测点布置图 5（b）。

表 1 3 号板在测点 6、7 的侧移值表/mm

Tab.1 Swag table at 6、7 point of 3rd slab

点位	荷载/kN				
	10.5	20	30	35	45
6	-0.025	-0.056	-0.098	-0.127	-0.216
7	0.020	0.046	0.084	0.105	0.204

2.3 裂缝图

1) 2 号板

在 2 号板加载过程中，首先在微弯板板底中心处出现裂缝（图 9a），随着荷载的增加，裂缝由板中心向外发展，且呈网状，其中有四条主裂缝一直延伸到板边（图 9b）。

2) 3 号板

在 3 号板加载过程中，首先也是在微弯板板底中心处出现裂缝（图 9a），与 2 号板裂缝很相似。随着荷载的增加，裂缝由板中心向外发展，且呈网状，其中有两主裂缝一直延伸到板边（图 9c）。3 号板在对称的荷载作用下，出现图 9（d）所示的非对称裂缝图，原因可能是在试验过程中微弯板的某些预留钢筋受到与之对应的支承梁的预留钢筋的约束，或在支承边与支承梁预留空隙

中某些部位发生堵塞，使微弯板支承边产生不对称侧向约束所致。

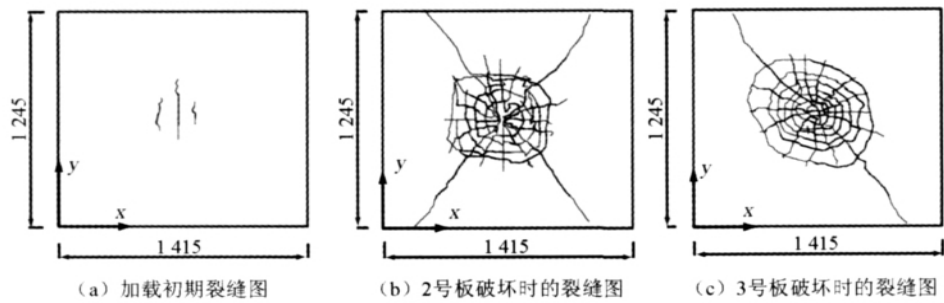


图 9 裂缝图 /mm
Fig.9 Crack diagram

2.4 应变结果及分析

试验得出微弯板中心点荷载-应变曲线见图 10, 实测结果显示, 在弹性工作阶段其荷载-应变曲线近似为直线; 微弯板的应变随荷载 P 的增大而增大; 在同级荷载作用下, 同测点, 3 号板的应变值比 2 号板的应变值大, 3 号板的应变增量比 2 号板的应变增量大, 且随荷载增大, 其增量值也增大。

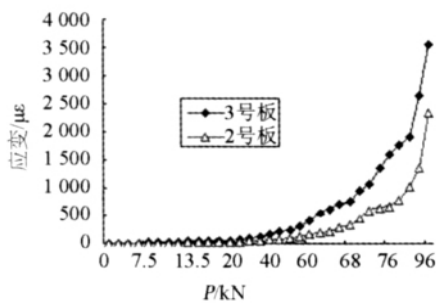


图 10 荷载-板底中心点拉应变 (ϵ_x) 图
Fig.10 Curve of load-tension strain of central point of slab bottom

试验得出微弯板的开裂荷载和破坏荷载见表 2。由表 2 可见, 3 号板的开裂荷载和破坏荷载均小于 2 号板。无论是 2 号板还是 3 号板, 其初始开裂荷载约为板破坏荷载的 1/3。

表 2 微弯板的开裂荷载和破坏荷载表

Tab.2 Cracked load and failure load table of slabs with slightly curved bottom

板号	开裂荷载/kN	破坏荷载/kN
2号板	15	65
3号板	12	45

3 结 论

1) 钢筋混凝土微弯板的开裂并不意味着微弯板的破坏。模型试验结果表明, 微弯板的破坏荷载约为开裂荷载 4 倍左右。在旧桥微弯板板底中尽管存有一些沿纵桥向的裂缝, 仍可继续使用, 但如果微弯板板底裂缝表现为网状, 并且有主要的裂缝向板角发展时, 则不能继续使用。

2) 微弯板的受力性能与其边界条件有关, 有侧向约束微弯板的承载力比无侧向约束微弯板的承载力提高了约 40%。因此, 工程上如使微弯板与拱片牢固的结合, 有利于提高微弯板的承载力。另外, 在旧桥检查时, 若发生有微弯板裂缝, 应进一步检查拱片的横向刚度和微弯板坐浆良好程度。

参考文献:

[1] 曾威, 等. 新型公路桥面板—钢筋混凝土肋腋板的性能及应用 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
[2] 俞同华, 林长川, 郑信光. 钢筋混凝土桁架拱桥 (第二版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1984.
[3] JT/GQS0-1980, 公路桥涵设计图 [S].
[4] 顾安邦, 孙国柱. 公路桥涵设计手册 (拱桥)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
[5] 张娟秀. 桥面微弯板结构的承载力研究 [D]. 南京: 河海大学硕士学位论文, 2004.
[6] 王炳明. 建筑结构试验[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.