

# 连续钢筋混凝土叠合板性能的研究\*

卫 军 荆建梅 聂建国 郭乐工\*\*

(郑州工学院土建系)

**摘 要:** 本文介绍了三块钢筋混凝土连续叠合板的试验研究结果。这种叠合板是在预制普通混凝土板上现浇混凝土制成的。试验结果表明, 对新、旧混凝土的界面采用拉毛处理之后, 界面具有足够的抗剪强度, 板不会由此产生破坏。所以, 这种板完全可以依照普通钢筋混凝土板进行设计, 并具有较好的工作性能以及足够的强度和延性。本文在讨论分析试验结果的基础上, 提出了此类板的实用支座弯矩调幅系数。

**关键词:** 连续叠合板, 性能

在结构工程和高层建筑中叠合板是一种广泛应用的构件。它由预制钢筋砼板上现浇一层砼构成。这种结构的板具有施工速度快、抗弯刚度大和节省模板等优点。常见的叠合板有预应力钢筋混凝土叠合板和双钢筋叠合板等。这种形式的叠合板, 因预制部分抗弯刚度大, 所以现浇部分的厚度与预制部分相比要厚的多。然而, 由于工地施工条件的限制, 在有些工程中, 上述叠合板并不能使用, 而不得不采用另一种形式的叠合板。这种板的预制部分是普通钢筋混凝土板, 为保证具有足够的抗弯刚度, 它差不多与现浇部分等厚。

由于常见的钢筋混凝土叠合板的预制部分较薄, 所以叠合板的强度主要由后浇部分决定, 而预制部分对板整体强度的作用在设计中可忽略不计。但对于本课题所研究的叠合板, 因预制部分较厚, 故此部分对板的作用必须进行考虑。且该板也必然具有一些特殊性。

结合一项实际工程, 对这种形式的叠合板进行了一系列试验研究。其中包括简支叠合板和两跨连续叠合板(等跨)。在简支叠合板的试验研究中, 着重研究了叠合面对板整体性能的影响以及板的极限抗弯强度(见“简支叠合板的试验研究报告”)。本文则主要研究连续叠合板的极限工作状态、内力重分布过程以及支座截面的弯矩调幅系数。

## 1 试验过程

**1.1 试件** 选取三个构件进行试验工作, 以弄清连续叠合板的性质。

\* 收稿日期: 1988.10.13

\*\* 参加实验工作的还有范立群工程师, 王聚厚同志及结构实验室的部分同志。

根据简支板的试验结果, 只要对叠合面进行拉毛处理, 叠合板就具有较好的共同工作性能。所以, 三块连续板均由上表面经拉毛处理的 70mm 厚的钢筋混凝土预制板和 80mm 厚的混凝土现浇层构成。板宽度均为 700mm。为保险起见, 叠合面处还特意设置一排抗剪钢筋 (图 1)。为了模拟板的实际支承情况, 板支承在三段上翼缘焊有栓钉的短工字钢梁。三个构件的代号为 CCS1、CCS2 和 CCS3。试件的配筋及尺寸见图 2。

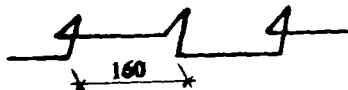


图 1

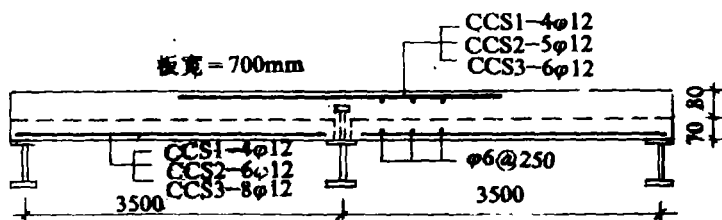
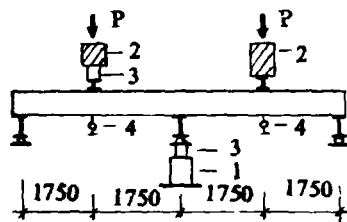


图 2



1-螺旋千斤顶; 2-同步液压千斤顶;  
3-荷载传感器; 4-千分表

图 3

1.2 试验过程 试件采用两点对称加载, 载荷由一台 200KN 同步液压千斤顶施加。为了确定板的实际内力, 特意安装了两个 500KN 的荷载传感器, 一个与液压千斤顶装在一起测定载荷值。另一个装在跨中支座处测定其实际反力 (图 3)。连续板的中间支座支承在一个螺旋千斤顶之上, 支座高度可通过升降千斤顶来调整。

混凝土和钢筋的应变分别采用  $80 \times 5\text{mm}$  和  $10 \times 3\text{mm}$  电阻应变片测定, 其变化结果由数据采集器 7V-13 自动接受和处理打印。板的挠度采用千分表量测。应变片及千分表的设置情况也见图 2。

为了消除试验中支座不均匀沉降对试件内力的影响。在混凝土开裂之前, 板受荷后的支座反力值应符合弹性计算结果, 否则需调整中间支座的高度使其符合。此所谓“静力调平”。混凝土开裂之后, 我们藉调整中间支座使三个支座保证静力调平时的相对位置保持不变。此则谓“几何调平”。无论是哪种支座调平, 都必须待调整完毕后才能测量结果。

## 2 试验结果

### 2.1 叠合板的裂缝和挠度

随着作用在板上的载荷增加, 板的第一条裂缝出现在中间支座的上表面, 并沿板的高度向下发展。由此, 随载荷的继续增加, 同一区域内不断出现新的裂缝。与此同时, 支座截面开裂后跨中变形加剧, 这意味着该区段应力增大。一旦达到混凝土抗拉极限, 将在板下缘产生裂缝。随载荷增加, 它们将沿板厚向上发展。在此期间, 支座处裂缝宽度增加迅速, 最终形成最宽的裂缝。试验结果表明, 当最大裂缝达到  $0.3\text{mm}$  (“钢筋混凝土结构设计规范(TJ10-74)”规定的最大值) 时的载荷低于极限载荷的 70%。具体试验结果见表 1。

典型的  $P/P_u-\varepsilon$  曲线如图 4 表明, 支座混凝土开裂之前, 挠度与荷载基本呈线性关系。混凝土开裂后, 特别是支座截面处的钢筋屈服后, 板的挠度急剧增加。  $P/P_u-\varepsilon$  相对关系曲线开始弯曲, 直至最后形成破坏机构。这说明叠合板具有较好的延性。

2.2 截面应变变化

混凝土开裂之前, 任何截面的应变发展都很缓慢, 应变与荷载基本成线性比例。当混凝土第一条裂缝出现之后, 中间支座截面的钢筋应变变化加剧见图 5a。这表明板开始产生内力重分布; 即跨中截面的实际弯矩开始大于弹性计算弯矩。当跨中截面开裂之后, 其中的钢筋应变变化也同样加快。最后, 中间支座截面的钢筋首先屈服; 此时其应变发展几乎与图 5a 中的应变轴平行。这些现象说明在叠合板内部有很明显的内力重分布过程。

中间支座截面混凝土应变的变化表明, 随荷载不断增加, 叠合板的中和轴逐渐下降见图 5b。当钢筋屈服以后, 该处最大裂缝宽度达到 0.7~1.0mm。由此可知, 这种钢筋混凝土连续叠合板具有与普通钢筋混凝土连续板类似的工作性能。

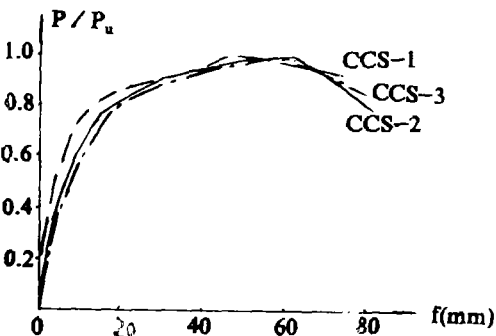


图 4

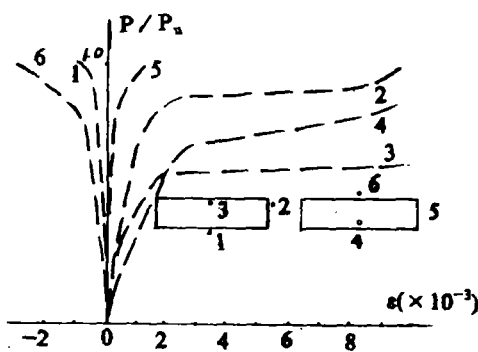


图 5a

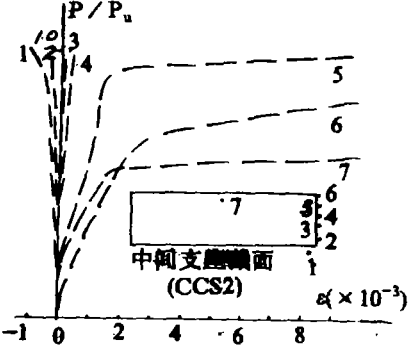


图 5b

主要的试验结果列于表 1。

表 1

编号	$A_r$ ( $\text{cm}^2$ )	$A'_r$ ( $\text{cm}^2$ )	$f_r$ (MPa)	$f_{cu}$ (MPa)		$P_c$ (KN)		$P_{cm}$ (KN)	$P_{fm}$ (KN)	$P_u$ (KN)	$\alpha$ (%)	$P_{0.3}$ (KN)	$1.4P_{cm}$ (KN)	$1.4P_{fm}$ (KN)
				预制板	现浇板	支座	跨中							
CCS1	4.52	4.52	410	23	25	8	12	32.5	38	46.5	31	45.8	45.5	53.2
CCS2	6.78	5.65	410	30	28	8	16	40	53.5	70	37	57.5	56	74.9
CCS3	9.04	6.78	410	22	30	12	16	46	60	83	42	61	64.4	84

注: 1.  $A_r$ ,  $A'_r$  分别代表跨中截面和中间支座截面的钢筋面积。  
2.  $f_r$ ,  $f_{cu}$  和  $\alpha$  分别代表钢筋强度, 混凝土立方体强度和  $P=P_u$  时的中间支座弯矩调幅系数。  $P_{0.3}$  代表  $\alpha=30\%$  时板承受的荷载。

3.  $P_c$ ,  $P_{cm}$ ,  $P_{fm}$ 和 $P_u$ 分别代表板的开裂载荷, 最大裂缝宽度为0.3mm时的载荷, 最大挠度为 $L/250$ 时的载荷以及板的极限载荷。

### 3 讨 论

由试验结果知道, 三块连续钢筋混凝土叠合板的叠合面均未破坏, 其破坏形态都属弯曲破坏。塑性铰首先出现在中间支座截面, 然后跨中截面也形成塑性铰。当三个塑性铰形成之后, 叠合板成为破坏机构。这些现象表明, 我们可以采用与普通混凝土结构同样的方法来分析连续叠合板。

根据实验测量, 有理由假定, 由同步液压千斤顶所施加的载荷以及两端支座的反力都相等。所以, 边支座的实际反力  $R_{st}$  可由下式算出:

$$R_{st} = P - R_{mt} / 2 \quad (1)$$

式中  $P$  和  $R_{mt}$  分别为实测的载荷和中间支座的反力。

令  $L$  代表连续板每跨的跨度。跨中截面的实际弯矩  $M_{mt}$  为:

$$M_{mt} = \frac{1}{2} R_{st} L = \frac{L}{2} (P - R_{mt} / 2) \quad (2)$$

$$\text{以及中间支座截面的实际弯矩 } M_{st} \text{ 为: } M_{st} = \frac{PL}{2} - R_{st} L = \frac{L}{2} (R_{mt} - P) \quad (3)$$

根据弹性理论, 可以算出跨中截面弯矩  $M_{sc}$  和中间支座截面弯矩  $M_{mc}$  为:

$$M_{sc} = \frac{3}{16} PL \quad (4)$$

$$M_{mc} = \frac{5}{32} PL \quad (5)$$

从钢筋混凝土理论知, 中间支座截面的极限抗弯强度  $M_u$  为:

$$M_u = A_r' f_r (h_0 - \frac{A_r' f_r}{2b f_{cm}}) \quad (6)$$

在此,  $h_0$  和  $b$  分别为板的有效高度和板宽。

$$\text{以及跨中截面的极限弯矩 } M_m \text{ 为: } M_m = A_r f_r (h_0 - \frac{A_r f_r}{2b f_{cm}}) \quad (7)$$

表 2 列出了根据试验数据采用(1)~(7)式的计算结果。

表 2

编 号	$P_u$ (KN)	$R_{mt}$ (KN)	$M_{st}$ (KN·m)	$M_{sc}$ (KN·m)	$\alpha$ (%)	$M_{mt}$ (KN·m)	$M_{mc}$ (KN·m)	$\alpha'$ (%)	$M_m$ (KN·m)	$M_u$ (KN·m)
CCS1	46.5	58.5	21	30.5	31	30.1	25.4	-18	23	23
CCS2	70	86.8	28.9	45.9	37	46.5	38.2	-21	28.8	34.2
CCS3	83	101	31.5	54.4	42	56.8	45.3	-25	33.6	44.9

注:  $\alpha'$ 表示  $(M_{mc}-M_{mt}) / M_{mc}$  之值。

显然, 在中间支座截面, 实测弯矩与设计弯矩非常接近; 在跨中截面, 实测弯矩则大于设计弯矩。究其原因, 当  $P$  接近  $P_u$  时, 跨中截面的钢筋应力已超过屈服强度, 钢筋已进入强化阶段 (钢筋实测极限应力为 606MPa, 而屈服强度仅为 410MPa)。这表明在实际工程应用中, 设计结果是安全的。

事实上, 一旦混凝土开裂, 板内就开始内力重分布。然而, 内力重分布的快慢取决于中间支座截面的设计抗弯强度。在钢筋屈服之前, 该截面具有足够的能力承受载荷, 板的内力重分布速度较慢。这就是说, 中间支座截面的钢筋量可以控制内力重分布的速度。钢筋量越大, 板的内力重分布过程就越慢,  $\alpha$  就越大。试验结果证实了这点见表 2。毫无疑问, 在实际工程中, 可藉在中间支座截面配置适量的钢筋来选择适宜的  $\alpha$ 。

同时, 混凝土叠合板的最大裂缝宽度和最大挠度亦应限制。由表 1 可见, 当  $\alpha$  等于 30% 时, 相应载荷的大小近似等于最大裂缝宽度开展至 0.3mm 时荷载的 1.4 (1.4 为安全系数) 倍; 但低于挠度等于  $L/250$  时的载荷的 1.4 倍。这表明, 在这种板中是最大裂缝而不是最大挠度控制设计。显然, 选  $\alpha$  等于 30% 时, 可满足连续混凝土叠合板的一切使用要求。

## 4 结 论

4.1 试验表明, 若连续叠合板的叠合面经拉毛处理, 板的正截面强度与同尺寸的普通混凝土板相比不会降低。所以这种板可以参照普通混凝土板设计方法进行设计。

4.2 连续混凝土叠合板具有良好的延性, 在载荷作用下具有明显的内力重分布过程。

4.3 试验结果表明, 当中间支座截面的弯矩调幅系数等于 30% 时, 无论是板的最大裂缝还是最大挠度均满足“钢筋混凝土结构设计规范(TJ10-74)”中的有关规定。但为安全起见, 建议在工程实际设计中, 弯矩调幅系数不应大于 25%。

## 参 考 文 献

(1) 钢筋混凝土结构设计规范(TJ10-74). 中国建筑工业出版社, 1974

(2) R.Park. Reinforced Concrete Slabs. New York. Wiley, 1980

## **A Research on the Continuous Reinforced Concrete Slab Composed of A Precast Slab and A Layer of Post-Placed Concrete**

**Wei Jun    Jing Jianmei    Nie Jiangguo    Guo Legong**  
(ZhengZhou Institute of Technology)

**Abstract:** The main experimental results of three two-span continuous reinforced combined slabs, formed by placing a layer of post-placed concrete on the common precast concrete slabs, were reported in the paper. Test results showed—that, if the interface of concrete was made to be man-made rough, the interface could have adequate shear resistance and the combined slabs couldn't be damaged from there, the slab could be designed by referring to the common reinforced concrete slabs. It also shown that this type of slab had well behavior in service and its properties were well in flexural strength and in ductility. A flexural moment adjusting coefficient to be fitting for this slabs in practical use was discussed in detail and suggested, on the basis of experimental research.

**Keywords:** research, continuous reinforced concrete slab