

密拼叠合板接缝构造与抗弯受力性能试验研究

何庆锋, 杨凯华

(湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410000)

摘要: 双向叠合板的拼缝性能是保持其整体性的关键。根据整体式拼缝构造优点, 文章对原密拼拼缝叠合板进行了一定的改进, 并对采用马镫钢筋作为抗剪拉结钢筋的该种密拼叠合板拼缝变化前后的受力性能进行了试验研究。通过四块简支板的静力加载试验, 对规范密拼拼缝形式下的叠合板、改进后密拼拼缝叠合板的荷载-挠度曲线、承载力、变形以及拼缝性能等进行了分析, 并研究了其裂缝成因、拼缝处受力机理以及开裂荷载的计算。试验表明: 规范分离式拼缝叠合板易产生沿着叠合面的撕裂破坏, 其附加钢筋容易发生局部滑移或者锚固失效; 构件屈服荷载受附加钢筋的粘结滑移影响有一定的降低, 其破坏形态接近两折线形; 改进后的密拼拼缝叠合板其密拼钢筋的粘结滑移行为有较大改善, 其屈服荷载基本达到其设计值, 破坏形态以及变形曲线较原有密拼板丰满。

关键词: 钢筋混凝土叠合板; 密拼连接; 马镫钢筋; 拼缝受力机理

中图分类号: TU375.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)05-0684-09

Study on the joint structure and bending resistance of composite slab connected without gap

HE Qingfeng, YANG Kaihua

(School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410000, China)

Abstract: The joint performance of the two-way composite slab is the key to the maintenance of its integrity. In this paper, the original close jointed composite slab is improved by combining the advantages of integral jointed structure and the mechanical properties of this kind of composite slab with stirrup reinforcement as shear tie reinforcement before and after the change of joint are studied. Through static loading test of four simply supported plates, the load deflection curve, bearing capacity, deformation and joint performance of the original composite slab and the improved composite slab are analyzed, and the causes of the cracks, the stress mechanism at the joints and the calculation of the cracking load are studied. Test results show that the standard split joint composite plate is easy to tear along the composite plane, and its additional reinforcement is easy to slip or cause anchor failure. The yield load of the specimen is affected by the bond slip of the additional reinforcement, and its failure mode is close to two fold linear. The bond slip behavior of additional reinforcement of the improved slab is improved greatly; its yield load basically reaches its design value; and its failure deflection is fuller than that of the original slab.

Key words: reinforced concrete composite slab; connected without gap; stirrup reinforcement; stress mechanism of joint

双向叠合板在工程应用中一般采用预制底板进行拼接形成^[1], 拼缝形式主要有整体式拼缝和分离式拼缝, 整体式拼缝凭借其承载能力等同现浇、可靠性能高的优点, 在实际工程中被广泛应用^[2], 但其同样存在施工复杂、工业化生产效率低的缺点; 相比来说, 分离式拼缝构造简单、施工简便、拼装效率高, 但由于附加钢筋直接平铺在预制底板上, 其承载力较低, 因而多用于单向板非受力方向拼接。但相关规范亦指出, 在叠合层厚度、承载能力等满足条件的情况下, 分离式拼缝可代

替整体式拼缝, 用于双向板的拼缝连接^[3]。结合两者的优缺点, 从工业化生产考虑, 分离式拼缝相比整体式拼缝更有优势, 但是采用分离式拼缝的双向板受力性能以及构造要求, 仍然需要对其进行深入研究^[1]。

近年来, 国内许多学者已经对密拼叠合板进行了相关试验研究, 并取得了一定进展。侯和涛^[4]对拼缝密拼钢筋锚固性能进行了研究, 并根据其试验结果拟合了其锚固长度的计算公式; 刘运林^[5-6]、叶献国^[7]对该种叠合板的拼缝破坏形

式、传力性能、承载能力进行了相关的试验, 试验结果表明叠合板中桁架能够避免构件屈服后拼缝处发生脆性破坏并抑制拼缝处的裂缝发展, 拼缝处的承载能力相较现浇结构下降 10 % 左右; 余勇涛等[1]研究了桁架叠合板中桁架布置、拼缝间距、密拼钢筋锚固长度以及叠合板厚度对拼缝板的影响, 给出了该种叠合板的桁架布置、裂缝宽度计算、附加钢筋锚固长度建议值; 崔士起[8]等对密拼叠合板中拼缝数目、位置对于叠合板抗弯刚度的影响进行了研究, 拟合了拼缝板的拼缝位置、数目与构件刚度的关系式; 颜峰[9]、吴方伯[10]则对采用密拼缝的双向板的双向承载能力进行了试验研究. 众多学者的研究结果显示绝大多数采用密拼缝的双向叠合板, 由于密拼缝对拼缝方向承载力的削弱, 会导致其双向受力性能减弱, 使得其受力性能介于单向板与双向板之间. 因此, 改善密拼缝受力性能, 对于推广密拼缝双向叠合板使用、推动建筑工业化有着重要意义.

为此, 本文结合整体式拼缝构造[10]中斜向钢筋, 对密拼缝进行了改进, 在板端设置斜向锚固钢筋. 同时为提高叠合板底板的装配、生产效率、降低生产成本并推动建筑工业化生产, 拟采用马镫钢筋替代桁架钢筋, 并对拼缝附近马镫筋间距、拼缝变化前后的承载能力以及破坏形态进行了研究.

1 试验概况

1.1 试件设计

为研究拼缝构造以及马镫布置对拼缝叠合板抗弯性能的影响, 依据相关规程设计并制作了四块带分离式拼缝的钢筋混凝土叠合板, 拉结钢筋采用马镫钢筋. 试件变换了马镫钢筋距离拼缝的距离、拼缝形式、叠合层厚度这三个参数. 试件预制底板的马镫筋布置、配筋以及具体尺寸如图 1 所示. 试件 YB1-2 为规范密拼缝板, YB3-4 为改进板; YB1-3 叠合层厚度为 130 mm, YB4 为 80 mm. 拼缝以叠合层截面进行附加钢筋的配筋计算, 其锚固长度参考相关规范取为 $1.2l_a^{[11]}$, 拼缝配筋以及构造如图 2 所示. 试件所用钢筋及混凝土的力学性能指标如表 1 所示.

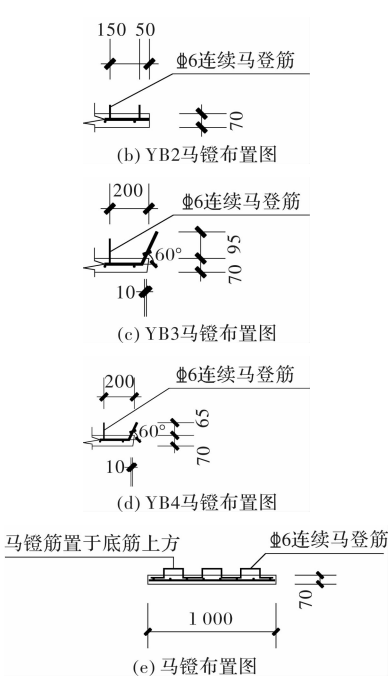
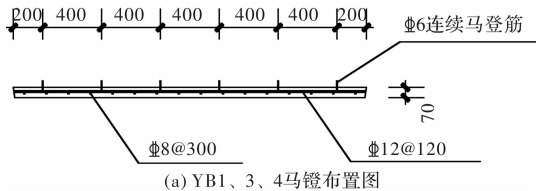


图 1 试件 YB1-4 详图 (单位: mm)
Fig. 1 Details of the YB1-YB4 specimens (unit: mm)

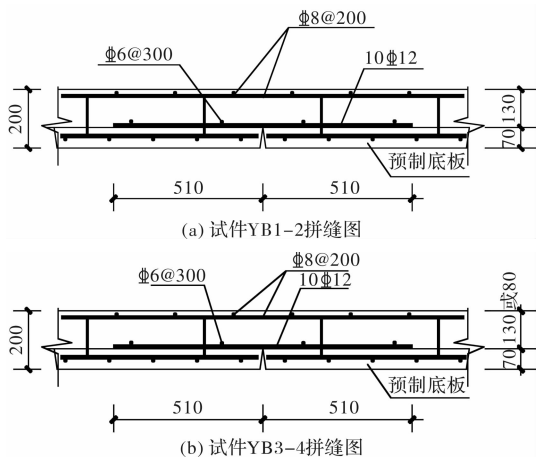


图 2 拼缝构造详图 (单位: mm)
Fig. 2 Details of the joint (unit: mm)

表 1 材性力学性能

Tab. 1 Properties of material			
钢筋直径	C6	C8	C12
钢筋抗拉屈服强度/MPa	476.3	473.8	488.5
钢筋抗拉极限强度/MPa	670.2	664.5	648.9
断后伸长率/%	δ ₅	20.1	26.3
	δ ₁₀	17.8	19.2
混凝土立方体抗压强度/MPa	预制底板		42.1
	现浇层		31.3

1.2 试验方案

试验采用两点加载, 由于板的开裂荷载较小, 因此将加载点外移至 1/6 点处[12], 支座为简支支

座,叠合板净跨 4 500 mm,纯弯段长度为 3 000 mm. 试验装置见图 3. 试件加载主要分为两个阶段,第一阶段,取各试验板的开裂荷载的 20% 作为荷载增量,即 2 kN;第二阶段,每级荷载加载 6 kN,每级待荷载稳定后,读取各测点位移并完成相关裂缝的测绘. 当构件屈服后,采用位移加载,每级加载 10 mm. 当试件发生混凝土压碎或者挠度超过 $L/50$ 时,停止加载,试验结束.

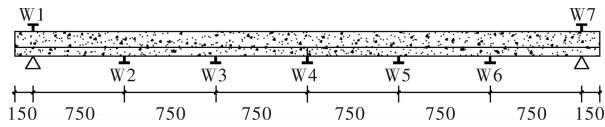
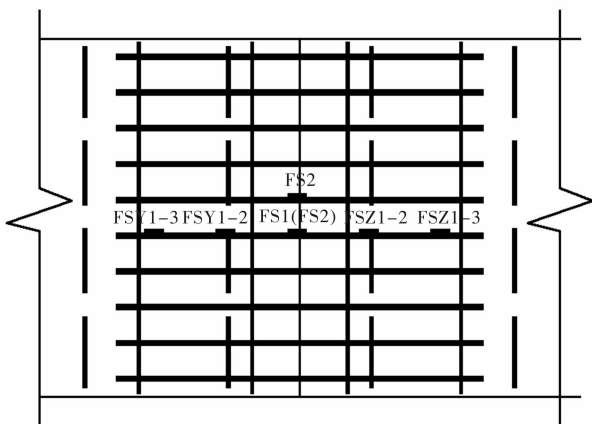


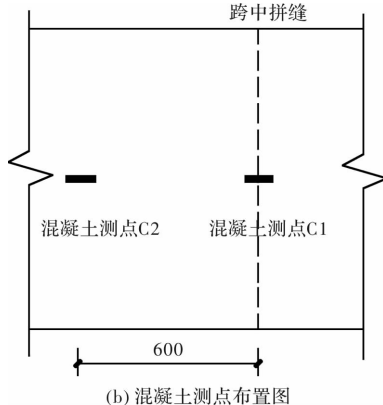
图 3 挠度测点布置图(单位: mm)

Fig. 3 Arrangement of deflection measuring points (unit: mm)

试验过程中测量了支座、加载点、跨中等位置的挠度变化,具体测点布置见图 3. 为了解附加钢筋及预制底板受力钢筋沿长度方向的受力变化,在附加钢筋以及预制底板钢筋相同位置处上布置钢筋应变片,各应变测点布置详见图 4(a),混凝土测点见图 4(b).



(a) 钢筋测点布置图



(b) 混凝土测点布置图

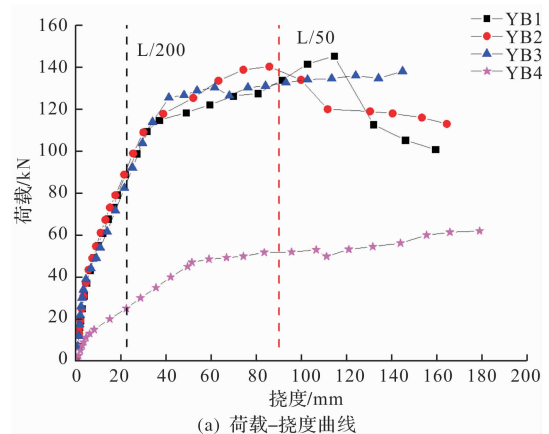
图 4 应变测点布置图(单位: mm)

Fig. 4 Arrangement of strain gauge points(unit: mm)

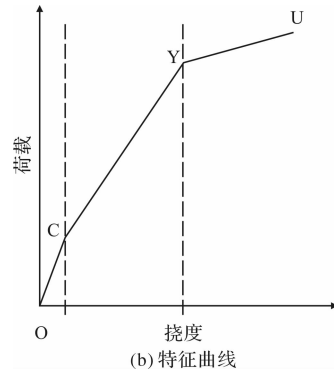
2 试验结果及其分析

2.1 荷载-挠度曲线

图 5 为各试件的荷载-跨中挠度曲线. 由图可知,板在荷载作用下经历了三个阶段:弹性阶段、弹塑性阶段以及破坏,因此得到如图 5 的荷载-挠度发展规律,其中 C 为开裂点, Y 为屈服点、 U 为极限荷载点. 在加载过程中,在板加载过程中, YB1-3 各板的开裂荷载基本相同,但是各板的屈服荷载以及极限荷载有一定的差别.



(a) 荷载-挠度曲线



(b) 特征曲线

图 5 各试件荷载挠度与特征曲线

Fig. 5 Load versus displacement and characteristic curves

表 2 为各板的开裂、屈服、极限弯矩以及根据相关规范计算的理论值. 尽管试件 YB1-3 的三者配筋相同、开裂荷载较为接近,但是 YB1、YB2 相较 YB3,其屈服承载力有一定差距.

表 2 各试件弯矩汇总

Tab. 2 Bending moment of the specimens

试件	屈服弯矩/ $kN \cdot m$		极限弯矩 M_{u1} / $kN \cdot m$	$(M_{y2} - M_{y1})$ / M_{y2}	屈服跨中挠度 /mm
	试验值 M_{y1}	计算值 M_{y2}			
YB1	41.08	49.93	54.51	17.72%	31.23
YB2	40.87	49.93	52.62	18.14%	29.76
YB3	47.08	48.44	51.78	1.36%	41.08
YB4	16.84	17.10	19.43	1.52%	46.99

2.2 裂缝发展与破坏形态

各试件在在加载时,首先在拼缝处出现了竖向裂缝,但该竖向裂缝发展较为缓慢.由于密拼钢筋平铺在预制板上,钢筋的下部仅有少量砂浆,且此时荷载-挠度曲线刚度亦没有发生较大的变化,故认为此时板未开裂,仍处于弹性阶段(即OC段).当加载至第六级左右时,改进板与原密拼缝板表现出不同的工作性能.试件 YB1-2 拼缝处的裂缝为该板的主要控制裂缝,水平裂缝随着加载逐渐斜向上发展,出现裂缝分叉,在预制板底也开始出现均匀的弯曲裂缝,最终由于拼缝正上方发生混凝土压碎试验结束,其破坏形态见图 6(a)、6(b);试件 YB3-4 其控制裂缝虽然也位于拼缝处,但由于斜向钢筋的约束其发展较为缓慢, YB3 最终由于斜向钢筋的锚固长度不足发生了脆性破坏,既而引起了沿着叠合层的撕裂,而 YB4 则由于挠度超限试验结束,其破坏形态见图 6(c)、6(d).

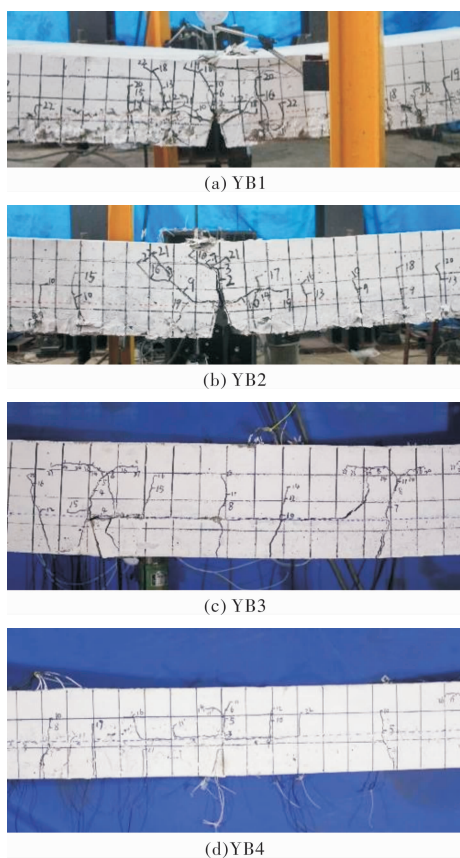


图 6 各拼缝板板侧破坏形态

Fig. 6 Failure patterns on side of specimens

图 7 为试件 YB1-4 拼缝宽度随挠度大小变化曲线.构件正常使用极限情况下, YB1 最大拼缝发展宽度为 1.95 mm, YB2 为 0.52 mm, YB3 为 0.30 mm, YB4 为 0.32 mm. 结合图 6 试验现象以及最终的破坏形态可知,马镫钢筋起到了减少

拼缝处裂缝数目,加强预制层与现浇层拉结,限制拼缝宽度开展的作用;但是加密马镫钢筋对裂缝数目以及宽度的抑制作用远不如斜向钢筋.构件达到正常使用极限状态后, YB1、YB2 拼缝宽度增长加快,而改进板的裂缝增长速度仍然保持在较低的水平发展,说明斜向钢筋的存在相较马镫钢筋不仅提高了构件的承载能力,并在构件达到正常使用极限后也能够有效限制拼缝薄弱处的裂缝发展.

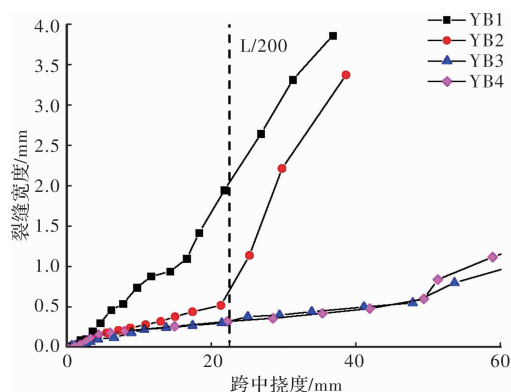


图 7 板底拼缝宽度

Fig. 7 Crack width of joints at bottom specimens

2.3 钢筋应变

图 8 为试件钢筋应变-挠度曲线.在试件的弹性以及弹塑性阶段,随着挠度的增加,各钢筋的应变线性增长.由于拼缝处截面高度小,故密拼钢筋的应变增长速度大于普通钢筋.构件屈服以后,部分密拼钢筋的应变急剧增大,另一部分钢筋则在缓慢上升,这主要是由钢筋的滑移导致的.因此,根据其应变曲线,可将密拼钢筋分为三类:锚固牢固、锚固不均匀以及锚固失效.锚固良好的密拼钢筋在其他钢筋发生滑移后,其荷载急剧增长,迅速达到屈服状态;锚固不均匀的密拼钢筋由于水泥砂浆握裹不均匀导致局部钢筋出现了滑移,但将荷载传递至仍锚固得较好的钢筋后,其应变仍可继续上升;还有部分钢筋发生了锚固失效,其应变在试验过程中始终无法继续增大,钢筋出现了整体滑移.在密拼钢筋发生滑移后,原本按照等承载力设计的预制底板受力钢筋均未达到其屈服强度,部分钢筋因附加钢筋出现滑移,其荷载传递发生变化,出现了应变的跌落,见图 8(c).因此可知规范密拼缝板在加载过程中,当构件达到屈服时,其拼缝内部部分钢筋并未达到其屈服荷载.

图 9 给出了不同阶段下附加钢筋以及预制板底钢筋沿长度的应变变化曲线(以 YB1、YB3 为例).

由该图可知,在荷载较小时,附加钢筋通过混凝土粘结力将荷载传递至预制板底的长度主要集中在拼缝附近 200 mm 范围内,超过 200 mm 后附加钢筋受力趋于 0。预制板底受力超过附加钢筋受力则集中在 200~300 mm 之间,绝大部分荷载均在该范围内通过钢筋与混凝土之间的粘结,传递至预制底板受力钢筋。但在 YB1 中,随着荷载逐渐增大以及水平裂缝的张开,附加钢筋在叠合层中的锚固逐渐减弱,其受力逐渐向其端部传递,最终导致了部分附加钢筋发生滑移,使得构件提前屈服,而 YB3 由于斜向钢筋的存在,并没有此种现象出现。

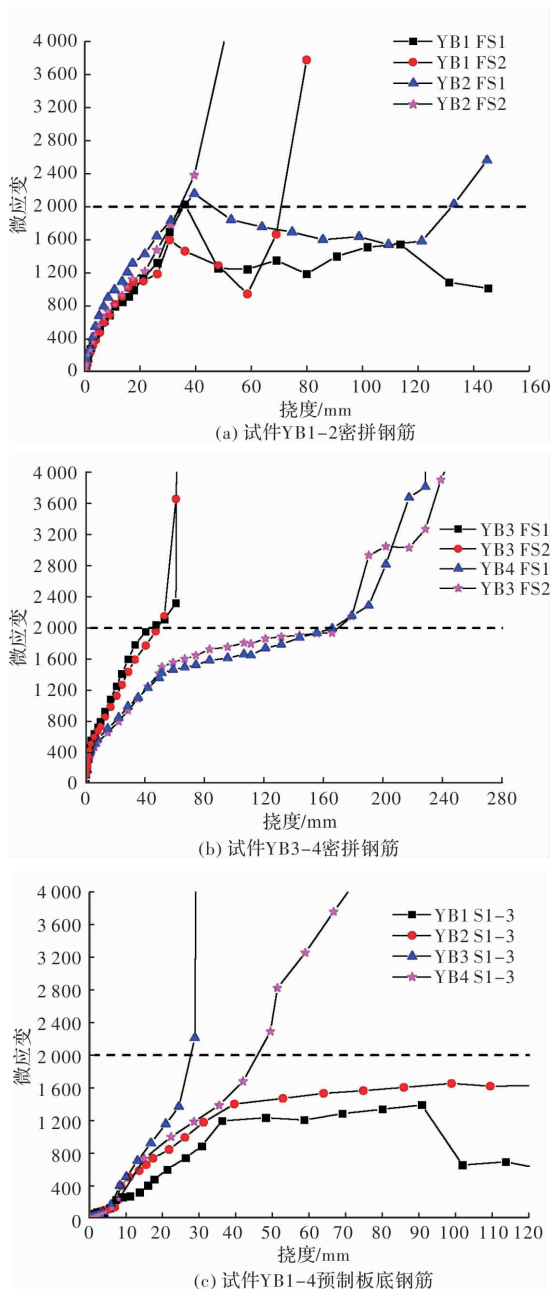


图8 密拼钢筋及拼缝外部钢筋应变-挠度曲线

Fig. 8 Reinforcement strain vs. displacement curves

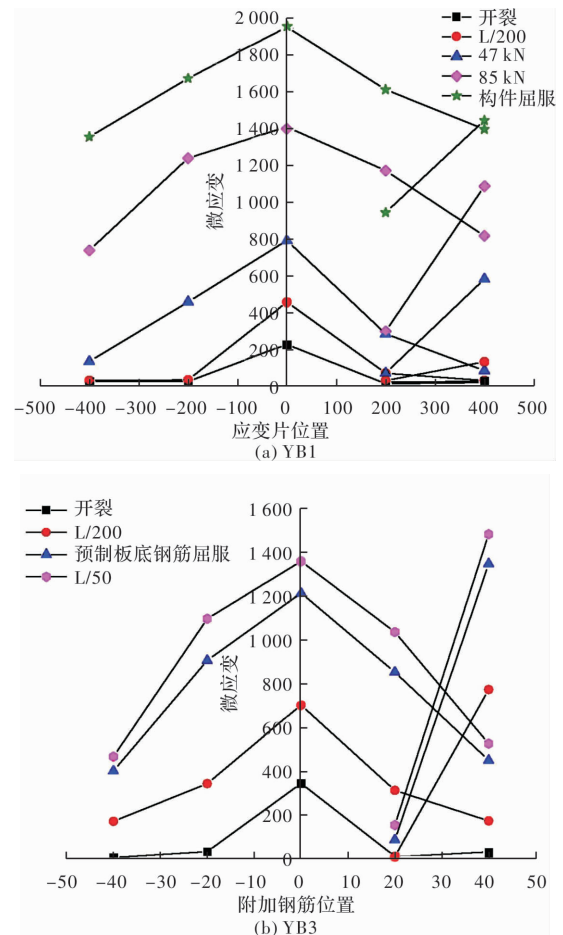


图9 钢筋各阶段应力分布

Fig. 9 Stress distribution of reinforcement in each stage

2.4 混凝土应变与变形曲线

图 10 各板的混凝土应变。由于拼缝正上方混凝土,截面高度更小,因此其应变发展比其他位置混凝土压应变更快。规范密拼缝板中在构件达到屈服后,其他位置混凝土压应变的应变基本不变,而拼缝的上方混凝土应变则是急剧增大。改进拼缝板 YB3、YB4 则有所不同,构件屈服以后拼缝上部混凝土应变增长速度虽大于拼缝外部,但由于斜向锚固钢筋作用,拼缝外部混凝土应变仍处于增长状态;在 YB4 板加载过程中,由于拼缝处钢筋进行了加密,其承载力大于拼缝外部截面,因此当外部预制底板钢筋出现屈服后,外部混凝土应变增速反而大于了拼缝正上方处,并最终超过了拼缝正上方应变。

各试件在加载各阶段变形曲线如图 11 所示,规范拼缝板在加载过程中其挠曲形状逐渐向二折线形转化;而改进拼缝板其挠曲形状则逐渐向三折线形转化,这正解释了各板上方混凝土应变的变化趋势。由于拼缝的提前屈服,拼缝外部截面并没有达到其屈服荷载,因此板屈服后其主要变

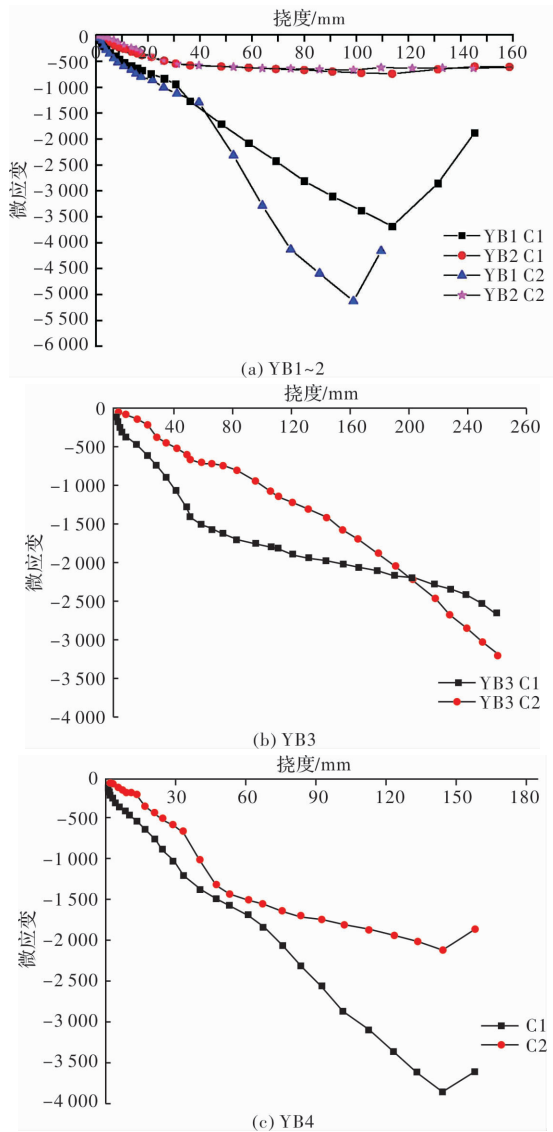


图 10 混凝土应变-挠度曲线

Fig. 10 Concrete strain vs. displacement curves

形集中在拼缝处. 改进板中由于斜向钢筋的存在, 强制使得密拼钢筋所在区段发生协同变形, 使得变形发生处发生外移. 从板的变形曲线看, 改进板的主要变形发生在距离拼缝 600 mm 处, 而距离拼缝 510 mm 外, 均为普通叠合板, 即此处的叠合板受力筋为预制底板受力钢筋. 斜向钢筋的存在避免了密拼钢筋的滑移, 同时充分发挥了预制底板钢筋的强度.

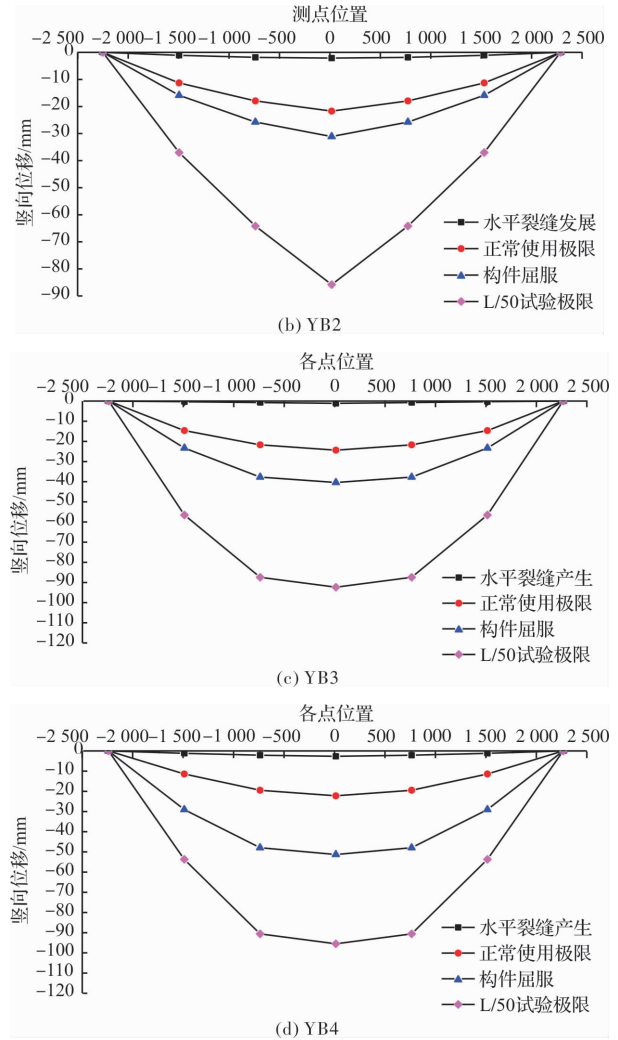
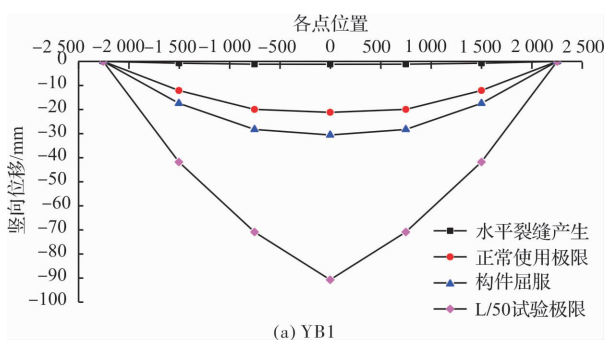


图 11 试件挠曲变形曲线

Fig. 11 Deformation curves of the specimens

3 受力性能分析

3.1 受力机理分析

在构件施工时, 密拼钢筋直接平铺在预制板上, 因此当裂缝发展至钢筋上方时, 此时的试验模型可简化为如图 12 的钢筋受力模型. 钢筋在受力过程中其环向分力直接作用于叠合面与预制板之间, 如图 13. 在没有马镫筋以及斜向钢筋的情况下, 该分力在达到了分界处的混凝土粘结强度后, 将使叠合板发生沿着叠合面的撕裂, 最终发生脆性破坏^[13-14]. 当预制板中存在马镫筋等钢筋时, 新旧混凝土开裂后, 多余的径向应力将会由马镫筋等承担, 限制叠合层水平裂缝的继续开展, 也在一定程度上限制钢筋在混凝土之中的滑移, 增强其锚固性能. 实际试验中, YB1-2 试件随着水平裂缝的张开, 马镫筋限制钢筋滑移的作用也逐渐减弱, 密拼钢筋仍会出现滑移, 而这正是导致板屈服荷载相较 YB3 偏小的原因. 在 YB3

表 3 横向裂缝开裂弯矩汇总表
Tab. 3 Cracking moment of horizontal crack

试件	横向裂缝开 展弯矩试验值	横向裂缝开 展弯矩计算值	$(M_{c1}-M_{c2})/M_{c2}$
	$M_{c1}/\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{c2}/\text{kN}\cdot\text{m}$	
YB1	27.33	32.07	-14.7%
YB2	26.60	32.07	-17.06%
YB3	27.24	32.07	-15.06%
YB4	13.68	13.98	-2.15%

随着加载的进行，试件裂缝形态上出现了差异(见图 6)。YB1-2 在拼缝处出现了一定的斜向裂缝；YB3-4 在拼缝处水平裂缝出现后，拼缝处有少量弯曲裂缝产生，并无斜向裂缝出现，两者之间的差别是由斜向锚固钢筋以及密拼钢筋滑移造成的。

试件 YB3 与 YB4 均达到了屈服，因此可根据规范由拼缝有效截面进行计算，其计算结果由表 2 可知，两者较为接近。

但由于两者斜向锚固长度不同，其破坏形态有所区别。YB3 在屈服后进行位移加载时，最终在拼缝处发生了锚固破坏；YB4 最后由于挠度过大而停止试验。从两板之间的差异看，斜向锚固钢筋锚固长度会对板的破坏形态造成一定的影响。

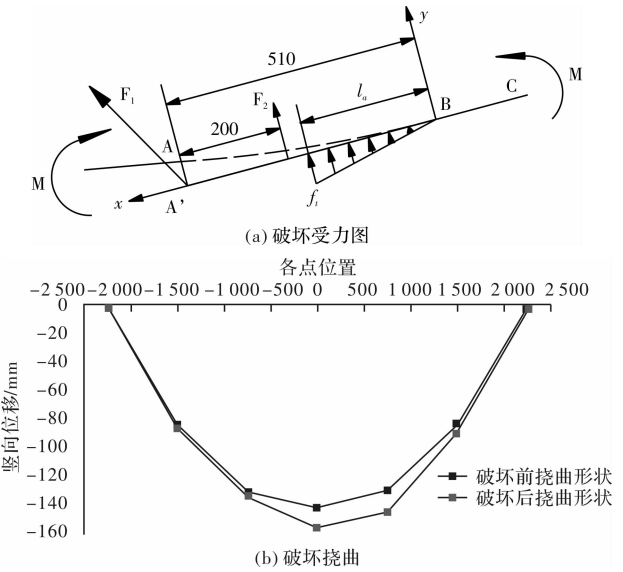


图 15 YB3 破坏受力以及挠曲

Fig. 15 Failure diagram and deflection of YB3

试件 YB3 最终发生了斜向钢筋的锚固破坏。根据破坏时裂缝，YB3 受力图中存在斜向钢筋锚固力 F1 以及与马镫筋力 F2(见图 15a)， l_a 为未出现水平开裂的混凝土段。根据破坏前后该板的变形曲线(见图 15b)以及裂缝分布看，最终发生锚固

破坏的为左跨板，且左跨斜向钢筋处在破坏后出现了块状的混凝土。根据拼缝处破坏形态可知，跨中裂缝的发展，将会影响斜向钢筋的锚固。但试件 YB4 并没有发生如 YB3 的锚固破坏，这是由于斜向钢筋锚固长度造成的。因此参考 YB4 的拼缝构造形式，斜向锚固钢筋长度至少需达到上部网片钢筋保护层位置，以防止锚固破坏的发生。

4 结论

通过对四块分离式拼缝叠合板的静载试验以及承载能力分析，得出了以下结论：

(1)规范密拼缝板在荷载作用下，易出现附加钢筋的滑移，甚至钢筋锚固失效现象，该现象会影响叠合板的承载能力，导致构件提前屈服。

(2)改进的密拼缝板中由于斜向钢筋的作用，密拼钢筋均发生了屈服，构件屈服承载力达到了其理论值。斜向钢筋的存在，不仅可以限制拼缝处裂缝的发展，还可使拼缝内外整体受力变形，其挠曲变形更加饱满。

(3)密拼缝板在叠合面水平裂缝出现后，其抗弯刚度开始减小，故可将此时的荷载做为其开裂荷载，其开裂荷载可由预制板与现浇层变形协调进行计算。

(4)斜向钢筋相较改变马镫筋间距，在减少裂缝宽度以及裂缝数目的作用上更加明显。它抑制了密拼钢筋的滑移，也限制了拼缝处的裂缝发展，但考虑到 YB3 斜向锚固钢筋发生了锚固破坏，因此其锚固长度需要进一步研究。

参考文献 References

[1] 余泳涛,赵勇,高志强. 单缝密拼钢筋混凝土叠合板受弯性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(4): 29-37.
YU Yongtao, ZHAO Yong, GAO Zhiqiang. Experimental research on flexural behavior of reinforced concrete composite slab connected without gap[J]. Journal of Building Structures, 2019, 40(4):29-37.
[2] 曾敏,胡翔,陈培良. 预应力混凝土叠合板试验及计算方法研究[J]. 住宅科技, 2016, 36(4):13-17.
ZENG Min, HU Xiang, CHEN Peiliang. Study on test and calculation method of prestressed concrete composite slab[J]. Housing Science, 2016, 36(4):13-17.
[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部装配式混凝土结构技术规程:JGJ 1-2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014:106-107.

- MOHURD. Technical specification for precast concrete structure; JGJ 1-2014[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014:106-107.
- [4] 侯和涛, 陈磊, 程佑东. 预制混凝土叠合板钢筋黏结性能的研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(2).
HOU Hetao, CHEN Lei, CHENG Youdong, Experimental study on the bond behavior of steel bars in precast concrete composite slabs[J]. China Concrete and Cement Products, 2016(2):63-68.
- [5] 刘运林, 叶献国, 种迅. 端拼缝叠合楼板受力性能试验研究[J]. 建筑结构, 2015, 45(4):85-89.
LIU Yunlin, YE Xianguo, ZHONG Xun. Experimental study on mechanical performance of composite slab with end joints[J]. Building Structure, 2015, 45(4):85-89.
- [6] 刘运林. 双向叠合楼板拼缝处受力机理试验研究与数值模拟[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014:58-87.
LIU Yunlin. Experimental research and numerical analysis on stress mechanism in the joint of two-way superimposed slab[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2014:58-87.
- [7] 叶献国, 华和贵, 徐天爽. 叠合板拼接构造的试验研究[J]. 工业建筑, 2010, 40(1):59-62.
YE Xianguo, HUA Hegui, XU Tianshuang, Experimental study on connections of superimposed slabs[J]. Industrial Construction, 2010, 40(1):59-62.
- [8] 崔士起, 刘传卿, 刘文政. 分离式接缝叠合板垂直接缝方向抗弯刚度的试验及计算方法研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(9):75-84.
CUI Shiqi, LIU Chuanqing, LIU Wenzheng. Research on experiment and calculating methods of flexural stiffness in direction perpendicular to separating-type joints for concrete composite slab[J]. Journal of Building Structure, 2018, 39(9):75-84.
- [9] 颜锋, 高杰, 田春雨. 带接缝的混凝土叠合楼板足尺试验研究[J]. 建筑结构, 2016, 46(10):56-60.
YAN Feng, GAO Jie, TIAN Chunyu. Experimental study on full-scale superimposed concrete slab with joints[J]. Building Structure, 2016, 46(10):56-60.
- [10] 吴方伯, 付伟, 文俊. 新型叠合板拼缝构造静载试验[J]. 建筑科学与工程学报, 2018(4).
WU Fangbo, FU Wei, WEN Jun. Static load experiment of new type of laminated plate joint structure[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2018, 35(4):5-14.
- [11] 湖南省住房和城乡建设厅. 混凝土叠合楼盖装配整体式建筑技术规程:DBJ 43T 301-2013 [S]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2013:18-21.
Department of housing and urban rural development of Hunan Province. Technical specification for concrete composite floor assembly integrated building; DBJ 43T 301-2013[S]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2013:18-21.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构试验方法标准:GB/T 50152-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012:18-25.
MOHURD. Standard test methods for concrete structures; GBT 50152-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012:18-25.
- [13] 过镇海, 时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003:153-155.
GUO Zhengai, SHI Xudong. Reinforced concrete theory and analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003:153-155.
- [14] 翁传阳. 含附加钢筋的混凝土叠合板试验研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2014:19-40.
WENG Chuanyang. Experimental study about concrete composite slabs with additional bars[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2014:19-40.
- [15] 沈蒲生. 混凝土结构设计原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012:27-29.
SHEN Pusheng. The design theory for concrete structure [M]. Beijing: Higher Education Press, 2012:27-29.
- [16] 付伟. 新型叠合板拼缝构造静载试验研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2017:41-44.
FU Wei. The joint of new type composite slab performance under static test[D]. Changsha: Hunan University, 2017:41-44.
- [17] 孙训方. 材料力学 上册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002:360-363.
SUN Xunfang. Mechanics of Materials (I)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2017:41-44.
- [18] 赵志方, 赵国藩, 刘健, 等. 新老混凝土黏结抗拉性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2001, 22(2):51-56.
ZHAO Zhifang, ZHAO Guofan, LIU Jian, et al. Experimental study on adhesive tensile performance of young on old concrete[J]. Journal of Building Structures, 2001, 22(2):51-56.

(编辑 桂智刚)