

文章编号:1005-0523(2015)03-0016-07

新型翼缘型开孔折板剪力键抗剪性能试验

王淑妹¹, 袁安华²

(1.福建农林大学交通与土木工程学院, 福建 福州 350002; 2.福州市规划设计研究院, 福建 福州 350003)

摘要:在传统Twin-PBL键和翼缘型开孔波折板抗剪连接件基础上研究一种新型抗剪连接件-新型翼缘型开孔折板剪力键,对8组共24个剪力键做抗剪承载力推出试验,研究折板间距对承载力影响,并将新型翼缘型开孔折板剪力键与相应Twin-PBL对比。结果表明:折板间距对承载力影响较大,间距20 cm的剪力键承载力最大,比相应间距25 cm的增加8.76%,比相应间距30 cm的增加11.24%;新型折板剪力键抗剪性能明显高于相应结构尺寸的直板剪力键,最高增加92.1%。说明该新型翼缘型开孔折板剪力键具有承载力高、抗疲劳性能好、加工制作方便、不易发生突然破坏、安全性能好等特点。

关键词:开孔折板;剪力键;推出试验;折板间距;极限承载力

中图分类号:U448.38

文献标志码:A

钢混组合结构能够充分利用钢材抗拉强度高和混凝土抗压性能好的优势,而剪力键是保证钢与混凝土组合结构共同工作的关键元件,剪力键的主要作用是抵抗钢和混凝土之间的滑移和分离。目前应用较为广泛的剪力连接件主要有栓钉^[1]、方钢、槽钢、弯起钢筋和PBL键等。

1987年西德工程咨询公司 Leonhardt Andra 和 Partners 在维拉瑞拉卡罗尼第三大桥组合结构剪力键中提出新型剪力连接件,即采用在钢板上方开孔,通过混凝土樁承担水平剪力。随后发展成在钢板的孔洞中设置横向穿孔钢筋,利用穿孔钢筋和混凝土樁抵抗剪力流。20世纪90年代初,日本在鹤见航道桥中将钢棒穿过钢板形成剪力件。国内胡建华、刘玉擎、万水、闫文华^[2-3]等通过理论与试验研究剪力件的极限承载力,研究结果表明PBL键具有较强的抗剪切能力和抗疲劳性能^[2-4]。东南大学万水、李淑琴^[5-8]在传统PBL键的基础上研究翼缘型开孔波折板抗剪连接键,该新型PBL剪力键抗剪切承载力明显优于传统PBL键。

本文在传统PBL键和翼缘型开孔波折板抗剪连接件基础上研究设计了一种新型的抗剪连接件-翼缘型开孔折板剪力键^[9],并申请专利,研究该新型剪力键的构造和受力特点。由于同济大学^[10]、湖南大学^[2]、东南大学^[5-8]和长安大学^[11]等对PBL键和翼缘型开孔波折板抗剪连接件的混凝土强度、钻孔直径及数量和贯穿钢筋直径对抗剪承载力的影响均进行了系统的研究与分析,鉴于此,本文主要讨论直、折板间距对承载力的影响,并与传统PBL键和翼缘型开孔波折板抗剪连接件进行推出对比试验。在试验基础上研究该新型翼缘型折板剪力键优良的抗剪性能,为该新型剪力键在钢混组合桥梁的应用发展提供有益的参考。

1 翼缘型开孔折板剪力键试验

根据相关PBL键研究成果,经过大量的研究和分析,翼缘型开孔折板剪力键结构尺寸如下:在翼缘板上沿腹板的方向焊接两块钢板;相隔一定的距离钢板向左或右侧错位弯折,形成折板;折板4上开有孔洞41,纵向通长钢筋6从孔洞41中穿过;钢板3上未弯折部分开有孔洞31,横向钢筋5从孔洞31中穿

收稿日期:2015-03-28

基金项目:福建农林大学青年基金(2009025)

作者简介:王淑妹(1974—),女,讲师,研究方向为道路材料与交通安全。

过;两相邻钢板上的折板错位设置,即一块钢板上因折板产生的间隙与另一块钢板的未弯折部位相对应。具体构造如图1所示。

图1中:1—钢腹板,2—翼缘板,3—钢板,31—钢板上的孔,4—折板,41—折板上的孔,5—横向钢筋,6—纵向钢筋。

翼缘型开孔折板剪力键特点:

1) 钢板与翼缘板连接处为直线,便于采用自动焊接工艺,加工制作方便,便于控制施工质量。

2) 水平剪力由折板和钢板上带钢筋的混凝土栓共同承担,提高抗剪切性能。

3) 钢板钢筋和折板上带钢筋的混凝土栓起抵抗拉拔力及防止纵缝的作用,同时加强了组合构件的横向刚度。

4) 直板与折板的夹角可以为任意值,通过调整角度可以获得不同的抗剪性能,本次夹角为90度。

1.1 构件设计与制造

为避免钢板在混凝土之前发生屈曲或拉裂等破坏现象,通过ANSYS模拟推出件受力状态,计算各个部位钢板厚度,设计了8组不同的试件,共24个。其中L为20 cm,25 cm,30 cm的直板和折板各1组,共6组18个;单折板和单直板各1组,共2组6个。各剪力键试件中折板厚度6 mm;工字梁钢板厚12 mm;推出件盖板厚8 mm;纵横向螺纹钢筋直径16 mm;钢板孔洞直径40 mm(钢板均采用Q345)。具体尺寸见图2(图中尺寸以厘米为单位)。

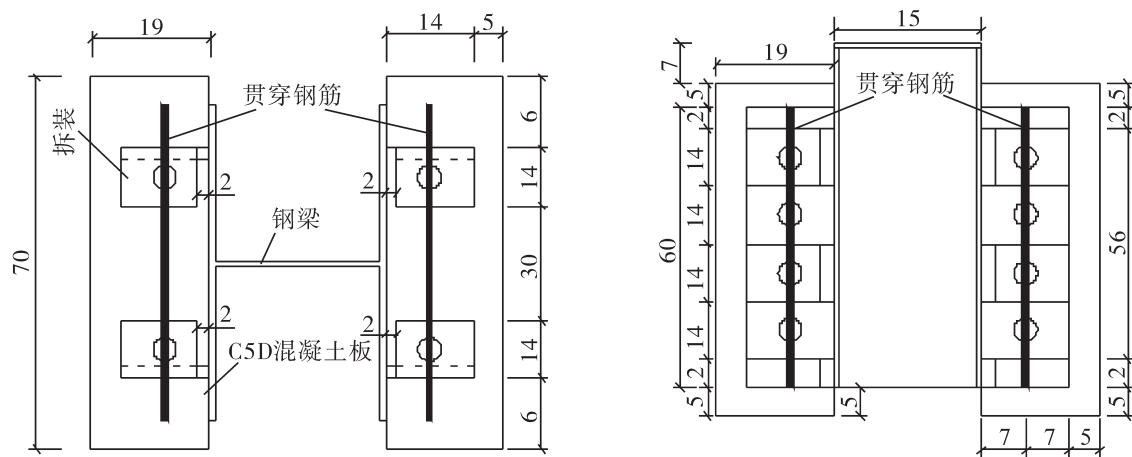


图2 翼缘型开孔折板推出件构造图

Fig.2 The push-out test structure of the perforated table-flap shear connector

试件采用C50混凝土浇注,要求混凝土粗骨料在保证级配良好的情况下,最大粒径不得大于18 mm,细骨料采用中粗砂,以满足孔洞最小粒径要求。浇筑过程中做好应变片导线的保护工作,浇筑后注意养生,并记录相应编号。具体见图3和图4。

1.2 加载试验

试验在厦门捷航检测实验室进行,采用位移控制加载方式,下图5为正在加载的试件及位移计和应变片放置位置图。正式加载之前按0.5倍弹性极限荷载进行两次预加载,以消除粘结力影响。正式加载分两次,第一次正式加载力为弹性承载力加载,第二次正式加载力为极限承载力加载。第一次弹性承载力加载,荷载增量按照0.2倍弹性承载力,每次持续5分钟,达到弹性承载力后卸载。第二次极限承载力加

载,以0.2倍弹性承载力值加载直至破坏。每组第一个试件加载后调整荷载步。极限承载力推出试验结果见表2。

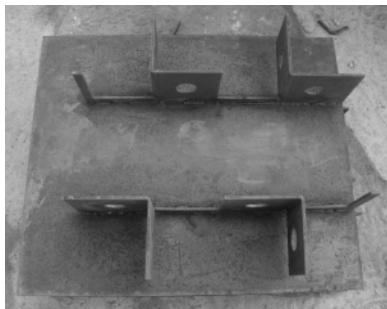


图3 加工钢板图

Fig.3 A steel structure of machining



图4 浇筑混凝土图

Fig.4 A test sample in casting concrete

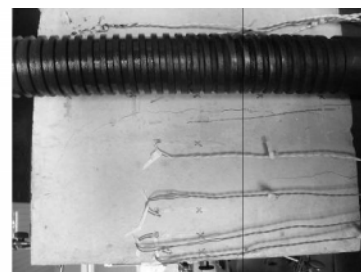
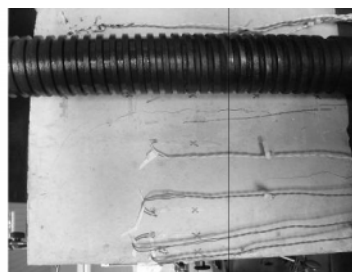


图5 推出件加载试验图

Fig.5 The test set-up of push-out test sample

表1 各材料力学性能

Tab.1 Mechanical properties of all testing materials

材料	强度/型号	立方体抗压强度	屈服强度/MPa	极限强度/MPa	弹性模量/MPa	延伸率
混凝土	C50	53.4	—	—	3.45×10^4	—
钢筋	$\phi 16$	—	362.0	540.9	2.00×10^5	0.29
6 mm 钢板	Q345	—	311.9	510.7	2.10×10^5	0.24
8 mm 钢板	Q345	—	318.4	513.2	2.10×10^5	0.26
12 mm 钢板	Q345	—	367.4	535.8	2.10×10^5	0.34

2 试验现象与结果分析

2.1 试验现象

2.1.1 翼缘型开孔双直板剪力键

各推出件试验过程中,随着荷载的增加,钢板与混凝土板之间有明显的相对滑移;当加载到60 kN时,混凝土板截面底部出现细小的裂缝,滑移不断增大;加载到140 kN时,试件内部发出沙沙声音,混凝土板与钢板的接触面出现明显的裂纹,混凝土与钢板发生剥离;再对试件均匀加载,裂纹慢慢变大且向两侧延伸。加载到160~190 kN,混凝土板中部出现裂缝并迅速沿纵向延伸扩展。此时,每分钟读取一次千分表的数据,变形较快,说明试件产生了塑性变形,直至破坏。

2.1.2 翼缘型开孔双折板剪力键

随着荷载的增加,钢板与混凝土板之间有明显的相对滑移;在荷载达到140 kN时,混凝土板截面底部出现细小裂纹,钢板与混凝土之间有微小的滑移;随着荷载的加大,裂缝慢慢延伸由小变大、由窄变宽(相对滑移的增长速率明显低于直板剪力键),试件的沙沙声较直板小;当荷载达到240~300 kN时,混凝土板

中部出现裂缝并迅速沿纵向延伸扩展,千分表数据变化较快,此时试件产生了塑性变形,裂缝开展迅速直至破坏。

表2 翼缘型折板剪力键极限承载力

Tab.2 Ultimate bearing capacity of the perforated table-flap shear connector

试件分组 (折板/折板间距)		孔洞直径/个数	贯穿钢筋直径/ mm	单个折板面积/ (cm²/数量)	折板厚度/mm	极限承载力/ kN
单直板	1	40/3	16	0/0	12	83.1
	2	40/3	16	0/0	12	87.5
	3	40/3	16	0/0	12	85.9
单折板	1	40/3	16	168/3	12	119.8
	2	40/3	16	168/3	12	122.5
	3	40/3	16	168/3	12	122.0
双直板(20 cm)	1	40/4	16	0/0	12	184.6
	2	40/4	16	0/0	12	181.8
	3	40/4	16	0/0	12	187.1
双直板(25 cm)	1	40/4	16	0/0	12	195.2
	2	40/4	16	0/0	12	191.6
	3	40/4	16	0/0	12	198.4
双直板(30 cm)	1	40/4	16	0/0	12	170.9
	2	40/4	16	0/0	12	179.1
	3	40/4	16	0/0	12	176.0
双折板(20 cm)	1	40/4	16	168/5	12	304.6
	2	40/4	16	168/5	12	312.7
	3	40/4	16	168/5	12	314.8
双折板(25 cm)	1	40/4	16	168/5	12	290.0
	2	40/4	16	168/5	12	287.0
	3	40/4	16	168/5	12	289.3
双折板(30 cm)	1	40/4	16	168/5	12	274.1
	2	40/4	16	168/5	12	274.1
	3	40/4	16	168/5	12	279.2

2.2 结果分析

从整个加载实验过程看,各试件首先从底部出现细小裂缝,随着荷载的增加,裂缝逐渐延伸并加大,接着试件顶部出现裂缝,并向两侧伸展,裂缝破坏形式及裂缝发展见图6,最后出现钢板与混凝土相互作用的沙沙声音,直至达到极限承载力。



图6 推出件混凝土裂缝发展图

Fig. 6 Crack developmental orderliness on concrete of push-out test sample

24个推出件加载试验结束后剥离混凝土后发现,①贯通钢筋均未被剪断;②直板剪力键钢筋在孔

洞附近弯折程度大于折板钢筋;③直板和折板剪力键孔洞附近混凝土被压碎;④折板剪力键折板附近混凝土被压碎;⑤折板剪力键的折板存在不同程度的剪切破坏。破坏形式具体见图7。



图7 推出件内部破坏图

Fig.7 Inner destruction of push-out test sample

从试验结果可以看出,第一,折板剪力键承载力明显大于直板剪力键,单折板极限承载力比单直板平均增加92.1%,间距为20 cm的折板剪力键比相应的直板剪力键极限承载力增加68.4%;间距为25 cm的折板剪力键比相应的直板剪力键极限承载力增加45.3%;间距为30 cm的折板剪力键比相应的直板剪力键极限承载力增加57.3%。

第二,折板或直板间距对承载力影响较大,间距为25 cm的直板剪力键承载力最大,极限承载力比相应20 cm间距的增加5.43%,比相应30 cm间距的增加10.11%;而折板剪力键间距为20 cm的极限承载力最大,比相应25 cm间距的增加8.76%,比相应30 cm间距的增加11.24%。

第三,根据破坏结果,直板剪力键主要由钢板孔洞混凝土栓和贯通钢筋共同抵抗剪切破坏,而翼缘型折板剪力键则不同,由图7可以看出,翼缘折板部位被拉裂,而孔洞中的贯通钢筋弯折度微小,因而,翼缘折板剪力键主要由翼缘折板承担其抗剪切性能。

根据直板和折板间距对承载力的影响可以看出,抗剪切性能的优劣与剪力键内部抗剪栓及折板的布置位置有关。由于直板主要由混凝土栓和贯通钢筋承担抗剪切性能,而折板则由翼缘折板来承担抗剪切性能,因而抗剪切部件在混凝土中布置的均匀程度决定了其承载力的大小。

2.3 滑移变形分析

剪力推出件采用逐级匀速加载,部分试件作用力与相对滑移曲线见图8-图10,其中X轴为滑移量的平均值(备注:位移计由上至下对称布置3组,见图5左1),Y轴为作用力。

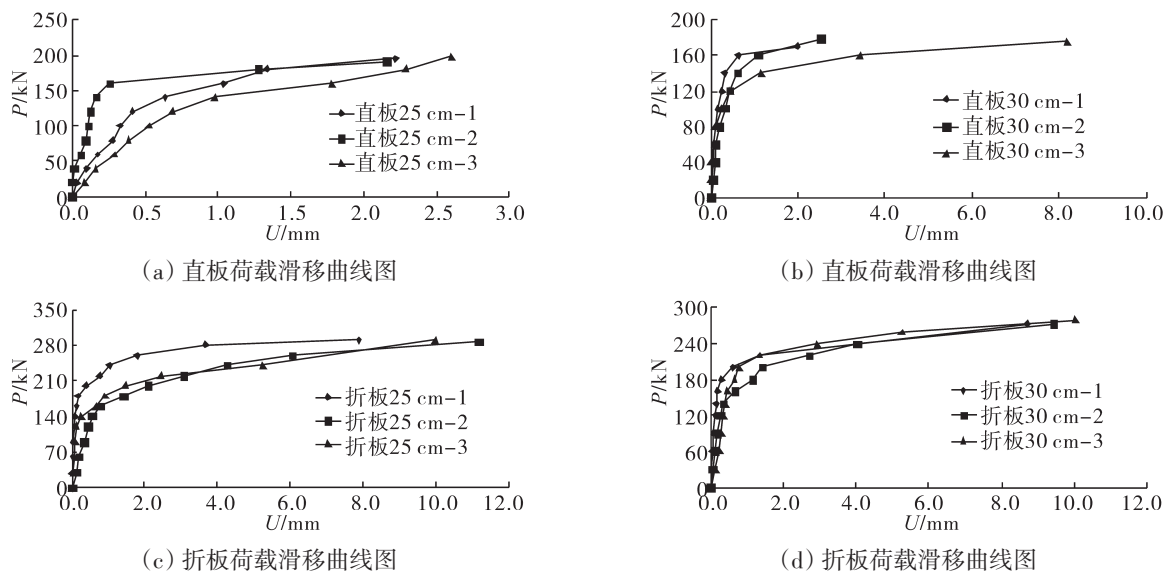
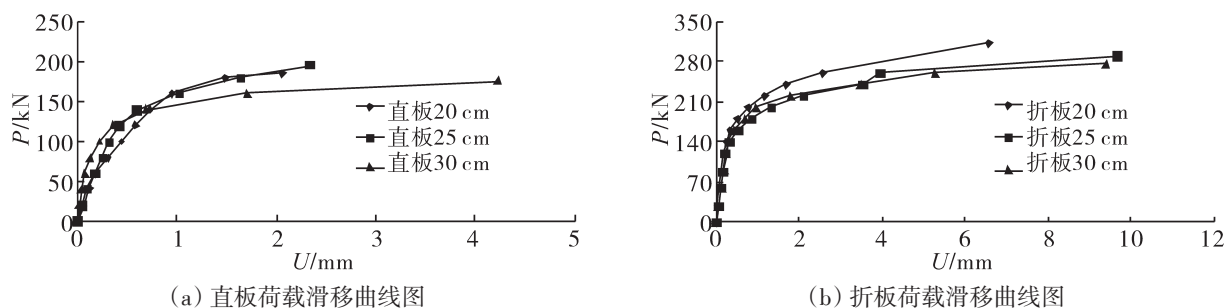
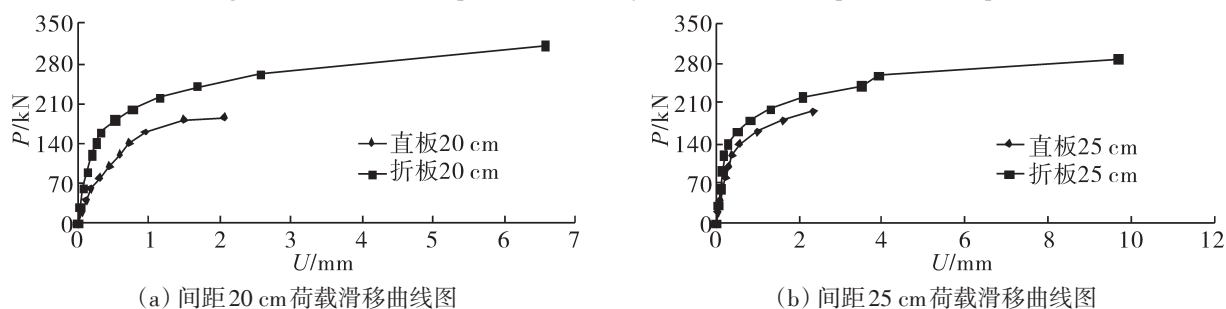


图8 同类型同间距试件 $P-U$ 关系图

Fig.8 $P-U$ relationship of the same style and space test samples

图9 同类型不同间距试件 $P-U$ 关系图Fig.9 $P-U$ relationship of the same style and different space test samples图10 不同类型不同间距试件 $P-U$ 关系图Fig.10 $P-U$ relationship of the different style and space test samples

由各试件 $P-U$ 关系图可以看出,试件变形经历了明显的弹性-塑性发展。直板剪力键破坏时,钢板与混凝土之间的最大滑移量为7 mm左右,而折板剪力键最大滑移量为10 mm。折板变形呈现较好的延性,没有出现脆性破坏,且相应尺寸下相同作用力下的折板变形明显小于直板,显示了折板较好的抗剪切变形的性能。

3 结论

- 1) 折板剪力键抗剪切性能明显高于相应结构尺寸的直板剪力键,最高增加量为92.1%,并且在试验过程中具有较好的延性和抗疲劳性能。
- 2) 折板或直板间距对承载力影响较大,间距为25 cm的直板剪力键承载力最大,比相应20 cm间距的增加5.43%,比相应30 cm间距的增加10.11%;而折板剪力键间距为20 cm的极限承载力最大,比相应25 cm间距的增加8.76%,比相应30 cm间距的增加11.24%。
- 3) 由于折板剪力键在翼缘折板与对称的未弯折部位均布置孔洞并设置贯通钢筋,因而翼缘折板剪力键的刚度和抗扭转性能较好。
- 4) 根据破坏结果,折板剪力键的抗剪切性能主要由折板(弯折钢板)承担,纵横向贯通钢筋将各折板组成整体,共同承担剪切力。
- 5) 抗剪切部件在混凝土中的布置位置及均匀程度对承载力影响较大。

参考文献:

- [1] 苏庆田,刘玉擎,曾明根.苏通大桥索塔栓钉剪力连接件的力学性能试验[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(7):916-919.
- [2] 胡建华,叶梅新,黄琼.PBL剪力连接件承载力试验[J].中国公路学报,2006,19(6):65-72.
- [3] 闫文华.PBL键受力性能试验与理论研究[M].西安:长安大学,2012:4-7.

- [4] 胡建华,侯文崎,叶梅新.PBL剪力键承载力影响因素和计算公式研究[J].铁道科学与工程学报,2007,4(6):12-18.
- [5] 李淑琴,万水,陈建兵.一种新型抗剪连接件试验研究[J].桥梁建设,2009(4):17-19.
- [6] 万水,李淑琴,马磊.波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁结构在中国桥梁工程中的应用[J].建筑科学与工程学报,2009,26(2):15-20.
- [7] 孟文节,万水,况小根.波形钢腹板人行桥的有限元分析[J].华东交通大学学报,2006,23(2):12-14.
- [8] 李淑琴,陈建兵,万水,陈华利.我国几座波形钢腹板PC组合箱梁桥的设计与建造[J].工程力学,2009(26):115-118.
- [9] 李国平,郑建荣,王淑妹.一种翼缘型抗剪连接件.中国,CN201250454Y[P]. 2009-06-03.
- [10] 薛伟辰,代燕,周良,等.开孔板连接件受剪性能试验研究[J].建筑结构学报,2009,30(5):103-111.
- [11] 赵成栋.PBL键机理与试验研究[M].西安:长安大学,2010.

Experimental Study on Shearing Behavior of Perforated Table-Flap Shear Connector

Wang Shumei¹, Yuan Anhua²

(1.Fujian Agriculture And Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fuzhou City Planning and Design Institute, Fuzhou 350003, China)

Abstract: A new type of perforated aerofoil table-flap shear connector was studied in this paper based on Twin-PBL and perforated aerofoil under-table-flap shear connectors. The ultimate bearing capacity push-out tests of 24 perforated aerofoil table-flap shear connectors composed of 8 different groups were explored, and subsequently the space between the push-out armor plate was analyzed to compare with the performance of the S-PBL. The result indicates that the ultimate bearing capacity reaches the maximum when the space between the table-flap is 20cm, increasing by 8.76% for 25cm and increasing by 11.24% for 30cm; the capability of the new type of shear connectors is superior to vertical-plate with the maximum increment achieving 92.1%. Hence, the new perforated aerofoil table-flap shear connector has many advanced properties such as greater carrying capacity, better capability of resisting fatigue, more convenience in being fractured, being uneasy to be demolished abruptly and more security as well.

Key words: perforated table-flap; shear connector; push-out test; space between the table-flap; ultimate bearing capacity

(责任编辑 王建华)