

文章编号 :1671 - 683X(2002)03 - 0098 - 03

四边简支钢筋混凝土叠合板受剪性能探讨

杨建水¹, 韩菊红¹, 王筱敏²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市二七综合建设开发公司, 河南 郑州 450005)

摘 要:进行了 13 块集中荷载作用下四边简支叠合矩形板二次受力的试验, 对其受力性能作了系统的分析, 提出了叠合面等剪应力线模型. 试验结果表明: 叠合板的受冲切承载力不低于条件相同的整浇板; 叠合板中的两期混凝土强度较低的一种混凝土强度对受冲切承载力具有控制性. 建议叠合板的叠合面可采用自然粗糙面, 且叠合板抗剪设计中, 除满足受冲切承载力的计算外, 还应按所给抗剪应力公式验算叠合面上的剪应力.

关键词:叠合板; 剪应力; 模型

中图分类号: TU 312 **文献标识码:** A

钢筋混凝土叠合矩形板作为叠合构件的一种型式, 具有整体性能好、节省模板、便于施工等优点, 被广泛应用在港工、水工、桥梁及工业民用结构中, 特别是集装箱及车辆等集中荷载作用下的无结合筋钢筋混凝土叠合矩形板, 在港口码头或桥面结构中的应用更为广泛. 但是, 这种四边支承叠合矩形板在集中荷载作用下的抗剪性能如何尚未见有报导. 为此, 本文进行了 13 块集中荷载作用下钢筋混凝土无结合筋的简支叠合矩形板的剪切试验, 以探讨这种板的抗剪性能及抗剪计算方法.

1 试验研究概况

1.1 试验设计

(1) 试件尺寸: 设计了三种试验板尺寸. 板计算跨度 l_a 均为 1500 mm, 板厚 h 均为 150 mm, 板计算宽度 b 分别为 1500, 1000 和 750 mm.

(2) 叠合面相对位置: 设计了三种不同的叠合面位置, 其相对位置参数为 $\alpha = h_1/h = 0.5, 0.6, 0.7$. 式中: h_1 为预制板厚度.

(3) 试件成型方法: 为了探讨不配结合筋的叠合矩形板的抗剪性能, 设计的 13 块板均采用不对预制板板面抹光的自然粗糙面.

为了模拟叠合板的二次受力特性, 在二期混凝土浇筑 28 d 后, 将板吊离地模, 置于简支支座

上, 立模浇筑二期混凝土.

(4) 集中荷载作用位置: 中置加载位置 A 和边置加载位置 B 两种.

(5) 混凝土强度比: $f_{cu1}/f_{cu2} = 0.67 \sim 1.73$, 式中 f_{cu1} 为预制板混凝土强度, f_{cu2} 为叠合层混凝土强度.

(6) 配筋率: 试验板双向配筋率均为 2.28%, 配 $\Phi 20@11$ 的 II 级钢筋. 偏大的配筋率主要是为了保证试验板产生剪切破坏.

(7) 加载面积: 集中荷载作用面积均为边长 $c = 150$ mm 的正方形.

1.2 试验方法

试验分一期应力测量阶段和剪切破坏试验阶段. 一期应力是指预制板在二期混凝土浇筑后凝结前的初应力. 对板来说, 主要是由自重荷载引起. 试验时用标准粘土砖平铺在预制板上加载, 用预埋钢筋应变片测量钢筋应变, 用千分表测量挠度. 剪切破坏试验的荷载由 WY-300/IV 型同步稳压器正向施加, 通过荷载传感器传至板面.

2 试验结果及分析

共进行了 13 块叠合板在集中荷载作用下的剪切试验, 主要测试内容有: 荷载、挠度、钢筋及混凝土应变、支承反力和板面裂缝等.

2.1 裂缝的发生与发展

收稿日期: 2002-03-04; 修订日期: 2002-05-25

基金项目: 交通部部颁规范专题研究资助项目

作者简介: 杨建水 (1965-) 男, 河南省林州市人, 郑州大学讲师, 硕士, 主要从事钢筋混凝土基本理论及基础支护工程方面的研究.

(1) 裂缝首先在加载中心点的板底面出现, 裂缝走向平行于板边。

(2) 板底面裂缝形态如图 1 所示: 张开缝, 又可分为正裂缝和辐射缝, 产生这种裂缝的主要原因是弯矩, 如图 1 中的 a, b 缝; 剪错缝, 即环状冲切裂缝, 如图 1 的 d 缝, 产生这种裂缝的主要原因是剪力, 它的出现往往伴随着冲切破坏的产生, 此外还有环绕加载面周边的内圈环状缝 c, 它是弯剪共同作用而以弯为主的结果。

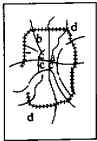


图 1 板底典型裂缝示意图
Fig.1 Crack on bottom of slab

叠合板的开裂荷载相对值 V_{cra}^0/V_u^0 较整浇板小。由文献 [1] 可知, 整浇板的开裂荷载和破坏荷载的比值 $V_{cra}^0/V_u^0 = 0.10 \sim 0.25$, 均值为 0.16。而叠合板的 $V_{cra}^0/V_u^0 = 0.07 \sim 0.23$, 均值为 0.11。这是因为位于叠合板受拉边沿的预制板, 在浇筑叠合层混凝土时已产生拉应变, 存在“应变超前”现象。

(3) 板顶冲陷缝: 沿加载面周边出现, 它往往和板底面的冲切缝 d 同时出现。

(4) 板侧裂缝: 观察边置荷载下的 3 块板的板侧裂缝, 发现其中 2 块板沿叠合面出现较明显的水平裂缝, 如图 2 所示。当加载至 $0.9V_u^0 \sim V_u^0$ 时出现此种裂缝, 缝长约为加载面边长的 3 倍, 由此推测板内斜裂缝可能不同程度地在板内沿叠合面发展了一段距离。至于中心加载板体是否有斜裂缝沿叠合面发展, 现行测试方法无法测出, 因为斜裂缝周围都被其它未裂板体包围, 肉眼不可见。根据破坏锥体取出后的锥面实测等高线圈来看, 未发现破坏裂缝有沿叠合面发展的迹象。

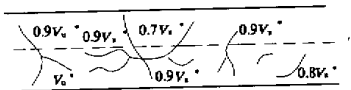


图 2 板侧典型裂缝示意图
Fig.2 Crack on side of slab

2.2 叠合板的破坏形态

13 块叠合板的破坏均属于冲切破坏。冲切破

坏的形态可分为完全冲切破坏和不完全冲切破坏两种。前者在中置加载时产生, 后者在边置加载时产生, 均为无预告的脆性破坏。

2.3 叠合板受冲切承载力建议计算方法

试验结果分析表明, 叠合板受冲切承载力的影响因素与整浇板相同 [1], 但在混凝土强度的影响方面, 应采用预制板和叠合层混凝土强度中的较低值 f_{min} 。因此, 建议用文献 [1] 的计算公式对本文试验板进行冲切承载力计算, 其试验值与计算值比值的平均为 1.07, 标准差为 0.16, 符合性相当好。

3 叠合面剪应力和抗剪强度分析

采用等效圆板来分析和预测叠合面上的剪应力和抗剪强度。

3.1 剪应力等效模型

基本假定: 将作用有正方形加载面集中荷载的双向正交配筋的钢筋混凝土方板用均质等效圆板代替, 用来分析叠合面上的剪应力, 可证明其误差可以忽略不计 [2]。等效加载圆的半径 $b = c/\sqrt{\pi}$, 等效圆板的半径 $a = L_a/2 = L_b/2$ 。

3.2 剪应力计算

受拉区混凝土受弯开裂后的剪应力分布假定为常量, 按名义剪应力计算, 取

$$v = \frac{V}{Sh_0} \quad (1)$$

式 (1) 与叠合面位置无关, 且为截面上的最大剪应力。

3.3 剪应力计算环周长 S

根据有限元计算结果, 叠合面上的等剪应力线可近似表达为一距加载面周界距离相等的闭合曲线, 如图 3 所示。需要验证剪应力的计算环是冲切破坏锥面与叠合面相交的环。

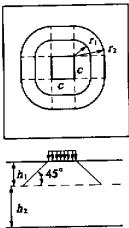


图 3 剪应力计算环示意
Fig.3 Shear stress calculation circle

因为在锥体内的叠合面上承受较大正向压应力,根据剪切摩擦理论,正向压应力能够提供叠合面的抗剪强度,叠合面的剪切开裂只能在冲切破坏锥体以外的叠合面产生,而在锥体以外产生最大剪应力的环只能是叠合面与锥相交的环。根据试验观察,冲切破坏锥体锥面母线的倾角可取 45° (见图3),则剪应力计算环周界的长度为

$$S_1 = u + 2\pi(h_2 \cdot \text{ctg}45^\circ) = u + 2\pi h_2. \tag{2}$$

若不计算叠合面的相对位置而按板中面计算,取 $h_2 = h/2$,则有

$$S_2 = u + \pi h, \tag{3}$$

将 S_1, S_2 分别代替式(1)中的 S ,并按此式对试验板进行剪力计算,如图4所示。计算结果表明:不论按何种方法计算,叠合面上的抗剪强度均大于 1.54 MPa 。

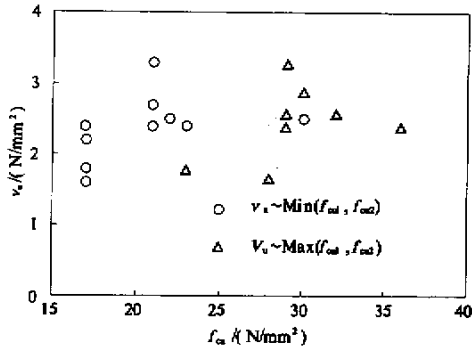


图4 $v_u - f_{cu}$ 关系图
Fig.4 $v_u - f_{cu}$ relationship

同时由该图可知,叠合面抗剪强度与 f_{cu1} 、 f_{cu2} 中的较小的值有关,随较小值的增加而增加。

Investigation into Shear Properties of Reinforced Concrete Superposed Slabs
Simply Supported on Four Sides

YANG Jian - shui¹, HAN Ju - hong¹, WANG Xiao - min²

(1. College of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Erqi Construction Company of Zhengzhou, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : This paper presents the shear test results of 13 specimens simply supported reinforced concrete superposed two - way slabs under concentrated load. The failure patterns and behaviors of the specimens are described and analyzed. The conclusions that the shear-bearing capacity of superposed slab is not lower than what is cast at one time when other conditions are the same and the less concrete strength between cast - insitu and precast concreted dominates the shear-bearing capacity of full slab are given. The model of equal shearing strength line for superposed slabs is given too. The proposed patterns and method of calculating shear-bearing capacity of such elements are put forward.

Key words : superposed slabs ;shearing strength ;shear model

必须说明的是,由于没有一块板是因为叠合面剪坏控制承载能力,因此,这里提供的抗剪强度只能是最小可能的抗剪强度平均值。

混凝土规范^[3]对混凝土叠合受弯构件叠合面平均极限剪应力限定为

$$\tau_{\max} \leq 0.4\text{ N/mm}^2. \tag{4}$$

由此可知,本文中的叠和面剪应力值明显大于式(4)的限定,本文试验结果可为下一轮的相关规范修订提供一定的参考。

4 结论

(1) 叠合板的受力性能和破坏形态均与整浇板相同,叠合板的受冲切承载力不低于条件相同的整浇板。叠合板中的两期混凝土强度较低的一种混凝土强度对受冲切承载力具有控制性。

(2) 叠合板的叠合面可采用自然粗糙面,叠合面抗剪强度的最小试验值为 $v_u = 1.54\text{ MPa}$ 。

(3) 叠合板抗剪设计中,除满足受冲切承载力的计算外,还应按下式验算叠合面上的剪应力

$$v = \frac{V}{Sh_0} \leq v_{u0}.$$

参考文献 :

[1] 韩菊红. 钢筋混凝土四边简支整浇双向板抗剪性能试验研究[J]. 郑州工学院学报, 1995, 16(1): 29 - 37.
[2] 陆学康, White R N. 钢筋混凝土圆板冲切破坏的有限元分析[J]. 土木工程学报, 1986 (5): 57 - 62.
[3] 中华人民共和国水利部. 水工混凝土结构设计规范(SL/T 191 - 96). 北京: 中国水利水电出版社, 1997.