

预应力带肋板与叠合板抗弯性能试验

孟宪宏¹,沙连凯¹,佟林¹,杨学会²

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳市城市基础设施建设
投资发展有限公司, 辽宁 沈阳 110013)

摘要 目的 研究预应力带肋板和预应力带肋叠合板的抗弯受力性能,为在实际工程中的应用以及数值模拟分析提供参考依据。方法 采用自行设计的预应力带肋板与叠合板,分别对预应力带肋板与预应力带肋叠合板进行均布加载试验,并采用 ABAQUS 软件进行模拟与试验数据对比,通过试验数据、试验现象分析力学性能。结果 净跨 4 640 mm 的预应力(肋宽:120 mm、肋高:70 mm)带肋板在预应力度 $\lambda = 0.47$,施工荷载 2 kPa 作用时,施工期间不需要加设支撑,可以满足承载力、挠度和变形要求;预应力带肋叠合板的最大跨度通过计算可以达到 5 100 mm。预应力带肋叠合板的挠度、裂缝在达到使用荷载时均满足要求。预应力带肋叠合板的结合面没有出现起皮、错层现象。结论 新型的预应力带肋叠合板具有制作工序简单、整体性能良好的优点,且板上所凸起的肋取代了常见叠合板结构中的桁架筋,既节约了大量钢筋,又能够满足施工过程中的吊装要求。

关键词 预应力带肋板;预应力带肋叠合板;抗弯性能;数值模拟分析

中图分类号 TU375

文献标志码 A

Experimental Research on Flexural Performance of Prestressed Ribbed Slab and Composite Slab

MENG Xianhong¹, SHA Liankai¹, TONG Lin¹, YANG Xuehui²

(1. School of Civil Engineering Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Shenyang Urban Infrastructure Construction Investment and Development Co., Ltd, Shenyang, China, 110013)

Abstract: This article is aimed to study the flexural performance of prestressed ribbed slab and prestressed ribbed composite slab to provide the reference in engineering and the numerical simulation. The self-designed prestressed ribbed slab and composite slab are adopted and distributed loading. The experimental data were compared with the data from the ABAQUS software. The mechanical properties of the specimens were analyzed by the test data and the experimental phenomena. The results show that prestressed ribbed plate does not need additional support and can meet the re-

收稿日期:2016-04-10

基金项目:国家十二五科技支撑计划项目(2012BAJ11B02);辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目(LJQ2013062)

作者简介:孟宪宏(1978—),男,副教授,主要从事装配式混凝土结构研究。

quirements of the bearing capacity, deflection and deformation during construction in the condition of prestressed degree of 0.47 and the construction load of 2 kPa, 4 640 mm span. The maximum span of prestressed ribbed composite slab can reach 5 100 mm. The deflection and crack of the prestressed ribbed composite slab meets the requirements when the service load is reached. The faying face has no phenomenon of peeling and staggered. The prestressed ribbed composite slab has the advantages of simple production process and good overall performance. The convex rib on the prestressed ribbed plate replace the truss rib in the common laminated plate structure, which can saves a lot of reinforcement and also meet the lifting requirements in the construction process.

Key words: prestressed ribbed plate; prestressed ribbed composite slab; bending properties; numerical analysis

目前,工程中应用的预应力叠合结构与传统的现浇结构相比具有施工简单、工期短、节约钢材等优点^[1-2]. 国内外对叠合结构已经有很多研究,均证明其具有较好的整体性^[3-9],英国混凝土公司最早采用一种“比藏”式凹槽叠合结构,只通过简单的凹槽来与现浇混凝土相结合. 山东大学的波纹钢腹板预应力混凝土叠合(PCCK)板具有自重轻、抗剪能力强的优点,但缺点是耗费钢材较多^[10-11]. 浙江大学研究的预应力钢桁架筋的叠合板结构,桁架筋的施工工序复杂,使用的跨度较小^[12]. 而 PK 预应力混凝土叠合板结

构,肋处制作复杂,钢筋消耗较大,生产效率较低^[13]. 目前我国预应力带肋叠合结构普遍存在钢材消耗较大、肋处制作工序复杂等问题. 笔者所采用的是新型预应力带肋叠合板结构,肋处代替了传统做法中的桁架筋,既能满足在施工过程中的吊装要求,又解决了楼板中管线布置的问题,并且具有自重轻、制作工序简单、节约钢材、整体性能良好等优点.

1 试 验

1.1 试件设计

预应力带肋叠合板试件构造如图 1 所示.

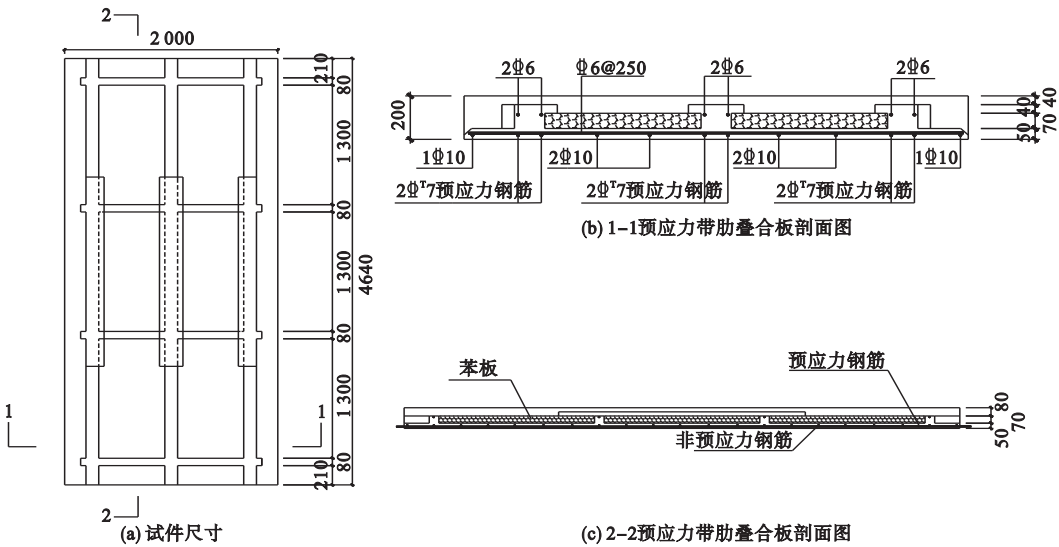


图 1 预应力带肋叠合板构造图

Fig. 1 Detail drawing of prestressed ribbed composite slab

试验共采用 4 个试件,预应力带肋板试件编号为 YZB1、YZB2,预应力带肋叠合板试件编号为 DHB1、DHB2,其中预应力带肋

板预先制作,制作完后在沈阳建筑大学结构实验室里进行试验,在其中两块预应力带肋板上浇筑一层 80 mm 的混凝土,与预应力带

肋板形成预应力带肋叠合板结构,所以,预应力带肋板与预应力带肋叠合板的尺寸相差为上面浇筑的一层 80 mm 厚的混凝土层,所有试件的混凝土强度等级均为 C40,结合面均为光面. 预应力带肋板与预应力带肋叠合板的参数如表 1 所示.

表 1 预应力带肋板与预应力带肋叠合板参数

Table 1 Geometric parameters of prestressed ribbed slab and composite slab

试件编号	长 × 宽/ mm	预制板厚度/ mm	现浇层厚度/ mm
YZB1	4 640 × 2 000	50	0
YZB2	4 640 × 2 000	50	0
DHB1	4 640 × 2 000	50	80
DHB2	4 640 × 2 000	50	80

1.2 试验加载方案及测点布置

(1) 预应力带肋板的加载

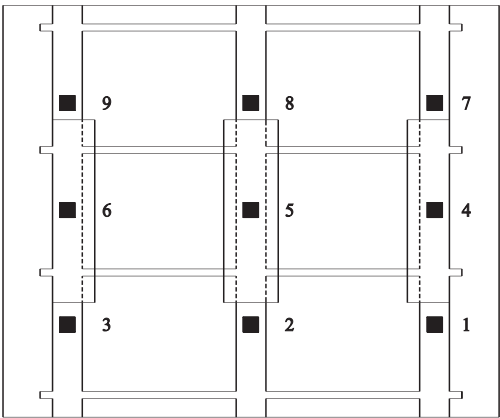
试验采用沙袋施加荷载. 两端设计为简支支座,板净跨 4 640 mm,两端搁置长度各为 100 mm. 预应力带肋板试验加载开始,将测量仪器读数调零,每排沙袋之间预留不小

于 50 mm 的间隙,每个沙袋重 50 kg,加载制度按照《混凝土结构试验方法标准》(GB/T50152—2012)^[14]的规定进行分区、分块均布加载,加载方案选取 23 kN、28 kN、33 kN、35.5 kN、38 kN、40.5 kN、43 kN 共 7 级荷载,每一级荷载堆载完成后持载 5 min 记录各项试验数据并观察试验现象. 试验加载图及试验应变片布置如图 2 所示,其中位移计布置在板下净跨 1/4 和 1/2 的位置.

当荷载加载的叠合板总厚为 200 mm,空心率为 18%. 因此板的实际厚度为 164 mm,预应力带肋板为 50 mm,故板有效厚度为 114 mm. 而加劲肋的高度通过计算折合后为 19 mm,因此可以得到后浇混凝土的高度为 95 mm,故计算后浇混凝土的自重为 23 kN. 预应力带肋板所施加的总荷载为施工荷载与后浇混凝土重力荷载之和,最终施加的总荷载为分别为 33 kN、38 kN、43 kN (见表 2).



(a) 预应力带肋板实际加载



(b) 应变片布置点示意图

图 2 预应力带肋板加载

Fig. 2 Prestressed ribbed plate loaded

表 2 预应力带肋板加载工况

Table 2 Prestressed ribbed slab loading condition

后浇混凝土重力荷载/kN	施工荷载取值/kPa	施加的总荷载/kN
23	1	33
23	1.5	38
23	2	43

(2) 预应力带肋叠合板的加载

预应力带肋叠合板加载按照《混凝土结构试验方法标准》(GB/T50152—2012)的规定进行分区、分块均布加载,每排沙袋之间预留不小于 50 mm 的间隙,每一级荷载堆载完成后持载 5 min 记录各项试验数据并观察试

验现象,并对预应力带肋叠合板结构的挠度、裂缝进行测量,检查是否满足使用阶段的要求.出于对实际工程考虑施工荷载取值为2 kPa,而地面及地暖在2.4~3 kPa,因此最终使用荷载取值为4.5 kPa,预应力带肋叠合板试件 DHB1 加载方案为9 kN、13.5 kN、18 kN、22.5 kN、27 kN、31.5 kN、36 kN、40.5 kN、50.5 kN、65.5 kN 和 110.5 kN 共11级荷载,DHB2 加载方案为9 kN、13.5 kN、18 kN、22.5 kN、27 kN、31.5 kN、36 kN、40.5 kN、57.5 kN、74.5 kN、91.5 kN 和 101.5 kN 共12级荷载,两者前8级所加荷载相同.试验加载到使用荷载后继续加载直至试件达到极限承载力后停止加载.预应力带肋叠合板与预应力带肋板的位移计和应变片布置完全一样(见图2(b)).预应力带肋叠合板加载如图3所示.



图3 预应力带肋叠合板加载

Fig. 3 Prestressed ribbed composite slab loaded

2 试验现象及结果分析

2.1 预应力带肋板

预应力带肋板在整个加载过程中挠度变化不大,但在起肋处钢筋应力有较为明显的变化,当加载到38 kN即施工活荷载1.5 kPa时,观察到起肋处出现了微小裂缝,但在板的中部和其他部位均未发现裂缝.随着荷载增加到最后1级43 kN即施工活荷载相当于

2 kPa时,起肋处的裂缝宽度和长度持续不断的发展,在板的中部和其他部位仍未观察到裂缝.加载与卸载的跨中荷载-挠度曲线如图4所示.

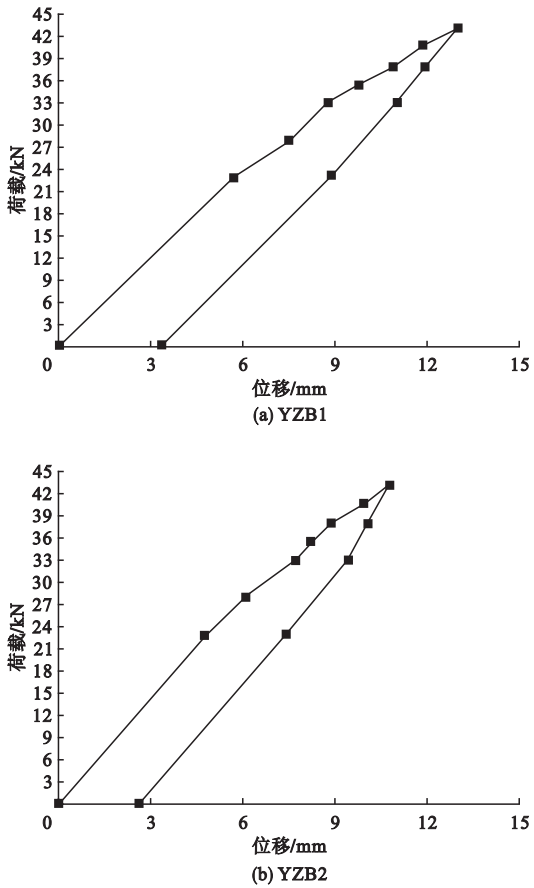


图4 预应力带肋板跨中荷载-挠度曲线

Fig. 4 The load-deflection curves of prestressed ribbed plates

通过对预应力带肋板的加载,可知预应力带肋板在施工荷载作用下的挠度和裂缝均非常微小.测得两块板的最大挠度为13.01 mm,小于《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)^[15]规定的 $l_0/200$ (挠度限值22.2 mm),裂缝宽度基本在0.2 mm以内,满足在施工阶段不架设支撑的条件.

2.2 预应力带肋叠合板

预应力带肋叠合板加载直至使用荷载40.5 kN,即在扣除装修面层后的活荷载为2 kPa时,观察到预应力带肋叠合板的裂缝宽

度非常微小,基本在 0.1 mm 以内,跨中挠度变化不大.对预应力带肋叠合板继续加载到 110.5 kN,即在扣除装修面层后的活荷载为 9.5 kPa 时,试件挠度变化较大,在跨中出现了贯通的裂缝如图 5 所示.预应力带肋叠合板的结合面在加载的过程中一直未观察到出现起皮和错动的现象,结合良好.

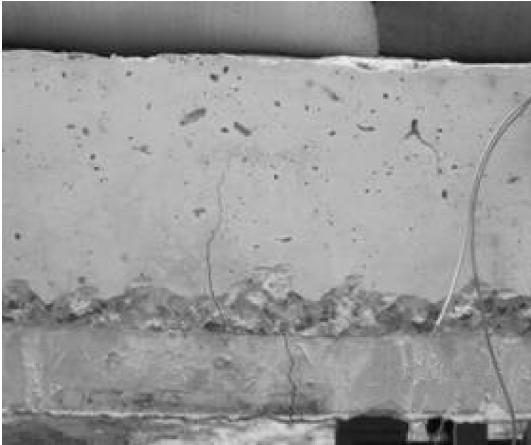


图 5 预应力带肋板跨中破坏形态

Fig. 5 The destroy configuration of prestressed ribbed slab

预应力带肋叠合板当加载到使用荷载 40.5 kN 即施工活荷载为 2 kPa 时,两试件跨中最大挠度为 2.9 mm 远小于通过按《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)规定 $l_0/250$ 计算出的挠度限值 17.76 mm.为进一步验证叠合板的承载力,加载到最大荷载 110.5 kN 即施工活荷载为 9.5 kPa 时,两试件的最大挠度均出现在跨中位置,最大挠度达到了 54.13 mm,预制带肋叠合板的挠度超出了通过计算出的挠度限值 22.2 mm. 预制带肋叠合板出于安全考虑没有继续加载,虽然挠度较大但结合面没有发现错动、起皮的现象,结合良好,具有非常好的整体性能.试验测得裂缝都很小,裂缝宽度基本在 0.25 mm 以内.荷载—挠度曲线如图 6 所示.从图可以看出预制带肋叠合板具有较高的安全储备,满足《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)的规定.

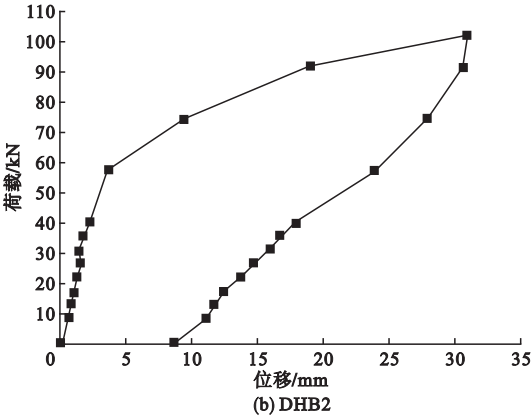
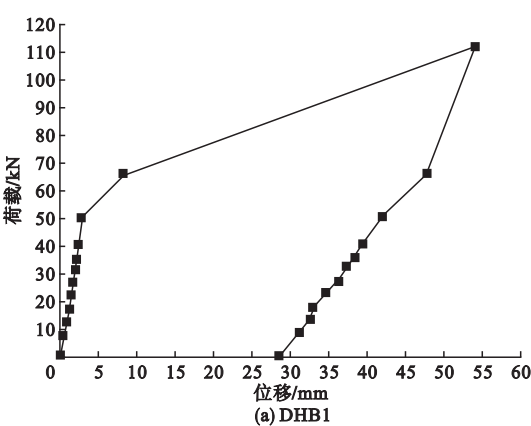


图 6 预应力带肋叠合板跨中荷载—挠度曲线

Fig. 6 The load-deflection curves of prestressed ribbed composite slabs

3 预应力带肋板的计算与 ABAQUS 有限元模拟分析

3.1 预应力带肋板计算

(1) 试件抗弯承载力计算

预应力带肋叠合板抗弯承载力计算,宽取 700 mm、距板短边 1 240 mm 处的 T 型截面,截面简图如图 7 所示.根据《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)中的公式算得承载力弯矩值 M 为 9.68 kN·m,在施工荷载 2 kPa 时距板短边 1 240 mm 起肋处的荷载弯矩值 M' 为 7.2 kN·m, $M > M'$, T 型截面满足抗弯承载力要求.

宽取 700 mm、距板短边 2 320 mm 的跨中处的 I 型截面,截面简图如图 8 所示.根据《混凝土设计规范》(GB50010—2010)中的公式算得承载力弯矩值 M 为 15.73 kN·m,

在施工荷载 2 kPa 条件下距板短边 2 320 mm 跨中荷载弯矩值 M' 为 14.38 kN·m, $M > M'$, I 型截面满足抗弯承载力要求.

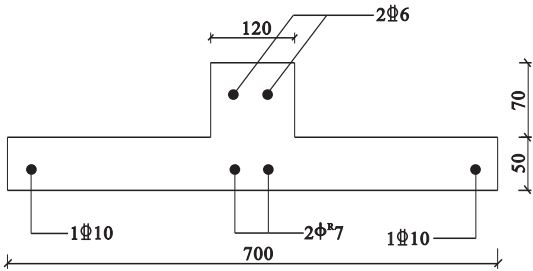


图 7 T 型截面简图

Fig. 7 T Cross section diagram

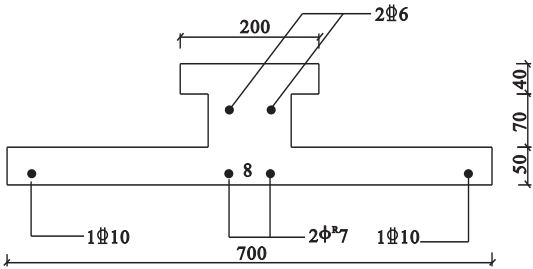


图 8 I 型截面简图

Fig. 8 Type I cross section diagram

(2) 试件挠度计算

宽取 700 mm、距板短边 2 320 mm 处的跨中 I 型截面,截面简图如图 9 所示. 对施工阶段的挠度进行验算. 通过计算加载到最大施工荷载 43 kN 即施工活荷载 2 kPa、叠合层 80 mm 时的计算挠度值为 9.02 mm, 小于施

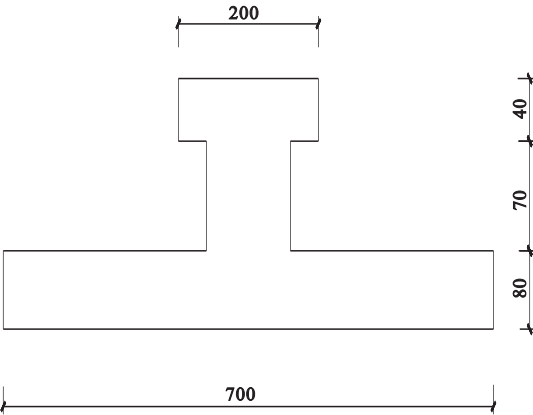


图 9 I 型截面简图

Fig. 9 Type I cross section diagram

工阶段的实际最大挠度值 13.02 mm, 实际最大挠度值小于通过 $l_0/250$ 计算得出的挠度限值 17.76 mm, 因此在施工阶段可以不加支撑.

宽取 1 000 mm、距板短边 2 320 mm 处的跨中矩形空心截面,截面简图如图 10 所示. 对浇筑混凝土叠合后的挠度进行验算. 加载到使用荷载 40.5 kN 即施工活荷载相当于 2 kPa 时的计算挠度值为 3.58 mm, 大于试件在实际使用荷载情况作用下的挠度值 2.9 mm, 因此满足使用阶段要求.

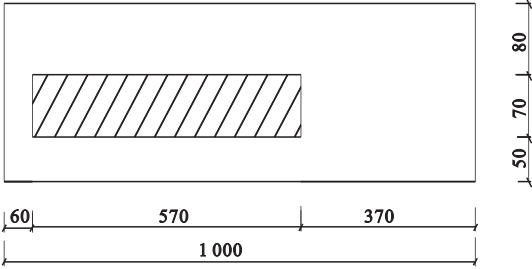


图 10 叠合板截面简图

Fig. 10 cross section of composite slab

(3) 预应力带肋板的最大跨度验算

预应力度度的计算式为

$$\lambda = \frac{f_{py} A_p}{f_{py} A_p + f_y A_s} \tag{1}$$

式中: A_p 、 A_s 分别为预应力筋和非预应力筋的面积; f_{py} 为预应力筋的屈服强度; f_y 为非预应力筋的屈服强度.

根据式(1)得到预应力带肋板的预应力度 λ 为 0.47, 而在该预应力度条件下, 根据《预应力混凝土叠合板图集》(06SG439 - 1), 底板厚为 50 mm 时预应力带肋板最大跨度可为 5 100 mm, 挠度计算式为

$$f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI} \tag{2}$$

式中: q 为均布线荷载标准值; l 为预应力带肋板的最大跨度; EI 是预应力带肋板的弯曲刚度; 通过计算可得板跨度为 5 100 mm 时的挠度值 f_{max} 为 13.17 mm.

根据《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)规定, 当 $l_0 < 7$ m 时, 可由下式计算挠度限值:

$$f'_{\max} = \frac{l_0}{200}.$$

(3)

f'_{\max} , 所以在此预应力度下预应力带肋板的最大跨度可为 5 100 mm.

式中: l_0 为计算跨度,取值 4 900 mm,计算可得其挠度限值 f'_{\max} 为 24.5 mm,故 $f_{\max} <$

预应力带肋板与预应力带肋叠合板的理论计算值与试验值如表 3、表 4 所示.

表 3 预应力带肋板计算值与试验值

Table 3 Calculated and experimental data of prestressed ribbed plate						
截面 类型	计算位置		承受弯矩/(kN·m)		施工活荷载 2 kPa 时挠度/mm	
	宽/mm	到板短边距离/mm	计算值	试验值	计算值	试验值
T 型	700	1 240	9.68	7.2	—	—
I 型	700	2 320	15.73	14.38	9.02	10.77

表 4 预应力带肋叠合板计算值与试验值

Table 4 Calculated and experimental data of prestressed ribbed composite slab						
截面 类型	计算位置		承受弯矩/(kN·m)		施工活荷载 2 kPa 时挠度/mm	
	宽/mm	到板短边距离/mm	计算值	试验值	计算值	试验值
矩形空心截面	1 000	2 320	54.04	32.3	3.58	2.9

3.2 ABAQUS 有限元模拟分析

(1)单元选择与网格划分

ABAQUS 的模型库中具有大量的模型,试验的模拟采用分离式来建立有限元的模型^[16],混凝土采用八节点三维空间的六面体单元,钢筋采用两节点的三维桁架单元,由于混凝土网格划分过密可能会导致结果的不准确,所以本模拟预应力带肋板的单元模型如图 11 所示.

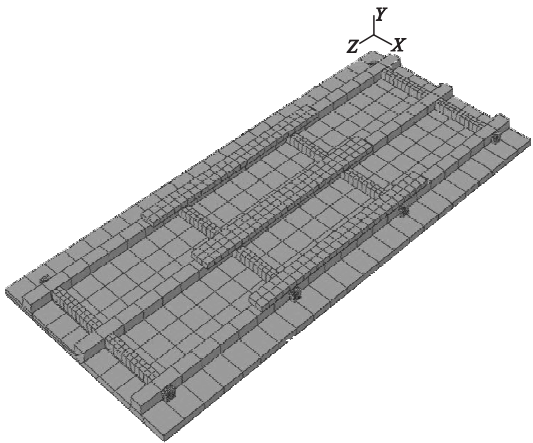


图 11 预应力带肋板的单元模型

的规定采用, ABAQUS 的有限元混凝土模型使用混凝土损伤塑性模型^[17-18]. 用 ABAQUS 软件只对预应力带肋板进行了简单的模拟分析,在板边施加约束来模拟实际的支撑条件^[19-20]. 钢筋与混凝土应变如图 12、图 13 所示.

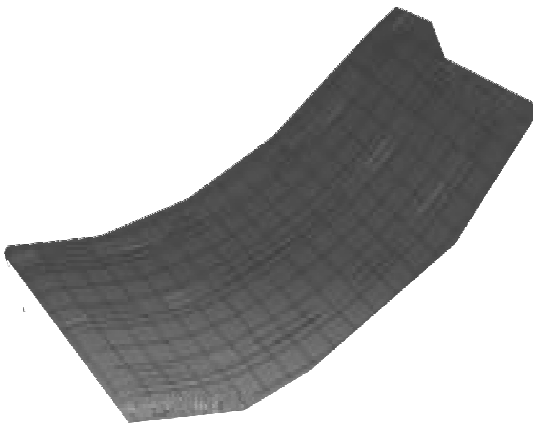


图 12 钢筋应变图

Fig. 12 Strain diagram of steel bar

(3)有限元模拟与试验结果的对比分析

在 ABAQUS 有限元模型中所施加的均布荷载与预应力带肋板所加载的均布荷载相同,预应力带肋板在施工阶段与 ABAQUS 模拟分析所得出的荷载 - 挠度曲线如图 14 所示,从图中可以看出有限元的模拟和试验所

Fig. 11 Unit model of prestressed ribbed plates

(2)混凝土和钢筋的本构关系

混凝土和钢筋的本构关系按照《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)附录 C 中

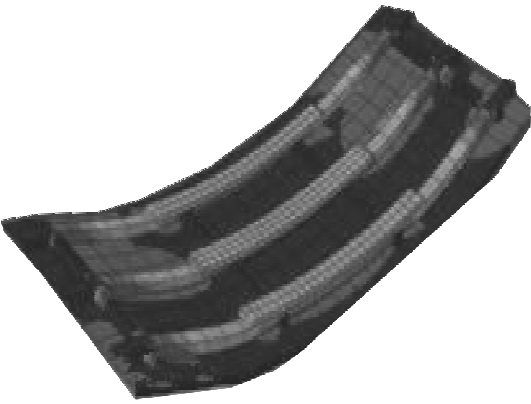


图 13 混凝土应变图

Fig. 13 strain diagram of Concrete

得的结果非常的接近.

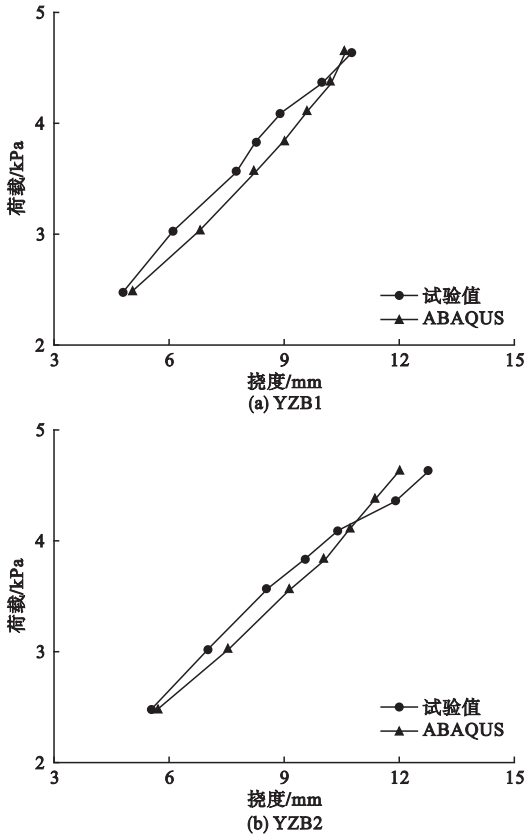


图 14 预应力带肋板荷载 - 挠度曲线

Fig. 14 Load-deflection curves of prestressed ribbed plates

4 结 论

(1) 预应力带肋叠合板在达到使用荷载时的挠度、裂缝均满足要求. 预应力带肋叠合板的结合面没有出现起皮、错层, 结合良好.

预应力带肋板在试验过程中, 主要在起肋处出现了应力集中现象并导致起肋处出现微小的裂缝, 钢筋应力变化较大, 应该对起肋处的肋结构再进行设计优化.

(2) 4 640 mm 的预应力(肋宽: 120 mm、肋高: 70 mm)带肋板在预应力度 $\lambda = 0.47$ 的条件下, 在施工荷载 2 kPa 作用时, 施工期间不需要加设支撑, 可以满足施工期间的承载力、挠度和变形要求. 在此预应力度为 $\lambda = 0.47$ 的条件下, 预应力带肋叠合板的最大跨度通过计算可以达到 5 100 mm.

(3) 预应力带肋板上所凸起的肋取代了常见叠合板结构中的桁架筋, 既节省了大量钢筋, 又满足在施工过程中的吊装要求, 使施工过程得到简化. 具有自重轻、制作工序简单、节约钢材、整体性能良好等优点.

参考文献

[1] 刘海成, 郑旭, 李红旺. 叠合楼板结合面剪切试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2015(6): 1014 - 1022.
(LIU Haicheng, ZHENG Xu, LI Hongwang. Experimental study on combined surface shear of composite floor[J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2015(6): 1014 - 1022.)
[2] 岳建伟, 彭燕伟, 魏锟. 带肋预应力叠合板在钢结构工程中的应用[J]. 建筑技术, 2010, 41(12): 1090 - 1093.
(YUE Jianwei, PENG Yanwei, WEI Kun. Application of precast composite slab with trough in steel structure[J]. Architecture technology, 2010, 41(12): 1090 - 1093.)
[3] WANG Bing, ZHANG Yalong, LIU Xiao. Study on flexural bearing capacity of unbound-ed pre-stressing composite slab[J]. Applied mechanics and materials, 2011, 71/78: 1020 - 1024.
[4] MOHAMMED B S. Structural behaviour and M-K value of composite slab utilizing concrete containing crumb rubber[J]. Construction and building materials, 2010, 24(7): 1214 - 1221.
[5] HERRMANN P, JUEN L, FINK J. Development of an innovative composite deck slab for railway bridges[J]. Stahlbau, 2011, 80(11): 859 - 865.
[6] JANKE L, CZUDERSKI C, RGENRUTH J,

- et al. Experiments on the residual load-bearing capacity of prestressed confined concrete columns [J]. Engineering structures, 2009, 31 (10): 2247 – 2256.
- [7] JURDOVA K. Bearing capacity of sheet hangerconnection to the trapezoidal metal sheet[J]. International journal of civil, structural, construction and architectural engineering, 2014, 8 (7): 789 – 793.
- [8] 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 – 63.
(YE Xianguo, HUA Hegui, XU Tianshuang. Experimental study on connections of super imposed slabs[J]. Industrial construction, 2010, 40(1): 59 – 63.)
- [9] 朱筱俊, 庞瑞, 许清风. 全装配式钢筋混凝土楼盖竖向受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(1): 123 – 130.
(ZHU Xiaojun, PANG Rui, XU Qingfeng. Experimental study on vertical mechanical behavior of new-type precast RC floor[J]. Journal of building structures, 2013, 34(1): 123 – 130.)
- [10] 侯和涛, 马天翔, 叶海登. 波纹钢腹板预应力混凝土叠合板的抗弯性能试验研究[J]. 建筑钢结构进展, 2013, 15(6): 42 – 43.
(HOU Hetao, MA Tianxiang, YE Haideng. Experimental study on flexural properties of corrugated steel webs prestressed concrete composite panels[J]. Progress in steel building structures, 2013, 15(6): 42 – 43.)
- [11] HOU Hetao, Lü Zhonglong, LIU Haining. Flexural behavior of PK prestressed concrete composite slab with corrugated steel web[J]. Applied mechanics and materials, 2013, 351/352: 231 – 236.
- [12] 刘轶, 童根树, 曹志毅. 钢筋桁架叠合板性能试验和设计方法研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2006, 4(2): 57 – 58.
(LIU Yi, TONG Genshu, CAO Zhiyi. Composite panels of reinforced truss performance test and design methods[J]. Concrete and cement products, 2006, 4(2): 57 – 58.)
- [13] 黄二位, 吕忠珑, 侯和涛. PK 预应力混凝土叠合板的抗弯性能研究[J]. 工程建设与设计, 2013(7): 149 – 150.
(HUANG Erwei, Lü Zhonglong, HOU Hetao. Research bending performance PK prestressed concrete composite panels [J]. Engineering construction and design, 2013(7): 149 – 150.)
- [14] 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/T50152—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard methods for testing of concrete structure: GB/T50152—2012 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2012.)
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design of concrete structures: GB50010—2010[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.)
- [16] 王元清, 袁霞. 钢筋桁架混凝土双向叠合楼板承载性能分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2014, 30(3): 386 – 387.
(WANG Yuanqing, YUAN Xia. Bidirectional composite slab of reinforced concrete truss bearing performance analysis [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2014, 30(3): 386 – 387.)
- [17] CRASSLA P, JIRASEKB M. Damage-plastic model for concrete failure [J]. International journal of solids and structures, 2006, 43 (22/23): 7166 – 7196.
- [18] CICEKLI U, VOYIADJIS G Z, AL-RUD R K. A plasticity and anisotropic damage model for plain concrete[J]. International journal of plasticity, 2007, 23 (10/11): 1874 – 1900.
- [19] 刘运林, 叶献国, 胡昊. 带格构钢筋混凝土叠合板的数值模拟与格构钢筋作用分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2014, 37 (9): 1093 – 1096.
(LIU Yunlin, YE Xianguo, HU Hao. Numerical simulation of superimposed slabs with lattice gird and analysis of the function of lattice gird[J]. Journal of Hefei university of technology (natural science), 2014, 37 (9): 1093 – 1096.)
- [20] 谷岩, 姜忻良, 郇筱林. 纤维石膏速成板 – 钢筋混凝土密肋组合楼板承载能力有限元分析[J]. 工业建筑, 2011, 41(6): 75 – 78.
(GU Yan, JIANG Xinliang HUAN Xiaolin. Finite element analysis on bearing capacities of composite slabs with fiber-reinforced gypsum panel and reinforced concrete [J]. Industrial construction, 2011, 41(6): 75 – 78.)