

Mechanical Property of PBL Shear Connector in Cable-Pylon Anchorage Zone with Steel Anchor Plate

Donglian Tan¹, Fengjiang Qin²

¹Institute of Rail Transit, Shanghai Institute of Technology, Shanghai

²School of Architecture and Construction, Chongqing University, Chongqing
Email: tdl021@126.com

Received: Mar. 3rd, 2017; accepted: Mar. 21st, 2017; published: Mar. 24th, 2017

Abstract

Cable tower anchorage zones, using concrete and steel anchor plate of cable support tower cable-stayed bridge system, have simple structure and reasonable stress. The static performance of the PBL shear keys in the neotype anchoring system has been carried on using finite element analysis. The analysis results show that on the perforated steel bar length direction along the whole group's key, force mainly concentrated in the length of the steel anchor plate near. For multilayer perforated steel group's key, from top to bottom along the vertical direction, PBL key perforated steel transmission force decreases. When increasing the PBL key perforated rebar diameter or increasing the thickness of the steel anchor plate, the stress and displacement of the PBL are decreased. Regardless of cohesive action between steel anchor plate and concrete, concrete stress level is lower and evenly distributed. This new type of anchorage system adopting PBL shear keys as joints between steel and concrete can make good use of the material performance. The mechanical performance is good.

Keywords

Cable-Stayed Bridge, Neotype Anchor System, Steel Anchor Plate, PBL Shear Connector, Load-Transferring Mechanism

钢锚板式钢-混组合索塔锚固区PBL剪力键传力机理分析

谭冬莲¹, 秦凤江²

¹上海应用技术大学轨道交通学院, 上海

²重庆大学土木工程学院, 重庆

文章引用: 谭冬莲, 秦凤江. 钢锚板式钢-混组合索塔锚固区 PBL 剪力键传力机理分析[J]. 土木工程, 2017, 6(2): 146-155. <https://doi.org/10.12677/hjce.2017.62016>

Email: tdl021@126.com

收稿日期: 2017年3月3日; 录用日期: 2017年3月21日; 发布日期: 2017年3月24日

摘要

索塔采用混凝土、锚固区采用钢锚板的斜拉桥索塔锚固体系, 构造简单, 受力合理。本文针对这种新型锚固体系中PBL剪力键进行了静力性能有限元分析, 分析结果表明, 在沿整个PBL键穿孔钢筋长度方向上, 传力主要集中在钢锚板附近的长度; 对于多层PBL键穿孔钢筋, 沿着竖向方向从上到下PBL键穿孔钢筋传递的力逐渐减小; 当增大PBL键穿孔钢筋直径或增加钢锚板厚度时, PBL键的应力和位移都随着减小; 不考虑钢锚板与混凝土之间的粘结作用时, 与钢锚板接触但无粘结作用的混凝土应力水平较低且分布均匀。这种新型锚固体系采用PBL剪力键作为钢构件与混凝土之间的连接件能很好的利用材料性能, 受力性能良好。

关键词

斜拉桥, 索塔新型锚固体系, 钢锚板, PBL剪力连接件, 传力机理

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钢锚板式钢-混组合索塔锚固体系是一种新型的索塔锚固结构[1] [2] [3]。PBL键的传力机理对于锚固结构的受力分析非常重要[4] [5] [6] [7] [8]。这种埋入式钢锚板是通过钢板上开孔布置钢筋(PBL剪力键)与混凝土连接, 因此, 研究锚固区中PBL键的传力机理是这种新型锚固体系得以应用的关键, 为PBL剪力键在索塔锚固区上的应用中, 合理确定PBL剪力键的受力性能, 优化剪力连接件的设置, 从而简化索塔锚固体系的构造提供理论依据。

本文依托某大桥采用的钢锚板式索塔锚固体系, 对该种锚固结构的PBL剪力连接件受力性能进行详细的有限元分析。

2. 有限元分析模型

本文采用大型结构分析通用软件ANSYS, 钢筋混凝土选用SOLID65单元; 锚拉板采用实体单元SOLID45单元; 本文关键部件PBL键(穿孔钢筋)采用实体单元SOLID185单元; 钢锚板、PBL键与混凝土接触部分均采用非线性面-面接触单元CONTA174与TARGE170, 摩擦系数取0.4; 钢锚板底板与混凝土接触面摩擦系数取0.16。接触面处于接触状态时不相互穿透、可以传递法向压力和切向摩擦力而不传递法向拉力。如图1和图2所示。

3. 有限元分析结果

通过计算分析得到, PBL剪力键键群传递的荷载总和为154 kN, 占比为2.85%。共传递的水平分力 $F_X = 143$ kN, 占比2.97%; 竖向分力 $F_Y = 56$ kN, 占比为2.32%。

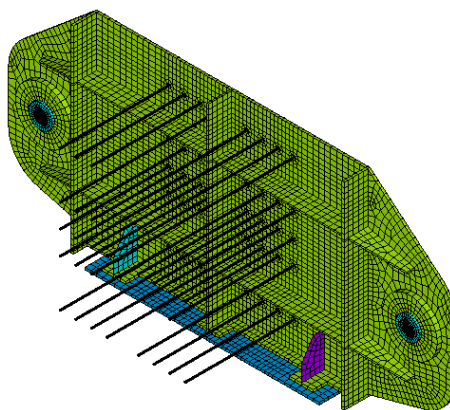


Figure 1. Finite Element
图 1. 有限元模型

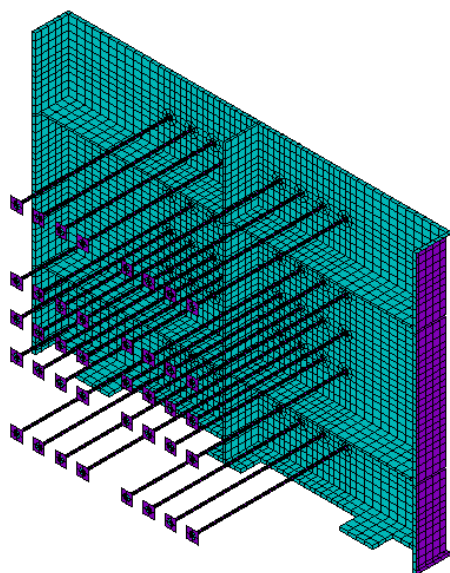


Figure 2. CONTA174 and TARGE170
图 2. CONTA174 与 TARGE170 单元

3.1. 穿孔钢筋荷载传递状况

由图 3、图 4 沿长度方向荷载传递的变化图可以看出, 在对称加载下, 随着距离钢锚板的距离越远, 传递的荷载值越小, 在 PBL 键两端传递的分力接近于 0。

3.2. PBL 剪力键穿孔钢筋群荷载传递状况

从图 5、图 6 可得到, PBL 剪力键群受力不均匀, 水平分力不均匀程度系数 $Q_{\max}/Q_{\text{平均}} = 18/7 = 2.58$; 竖向分力不均匀程度系数 $Q_{\max}/Q_{\text{平均}} = 11/3 = 4.10$ 。同层中受力呈“两边大, 中间小”, 而对于不同层则由上至下所传递的分力依次减少, 底层受力最小。

3.3. PBL 剪力键(穿孔钢筋)的应力和变形

由有限元分析结果可以得到, 第 1 排第 1 列 PBL 键穿孔钢筋应力和位移值最大。如图 7 和图 8 所示, 最大应力为 152 MPa, 最大位移为 0.16 mm。

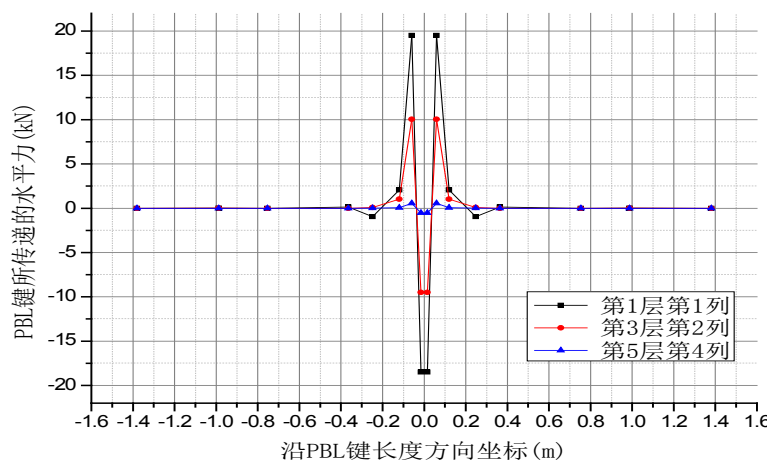


Figure 3. The change of horizontal component

图 3. 水平分力变化

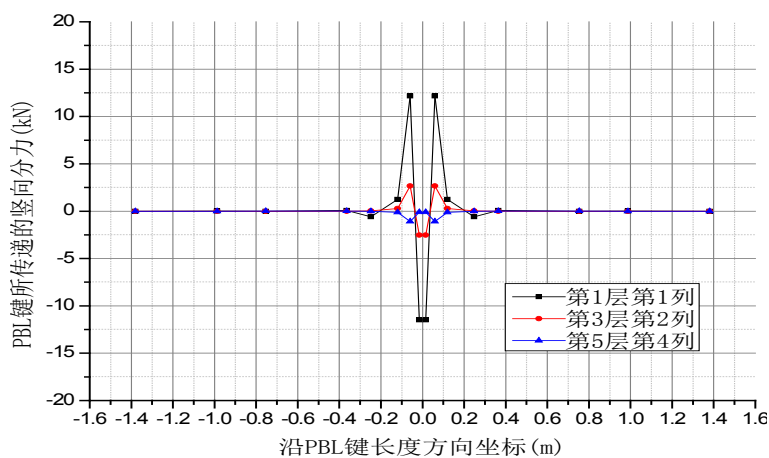


Figure 4. The change of vertical component

图 4. 竖向分力变化

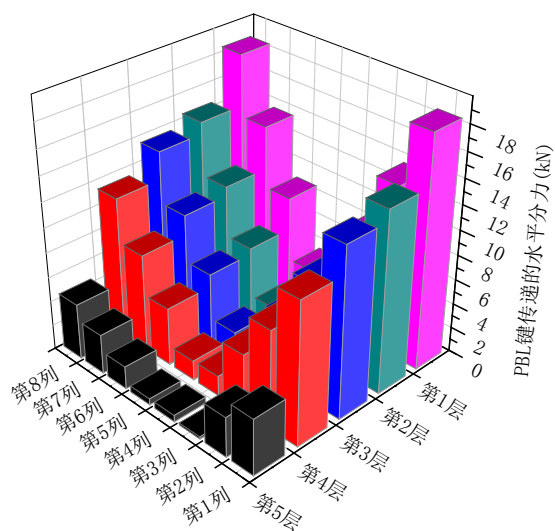


Figure 5. The distribution of horizontal component

图 5. 水平分力分布图

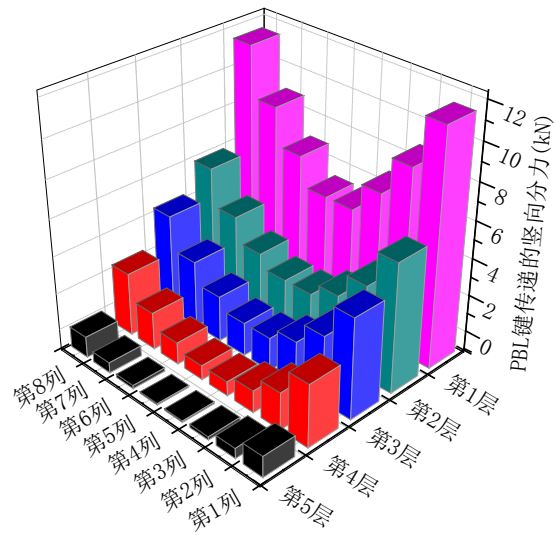


Figure 6. The distribution of vertical component
图 6. 竖向分力分布图

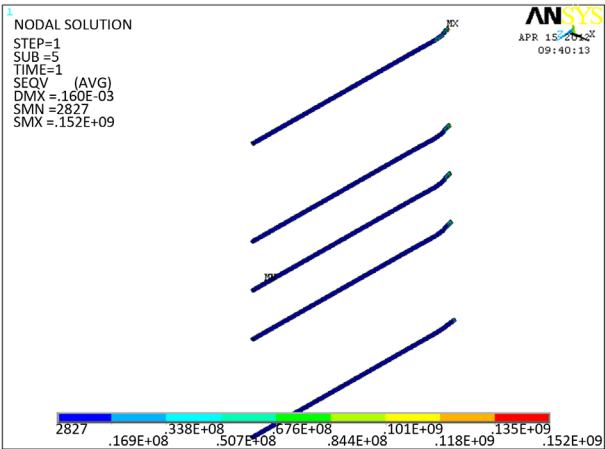


Figure 7. The stress of first rank steel bar ($\times 10^{-6}$ MPa)
图 7. 第 1 列穿孔钢筋应力图($\times 10^{-6}$ MPa)

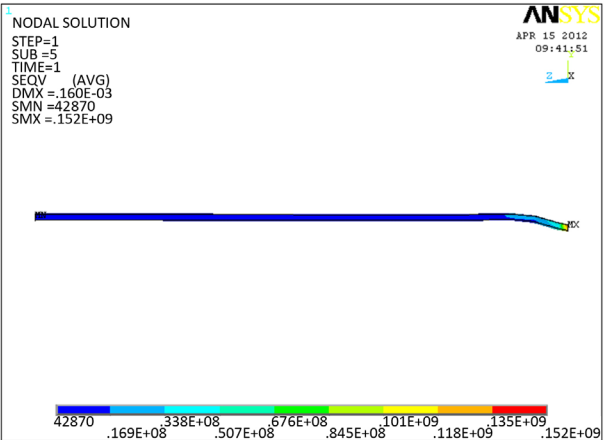


Figure 8. The stress of first line steel bar ($\times 10^{-6}$ MPa)
图 8. 第 1 层第 1 列穿孔钢筋应力图($\times 10^{-6}$ MPa)

4. 参数分析

4.1. 钢锚板厚度

为了研究钢锚板厚度对 PBL 键受力性能的影响, 本文分析了钢锚板厚度分别为 50 mm、55 mm、60 mm、65 mm、70 mm 时的 PBL 键的受力性能, 结果如表 1 所示。

从图 9 中可以看出, 当钢锚板厚度由 50 mm 逐渐增大到 70 mm 时, PBL 键所传递的水平分力则逐渐减小 41 kN。从图 10 可以看出, 当钢锚板厚度逐渐增大时, PBL 键传递的竖向分力略微增加, 但增加的幅度不大, 在参数范围内仅增加了 5 kN。

从图 11~图 12 可得, 随着钢锚板厚度增加, 穿孔钢筋上最大应力和位移值则随之减小。当钢锚板厚度从 50 mm 增大到 70 mm, PBL 键穿孔钢筋的最大应力则对应减小 48 MPa, 最大位移略微减小。

4.2. 钢锚板与混凝土有无粘结

钢构件与混凝土之间无粘结即两者之间可自由滑动, 这样与钢锚板接触的混凝土应力水平较低, 且应力均匀, 由此分析 PBL 键受力性能。本文研究单侧加载的最不利工况下 PBL 键键群的受力性能。通过有限元仿真分析得到不考虑钢锚板与混凝土之间的粘结作用时各 PBL 键所传递力的值如表 2 所示。

1) PBL 剪力键穿孔钢筋群传递荷载对比

钢构件与混凝土之间是否粘结 PBL 键传递荷载对比结果如表 3 所示。

Table 1. The force, stress and displacement of PBL under the different thickness of the steel anchor plate

表 1. 不同钢锚板厚度下 PBL 键的传力、应力和位移

钢锚板厚度(mm)	水平力(kN)	竖向力(kN)	最大应力(MPa)	最大位移(mm)
50	167	53	180	0.17
55	154	55	165	0.17
60	143	56	152	0.16
65	134	57	141	0.16
70	126	58	132	0.15

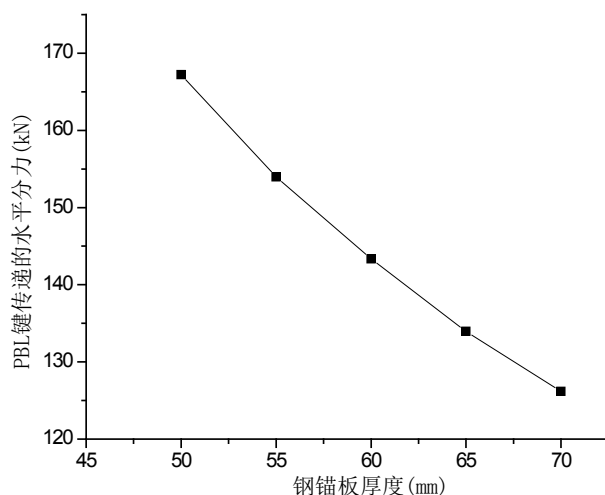


Figure 9. Variations of Horizontal component by steel anchor plate thickness

图 9. 水平分力-钢锚板厚度关系图

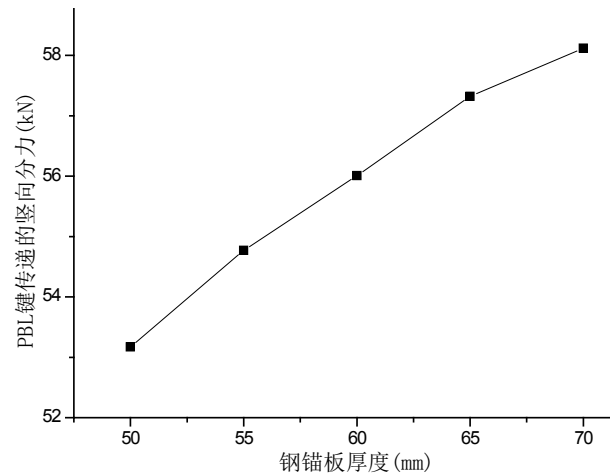


Figure 10. Variations of Vertical component by steel anchor plate thickness
图 10. 竖向分力-钢锚板厚度关系图

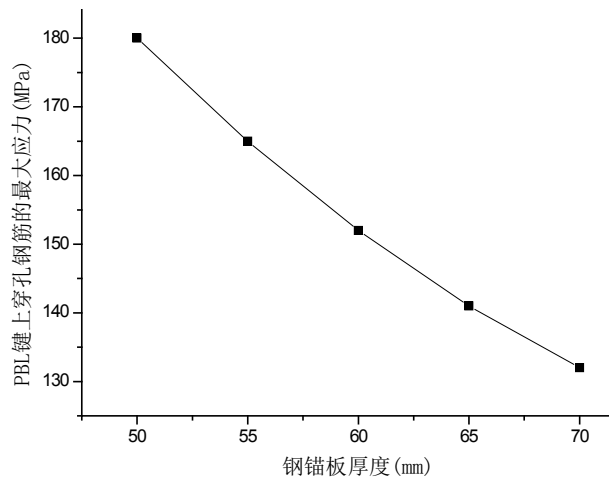


Figure 11. Variations of Steel stress by steel anchor plate thickness
图 11. 钢筋应力-钢锚板厚度关系图

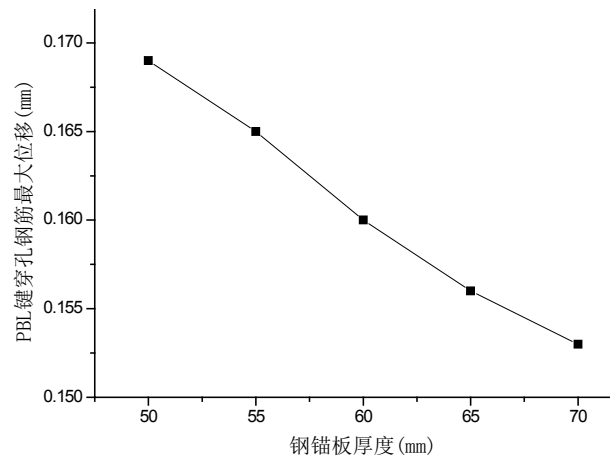


Figure 12. Variations of Steel displacement by steel anchor plate thickness
图 12. 钢筋位移-钢锚板厚度关系图

Table 2. The force by PBL when no bonded
表 2. 无粘结时 PBL 键所传递的力(kN)

层	列	1	2	4	5	6	7	8
1	水平力	-39	-33	-22	-20	-18	-17	-15
	竖向力	-11	-8	-4	-2	-1	-1	-1
2	水平力	-33	-28	-18	-17	-16	-14	-13
	竖向力	-6	-4	-2	0	0	1	1
3	水平力	-29	-25	-16	-16	-14	-13	-12
	竖向力	-4	-2	-1	1	1	1	1
4	水平力	-25	-21	-14	-14	-13	-12	-11
	竖向力	-2	-1	0	1	1	1	1
5	水平力	-17	-15	-11	-12	-12	-11	-10
	竖向力	0	0	0	2	2	2	2

Table 3. The comparison of force by PBL between bonded and unbonded
表 3. 钢锚板与混凝土之间有无粘结 PBL 键穿孔钢筋群传递荷载对比

项目	工况	钢构件与混凝土之间有粘结	钢构件与混凝土之间无粘结
传递荷载总和(kN)		823	728
传递荷载总和百分比(%)		15	14
传递水平分力总和(kN)		611	728
传递水平分力百分比(%)		13	15
传递竖向分力总和(kN)		55	38
传递竖向分力百分比(%)		2	2

通过对比分析可看出, PBL 键群传递的荷载总和为 728 kN, 占总荷载的 14%, 而有粘结时为 15%; 共传递的水平分力为 728 kN, 占总水平分力的 15%, 而有粘结为 13%; 竖向分力为 38 kN, 占总竖向分力的 2%, 与有粘结相当。可以看出, 钢锚板与混凝土之间无粘结时 PBL 键群总传递的水平分力增大。而竖向分力变化很小。

2) 各层 PBL 键穿孔钢筋群受力性能比较

选取第 1、3、5 层 PBL 键来进行钢构件与混凝土是否粘结的 PBL 键受力性能分析, 分析结果如图 13、图 14 所示。

从图 13 可以看出, 无粘结时 PBL 键传递的水平分力大于有粘结时 PBL 键传递的水平分力, 从图 14 可以看出层无粘结时 PBL 键传递的竖向分力与有粘结时 PBL 键传递的竖向分力无明显变化。

3) PBL 剪力键穿孔钢筋群受力性能

从图 15、图 16 可以看出, 钢构件与混凝土之间无粘结作用时, 水平分力不均匀程度系数 $Q_{\max}/Q_{\text{平均}} = 39/18 = 2.1$; 竖向分力不均匀程度系数 $Q_{\max}/Q_{\text{平均}} = 11/1 = 11$ 。在每一层中从第 1 列至第 8 列也就是从加载端到自由端 PBL 键所传递的力依次向右逐渐减小。

5. 结语

对钢锚板式钢-混组合索塔锚固体系中 PBL 键的传力机理进行了系统的理论分析, 得出结论如下:

1) 钢锚板式锚固区结构中, PBL 键穿孔钢筋群传递的荷载占比较少, 荷载主要由钢锚板承担。2) 在钢锚板附近的 PBL 剪力键受力较大, 随着距离钢锚板越远, 穿孔钢筋的受力逐渐减小, 因此在

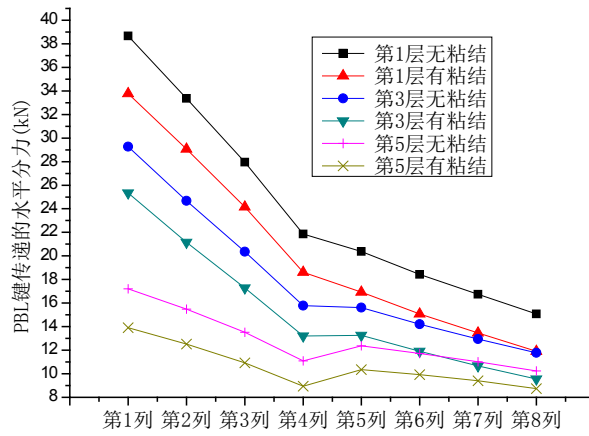


Figure 13. The comparison of horizontal component by every PBL
图 13. 每层 PBL 键传递的水平分力对比

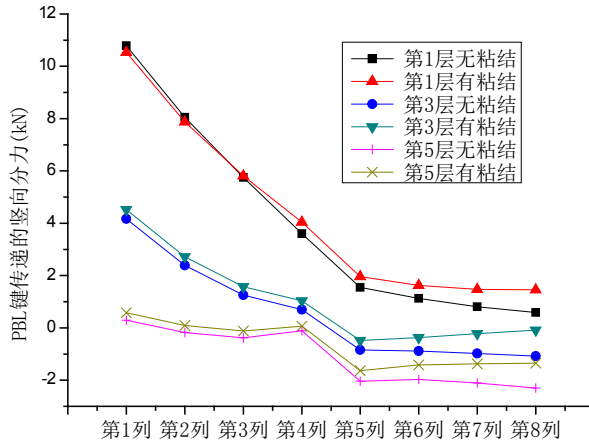


Figure 14. The comparison of vertical component by every PBL
图 14. 每层 PBL 键传递的竖向分力对比

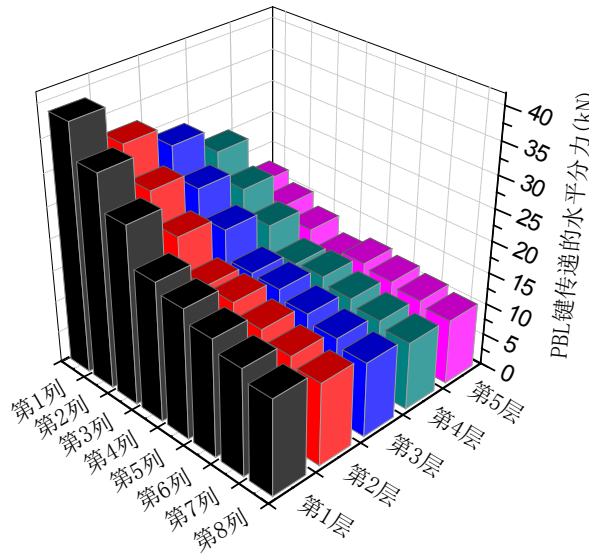


Figure 15. The distribution of horizontal component by every PBL
图 15. PBL 剪力键群传递的水平分力分布图

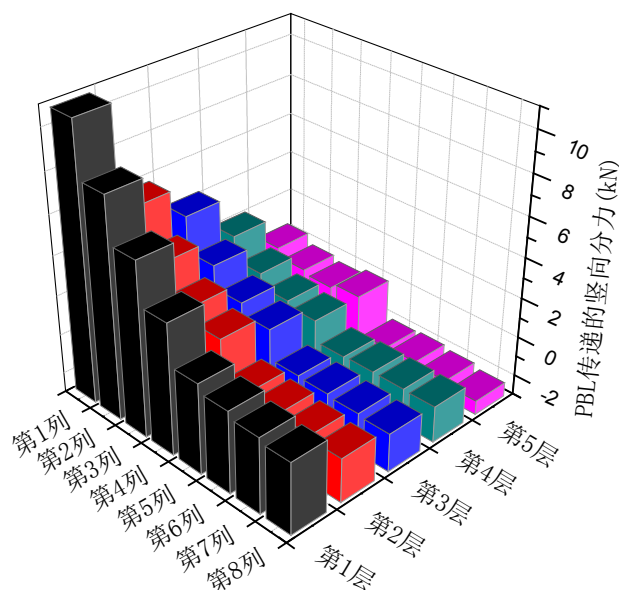


Figure 16. The distribution of vertical component by every PBL

图 16. PBL 剪力键群传递的竖向分力分布图

设计时可以根据 PBL 键穿孔钢筋的有效长度, 选取合适的长度来优化剪力键的设计。

3) 对于同一层 PBL 键穿孔钢筋, 在双侧对称加载工况下, 同一层的 PBL 键穿孔钢筋传递的力呈“两边大, 中间小”的规律; 在单侧索力加载工况下, 同一层的 PBL 键穿孔钢筋随着距离加载端的距离越远, 受力逐渐减小。

4) 随着钢锚板厚度增加, 穿孔钢筋上最大应力和位移值则随之减小。当钢锚板厚度从 50 mm 增大到 70 mm, PBL 键穿孔钢筋的最大应力则对应减小 48 MPa, 最大位移略微减小。因此增加钢板厚度可以提高 PBL 键的极限承载能力, 但提高幅度较小, 不经济。

5) 当不考虑钢锚板与混凝土之间的粘结作用时, 在单侧受力工况下, PBL 键传递的水平力增大, 竖向力减小, 与钢锚板接触而无粘结作用的混凝土应力水平较低且分布均匀。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(51378069)。

参考文献 (References)

- [1] 狄谨, 周绪红, 游金兰. 钢箱梁斜拉桥索塔锚固区的受力性能[J]. 中国公路学报, 2007, 20(4): 48-52.
- [2] 斜拉桥索塔新型锚固体系统技术研究报告[R]. 西安: 长安大学, 2012.
- [3] 闫文华. PBL 键受力性能试验与理论研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2012.
- [4] Leonhardt, F., Andra, W., Andra, H.P., et al. (1987) New Improved Bonding Means for Composite Load Bearing Structures with High Fatigue Strength. *Betonund Stahlbetonbau*, **82**, 325-331. <https://doi.org/10.1002/best.198700500>
- [5] Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. (1997) Numerical Analysis of Push-Out Specimens with Perfobond Rib Connectors. *Computers & Structures*, **62**, 617-624. [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(96\)00270-2](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(96)00270-2)
- [6] 张清华, 李乔, 卜一之. PBL 剪力连接件群传力机理研究(I)—理论模型[J]. 土木工程学报, 2011, 44(4): 71-77.
- [7] 张清华, 李乔, 卜一之. PBL 剪力连接件群传力机理研究(II)—极限承载力[J]. 土木工程学报, 2011, 44(5): 101-108.
- [8] 胡建华, 蒲怀仁. PBL 剪力键钢混结合段设计与试验研究[J]. 钢结构, 2007, 22(92): 62-68.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org