

自密实砼增大截面加固钢筋砼 T 梁试验研究*

刘鹏¹, 罗育民², 肖林发², 彭建新²

(1.兰州市公路局, 甘肃 兰州 730000; 2.长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 考虑加固厚度与持荷工况两种因素, 设计 8 片钢筋砼简支 T 梁, 对其挠度及承载力进行分析, 并建立加固前后抗弯承载力计算模型, 探究自密实砼增大截面加固后的性能。结果表明, 持荷大小对跨中截面变形的影响较小, 加固厚度 100 mm 的不持荷试验梁的刚度比加固厚度 60 mm 的大, 而持荷加固后, 加固厚度越大, 试验梁刚度越小; 自密实砼增大截面加固后的承载力约为加固前承载力的 2 倍, 加固厚度对承载力的影响较小; 抗弯承载力计算公式的计算结果与试验值吻合较好。

关键词: 桥梁; 钢筋砼 T 梁; 自密实砼; 增大截面加固; 抗弯承载力

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0165-04

自密实砼能依靠自重均匀地填充各空隙, 流动性强, 能解决用普通砼浇筑带来的不均匀、不密实问题, 提高砼的强度。目前对自密实砼进行了一些研究: Paraic 等对自密实砼和普通砼的抗氯离子渗透性能进行了对比研究; Bertil 研究了自密实砼的力学性能, 并与普通砼对比, 发现自密实砼的性能更优越; 胡琼等通过 C30 和 C50 自密实砼力学性能试验, 发现自密实砼的弹性模量比普通砼低, 劈裂抗拉强度则较高; 罗素蓉等对自密实砼梁的受弯性能和框架抗震性能进行了研究; 朱国平等对自密实砼的力学性能进行了试验研究, 基于试验结果建立了应力-应变模型, 提出了立方体抗压强度与各力学指标的关系模型。目前的研究方向主要是自密实砼的力学性能和配合比, 而关于自密实砼增大截面加固的研究较少。为此, 该文制作 8 片钢筋砼 T 梁, 探究加固厚度与持荷工况对自密实砼的加固效果。

1 试验概况

1.1 试验梁设计

设计 8 片钢筋砼 T 梁, 跨径 5 000 mm, 梁高 450 mm, 翼板尺寸为 600 mm × 65 mm, 梁肋宽为 120 mm, 受压区及受拉区砼保护层厚度分别为 30 mm 和 50 mm。梁加固前的配筋及尺寸见图 1。

加固前试验梁由普通砼浇筑, 设计强度为 C30。加固后试验梁由自密实砼浇筑, 设计强度为 C35。

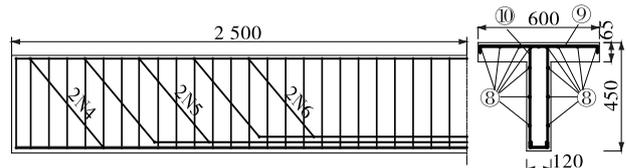


图 1 梁加固前的配筋及尺寸(单位: mm)

受拉纵筋选用 HRB335, 加固前在 T 梁底按规范配置 6 根 $\phi 14$ 钢筋, 组成 3 排, 在梁顶配置 2 根 $\phi 12$ 钢筋, 沿剪跨区方向配置斜筋, 箍筋选用 $\phi 6$ Q235 钢筋, 每隔 100 mm 配置。

1.2 试验梁加固与加载

为使新旧砼更好地发挥性能, 在加固前对界面进行凿毛处理。考虑到实际桥梁结构加固是在负弯矩下进行的, 设计 3 种持荷工况, 分别为原梁承载力的 15%、原梁承载力的 30%、原梁承载力的 50%, 再考虑 1 片对比梁。采用梁底加厚 60 mm 及梁底加厚 100 mm 对 T 梁进行加固。加固后梁肋宽度由 120 mm 拓宽至 200 mm, 在梁底配置 4 根受拉钢筋。梁加固后的尺寸见图 2。

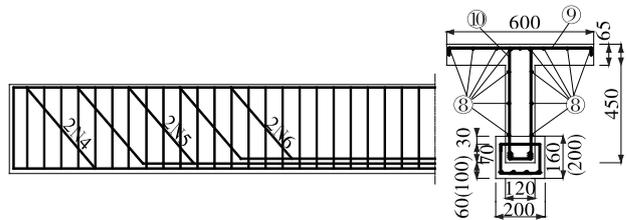


图 2 梁加固后的配筋及尺寸(单位: mm)

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2015CB057706); 国家自然科学基金面上项目(51378081); 湖南省教育厅优秀青年项目(15B015); 湖南省交通科技项目(201422)

基于以上情况将梁划分如下:试验梁根据加固厚度分为2组,每组4片梁,以探究持荷工况为原梁自重、原梁承载力的15%、30%及50%时梁的加固效果。试验梁的分组见表1。

表1 梁加固设计

梁的编号	加固厚度/mm	加载工况	备注
L1-1	60		对比梁
L1-2	60	原梁承载力的15%	加载加固
L1-3	60	原梁承载力的30%	加载加固
L1-4	60	原梁承载力的50%	加载加固
L2-1	100		对比梁
L2-2	100	原梁承载力的15%	加载加固
L2-3	100	原梁承载力的30%	加载加固
L2-4	100	原梁承载力的50%	加载加固

为更好地模拟梁在实际加固过程中的情况,使梁在加固过程中满足持续受载条件,即原梁承载力的15%、30%和50%,试验中先将梁架立在支座上,在梁的两加载点通过千斤顶施加荷载,并在千斤顶

处连接一个传感仪,将传感仪与测力仪连接起来,通过测力仪所显示的数值控制力的大小,并保持力的大小,从而达到持续受力条件,同时在该情况下对梁进行加固、养护。要求经常检查测力仪的读数,使其维持恒定。加固后的梁在28d后卸掉千斤顶施加的荷载,并对其重新进行承载力试验。

试验采用两点循环加载的形式,根据理论计算确定荷载分载等级,通过控制荷载等级大小进行加载,先空载,后预加载、卸载至负载,最后进行实际加载(见图3)。

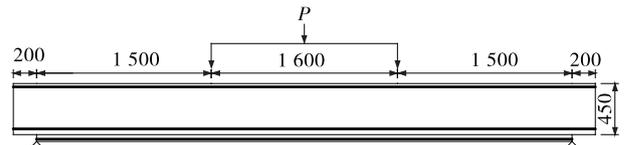


图3 试验梁的加载(单位:mm)

2 试验结果分析

2.1 弯矩—挠度分析

跨中截面各梁的弯矩—挠度曲线见图4、图5。

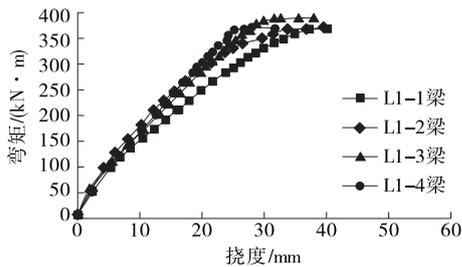


图4 持荷不同时的弯矩—挠度曲线

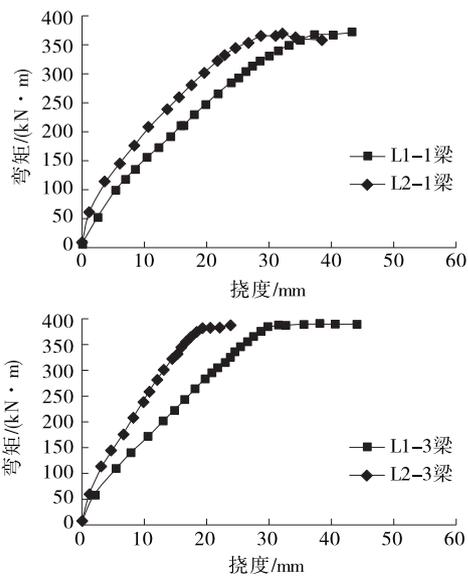
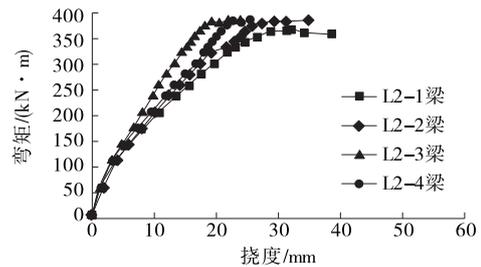


图5 加固厚度不同时的弯矩—挠度曲线

由图 4 可知:在加固厚度相同时,跨中截面的变形在大部分情况下基本重合,持荷大小对挠度曲线的影响较小,最终荷载较接近,说明持荷大小对构件变形的影响较小。

由图 5 可知:持荷相同而加固厚度改变时,其荷载—挠度曲线有明显变化。不持荷的情况下,加固厚度 100 mm 的试验梁的刚度较大;持荷加固后,加固厚度 100 mm 的试验梁的刚度较小。受持荷的影响,不同加固厚度的挠度曲线几乎从一开始就发生分离,随着荷载的增大,两曲线的间距越来越明显,加固厚度较大的试验梁的极限挠度较大,但对最终承载力的影响不是很大。

2.2 承载力分析

加固前后试验梁的实测极限承载力见表 2。

表 2 试验梁的实测极限承载力

梁的 编号	新增砼 高度/mm	持续荷载 工况	实测极限 承载力/kN		比值
			加固前	加固后	
L1-1	60	—	88	185.0	2.10
L1-2	60	原梁承载力的 15%	86	180.0	2.09
L1-3	60	原梁承载力的 30%	85	176.5	2.08
L1-4	60	原梁承载力的 50%	87	175.0	2.01
L2-1	100	—	86	195.0	2.27
L2-2	100	原梁承载力的 15%	87	190.0	2.18
L2-3	100	原梁承载力的 30%	89	188.0	2.11
L2-4	100	原梁承载力的 50%	88	130.0	1.48

由表 2 可知:试验梁加固后其承载力显著提升,除梁 L2-4 由于模板松动引起自密实砼水分流失导致承载力降低外,其余各片梁加固后的承载力为加固前承载力的 2 倍以上。试验梁加固厚度相同时,加固后的承载力随着持荷大小变化,持续荷载越大,加固后试验梁的承载力越低,加固后承载力的提高幅度减小,但降低幅度较小。当试验梁的持荷工况相同时,加固厚度 100 mm 的承载力比加固厚度 60 mm 的高,但提高量不大,说明加固后梁的极限承载力受新增砼厚度的影响较小。这可能是由于新增砼处在受拉区,梁的受拉性能主要由钢筋承担,受砼的影响较小。

2.3 承载力计算

2.3.1 加固前承载力计算

如前所述,钢筋砼简支 T 梁加固前的受拉力由

受拉区钢筋承担,受压力由受压区砼和钢筋承担,图 6 为其计算简图。

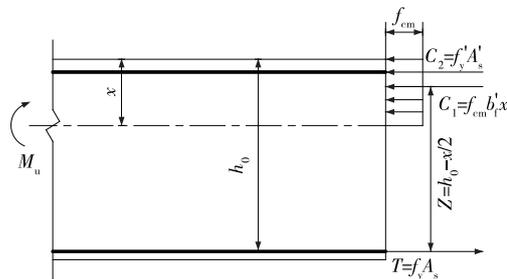


图 6 加固前抗弯承载力计算简图

基于截面水平方向内力之和为零,可建立如下方程:

$$f_y A_s = f_{cm} b'_t x + f'_y A'_s \tag{1}$$

式中: f_y 为受拉钢筋屈服强度; A_s 为受拉钢筋截面面积; f_{cm} 为砼抗压强度; b'_t 为 T 形截面翼板宽度; f'_y 为受压钢筋屈服强度; A'_s 为受压钢筋截面面积。

得受压区高度为:

$$x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{f_{cm} b'_t} \tag{2}$$

基于截面弯矩平衡,可建立梁在跨中截面的抗弯承载力:

$$M_u = (f_y A_s - f'_y A'_s) \left(h_0 - \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{2 f_{cm} b'_t} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \tag{3}$$

式中: M_u 为梁加固前抗弯承载力; h_0 为截面有效高度; a'_s 为受压区钢筋到砼之间的距离。

2.3.2 加固后承载力计算

试验在加固时将荷载卸载至零,故不考虑二次受力的影响。新增砼加固后,梁的受拉承载力由原受拉钢筋和新增主筋共同承担。图 7 为加固后梁的抗弯承载力计算简图。

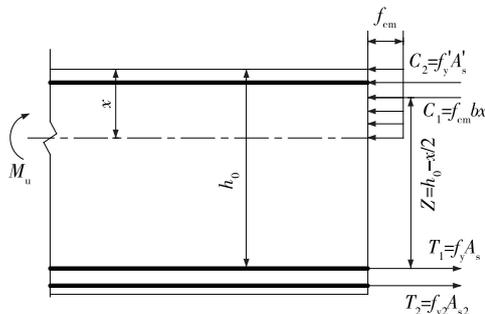


图 7 加固后抗弯承载力计算模型

基于力平衡和弯矩平衡,可得:

$$f_y A_s + f_{y2} A_{s2} = f_{cm} b'_t x + f'_y A'_s \tag{4}$$

式中: f_{y2} 为新增钢筋的屈服强度; A_{s2} 为新增钢筋的截面面积。

基于弯矩平衡,跨中截面的抗弯承载力为:

$$M_u = (f_y A_s + f_{y2} A_{s2}) h_0 - f'_y A'_s a'_s - \frac{(f_y A_s + f_{y2} A_{s2} - f'_y A'_s)^2}{2 f_{cm} b_f} + f_{y2} A_{s2} d \quad (5)$$

式中: d 为新增砣的厚度。

加固前后抗弯承载力理论值与实际值见表3。由表3可见,理论值与实际值较吻合。

3 结论

(1) 加固厚度相同时,持荷大小对跨中截面挠度的影响较小。加固厚度100 mm的不持荷试验梁的刚度比加固厚度60 mm的大,加固厚度对持荷加

表3 试验梁抗弯承载力结果对比

梁的 编号	理论抗弯承载力			实际抗弯承载力		p_{t1}/p_{u1}	p_{t2}/p_{u2}
	加固前 $p_{u1}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	加固后 $p_{u2}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	p_{u2}/p_{u1}	加固前 $p_{t1}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	加固后 $p_{t2}/(\text{kN}\cdot\text{m})$		
L1-1	112.46	224.33	2.10	132.0	277.5	1.17	1.24
L1-2	112.46	224.33	2.09	129.0	270.0	1.15	1.20
L1-3	112.46	224.33	2.08	127.5	264.8	1.13	1.18
L1-4	112.46	224.33	2.01	130.5	262.5	1.16	1.17
L2-1	112.46	235.11	2.27	129.0	292.5	1.15	1.24
L2-2	112.46	235.11	2.18	130.5	285.0	1.16	1.21
L2-3	112.46	235.11	2.11	133.5	282.0	1.19	1.20
L2-4	112.46	235.11	1.48	132.0	195.0	1.17	0.83

固试验梁刚度的影响十分明显。

(2) 自密实砣增大截面加固后,试验梁的承载力为加固前的2倍左右。由于新增砣处在受拉区,加固厚度的增加对极限承载力的影响较小。

(3) 加固前后试验梁抗弯承载力计算公式的计算结果与试验值吻合较好。

参考文献:

- [1] 廉慧珍,张青,张耀凯.国内外自密实高性能混凝土研究及应用现状[J].施工技术,1999,28(5).
- [2] P Nanthagopalan, M Santhanam. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin[J]. Construction and Building Materials, 2011, 33(3).
- [3] G Mathew, M M Paul. Mix design methodology for laterized self-compacting concrete and its behaviour at elevated temperature[J]. Construction and Building Materials, 2012, 36.
- [4] 郑建岚,庄金平.自密实混凝土与钢筋的粘结性能试验研究[J].工程力学,2013,20(2).
- [5] P C Ryan, A O'Connor. Comparing the durability of self-compacting concretes and conventionally vibrated

concretes in chloride rich environments[J]. Construction and Building Materials, 2016, 120.

- [6] B Persson. A comparison between mechanical properties of self-compacting Concrete and the corresponding properties of normal concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2001, 32(2).
- [7] 胡琼,颜伟华,郑文忠.自密实混凝土基本力学性能试验研究[J].工业建筑,2008,38(10).
- [8] 罗素蓉,胡晓凌,黄晶,等.自密实高性能混凝土受弯构件受力性能试验研究[J].福州大学学报:自然科学版,2004,32(3).
- [9] 罗素蓉,王雪芳,郑建岚.自密实高强混凝土框架结构的抗震性能试验研究[J].工程力学,2004,21(6).
- [10] 朱国平,叶燕华,陈莉,等.自密实混凝土的力学性能试验[J].南京工业大学学报:自然科学版,2010,32(1).
- [11] 高勇,魏景和,阳浩,等.增大截面法在既有双曲拱桥加固中的应用[J].公路与汽运,2017(2).
- [12] 陈超,张鹏.碳纤维布加固简支梁数值模拟研究[J].公路与汽运,2016(6).

收稿日期:2017-06-07