

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202104014



不同荷载作用下 T 形连续梁和 悬臂梁的剪力滞效应

赵明岩, 董毓利, 雒家琪

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 362021)

摘要: 对有机玻璃材质的 T 形连续梁和悬臂梁进行均布加载和集中加载, 研究 T 形梁翼板在不同荷载形式作用下剪力滞的传递机理, 并与理论计算进行对比. 研究表明: 连续梁在集中荷载作用时, 仅在边缘支座处出现负剪力滞, 而在均布荷载作用时, 在连续梁中间支座截面两侧及相邻截面出现负剪力滞; 悬臂梁在集中荷载作用时, 仅在固定端及相邻截面出现正剪力滞, 而在均布荷载作用时, 仅在固定端处为正剪力滞; 剪力滞效应的正负与剪力滞系数无关.

关键词: T 形连续梁; T 形悬臂梁; 有机玻璃; 正剪力滞; 负剪力滞

中图分类号: U 448.215.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2022)03-0303-11

Shear Lag Effect of Continuous and Cantilever T-Beams Under Different Load Forms

ZHAO Mingyan, DONG Yuli, LUO Jiaqi

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The uniform loading and concentrated loading of continuous and cantilever plexiglass T-beam are carried out, and the shear lag transmission mechanism of the T-beam flange plates under different load forms is studied and compared with theoretical calculations. The results show that when the continuous beam is under concentrated load, negative shear lag occurs only at the edge supports, and when the load is uniformly distributed, negative shear lag occurs on both sides of the mid-support section of the continuous beam and adjacent sections. When the cantilever beam is under concentrated load, there is only positive shear lag at the fixed end and adjacent sections, and when the load is uniformly distributed, there is positive shear lag only at the fixed end; positive or negative shear lag effect has nothing to do with the coefficient of shear lag.

Keywords: continuous T-beam; cantilever T-beam; plexiglass; positive shear lag; negative shear lag

T 形截面在高层建筑及桥梁结构中有广泛应用. 然而, 荷载作用时, 由于腹板剪应力在翼板不均匀分布, 导致翼板存在剪力滞后现象, 使得截面应力分布不均匀. 自 Reissner 应用最小势能原理分析了单箱截面剪力滞效应以来, 国内外的剪力滞效应研究成果逐渐丰富^[1], 研究方法也较多. 文献[2]考虑了弯、扭、剪力滞耦合的有限段模型; 文献[3]以薄壁杆理论和有限元法为基础, 提出了薄壁箱梁考虑剪力有限段法. 对于连续梁和悬臂梁, 集中荷载和均布荷载作用时, 将出现负剪力滞现象^[4-5]. 文献[6]解释了正负剪力滞产生的原因, 文献[7]分析了曲线箱梁箱梁的剪力滞效应.

收稿日期: 2021-04-12

通信作者: 董毓利(1965-), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事结构抗火性能化设计理论与应用. E-mail: DongYL@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51978293, 51278207)

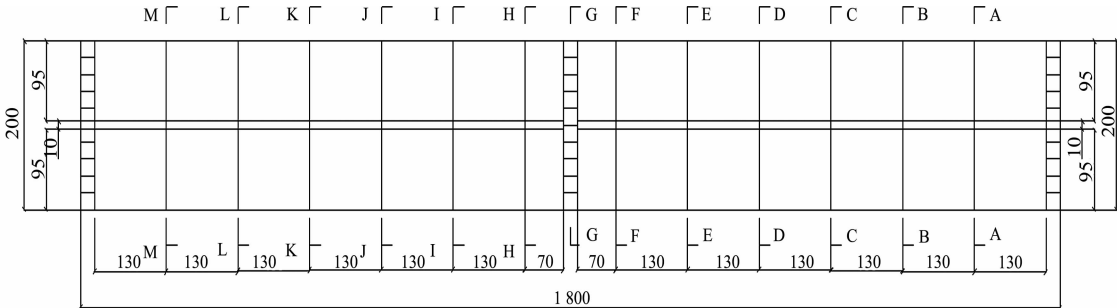
滞效应自由振动特性分析的 事实上,只要梁截面存在肋板构件,就会导致剪力滞现象. 对于剪力滞效应而言,有很多影响因素,如宽跨比、梁高比^[8]、荷载形式^[9]、温度^[10-11]、梁端约束^[12],以及荷载作用^[13]位置等因素都会影响剪力滞效应. 工程中在计算截面应力时,大多依旧采用平截面假定,不考虑腹板的剪切变形,中性轴位置按初等梁理论计算的位置. 实际荷载作用时,梁翼板的位移会出现不同剪力滞效应,当翼板与腹板交接处的正应力大于按初等梁的计算值,称为正剪力滞,反之为负剪力滞^[14].

目前有关 T 形截面剪力滞效应的研究较少,多以箱梁为主. 文献[15-16]用非线性有限元知识,分析 T 梁的计算模型,对 T 梁受力过程进行数值分析;文献[17-18]则以钢筋混凝土结构及预应力混凝土为主要测试构件,分析集中荷载作用下的剪力滞效应. 本文以有机玻璃为研究材料,对比分析不同荷载形式剪力滞效应传递规律,以及不同梁种类的剪力滞效应对比,分析剪力滞效应.

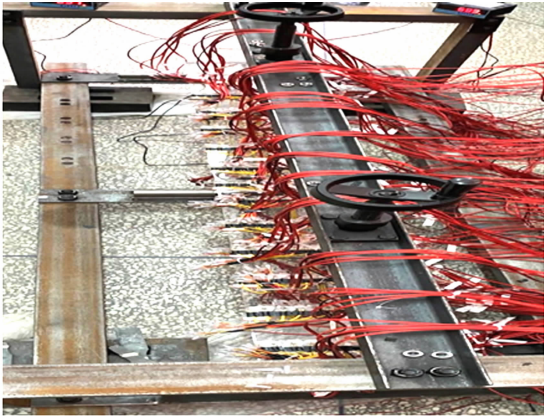
1 T 形梁剪力滞试验

为研究集中荷载和均布荷载作用下有机玻璃 T 形连续梁和悬臂梁的剪力滞效应,根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》^[19],参考文献[20]的试验模型,设计 T 形梁全长为 1 800 mm,腹板高为 72 mm,腹板宽为 10 mm,翼板宽为 200 mm,翼板厚为 8 mm. T 梁在放置时不具稳定性,故在 T 梁两端和跨中分别设有 25 mm 厚隔板,增强连续梁的稳定性. 由于支座反力存在,隔板对于应变的影响是全截面,但对于应变的变化趋势影响较小.

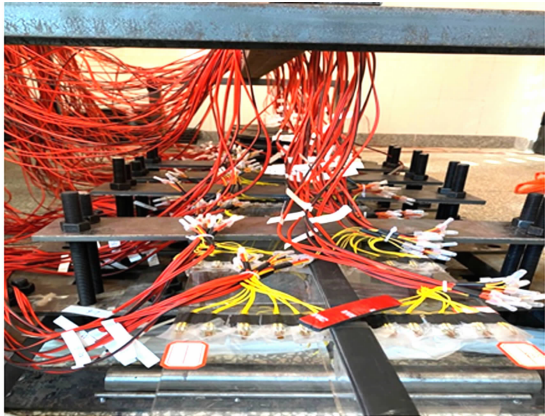
T 形梁试验模型尺寸及测量截面,如图 1(a)所示. 模拟连续梁铰支座采用圆形钢,将 T 梁隔板部位放置在上方,如图 1(b)所示. 模拟悬臂梁固定端的用钢板将 T 梁翼板上固定,钢板两侧用螺栓将钢板与下方钢架固定,如图 1(c)所示. 选用有机玻璃代替混凝土,因为相比混凝土,有机玻璃与应变片连接更紧密,使应变测量更加准确,且有机玻璃与混凝土力学性能相似,有良好的弹性性能. 取同批次有机玻璃测定材料力学性能,可得其弹性模量 E 为 2. 425 GPa,泊松比 μ 为 0. 436 5^[21].



(a)模型平面图 (mm)



(b) 连续梁支座



(c) 悬臂梁支座

图 1 T 形梁试验模型

Fig. 1 T-beam test model

T 梁截面应变片布置是,在远离腹板处间隔 20 mm 布置一个,在腹板对应翼板上表面两侧 10 mm

布置两个, 相邻应变片相隔 15 mm, 如图 2 所示。

2 计算理论

根据初等梁理论的平截面假定, 不考虑剪切变形对纵向位移的影响, 弯曲正应力沿梁宽均匀分布, 正应力计算公式为

$$\sigma = M_y / I_x.$$

式中: σ 为弯曲正应力; M 为外弯矩; y 为计算截面距中性轴距离, 计算可得翼板顶板距中性轴距离为 16.4 mm; I_x 为截面对 x 轴的面积距, 计算可得截面面积距为 1 114 056 mm⁴。

然而, 由于 T 形截面梁腹板的存在, 剪应力在翼板分布不均匀, 剪应力在向远离腹板的翼板传递过程中, 引起弯曲时远离腹板的翼板纵向位移滞后于近腹板处的纵向位移; 而且弯曲正应力沿梁宽不均匀分布, 腹板处最大, 远离腹板处逐渐减小, 称为“剪力滞后效应”。

工程中常用剪力滞系数(λ)确定剪力滞效应的正负。试验证明, 此种方法缺乏准确性, 其公式为

$$\lambda = \sigma / \bar{\sigma}.$$

式中: σ 为实际弯曲正应力; $\bar{\sigma}$ 为按初等梁理论计算的弯曲正应力。符号规定: 试验采集应变正值为拉应变, 负值为压应变。

3 试验结果与分析

3.1 连续梁模型

连续梁共有 13 个测量截面。根据计算, 试验 T 形梁的弹性极限为 1 200 N, 取弹性极限的 75% 进行加载, 保持构件在弹性范围内, 使试验可以重复进行, 然后筛选有效数据。集中荷载采用螺杆加载, 通过螺杆下降施加力, 螺杆下方连接压力传感器和显示器, 确定加力大小, 集中力作用点在每段的 1/2 处, 分 4 级加载, 每级每个加载点加载 200 N; 均布力采用砝码加载, 根据 T 梁的长度, 每级可满布 10 个砝码, 分 4 级加载, 每个砝码重 30 N。所有力均作用在腹板对应的翼板上, 加载简图如图 3 所示。

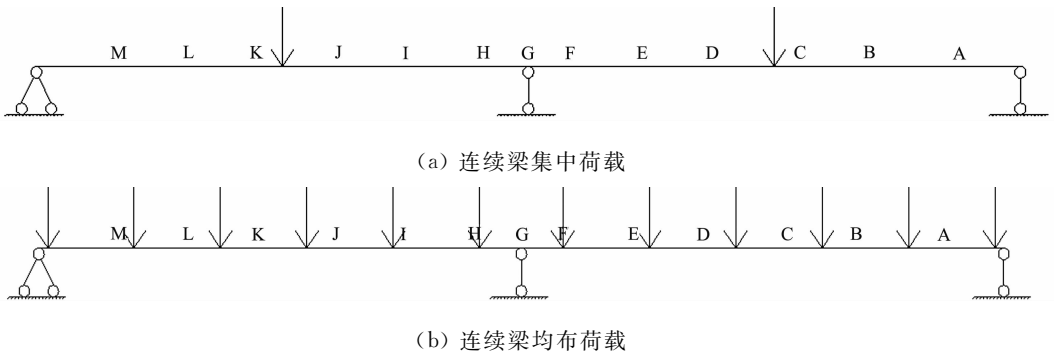


图 3 连续梁加载示意图

Fig. 3 Diagram of continuous beam loading

3.2 连续梁的应力应变数据分析

分析实际应力应变与理论应力应变的差值及剪力滞效应的正负, 理论应力值如表 1 所示。

3.2.1 集中荷载作用下连续梁的应变及剪力滞分析 连续梁共有 13 个测量截面。截面 G 位于连续梁跨中支座截面, 根据对称性, 分析截面 A~G 中具特征性截面的应变及剪力滞系数。应变的正负号分别表示拉压应变, 故在分析应变值大小时, 对比绝对值大小即可。同一截面应变及剪力滞系数在对称位置或有差异, 因集中荷载和均布荷载均为人为放置, 存在偏差, 但变化趋势基本相同。根据结构力学求解器计算, 在跨中集中荷载作用下, 截面 A, B, C 的弯矩为正, 剪力为负, 从截面 A 到截面 C 的弯矩逐渐增大, 剪力大小相同。

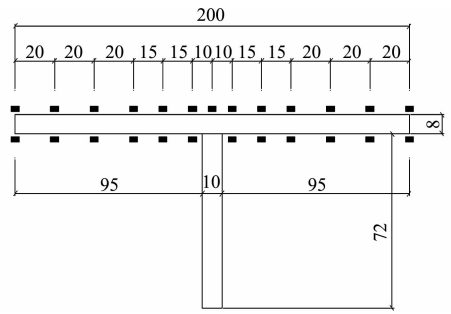


图 2 T 形梁截面应变片布置(单位: mm)

Fig. 2 T-beam section strain gauge layout(unit: mm)

表 1 连续梁的理论应力值

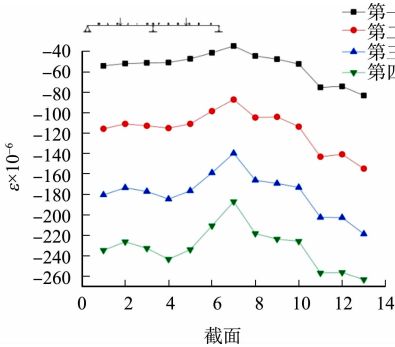
Tab. 1 Theoretical stress value of continuous beam

截面	集中荷载				均布荷载			
	400 N	800 N	1 200 N	1 600 N	300 N	600 N	900 N	1 200 N
A	0.142 60	0.285 20	0.427 81	0.570 41	-0.108 29	-0.216 58	-0.324 86	-0.433 15
B	0.262 21	0.524 42	0.786 63	1.048 84	-0.148 45	-0.296 89	-0.445 34	-0.593 79
C	0.381 82	0.763 64	1.145 45	1.527 27	-0.146 03	-0.292 06	-0.438 10	-0.584 13
D	0.221 73	0.443 45	0.665 18	0.886 91	-0.094 95	-0.189 90	-0.284 85	-0.379 80
E	-0.041 40	-0.082 79	-0.124 19	-0.165 58	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00
F	-0.304 53	-0.609 07	-0.913 60	-1.218 13	-0.140 41	-0.280 82	-0.421 23	-0.561 63
G	-0.496 82	-0.993 64	-1.490 46	-1.987 27	-0.271 00	-0.542 00	-0.813 00	-1.083 99

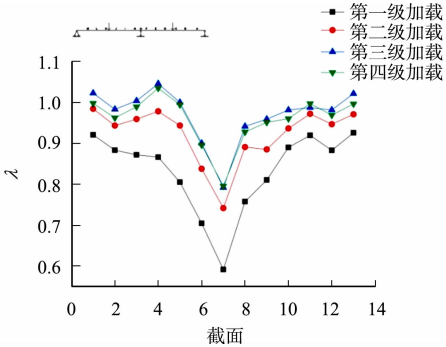
在集中荷载作用下,连续梁各截面的应变及剪力滞系数,如图 4 所示.由图 4(a)~(d)可知:腹板对应翼板处应变小于两侧应变,故截面 A 为负剪力滞效应,随着荷载的增加,负剪力滞效应逐渐增强;截面 B 均为正剪力滞效应,腹板对应的翼板处应变最小,与相邻两侧应变差值最大为截面 B 第四级荷载作用下的 $60\text{ }\mu\text{ε}$,截面 B 腹板对应翼板处的剪力滞系数在各级荷载作用时无较大差值.

截面 C 性质与截面 B 相似,此处不再赘述.

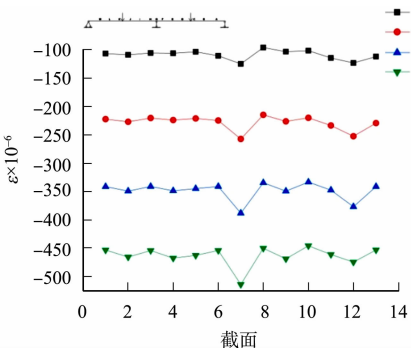
由图 4(e)可知:截面 D 的弯矩和剪力均为正,弯矩小于截面 B,剪力大于截面 B;截面 D 腹板处剪



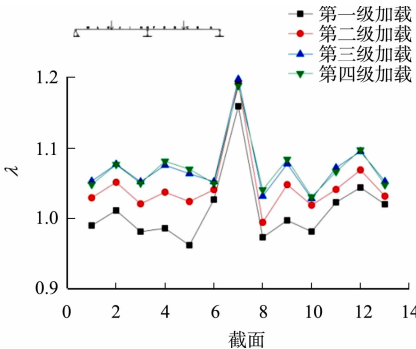
(a) 截面 A 应变



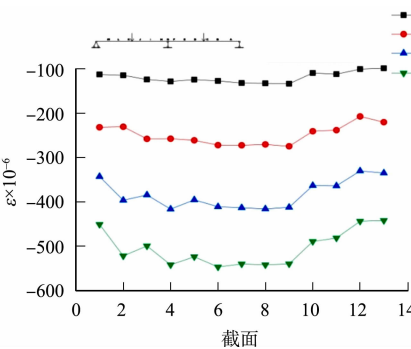
(b) 截面 A 剪力滞系数



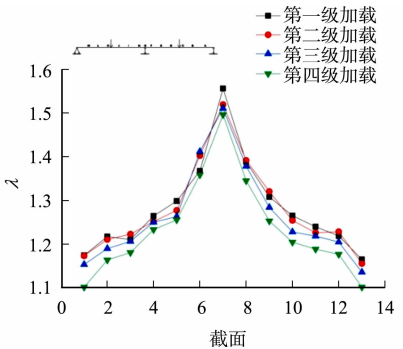
(c) 截面 B 应变



(d) 截面 B 剪力滞系数



(e) 截面 D 应变



(f) 截面 D 剪力滞系数

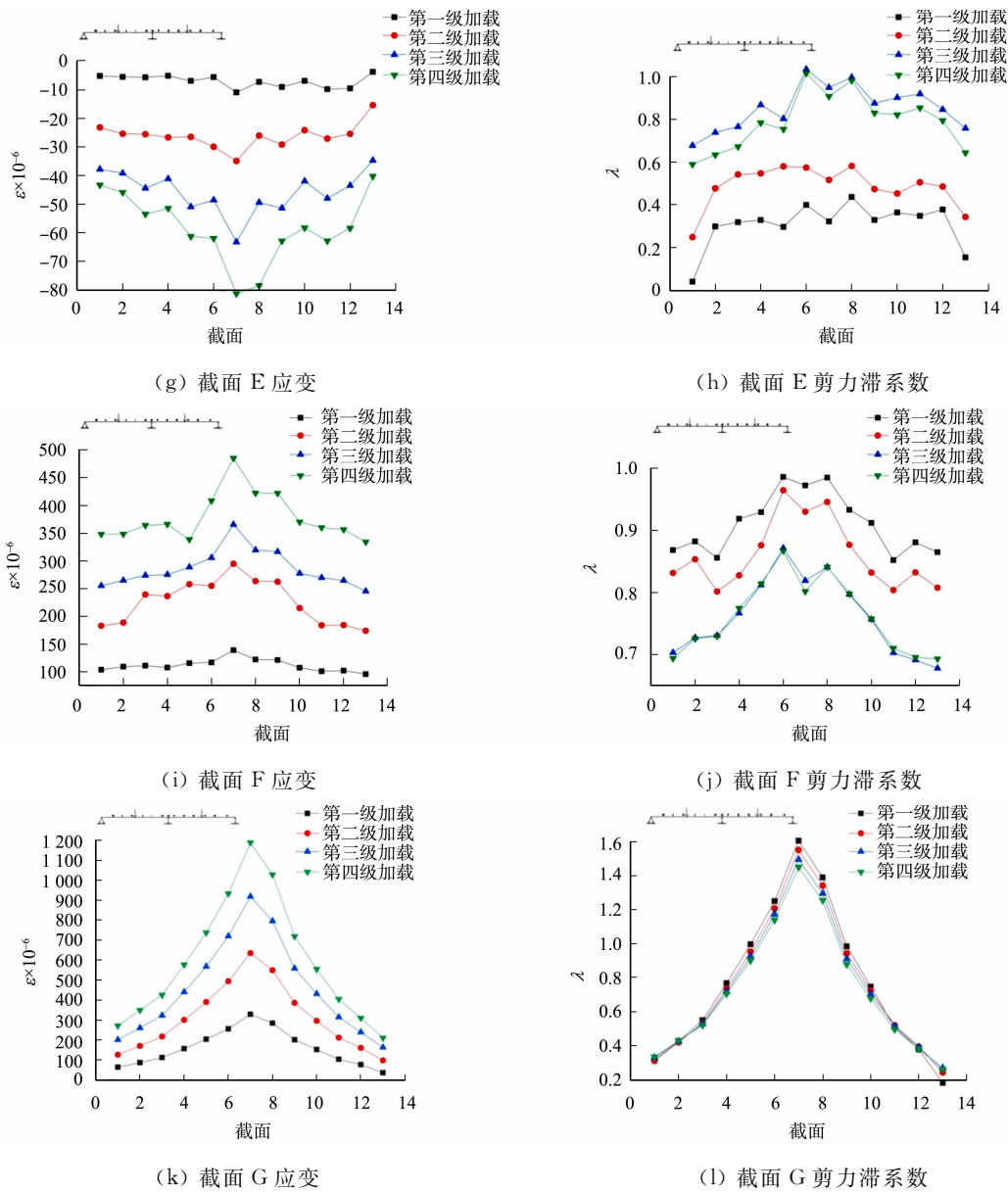


图 4 集中荷载作用下连续梁的应变及剪力滞系数

Fig. 4 Strain and shear lag coefficient of continuous beam under concentrated load

力滞系数较大,均值为 1.5,实际应力与理论应力差值较大. 各级荷载作用下,腹板处翼板实测应变值与相邻量测点相近,无较大差值,正剪力滞效应不明显. 由此可知,仅由剪力滞系数大小判断正负剪力滞效应较为单一.

由图 4(g)~(j)可知:截面 E,F 的剪力大小相同,截面 F 的弯矩较大;截面 E 的应变仍为负值,腹板处应变大于相邻两侧应变,最大差值为 $20\ \mu\epsilon$,即正剪力滞效应. 随着荷载增加,剪力滞效应逐渐增强,剪力滞系数在第一、二级荷载作用时均值小于 0.5,此时实际正应力约为理论应力值的 1/2;第三、四级荷载作用时,腹板处剪力滞系数相近,约为 0.9,实际应力与理论应力差值较小. 截面 F 的应变为正,正剪力滞效应较为明显,剪力滞系数随着荷载增加逐渐减小,全截面各级荷载作用剪力滞系数均小于 1,第三、四级荷载作用时,剪力滞系数曲线较为贴近. 可知,截面 E,F 的剪力滞系数均小于 1,实际正应力值均小于理论应力,但仍为正剪力滞效应.

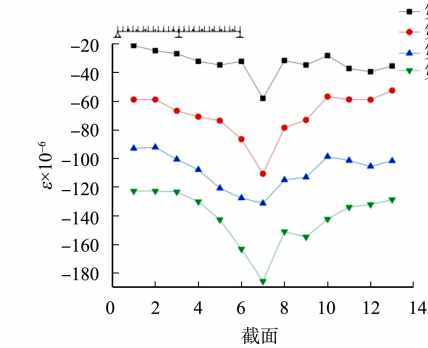
由图 4(k)~(l)可知:截面 G 位于连续梁跨中支座处,弯矩剪力均为负,应变为正,且变化趋势较为一致,腹板翼板处应变最大,向两侧逐渐减小,是明显正剪力滞效应;剪力滞系数在各级荷载下曲线形状一致,无较大突变点,腹板翼板处剪力滞系数最大达 1.6,向两侧逐渐减小,变化较规律.

3.2.2 均布荷载作用下连续梁的应变及剪力滞分析 均布荷载作用的连续梁每级共作用 300 N,作用

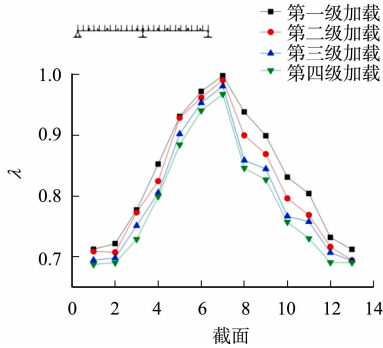
在腹板对应翼板处;每个砝码与翼板有两个力的作用点,共 20 个作用点,测量截面共 13 个. 根据对称性,分析连续梁截面 A~G 的应变及剪力滞系数.

由图 5(a)~(d)可知:均布荷载作用下,截面 A,B 的弯矩为负,剪力为负,翼板腹板处应变均大于两侧应变,为明显正剪力滞效应. 根据截面 A 应变图可知是正剪力滞效应,但剪力滞系数在各级荷载作用时均小于 1;随着荷载增加,腹板处翼板剪力滞系数逐渐减小,但差值较小,从中间向两侧逐渐减小.

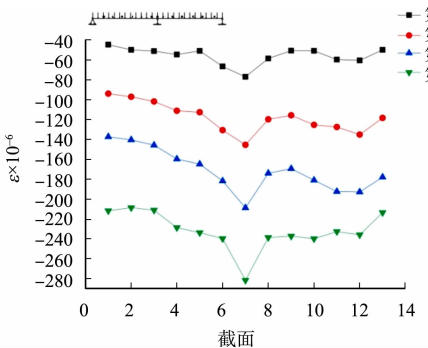
截面 C,D 的弯矩为负,剪力为正,应变的变化趋势及剪力滞系数的变化趋势与截面 A,B 相同,此



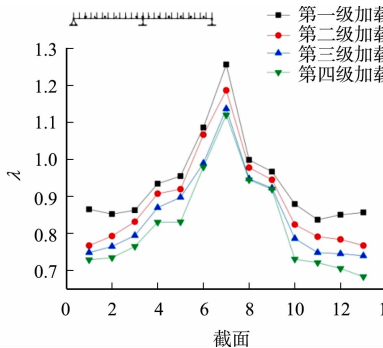
(a) 截面 A 应变



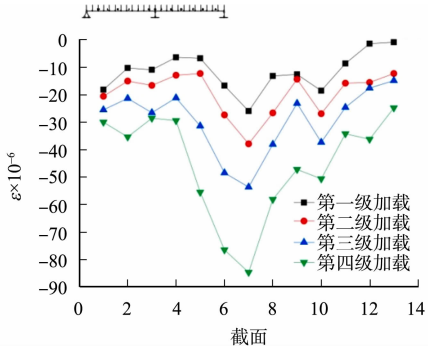
(b) 截面 A 剪力滞系数



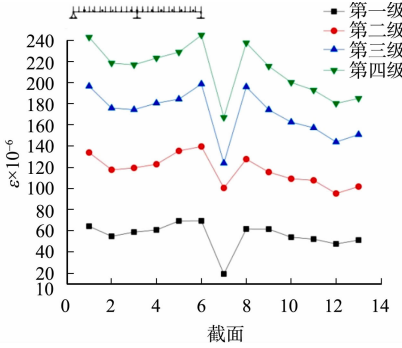
(c) 截面 B 应变



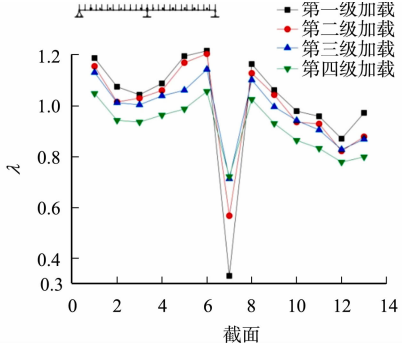
(d) 截面 B 剪力滞系数



(e) 截面 E 应变



(f) 截面 F 应变



(g) 截面 F 剪力滞系数

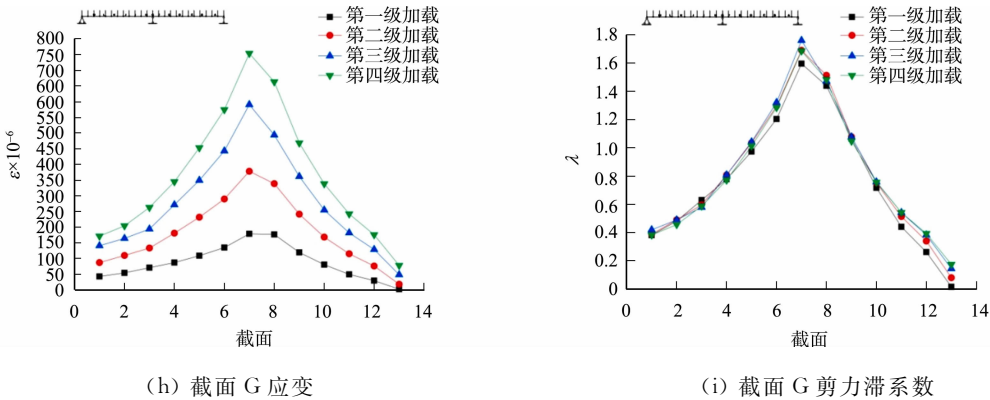


图 5 均布荷载作用下连续梁的应变及剪力滞系数

Fig. 5 Strain and shear lag coefficient of continuous beam under uniform load

处不再赘述.

由图 5(e)可知:截面 E 的弯矩为 0,剪力滞系数无法计算. 根据应变图可知:应变为负值,腹板处应变大于相邻两侧应变,随着荷载增加,应变差值逐渐增大,正剪力滞效应增强.

由图 5(f)~(g)可知:截面 F 的弯矩为负,应变为正. 根据应变图可知:腹板处翼板应变小于相邻两侧应变值,为负剪力滞效应;随着荷载增加,负剪力滞效应逐渐增强,差值最大达 $80\text{ }\mu\epsilon$,剪力滞系数在翼板中部均小于 1,为负剪力滞效应,但随着荷载增加,负剪力滞系数逐渐增加. 可见,随着荷载增加,实际翼板处正应力与理论计算值逐渐接近.

由图 5(h)~(i)可知:截面 G 位于连续梁中间支座处,弯矩为负,剪力为负;其应变大于 0,翼板腹板处应变大于两侧应变,为正剪力滞效应;各级荷载作用下,应变变化较规律,剪力滞系数在腹板处大于 1,与应变图相符,均为正剪力滞,荷载增加系数相差不大,基本为同一数值.

3.3 悬臂梁模型

悬臂梁共有 7 个测量截面,取弹性极限的 50%进行加载. 集中荷载分 3 级加载,每级加载 200 N,力的作用点在距自由端 5 cm 处;均布荷载采用砝码加载,每级满布 5 个砝码,每个砝码 30 N,力的作用点在腹板对应的翼板处. 集中荷载和均布荷载的加载简图,如图 6 所示.

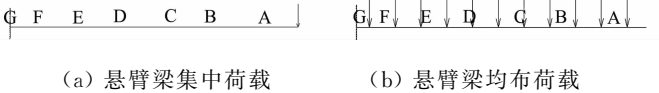


图 6 悬臂梁加载示意图

Fig. 6 Loading diagram of cantilever beam

3.4 悬臂梁的应力应变数据分析

分析实际应力应变与理论应力应变的差值及剪力滞效应的正负,其理论应力值如表 2 所示.

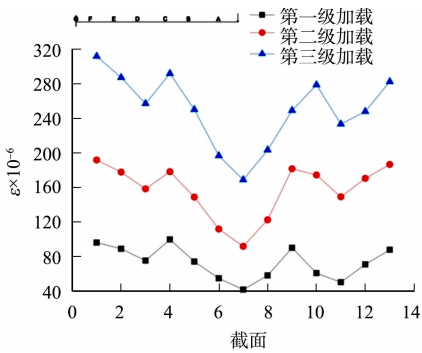
表 2 悬臂梁的理论应力值

Tab. 2 Theoretical stress value of cantilever beam

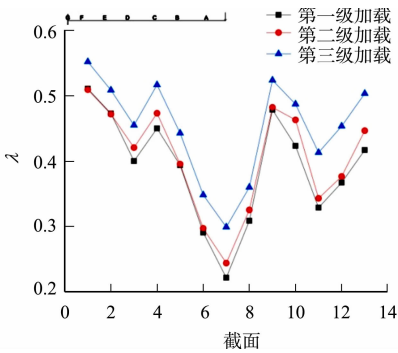
截面	集中荷载			均布荷载			
	200 N	400 N	600 N	150 N	300 N	450 N	600 N
A	0.456 35	0.912 70	1.369 05	0.016 15	0.032 30	0.048 45	0.064 60
B	0.839 10	1.678 19	2.517 29	0.080 39	0.160 78	0.241 17	0.321 57
C	1.221 84	2.443 68	3.665 52	0.187 18	0.374 35	0.561 53	0.748 71
D	1.604 59	3.209 17	4.813 76	0.342 66	0.685 32	1.027 98	1.370 64
E	1.987 33	3.974 67	5.962 00	0.542 00	1.083 99	1.625 99	2.167 99
F	2.370 08	4.740 16	7.110 24	0.786 79	1.573 58	2.360 38	3.147 17
G	2.649 78	5.299 55	7.949 33	0.993 67	1.987 33	2.981 00	3.974 67

3.4.1 集中荷载作用下悬臂梁的应变及剪力滞分析 悬臂梁集中加载不具对称性,主要分析特征性截面. 悬臂梁集中荷载作用下,弯矩为负,剪力为正.

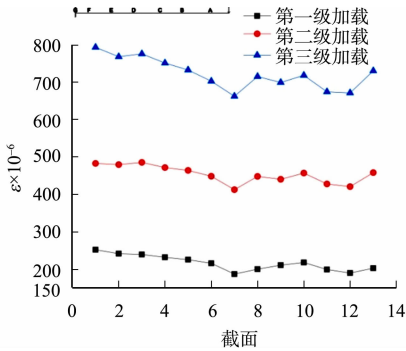
由图 7(a)~(d)可知:截面 A 为负剪力滞效应,且随着荷载增加剪力滞系数逐渐增大,最大为第三级荷载作用时的 0.3;截面 B 为负剪力滞效应,剪力滞系数相比截面 A 有所增加,截面 B 的剪力滞系数最小,在 0.57 左右,最大在 0.67 左右. 截面 C 的应变及剪力滞变化趋势与截面 B 相同,截面 D~E 的



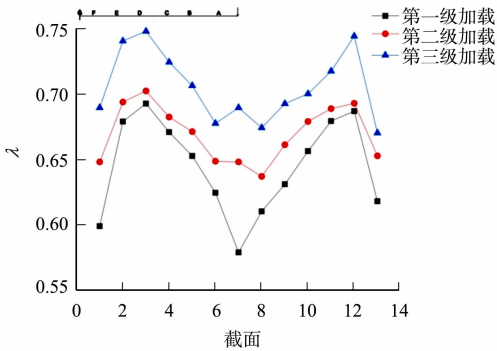
(a) 截面 A 应变



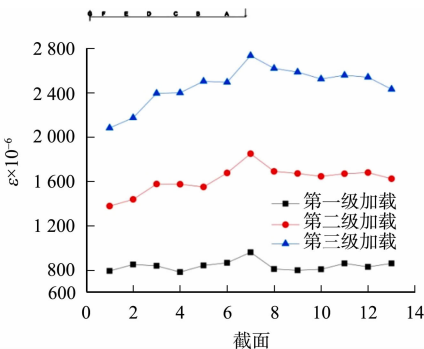
(b) 截面 A 剪力滞系数



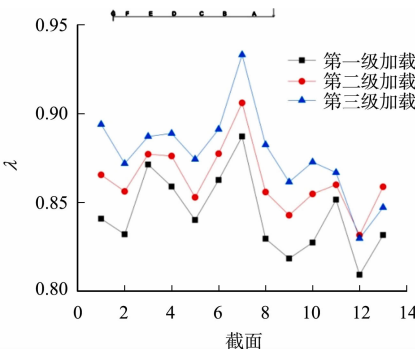
(c) 截面 B 应变



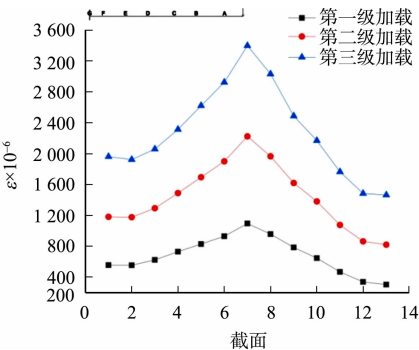
(d) 截面 B 剪力滞系数



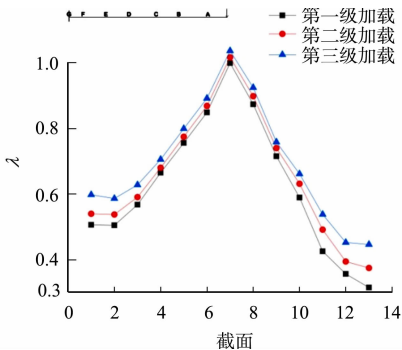
(e) 截面 F 应变



(f) 截面 F 剪力滞系数



(g) 截面 G 应变



(h) 截面 G 剪力滞系数

图 7 集中荷载作用下悬臂梁的应变及剪力滞系数

Fig. 7 Strain and shear lag coefficient of cantilever beam under concentrated load

应变变化趋势与截面 B 相同,为负剪力滞,剪力滞系数从腹板处翼板向两侧逐渐增大,但均不超过 1,此处不再赘述。

由图 7(e)~(h)可知:截面 F 为正剪力滞效应,剪力滞系数最大为 0.93,正应力虽有增加,但仍小于理论计算值;截面 G 应变较为规律,正剪力滞效应明显,剪力滞系数在各级荷载作用下均大于 1,不超过

1. 1,腹板处为最大值,向两侧减小,边缘处剪力滞系数减小至 0.4 左右.

3.4.2 均布荷载作用下悬臂梁的应变及剪力滞分析 均布荷载截面 A 位于加载边缘,数据偏差较大,不加以分析.

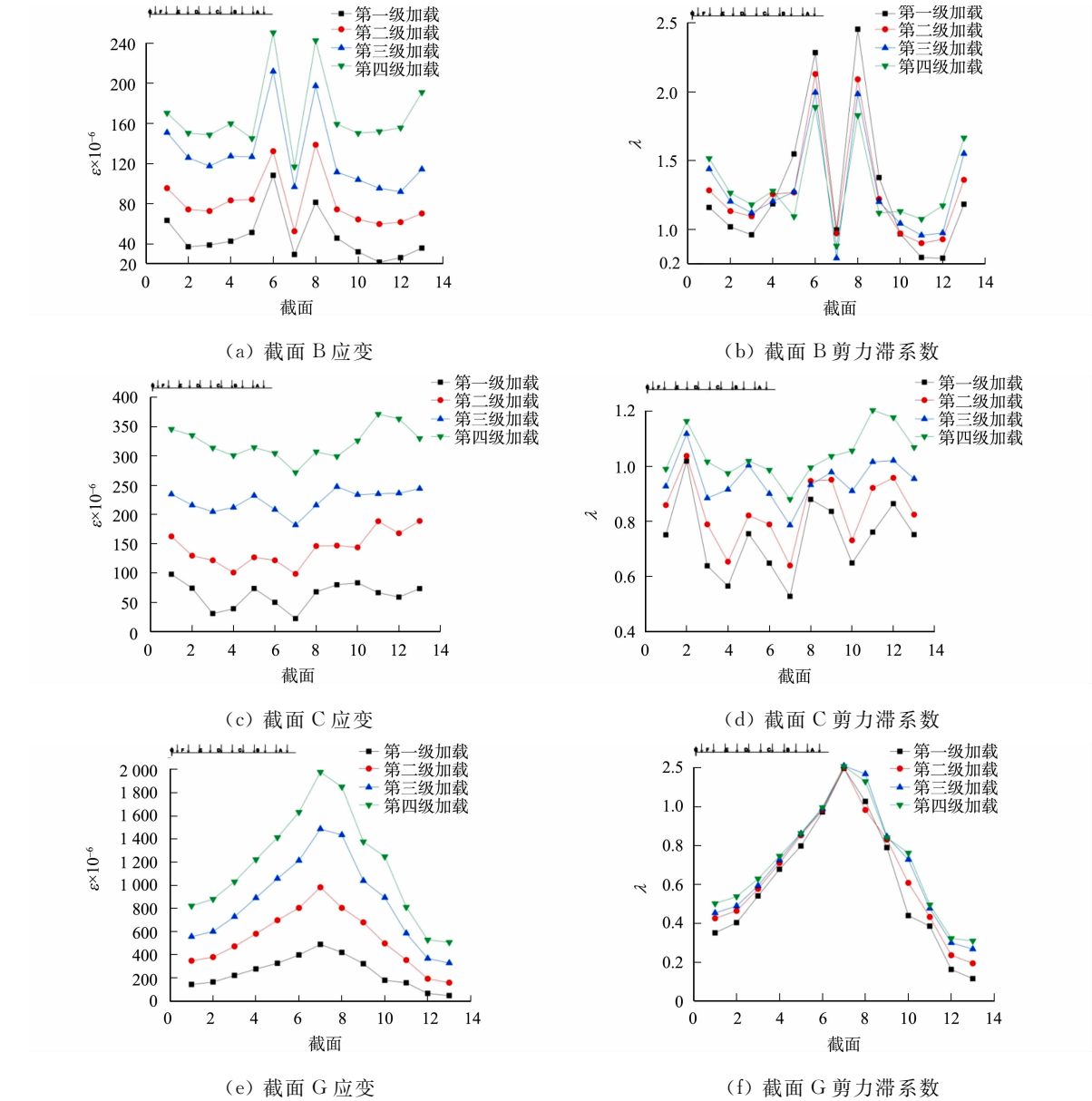


图 8 均布荷载作用下悬臂梁的应变及剪力滞系数

Fig. 8 Strain and shear lag coefficient of different sections under uniform load

由图 8(a)~(d)可知:截面 B 为负剪力滞效应,翼板中部剪力滞系数随着荷载增加减小,第一级荷载作用时为 1,后逐渐减小,腹板处翼板剪力滞系数远小于相邻测点,整体剪力滞系数随着荷载增加逐渐增加.

截面 C,D,E 腹板处应变差值较小,均在 $50\mu\epsilon$ 左右,剪力滞系数在翼板中部均小于 1,向两侧逐渐增大,此处不再赘述.

由图 8(e)~(f)可知:截面 G 位于悬臂梁固定端截面,为正剪力滞效应,向两侧逐渐减小,各级荷载的应变变化趋势基本相同;其剪力滞系数在翼板中部为 1.2,各级荷载作用下系数相同,向两侧逐渐减小,最小减小至 0.3 左右,下降较快.

4 剪力滞效应分析

连续梁和悬臂梁各截面的剪力滞效应,腹板处的剪力滞系数,以及腹板处应变与翼板边缘应变比

值,分别如表 3,4 所示.

表 3 连续梁的剪力滞效应分析表
Tab. 3 Shear lag effect analysis of continuous beam

截面	荷载形式	正/负 剪力滞	剪力滞系数				荷载形式	正/负 剪力滞	剪力滞系数			
			一级	二级	三级	四级			一级	二级	三级	四级
A	集中荷载	负	0.591 38	0.741 56	0.792 00	0.795 34	均布荷载	正	1.197 55	1.210 47	1.088 04	1.067 37
B		正	1.158 64	1.191 43	1.197 06	1.187 94		正	1.256 85	1.187 18	1.137 02	1.120 32
C		正	1.153 88	1.208 54	1.226 52	1.231 38		正	1.618 53	1.474 72	1.313 50	1.262 09
D		正	1.556 41	1.519 80	1.511 13	1.496 54		正	1.611 64	1.382 72	1.328 84	1.291 35
E		正	0.322 41	0.515 85	0.947 72	0.906 93		均布荷载	负	0.330 23	0.567 19	0.712 99
F		正	0.971 83	0.929 57	0.818 86	0.801 36						
G		正	1.606 48	1.551 32	1.495 37	1.450 86						
H		正	0.958 68	0.866 09	0.840 73	0.853 35						
I		正	0.357 10	0.531 64	0.858 15	0.815 50						
J		正	1.724 25	1.704 96	1.687 24	1.639 45						
K		正	1.233 96	1.246 06	1.276 02	1.293 74						
L		正	1.142 44	1.214 23	1.234 58	1.248 70						
M		负	0.770 59	0.853 66	0.947 65	0.944 18						

表 4 悬臂梁的剪力滞效应分析表
Tab. 4 Shear lag effect analysis of cantilever beam

截面	荷载形式	正/负 剪力滞	剪力滞系数			荷载形式	正/负 剪力滞	剪力滞系数			
			一级	二级	三级			一级	二级	三级	四级
A	集中荷载	负	0.221 59	0.243 99	0.299 10	均布荷载	负	0.996 92	0.971 71	0.791 90	0.880 53
B		负	0.578 08	0.647 11	0.688 51						
C		负	0.662 29	0.691 02	0.721 48						
D		负	0.799 64	0.824 85	0.848 50						
E		负	0.765 97	0.792 73	0.820 09						
F		正	0.887 19	0.906 16	0.933 26						
G		正	0.999 97	1.017 44	1.037 21						

由表 3 可知:连续梁在集中荷载作用时,除两侧支座处为负剪力滞效应,其他截面均为正剪力滞效应,随着荷载增加,正负剪力滞效应均逐渐增强.距左侧支座 $\frac{1}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{5}{9}L$ 处(L 表示一跨长度为 900 mm,下同)截面剪力滞系数大于 1, $\frac{2}{3}L, \frac{8}{9}L$ 处截面为正剪力滞效应,但剪力滞系数小于 1,且随着荷载增加,剪力滞系数虽有增加,但结果均小于 1;跨中截面为正剪力滞效应,且剪力滞系数大于 1.由表 3 还可知:连续梁在均布荷载作用时,跨中支座为正剪力滞效应,剪力滞系数大于 1,相邻 $\frac{1}{9}L$ 两截面均为负剪力滞效应,剪力滞系数小于 1,其余截面均为正剪力滞效应;因连续荷载作用时,截面 E,I 的弯矩为 0,无法计算剪力滞系数,但从应变图可知,两截面为正剪力滞效应.

由表 4 可知:悬臂梁在集中荷载作用时,距固定端 $\frac{7}{9}L, \frac{2}{3}L, \frac{1}{2}L, \frac{1}{3}L, \frac{2}{9}L$ 截面均为负剪力滞效应,剪力滞系数小于 1,固定端截面及相邻截面为正剪力滞效应,但剪力滞系数小于 1.由表 4 还可知:悬臂梁在均布荷载作用时,除固定端截面为正剪力滞效应,剪力滞系数大于 1,其余截面均为负剪力滞效应,剪力滞系数小于 1.

5 结论

通过对有机玻璃材质 T 形连续梁和悬臂梁进行不同荷载种类加载,得到有关 T 形梁的几种剪力滞分布规律.

1) T 形连续梁和悬臂梁在集中荷载和均布荷载作用时,正负剪力滞效应皆存在.

- 2) 连续梁在集中荷载作用下仅左右两侧支座处为负剪力滞;而在均布荷载作用时,仅在连续梁中间支座左右两侧截面为负剪力滞效应,随着荷载增加,剪力滞效应逐渐增大.两种荷载作用时,弯矩关于中间支座对称,剪力关于中间支座反对称,剪力滞效应关于支座对称,即剪力滞的正负与剪力正负无关.
- 3) 悬臂梁在集中荷载作用时仅固定端及相邻截面剪力滞效应为正,从加载截面至固定端,弯曲正应力逐渐增大,剪力滞系数逐渐增大;而在均布荷载作用时仅固定端截面为正剪力滞效应,从自由端到固定端,弯矩和剪力逐渐增大,剪力滞系数先减小后增大.
- 4) 剪力滞效应的正负与剪力滞系数是否大于 1 无关,剪力滞系数仅代表实际应力与理论应力的比值,而剪力滞效应需根据腹板处与相邻测点的应变大小决定.

参考文献:

[1] 唐嘉佑,陈玉骥,杨国飞,等. 土木工程结构中剪力滞研究综述[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2020,38(4):46-51.

[2] 罗旗帜,刘光栋,杜嘉斌. 薄壁曲线箱梁剪力滞效应的梁段有限元法[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2006,33(5):21-25. DOI:10.3321/j.issn:1000-2472.2006.05.005.

[3] 周旭辉,罗旗帜,张琪. 薄壁箱梁剪力滞动力特性的有限段法[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2017,35(1):70-75.

[4] CHANG S T,ZHENG Fangzhen. Negative shear lag in cantilever box girder with constant depth[J]. Journal of Structural Engineering,1987,113(1):20-35. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:1(20).

[5] LUO Q Z,TANG Jingchun,LI Q S. Negative shear lag effect in box girders with vary depth[J]. Journal of Structural Engineering,2001,127(10):1236-1239. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:10(1236).

[6] 程翔云. 悬臂薄壁箱梁的负剪力滞[J]. 上海力学,1987(2):52-61. DOI:10.15959/j.cnki.0254-0053.1987.02.006.

[7] 刘军. 等截面连续箱梁剪力滞效应研究[J]. 山西交通科技,2020(4):94-97.

[8] 罗旗帜. 变截面多跨箱梁桥剪滞效应分析[J]. 中国公路学报,1998(1):65-72.

[9] 夏文强. 不同荷载形式对箱梁剪力滞的影响[J]. 南阳理工学院学报,2013,5(6):89-91,100. DOI:10.3969/j.issn.1674-5132.2013.06.021.

[10] 黄贤国. 大跨混凝土箱梁桥温度荷载作用下剪力滞效应分析[J]. 惠州学院学报,2007,27(3):102-107. DOI:10.3969/j.issn.1671-5934.2007.03.023.

[11] 潘旦光,程业,陈钊,等. 非线性温度梯度下悬臂箱梁的剪力滞效应[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2018,41(3):384-389. DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2018.03.016.

[12] 张玉元,张元海,张慧. 梁端约束条件对箱形梁剪力滞效应的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版),2018,48(4):671-677. DOI:10.3969/j.issn.1001-0505.2018.04.012.

[13] 李清富,鲁博文,周国栋. 荷载作用位置对箱梁剪力滞效应的影响[J]. 郑州大学学报(工学版),2011,32(2):59-61. DOI:10.3969/j.issn.1671-6833.2011.02.015.

[14] 陈杨. 箱梁剪力滞效应研究现状[J]. 四川建筑,2020,40(1):208-209,214. DOI:10.3969/j.issn.1007-8983.2020.01.071.

[15] 陆飘萍. 连续 T 梁的剪力滞效应及非线性分析[D]. 厦门:华侨大学,2020.

[16] 欧磊. 悬臂梁不同刚度翼缘板 T 型梁与剪力滞效应的关系研究[J]. 科技与创新,2021(1):58-59.

[17] 郑威,曾刚,董毓利,等. 集中荷载下钢筋混凝土简支 T 型梁剪力滞效应[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2020,41(6):707-717. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.202008005.

[18] 李油于,于晓坤,贾艳敏,等. 预应力混凝土连续矮肋 T 梁抗弯承载力分析[J]. 中外公路,2020,40(6):104-108.

[19] 中交公路规划设计院. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京:人民交通出版社,2015.

[20] 杨燕飞. T 梁交接处剪应力传递与应力分布[D]. 厦门:华侨大学,2015.

[21] 程军,扶名福,林治平. 有机玻璃的力学与光塑性性能[J]. 天津大学学报,2000,33(1):86-88. DOI:10.3969/j.issn.0493-2137.2000.01.022.

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 方德平)