

# 基于 ANSYS 钢筋混凝土开洞连续深梁承载力分析

张令超, 王泽军, 任家福

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**基于 Ashour 所做的有关集中荷载作用下两跨连续深梁腹板开洞的试验成果, 设定一系列有限元模拟试件, 借助于有限元分析软件 ANSYS 建立有限元模型, 对比分析集中荷载和均布荷载分别作用时混凝土强度、开洞大小、洞口位置、竖向腹筋配筋率以及水平腹筋配筋率对试件承载力的影响。

**关键词:**连续深梁; 腹板开洞; 有限元; 承载力

中图分类号: TU375.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2012)S1-0062-03

## Bearing Capacity of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Web Openings Based on ANSYS Analysis

ZHANG Ling-chao, Wang Ze-jun, REN Jia-fu

(Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

**Abstract:** Based on the experiment on two-span continuous deep beams with web openings bearing concentrated load, setting a series of finite element simulation specimens and establishing finite element model by finite element analysis software ANSYS, the influences of the strength of concrete, the open hole size, the hole position, vertical reinforcement ratio and horizontal reinforcement ratio on bearing capacity and deflection of specimens were contrasted when imposed respectively.

**Key words:** continuous deep beams; web openings; finite element; bearing capacity

文章建立力学模型对比分析开洞连续深梁在不同类型外界荷载和参数变化时的受力特性及承载力大小, 采用 ANSYS 分别对集中荷载和均布荷载作用下不同的开洞连续深梁进行施加约束以及作用荷载时的分析。

为了验证建模的正确性, 文章用有限元软件 ANSYS 模拟 Ashour 2000 年发表于《ACI Structural Journal》的有关集中荷载作用下两跨连续深梁腹板开洞试验中的内剪跨开洞连续深梁试验<sup>[1]</sup>。文章模拟采用了其中的内剪跨开洞连续深梁试验有关数据。

该试验混凝土强度  $f'_c = 30 \text{ N/mm}^2$ , 由  $f'_c = 0.79 f_{cu,k}$  及  $f_{c,k} = 0.88 \alpha_1 \alpha_2 f_{cu,k}$  换算得  $f_{c,k} = 28.9 \text{ N/mm}^2$ , 用线性插值法得  $f_c$  为  $20.7 \text{ N/mm}^2$ , 钢筋采用 HRB235,  $f_y = 210 \text{ N/mm}^2$ ; 梁高 625 mm、宽 120 mm、长 3 000 mm, 腹板洞口为正方形, 边长  $a$  为 250 mm, 确定洞口位置的参数  $x$ 、 $y$  值分别为 217.5 mm 和 187.5 mm; 底部纵筋为  $4\phi 12$ , 沿梁通长布置并延伸到梁顶部充分锚固, 顶部纵筋为  $4\phi 12$  和  $2\phi 10$ ; 试验梁竖向腹筋和水平腹筋配筋量如表 1。

表 1 试验得到的不同腹筋情况下的破坏荷载

竖向腹筋	水平腹筋	$\lambda$	$\lambda/\eta$	试验破坏荷载/kN
8@100	8@80	0.126	1.156	245
8@200	8@160	0.112	1.109	227
0	8@160	0.117	1.245	211
8@200	0	0.114	1.152	223

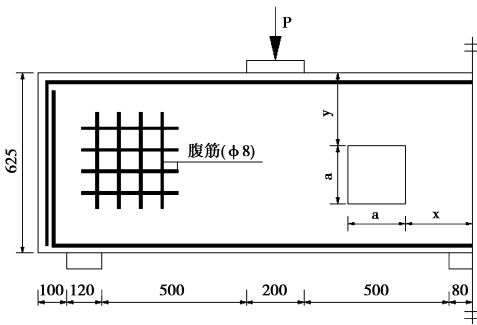


图 1 内剪跨范围内腹板开洞梁

图 1 为集中荷载作用下内剪跨腹板开洞两跨连续深梁试件的左半部分(左右对称)。

### 1 试验试件的有限元模拟

依据上述试件建立有限元模型。为方便网格划分, 将参数  $x$ 、 $y$  稍作调整, 分别改为 225 mm 和 200 mm。梁有限元模型的网格划分如图 2 所示。混凝土弹性模量取初始弹性模量。顶部纵向钢筋离散在  $2a$  范围内, 底部纵筋离散在  $0.2 h$

范围内,剪切钢筋与混凝土采用整体式组合模式。该试件左右对称,只需对其一半进行分析,左端为简支,右端为固支。腹板大开洞深梁模型通过将腹板小开洞深梁模型洞口周围的单元定义成死单元的形式实现<sup>[2]</sup>。

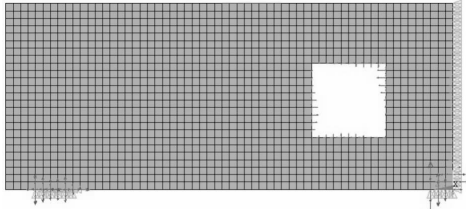


图 2 开洞连续深梁有限元模型的网格划分及约束

为了避免加载点处应力奇异,导致加载点过早开裂或压碎,造成收敛困难,在施加集中荷载时将其转化为垫板范围内的均布荷载<sup>[3]</sup>。

表 2 模拟破坏荷载及其与试验破坏荷载的比值

模拟破坏荷载 /kN	试验破坏荷载 /kN	模拟破坏荷载与试验破坏荷载的比值
290	245	1.19
260	227	1.15
195	211	0.92
250	223	1.07

试件在荷载加载时参考试验结果,采用一次性加载模式<sup>[4]</sup>,选取初始试算荷载进行破坏荷载试算,得到破坏荷载,如表 2,模拟破坏荷载与试验破坏荷载基本吻合。

## 2 开洞连续深梁有限元模型的参数分析

试件编号中,第一个字母 D 表示混凝土强度较高, X 表

示混凝土强度较低;第二个字母 D 表示腹板大开洞, X 表示腹板小开洞;第三个字母 D 表示配筋率较大, X 表示配筋率较小,第四个字母 W 表示无该项配筋。例如: DXXW 表示构件为腹板小开洞连续深梁,混凝土圆柱体抗压强度为 30 N/mm<sup>2</sup>,竖向腹筋配筋率为 0.004,无水平腹筋。

### 2.1 混凝土强度对开洞深梁破坏荷载的影响

如表 3,混凝土强度越高,破坏荷载越大。集中荷载作用下腹板小开洞连续深梁当同时配有竖向腹筋与水平腹筋,且配筋率大小适中时,混凝土强度对破坏荷载的影响最大;当仅配有竖向腹筋时,混凝土强度对破坏荷载的影响稍有减小,但仍然较大;当仅配有水平腹筋时,混凝土强度对破坏荷载的影响不起主要作用。对腹板大开洞连续深梁,混凝土强度对破坏荷载的影响按照竖向配筋率与水平配筋率较大、竖向配筋率与水平配筋率中等、仅有竖向配筋、仅有水平配筋的顺序依次减小,且无竖向配筋时,混凝土强度对破坏荷载的影响较小。均布荷载作用下,无论腹筋配置与洞口大小如何变化,混凝土强度对破坏荷载的影响均较大,且对腹板小开洞连续深梁,腹筋配置(尤其水平腹筋)越小,混凝土强度对破坏荷载的影响越大,但对腹板大开洞连续深梁,腹筋配置(尤其水平腹筋)越小,混凝土强度对破坏荷载的影响也越小。

### 2.2 洞口大小对开洞深梁破坏荷载的影响

如表 4 所示,在同一位置开洞时,无论开洞深梁上作用集中荷载还是均布荷载,洞口大小对混凝土深梁破坏荷载的影响均较大,且在均布荷载作用时,洞口大小对破坏荷载的影响较集中荷载稳定。试件 DXXX、DDXX 对应的无开洞深梁破坏荷载为 325 kN,与不开洞深梁相比,正方形开洞连续深梁的开洞洞口边长与承载力减小值不成比例,而是低于承载力减小速度。同样,洞口面积也与承载力减小值不成比例,而是高于承载力减小速度。

表 3 不同混凝土强度下深梁破坏荷载对比

荷载 构件	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN · m <sup>-1</sup>	荷载 构件	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN · m <sup>-1</sup>
DXDD	355	333	DDDD	290	290
DXXX	305	327	DDXX	260	287
DXWX	205	323	DDWX	195	277
DXXW	280	327	DDXW	250	267
XXDD	300	283	XDDD	235	237
XXXX	250	273	XDXX	215	230
XXWX	210	260	XDWX	180	230
XXXW	240	253	XDXW	215	230

表 4 洞口大小不同时深梁破坏荷载对比

荷载 构件	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN · m <sup>-1</sup>	荷载 构件	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN · m <sup>-1</sup>
DXDD	355	333	XXDD	300	283
DXXX	305	327	XXXX	250	273
DXWX	205	323	XXWX	210	260
DXXW	280	327	XXXW	240	253
DDDD	290	290	XDDD	235	237
DDXX	260	287	XDXX	215	230
DDWX	195	277	XDWX	180	230
DDXW	250	267	XDXW	215	230

### 2.3 洞口位置的影响

文章以集中荷载作用下不同水平位置开洞的连续深梁为对象,研究洞口位置变化对深梁承载力及竖向挠度的影响。

如图 3,字母后的数字为洞口右边缘至梁竖向对称轴间的距离, $r$ 为洞口中心至梁竖向对称轴间的距离,虚线为端支座和中间支座的传力线,点划线为洞口中心移动轨迹,移动轨迹与端支座传力线和中间支座传力线的交点到对称轴的距离分别为 1 016 mm 和 333 mm。确定洞口位置的参数  $x, y$  示于图 1。

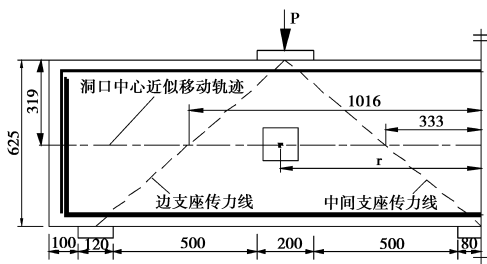


图 3 洞口位置变化的连续深梁示意图

表 5 不同位置开洞的深梁试件及其模拟结果

试件编号	a	x	y	r	破坏荷载 /kN	破坏时最大 挠度/mm
DXXX275	125	275	250	338	305	0.517
DXXX550	125	550	250	613	315	0.465
DXXX775	125	775	250	838	305	0.512
DXXX1100	125	1100	250	1163	285	0.370
DDXX225	250	225	200	350	260	0.643
DDXX500	250	500	200	625	265	0.425
DDXX725	250	725	200	850	240	0.582
DDXX1050	250	1050	200	1175	190	0.438

由表 5 可知,无论对大开洞深梁还是小开洞深梁,当洞口与拉—压杆模型<sup>[5]</sup>中的压杆不相交时,洞口离传力线越远,承载力越大;当洞口与压杆相交时,承载力大小不仅与洞口位置有关,还与洞口大小有关,即洞口面积主要在传力线之上时,承载力降低较多。

### 2.4 竖向腹筋配筋率对开洞深梁破坏荷载的影响

如表 6,集中荷载作用时,竖向腹筋配筋率越大,承载力越高,且混凝土强度越高,竖向腹筋配筋率对破坏荷载的影响越显著。小开洞时,竖向腹筋配筋率对破坏荷载的影响较大开洞时略大。均布荷载作用时,无论洞口大小、混凝土强度如何变化,竖向腹筋配筋率对破坏荷载几乎没有影响。

### 2.5 水平腹筋配筋率对开洞深梁破坏荷载的影响

如表 7 所示,集中荷载作用下,水平腹筋配筋率越大,承载力越高,但同竖向腹筋相比,水平腹筋对承载力影响较小,尤其当混凝土强度较低时,这一现象更加明显。当均布荷载作用时,水平腹筋配筋率对破坏荷载的影响基本与集中荷载作用时规律一样,但均布荷载对梁的影响小于集中荷载作用

的情况。

表 6 竖向腹筋配筋率不同时深梁破坏荷载对比

构件 荷载	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN·m <sup>-1</sup>
DXXX	305	327
DDXX	260	287
XXXX	250	273
XDXX	215	230
DXWX	205	323
DDWX	195	277
XXWX	210	260
XDWX	180	230

表 7 水平腹筋配筋率不同时深梁破坏荷载对比

构件 荷载	集中荷载作用 /kN	均布荷载作用 /kN·m <sup>-1</sup>
DXXX	305	327
DDXX	260	287
XXXX	250	273
XDXX	215	230
DXXW	280	327
DDXW	250	267
XXXW	240	253
DXW	215	230

## 3 结论

由有限元模拟实验可知,当深梁跨度和高度一定时,影响开洞连续深梁承载力的主要因素为混凝土强度、洞口大小和位置、横向腹筋和竖向腹筋配筋率等,其中混凝土强度、洞口大小和位置的影响最显著。此外,开洞连续深梁上作用均布荷载时其承载力高于作用集中荷载时。

### 参考文献:

- [1] Ashraf F Ashour, G Rishi. Tests of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams with Web Openings [J]. ACI Structural Journal. 2000, 97(3): 418-426.
- [2] 吴敏哲, 赵桂萍. 有限单元法 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.
- [3] 过镇海. 混凝土的强度和变形—试验基础和本构关系 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [4] 开洞深梁专题组. 钢筋混凝土开洞深梁的试验研究, 砼结构研究报告集 [R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994, 159-71.
- [5] 深梁专题研究组. 钢筋混凝土筒支深梁的试验研究 [J]. 建筑结构, 1984(1): 38-43.