

《混凝土结构设计原理》 实验指导书

编写 李 伟
审核 彭亚萍

适用专业：土木工程

上海应用技术大学
2017年9月

目 录

实验一	钢筋混凝土梁正截面承载力试验.....	1
实验二	钢筋混凝土梁斜截面承载力试验.....	4
实验三	偏心受压构件承载力试验.....	7
附件一	受弯构件正截面承载力试验报告.....	10
附件二	受弯构件斜截面承载力试验报告.....	14
附件三	偏心受压构件承载力试验报告.....	17

实验一 钢筋混凝土梁正截面承载力试验

一、试验目的

根据给定的水泥、砂、石子、钢筋、模板规格，参考材料力学、结构力学、混凝土结构设计原理教材，分组、分批测试钢筋混凝土构件。通过本试验力求达到以下目标：

1. 了解受弯构件正截面的承载力大小、挠度变化及裂缝出现和发展的全过程；
2. 观察了解受弯构件受力和变形过程的三个工作阶段及适筋梁（超筋梁或少筋梁）的破坏特征；
3. 测定受弯构件正截面的开裂荷载和极限承载力，验证正截面承载力计算方法。

二、试件、试验仪器设备

1. 试件特征

- (1) 根据试验要求，试验梁的混凝土强度等级为 C30，纵向受力钢筋强度等级 III 级。
- (2) 试件尺寸及配筋如图 1-1 所示，混凝土保护层厚度为 25mm。通过受力钢筋①的变化实现受弯构件的三种破坏形式。适筋梁：①为 2C18，少筋梁：①为 2C6，超筋梁：①为 2C25。

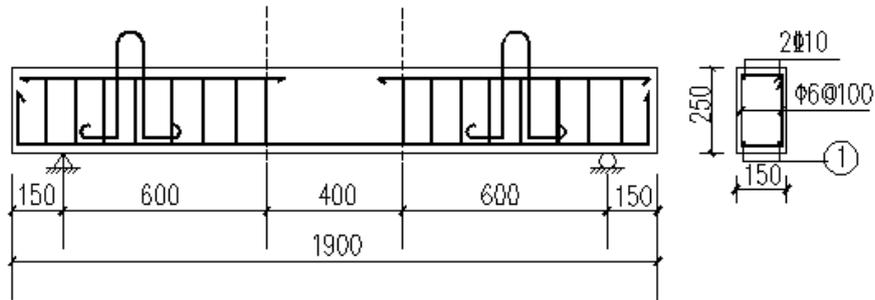


图 1-1 试件尺寸及配筋图

- (3) 梁的中间 400mm 区段内无腹筋，其余区域配有 $\phi 6 @ 100$ 的箍筋，以保证不发生斜截面破坏。
- (4) 梁的受压区配有两根架立筋，通过箍筋与受力筋绑扎在一起，形成骨架，保证受力钢筋处在正确的位置。

2. 试验仪器设备

- (1) 静力试验台座、反力架、支座及支墩；
- (2) 结构试验加载系统（50T）；
- (3) DH3818 静态应变测试仪；
- (4) 读数显微镜及放大镜；
- (5) 位移计（百分表）及磁性表座；
- (6) 电阻应变片、导线等。

三、试验装置及测点布置

1. 试验装置

试验装置见图 1-2。

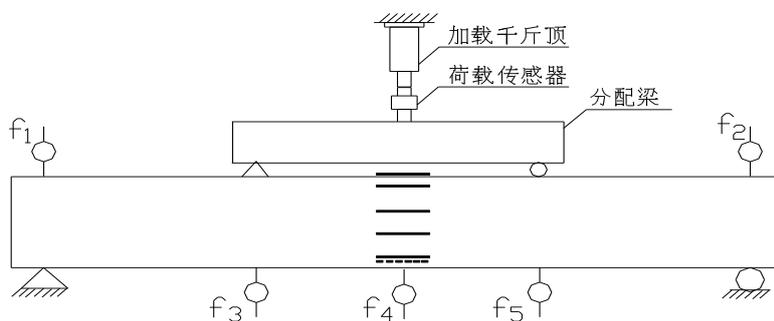


图 1-2 正截面试验装置图

(1) 在加荷架中，用千斤顶通过传力梁进行两点对称加载，使简支梁跨中形成长 400mm 的纯弯曲段（忽略梁的自重）。

(2) 构件两端支座构造应保证试件端部转动及其中一端水平位移不受约束，基本符合铰支承的要求。

2. 测点布置

(1) 在跨中纵向受拉主筋中部预埋四个电阻应变片，用导线引出，并做好防水处理，设 ϵ_{g1} 、 ϵ_{g2} 、 ϵ_{g3} 、 ϵ_{g4} 为跨中受拉主筋应变测点。如图 1-3。

(2) 纯弯区段内选一控制截面，在该截面处梁的受压区边缘布一应变测点 ϵ_{c1} ，侧面沿截面高度布置四个应变测点 $\epsilon_{c2} \sim \epsilon_{c5}$ ，用来测量控制截面的应变分布。

(3) 梁的跨中及两个对称加载点各布置一位移计 $f_3 \sim f_5$ ，量测梁的整体变形，考虑在加载的过程中，两个支座受力下沉，支座上部分别布置位移测点 f_1 和 f_2 ，以消除因支座下沉对挠度测试结果的影响。

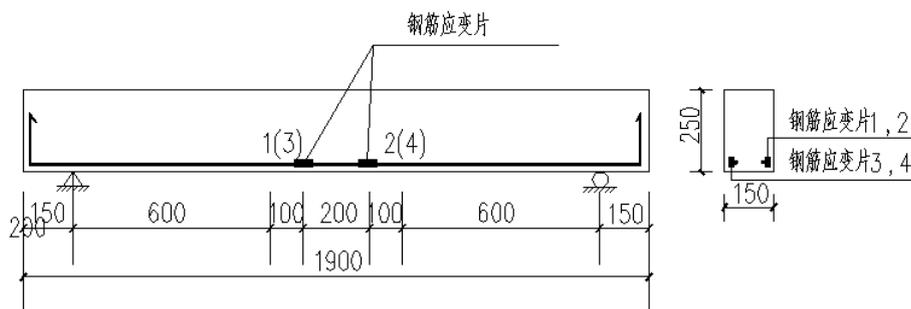


图 1-3 纵筋应变片布置图

四. 试验步骤

1. 加载方法

(1) 采用分级加载，开裂前每级加载量取 5%~10% 的破坏荷载（试验前由学生进行承载力的估算），开裂后每级加载量增为 15% 的破坏荷载。

(2) 试验准备就绪后，首先预加一级荷载，观察所有仪器是否工作正常。

(3) 每加载后持荷时间为不少于 5 分钟，使试件变形趋于稳定后，再仔细测读仪表读数，待校核无误，方可进行下一级加荷，直至加载到破坏为止。

2. 试验内容

(1) 试件就位后，按照试验装置要求安装好所有仪器仪表，正式试验之前，应变仪各测点依次调平衡，并记录位移计初值，然后进行正式加载。

(2) 测定每级荷载下纯弯区段控制截面混凝土和受拉主筋的应变值 ε_c 和 ε_g ，以及混凝土开裂时的极限拉应变 ε_{cr} 与破坏时的极限压应变 ε_{cu} ，将应变读数分别记录入实验报告中的表 1-1。

(3) 测定每级荷载下试验梁的支座下沉挠度、跨中挠度及对称加载点的挠度，并记录实验报告中的表 1-2。

(4) 用放大镜仔细观察裂缝的出现部位，并在裂缝旁边用铅笔绘出裂缝的延伸高度，在顶端划一水平线注明相应的荷载级别。用读数显微镜测试 1 ~ 3 条受拉主筋处的裂缝宽度，取其中最大值。试件破坏后，绘出裂缝分布图。

(5) 测定简支梁开裂荷载、正截面极限承载力，详细记录试件的破坏特征，寻找屈服荷载。

(6) 根据测定各级荷载挠度值，绘出试验梁 p-f 变形曲线。

(7) 试验分组。依据破坏形式的种类，将试验分为三组，每组做一种破坏形态。各组做完本组试验后，再相互观察另外两种破坏形态。在试验过程中，要根据试验目的、内容和要求，认真做好记录，试验报告以本组试验梁为主。

五、试验结果分析

1. 绘制挠度和荷载的关系曲线，跨中挠度值等于跨中位移计测量值减去两支座位移计测量值的平均值。对称加载点的实测挠度应考虑支座沉降的影响且按测点距离的比例进行修正。

2. 根据纵向钢筋应变变化图计算对应的受弯构件开裂弯矩和屈服弯矩，并分析正截面承载力和变形的三个工作阶段特征。

3. 荷载作用下，裂缝开展的宽度和裂缝长度图，并附裂缝开展照片，分析裂缝类型。

4. 验证受弯构件加荷过程中是否符合平截面假定，注意混凝土受拉区开裂前和开裂后的变化规律。

5. 根据混凝土受弯构件的承载力实测值和理论值的对比，分析存在差异性的原因。

实验二 钢筋混凝土梁斜截面承载力试验

一、试验目的

根据给定的材料和试件，参考材料力学、结构力学、混凝土结构设计原理教材，分组、分批测试钢筋混凝土构件。通过本试验力求达到以下目标：

1. 通过钢筋混凝土矩形截面简支梁的静载试验，验证受弯构件的斜截面强度计算方法，加深区别剪压破坏（斜压破坏或斜拉破坏）三种剪切破坏形态的主要破坏特征，以及产生这该种破坏特征的机理；
2. 正确区分斜裂缝和垂直裂缝，弯剪斜裂缝和腹剪斜裂缝，在此基础上加深理解这二种裂缝的形成原因和裂缝开展的特点；
3. 加深理解箍筋在斜截面抗剪中的作用。

二、试件、试验仪器设备

1. 试件特征

采用钢筋混凝土简支梁，混凝土强度等级 C30，纵向受力钢筋强度等级Ⅲ级，混凝土净保护层厚度为 25mm，梁的上部配有 2 ϕ 10 的架力筋。

通过调整集中力作用的位置，变化剪跨比和配置箍筋面积设计构件为剪压破坏、斜压破坏、斜拉破坏，同时配置纵向受力钢筋，保证不先发生受弯破坏。试件尺寸及配筋如图 2-1、2-2、2-3 所示。

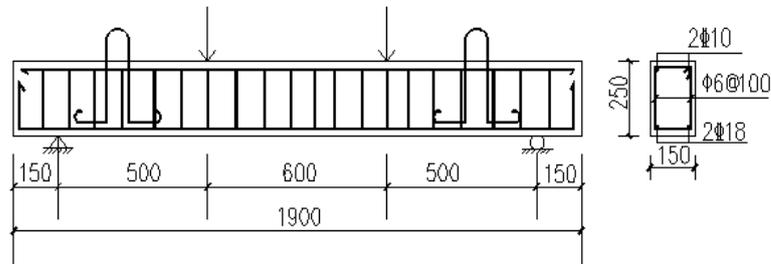


图 2-1 剪压破坏试件尺寸及配筋

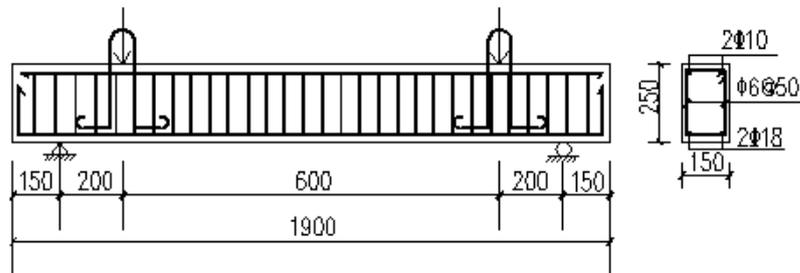


图 2-2 斜压破坏试件尺寸及配筋

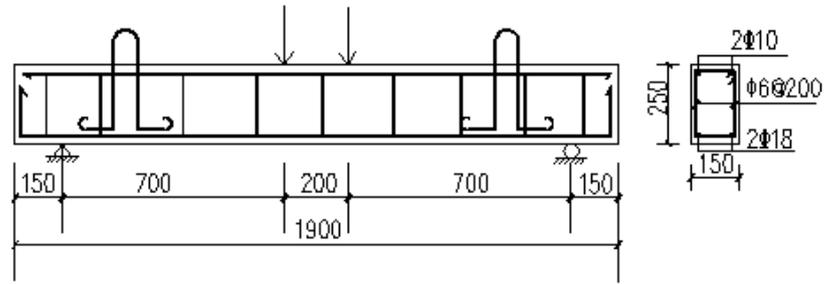


图 2-3 斜拉破坏试件尺寸及配筋

2. 试验仪器设备

- (1) 静力试验台座、反力架、支座及支墩；
- (2) 结构试验加载系统（50T）；
- (3) DH3818 静态应变测试仪；
- (4) 读数显微镜及放大镜；
- (5) 位移计（百分表）及磁性表座；
- (6) 电阻应变片、导线等。

三、试验装置及测点布置

1. 试验装置

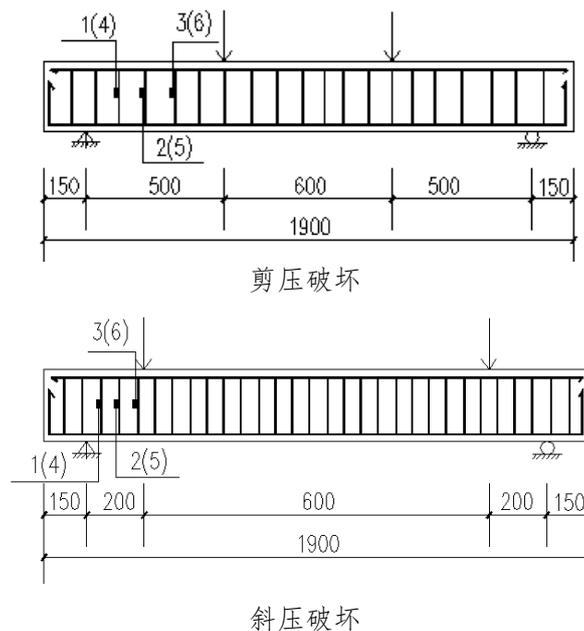
试验装置和受弯构件正截面试验装置图相同，见图 1-2，剪压破坏、斜压破坏和斜拉破坏加载位置根据图 2-1、2-2、2-3 所示进行调整。

2. 测点布置

(1) 在纵向受力钢筋中部预埋四个电阻应变片，用导线引出，并做好防水处理，设 ϵ_{g1} 、 ϵ_{g2} 、 ϵ_{g3} 、 ϵ_{g4} 为跨中受拉主筋应变测点。布置位置与受弯构件相同，见图 1-3。

(2) 在剪跨区段正反面布置箍筋应变片六个，测试箍筋应变值。箍筋应变测试点位置见图 2-4。

(3) 梁的跨中及两个对称加载点各布置一位移计 $f_3 \sim f_5$ ，量测量梁的整体变形，考虑在加载的过程中，两个支座受力下沉，支座上部分别布置位移测点 f_1 和 f_2 ，以消除因支座下沉对挠度测试结果的影响。



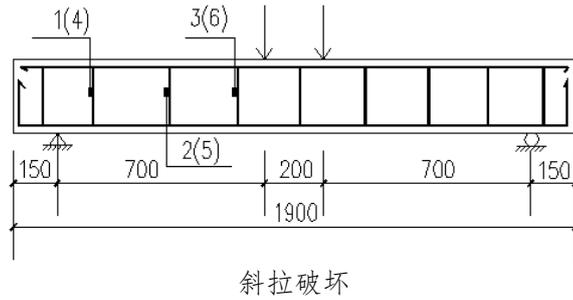


图 2-4 梁斜截面受剪破坏箍筋应变测点布置图

四、试验步骤

1. 加载方法

(1) 采用分级加载，开裂前每级加载量取 5%~10%的破坏荷载，开裂后每级加载量增为 15%的破坏荷载。

(2) 试验准备就绪后，首先预加一级荷载，观察所有仪器是否工作正常。

(3) 每次加载后持荷时间为不少于 5 分钟，使试件变形趋于稳定后，再仔细测读仪表读数，待校核无误，方可进行下一级加荷，直至加到破坏为止。

2、试验内容

(1) 量测试验梁的跨中挠度。

(2) 量测斜裂缝出现前后箍筋的应变。

(3) 仔细观察裂缝的出现和开展过程，特别注意观察剪跨段内斜裂缝的出现和开展的全过程。斜裂缝出现后，用铅笔在裂缝旁边描裂缝，按出现先后顺序编号，并在裂缝顶端注明相应的荷载值，待试验梁破坏后再绘制裂缝分布图和破坏形态图。

(4) 记录斜截面破坏荷载，并验算斜截面破坏时的 V_{0u}/V_u (V_{0u} 和 V_u 分别为斜截面破坏时的剪力试验值和理论值)。

(5) 试验分组。依据破坏形式的种类，将试验分为三组，每组做一种破坏形态。各组做完本组试验后，再相互观察另外两种破坏形态。在试验过程中，要根据试验目的、内容和要求，认真做好记录，试验报告以本组试验梁为主。

五、试验结果分析

1. 绘制箍筋应变与荷载变化曲线图，找出钢筋屈服点，并计算对应的屈服弯矩。

2. 绘制斜截面承载力与挠度变化曲线，计算剪压破坏、斜压破坏和斜拉破坏时的剪跨比，并分析剪跨比对斜截面抗剪能力的影响。

3. 根据试验梁的所用材料的实际强度，计算剪压破坏、斜压破坏和斜拉破坏斜截面极限承载力，并与试验结果进行比较，得出结论。

4. 绘制试验梁剪压破坏、斜压破坏、斜拉裂缝分布图(梁的侧面)，分析从斜裂缝出现到梁破坏斜裂缝的形成与发展过程。比较三种破坏形式的差异，并分析出现三种斜截面破坏特征的原因。

实验三 偏心受压构件承载力试验

一、试验目的

根据给定的材料和试件，参考材料力学、结构力学、混凝土结构设计原理教材，分组、分批测试钢筋混凝土构件。通过本试验力求达到以下目标：

1. 通过试验观察钢筋混凝土短柱偏心受压承载过程及破坏特征；
2. 了解偏心受压短柱中央截面应力分布状态、侧向弯曲及裂缝分布和开展过程；
3. 测定偏心受压短柱极限承载力，并验证钢筋混凝土短柱偏心受压承载力计算方法；
4. 初步掌握偏心受压柱静载试验的一般过程和测试方法。

二、试件、试验仪器设备

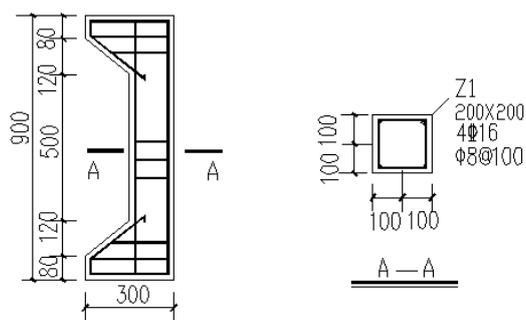


图 3-1 试件尺寸及配筋

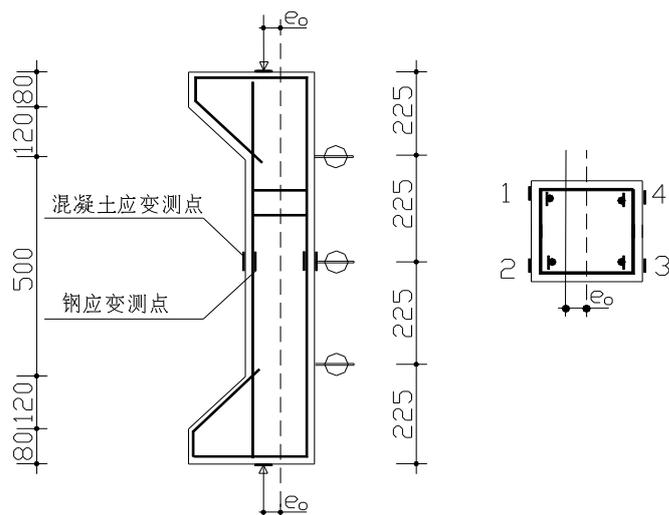


图 3-2 试验装置及测点布置

1. 试件特征

- (1) 试件尺寸及配筋如图 3-1 所示。
- (2) 混凝土强度等级 C30，受力钢筋强度等级 III 级。

- (3) 在浇注试件之前，预先粘贴好设在受力钢筋上的电阻应变片，并作好防水处理。
- (4) 混凝土净保护层厚度 25mm。
- (5) 通过调整加载位置，形成大偏心和小偏心受力状态。小偏心：偏心距 $e_0=25\text{mm}$ ；大偏心：偏心距 $e_0=150\text{mm}$ ；

2. 试验仪器设备

- (1) 静力试验台座、反力架、支座及支墩
- (2) 结构试验加载系统（50T）
- (3) DH3818 静态应变测试仪
- (4) 读数显微镜及放大镜
- (5) 位移计（百分表）及磁性表座
- (6) 电阻应变片、导线等

三、试验装置及测点布置

1. 试验装置

试验装置及测点布置如图 3-2 所示。

2. 测点布置

- (1) 在柱子的中央截面混凝土受拉面及受压面各布置两个应变测点。
- (2) 纵向受力钢筋各布置一个应变测点。
- (3) 在柱子的中央侧面安装一个位移计，中央截面距柱端的二分之一处侧面各安装一个位移计，用来测量短柱的侧向位移。

四、试验步骤

1. 试件就位

- (1) 试件就位之前，将混凝土应变测点表面清理干净，粘贴好应变片并用导线引出。
- (2) 试件就位及几何对中后，再进行力学对中，然后将加载点移至偏心距处，加适量的初载，固定好试件，并安装好位移计。
- (3) 各测量仪器调零或读取初读值。

2. 加载方法

- (1) 采用分级加载，开裂前每级加载量取 5%~10%的破坏荷载（试验前由学生进行承载力的估算），开裂后每级加载量增为 15%的破坏荷载。
- (2) 试验准备就绪后，首先预加一级荷载，观察所有仪器是否工作正常。
- (3) 每次加载后持荷时间为不少于 5 分钟，使试件变形趋于稳定后，再仔细测读仪表读数，待校核无误，方可进行下一级加荷，直至加载到破坏为止。

3. 试验内容

- (1) 测定每级荷载下中央截面混凝土和钢筋的应变值。
- (2) 测定每级荷载下试验柱的侧向位移值。
- (3) 用放大镜仔细观察纵向裂缝的出现，并标记裂缝出现的部位及延伸长度。用读数显微镜测定主要裂缝的宽度，并作详细记录。
- (4) 测定柱的开裂荷载及极限承载力。
- (5) 试件破坏后，绘制偏心受压短柱的破坏形态图。

五、试验结果分析

1. 绘制纵筋应变与荷载变化曲线图，找出钢筋屈服点，并计算对应的屈服轴力。
2. 绘制偏心受压构件承载力与挠度变化曲线，并分析大偏心和小偏心受压构件变化规律的区别。
3. 根据试验梁的所用材料的实际强度，计算偏心受压构件极限承载力，并与试验结果进行比较，做出结论。
4. 绘制试验偏心受压构件裂缝分布图（柱的侧面），分析从裂缝出现到偏心受压构件破坏裂缝的形成与发展过程。比较大小偏心构件两种破坏形式的差异，并分析出现破坏特征的原因。

附件一 受弯构件正截面承载力试验报告

试验人：_____ 同组试验人：_____

试验日期：_____ 指导教师：_____

一、试验目的

二、试验仪器设备

三、试验内容和步骤

四、材料试验

梁号：_____ 制作日期：_____ 试验日期：_____

与试件同期制作的混凝土标准试块的抗压试验得：

f_{cu} =_____ f_c =_____ f_t =_____

试件用钢筋的抽样轴向拉伸试验得：

I 级钢筋： f_y =_____ II 级钢筋： f_y =_____

五、原始记录

认真填写试验记录表，整理试验记录数据。

表 1 挠度记录

加荷 序数	加荷 时间	荷载 KN	f_1			f_2			f_3			f_4		
			读数	差值	累计									

表 2 应变记录

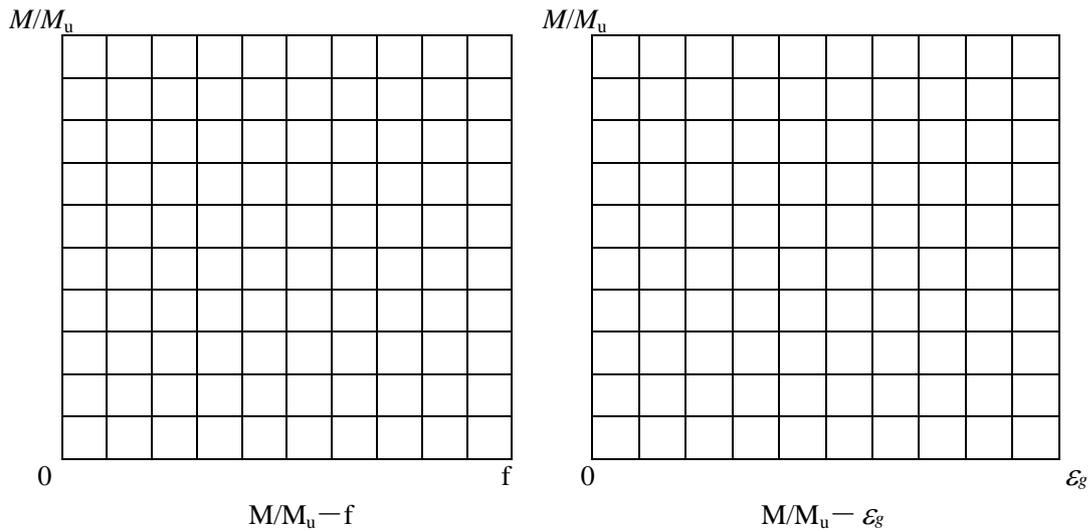
加荷 序数	加荷 时间	荷载 KN	测点 ϵ_{c1}			测点 ϵ_{c2}			测点 ϵ_{c3}			测点 ϵ_{c4}		
			读数	差值	累计									

六、试验数据整理与分析

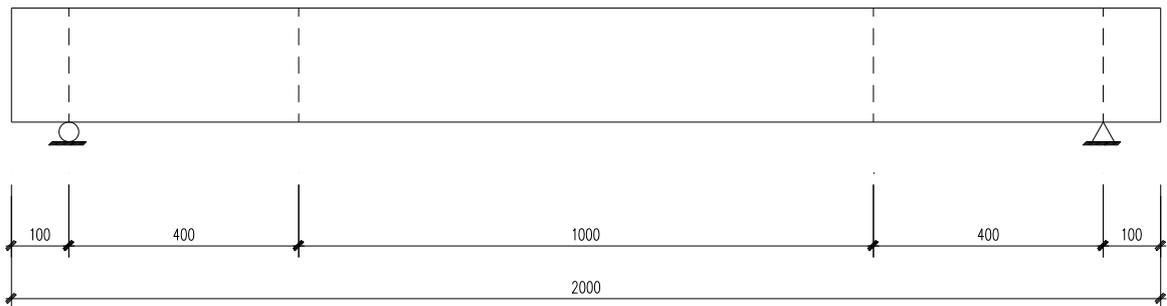
1. 计算每级荷载跨中及对称加载点的实测挠度值。根据计算结果，绘出简支梁的弹性曲线（整体变形曲线）。

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
0KN					
6KN					
12KN					
18KN					
24KN					
30KN					

2. 绘制 M/M_u-f 、 $M/M_u-\varepsilon_g$ 曲线，分析受弯构件正截面受力与变形过程的三个工作阶段。

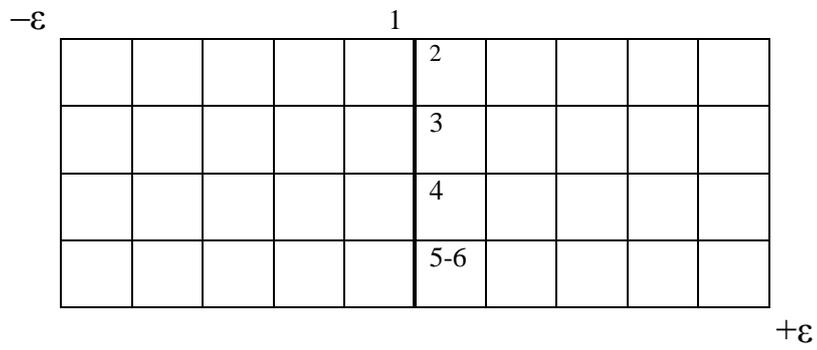


3. 绘制裂缝分布形态图



4. 依据控制截面实测应变值绘制在下列荷载时正截面应变图。

$Q = 6\text{kN}, 12\text{kN}, 18\text{kN}, 24\text{kN}, 30\text{kN};$



5. 根据试验梁材料的实测强度及几何尺寸，计算正截面承载力的理论值，并与梁的正截面承载力

实测值进行比较，计算出实测值与理论值的符合程度 $\frac{\text{实测值}}{\text{理论值}} = ?$

附件二 受弯构件斜截面承载力试验报告

试验人： 同组试验人：

试验日期： 指导教师：

一、试验目的

二、试验仪器设备

三、试验内容和步骤

四、材料试验

梁号： 制作日期： 试验日期：

与试件同期制作的混凝土标准试块的抗压试验得：

f_{cu} = f_c = f_t =

试件用钢筋的抽样轴向拉伸试验得：

I 级钢筋: f_y = II 级钢筋: f_y =

五、原始数据记录

表 1 挠度记录

加荷	加荷	荷载	f ₁			f ₂			f ₃			f ₄		
序数	时间	KN	读数	差值	累计									

表 2 应变记录

加荷	加荷	荷载	测点ε _{c1}			测点ε _{c2}			测点ε _{c3}			测点ε _{c4}		
序数	时间	KN	读数	差值	累计									

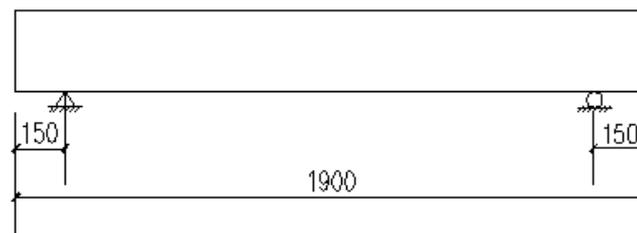
六、数据处理与分析

1、用坐标纸绘制 $V-f$ 曲线；

2、绘制箍筋应变与荷载变化图；

3、描述梁的破坏特征，按理论公式计算其斜截面极限承载力；

4、测绘梁破坏时的裂缝分布图。



附件三 偏心受压构件承载力试验报告

试验人：_____ 同组试验人：_____

试验日期：_____ 指导教师：_____

一、试验目的

二、试验仪器设备

三、试验内容和步骤

四、材料试验

梁号：_____ 制作日期：_____ 试验日期：_____

与试件同期制作的混凝土标准试块的抗压试验得：

f_{cu} =_____ f_c =_____ f_t =_____

试件用钢筋的抽样轴向拉伸试验得：

I 级钢筋： f_y =_____

II 级钢筋： f_y =_____

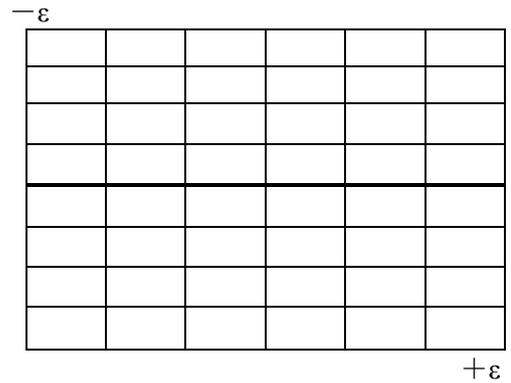
六、数据整理与分析

1. 根据试验数据，计算各级荷载下，靠近纵向力一侧（正面）受力钢筋及混凝土应变平均值和离纵向力较远一侧（背面）受力钢筋及混凝土应变平均值，并绘出中央控制截面前六级荷载混凝土平均应变分布图。

钢筋及混凝土平均应变计算表

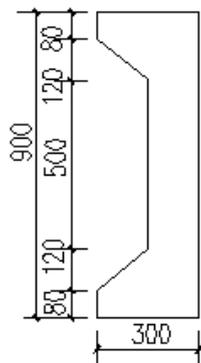
荷载 \ 位置	正面 钢筋	背面 钢筋	正面 砼	背面 砼
1级				
2级				
3级				
4级				
5级				
6级				

1~6级荷载混凝土平均应变分布图

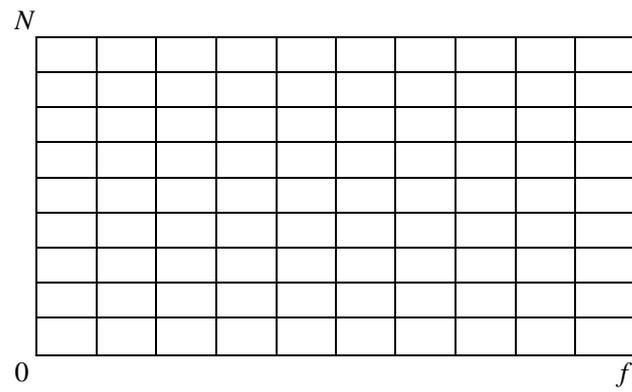


2. 绘制纵向钢筋应变与荷载变化图；

3. 绘出偏心受压构件的破坏形态展开图。



4. 计算侧向位移，绘制短柱实测 $N-f$ （控制截面侧向位移）曲线。



4. 根据试件材料的实测强度，计算偏心受压构件极限承载力，并与实测承载力进行比较。

参考文献

- [1]. 姚振纲. 建筑结构试验. 上海: 同济大学出版社, 2002
- [2]. 王天稳. 土木工程结构试验. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2005
- [3]. 姚谦峰, 陈平. 土木工程结构试验. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [4]. 周明华. 土木工程结构试验与检测. 东南大学出版社, 2002
- [5]. 中华人民共和国国家标准. 混凝土结构设计规范 (GB50010—2010)
- [6]. 中华人民共和国国家标准. 建筑抗震设计规范 (GB50011-2010 (2016年版))
- [7]. 中华人民共和国国家标准. 普通混凝土力学性能试验方法标准 (GB/T 50081-2002)