

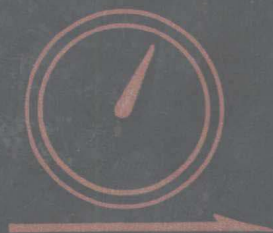
# 结构试验和结构设计

(日) 梅村魁 青山博之 伊藤胜 著

林亚超译

卢世深 译校

JIE GOU SHI YAN HE  
JIE GOU SHE JI



人民交通出版社

# 结构试验和结构设计

(日) 梅村魁 著  
青山博之  
伊藤胜

林亚超 译  
卢世深 译校

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是结构试验方面的一本专著，内容丰富、论述系统，附有大量的实例资料。

本书分为五章。第一、二章论述结构试验的意义和试验设计方法。第三章对梁、柱、柱梁接头、框架和抗震壁等的试验，分别作详细介绍，并举实例说明。第四章介绍实体结构的破坏试验。第五章阐述结构试验和结构设计的有关问题。附录中详述聚四氟乙烯支座的使用和有关试验结果。

本书可供土建技术人员和有关院校师生参考。

### 结构试验和结构设计

东大·工博 梅村魁  
东大·工博 青山博之 著  
东大·工博 伊藤胜  
構造実験と構造設計  
东京昭和48年

本书根据日本技报堂1973年版本译出

林亚超 译

卢世深 译校

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：11.75 字数：238千

1980年11月 第1版

1980年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—10,000册 定价：1.25元

# 译者序

结构试验以测定数据的实验方式表现了结构物或其部件的工作性状，测定其承载能力和相应的安全度，为结构物的安全使用提供了重要的根据。结构试验技术同结构的设计实践以及结构理论的研究探讨有着互相促进和推动的密切关系。因此，随着土木工程建设的不断发展，结构试验作为一门科学，日益受到人们的重视。试验技术不断地得到提高，全息摄影新技术开始应用于结构物的应力应变测量和结构物内部构造和裂缝的观测，便是一项革新的发展。

日本梅村魁等三位教授对结构试验工作有丰富的实践经验。本书是他们多年来的工作经验总结。书中对结构试验原理、试验方法及测验技术、试验数据处理、试验仪器及设备的选用以及动荷载试验方法等方面，都有详尽的介绍和独到的论述。书中还收集了1964年到1970年间的许多结构试验实例，并附组织实施计划，基本上反映了日本在本书编写时（1973年）的结构试验成就和水平。因此特予译出，以供国内从事结构试验和结构设计工作者参考。由于译者的业务和外文水平所限，译文难免有错误和不妥当的地方，敬请读者批评和指正！

译者 1979.5.

# 目 录

## 译者序

1. 结构试验的意义	1
2. 结构试验设计	4
2.1 试验设计概述	4
2.1.1 试验设计	4
2.1.2 试验误差	6
2.1.3 材料试验结果对计算值的影响	7
2.2 试验结构设计	9
2.2.1 模型律	10
2.2.2 试件形状	11
2.2.3 试件数目	13
2.3 加载方法及加载装置的设计	14
2.3.1 加载方法中的问题	14
一、加载装置的刚度	14
二、试件强度的提高	15
三、加载装置的约束	16
四、多循环反复加载	16
五、试件的装换	16
2.3.2 支承方法的问题	16
2.4 观测方案设计	17
2.4.1 位移(变形)测定	17
一、百分表	17
二、变形测定的其他仪器	19
2.4.2 应变(应力)测定	19
2.4.3 荷载测定	21
2.4.4 荷载—挠度曲线的自动记录	21
3. 各种部件的试验方法	22
3.1 梁的试验	22
3.1.1 试验方法和问题	22
一、弯曲试验的支座型式	22
二、支座摩擦力的影响	22
3.1.2 支座摩擦力的探讨	23
一、考虑支座摩擦力的试验	23
二、根据以往的试验探讨支座摩擦	27
3.1.3 梁试验实例	31

A. 单片T形板梁的弯曲试验	31
B. 高强度粗螺纹钢钢筋混凝土实体梁试验	33
C. 预制T形梁的弯曲试验	34
3.1.4 实例的问题和说明	39
一、变形的测定方法	39
二、多点集中力的加载法	41
三、应变的测定	41
3.2 柱的试验	42
3.2.1 试验方法与问题	42
3.2.2 多次反复循环的试验方法	43
3.2.3 柱的试验实例	45
A. 粗钢筋的混凝土柱的实体试验	46
B. 受定向轴力的钢筋混凝土柱的水平破坏试验	46
C. 受定向轴力和反对称弯矩的钢构钢筋混凝土柱的试验	47
D. 受定向轴力和反对称弯矩的钢筋混凝土柱的试验	48
3.2.4 实例的问题及其解决方法	52
3.3 柱、梁接头部件的试验	54
3.3.1 试验方法和问题	54
一、X形试件的尺寸与应力的关系	56
二、X形试件变形引起的支座横移	58
三、结头面剪切变形的测定	59
3.3.2 柱、梁接头的试验实例	59
A. 钢构钢筋轻质混凝土柱、梁接头部件的试验 I	61
B. 钢构钢筋轻质混凝土柱、梁接头部件的试验 II	62
C. 钢筋混凝土柱、梁接头部件的试验	63
3.3.3 实例的问题及其解决方法	69
一、变形的测定方法	69
二、加载点和支承点的支承	73
3.4 框架试验	73
3.4.1 框架的试验方法和问题	73
3.4.2 框架试验中柱剪力测定	75
一、试验概况	75
二、框架应力分布的探讨	77
三、小结	81
3.4.3 框架结构的试验实例	82
A. 人工轻骨料钢构钢筋混凝土框架试验	82
B. 单层单跨框架的静载试验	83
C. 立体框架的静载和振动试验	87
D. 预制轻质混凝土高层壁式公寓住宅的实体试验	89
3.5 抗震壁的试验	101

木  
6  
1

3.5.1 试验的方法和问题	101
3.5.2 抗震壁的试验实例	103
A. 钢构钢筋混凝土高层建筑物的抗震壁试验	103
B. 采用焊接钢筋网的钢筋混凝土抗震壁的试验	109
C. 预应力抗震壁的剪断试验	111
4. 实体建筑物的破坏试验	114
4.1 试验方法和问题	114
4.2 实体建筑物破坏试验实例	116
A. 木结构房屋的静载和自由振动试验	116
B. 东京海上大厦旧楼的振动和破坏试验	120
C. 八户高等工程专科学校的振动和破坏试验	123
D. 神户市市立布引中学承载力试验	136
4.3 实例的问题和说明	136
一、日程计划和实施	139
二、框架水平荷载试验的方法	140
5. 结构设计和结构试验	143
5.1 按照结构设计进行结构试验的问题	143
5.1.1 结构试验的必要性	143
5.1.2 按结构设计作结构试验的趋向	144
5.1.3 试验设计中的问题	144
一、试验结构与结构物间的相关关系	144
二、应力状态的再现	144
三、加载、观测阶段的决定	146
5.2 试验成果对设计的作用	147
5.2.1 根据结构设计进行试验的试验成果	147
一、预制T形梁的弯曲试验	147
二、受定向轴力和反对称弯矩的钢构钢筋混凝土柱的试验	152
5.2.2 研究性试验的试验成果	157
一、钢筋混凝土柱的试验研究	157
二、八户高等工程专科学校的振动和破坏试验	161
三、由研究性试验得出的经验公式	165
附录 聚四氟乙烯支座的设计、试制及其性能	170
1. 概述	170
2. 滚轴支座的必要性	170
3. 滑动支座的制作	170
4. 聚四氟乙烯和耐摩材料	172
5. 支座的试制	172
6. 支座和球座的摩擦系数测定方法	176
7. 测定结果	177
8. 小结	178

# 1. 结构试验的意义

概略考察一下结构设计方法的基本设想的历史演变，在其最初阶段，只是凭经验，一边重复失败，一边进行设计。其后，随着以材料弹性为依据的材料力学和结构力学的发展，向计算理论应力和变形而进行设计方向变化、发展。可是近年来，在进行结构物的设计时，不但作理论的应力、变形等的计算，还对设计对象的结构物的构架、部件等实际大小的或模型的试件加载，对其强度和变形进行测定、研究。

当按结构分析很难明确掌握结构物的强度和刚度时，若进行结构试验，则其结果可对理论解的实证性予以确认。此外，虽可用结构分析说明弹性范围内的结构物性能，但对正要到达塑性的破坏的深入分析，往往也只有靠过去的结构试验资料或新的结构试验结果的方法。

如上所述，力学分析和试验研究表里相一致的结构物是既经济又安全的。如同结构力学的进步是产生新的结构型式的源泉那样，根据试验研究而得的有关构件特性等的正确资料，则有助于各种结构学的更好发展。

一般认为，最先合理地考虑结构设计的是伽利略 (Galileo)。他的梁强度理论由其后的胡克 (Hooke) 的材料弹性说明起，经贝努利 (Bernoulli)、欧拉 (Euler) 等逐渐进到构件变形问题，进到库伦 (Coulomb) 的中性轴假想 (1773)，打下了今天弹性理论材料力学的基础。

此后，1794年，世界上由一般人的入学试验选集优秀人才，施以工科的必要的一般教育的所谓创始者法国多科性工业大学开办了。有赖于该校的毕业生，作为基础的材料力学大有发展。纳维叶 (Navier) 论述了梁的变形，在简支梁之外也能解连续梁，可说是超静定结构分析的开端。

1864年，马克士韦尔 (Maxwell)、1874年莫尔 (Mohr) 发表了用虚功原理的超静定的一般解法，1875年发表了卡氏 (Castigliano) 定理，奠定了结构力学的形式。另一方面，随着材料强度试验的普及，钢结构和钢筋混凝土结构的逐渐实用，他们的方法就变得不适用于复杂结构物的应力分析，故试图发明更简单的分析方法。于是在1914年，威尔逊 (Wilson) 发表了偏角法，1932年，克劳斯 (Cross) 发表了固端弯矩法，此即今天这样的实用解法发达的端倪。

再从具有代表性的结构材料，即钢和混凝土的出现和发展来看钢结构、钢筋混凝土结构的历史。从1820年到1850年的铸铁和锻铁时代，钢结构主要用于柱；因其是螺栓联结，刚度不足，明显地表现出是砖石结构的辅助材料，不能建成五层以上的建筑结构。但铸铁可铸成任意形状，故多用它制作希腊、罗马风格的建筑的装饰柱。这时作为建筑材料的铁的特点，还未被充分领会。

1855年，贝塞麦 (Bessemer) 转炉钢和1880年的西门子-马丁 (Siemens-Martin) 平炉钢开始制造。欧洲制造的钢，首先在美国被采用于正式建筑结构。

由于贝塞麦转炉钢的使用和采用铆接合，高层建筑出现了。1881年发明了电弧焊接，1920年开始正式使用电弧熔接，从而出现有可能作成刚性接合的大胆的结构。



在钢筋混凝土方面，以混凝土包裹钢筋或用钢筋增强混凝土；所以在1850年，有兰博（Lambot）其人开始制成钢筋混凝土小船。此后，在1867年，蒙尼叶（Monier）在博览会展出钢筋混凝土构件。从此钢筋混凝土开始普及。到20世纪，这种钢筋混凝土就有了在一般结构物中使用的结构型式。

1887年发表了具有目前钢筋混凝土构件弯曲强度计算公式形式的威乙斯（Wayss）、柯恩宁（Koenen）理论（Monier体系），成为把钢筋混凝土结构在科学上推进进一步的原因。1906年，德国成立了钢筋混凝土委员会（Deutscher Ausschuss für Eisenbeton），进行了许多试验，逐渐地确立了钢筋混凝土理论；并于1916年发表了钢筋混凝土结构的标准规范和计算方法，成为世界各国的范例。1918年亚培兰姆（Abrams）发表了水灰比学说，这就为混凝土配制理论提供了科学依据。

在日本，在1903年建造了跨度约12米的米兰式钢筋混凝土桥，1905年在佐世保建造了两栋钢筋混凝土建筑物。

进入大正时代，对钢筋混凝土进行了研究。在大正初年，钢筋混凝土结构计算图表的发表，可说是钢筋混凝土结构的技术问题已大致完备，进入实用阶段。

1926年，设立了由建筑、土木两学会组成的“混凝土委员会”。1929年建筑学会、1931年土木学会分别发表了标准设计。1933年建筑学会发表了《钢筋混凝土结构设计规范》，也确定了钢筋混凝土结构工艺。

以上是钢结构和钢筋混凝土结构的出现和发展的概略过程。在此过程中，为了理论和设计方法的发展所作的许多试验研究，无可置疑地是其进步的基础。在许多地方进行了许多的结构构件试验，这些试验都成为结构设计方法发展的根据。

在日本也进行了许多钢构、钢构钢筋混凝土和钢筋混凝土的柱、梁、框架、接头、壁和板等的实际大小和缩小模型的试验和实体建筑物等许多的试验研究，为结构设计规范提供了基本资料。

日本建筑学会于1933年4月制定了《钢筋混凝土结构设计规范》。1937年12月，从对城市建筑法规中有关强度计算的条文的补充修订开始，以后逐次作了修订。结构标准委员会钢筋混凝土结构分会制订并于1947年11月发表的《钢筋混凝土结构设计标准》和此后1959、1963及1971年的各次修订，都是以到现在还在进行的试验研究为根据的。

但是，要达到合理设计的目的，考虑极限强度和极限变形等，仅按以前的规范，是难以确保结构的安全和经济的。这就要求进行新的理论探讨和试验研究。

如上所述，试看一下对理论和设计方法的发展起重要作用的结构试验，很多的研究单位、研究者，在不同的时期和场所，为着相同的目的，进行了试验研究，在论述其成果的时候，对其试验方法的研究也变得必要起来。

在建筑结构学领域中，不像医学、理学领域，对其发表的不同论文，即按其原来的试验方法去做，很少有所谓补试的习惯。只要论文发表，其结果就有被认可的倾向。所以，在发表的论文中很少详细叙述试验方法。

作为新理论的发展根据的试验研究，在不同处所进行时，试验机、试验装置和测量仪器等如不相同，即使是相同形式的试验结构，由于试验装置等的差异，也不能保证试验结果不会出现差异。根据著者的经验，由于加载装置的差别（试验机的性能、种类、加载点和支承点的支承等）所引起的次应力和由于测量装置不同而引起的测定数据的误差，都会使试验结果出现差异。当含有这类二次的影响时，所得的与试验目的不相符的结果，就不会是真实的

资料。

因此，由试验得到的定性和定量的结果不是在一朝一夕产生出来的，研究的积累如果能提供这种结果，解决结构的问题的话，即使是一个试验，努力获得以除去二次影响为目的的正确资料，不也是研究者的使命么？各个研究单位、研究者各有特点的态度是必须的，但是根据试验目的抱协同研究的态度，并尽可能地统一结构试验方法的形式，也是必要的吧！著者相信由此尽快解决结构设计的问题，是确立建筑结构学的一个途径。

## 2. 结构试验设计

### 2.1 试验设计概述

#### 2.1.1 试验设计

作结构试验设计时，必须先弄清试验目的。试件、加载设备、测定方法等不可各个单独设计，而应相互联系，使设计最后达到试验目的。譬如，为使试件反映预定的应力状态，对所设计的试件，有时会因加载设备条件而不得不改变其形状、尺寸、以及量测方法。因此，在作试验设计时，应对所有需要考虑的问题都加以分析。

结构试验中，在强度试验方面大致分为：

(1) 对根据研究参数组合探讨基本性质的基本试验，试件数目应该多些。

(2) 对由设计提出的，以探求资料，验证设计是否妥善，即确定其安全度等的试验，此时试件数目可以少些，有时只有一个。

对于基本试验，其试验设计可用图2-1所示的钢筋混凝土柱的剪切强度试验实例说明。

图2-1是试验设计框图，因是以剪切强度和破坏的研究为目的，所以主要考虑  $A$  中所列的各项主要参数，即剪跨比、主筋量、剪力钢筋、混凝土强度、轴力等对它的影响。试件数目根据  $A$  的主要参数组合而定。但加载方式、试件形状、试件尺寸都因加载设备、试验日程及经费等而受到限制。

试件的尺寸设计，即使无比例效应的实体大试件的试验设计，如加载设备能力和试验费用不允许，也不能实现。再者，如需探讨的参数组合数量多，使试件数目增加；而作小试件的试验设计，如试验日程得不到保证和经费不足，试验也难以实现。

如上所述，试验设计中，各种因素应综合考虑，不能只作单项设计。

图2-2所示为由结构设计提出的试验设计框图。设计方案中的有关问题，可根据目的，按图中所列的进程编制计划。

设计计划方案，柱、梁接头部的强度和刚度是一个问题。任何结构如能根据以前的资料进行研讨，则不搞试验也能设计施工，如果没有这种资料可以借鉴，就有必要进行结构试验。作试验设计时，即使已按照在试件中反映出设计方案中拟定的应力状态的原则来确定试件的形状、尺寸及数目，但所用加载设备能力不够作大型实体试验时，也应作缩小的模型试验。也可将原计划作的定向轴力下的十字形试件改成 X 形试件。试件的数目还应根据试验期中试验设备的使用期限和试验人员能否有保证以及预算费用多少等而变动。

由设计方案提出的试验设计，从设计到试验实施的时间不充裕，则往往使制作、准备工作匆促。研究的成果不充分，结构设计资料不足，施工单位又要急切开工时，必须在从设计到开工这一段很短时间内进行模型试验或部件的结构试验和结构分析，要对整个结构进行系统的分析是比较困难的。

在这种结构试验设计中，不能按实际设计所用材料的准备来考虑日程安排，应根据试验所选用的材料性能考虑。混凝土强度由于日程关系，即使可用早强水泥等，但与设计强度不

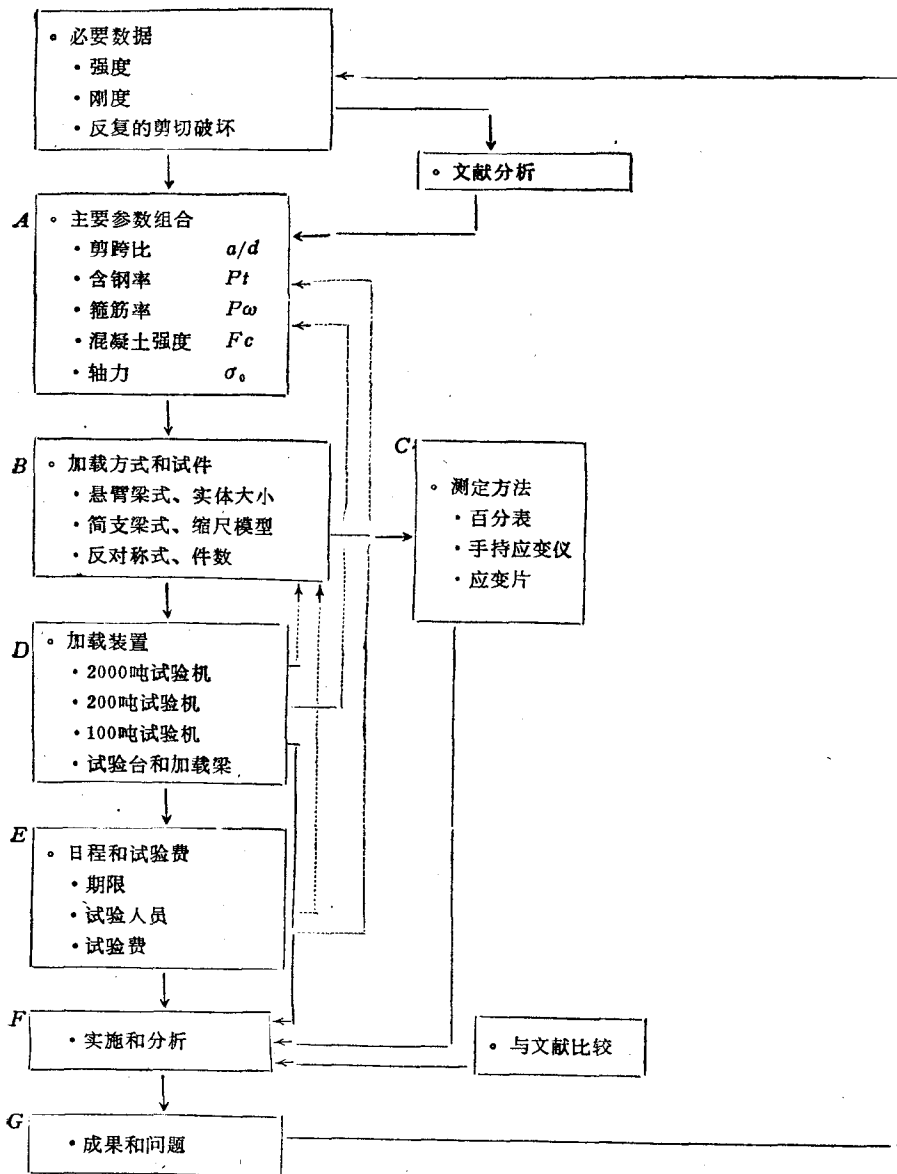


图2-1 基本研究的试验设计（以钢筋混凝土柱剪切强度试验为例）

相同。因此，在作试验设计时，必须对此作充分的考虑，以保证不至失却设计与结构试验的关联性。

由于科学技术的进步，出现了许多新的机器和设备，同时，也使量测范围扩大。对这些量测器具方面的知识不足和微小疏忽，会导致意想不到的结果。尤其是仪器装置的精度日益提高，引起这个问题的可能性更大。

在作试验仪器和设备计划时，应对其性能进行分析，并充分掌握其各自的特性。对此不了解、纯出于好奇心而使用新型仪器设备，其实测结果并无意义，甚至反常将仪器弄坏。所以，为明确了解仪器的使用方法，试验人员应该认真学习其有关原理和理论的资料，预先努力掌握这方面的知识。考虑在测定中器具自身有误差，由试验人员量测时，即使采用性能

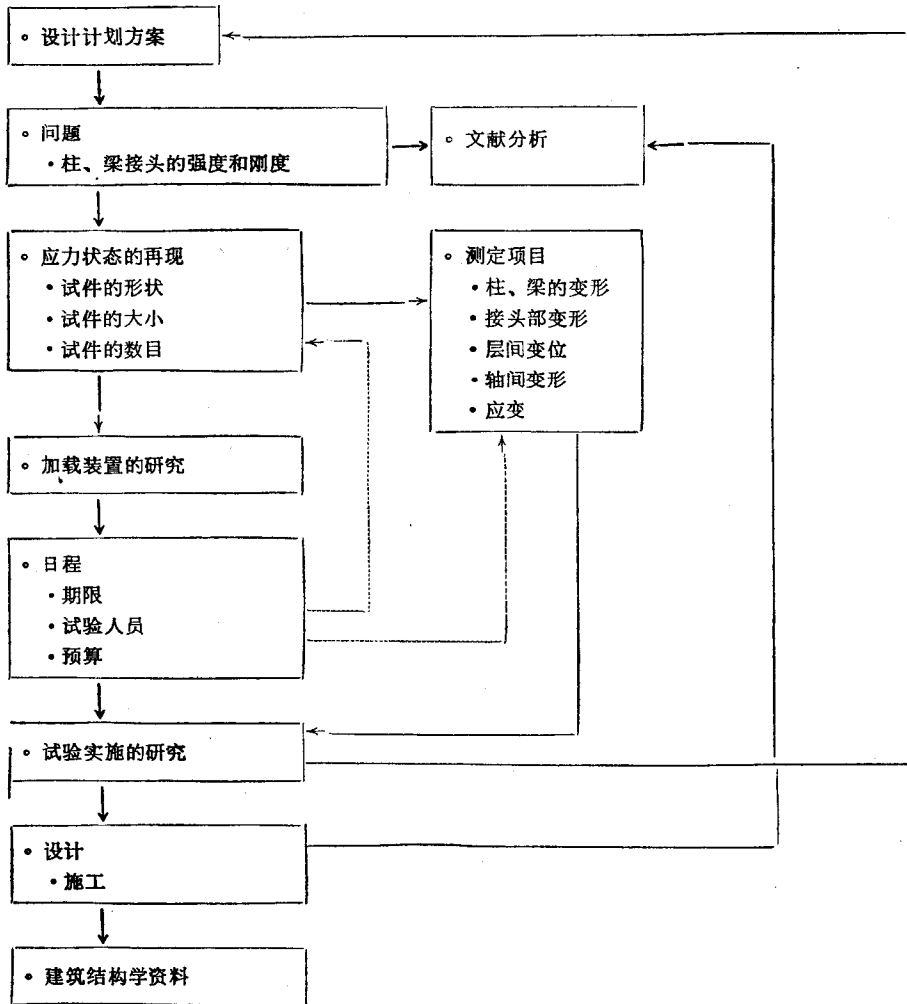


图2-2 设计计划提出的试验设计（以柱、梁接头为例）

好、精度高的仪器，并不一定能达到较高的可靠性和精确度。试验设备也好，仪器也好，都应选择适应试验目的者加以使用。

试验应遵照《日本工业标准》规定的试验方法来进行，切切注意不得自行变更。对于《日本工业标准》中未作规定的结构试验部分，可以充分领会试验的目的、研究设计阶段的文献而进行。试验方法也应根据设计拟定的项目考虑，以使其相互适应。书面上的设计和计划付诸实施往往会遇到障碍，这时必须及时根据情况作出新的试验设计和提出新的试验方法。为此，必须花费一些时间对试验设计反复分析、讨论，使其尽量完善。

### 2.1.2 试验误差

试验总伴有误差，误差分为系统误差和偶然误差。前者包含着理论的和器械的误差。理论误差为理论假定和近似计算所引起的误差；器械误差为制作方法所引起的误差，包含着试验方法和量测仪器本身的误差。偶然误差则是由于材料的离散、观测和处理的错误所引起的误差。

结构试验中的分析，就是对试件尺寸和钢构、钢筋、混凝土等材料性质的测定，并进行理论研究。在此情况下，对于钢筋混凝土的结构试验，其实测值与理论值之间的差异，考虑有如下所述的一些原因：

与试件制作有关的原因：

(1) 试件断面尺寸的误差

钢筋混凝土试件在混凝土灌制时断面尺寸与设计尺寸相比，往往有误差。

(2) 断面内钢筋位置的误差

由于箍筋的制作误差，使断面内主筋实际位置与设计位置有误差。

(3) 混凝土试块强度的误差

要充分考虑到一般混凝土的强度是根据三个试块的平均值确定，而实际试件的混凝土强度有所不同。

(4) 钢筋强度的误差

钢筋拉伸试验结果本身就有波动，其平均值与实际强度有差异。

试验方法引起的误差则有：

(5) 支点摩擦力的影响

因加载点和支承点摩擦作用引起的次应力（应力集中）的影响。

(6) 试验中的跨径、偏心距的误差

跨径和偏心距等的误差都会引起试件应力变化。

(7) 试验机荷载指示值的误差

钢筋拉伸试验、混凝土压缩试验及试件的加载等在不同的试验机上进行时，由于试验机各自的校正情况并不相同，也会引起误差。

在理论分析中的误差：

(8) 假定误差

各种理论算式的假定条件的误差。

(9) 计算误差

使用各种计算图表的误差。

还要考虑到在测定中有仪器的误差、测定的误差，以及应变计的稳定性不够引起测定值飘移所造成的误差。在整理这些测定数据时，也有可能发生计算器具的误差和计算错误。以上种种都是引起实测值与计算值有差异的原因。

### 2.1.3 材料试验结果对计算值的影响

在作试件的强度和刚度的理论计算时，其参数往往采用由钢构、钢筋和混凝土等各种材料分别制成的试件的材料试验结果的平均值。但由于混凝土强度的不均匀性等原因，使此值多有波动。因此，用具有波动的材料试验测定值的平均值作试验的理论值计算时，其结果也就有波动的问题。

图2-3中示出了最近作的混凝土弹性模量 ( $E_c$ ) 和强度 ( $c\sigma_B$ ) 及钢筋屈服强度 ( $s\sigma_y$ ) 等的平均值的波动曲线。横坐标轴为三个试件的平均值，即所取用的材料强度数值。

由图看出，混凝土弹性模量 ( $E_c$ ) 可定为在试件测定值的平均值的10%以内波动，混凝土强度 ( $c\sigma_B$ ) 也大致在10%的范围内变动，但其中也有在15~20%者。而钢筋的波动较小，所示波动值为5~10%。

混凝土由于材质不匀、材料性能在其平均值上下波动，其测定值也必然会有一定的波动。尤其当出现有顶板不良和试验方法不妥时，测定值更有大的波动。因此，混凝土强度除

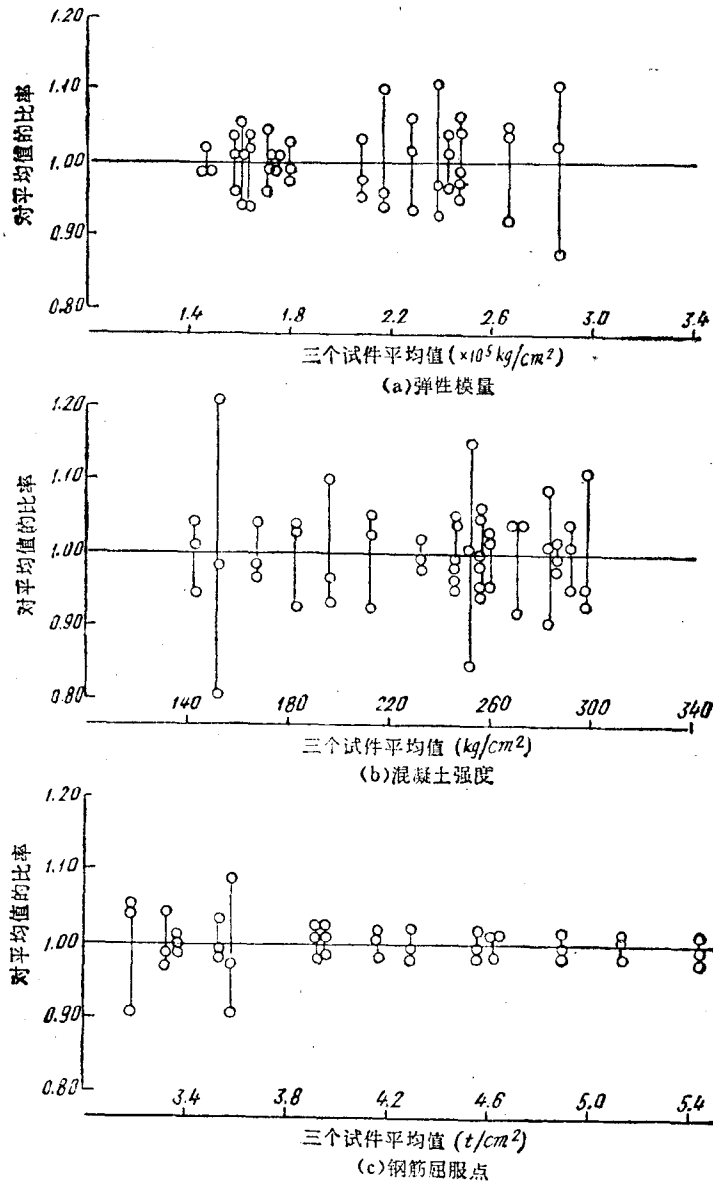


图2-3 材料强度的波动

了求平均值的误差外，其平均值也因其形状、尺寸、养护条件等的不同而异，所以可充分认为，平均值和实际混凝土强度并不一样。

正是由于材料测定值具有波动，故在按其平均值确定其材料性能并作理论计算时，会发生想不到的误差。图2-3还示出了测定值的波动给予理论值的影响。

一般地，变形  $\delta = \alpha \frac{Pl^3}{E_c I}$ ，应力  $\sigma = E_c \cdot \epsilon$ ，因此，弹性模量  $E_c$  的误差对试件的刚度、应力的影响是以线性关系表现。混凝土强度的误差对部件受压破坏时的部件材料强度影响较大。而钢筋强度的误差对受拉破坏时的材料强度影响较大。

按图2-3所求得的材料性质的  $E_c$ 、 $\sigma_B$ 、 $\sigma_y$  等的标准差分别为0.051、0.063、0.039。这个标准差仅是材料性质的波动。表2-1 示出按梅村  $\sigma$  系数法所求得的  $b \times D = 20$  厘米  $\times$  20 厘米、受拉钢筋配筋率  $P_t = 0.534\%$  的钢筋混凝土柱试件在挠曲理论计算中材质的标准差值的变动情况。

材料强度差引起的计算值的比

表2-1

$\sigma_{cB}$	$\sigma_{sY}$	$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 20$	$\sigma_0 = 40$	$\sigma_0 = 100$	$\sigma_0 = 160$
357	4040	1.055	1.034	1.040	1.033	1.062
357	3890	1.002	1.013	1.025	1.037	1.050
357	3740	0.964	0.985	0.990	1.001	1.038
336	4040	1.033	1.024	1.014	1.003	1.012
336	3890	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
336	3740	0.962	0.968	0.985	0.992	0.988
315	4040	1.034	1.020	1.014	1.023	0.957
315	3890	0.998	0.991	0.995	0.992	0.945
315	3740	0.960	0.961	0.970	0.996	0.932

(1) 试件

主筋3-D10(上、下)  $b \times D = 20$  厘米  $\times$  20 厘米  $d_{c1} = 0.1$

(2) 材料强度的波动值

i)  $\sigma_{cB} = 357$ 、336、315 公斤/厘米<sup>2</sup>

ii)  $\sigma_{sY} = 4040$ 、3890、3740 公斤/厘米<sup>2</sup>

(3) 轴力的组合

$\sigma_0 = 0$ 、20、40、100、160 公斤/厘米<sup>2</sup>

混凝土材料强度用平均值 ( $\sigma_B = 336$  公斤/厘米<sup>2</sup>)  $\pm 6.3\%$ ，钢筋则为平均值 (3890 公斤/厘米<sup>2</sup>)  $\pm 3.9$ ，表2-1中还列出了将平均值的组合作为1时，在各种情况下材料强度与其平均值的比值。在忽略测量和制造误差的情况下，采用这种材料作成的试件的试验值有可能为采用了材料试验平均值的计算值的0.93~1.06倍。

在实际试验结构中，除此之外，由于灌注方法、养护条件和形状等原因，其强度与试件强度是否相同也是一个问题。因此，就是考虑试验应力状态进行理论计算，结果也不一致，也许就是这个原因。

如上所述，材料的波动、材料试验法引起的性质波动、试验结构的差异等等都经常可能引起试验值与计算值的误差，但应尽力消除这些误差。

要准确地进行试验结构的制造，利用校正等方法防止量测仪器的误差。对于试验方法中的误差则用妥善考虑的计划来消除。由于一般试验人员不注意而引起的偶然误差，只要熟练技术和多加注意，就可一定程度上予以消除。材料强度值的波动是一个不好的因素，也是试验过程中非常麻烦的事，今后应对此作专题研讨。

## 2.2 试验结构设计

作结构强度和变形检验时，试验结构可取为实体结构整体或其一部分，也可用其缩尺模型。

用缩尺模型作试验结构试验时，应考虑试验模型与试验结构间力学性能的相关关系，希望在弹塑区域不存在缩尺效应的实物进行试验研究。如能用实体结构进行结构试验，可以得到反映实体性状的试验结果。



但是，由于实体结构的试验规模大，试验设备的容量和费用也大，所以多半还是应该采用缩尺模型试验。

图 2-4 所示为东京大学工学院大型结构试验室 1963 年到 1970 年间梅村研究室所作的有关试验设计的情况。

从图中可看出：整体结构较少，大多数是部分的试验，特别多是关于接头的。这里不仅包含着强度问题，还涉及其恢复性能的问题。试验结构的大小，超过实体的  $\frac{1}{2}$  的，大致叫做实大，实体的  $\frac{2}{3}$  也叫实

大；也有实体的  $\frac{1}{2}$  以下及  $\frac{1}{3}$

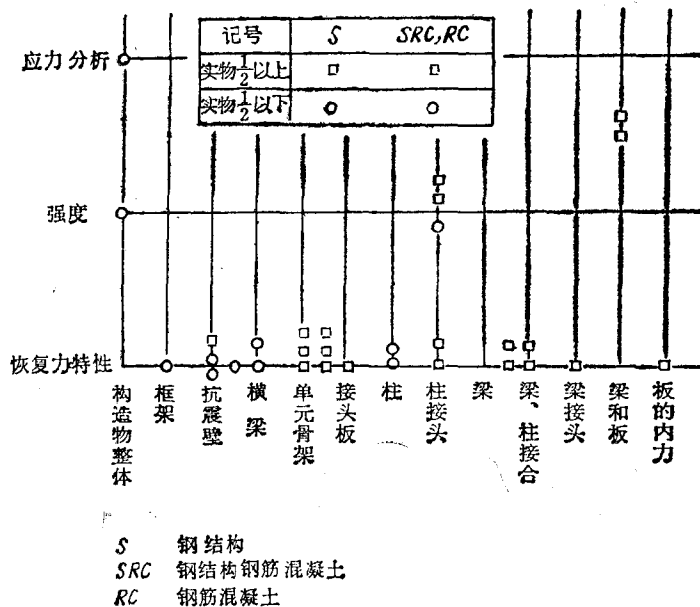


图 2-4 结构试验种类

左右的模型。这些主要是受试验设备的限制而缩小尺寸，多是框架、横梁和耐震壁等。

### 2.2.1 模型律

根据缩尺模型试验的结果，认为论述实物的性状时，存在着一个模型律问题。对于与实体结构的材料相同，即强度和弹性模量相同，仅尺寸缩小的模型，在弹性范围内作静力强度和变形分析的问题是比较简单的。

若实体结构尺寸为  $l$ 、模型的尺寸为  $l_m$ 、其缩比为  $S = l/l_m$ ，则模型尺寸的关系为实物的  $1/S$ ，断面积等等的面积关系均为  $1/S^2$ ，自重为  $1/S^3$ 。而含筋率等无量纲的量不会变化。

在模型的荷载方面，对于由自重产生的荷载和外力等，其相似数为  $1/S^3$ ；而对于加有外荷载的静载试验，施加的单位面积匀布力的相似数为  $1/S^2$ ，轴力和剪力为  $1/S^2$ ，弯矩为  $1/S^3$ 。

此种情况下，模型的应力与实体结构的相等，即：

$$\text{轴向应力} \quad \sigma_m = \frac{N_m}{A_m} = \frac{N}{S^2} \cdot \frac{S^2}{A} = \sigma$$

$$\text{剪应力} \quad \tau_m = K \frac{Q_m}{A_m} = K \frac{Q}{S^2} \cdot \frac{S^2}{A} = \tau$$

$$\text{弯曲应力} \quad \sigma_m = \frac{M_m}{Z_m} = \frac{M}{S^3} \cdot \frac{S^3}{Z} = \sigma$$

外力引起模型的挠度为实体结构的  $1/S$ ，即

$$\delta_{m外} = a \frac{w_m l_m^3}{EI_m} = a \frac{w}{S^2} \cdot \frac{l^3}{S^3} \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{S^4}{I} = \frac{\delta_{外}}{S}$$

以上是外力和强度、变形之间成立的关系。通常情况下，如果只考虑这种关系是可以