

建筑物的损伤诊断与对策

王济川 王 洁 编著
王英贤 主审

中南工业大学出版社

建筑物的损伤诊断与对策

王济川 王 洁 编著
王英贤 主审

中南工业大学出版社

内容简介

建筑物的损伤诊断与对策，目的在于通过检测、调查、统计和科学分析找出损伤的规律，用以鉴定房屋结构的可靠性，评估其继续使用的寿命。

书中对地基和基础损伤、结构裂缝和变形、材料老化对建筑物的影响、钢筋混凝土结构的损伤、防止对策、结构补强、修补、结构试验检测方法和原理等均作了介绍，同时还对突发性灾害的种类和机理作了扼要的归纳和说明。该书对从事设计、施工、科研、教学、管理、使用、检测鉴定人员都有较高的参考价值。

前 言

建筑物的损伤诊断与对策，目的在于通过检测手段、调查统计和科学分析，找出损伤的规律，用以鉴定房屋结构的可靠性，评估其继续使用的寿命。

近几年来，已有建筑物的可靠性鉴定（或结构抗力鉴定）工作越来越多，也由于鉴定的对象和鉴定的目的多种多样，故情况非常复杂。

1965年以来，我国各地发生几次大地震的教训，使建筑工程界认识到，对于已有建筑物的抗震性能和要求，应该重新认识和评价。

40年代的建筑物已老化，但为数不多；50年代的建筑物，因为当时的设计人员是边学习边设计，没有掌握住先进的生产和施工技术；60年代后又受各种干扰，因此建筑物存在的隐患和缺陷较多。另外，这些建筑物在材料方面，至今已明显陈旧和老化了，特别是工业建筑物中，这一问题更为突出。

1980年以后，我国已进入了一个全面改革开放和经济大发展时期。在这一高速发展中，节省能源、节省资源、节省资金又是一突出问题。

现在对已经陈旧老化的建筑物和构筑物该采取什么样的对策，如何合理和科学地利用这些建筑物，特别是涉及国计民生的重要性建筑物的充分利用问题，应该提到议事日程上来。

当今世界上经济发达国家的工程建设，从宏观统计和分

析，大体上经历了三个阶段。第一个阶段是大规模新建；第二阶段是新建与维修改造并重；第三阶段，除部分新建外，重点转向旧建筑物维修、改造，并使其进一步现代化。70~80年代，世界各国开始重视发挥建筑物维修改造业在建设中的重要作用。我国正处于这样一个转变中，特别是工业建筑中的冶金建筑行业最先察觉到这种需要，做了大量工作，取得了极好的经济效益。

由于建筑物的种类繁多，鉴定的动机和目的又各有不同，一般需要鉴定的主要原因有如下方面：

(1) 建筑结构材料老化，其物理力学性能和结构使用功能，均无法达到实际使用要求；

(2) 按照新的结构抗震标准，需要重新做结构的抗震性能鉴定和结构处理；

(3) 在特殊环境下，如有害气体作用、高压作用、杂散电流作用下所产生的严重损伤；

(4) 楼板、梁柱、墙体等结构构件产生的异常变形或裂缝等；

(5) 地基的不均匀沉降，致使主体结构产生裂缝等；

(6) 遭受火灾后的建筑物，其损伤程度的鉴定和加固对策建议，以及为国家保险公司提供有关技术资料；

(7) 由于生产工艺改革或变更，使用条件发生了变化而需要重新鉴定；

(8) 建筑物受地震、台风、爆炸等突发性的外加荷载作用而造成的损坏程度、范围及残余抗力的鉴定等。

如上所述，要求鉴定的动机和目的是各种各样的。然而，当研究建筑物的抗震性能时，或者鉴定因正常使用而老化损伤

目 录

第 1 章 地基和基础的损伤	(1)
1.1 地基的不均匀沉降	(1)
1.2 负摩擦力的作用	(13)
1.3 地基土膨胀	(16)
1.4 腐蚀引起地下金属埋设物的损伤	(31)
第 2 章 建筑物的结构裂缝和变形	(38)
2.1 墙体	(39)
2.2 钢筋混凝土梁和柱	(54)
2.3 钢筋混凝土楼板	(65)
第 3 章 材料老化对建筑物的影响	(79)
3.1 混凝土的老化	(80)
3.2 钢材的腐蚀	(81)
3.3 建筑物在特殊环境下的损伤	(91)
第 4 章 钢筋混凝土结构损伤	(111)
4.1 碳化使钢筋混凝土结构质量下降	(112)
4.2 盐与锈蚀作用	(120)
4.3 环境条件对混凝土质量的影响	(125)
第 5 章 防止建筑物质量缺陷的对策	(148)
5.1 建筑结构的耐久性	(149)
5.2 钢筋混凝土建筑物的质量下降 现象和原因	(151)
5.3 有关钢筋混凝土建筑物和构筑物 的耐久性规定	(154)

5.4 保证建筑物或构筑物耐久性的设计措施..... (163)

5.5 保证建筑物或构筑物耐久性的施工措施..... (172)

第 6 章 建筑物的补强和修补 (183)

6.1 提高结构抗力和延性为目的
 的加固补强方法 (184)

6.2 为满足结构使用功能要求的修补方法..... (212)

第 7 章 已建结构的试验检测原理与方法 (215)

7.1 结构试验检测方法的选用..... (216)

7.2 已建结构试验检测的原理和方法..... (219)

第 8 章 突发性灾害的种类和机理 (256)

8.1 风灾和水灾..... (258)

8.2 地震灾害..... (276)

8.3 火灾..... (284)

参考文献 (299)

第 1 章 地基和基础的损伤

地基和基础的损伤主要有以下原因：

- (1) 地基的不均匀沉降；
- (2) 负摩擦力作用；
- (3) 地基土膨胀；
- (4) 地下钢筋混凝土基础中的钢筋锈蚀引发的基础结构损伤或破坏；
- (5) 因低温反复而产生的地基土冻结作用。

1.1 地基的不均匀沉降

建筑物因地基不均匀沉降而出现的结构裂缝，一直是十分引人注意的问题。尤其是建筑在软土地基上的建筑物，虽经长期使用，地基的不均匀沉降有可能仍在继续，致使建筑物的工作状态不断恶化，甚至引起严重事故。地基不均匀沉降的原因较为复杂，既涉及到地基本身性质，也涉及到上部结构的质量分布和刚度分布，同时还有周围环境条件的影响，因此必须综合考虑。

1.1.1 地基不均匀沉降的原因

1. 地基

- (1) 支承地基软弱

建筑物的重量一般是均匀分布的，但其对地基的作用力却集中在建筑物的中央处。这样建筑物中央处下方的地基所受压强较大，相对来说其他部分所受压强较小，因而可导致地基的不均匀沉降。由于建筑物重量使地基沉降的沉降量，一般用压密沉降、瞬时沉降和徐变压密沉降之和来确定。压密沉降主要指地基粘土所含水份在建筑物重量作用下不断排出，从而引起地基体积收缩产生沉降。地基的大部分沉降由此产生。瞬时沉降是指地基在非排水状态下且地基的体积未改变时，因地基形状发生改变所引起的沉降。实测证明，瞬时沉降的沉降量较压密沉降小，一般只有压密沉降的 15% 左右。徐变压密沉降是因地基的粘土粒子之间发生流变变位而产生的沉降。一般情况下，这种沉降量的量值更小。当支承地层软弱时，地基的沉降量大且不均匀现象明显，而且随时间的延长而发展，最终导致建筑物的损伤或破坏。

(2) 地基不均匀

地基各部分的软土层厚度不均匀，或建筑物跨建在不同类型的地基上，例如建在未固结和已固结地基上的建筑物，或建在松砂层和砂砾层地基上的建筑物，在建筑物的重量作用下，各部分地基的变形性能不同，从而造成不均匀沉降。

(3) 地基状况改变

地下水位下降将引起较大区域的地基状况发生改变。在地下水过量开采区内，常常出现大批房屋开裂的现象。如某城市因地下水开采过量，一些沉降早已稳定的已有建筑物，又突然大幅度沉降。相反，地下水位上升会出现建筑物上抬现象。地下水位变化造成的问题的特点是影响面积大，往往是几十幢或上百幢建筑物同时出现问题，或者倾斜一致，或开裂情况基本一

致。在某些工业区，也有因局部开采地下水过量而造成所谓局部漏斗状缺水區，周围建筑物会发生向漏斗中心倾斜的现象。

与地下水开采过量相似的还有地下采掘区，特别是已采空后的塌陷区都会对支承地基造成影响。

(4) 地基侧移

当建筑物附近有深挖基础的工程，或建筑物靠近江、河、湖、海的岸边时，在建筑物重量作用下，不但地基会发生沉降，而且地基的粘土层还会出现向某一方向滑动的现象。此种滑动是一个缓慢持续的过程，年代越久越明显，其结果是导致地基倾斜。若建筑物的地基接近倾斜地带和崖地地带，则地基也会向倾斜地带或崖地地带滑动。

在防波堤附近建筑工厂的沉降观测实例，见图 1-1 所示。该建筑物建成 20 年后，底层沉降已达 70cm，排架系统变形，同时造成钢桁架压杆屈曲，为此工厂设施和房屋结构年年需要修补加固。多次研讨和分析认为，此种沉降的原因是因为实际沉降大大超过了计算上的压密沉降量，而建筑物的地下粘土层在建筑物压力作用下还向海岸方向位移。类似这种粘土层的水平位移，有时也出现在与已建建筑物相邻近的有深挖基础的工程中。

(5) 地基的干燥、收缩

设有较大热源的建筑物，例如锅炉房等，则会有持续的热量传导到建筑物的某部分地基上，使这部分地基粘土层水份大量蒸发，体积收缩较其他部分大，从而发生较大沉降。

2. 基础结构和上部结构

建筑物在建成以后，在使用阶段，由于生产和生活活动变化，使用功能的扩充、变更，以及使用中的失误等因素都会使

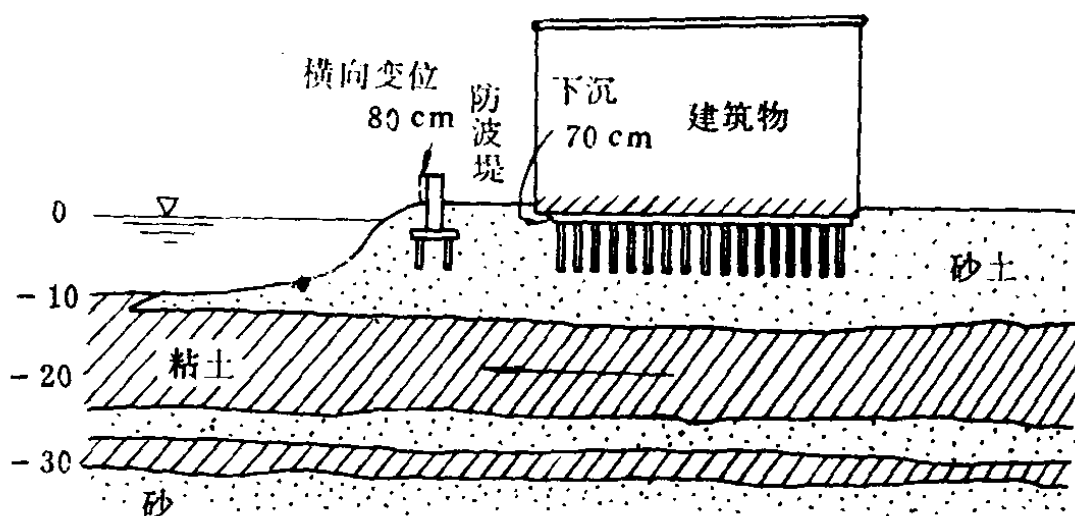


图 1-1 建设在防波堤附近工厂的沉降

得上部作用发生变化，当上部作用变化大、时间长时，地基和基础就会有所反应。

(1) 采用了不同的基础结构，如建筑物的一部分由支承桩支承，另一部分则由被加固的地基支承。因采用了不同种类的基础结构，则基础结构的沉降情况不一样，必将引起整体结构不均匀沉降。

这种情况也会产生在建筑物各部分重量显著不同或不同工期内进行改造、扩建的工程中。

(2) 基础结构各部分差异较大，建筑物中使用同一种基础结构形式，但是如果基础的底面积、桩的长度、桩的间距、基础埋置深度等各部分显著不同时，也会产生不均匀沉降。

(3) 大面积堆载作用，如工业厂房靠近桩根处堆放大量钢材，将出现厂房柱向堆放重物侧倾斜的现象，造成吊车卡轨、无法正常运行。在设备更新、重大设备增多时，地面作用增大，也会造成局部不均匀沉降。

(4) 建筑物改造、扩建或改建中，由于上部荷载的增加，至使局部增加了基础荷载。也可能因使用要求，作局部拆除，减小了基础荷载。随着这些荷载条件的变动也会产生不均匀沉降。

3. 人为地改变房屋结构周围的建筑情况

(1) 建筑工程施工时，若在已有建筑物附近开挖基坑，采用排水方法处理地下水时，会使局部地下水位下降。在地下水位下降的部分，地基失去了水的浮力，使土的有效重量增加，从而使地基形成不均匀沉降。另外，由于排水引起了地下水位的下降，使已有建筑物的木桩、钢桩等基础一时暴露于大气条件下，会很快造成桩头或桩在地下水位的临界处受到腐蚀，造成基础功能被损坏而产生沉降。

(2) 在已有建筑物附近，建造新的建筑物时，因地基应力互相重叠，使地基荷载加大，故此会经常发生新建建筑物地基和基础的倾斜现象。其倾斜的程度和可能造成的损伤随着基础结构与荷载承压面积不同而异。

(3) 因交通车辆荷载或工厂内机械动力设备的振动，有如汽锤等，也可以使建筑物产生不均匀的沉降。特别是砂质土地基或地基易液化的情况下，这一现象会显得比较突出。

1.1.2 不均匀沉降对建筑物的损伤

如图 1-2 所示的正方形混凝土墙板，图 1-2 (a) 左端产生不均匀沉降，则在图 1-2 (b) 所示的方向上产生拉应力和压应力。结果是在抗拉应力的方向上发生裂缝，即不均匀沉降产生的裂缝。其特点是从沉降少的部分向沉降大的部分发展，方向是倾斜的，如图 1-2 (c) 所示。由于局部沉降，出现

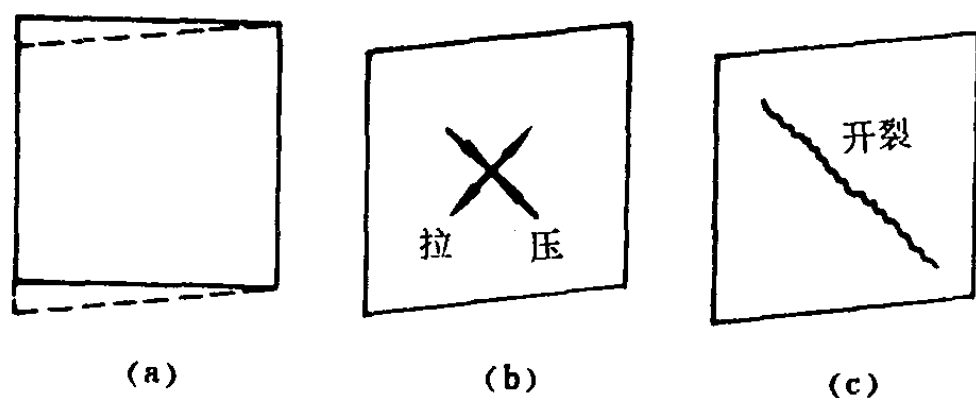


图 1-2 不均匀沉降产生的裂缝

了相对位移，使局部结构失去了支承，其重量只能由板自身材料承担，使得混凝土墙板上产生了附加拉力和剪力。当这种拉力和剪力超过了混凝土墙板的承载能力后，便出现裂缝。

不均匀沉降而产生的裂缝，在实际建筑物上如图 1-3 (a) 所示。不均匀沉降发生在建筑物的中央，呈弯曲形状，裂缝成八字型，产生在建筑物的两端处。而开裂发生的部位，不论在房屋的上层或下层皆有，即各层都有反应。除八字形的裂缝外，还在建筑物的中下部分，因拉应力的作用，产生

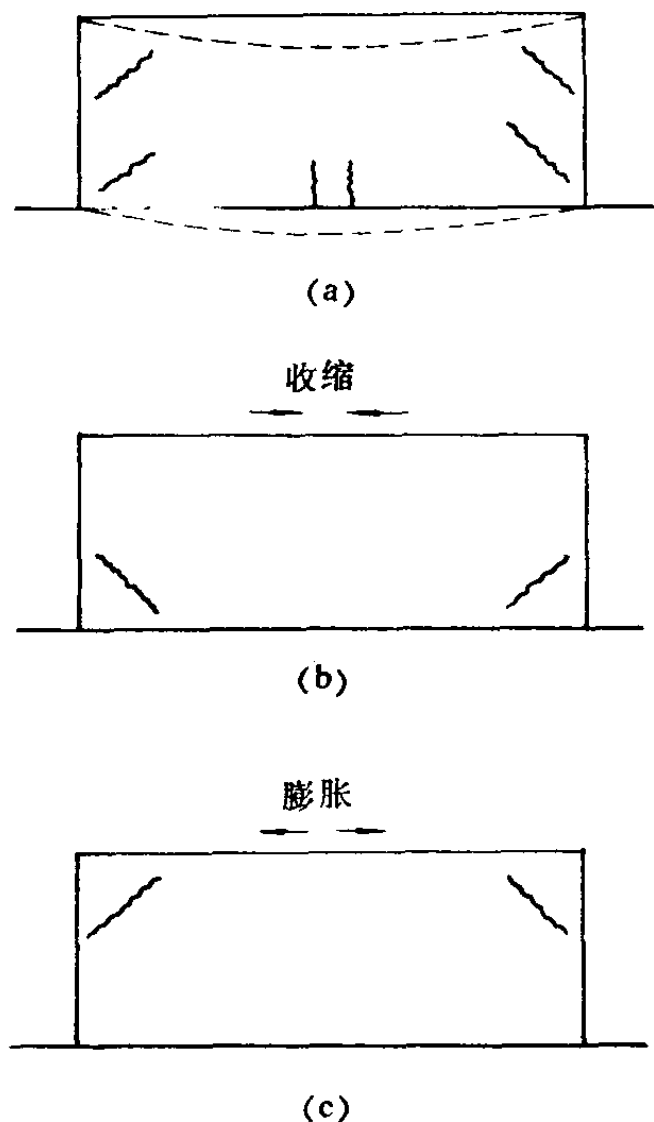


图 1-3 裂缝的形式

一些垂直裂缝。

上述不均匀沉降裂缝，在实际工程中的表现形式，一般还与结构材料的收缩（见图 1-3（b）所示），温度应力（见图 1-3（c）所示）等原因所产生的裂缝相混合存在。所以，对于不均匀沉降产生的裂缝，要想准确的判断，必须要进行充分地调查，并还应具有一定的实践经验积累，分清主导因素和影响因素，以便采取相应的对策。

由于不均匀沉降，使建筑物发生损伤事故，一般在较厚软弱层上发生的损伤事故并不多，若是建筑物的整体刚度大时，往往仅发生单向倾斜。在较薄的软弱层上或在硬质地基上，也确有因不均匀沉降而发生事故的。

下面例举几项不均匀沉降事故实例。

图 1-4 所示是某建筑物因下部地基土层软弱而发生的结构损伤事故。该楼为混合结构，砖墙体发生多条斜裂缝。实测，地基沉降中部最大处为 110mm，一端为 60mm，另一端接近于零，地中应力分布状态与不均匀变形反应相对应。

图 1-5 所示是三栋并列的钢筋混凝土公寓楼，各栋都显示出其自身中央部分沉降较大。再对三栋建筑物总体沉降观测，发现中间一栋的中央部分沉降最大。这是因为相邻建筑物基底荷载作用的影响，中间一栋处于两侧地基应力叠加作用位置，使其所受应力最大。

1.1.3 不均匀沉降的预防与处理

产生不均匀沉降的根本原因是设计时对地基情况调查不全面，导致选择基础结构时资料不充分。因此预防不均匀沉降的措施主要应在建筑物的规划、设计阶段实施。首先，支撑建筑

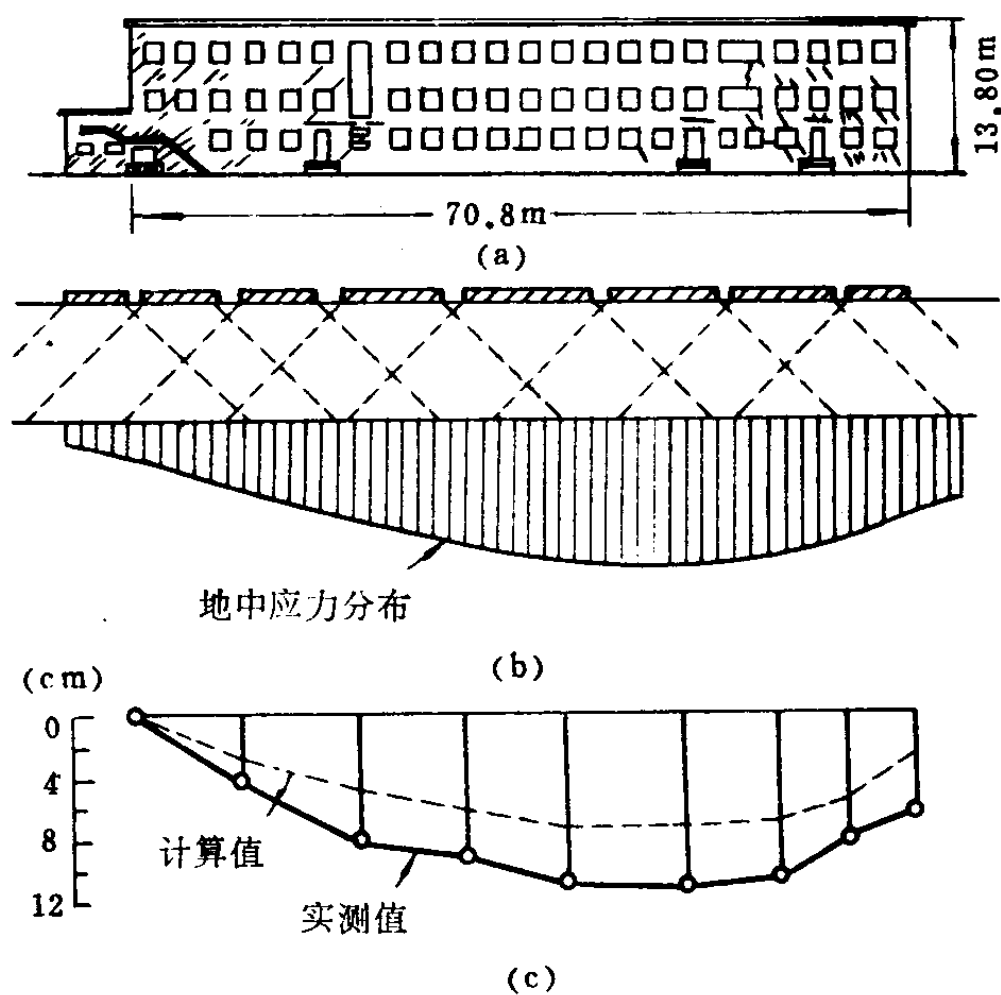


图 1-4 校舍楼房的不均匀沉降

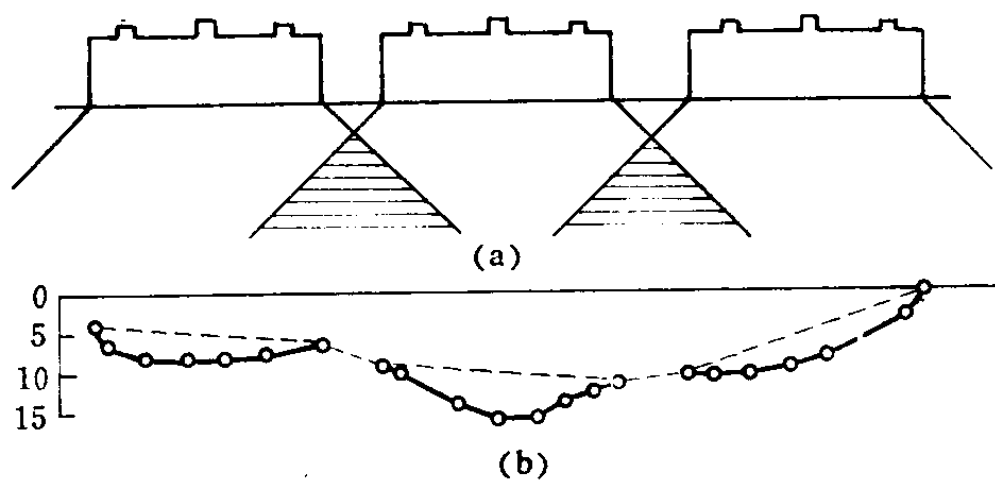


图 1-5 公寓的不均匀沉降

物的地基应选择坚硬的持力层，并通过桩、桩墩等把上部结构的荷载传到地基上。设有地下室时，应使建筑物的重量与所挖出土的重量保持平衡，从而使地基中应力增加变得最小。设计时，应使建筑物轻型化；注意建筑物的重量分配；设置伸缩缝，使建筑物分段；提高建筑物的刚度；设置地下室；缩短建筑物的长度；加大相邻建筑物之间的距离等。采取上述措施时，还应充分注意上部结构的荷载条件和粘土层沉降量分布形式，必须与其原来的粘土层应力分布形式相似。

当不均匀沉降已发生并可能导致危害时，首先要查明引起不均匀沉降的原因，可从三方面进行分析：

- (1) 地基的性质和现状；
- (2) 建筑物的基础结构；
- (3) 建筑物的上部结构。

其中，(1) 是其他调查的基础，其调查内容包括地基的组成，土壤的物理性质，土壤的力学性能，地下水的性质和变化情况，建筑物周围的地基情况等等。建筑物的基础结构的调查内容包括基础结构的种类、形状、施工情况等。建筑物的上部结构的调查包括测定房屋结构的反应，裂缝的发生和发展情况，长期使用过程中的变化情况和沉降量等。此外，还应查阅有关的历史资料，全面掌握情况。如其结构型式是钢筋混凝土结构或砖石结构，结构与功能方面所允许的沉降量大约为 5~10mm。

日本鹿岛建设技术研究所曾对钢筋混凝土结构物最大沉降量与其上部结构事故的关系，作过一个统计归纳，如图 1-6 所示。在这些资料中所说的结构事故是指柱子、抗震墙体等结构构件，因发生地基不均匀沉降而产生裂缝的现象。所说的

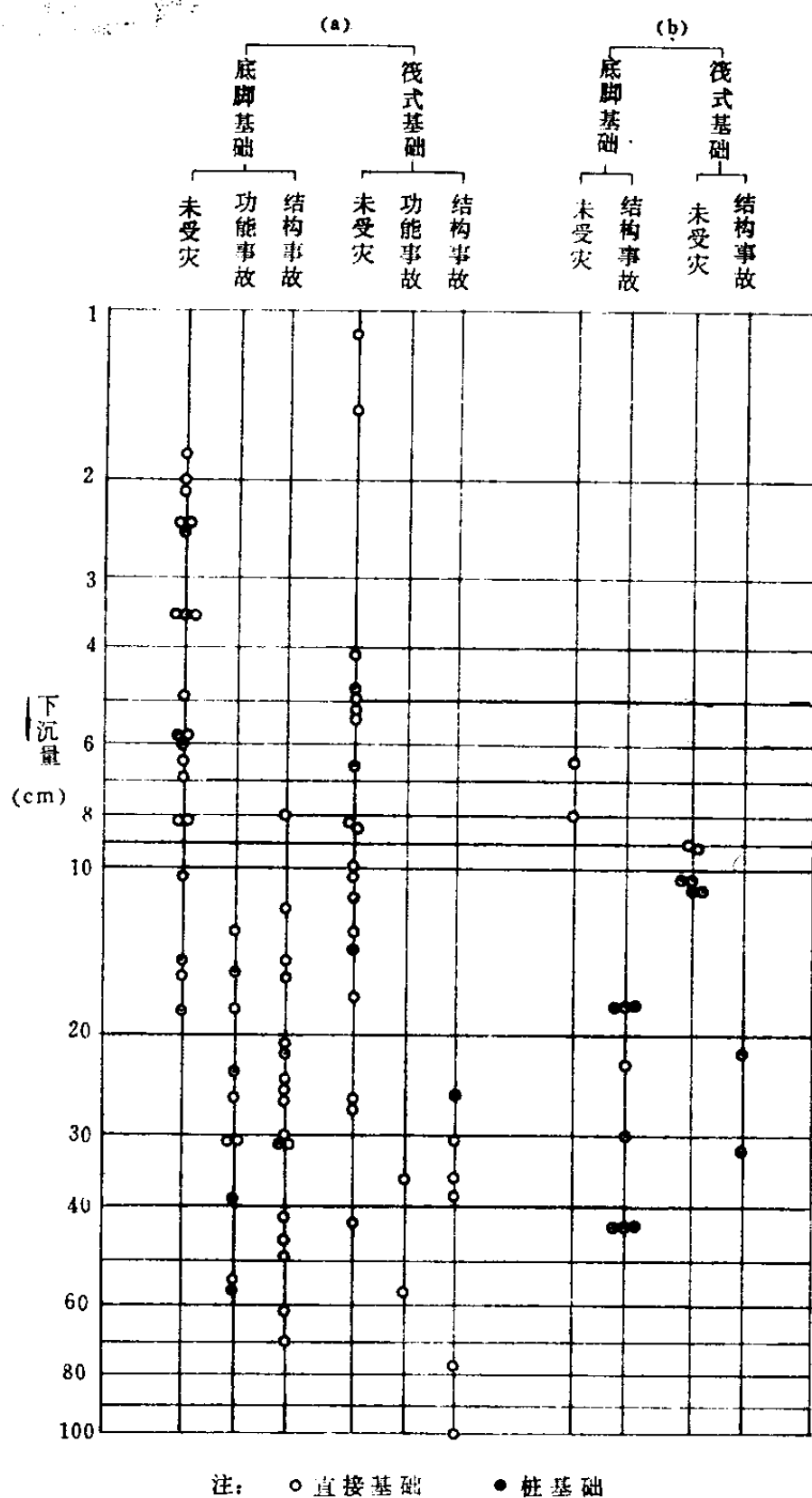


图 1-6 钢筋混凝土建筑物最大沉降量和上部结构事故的关系