

1、建筑物震损

1995 年阪神淡路大地震刚发生后，死难者中有 90%都是由于建筑物的坍塌而造成的。在引起特大灾害的地震发生后，地震工程学对于灾害的情况以及构造物受地震破坏进行详细调查，并对其原因进行分析，研究对策以便在未来可能发生的地震中不再重演相同原因导致的灾害，并将其成果反映到抗震设计规定中去，与此同时，还将这些见解及技术普及到结构设计或施工实务中，由此为减轻未来的地震灾害做出了贡献。对因地震引起的构造物的破坏进行调查，是与使用计算机进行解析性研究或在实验室进行试验性研究一样，或者说是比这些更能对减轻未来的地震灾害发挥重要的作用。

根据受地震破坏调查发现，建筑物的安全性并非单纯指具有能够承受由地震引起的震动对构造物产生的水平方向的惯性力量的水平强度就可以了。构造物所受到的地震振动，由于地震发生的结构、规模、位置、建设地点的地基条件等而受到很大的影响。构造物对地震的反应，会由于构造物的形状、振动的特性（周期及衰减）、最大水平强度、柱、梁和抗震墙等部位的结构构件的强度以及变形能力、基础、地基以及构造物的联动作用、施工的好坏、构造材料的材龄和龟裂等劣化状态、建筑物的维持管理状况、过去的受灾情况等等而受到影响。另外，根据这些因素对建筑物反应的好坏进行评价的时候，是以单纯为了保护人的性命能够防止坍塌就可以了，还是以必须让建筑物在地震之后还能够继续使用等，以及建筑物所具有的社会性的重要性（灾害重建中心等）、或是功能（医疗设施等）、建筑主对建筑物所期待的性能等等因素都需要考虑。

这里首先对钢筋混凝土结构建筑物的倒塌、坍塌举实例，对于防止这些破坏而必须注意的结构计划、配筋详细情况、维护管理等进行说明。在技术尚未成熟时所建的钢筋混凝土结构建筑物，在结构设计时由于只考虑到确保构造物所需的强度，因此当地震时所产生的惯性力超出了建筑物的强度时，就会引起比较小的变形，支撑建筑物重量的垂直构件就会发生脆性破坏（例如剪切破坏等），失去了支撑上层重量的能力而引起结构坍塌的情况有很多。为了避免这些变形小的构造物的毁坏，也为了不使构造物产生大的变形，通过设置抗震墙或支撑而进行提高刚度的强化、或即使达到构件的强度后，也能提供能够塑性变形的柔韧性强化很重要。并且，在构造物之中，最理想的是伴随着损坏发生的塑性变形能够集中到为数极少的构件中，防止支撑垂直荷载的构件发生脆性破坏非常关键。

(1) 水平强度与变形性能

最近，建筑物的性能基础型设计正成为热门话题。这种设计是以下面两点为目标的：

- (a) 对于及其偶然发生的现象（地震或暴风等），在确保人身安全性的同时，
- (b) 对于发生概率较高的现象，为了保全财产在防止对构造物产生损坏的同时维持建筑的功能。

受到强烈震动的构造物，结构构件达到了强度而发生塑性变形，构造物整体形成不稳定的破坏机理（机制），在大的水平变形后由于垂直荷载的二阶矩引起的不稳定现象（ $p-\delta$ 效应）而发生倒塌的情况极少。而大部分情况都是在此之前，支撑垂直荷载的构件（主要为柱构件或墙构件）破坏，无法支撑建筑物的重量而发生坍塌。

构造物抗地震动的性能依赖于由构成构造物的构件的刚度和强度来决定的构造物整体的水平强度，以及直至破坏发生为止的塑性变形性能（从发生损坏直至破坏为止的柔韧度）。在结构设计或抗震诊断中，对于由于小的水平变形而发生脆性倒塌的变形性能小的构造物（强度抵抗型结构）必须确保高强度，对于发生大的塑性变形之前不会倒塌的韧性大的构造物（韧性抵抗型结构），即使水平强度低在发生大的变形之前也不会倒塌，正是根据这些简单的经验规则来对倒塌的安全性进行判断的（图 1.1）。即，在强度抵抗型结构中，地震力不超过水平强度就不会倒塌；在韧性抵抗型结构中，地震时的水平变形不超过倒塌时变形就不会倒塌。如果以人的生命安全为设计目标的话，既可以进行强度型设计，也可以进行韧性型设计。一般来说，水平强度（刚度及强度）高的建筑物比水平强度低的建筑物由于地震而发生变形小，与构造物发生倒塌时的变形性能无关，可以说构造物受到的

损坏小。因此，若是对于发生频率较高的现象有高度性能要求的建筑物，确保最低限度的水平刚度和强度很重要。

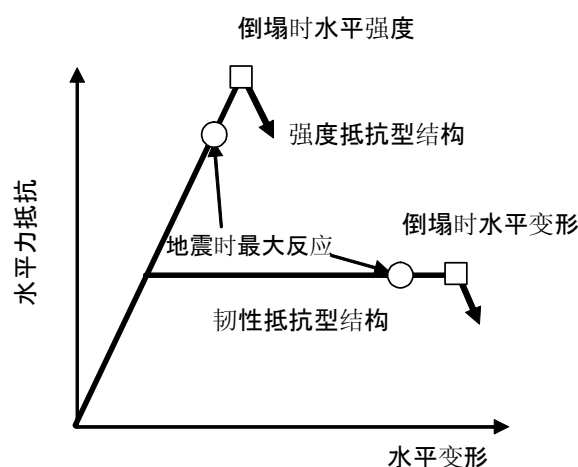


图 1.1: 强度低抗型构造物与韧性抵抗型构造物

照片 1.1 是 1995 年兵库县南部地震时由于单层楼而坍塌的公共住宅楼。该楼是按照 1981 年改订的建筑基准法实施令（新抗震设计法）发布前的旧设计基准设计的，仅按照所要求的确保构造物及构件的强度进行的设计。因此，地震时当对柱作用的剪切力达到剪切强度时，由于小的变形引起脆性剪切破坏，失去了抵抗水平力以及垂直荷载的结构性能。偶然因为一根柱发生剪切破坏而不能负担水平力，作用于该柱的水平力就必须由其他的柱来负担，因此如果下一根柱也只有同样的剪切强度的话，那根柱就也会破坏。就这样，可以想象同层的柱不断破坏，直至整层全部坍塌。



照片 1.1: 1995 年兵库县南部地震时发生整层坍塌的公共住宅楼

当作用于柱的水平力达到强度后，如果能够在维持抵抗该水平力的强度的同时具有发生变形的柔韧性的话，就不会发生这样的坍塌。因为地震对建筑物作用的水平力，通常不是从一个方向静止作用，而是通过建筑物的震动使其产生惯性力。也就是说，惯性力的方向是随时间一起改变的，如果水平强度能够维持到那个时点不坍塌就可以了。从这点来说，为保护人的生命安全防护发生坍塌，即使发生损坏但能够维持水平强度的柔韧性非常重要。

另外，必须要探讨构件的局部性损坏是否会使框架失去垂直荷载支撑能力。必须要确认坍塌的柱支撑的垂直荷载，是否会由该破损部件上下毗邻的结构墙、连接毗邻的柱的梁以及板等传递到周围的柱或墙。

(2) 垂直方向的不规则性

在构造物的高度方向，有时会出现与其它层相比某层的刚度及强度变得极端小的情况，这是建筑物常见问题。构造物受到地震震动时，这种极端容易发生变形或强度低的层中容易集中发生大的变形。特别是当这样的层柱由于小的变形发生脆性破坏时会发生坍塌。

城市中常见的公共住宅楼中，1层常被作为商业设施或停车场，由于1层没有墙，因此1层的水平强度很小，成为容易引起大的变形的结构。此结构中上面的住户部分作为分隔住户的结构要素设有边界墙，上面的楼层虽然水平强度和刚度都提高了，但1层出于使用上的考虑，这些墙不是连续设置的，因此只有1层是水平强度极端弱，在抗变形方面刚度也很低。商业建筑中，1层需要有很大的空间，也常会发生同样的情况。受到强烈的地震震动时，1层的柱受到作用于建筑物整体的强大的水平力（层剪切力）的作用，产生大的水平变形。当这些柱里的钢筋没有按照抗剪钢筋正确配置，或是出现柱的轴向力大的情况时，柱不能跟上大的变形从而发生脆性破坏。并且，建筑物的外柱由于作用水平力引起的倾覆力矩而受到巨大的变动轴向力。由于这个附加的轴向力，柱的变形能力降低了。

照片1.2是1971年在加利福尼亚的洛杉矶郊外发生的圣费尔南多（San Fernando）地震中受破坏的Olive View医院。由于上面楼层的连续墙壁在1层没有设置，因此大的水平变形集中到了1层。除此之外，照片1.3显示了1995年兵库县南部地震的受害实例。上面的楼层因为有边界的抗震墙，水平强度大，而作为停车场使用的1层由于没有抗震墙，水平强度变得极端小的原因，1层发生坍塌的实例。



照片 1.2：1971 年圣. 费尔南多（加利福尼亚）地震中受破坏的 Olive View 医院



照片 1.3：1995 年兵库县南部地震中发生 1 层坍塌的六甲大厦

在建筑物的上层，尽管对建筑物的宽度或进深进行了缩进减少，还是会产生垂直方向的不规则。像这样在上面部分变细的话，由于地震震动引起高模态振动被激发起来，缩进层的正上方发生大的变形。另外，由于缩进引起作用于上层的水平力必须通过地板传递到下层的框架去，就会对地板产生巨大的剪切力。

（3）水平方向的不规则

在惯性力发生作用的平面的重心和刚心（水平刚度的中心）有代表偏离的偏心的情况下，地震时使通过刚心的与垂直轴有关的扭转振动产生，使远离刚心的侧面构件产生大的变形以及产生与之相伴的损坏。这样的建筑物经常是角落里的建筑物，相对于后方设置的墙所产生的较大的水平抵抗和刚度，道路一侧由于有入口等比较开放，因此构件的强度和刚度较小。

即便是事务所的办公楼，被结构墙所包围的电梯被设置在建筑物的一角，其他的部分为大的开放性空间（照片1.4）。建筑物左侧由于有楼梯室有抗震墙，而建筑物右侧的1层只有柱，与建筑物左侧相比刚度极端小。于是，地震时产生了以建筑物的左侧为旋转中心的扭转振动，建筑物右侧的柱发生了大的水平变形。对这样的建筑物进行加固时，需要考虑重心与刚心的位置，在确保对于偶

发性的扭转振动也有足够的抗剪强度的同时，确保变形变大的构件的韧性很重要。



照片 1.4：外墙在 1 层中断的右侧发生巨大破坏。左侧由于墙壁从上层连到 1 层，刚度较大。
(1978 年宫城县近海地震)

(4) 横隔膜效果的不足

作用于构造物的水平力，并不是均等作用于所有的构件的，例如弹性震动时，与构件刚度成比例地作用于垂直构件。抗震墙的水平刚度与柱相比要大得多，因此巨大的地震力发生作用。以抗震墙为主抗水平剪切构件的构造物，作用于地板的惯性力必须通过地板传递到抗震墙。像这样的传递水平力的地板称为隔板。隔板中产生损坏并进入塑性区的话，作用于地板的惯性力就无法传递到主抗震抵抗元素，主抗震元素就无法发挥作用了。结构设计或抗震加固时，必须要确认作用于地板的惯性力是否能通过隔板传递到主抗震元素。

在上层结构进行了平面缩进的建筑物中，抵抗水平力的垂直构件由于在上层减少，因此作用于上层构造物的水平力必须通过隔板传递到下层的框架。这些正如已在 (3) 中讲述过的一样。

(5) 次框架

根据结构设计，指定主抗水平剪切元素，并与其他次抗水平剪切元素相区别。极端的情况下，仅有很少的构件（例如，外部设置的大柱等）是作为抗震构件而设计的，大部分的构件是作为垂直荷载支撑构件（次构件）而设计的。但是，即使作为垂直指示构件而设计，也会受到构造物的水平变形，因此必须对这些次构件进行在地震时能够跟随构造物产生的水平变形的钢筋配置。

(6) 非结构元素与结构构件的相互作用

结构设计中，把房间隔断或楼梯等并不具备结构性作用的非结构构件完全当作不存在，进行结构解析，设计结构构件。但是，实际上虽说是非结构构件在力学上也不能完全忽视，存在与不存在非结构构件，作用于毗邻的结构构件的应力是不同的。由于存在非结构构件，对于结构物整体或构件可能会发生设计中设想不到的问题。

混凝土或是砖石结构的间壁墙或楼梯，作为非结构构件常被忽视了水平刚度。这些构件，虽然被称为非结构构件，但只要存在在结构中，就会对框架产生强度。如果忽视这些附加强度，就有可能对构造物产生无法预期的恶劣影响。例如，沿外围修建防火墙且道路一侧为开放式的框架中，偏向平面设置的防火墙会使构造物整体刚度和质量产生偏心。或者，房间隔断，在水平力小、没有损坏的时候刚度较高，而随着水平变形变大发生脆性破坏时，就会失去垂直荷载的支撑能力，引起层坍塌。作为除此之外也能看到的例子，建筑物的上层使用间壁墙，1 层变得容易发生微弱变形的话，甚至可能发生过大的层间位移。

(7) 以往的整修和与损坏

在调查既有建筑物的时候，必须考虑到过去构造物的整修对构造物的抗震性进行评价。建筑物

的所有人或使用者会由于功能上的原因而进行整修，其结果有时会造成抗震性的降低。在整修时，经常会出现添加或去除结构构件或非结构构件。改变建筑物的用途或是进行结构性的改变的话，固定荷载及装载荷载也会发生大的变化，影响到水平刚度或强度等构造物的抗震性能。

由于长年累月或严酷的环境条件，建筑物的抗震性能会产生老化的效果。在这个范畴里，也有以往曾受到过地震破坏，没有进行结构性的损坏修理就一直放置的例子。比如，原有的裂痕、过大的变形、由于基础变形产生的不规则下沉、混凝土的老化或钢筋的腐蚀等等。



照片 1.5: 1948 年福井地震中倒塌的大和百货公司。地震前的火灾以及地基的不规则下沉和钢筋的不良配置也对破坏产生了影响。



照片 1.6: 1985 年墨西哥地震中毗邻的建筑物发生碰撞。

当存在以往的整修、损坏或老化的情况时，在抗震加固之前，必须通过对建筑物的现场调查把握情况。在调查材料强度时应采用破坏检查或非破坏检查。现场调查所提供的关于施工质量的信息，特别是很多老建筑物中成为大问题的混凝土的质量也就清楚了。在判断现有建筑物的抗震性能的时候，仅根据结构图进行调查是不够的。

照片 1.5 是 1948 年福井地震中倒塌的百货公司。地震前的火灾以及不规则下沉是这次倒塌的原因之一。

(8) 毗邻建筑物的碰撞

和毗邻的建筑物的间隔狭小的话，地震时由于水平变形就会产生毗邻建筑物的碰撞。特别是地板高度不在同一水平的时候，碰撞问题严重，会出现低的建筑物的板材的上方被毗邻建筑物的柱严重破坏的情况。照片 1.6 就是 1985 年墨西哥地震中发生的实例。

在日本，建筑基准法中规定了最小的邻栋间隔，但如若建筑物所有人达成一致的话，也可以不遵守规定的邻栋间隔。

另外，作为碰撞问题，设置结构性分开的伸缩缝的时候，因其间隔不够，伸缩缝处产生破坏的情况也很常见。

(9) 扁平状破坏

为了使屋内空间尽可能大，会不使用梁，而用柱直接支撑地板的平板或井字形密肋式楼板结构。这样的结构由于没有梁，水平刚度低，容易产生大的水平变形，并且柱周围的地板发生破损无法支撑作用于平板的垂直荷载，会出现平板掉落成扁平状坍塌的情况（照片 1.6）



照片 1.6：1985 年墨西哥地震中坍塌的学校建筑物。很多的建筑物就是像这样呈扁平状坍塌的。

像这样结构发生坍塌的时候，由于没有梁，变成上下的楼板直接接触的坍塌形式，上下的楼板之间也就没有留下人类幸存的空间了。从保护生命的角度出发，不能让这种坍塌再次发生。如果采用高梁或腰墙的话，建筑物坍塌之后上下层的楼板之间也可以留下人类幸存的空间。

（10）构造物的刚度不足引起的非结构元素破坏

比较容易发生的中小型地震中，维持建筑物的功能是重要的性能目标。要想维持建筑物的功能，必须要确保给构造物添加的非结构构件具有足够的性能。根据以往的经验，建筑物的住户对于房间隔断、窗户、门、机械设备等非结构构件的破坏感到非常恐怖（照片 1.7 左侧）。在这样的情况下，在整修或置换非结构元素之前，不可使用该建筑物。建筑物的整修费用，比起结构构件的整修费用，常常是由非结构元素的整修费用来决定的。为了减少建筑物所有人的经济负担，必需要保护非结构元素不受破坏。

不能让非结构元素发生破坏的另一个原因是，正下坠的破坏构件如果是在建筑物中、或是正要离开建筑物避难的人们上面落下的话是非常危险的（照片 1.7 右侧）。并且，破坏的非结构构件可能会堵住避难通道。另外，由于构造物大的变形，像门这样的非结构元素，为避免在地震后无法打开，应提高水平刚度，或是能够为了能够使非结构构件跟随变形，在周围使用柔软的缓冲材料为好。

结构构件和非结构构件破坏的水平，是和建筑物的层间位移有很大关系的。在众多的地震破坏调查报告中，抗震墙对于抑制结构构件及非结构构件的破坏很有效。由于采用抗震墙抑制了层间位移，或是为了能够跟随大的层间位移改良了非结构元素的安装，非结构构件的动向是可以改善的。

假设刚度高而发生了脆性破坏的砖墙嵌入到由易变形的细构件构成的框架中的情况下，即使是在中小型地震中砖墙也首先会受到破坏。如果在柱和墙之间留少许缝隙、可以支撑不朝垂直基面方向倒的话，就可以减少这种砖墙的破坏。

另外，为了避免重家具或设备不倒向地板，或不让沉重的设备从架子上掉下来，必须抑制建筑物的反应（加速度或速度）。



照片 1.7: (左) 屋门破坏以及房间隔断的破坏 (1995 年兵库县南部地震)。
(右) 预制混凝土窗帘壁掉落 (1995 年兵库县南部地震)。

(11) 基础以及地基的问题

基础的破坏是由于(a)地基的液化 (照片 1.8) 引起的支撑力或拉伸力的丧失、(b) 地基的液化与侧向流动、(c) 断层的偏离、(d) 地基的紧压、(e) 断土与埋土边界的不规则下沉等原因引起的。



照片 1.8: (左) 1964 年新潟地震中沙质地基的液化引起的公共住宅楼的倒塌。
(右) 1985 年墨西哥地震中建筑物的下沉。

地基的液化是由于桩基础发生大的变形引起的。桩基础的破坏在 1978 年宫城县近海地震以及 1995 年兵库县南部地震中曾出现过。一旦基础处发生破坏, 其整修费用是极为高的。虽然由于基础的破坏引起生命损失的事情很少, 但作为例外, 由于地基的液化引起构造物倒塌, 也会使毗邻的建筑物遭到破坏。

2、构件的破坏

构件的破坏形式，由于作用的应力种类以及这些应力的组合而变得不同。钢筋混凝土构件中，由于混凝土的拉伸强度过低，对于地震力这样极为罕有的作用力很难避免产生裂痕。对于钢筋混凝土的柔性力矩进行设计时，混凝土所负担拉伸力由钢筋来代替抵抗，钢筋在拉伸屈服后由于钢筋的韧性仍能保持柔性强度。若是超过设计时预想的变形发生大的变形时，受到压缩力的混凝土达到强度，钢筋混凝土构件会发生破坏。

柱、梁、抗震墙等结构构件由于各种各样的形式发生破坏，但考虑这些破坏形式对建筑物整体的动向所带来的影响是很重要的。通常，梁担负着支撑所在层地板的荷载，并传递给柱的作用，柱或抗震墙担负着支撑所在层上面的建筑物全部重量的作用。柱或抗震墙若破坏的话，就无法支撑所在层上面的建筑物的重量了，建筑物就会发生部分倒塌。在这里，将把影响建筑物倒塌的柱构件作为重点，对构件的破坏按破坏形式分别加以说明。

柱构件受到称之为建筑物重量的轴向力的作用，该轴向力主要以混凝土的压缩而发生抵抗，因此在轴向力作用大的柱中，发生较小的变形时，会由于混凝土的压缩破坏引起破坏。另外，在柔性力矩同时作用于轴向力的情况下，由于受到柔性力矩的压缩，断面部分的压缩应力变大。混凝土压缩破坏的话，内部就会产生很多的裂痕，体积发生膨胀，因此可以通过配置对混凝土的体积膨胀进行限制的横加固钢筋（带钢），延缓混凝土受压缩破坏。所以，预想到混凝土会发生压缩破坏，在柔性力矩的广大区域里紧密配置带钢从而限制混凝土，对提高变形能很有效。

抵抗作用于建筑物的水平力的是柱以及抗震墙，地震力作为这些构件的剪切力发挥作用。剪切力以构件斜方向的混凝土的压缩力与水平方向的带钢的拉伸力进行抵抗，但如果带钢的数量少的话，钢筋发生断裂无法限制受到压缩的混凝土，由于微小的变形而导致柱构件发生脆性剪切破坏。通常，柱的剪切破坏由于同时丧失了柱的垂直支撑能力，设计时为不产生柱的剪切破坏，应配置必要数量的带钢。

（1）柱的弯曲破坏

受到弯曲的柱的变形能力，受作用于柱的轴向力的大小以及在塑性铰链领域里横加固钢筋的影响。一般来说，大的轴向力发生作用时，由于和柔性力矩的相乘效应使受压缩的混凝土发生损坏、散架，直至破坏。这时候，如果配置水平的束缚钢筋以使混凝土压毁后不散架的话，就可以延缓由混凝土压缩引起的破坏。

外柱，特别是角柱受到伴随着作用于建筑物的倾覆力矩而来的巨大的变轴力。这些柱的轴向力水平产生极为巨大的压缩力，在发生弯曲压缩破坏后，会出现失去轴向力保持能力的情况。通常，很难区别在柱上端或下端产生的，伴随着混凝土的压毁发生的剪切压缩破坏与弯曲压缩破坏（照片 2.1）。这根柱虽然在细小的间隔中配置了带钢，但带钢只在外围配置，当内部的混凝土压毁向外扩散的时候，带钢向外侧膨胀从而限制混凝土的效果不够。

建筑物由于大变形后的 $P-\Delta$ 效应发生倒塌的情况很罕见。这种倒塌并非是柱构件过细、产生脆性剪切破坏，而是当变形能进行大的弯曲屈服时发生的。

照片 2.2 中，在柱顶部柱主钢筋从柱梁连接处脱离发生破坏，是巨大的水平变形所产生的极罕见的例子。



照片 2.1: 1995 年兵庫县南部地震中弯曲压缩破坏的柱。外围用 100mm 间隔的带钢加以束缚。



照片 2.2: 1997 年 Qayen (伊朗) 地震中因大的水平变形而倒塌的框架。柱主钢筋从柱梁连接处脱离发生破坏。

(2) 柱的剪切破坏

构件的破坏之中，最脆性的就是柱的剪切破坏。在剪切裂缝产生之前混凝土所负担的拉伸力在剪切裂缝张开后，剪切加固钢筋无法抵抗，导致斜张力破坏。剪切破坏是由于横加固钢筋不足（剪切加固钢筋的粗细、间隔、强度）而产生的。照片 2.3 中，剪切加固钢筋过细、加固钢筋的间隔过疏引起了剪切破坏。



照片 2.3: 1990 年吕宋 (菲律宾) 地震中由于剪切加固钢筋过细、加固钢筋的间隔过疏引起剪切破坏的柱。

剪切加固钢筋的间隔十分窄，在构件轴中大约 45 度方向产生的剪切裂缝必须有至少 1 根或 2 根剪切加固钢筋横穿过去才可（照片 2.4）。在大的剪切力作用的构件中，由于需要由剪切加固钢筋来承受混凝土所负担的拉伸力、以及增强对受到大的压缩力的混凝土的限制变形能力的原因，剪切加固钢筋的间隔必须紧密。

长方形的横加固钢筋的顶端必须弯曲 135 度，固定到混凝土的核心内部或焊接成封闭型。在旧工程中，没有将横加固钢筋的顶端适当弯曲 135 度，由于作用于剪切加固钢筋的拉伸力引起横加固钢筋从固定处脱离，使柱产生剪切破坏（照片 2.5）。



照片 2.4: 柱的剪切破坏。1995 年墨西哥地震中拉萨罗卡德纳斯 (Lazaro Cardenas) 的学校建筑。粗径横加固钢筋的间隔如同柱的宽幅。沿柱主钢筋的混凝土剥落。



照片 2.5: 1995 年兵库县南部地震中柱的剪切破坏。(左) 90 度弯曲部分张开的例子。(右) 柱角处横加固钢筋断裂的例子。



照片 2.6：1978 年宫城县近海地震中的铁道学校。钢筋混凝土结构的非结构墙限制细柱的变形，变形集中在很短的长度里并发生了剪切破坏。

钢筋被弯曲的时候，弯曲处发生塑性变形，该部分的变形能力发生老化。在破坏前没有显示出柔韧度的加固钢筋中，钢筋有时会在折角的地方发生断裂（照片 2.5 右图）。

在结构计算中，进行模型化或解析时经常会忽视非结构构件，如房间隔断那样随着建筑物的用途被设置。一旦刚度及强度都很高的非结构构件被设置成与结构构件相接，非结构构件与结构构件互相影响发生损坏。照片 2.6 中，混凝土制非结构墙将柱的变形长度变短，成为短柱剪切破坏的原因。

（3）粘附割裂破坏

由于作用于异型钢筋的粘附应力，对周围的混凝土产生圆形的拉伸力。在构件的弯曲力矩角度较大的情况下，对构件产生弯曲粘附应力。在梁或是柱的主钢筋没有被紧密配置的箍筋或带钢支撑的情况下，特别是在混凝土的强度弱、或是使用了高强度的粗径钢筋主筋、或是异型钢筋的浇筑混凝土的厚度过薄的情况下，沿主钢筋会产生割裂裂缝（照片 2.7）。由于该割裂裂缝，丧失粘附应力、降低柱的抗剪强度、甚至会导致与层坍塌有关的构造物坍塌。



照片 2.7：1983 年日本海中部地震中的浪冈医院，沿着柱的异型钢筋的主钢筋出现了粘附割裂裂缝。
混凝土强度低、粗框架的质量不佳。

（4）主钢筋接头的破坏

在工厂生产并被搬运到建设工地的钢筋由于长度有限制，若钢筋的长度不够，必需在建设工地连接钢筋。主钢筋可使用搭接接头、机械接头，熔接接头等各种各样的方法被连接。搭接接头是把钢筋排列配置，将作用于钢筋的应力通过与混凝土的粘着传递到旁边的钢筋的方法。机械接头是使用特别的接头材料把钢筋和钢筋相连接。

接头时最好将手筋的拉伸应力在设置到低的范围。但是在旧建筑物中，由于没有充分了解地震时候的动向，会根据施工的情况在应力高的范围设置接头。

照片 2.8 显示的是熔接接头和搭接接头的破坏实例。右面的熔接接头，由于是把钢筋顶端用煤气加热软化后用夹具添加压缩力热压熔接而成的，如果施工管理不妥就会像照片所示在加压焊接处发生断裂。

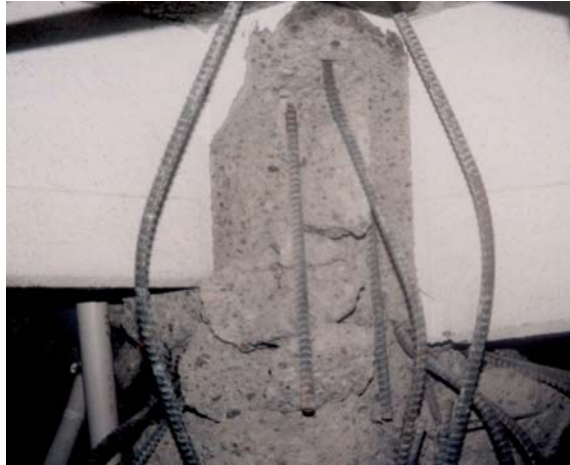


照片 2.8：（左）1995 年兵库县南部地震中煤气热压熔接接头断裂。
（右）1990 年吕宋(菲律宾)地震中的搭接接头破坏。

（5）固定破坏

梁或柱的主筋应力，由于在柱梁连接处向混凝土传递，必须被固定。在旧建筑物中，有的柱梁连接处没有配置横加固钢筋，柱梁的主钢筋被用钢筋固定到没有加固的混凝土部分。由此，在固定处沿着主钢筋发生作用的大的粘着应力产生粘着割裂破坏，外侧的混凝土发生剥落。

梁的主钢筋，譬如由于短部弯折等，在柱梁连接处完全没有固定的情况下，主钢筋从连接处脱离出来(照片 2.9)。固定长度的不足会出现在，梁的下端钢筋在柱梁连接处只能被固定到很短的长度等情况。



照片 2.9：由于柱梁连接处没有配置横加固钢筋，沿着主钢筋产生粘着割裂破坏混凝土发生剥落。

（6）柱梁连接处的破坏

如果框架被设计为梁屈服先行型的话，梁屈服后，在柱梁连接处产生大的应力，在柱梁连接处产生斜向的裂缝(照片 2.10)。由于这样的剪切裂缝降低了骨架的刚度。另外，在梁端，由于梁主筋从柱梁连接处脱离出来等原因，产生大的弯曲裂缝。没有出现过由于内柱梁连接处的破坏引起的构造物的坍塌。但与此相对，在外柱梁连接处，一旦损坏变得显著，由于混凝土的压毁无法支撑柱的垂直力的话，会由于外柱梁连接处的破坏导致建筑物坍塌。



照片 2.10：1995 年兵库县南部地震中梁弯曲屈服先行型框架的柱梁连接处的剪切裂缝。

（7）预制混凝土以及预制混凝土构件的破坏

预制混凝土的建筑物受地震破坏的经验较少，不过，预制混凝土构件的连接处常常成为构造物的弱点。至今为止，在高地震带，没有充分考虑到抗震性，一直用预制混凝土构件建造建筑物。1988 年亚美尼亚的斯皮塔克（Spitak）地震中，由于采用了未经抗震安全性相关的验证过的技术，发生了大的破坏和倒塌(照片 2.11)。



照片 2.11：1988 年亚美尼亚的斯皮塔克地震中预制混凝土的建筑物的倒塌。(左)正在建设的建筑物的坍塌。(中)现浇混凝土壁式结构的坍塌。(右) 预制混凝土和现浇混凝土砖墙建筑物的坍塌。

1994 年北岭 (Northridge) 地震中也发生过预制混凝土结构的停车场建筑物的倒塌。由于抗水平剪切元素不足，现浇的表面混凝土受到大的应力。其他的情况下，也出现过柱由于过大的水平变形而破坏，柱接连不断地破坏建筑物整体基本倒塌的情况。假若巨大的水平力发生作用、变形变大的话，也可能会引起梁从支撑台掉落。伴随着所预想的水平变形发生连接处的转动之后，必须确认对梁是否有足够的支撑幅度的问题。

现场预制吊装施工法，是预制混凝土施工方法的特别例子，其性能由连接处的性能来决定。最弱的部分通常是预制混凝土的墙和屋顶板的连接处，由于墙面朝外方向的破坏和失去屋顶的垂直支撑，屋顶掉落下来。

(8) 桩的破坏

作用于建筑物的惯性力必须由基础结构进行抵抗。由作用于桩顶部的轴向力与巨大的弯曲的配合，发生混凝土的压毁。这样的破坏曾出现在 1978 年宫城县近海地震和 1995 年兵库县南部地震中 (照片 2.12)。这样的基础结构的损坏，很难在地震后发现，而作为永久性的基础变形的结果，经常导致建筑物明显的倾斜。



照片 2.12：1995 年兵库县南部地震中的破坏。(左)填筑地里桩的破坏。(右)随着液化化向侧方流动引起的桩的破坏。

3、抗震加固的方针

在这二、三十年间，抗震结构技术有了很大的发展。进行地震破坏调查的话，用落后的技术建造的旧建筑物的性能不足的情况很明显。但是，根据大地震后的破坏调查的统计，损坏大的建筑物的比例极为小（在 1985 年墨西哥地震、1990 年菲律宾的吕宋岛北部地震、1992 年土耳其的埃尔津詹（Erzincan）地震、1995 年兵库县南部地震后受破坏严重的地区中，也仅占 5~25% 左右）。因此，并非全部旧的建筑物都要抗震加固，最好采用高效、简单的方法找出有可能受到损坏的建筑物，对抗震性存有担心的建筑物进行详细的抗震诊断。并且，最好一边考虑建筑物所被期待的性能、重要性、安全性和经济性，一边决定是否有必要进行抗震加固。

不论是怎样的设计的行为，最初也要根据一般的想法或方针来设定性能目标，决定适合设计方针的结构计划，以及决定最适合的结构构件的配置、断面和细节。抗震加固的方针，是为了增加强度、提高变形性能、降低要求变形等等改善地震时的动向，从而决定最适合的基本方针。

以下将说明抗震加固的观点。在实际的抗震加固时，为了满足所要求的性能，常常是将 2、3 种观点组合起来使用。

(1) 降低地震引起的要求反应

按旧的标准设计的现有建筑物，很多的时候，是在构件弯曲屈服之前，或是弯曲屈服之后也会由于小的变形导致脆性破坏，对建筑物产生大的损坏。对由于这样的小变形导致脆性破坏的现有建筑物进行加固的基本想法，是相比起加固，更应该抑制减小地震时在现有建筑物的构件上所产生的反应。

(a) 添加水平刚度及抗剪强度

降低构造物反应的方法，是通过在现有建筑物设置抗震墙或支撑等的来添加水平刚度，从而限制在地震时在脆性破坏构件上产生的变形或应力，或者是增强现有建筑物的水平强度，从而将地震时的构造物的变形减小。但即便是像这样在现有建筑物里设置抗震墙或支撑，对现有构件如果什么加固都不做的话也会由于同样的变形发生破坏。不过，通过提高构造物整体的水平刚度或抗剪强度，可以将加固了的建筑物上产生的水平变形减小。图 3.1 就体现了这样的观点。

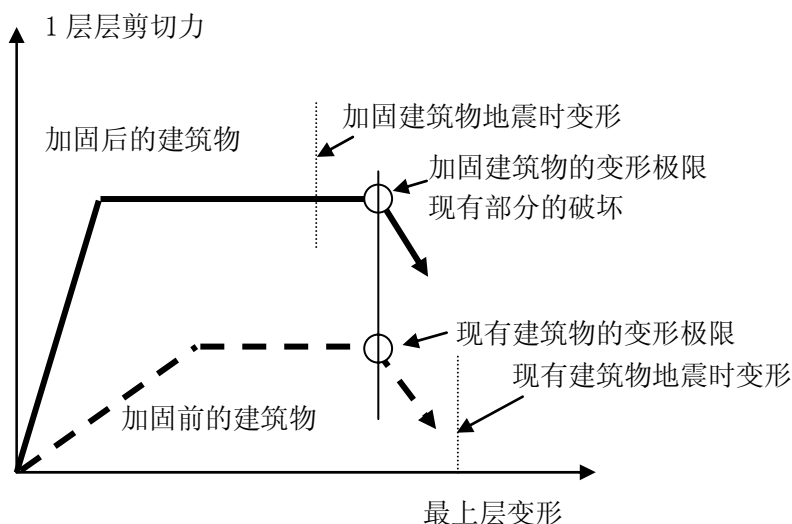


图 3.1: 提高刚度减少水平变形的抗震加固观点

建筑物的水平刚度，可以通过抗震墙、钢材支撑、或是增设新的框架来提高。这个方法，对于像现有的柱因小的变形发生剪切破坏的情况，即由于小的变形引起脆性破坏的构件多的构造物是种有效的方法。也有通过把变形性能小的柱用钢板缠卷来改善变形性能的方法。不过，这些施工方法

的价格较高，由于施工时有噪音或尘土的原因，施工过程中建筑物不能继续使用。对于这一点，在建筑物的周边如果采用加固水平强度的方法(譬如外置抗震墙)，对建筑物内部即使不进行改进也可以解决。另外，这个方法还可以抑制构造物的地震时的变形，可以避免跟毗邻建筑物发生碰撞，在有容易受到变形影响的结构构件或非结构构件的情况下，对于维持建筑物的功能也可以起到作用。

在对现有建筑物进行提高水平强度设计的时候，对于平面的或高度方面，都必须注意进行保持结构平衡的设计。实际上，增设增强构件的优点在于，可以矫正现有的平面的或高度方面的不规则性。根据建筑物的不同，由于建筑计划或者功能性的原因，增设增强构件的位置常常受到限制。施工方和结构设计者必须充分地协商，使建筑的使用上的要求和结构的要求同时能够得到满足。假使由于经济上的或建筑物使用上的原因，需要把整修工程分成多个工期进行的时候，需要注意计划增强构件的配置，在整修工程的整个过程中，注意将建筑物平面刚度的偏心或高度方面的刚度·水平强度的不连续降到最小。

一般来说，一旦在建筑物内设置新的增强构件，将会非常增加建筑物的重量。对于整修所伴随的固定荷载的增加，需要确认对基础不会产生过大的应力。基础工程会增加经济负担。因此从重量的角度来说，比起设置钢筋混凝土结构的抗震墙，还是使用钢材支撑更好。

增设增强构件提高构造物的水平刚度的方法，在地震的时候增加了作用于建筑物的水平力，不过，由于这个方法也提高了构造物的水平强度，水平力的增量用加固构件来抵抗因此问题较少。

对作用于整修过的建筑物的水平力，必须确认其直到新增设的增强元素，并且直到基础所传递的力的流向进行确认。现有的水平力传递构件，常常由于增设抗水平剪切构件而变得需要加强。

当把现有的柱作为新设置的墙的侧柱时，必须对现有的搭接接头的抗剪强度等进行确认。另外，对于由于新增设的构件而被导入的剪切力，特别是对倾覆力矩的基础的抗剪强度也必须进行研究。根据情况，有时必须增设桩子或加固基脚。也有作为别的方法，增设大的基础梁，以其重量使大的倾覆力矩抵抗的方法。

(b) 隔震结构

隔震结构，由于是在建筑物的某层插入软支座或摩擦小的滑动支座，常常设置到基础中。不过，位置也不一定只限于基础。在隔震层通过使用水平抵抗小的支座，降低建筑物整体的水平刚度，通过将构造物的周期延长得比地震震动的卓越周期范围更长，抑制进入构造物的水平力。由于向上层结构输入的地震力变小，在脆性破坏构件处产生的应力以及变形也可以变小，从而可以防止破坏。对于经不起地板的水平加速度的建筑物的家具、设备等物品进行保护很有效。

随着固有周期的变长构造物的变形也变大，不过，由于该变形集中在隔震层，不会影响到容易因变形损坏的构件或设备的安全性。隔震结构，常被应用于历史性建筑物，其原因不仅是因为通过在基础部设置隔震装置可以提高地震时的结构安全性、保护建筑物内的物品，还由于采用隔震施工法的抗震整修不涉及历史性建筑物的基础以外的部分，不会损坏到其历史价值就能实施。

为了使隔震装置有效地起作用，必须将构造物的周期延长到最大反应加速度与周期一起减少的范围。建筑物的重量越大、刚度越小，建筑物的周期也就变得越长。为此，像低层的住宅那样分量轻的建筑物通常不太适合采用隔震装置的抗震整修。通常容易找到的隔震装置(特别是叠层橡胶支座或滑动支座)具有经不住拉伸力的缺点。因此一般认为隔震装置对于因地震震动倾覆力矩变大的细高型的建筑物不太适合。

在为现有建筑物设置隔震装置的工程中，必须另外支撑建筑物的重量，因此需要特别注意隔震装置整修工程的计划。在将隔震装置设置到基础水平的时候，在构造物和隔震装置的连接部分需要有大的工程。另外，必须设法使配管系统和电梯，能跟上隔震层产生的大的变形。

由于地震时隔震层会产生大的水平变形，因此必须确保跟隔震层周围的护墙之间有充分的缝隙。

(c) 能源消耗装置

为现有建筑物设置能源消耗装置，能够将地震输入的振动能源很快地消耗，从而降低构造物的地震反应。粘弹性液体减震器、粘弹性固体减震器、滞后能源消耗减震器、摩擦减震器等各种各样的能源消耗装置被使用到抗震整修中。由于这些装置只有在产生变形的时候才会消耗能源，因此对于微小反应的地震震动不太奏效。

滞后能源消耗型的装置，必须预先考虑到，装置在受到超过屈服变形的变形时才产生能源消耗。假使在现有建筑物的构件因小的变形发生脆性破坏的情况下，是不能使用这样的能源消耗装置的。

(d) 质量降低

在某种现有建筑物中，进行降低构造物的重量的抗震整修也有效。通过降低质量，构造物的固有周期变短，不过由于惯性力也被降低，构造物产生的变形变小。降低构造物的质量，去除重量大的非结构构件(外部装潢、水槽、设备和仓库等沉重的东西，用于屋顶等处的园艺用的土等)就行了。极端的情况下，甚至可以考虑去除掉构造物的1、2层部分。

(2) 结构构件变形能的提高

现有建筑物的动向常常是由比较旧的构造物的变形能力的缺乏而决定。因此，可使用提高脆性破坏构件的变形性能来防止破坏的方法。图 3.2 表现了提高变形能力的做法。其中所举的例子中，构造物整体的刚度或强度没发生什么变化。因为，地震时产生的变形虽然不变化，不过通过提高构造物的变形能力，在地震变形时不发生破坏。在提高变形能力的同时，也同时设法降低地震时产生的变形就更好了。

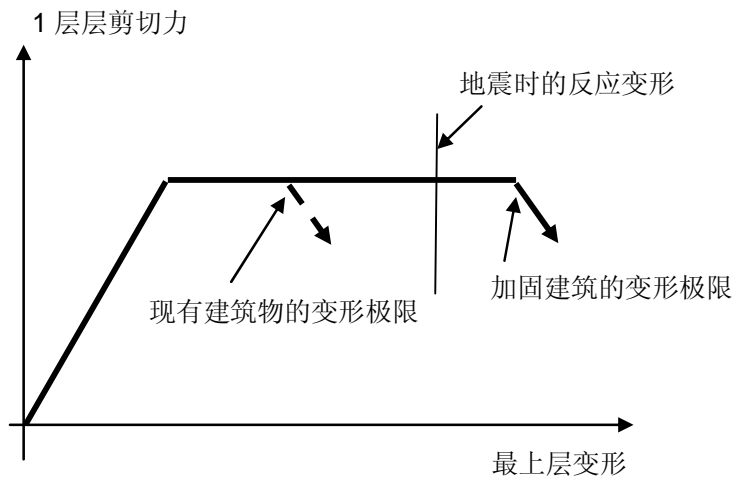


图 3.2: 提高变形性能的加固观点

结构构件会以各种各样的形式破坏，其中也可以用最小的强度破坏形式破坏。通常，为了不产生不希望有的破坏，可将这种破坏形式的抗剪强度增强。反过来，通过降低某种希望有破坏的抗剪强度，也可引导为这种破坏形式。

结构构件的变形能，有很多都是由于具有韧性的某种弯曲破坏形式先出现，将剪切引起的脆性破坏的抗剪强度变大而引起的。作为范例，可以举出增加柱中间部分的混凝土断面、卷钢板、卷碳纤维等例子。

作为引导为具有韧性的破坏形式的方法，譬如，在两侧有腰墙的短柱上，产生水平力集中在刚度高的短柱上，在弯曲屈服产生之前很短的部分发生剪切破坏这种脆性破坏的可能性很高。通过切断腰墙的钢筋，或在腰墙和柱之间设置微缝等，可以把破坏形式变成富于变形的柱的弯曲屈服。

(3) 水平力传递系统

现有建筑物中，有对垂直方向的加固钢材、在地板方面的水平力传递要素、具有足够的变形能力的垂直力支撑构件等，充分具备水平力传递所必要的要素的东西。但是，那其中也有地震时的水平力传递到基础部分的传递路径还没有完整形成的东西。在这样的情况下，通过抗震整修，弥补欠缺的路径，或使应力传递能够充分地进行。也有将应力传递路径或应力传递的强度与其他的缺陷组合起来的情况，不过那种情况下需要更综合性的抗震整修计划。

现有建筑物中共同的问题点，是在地板层次的水平力的传递(隔板)。最好通过加固地板房梁和平板，将现有的地板房梁或平板用钢板捆卷等进行加固。

预制混凝土结构建筑物中，往往需要改善混凝土构件相互的连接部分。

像抗震墙在中途没有，在建筑物高度方面不是结构上很规整的建筑物中，在支撑连续的抗震墙的柱里由于倾覆力矩而产生大的轴向力，为提高弯曲压毁后的韧性，需要用钢板捆卷等进行加固，

或是为了解除不连续需要增设新的抗震墙等进行大规模的整修。

4、抗震加固的性能与目标

由于最近的计算机程序及计算机的发展，得出了一些关于地震的危险度及构造物的动向的新的信息，或是关于地震时的动向的新的观点，性能基础型的抗震诊断或整修方法开始受到奖励。这些手法是根据在设计时所预想的动向，还有通过整修可期待的效果以及因进行整修短期内所需的经费和业务的中断进行衡量，以提供设计的判断资料为目的的。规格规定今后都有用，不过，性能基础型的方法能够更加容易进行有关抗震整修的判断，做出更加可信赖、更经济的整修决定。

性能基础型抗震工程学中，所谓性能水平，意味着建筑物的结构性状态、作为建筑物的功能、保护住户和内含物品的能力、以及功能的丧失、整修、替换等相关的费用。所谓性能目标，是指发生了某种特殊现象的时候，或是指定了某段期间的时候，意味着所期待的性能水平。譬如，建筑物的所有人，在发生了极为罕见的地震的时候，即使受到巨大的结构性的破坏，也可能选择不倒塌这样的性能目标。

对于强烈的地震震动，长期以来都认为设计成建筑物不受破坏这一程度经济上是几乎不可能的。因此，技术人员采用了在强烈的地震震动时产生损坏可容许的性能目标。从1960年代开始，是以经常发生的地震震动时建筑物不发生损坏，中等程度的地震震时不发生结构性的损坏，不过，对于非结构构件发生损坏也是没办法的事，对于过去产生的最大或是在建设工地所预想的最大的地震震动，即使结构构件及非结构构件产生损坏，建筑物也不会倒塌作为性能目标的。

(1) 性能水平

建筑物的性能，对于发生预想现象时或在之后的建筑物住户的安全性产生影响，将建筑物恢复到地震前的状态的费用与可能性，在整修过程中建筑物不能使用的期间，对社会造成的经济的、建筑的、历史性的影响等，可以通过建筑物受损坏的程度来表示。建筑物的性能，通过结构物、非结构物、建筑物整体、内含物品的性能的组合来表示。通常，要考虑建筑物的坍塌所带来的对住户的安全性的影响，在抗震整修中结构性能成为根源对照。若根据别的方法，关于构造物会选择生命的安全性能水平，关于非结构构件，会考虑如何安装才能够在重物掉落、倾覆时保持安全，防止灾害。在有重要的设施或关乎到事业的存续的财政上最重要的设施这种特别的情况下，也需要考虑通过抗震加固使构造物及非构造物达到很高的性能。

建筑物的抗震整修设计时，性能的目标可从发生损坏直至倒塌的宽广的范围内进行选择。性能基础型设计中，可选择在这两个极端之间的维持功能、紧接之后的建筑物的使用、整修或生命的安全性等等性能水平。这些性能，可以按建筑物的结构构件和非结构构件来选择派别性的东西，也可以把结构构件和非结构构件的性能水平组合起来表示建筑物的性能水平。

图4.1中，以强度高脆性破坏的建筑物和强度但柔韧性高的建筑物为例，表示了建筑物的性能水平的概要。这些都是示例，实际显现各个建筑物性能的点，会根据建筑物的细节等而不同。关于这些显现性能的点，以下将对结构构件和非结构构件的动向进行论述。

以下将性能水平分为6类加以定义：

A. 损坏发生水平：是指对结构构件或非结构构件进行整修所必需的损坏开始的性能水平。到这个阶段为止损坏是可以被容许的，不过，从美观的、功能性的或安全的原因出发不一定需要整修。在柔韧度高的构造物中，这种损坏由于是在作为构造物屈服前后产生的，留下了裂纹留存所以易发现。在更脆性破坏的构造物中，这种损坏是在大的外力水平下发生的，由于地震产生的加速度常常在非结构构件里发生。

B. 功能维持水平：在这个性能水平的建筑物，一般认为在结构构件或在非结构构件里几乎不发生损坏。建筑物几乎没有由于整修或复原的原因而中断使用的，就这样继续使用也没什么问题。在这个性能水平，在建筑物外边电力、自来水、交通手段没有问题，就能持建筑物的功能，而在建筑物内部也可使用辅助性的电力等。在这个性能水平，不需要中断设备的使用来进行整修。但是，在考虑性能水平的基础上，也可以考虑在工作时间以外进行整修工作。柔韧性高的建筑物中，超越构造物整体的屈服点，可能有必要进行结构构件或非结构构件的整修。强度型的建筑物中，这个性能水平由非结构构件或内含物品的性能来决定。

C. 建筑物的继续使用水平：这个性能水平的建筑物，在结构构件里几乎是没有什么损坏，或只产生轻微的损坏，而非结构构件或建筑物整体会产生轻损坏。这样的建筑物地震后马上可以居住，不过，清扫结束、电力等恢复原状时，其功能说不定就被损坏了。希望结构构件的损坏在可整修的范围，

余震或未来的地震时抗剪强度没有失去，最好地震的时候几乎没有关乎生命安全的危险。换句话说，建筑物使用安全，损坏的程度对余震或未来地震的抗剪强度也不存在问题。

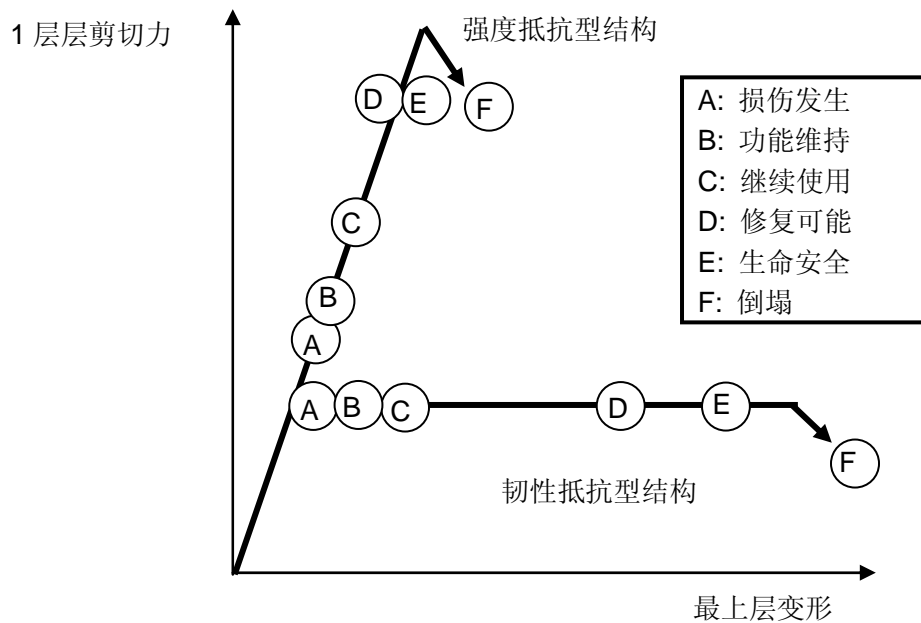


图 4.1: 建筑物各性能水平的选择

D. 整修可能水平：这个性能水平的韧性型建筑物受到损坏时，为保障未来的安全性、居住性、功能需要进行整修。这种整修，在经济上或施工上都是可行的。这个性能水平不涉及生命的安全性，在这个水平生命的安全性有足够的保证。强度型的建筑物，由于在大的损坏或不可能整修的损坏之前几乎不产生塑性区的变形，这个点在比构造物的强度都低的位置。整修可能性能水平在整修设计中是重要的极限状态。因比较经常发生的地震振动进行的整修或结构构件的整修的费用有时会成为重建建筑物所必需的费用。结构技术人员，对于建筑物的所有人，最好进行关于因整修作业中断正常使用而引起的费用或由于不能使用建筑物而产生的损失的说明。需要知道是，如果采用现在的施工技术，相当严重的损坏也可以进行技术性修理。技术性整修可能的水平，有时并不一定与损坏的水平相对应，倒不如说也有和建筑物的所有人的要求的强度相关的时候。

E. 生命的安全性维持水平：此性能水平的建筑物，引起危及建筑物的住户生命安全的伤害的可能性极低。对于所预想的建筑物的反应及地震的不确定性，有相当的把握不发生建筑物的倒塌。但由于非构造部件的掉落引起的危险也必须考虑到。如若结构构件及非结构构件的损坏水平严重，整修费极高，整修不实用的话，建筑物可能就会被废弃。

F. 倒塌防止水平：虽然对建筑物的倒塌极限状态进行设计的情况较少，不过，通常会以倒塌前的状态进行设计。为此，这个性能水平常被称为防止倒塌水平或结构的极限稳定水平。在这个极限状态的建筑物濒临倒塌，对生命的安全未必有把握，还可能因下坠物引起的危险性。通过整修可以说有复原的可能，也可以说是很难。这个性能水平，可分为部分坍塌的开始和全部坍塌的开始。部分坍塌，是指失去某种支撑垂直负载构件的东西，建筑物的一部分楼层部分地发生坍塌。整体坍塌，是指由于多个构件同时破坏，或是由于 1 个或多个的构件的破坏引起并发展成接连不断的坍塌，从而建筑物的大部分都发生了坍塌。这种坍塌，有时是只有一个薄弱的楼层发生坍塌，有时是建筑物整体发生坍塌。接近坍塌极限状态的建筑物，由于有大的结构性损坏，刚度及抗水平剪切老化，在构造物中产生大的残余变形。建筑物再使用存在不安全，可能因余震而倒塌。

(2) 地震危险度水平

地震危险度水平，是考虑到建筑物的功能、其目标性能及建筑物所期待的使用期间等而制定的。地震危险度水平，是在所设定的期间里根据超过特定的振动水平的概率来定义的。作为一般使用的标准期限，建筑物的使用期限、或住户及投资者的寿命，即与建筑物的危险度和生命的危险度紧密相关，通常使用 50 年的期限。

在期望提供地震之后建筑物立刻能正常使用的高性能的性能目标中，譬如，平均重现时间 25 年，即对 50 年的超过概率为 87% 等情况进行定义。在关乎生命安全的通常的建筑物的设计中，一般考虑为 50 年中 10% 的超过概率或约 475 年¹的重现时间。

在靠近活动断层的地震活动高发的地方，以 50 年超过概率 10% 来表示的地震震动，可以说是对在那个建设地的最大的地震震动进行的合理表示。在地震活动中等或较低程度的地方，50 年超过概率 10% 的地震震动，相对于所期待的最大地震震动来说是比较小的，因此对倒塌的安全性不够充分。在这种地区进行的抗震整修设计，必须要考虑更长的重现时间的振动。

(3) 抗震整修目标

抗震整修或加固的目标性能，是在处于特定强度的地震震动时，表示整修过的建筑物的性能。这种目标水平，是考虑降低施工的费用、损失的评价，提高安全性和减少财产的损失，以及地震后能继续使用等等这些通过抗震整修可以改善的点从而选定的。

不同的国家地震危险度也不同，由于对地震危险度能够承受水平、经济状况、技术背景不相同，因此建筑物的整修目标也会因国家或社会而各异。在有的地区，对新建的建筑物规定设计基准和同等的最低性能目标，不过，根据地方的不同抗震整修目标会处于较低的水平。在希望促进抗震整修的地区中，通过抗震加固工程只要是未来的性能不下降，使用怎样的性能水平都可以。这样的做法，对于提高抗震性能目标也有效。

并且，抗震整修的目标，与建筑物的重要度或功能都有紧密的关系，重要度高的建筑物或住户多的建筑物，性能目标也就高。作为重要度高的建筑物，有医院、紧急信息中心、防灾管理中心、警察、消防设备等。对这样的建筑物或设施，希望通过有效利用隔震构造、能源消耗装置、高智能材料等先进的的技术，在抗震整修方面达到更高的性能目标。

¹ 原文为 475 年，疑应为 75 年——译注

5、关于抗震整修的社会经济性的考虑

(1) 对技术人员的责任和保障的考虑

根据国家对于设计者及施工者的责任和保障的相关法律规定，对于因未来的地震引起的损失、人员伤亡，原来的建筑物和整修建筑物的设计者及施工者的责任、保障的分担存在很大的问题。由于存在因预算、建筑性形态、使用造成的整修工程的限制等，不能完全解决原有建筑物的所有问题，也不能完全消除未来的地震中性能有关的所有问题。同样，由于对现有建筑物进行彻底的调查，完成报告书所需的时间和经费不够充足，会产生不能发现原来的构造物的材料缺陷或钢筋配置不足等等重要的缺陷。其结果，可能会使整修工程的设计者及施工者感到自己被要求对未来的损失及工作做出超过所领取报酬的保证。这种情况在比较旧的建筑物的场合更为突出，可能会有不清楚建筑物原来的设计者和施工单位而无法进行分担保障的协商的情况。这样的情况是使技术人员犹豫是否要进行整修工程的主要原因，如果接受了的话，为了减轻自身的负担，对现有建筑物进行更加详细的调查，向更加安全的方向设计等等，会造成整修工程费用的不必要增加。对于整修工程的设计者和施工人员的责任，制定公正有实效的法规，已成为能否实现地方或国家级的所有抗震整修工程目标的前提。

由于采用性能基础型设计，产生新的责任问题。性能基础型地震工程学这一观点和词语对技术人员及建筑物的投资者来说是全新的。所有相关人员，应该完全理解性能目标只是目标，而不是保障。关于地震、现存条件、抗震结构分析、设计方法的知识如果不够充分，是不可能保证性能的，是不负责任的。建筑物的所有人和技术人员，必须充分讨论完全理解性能基础型地震工程学的本质，也必须理解有关未来的性能是不能保证任何的。

(2) 对抗震整修期间的经营的冲击和继续使用

整修工程会产生噪音、振动、灰尘、其他的污染或妨碍。抗震整修期间产生的不便因工程内容而各异。像加固地板、用钢板捆卷柱这种随着内部装修工程而进行的抗震整修工程会产生很多不便，住户也不能留在建筑物里。而像增设抗震墙或铁架支撑等建筑物的外部装修工程，也有边居住边施工的情况。特殊整修施工方法可以在办公时间以外进行施工，尽可能把对构造体的修改降到最低。

在整修混凝土柱的时候，为了有效地束缚混凝土，必须去掉混凝土表面灰浆外饰和其他的外饰。很多时候，为了做其他的准备会使工期变长，工程费用变高。因此，不除去现有的外饰就能进行的施工方法最好。

在进行整修工程的计划时，应该与建筑物的所有人及使用者进行充分的协商，也必须考虑到整体计划中不能使用期间的经费。

(3) 建设费用

抗震诊断及整修时，常常会除去结构构件的外饰，露出结构构件。这样工程费用可能会超过初期预算。并且，如果重新做一层外饰的话，随着整修工程的进行，还可能进行电施工或防火设施的改良、增加残疾人的出口等等新的工程。无法使用建筑物的住户，说不定会解除建筑物的合同，而加重建筑物所有人的负担。被迫搬走的住户，有可能需要临时的设备，也会增加建筑物的所有人的负担。由于整修工程通常会促进设备的更新，房租也可能会因此而提高。因此，进行整修工程时，连建筑物的所有人的收入减少的问题也应该考虑到。

(4) 对历史性建筑物的考虑

根据地区的不同，对于历史性的建造物，会设置特别的规定。在此情况下，现有的法律要求在进行抗震整修时要照顾到建筑物的历史价值。规定应维持建筑物设备的建筑特性。这些规定，对整修的方法设置了特定的限制，不仅是将建筑物以完整的形式保存下来，为了在未来地震时也能保存历史性的结构，对性能目标也设置了限制。抗震整修为了和历史性的建筑物一模一样，可以将新的部分隐藏到现有的建筑看不见的地方，调换或重建现有的建筑构件。也可以用对原来的建筑物进行了明显的添加的形式，让新的要素显现出来。特别是最后的方法，不修改历史性的部分，而对新添加的部分可以在未来进行修正或重做，可以说是最理想的。