

钢筋混凝土结构 极限状态设计法

〔日〕冈村 甫著

童保全译

徐关泉校

电 力 工 业 出 版 社

钢筋混凝土结构 极限状态设计法

〔日〕岡村 甫著

董保全 译
徐关泉 校

电力工业出版社

内 容 提 要

本书内容共分十章，主要介绍极限状态设计法的基本理论，作用力及材料强度特征值的确定，钢筋和混凝土两种材料的物理力学特性，受弯构件、轴心受压构件、弯曲与压缩构件及长柱的承载能力的计算，钢筋与混凝土的粘结和锚固，疲劳特性以及使用极限状态下的裂缝问题等，并附有示范性的例题。

本书可供高等学校土建、水利等有关专业师生的参考，也可作为研究生的教材及钢筋混凝土结构选修课的参考教材，同时还可供从事钢筋混凝土结构设计、科研工作人员学习。

コンクリート構造の

限界状態設計法

岡村 甫著

共立出版株式会社 昭和53年11月1日

钢筋混凝土结构极限状态设计法

〔日〕 岡村 甫著

童保全译 徐关泉校

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6 $\frac{1}{4}$ 印张 134千字

1982年4月第一版 1982年4月北京第一次印刷

印数 00001—10800册 定价 0.66 元

书号 15036·4310

译 者 的 话

本书是日本出版的混凝土专题研究丛书之一。出版这套丛书的目的，正如原出版说明所指出的，是为了“适应现代的需要，对混凝土的材料、施工和设计等方面比较先进的知识作全面的简明的介绍”。而本书则主要阐述近代钢筋混凝土结构的设计理论和方法。

本书内容主要介绍了当前世界各国采用的极限状态设计法的基本原则，作用力与材料强度特征值的确定，各类极限状态下构件的破坏机理，承载能力的计算，钢筋与混凝土的粘结与锚固，疲劳特性以及使用极限状态下的裂缝等问题。本书作者吸收了日、美、英、西德等许多国家的最新研究成果，不少材料引自这些国家的规范和一些国际学术团体的典型规范。作者在书中对这些材料作出了评价，并指出了今后带方向性的一些课题。

本书作者长期从事教育、科学研究和学术活动。本书是作者在日本东京大学土木系给高年级授课的讲义基础上写成的，是日本最新的专题研究性的教材之一。其特点是篇幅不大，文字简练，系统性较好，涉及内容较新较广，可供有关高等学校师生学习，也可供从事钢筋混凝土结构设计和科研工作参考。

在翻译过程中，对原书印刷有误以及有待商榷之处，或者译者认为为便于阅读需要加以说明的地方，均加了译者注。

本书最后经周氏同志审阅定稿，特此表示感谢。
由于译者水平有限，不当和错误之处请读者指正。

译 者

1981年

目 录

译者的话

第一章 极限状态设计法的基础

1.1	前言	1
1.2	结构分析	2
1.3	日本的设计规范	3
1.4	容许应力设计法	5
1.5	破损强度设计法	6
1.6	极限状态设计法	6
1.7	极限状态	9
1.8	特征值和分项安全系数	10

第二章 作用力

2.1	分类	13
2.2	特征值	14
2.3	作用力的组合及荷载系数	15

第三章 材 料

3.1	特征值	18
3.2	分项安全系数	23
3.3	混凝土的应力应变曲线	24
3.4	钢筋的应力应变曲线	29

第四章 弯 曲

4.1	弯曲特性	35
-----	------------	----

4.2	一般计算公式	40
4.3	弯曲受拉破坏承载力	43
4.4	平衡配筋率 p_b	47
4.5	弯曲受压破坏承载力	47
4.6	使用状态时的应力	49
4.7	破坏极限状态的设计计算及讨论	50

第五章 弯 曲 与 压 缩

5.1	一般计算公式	52
5.2	轴心受压	54
5.3	偏心受压	56
5.4	相互作用图	58
5.5	平衡破坏	60
5.6	破坏极限状态计算	62

第六章 长 柱

6.1	附加弯矩的影响	65
6.2	长柱设计的一般方法	67
6.3	长柱设计的近似方法	68

第七章 剪 切

7.1	斜裂缝	75
7.2	名义剪应力 τ_n 及其无因次量 τ_n/f_t	78
7.3	支座反力的影响	80
7.4	无腹筋梁	84
7.5	抗剪钢筋的效应	88

第八章 粘 结 和 锚 固

8.1	变形钢筋及其锚固	94
-----	----------------	----

8.2	局部粘结和锚固粘结	101
8.3	锚固长度	103
8.4	搭接接头	116

第九章 疲 劳

9.1	概说	125
9.2	材料的疲劳特性	125
9.3	钢筋混凝土梁的疲劳特性	134
9.4	钢筋混凝土板的疲劳特性	136

第十章 裂 缝

10.1	概说	139
10.2	发生拉应力的极限状态	140
10.3	发生裂缝的极限状态	141
10.4	裂缝开展宽度的极限状态	142
10.5	弯曲裂缝宽度计算公式	145
例题		160
符号和索引		182

第一章 极限状态设计法的基础

1.1 前 言

混凝土建筑物如桥梁、隧道、防波堤、水坝、码头、下水道等建筑，作为铁路、公路、港口、发电、水利等设施中的一环，大多与人民生活直接关连。它的公共性高，使用期也长。因此，混凝土建筑物设计中首要的问题是建筑物要经济适用，在整个运用期间要能安全地满足使用要求，不满足使用要求的概率要充分地小。此外，混凝土建筑物的寿命长，会作为一个时代的文化遗产留给后世，因而，除了经济适用外，美观也是一个重要的设计因素。

为了顺利地实现建筑物的使用目的，不仅要求建筑物在荷载及荷载累积作用下具有足够的强度安全和耐久性，而且在使用年限期间，要承受得住所有的外力，要经受得住波浪、土压力、地震等自然现象和风、雪、雨、日照等气象现象的作用。

因此，在经济性方面，除了建造时的费用外，还应该考虑维护、管理、修补、局部替换等方面的费用和保险费。在选择材料和结构形式时，除了要考虑材料费用外，还应当考虑施工难易程度、施工临时设备、施工工期等与施工有关的费用。此外，要确保建筑物的安全性和满足使用要求，单靠设计计算是不够的，很大程度上还要依靠质量管理和施工管理以及从事上述工作的所有技术人员的素质和技术熟练程度。

结构设计的过程从大的方面看，可分以下两个阶段：

(1) 研究、调查上述的各种条件，选择出适当的结构形式；

(2) 在满足上述各种条件下，设计建筑物各个组成构件的截面。

第一阶段的内容在本书中不予介绍，第二阶段内容又可分两个方面：计算构件各截面的内力即所谓“结构分析”以及根据截面内力确定截面尺寸、选择材料和配置钢筋等所谓“截面计算”。本书主要讨论后者。

1.2 结 构 分 析

荷载或者作用力确定后，就可以据此求出作用在构件各截面上的内力，这个过程就是结构分析。通常构件是作为没有厚度的面或线来考虑的。把实际上具有厚度的构件用线和面来替换时，必须确定其计算长度。梁板的跨度、桁架的轴线等等的取法在规范一类的书中均有所规定。这样的处理必然会带来一些不准确性。

对于超静定结构计算，还需要知道组成建筑物的各个构件的刚度的比值。钢筋混凝土构件的截面内力与变形是不成比例的，因而要想正确求得各种载荷条件下各构件的刚度，实际上几乎是不可能的，目前往往仍把钢筋混凝土结构作为弹性体计算。因此，超静定结构各构件的内力计算比静定结构的内力计算更不精确。

超静定结构的另一个问题是支承条件的影响很显著，对支承情况的假定例如把它假定为固定或连续等等，同实际情况难免会有一定出入。对支座不均匀沉陷等方面假定的不正确，其影响也很大。因而有时内力计算中会存在显著的误差。但是，超静定结构有个优点，如果构件的延性很好，某

个截面即使破坏，整个构件也不会随之破坏。因此上面所讲的一些问题不一定就使得超静定结构的安全性变差，但是不应忘记，超静定结构计算中存在着种种不正确性，在设计中如何考虑这些不正确性也是今后要研究的问题。

1.3 日本的设计规范^[1]

土木建筑物应用于铁路、公路、飞机场、河川、发电、上下水道等各个方面，不仅使用范围广，而且包含了桥梁、隧道、路面、水坝、防波堤、码头、挡土墙、水闸等各类结构，所以有必要根据建筑物的使用目的、结构形式等条件合理地确定出设计用的荷载作用力及其组合，确定各个相应的容许应力以及构造细节等等。而且，因为土木建筑一般公共性高，规模也大，建筑单位主要是国家、地方公共团体、国营公司、公团等。各机构在责任范围内根据它们从事的项目已制定出各种规范和规程，如表 1-1 所示。土木工程的设计说明书就是以这些规范为根据的。

不过，这些规范中关于设计的一般事项、一般构造细节、梁板构件的设计原则、容许应力等大部分土木建筑物共同有关的事项，原则上都是按照土木学会的混凝土标准规范及预应力混凝土标准规范制定的。所以前面所说的各种规范不妨可以说是土木学会规范的分支。

在讲到各种建筑物的设计规范时，首先必须提到建筑基准法及其相应的法规。建筑基准法包括它的实施法令在内，汇集了有关设计计算的原则性内容。在设计理论上它采用的是给材料强度以安全系数的设计方法。就是说，这种方法所需要的荷载（恒载、活荷载）及外力（雪荷载、风压力、地震力），这些荷载的应力组合（长期应力、短期应力），组

表 1-1 协会、公团等部门的规范和规程
(与土木工程有关的部分)

制 定 单 位	规 范 、 规 程
日本道路协会*	公路桥规范及说明(混凝土篇) 公路桥下部结构设计指针 公路桥抗震设计指针
日本港湾协会	港湾建筑物设计基准
日本国有铁道	建筑物设计标准(钢筋混凝土建筑物和无筋混凝土建筑物, 预应力混凝土铁路桥)
日本道路公团	土木建筑通用标准说明书(设计要领I-IV)

* 适用于道路法中规定的国家高速公路、一般国家公路、都道府县和重要城镇公路上的建筑物。首都高速公路公团和阪神高速公路公团还另外分别制定了预应力混凝土设计规范、劲性钢筋钢筋混凝土设计规范、人工轻骨料混凝土设计规范。

合应力的容许应力值(长期的和短期的), 结构计算的原则, 各种不同的构造细节等原则性内容, 在建筑基准法及其实施法令中都有规定。因此, 建筑物的设计计算, 既要遵守建筑基准法等法规, 也要以日本建筑学会制定的各项设计规范为准则。对于法规中没有规定的特殊材料或新方法建造的建筑物(典型的例子如近代超高层建筑物)则须经日本建筑中心评定, 并得到建设大臣的直接批准。

日本建筑学会制定了下列有关混凝土建筑物的设计规范:

- (1) 钢筋混凝土结构计算规范和说明;
- (2) 劲性钢筋钢筋混凝土结构计算规范和说明;
- (3) 钢管混凝土结构设计规范和说明;
- (4) 预应力混凝土结构设计规范和说明;
- (5) 墙式钢筋混凝土结构设计规范和说明;

- (6) 墙式钢筋轻混凝土结构设计规范和说明;
- (7) 墙式预应力钢筋混凝土结构设计规范和说明;
- (8) 加筋混凝土砌块结构设计规范;
- (9) 填充式混凝土砌块结构设计规范和说明。

然而, 这些规范中关于荷载、外力及荷载组合, 还有各种容许应力值, 原则上都是沿袭建筑基准法等法规中所规定的数值。

1.4 容许应力设计法

长期以来通行的钢筋混凝土设计方法, 是把钢筋和混凝土都假定为弹性体, 不考虑混凝土承受拉应力, 由此计算所得的钢筋和混凝土的应力, 要小于各自的容许应力。安全性是用材料强度除以各自的安全系数 γ_m ●后得出的容许应力的形式来保证的, 从这一点讲, 往往称之为“容许应力法”。从侧重于材料假定为弹性体这一点讲, 有时也称为“弹性设计法”。这个方法非常简便, 国内外已采用了很长的时期, 在此期间, 每当发现有不妥之处, 就作些改进。日本目前还是根据这个方法进行设计的。

这种方法有不少缺点, 现在世界上多数国家已不采用。因为截面和作用于材料上的应力不一定成比例, 所以用这种方法来确保破坏时的安全度是很不方便的。与荷载有关的问题也全都归到材料的容许应力来处理, 因而不同属性的荷载, 如恒载和活荷载的不同性质就难以考虑, 荷载组合的影响也难以合理处理。

① 钢筋的安全系数约取为 2, 混凝土的安全系数约取为 3。

1.5 破损强度设计法

现在许多国家采用的所谓“破损强度设计法”就是为了克服容许应力法的缺点而提出的一种方法。这种方法规定，考虑了材料非线性性质以后求得的构件截面承载能力应大于作用于构件截面上的设计内力。安全性是通过将历来的荷载值 F_k 乘上适当大小的荷载系数 γ_f ，再以此求得截面设计内力 S_d 这种形式来保证的。从这一观点出发，该法又可称为“荷载系数设计法”。采用这种方法，对于破坏时的安全度的保证要比容许应力法可靠。荷载的特性也可以在设计中通过适当改变荷载系数 γ_f 来加以反映，可以说设计方法前进了一大步。但是这种方法中对有关材料安全性的问题也都是用荷载系数加以处理的，因此，难以在设计中合理反映材料的特性。所以，采用这种方法的美国混凝土协会建筑规范中^[2]，用截面最大承载力 R_k 乘以安全系数 ϕ （截面承载能力降低系数）作为截面最大设计承载能力 R_d ，再用 R_d 与截面设计内力 S_d 相比较，材料的特性由系数 ϕ 来反映。也就是说，截面承载能力由钢筋屈服所控制的情况，与截面承载能力由混凝土强度控制的情况相比，系数 ϕ 可取得大些^①。破损强度设计法对于确保安全性来说是一种方便的方法，但对于确保使用性的问题还需要从别的途径加以检验，这是该法的一个缺点。

1.6 极限状态设计法

可以说破损强度设计法是以确保结构的安全性为重点

-
- ① 弯曲和轴向受拉： $\phi = 0.90$ ；轴向受压（包括同时受弯）： $\phi = 0.70$ （但具有一定数量的螺旋钢筋时为0.75）；剪切和受扭： $\phi = 0.70$ ；混凝土受压： $\phi = 0.70$ ；无筋混凝土受弯： $\phi = 0.65$ 。

的，需要时再去研究使用性的问题；而容许应力法却着重于使用性，有必要时才去研究安全性问题。用一个设计体系合理地同时考虑安全性和使用性的设计方法就是极限状态设计法。

极限状态设计法是欧洲混凝土委员会在1964年开始提倡的^[3]①，以后于1970年和国际预应力混凝土协会合作公布了规范^[4]，现在英国规范也采用这种方法作为基准^[5]。可以说国际上总的趋势是向极限状态设计法方面发展。

在极限状态设计法中，通过验算两种极限状态即破坏极限状态和使用极限状态来确保结构的安全性和使用性。

破坏极限状态的安全性验算方法如图1-1所示。把材料的强度特征值 f_k 除以相应的材料强度安全系数 γ_m 求得材料强度的设计值 f_d ，再由 f_d 求出截面的承载能力 R_d ，必须确保 R_d 大于截面设计内力 S_d ，设计内力 S_d 则是根据荷载的特征值 F_k 乘以安全系数 γ_f 后得出的荷载设计值 F_d 求得的。也就是说，对荷载和材料分别取用二个分项安全系数，这是极限状态设计法的特点。由于把安全系数分为二个来考虑，使得钢筋和混凝土二种材料的不同特性问题，还有活荷载与恒载、长期荷载与地震荷载等不同性质荷载的问题，都可以得到合理的处理。

钢筋混凝土设计时，通常是由破坏极限状态的安全性确定出截面尺寸，然后再验算使用极限状态的使用性。但是对于预应力混凝土，一般是根据使用极限状态的使用性条件确定出截面尺寸，然后再验算破坏极限状态的安全性问题。

① 极限状态设计法在苏联1954年颁布的“建筑法规”(СНП)和1955年颁布的设计规范(НСТУ123-55)中已开始采用。——译者注

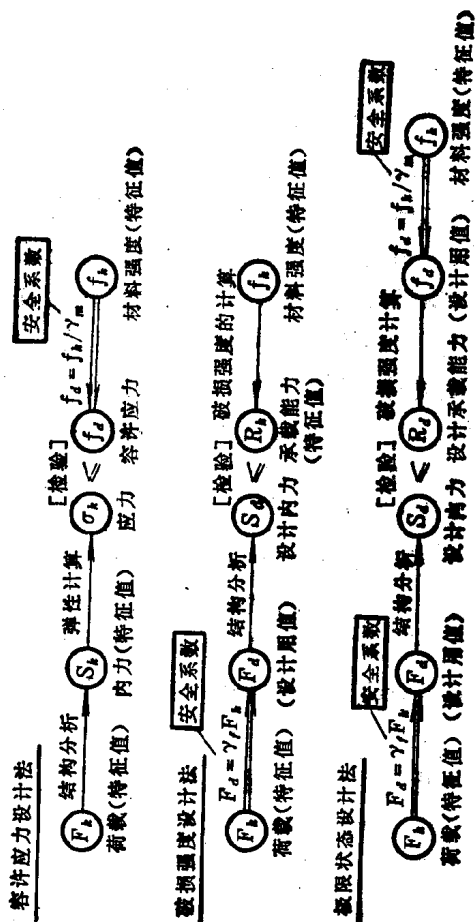


图 1-1 各种设计法验算安全性的方法

1.7 极 限 状 态

建筑物受外力作用时，根据外力的大小，对建筑物正常使用可能会产生一些不利情况，例如：

（1）过大的挠度会对美观或对建筑物的使用功能带来不利影响；

（2）钢筋锈蚀会引起过量的维修工作，建筑物的损伤也会对美观和使用功能带来不利影响；

（3）过大的振动；

（4）建筑物在荷载频繁重复作用下会产生疲劳破坏。

另外，如有特别大的外力作用时，可能会产生下列问题：

（1）某个截面上钢筋屈服，混凝土压坏；

（2）某个构件发生纵向弯曲；

（3）结构整体变成机动体系而崩溃；

（4）整个建筑物丧失稳定。

如前所述支配上述建筑物使用性能和结构安全的状态称为极限状态，如果超越上述极限状态，就认为建筑物或者它的组成构件已不能充分适应其使用目的了。

极限状态一般分为二种，对应于最大承载能力的破坏极限状态和对应于使用性和耐久性的使用极限状态。所谓破坏极限状态是指不再能抵抗荷载的微小增加的状态。所谓使用极限状态是指出现了不再能满足使用要求而需加以维修的状态，这意味着产生局部的损伤、过大的裂缝、过大的挠度或使工作人员产生不安感的振动等。另外，在建筑物的耐久性方面，通常还要在细节设计、材料选择、施工方法和管理上给予注意，必要时还要有适当的保养和维护制度来加以保证。