

# STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 40 期, 2013 年 12 月)  
日本钢铁联盟与日本钢结构协会会刊

## 中文版

*STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW* 是每年出版 3 期的英文版刊物, 面向全球各相关企业与部门发行。本刊物的目的是介绍建筑、土木工程领域的钢结构相关规格、规范以及先进的项目实例、最新施工技术及材料等。

为了更便于中国的读者理解这些内容, 我们以文章部分为中心编辑了中文版, 与英文版一并提供。有关文中的图表与照片, 我们仅翻译、刊载了标题。有关具体内容, 请参照英文版。另外, 也请参照英文版确认技术性说明和具体内容。

## 第 40 期 (2013 年 12 月) : 目录

---

特刊: 耐火技术

建筑与耐火性能——日本耐火设计的发展历程 ---	1
适用于钢骨结构的耐火被覆材料 -----	4
发生火灾时钢架结构的冗余度 -----	6
关于钢结构的火灾调查 -----	9
东京晴空塔的耐火设计 -----	12
耐火钢的概要 -----	15
建筑技术系列讲座 (2) 现场焊接 -----	17
日本钢铁联盟海外委员会的活动介绍 -----	封底

---

注: 页数为英文版第 40 期的页数

中文版: ©一般社团法人日本钢铁联盟 2013

邮政编码 103-0025

东京都中央区日本桥茅场町 3-2-10

一般社团法人 日本钢铁联盟

传真: 81-3-3667-0245

电话: 81-3-3669-4815

电邮地址: sunpou@jisf.or.jp

URL <http://www.jisf.or.jp>

(1~3 页)

## 建筑与耐火性能——日本耐火设计的发展历程

东京理科大学 火灾科学研究中心  
教授 河野 守

### 为什么建筑物需要具备耐火性能

建筑物发生火灾的频度不高，几乎所有的建筑物直到其寿命结束一次都没有发生过火灾。然而即使可能性较低，一旦发生火灾，将对建筑物的内部和周围造成很严重的恶劣影响。为了将该恶劣影响限制在允许范围，建筑物需要具备耐火性能。

目前我们可以认为，建筑物必须能够针对火灾发挥以下功能。

- (f1) 建筑物内的人员应可安全撤离。
- (f2) 如果建筑物内的部分人员无法撤离，应能够由消防人员搜索、救助。
- (f3) 如果建筑物或其一部分倒塌，不得对周围的建筑物造成危害。
- (f4) 不得因从建筑物开口部分等产生的放射造成周围的建筑物着火。
- (f5) 应能够保护放置在建筑物内的财产。

为了发挥这些功能应采取各项措施，包括避免发生火灾、将火灾控制在一定的范围以及避免因火灾产生的热量影响造成结构体的破坏和倒塌等。关于耐火性能，一般可以列举 3 个主要性能，即 Load-bearing Capacity(承载能力,简称 R)、Insulation(隔热性能,简称 I)以及 Integrity(完整性,简称 E)。为了将火灾控制在一定的范围，隔热性能和完整性至关重要；为了防止结构体的破坏和倒塌，承载能力发挥巨大作用。例如，为了使建筑物内的人员安全撤离，必须保证包括至完成撤离为止的撤离线路在内的建筑物的稳定性。此外，为了将火灾的蔓延控制在 fire compartment(防火分区)内，对于作为分区限界的墙壁和楼板要求具备隔热性能和完整性。

### 日本耐火设计的发展变化

使建筑物具备必要的耐火性能称为耐火设计，

即耐火设计是根据对建筑物各部分的要求保证必要的上述 3 个性能的设计。在日本，以于二次世界大战后的 1950 年制定的建筑基准法为中心，建筑规程在很大程度上决定了耐火设计的方法。虽然建筑基准法经过了多次修正，但在 2000 年修正以前与以后，有关耐火设计的规定具有较大不同。

建筑基准法考虑建筑物的用途、建设地点以及布局等，如果对火灾无法发挥上述 (f1)~(f5) 性能而产生的影响程度较高，则对建筑物要求按耐火建筑物处理。2000 年以前，作为适当的方法，对立柱、横梁、楼板、墙板等主要结构体可以仅采用由阻燃性材料构成的耐火结构完成的方法。作为更加具体的要求，应根据建筑物的楼层对主要结构体的各个部位，采用具备由表 1 对承载能力规定的耐火时间的耐火结构(此外，对楼板、墙板以及屋顶也要求完整性和隔热性)。这种方法被称为符合规格要求。2000 年以后，建筑基准法对性能做出规定，采用对预测发生的火灾已确认可承受直到该火灾结束的主要结构体，也可构成耐火建筑物。作为这种确认方法，法令规定了耐火性能验证法。另外，如果开发更新的技术和性能验证方法应用于建筑物，由于按照法令规定的计算步骤无法确认耐火性能，因此也可根据由专家组成的审查委员会做出的性能评估结果，由国土交通大臣认定其合法性。

也就是说，2000 年以前，除部分例外之外只有符合规格，而 2000 年以后，除了符合规格外，通过性能验证也可以采用(参照图 1)。

表 1 规定的耐火时间

图 1 耐火性能与建筑基准法

### 耐火设计不完善导致的大规模建筑物倒塌的事例

即使是外观非常漂亮的超高层建筑物，如果耐火设计不完善，将导致发生严重的后果。以下介绍笔者等调查的相关事例。

位于西班牙首都马德里市中心 AZCA 地区的 32 层超高层建筑(Winsor 大厦)在 2005 年 2 月 12 日深夜(当地时间)发生了火灾。火势迅速向上层蔓延，同时也向下层蔓延，几乎波及到整个建筑。另外，中间层以上的上部构架发生大规模倒塌，大量

幕墙、桁架以及内部物体等散落在建筑物的周围。这次火灾不仅造成作为受灾建筑物 Winsor 大厦的损毁，而且导致商务中枢地区的周边道路切断和地铁停运等，对西班牙首都的城市功能产生了重大影响。损毁的总体状况如照片 1 所示，该照片拍摄于火灾发生后大约一个半月的 3 月下旬。Winsor 大厦的立柱、横梁、楼板以及承重墙几乎全部采用了钢筋混凝土结构，对作为宽敞的办公区间端部的外周部分采用钢骨结构的立柱支撑。设备层设在中间的 2 处位置，建筑物分为低层部分（至地上 3 层）、中层部分（4~16 层）以及高层部分（17 层以上）。结构图如图 2 所示。图 3 是包括起火层（21 层）在内的 17~26 层的平面图。

Winsor 大厦作为符合当时的防火标准的建筑物于 1976 年竣工。然而如照片 1 所示，高层部分的建筑物外周部分与楼板均发生了大规模塌落，同时设备层上下的中间层部分也全部烧毁。作为目前的耐火设计，即使万一不幸发生火灾，在设计上将火灾限制在防火分区内，避免向数个楼层同时蔓延，并且使立柱、楼板等主要结构体不容易坍塌。但是因为 Winsor 大厦按照较早的建筑规格标准设计，因此对外周部分的钢骨支柱没有采用耐火被覆。另外，作为构成层间防火分区重要部分的楼板与外壁板的连接部分采用了如图 4 所示的易燃并使火焰贯通的结构等，没有进行妥善的耐火设计。因此，火灾几乎蔓延到了全体建筑物，导致发生了大规模的坍塌。由于火灾发生在星期六的深夜，大厦内仅有很少人员，没有发生人员罹难可算是不幸中的万幸。

照片 1 在火灾发生大约一个半月后拍摄的损毁总体状况

图 2 结构图

图 3 平面图

图 4 外周部分的断面图

## 为了提高建筑物的耐火性能

本文对建筑物需要具备耐火性能的理由、日本的耐火设计的发展历程以及由于耐火设计的不完善导致的超高层建筑物的大规模倒塌的事例进行了简要论述。作为日本目前的耐火设计，关于对火灾实现安全的建筑物的目标已经基本完成。然而为了更

加完善的耐火设计以及其运用，今后我们仍需要考虑以下问题进行研究和开发。

- 掌握各种钢材在高温下的特性
- 同时考虑施工性、耐久性以及环境问题开发耐火被覆
- 推进耐火性冗余优异的架构计划
- 用于确认性能的可靠的标准化试验方法的开发
- 建立评估建筑物耐火性能的社会性机制（技术人员、评估人员）



（4~5 页）

## 适用于钢骨结构的耐火被覆材料

日本建筑综合试验所 耐火防火实验室

田坂 茂树

### 耐火被覆材料的现状

由于钢结构的立柱及横梁其自身没有耐火性能，因此对其表面需要采用某种被覆材料。目前，这种被覆材料分为喷覆材料、涂敷材料、成型板以及包覆材料等，通常采用单一材料或积层材料进行被覆。但是，对于与外墙部分的连接处，由于外墙与立柱或横梁构件之间没有距离，因此仅采用单一材料或积层材料将发生无法进行被覆施工的问题。为了解决这个问题，需要采用将外墙材料作为钢结构的立柱及横梁被覆材料的一部分进行施工的工艺，是综合不同种类工艺的耐火被覆工艺。

在日本，作为耐火结构使用时，对于能否满足建筑基准法要求的性能，在指定的性能评估机构进行试验和评估，获得大臣的认定。

目前，在国土交通省的网站，公布了分别获得大臣认定的项目，认定的件数如表-1 所示。其中合成耐火被覆结构的认定数量大约占半数。另外，发泡性耐火涂料被覆对于立柱和横梁也分别完成认定 35 件和 19 件。

在日本的实际施工中，喷覆岩棉以及硅酸钙板较多采用，另外对于合成耐火被覆结构，喷覆岩棉与预制混凝土板、ALC 板等的合成耐火被覆工艺较多。

表 1 国土交通省大臣认定数量（2013 年 9 月当时公布）

### 耐火被覆材料的分类

目前，作为国土交通省大臣的认定，大致对以下两种结构进行认定。

- ①对于立柱的 4 个面、对于横梁除了楼板面以外的 3 个面采用单一材料或积层材料被覆的结构。
- ②对于立柱将 1 个面作为外墙材料、将其余的 3 个面采用单一材料或积层材料被覆的结构，以及对于横梁除楼板面外将 1 个面作为外墙材料、将其余的 2 个面采用单一材料或积层材料被覆的结构。

我们将②称为“合成耐火被覆结构”，这种结构如图-1 及图-2 所示，将外墙材料作为被覆材料的一部分，从而省略部分被覆材料。对外墙材料与被覆材料的连接部分采用衬垫材料、肋材以及加固材料进行加固，消除间隙等。

图-1 钢立柱的合成耐火被覆结构例

图-2 钢横梁的合成耐火被覆结构例

### 耐火被覆材料的种类

耐火被覆材料可大致分为 4 种。

#### ◆喷覆耐火被覆材料、涂敷耐火被覆材料

这种工艺将喷覆岩棉、石膏系材料、水泥系材料等直接向钢材喷覆或涂敷。一般较多采用湿式材料，喷覆岩棉被覆材料的施工例如照片-1 所示。

照片-1 喷覆岩棉被覆材料的施工例

#### ◆包覆耐火被覆材料

这种工艺采用岩棉毡、陶瓷棉毡等无机纤维毡对钢材进行包覆。一般较多采用干式材料，使用固定板等固定。无机纤维毡被覆材料的施工例如照片-2 所示。

照片-2 无机纤维毡被覆材料的施工例

#### ◆成型耐火被覆材料

这种工艺将加入纤维的硅酸钙板、石膏板以及

木质材料等板状产品安装或贴在钢材上。一般较多采用干式材料，使用固定材料以及粘接剂等固定。加入纤维的硅酸钙板被覆的施工例如照片-3 所示。

照片-3 加入纤维的硅酸钙板被覆的施工例

#### ◆耐火涂料

这种工艺以发泡性涂料为基材向钢材直接涂敷底层、表层等。发泡性耐火涂料被覆的施工例如照片-4 所示。

照片-4 发泡性耐火涂料被覆的施工例

此外，还有采用热膨胀性板材等其他被覆材料。另外，也有由数种材料组合构成的被覆材料。



（6~8 页）

## 发生火灾时钢架结构的冗余度

东京理科大学 研究生院 国际火灾科学研究科  
教授 池田 宪一

### 关于发生火灾时的构架冗余度

对发生火灾时构架冗余度的评估与常温时的评估不同，需要考虑承受的外力作用和构件的弹性极限应力特性的变化。

首先，对承受的外力作用应考虑的问题是火灾发生在建筑物的一部分。如图 1 所示，耐火设计与抗震设计的外力不同。垂直载荷作为地球引力作用于建筑物总体，发生地震时的载荷使地面振动，该能量通过建筑物的基础作用于建筑物总体。与此相比，火灾通常在建筑物的一部分发生并被扑灭，不会蔓延到建筑物总体，所以火灾作为温度载荷仅作用于建筑物的一部分。因此，位于发生火灾空间内的构件因火灾的热量而成为高温状态，发生火灾部分以外的构件不受火灾产生的热量影响。

其次，对发生火灾时构件的弹性极限应力特性应考虑的问题是结构构件的温度因火灾产生的热量而上升，随着该温度的上升，钢构件的强度和刚性

降低，并同时发生热膨胀。发生火灾时建筑结构体状态变化的概念如图 2 所示。构件在火灾发生的初期产生热膨胀导致构架变形。通常，立柱的长度为层高的程度，但钢构架的横梁长度为其数倍，因此其膨胀量也较多。横梁的热膨胀发生在轴向，而对此束缚的立柱抵抗力为弯曲刚性，因此立柱容易发生弯曲变形。由于这个原因，考虑构架在火灾中的稳定性时，一层横梁的总长是关键的要害。此后，随着温度进一步上升，横梁的刚性降低，受垂直载荷的作用开始发生挠曲。在此期间，立柱也在火灾的热量影响下发生弹性极限应力降低。

图 1 耐火设计与抗震设计的不同

图 2 发生火灾时建筑结构体的状态变化概念

作为通常的构架，即使发生火灾的构件群丧失弹性极限应力，但由于其周围没有发生火灾的构件群没有丧失弹性极限应力，所以通过应力重新分配可避免构架总体倒塌。图 3 是构架的应力重新分配示意图。以如图 3 所示的构架为例，即使在下层楼层发生火灾、部分立柱的弹性极限应力降低，其立柱承受的轴力通过上部构架的应力重新分配承担，从而避免了构架的倒塌。立柱与横梁的连接为刚性连接时便于完成应力的重新分配。如果上部有数根横梁、横梁的弯曲弹性极限应力的总和有余量，则构架倒塌的可能性进一步降低。

由于日本的建筑物需要进行抗震设计，因此柱梁连接为刚性连接。此外，为了处理地震产生的水平力，使立柱及横梁具备用于支撑垂直载荷的弹性极限应力以上的弹性极限应力。一般在地震后发生火灾，但在发生地震的同时不会发生对建筑物的结构稳定性构成威胁的严重火灾。反之，在发生对结构体的稳定性构成威胁的严重火灾的同时发生对结构体的结构稳定性构成威胁的地震的发生可能性也极小。因此，为了抗震而采用的构件强度的增加成为对发生火灾时架构的倒塌增加安全率的因素。在一般情况下，按地震力决定的建筑物的耐火性能较高，可以说发生火灾时的架构冗余度较高。

作为实际在性能方面的耐火设计，充分考虑这种发生火灾时的构架应力重新分配进行，这时，不仅是火灾的最终状态，也要考虑火灾的状况变化进

行讨论。最近，建筑物的平面、立面结构的复杂性增加，构架形式也有复杂的情况，因此对于这种情况，尤其需要也考虑发生火灾时的应力变形状态随时间的变化进行构架设计。

图 3 构架的应力重新分配示意图

### 实际的建筑物设计事例

充分利用发生火灾时构架冗余度的耐火设计例如图 4 所示。建筑物是对外周构架采用斜向柱的大型构架。作为横梁等水平构件，由于构件丧失弹性极限应力将导致楼板坍塌、落下，因此需要采用防火被覆，在发生火灾时保持弹性极限应力，但立柱等垂直构件即使在发生火灾时丧失弹性极限应力，其承担的应力可向构成大型构架的斜向柱重新分配。作为该设计例，通过讨论确认应力的重新分配，部分立柱的耐火被覆被省略。在讨论中，确认了随着火灾的火势蔓延，立柱发生热膨胀时的周边构架的应力状态和丧失弹性极限应力时周边构架的应力状况两方面的情况。对于大型构架，可向弹性极限应力较大的斜向柱比较容易地进行该立柱的应力重新分配，因此大多使这种耐火设计成为可能。

图 4 部分构件因火灾丧失了弹性极限应力时的构架状态（提高变形倍率表示）

### 结语

作为通常的建筑物，通过保证构件的耐火性能，保证发生火灾时全体构架的耐火性能，进行这种“构件级别”的耐火设计，一般的构架通过这种设计方法保证发生火灾时构架的耐火性能。然而虽然作为构件级别确认了发生火灾时的弹性极限应力，但也有在发生如同世贸中心的 WTC7 那样的火灾时的构件热膨胀成为起因导致建筑物总体倒塌的情况。在钢结构建筑物的设计中，需要考虑发生火灾时的冗余度进行结构设计。



(9~12 页)

## 关于钢结构的火灾调查

东京理科大学 研究生院 国际火灾科学研究科  
教授 池田 宪一

### 关于火灾的调查

火灾产生的热量对建筑物的一部分造成损伤。由于损伤的只是建筑物的一部分，因此发生过火灾的建筑物大多重新使用。为了重新使用建筑物，需要掌握火灾的受损程度，验证该建筑物的各项性能是否可以满足重新使用的要求。

火灾的调查人员对火灾受损的程度进行诊断，针对重新使用需要进行怎样的修复和加固，从工程的角度提出方案。关于将因火灾受损的建筑物恢复到何种程度的目标性能，将由所有人以及管理机构和用户决定。如果属于竣工前的建筑物，则需要满足签订合同时承诺的性能。另一方面，如果属于接近建筑物的寿命终点、近期计划重新建造的建筑物，则也可能设定满足数月使用即可的目标性能。该目标性能一般大多设定恢复到建筑物受损前的状态，日本建筑学会着眼于该目标性能，出版了《建筑物的火灾受损诊断及修复和加固方法纲要（草案）及解说》。

### 火灾调查的流程

从火灾受损调查开始直到修复和加固施工的流程如图 1 所示。火灾受损调查由以下 3 个部分构成：在前往现场之前进行“预备调查”，收集图纸等建筑物的信息和报刊等有关火灾的信息；然后进行“第一次调查”，仅通过目视观察在火灾现场的残留物状态；进而根据需要进行“第二次调查”，获取构件实施试验。根据这些调查结果，诊断因火灾造成的受损范围以及其程度。根据火灾受损诊断结果制定修复和加固计划，这时设定修复目标性能，选择实现该性能的工艺进行施工。

钢骨结构的火灾受损程度判定流程如图 2、图 3 所示。对于钢骨结构，不仅因火灾的热量造成材料强度降低，而且构件的热膨胀导致构件及构架的变形也成为重新使用的重要判断因素。因此，钢骨构件的受热温度推测和构件的变形量测定是主要的调

查项目。调查构件受热温度的目的是推测计划重新使用的钢骨构件的材料特性变化。高强度钢材和高强度螺栓等在制造过程中提高强度的钢材在较低的温度下会发生机械特性的变化。此外，即使是几乎没有受到火灾热量影响的构件，也有因其他构件的热膨胀力而发生较大变形。对于钢骨结构体，通过上述步骤调查受热温度和构件变形，开展火灾受损诊断。

图 1 从火灾受损调查开始直到修复和加固施工的流程

图 2 根据推测受热温度进行钢骨结构的修复和加固的流程

图 3 根据变形量进行钢骨结构的修复和加固流程



(12~14 页)

## 东京晴空塔®的耐火设计

日建设计 结构设计部

染谷 朝幸

东京晴空塔的最高点高度为 634m，其主要用途是电波发射塔以及展望塔。按照建筑法规对该塔的分类如图 1 所示，属于结构体内的建筑物。此外，对建筑物总体也可分为以商业设施为中心的低层部分以及以展望台为中心的塔体部分。

建筑物发生火灾时，不仅应使建筑物内的人员可安全撤离，而且在撤离后发生最严重的火灾时，根据建筑物的规模及地点，如果很快发生倒塌则会产生恶劣影响。防止这种倒塌就是耐火设计的任务。

作为耐火设计，包括最严重的火灾等对火灾的设定非常重要。火灾设定可分为建筑物内部火灾和外部火灾。对本建筑物也同样，设定了内部火灾和外部火灾两种类型，采用耐火被覆等措施，防止发生结构不稳定。

图 1 建筑物与结构体的划分以及建筑物内的塔体部分与低层部分

## 东京晴空塔独特的耐火设计

本建筑物针对法令要求的火灾设定进行了充分安全的耐火设计。但是，由于本建筑物属于重要且巨大规模的建筑，因此在法令提出的要求之上进行设定，是可应对万一发生事态的建筑物。

超出常规的设定之一是按照“城区火灾”进行的耐火设计。“城区火灾”是设定建筑物周围地区发生严重火灾，即使发生这种极限状态在结构上也不会出现问题，按照这种方法进行了耐火设计。以下介绍这方面的内容。

另外，作为东京晴空塔别具一格的是可以观赏脚下风景的展望台“玻璃楼板”。万一该“玻璃楼板”在火灾中脱落，可能会对周围地区带来严重的影响。对此，我们将“玻璃楼板”实物放入耐火炉进行耐火试验，验证能否承受规定的火灾，获得了可靠性良好的确认结果，关于这一点也将在以下介绍。

## 塔体部分对城区火灾的耐火验证

关于城区火灾，首先设定该地区为何种程度的阻燃化，根据该阻燃化率设定在场地附近发生的火灾。针对该火源，按照风速等要素计算塔体部分的受热温度，验证钢骨在该温度下的稳定性。按照设定火灾进行受热温度计算和其事例如图 2 所示，图 3 是钢骨验证的设定。验证结果表明，即使设定发生城区火灾，各结构构件的状态在弹性极限以下，保证了结构的稳定性。

图 2 设定火灾产生的受热温度计算模型与其解析例（风速 0.5m/s）

图 3 钢骨验证的设定（热膨胀的构想和变形角的计算示意）

## 玻璃楼板的耐火试验概要

玻璃楼板的位置和断面如图 4 所示。下侧为外装用、上侧为内部用的玻璃楼板，对其检验万一发生火灾时的状况。将内部用玻璃楼板实物放入加热炉进行耐火试验。试件如照片 1 所示。试验采用在玻璃楼板上放置重物的状态下加热的载荷加热试验。另外，照片 1 中的 5 根白色圆棒是变形测定器具的被覆材料。

加热时的状态如照片 2 所示。根据内部火灾的设定，虽然火灾持续时间为 36 分钟，但试验进行了 1 小时的标准加热。加热后的试件如照片 3、4 所示。即使超过设定的内部火灾持续时间进行载荷加热试验，4 层积层中也只有上侧 2 层发生破裂，获得了对于火灾足够的安全性确认。

图 4 玻璃楼板的位置和试件的设定

照片 1 试件的照片

照片 2 加热时的试件（通过试验炉观察窗）

照片 3 加热后的试件

照片 4 加热后（移除上侧 2 片后确认第 3 片没有破碎）



（15~16 页）

## 耐火钢的概要

日本钢铁联盟  
防火耐火委员会

建筑基准法规定，日本的主要以不特定多数人员利用的特殊建筑物（公寓住宅、酒店等）和城区内的建筑物为耐火建筑物。对耐火建筑物规定了应承担的义务，即对立柱、横梁等主要结构体采用一定的规格、或通过计算验证。作为符合前者的一定规格的一种方法是采用耐火被覆工艺，防止钢材温度在发生火灾时上升。由于发生火灾时的温度一般约为 1,000°C，因此对于普通钢材需要采用耐火被覆隔热使温升不超过 350°C。但是对于耐火钢材可采用不超过 600°C 温升的隔热，可大幅度减轻耐火被覆。此外，根据建筑物的火灾条件和设计条件，如果发生火灾时的钢材温度不超过 600°C，也可以无被覆使用。因此，采用耐火钢材可降低施工费用、缩短工期以及有效利用室内面积。

耐火钢是适量添加 Mo、Nb、Cr 等合金元素并控制加工热处理条件大幅度提高了高温耐力的钢材，高温耐力的提高主要通过碳氮化物的析出及分散强化以及合金元素的溶解强化实现。耐火钢具备以下特点：

- (1) 高温耐力高，600℃时的耐力（0.2%偏差）为常温规格值的 2/3 以上。
- (2) 常温下的性能与各种结构用钢材的规格一致。
- (3) 具备与普通钢同等以上的焊接性能。

另外，作为规定了高温性能的相关规格于 2012 年 4 月发行了 ASTM A 1077 Standard Specification for Structural Steel with Improved Yield Strength at High Temperature for Use in Buildings (改善了高温下屈服强度的建筑物用结构钢标准规范)，在采用时需要事前向各制造厂商询问能否制造。

### 耐火钢的材料特性

关于高温耐力的温度依存性，耐火钢与普通钢的比较如图 1 所示。普通钢的耐力在 350℃左右降低到常温规格值的约 2/3，但耐火钢在到达 600℃时可保持 2/3 以上，大幅度优于普通钢。关于高温弹性系数的温度依存性，耐火钢与普通钢的比较如图 2 所示。与普通钢相比，耐火钢在 550℃~700℃时弹性系数的降低较小。

图 1 高温耐力的温度依存性

图 2 高温弹性系数的温度依存性

### 耐火钢的构件特性

为了确认耐火钢的高温特性也可以在立柱和横梁等构件方面发挥作用，我们实施了载荷加热试验，以下介绍该试验内容。本试验采用 ISO834 规定的立柱载荷加热试验，使用建设省建筑研究所的立柱用大型耐火炉完成。试件为图 3 所示的 H-300×300×10×15，长度 3.5m。此外，采用了毯型耐火被覆。为了进行比较，我们也对相同形状和普通钢进行了试验。通过试验获得的加热时间—钢材温度的相关数据如图 4 所示。与普通钢相比，耐火钢的损毁时间较长，损毁温度也较高。在构件级别也同样，与普通钢相比发挥了优异的高温性能。

图 3 试验概要

图 4 加热时间—钢材温度关系

### 耐火钢的连接材料

焊接耐火钢时，为了保证高温时与母材同等以

上的强度而提供耐火钢用焊接材料。使用该耐火钢用焊接材料的焊接接头部件的特性与普通钢相比为同等以上，高温抗拉特性也是与母材同等以上的数值。

此外，关于采用耐火钢的主要结构体的高强度螺栓连接部分，为了保证与构件同等以上的强度而提供耐火钢用高强度螺栓。高强度螺栓的连接部分包括耐火钢材用扭剪型高强度螺栓、耐火钢材用高强度六角螺栓以及耐火钢材用热浸镀锌高强度螺栓，施工方法与普通高强度螺栓相同。高强度螺栓材料的抗拉试验结果例如图 5 所示，与普通高强度螺栓相比，在 600℃时具备约 2 倍的耐火性能。

图 5 高强度螺栓材料的抗拉试验结果



(17 页~18 页)

## 焊接与施工管理的基础（二）：现场焊接

信州大学工学部建筑学科

教授 中込 忠男

日本频繁发生大地震，抗震设计非常重要。另外，有时焊接连接部位成为破坏的起点，导致建筑物倒塌。上次我们以焊接的施工管理为中心，论述了建筑钢骨与力学性能相关的重要事项，本次将针对现场焊接的课题，重点论述其问题点和对策。

### 现场焊接

目前，对建筑物采用工厂焊接（无扇形切角工艺）和现场焊接（扇形切角工艺）两种方法，在日本广泛采用工厂焊接方法。这些焊接例分别如图 1、图 2 所示。扇形切角工艺在施工时垫板位于外侧，坡口可朝向内侧，因此无论在现场还是工厂都可焊接，与此相比，无扇形切角工艺将坡口设在外侧，因此只能朝下焊接，无法在现场使用，并且具有垫板位于内侧的特性。另外对于大型建造物，将在工厂焊接的构件运送到现场采用无扇形切角工艺较为困难，因此采用在现场焊接的扇形切角工艺。但是，钢结构建筑物承受诸如地震等巨大外力时，与工厂

施工型无扇形切角工艺相比，梁腹部分存在断面缺损（扇形切角）的现场焊接型由于在扇形切角底部发生应力集中，耐力及变形能力非常低。

## 对策

如上所述，进行现场焊接时，耐力及变形能力降低，对此需要采取对策提高变形能力。该对策的一部分如下所示。此外，用于实验的试件形状以及试件设置图如图 3 所示，表 1 是该实验结果的一览表，在各次实验中的现场型扇形切角的载荷变位关系如图 4、5、6 所示。

### ◆开孔法兰工艺

该工艺的目的是，将柱梁焊接部位的应力分散到设在法兰上的开孔，从而减轻横梁端部的应力。形状如图 7 所示，载荷变位关系如图 8 所示。

### ◆采用梁腋的法兰扩宽

这种做法的目的是，将横梁连接部位扩宽，增加法兰的截面积，降低发生在横梁端部的应力，同时将最大应力位置向横梁母材侧移动。形状如图 9 所示，载荷变位关系如图 10 所示。

### ◆对扇形切角底部采用加固焊道工艺

该工艺的目的是，对在无扇形切角工艺中成为破坏起点的扇形切角底部采用加固焊接，从而缓和应力集中、提高变形能力。形状如图 11 所示，载荷变位关系如图 12 所示。此外，本试验的尺寸等虽然相同，但试验方法与上述两项不同，进行了三点弯曲试验。

## ηs 计算方法

承受反复弯曲的钢构件的一般性 P-δ 关系如图 13 所示。构架曲线指超过以往钢构件发挥的最大耐力的负荷范围部分。根据以往的研究，将该构架曲线连接合成后，呈现与单调加载的钢构件的 P-δ 曲线等价，因此可成为评估承受诸如地震载荷等随机外力的钢构件变形性能的适当指标。构架曲线的能量吸收弹性极限应变能 (Ws) 的 2 倍数除以 (cPp × cδp) 获得累积塑形变形倍率 ηs，将其作为变形能力的指标使用。

## 总结

通过表 1 可以看出，现场型的变形能力较低，

约低 1~3，对此采取对策后得到了具备 7~12 的足够变形能力的结果。此外，工厂型无扇形切角的变形能力为 6.9，因此与采取本文介绍的对策时具备同等以上的能力。

图 1 工厂焊接 无扇形切角

图 2 现场焊接

图 3 试件形状及试件设置图

图 4 现场型扇形切角载荷变位关系

图 5 现场型扇形切角载荷变位关系

图 6 现场型扇形切角载荷变位关系

图 7 开孔法兰

图 8 开孔法兰载荷变位关系

图 9 梁腋

图 10 梁腋载荷变位关系

图 11 加固焊道

图 12 加固焊道载荷变位关系

图 13 构架曲线的计算方法

表 1 实验结果一览表



(封底)

## 日本钢铁联盟海外委员会的活动介绍

日本钢铁联盟海外委员会以推进钢结构在海外的普及为目的，介绍日本的优异钢材和其利用技术等，积极开展各项活动。以下介绍本委员会最近开展的主要活动。

### 赴柬埔寨进行当地调查

迄今为止，我们已三次前往柬埔寨当地，针对该国的经济形势、基础设施建设的状况、钢结构普及方面的课题以及对钢铁联盟的要求进行了当地调查。去年，由该国公共事业运输部和柬埔寨工科大学共同主办，并得到了日本国大使馆的协助，举行了“2012 钢结构先进技术会议”，200 多名政府及民营企业的技术人员济济一堂，盛况空前。这次会议也得到了与会人员的高度评价，问卷调查结果表明，90%以上的人员希望下次继续参加。

照片 去年 12 月在金边首次举办的技术讲习会

### 赴缅甸进行当地调查

继去年访问仰光之后，今年 7 月我们进一步来到奈比多，包括仰光在内，共访问了缅甸的 6 个相关政府机构，进行了意见交换。各政府机构均对钢铁联盟的普及活动寄予了高度期待，今后，本委员会将继续开展在该国的调查活动。

照片 在当地进行意见交换