

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 40 期, 2013 年 12 月)
日本鋼鐵聯盟與日本鋼結構協會會刊

中文版

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW 是每年出版 3 期的英文版刊物，面向全球各相關企業與部門發行。本刊物的目的是介紹建築、土木工程領域的鋼結構相關規格、規範以及先進的專案實例、最新施工技術及材料等。

為了更便於臺灣和香港的讀者理解這些內容，我們以文章部分為中心編輯了中文版，與英文版一併提供。有關文中的圖表與照片，我們僅翻譯、刊載了標題。有關具體內容，請參照英文版。另外，也請參照英文版確認技術性說明和具體內容。

第 40 期 (2013 年 12 月) : 目錄

特刊：耐火技術

建築與耐火性能——日本耐火設計的發展歷程	1
適用於鋼骨結構的耐火被覆材料	4
發生火災時鋼架結構的冗餘度	6
關於鋼結構的火災調查	9
東京晴空塔的耐火設計	12
耐火鋼的概要	15
建築技術系列講座 (2) 現場焊接	17
日本鋼鐵聯盟海外委員會的活動介紹	封底

注：頁數為英文版第 40 期的頁數

中文版：©一般社團法人日本鋼鐵聯盟 2013

郵遞區號 103-0025

東京都中央區日本橋茅場町 3-2-10

一般社團法人 日本鋼鐵聯盟

傳真：81-3-3667-0245

電話：81-3-3669-4815

電郵地址：sunpou@jisf.or.jp

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

(1~3 頁)

建築與耐火性能——日本耐火設計的發展歷程

東京理科學大學 火災科學研究中心
教授 河野 守

為什麼建築物需要具備耐火性能

建築物發生火災的頻度不高，幾乎所有的建築物直到其壽命結束一次都沒有發生過火災。然而即使可能性較低，一旦發生火災，將對建築物的內部和周圍造成很嚴重的惡劣影響。為了將該惡劣影響限制在允許範圍，建築物需要具備耐火性能。

目前我們可以認為，建築物必須能夠針對火災發揮以下功能。

- (f1) 建築物內的人員應可安全撤離。
- (f2) 如果建築物內的部分人員無法撤離，應能夠由消防人員搜索、救助。
- (f3) 如果建築物或其一部分倒塌，不得對周圍的建築物造成危害。
- (f4) 不得因從建築物開口部分等產生的放射造成周圍的建築物著火。
- (f5) 應能夠保護放置在建築物內的財產。

為了發揮這些功能應採取各項措施，包括避免發生火災、將火災控制在一定的範圍以及避免因火災產生的熱量影響造成結構體的破壞和倒塌等。關於耐火性能，一般可以列舉 3 個主要性能，即 Load-bearing Capacity(承載能力，簡稱 R)、Insulation (隔熱性能，簡稱 I) 以及 Integrity (完整性，簡稱 E)。為了將火災控制在一定的範圍，隔熱性能和完整性至關重要；為了防止結構體的破壞和倒塌，承載能力發揮巨大作用。例如，為了使建築物內的人員安全撤離，必須保證包括至完成撤離為止的撤離線路在內的建築物的穩定性。此外，為了將火災的蔓延控制在 fire compartment (防火分區) 內，對於作為分區限界的牆壁和樓板要求具備隔熱性能和完整性。

日本耐火設計的發展變化

使建築物具備必要的耐火性能稱為耐火設計，

即耐火設計是根據對建築物各部分的要求保證必要的上述 3 個性能的設計。在日本，以於二次世界大戰後的 1950 年制定的建築基準法為中心，建築規程在很大程度上決定了耐火設計的方法。雖然建築基準法經過了多次修正，但在 2000 年修正以前與以後，有關耐火設計的規定具有較大不同。

建築基準法考慮建築物的用途、建設地點以及佈局等，如果對火災無法發揮上述 (f1) ~ (f5) 性能而產生的影響程度較高，則對建築物要求按耐火建築物處理。2000 年以前，作為適當的方法，對立柱、橫樑、樓板、牆板等主要結構體可以僅採用由阻燃性材料構成的耐火結構完成的方法。作為更加具體的要求，應根據建築物的樓層對主要結構體的各個部位，採用具備由表 1 對承載能力規定的耐火時間的耐火結構 (此外，對樓板、牆板以及屋頂也要求完整性和隔熱性)。這種方法被稱為符合規格要求。2000 年以後，建築基準法對性能做出規定，採用對預測發生的火災已確認可承受直到該火災結束的主要結構體，也可構成耐火建築物。作為這種確認方法，法令規定了耐火性能驗證法。另外，如果開發更新的技術和性能驗證方法應用於建築物，由於按照法令規定的計算步驟無法確認耐火性能，因此也可根據由專家組成的審查委員會做出的性能評估結果，由國土交通大臣認定其合法性。

也就是說，2000 年以前，除部分例外之外只有符合規格，而 2000 年以後，除了符合規格外，通過性能驗證也可以採用 (參照圖 1)。

表 1 規定的耐火時間

圖 1 耐火性能與建築基準法

耐火設計不完善導致的大規模建築物倒塌的事例

即使是外觀非常漂亮的超高層建築物，如果耐火設計不完善，將導致發生嚴重的後果。以下介紹筆者等調查的相關事例。

位於西班牙首都馬德里市中心 AZCA 地區的 32 層超高層建築 (Winsor 大廈) 在 2005 年 2 月 12 日深夜 (當地時間) 發生了火災。火勢迅速向上層蔓延，同時也向下層蔓延，幾乎波及到整個建築。另外，中間層以上的上部構架發生大規模倒塌，大量

幕牆、桁架以及內部物體等散落在建築物的周圍。這次火災不僅造成作為受災建築物 Winsor 大廈的損毀，而且導致商務中樞地區的周邊道路切斷和地鐵停運等，對西班牙首都的城市功能產生了重大影響。損毀的總體狀況如照片 1 所示，該照片拍攝於火災發生後大約一個半月的 3 月下旬。Winsor 大廈的立柱、橫樑、樓板以及承重牆幾乎全部採用了鋼筋混凝土結構，對作為寬敞的辦公區間端部的外周部分採用鋼骨結構的立柱支撐。設備層設在中間的 2 處位置，建築物分為低層部分（至地上 3 層）、中層部分（4~16 層）以及高層部分（17 層以上）。結構圖如圖 2 所示。圖 3 是包括起火層（21 層）在內的 17~26 層的平面圖。

Winsor 大廈作為符合當時的防火標準的建築物於 1976 年竣工。然而如照片 1 所示，高層部分的建築物外周部分與樓板均發生了大規模塌落，同時設備層上下的中間層部分也全部燒毀。作為目前的耐火設計，即使萬一不幸發生火災，在設計上將火災限制在防火分區內，避免向數個樓層同時蔓延，並且使立柱、樓板等主要結構體不容易坍塌。但是因為 Winsor 大廈按照較早的建築規格標準設計，因此對外周部分的鋼骨支柱沒有採用耐火被覆。另外，作為構成層間防火分區重要部分的樓板與外壁板的連接部分採用了如圖 4 所示的易燃並使火焰貫通的結構等，沒有進行妥善的耐火設計。因此，火災幾乎蔓延到了全體建築物，導致發生了大規模的坍塌。由於火災發生在星期六的深夜，大廈內僅有很少人員，沒有發生人員罹難可算是不幸中的萬幸。

照片 1 在火災發生大約一個半月後拍攝的損毀總體狀況

圖 2 結構圖

圖 3 平面圖

圖 4 外周部分的斷面圖

為了提高建築物的耐火性能

本文對建築物需要具備耐火性能的理由、日本的耐火設計的發展歷程以及由於耐火設計的不完善導致的超高層建築物的大規模倒塌的事例進行了簡要論述。作為日本目前的耐火設計，關於對火災實現安全的建築物的目標已經基本完成。然而為了更

加完善的耐火設計以及其運用，今後我們仍需要考慮以下問題進行研究和開發。

- 掌握各種鋼材在高溫下的特性
- 同時考慮施工性、耐久性以及環境問題開發耐火被覆
- 推進耐火性冗余優異的架構計畫
- 用於確認性能的可靠的標準化試驗方法的開發
- 建立評估建築物耐火性能的社會性機制（技術人員、評估人員）



（4~5 頁）

適用於鋼骨結構的耐火被覆材料

日本建築綜合試驗所 耐火防火實驗室
田阪 茂樹

耐火被覆材料的現狀

由於鋼結構的立柱及橫樑其自身沒有耐火性能，因此對其表面需要採用某種被覆材料。目前，這種被覆材料分為噴覆材料、塗敷材料、成型板以及包覆材料等，通常採用單一材料或積層材料進行被覆。但是，對於與外牆部分的連接處，由於外牆與立柱或橫樑構件之間沒有距離，因此僅採用單一材料或積層材料將發生無法進行被覆施工的問題。為了解決這個問題，需要採用將外牆材料作為鋼結構的立柱及橫樑被覆材料的一部分進行施工的工藝，是綜合不同種類工藝的耐火被覆工藝。

在日本，作為耐火結構使用時，對於能否滿足建築基準法要求的性能，在指定的性能評估機構進行試驗和評估，獲得大臣的認定。

目前，在國土交通省的網站，公佈了分別獲得大臣認定的項目，認定的件數如表-1 所示。其中合成耐火被覆結構的認定數量大約占半數。另外，發泡性耐火塗料被覆對於立柱和橫樑也分別完成認定 35 件和 19 件。

在日本的實際施工中，噴覆岩棉以及矽酸鈣板較多採用，另外對於合成耐火被覆結構，噴覆岩棉與預製混凝土板、ALC 板等的合成耐火被覆工藝較多。

表 1 國土交通省大臣認定數量（2013 年 9 月當時公佈）

耐火被覆材料的分類

目前，作為國土交通省大臣的認定，大致對以下兩種結構進行認定。

- ①對於立柱的 4 個面、對於橫樑除了樓板面以外的 3 個面採用單一材料或積層材料被覆的結構。
- ②對於立柱將 1 個面作為外牆材料、將其餘的 3 個面採用單一材料或積層材料被覆的結構，以及對於橫樑除樓板面外將 1 個面作為外牆材料、將其餘的 2 個面採用單一材料或積層材料被覆的結構。

我們將②稱為“合成耐火被覆結構”，這種結構如圖-1 及圖-2 所示，將外牆材料作為被覆材料的一部分，從而省略部分被覆材料。對外牆材料與被覆材料的連接部分採用襯墊材料、肋材以及加固材料進行加固，消除間隙等。

圖-1 鋼立柱的合成耐火被覆結構例

圖-2 鋼橫樑的合成耐火被覆結構例

耐火被覆材料的種類

耐火被覆材料可大致分為 4 種。

◆噴覆耐火被覆材料、塗敷耐火被覆材料

這種工藝將噴覆岩棉、石膏系材料、水泥系材料等直接向鋼材噴覆或塗敷。一般較多採用濕式材料，噴覆岩棉被覆材料的施工例如照片-1 所示。

照片-1 噴覆岩棉被覆材料的施工例

◆包覆耐火被覆材料

這種工藝採用岩棉氈、陶瓷棉毯等無機纖維氈對鋼材進行包覆。一般較多採用幹式材料，使用固定板等固定。無機纖維氈被覆材料的施工例如照片-2 所示。

照片-2 無機纖維氈被覆材料的施工例

◆成型耐火被覆材料

這種工藝將加入纖維的矽酸鈣板、石膏板以及木質材料等板狀產品安裝或貼在鋼材上。一般較多採用幹式材料，使用固定材料以及粘接劑等固定。加入纖維的矽酸鈣板被覆的施工例如照片-3 所示。

照片-3 加入纖維的矽酸鈣板被覆的施工例

◆耐火塗料

這種工藝以發泡性塗料為基材向鋼材直接塗敷底層、表層等。發泡性耐火塗料被覆的施工例如照片-4 所示。

照片-4 發泡性耐火塗料被覆的施工例

此外，還有採用熱膨脹性板材等其他被覆材料。另外，也有由數種材料組合構成的被覆材料。



（6~8 頁）

發生火災時鋼架結構的冗餘度

東京理科學院 研究生院 國際火災科學研究科
教授 池田 憲一

關於發生火災時的構架冗餘度

對發生火災時構架冗餘度的評估與常溫時的評估不同，需要考慮承受的外力作用和構件的彈性極限應力特性的變化。

首先，對承受的外力作用應考慮的問題是火災發生在建築物的一部分。如圖 1 所示，耐火設計與抗震設計的外力不同。垂直載荷作為地球引力作用於建築物總體，發生地震時的載荷使地面振動，該能量通過建築物的基礎作用於建築物總體。與此相比，火災通常在建築物的一部分發生並被撲滅，不會蔓延到建築物總體，所以火災作為溫度載荷僅作用於建築物的一部分。因此，位於發生火災空間內的構件因火災的熱量而成為高溫狀態，發生火災部分以外的構件不受火災產生的熱量影響。

其次，對發生火災時構件的彈性極限應力特性

應考慮的問題是結構構件的溫度因火災產生的熱量而上升，隨著該溫度的上升，鋼構件的強度和剛性降低，並同時發生熱膨脹。發生火災時建築結構體狀態變化的概念如圖 2 所示。構件在火災發生的初期產生熱膨脹導致構架變形。通常，立柱的長度為層高的程度，但鋼構架的橫樑長度為其數倍，因此其膨脹量也較多。橫樑的熱膨脹發生在軸向，而對此束縛的立柱抵抗力為彎曲剛性，因此立柱容易發生彎曲變形。由於這個原因，考慮構架在火災中的穩定性時，一層橫樑的總長是關鍵的要點。此後，隨著溫度進一步上升，橫樑的剛性降低，受垂直載荷的作用開始發生撓曲。在此期間，立柱也在火災的熱量影響下發生彈性極限應力降低。

圖 1 耐火設計與抗震設計的不同

圖 2 發生火災時建築結構體的狀態變化概念

作為通常的構架，即使發生火災的構件群喪失彈性極限應力，但由於其周圍沒有發生火災的構件群沒有喪失彈性極限應力，所以通過應力重新分配可避免構架總體倒塌。圖 3 是構架的應力重新分配示意圖。以如圖 3 所示的構架為例，即使在下層樓層發生火災、部分立柱的彈性極限應力降低，其立柱承受的軸力通過上部構架的應力重新分配承擔，從而避免了構架的倒塌。立柱與橫樑的連接為剛性連接時便於完成應力的重新分配。如果上部有數根橫樑、橫樑的彎曲彈性極限應力的總和有餘量，則構架倒塌的可能性進一步降低。

由於日本的建築物需要進行抗震設計，因此柱梁連接為剛性連接。此外，為了處理地震產生的水準力，使立柱及橫樑具備用於支撐垂直載荷的彈性極限應力以上的彈性極限應力。一般在地震後發生火災，但在發生地震的同時不會發生對建築物的結構穩定性構成威脅的嚴重火災。反之，在發生對結構體的穩定性構成威脅的嚴重火災的同時發生對結構體的結構穩定性構成威脅的地震的發生可能性也極小。因此，為了抗震而採用的構件強度的增加成為對發生火災時架構的倒塌增加安全率的因素。在一般情況下，按地震力決定的建築物的耐火性能較高，可以說發生火災時的架構冗餘度較高。

作為實際在性能方面的耐火設計，充分考慮這

種發生火災時的構架應力重新分配進行，這時，不僅是火災的最終狀態，也要考慮火災的狀況變化進行討論。最近，建築物的平面、立面結構的複雜性增加，構架形式也有複雜的情況，因此對於這種情況，尤其需要也考慮發生火災時的應力變形狀態隨時間的變化進行構架設計。

圖 3 構架的應力重新分配示意圖

實際的建築物設計事例

充分利用發生火災時構架冗餘度的耐火設計例如圖 4 所示。建築物是對外周構架採用斜向柱的大型構架。作為橫樑等水準構件，由於構件喪失彈性極限應力將導致樓板坍塌、落下，因此需要採用防火被覆，在發生火災時保持彈性極限應力，但立柱等垂直構件即使在發生火災時喪失彈性極限應力，其承擔的應力可向構成大型構架的斜向柱重新分配。作為該設計例，通過討論確認應力的重新分配，部分立柱的耐火被覆被省略。在討論中，確認了隨著火災的火勢蔓延，立柱發生熱膨脹時的周邊構架的應力狀態和喪失彈性極限應力時周邊構架的應力狀況兩方面的情況。對於大型構架，可向彈性極限應力較大的斜向柱比較容易地進行該立柱的應力重新分配，因此大多使這種耐火設計成為可能。

圖 4 部分構件因火災喪失了彈性極限應力時的構架狀態（提高變形倍率表示）

結語

作為通常的建築物，通過保證構件的耐火性能，保證發生火災時全體構架的耐火性能，進行這種“構件級別”的耐火設計，一般的構架通過這種設計方法保證發生火災時構架的耐火性能。然而雖然作為構件級別確認了發生火災時的彈性極限應力，但也有在發生如同世貿中心的 WTC7 那樣的火災時的構件熱膨脹成為起因導致建築物總體倒塌的情況。在鋼結構建築物的設計中，需要考慮發生火災時的冗餘度進行結構設計。



(9~12 頁)

關於鋼結構的火災調查

東京理科學大學 研究生院 國際火災科學研究科
教授 池田 憲一

關於火災的調查

火災產生的熱量對建築物的一部分造成損傷。由於損傷的只是建築物的一部分，因此發生過火災的建築物大多重新使用。為了重新使用建築物，需要掌握火災的受損程度，驗證該建築物的各項性能是否可以滿足重新使用的要求。

火災的調查人員對火災受損的程度進行診斷，針對重新使用需要進行怎樣的修復和加固，從工程的角度提出方案。關於將因火災受損的建築物恢復到何種程度的目標性能，將由所有人以及管理機構和用戶決定。如果屬於竣工前的建築物，則需要滿足簽訂合同時承諾的性能。另一方面，如果屬於接近建築物的壽命終點、近期計畫重新建造的建築物，則也可能設定滿足數月使用即可的目標性能。該目標性能一般大多設定恢復到建築物受損前的狀態，日本建築學會著眼於該目標性能，出版了《建築物的火災受損診斷及修復和加固方法綱要（草案）及解說》。

火災調查的流程

從火災受損調查開始直到修復和加固施工的流程如圖 1 所示。火災受損調查由以下 3 個部分構成：在前往現場之前進行“預備調查”，收集圖紙等建築物的資訊和報刊等有關火災的資訊；然後進行“第一次調查”，僅通過目視觀察在火災現場的殘留物狀態；進而根據需要進行“第二次調查”，獲取構件實施試驗。根據這些調查結果，診斷因火災造成的受損範圍以及其程度。根據火災受損診斷結果制定修復和加固計畫，這時設定修復目標性能，選擇實現該性能的工藝進行施工。

鋼骨結構的火災受損程度判定流程如圖 2、圖 3 所示。對於鋼骨結構，不僅因火災的熱量造成材料強度降低，而且構件的熱膨脹導致構件及構架的變形也成為重新使用的重要判斷因素。因此，鋼骨構件的受熱溫度推測和構件的變形量測定是主要的調

查項目。調查構件受熱溫度的目的是推測計畫重新使用的鋼骨構件的材料特性變化。高強度鋼材和高強度螺栓等在製造過程中提高強度的鋼材在較低的溫度下會發生機械特性的變化。此外，即使是幾乎沒有受到火災熱量影響的構件，也有因其他構件的熱膨脹力而發生較大變形。對於鋼骨結構體，通過上述步驟調查受熱溫度和構件變形，開展火災受損診斷。

圖 1 從火災受損調查開始直到修復和加固施工的流程

圖 2 根據推測受熱溫度進行鋼骨結構的修復和加固的流程

圖 3 根據變形量進行鋼骨結構的修復和加固流程



(12~14 頁)

東京晴空塔®的耐火設計

日建設計 結構設計部
染穀 朝幸

東京晴空塔的最高點高度為 634m，其主要用途是電波發射塔以及展望塔。按照建築法規對該塔的分類如圖 1 所示，屬於結構體內的建築物。此外，對建築物總體也可分為以商業設施為中心的低層部分以及以展望台為中心的塔體部分。

建築物發生火災時，不僅應使建築物內的人員可安全撤離，而且在撤離後發生最嚴重的火災時，根據建築物的規模及地點，如果很快發生倒塌則會產生惡劣影響。防止這種倒塌就是耐火設計的任務。

作為耐火設計，包括最嚴重的火災等對火災的設定非常重要。火災設定可分為建築物內部火災和外部火災。對本建築物也同樣，設定了內部火災和外部火災兩種類型，採用耐火被覆等措施，防止發生結構不穩定。

圖 1 建築物與結構體的劃分以及建築物內的塔體部分與低層部分

東京晴空塔獨特的耐火設計

本建築物針對法令要求的火災設定進行了充分安全的耐火設計。但是，由於本建築物屬於重要且巨大規模的建築，因此在法令提出的要求之上進行設定，是可應對萬一發生事態的建築物。

超出常規的設定之一是按照“城區火災”進行的耐火設計。“城區火災”是設定建築物周圍地區發生嚴重火災，即使發生這種極限狀態在結構上也不會出現問題，按照這種方法進行了耐火設計。以下介紹這方面的內容。

另外，作為東京晴空塔別具一格的是可以觀覽腳下風景的展望台“玻璃樓板”。萬一該“玻璃樓板”在火災中脫落，可能會對周圍地區帶來嚴重的影響。對此，我們將“玻璃樓板”實物放入耐火爐進行耐火試驗，驗證能否承受規定的火災，獲得了可靠性良好的確認結果，關於這一點也將在以下介紹。

塔體部分對城區火災的耐火驗證

關於城區火災，首先設定該地區為何種程度的阻燃化，根據該阻燃化率設定在場地附近發生的火災。針對該火源，按照風速等要素計算塔體部分的受熱溫度，驗證鋼骨在該溫度下的穩定性。按照設定火災進行受熱溫度計算和其事例如圖 2 所示，圖 3 是鋼骨驗證的設定。驗證結果表明，即使設定發生城區火災，各結構構件的狀態在彈性極限以下，保證了結構的穩定性。

圖 2 設定火災產生的受熱溫度計算模型與其解析例（風速 0.5m/s）

圖 3 鋼骨驗證的設定（熱膨脹的構想和變形角的計算示意）

玻璃樓板的耐火試驗概要

玻璃樓板的位置和斷面如圖 4 所示。下側為外裝用、上側為內部用的玻璃樓板，對其檢驗萬一發生火災時的狀況。將內部用玻璃樓板實物放入加熱爐進行耐火試驗。試件如照片 1 所示。試驗採用在玻璃樓板上放置重物的狀態下加熱的載荷加熱試驗。另外，照片 1 中的 5 根白色圓棒是變形測定器具的

被覆材料。

加熱時的狀態如照片 2 所示。根據內部火災的設定，雖然火災持續時間為 36 分鐘，但試驗進行了 1 小時的標準加熱。加熱後的試件如照片 3、4 所示。即使超過設定的內部火災持續時間進行載荷加熱試驗，4 層積層中也只有上側 2 層發生破裂，獲得了對於火災足夠的安全性確認。

圖 4 玻璃樓板的位置和試件的設定

照片 1 試件的照片

照片 2 加熱時的試件（通過試驗爐觀察窗）

照片 3 加熱後的試件

照片 4 加熱後（移除上側 2 片後確認第 3 片沒有破碎）



（15～16 頁）

耐火鋼的概要

日本鋼鐵聯盟
防火耐火委員會

建築基準法規定，日本的主要以不特定多數人員利用的特殊建築物（公寓住宅、酒店等）和城區內的建築物為耐火建築物。對耐火建築物規定了應承擔的義務，即對立柱、橫樑等主要結構體採用一定的規格、或通過計算驗證。作為符合前者的一定規格的一種方法是採用耐火被覆工藝，防止鋼材溫度在發生火災時上升。由於發生火災時的溫度一般約為 1,000°C，因此對於普通鋼材需要採用耐火被覆隔熱使溫升不超過 350°C。但是對於耐火鋼材可採用不超過 600°C 溫升的隔熱，可大幅度減輕耐火被覆。此外，根據建築物的火災條件和設計條件，如果發生火災時的鋼材溫度不超過 600°C，也可以無被覆使用。因此，採用耐火鋼材可降低施工費用、縮短工期以及有效利用室內面積。

耐火鋼是適量添加 Mo、Nb、Cr 等合金元素並控制加工熱處理條件大幅度提高了高溫耐力的鋼材，高溫耐力的提高主要通過碳氮化物的析出及分散強化以及合金元素的溶解強化實現。耐火鋼具備以下

特點：

- (1) 高溫耐力高，600°C時的耐力（0.2%偏差）為常溫規格值的 2/3 以上。
- (2) 常溫下的性能與各種結構用鋼材的規格一致。
- (3) 具備與普通鋼同等以上的焊接性能。

另外，作為規定了高溫性能的相關規格於 2012 年 4 月發行了 ASTM A 1077 Standard Specification for Structural Steel with Improved Yield Strength at High Temperature for Use in Buildings(改善了高溫下屈服強度的建築物用結構鋼標準規範)，在採用時需要事前向各製造廠商詢問能否製造。

耐火鋼的材料特性

關於高溫耐力的溫度依存性，耐火鋼與普通鋼的比較如圖 1 所示。普通鋼的耐力在 350°C 左右降低到常溫規格值的約 2/3，但耐火鋼在到達 600°C 時可保持 2/3 以上，大幅度優於普通鋼。關於高溫彈性係數的溫度依存性，耐火鋼與普通鋼的比較如圖 2 所示。與普通鋼相比，耐火鋼在 550°C ~ 700°C 時彈性係數的降低較小。

圖 1 高溫耐力的溫度依存性

圖 2 高溫彈性係數的溫度依存性

耐火鋼的構件特性

為了確認耐火鋼的高溫特性也可以在立柱和橫樑等構件方面發揮作用，我們實施了載荷加熱試驗，以下介紹該試驗內容。本試驗採用 ISO834 規定的立柱載荷加熱試驗，使用建設省建築研究所的立柱用大型耐火爐完成。試件為圖 3 所示的 H-300x300x10x15，長度 3.5m。此外，採用了毯型耐火被覆。為了進行比較，我們也對相同形狀的普通鋼進行了試驗。通過試驗獲得的加熱時間—鋼材溫度的相關資料如圖 4 所示。與普通鋼相比，耐火鋼的損毀時間較長，損毀溫度也較高。在構件級別也同樣，與普通鋼相比發揮了優異的高溫性能。

圖 3 試驗概要

圖 4 加熱時間—鋼材溫度關係

耐火鋼的連接材料

焊接耐火鋼時，為了保證高溫時與母材同等以上的強度而提供耐火鋼用焊接材料。使用該耐火鋼用焊接材料的焊接接頭部件的特性與普通鋼相比為同等以上，高溫抗拉特性也是與母材同等以上的數值。

此外，關於採用耐火鋼的主要結構體的高強度螺栓連接部分，為了保證與構件同等以上的強度而提供耐火鋼用高強度螺栓。高強度螺栓的連接部分包括耐火鋼材用扭剪型高強度螺栓、耐火鋼材用高強度六角螺栓以及耐火鋼材用熱浸鍍鋅高強度螺栓，施工方法與普通高強度螺栓相同。高強度螺栓材料的抗拉試驗結果例如圖 5 所示，與普通高強度螺栓相比，在 600°C 時具備約 2 倍的耐火性能。

圖 5 高強度螺栓材料的抗拉試驗結果



(17 頁~18 頁)

焊接與施工管理的基礎 (二)：現場焊接

信州大學工學部建築學科

教授 中込 忠男

日本頻繁發生大地震，抗震設計非常重要。另外，有時焊接連接部位成為破壞的起點，導致建築物倒塌。上次我們以焊接的施工管理為中心，論述了建築鋼骨與力學性能相關的重要事項，本次將針對現場焊接的課題，重點論述其問題點和對策。

現場焊接

目前，對建築物採用工廠焊接（無扇形切角工藝）和現場焊接（扇形切角工藝）兩種方法，在日本廣泛採用工廠焊接方法。這些焊接例分別如圖 1、圖 2 所示。扇形切角工藝在施工時墊板位於外側，坡口可朝向內側，因此無論在現場還是工廠都可焊接，與此相比，無扇形切角工藝將坡口設在外側，因此只能朝下焊接，無法在現場使用，並且具有墊板位於內側的特性。另外對於大型建造物，將在工廠焊接的構件運送到現場採用無扇形切角工藝較為困難，因此採用在現場焊接的扇形切角工藝。但是，

鋼結構建築物承受諸如地震等巨大外力時，與工廠施工型無扇形切角工藝相比，梁腹部分存在斷面缺損（扇形切角）的現場焊接型由於在扇形切角底部發生應力集中，耐力及變形能力非常低。

對策

如上所述，進行現場焊接時，耐力及變形能力降低，對此需要採取對策提高變形能力。該對策的一部分如下所示。此外，用於實驗的試件形狀以及試件設置圖如圖 3 所示，表 1 是該實驗結果的一覽表，在各次實驗中的現場型扇形切角的載荷變位關係如圖 4、5、6 所示。

◆開孔法蘭工藝

該工藝的目的是，將柱梁焊接部位的應力分散到設在法蘭上的開孔，從而減輕橫樑端部的應力。形狀如圖 7 所示，載荷變位關係如圖 8 所示。

◆採用梁腋的法蘭擴寬

這種做法的目的是，將橫樑連接部位擴寬，增加法蘭的截面積，降低發生在橫樑端部的應力，同時將最大應力位置向橫樑母材側移動。形狀如圖 9 所示，載荷變位關係如圖 10 所示。

◆對扇形切角底部採用加固焊道工藝

該工藝的目的是，對在無扇形切角工藝中成為破壞起點的扇形切角底部採用加固焊接，從而緩和應力集中、提高變形能力。形狀如圖 11 所示，載荷變位關係如圖 12 所示。此外，本試驗的尺寸等雖然相同，但試驗方法與上述兩項不同，進行了三點彎曲試驗。

ηs 計算方法

承受反復彎曲的鋼構件的一般性 P-δ 關係如圖 13 所示。構架曲線指超過以往鋼構件發揮的最大耐力的負荷範圍部分。根據以往的研究，將該構架曲線連接合成後，呈現與單調載入的鋼構件的 P-δ 曲線等價，因此可成為評估承受諸如地震載荷等隨機外力的鋼構件變形性能的適當指標。構架曲線的能量吸收彈性極限應變能 (Ws) 的 2 倍數值除以(cPpxcδp)獲得累積塑性變形倍率 ηs，將其作為變形能力的指標使用。

總結

通過表 1 可以看出，現場型的變形能力較低，約低 1~3，對此採取對策後得到了具備 7~12 的足夠變形能力的結果。此外，工廠型無扇形切角的變形能力為 6.9，因此與採取本文介紹的對策時具備同等以上的能力。

圖 1 工廠焊接 無扇形切角

圖 2 現場焊接

圖 3 試件形狀及試件設置圖

圖 4 現場型扇形切角載荷變位關係

圖 5 現場型扇形切角載荷變位關係

圖 6 現場型扇形切角載荷變位關係

圖 7 開孔法蘭

圖 8 開孔法蘭載荷變位關係

圖 9 梁腋

圖 10 梁腋載荷變位關係

圖 11 加固焊道

圖 12 加固焊道載荷變位關係

圖 13 構架曲線的計算方法

表 1 實驗結果一覽表



(封底)

日本鋼鐵聯盟海外委員會的活動介紹

日本鋼鐵聯盟海外委員會以推進鋼結構在海外的普及為目的，介紹日本的優異鋼材和其利用技術等，積極開展各項活動。以下介紹本委員會最近開展的主要活動。

赴柬埔寨進行當地調查

迄今為止，我們已三次前往柬埔寨當地，針對該國的經濟形勢、基礎設施建設的狀況、鋼結構普及方面的課題以及對鋼鐵聯盟的要求進行了當地調查。去年，由該國公共事業運輸部和柬埔寨工科大學共同主辦，並得到了日本國大使館的協助，舉行了“2012 鋼結構先進技術會議”，200 多名政府及民營企業的技术人員濟濟一堂，盛況空前。這次會議也得到了與會人員的高度評價，問卷調查結果表明，90%以上的人員希望下次繼續參加。

照片 去年 12 月在金邊首次舉辦的技術講習會

赴緬甸進行當地調查

繼去年訪問仰光之後，今年 7 月我們進一步來到奈比多，包括仰光在內，共訪問了緬甸的 6 個相關政府機構，進行了意見交換。各政府機構均對鋼鐵聯盟的普及活動寄予了高度期待，今後，本委員會將繼續開展在該國的調查活動。

照片 在當地進行意見交換