

新鉄器時代の構造用鋼材

Steel Materials for Structures in a New Ironmongery Era

福 田 弘 明^{*⁽¹⁾}
Komei FUKUDA

抄 録

アジアを中心に鉄需要が爆発的に増加しつつある新鉄器時代を迎えて、建設市場における構造用鋼材の歴史的な位置づけとその将来について土木と建築に分けて論じた。鉄鋼メーカーは土木構造物の高機能・防食・耐久性、合成構造、省力化・急速施工・低公害工法へのそれぞれのニーズに対応して、土木用鋼材の各種商品を開発してきている。建築分野では、鉄骨構造の使用量は膨大であるが、統計的にその適用は中低層建築が主流である。建築用鋼材はそのときの社会的背景に基づいて変遷し、H形鋼、高張力鋼、耐火鋼などが実用化されてきた。近年の鉄骨生産をめぐる問題点として、不良鉄骨問題に言及し、派生した建築構造用圧延鋼材の規格制定に触れ、最後に、建築用鋼材の今後の動向についても展望した。

Abstract

Entering upon a new ironmongery era when a tremendous demand for steel materials is increasing in Asia as the central figure, positioning of steel materials for construction and their future are discussed in both civil engineering and building-construction fields. To cope with the needs of civil engineering structures in terms of high-functional, anti-corrosive and durable properties, synthetic structures, man power-saving, rapid executing and low-pollutional constructing methods, steelmakers have been developing a line of commodities of steel materials for construction. The amount of steel for building-construction is in a huge scale, but statistics figures show that the steel has been mainly applied to the middle- or lower-storied buildings. Requirements of steel materials for construction change according to the social background at the time, and so far, H-section steel, high-tensile steel, and fire-resistant steel have been put to practical use. In this paper, as several points associated with the recent manufacturing of steel skeleton, the problem of an inferior steel skeleton is referred to, the standardization of rolled steel materials for structural construction is mentioned, and the future trend of the steel materials for construction is lastly surveyed.

1. 総 括

1.1 はじめに

文明の進歩の過程をその主たる使用機器材料で区分する方法があり、石器時代、青銅器時代等と区分されている。地域により時期は若干異なるが、数千年前より鉄器時代が始まり現在に至っている。

最近是新素材、新材料の開発が盛んで先端技術分野を中心にそれらを用いた様々な製品が出現しているが、依然人間生活の基本となる素材としての鉄（正確には鋼と呼ぶべきだろうが、ここでは“鉄(Iron)”と“鋼(Steel)”の区別はしない）の地位は揺るぎない。将来全世界の鉄鋼使用量は、地球環境に関する配慮が増加過程でなされれば、まだまだ増加すると考えられる。実際中国をはじめ、アジア地域での鉄需要が爆発的に増加しており、この状況はさらに波及していくと思われる。

1.2 建設市場における構造用鋼材の位置づけ

歴史的に見て、日本の建設市場の構造用鋼材は、鋼矢板、H形鋼、

軽量形鋼等の欧米先進国が開発した製品の国内での規格化と設計、施工の基準化等を官公庁、大学との密接な技術協力と連携によって実現し、国内に普及する方法で“構造用鋼材”の一つの時代を築いてきた。しかしながら、その後造船、家電、自動車の技術の急激な発展にあいまって、前述の事業分野から鉄鋼への技術要求が強く提案され、最大限の技術対応を行ってきた。その間、構造用鋼材開発の動きは、世の中の技術の進展と比較して、十分といえない時代が続いた。それは建設市場での鋼材の販売単位が、特殊なナショナルプロジェクトを除き、多品種、小ロットで大量生産に向かなかつたことと、ユーザーからの新技術の要求も少なく、あったとしても鉄鋼の生産性に結びつきにくかったことに起因していたように思われる。従って結果的に建設市場では、基本的に“メーカーの既存製品から選ばざるえない”といった状況に陥ってしまった。

近年、製造技術の進歩と利用技術開発を含めての建設トータルコストミニマム化を図る体制を整え、ユーザー要求に応えられる基盤を十分に整えてきた。その基盤の上に立って建設技術の進歩を先取

*⁽¹⁾ 建材営業部門 建材開発技術部 部長 参与

りしながら、新しい鉄鋼建材の開発を行うよう動きだしている。例えば、FR(Fire resistant)鋼・TMCP(Thermomechanical control process)鋼・低YR(Yield ratio)鋼/狭YP(Yield point)鋼・ガンテツパイル・鋼製連壁用鋼矢板等、材料面と利用技術を加えた製品等ここ数年來新商品として発表し続けている。更にこの傾向に拍車をかけ、ユーザーとの密接な連携により、革新的な建材開発に努めねばならない時期であると認識している。

1.3 最近の建設市場の進歩

まず、最近20数年間の普通鋼材国内消費量及び建設用鋼材国内消費量の推移を比較することにより、鋼材需要における建設用鋼材の数量的位置づけを図1に示す。建設用鋼材の全消費量との比率は50%前後で推移しているといえる。もう少し詳細に見るなら、1988年度は34 953千tで49.9%で、1989年度に始めて50%を超えて以来5年間続き1994年度で50%を割り込んでいる。すなわち、バブル景気に伴い、急激に建設用鋼材の消費量が伸び、1990年度(41 515千tで51%)にピークを迎え、現状は1994年度の31 460千tで48.7%となった。

その中で土木と建築向けの消費量の比率は過去10年間、量の変動はあるもののほぼ1:2と一定の割合を示している。建設市場において土木と建築は一つの分野と見られがちではあるが、市場性、技術面から見るとかなり違った分野といえる。大きな相違点として、土木が官需主体であるのに比して建築は民需主体である。この違いが、設計の主体は土木は官中心に行われ、発注官庁が自らオーソライズし実施していくが、建築は民間主体であるがゆえに、設計は建築基準法という法律で安全性確保が要求されてくる。このような設計の流れの微妙な違いが、大きな差となって現れてくる。従って、土木と建築に分けて各々の市場動向とその将来について述べたい。

2. 土木構造用鋼材

2.1 土木用鋼構造物の現状

鋼材市場としての土木分野は公共工事が中心である。1985年から1992年までの公共分野の土木投資額の推移を見ると、実質ベース(1985年価格基準)で、年間平均3.1%で成長し、その間の土木用鋼材の消費量は同期間内で増減を繰り返しているものの、年率平均1.8%しか成長していない。公共土木投資額に対する土木用鋼材消費量について、投資額1億円当たりの鋼材使用量を原単位として推移を検討すると、図2のようになり、低下傾向にある。この傾向に歯止めをかけ、鋼材の使用量を伸ばすために、鋼索材の技術開発はもとより、利用技術も合わせたところで鋼構造の建設にかかるトータルコスト

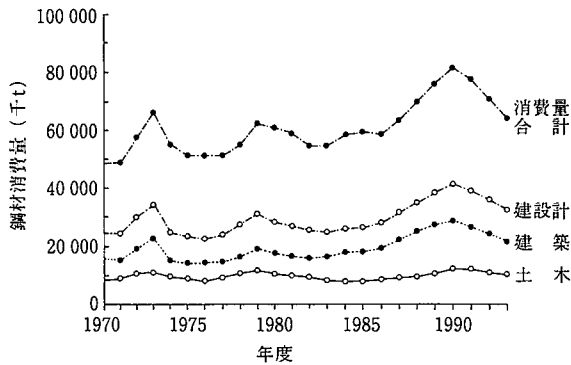


図1 建設用普通鋼材の消費量推移

ミニマム化を図り、急速施工も可能にしていくことが重要と考える。

1992年の例で品種別に見てみると、棒鋼と鋼管がそれぞれ約25%で合わせて50%を占めている。鋼矢板が15%、厚板が12%で、これらを合わすと8割近くを占めていることとなる。更に構造物としてどのような分野に鋼構造物が普及しているかを図3に示す。コンクリート構造物の分野も鋼構造物に等価換算し比率を求めてみたものであり、港湾、河川、橋梁分野を中心に鉄が普及していることが分かる。

2.2 土木用鋼材の現況

日米構造協議に基づく建設市場開放問題や、公共土木工事発注にからむ種々の問題の発生、及び労働力不足問題等により、省力化、低公害、急速施工、メンテナンスフリー建設、コスト削減等の要求等、需要の多様化が始まると共に、窯業系材料等の発達、海外資材門戸開放により、建設用素材の選択の幅が大きく広がったため、土木鋼材も多様化に向かって、進んできた。それでは、鉄鋼メーカーとしてどのように市場対応しているかを、開発商品を中心に述べてみる。

— 高機能・防食・耐久性ニーズへの対応 —

港湾構造物、海洋構造物、海浜地域に建設される構造物等も技術の進歩と共に長大・巨大化し、長寿命化と共にメンテナンスフリー化が強く叫ばれるようになった。このような要求に応えるために、高分子系材料や窯業系の材料、更にさびにくい金属とのクラッド化等と従来の方法と組み合わせて、コストパフォーマンスを上げながら開発を実施している。1983年にメンテナンスフリー化を狙って、東京湾横断道路の沖合橋梁の重防食材として橋脚にチタンクラッド鋼板が採用された(チタン1mm、鋼板4mm)。また、関門大橋の完成から本州四国連絡橋(最長スパン1100m)の建設では160kgf/mm²級ワイヤで可能であった。しかし、スパンが1990mと大幅に増大する明石大橋では、高強度化のニーズが高まり、180kgf/mm²級ワイヤが必要となり、高強度化を図った。更に現状では200kgf/mm²級ワイヤまで市場は要求している。鋼板についても自重を低減するた

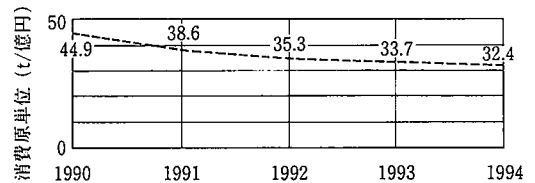


図2 公共土木工事の鋼材消費原単位の推移

分野	鉄化率	鋼構造/RC構造ほか		
		25%	50%	75%
土木基礎分野			46	
建築基礎分野	2			
港湾分野			47	
河川分野				76
地下連壁分野	2			
地下トンネル分野			33	
砂防分野	5			
一般橋梁分野			49	

図3 土木建設分野ごとの鋼構造使用率(1993年度)

めに、HT70鋼・HT80鋼が大阪港大橋で全面採用され、本州四国連絡橋にも採用されている。近年では TMCP 法を利用した HT100鋼の開発を行っている。

一 合成構造へのニーズ対応 一

従来鉄鋼メーカーは主に鉄鋼構造物を対象として鋼材を供給してきた。しかし、鋼構造物、コンクリート構造物をそれぞれ単独で使用するより、お互いの長所を生かし、より合理的で靱性を有する構造物に対するニーズが阪神大震災以降高まっている。新日本製鐵としてもより合成効果を発揮できる鋼材の開発に取り組んできた。鋼とコンクリートを結合する方法として、異形鉄筋を同時に複数本接合するスタッド溶接法も開発した。

近年、鋼とコンクリートの付着の向上を狙って、圧延時に高さ2～3mm程度の表面突起を設けた新しい形状の形鋼や鋼板を開発してきた。この鋼板を利用し、外面又は内面にスパイラル状の突起を有する鋼管を、スパイラル造管方式により製作している。でき上がった鋼管を用い、内面に突起を付けたものは、高架鉄道・道路の橋脚としてコンクリートを充填して活用し、急速施工にも役立っている。外面突起を付けたものは、原位置土とセメントミルク等の固化材を混合攪拌してソイルセメント柱を造成し、この中に鋼管を埋設する合成基礎工法を開発した(図4参照)。更に新日本製鐵は従来のスチールセグメントにとらわれず、内圧がかかる地下河川用セグメントにH形状の鋼材を枠状に接合した鋼枠を製作し、その内側に無筋コンクリートを中詰めしたものでボルト接合を必要としない方法で急速施工を可能とした。本セグメントは、今後ますます多様化していくシールド工法において内圧対応型として価値を発揮すると確信できる(図5、写真1参照)。

一 省力化・急速施工・低公害工法への対応 一

構造物の施工段階において熟練労働者不足からプレファブ施工や建設機械の自動化・ロボット化、更には周りの環境へ騒音・振動の弊害を与えないよう、鋼構造の施工法まで突っ込んで開発していく必要がある。すなわち、鋼建材を世の中に抵抗なく普及するためには、設計・施工・加工・メンテナンス技術を組み合わせた“システム商品”として提供していく必要がある。

特に着目したものは、矢板の持っている嵌合を利用して種々の構造物を構築していく方法である。都市部での大深度地下空間建設の増大に伴う土留め構造物に焦点を定め、鉄筋コンクリート連壁では、

壁厚が厚くなり、またコンクリート工事の信頼性、更には労働集約型であることから高耐力の鋼製連壁の開発が求められた。新日本製鐵としては、マーケットにGH-Rを始めとする鋼製連壁を提供してきた(写真2参照)。更には、橋脚に直線矢板を利用したピアー及び深礎基礎等に活用し、マーケットニーズに応じて提供している(写真3参照)。

2.3 今後の動きについて

今回の阪神大震災について想定をはるかに上回る地震がきたことは疑うべくもない。コンクリートも鋼も種々の破壊形態を呈しているが、この破壊状態の調査を行い、今後の構造物の設計に反映することは、地震時の被害を最小に抑える上で重要なことと考える。特に、道路・鉄道構造物でRC(鉄筋コンクリート)橋脚の倒壊と損傷・RC高架柱の剪断破壊等、RC構造の靱性不足に起因するような損傷・崩壊が発生した。このような点に着目し、合成構造化への新しい道を開くとともに、免震構造の導入も大きな要素として今後の開発を進めていきたい。当然のことながら鋼構造の変形性能に起因する橋梁支承部の問題なり、鋼桁・鋼橋脚の座屈問題へも取り組んでいく必要がある。この座屈問題もあまりに薄い鋼板を使用し、材料ミナムの設計に基づき、工数アップにつながっている点をこの契機に



写真1 NM-セグメント

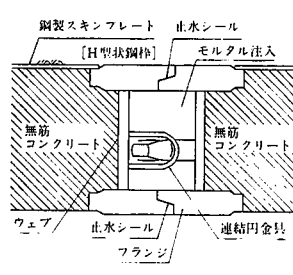


図5 NM-セグメントの構造

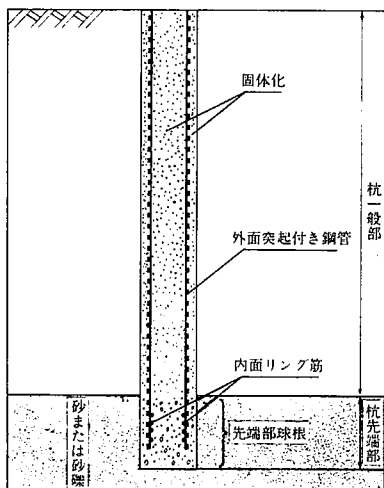


図4 ガンテツパイルの模式図

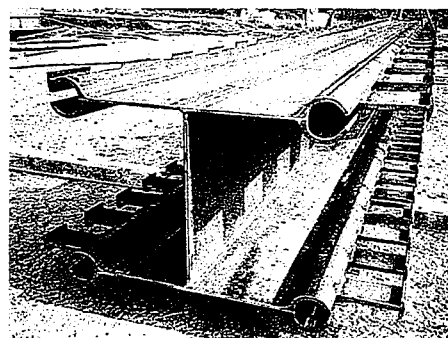


写真2 GH-Rタイプの鋼製連壁

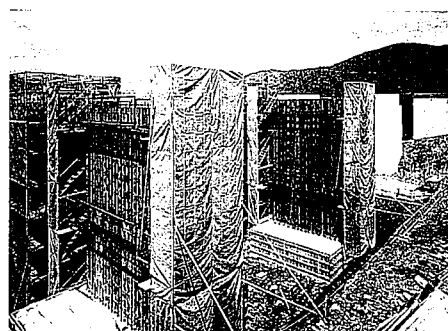


写真3 合成構造ハイピアの建設

改めるべく、新しい考え方を提案すべき時期かもしれない。いずれにしても世の中の要求にマッチしたトータルコストミニマムである鋼構造システムを提供することに新日本製鐵としてまい進する所存である。

3. 建築構造用鋼材

3.1 建築鉄骨構造の現状

建築物の構造種別の着工統計によると、1980年代の後半に鉄骨造の着工延床面積は木造を越え、全床面積の40%を占めるに至っている。直近では景気の影響もあり首位の座を木造に譲っているが、木材資源の保護の観点から、今後、木造が量的にこれ以上拡大するとは推定しにくい。今後、熟練労働力確保の観点からしても鉄筋コンクリート造は横ばい、鉄骨鉄筋コンクリート造は漸減の傾向にあるように思われる(図6参照)¹⁾。

過去10年間の鉄骨生産量は年平均1000万tと推定されるが、この量は驚くべきものもある。正確な統計は把握されていないが、アメリカ合衆国において400~500万t、ECでその半分程度以下との調査結果から推定すると、全世界の50%以上が日本で生産されており、正に鉄骨大国である。

一方、日本の鉄骨造を規模の観点から見ると、1、2階建てが全体の70%弱で、5階以下の低層建築で全体の93%であり、16階以上を高層建築とすれば、それは鉄骨造のわずか1%強を占めるに過ぎない。また、1棟当たりの延べ床面積は300m²(100坪)前後のものが最も多く、その使用鋼材量は30t程度であり、全鉄骨造建築物の着工件数(年間30万件)と全鉄骨生産量(年間1000万t)からも同様な推定ができる。このように、超高層ビルや大スパン建築物等に

使用されている鉄骨造が我々の目に映ることが多いが、実態は小規模・低層建築物の集合体である。つまり、我が国の鉄骨造は“ちりも積もれば山となる”の典型といえよう。

3.2 建築構造用鋼材の現況

ここで、我が国の鉄骨造を使用材料から振り返ってみる。本格的な重量鉄骨の導入と普及は1961年に当時の八幡製鐵 堺製鐵所のH形鋼ミルの稼働とその普及活動から始まる。それまで、山形鋼、溝形鋼、厚板等をリベットで組み立てる構造が大半であり、今でこそH形鋼は鉄骨の70%を占めるのが当たり前となったが、当時は画期的な材料として注目された。しかし、労働集約的な生産形態が永く続いた鉄骨製作の現場では山形鋼、溝形鋼等による組立部材がH形鋼に完全にとって代わられたのは、ついこの10年前のことである。

接合技術としては、1960年代後半から、メカニカルファスナーとしてリベットに代わり高力ボルトがその座を占め、また、溶接が鉄骨製作の基本工程として定着し、現場接合にも導入され始めた。

1971年の十勝沖地震、1978年の宮城沖地震の被害を教訓に、1981年に建築基準法の耐震規定が大幅に強化された。いわゆる“新耐震設計法”として、従来の弾性許容応力度設計と弾塑性設計を2レベル(中小及び極大)の地震規模での設計に適用するものである。構造体の塑性域でのエネルギー吸収を期待することにより、極大地震時の構造安定性を確保しようとするものでもあった。この設計法のもとでは、ラーメン構造が設計の簡便さに加え、他の構造形式に対し相対的に有利なものとなった。1970年代半ばに生産が開始された冷間成形角鋼管(ボックスコラム)が柱材として脚光を浴び、ピーク時には100万tのコラムが柱材として使用され、中低層建築の代表的材料となった。ちなみに、直近の鉄骨造での使用材料は、70%がH形鋼、15%弱がコラム、15%が厚板、平鋼及び各種の形鋼であり、中低層建築ではH形鋼とコラムが主体で、高層になるに従い厚板の比率が多くなる構成である(図7参照)。

1980年代後半に入り内需拡大の掛け声のもと、鉄鋼使用量の50%を占める建設分野での新規需要拡大の観点から、従来の量的対応に留まらず、新機能が付加された鉄骨造用の鋼建材の開発が鉄鋼メーカーで相次いで行われた。

時代は正にバブル経済のまっただ中であり、建設業界の要請はより高く、より大規模な構造物の実現を可能とする材料であり両者の

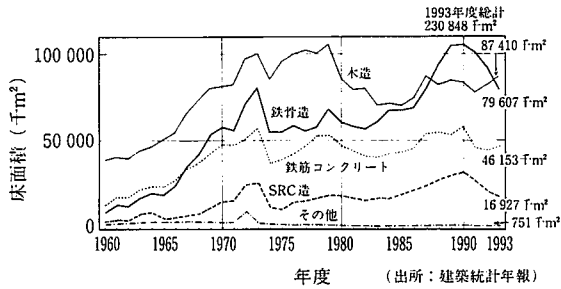


図6 構造種別着工床面積の年度別推移¹⁾

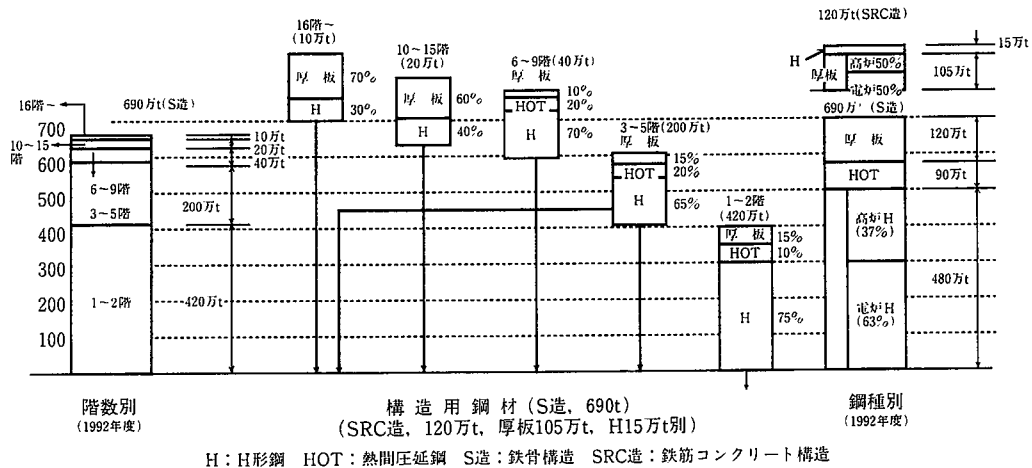


図7 建築階数年ごとの鋼種別比率

動きは一致し、新鋼材の開発が推進された。

例えば、超高層鉄骨造の柱材を対象とし溶接性を改善した TMCP 鋼、60キロ級の高張力鋼、耐火被覆の削減あるいは省略を可能とする FR 鋼等、新機能を付加した鋼材が次々と実用化された。

また、従来の断面を改良し、形状精度の向上を図った外法一定 H 形鋼も製品化され、100万 t を超える溶接組立 H 形鋼の代替商品として極めて短期間に市場定着がなされた。

一方、コンクリートとの合成構造の開発も大いに進展し、角型あるいは円形の鋼管にコンクリートを充填した CFT (Concrete Filled Steel Tube) 構造も実用化された。

3.3 鉄骨生産をめぐる問題点

新機能鋼材等の開発は、1980年代後半から活発に行われてきたが、鉄骨造の材料としての基本性能の見直しは、一部の識者の指摘があったものの、1990年代までは全く手がつけられていなかったのが現状である。

1990年ころからマスコミで取りざたされた、いわゆる不良鉄骨問題は生産構造に根ざしており、同様な不詳時が鋼材流通の局面でも“天ぶらミルシート”の横行等、鉄骨生産を支える底辺において問題化していると推定される。

これらの一連の鉄骨品質に係わる諸問題を統一的に解決すべく“建設省建築技術審査委員会”の下に、“鉄骨造建築物品質適性化問題委員会”が設置され1992年3月に出された答申に基づき、設計、材料、加工、施工の鉄骨生産の全工程での品質適性化のためのアクションプログラムが順次実施されている。

鉄骨構造専用の材料規格である“建築構造用圧延鋼材 (JIS G3136 : SN 規格)”は前述のアクションプログラムの一環と位置づけられ、1993年5月より約2年をかけて制定され、1994年6月に公示されたものである。この規格内容はここでは詳細には触れないが、概要は、

- ・強度レベル：400N 級と490N 級の2水準
- ・適用鋼材：熱間圧延された鋼板、鋼帯、平鋼及び形鋼(6mm-100mm)
- ・鋼種：建築構造の各部位に要求される性能に対応した400N 級3種類、490N 級2種類の計5種類
- ・機械的性質：その区分に応じて降伏点の上限値、降伏比上限、板厚方向の絞り下限値等機械的性質の追加
- ・化学成分：特に溶接性を考慮して C_{eq} (炭素当量)、 P_{cm} (溶接割れ感受性指標) の上限値設定と P, S の上限値厳格化
- ・板厚公差：マイナス側公差の見直し

等、従来の鋼材規格をベースに建築構造特有の性能を盛り込んだものである。ここで特記すべきは、SN 規格の制定は従来の JIS 規格制定のように製造側主体に行う形をとらず、用途別規格として利用者

側の要求性能と製造技術対応能力とのバランスにより制定するとの観点から、“日本工業標準調査会鉄鋼部会一般鋼材専門委員会”の下に“建築用鋼材専門委員会”が設置され、製造側として“建築鋼材検討会 (事務局: (社) 日本鉄鋼連盟)”，利用者側として学識経験者、設計者、施工者、ファブリケーター等鉄骨造に関わる諸団体の代表者からなる“建築用鋼材利用者側 WG (事務局: (財) 日本建築センター)”が互いに意見を戦わせる形で進められ、両者のコンセンサスに基づきでき上がった点である。

この規格制定を受け、建設省告示も1994年9月に改定され、従来材との併用期間が始まった。今後 SN 規格への一本化に向けての周辺規格の整備、見直しと普及のための諸施策が“鉄骨建築物品質適性化問題専門委員会”を中心に、関連団体との協力の基で行われるであろう。更に、施工品質において、施工レベルでの差がつきにくいディテールの構築と、メカニカルファスナーで簡便で耐震性能が発揮できる接合法を開発し普及していくことが、重要な問題であり急務であろう。

3.4 今後の建築用鋼材の動きについて

SN 規格は年間1,000万 t 規模の鋼材が使用される建築鉄骨の世界が初めて独立して持った規格である。鉄骨造に係わる関係者は JIS 最大の製造量を占めるであろうこの規格を育て上げる義務があると考えられる。

また、今回の阪神大震災ではレベル2 (極大地震) を超える地震力があつたようであり、現時点の調査で他構造と同様に鉄骨造も被害を受けている。にもかかわらず、施工不良の鉄骨を除き、“建築物の倒壊による人的な被害を回避する”という極大地震時に要求されている耐震性能がほぼ達成でき、その損傷部分を補修、補強することにより再使用可能なものも多い。

RC 構造、SRC (鉄骨鉄筋コンクリート) 構造に比較し、復旧が容易かつ迅速に行え、資源の再利用を図れることが、鉄骨造のメリットといえる。

更に、鉄鋼部門として、次のステップで構造材としての規格が是非必要であると考えている材料に、表面処理鋼板がある。板厚1mm前後の表面処理鋼板を、構造材料としたスチール住宅についての検討も漸次始めることにより、社会環境の向上へ貢献していく段階に入ってきたと考える。

阪神大震災において、多くの土木建築構造物が被害を受けた。この観点から、本特集は都市防災や耐震研究を中心に構成した。今回の震災の経験を生かし、より経済的で性能に優れた鉄骨造の普及と発展を期待すると共に、それに向かって努力していく必要性を痛感している。

参 照 文 献

- 1) (財) 建設物価調査会：建築統計年報.1994