解　説

受賞技術－9

# 超高層ビルの安心・安全に対応した 550N/mm²級高耐震性高強度鋼の開発

## Development of 550N/mm² Class High Strength Steel for Seismic Design of High-rise Buildings

JFEスチール（株）　スチール研究所
土木・建築研究部　部長　加村久哉
Hisaya Kamura

JFEスチール（株）　厚板セクター部
主任部員　鈴木伸一
Shinichi Suzuki

JFEスチール（株）　東日本製鉄所
商品技術部厚板室　室長　石川　操
Misao Ishikawa

## 1 緒言

最近の超高層建築では、耐震安全性などの安心・安全と建設費低減の両立を図るため、柱・梁などには変形性能の大きな低降伏比（降伏強さと引張強さの比＝YR）型の高張力鋼を使用（図1参照）することが多くなっている。

建築物に使用される鋼材は、引張強さ490N/mm²級が一般的である。しかし超高層建築では、板厚が厚くなるため鋼材重量の増加や溶接施工時における負荷、管理コストの増加の問題がある。このため、超高層建築では、耐震性（低降伏比、高溶接性）を有する高張力鋼の使用により、耐震安全性とコストダウンの両立が望まれている。しかし、従来の耐震性を有する高張力鋼材は、鉄骨コストの上昇や溶接施工者の制限などからその使用は限定的であった。

この安心・安全と建設費低減の両立の要求に答えるため、JFEスチールでは業界に先駆けて、高張力鋼でありながら良好な耐震性を有しかつ鉄骨コストを低減できる、引張強さ550N/mm²級の建築構造用鋼材HBL® 385を開発した[1]。この鋼材は『限界冷却速度によるオンライン加速冷却技術 *Super*-OLAC®（On-Line Accelerated Cooling）』[2,3]を用いて実現した従来にはなかった鋼材で、2010年第42回市村産業賞貢献賞を受賞している。本稿では、開発技術の内容とこの鋼材のメリットについて紹介する。

## 2 開発技術の内容

### 2.1 従来の建築構造用高張力鋼材の課題

最近の超高層建築の耐震設計では、図2のように、地震エネルギーを吸収するダンパーなどの制震デバイスを設置し、柱、梁などには弾性範囲の大きな高張力鋼を使用することにより耐震安全性とコストダウンの両立を目指す傾向にある。

代表的な低降伏比の高張力鋼材としては引張強さ590N/mm²級の鋼材があるが、製造工程において合金元素の添加や複雑な熱処理が必要なほか、溶接施工においても予熱、入熱制限など特別な管理が求められており、限定的な使用に留まっていた。

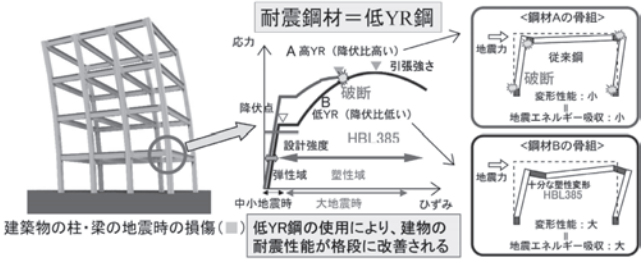



図1　建物の耐震性能と鋼材の低降伏比特性

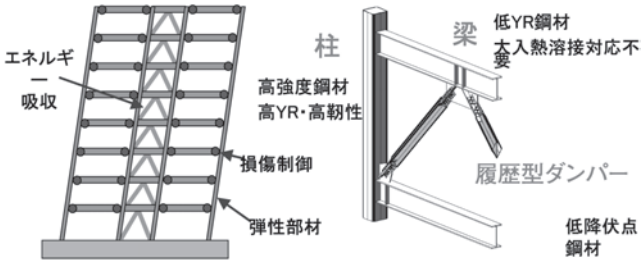



図2　最近の高層建築の構造的特徴（高張力鋼と制振ダンパーの使用）

＊　2010年第42回市村産業賞貢献賞受賞技術

こうした背景のもと、JFEスチールでは高張力鋼でありながら良好な溶接性と耐震性を併せ持つ引張強さ550N/mm²級の建築構造用低降伏比鋼の新たなコンセプトを提案し、TMCP型の新規鋼材を開発した。

### 2.2 本開発鋼の特徴

本開発鋼の特長を以下に記す。

**(1) 高強度、高耐震性、高溶接性の実現**

製造過程において高い冷却速度と均一な冷却が可能な加速冷却装置*Super*-OLAC® を活用することにより、降伏強度385N/mm²、引張強さ550N/mm²でありながら低降伏比 (YR≦80%)、高靱性 (0℃のシャルピー吸収エネルギー 70J以上) を実現しており、耐震性に優れた鋼材となっている (図3、表1)。また、溶接性も良好であり、従来鋼 (SN490など) と同等の溶接施工、溶接管理が可能である (図4)。その結果、従来の低降伏比の高張力鋼材が技量の特に優秀な限定されたファブリケーター(鉄骨加工業者) のみに許されていた建築鉄骨の加工が、より幅広いファブリケーターにおいて鉄骨加工が可能である。さらに、SAWなどの大入熱溶接が適用される溶接組立箱型断面柱の角部でも高い靭性の確保が可能となっている。これは、ミクロ組織の制御と、溶接部の性能を考慮した高度な成分設計の組合せで初めて達成された技術[4] である。開発鋼板の設計基準強度は385N/mm²とTMCP型の耐震性高強度鋼材としては最高強度を達成している。

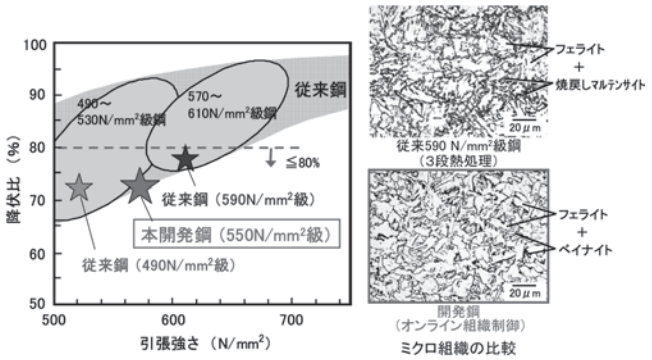



図3 鋼材の強度と降伏比の関係およびミクロ組織

**(2) コストダウンの実現**

建設基礎資材として多量に使用される鉄鋼製品は、そのコストパフォーマンスおよび流通性の両立が望まれる。本開発鋼は、図5のように、オンラインでTMCP製造が可能なため、製造工期の短縮が可能である。また、高張力鋼が本来持っている性能、すなわち高強度化による使用鋼材量の低減を享受することができる。引張強さ550N/mm²級の鋼材は、490N/mm²級鋼に比べ設計強度が18%アップしているので、鋼材重量を12～20%程度低減可能である。さらに、溶接工数の低減等の効果もあわせ、鉄骨コストを約20%低減することができる (図6)。その他に、輸送コストや建設時のクレーン揚重量の低減にもつながる。

**(3) 高い耐震性能**

JIS規格材以外の特別な鋼材は、その使用にあたり国土交

表1 母材の化学成分および機械的性質の例

| 種類の記号 | 厚さ mm | 化学成分 (wt%) C | Si | Mn | P | S | $C_{eq}$ % | $P_{CM}$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HBL385C | 35 | 0.14 | 0.21 | 1.26 | 0.013 | 0.002 | 0.37 | 0.21 |
| | 70 | 0.14 | 0.34 | 1.37 | 0.014 | 0.002 | 0.39 | 0.22 |
| | 100 | 0.14 | 0.34 | 1.37 | 0.014 | 0.002 | 0.39 | 0.22 |

| 種類の記号 | 厚さ mm | 引張試験 方向 | 試験片 | 降伏点または耐力 N/mm² | 引張強さ N/mm² | 伸び % | 降伏比 % | シャルピー衝撃試験 方向 | 吸収エネルギー (vEo) J | 厚さ方向特性 試験片 | 絞り % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HBL385C | 35 | C | JIS 5号 | 465 | 600 | 45 | 78 | L | 318 | 1) | 73 |
| | | | | | | | | C | 269 | | |
| | 70 | L | JIS 4号 | 442 | 589 | 32 | 75 | L | 290 | 1) | 75 |
| | | C | JIS 4号 | 443 | 595 | 31 | 74 | C | 242 | | |
| | 100 | L | JIS 4号 | 425 | 574 | 31 | 74 | L | 247 | 1) | 71 |
| | | C | JIS 4号 | 435 | 580 | 31 | 75 | C | 205 | | |

1) JIS G 3199 タイプC 10mmφ

通大臣の認定を取得することが義務付けられており、そのためには図7に示す実験・解析などを通じで本鋼材の耐震性能を実証[5]する必要がある。図8は柱－梁接合部実験により、本開発鋼と従来鋼（低降伏比490N/mm²級鋼および高降伏比の590N/mm²級高張力鋼）の耐震性を比較した例[6]を示している。本開発鋼は、高降伏比の高張力鋼に比較して耐震性に優れ、強度の低い490N/mm²級の従来鋼と遜色ない性能を有していることがわかる。

### (4) 幅広い用途展開

本開発鋼は、図9のように、厚板のみならず柱部材として使用する円形鋼管「P-385」や角形鋼管（コラム）「Pコラム G385」（(株) セイケイ殿との共同開発）などの加工建材や建築基準法に対応した設計法の国土交通大臣の認定・評価機関の一般評定を取得[7]しており、幅広いユーザーのニーズに対応することが可能となっている。

## 3 HBL® 385の適用状況

本鋼材は優れた経済性、耐震性、溶接性を兼ね備えているため、建築構造物の設計自由度が拡大するとともに、安心安全や環境対応など多様化する社会的ニーズへの対応が可能である。平成22年度末で、その適用物件は累計受注件数約90件、累計受注量約7万トンを達成している。

## 4 おわりに

このような、技術開発が認められた結果、第42回市村産業

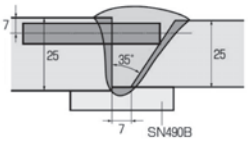
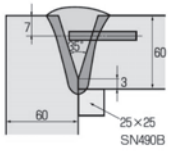
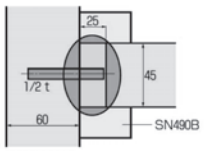
| 溶接方法 | 開先、継手形状及び シャルピー衝撃試験片採取位置 | 種類の記号と厚さ | 継手引張試験 | | シャルピー衝撃試験 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 引張強さ N/mm² | 破断位置 | 切欠位置 (ノッチ方向) | vEo J |
| 炭酸ガスアーク溶接<br>溶接材料：<br>JIS Z 3312 YGW18 1.2mmφ<br>入熱：30.2kJ/cm<br>パス間温度：250℃以下<br>予熱：なし |  | HBL385C 25mm | 580<br>584 | 母 材<br>母 材 | 溶接金属<br>ボンド部<br>HAZ1mm<br>HAZ3mm<br>(断面ノッチ) | 156<br>208<br>278<br>280 |
| サブマージアーク溶接<br>溶接材料：<br>JIS Z 3183 S502H 5.1mmφ<br>6.4mmφ<br>(KB-55I×KW-55)<br>入熱：550kJ/cm |  | HBL385C 60mm | 溶接金属引張試験<br>降伏点 または耐力 N/mm²<br>428 | 引張強さ N/mm²<br>610 | 溶接金属<br>ボンド部<br>HAZ1mm<br>HAZ3mm<br>(断面ノッチ) | 92<br>55<br>40<br>71 |
| エレクトロスラグ溶接<br>溶接材料：<br>JIS Z 3353 YES62/FS-FG3<br>1.6mmφ<br>(KF-100×KW-101B)<br>入熱：660kJ/cm |  | ●柱<br>HBL385C 60mm<br>●ダイアフラム<br>HBL325C 45mm | 溶接金属引張試験<br>降伏点 または耐力 N/mm²<br>438<br>428 | 引張強さ N/mm²<br>606<br>600 | 溶接金属<br>ボンド部<br>HAZ1mm<br>HAZ3mm<br>(断面ノッチ) | 33<br>78<br>80<br>163 |

図4　継ぎ手性能試験結果

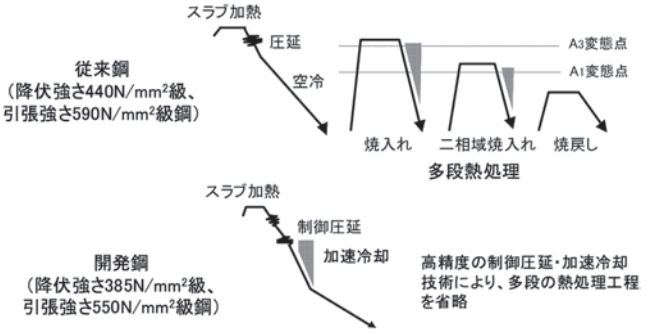



図5　従来鋼と本開発鋼の代表的な製造方法の比較

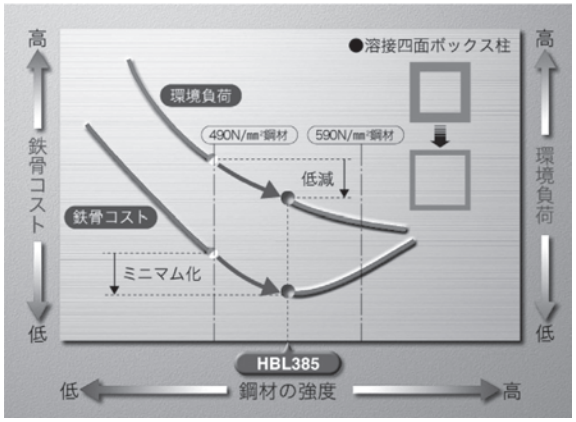



図6　鉄骨製作コスト、環境負荷の低減効果

賞貢献賞を受賞させて頂くことができた。我国の耐震技術の向上にいささかなりとも貢献することができた喜びを感じている。益々研究を進め、都市の安心安全に寄与し、社会に貢献し得る新しい技術の開発に全力を傾けたいと考えている。

**参考文献**


1) 林謙次, 藤沢清二, 中川一郎：JFE技報, 5 (2004), 45.
2) 小俣一夫：ふぇらむ, 16 (2011), 239.
3) 小俣一夫, 吉村洋, 山本定弘：NKK技報, 179 (2002), 57.
4) 角博幸, 林謙次, 加村久哉, 猪砂利次, 塚本裕昭：日本鉄鋼協会　第145回春季講演大会概要集 (CAMP-ISIJ), 16 (2003) 2, 344.
5) 中川圭, 加村久哉, 藤澤一善, 村上行夫, 平野攻：日本建築学会　大会学術講演会梗概集, (2008) C-1, 549.
6) 村上行夫, 藤沢清二, 藤澤一善：JFE技報, 10 (2005), 35.
7) 石井匠, 藤沢清二, 大森章夫：JFE技報, 21 (2008), 1.


(2011年5月16日受付)

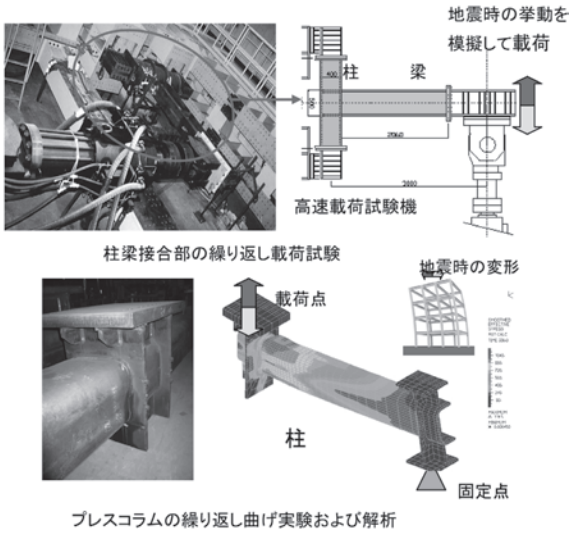



図7　HBL® 385の耐震性の実証のための実験・解析

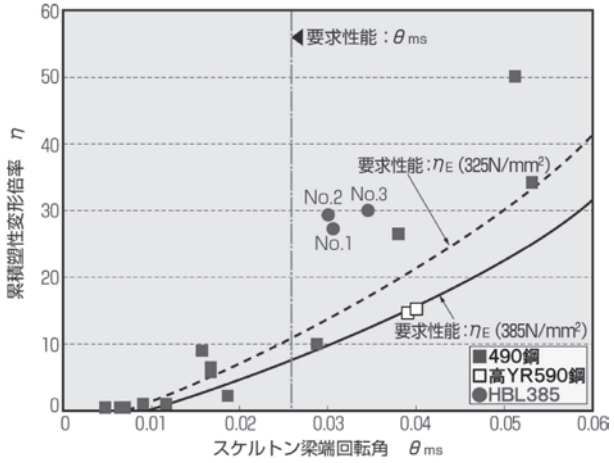



図8　HBL® 385の耐震性の実証 (柱梁接合部の繰り返し載荷試験)

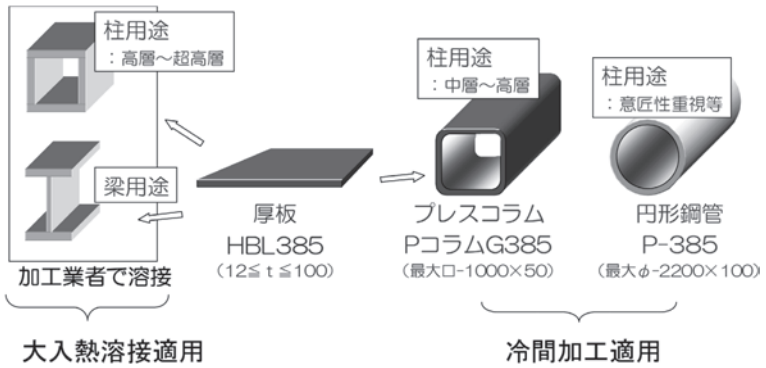



図9　本開発鋼の用途展開