

技術展望

“国土強靱化”に向けた新日鐵住金(株)の建材技術の取組み

Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation Construction Products and Technologies for the National Resilience

三宅正人*
Masato MIYAKE

一戸康生
Yasuo ICHINOHE

抄 録

近い将来に発生が予想されている首都直下地震、南海トラフ地震による地震災害や毎年繰り返される豪雨による洪水・土砂災害、さらには近年活発化している火山活動による噴火災害などから人命と財産及び経済活動を守るため政府は国土強靱化の取組みを推進している。国土強靱化に向けた防災、減災に対する新日鐵住金(株)の建材分野における技術動向と今後の展望について述べた。

Abstract

Japanese government promotes the National Resilience Project in order to create safe and secure people, properties, and economic society, which might be destroyed by terrible natural disasters (e.g. expectative huge earthquakes such as Tokyo epicentral earthquake, floods and landslides caused by heavy rain every year, and eruption disasters caused by increasingly active volcanoes currently). In this report, some Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation construction products and technologies for the National Resilience Project will be introduced and future works will also be described.

1. “国土強靱化”に向けた政府の取組み

2011年3月11日14時46分、宮城県沖の太平洋を震源とする“平成23年(2011)東北地方太平洋沖地震”が発生し、最大震度7/M9.0を記録する激しい揺れとその後に来襲した巨大津波は東日本の太平洋岸に甚大な被害をもたらした。

“東日本大震災”は死者15890名、行方不明者2589名、建物の全半壊約39万戸(2015年2月末時点)という深刻な被害をもたらし、多くの尊い人命と莫大な資産が失われている。また、被災地では道路、鉄道、空港、港湾、河川、海岸、上下水道、電気、ガスなどの公共インフラストラクチャが壊滅的な被害(写真1)を受け、このために生じたサプライチェーンの途絶は広範な地域の経済活動を停滞させた。

東日本大震災の教訓をもとに、政府は自然災害に対して国土を強靱化し、“想定外の事象”に対しても人命と財産を守り経済活動を維持し、自然災害などによる国力の衰退を防ぐための施策に着手した。

震災から2年後には“強くしなやかな国民生活の実現を

図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法”(2013年12月11日法律第95号)を成立させ、国土強靱化担当大臣を任命するとともに“国土強靱化推進本部”を設置している。その後、2014年6月3日には“国土強靱化基本計画”を閣議決定し、具体的な実行内容を“国土強靱化アクションプラン2014”(2014年6月3日国土強靱化推進本部決定)により明らかにしている。国土強靱化アクションプランにより各施策に関する年度毎の進捗管理が行われている。

国土の強靱化は地域の特性を考慮して行うことが必要であり国の基本計画に準じて“国土強靱化地域計画”¹⁾の策定が39都道府県、25市区町(2015年7月17日現在)で進



写真1 東日本大震災の被災状況
Devastated area by the Great East Japan Earthquake

* 建材事業部 建材開発技術部 部長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



写真2 インフラストラクチャ老朽化 (橋梁の損傷)
Decrepit infrastructure (damaged bridge)



写真3 防波堤, 防潮堤の被災状況
Devastated breakwaters and tide barrier

められている。また東日本大震災を契機として各企業・組織においても事業継続計画 (BCP: Business Continuity Plan) の策定が進められ災害に対する備えがなされつつある。

東日本大震災は“想定を超える事象”が発生することを前提とし、避難計画やタイムラインなどのソフトウェア的な対策と沖合の防波堤と海岸の堤防を組み合わせる“多重防護”などのハードウェア対策、これらソフトウェア対策とハードウェア対策を組み合わせさせた“多重防御”により産学官民が協力して防災、減災のための対応策を練らなければならないことを教えた。

2013年9月7日には“2020年オリンピック・パラリンピック”の開催地が東京に決まり、国土強靱化基本計画の中でも“特に配慮すべき事項”として、“2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けた対策等”と明記されている。東京大会に向けて整備される各種の公共インフラストラクチャ施設は国土強靱化に向けた取組みの一環でもあり、東京大会を契機として日本のさらなる国際化とバリアフリー化を推進するとともに、防災機能を高めた安全な都市づくりを進めて行かなければならない。

国土強靱化と防災、減災への取組みは、計画的かつ継続的に行っていくことが必要であるが、財政課題、少子高齢化、地方衰退や高度経済成長期から蓄積されたインフラストラクチャの老朽化 (写真2) など同時に解決しなければならない課題も多い。

首都直下地震や南海トラフ地震の発生も間近に予測されており国土強靱化と防災、減災に資する新技術、新商品が強く求められている。新日鐵住金(株)は鉄鋼メーカーとして鉄鋼材料をはじめとする各種素材を有効に活用し、限られた予算に対応可能なコスト削減技術、労働人口の減少に対応する省力化技術、老朽インフラストラクチャの補強・更新技術、地方創生に資する建築技術など社会と時代の要求に応じていくことが使命である。

以降では、土木分野と建築分野に分けて、東日本大震災からの復旧、復興と今後の国土強靱化、地方創生に関する建材分野の技術動向を解説する。

2. 土木分野における取組み

新日鐵住金の土木分野の建材商品は、鋼管杭²⁾と鋼矢板³⁾を主力商品としながらシールドトンネル用セグメントに代表される土木加工建材にも注力している。これら土木建材に関して、素材と利用技術を両輪とする研究開発を精力的に実行し、顧客のニーズに応える幅広い商品及び工法をラインナップしていることが特徴である。

2.1 防災・減災インフラストラクチャ整備

2.1.1 防波堤, 防潮堤, 海岸堤防の津波対策

東日本大震災では巨大な津波により防波堤、防潮堤や海岸堤防が破壊され港や後背地は甚大な被害を受けた (写真3)。

東日本大震災の経験から防波堤や防潮堤、海岸堤防には、これらを組み合わせさせた“多重防護”と個々の構造物の“粘り強さ”が求められるようになった。これらの対策により想定を超える津波が来襲したとしても構造物の破壊を極力遅らせ避難時間を確保するという思想であるが、この新たな技術課題に対して精力的な研究開発を推進している。

湾口部や沖合に設置されている防波堤は津波に対する第1の防護線となっているが、多くは捨石等のマウンド上にケーソンを設置した重力式のものである。このため想定を超える津波を受けるとケーソンの滑動とマウンドの洗掘により短時間で破壊されることが明らかとなった。このような防波堤に対して、ケーソンの港内側に鋼管杭を打設してケーソンの滑動を防ぐとともに、マウンドの洗掘の影響を軽減する新たな補強工法の開発⁴⁾を進めてきており、防波堤の粘り強さを確保できる目途を得ている。

第2の防護線であり高潮などから後背地を守る直立式の防潮堤もケーソン同様に重力式であったために津波で壊滅的な被害を受けている。被災地では地盤沈下が発生し高潮被害が拡大することが懸念され早期復旧が必要とされていた。直立式防潮堤は現場打設のコンクリート構造が主として用いられていたが、震災後の東北地方ではコンクリート等の資材不足と建設労働者不足が顕著となり、これらに対応できる新たな防潮堤が求められていた。新日鐵住金はグ

ループ会社等と協力しながら鋼管杭を基礎構造とし、直立部のプレキャストコンクリートと結合させて必要な防潮堤の規模に合わせた粘り強い構造のプレファブ型防潮堤のラインナップを開発⁵⁾し、すでに多くの復旧工事で使用されている。

また、第2の防護線となる海岸堤防は一般的に盛土で造られているため津波が越流すると盛土が削られ決壊してしまう。この課題に対して、海岸堤防内に2重に鋼矢板や鋼管矢板を打設し津波が越流してもコアとなる部分の破壊を防止する“2重鋼矢板壁”⁶⁾を大学、施工会社と共同で開発した。現在、南海トラフ地震により津波の来襲が予測されている高知県において本工法を用いた補強工事が進められている。

地震の揺れによる液状化で堤体が沈下した直後に、津波が来襲するという複合的な災害形態も想定されており、このような複合災害に対する評価技術の開発⁷⁾にも取り組んでいる。

2.1.2 河川、都市の水害対策

台風や集中豪雨により繰り返される洪水・浸水被害は約3000億円/年⁸⁾と推計されている。今後は気象の極端化が進展するとも指摘されており水害対策も重要な施策となっている。

中小河川の水害対策として渇水期に実施される改修工事では、鋼矢板が多く用いられてきており以前は400mm幅や600mm幅のU形鋼矢板が主流であった。工期の短縮と施工性の改善を目的として900mmまで広幅化した“ハット形鋼矢板”（10H、25H）を開発⁹⁾しU形鋼矢板からの転換を図ってきている。現在は、さらに剛性の高い45H、50H⁷⁾を加えた4つの型式をラインナップしている。防災分野などハット形鋼矢板の用途が拡大し、高耐力化のニーズも増加してきたため新たに高強度（SYW430）⁷⁾のハット形鋼矢板も商品化している。

一方で、狭隘な環境にある都市河川の改修工事では、既存のコンクリート製護岸基礎や捨石等を直接切削して鋼管を圧入できる“ジャイロプレス工法”⁸⁾を開発している。都市部の狭隘地では、省スペース施工に対するニーズが高かったことから先に圧入した鋼矢板や鋼管上を圧入機が自走できる工法を施工会社とともに開発し、都市部の河川改修工事などで多数の採用実績がある。

大都市の水害対策としては、年々強度を増している短時間降雨に対応するため河川改修の他に雨水幹線（下水道）や地下河川の整備も活発に行われている。地下河川や地下貯留池では降雨時に雨水を一時的に貯留し、降雨が終わった後に下流のポンプ場で排水が行われる。管路が満水状態になると構造体には引張力が作用するため従来用いられていた鉄筋コンクリート製の構造体（セグメント）では対応できない場合が生じてきた。このような新たな用途に対応



写真4 建設中の地下河川
Underground channel (under construction)

して、鋼とコンクリートを複合化させ引張力にも十分抵抗できる“NMセグメント”や“HCCPセグメント”⁹⁾を開発し、多くの内水圧が作用する管路の構造体として使用されている（写真4）。

2.2 交通・物流インフラストラクチャ整備

交通・物流インフラストラクチャは被災時の救援・救護活動の生命線であり、早期復旧のためにも機能を維持していることが求められる。また、ネットワークを形成することで多方向からのアクセスを可能とすれば、災害に対する強靱性を確保できる。しかしながら、笹子トンネル天井板崩落事故に代表されるように高度経済成長期以降に大量にストックされたインフラストラクチャの老朽化が大きな課題となっているが、インフラストラクチャの健全度に関する全国的な調査、診断は開始されたばかりの段階である。

都市高速道路の老朽化対策としては、前回の東京オリンピックにあわせて整備された首都高速道路や同時期に整備された阪神高速道路で大規模更新・修繕が計画され実行に移されている。首都高速1号羽田線の大規模更新は都市内の狭隘な空間で行われる初の本格的更新工事であり、周辺環境に配慮した短工期施工が要求されている。工事用の資材搬入路や施工ステージとなる工事用栈橋には、東日本大震災の復旧工事に用いた仮設道路の床版としても使用された“メトロデッキ”⁸⁾が活用できる。メトロデッキは縞H形鋼を組み合わせた加工建材で商品化からすでに50年が経過したロングセラー商品である。

また、工事期間中の代替路線となる迂回路の脚構造として使用後に引抜き可能な回転杭の“NSエコパイル”³⁾を用いれば、低騒音で無排土の周辺環境に配慮した施工が可能である。加えて鋼管同士の現場接合を急速化、高品質化できる“鋼管杭機械式継手”¹⁰⁾を適用すれば、さらなる短工期化が期待できる。本設橋梁の橋脚基礎に鋼管矢板井筒基礎を採用することで、高耐力により基礎をコンパクト化できるとともに、仮締切を兼用した急速施工が可能となる。このように都市部での老朽更新工事に鋼材を用いた工法を採用するメリットは大きい。

一方、鋼橋の性能を高め製作性も改善できる“橋梁用高



写真5 SBHS を用いた橋梁
Steel bridge built of SBHS

降伏点鋼板 SBHS¹¹⁾ を本設橋梁の橋脚や橋桁に使用すれば、高品質で耐久性の高い長寿命橋梁を実現できる(写真5)。

また、都市高速道路では飛躍的な交通量の増加によりコンクリート製床版の疲労劣化が進行しているため床版の修繕ニーズが高く、床版の取り換えを容易にする“取替用高性能鋼床版¹²⁾ (産学で共同研究中) は、床版の死荷重軽減効果も期待でき LCC の観点からも鋼橋の競争力を高める技術である。

ミッシングリンクの解消を目的とする大都市部の道路ネットワークの形成では、“東京外かく環状道路”などに耐震性に優れた地下トンネル構造が採用されている。ここでは“大深度地下の公共的使用に関する特別措置法”を本格的に適用し、地下 40m 以深の地下空間に外径 15.8m の 3 車線道路の建設が始まっている。都市計画で高さ 12m 以上の建物の建設が認められている区間は、建物荷重が付加される重荷重区間となり、この部分で構造体の厚さを決定すると不経済となってしまう。このため一般部と同じ構造体の厚さで耐力の高い構造体が求められ、経済的に高耐力を実現できる“NM セグメント¹³⁾”が採用されている。

鉄道に関しても東海道新幹線のリフレッシュ計画が策定され、代替路線としての中央リニア新幹線の建設も開始された状況である。これらの新線建設やリフレッシュに対しても新たなニーズに対応すべく研究開発を推進している。

2020 年東京オリンピック・パラリンピックに向けた競技場整備や交通インフラストラクチャ整備は、5 年の間に建設することが必須であり、短工期と高品質、長寿命を実現できる新日鐵住金の土木建材が採用されるチャンスは多いと考えられ、積極的な技術提案活動を行い協力していきたい。一例としては、2020 年の開通を目指して鉄道運輸機構が建設を進めている相鉄東急直通線では、高耐力により薄壁化が可能な“ソイルセメント鋼製地中連続壁¹⁴⁾”を適用して、大規模、大深度の新横浜駅建設工事が進められている(写真6)。

2.3 産業・エネルギーインフラストラクチャ整備

東日本大震災では地震による揺れとそれに続く津波により多くの港湾施設が大きな被害を受けるとともに、福島第



写真6 ソイルセメント鋼製地中連続壁の施工状況
Construction of steel diaphragm wall with soil cement

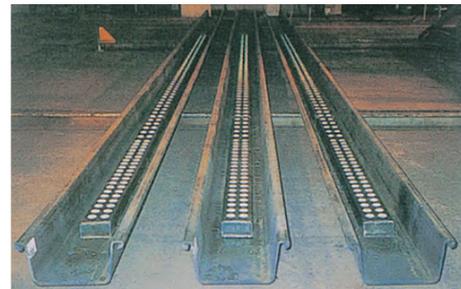


写真7 ハイドレインパイル(鋼矢板)
Hi-drain piles (steel sheet piles)

一原子力発電所に代表される沿岸部のエネルギープラントも甚大な被害を受けている。また、震源から遠く離れた東京湾岸のコンビナート地帯においても長時間の揺れによる地盤の液状化やスロッシングを原因とするタンク火災が発生し、経済活動に深刻な影響を与えた。

港湾やコンビナートについても高度経済成長期に建設されたものが多く、これらの耐震・耐津波性能を高め併せてリフレッシュを行っていくことは、日本の国際競争力を維持していく上でも必要な対応である。特に、太平洋ベルト地帯の港湾やコンビナートでは、南海トラフ地震による被害も懸念されているため早急な対策の実施が求められている。

港湾施設の耐震化には、海上で施工される鋼管杭の支持力を高める“RS プラス[®]工法¹⁵⁾”や鋼管杭と斜材を組み合わせる“水中ストラット工法¹⁵⁾”があり多くの工事で採用されている。

また、地震動により地盤が液状化すると構造物の重量などにより地盤の沈下や側方流動が発生して構造物に大きな被害を与えることが知られている。このような地盤の液状化を抑制する技術としては、鋼管や鋼矢板に排水材を装着し地盤中の過剰間隙水圧の逸散を促す“ハイドレインパイル”(写真7)がある。さらに、鋼管杭や鋼矢板を重要構造物の周辺に打設して、地盤の変形や流動を抑制する工法についても研究が進められている。

震災後の原子力発電所停止に伴い各地で火力発電所の

増強や休止していた発電所の再稼働が行われたが、沿岸部に立地する既存の火力発電所の老朽化も将来的な課題となっている。石炭火力発電所では、廃棄物となる石炭灰処分場の増設も検討されており、遮水性の高い“2重鋼矢板遮水構造”や直線鋼矢板と角形鋼管を組立加工した箱形鋼矢板“NS-BOX”の活用を提案している。

2.4 今後の展望

災害が多発し国土の強靱化が急がれる一方で、財政課題や少子高齢化など解決に時間がかかるとされる課題にも対応が求められている。

このような状況の中、新日鐵住金は“鋼材の利用”という側面から国土強靱化のための防災、減災に貢献するとともに、建設コストの縮減、短工期化や省力化施工を実現し我が国が有する課題の解決に協力していかねばならない。

今後も素材と利用技術を両輪とする研究開発を継続し、保有する解析・評価・設計技術及び製造・加工技術をさらに高度化していかねばならない。そして、新日鐵住金の技術と施工技術やプレキャストコンクリート技術など各社の技術を積極的に融合し、新たな視点で革新的な技術を創造することが求められている。

例えば、直立式防潮堤に対する取組みで解説したように各社が有する技術を融合させれば、新たなニーズに応える新商品を短期間で提供することも可能となる。また、鋼管杭とハット形鋼矢板を組み合わせる“コンビジャイロ工法”¹⁶⁾のように、新しい素材と新しい施工技術を融合させて新商品を創出することも可能である。

さらに、ICT (Information and Communication Technology) 技術は急速な進歩を続けており、土木分野においても近い将来にはCIM (Construction Information Modeling) を用いた“計画～設計～施工～維持管理”にわたる一貫品質管理が求められるようになると考えられる。一方で、製造側でもCIM (Computer Integrated Manufacturing) が本格的に導入されていくことになると考えられ、これら2つのCIMは構造物の高品質化、長寿命化を実現させる省力化技術とも見做せる新しい技術である。

今後は、このような新たな技術領域も積極的に取り込みながら社会的要請と顧客のニーズを的確に捉え、鋼材を用いた新たな技術と商品により、高度で多様なニーズに応えていかねばならない。

3. 建築分野における取組み

3.1 事業継続性に優れる強靱な鋼構造建築

南海トラフを震源域とする巨大地震や首都圏直下地震の発生リスクが高まり、建築物の強靱性が改めてクローズアップされている。建築基準法の精神は極めて稀に発生する地震に対して建築物の倒壊を防止し人命を守ることであるが、

それに留まらず強靱性をさらに高め、大地震の後も継続使用可能な建築物が求められている。とりわけ、災害時に防災拠点となる公共建築や超高層ビルなどの重要建築物では、建築基準法で規定されたレベルを超える設計外力を設定して、構造安全性を高める設計が積極的に行われている。

一方で、施主が建築物に求める仕様も高度化している。建築物の高層化、大スパン化、高階高化に加えて、用途の複合化や意匠性の追求によるデザインの複雑化、多様化により、構造躯体に対する要求性能がますます過酷になった。斯かる状況の中で、主要構造部材は必然的に大型化、大断面化しており、使用鋼材量を抑制するとともに加工や溶接施工の負荷を低減する目的で、高強度鋼材が注目を集めるようになってきた¹⁷⁾。

従来の建築用構造材料の枠組みを超える高強度鋼の魁となったのは、1988年から始まった建設省総合技術開発プロジェクト“建設事業への新素材・新材料利用技術の開発”において設計及び溶接施工法の利用技術を含めて開発され、1996年に商品化された建築構造用高性能590N/mm²鋼SA440である¹⁸⁾。SA440は塑性設計の適用を前提としているため、低降伏比及び狭降伏点レンジなど、SN鋼 (JIS G 3136) のコンセプトと整合をとった鋼材規格となっている。

その後、兵庫県南部地震を契機に、また各種エネルギー吸収デバイスの発展とも相俟って、巨大地震に対しても主要構造部の損傷を局限する損傷制御設計法が脚光を浴びだした。2004年に開始した府省連携プロジェクト“革新的構造材料を用いた新構造システム建築物の開発”では、“震度7クラスの地震動に対して主要構造部無損傷”をスローガンとして掲げ、その中で開発された鋼材がH-SA700 (780N/mm²級超高強度鋼)である¹⁹⁾。H-SA700はその弾性域の大きさをうまく活用して、主としてエネルギー吸収デバイスと組み合わせた免震・制振構造として、弾性保持を目指す主架構に適用される。このように弾性設計での使用が前提となっているため、降伏点を高めるとともに、今まで重要視されていた降伏比を大幅に緩和した鋼材規格となっている。

新日鐵住金では、熱加工制御 (TMCP) 技術やH-TUFF[®] 技術²⁰⁾を駆使し溶接施工効率の向上と溶接部の高靱化要求に応えながら、建築構造用高張力鋼板BT-HTシリーズのラインナップ構築を図ってきた。SA440を含む従来の低降伏比型鋼材“BT-HT325, 385, 440 (=SA440), 630”のほか、H-SA700を含む降伏比を緩和した弾性設計用の高降伏点鋼材^{21,22)}“BT-HT400, 500, 700 (=H-SA700), 880”のラインナップも充実させており、様々な設計ニーズに対応することができる (図1)。また、これらの技術を冷間プレス成形角形鋼管や東京スカイツリーにも採用された円形鋼管へ展開している。

このシリーズの中でBT-HT880は、世界最高峰の強度を

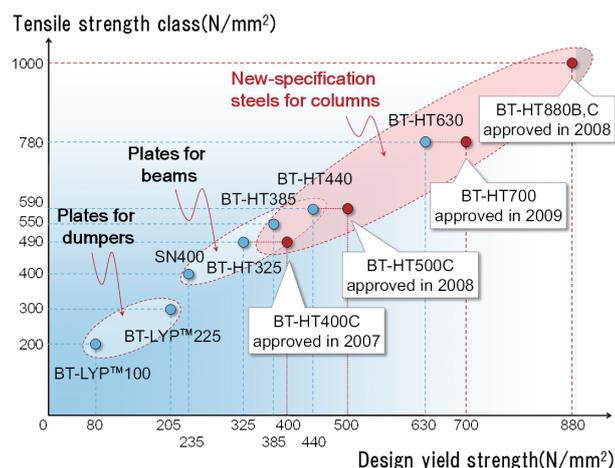


図1 新日鐵住金の建築構造用鋼材

Nippon Steel & Sumitomo Metal's steel plates used for building structures



写真8 新日鐵住金の尼崎研究開発センター

Nippon Steel & Sumitomo Metal Amagasaki Research and Development Center

有する建築構造用鋼材である。その適用事例として新日鐵住金の尼崎研究開発センターを紹介する(写真8)。本建物では、将来の研究内容や組織の変化に柔軟に対応するため133m×23mの大きな無柱空間を執務室として確保するとともに、BT-HT880と制振ブレースを併用した1階集中制振構造としている。1階の柱にBT-HT880で構成された溶接組立H形鋼を用いて弾性限変位を拡大した上で、1階に集中配置した制振ブレースが地震エネルギーの大半を吸収することで、大地震時にも柱梁部材の挙動を弾性範囲に留めている²³⁾。

引張強度が780N/mm²クラス以上の超高強度鋼は、現在、本格適用の緒に就いたところであるが、溶接金属の割れ防止のための予熱・後熱処理や、溶接金属の強度確保のための入熱・パス間温度管理などの厳しい溶接施工条件が普及の桎梏となっている。今後、新しい溶接材料の開発や近年研究が進んでいる軟質継手^{24,25)}の適用など、関連技術を整備しながら高強度鋼の溶接施工合理化に貢献して行く。

3.2 施工省力化と工期短縮

東京を中心とした都市部では、大型再開発プロジェクトが本格化し、超高層建築の建設ラッシュを迎えている。全国的にも物流倉庫や商業施設等の低層大型案件が堅実な

展開を見せるとともに、公共建築が更新時期を迎え、特に地方創生の推進母体となる庁舎の建て替え計画が相次いで発表されている。このような状況のもと、労働力の不足や建設物価の上昇が加速され、案件の入札不調や遅延、先送りを引き起こしている。労働者不足は少子高齢化に伴う長期的な課題であり、施工省力化と短工期化による労働生産性の向上は建設業界の構造的な課題である。型枠工や鉄筋コンクリート造に対して、鉄骨造では直ちに工期や労務費削減に貢献できるため、従来もつばら鉄筋コンクリート造が採用されていた建築物においても、鉄骨造が計画時の比較検討対象となってきた。

ここでは、新日鐵住金が取り組んでいる施工省力化、短工期化に資する製品、工法の開発動向を紹介する。まず、H形鋼を中心とする梁部材では、中低層から超高層まであらゆる建築物で幅広く使用されているハイパービーム[®]を対象として、製品ラインナップの充実とともに各種工法(設計法)の開発に精力的に取り組んでいる。ハイパービームは、JISサイズH形鋼には無い幅広いサイズバリエーションとビルトアップH形鋼に対する価格競争力により、設計の合理化や施工の効率化を実現する。

新日鐵住金では新たに従来鋼規格(SN490B)に対して設計基準強度を20N/mm²高めることができる“NSYP345”をラインナップに加えた。同時に、ハイパービームの特徴である重量効率に優れる薄肉ウェブや細幅サイズの性能を引き出す2つの新しい工法を開発した。ひとつは、梁端のウェブをスチフナーで補剛することで、重量低減を図りながら優れた変形能力を発揮する“梁端ウェブ補剛工法”²⁶⁾である。もうひとつは、梁上の床スラブによる拘束効果を考慮することで横座屈止めを省略する“横補剛材省略工法”である。これらの工法とNSYP345とを組み合わせることで、JISサイズH形鋼に対する鋼重削減を追求することが可能であり、物流倉庫を主体に着実に採用実績を伸ばしつつある(写真9)。

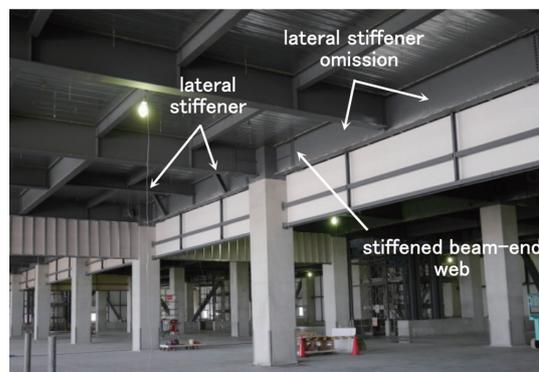


写真9 ハイパービーム[®]を使用した“梁端ウェブ補剛工法”及び“横補剛材省略工法”の適用事例

Application of stiffened beam-end web construction method and lateral stiffener omission construction method using NSHYPER BEAM[™]

厚板製品を中心とする柱部材に関しては、大型化、厚肉化する鉄骨部材の生産性を向上するため、高能率溶接施工に対するニーズが高まっている。超高層建築で多用される4面ボックス柱の製作では、一般にエレクトロスラグ溶接や多電極サブマージアーク溶接などが使用され、その入熱量は50～100kJ/cmに及ぶ。このような大入熱溶接を従来鋼に適用すると、溶接熱影響部(HAZ)組織が粗大化して靱性が劣化し、脆性破断に対する危険性が增大する^{20,27)}。溶接施工の合理化と溶接部品質の確保というニーズに同時に応えるため、新日鐵住金ではHAZ細粒高靱化技術H-TUFFを開発し、建築構造用高張力鋼板BT-HTシリーズに適用してきた。最近では、さらに溶接部の割れ防止のために必要であった予熱を省略可能な590N/mm²級予熱低減型TMCP鋼板“BT-HT440-SP”を新たに開発し市場投入した。

一方、ロボット溶接による高能率化を求めて、4面ボックスから高性能冷間コラムへ切り替える事例が増えている。(一社)日本鉄鋼連盟が一般的な冷間プレス成形角形鋼管BCP325よりも高性能なコラム製品として、四面ボックスと同じ条件で設計可能なBCP325Tを規格化したことがこの動きを加速した²⁸⁾。しかしながら、BCP325Tでは施工時にコラムとダイヤフラムの溶接に複雑な積層パターンを採用することで構造性能を担保する枠組みとなっているため、溶接工程や施工管理の省力化が望まれていた。このたび新日鐵住金が商品化した490N/mm²級及び550N/mm²級TMCP型冷間プレス成形角形鋼管“BCHT325BTF, CTF及びBCHT385BTF, CTF”では、HAZ靱性を飛躍的に向上させることで、上述の複雑な溶接を不要としながらBCP325Tと同等以上の構造性能を発揮することが可能となった。

3.3 鋼構造によるこれからの公共建築

庁舎、学校、病院等の公共建築は、福祉、教育、医療の拠点として地域のシンボルの役割を担うとともに、災害時には防災拠点或いは避難場所として機能する。1960年代から1970年代に建設されたこれらの公共建築が次第に老朽化するとともに、旧耐震基準で設計されているため構造安全性に対する不安が高まり、建て替え需要が顕在化している。従来、これらの公共建築は鉄筋コンクリート造で建設される事例が多かったが、表1²⁹⁾に示すように、近年の労働者不足や建設物価高騰を受けて、労働集約型の鉄筋コンクリート造から鉄骨造へのシフトが起こっている。

公共建築の在り方も変化している。例えば、学校建築では少子化や財政制約等の影響により、他の公共施設との複合化や設計段階から将来の用途変更の可能性を考慮する案件が増加傾向にある(写真10³⁰⁾)。庁舎や病院建築では、執務空間の大型化ニーズに加えて将来の機能の変化や拡張にフレキシブルに対応可能なプランが求められるようになってきた。

表1 新築着工床面積・構造種別シェア(2011→2014年)²⁹⁾
Share by structure type in floor space of newly built public buildings (CY2011→2014)

	Steel structure (S)	Reinforced concrete structure (RC)	Steel framed reinforced concrete structure (SRC)
Schools	26 → 35%	61 → 53%	10 → 8%
Hospitals	25 → 37%	61 → 49%	11 → 9%
City halls	35 → 40%	45 → 42%	13 → 12%



写真10 札幌市資生館小学校³⁰⁾
Shiseikan Elementary School in Sapporo



写真11 鋼構造公共建築の普及促進パンフレット
(日本鉄鋼連盟, 全国鉄構工業協会)
Promotional brochure for advanced public buildings by utilizing steel structure (The Japan Iron and Steel Federation, Japan Steel Fabricators Association)

日本鉄鋼連盟では、2014年に“公共建築物の鋼構造化推進委員会”を立ち上げ、公共建築分野における鋼構造の定着を目的とする活動を展開している。普及活動のためにパンフレット“鉄がサポートするこれからの公共建築”(写真11)を作成し、全国鉄構工業協会と連携しながら施主(中央官庁、地方公共団体)、設計者及び施工者を対象とした全国規模の研修会を実施中である。

この活動の中で、鋼構造の特徴、強みとして強調しているのは以下である。

①複合化と変化への対応：柱の少ない大空間を創出する大スパン架構は鋼構造の構造上の大きな利点であり、施設の使用複合化や将来のレイアウト変更等にも柔軟に対応が可能である。また、乾式工法のため、木、ガラス、金属、石など多様な仕上げ材と組み合わせた意匠性に優れた建築表現が可能であるとともに、増改築等のリノベーションに対

する親和性にも優れる。

②建設工期・コストの縮減：鉄骨部材は、工場生産されるため品質が安定しているとともに、建設現場での作業量削減や施工期間短縮が可能となる。材料単価は鉄筋コンクリート造よりも高いものの、結果的にトータルコストの縮減が期待できる。また、現場工期が短いことで騒音、粉塵等が減少し地域住民の負荷を軽減する。

③災害への備え：災害発生時に防災拠点となる公共施設では、建築物の強靱性や事業継続性が強く求められる。新日鐵住金では法令や設計法の変化に呼应し、特に鋼構造の耐震性能を向上させるため多様な鋼材、工法を開発し市場に提供してきた。これらの鋼材、工法は、津波に対する設計においても等しく有効である³⁰⁾。

鉄筋コンクリート造に対する鉄骨造の弱点として、遮音、振動、断熱性能等の環境性能を問われることがある。これらの性能を定量的に評価するため、日本鉄鋼連盟は(一社)日本鋼構造協会に委託し2014年に“鉄骨造を用いた公共建築物の調査・研究委員会(委員長：深尾精一 首都大学東京名誉教授)”を立ち上げ研究活動を開始した。鉄骨造で建設された公共施設の環境性能を実測しデータを蓄積しながら、これらの性能は当該部のディテール及び仕上げ材との取合い等のいわゆる“収まり”が支配因子であり、構造躯体の種別に起因するものではないことを明らかにして行く。同じことが耐久性についても言える。鉄骨造の法定耐用年数は、鉄筋コンクリート造と比較し短く設定されているが、実際の耐久性とは無関係である。雨仕舞いなどの“収まり”を工夫すれば一般的な内部鉄骨の腐食は殆ど進行せず、その耐久性はほぼ半永久的であると考えられる³²⁾。

長年鉄筋コンクリート造に馴れ親しんだ設計者にとって、鉄骨造のディテールや“収まり”の設計が、実は意外と難しい。上述の“鉄骨造を用いた公共建築物の調査・研究委員会”では、そういった設計者のために、鋼構造公共施設の試設計事例、コストや工期の検証結果、各種環境性能の計測・解析結果と併せて、設計の留意事項と推奨ディテールをまとめた設計ガイドラインを作成する計画である。

3.4 住宅分野に対するソリューション提案力の強化

新設住宅着工戸数は2014年度に見られた消費税の増税前の駆け込み需要の反動減から、種々の政策の後押しもあってやや持ち直し始めている。中でも都市部の狭隘地向けの多層化住宅(3階建て以上)、高齢化に対応した老人保健施設、及び高度成長期に建設された老朽化したマンション、社宅、寮等の建て替え需要が堅調である。近年の住宅建築に対する要求性能のトレンドを挙げると、①大地震に対する継続利用性を高める“耐震性”、②数世代にわたり構造躯体の使用を可能とする“耐久性”、③ライフスタイルの変化等への対応が容易な“可変性”、④ランニン



写真 12 上中島復興公営住宅Ⅰ期
(NS スーパーフレーム工法®)
3-story restoration public housing in Kamaishi, Iwate
(NS-Super-Frame™)

グコストを低減する“省エネルギー”等であり、いわゆる“長期優良住宅”の認定基準に合致する。

住宅分野においても労働者不足は深刻な課題であり、施工省力化や短工期化のニーズは高い。復興住宅は、いまだに計画戸数に対する進捗率が36%(2015年6月時点)と低位に留まっているが、ここでも鋼構造の短工期、低コストが大いに評価されている。釜石市の上中島復興公営住宅では、Ⅰ期工事(54戸)とⅡ期工事(156戸)の全てが鋼構造で建設された。この中で、5階建及び8階建には(株)竹中工務店が開発した鉄骨造“アウトフレーム®CFH 架構システム”が、3階建には新日鐵住金の“NS スーパーフレーム工法®”³³⁾が採用されている(写真12)。NS スーパーフレーム工法は、新日鐵住金が独自に開発し育ててきたスチールハウス工法で、このたび新たに4階建がラインナップに加わり、今後、集合住宅、社宅、寮、老人保健施設など幅広く採用されることが期待されている。

住宅メーカーは中長期的な住宅着工の減少が予測される中で、上述のニーズに対して質の差別化を図るとともに、付加価値を高めながら熾烈な競争を展開して行くであろう。これに対して、新日鐵住金が誕生した2012年の経営統合を契機に、旧新日本製鐵(株)が開発した高耐食性めっき鋼板“スーパーダイマ®”と旧住友金属工業(株)が開発した溶接軽量H形鋼“スマートビーム®”の2つの看板商品が揃い、かつ住宅分野に関する強力な利用技術と相俟って、ワンストップで需要家からの様々な要望に応える体制が整った。

スーパーダイマは優れた耐食性と加工性が評価され、NS スーパーフレーム工法の他、様々な形状の住宅用薄板軽量形鋼の母材として使用されている。スチールハウスの開発過程において培ってきた断面最適化技術である“かたちソリューション®”³⁴⁾をはじめとする解析技術や音、振動、熱の計測及び評価技術を活用しながら、住宅メーカー等に対してスーパーダイマの提案活動を展開している。一方、スマートビームは設計ニーズに即応可能なサイズフリー、熱間圧延H形鋼ではできない薄肉断面による経済設計、加工コスト削減につながる高寸法精度などが高く評価され、主に鉄骨プレハブ住宅の梁材として用いられている(図2)。



図2 スマートビーム®の採用例
Application of SMart BEAM™

このたび、新日鐵住金はスーパーダイマとスマートビームを組み合わせた新商品“SD スマートビーム®”を市場に投入した。住宅分野等で使用されている後めっき或いは塗装したH形鋼からの置換えを提案、推進して行く。

今まで鋼部材が使われていなかった住宅基礎や木造住宅の主要構造材への部分的適用等に対する提案活動も積極的に展開している。その一例が、ユニット式基礎鉄筋製造会社であるメクス(株)と共同で開発したスーパーダイマを用いた鋼製基礎“Hi-MS 工法”であり、建築物メーカーである(株)タツミと共同で開発した木造住宅の大スパン梁材向け“スマートビーム工法”である。スーパーダイマ及びスマートビームの2つの製品と今まで培ってきた利用技術をフル活用し、今後もきめ細やかで魅力的な提案をしながら需要家と一体となった開発を推進して行く。

3.5 今後の展望

“あべのハルカス”や今般発表された最高高さ390mの超高層ビル計画“常盤橋街区再開発プロジェクト”に見られるように建築物の高層化、大型化が進展する中、建築物の構造安全性が喧しく問われ、建築物の強靱性、事業継続性が資産価値として評価される時代が到来した。現在、海溝型巨大地震による長周期地震動や内陸直下型地震によるパルス性地震動の予測技術向上と並行して、増大する設計想定外力に対する構造設計の在り方が盛んに議論されている³⁵⁾。このような地震動により惹起される大変形応答や多数回の繰返し応答を受ける鋼部材の限界性能、さらに最大耐力を超え倒壊に至るまでの鋼構造骨組の挙動を具に評価する研究も精力的に進められている³⁶⁾。建築物の倒壊限界を明確化することで、合理的設計体系を構築しようとする狙いである。

これらの研究動向を睨みながら、過酷化かつ多様化する設計ニーズに柔軟に対応できるよう高性能構造用鋼材とその利用技術を整備して行く。本稿で紹介した高強度鋼材と制振・免震技術を組み合わせ、骨組に明快な崩壊メカニズムを付与しながら損傷制御を指向する設計法は、巨大地震に対して事業継続性に優れた強靱な建築物を実現するため

の有効なソリューションのひとつとなるであろう³⁷⁾。

一方、少子高齢化に伴う労働人口の減少に対する労働生産性の向上は建設業界の喫緊の課題である。鋼構造においては、部材組立、部材接合の施工効率向上や鋼材重量の削減に資する鋼材、構工法等が求められている。“省力化、効率化”を突き詰めて行く前提として、建築物の構造安全性の観点から鋼部材に要求される性能を明確化しておきたい。上述の研究に加え、日本鉄鋼連盟が主導している種々の研究、例えば、①長周期地震動を受ける高性能鋼部材の疲労特性解明^{38,39)}、②各種溶接部の脆性破断に対する必要性性能明確化⁴⁰⁾、③軟質継手の適用技術の開発^{24,25)}、④座屈に対する合理的設計法の開発^{41,42)}を通じて、巨大地震を受ける鋼部材の挙動や必要とされる強度及び変形性能が次第に明確化されるであろう。これらの研究と連動し、構造上の必要性能と経済合理性を高い次元でバランスさせながら施工省力化、短工期化に取り組む必要がある。

2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催を控え、活況を呈している我が国の建設業界ではあるが、現在の好循環が一巡したあとも鋼構造が魅力的に輝き続けるよう取り組んで行く。国内のみならず、新興国を中心にインフラストラクチャ分野の需要拡大が想定される海外マーケットも建材製品の新たな需要創出の場として重要である。設計上の想定外力や建築生産システム等に地域特性の差異はあるものの、建築物の強靱性や施工省力化によるコストダウンは洋の東西を問わず普遍的なニーズであろう。日本で培ったハイエンド製品や高度な利用技術をグローバルに発信することで差別化を図りたい。今後も建設業界のニーズにタイムリーに応えるため、材料開発と利用技術開発を両輪で推進し、鋼構造の特徴や強みを生かした合理的かつ経済的なソリューションを深化させて行く所存である。

参考文献

- 1) 内閣官房国土強靱化推進室：国土強靱化
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/
- 2) 田中宏征 ほか：鋼管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向。新日鐵住金技報。(403), 23-32 (2015)
- 3) 原田典佳 ほか：ハット形鋼矢板900の開発。新日鐵技報。(377), 10-16 (2007)
- 4) 森安俊介 ほか：大規模津波に備える粘り強い防波堤補強工法の開発。新日鐵住金技報。(403), 63-69 (2015)
- 5) 乙志和孝 ほか：巨大地震および津波遡上に対する海岸堤防・防潮堤のソリューション技術。新日鐵住金技報。(403), 70-77 (2015)
- 6) 沖大幹：社会基盤への気候変動影響と対策。土木施工。56 (9), 10-13 (2015)
- 7) 乙志和孝 ほか：ハット形鋼矢板のラインナップ拡充 (NS-SP-45H・50H)。新日鐵住金技報。(403), 56-62 (2015)
- 8) 平田尚 ほか：ジャイロプレス工法®の適用範囲拡大。新日

- 鉄住金技報. (403), 41-47 (2015)
- 9) 広沢規行 ほか:コンクリート中詰め鋼製セグメントの合成構造化の開発. 新日鉄技報. (377), 35-40 (2007)
- 10) 北濱雅司 ほか:鋼管杭, 鋼管矢板の機械式継手“ガチカムジョイント™”の開発. 新日鉄住金技報. (403), 33-40 (2015)
- 11) 本間宏二:日本発祥の技術, 橋梁用高性能鋼材 SBHS. 橋梁と基礎. 19-22 (2004.11)
- 12) 高田嘉秀 ほか:取替用鋼床版の FEM 解析を用いた検討. 土木学会第 70 回年次学術講演会. I-526, 2015, p.1051-1052
- 13) 川村彰誉:耐火型 NM セグメントの開発. 新日鉄技報. (377), 41-46 (2007)
- 14) 永尾直也 ほか:ソイルセメント鋼製地中連続壁の開発と実用化. 新日鉄住金技報. (403), 90-96 (2015)
- 15) 森安俊介 ほか:港湾施設向け低振動・高支持力杭工法 (RS プラス®工法) の開発. 新日鉄住金技報. (403), 48-55 (2015)
- 16) 永尾直也 ほか:鋼矢板と鋼管杭を組み合わせた新しい鋼製壁体“コンビジャイロ工法®”の開発. 新日鉄住金技報. (403), 78-82 (2015)
- 17) 一戸康生 ほか:ふえらむ. 20 (3), 90-95 (2015)
- 18) 日本鉄鋼連盟:建築構造用高性能 590N/mm² (SA440) 設計施工指針
- 19) 新都市ハウジング協会, 日本鉄鋼連盟, 日本鋼構造協会:新構造システム建築物設計・施工指針(案). 2009.3
- 20) 児島明彦 ほか:新日鉄技報. (380), 33-37 (2004)
- 21) 鈴木孝彦 ほか:新日鉄技報. (387), 64-73 (2007)
- 22) 加茂孝浩 ほか:新日鉄住金技報. (400), 67-71 (2014)
- 23) 川畑友弥 ほか:月刊鉄構技術. 278 号, 31-46 (2011)
- 24) 田中剛 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22627-22628, 2012.9
- 25) 吹田敬一郎 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22595-22596, 2012.9
- 26) 小野潤一郎 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22577-22580, 2013.8
- 27) 島貫広志 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(東海). 22439, 2003.9
- 28) 日本建築センター:2008 年版冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル. 2008.12
- 29) 国土交通省:建築着工統計調査報告
- 30) 日本鉄鋼連盟:鋼構造全国学校施設事例集
- 31) 日本鋼構造協会:JSSC テクニカルレポート No.100 鉄骨造による対津波ビル構造設計マニュアル. 2013.9
- 32) 近藤照夫:日本建築学会構造系論文集第 465 号. 1-10 (1994)
- 33) 川上寛明 ほか:新日鉄技報. (387), 74-84 (2007)
- 34) 半谷公司 ほか:新日鉄住金技報. (398), 83-88 (2014)
- 35) 日本建築学会鋼構造運営委員会:2015 年度日本建築学会大会構造部門パネルディスカッション資料
- 36) 例えば, 長谷川隆 ほか:建築研究資料第 160 号. (独)建築研究所, 2014
- 37) 日本鋼構造協会:JSSC テクニカルレポート No.97 高強度鋼の建築構造への適用. 2013.4
- 38) 渡辺重仁 ほか:日本建築学会大会学術梗概集 (北海道). 22404, 2013.8
- 39) 佐藤亮太 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(関東). 22361, 2015.9
- 40) 石井匠 ほか:日本建築学会大会学術梗概集(関東). 22409, 2015.9
- 41) 五十嵐規矩夫 ほか:日本建築学会構造系論文集第 678 号. 1319-1328 (2012.8)
- 42) 井戸田秀樹 ほか:日本建築学会構造系論文集第 711 号. 819-829 (2015.5)



三宅正人 Masato MIYAKE
 建材事業部 建材開発技術部 部長
 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



一戸康生 Yasuo ICHINOHE
 建材事業部 建材開発技術部 部長
 博士(工学)