技術展望

製鉄土木建築技術の変遷と今後の展望

Challenges Up to the Present and for the Future in Civil Engineering of Japan's Steel Industry

小林茂雄* Shigeo KOBAYASHI

抄 録

製鉄会社の土木建築技術者は、"よい設備を自らの知恵でより早く、より安く"という基本理念のもと、常に新しい技術に挑戦し、我が国の特有の立地条件に適したインフラストラクチャの建設を通して製鉄業と建設技術の発展に寄与してきた。今後は新鋭製鉄設備の建設・改造に寄与するとともに、新しい技術を駆使して設備保全・補強に取り組み、インフラストラクチャ維持管理時代をリードする役割を担っていけるよう努力していきたい。

Abstract

Civil engineers in the steel industry have challenged themselves with new technology on the basic idea of "building a better facility by cheaper and faster means". By building infrastructure best suiting the particular geographical conditions of our country, they have contributed to the development of the domestic steel industry and construction technology. Not only will they make further contribution with construction and retrofitting of state-of-the-art steel manufacturing facilities, we will also strive to assume the role of leading the age of infrastructure maintenance management in the years to come by the full use of new technology in equipment maintenance and reinforcement.

1. はじめに

道路延面積4百万 m², 岸壁・護岸総延長100km, 軌道総延長380km, 工場建家総面積13百万 m², 用水使用量81億 m³/年。新日鐵住金(株)の国内16箇所にある製鉄所,製造所等が保有する土木建築水道インフラストラクチャの規模である。この他,年間40百万tにおよぶ世界屈指の高品質高性能の鉄鋼製品を製造するための設備を支える基礎構造物を含め,建設,保全することが今も変わらない製鉄土木建築技術者の主な役割である。

我が国の製鉄土木建築技術は、釜石の官営製鉄所の建設からその歴史がはじまる。製鉄所開設当初は、外国人技師の指導を受けていたが、1880年代後半には測量、工事など直轄で行われる部分も多くなり、その後の八幡製鉄所の建設を含めた近代化への取組みを通じ、現在の土木建築構造物建設技術へと繋がる多くの技術が導入、開発されてきた。

以降,民営化そして数度の分割,統合を経て現在に至るまで,新日鐵住金の土木建築技術者は,"よい設備を自らの知恵でより早く,より安く"という基本理念を先輩方か

ら営々と引き継ぎ、時代毎の先端技術の粋を集めて建設技 術の進歩に取り組んで来た。

製鉄所における土木・建築・水道技術は、立地場所の選定、土地造成から設備建設、維持管理までの全てを対象とする。そして対象とする構造物が、巨大で超重量、かつ高熱や大きな振動衝撃荷重が作用したり複雑な動きをする設備を稼働させる基礎、建物や、それに付随したインフラストラクチャである点が一般のものと違った特徴であると言える。もちろんその中には、港湾、鉄道、道路、事務所、エネルギー関連設備など一般と共通した技術分野も含んでいる。

本報文では、これら製鉄所の設備の建設に使っている技術を"製鉄土木建築技術"と呼び、今日までの変遷を、鉄鋼業黎明期、大規模製鉄所建設期、高度成長期、合理化期、および現在に分けて紹介するとともに今後の展望を述べる。

2. 鉄鋼業の黎明期における土木建築技術

本章では、1874年、我が国最初の近代的溶鉱炉を有する製鉄所として建設が始まった釜石製鉄所と、1897年から

の八幡製鉄所を中心に当時の建設技術を概観する。なおいずれも当初は官営として創設され、釜石は1887年に、八幡は1934年に民営化されている。

釜石製鉄所の建設 "は、ドイツ人技師ルイス・ビヤンヒーが、鍛冶工、仕上げ工、鋳物工を連れて釜石に赴任したときから始まった。当時は土石や煉瓦と木材を主体としたものがほとんどであったが、1880年には釜石-大橋間の鉄道開通(国内3番目)、1881年には北桟橋(写真1)が建設されているなど、製鉄所の物流を支える交通設備も整備されている。

我が国最初の鉄鋼一貫製鉄所である八幡製鉄所の建設にあたっては産学官から日本人専門技術者が集められた。建設最初の頃の薄板工場の機械基礎の工事では、製鉄所の土木技術者が種々検討研究した結果コンクリートで築造したところ、ドイツ人技師の猛反対にあい、涙をのんで煉瓦で造り直したという逸話が残っている²⁾。当時外国でもやっていない工法に着眼するなど、新技術追究の姿勢は、すでにこのころから活発であった。

このような経験を経て、主要材料は煉瓦から無筋コンクリートへと移り、補助材として1907年から製鉄所内で生産を始めたスラグ煉瓦が使われるようになった。このスラグ煉瓦は製鉄副産物の有効活用の先駆けに位置付けられる取組みであると言えよう。

鉄筋コンクリートは1910年代から使われていたが、多用されるようになったのは、鉄筋が比較的安価、容易に入手できるようになった1920年代後半に入ってからである。これは軟弱な地盤上に大重量構造物を建設する場合が多くなったことも大きな要因となったと考えられる。

1910 年代には工場建築に鉄骨造が盛んに使われるようになったが、以降、工場の大型化にともない機能に応じた最適の建築構造を目指したさまざまな試みが行われ、構造に関する教育の普及も相まって、緻密なディテールのトラスを持つ大規模工場建屋の設計・建設技術が進歩した(写真2)1,21。

工場稼働後もさまざまな拡張工事が行われているが、1930年から八幡で生産が開始された鋼矢板は、これらの工事の進歩に大きく貢献している。掘削時の仮土留め用など



写真1 釜石北桟橋の工事 Construction of Kamaishi North Pier

の仮設資材として利用された他, 岸壁, 港湾施設などの永 久構造物として使用され, 桟橋は木造から鋼矢板構造 (写 真3) に変わっていった。

ところで釜石はリアス式海岸内に立地していることから、 津波の被害は多く、悲惨な記録も数多く残っている(写真4)¹⁾。

またトラックによる輸送がはじまったことにより, 道路舗装の技術も開発された。初期の道路舗装は, スラグ砕石敷込み工法であっだが, 自動車の走行性, 雨水浸透による劣化などから問題となり, スラグ砕石をタールで混練した

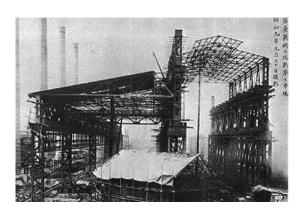


写真2 八幡新一製鋼工場新築工事(1934年) Construction of Yawata New No.1 Steelmaking factory (1934)



写真3 護岸工事に利用し始められた鋼矢板(1937年頃の 釜石)

Sheetpiles started to be used for shore protection (circa 1937 in Kamaishi)



写真4 津波で全壊した桟橋 Pier completely destroyed by a tsunami

後マカダム工法によって施工した独自のタール舗装工法に移行していった²⁾。

このように、当時は海外の先端技術を採り入れ、使用条件に適合するように独自にアレンジして技術を高度化していく時期でもあった。

3. 大規模一貫製鉄所建設期

1950年代後半からは、高度成長にともない大規模一貫製鉄所の建設が盛んになった。戸畑、和歌山 (1957年~)、堺 (1959年~)、東海 (1960年~)、君津 (1961年~)、鹿島 (1967年~)、大分 (1969年~) などである。周知のように我が国の製鉄所は臨海部を埋立てて造成した軟弱で広大な土地に建設される。これは資源輸入国でかつ四方が海である我が国ならではの特徴であり、このことからもまた様々な技術が進歩することになったと言える。

ここでは、そのような軟弱地盤上で重荷重かつ高層の構造物を建設する土木技術、所内物流の要となる鉄道や港湾の建設技術、大規模鉄骨造の工場建築技術、さらには経済発展とともに顕在化した環境課題に対応する水処理技術を取り上げたい。なお、この時期から工事技術の専門性が高まって来たことから、ほとんどの工事は外注化されてきた。その結果、製鉄所建設で培った技術がそのまま日本の建設業全体の技術力向上の一端を担っていたことは容易に推察できる。

3.1 高炉の基礎建設技術 2)

八幡製鉄所を例に述べる。重量構造物であることから杭 支持方式をとっており当初は松杭が使われていた。

1930年代後半まではペデスタル杭(鉄筋コンクリート現場打杭)を利用していたが、図1に示す洞岡第一高炉では、硬く締まった砂の厚い中間層があったため、ペデスタル杭はこの層で打止めし、外周2列はこれに松杭を継ぎ足して長さ20mとしたコンポジット杭を採用している(図2)。合計361本打ち込んで、9400tの荷重を支えた。

重量がこれの1.5 倍となった洞岡第三,四高炉では、ペデスタル杭では支持力不足となり、直径5.5 mの井筒4本で高炉一基とその基礎を支える井筒沈埋方式を採用している(写真5)。この方式は、次の戸畑一,二高炉の建設段階まで採用されたが、戸畑第二高炉では、直径20 mの大口径井筒一基で、高炉一基を支える方式が採用された(写真6)。

戸畑第三高炉の基礎では、現場打ちコンクリート杭、井筒工法などに比べて、施工の容易さ、経済性において優れている H 形鋼抗が初めて使用された。使用数は 245 本、サイズは 300×305×15/15mm であった。同時に、軟弱地盤処理として、我が国では実用例の無かったバイブロフローテーション工法による改良を行っている。

これらの変遷を経て大規模建設時代の大型高炉は、炉内

容積約 4 000 m³ で、八幡創業当時の高炉と比較すると、炉体重量でおよそ 10 倍近くなった。そのため、支持杭にはほとんどの高炉で、容易に大断面が得られかつ方向性のない大口径鋼管杭が採用されている。同時に、原料ヤードや鉄道などの関連設備の設置場所は、埋立て間もない地盤を短期間で所定の強度に改善するため、サンドドレーン工法やサンドコンパクションパイル工法を大々的に導入して対

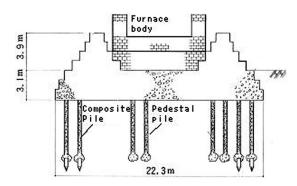


図 1 洞岡第一高炉基礎断面図 Section of foundation in the Kukioka No.1 Blast Furnace

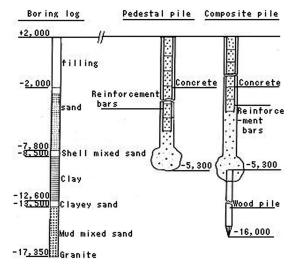


図2 洞岡地区の高炉基礎杭 Foundation piles for the blast furnace in Kukioka area

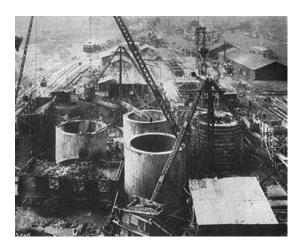


写真5 井筒方式による高炉基礎工事 Blast furnace foundation under construction using the sunk-well system

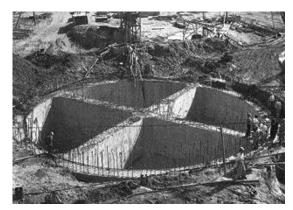


写真6 戸畑第二高炉の井筒基礎打設 Foundation of Tobata No.2 Blast Furnace under construction using the sunk-well system

応している。これらの建設実績はその後の臨海地域開発でも大いに役立つ技術知見を残した。

3.2 港湾(岸壁)築造技術

当初の鋼矢板はU形であったが、1960年代からはさらに断面性能の大きいZ形鋼矢板が使用されるようになる。また製鉄所建設では、セル形式の護岸(写真7³)が築造されたほか、鋼管杭とH形鋼を主材料とする横桟橋式岸壁やドルフィン形式、斜め控杭式のものも登場する。特に鉄鉱石、石灰石などを荷役する原料岸壁は水深が10~20mの大形岸壁であり、これに対応するさまざまな型式の岸壁が築造された。

大分製鉄所のシーバース (写真8) は、最大30万 DWT 級専用船を対象とした現在でも我が国でもっとも水深の深い岸壁設備である。建設当時も鉱石受入れでのシーバース方式は我が国初の試みであり、設計にあたっては、トップへビーな鋼管杭支持桟橋の地震応答の考え方、最適な杭配置方法、波浪によって鋼管杭に生じる繰返し応力と疲労の問題、等について模型実験、立体構造解析、載荷試験等を行い、これらの問題を解決していった4。

製鉄所建設で使用されたこれらの鋼製建材は、社内での施工性調査によって施工の基礎データを収集するとともに、社会のインフラストラクチャ造りに向けた実績づくりにもなって、港湾建設技術の発展に大きく寄与するものとなった。

3.3 鉄道建設・保全技術

線路の構造,保守技術などは,当初は国有鉄道(現JR,以下国鉄と呼ぶ)方式の技術利用にとどまり,製鉄鉄道線路として固有の特殊技術が芽生えることはなかった。例えば,線路保守作業については"保守作業の基本動作","糸張り式分岐器組立法"など,国鉄の指導講習を受け,講習終了者が各保守班のリーダーとなって保線作業を行っていた²⁾。



写真7 君津製鉄所浚渫埋立て状況(手前はコルゲートセル 護岸, 1967年)³

Dredging work of Kimitsu Works (Colgate cells can be seen in the front, 1967)



写真8 大分製鉄所シーバース Berthing facility in Oita Works

当時の八幡製鉄所と国鉄の列車荷重を比較してみると、 国鉄では在来線で KS18 (軸重 18t),新幹線の N標準活荷 重および P標準活荷重 (軸重 19t)であったのに対し、構内 線路での軸重は約3倍以上あった。このような重荷重車両 が低速で急曲線を運行する場合、軽荷重の一般高速度列車 とは全く異なる影響を軌道に与えていると考えられ、そこ から生じてくる問題点は製鉄業固有の特殊な条件であろ う。

1955年頃には、線路状態が悪化し、かつ生産規模の急速な拡張に伴って線路を無理に敷設したことも重なって、レイアウト上の問題や道床排水不良、軸重の増加も含め、線路構造および保線作業上の問題が増加してきた。これらに対処するため、構内鉄道線路の特殊性に対応した構造および保守上の問題点を洗い出し、独自の"線路構造基準"、"線路整備基準"が設定された。

同時に、1960年代の鹿島製鉄所、君津製鉄所、名古屋製鉄所、大分製鉄所の建設においては、新幹線に先駆けて60kg/m 軌条を採用したり5、軟弱地盤の置換方法、道床厚さの決め方、整備可能限界としての枕木間隔のとり方、RS型枕木の改良、中央部絶縁付き鋼製枕木を次々に開発し、超重量軌道の建設・保全技術を確立した4.6 (写真9)。



写真9 トーピードカーと重荷重軌道 Torpedo car and heavy loading rail track

3.4 鉄骨造建築技術

1950年代後半は、製鉄工場建家でも新しい構造技術や建材の利用が活発になった時期であり、戦前のものよりも構造躯体が軽量化されると同時に形態的にも自由度を増した。こうした構造技術の進歩と、施工、加工の合理化、機械化によって、施工速度の向上と経済性の向上が図られた。

この技術進歩の主要因として、(1)溶接構造の導入と発展、(2)溶接構造用高張力鋼材、H形鋼、高力ボルトなどの開発と実用化、(3)長尺カラー特殊成型鉄板の開発と実用化、(4)大型電子計算機の利用による構造解析手法の導入、が上げられる。

例えば (1)溶接構造についてクレーンガーダーを例にとれば、従来のリベット構造のものと比べて、構成部材数が 1/2以下となり、加工組立て工数が少なくなるとともに断面欠損もなくなった。さらに自由に効率的に断面構成ができるので、15%程度の所要鋼材量の減少が可能となった。この採用にあたっては、実構造物への試適用を通じ応力測定、振動実験などにより数多くのデータを取得し評価しながら実用化が進められた?。

3.5 水処理技術

製鉄所では粗鋼生産トン当り計 180 m³ もの水を使用する (現在その 90%以上は再利用水)。よって製鉄所の立地において、海上輸送が可能なことと広大な敷地が確保できることにも増して、豊かな水源が確保できることが重要であることは言うまでもない。現在も稼働中で 2015 年に世界遺産となった遠賀川水源地ポンプ室や日本土木学会選定土木遺産になっている八幡製鉄所の河内貯水池堰堤 (写真 10) は、このために建設された施設である。

戦後のある時期までは、この水源開発と、淡水節約を目的とした海水および戻水利用が水道技術陣の重要な役割であったが、工業の急激な発展とともに排水による影響を含む環境問題が全国的に表面化し、この対策が重要視されるようになった。

新日鐵住金では、水質汚濁防止法といった法的規制に先

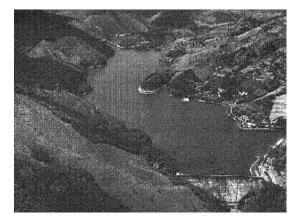


写真 10 河内貯水池 1927 年完成 Kawachi-Reservoir (completed in 1927)



写真 11 弱酸処理場 Weak acid treatment plant

行しながら、酸処理設備の強化 (写真 11),油処理設備の設置、さらには安水処理設備の新設など、排水処理設備を増強する技術を蓄積し、この課題に対処するとともに、関連各部門と協力して強力な管理体制を確立してきた。この結果、製鉄所周辺の海域も 1975 年頃には環境基準を達成している。

この時期の水道関連技術の進歩としては、上記水処理技術の他に、材料面では鋳鉄管のダクタイル化、継手材の改良、鋼管の適用拡大、耐酸ライニング、施工面では不断水分水工法や推進工法の採用などがある²⁾。

4. 高度経済成長期~成熟期

4.1 鉄で培った技術を基盤とした社外事業の展開

大規模建設を進めていた 1970 年, 戦後分かれていた八幡製鐵(株)と富士製鐵(株)が合併して新日本製鐵(株)が誕生した。この頃には製鉄所建設技術は世界的にみても先端的なレベルとなっており, 工場建設ノウハウを活かして海外の鉄鋼事業に協力する事業や, 鋼構造建設の技術を基盤としたエンジニアリング事業が芽生えてきた。

前者では、韓国の浦項綜合製鐵やブラジルのウジミナスの他、後に山崎豊子氏の小説"大地の子"の題材となった 上海宝山鋼鉄の建設でも、土木建築の先輩諸氏が多くの功 績を残されている。



写真 12 明石海峡大橋のケーブル架設工事 Cable installation work in Akashi-Kaikyo Bridge

後者では、パイプラインの製作/敷設、長大橋の建設、石油掘削ジャケットの製作/据付け、鉄骨/システム建築など、素材供給と加工、利用技術を総合化した技術として、鉄鋼メーカーの土木建築技術者がより直接的に社会貢献する場を広げていった。東京湾横断道路の川崎人工島、明石海峡大橋のケーブル架設(写真 12)等、我が国の代表的なインフラストラクチャにその足跡は刻まれている。

新日鐵住金のエンジニアリング事業は,1972年にエンジニアリング事業本部として発足し,1974年には技術協力,鉄構海洋,標準建築,工作(製鉄機械の製作,据え付け)の4事業部による体制が整えられて,少しずつ形を変えながら,現在は新日鉄住金エンジニアリング(株)としてグループの一翼を担っている。

4.2 鋼製建材商品およびその利用技術開発

一貫製鉄所建設が一通り完了すると,我が国の鉄鋼業は成熟期を迎え,設備投資はコスト引下げ,省エネルギー対策,設備新鋭化に向かっていった。それにともない土木建築分野では,大規模化あるいは複雑化する社内設備の建設をさらに低コスト,短工期でかつ設備の機能を最大限に発揮させるための建設技術が求められた。このための課題解決の過程で,数々の鋼製建材新製品を率先して使用してきた。

例えばトップヘビーな架構構造物や大深度の地下空間をより合理的に構築するためのコンクリート充填鋼管構造や鋼製連続地中壁などの合成構造の実用化開発では,より合理的な設計方法や施工方法の開発の場として社内の建設フィールドが位置付けられ,建材技術者と設備技術者が一体となった体制で技術開発が進められた。

またこの時期,防食,耐久性要求や遮音,制振,耐火性能要求にみられるようにユーザーニーズも多様化したことに加え、プラスチック系材料や窯業系材料の発達により建

材用素材の幅が広がったことを受け、複合建材として重防 食鋼管杭・鋼矢板、ネガティブフリクション対策杭、エポ キシ樹脂塗装鉄筋などの付加価値商品が開発され、社内の 建設フィールドでその性能が確認された。

これらは、社内設備建設を通じて開発された、鉄を原点にした新機能商品として、今もなおインフラストラクチャ整備に欠かせない技術として定着している。

4.3 鉄鋼副産物の利用促進

鉄鋼製造の過程で大量に発生する副産物が鉄鋼スラグであり、鉄鋼を1t製造すると高炉スラグが約300kg、製鋼スラグが約100kg生成される。

鉄鋼スラグ利用の歴史は意外に古く、我が国においても 1910 年前後から利用研究が進められ、前述のスラグ煉瓦や 高炉セメントが製造されて製鉄所の建設にも使用された。 そして高度成長期以降も様々な有効活用技術に取り組まれている。

鉄鋼スラグは"スラグ=廃棄物"のイメージが持たれがちであり、また溶出水のpHが高かったり膨張性を持っているものもあるが、反面、高いせん断抵抗角の優れた土工材であるとともに、潜在水硬性があるなど利用方法次第で土木建築資材としての様々な可能性を持っている。よって製鉄所にいる土木建築技術者が材料評価はもとより工法面からの検討を実施し、1950年にJIS化された高炉セメントをはじめ、道路路盤材やコンクリート骨材等の規格化でりや、サンドコンパクションの中詰材などの地盤改良材としての実用化に大きく寄与してきた。

5. 合理化, 多角(複合)経営期

5.1 企業体質の合理化施策下での土木建築技術

1974年に全国粗鋼生産量1億2千万tを達成した我が国の鉄鋼業界は、以降企業体質の強化に向けた合理化の時代に突入する。ここでは、設備の統廃合をより迅速に実施し、高度化を確実に、効率的に実施するスクラップアンドビルト技術が求められた。このような時期に取り組んだ技術のひとつに発破解体技術がある。

当時から海外では多くの発破解体が実施されていたが、 国内では耐震設計が実施された頑健な構造物への適用には 有効性の面で懸念と限界があり、また発生する振動や騒音 などへの周辺住民の抵抗感などにより、発破解体の適用例 は限定的であった。

設備合理化が活発になった1980年代後半,製鉄所内のいくつかの鉄筋コンクリート構造物や鉄骨構造物を対象に、倒壊設計、発破設計さらには発破時の周辺環境対策などについて総合的な研究開発が実施され、実際の製鉄設備に対して発破解体が試みられた。これらの取組みは、経験工学的な色彩が強かった発破解体を工学的なレベルに押し上げる契機になったとも言える。

製鉄所設備の解体プロジェクトでは、倒壊モードの設定やモード実現のための発破計画、さらには倒壊実現のための事前の部材切欠き計画など、合理的な発破解体技術を提案、検討した。図3に倒壊モードの例を、図4に鉄骨部材に使用した爆薬(成型爆破線)を示す 100。この結果、国内では、事前処理量の多さや環境対策の難しさがあり普及しづらかった本工法も、製鉄所構内では複数の構造物の解体に適用され成功した(写真13)110。

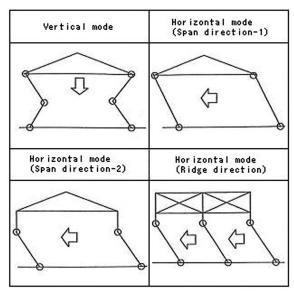


図3 種々の倒壊モード Various collapse modes

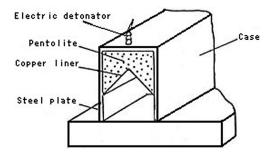


図4 成型爆破線の概要図 Schematic of linear-shaped-charge



写真 13 鉄筋コンクリート構造物発破倒壊後の状況 General view of a collapsed reinforced concrete structure by blasting-demolition

一方、低コストで効率的に設備建設を実現するための省力化工法にも積極的に取り組んだ。その代表例が新日鐵住金オリジナルの一柱一杭工法であるサットインパイル工法であり、主に架構ものの基礎のフーチングレス、地中梁レス工法として今も用いられている(図5)。

5.2 多角経営ニーズに呼応した土木建築技術

1987年、円高不況下で旧新日本製鐵は複合経営推進の中長期ビジョンを策定し、様々な新規事業への参入に取り組んだ。その一つがエレクトロニクス分野であり、この分野の研究開発促進のためスーパークリーンルームを建設した。

当該分野事業の成否の鍵は商品開発における先発性にあり、当時も各メーカーが秒進分歩のスピードで研究開発を進めていた背景からスーパークリーンルーム建設技術はブラックボックス化しており、独自の技術を持つ必要があった。その肝として取り組まれたのが超クリーン化制御技術と超微振動制御技術である¹²⁾。

超クリーン化制御技術はクリーン度クラス1の高清浄度空間を創出するための技術であり、粉塵を入れないフィルター、粉塵を排除するための気流制御、粉塵を堆積させないための内部付着防止からなるが、これらを総合的に検討するために効果を発揮したのが気流解析技術である。図6にクリーンルーム内の気流解析結果の一例を示す。

一方,超微振動制御技術は,交通振動など建家内外の 振動の影響を評価し,振動源や伝播経路で適切な対策を取

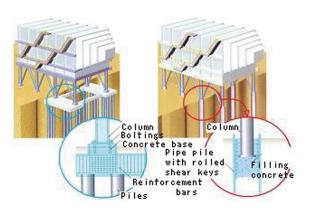


図5 サットインパイル Sat-in pile foundation

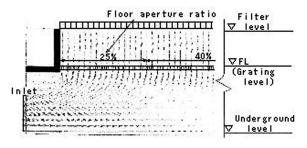


図6 ベイエリアの気流解析結果例 Example of air current analysis for the bay-area

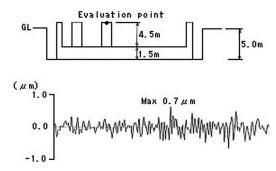


図7 基礎外形図と自動車通過時の最大変位振幅 Figure of foundation and time history graph of displacement by vehicle passage showing the biggest amplitude

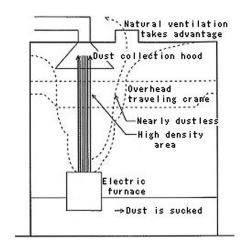


図8 HV 換気方式 HV-ventilation system

ることで機器設置面の厳しい振動制限値を満足する技術である。ここでは通常は耐震設計に用いていた FEM による地盤 - 構造物連成系動的解析プログラムである MFLUSH による数値計算と現地での実験を繰り返し、防振溝や制振、免振の技術を組み合わせてミクロンオーダーの制限値を満足する設備基礎を建設した(図7)。

これらの技術は、その後の高度な環境制御を必要とする 鉄鋼製品の工場建設や工場内労働環境の制御にも大いに役 に立っている。例えば、高熱の発生源を持つ工場内の換気 設計では、従来建家全体の空気を入れ換えて温度調整を図 る設計法であったが、気流解析を用いることで、建家内に 効果的な空気の流れを造り出すことで良好な温熱環境を創 出する設計技術へと進化した。またこの技術を建家内の粉 塵拡散の動きの制御にまで拡張し、粉塵を建家外に漏らす ことなく HV (ハイブリッドベンチレーション) 方式による 換気を適用することが可能になった(図8) 13)。

6. 競争力の向上,製造実力の確保に取り組む現在 とこれからの課題

2013年に発足した新日鐵住金では、グローバル競争を勝ち抜くため、競争力の向上、製造実力の確保に向けた取組みを進めている。その中で主要なインフラストラクチャを担う土木建築水道技術の取組みを紹介する。

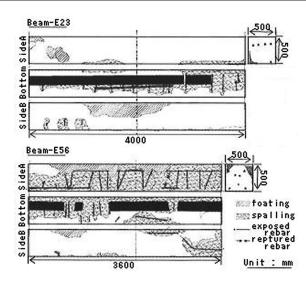


図9 部材寸法および劣化状況 Sketch of a reinforced concrete beam and its degradation effect

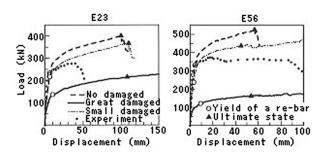


図 10 荷重変位関係の一例 Example of load-displacement relation

6.1 老朽構造物の劣化評価と補強更新技術

大規模装置産業である製鉄業では、LCCの概念がまだ明確でなかった高度成長期直後から、老朽化した設備の劣化を評価し、その寿命を延ばすべく補強したり新鋭設備に更新したりする営みを実践して来ており、そのノウハウを蓄積している。

評価技術の例としては、劣化した鉄筋コンクリート部材の耐力評価手法がある¹⁴⁾。製鉄所内の道路、港湾、鉄道、屋根壁などのインフラストラクチャは、新日鐵住金固有の維持管理基準に基づきメンテナンスを進めているが、修繕予算の制約下で優先順位付けをした合理的な実行が求められる中、永久構造物と見られがちな鉄筋コンクリート構造物は、劣化してもすぐ壊れないとの判断もあり、劣化がかなり進行するまで放置されているのが実情である。

ただ、中には不静定次数の低い構造系の主要部材(単純ラーメンの梁など)もあり、崩落事故を防止する観点からも劣化した鉄筋コンクリート梁(図9)が、健全時と比較してどの程度耐力を残しているのかを評価する必要があった。現在は、単純梁の残存耐力については、図10に示すように鉄筋腐食にともなう付着力の低下と、剥離によるコンクリート断面の欠損評価をFEMモデルに反映することにより、実用的な精度で評価できるようになっている。

補強技術としても様々なものがあるが、ここでは鋳床スラブ補修工事への高流動コンクリート適用 ¹⁵⁾ を紹介する。高炉の鋳床と呼ばれる作業床を構成するコンクリートスラブは、溶融鋳鉄・スラグの高熱が樋を通して伝達されるため、長期にわたる使用で熱劣化が生じる。この対策として既設スラブを撤去、更新する方法が従来より実施されているが、これには多大な工費と工期を要するため、十数年に一度の高炉改修時にしかできない。

この課題に対し、劣化したスラブを撤去せずに補強する方法として高流動コンクリートを用いた工法を1996年に実用化した。補修対象となるスラブは地上10mに位置し、1ブロックの大きさは概ね幅6m、奥行6m、厚さ0.3mである。このスラブをそのまま残し、この下部に新たに厚さ0.5mの床スラブを高流動コンクリートを下面よりポンプ圧入して構築する。このため、コンクリートの受入れ方法の検討や打設試験を繰返し実施した結果、従来工法より3週間短い工期で完了した(図11)。

さらに、稼働中の工場基礎の補強では、先端の土木技術を使った大規模仮設をともなう工事も実施している 10。

老朽劣化した設備の補強は、一般には定期修繕の期間に 実施する場合が多いが、この期間は機械装置の定期修繕に 必要な時間で決まっており、土木建築工事が律速になるこ

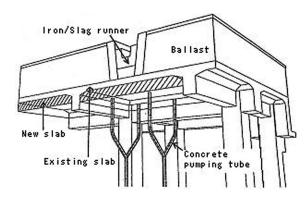


図 11 鋳床構造と補修工法の概要 Outline of the hearth structure and its repair method

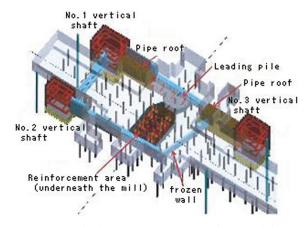


図 12 稼働中設備基礎のアンダーピニングによる補修工事/ 仮設工の全体概要図

Foundation repair work by underpinning method for operating equipment / Overall schematic of temporary work

とは許されない。しかしこの制約条件下でも、大がかりな 基礎構造の修繕が必要な場合がある。例えば君津製鉄所 の厚板工場では、アンカーボルトの交換と杭を増し打ちす る必要性が発生した。

この工事を設備基礎の下に潜り込んで設備稼働中に実施するため、アンダーピニング工法を採用することとした。地下水位の高い製鉄所内で、しかも常時大きな衝撃荷重の作用する基礎下にドライな施工空間をつくるため、パイプルーフや凍結工法などを駆使した(図 12)。その結果、100mm径、長さ4m近いアンカーボルトを20本交換するとともに、500mm径、長さ8m規模の鋼管杭18本の増し打ちを成し遂げた。

製鉄所では過酷な環境下で部材の劣化の進行が早い。 そしてこの保全は限られた予算と期間の中で適切に実施していく必要がある。今後も先端技術を積極的に取り込み、調査から施工にいたる維持管理、補強更新技術を一層高度化していくことが重要であると考えている。

6.2 耐震補強技術

旧耐震基準で設計された鉄骨造建築物について,現行基準に適合する耐震性を確保するため,既存のH形鋼筋違継手の耐力補強が必要となる場合があり,一般的に図13左上図に示すような鋼板溶接による方法が用いられる。しかし工場内では配線,配管,操作盤などが配置されており,火器を使用するにはこれらを移設しなければならない。

そこで図に示すような、H 形鋼の断面内に充填したコン

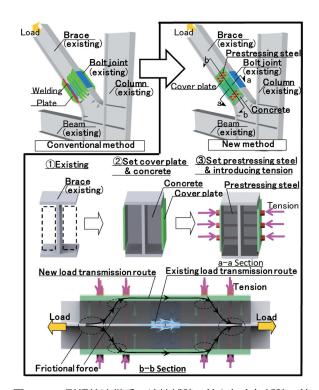


図 13 H 形鋼筋違継手の溶接補強工法と無火気補強工法 Reinforcement method by welding and by fireless reinforcement method for H-section bracing joint

クリートを鋼板 (カバープレート) で挟み, PC 鋼棒で絞め 込むことで既存部材と補強部材を一体化させる無火気工法 を開発し使用している ¹⁷⁾。このような, 補強技術は鉄鋼生 産設備を継続使用するための重要な課題であり, 特に障害 物のある中でも効果的, 効率的な補強技術の開発に今後も 精力的に取り組んで行く。

6.3 高品質な鉄鋼製品の生産に資する水処理技術

鉄鋼製品のハイグレード化は、グローバル競争を勝ち抜くための新日鐵住金の主要な戦略のひとつであるが、このための生産プロセス革新の結果、排水性状は様々に変化する。一方、環境規制は一層厳しくなる傾向にあり、排水基準の厳格化も例外ではなく、基準を満たさない排水の流出事故は大きな企業リスクである。

複雑化する排水処理に確実, 効率的に対応し, 異常排水の流出事故を防止するための水処理技術の高度化は, 現在の水道技術者の重要な役割であり, 様々な技術に取り組んでいる。具体的には, 鉄鋼排水を対象に鉄酸化細菌 ¹⁸⁾ や硫黄酸化細菌 ¹⁹⁾ などの微生物を用いて排水を浄化する生物処理法や, 固液分離を高効率に行うことで設備の省スペース化が可能な超高速凝集沈殿法, 製鉄所の発電設備で発生する排煙脱硫排水中のふっ素を効率良く除去するふっ素排水処理法などについて, 実排水での様々なテストを行い, 最適化を図ってきた。

鉄鋼排水処理の肝は、大量の鉄鋼排水を、その特性を踏まえていかに効率良く処理するかであり、今後も低エネルギーと低コスト化を狙った技術開発に取り組んでいく。また既設水道設備の老朽化が進行している。その対策として、予防保全システムを確立することも緊急な課題である。

7. おわりに

以上、鉄鋼産業黎明期からの製鉄土木建築技術の変遷を レビューするとともに、今後の課題を述べた。

製鉄会社の土木建築技術者は、"よい設備を自らの知恵でより早く、より安く"という基本理念のもと、未経験な大規模建設に対応するために常に新しい技術に挑戦し、社外研究者各位、あるいは建設会社や建設コンサルタントの諸氏とともに我が国の建設技術の発展に寄与して来た。

これに加え、今後はインフラストラクチャ維持管理時代をリードする役割もまた重要であると考えている。すなわち、製鉄所内には一般社会と共通するさまざまなインフラストラクチャがあるが、大荷重、衝撃荷重、熱、酸性ガスなどによりそれらが一般の数倍の速度で劣化する環境下にあり、これらに適切に対応することは、そのまま一般のインフラストラクチャの維持管理にも還元できる技術になると信じている。

このために IoT, ロボット化などを使った新しい調査技術, 評価技術, 補修・更新技術の導入, その適用に精力的

に取り込むとともに、これらを効果的に組み合わせ、適切 に維持管理していくマネジメント技術を一層高度化してい きたいと考える。

参照文献

- 1) 新日本製鐵(株)釜石製鐵所: 鐵と共に百年. 1986
- 2) 新日本製鐵(株)八幡製鐵所:八幡製鐵所 土木誌. 1976
- 3) 国土総合開発(株): 君津製鐵所 土地造成工事誌. 1969
- 4) 新日本製鐵(株)大分製鐵所:未来を拓く 大分製鐵所 20 年 中 1992
- 5) 新日本製鐵(株)君津製鐵所:日々新に 君津製鐵所 20 年史 (部門史). 1985
- 6) 新日本製鐵(株)名古屋製鐵所:躍進 銑鋼一貫 20 年史(部 門史). 1984
- 7) JIS A 5015:2013. 道路用鉄鋼スラグ
- 8) JIS A 5011:2013. コンクリート用スラグ骨材
- 9) JIS R 5211:2009. 高炉セメント
- 10) 小林茂雄, 草深守人, 池田義之, 中川浩二: 土木学会論文集. 415 (VI-12), 145 (1990)
- 11) 小林茂雄, 坂田英一, 橋爪清, 中川浩二: 土木学会論文集. 498 (VI-24), 67 (1994)
- 12) 伏見光雅, 川上寛明, 小林茂雄, 井出崎雄二:新日鉄技報. (344), 55 (1992)
- 13) 石井和利, 村橋喜満, 川上寛明, 田中和夫: 新日鉄技報. (364), 51 (1997)
- 14) 赤司有三 ほか: 土木学会第 64 回年次学術講演会. 2009, p. 303
- 15) 丸山宣男, 小門武, 井口公一, 小西宏明, 福田昇: 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集. 1993, p. 129
- 16) 花田賢師, 大出哲也, 竹村瑞元: 土木学会第 67 回年次学術 講演会. 2012, p. 231
- 17) 前澤将男, 奥谷恭士: 日本建築学会大会学術梗概集 (C-1 構造 III). 2010, p. 1267
- 18) 三木理 ほか: 水環境学会誌. 30(3), 155(2007)
- 19) 嘉森裕史 ほか:新日鉄技報. (360), 5 (1996)



小林茂雄 Shigeo KOBAYASHI 設備・保全技術センター 土木建築技術部長 博士(工学) 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511