

Technical Development of Steel Bridges and Building Structures



浦田 勲
Isao Urata
橋梁・鉄構事業部 鉄
構部長



川井 豊
Yutaka Kawai
橋梁・鉄構事業部 橋
梁・鋼構造技術部長・
工博

要旨

川崎製鉄の鋼構造技術の特徴は、建設用鋼材のメーカーとしてニーズに対応した高機能鋼材の適用や溶接を含めた接合技術の開発が提供できること、および溶接技術と鋼材利用の豊富な技術や経験の蓄積をベースに多彩な応用技術を展開できることと言えよう。本論文では、「大競争時代」と呼ばれる厳しい市場環境下で、高品質確保と建設コスト削減を両立させながら、耐震性、耐久性の高い鋼構造物の実現のため、鋼材の利用技術を含めた設計から製作、現場工事までの広い専門分野にわたる技術力の結集の成果の概要を述べる。加えて、建築・土木鉄構分野の近年の技術展開や動向について概説するとともに、本特集号に掲載された論文の技術的背景を紹介する。

Synopsis:

The technical advantage of the steel structure division of Kawasaki Steel consists of the following: (1) capabilities to provide construction techniques concerning high-performance steels and their joint techniques which have been developed for construction materials; (2) application technologies of advanced steels and their joint technologies based on the related construction experiences and technical development. Kawasaki Steel has developed various kinds of steel structures with excellent seismic resistance and durability with compatibility of high-quality and low-cost under the recent severe market circumstances in Japan. In this paper, the recent construction projects to which the technical advantages of Kawasaki Steel were successfully applied are summarized, and the technical background of the following papers of the present special edition is presented.

1 はじめに

「大競争時代」。これは建設業界に限らないが、とりわけ建築業界を構成する鉄構業においては極めて厳しい状況であるといえよう。公共投資の下支えはあるものの民間需要は盛り上らず、鉄骨需要を左右する設備投資は低迷が続いている。このような厳しい環境下で鋼構造事業の継続・発展を期すには、大競争を耐え抜く盤石な技術力の支えが必要不可欠であることは言うまでもない。一方、1995年1月に発生し未曾有の被害をもたらした阪神・淡路大震災の教訓から、信頼性のある耐震性の高い鋼構造物が求められている。この実現のため、設計から施工まで、鋼材から加工現場工事までの再構築が問われ、広い専門分野にわたる技術力の結集が急務となっている。

幸いにして、当社は鋼構造分野における幅の広いかつ専門性の高い技術力を有しているが、その特徴は次のようなものである。まず一つには、建設用鋼材のメーカーとして冶金学的に優れた鋼材および溶接技術を有することである。メーカーとして当然と言えばそれまでだが、市場ニーズに即応できる利点がある。二つめは、鋼材利

用の豊富な技術や経験の蓄積をあげることができる。古くは、国内外の工場・社宅などの建設により培われた設計から加工・現場工事まで一貫した技術の蓄積である。また、H形鋼の生産を機にその普及のために行ってきたいわゆる建材技術の多大なノウハウの蓄積がある。

1976年、これらの技術を結集してエンジニアリング事業部が発足し、国内外において鉄構事業を展開してきた。また、1994年には、旧川鉄鉄構工業(株)(現川鉄マシナリー(株))の橋梁事業と川崎製鉄の海洋鉄構・土木鉄構事業を事業統合し、橋梁・鋼構造事業部として技術・営業の経営資源を集約しその強化を図った。引続き、1996年には鋼材技術をバックに国内外において展開してきた建築鉄骨部門を統合し、現在の橋梁・鉄構事業部として土木・建築鋼構造物の鋼材から製作・現場工事まで一貫した技術開発や改良に取り組んできた。

本論は、橋梁・鉄構分野の近年の技術展開や動向について前述の観点から概説し、本特集号に掲載された論文の技術的背景を紹介するものである。

2 建築鉄構分野

建築分野における大きな潮流は、これまでの一律の「仕様規定」

*平成12年2月29日原稿受付

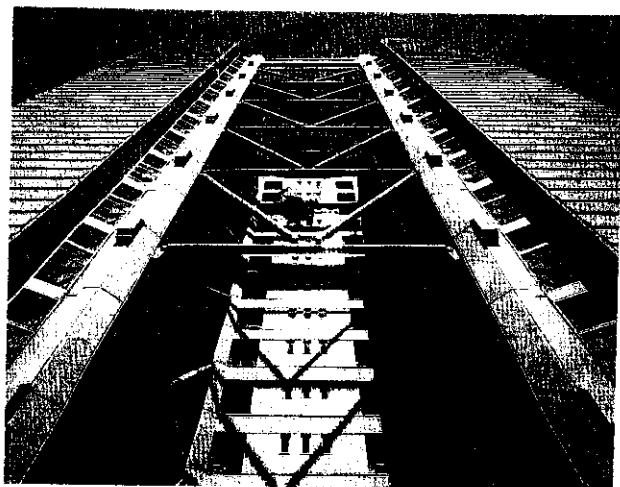


Photo 1 Double steel tube braces for earthquake-proof building

から従来より優れた性能をもつ材料や構造を取り入れやすい「性能規定」へと転換しつつあることであり、建築基準法上も整備されつつある²⁾。特に、阪神・淡路大震災を機に耐震性能および耐火性能を発注者にも理解しやすい規定にすることや、それらの向上が強く求められている。これを実現するため、建築鉄骨分野においても次のような技術展開が主流となりつつあり、当社も積極的な対応を行うことにより受注物件においていくつかの実績をあげている。

2.1 制震部材や高強度鋼の採用

従来の耐震設計においては、中小地震に対して柱、梁などの主要構造部は弾性範囲内にとどめ、大地震時は主要構造部の塑性化を許容するが倒壊はしないように設計されてきた。しかしながらこの設計法では、阪神・淡路大震災にみられたように、建物の倒壊はまぬがれたとしてもその損傷が激しく、建物としての機能をまったく果さないばかりか使用不可能な状態となる欠点があった。

この反省より、大地震時においても柱、梁などの主要構造部はできるだけ塑性化を小さくし、代わりにブレースや耐震壁などのいわゆる制震部材で地震エネルギーを吸収することによって、構造物全体の損傷を小さくしようとするものである。そのため、柱、梁部材には高強度の TMCP 鋼や SA440 鋼の採用、制震部材には履歴減衰型ダンパーである極軟鋼を用いた鋼板耐震壁や 2 重管ブレースの採用が主流となりつつある。

当社においても早くからこれらの技術開発に取り組み、川崎製鉄神戸本社ビル新築工事や静岡県庁東館耐震補強工事 (Photo 1) など、少なからぬ実績をあげており、需要は今後さらに増加するものと思われる。

2.2 部材性能の確保

鋼構造全体の性能を保持するために、その構成要素である部材の性能をある一定の水準以上に確保する必要があることは論を待たない。これまでのように鋼材の性能をミルシートなどにより確認するだけでなく、鋼材加工後の部材としての性能の確保を強く求められるようになってきている。特に、現在建築鉄骨の柱材として主流となりつつあるコンクリート充填鋼管柱 (CFT) などに用いられる円形鋼管の部材性能が、造管後も低降伏比であることや所定の衝撃特性を保持することが求められている³⁾。

これまで、造管後の円形鋼管の力学的性能に関するデータは乏しく、特に板厚の大きい TMCP 鋼や 1996 年に大臣認定を取得した

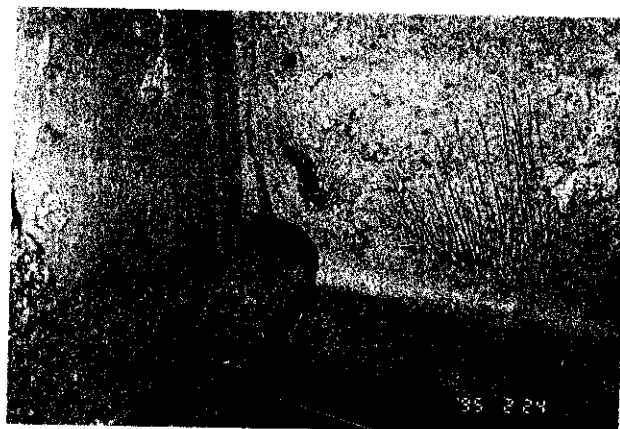


Photo 2 Fracture of beam flange due to seismic load

SA440 材の造管方法の確立が急務となっており、当社においても実プロジェクトを通してその実現を図ってきた。

2.3 接合部性能の確保

建築鉄骨分野において溶接接合が主に採用されているが、阪神・淡路大震災において溶接接合部の破断が多くの建物に生じた。その一例を Photo 2 に示すように、溶接部の破断の大半は柱-梁の接合部に生じたものである。欠陥溶接を別にすれば、従来の技術水準を満たしているにもかかわらず溶接部で破断した例が多く、その対策が急務となっており、学会、業界あげて検討されている。

柱-梁接合部は、最も応力が大きくかつ形状変化のため応力集中の高い部分であるにもかかわらず、溶接施工のためのスカラップによりさらに高い歪集中が生ずる部分であるため、溶接部は非常に過酷な条件をつきつけられている。この根本的解決には、構造設計、特にこれまであまり考慮されてこなかったディテール設計、ならびに溶接施工（裏当て金やエンドタブ、パス間温度の影響など）が改めて検討課題となっている⁴⁾。当社ではすでにノンスカラップ工法を開発し実施済みであるが⁵⁾、さらに大入熱やパス間温度の高い溶接施工条件にも耐え得る溶接棒の開発などを積極的に推進しており、いわゆる耐破壊性能を保持した溶接接合部の実現に努力しているところである。

2.4 鋼材性能の確保

先の大地震における鉄骨造被害のもう一つの特徴は、例は少ないが、鋼材の脆性破断が生じたことである。大地震時の衝撃的な荷重いわゆる歪速度の影響や鋼材および溶接部の靱性の影響などを、学会・業界諸団体の一員として精力的に調査、検討を行い⁶⁾、この成果が大系的にまとまりつつある。これを反映して、鋼材面においては SN 材の使用が主流となりつつあり、今後さらに一段とその傾向が強まると思われる。当社ではすでに所定の耐破壊性能を保有する SN 材や独自の構造材である極厚 H 形鋼を開発し実プロジェクトにおいて採用されてきたが、さらに高い耐破壊性能を保持する鋼材および溶接の開発を推進する必要があると考えている。

以上、耐震性能の向上を主眼に述べてきたが、これに加えて建築鉄骨分野の直面する課題にはコストの低減や施工時の安全性の確保などがあげられる。特に大スパン構造物においてはこれらの課題の解決が強く要求されており、その一例として当社が優位性をもつジャッキ・アップ工法（リフトアップ工法）が広く採用されている。また、大空間を構築するため、PC 鋼線を使用することにより鉄骨

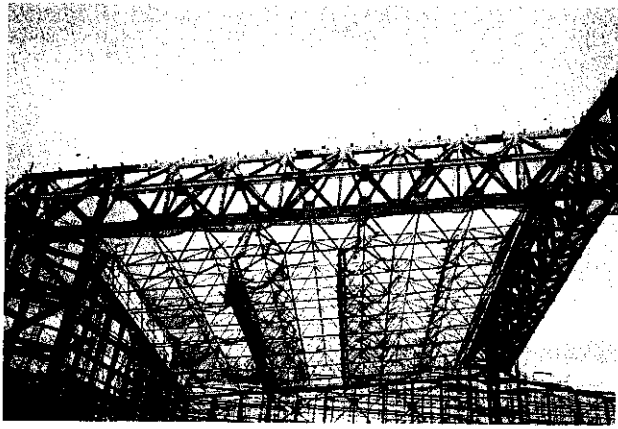


Photo 3 Erection of KT truss for Kamikita-cho Gym

部材を最小化したスーパーウィング工法⁹⁾や意匠性に優れた立体システムトラス (KT トラス)⁷⁾、および安全な施工を可能とするジャッキによるスライド式工法⁸⁾など多くの技術を保有しており、上北町体育館 (Photo 3) などに採用されている。

一方、鉄塔分野 (Photo 4) においても防錆性能の向上は無論のこと、コストの低減および施工安全性の強化が求められており、耐候性鋼板の使用による防錆性能の確保や無足場による施工の実現を図ってきた。これらの点が評価され、照明鉄塔ばかりではなく通信鉄塔にも当社の工法が採用されている。また、鉄塔の供給だけではなく建方などの現場工事を含めて、さらに鉄塔の基礎工事を含めた工事一式を受注し工費の削減と無事故・無災害の実績をあげてきた。

以上述べたように、鋼材から現場施工まで一貫した技術開発とその蓄積を図り、厳しい環境下での性能要求や品質保証に技術的に対応できる体制が整備されつつある。今後もその努力を継続していくことが鉄構事業を生き抜く必須条件であり、鋼材メーカーにおける鉄構事業を有意義な価値ある存在とならしめるものと考えている。

3 橋梁・港湾鋼構造物分野

3.1 橋梁

3.1.1 長大橋

1994 年の橋梁・鋼構造物事業部の発足以来、橋梁分野では大型プロジェクトにも恵まれ、難易度の高い橋梁の完工実績を着実に上げることができ、ほぼ全橋梁形式に対して設計、製作、架設分野での総合的技術対応が可能となった。

1999 年 5 月の本四連絡橋尾道～今治ルート開通により大型の海洋架橋時代が一段落し、海峡連絡橋の架橋技術は世界の頂点に立ったと言われている。本プロジェクトでは明石海峡大橋、来島海峡大橋などの長大吊橋に加え、多々羅大橋をはじめとする斜張橋、V 脚ラーメン橋 (瀬川橋) など、多様な橋梁形式の長支間橋梁建設技術が確立された⁹⁾。これに続く第二国土軸構想に関わる海峡横断道路プロジェクトの実現には、本四架橋の技術に加え建設コストを大幅に削減するためのさらなる技術開発が求められており¹⁰⁾、コンクリートと鋼の混用やグレーチング床版の利用¹¹⁾、浮体式橋梁などの新たな構造形式の検討¹²⁾などが必要と言われている。当社は、吊橋では我国初の三連吊橋で種々の新技術が導入された来島第三大橋の建設に、また斜張橋では島根県の浜田漁港の航路を跨ぐ浜田マリン大橋の建設¹³⁾にそれぞれ共同企業体の一員として参画し、従来の他橋

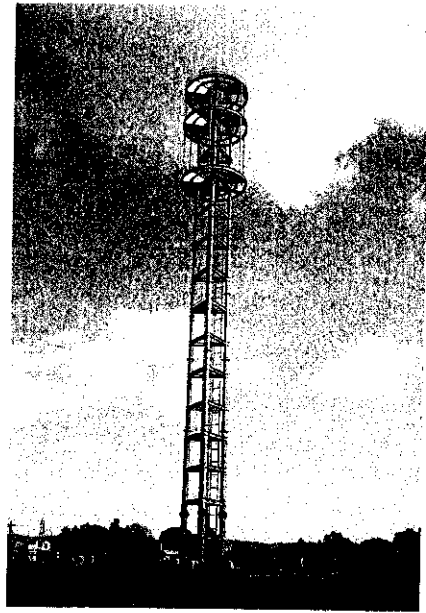


Photo 4 Steel tower for mobile communication

梁形式における工事実績に加え、一連の海洋架橋技術を保有するにいたっている。当該分野では支間長の増大にともなう構造の軽量化の必要性から、耐風安定性の検討や、長周期化にともなう全体系での耐震性の検討、海上架設の急速施工技術など、高い総合技術力が要求されることから、これまで得られた技術の蓄積をベースに次世代海峡連絡橋実現に向けて課題克服¹⁴⁾のための技術開発を続けていきたい。

3.1.2 耐震・免震構造

1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震における土木構造物の大規模な被災を教訓に、1996 年には道路橋示方書が改訂された¹⁵⁾。特に、これまでに経験したことのない損傷モードで被害が発生した鋼製橋脚については、RC 橋脚と同じ耐震設計手法である保有水平耐力の照査が加えられるとともに、地震時の挙動が複雑な構造形式の橋梁については非線形動的解析を行うことが義務づけられた。道路橋示方書改訂後も、建設省土木研究所を中心に 6 者 (建設省、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、名古屋高速道路公社、(社)日本橋梁建設協会、(社)鋼材倶楽部) で大規模な載荷実験と解析を含む共同研究が行われた¹⁶⁾。これらの研究成果をもとに、改訂道路橋示方書で記述しきれなかったいくつかの具体的設計方法が追加して示され設計実務者の便に供されている¹⁷⁾。また、下部工と上部工の間にアイソレータを挿入することにより、地震力を直接上部工に伝えないようにする免震構造¹⁸⁾も積極的に取り入れられる傾向にある。一般的には、ゴム沓を用いた免震構造化であるが、その他の方法についてもいくつか提案されている。当社においても、重力復元式免震沓と極軟鋼を用いた吸震装置の併用による免震構造の提案¹⁹⁾を行い、適切な免震構造の採用により耐震設計よりも経済性が優れている場合があることを確認している。

既存の橋脚の耐震補強に関しても上記研究成果が活かされ、鋼製橋脚が多い首都高速道路、阪神高速道路などの都市高速道路において変形能確保を目的とした補強、落橋防止工の新・増設などにより兵庫県南部地震レベルの地震に対しての耐震性が確保されたと考えられる。

3.1.3 建設コスト削減

足下の重要課題としては、すべての公共工事に対し求められてい



Photo 5 Erection of steel box girder with large transporters

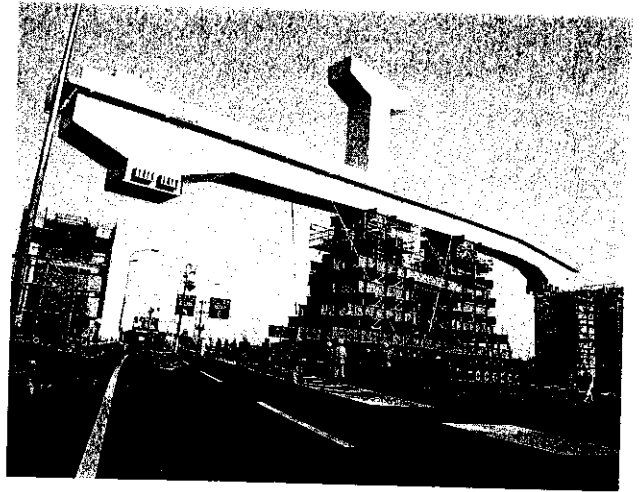


Photo 6 Erection of steel bridge pier with large transporters

る建設コスト縮減があり、鋼橋の分野でも建設省のアクションプランを受けてコスト縮減のための技術開発が業界を挙げて行われている²⁰⁾。建設コスト縮減の具体的方策としては、構造の簡略化による加工工数の低減や新しい建設材料を用いた新工法の適用、鋼-コンクリート合成構造化などによるコスト低減などにおいて具体的に実績があがっている事例が多々報告されるようになった。加工工数の低減には、2主桁化や少補剛設計などの構造設計上の工夫のほか²¹⁾、H形鋼や冷間成形形鋼管²²⁾などの採用などが効果を上げている。

本課題への当社の取り組みとしては、鋼材メーカーとして新機能鋼材の積極的な実構造物への適用や新建材を用いた工法開発などを行ってきた。具体的にはテーパプレート (LP 鋼板; longitudinally profiled steel plate)²³⁾、厚肉 SM570 級 TMCP 鋼²⁴⁾ (極低炭素ベイナイト鋼)、斜張橋用ケーブル²⁵⁾ (高強度亜鉛めっき鋼撚り線/PAC-H) などの実工事への適用と普及を鋼材関係者との緊密な連携の下に積極的に推進し工事費縮減の努力を続けている。このような建設コスト縮減活動は、必然的に RC 橋、PC 橋などのコンクリート系橋梁との価格競争にも通じ、鋼橋対コンクリート系橋梁の技術開発競争が繰り広げられる結果となった。しかし、一方では鋼とコンクリートとは元来相性の良い材料とされ、これらの混合あるいは合成構造の積極的活用が本来のコスト縮減の一つの解答となりつつあり、対立から協力への方向転換が必要かと思われる。波形鋼板ウェブ PC 橋²⁶⁾や合成トラス橋²⁷⁾などはその好例となることが期待される。当社開発工法である鋼-コンクリート合成床版橋²⁸⁾ (KCSB; Kawasaki composite slab bridge) も、桁高制限の厳しい都市河川用中小橋梁として多くの施工実績をあげてきたが、1999 年には他社の同種構造とともに、その共通設計・施工マニュアルとして「合成床版橋設計指針(案)」²⁹⁾が刊行され、合成床版橋という一つの分野が形成されたと言える。

3.1.4 製造技術

鋼橋の製造技術の点からは、合理化術の普及や都市部での複雑な形状の鋼製橋脚の増加により 50 mm 以上の厚肉鋼板の使用が増加し、溶接の品質管理や出来形管理に旧来になく技術的課題が発生する傾向にある。当社開発の極低炭素ベイナイト鋼は、高強度でありながら 50 mm 以上の厚板でも溶接性や加工性が損なわれない優れた材料として少主桁橋梁や鋼製橋脚への適用が期待される。今後はさらに鋼材および溶接材料などの材料そのものに加え、溶接や高力ボルト接合などの接合設計、施工技術において一層の技術開発が期待されている。

製作精度の向上と計測技術、コンピューターシミュレーション技術の発展にともない仮組省略への取り組みが進んでいる。当初は構造の簡単な合理化設計鉄桁で始まった仮組省略も、徐々にではあるが複雑な構造にも適用範囲が拡大しつつあり、仮組コスト削減への可能性が確認されつつある。

省力化への取り組みは当初熟練労働者の不足に備える意味と製作コスト縮減の二つの目的で開始され、現在では多くのファブリケータで部材製作のライン化が行われた。当社も播磨工場において鉄桁、箱桁のパネルラインを導入することにより品質の安定化と製作工数の削減に大きく寄与している。

3.1.5 架設技術

大規模な海洋架橋プロジェクトでは、来島海峡大橋で自走台船と直下吊りを併用した急速施工工法が行われたことが特筆される。一方、最近の傾向の一つとして高規格道路の既設道路への接続や渋滞緩和対策に関連して、既設道路上あるいはその隣接部で大型橋梁を架設するケースが増加している。大型自走式台車 (トランスポータ) を用いた特殊な架設工法により、供用中の道路上に一晚の交通規制期間内で一括架設する工法の採用もこの一例である。当社では、今井インターチェンジ (日本道路公団) (Photo 5)、名古屋南インターチェンジ (建設省)³⁰⁾ (Photo 6) で入念な施工計画、安全検討の下に本工法の貴重な実績を挙げている。他方、高速道路網の建設が山間部で多くなる傾向にともない、環境保全などの意味からも、建設中の土工部を利用して地組し、ベントなしで一方向から張出し架設する工法の適用対象が増加するものと考えられる。1999 年に建設された宿茂橋 (日本道路公団) で採用された「ジャッキアップ回転工法」³¹⁾もこのような観点から鉄鋼 5 社を中心に開発された山岳橋梁用の特殊架設工法であり、工事用ヤード確保の制約が厳しい場所での有効性が期待されている。

3.1.6 国際化への対応

現在、建設市場の国際化を念頭においた道路橋示方書の改訂³²⁾準備作業、客観的品質保証の手だてとしての ISO9000 認証の必要要件化、さらには発注の透明性確保と建設コスト縮減を目指した建設 CALS/EC の本格導入など、公共性の高い土木工事を取り巻く諸環境は急激に変化しようとしている。特に、次期道路橋示方書改訂では性能照査型設計法の導入や設計供用期間の明確化とライフサイクルコストミニマムの考え方の具体的規定化など、要求性能に対して受注者側で品質保証の具体的方法を示す必要性も出てくることが予想される。これらの環境変化に対して、技術的に敏速に対応できる

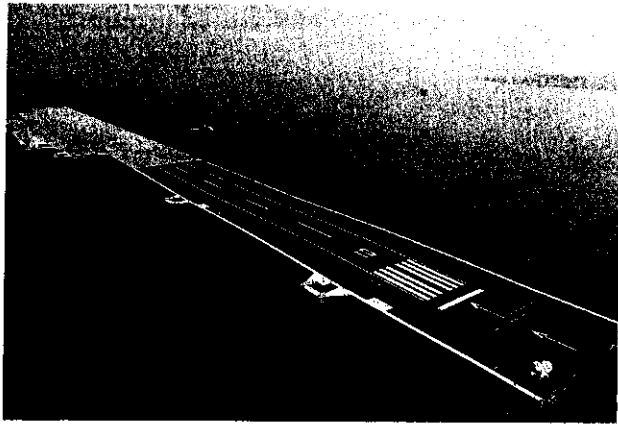


Photo 7 Mega-float Research Project: Phase-II (1998-2000)

ことが今後の鋼構造物の発展のための必要条件と考えられる。

3.2 港湾鋼構造物

港湾鋼構造物分野では東京湾横断道路プロジェクトでの人工島構築用ジャケット式構造物建設の後、大型プロジェクトの計画がなく技術の継承が危ぶまれたこともあったが、兵庫県南部地震以降、粘りのある構造としてまた急速施工可能な護岸構造として、耐震強化岸壁などに再評価され新たな受注分野となった。これらの構造物は旧来は RC ケーソンや杭式、矢板式構造物がほぼ独占状態であった。しかし、地盤条件の悪い大水深岸壁では耐震性の優位性だけでなく地盤改良費などを含めたトータルコストの比較でも有利なケースがあり³³⁾、適用条件は限定的ではあるものの鋼製構造物の増加が期待される。現在、(財)沿岸開発技術研究センターにおいて設計、施工マニュアルの策定が進められており、港湾構造物への普及促進活動を推進したい。

また、港湾構造物における鋼-コンクリート合成構造物の代表として RC ケーソンよりも軽量で耐震性に優れたハイブリッドケーソンが護岸構造物への適用実績が増加しており、今後ともその需要が期待される。

3.3 浮体構造物

1995 年度にスタートしたメガフロート技術研究組合における超大型浮体構造物の開発では 1997 年度までの 3 年間 (Phase-I) で、長さ 300 m、幅 60 m の浮体ユニットの建造実験を通して、浮体構造物の設計技術、建造技術 (洋上での浮体ユニットとの接合を含む)、長期耐久性保証技術、上載機能保証技術などにおける基礎技術確立した³⁴⁾。引き続き 1998 年度からは、長さ 1000 m 最大幅 120 m の大型浮体空港モデルを建造し (Photo 7)、浮体式海上空港としての機能を実証すべく 2000 年度まで種々の実験が行われている。当社も、研究組合の一員として参画し、積極的に実用化の推進に努め

ている³⁵⁾。1999 年度には、浮体構造物の耐震性と移動性の優れた点に着目し、運輸省のパイロット事業として東京湾、伊勢湾、大阪湾に 1 基ずつの浮体式防災拠点の建設が発注された³⁶⁾。当社は東京湾 (横浜港) における鋼製浮体式防災拠点の建設に共同企業体として参画しており、研究組合での貴重な経験と実績をベースに浮体構造物の利用範囲の拡大、普及促進などに引き続き注力して行く所存である。

4 おわりに

建築・土木両分野における当社の近年の技術展開について概説してきた。その特徴は鋼材メーカーとしての鋼材技術を十分に活用した独自性ある技術開発であり、設計から施工まで、また開発から加工、接合、建方、現場工事まで一貫した技術による競争力や巧みな鋼材利用にある。大競争時代を生き抜き鋼構造物事業を継続・発展していくには、ますますこれらの努力が重要でありかつ必須条件となることは疑う余地のないところである。

今後の建築鉄構分野の技術課題・展望についても、前述のことを基調としつつ具体的には次のようなことを実行していかなければならないと考えている。まず第一に、大震災以降開発された種々の鋼材・工法などの実務面での大系化と普及である。たとえば、極軟鋼を用いた制震部材はその性能が優れていても、使用時には建設大臣の認定が必要である。超高層建築物においては、従来よりその構造評価が義務づけられているため、制震部材の採用には多大な負荷を必要としないが、構造評定を必要としない中高層建築物においては、制震部材の評定のための負荷を必要とする。早期に 2 重管ブレースの建設大臣の一般認定が求められているところである。また、柱-梁接合部の溶接工法やディテールについても多くの工法が提案されており、これらの統一評価が求められている。第二に、溶接工法の再構築である。新しい溶接材料の開発も含め、入熱量やパス間温度を考慮して所定の溶接性能を満足する溶接施工条件の確立である。第三に、さらなるコスト低減である。CAD 化、溶接ロボット化、物流の効率化、省力化施工法、コンクリート充填鋼管柱 (CFT) のさらなるコスト低減など、品質的にも優れかつ安価な工法が従来よりいっそう強く要求されている。

これらの技術課題の解決により、減少したとは言え、なお年間 700 万トン以上を有する建築鉄構分野で有意な事業展開を図っていく所存である。

一方、公共工事における建設コスト縮減や次世代鋼構造物などの実用化には、構造的な改良、改善に加えて使用鋼材の高機能化、コンクリートとの合成構造物用鋼材の適用など、鉄鋼メーカーとしての鋼材技術を十二分に活用した独自性のある技術開発をとまなう努力が今後とも必要であると考えられる。このような観点から以下の論文、製品紹介では上述したこれまでの当社の技術的特質を代表する建設プロジェクトにおける技術的課題とその検討結果について紹介する。

参考文献

- 1) 「平成 10 年 6 月 12 日公布改正建築基準法および平成 11 年 5 月 1 日施工改正建築基準法 (1 年目施行) の解説」, 新日本法規 (建設省住宅局建築指導課, 市街地建築課監修)
- 2) 「建築鉄骨の地震被害と鋼材セミナー (第 12 回溶接構造物用鋼材に関する研究発表会) テキスト」, 日本溶接協会鉄鋼部会, (1997), 6
- 3) 鉄骨 News 「溶接部の性能確保へ技術基準」, (1999)19 および「溶接部の適正な性能を確保しうる技術基準 (令 68 条の 2 関連) についての意見」(1999)22, 鉄骨ニュース(株)
- 4) 「実施を考慮したノンスカラップ工法 (上), (下)」, 鉄構技術 (Sturtec), (1994)6~7

- 5) 建築鉄骨での脆性的破壊と鋼材破壊靱性セミナー (第 13 回溶接構造用鋼材に関する研究発表会) テキスト, (1999)12
- 6) たとえば, 小泉秀夫, 藤沢一善, 山本 昇, 小坂 清, 武元弘之, 橋本順次: 「大空間構造物「スーパーウイング」工法の開発」, 川崎製鉄技報, 20(1989)4, 315-324
- 7) 今井克彦, 福田雄一: 「球形ジョイントによる立体トラス「KT トラス」」, 川崎製鉄技報, 20(1989)4, 349-350
- 8) 一ノ瀬清郎, 藤沢一善, 小保方廣美: 「米国における大スパン構造の設計とスライディング工法」, 川崎製鉄技報, 28(1988)3, 131-136
- 9) たとえば, 橋梁と基礎, 32(1998)8
- 10) 駒田敏一: 日経コンストラクション, (1998), 6-26, 26-29, 90-93
- 11) 仁木清貴: 本四技報, 22(1998)88, 45-47
- 12) 「建設省土木研究所要覧」, (1997), 8
- 13) 川崎健史, 大塚浩二, 松原 薫, 内田一人, 中東剛彦, 中西良知, 藤田勝彦: 橋梁と基礎, 33(1999)10, 2-10
- 14) たとえば, 「新たな海峡横断プロジェクト講演会」資料, (1999)
- 15) (社)日本道路協会: 「道路橋示方書・同解説」, (1996)
- 16) 建設省土木研究所, 首都高速道路公団, 阪神高速道路公団, 名古屋高速道路公社, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会: 「道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書 (I-VII)」, (1997)
- 17) (社)日本道路協会: 「道路橋の耐震設計に関する資料」, (1997)
- 18) 長町 賢, 小池 武, 脇長 正, 西村宜男: 川崎製鉄技報, 30(1998)1, 49-53
- 19) 建設省: 「道路協の免震設計法マニュアル(案)」, (1992), (財)土木研究センター
- 20) 社団法人日本橋梁建設協会: 「鋼橋建設ビジョンのアクションプログラム」, (1997)
- 21) たとえば, 高橋昭一, 木村 宏, 志村 勉, 小西哲司: 橋梁と基礎, 30(1996)3, 2-7
- 22) 川尻克利, 梅津靖男, 至田利夫: 橋梁と基礎, (1998)3, 2-8
- 23) 弓削佳徳, 堀 紀文, 西田俊一: 川崎製鉄技報, 30(1998)3, 137-141
- 24) 岡津俊一, 林 透, 天野虔一: 川崎製鉄技報, 30(1998)3, 131-136
- 25) 宮野 修, 夏目良平, 山下幹夫, 竹房秀一, 横田 務, 鴻上浩明: 橋梁と基礎, (1996)10
- 26) たとえば, 水口和之, 芦塚憲一郎, 古田公夫, 大浦 隆, 滝 憲司, 加藤卓也: 橋梁と基礎, 32(1998)9, 2-10
- 27) たとえば, O. Schwarz, J. Haensel, K. Doblies, and J. Eppe: *Bauingenieur*, 70(1995), 127-135
- 28) 浜田敬之介, 春日知男, 佐藤政勝, 田中祐人: 川崎製鉄技報, 18(1986)1, 75-81
- 29) 大田貞次, 依田照彦, 利根川太郎, 上田多門, 古室健史: 橋梁と基礎, 33(1999)7, 19-23
- 30) 日経コンストラクション, (1999), 10-8, 76-80
- 31) 日経コンストラクション, (1999), 8-13, 28-33
- 32) 西川和廣: 鋼構造および合成構造設計・施工基準の世界の動向と今後の展望に関するシンポジウム, (1999), 土木学会鋼構造委員会, 43-48
- 33) 石原謙治, 平本高志, 中村聖三: 川崎製鉄技報, 30(1998)1, 39-43
- 34) メガフロート技術研究組合: 「超大型浮体式海洋構造物 平成 9 年度研究報告一概要一」, (1997)
- 35) メガフロート技術研究組合: 「超大型浮体式海洋構造物 平成 10 年度研究報告一概要一」, (1998)
- 36) 青木道雄: 月刊建設, (1999)9, 24-26