

東京の新たなシンボル 「東京ゲートブリッジ」

新技術を織り込み大型橋梁の未来を拓く



Tokyo Gate Bridge

川田工業(株)提供



BHS 鋼を採用したトラス部



基礎構造に採用された縞鋼管高耐力継手

東京湾臨海部の物流円滑化、湾岸道路の渋滞緩和を目的に現在進められている「東京港臨海道路Ⅱ期事業」。全長約4.6kmのうち、海域約1.6kmを横断する「東京ゲートブリッジ」の主橋梁およびアプローチ橋に、新日鉄が製造した新しい橋梁用鋼材「BHS鋼(Bridge High performance Steel)」が日本で初めて大規模に採用された。本鋼材は産学での検討を踏まえ、(社)日本鉄鋼連盟において同鋼材の規格化・普及活動を行ってきた。また、同橋梁を支える鋼管矢板井筒基礎には新たに開発した^{しまこうかん}「縞鋼管高耐力継手」が使われるなど、大規模橋梁の未来を拓く画期的新技術が盛り込まれ、大幅なコスト削減を実現している。この特集ではその2つの新技術の開発・導入経緯と強みを紹介する。



国土交通省関東地方整備局 東京港湾事務所長

川上 泰司氏

国際貿易の物流機能を高め 約300億円の経済効果を生む

東京港は全国の約2割の外資コンテナを取り扱う国際貿易の玄関口。毎年3万隻を超える船舶が入港し、年間7800万トン、コンテナ数382万個(2010年度速報値)もの貨物がここを経由する。東京都では世界経済の発展に伴うコンテナ数の増加を予測し、新規のコンテナターミナル建設を計画するとともに、増え続ける物流車両の円滑な通行のため、1988年に「東京港臨海道路計画(総延長8km)」を打ち出した。1993年に着工した城南島と中央防波堤外側埋立地を海底トンネルで結ぶⅠ期事業は2002年に完工・開通し、その後始まった中央防波堤外側埋立地と若洲を橋梁で結ぶⅡ期事業は、今年2月に東京ゲートブリッジの架設を完了し、東京港開港70周年に当たる本年度中の開通を目指している(図1)。

国土交通省東京港湾事務所長の川上泰司氏は、本プロジェクトの意義を次のように語る。

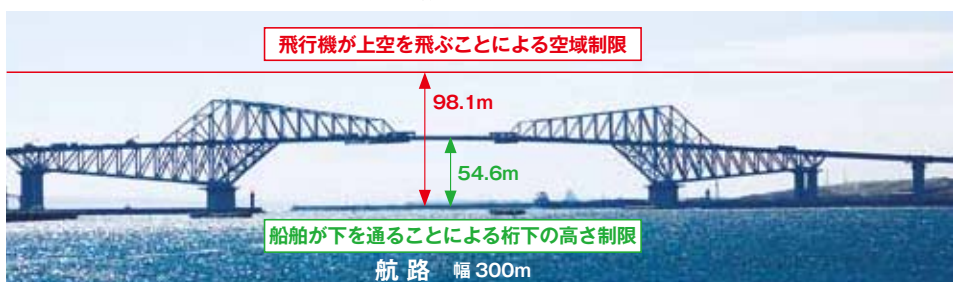
「1日約3万5千台の物流車両が見込まれる本ルートの開通後は、現在混雑の多い湾岸道路のバイパス機能を含め、物流円滑化、時間短縮、渋滞緩和による約300億円の経済効果が期待されています。またトンネルと橋梁という複数系統の交通網を整備することは、災害時への備え、リダンダンシー(※1)の観点からも意義が大きいと考えています」

図1 東京港臨海道路の位置



国土交通省関東地方整備局 港湾空港部提供

図2 東京ゲートブリッジの形状と空域・桁下高さ制限



国土交通省関東地方整備局 東京港湾事務所提供

東京の玄関口にふさわしい 橋梁構造と景観を創造

東京ゲートブリッジは全長2933メートル、海上区間の長さは横浜ベイブリッジの約2倍(1618メートル)。通常、この長さの橋梁ではコスト面から吊橋や斜張橋にするケースが多いが、羽田空港への航空機の進入路に位置するこの海域は約98メートルの高度制限があり、吊橋に不可欠な高い主塔を建てるできない。また、東

京港第三航路を跨ぐため桁下の高さも約55メートル確保しなければならない。そのため、国土交通省が設置した橋梁の専門家で構成される東京港臨海道路技術検討委員会では、これらの条件を満たす形式として三角形に接合した鋼材を組み上げる「トラス橋」を採用した(図2)。本橋は連続トラス橋としては世界最大規模となる。そして、世界に向けた東京港の玄関口にふさわしい美観な景観を創造するため、大型トラス橋では世界初となるボルトレスの全断面溶接が採用された。ボルトレスにすることにより橋

※1 リダンダンシー: redundancy。国土計画上では、自然災害などによる障害発生時に、一部の区間の途絶や一部施設の破壊が全体の機能不全につながらないように、あらかじめ交通ネットワークやライフライン施設を多重化したり、予備の手段が用意されているような性質を示す(国土交通省HPより)



新日鉄 建材開発技術部橋梁開発技術グループリーダー
本間 宏二



東京工業大学 教授
三木 千壽氏

優れた溶接施工性と強度で 新たな挑戦を支えた「BHS鋼」

梁外面の凸部が軽減され、供用後の維持管理コストも軽減できる。検討委員会の委員長を務める東京工業大学教授の三木千壽氏は、今回採用された技術の導入経緯について語る。

「アメリカ各地でインフラ更新が進められた1990年代初めから、日本でも公共建設物の高性能化（コスト削減）を目的とした建設用鋼材と利用技術の開発に産学共同で取り組んできました。その過程で今回のプロジェクトが決まり、軽量化につながる高強度鋼や全断面溶接、スリムな構造を実現する新たなトラス格点の設計手法など、新技術を採用して建設コストを削減することで、日本の橋梁建設に一石を投じることができました」

主橋梁部分のトラス構造に対して、コスト削減と工期短縮を前提に、全断面溶接を容易にする溶接施工性や強度などの比較検討の結果採用されたのが、新日鉄など鉄鋼各社が傘下に入る日本鉄鋼連盟で規格化した橋梁用新鋼材「BHS鋼」だ。建材開発技術部橋梁開発技術グループの本間宏二は、その取り組みを説明する。

「競争力ある鋼橋の実現に貢献する鋼材とは何かを突き詰めて検討しました。溶接時の予熱を省略可能な良好な溶接性と、高強度を両立する高度な厚鋼板製造技術を踏まえ、橋梁に最適な降伏強度、破壊靱性、冷間曲げ加工性などの必要性能を総合的に検討して、最適な鋼材性能を導き出しました」

通常、鋼材の強度を高めるには炭素量を増やしたり合金を添加することが有効だが、これらの添加に伴い溶接時に冷間割れが起こりやすくなるため、最大100℃、125℃の予熱が必要になる（図3）。また今回は有明や富津の現地ヤードでトラスを地組みするため屋外溶接での温度管理も難しい。そこで、鋼材強度をアップさせながら、溶接施工性を改善することが鋼材開発のキーとなった。新日鉄では溶接性を阻害する合金添加を抑え、かつ鋼材の結晶粒を細粒化して厚板の強度・靱性を向上させる独自の次世代型制御冷却プロセス（CLC・μ）を駆使し、BHS鋼の製造技術を確認。名古屋・君津・大分の各製鉄所で本プロジェクト用鋼材を製造した。

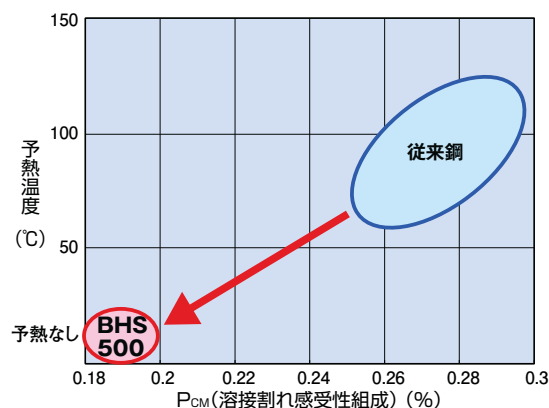
溶接施工コストの大幅な削減を実現するとともに、東京ゲートブリッジで採用されたBHS500では従来比10～20%（対SM570）の高強度化により鋼材使用量を全重量の3%低減。上部構造の軽量化によって下部構造の負担を軽くするなどの効果ももたらし、総予算額の12%を削減した。



架設されるトラス部材（重量約6,000トン、若洲側）

川田工業(株)提供

図3 鋼材割れ感受性と溶接時の予熱の関係



従来鋼では溶接時に予熱を十分に行わないと冷間割れが起こりやすいが、BHS鋼では予熱が省略できる

図4 「BHS 鋼」の開発年表

年	内 容
1994 ～2000	鋼橋部材における高性能鋼活用可能性の基礎的検討 橋梁用高性能鋼の概念提案 (YP400、500、700)
2003	橋梁用高性能鋼材の提案 (BHS500、700)
2004	NETIS 登録 (橋梁用高性能鋼材 (BHS 鋼))
2005	BHS500、500W、700W(W は耐候性仕様)が(社)日本鉄鋼連盟製品規定に設定
2006	南北水路横断橋に約 1,200 トン初適用
2007	東京ゲートブリッジに約 17,000 トン適用
2008	SBHS500、500W、700、700W が JIS 規格として公示
2009	東京都建設局の土木材料仕様書、(財)鉄道総合技術研究所の鉄道構造物等 設計標準・同解説 鋼・合成構造物改訂に織り込み

BHS 鋼の普及を目指し 40 年ぶりに新 JIS 規格取得

経済競争力があり鋼構造の発展に寄与する新たな高性能鋼材が、広く公共事業で使われるためには、設計・製作上のメリットを明確化・定量化し、ルールとしての規格に仕上げるのが重要だ。一般公募の結果により、「東京ゲートブリッジ」の名付け親の一人になった厚板営業部厚板商品技術グループの田中睦人は、その取り組みの重要性を語る。

「新開発製品を 1 社単独で実用化できる民生品とは異なり、公共事業の橋梁分野では新材料を各社が安定的に製造するための規格を整備して初めて、設計書に織り込まれることが可能となります。私たちの製造実力を最大限に発揮して鋼材のスペックをつくり、社会で使えるようにルールを整備して世の中に提供することに今回最も苦労しました」

1994 年から日本鉄鋼連盟は、東京工業大学の創造プロジェクト研究体を設置された高性能鋼の利用技術研究会や橋梁メーカー各

強度と優れた溶接施工性 で世界に打って出る技術 を確立

川田工業(株) 執行役員 生産本部長
多田 賢氏

高強度の BHS 鋼は構造物の重量を低減するだけではなく、それ以外にも非常に大きなメリットをもたらします。橋梁は上部構造物のほか、それを支える橋脚や橋台があり、構造物の重量を小さくすることにより橋脚や橋台を含めたトータルコストを低減できます。

東京ゲートブリッジの場合、コンパクトにつなぎ合わせる新しい格点構造の採用によって、桁は軽量でスレンダーな美しい構造になり、橋梁全体の製作コストも削減できました。

また、橋梁用鋼材の大きな課題は溶接施工性です。当社では、日本鉄鋼連盟などが橋梁専用の BHS 鋼の研究開発に取り組んでいた 8 年前から、施工性に関する技術検証を重ねてきました。特に、本州四国連絡橋で苦勞した鋼材の予熱は、巣箱のような狭い桁内での溶接作業環境を局部的に 60℃ にも押し上げ、予熱時間や待ち時間による効率の悪さのほか溶接作業には大変過酷な作業となっていました。しかし、予熱を省略できる BHS 鋼はこれらの苦勞が全くなく、溶接作業時間だけをみると従来鋼のおよそ 3 分の 1 で施工できるなど、作業環境改善と作業効率を向上させることができました。

今回東京ゲートブリッジが完成したことで、世界に打って出る新しい日本の橋梁技術の誕生をアピールできたと思います。高性能鋼材として世界仕様になっていくことを期待しています。(談)

社と橋梁に使う新鋼材の必要性能に関して検討を開始した。2004 年には鋼材試作・評価をほぼ終え、実際の橋桁製作試験を通して国交省と橋梁メーカーが開発鋼の性能を確認して国交省の新技术情報提供システム「NETIS」に登録。この頃から東京港臨海道路を意識したアプローチが始まった(図4)。

次に目指したのが、公的な規格の設定だ。性能などの仕様だけでなく、試験方法などを含めた規格づくりに取り組み、2005 年に「日本鉄鋼連盟製品規定」を設定。この段階で国交省は同規定に基づく BHS 鋼を発注できるようになり、新日鉄では 2006 年南北水路橋(1200 トン、100% 新日鉄の受注を皮切りに、2007～09 年にかけて東京ゲートブリッジ向けの BHS 鋼を受注、製造を完了した(橋梁総重量約 3 万 7000 トン中 BHS 鋼出荷量は 1 万 7000 トン)。

「さらに 2008 年 11 月には『JIS 規格(※2)』に制定され、世界的に通用する材料規格を得ることができました(規格名称「SBHS 鋼」)。橋梁分野で使用される鋼材の新規格制定は

40 年ぶりの快挙です」(田中)。

こうした努力が評価され、日本鉄鋼連盟橋梁用鋼材研究会委員長、川崎博史(新日鉄参与)は三木教授と共に同鋼材の開発・実用化で、2010 年度の日本鋼構造協会業績表彰の最高賞である「協会賞」を受賞している。

「橋梁材料・構造の見識が深い三木先生と橋梁メーカー、そして鉄鋼業の関係者全員が『もっといい鋼材があるのになぜ使わないのか』という思いを共有して取り組んだ熱意の賜物だと考えています」(本間)。

その後も BHS 鋼の普及を目指す挑戦は続く。JIS 規格をもとに橋梁の設計書類に織り込む努力を続け、2009 年には東京都建設局の土木材料仕様書と(財)鉄道総合技術研究所の標準解説書に使用材料として SBHS 鋼が明記され、その結果、東京都ではさらに 2 橋で採用された。新日鉄では今後、関係機関と連携して技術基盤をさらに整備し、大型橋梁だけでなく一般的な道路橋、鉄道橋などへの提案活動に取り組み、年間 3 万トンの受注を目指す。

※2 JIS 規格：日本工業規格。日本の工業標準化の促進を目的とする工業標準化法(1949 年)に基づき制定される国家規格。(JIS G 3140)

新日鉄 建材開発技術部土木基礎建材技術グループ
調査役 山下 久男新日鉄 厚板営業部厚板商品技術グループ マネジャー
田中 陸人

可能性を広げるもう一つの 新技術「縞鋼管高耐力継手」

一方、橋脚部基礎工では、海底部の厚い軟弱地盤層に対応するため、直径1・5メートルの鋼管杭を地下70メートルまで1本ずつ壁状に打設して井筒状の壁を海上まで形成し、井筒内部にコンクリートを流し込み頂版を築造する「鋼管矢板井筒構造」が採用された。これは施工時の残土発生量も少なく環境に配慮した工法だ。各鋼管杭同士は継手で接合しモルタルを充填して固定するが、表面が滑らかな通常の鋼管継手では地震などの揺れに対する耐力が低い（せん断変形）（図5）、新日鉄および鋼管杭協会では、特に継手の耐力・変形性能を高める新技術を検討した。さまざまな議論を経て、新日鉄では「縞鋼管高耐力継手」の製造技術を確立。室内での実物大の載荷試験で従来の4〜5倍の耐力・変形性能を確認して、東京港臨海道路橋梁基礎委員会の下部組織、耐震・基礎構造検討分科会に提案し、2003年に新技術として採用が決定した（着工2004年、完工2007年）。建材開発技術部土木基礎建材技術グループの山下久男は、開発経緯と成果を次のように説明する。

「広畑製鉄所で新たに考案した専用の高圧下熱延ロールで突起の高い縞目に圧延しますが、性能を定量化するために縞の形状と性能を精査して、最終的に突起の保証スペックを1ミリに定めました。継手の耐力・変形性能が高まったことが大きく貢献して、基礎杭本数が鋼材使用量ベースで16%減り、基礎寸法も小さくできることから約36%、約40億円のコスト削減効果を生み出しました」（図6）。

東京の新たなシンボルが示す 橋梁建設の方向性

こうした新技術により、現段階で工期短縮も含め大幅なコスト削減が達成される見込みだが、本プロジェクトの位置づけについて、東京港湾事務所長の川上氏は言う。

「大震災の影響を受ける日本で、東京に新たなシンボルができる意義が大きいと考えています。本橋の開通を一つのイベントとして盛り上げていきたいですね。また東京港は、今年4月1日の港湾法改正により京浜港、大阪・神戸港と共に『国際戦略港湾』に指定され、より重要な港として位置づけられました。引き続き、物流の効率化、首都圏の産業の国際競争力強化のためのハード・ソフトの政策に取り組んでいきます」

最後に、三木教授は未来の橋梁建設における本プロジェクトの意義と、今後の新日鉄への期待について次のように語る。

「新技術により公共事業のコストダウンを図る。関係者が業界の枠組みを越えてその目的を共有し、BHS鋼の開発と使用環境の整備、溶接や設計などの周辺技術開発に取り組んだ今回のプロジェクトは、将来の橋梁建設の進むべき道を示唆しています。今後はこの経験をベースに、コスト競争力がキーとなる中長期の国際戦略と、それを牽引する仕組み・メカニズムを構築していければと考えます。トータルで物事を考える企業、挑戦マインドを持った技術者集団として、新日鉄がその仕組みづくりをリードしてもらいたいですね」

図6 井筒基礎の比較構造図

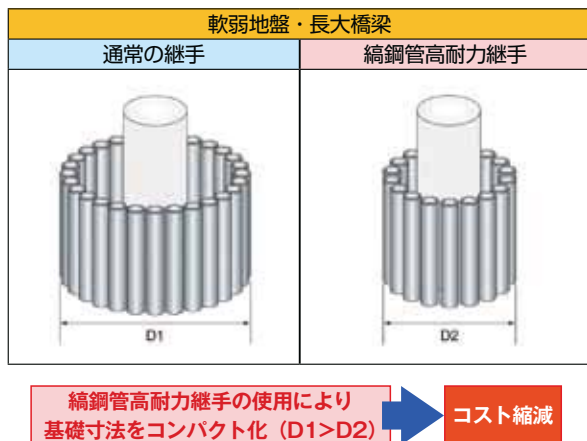


図5 せん断のメカニズム

