

連携記事

新しい橋梁用鋼材-SBHS-2

橋梁への鋼材利用

—橋梁用高性能鋼材SBHS—

High Performance Steel for Bridge

和田浩介
Kosuke Wada

川田工業(株) 四国工場 橋梁技術課
係長

1 はじめに

鋼橋の構造特性、製作に関わる要求に呼応して開発された橋梁用高性能鋼材¹⁾が40年ぶりにJIS規格化²⁾された。この新たな鋼材(以降、SBHS)の活用とそれにとまなう鋼橋技術のさらなる発展は、今後、合理的で経済的な鋼橋の創出に繋がると期待されている。

本稿では、鋼材の橋梁利用の変遷として、鉄鋼材料の技術革新とともに発展してきた鋼橋の代表例と、鋼道路橋の技術基準と鋼材利用の変遷について簡単にまとめ紹介する。また、SBHSが先駆的に採用された東京ゲートブリッジの施工概況について製作者の立場から紹介する。

2 鋼材の橋梁利用の変遷

2.1 代表的な鋼橋の紹介³⁾

日本の鉄橋の歴史は明治に始まると云われる。日本で最初に架設された鉄の橋は、1868年のくろがね橋(長崎県)で輸入した錬鉄桁が用いられた。国産鉄による初の鉄橋は、鑄鉄と錬鉄が混合して用いられた1878年の八幡橋(東京都 旧・弾正橋)である。我が国初の鋼橋は、1888年に架設されたトラス鉄道橋の天竜川橋梁(静岡県)とされ、道路橋では1926年の永代橋(東京都)となる。

鉄鋼材料の技術革新にとまなない更に進歩を遂げた「鋼」の適用橋としては、高張力鋼(50キロ鋼)が最初に使われた1955年の相模大橋(神奈川県)が挙げられる。耐候性鋼材の無塗装仕様では、知多2号橋(愛知県)が1966年に国内最初の試験桁となり、実橋では1968年に尻別跨線橋(北海道)が架設されている。HT780の初適用は花輪跨線橋(1964年 千葉県)で、1974年の港大橋(大阪府)(写真1)では約4,200tと本格採用に至った。その後、本四架橋の番の州高架橋や与島橋(1988年 香川県)などでも大量に採用されている。のちに、

このHT780材は鋼材特性と溶接施工性の改善を目的とした予熱低減鋼へと進化し、1998年完成の明石海峡大橋(兵庫県)(写真2)に4,000t採用された。

そしてSBHSである。本鋼材は、最新のTMCP技術と高度なマイクロアロイング技術によって近年開発されたもので、東京港臨海道路プロジェクトの一部となる南北水路横断道路に約1,200tのSBHS500が用いられ、東京ゲートブリッジでは約10,250tのSBHS500が採用された。また、日本初のスペーストラス橋として2010年に架設された永田橋(東京都)(写真3)にも適用されている⁴⁾。



写真1 港大橋(大阪府)



写真2 明石海峡大橋(兵庫県)

2.2 鋼道路橋の技術基準の変遷^{5,6)}

鋼橋には自動車等が通行する道路橋と列車が通行する鉄道橋がある。ここでは、道路橋の技術基準と鋼材規格の過去の関連について紹介する。

2.2.1 戦後までの基準

道路橋設計の基本事項が最初に定められたのは、1926年に制定された「道路構造に関する細則案」である。以降、支間120m以下の構造用鋼を用いた鉚結（リベット接合）鋼橋を適用範囲とした「鋼道路橋設計示方書案」、「鋼道路橋製作示方書案」が1939年に制定された。本基準は、設計細目の規定として現在の道路橋示方書鋼橋編の基礎にあたるものであり、1940年にJIS（日本標準規格）第430号「一般構造用圧延鋼材」として規格化されたSS41（現 SS400）が標準鋼材に用いられた。一方、溶接橋の先駆けとして知られる1935年の田端大橋（東京都）（写真4）、鶴川橋（1937年、山梨県）がこの時代に既に架設されており、溶接橋の最初の基準となる「電弧溶接道路橋設計及製作示方書案」が同時期の1940年に制定された。本基準は、これらに代表される橋梁分野の溶接技術の発展に基づき定められたようであるが、時代背景として戦中戦後にあたること、当時の鋼材の扱いの難しさなどから溶接



写真3 永田橋（東京都）



写真4 田端大橋（東京都）

橋の急速普及には至らなかった。標準鋼材は先に述べたSS41として、溶接用鋼材の使用規定は特になされていなかった。

戦後初の溶接橋は1949年に架設された恵川橋（広島県）である。その後、溶接道路橋が数多く架設されるようになり、「電弧溶接道路橋設計及製作示方書案」が1957年には「溶接鋼道路橋示方書」として改訂されている。この基準では、1952年にJIS化（日本工業規格）されたJIS G 3101「溶接構造用圧延鋼材」のSM41（現 SS400）が使用鋼材として規定されるなど、溶接橋梁の設計、製作方法が確立された基準となった。なお、前年の1956年には、「鋼道路橋設計示方書」、「鋼道路橋製作示方書案」が「鋼道路橋設計示方書」、「鋼道路橋製作示方書」として改訂されている。

2.2.2 高度成長期の基準

「鋼道路橋設計示方書」、「鋼道路橋製作示方書」の1964年の改訂は、高張力鋼の開発と橋梁への利用技術の進歩を踏まえ行われ、適用範囲はリベット接合された支間150m以下の鋼橋へと拡張された。そして、同年に改訂された「溶接鋼道路橋示方書」では、1959年改訂のJIS G 3106「溶接構造用圧延鋼材」のSM50（現 SM490）が規定に取り込まれた。さらに、「溶接鋼道路橋示方書」の1967、1968年追補では、JIS G 3106の再改訂（1966年）にともないSM50Y、SM53、SM58（現 SM490Y、SM520、SM570）が規定化されるなど、鋼材および溶接技術の飛躍的な進歩とともに随時、基準が整備された。

1972年には、「鋼道路橋設計示方書」、「鋼道路橋製作示方書」、「溶接鋼道路橋示方書」などの基準が統合され、現在の体系である「道路橋示方書Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編」として制定された。適用支間は200m以下とさらに拡張され、1968年に制定されたJIS G 3114「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」のSMA41、SMA50、SMA58（現 SMA400、SMA490、SMA570）が規定化された。また、本基準は、これまで用いられていたリベット接合から溶接構造を主体とした改訂が行われた。

2.2.3 昭和後期から現在までの基準

以後「道路橋示方書Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編」は、1980年、1990年、1993年、1996年、2001年の改訂を経て現在に至り、調査研究の成果や実績の反映、省力化や国際化への対応、ライフサイクルコストや維持管理の低減、性能規定化などを目的に逐次整備が行われている。しかし、鋼材に着目するならば、この間、HT780に代表される新たな鋼材開発とその実用化が図られたもののJIS規格化には至っておらず、「道路橋示方書Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編」の規定にも取り込まれていない。そして2008年、SBHSがJIS G 3140「橋梁用高降伏点鋼板」としてJIS化された。その後、2011年の改訂⁶⁾により、鋼橋で使用される鋼種全てに対応したメニュー化が図られた。近い将来、

「道路橋示方書Ⅰ共通編、Ⅱ鋼橋編」に取り入れられ、鋼橋技術に新たな変革を促すと期待される。

3 東京港臨海道路プロジェクト 「東京ゲートブリッジ」への適用例^{7,8)}

3.1 橋梁概要

東京港のさらなる国際競争力の強化に向け、東京港臨海道路が2012年2月に開通した。本道路は、臨海エリアの交通の円滑化、物流コストの削減を目的に計画され、Ⅰ期事業区間の城南島から中央防波堤外側埋立地に至るルートが2002年に供用されている。Ⅱ期事業は、中央防波堤外側埋立地から江東区若洲に至る約4.6km区間にあたり、第3航路を跨ぐ海上約2.9kmは橋梁部「東京ゲートブリッジ」となっている。そして、この主橋梁部には、3径間連続トラス・ボックス複合橋が採用され、橋長760m、中央径間440mの連続トラス橋としては国内最大級である。図1に東京港臨海道路位置図を、図2に主橋梁部の側面図を示す。本橋では、橋梁用に開発された新しい鋼材の特性を有効に活用した取り組みとして、過去に例のない大規模トラス橋への全断面現場溶接構造が採

用されており、写真5に示すように東京港の顔に相応しいスレンダーで優れた景観となった。また、この全断面現場溶接構造の採用は、継手部塗装の耐久性向上、内面密閉構造による内面塗装の省略など維持管理性の向上にも寄与するなど合理的なものとなっている。

3.2 新技術の導入

近年、国内の厳しい財政事情から公共事業に対してコスト縮減が叫ばれており、それに対応すべく本橋では発注者側の強い意思として、新技術の積極的活用が打ち出され、新たな設計手法、橋梁用に開発された新しい鋼材の導入が行われた。

新たな設計手法には、近い将来、許容応力設計法からの移行が進むと考えられる限界状態設計法の1種、荷重抵抗係数設計法(LRFD; Load and Resistance Factor Design)が用いられ、死荷重比率の高いトラス主構に対して合理的な設計が行われた。本設計手法は、新しい鋼材が有する高強度特性との組み合わせによって、経済的な橋梁の創出を期待させるものである。

新しい鋼材の利用として、東京港臨海道路主橋梁部の製作重量20,250tの約半分にあたる10,250tにSBHS500が使用されている。この新鋼材の導入による経済効果は、最終的には鋼材重量、製作および架設コスト、維持管理コスト等について総合的に評価されるものと考えられるが、国土交通省によると鋼重低減の効果は、鋼重3%減(約600t)と試算されている。

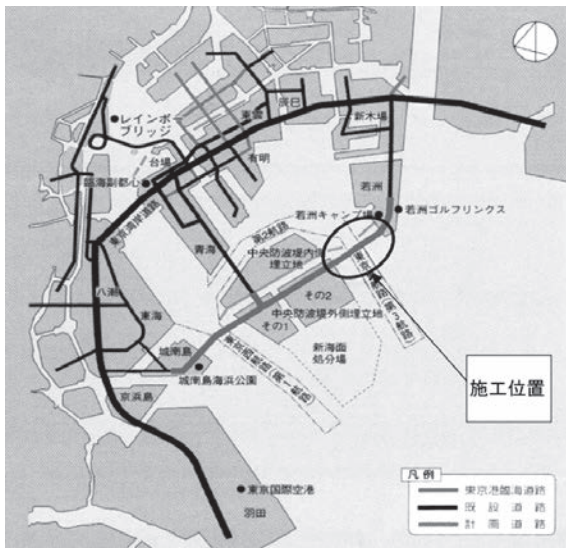


図1 東京港臨海道路位置図



写真5 東京ゲートブリッジ

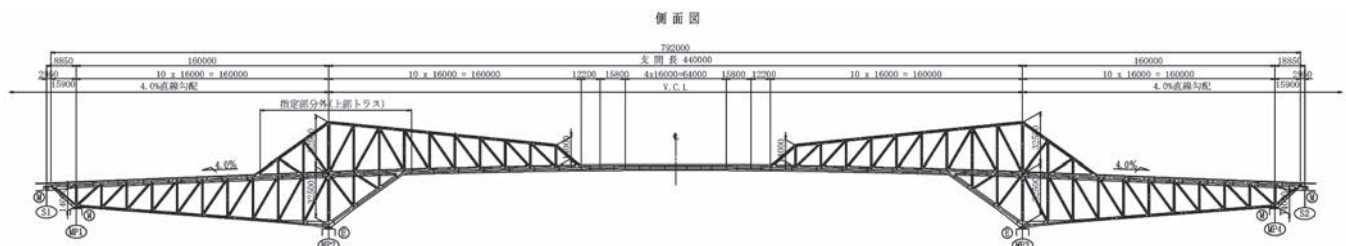


図2 東京ゲートブリッジ主橋梁部

3.3 施工状況

本プロジェクトの施工状況（工場製作、地組立、現場架設）について、概況とSBHSの効果を述べる。

3.3.1 工場製作

工場製作の工程は、材料搬入、けがき、切断、曲げ加工、孔明加工、組立と溶接、塗装、品質検査、出荷であるが、工場製作に関するSBHSの利用による最大のメリットは、組立作業と溶接作業の製作工数の低減にある。新しい鋼材の使用に先立ち、鋼材の基本性能試験や構造部位に応じた溶接施工試験（写真6）の実施など、さまざま試験確認を行い、いずれの試験も十分な品質が得られることが確認された。特に、SBHSの溶接性に着目した基本性能試験では、本橋で用いられる最大板厚の施工に対して予熱省略が可能であることが確認され、組立作業、溶接作業の各工程に対する工数の低減に寄与した。工場製作状況を写真7に示す。SBHSの開発コンセプトとして実現性が期待された溶接入熱量およびパス間温度の制限については、施工試験により緩和できる結果が得られたものの、確認数に限りがあったことから、道路橋示方書⁹⁾や本州四国連絡橋公団¹⁰⁾の基準に従った管理施工が行われた。



写真6 溶接施工試験状況



写真7 工場製作状況

この点については今後、より多くの試験データや実績を重ねることで更なる製作コスト縮減が可能になると考えられる。

なお、SBHSの特徴は他に、SM570よりも高い降伏強度を有していること、脆性破壊に対する安全性、冷間曲げ加工性、耐ラメラティア性の向上が期待できることなどがあるが、これらについては設計的なアプローチからの新しい構造ディテールの創出、構造物としての安全性や信頼性の向上など、工場製作の直接作業の省略や緩和が得られる以前に、橋梁技術の新たな展開に寄与できるものと考えられる。

3.3.2 地組立

地組立とは、架設現地とは異なる場所で橋梁全体あるいは一部を架設単位に組立し、接合部を溶接やボルトなどを用いて一体化させる現場作業である。本橋では主橋梁部のトラス部材ならびに鋼床版ブロックについて溶接接合を基本とした地組立が行われた。過去、大規模トラス橋への全断面地組立現場溶接は例がないが、これは、現場狭隘部での安全対策、複雑な拘束環境下での溶接実施、溶接作業効率とコスト、出来形精度の管理などが課題であったことによる。SBHSは施工性に優れ、かつ高い鋼材特性を保有していることから、施工に対する安全性や信頼性が高い。本プロジェクトでは、これを担保として大規模トラス橋への全断面地組立溶接が採用された。地組立現場溶接の状況を写真8に示す。地組立現場溶接を考慮した溶接施工試験、実物大模型試験体による溶接順序、変形、収縮などの事前の確認、施工中の精密な出来形管理が行われた事もあり、地組立に大きな問題は生じず、作業は計画通りに進められた（写真9）。

3.3.3 現場架設

主橋梁部側径間下部トラスの大ブロック地組立後の重量は、架設機材を含め約7,400tにおよぶ。本プロジェクトでは、国内最大級の台船による東京湾内の海上輸送、国内最大の起



写真8 地組立現場溶接の状況

重機船3隻による相吊一括架設が行われ、このような架設事例^{11,12)}は、国内で浜出し3例、架設が2例と少なく15年ぶりとなった。橋梁技術の貴重な財産となった架設状況を写真10および11に示す。

「東京ゲートブリッジ」は、新しい東京港のランドマークとなる一方で、今後の橋梁技術発展のランドマークでもある。そして、橋梁構造からの要求性能に呼応して開発されたSBHSの存在がその原動力であることは言うまでもない。



写真9 地組立鋼床版載架作業の様子



写真10 架設状況1



写真11 架設状況2

4 おわりに

約140年前に我が国初の鉄の橋であるくろがね橋が架設されて以来、鑄鉄から錬鉄、圧延鋼へと鉄鋼材料は進化し、さらに高強度鋼や耐候性鋼の開発など新たな技術革新が行われてきた。鋼橋技術も同様に、桁橋、アーチ橋、トラス・ラーメン橋、斜張橋、吊橋などのさまざまな構造形式を発展させ、本四架橋に代表される世紀プロジェクトの実現など常に技術革新が行われてきた。

橋梁用高性能鋼「SBHS」は、鉄鋼技術と鋼橋技術を融合させ開発された鋼材であり、今後さらなる利用・実績を通じて社会基盤整備の一躍を担うものと信じている。

参考文献

- 1) 三木千壽, 市川篤司, 楠隆, 川端文丸: 橋梁用高性能鋼材 (BHS500, BHS700) の提案, 土木学会論文集, (2003.7) 738/I-64, 1-10.
- 2) 橋梁用高降伏点鋼板 JIS G3140, 日本規格協会, (2008.11)
- 3) 日本の橋―鉄の橋百年のあゆみ―, 朝倉書店, (社) 日本橋梁建設協会, (1994)
- 4) 大谷満, 今井平佳, 大植健, 根津和近, 村尾裕二, 大久保武男: 永田橋の設計と施工, 橋梁と基礎, (2011.11)
- 5) 多田宏行: 橋梁技術の変遷, 鹿島出版会, (2000.12)
- 6) 橋梁用高降伏点鋼板 JIS G3140, 日本規格協会, (2011.11)
- 7) 諸星一信, 森永真朗, 千葉照男, 三木千壽ほか: 東京港臨海大橋 (仮称) における技術開発とコスト縮減 (1)~(5), 橋梁と基礎, (2008.7 ~ 2008.12)
- 8) 福西謙, 小野恭一: 東京ゲートブリッジの施工, 橋梁と基礎, (2011.9)
- 9) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 日本道路協会, (平成14年3月)
- 10) 鋼橋等製作基準, 本州四国連絡橋公団, (1993.5)
- 11) 谷征夫, 今田康博, 松本雅治, 田坂広, 酒井有哲, 前田佳男: 六甲アイランド橋の設計・施工, 橋梁と基礎, (1993.7)
- 12) 上田芳夫, 袴田文雄, 鈴木威, 橋本時一, 宮坂佳洋, 上平悟: 西宮港大橋の設計・施工, 橋梁と基礎, (1993.11)

(2012年1月23日受付)