

Techno Scope



# 新しい橋梁用鋼材 — SBHS

最初の鉄を使った橋である英国のアイアンブリッジが1779年に完成して以来、鉄は重要な橋梁用材料である。2008年には40年ぶりに橋梁分野の新しいJIS規格として、SBHSが制定された。SBHSは従来鋼種と比較して、強度、靱性、溶接性に優れた鋼材である。SBHSがJIS規格に制定されたことで、今後の広い適用が期待される。

東京ゲートブリッジ仕様 上部構造:(主橋梁部)連続トラス・ボックス複合構造(アプローチ橋梁部)連続鋼床版箱桁構造  
下部構造:(橋脚)RC構造(基礎)鋼管矢板井筒構造、航路高:A.P.+54.6 m、構造高:A.P.+87.8 m(トラス格点の最高部)(資料提供:川田工業(株))

## 世界最長の連続トラス橋「東京ゲートブリッジ」

2012年2月に開通した「東京ゲートブリッジ」は、連続トラス橋としては世界最長のスパン長440mを有する全断面溶接による大型トラス橋である。東京港エリアの貨物の輸送時間の短縮と物流コストの縮減を図り、東京港の国際競争力の強化を実現するための東京港臨海道路プロジェクトのひとつとして、第3航路(東京東航路)をまたぐ形で中央防波堤外側埋立地と江東区若洲を結んでいる。全長は2.6kmで、海上区間の長さは

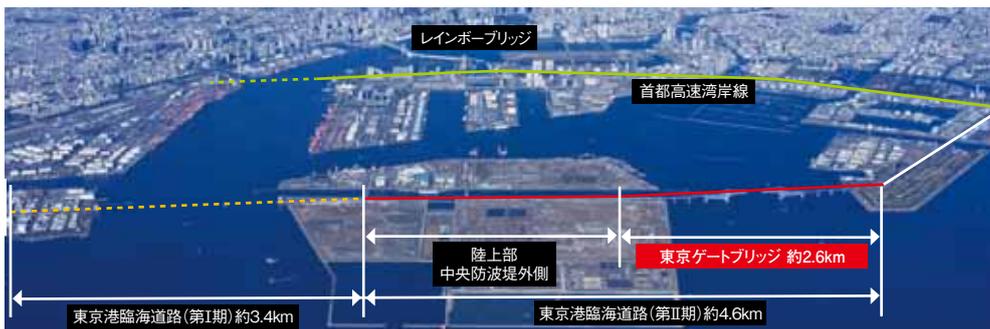
1.6kmであり、これは横浜ベイブリッジの約2倍の規模である。

第3航路を横切る東京ゲートブリッジには、設計上の2つの高度制限が課せられた。ひとつは、大型船舶の航行を妨げないために十分な航路高(A.P.\*+54.6m)と航路幅(約300m)を確保することである。もうひとつは、東京ゲートブリッジの上空が羽田空港への航空機進入路であるため、進入経路維持のための高さ制限(A.P.+98.1m)である。

これらの条件を満たす橋梁構造形式として、吊橋、斜張橋やアーチ橋が検討されたが、吊橋やアーチ橋は施工性や経済

\*A.P.: Arakawa Peilの略で荒川水系における水準の意味。

### 東京港臨海道路の概要



中央防波堤外側埋立地では現在、新しいコンテナ埠頭の整備が進められており、東京港臨海道路の開通による経済効果は約190億円と見積もられている。

(資料提供:国土交通省関東地方整備局港湾空港部)

性等の問題があり、斜張橋は景観性に優れているものの、経済性でトラス橋に劣ると評価された。さらに、斜張橋は主塔に十分な構造高を確保できないために、景観性というメリットを十分に活かすことが難しいという問題もあった。

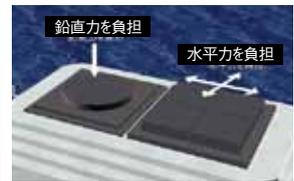
上記の検討から、東京ゲートブリッジの橋梁構造にはトラス橋が採用されることとなった。デザインには、世界に開かれた国際都市東京の海の玄関としてふさわしいゲート性を感じさせる現在の個性的な形状が採用された。閉塞感を感じさせない工夫として、中央部を箱桁(ボックス構造)とし、耐震性を考慮して3つの桁を一体構造とする鋼3径間トラス・ボックス複合構造とした。

### 東京ゲートブリッジを支えるSBHS

100年耐用の橋梁を目指して設計・施工された東京ゲートブ



鋼管内面に縞状の突起を設けせん断特性を向上させた高耐力継手。  
(資料提供：(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会)



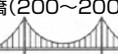
機能分離により支寸を縮小したすべり免震支承。  
(資料提供：(左)川田工業(株)、(右)国土交通省  
関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所)

### さまざまな橋の形式

代表的な橋の形式には、桁橋、アーチ橋、トラス橋、斜張橋、吊橋などがある。橋を支える支点間の距離をスパンと呼ぶ(あるいは、支間、径間と呼ぶ場合もある)。橋の形式は、多くの場合、橋の中央の最大スパンによって決められる。

桁橋、アーチ橋、トラス橋では、橋の荷重を橋台や橋脚に伝える「支承(ししょう)」と呼ばれる部品が用いられている。1本の桁を3つ以上の支承で支える場合は、連続橋と呼ばれる。

#### ■橋の形式と一般的なスパン範囲

形式(最大スパン)	国内・海外の最大スパンの橋
桁橋(10~300m) 	コスタエシルバ橋(ブラジル):300 m 海田大橋(広島県):250 m
アーチ橋(50~600m) 	重慶朝天門大橋(中国):552 m 広島空港大橋(広島県):380 m
トラス橋(50~600m) 	ケベック橋(カナダ):549 m 港大橋(大阪府):510 m
斜張橋(100~1000m) 	蘇通長江公路大橋(中国):1088 m 多々羅大橋(愛媛県):890 m
吊橋(200~2000m) 	明石海峡大橋(兵庫県):1991 m 西樞門大橋(中国):1650 m

斜張橋ではスパンが1,104mのルースキー島連絡橋(ロシア)が、吊橋ではスパンが3,300mのメシーナ海峡大橋(イタリア)が建設中である。  
出典:土木学会関西支部編「橋の科学」、表3-2、図3-9を元に作成。

リッジには、コスト削減、品質確保、景観性向上などを実現するために、さまざまな新技術が導入されている。

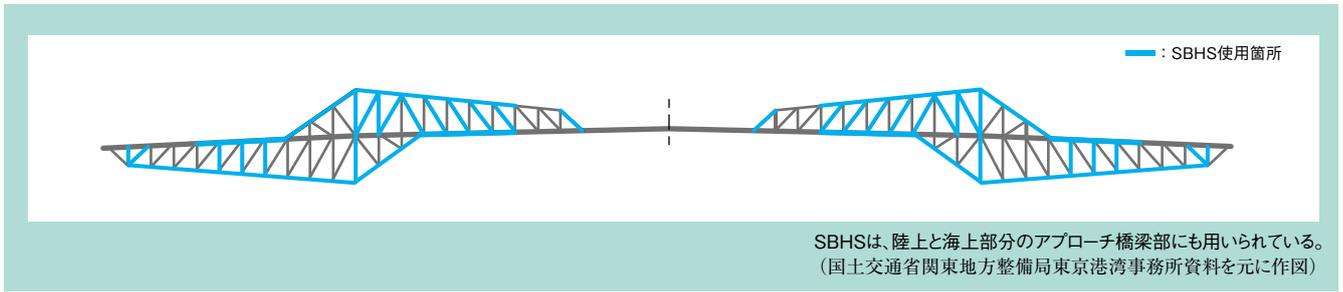
架橋地区は、軟弱地盤であるため、耐震性に加え、環境への影響を抑えるために、橋梁を支える鋼管矢板井筒基礎には新たに開発された「縞鋼管高耐力継手」が採用された。また、耐震性向上のために、鉛直支持と水平支持の機能を分離させた「機能分離型すべり免震支承」が採用されている。

上部構造の技術的な特徴としては、SBHS(Steels for Bridge High Performance Structure:橋梁用高性能鋼材)の採用が挙げられる。東京ゲートブリッジでは、高強度、予熱作業の省略、板取りの自由度向上による鋼重低減やトータルコスト削減、設計の自由度を目的に、主要部分にSBHS500が採用されている。TMCP技術を活用して製造されたSBHS500は、従来の570N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼であるSM570材と比較して強度、靱性、溶接性において、より優れた性能を有する高性能高張力鋼材である。降伏強度が9~19%向上し、予熱することなく、溶接することが可能である。その他の特徴として、圧延方向に制約をされない板取りが可能になることによる歩留りの向上、冷間曲げ加工性の向上(R/t=5)、耐ラメラテア性の向上(Z35相当)、脆性破壊に対する安全性の向上、等が挙げられる\*。

このほか、LRFD(Load and Resistance Factor Design:荷重抵抗係数設計法)の導入、トラスとボックス桁の一体化が挙げられる。LRFDは不確定性の低い死荷重には低い安全率を、不確定性の高い活荷重には高い安全率を確保する設計法であり、経済的な設計が実現できる設計手法である。ま

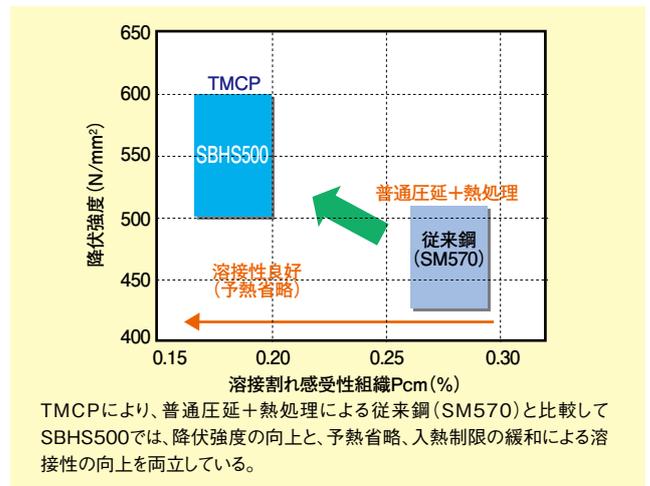
\*R/t:曲げ加工性、R:曲げ半径、t:板厚。R/tが小さいほど曲げ加工性に優れる。Z35耐ラメラテア性を示すクラス番号で、絞り値とS量で規定される。

■東京ゲートブリッジの主橋梁部におけるSBHSの使用箇所



全溶接されたトラス格点(左)と従来のトラス格点(右)。東京ゲートブリッジのトラス格点は、全溶接を採用することで、ボルト集中部への雨水の堆水などを防止し、腐食環境の緩和と維持管理コストの縮減を実現している。(資料提供:新日本製鐵(株))

■SBHSと従来鋼の比較



た、3径間を連続トラスとして一体化することにより、耐震性の向上を実現している。さらに、建設工事においても、国内最大級の大型起重機船3隻による相吊り架設工法が適用されるなど、国内でもほとんど例がない工法が用いられている。

■SBHSのJIS規格の構成

種類の記号	板厚 mm	降伏点又は耐力 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	シャルピー吸収エネルギー		
				温度	エネルギー	試験片採取方法
SBHS400	6≦t≦100	400以上	490~640	0℃	100J	圧延直角
SBHS400W						
SBHS500	6≦t≦100	500以上	570~720	-5℃	100J	圧延直角
SBHS500W						
SBHS700	6≦t≦75	700以上	780~970	-40℃	100J	圧延直角
SBHS700W						

桁橋に適した降伏強度400N/mm<sup>2</sup>のSBHS400、500N/mm<sup>2</sup>のSBHS500と、長大吊橋や斜張橋に適した降伏強度700N/mm<sup>2</sup>のSBHS700に加え、それぞれ耐候性が強化されたSBHS400W、SBHS500WとSBHS700Wが制定されている。

■SBHSが実現するトータルコストの削減

東京ゲートブリッジ全体では、鋼材重量36,470tのうち、約36%の13,250tにSBHSが使用されている。特に中央主橋梁部分の3径間連続複合トラスでは、鋼材20,460tの約50%である10,250tがSBHSである。従来鋼を使用した場合と比較して、質量で3%、コストで12%の低減効果があったと評価されている。

東京ゲートブリッジでは、部材接合部の鋼材重量低減、塗膜の耐久性向上、ボルト接合部の維持管理費の削減、景観上の配慮などから、全断面溶接が採用されている。従来は、高力ボルトで接合していた部材間の接合をすべて溶接とすることで、高力ボルト接合での孔による断面減少が少なくなりコスト削減に繋がっている。また、ボルト部分はその形状から比較的腐食しやすいため、ボルトレスによる耐腐食性の向上も期待できる。

全溶接大型トラス橋梁では、現地ヤードでの現場溶接が必要である。従来の鋼材を使用する場合には、溶接時の冷割れを防止するために、最大で100~125℃の予熱が必要であった。さらに、現場溶接では、風による影響を防ぐため風防の中で溶接作業を行うため、作業エリアは高温になり、過酷な環境で作業せざるを得なかった。しかし、SBHSは予熱作業が不要であり、溶接工程の大幅な省力化と効率化を実現している。



加熱・圧延・冷却の厳密なコントロールで高性能鋼材を生み出すTMCP

橋梁分野をはじめとして今後、広く適用が期待されるSBHSには、TMCP(Thermo-Mechanical Control Process:熱加工処理または熱加工制御)が活かされている。TMCPは、制御圧延技術と制御冷却(加速冷却)技術を組み合わせることで、オンラインで組織を作り込み、優れた機械的性質を持つ鋼材を製造する技術である。

当初、造船用厚板のニーズに対応して1920年代から英国で実施され始めた制御圧延は、1950~1960年代頃までは欧州が技術の中心であった。その後、1960

年代初頭に米国でNb鋼が実用化されると、技術開発の中心は米国に移る。そして、1970年前後からは我が国が制御圧延に加え、制御冷却を開発し、1980年に世界初の制御冷却設備と技術が完成し、TMCPは日本発の技術として確立したのである。

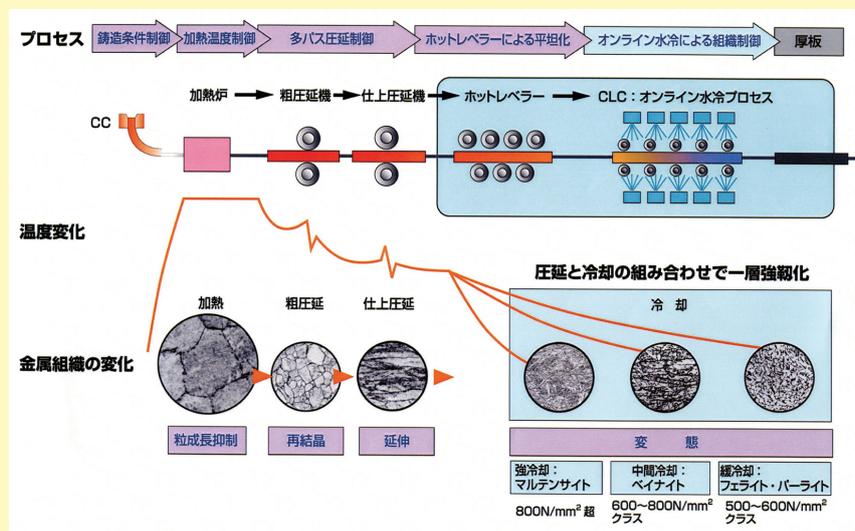
TMCPでは、鋼板製造時における加熱・圧延および圧延後の冷却の各プロセスを適切にコントロールすることで、金属組織の微細化による強度と靱性の向上を実現している。また、金属組織の微細化は同時に低炭素、合金元素添加量の低減による低Ceq(炭素当量)と低Pcm

(割れ感受性組成)を実現し、溶接性の向上にも寄与している。さらに、脆性亀裂伝播停止靱性や耐水素誘起割れ特性の向上等も期待できる。

SBHSをはじめとした高性能鋼は、今後、厚手化、高強度化が求められていくものと推測され、それに応えるためには、TMCPを活用した一層の高性能化が必要である。

TMCPでは、スラブの低温加熱、オーステナイト未再結晶温度域での強圧下、圧延後の加速冷却により、マイクロ組織の最適化を実現している。

■TMCPの概要と金属組織の変化の様子



出典：新日鉄技報第391号(2011)、p38、厚板製造プロセス“TMCP”の概要と金属組織の変化の様子

産学が連携して開発した新規格構造用鋼

従来、橋梁用鋼材は1960年代に規格が定められた、JIS G 3106 SM規格およびJIS G 3114 SMA規格の鋼材が使用されていた。しかし、材料強度が高く、かつ溶接性(施工性)に優れたより経済的な橋梁用鋼材への強いニーズがあった。

そこで東京工業大学、橋梁メーカー、鉄鋼メーカーが連携して、橋梁用高性能鋼の開発を始めることになった。1994年に始まった新しい橋梁用鋼材の開発は必要な仕様の決定から始められた。その後、2005年には、(社)日本鉄鋼連盟製品規程を設定、2008年にはJIS規格に制定された。構造鋼分野で14年ぶり、橋梁分野では40年ぶりのことである。

現在、我が国には15万橋の道路橋(橋長15m以上)が存在しているが、その多くは高度経済成長期に架設され、そのうちの約3分の1が「速やかな補修等が必要」な損傷を抱えているという。橋梁用厚鋼板の2008年の受注量は約60万tであり、そのうち約3分の1が耐候性鋼である。JIS規格が制定されたSBHSは高張力鋼や耐候性鋼と同様の用途に用いられ、今後、掛け替えニ-

ズへの対応も含め、道路橋や鉄道橋への適用拡大が期待されている。

また、SBHSのような高性能鋼は、各国がそれぞれの実情に合わせた規格を制定している。米国では1980年代後半から高性能鋼(HPS)の開発が進められ、国家プロジェクトとして高性能建設材料の開発が進められた。2008年には、200橋以上でHPSが採用され、さらに200橋以上が設計中と、HPSの適用例は急速に拡大している。また、韓国でも2005年から高性能鋼材(HSB)の開発が行われ、2007年には実用化されている。

高性能鋼による橋梁のトータルコスト削減は世界的な潮流であり、新興国のインフラ整備を中心として、掛け替え需要への対応など広い適用が期待される。持続可能な社会を支える材料として、SBHSへの関心はますます高まっていくであろう。

\*なお、東京ゲートブリッジに使用されている鋼材名はBHSであるが、本稿ではその後のJIS規格名称であるSBHSとして表記した。

- 取材協力 新日本製鐵(株)
- 文 杉山 香里