

連携記事

新しい橋梁用鋼材-SBHS-1

橋梁用高性能鋼材 SBHS

Steels for Bridge High Performance Structure

田中睦人

Mutsuto Tanaka

新日本製鐵(株)厚板営業部

厚板商品技術グループ

部長

1 はじめに

2012年2月に供用が開始された東京ゲートブリッジ(以降、本橋)は、道路延長約4.6kmの東京港臨海道路Ⅱ期事業のうち第3航路を横断する長さ2,618mの橋梁で、多くの新しい技術が適用されている。鋼材では、本橋への適用を想定して開発・規格化を進めてきた新しい橋梁用高性能鋼材(SBHS(Steels for Bridge High Performance Structure))が、主橋梁上部工のトラス・ボックス複合構造部に総重量の50%に相当する約1万トン使用され、さらにアプローチ橋梁他にも採用されている。

“橋梁用高性能鋼”とは、強度・破壊靱性・溶接性・加工性・耐候性等、橋梁に要求される各種の特性を最適なレベルに高めた鋼材と定義されている¹⁾。SBHSは、鋼橋の経済設計や製作効率化等に寄与し得る鋼材仕様を産学連携で検討・提案したものである。

本稿では、SBHSの開発経緯と特長および本橋への適用状況などについて紹介する。

2 SBHSについて

2.1 SBHS開発の経緯

1997年に「次世代土木鋼構造研究特別委員会」(委員長:

伊藤學)が(社)日本鋼構造協会内に設立され、産官学連携のもと、鋼材の高機能化に加えて、設計法の見直しや製作・施工・維持管理などの技術ブレークスルーにより、高度な鋼材利用技術をコアとした3年間の研究開発が進められた。

その小委員会である「高機能鋼材の橋梁への利用小委員会」(委員長:三木千壽)では、当時の橋梁技術が従来のJIS構造用鋼材の使用を前提にし、JIS規格内の最低レベル(強度・靱性等)の鋼材でも鋼橋の安全性が確保できることを条件として構築されていたため、①日本の高い技術に基づく高性能鋼を活かすこと、②社会資本を効率的・経済的に整備すること、③鋼構造の国際競争力を強化することの3つの観点から、日本の鋼材製造技術に合った橋梁技術の確立に取り組んだ。その成果の一つとして、日本発の厚板製造技術である熱加工制御(TMCP)を活用した降伏強度:500N/mm²を標準とし、それを補う目的から400N/mm²、700N/mm²の2グレードを加え、さらに各強度レベルに耐候性仕様を設けた橋梁用高性能鋼材の試案が提案された(表1)¹⁾。

その後、東京工業大学の創造プロジェクト研究体に設置された「高性能鋼の利用技術研究会」において、鉄鋼メーカー、橋梁メーカー参画のもと産学連携プロジェクトとして、橋梁における要求性能や鋼材仕様について具体的な検討が行われた。まず、鋼橋の代表的な形式である鉸桁を対象として、有効活用可能な鋼材の降伏強度に関する検討がなされた。降伏

表1 橋梁用高性能鋼材(試案)¹⁾

クラス	400	500	700
降伏点(N/mm ²)	400	500	700
引張強度(N/mm ²)	520	600	800
47Jシャルビ [°] -吸収エネルギー-試験温度 あるいは 0°Cシャルビ [°] -吸収エネルギー-	-20°C 100J	-40°C 100J	-40°C 100J

強度の増加に伴って鋼材重量は低減できる一方、降伏強度が500N/mm²程度を超えると、橋梁に作用する繰返し荷重に起因する疲労限界が支配的となり、それ以上の高強度化は効果的でないことから^{2,3)}、降伏強度のベースを500N/mm²とすることが提案された。また、吊橋や斜張橋のように鋼橋上部工の死荷重軽減が経済性に大きな影響を及ぼす橋梁形式では、本州四国連絡橋で多く用いられた引張強度780N/mm²鋼(降伏強度700N/mm²)が提案された。この時初めてBHS500、BHS700(Bridge High Performance Steel)と呼称され、その仕様に基づいて鉄鋼メーカーで試作された鋼材について、各種の性能評価が行われた⁴⁾。

その頃本橋の設計が鋭意平行して進められており、その検討委員会の中でこの新しい橋梁を支える鋼材としてBHSの採用が検討されてきた。採用に向けた準備として、(社)日本鉄鋼連盟橋梁用鋼材研究会(委員長:川崎博史)により国土交通省の新技术情報システム(NETIS)にBHSが登録され⁵⁾、更に発注者から鋼材品質の安定化と発注業務明確化のためBHSの材料規格化の要請を受けた。しかし、その時点でのJIS規格化は本橋への鋼材供給を考えると工期不足であったため、(社)日本鉄鋼連盟製品規定「降伏点500N/mm²及び降伏点700N/mm²溶接構造用圧延鋼材」として取りまとめ⁶⁾、この規定に基づいた鋼材として設計仕様で採用された。このようにして、東京港臨海道路Ⅱ期事業の「臨海中央橋」に約1,200トン、本橋に約16,100トン(いずれも鋼材製造ベース)のBHS500が先駆的に使用された。

この実績を受け、一般橋梁への使用促進のため鋼材のJIS規格化の要望が強まり、(社)日本鉄鋼連盟においてJIS規格原案を策定し、日本工業標準調査会の審議を経て2008年11月にJIS G3140橋梁用高降伏点鋼板として登録された。橋梁に使われる鋼材のJIS規格制定・公示は実に40年振りであった。この時、JIS鋼材の種類の記号付与のルールに従ってSBHSと表記され現在の名称となった⁷⁾。JIS規格化に伴い

東京都「土木材料仕様書」⁸⁾、「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物」⁹⁾にSBHSが構造物鋼材として掲載された。その後、日本初のスペーストラス構造形式が採用された東京都「永田橋」では、強曲げ加工で製作された鋼管トラス(最大板厚67ミリ、鋼管径800ミリ)を用いた現地溶接施工であったため、SBHSの良加工(曲げ)性・良溶接性を活かして、JIS規格化後としては初めて約600トンのSBHS500が使用された¹⁰⁾。2011年11月には、鋼橋に汎用的に用いられる50キロ鋼相当の降伏強度400N/mm²を有するSBHS400、SBHS400WがJIS G3140に追加改訂され、当初提案されたSBHSのメニューが全て揃った¹¹⁾。

これら橋梁用高性能鋼の研究開発から実適用、JIS規格化の変遷を表2に示す。

2.2 SBHSの特長

SBHSの主な特長と効果を下記に示す。

- ①高強度化(かつ降伏強度一定)..... 橋梁軽量化
- ②破壊靱性向上(かつ圧延直角方向保証)
..... 安全性向上、板取り自由度向上
- ③溶接性向上(予熱省略、溶接入熱規制緩和)
..... 溶接施工性改善
- ④耐候性付与(現行耐候性鋼と同等)
..... 現耐候性鋼適用規定に合致
- ⑤その他保有特性..... 耐ラメラティア、歪時効

2.2.1 機械的特性

SBHSは前述の通り、降伏強度の下限保証値が400、500、700N/mm²の3種類の高強度鋼からなり、各強度レベルに最近普及の進んできた耐候性仕様(強度表記の後にWを付与)を加えた計6種類の鋼材(汎用橋梁用は4種類)で構成されている(表3)。現行の橋梁には約30種類の鋼材が使用されているが、SBHSにより鋼材の種類が大幅に削減され設計・施

表2 SBHS鋼開発の年表

年	内容	報告書等
1997~2000	橋梁用高性能鋼の概念提案(YP400, 500, 700)	(社)日本鋼構造協会, 三木ら
2003	橋梁用高性能鋼材(BHS500, 700)の提案	土木学会論文集, 三木ら
2004	NETIS登録(橋梁用高性能鋼材(BHS鋼))	関東地方整備局, KTK-040005
2005	BHS500, 500W, 700W(社)日本鉄鋼連盟製品規定設定	(社)日本鉄鋼連盟, MDRC0014-2004
2006	臨海中央橋に約1,200 ^t 、初適用	東京都港湾局
2007	東京ゲートブリッジに約16,100 ^t 、適用	関東地方整備局
2008	SBHS500, 500W, 700, 700W鋼材JIS規格公示	(財)日本規格協会, JIS G3140
2009	土木材料仕様書	東京都建設局
	鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物改訂	(財)鉄道総合技術研究所
	永田橋に約600 ^t 、JIS化後初採用	東京都
2011	新一付橋に約120 ^t 、採用	東京都
	SBHS400,400WがJISに追加	(財)日本規格協会, JIS G3140

表3 SBHSの強度、靱性規格

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

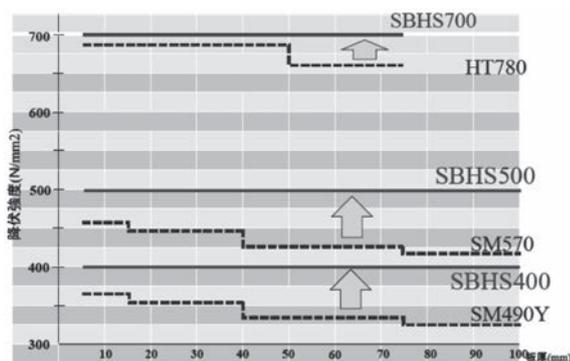


図1 従来鋼と比較したSBHSの板厚と降伏強度の関係



写真1 東京ゲートブリッジ格点部

工・管理の容易化が期待される。橋梁用鋼材は従来引張強度の下限保証値を用いて規格表示されていた（例えば50キロ鋼はSM490Y）が、橋梁設計には降伏強度が用いられることを考慮してSBHSでは降伏強度下限保証値を表示する事とした（例えば50キロ鋼はSBHS400）。更に、従来鋼では板厚の増加とともに保証降伏強度が低下するが、設計・施工の容易さからニーズの高い降伏点一定鋼とした結果、降伏強度は従来鋼に比べ最大23%向上している（図1）。

また、シャルピー試験片採取方向を圧延直角方向とすることにより、橋梁部材採片時の板取りの自由度が向上し、吸収エネルギーも100Jと高性能化されているため、冷間加工を行っても靱性が確保される。この特性を活用して本橋格点部溶接個所の削減が可能となり、外観的にも貢献することができた（写真1）。

2.2.2 溶接性能

橋梁用鋼材における溶接施工性の向上は、橋梁製作の効率化の観点で重要である。従来SM570鋼級以上の高強度鋼では冷間割れ防止対策として溶接時に予熱を必要としており、施工性低下の要因の一つとなっていた。SBHSでは、高強度と溶接性を両立させるべく、溶接割れ感受性組成（P_{CM}）を低く抑えることによりSBHS400、400W、500、500Wでは予熱を省略できる仕様とし、SBHS700、700Wでは溶着金属の冷間割れ防止のため予熱条件を50℃としている（表4）。

表4 SBHSの溶接割れ感受性組成、予熱条件と適用可能溶接入熱条件

種類の記号	鋼板の厚さ mm	P _{CM}	予熱条件	溶接入熱 kJ/mm
SBHS400 SBHS400W	6 ≤ t ≤ 100	0.22 以下	予熱なし	10 以下
SBHS500 SBHS500W		0.20 以下		
SBHS700 SBHS700W	6 ≤ t ≤ 50	0.30 以下	50℃	5 以下
	50 < t ≤ 75	0.32 以下		

本橋で使用された最大板厚50ミリのSBHS500を従来のSM570（強度比換算で板厚58ミリ）と比較すると、従来鋼の場合100℃の予熱が必要となるが、SBHS500では予熱省略が可能となる（図2）。本橋は、世界に向けた東京港の玄関口にふさわしい美しい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ている（写真1、2）。特に現場溶接の際はトラス・ボックス内や風防室の狭隘な空間での作業となるため（写真3）、予熱省略による施工性の改善と溶接作業への負担軽減にも繋がっている。このような技術的貢献によって、相対的に防食性能低下の原因となる橋梁外面の凸部（ボルト部）が排除され、供用後は長期に渡る維持管理コストの縮減が可能となる。

また、道路橋示方書（以降、道示）¹²⁾では板厚40ミリを超える50キロ鋼（SM520）、SM570、耐候性鋼に対しては溶接入熱量が7kJ/mmに制限されているため、同じ板厚でも

鋼種により開先形状が異なる等の課題があった。そこで、SBHS400 (W)、SBHS500 (W) ではSM490と同等である10kJ/mmまで対応できる鋼材とすることにより、溶接パス数を減らした効率的な大入熱溶接や開先形状の統一化が可能な仕様となっている (表4)。

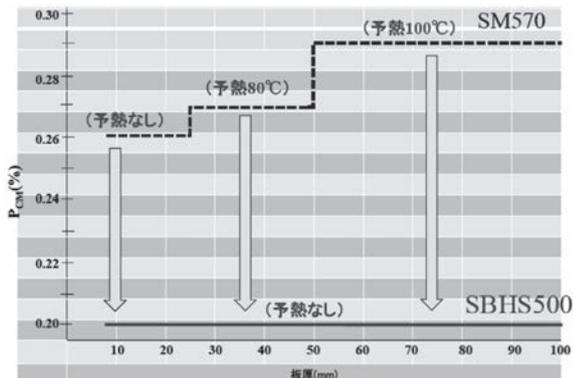


図2 SM570と比較したSBHS500の板厚と溶接予熱温度条件 (被覆アーク溶接の例)



写真2 一般的トラス橋格点部

2.2.3 製造方法と化学成分

前述のように、SBHSは化学成分を抑制して溶接性確保しながら高強度を確保するため、TMCPでの製造を前提としている (図3)。従来鋼にTMCPを適用した場合は、規格記号末尾にTMCを表記するよう規定されているが、SBHSはTMCPでの製造が標準であるため表記しないこととした。このような特性を確保するため各化学成分についても炭素 [C] 含有量を抑えるとともに不純物元素を大幅に低減した。橋梁部材では、板厚方向に力を受ける継手が多く存在するため、耐ラメラテア特性に影響を及ぼす硫黄 [S] を従来鋼の6分の1程度となる60ppm以下に抑えるとともに、厚さ方向特性としてJIS G 3199の最高レベルである絞り値Z35の性能に配慮した製造法とした。また、曲げ加工性能を確保するため、耐ひずみ時効特性を考慮して窒素 [N] についても規制を設けた (図4)。SBHSの化学成分規定を表5に示す。また、日本で開発されたニッケル系高耐候性鋼の評価・適用ガイドラインを作成した際に考案された耐候性合金指標 (v値)¹³⁾ を、今後の活用を想定してSBHS JIS G3140の解説に掲載した。

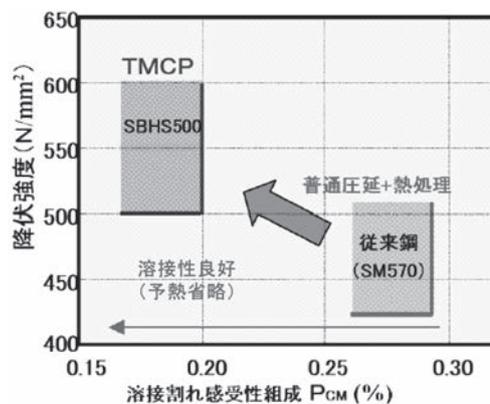


図3 SM570と比較したSBHS500のP_{CM}と降伏強度の関係



写真3 現場溶接の様子

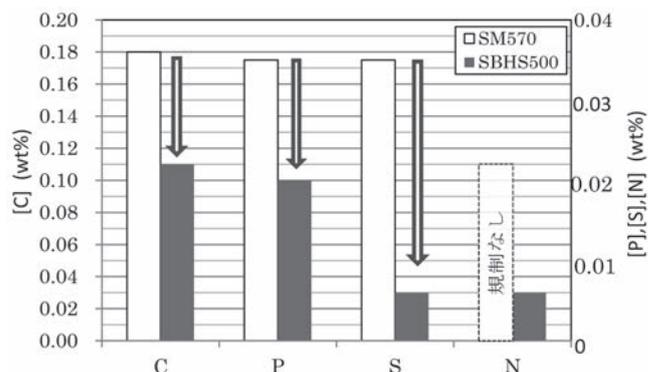


図4 SBHS500とSM570におけるC, P, S, Nに対する成分規定の比較

2.3 SBHS500性能評価

2.3.1 SBHS500性能

SBHS500の性能については、国内初のSBHS鋼使用橋梁である臨海中央橋、東京ゲートブリッジ向け鋼材の製造実績が報告され(板厚8～59ミリ)¹⁴⁾、約1500枚の鋼材データから安定した強度が確保され、靱性については前述の通り圧延直角方向で-5℃ 100J以上という厳しい仕様に対し、十分に安定していることが確認されている。また、耐ラメラティア性能は目標品質であるため規格仕様値ではないが、自主試験に

より絞り値35%以上を満足していることも確認されている(図5～8)。

2.3.2 SBHS500施工性評価

SBHS500は、高強度でありながらSM490Y材相当の施工性を有することも特長である。すなわち一般的な溶接施工条件であれば予熱不要であることから、斜めy形溶接割れ試験により実際に予熱不要であることを確認した(表6)。また道示により、組立溶接時の溶接長さは P_{CM} 値が0.22%以下の鋼材

表5 SBHS化学成分規定 (JIS G3140)

種類の記号	単位 %											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	N
SBHS400	0.15 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	—	—	—	—	—	—	0.006 以下
SBHS400W	0.15 以下	0.15～ 0.55	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.30～ 0.50	0.05～ 0.30	0.45～ 0.75	—	—	—	0.006 以下
SBHS500	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	—	—	—	—	—	—	0.006 以下
SBHS500W	0.11 以下	0.15～ 0.55	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.30～ 0.50	0.05～ 0.30	0.45～ 0.75	—	—	—	0.006 以下
SBHS700	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.015 以下	0.006 以下	—	—	—	0.60 以下	0.05 以下	0.005 以下	0.006 以下
SBHS700W	0.11 以下	0.15～ 0.55	2.00 以下	0.015 以下	0.006 以下	0.30～ 1.50	0.05～ 2.00	0.45～ 1.20	0.60 以下	0.05 以下	0.005 以下	0.006 以下

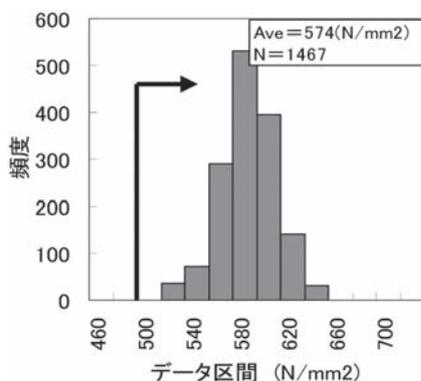


図5 SBHS500の降伏点の実績

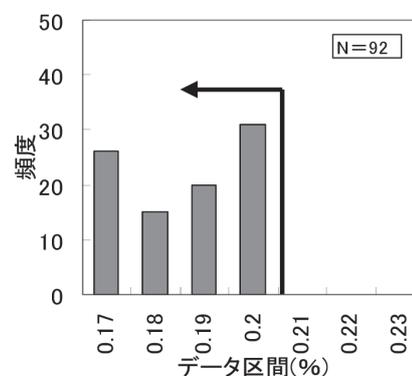


図7 SBHS500の P_{CM} の実績

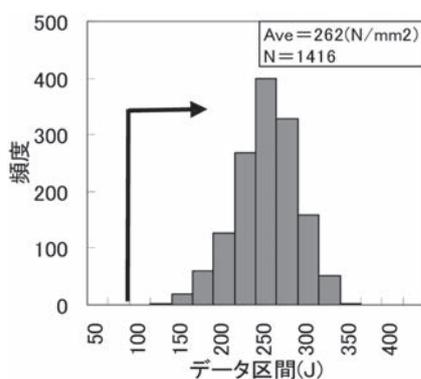


図6 SBHS500のシャルピー吸収エネルギーの実績

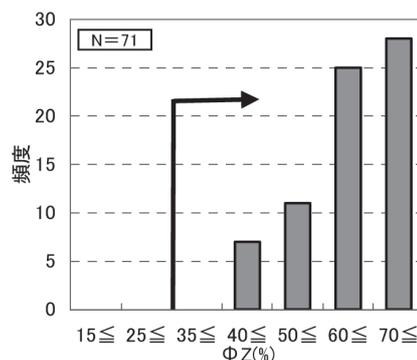


図8 SBHS500の厚さ方向特性の実績

では50ミリとされているが、高性能仕様のSBHS500 ($P_{CM} \leq 0.20\%$) を、より厳しい溶接長さ20ミリについて評価した結果、割れの発生はなく良好な性能が確認されている(表7)¹⁵⁾。

冷間加工ではひずみ時効により靱性が劣化することが知られており、道示では構造物に脆性破壊が生じないように、時効後においても母材の要求靱性値を満足することが求められている。SBHS500では板厚の7倍以上の内側曲げ半径の冷間曲げ加工後でも母材靱性値を確保することを目標としている。これらを確認するため、曲げ半径5tのひずみ量に相当する10%の引張り変形を与えた後、ひずみ時効試験(時効処理250℃×1Hr)を実施した結果、上記特性を十分満足することが確認されている(表8)。

橋梁製作時発生したひずみをガス炎によって矯正する際の靱性劣化を防止するため、道示ではTMCP鋼に対しては鋼板表面温度を900℃以下とし、加熱直後は水冷または空冷と規定されている。低 P_{CM} で製造されるSBHS500の加熱矯正による靱性劣化挙動を評価するため、1000℃までの線状加熱試験を行った結果、ひずみ矯正後においても靱性値が劣化しないことが確認されている(表9)。

表6 SBHS500の斜めy形溶接割れ試験結果

板厚	溶接方法	溶接材料 (径, mm)	入熱 (kJ/cm)	環境条件 (℃×%)	結果(予熱なし)
40	SMAW	L62CF(4.0)	17	20×60	割れなし
	GMAW	YM-60C(1.2)			割れなし

表7 SBHS500のショートビード評価結果

溶接条件	0.57kJ/mm, 予熱なし	
溶接長さ	50mm	20mm
評価結果	割れ無し	割れ無し

表8 SBHS500のひずみ時効後シャルピー試験結果

板厚	歪量	シャルピー-吸収エネルギー	
		方向	$\sqrt{E_5}$ (J)
40	0%	C	316
	10%		298

表9 SBHS500の線状加熱試験による靱性値の変化

板厚	条件		引張試験			シャルピー-吸収エネルギー $\sqrt{E_5}$ (J)
	温度 (℃)	冷却	YP	TS	EL	
			(N/mm ²)			
40	900	空冷	534	637	30	293
	1000		529	633	29	295
	900	水冷	536	637	28	295
	1000		538	637	30	289

2.3.3 SBHS500溶接継手性能評価

SBHS500は溶接入熱をSM490クラスと同等とすることにより施工性の改善を図っている。更に、本州四国連絡橋の基準¹⁶⁾では高強度鋼の溶接はパス間温度を230℃以下とするよう定められており、冷却のための溶接待ち時間発生などによる施工性低下の一因となっている。今回、大入熱溶接特性の確認と合わせ、パス間温度については橋梁製作時に想定されるパス間温度として十分と考えられる300℃までの性能評価を行った(表10)。その結果、強度(図9)・靱性(図10)とも仕様値を満足し、溶接継手特性面からも、SBHS500がSM490材相当の施工性を有することが確認できた。継手性能についても種々報告があり、臨海中央橋や東京ゲートブリッジの溶接施工試験に関する多くのデータが、各橋梁メーカーにより報告されている^{4,13,17,18)}。

表10 SBHS500の継手性能評価条件

溶接方法	板厚 (mm)	溶接材料		最高 β 間温度 (℃)			最大入熱 (kJ/cm)
		ワイヤ (径, mm)	フラックス	狙い	区分		
					実績		
SAW	40	JISZ3351 YS-M5	JISZ3352 FS-FG3	200	1st	198	93
					2nd	200	100
		銘柄Y-DM (4.8)	銘柄NF-320 32×D	250	1st	248	93
					2nd	248	100
		300	1st	288	93		
			2nd	288	100		

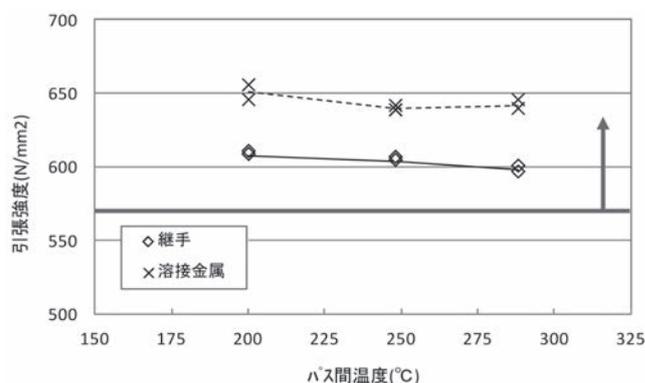


図9 継手引張試験結果

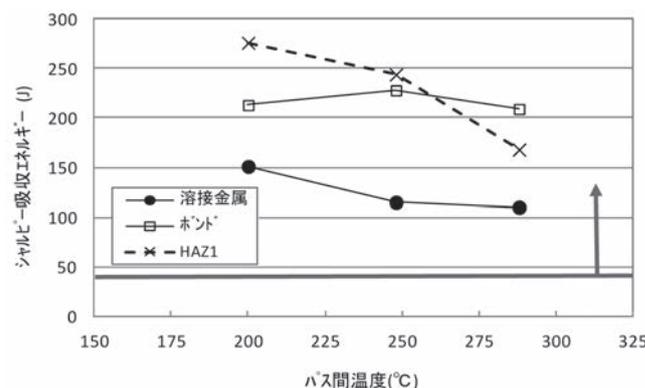


図10 継手シャルピー試験結果

3 海外の橋梁用高性能鋼

橋梁用高性能鋼の開発は米国・韓国でも進められ、両国でも実橋梁への採用が始まっている。

米国では、1992年からFHWA（連邦道路庁）・AISI（米国鉄鋼協会）・US-NAVY（海軍研究所）からなる橋梁用高性能鋼開発の国家プロジェクトが始まり、1997年に最初のHigh Performance SteelであるHPS485Wが、その後2001年にHPS385W、2004年にHPS700Wが相次いでASTM規格化（A709）され、ほぼ並行して設計ガイドラインも整備・公開された。2008年時点で既に200橋以上が供用され、200橋以上が設計中とのことである。米国では最初に政府主導によって開発が行われた。大学で研究開発を行い、鉄鋼メーカーが仕様に基づいた鋼板製造を行う、まさに産官学の共同開発であり、成果は直ちにスペックインされ実橋梁への適用も積極的に図られている。

韓国では従来はJIS規格が用いられてきたが、日米の開発状況を参考にして2005年から独自の橋梁用高性能鋼の開発が始まり、2007年に初めてHSB500、HSB600が規格化され（KS D3868）、同年に設計標準であるデザインコードが発行されている。また、2008年には耐候性仕様が、2009年にはHSB800が追加規格化され、現在に至っている。このように鋼材開発と合せて設計指針が発行された結果、韓国では2007年の仁川大橋にSM570の代替材としてHSB600が1,400トン採用されて以降、2010年1月までに46,800トンが橋梁に採用

されている。

各国の橋梁用高性能鋼を比較すると、強度メニューはほぼ同じ構成であるが内容には違いがある（表11）。米国では耐候性鋼仕様のみでの制定であり、今後の橋梁には耐候性鋼のみを使用する意思が明確に示されている。韓国は日本とほぼ同等の規格構成となっているが、HSB規格では表記が引張強度となっていることに注意が必要である。いずれの強度グレードでもSBHSの強度保証性能は米韓に比べて高く、靱性に関してはSBHSは試験方向がより厳しい圧延直角方向でかつ保証エネルギーも高く、より高性能鋼化されている事が判る（表12）。

4 終わりに

国土交通省によれば、東京ゲートブリッジ主橋梁部製作重量20,250トンの内10,250トンにBHS500が使用され、その効果として鋼材重量が全体の約3%減少し、またトータルコストで約12%のコストダウンが図れたことが公表されている。その後も、SBHSの各種特長を活かした橋梁が随時設計・製作されてきている。

本稿では、橋梁に求められる鋼材に対する要求性能の提案から、それを具現化する鋼材開発、またその評価、実橋梁への適用、JIS規格化等について紹介した。SBHS400、400W、500、500W、700、700Wのいずれの鋼材も、従来から橋梁に使用されている鋼材を、基本的にはその規格範囲で橋梁用と

表 11 各国の橋梁用高性能鋼の規格

仕様	一般			耐候性		
	50 キロ	60 キロ	80 キロ	50 キロ	60 キロ	80 キロ
日本	SBHS400	SBHS500	SBHS700	SBHS400W	SBHS500W	SBHS700W
米国	-	-	-	HPS345W	HPS485W	HPS690W
韓国	HSB500	HSB600	HSB800	HSB500W	HSB600W	-

表 12 各国の橋梁用高性能鋼の特性

強度グレード	板厚	YP TS		シャルピー吸収エネルギー			
		(N/mm ²)		方向	°C	(J)	
50 キロ	日本	≤100	400≤	490/640	T	0	100
	米国	"	345≤	485≤	L	-12	27
	韓国	"	380≤	500≤	L	-5	47
60 キロ	日本	"	500≤	570/720	T	-5	100
	米国	"	485≤	585/760	L	-23	34
	韓国	"	450≤	600≤	L	-5	47
80 キロ	日本	≤75	700≤	780/930	T	-40	100
	米国	≤65	690≤	760/895	L	-34	34
		≤100	620≤	690/895			48
	韓国	≤80	690≤	800≤	L	-20	47

して必要な性能に関して高性能化したものであるが、まだその性能を全て活かしきっている訳ではない。新しい技術の導入は、マニュアル化されたもの造りの現場において、より良いものを、より効率的に如何に活用するかなど、様々な提案を生む効果もあると思う。今後、関係機関と連携して橋梁用に開発されたSBHSが広く活用されるための設計・製作に関する技術基盤整備を図り、橋梁製作技術の向上による効率的なインフラ整備への寄与、および日本の橋梁設計・製作技術の国際競争力強化に貢献したいと考えている。

参考文献

- 1) 次世代土木鋼構造研究特別委員会 高機能鋼材の橋梁への利用小委員会 高機能・高性能鋼材の橋梁への利用研究報告, 日本鋼構造協会, (2000.3)
- 2) 村越潤: 強度特性から見た高性能鋼材の橋梁への適用性について, 土木技術資料, 38 (1996) 2.
- 3) 小西拓洋, 高橋和也, 三木千壽: 高強度鋼の適用による鋼橋の合理化設計の可能性, 土木学会論文集, 654 (2000.7) I-52, 91-103.
- 4) 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, 738 (2003.7) I-64, 1-10.
- 5) 田中睦人, 松井和幸, 安藤隆一, 淵田保司: 橋梁用高性能鋼材 (BHS鋼), 国土交通省関東地方整備局新技術情報システム, KTK-040005 (2004.7)
- 6) 降伏点500N/mm²及び降伏点700N/mm²溶接構造用圧延鋼材, 鉄鋼連盟製品 (MDCR 0014-2004), 日本鉄鋼連盟, (2005.3)
- 7) 橋梁用高降伏点鋼板 JIS G3140, 日本規格協会, (2008.11)
- 8) 土木材料仕様書, 東京都建設局, (2009.4), 180-181.
- 9) 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物, (財) 鉄道総合技術研究所, (2009.7), 96.
- 10) 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), 17-22.
- 11) 橋梁用高降伏点鋼板 JIS G3140, 日本規格協会, (2011.11)
- 12) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, (社) 道路協会, (2002.3), 455.
- 13) 三木千壽, 市川篤司, 鶴飼真, 竹村誠洋, 中山武典, 紀平寛: 無塗装橋梁用鋼材の耐候性合金指標および耐候性評価方法の提案, 土木学会論文集, 738 (2003.7) I-64, 271-281.
- 14) 本間宏二, 田中睦人, 松岡和己, 糟谷正, 川崎博史: 新日鉄技報, (2007.10) 387, 47-52.
- 15) 田中睦人, 松田稔, 安藤隆一, 岡野重雄: BHS500鋼の製作性評価試験と溶接継手特性 (第2報) -少数 I 桁橋モデルによる製作性評価試験-, 土木学会第61回学術年次講演会, (2006.9), 1-145.
- 16) 本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書, 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会・鋼材分科会, (1973.3)
- 17) 藤田敏明, 湯田誠, 米山徹, 多田賢: 川田工業技報, 25 (2006.1), 26.
- 18) 新しい高性能鋼材の利用技術調査研究報告書, (社) 土木学会, (2009.11)

(2012年1月17日受付)