



マンハッタンブリッジ／1909年完成



完成後125年を迎えた ブルックリンブリッジ／1883年完成
表紙 ジョージワシントンブリッジ／1927年完成 (2007.11.30撮影)

実績が語る、二〇〇年使えた鋼橋
— ニューヨークの歴史的鋼橋 —



2007年度
米国鋼橋市場動向調査報告書
(要約版)

2007年度米国鋼橋市場動向調査報告書(要約版)

社団法人 日本鉄鋼連盟
建設企画委員会 橋梁用鋼材研究会

新日本製鐵株式会社
JFEスチール株式会社
住友金属工業株式会社
株式会社神戸製鋼所

2008年3月 発行

社団法人 日本鉄鋼連盟 市場調査・開発本部 市場開発グループ
〒103-0025
東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館内
電話 03-3669-4815 FAX 03-3667-0245
URL <http://www.jisf.or.jp>

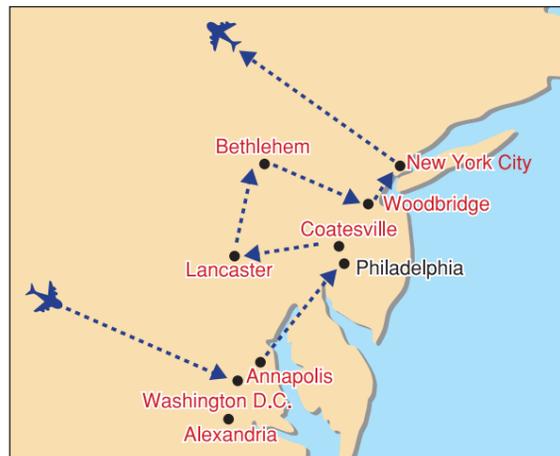
©日本鉄鋼連盟2008

平成20年3月
社団法人 日本鉄鋼連盟

米国関係機関と交流、橋梁用高性能鋼・耐候性鋼の普及状況、維持・更新への対応の現状を調査

- 米国関係機関と交流、橋梁用高性能鋼・耐候性鋼の普及状況、維持・更新への対応の現状を調査 1
- 米国老朽化橋梁の更新に採用されたHPS 2
- HPS、鋼橋の信頼性と経済性アップに貢献 4
- 行政・鉄鋼・ファブ・研究機関が連携一体 6
- LCCミニマムの切り札、耐候性鋼 8
- 耐候性鋼の長年の適用経験から得られた諸施策 10
- 日本の橋、高性能鋼BHS 12
- 鉄は社会とともに進歩し続けます 13

調査団訪問ルート（2007年11月24日～30日）



■ (社)日本鉄鋼連盟 建設企画委員会		橋梁用鋼材研究会	
委員長	川崎 博史	新日本製鐵(株)	
副委員長	津山 青史	JFEスチール(株)	
幹事長	本間 宏二	新日本製鐵(株)	
委員	牛尾 邦彦	住友金属工業(株)	
委員	大番屋 嘉一	(株)神戸製鋼所	
鋼橋技術・普及WG主査	岡本 隆	JFE技研(株)	
耐候性鋼WG主査	藤井 康盛	新日本製鐵(株)	

■ 米国鋼橋市場動向調査団メンバー			
団長	川崎 博史	新日本製鐵(株)	
副団長	大番屋 嘉一	(株)神戸製鋼所	
団員	岡本 隆	JFE技研(株)	
団員	鹿毛 勇	JFEスチール(株)	
団員	安藤 隆一	住友金属工業(株)	
団員	本間 宏二	新日本製鐵(株)	

調査目的

(社)日本鉄鋼連盟橋梁用鋼材研究会では、鋼橋市場のニーズに応え、新しい高性能鋼の提案、耐候性鋼とその適切な利用技術の提供に向け活動を行っています。

特に、日本で開発適用に取り組みつつある橋梁用高性能鋼BHS等の新技術を活用してより良い鋼橋の創出を目的として活動しています。

一方、米国においては、日本においても近い将来直面するであろう社会資本の蓄積・劣化問題が顕在化していると言われています。

また、大規模な橋梁更新プロジェクトに向けて、米国でのAISI、連邦道路庁を中心とした高性能鋼橋梁の開発適用の取り組み、新技術活用の推進体制等には参考とすべき点もあります。

そこで、研究会として米国関係機関との情報交換を行うとともに、橋梁用高性能鋼や耐候性鋼の有効活用のあり方や、国内鋼橋の市場動向や維持・更新等への対応策を検討する上で、以下の課題を中心に調査を実施いたしました。

- (1) 高性能鋼橋梁の開発とプロモーション、適用実態調査
- (2) 耐候性鋼橋梁普及の現状と対策（凍結防止剤使用環境含む）
- (3) 米国橋梁劣化更新プログラムと対策の現状

【主要訪問先】（2007年11月24日～30日）

- (1) Woodrow Wilson Bridge 建設現場 (Alexandria, VA)
- (2) FHWA : Federal Highway Administration (米国連邦道路庁) (Washington D.C.)
- (3) AISI : American Iron and Steel Institute (米国鉄鋼協会) (Washington D.C.)
- (4) Arcelor Mittal (鉄鋼メーカー) (Coatesville, PA)
- (5) High Steel Structures (橋梁ファブ) (Lancaster, PA)
- (6) Lehigh Univ., ATLSS (大型構造物研究所) (Bethlehem, PA)
- (7) New Jersey Turnpike (ニュージャージーターンパイク公社) (Woodbridge, NJ)
- (8) ニューヨークにおける歴史的鋼橋調査 (New York, NY)

Federal Highway Administration (アメリカ合衆国 交通省内)



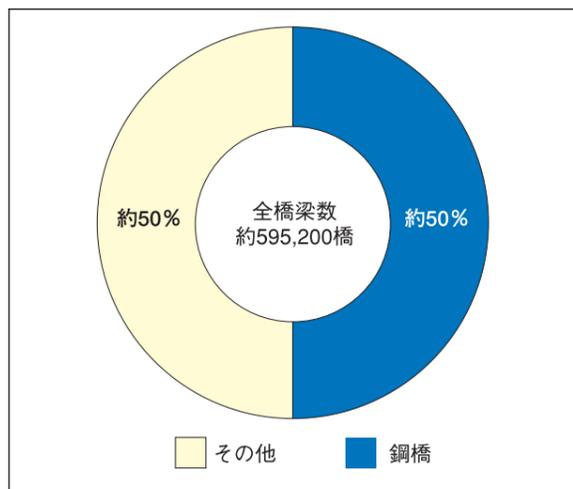
米国老朽化橋梁の更新に採用されたHPS (ハイパフォーマンス スチール)

— 連邦政府が新技術HPSの研究開発、技術の普及に投資 —

米国橋梁の概況

- 米国の高速道路網は2006年に50周年を迎えた。
- 全米で供用されている橋の総数は約60万橋(595,189橋)であり、その平均年齢は35歳である。
- 25%の橋梁は、老朽化や交通量の増大に適合しない等の理由で補修や架替えが必要とされている。
- 道路整備予算としての規模は、2005-2009年の5か年で約20兆円であり(SAFETEA-LU)、その10%が橋梁用として使用されている。
- 道路整備予算には、High Performance Steelの研究開発、技術普及費として、年間約3億円が盛り込まれている。
- 耐候性鋼の鋼橋に占める比率は約41-47%であるが、LCCや環境の観点から今後50-55%まで伸長すると予測されている。
- 橋梁建設において、形式を決定する主要素は、初期建設費用、LCC、建設の容易さ、工期である。

米国の鋼橋比率 (面積比)*



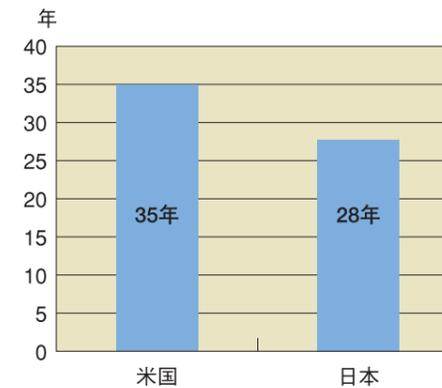
*FHWAヒアリングによる

活躍する耐候性鋼

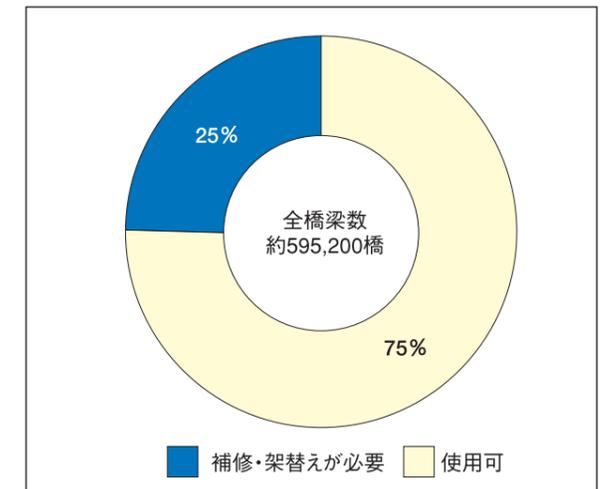


Alexandria, VA

橋梁の平均年齢



補修・架替えが必要な橋梁の割合



HPS橋梁の例

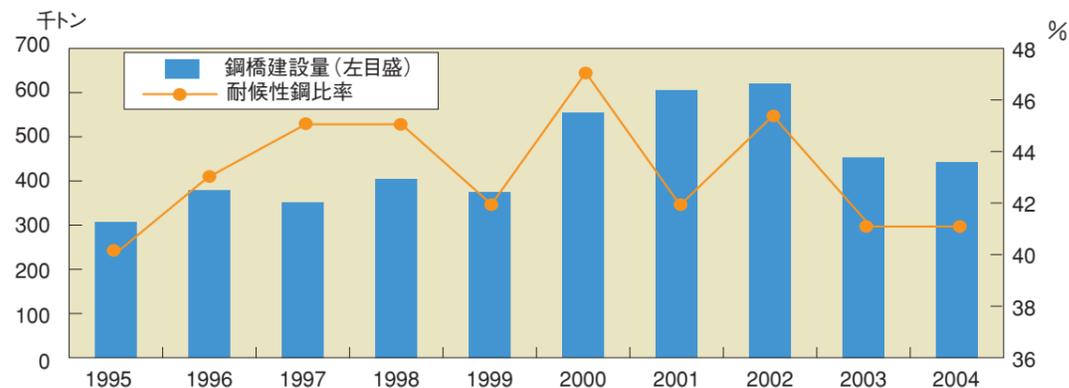


Woodrow Wilson Bridge, VA

High Performance Steelの研究開発項目

- 高性能材料
- 高性能鋼を適用した鋼構造の性能
- 革新的な設計
- 製作及び架設
- 技術の普及拡大

米国における鋼橋建設量と耐候性鋼が鋼橋全体に占める割合
[日本の耐候性鋼比率22%~33% (2004~2006)]



更新前の老朽化橋梁 (HPSで更新)



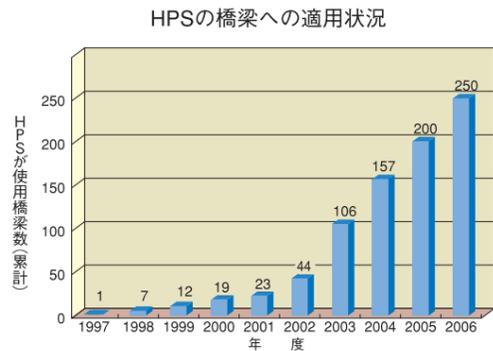
Ford City Bridge, PA

HPS、鋼橋の信頼性と経済性アップに貢献

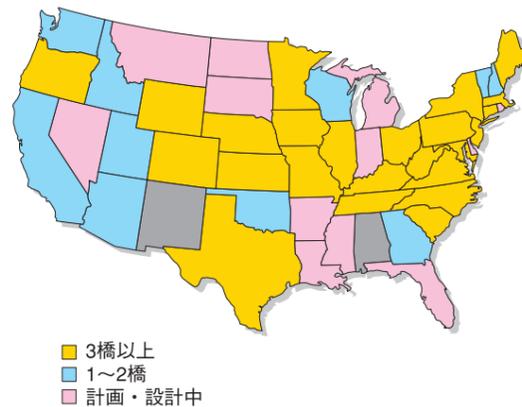
— 250 橋の実績、最大 18% 経済性向上 —

HPSの橋梁への適用状況

1997年の初適用以来、HPSを使用した橋梁は2006年で250橋が供用されており、2008年には400橋程度のHPS橋梁が完成する見込みである。



州別 HPS適用状況



HPS鋼の特長

(1) 規格

- ① AASHTO、およびASTMに345W、485W、690Wの3品種がそれぞれ規格登録されている。開発は、まず従来鋼よりも高い耐力を有する485W、690Wから始まり、その後HPS全体の利便性を図る上で345Wが規格に加えられた。
- ② シャルピー衝撃試験は、鋼材の使用部位 (Fracture Critical Tension ComponentとNon-Fracture Critical Tension Component) ごとに、それぞれZone1、Zone2、Zone3の3水準が設け

られている。従来鋼とHPSのシャルピー衝撃試験規定値の例を下表に示す。

- ③ 環境法の規制からブラスト、塗料の飛散防止、剥離した塗料の残渣回収などが義務付けられており再塗装よりも架替えの方が安価となる。また、橋の数そのものが多く、初期の塗装費も膨大という背景から、HPS規格はHPS50W(345W)、HPS70W(485W)、HPS100W(690W)と耐候性鋼のみのラインアップとなっている。

HPSの規格概要 (種類と引張試験規定値)

	AASHTO M270 Grade	ASTM A709 Grade	降伏点又は耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	備 考
従来鋼	50	345	345以上	485以上	
HPS	HPS50W	HPS345W	345以上	485以上	耐候性鋼
	HPS70W	HPS485W	485以上	585-760	耐候性鋼
	HPS100W	HPS690W	690以上	760-895	耐候性鋼

Fracture Critical Tension Componentのシャルピー吸収エネルギー

	ASTM A709		シャルピー吸収エネルギー(J)			
	Grade	厚さ(mm)	最小値	平均値の最小値		
				Zone1	Zone2	Zone3
従来鋼	345F	50以下	27	34 at 21°C	34 at 4°C	34 at -12°C
		50を超え100以下	33	41 at 21°C	41 at 4°C	41 at -12°C
HPS	345WF	100以下	33	41 at -12°C		
	485WF	100以下	38	48 at -23°C		
	690WF	100以下	38	48 at -34°C		

(2) 橋梁へのHPSの適用効果

- ① Long Span (長支間)、Shallow (低桁高)、Hybrid (ハイブリッド構造^{*1}) をkey wordに、HPSの高強度、高靱性を活用した設計が行われており、ニューヨーク州道路局 (NY-DOT) の物件では鋼重28%、建設費18%の縮減が報告されている。

*1: フランジとウェブに異なる強度の鋼材を使用した鋼桁構造

- ② Long Span化に対応すべく、最大28mの鋼板がミルから供給されており、また溶接による40mの桁も実用に供されている。写真はLong Span化に対応した桁の例である。
- ③ また、鋼橋の安全性・信頼性向上の観点から、FHWAはFracture Critical Tension Componentに破壊じん性値の高いHPSの適用を推奨している。

溶接により製作されたHPS485WのLong span girder (約28m)



協力: High Steel Structures Inc.

Hybrid桁の重量試算例 (ミズーリ州道路局)

構 造	使用鋼材	50Wの使用重量 (ton/桁)	HPS70Wの使用重量 (ton/桁)	総重量 (ton/桁)	重量低減効果
Homogeneous ^{*2}	50W	34.66	0	34.66	17%
Hybrid	HPS70W+50W	22.37	6.5	28.87	

橋梁形式: 2径間連続5主桁橋、支間長: 42m、幅員: 13m

*2: フランジとウェブに同一の強度の鋼材を使用した鋼桁構造

出典: High Performance Steel Produces Durable and Economical Girders, A Research Bulletin, MoDOT, August 2005

HPSの利用技術推進体制

(1) AISI (米国鉄鋼協会)、FHWA (連邦道路庁)、U.S.NAVY (米国海軍)、大学、NSBA (米国鋼橋建設協会) からなる HPS Steering Committee が中心となり AASHTO*1、AWS*2 と連携して材質開発、規格制定、利用技術開発を推進している。

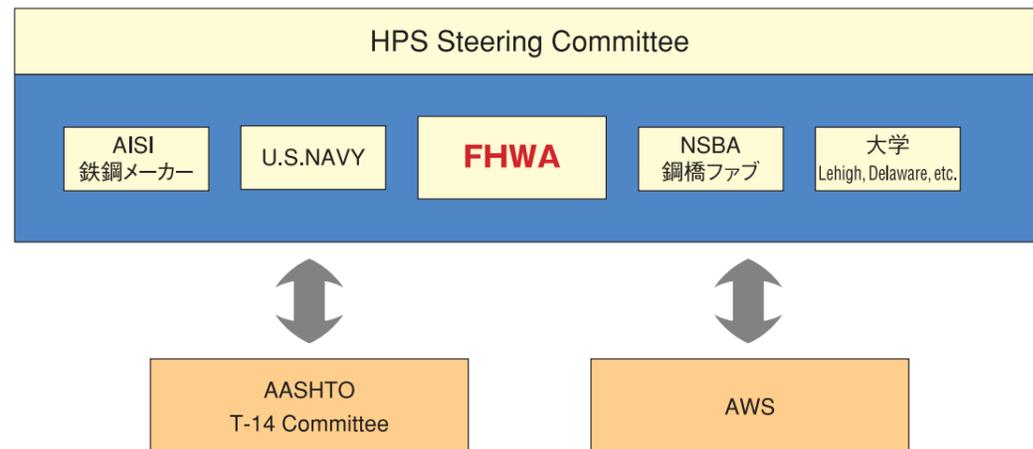
各州の道路局から発表され、HPSの利用技術交流が図られている。

(2) HPS Steering Committee 主催の Conference では、設計例の紹介、建設費の縮減実績などが

(3) 新技術採用に連邦政府より補助金 (IBRD*3) が支給される。

*1: American Association of State Highway and Transportation Officials
 *2: American Welding Society.
 *3: Innovative Bridge Research and Development Program

HPSの利用技術推進体制



HPS実用化年表

1993	FHWA-AISI-NAVYによる橋梁用高性能鋼の開発がスタート
1994	HPSの試作材製造
1996	HPSの実生産開始
1997	HPS1号橋の誕生 (テネシー州) ASTMに規格登録 A709-97 HPS70W
1999	設計基準にHPS70Wを登録 (AASHTO)
2003	HPS設計指針発行 (AASHTO)
2006	HPS橋梁が250橋に

HPSを使用した最大級のプロジェクトの例 —ウッドロウウイルソンプロジェクト—

ワシントンDCの南側、ポトマック川にかかる橋の架替え (6車線を12車線に拡幅)、および4つのインタ

ーチェンジ環状道路を増設するビッグプロジェクトが2011年の供用開始を目指して進められている。

ウッドロウウイルソンプロジェクトの概要

総事業費	約2,700億円
事業主体	連邦道路庁 (FHWA)、メリーランド州道路局、バージニア州道路局、ワシントンDC土木部
事業概要	2橋梁及び付随する4インターチェンジ
橋梁形式	1,852m 多径間連続橋 (含はね橋)
幅員	78m
レーン数	片側6車線
完工時期	2006: 外回り、2008: 内回り 2009: 付帯工事 2011: 完工予定

建設中のHPSを使用するビッグプロジェクト—ウッドロウウイルソン橋 (幅員78m、12車線)



LCCミニマムの切り札、耐候性鋼

— ニュージャージーターンパイクで現在100%耐候性鋼使用、累計32万t、今後も使用継続 —

耐候性鋼

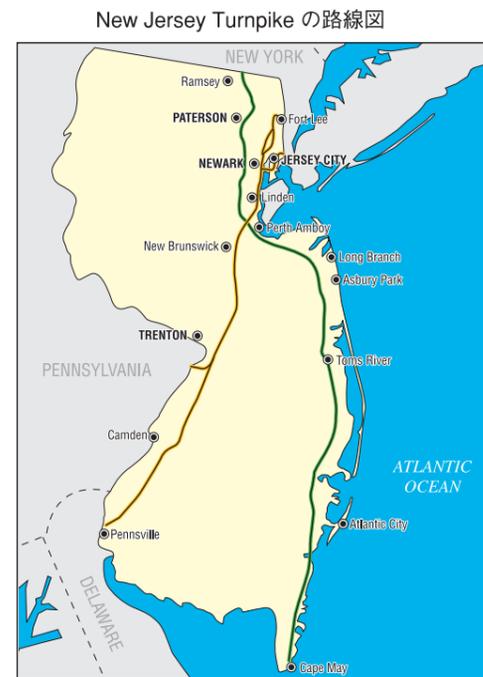
(1) 耐候性鋼橋梁の老舗：

ニュージャージーターンパイク公社(NJTPA)
PhiladelphiaとNew Yorkを結ぶ主要幹線高速道路であるニュージャージーターンパイクは、米国でも耐候性鋼適用の成功例として有名な路線です。

インターチェンジの風景 (New Jersey Turnpike)



協力：New Jersey Turn Pike Authority



(2) 1965年以降、橋梁に100%耐候性鋼を使用
米国橋梁の耐候性鋼適用比率は、毎年約41-47%で推移しており、日本のほぼ倍の比率です。

特にNJTPAは、1965年より延伸、拡幅工事に100%耐候性鋼を使い、その耐候性鋼比率(累積)は60%を超えています。

New Jersey Turnpike の耐候性鋼適用状況

	全橋梁数	全てが耐候性鋼からなる橋梁数	部分的に耐候性鋼からなる橋梁数	耐候性鋼の鋼重 (ton)	塗装の鋼重 (ton)
District One	52	2	14	880	7,500
District Two	31	2	10	1,450	6,100
District Three	47	7	6	4,920	28,000
District Four	98	52	21	32,650	8,000
District Five	163	104	26	93,800	22,000
District Six	31	2	9	29,000	60,000
District Seven	29	1		1,200	70,000
District Eight	54	51	6	186,000	
Total	519	221	92	323,000	202,000

12車線を支える42本主桁のマルチゲーター橋



協力：New Jersey Turn Pike Authority

既存塗装橋の拡幅部(外桁)に耐候性鋼が用いられた例



協力：New Jersey Turn Pike Authority

(3) ミニмумメンテナンスのため、橋梁以外の道路構造物にも耐候性鋼を積極活用

NJTPAでは、耐候性鋼は、橋梁以外の、検査路、標識構造物、照明柱、ガードレールといった道路構造物にも耐候性鋼を積極的に用いています。

標識構造物



協力：New Jersey Turn Pike Authority

照明柱



協力：New Jersey Turn Pike Authority

耐候性鋼の長年の適用経験から得られた諸施策 — 凍結防止剤使用環境でも —

(4) 長年の適用経験から種々の対策を考案

ニュージャージーターンパイク公社は、耐候性鋼がライフサイクルメンテナンスコストの観点で優れた選択肢であるとの認識にたち、長年の適用経験を通して、耐候性鋼に絶大な信頼をもっています。

NJTPAにおける構造及び設計上の留意点

- ① 径間を長くし、できるだけジョイントレスな構造にする。
- ② ジョイント、マンホール周囲は漏水防止のシーリングをする。ジョイント部には専用のシーラーを開発している。
- ③ 塗装は桁端だけでなく中間橋脚上のジョイント部も行う。(桁高の1.5倍、ゼブラ塗装)
- ④ ランプ橋などのボックス横梁(ジョイント部に相当)は塗装する。
- ⑤ 排水装置の勾配をしっかりとる。ドレーンを広径化する。

漏水部での限定的な不具合事例



協力：New Jersey Turn Pike Authority

専用シーラーの例



協力：New Jersey Turn Pike Authority



協力：New Jersey Turn Pike Authority

中間橋脚上のゼブラ塗装



協力：High Steel Structures Inc.

主桁の端部や伸縮継手目地の位置にあたる部位は塗装を行っています。実橋では、しま模様に見えるためゼブラ(しま馬)と呼ばれています。

その他の鋼橋競争力の向上に対する取組内容

(1) 架設時間の短縮

架設のスピードは、特に既設更新工事において、

交通の妨げによる社会的損失を最小化する上で重要です。

架設時間の短縮は鋼橋の大きなメリット (New Jersey Turn Pike)



協力：New Jersey Turn Pike Authority

(2) 耐候性鋼の景観性向上 (Annapolis, MD)

メリーランド州のアナポリスは、歴史的建造物

の多い街です。道路構造物も美しい街の景観との調和が図られています

耐候性鋼橋梁の外桁外面にレンガ模様の化粧板を取り付け景観性向上 (Annapolis, MD)



日本の橋

— より良い社会資本を後世へ 高性能鋼BHS —

鉄は社会とともに進歩し続けます

— 品質・信頼性の高い鋼橋の実現に向けて —

(社) 日本鉄鋼連盟の取り組み

(1) 鉄鋼製造技術の進歩を活かす

200年以上に及ぶ鉄鋼の橋の歴史は、鉄鋼材料の技術革新とともに歩んできました。鑄鉄の時代から、

ねばり強い錬鉄へ、そして、溶接ができる鋼の時代、高強度・高じん性、高溶接性を実現した最新の高性能鋼へ。鉄は社会とともに進歩し続けます。

1910年 余部鉄橋



1923年 永代橋



1994年 東京湾横断道路

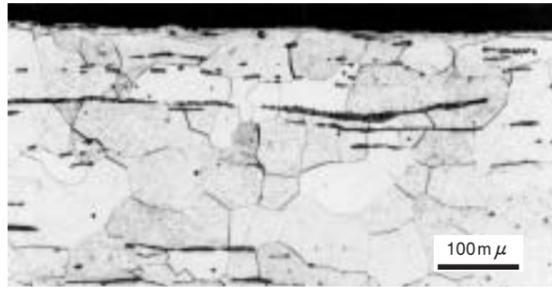


2008年 高性能鋼BHS500が採用された(仮称)東京港臨海大橋

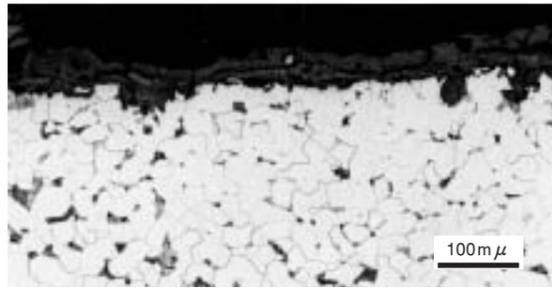


イメージパース提供：国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所

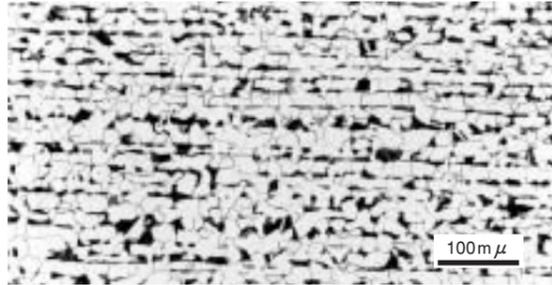
1882年 架設の錬鉄橋梁の結晶組織



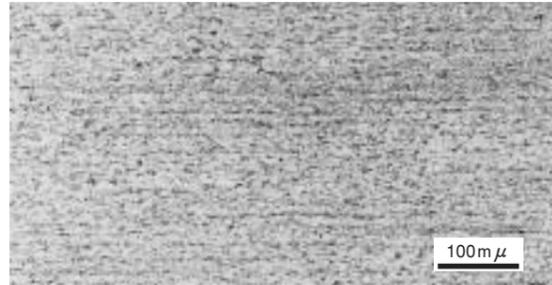
1925年 完成のリベット接合橋梁の造塊法による鋼の結晶組織



現代の溶接構造用鋼材の結晶組織



最近のTMCP鋼の結晶組織



Thermo-Mechanical Control Process

結晶粒子の細粒化

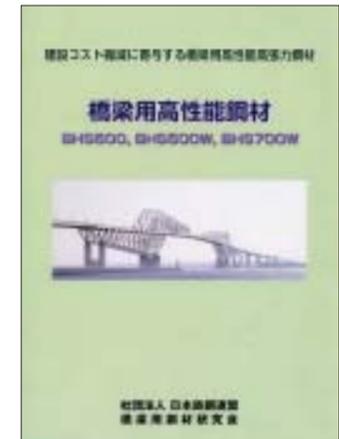
(2) 最新の高性能鋼BHS(Bridge High-performance Steel)を提案します。

- ①高い強度を活かして経済的な設計が可能です。
- ②高じん性、高溶接性を活かして品質・信頼性の高い橋梁に貢献します。
- ③LCC(ライフサイクルコスト)最小化のために耐候性鋼仕様も用意しました。

BHS500、700Wは、各々米国のHPS485W、HPS690Wより高い強度*1と優れた溶接性*2を有する日本の高性能鋼です。

*1：BHS500の降伏点500MPa、BHS700Wの降伏点700MPaです。
*2：BHS500は板厚100mmまで、予熱フリーを実現しました。

BHS鋼パンフレット



(3) 維持管理の時代に貢献する耐候性鋼

耐候性鋼に関する新しい技術の研究を行っています。

ニッケル系高耐候性鋼は、従来の耐候性鋼より、耐塩分特性を高めた鋼材です。

緑に映える耐候性鋼橋梁



ニッケル系高耐候性鋼橋梁 (さび安定化補助処理)



協力：(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構

(4) 耐候性鋼の環境適合性判断に貢献する腐食の予測技術

耐候性鋼を適切な環境でご使用いただくために、ワッペン式曝露試験と呼ばれる短期曝露試験方法や腐食減耗予測技術の開発にも取り組んでいます。

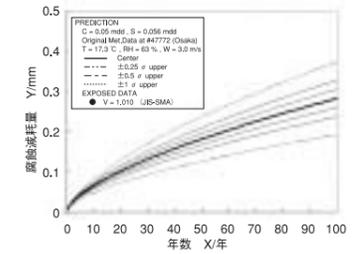
参考文献：JSSCテクニカルレポート No.73 (2006)

ワッペン式曝露試験



出典：(社)日本鋼構造協会テクニカルレポート No.73

腐食予測曲線図



腐食減耗予測曲線と実測データの比較例
出典：(社)日本鋼構造協会テクニカルレポート No.73

おわりに

(社)日本鉄鋼連盟において米国鋼橋の現状と課題を实地に調査してまいりました。社会資本の維持管理の大切さ、鉄と鋼が社会に貢献する姿、連邦政府の高性能鋼橋梁プロジェクトなど、日本の将来にも参考になる知見をご紹介させて頂きました。

ここにご紹介する新しい橋梁用高性能鋼BHSや耐候性鋼の適用に関する新技術をご活用いただき、より良い社会資本の構築に貢献していきたいと考えております。関係各位のご協力をよろしくお願い申し上げます。