

平成18年度 第1回技術発表会
(於、東北地方整備局 2006/08/02)

橋梁用高性能鋼について

(新しい耐候性鋼の利用技術)

Research Group on Steel Bridges

(社)日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会
田中 睦人(新日本製鐵株)

本日はご紹介する内容

- ◆ 耐候性鋼材の最新の研究成果
 - 適用性評価技術
Ni系高耐候性鋼材
- ◆ 新しい高性能鋼材
 - BHS鋼材
 - BHS500
 - BHS500W
 - BHS700W

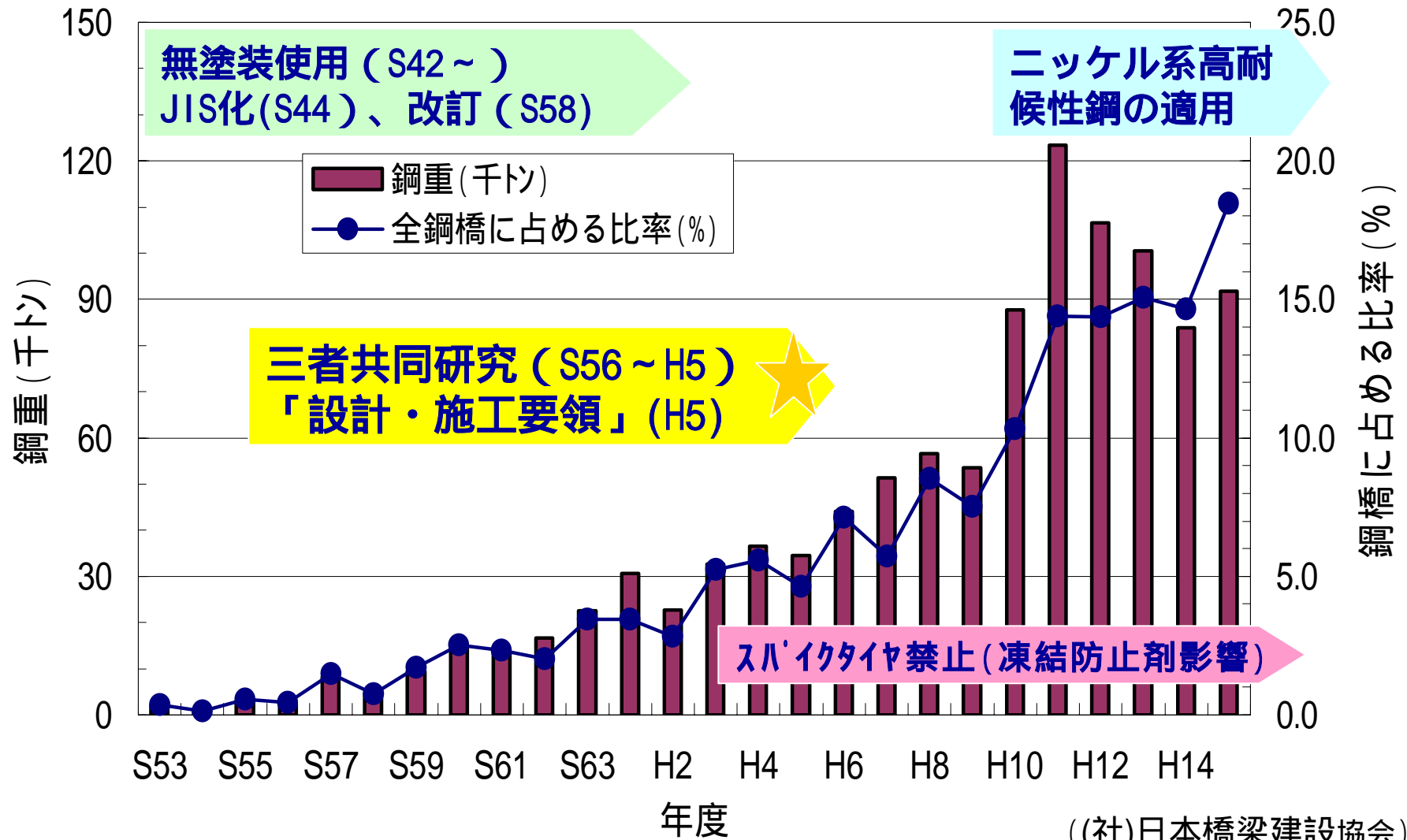
橋梁向け高性能鋼

名称	特性	表記例
耐候性鋼	無塗装で大気腐食を抑制する JIS材, Ni系, さび安定化補助処理	SMAxxxW (-MOD)
BHS鋼	YP500MPa, 700MPa鋼	BHSxxx
高じん性鋼	冷間曲げ加工・寒冷地対応	-5L, -7L
LP鋼板	長手方向に直線的に板厚を変化	-LP1
予熱低減鋼	溶接時の予熱温度低減が可能	-EX
大入熱対策鋼	大入熱溶接が可能	-EG
耐ラメラテア鋼	板厚方向特性を向上	-Z35(S)
降伏点一定鋼	降伏点下限が板厚によらず一定	-H
低降伏点鋼	YP100, 225MPa鋼・建築分野で制震部材への適用実績多い	LYxxx

耐候性鋼材についての 最新の研究成果

- 適用性評価技術
- Ni系高耐候性鋼材

耐候性鋼橋梁の国内建設量の推移



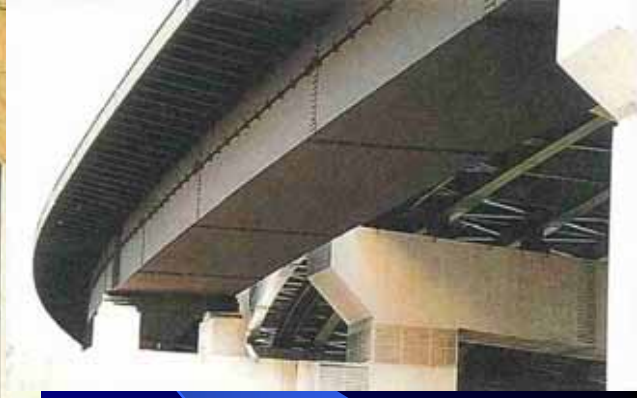
耐候性鋼橋梁の事例



1982年2月撮影(竣工2ヶ月後)



1983年1月撮影(竣工1年1ヶ月後)



1999年1月撮影(竣工17年1ヶ月後)

海岸に近い排気ガス環境

- 阪神高速道路大阪湾岸線
三宝入路橋
- 1981年12月竣工
- 無塗装裸使用(H-SMA)



2004年6月撮影(竣工22年6ヶ月後)

飛来塩分量が非常に多く高温多湿の地点に建設された橋



凍結防止剤を含む路面排水の飛散を受けた橋



さび安定化補助処理を
施した海浜地域河口の橋



桁端部の漏水による
異常さび発生事例

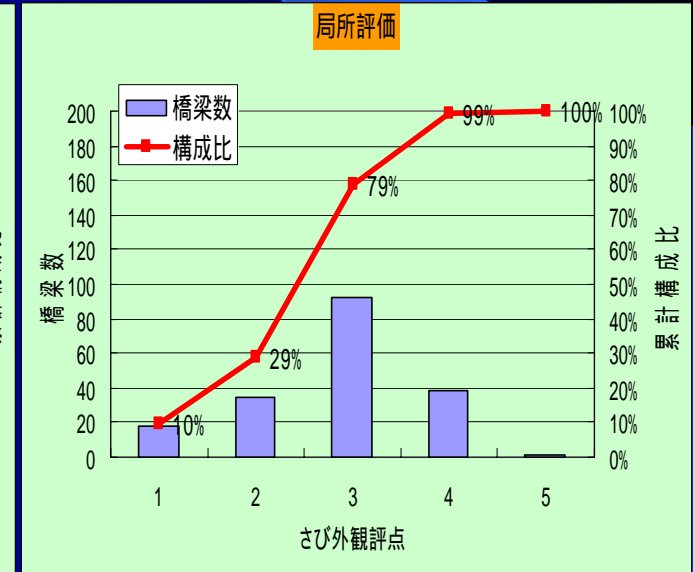
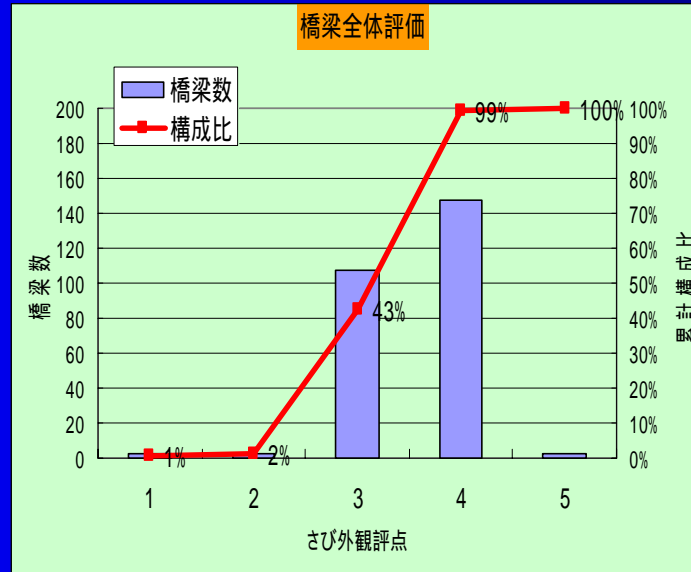
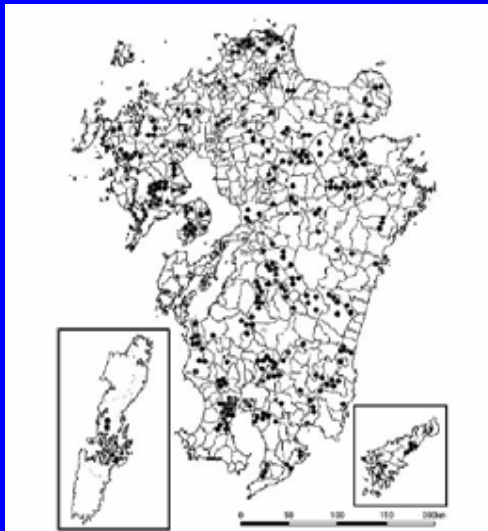


既設橋梁調査の事例

九州地区耐候性鋼橋さび調査結果概要(裸使用)

2001年～2003年
337橋

全般に**良好**・**異常**、**要観察**を示す
さびは、ほとんど**局所的**。



ニッケル系高耐候性鋼材の適用状況

成分系の例

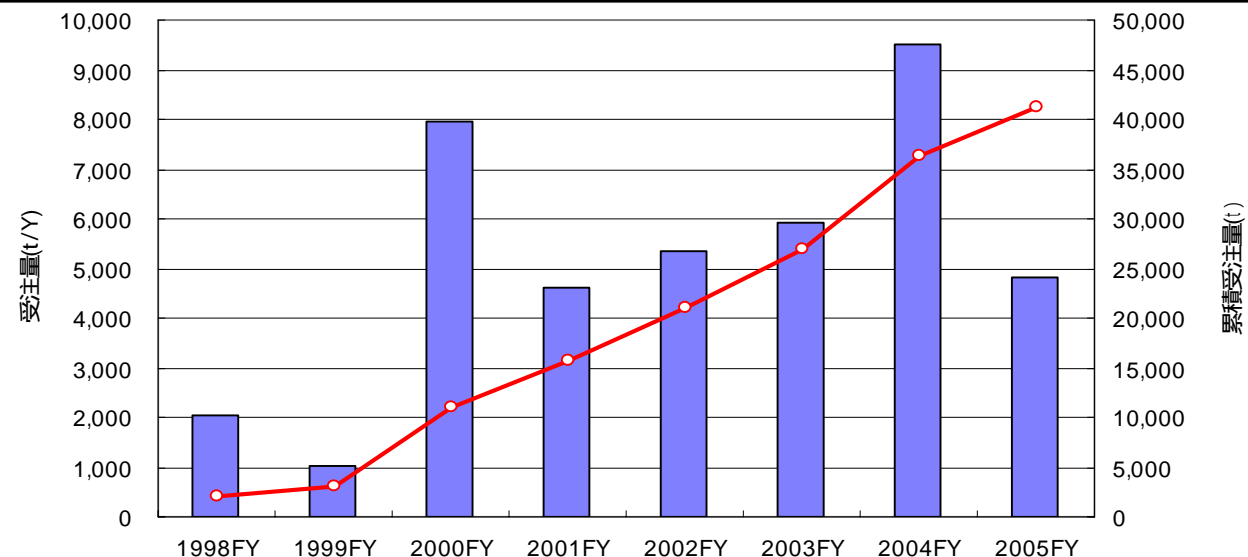
A社	3 Ni - 0.4Cu系
B社	1.5Ni - 0.3Mo系
	2.5Ni - 極低C - 0.3Cu系
C社	1 Ni - 1Cu - 0.05Ti系
	2.7Ni - 0.5Cu - 0.035Ti系
JIS耐候性鋼	0.05 ~ 0.3Ni, 0.3 ~ 0.5Cu, 0.45 ~ 0.75Cr

各社JIS耐候性鋼よりNi添加量UP

JIS耐候性鋼より、適用可能地域拡大

適用実績量

累計 (~ 2005FY)
114件、約41千ト



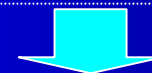
解決すべき課題

鋼橋防食LCCの低減



- ・ 既設橋梁の一部に異常さびなどの不具合の発生
適用規定の充実と改良が必要
点検診断・補修技術の確立が必要
- ・ 新しい鋼材や表面処理の適用に関する
共通的评价基準が整備されていない

新技術採用のための性能規定型設計体系に
準じた具体的な適用評価方法の提示が必要



防食法としての信頼性向上と適用可能性の拡大

JSSC鋼橋性能向上委員会 耐候性鋼部会

従来の規定の見直し、維持
・補修技術の整備対応

性能規定型設計・新材料対応

[4] 防食設計法の提案

耐候性鋼橋梁の防食設計の考え方
耐候性鋼橋梁防食設計指針案

A編

[1] 適用規定の見直し

JIS-SMA適用環境区分
細部構造の改良

B編

[5] ニッケル系高耐候性鋼の適用評価 方法の提示

ニッケル系高耐候性鋼適用評価方法の構築
腐食予測技術提案

B編

[2] 健全度評価法の確立

外観によるさび評価基準の提案
点検・診断法整備
維持管理マニュアル作成

[3] 補修法の確立

補修方法，補修事例の調査

C編

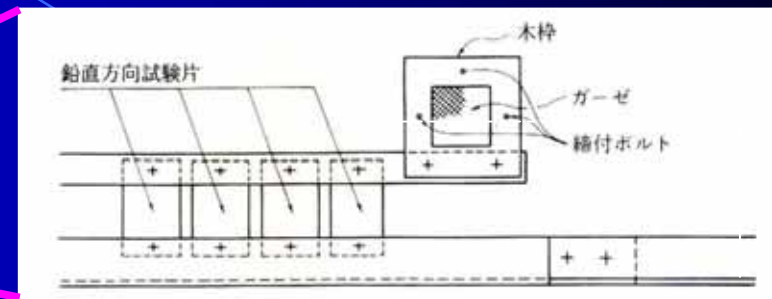
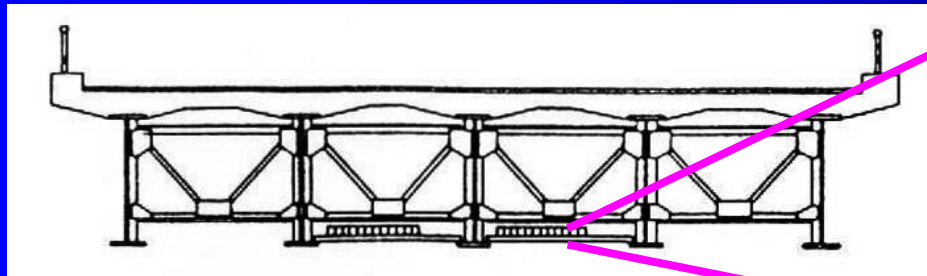
[6] 表面処理適用規定の提示

表面処理の機能明確化，基本枠組み提案
性能評価試験方法検討

[7] 新しい適用性評価技術の開発

適用性評価試験法の事前検討，準備

3者共研での飛来塩分量測定条件の整理



3者共研の塩分捕集用ガーゼの設置方法

下フランジより250～300mm程度上部に設置

橋軸に垂直方向に設置(39/41橋)

耐候性鋼材の橋梁の適用に関する共同研究報告書(XIV) - 環境条件調査結果2 - より

JIS耐候性鋼適用地域環境条件：**飛来塩分量** **0.05mdd** は、
飛来塩分量を**桁内**で測定した場合の塩分量である。

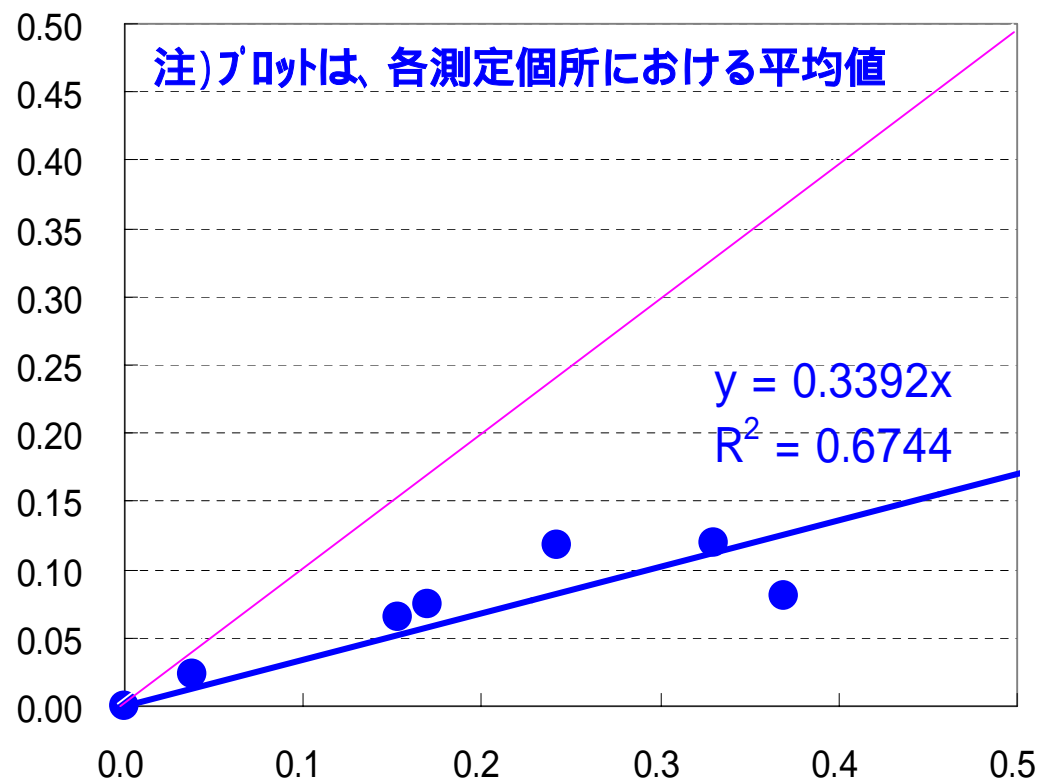
桁内外における飛来塩分量値差の評価



飛来塩分量0.05mddによる
従来JIS耐候性鋼のみなし規定は
桁内での測定値相当と解釈する

桁内飛来塩分量 0.05mdd

*2
桁内飛来塩分量
(mdd)



*1 **桁外飛来塩分量**(mdd)

*1: 下フランジより約1m下方部位桁外

*2: 下フランジより約200mm上方桁内

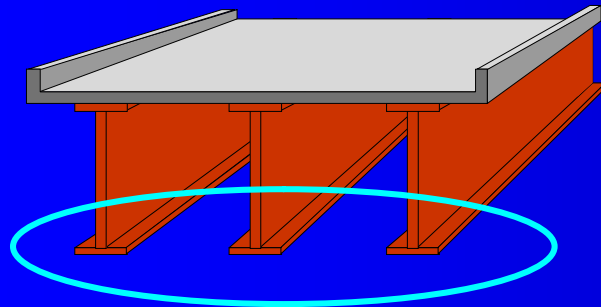
[**桁内飛来塩分量**] << [**桁外飛来塩分量**] であり、
 A_{SMA} の計算 や みなし規定適用 の際に考慮することができる。

耐候性鋼の腐食予測

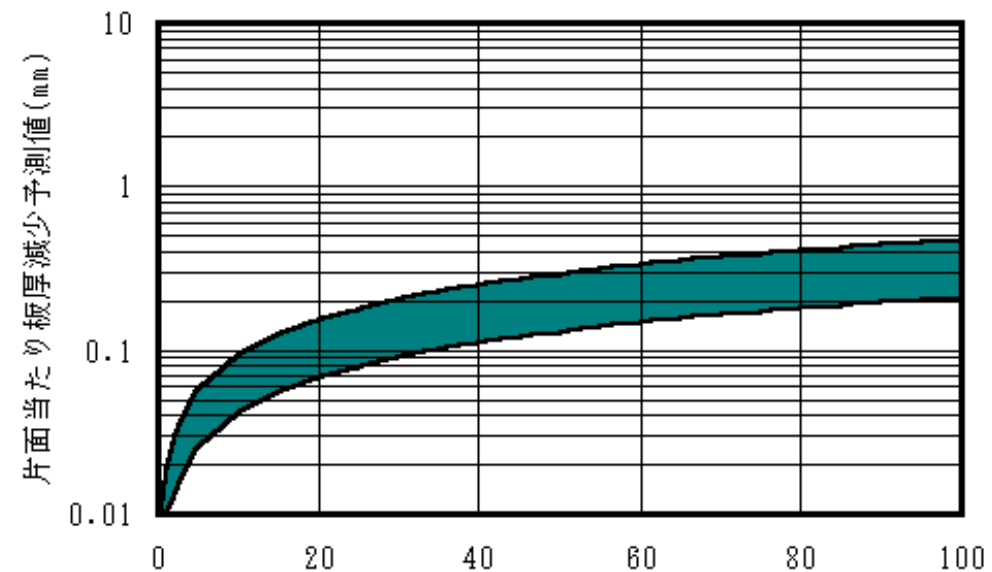
3者共同研究:41橋のデータベース



腐食予測式構築



予測部位



JIS耐候性鋼の腐食予測曲線
(桁内飛来塩分0.05mdd)

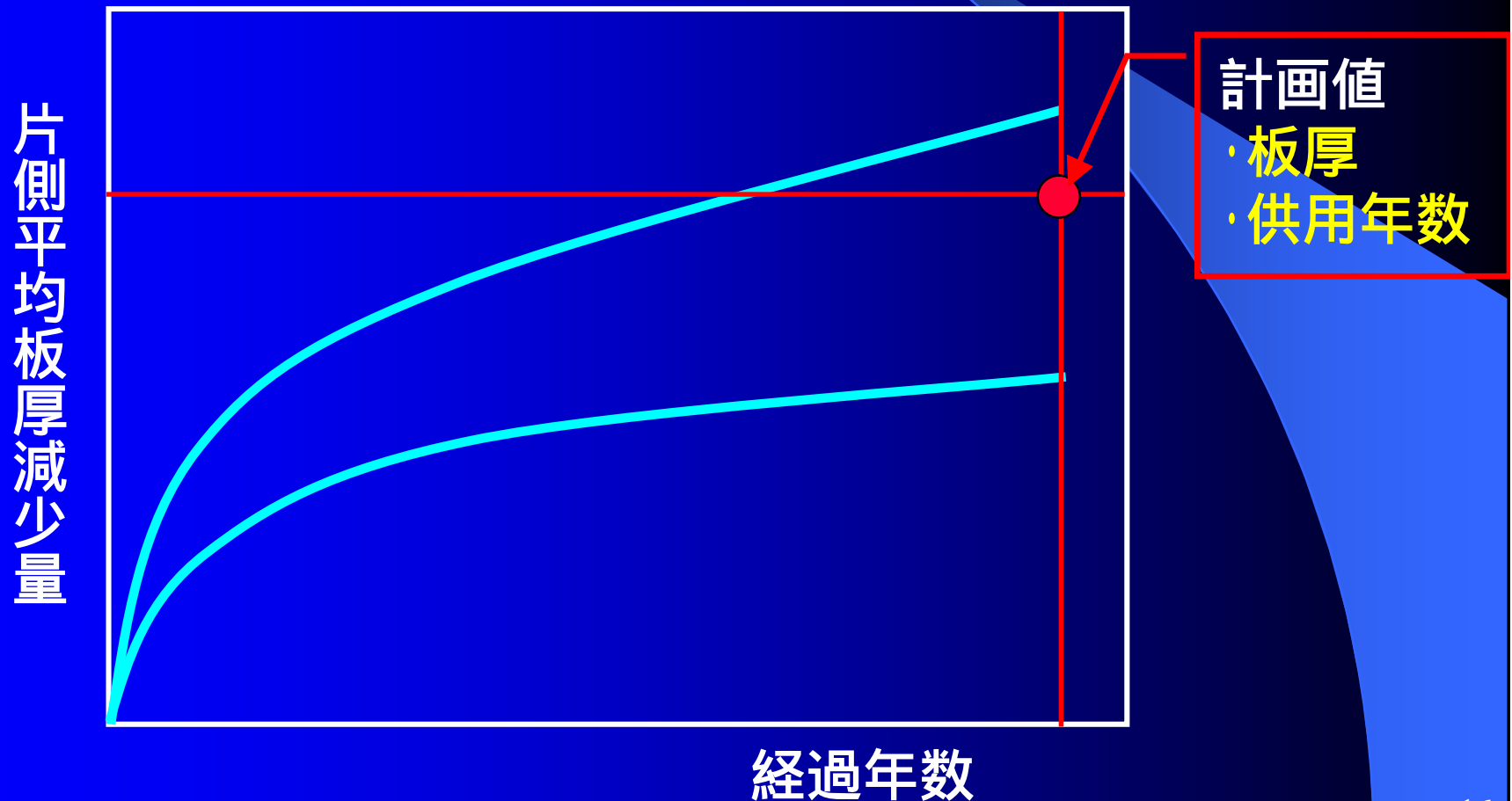
腐食量の予測式

$$Y = A \cdot X^B$$

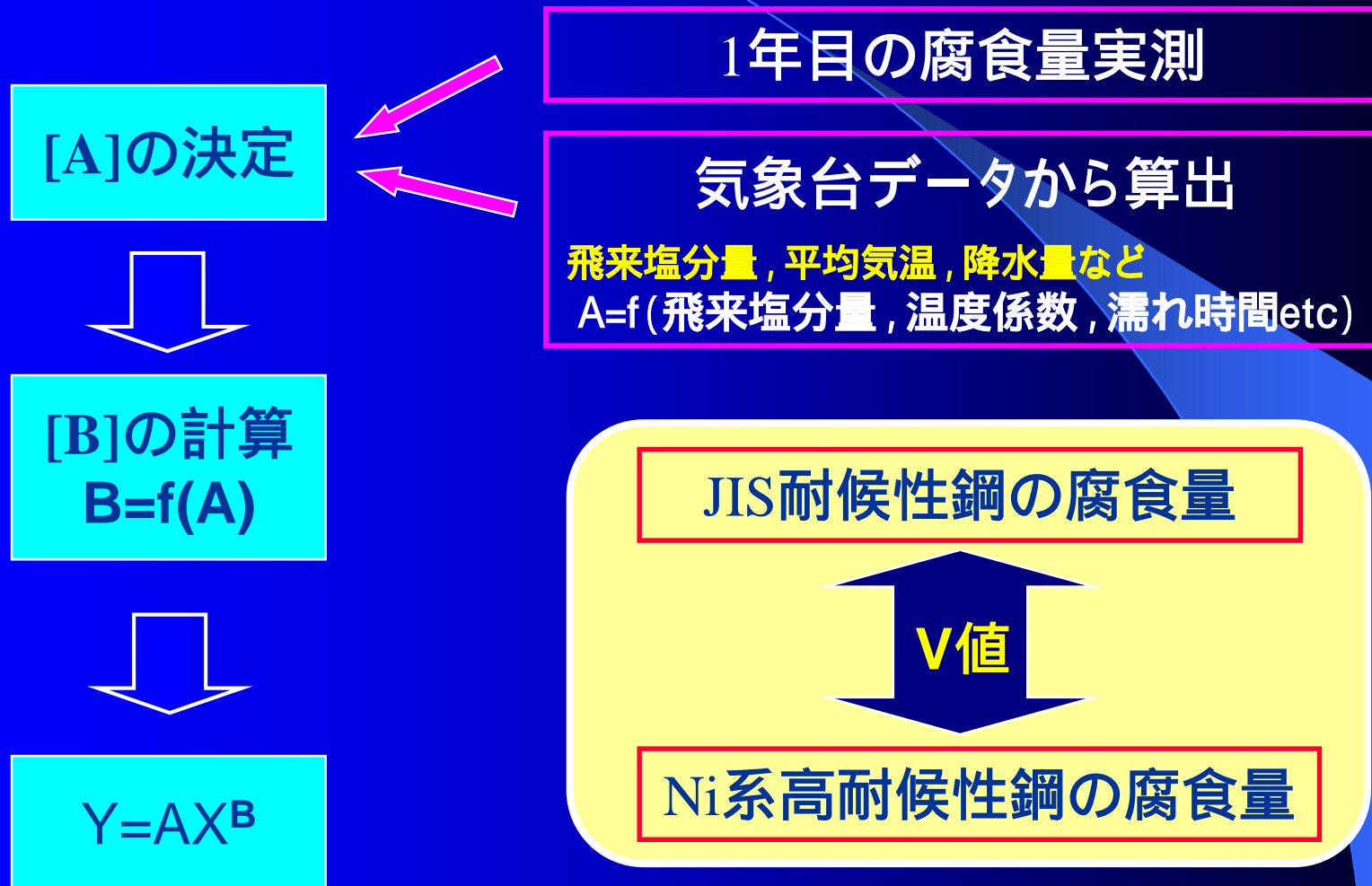
Y : 片側平均板厚減少量 (mm)

X : 経過年数 (年)

A, B : 腐食速度パラメータ



腐食量予測計算のアルゴリズム



環境評価試験の新提案：ワッペン試験

1年間

建設予定地で、ワッペン試験片を用いた短期暴露試験を行ない、耐候性鋼材の使用可否を判断する

近くに既設橋梁あり

実橋ワッペン試験



最も腐食性が厳しいと思われる部位でワッペン試験を行なう



近くに既設橋梁なし

架台ワッペン試験



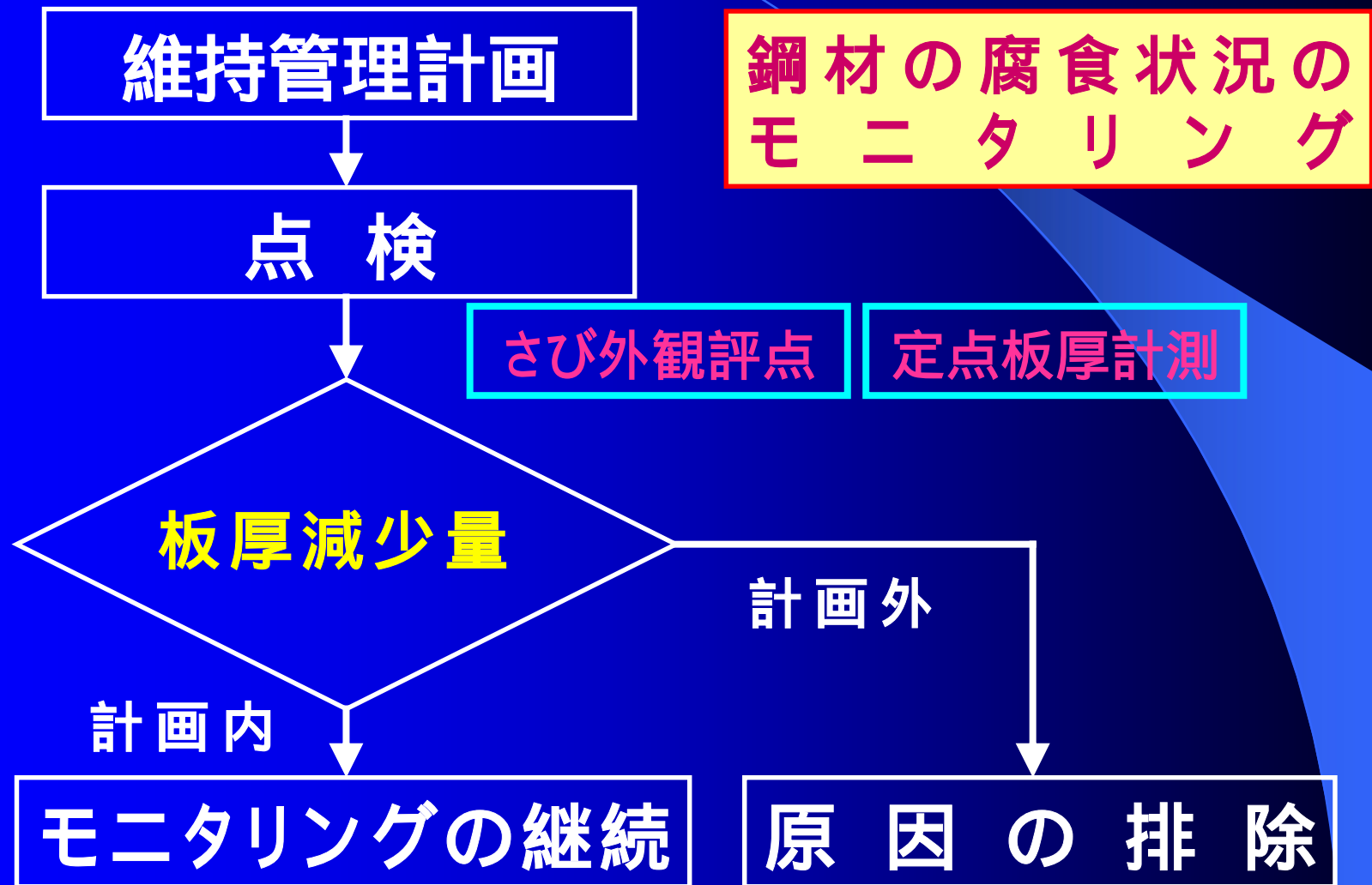
百葉箱を設置してワッペン試験を行なう

ワッペン試験片

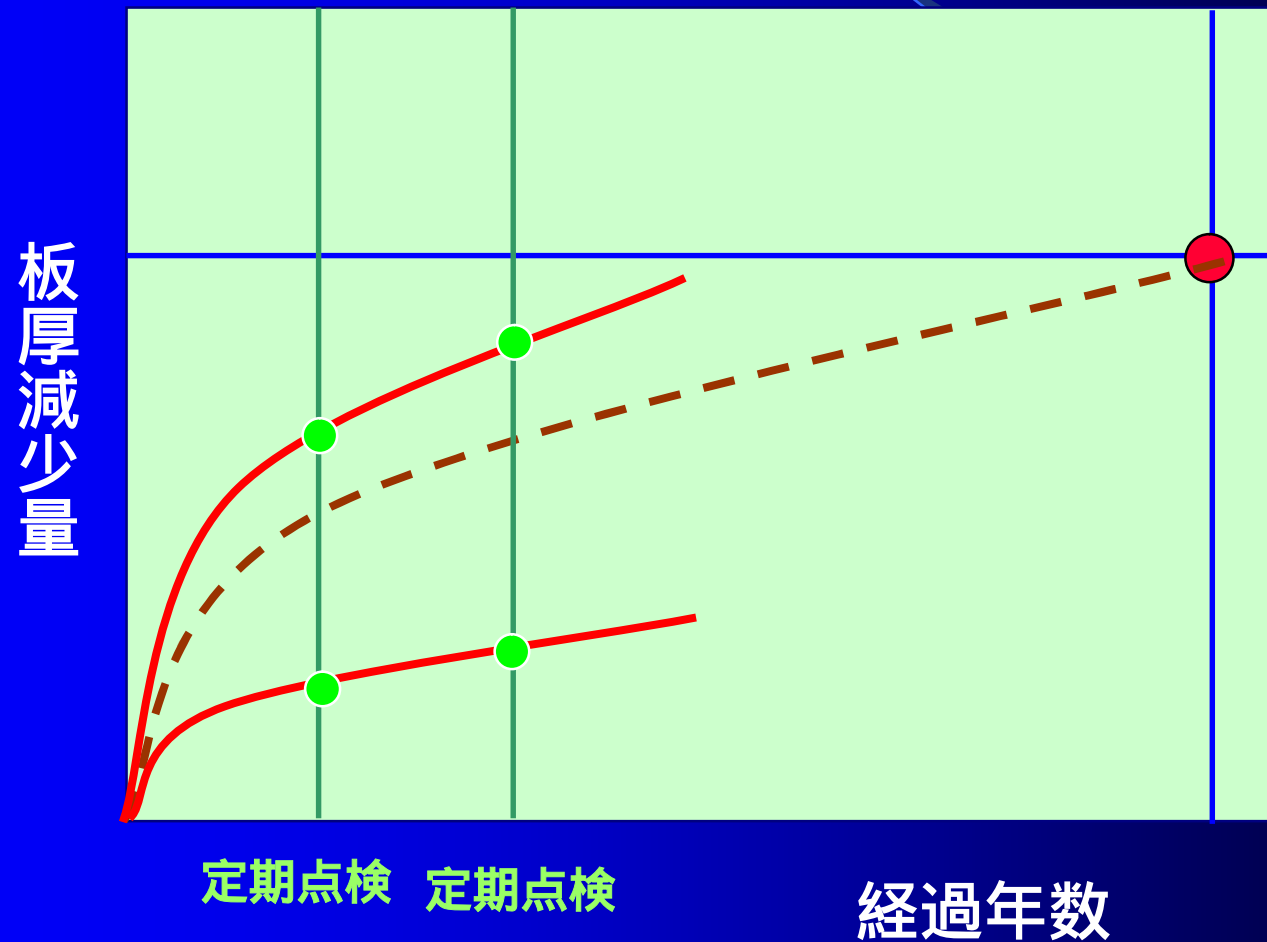
(標準サイズ: 1.5^t × 50^w × 50^l)

*: 両面テープで貼り付け、暴露試験を行なう

維持管理・補修の基本的な考え方



腐食曲線を基本とした維持管理



耐候性鋼の防食設計に必要な基本資料整備 －性能規定型体系への対応－

【JSSCテクニカルレポート】

A 編 耐候性鋼橋梁防食設計指針（案）

；防食設計の考え方、要求性能、みなし規定

B 編 防食性能照査マニュアル（防食設計資料編）

；細部構造、性能照査方法、表面処理に関する詳説

C 編 維持管理・補修マニュアル

；健全性評価法、補修・補強方法

D 編 資料集

；典拠資料、提案手法の有効性を示す資料

BHS鋼材

Bridge **H**igh-performance **S**teel

鋼橋の建設コスト縮減のために
産学連携研究プロジェクトの成果に基づき
開発された高性能高張力鋼材

BHS鋼の特長

高降伏点

BHS500 : YS 500MPa (参考) SM570 450
BHS700W : YS 700MPa (参考) HT780 685

良施工性

BHS500: 予熱フリー (P_{CM} 0.20、TMCP)
最大許容入熱量 100kJ/cm

BHS700W: 予熱温度 50 目標
最大許容入熱量 50kJ/cm

Z方向特性, 耐ラメラテア特性(Z35相当)

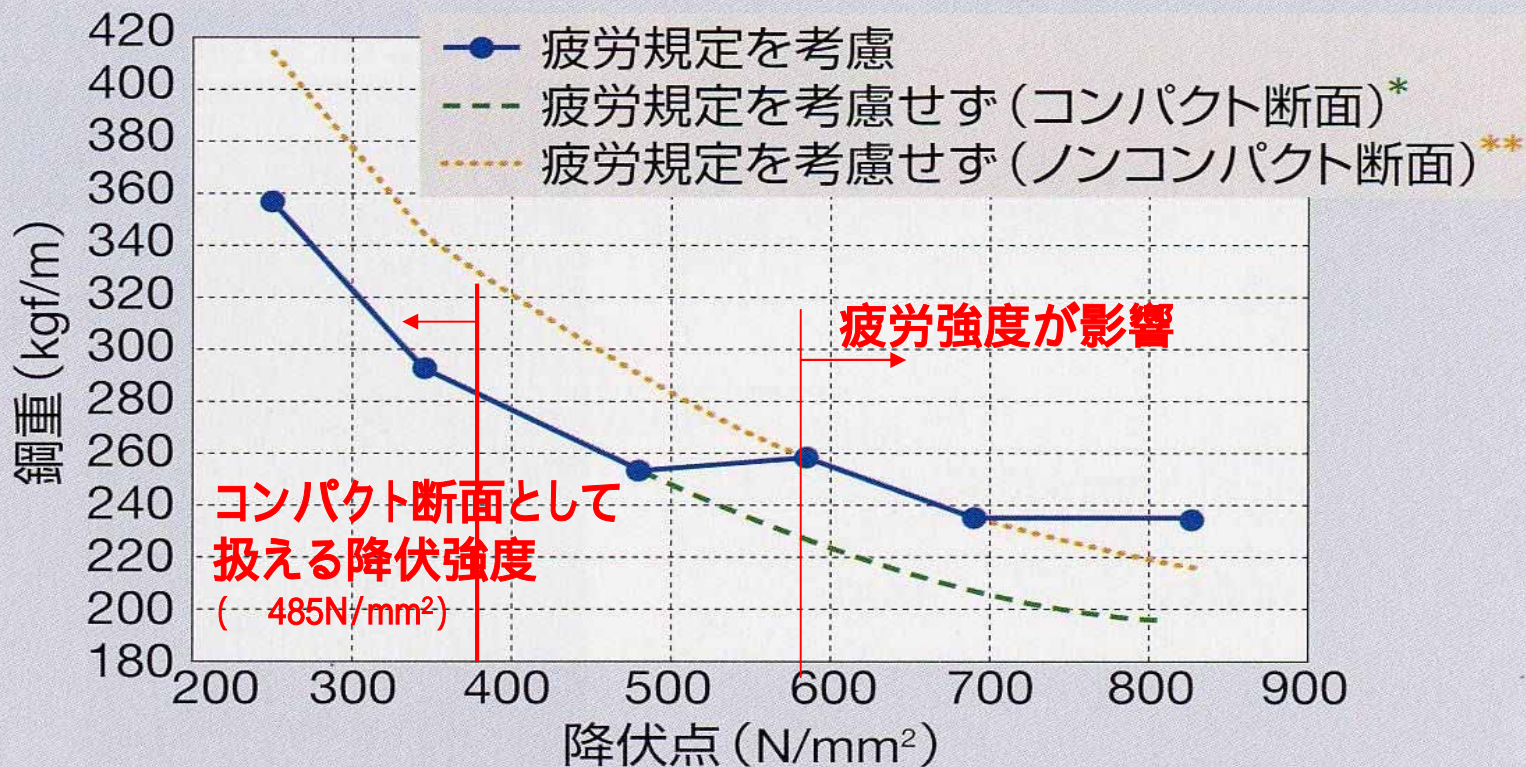
高じん性

シャルピー吸収エネルギー 100J
(板厚の7倍の曲げ加工後も27J以上確保)

耐候性

BHS500W, BHS700W

BHS鋼の降伏点設定思想

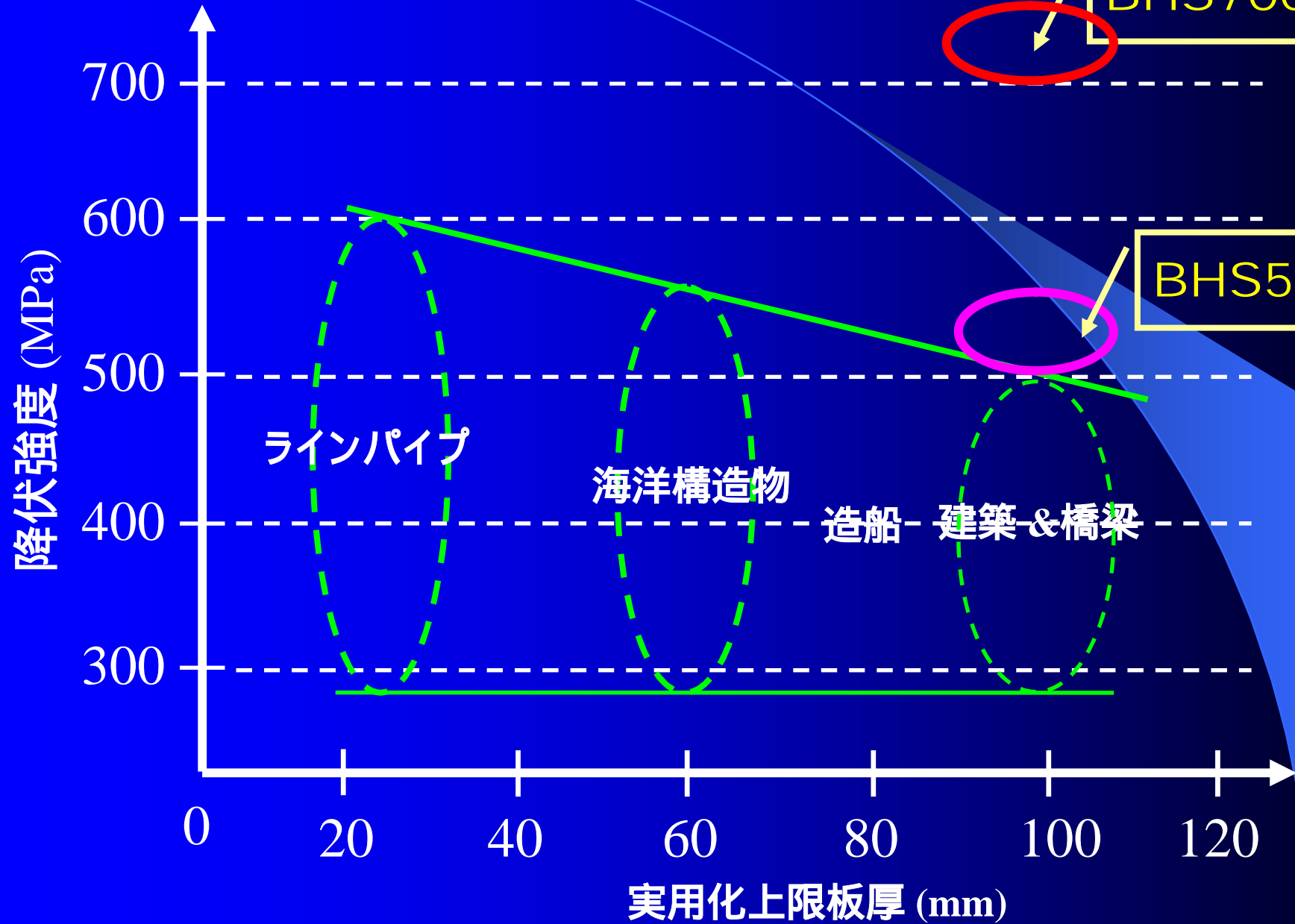


- * コンパクト断面：終局状態において断面の塑性変形を期待する厚肉断面
 - ** ノンコンパクト断面：終局状態において座屈が支配的となる薄肉断面
- (「村越潤：強度特性から見た高性能鋼材の橋梁への適用性について 土木技術資料、38-2、1996」より)

BHS鋼の強度レベル

BHS700W

BHS500



橋梁用鋼材の要求性能

要求性能

対応する技術

環境

寒冷地架橋

高靱性化

-20 , -40

構造

板厚増加抑制

降伏点一定制御

圧縮試験
-H

厚さ方向特性

[S]量制御

-Znn(S)

厚さ方向絞り考慮

冷間曲げ加工

高靱性化

-nL,-nC

施工

予熱温度低減

Pcm制御

-EX

大入熱溶接

HAZ高靱性化

-EG

LCC

耐食性

耐候性

SMA, Ni系高耐候性鋼
さび安定化補助処理

BHS
(W)

BHS鋼と従来材との比較

特性		570MPa級鋼			780MPa級鋼	
		BHS500	BHS500W	SM570	BHS700W	HT80
強度	降伏点 (MPa)	500	500	430	700	685
	降伏点一定 保証 - 吸収 エネルギー (J)	100	100	47	100	27
じん性	冷間曲げ 加工	(7t)	(7t)	-5L,-5C -7L,-7C	(7t)	op
	予熱温度 低減	(室温)	(室温)	-EX	50	op
	大入熱溶接 (kJ/mm)	10	10	-EG	-	-
耐食性	耐候性	-	-	SMA	-	-

鋼材の高性能化

1. 熱加工制御技術: Thermo-Mechanical Control Process

・組織微細化

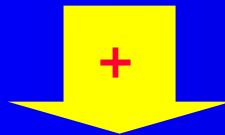
高強度・高靱性

・低炭素等量, マイクロアロイング活用

優れた継手特性

・P_{CM}の低減

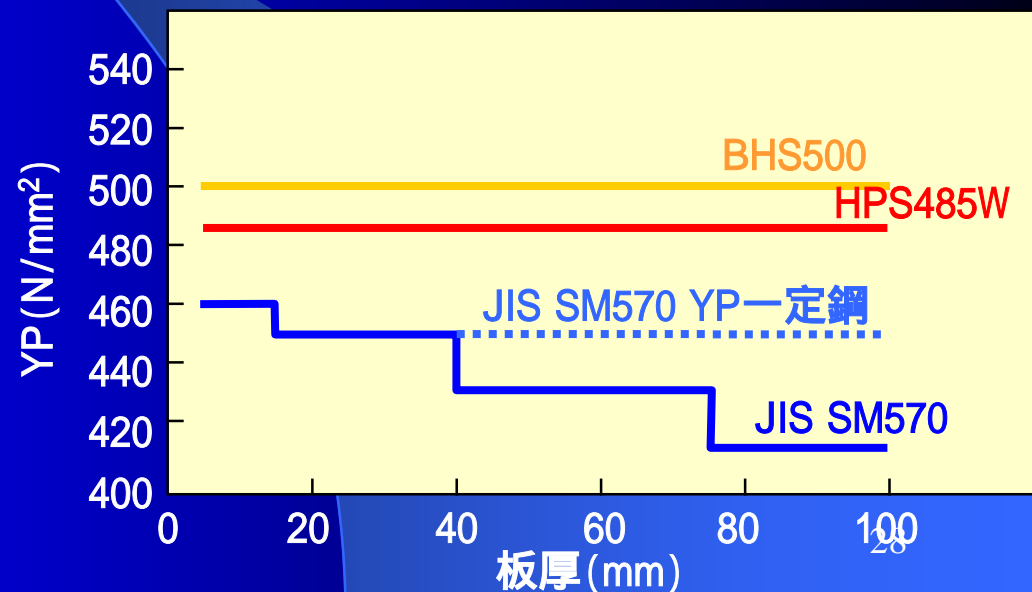
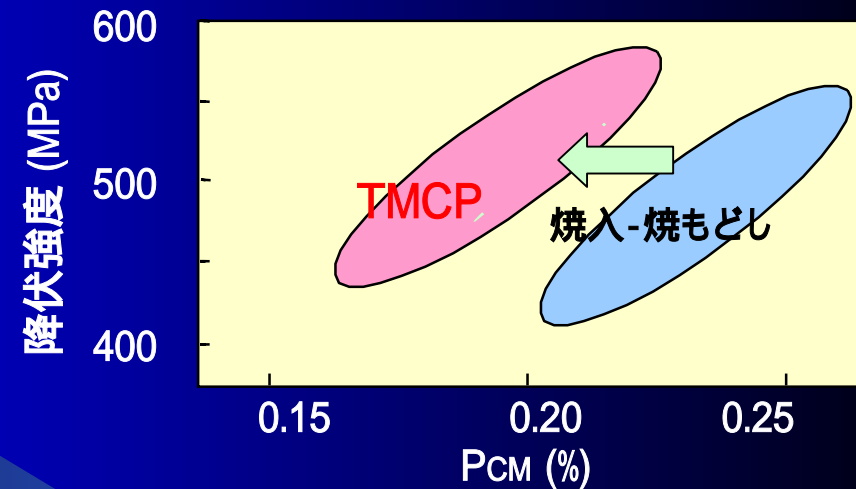
溶接施工性の向上



2. 高YP一定制御

・JIS SM570 YP一定鋼の使用性を兼備

・HPS485Wを超える高YP化を実現



BHS鋼の化学成分規定

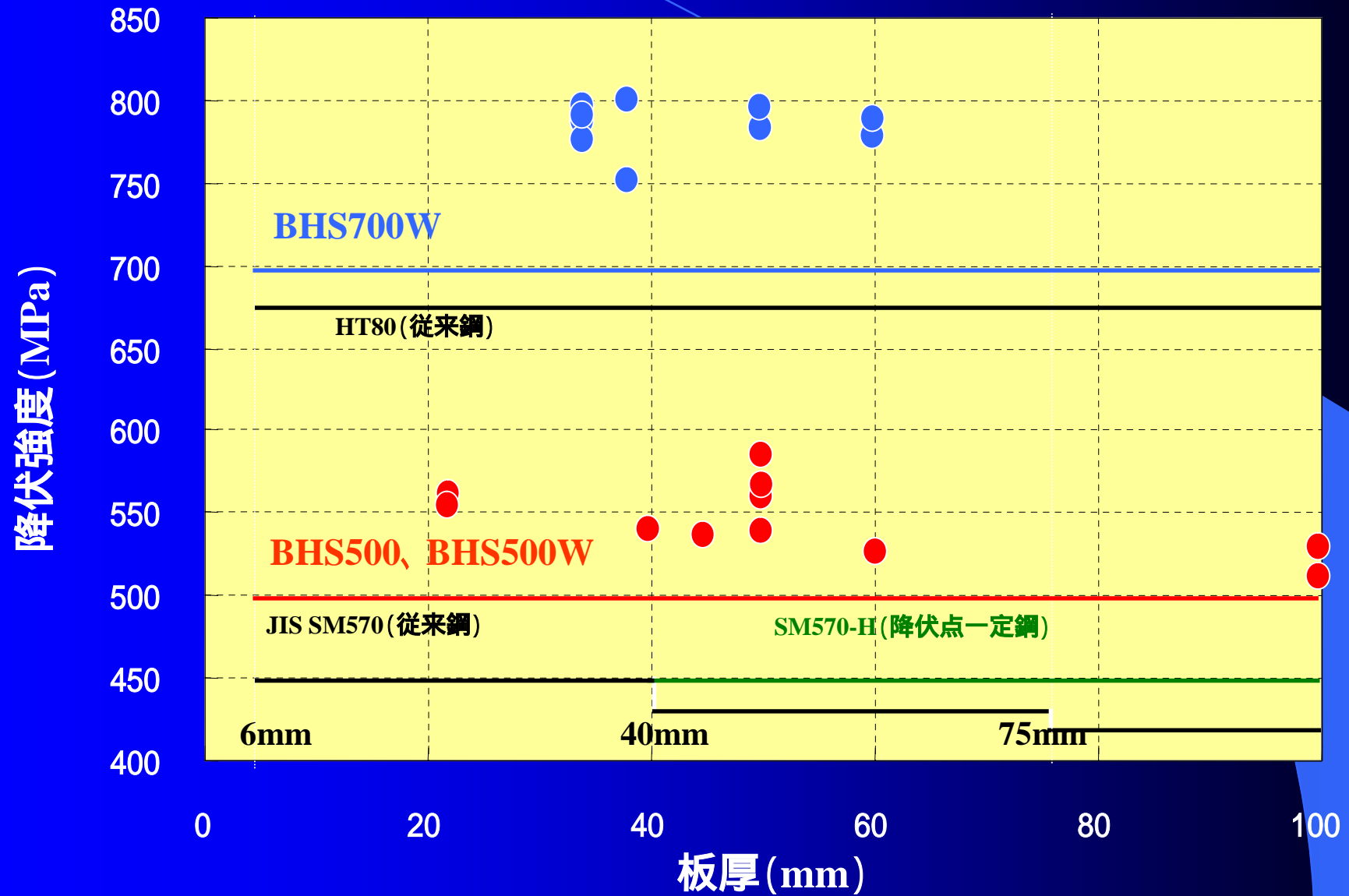
種類 の記号	厚さ (mm)	化学成分 (%)													耐候性 合金指標 (目標値)
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Mo	B	N	Pcm	
BHS500	6以上 100 以下	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	-	-	-	-	-	-	0.006 以下	0.20 以下	-
BHS500W	6以上 100 以下	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.30 以上 0.50 以下	0.75 以下	0.05 以上 0.30 以下	-	-	-	0.006 以下	0.20 以下	1.0 以上
BHS700W	6以上 50以下	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.30 以上	0.80 以下	0.30 以上 2.00 以下	0.05 以下	0.60 以下	0.005 以下	-	0.30 以下	1.0 以上
	50超													0.32 以下	

$$\text{耐候性合金指標} = 1 / [(1.0 - 0.16C) \times (1.05 - 0.05Si) \times (1.04 - 0.016Mn) \times (1.0 - 0.5P) \times (1.0 + 1.9S) \times (1.0 - 0.1Cu) \times (1.0 - 0.12Ni) \times (1.0 - 0.3Mo) \times (1.0 - 1.7Ti)]$$

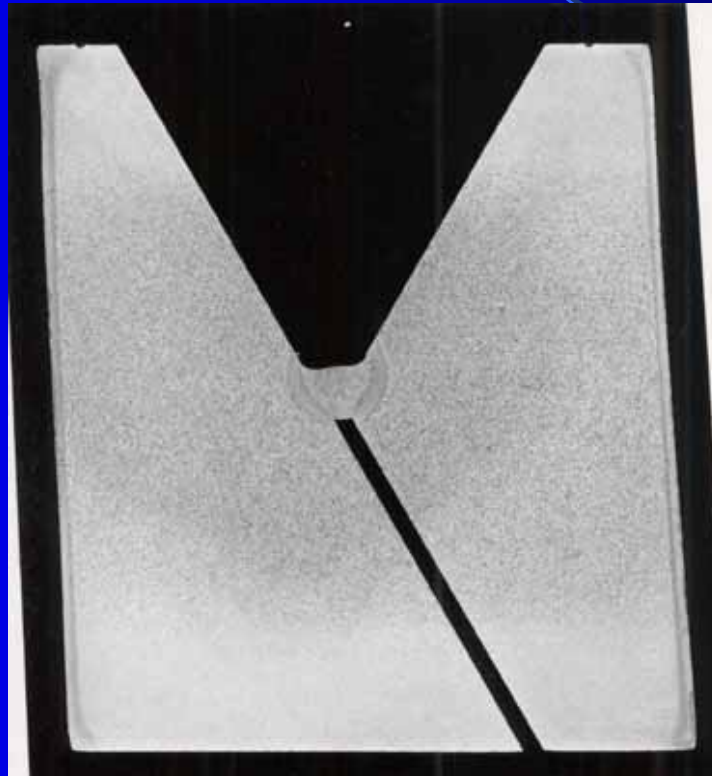
BHS500の性能例

厚さ mm	Pcm %	降伏点 又は耐力 MPa	引張強さ MPa	伸び		シャルピー 吸収エネルギー J at -5
				厚さ mm	%	
6-100	0.20	500	570-720	16以下	19	100
				16超	26	
				20超	20	
22	0.17	560	645	30		324
40	0.17	546	634	30		316
45	0.19	541	676	27		318
50	0.18	565	652	30		281
50	0.18	546	634	30		306
50	0.18	588	643	27		337
60	0.16	529	613	27		256
100	0.18	534	624	27		291

BHS鋼の降伏強度



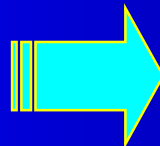
溶接継手の性能



y型拘束割れ試験結果

鋼材記号	板厚	Pcm	溶接法	雰囲気	割れ率 (%)					
					予熱温度 ()					
					16	20	30	50	70	75
BHS500	50	0.19	GMAW	16 -40%	0	-	0	0	0	-
BHS500W	25		SMAW	30 -30%	-	-	0	0	0	-
BHS700W	34		SMAW	20 -60%	-	0	-	0	-	0
	38		SMAW	20 -60%	-	(6) 溶金割れ	-	0	-	0
	50		SMAW	20 -60%	-	(49) 溶金割れ	-	0	-	0
	60		SMAW	20 -60%	-	(17) 溶金割れ	-	0	-	-

予熱温度



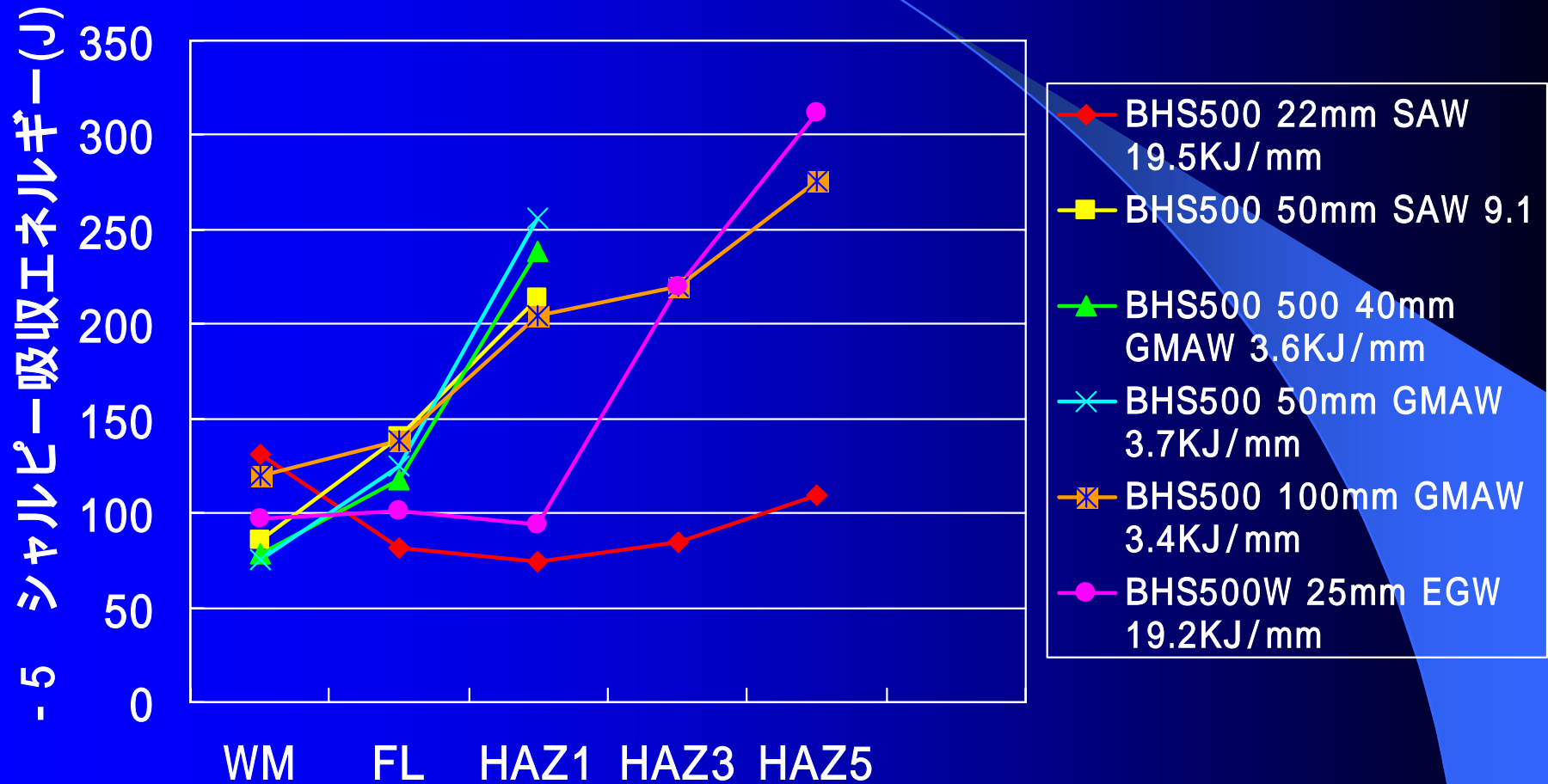
BHS500,500W 常温

BHS700W 50

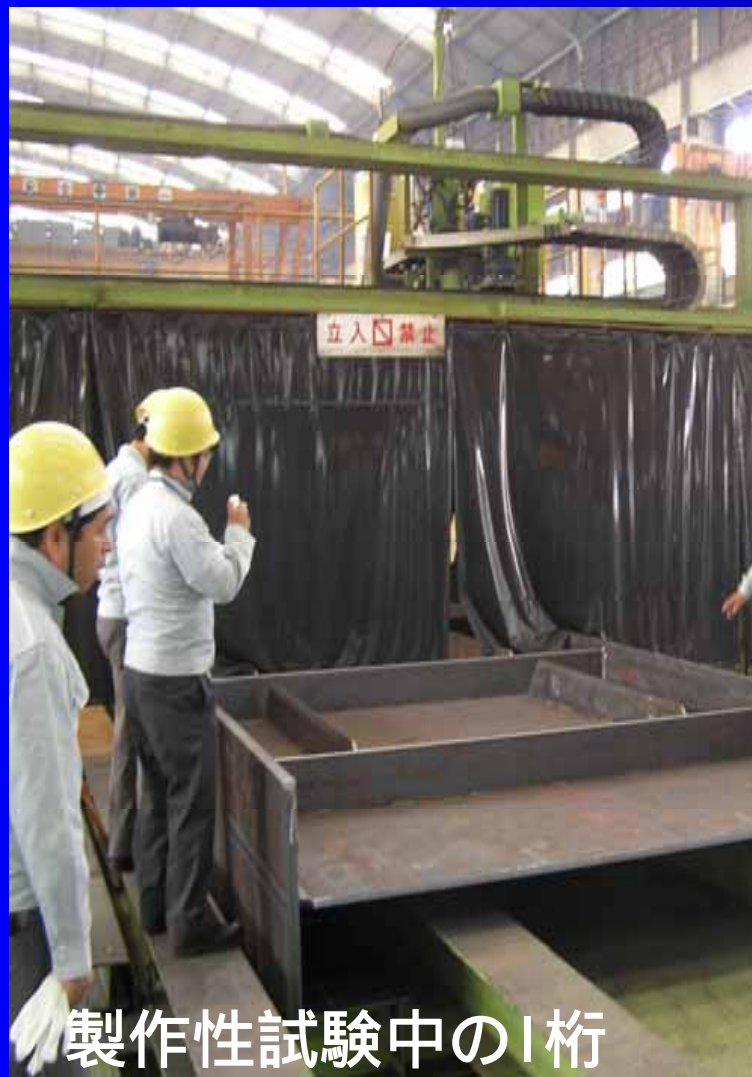
BHS鋼のPcmと予熱温度

強度区分	鋼材記号	区分	板厚区分 (mm)			
			t ≤ 25	25 < t ≤ 40	40 < t ≤ 50	50 < t ≤ 100
570MPa	JIS SM570	標準Pcm (予熱温度)	0.26 (予熱なし)	0.27 (80)		0.27 (100)
		予熱無しとなる Pcm	-	0.24	0.22	
	BHS500	Pcm (予熱温度)	0.20 (予熱無し)			
	BHS500W	Pcm (予熱温度)	0.20 (予熱無し)			
780MPa	従来 HT80		t ≤ 25	25 < t ≤ 38	38 < t ≤ 50	50 < t ≤ 75
		標準最小予熱温度 ()	100	100	100	120
	BHS700W	最小予熱温度()	50			

BHS500, 500Wの溶接継手性能



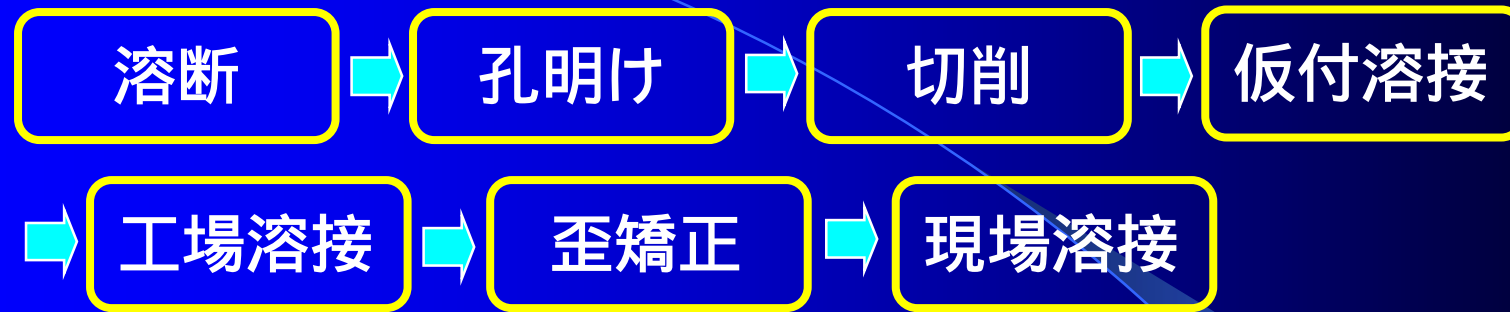
製作性能評価試験



使用鋼材	使用部位	寸法(mm)	
		板厚	幅×長さ
BHS500	上フランジ	30	500×6900
	ウェブ	20	2920×6900
	下フランジ	50	700×6900
SM490Y	補剛材	12	

製作性試験中のI桁

評価結果



優

仮付
溶接

ショートビード溶接が可能~20mm

SM490Y
レベル

溶断

孔明

切削

矯正

大入熱
溶接

劣

多層
溶接

パス間温度規制で溶接待ち

BHS500パス間温度: 従来鋼の「230 以下」を
「300 以下」に緩和可能を実証

総合製作能率
向上(50%鋼並)

BHS鋼の適用 による鋼橋の合理化

「造船・橋梁における高張力鋼と軟鋼の適用と課題」シンポジウム
織田博孝：橋梁設計の観点からの高張力鋼の適用

構造と設計の合理化

BHS鋼の特徴

高降伏点

$\sigma = 500\text{MPa}$
 $\sigma = 700\text{MPa}$

高じん性 高信頼性

ひずみ時効特性
(冷間曲げ加工)
母材じん性向上

良施工性

溶接時余熱省略
予熱温度低減
溶接入熱規制緩和
耐ラメラテア特性向上
線状加熱特性向上

耐候性

JIS G3114(SMA鋼)
と同等

BHS鋼の有効な利用

高強度の有効利用

長支間橋梁への適用

相対的に疲労影響度の低下
最適な適用支間長

ハイブリッド桁

フランジに高強度鋼適用

高圧縮耐荷力

低強度・薄鋼板に比べ、
小さい初期不整

製作工数の低減

建設・維持管理コストの低減

LRFDの適用

合理的な安全率の設定

連続合成桁の適用

3次元挙動の解析

LPプレートの使用

中間支点部の合理的な設計

横ねじれ座屈強度評価法の見直し

主桁間隔の最適化(合成床版の適用)

ウェブの少補剛化

横構の省略

分配横桁廃止

対傾構間隔拡大

ゴム支承削減(下部工との剛結)

溶接・ボルト併用継手

超高力ボルト

低コスト鋼橋の実現

BHS鋼材の開発と実用化年表

90年代

鋼橋の合理化研究

産学連携プロジェクト
東京工大/創造プロジェクト推進体

2003年

BHS鋼の提案

橋梁用高性能鋼材の提案
土木学会論文集No738/ -64, 2003.7

2004年

鋼材規定の制定

(社)日本鉄鋼連盟製品規定
MDCR 0014-2004

NETIS登録

KTK-040005

2005年

製作性能評価試験

実大少数主桁製作

2006年

NETIS 評価試行申請

申請書準備中(鉄連)

東京港臨海大橋への適用決定(7kt)

本日の配布資料

1. 講演会パワーポイント資料
2. 耐候性鋼の橋梁への適用 (社)日本鉄鋼連盟・(社)日本橋梁建設協会
3. 高性能鋼の概要(橋梁向け) (社)日本鉄鋼連盟
4. 降伏点 500N/mm^2 及び降伏点 700N/mm^2 溶接構造用圧延鋼材 (社)日本鉄鋼連盟