第 49 回鋼構造基礎講座

「聞いてみよう！鋼材のお話し
～材料から製作・接合、そして高性能鋼の展望まで～」

令和 7 年 11 月 11 日

土木学会　鋼構造委員会

鋼構造継続教育推進小委員会

まえがき

土木学会 鋼構造委員会 鋼構造継続教育推進小委員会では、若手など初級・中級技術者や上級技術者でも専門分野外の基礎技術を習得するための継続教育(CPD)を目的として、これまで鋼橋の設計、施工、維持管理などに関するさまざまなテーマで基礎講座を毎年２回実施してきました。

鋼材は橋梁や建築構造物、さらには産業機械や輸送機器など、私たちの生活を支える社会インフラや産業基盤のあらゆる場面で欠かすことのできない素材です。その高い強度、優れた加工性、そして耐久性といった特性は、設計・施工・製造の各工程において重要な役割を果たしており、技術者が鋼材の性質や取り扱い方法を正しく理解することは、安全性・効率性・品質の向上に直結します。

本講座は、「鋼材」をテーマに、材料としての基礎知識から、製作時に求められる加工・接合技術について体系的に学び、実務に活かせる知識を習得していただくことを目指して企画しました。さらに、近年注目されている高性能鋼の活用についても最新の技術動向を交えて紹介いたします。

本講座を通じて、鋼構造に携わる初級・中級技術者の皆様には技術者としての成長と専門性のさらなる向上を、そして未来を担う学生の皆様には鋼材の可能性と今後の技術革新へのヒントを得ていただけることを期待しています。

令和 7 年 11 月

鋼構造継続教育推進小委員会

委員長　　大垣　賀津雄

目次

開会挨拶 ---------- 1

大垣　賀津雄（鋼構造継続教育推進小委員会　委員長）

１．鋼材の基礎知識---------- 6

高木　優任（(一社)日本鉄鋼連盟　橋梁用鋼材研究会）

２．鋼材の加工と接合---------- 58

瀧川　雅人（(一社）日本橋梁建設協会　技術委員会 製作小委員会 製作部会）

３．高性能鋼活用の展望---------- 90

栗原　康行（(一社)日本鉄鋼連盟　橋梁用鋼材研究会）

開会あいさつ

大垣　賀津雄
鋼構造継続教育推進小委員会　委員長

第49回鋼構造基礎講座

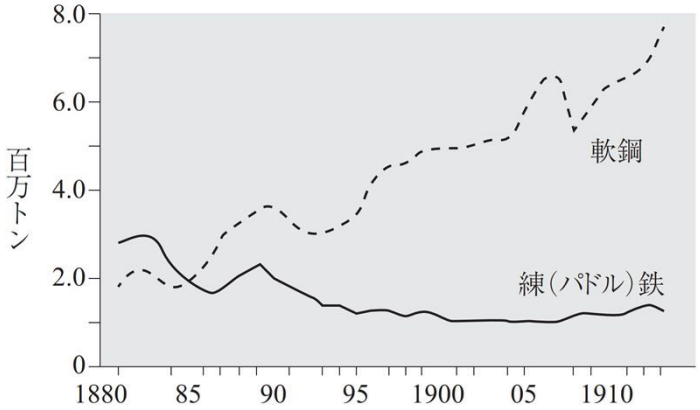
聞いてみよう！鋼材のお話し
～材料から製作・接合、そして高性能鋼の展望まで～

令和7年11月11日
土木学会　鋼構造委員会
鋼構造継続教育推進小委員会

鋳鉄，錬鉄，鋼の炭素量と強度

項目	炭素含有量 [%]	圧縮強度 [N/mm^2]	引張強度 [N/mm^2]
鋳鉄	2.5-4.5	400-1000	100-150
錬鉄	0.02-0.05	250-400	250-400
鋼	0.05-1.2	350-700	350-700

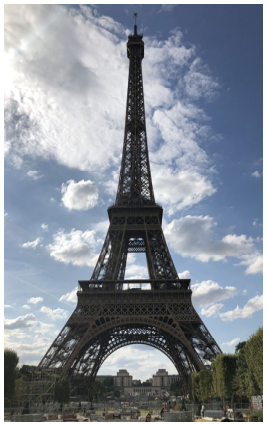
鋳鉄の材料を銑鉄と呼ぶ．錬鉄は工業用純鉄である



錬鉄と鋼の生産量



アイアンブリッジ(1779年，英国)



エッフェル塔
(1889年，フランス)



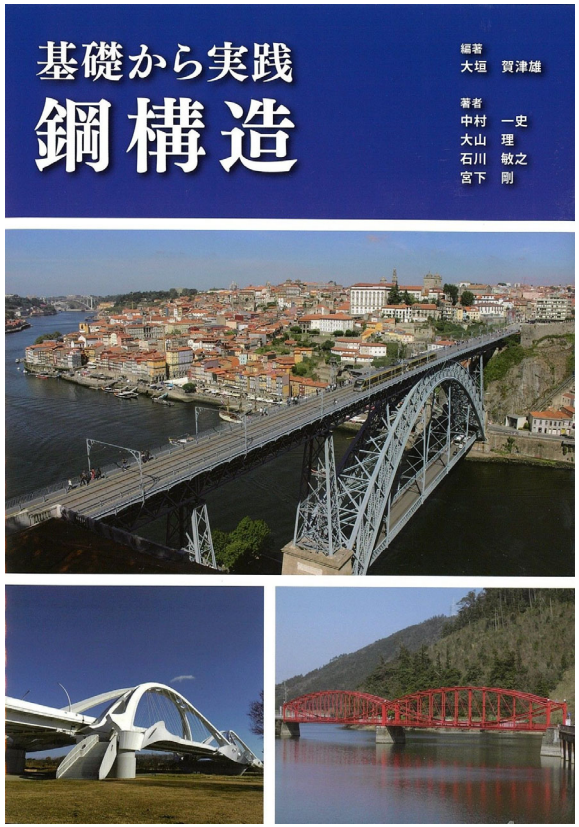
ブルックリン橋(1883年,アメリカ)

目次

１．鋼材の基礎知識
（一社）日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会　　高木 優任(日本製鉄(株))
休憩
２．　鋼材の加工と接合
（一社）日本橋梁建設協会 技術委員会 製作小委員会 製作部会
瀧川 雅人（三井住友建設鉄構エンジニアリング（株））
３．高性能鋼活用の展望
（一社）日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会　　栗原 康行(JFEスチール(株))

鋼材の基礎知識，鋼構造の製作，高性能鋼材の技術動向

ご清聴，ご視聴よろしくお願いします．



１．鋼材の基礎知識

高木　優任
（一社）日本鉄鋼連盟　橋梁用鋼材研究会

第49回鋼構造基礎講座

鋼材の基礎知識
(橋梁用鋼材の種類と諸特性)

2025(令和7)年11月11日
(一社)日本鉄鋼連盟　橋梁用鋼材研究会
高木　優任（日本製鉄）

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

目次

１．鋼材の種類
・鉄鋼材料とは？
・鉄鋼材料の変遷
・構造用鋼材のJIS規格
２．鋼材の製造方法
・製造方法の変遷
３．鋼材の特性と試験方法
・基本特性
・試験方法(引張試験、衝撃試験、硬さ試験など）
・ミルシートの見方の例
４．橋梁用高性能鋼
・高性能鋼の種類
・橋梁への適用事例

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

鉄鋼材料とは

- 鉄鋼材料

  鉄(Fe)を基本材料として製造されるが，他の元素を添加したり，その結晶構造を制御することにより，多くの機能を持った材料となる

- 鉄(iron)と鋼(steel)の違い

	Cの含有量
工業用純鉄 (錬鉄)	0.02%以下 軟かく粘りがある
鋼	0.02−2.1% 硬くかつ適度な粘りがある
鋳鉄 (銑鉄)	2.1%以上 硬くもろい

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

鉄鋼材料の変遷

- **鋳鉄　Cast iron**　1780 – 1850
- **錬鉄　Wrought iron**　1850 – 1900
- **鋼　Steel**　1880 – present

強度や粘り強さが改善されてきた

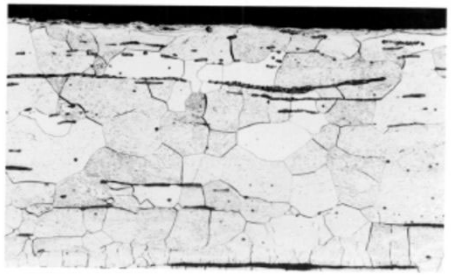
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

結晶組織の変遷

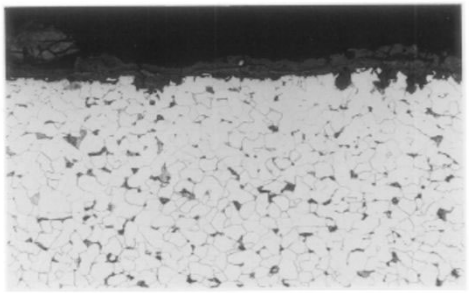
錬鉄
1882


南高橋（旧両国橋）（1904）


錬鉄の結晶組織（1882）

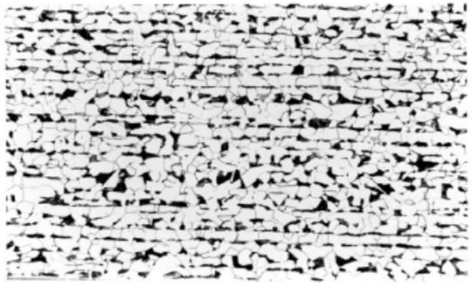
造塊法による鋼材
1925


永代橋（1923）


造塊法による鋼の結晶組織(1925)

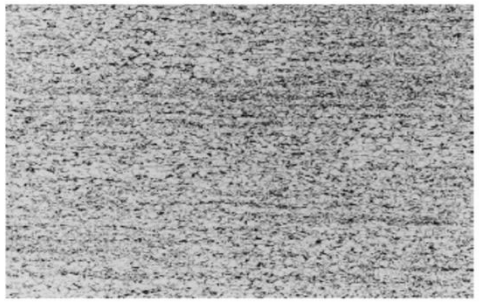
溶接構造用圧延鋼材
1994


東京湾アクアライン(1994)


溶接構造用圧延鋼材SM490Yの結晶組織(1994)

最新のTMCP鋼


東京ゲートブリッジ(2009)


最近のTMCP鋼の結晶組織

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

構造用鋼材JIS規格の時代別の特徴

時期・年代	主な規格・技術	特徴・備考
～1925年（JIS制定前）	JES未制定 鋳鉄・錬鉄・ベッセマー鋼	鋳鉄・錬鉄が主流 錬鉄はじん性に優れるが不純物多い ベッセマー鋼はばらつき大・溶接性低い
1925年（大正14年）	JES第20号「構造用圧延鋼材」	初の鋼材規格化 P, Sの含有量が高め（P, S ≦ 0.06%）
1938年（昭和13年）	JES第430号「一般構造用圧延鋼材」	SS00, SS34, SS41, SS50を規定 転炉鋼のP低減が進む
1942～1944年（戦時中）	臨JES第280号（戦時規格）	P, Sの規定緩和 引張強さの範囲拡大、伸び減少
1948年（昭和23年）	JES金属3101改定	戦時規格から復元 SS00廃止、SS34, SS41, SS50を維持
1952年（昭和27年）	JIS G 3101 （SS材） JIS G 3106 （SM材）	JIS制定 SM材は溶接性重視（Mn/C ≧ 2.5）
1959年（昭和34年）	JIS改正（SM材）	化学成分・衝撃値を規定 高純化が進む
1969年（昭和44年）	JIS G 3114制定	耐候性鋼材（SMA材）規格化 塗装不要の裸使用が可能に
1980年代以降	製鋼技術の進化（LD転炉、連続鋳造、TMCP）	高純化鋼材の普及 板厚方向特性向上／JIS G 3199 （1992年）制定

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

橋梁用鋼材の規格の進化（1980年代以降）

年代	主な出来事・技術革新	規格・鋼材の種類	特徴・備考
1980年代	熱加工制御技術（TMCP）の導入	JIS G 3106 （SMの改良)	板厚方向特性（耐ラメラテア性能）の向上、高純度化
1990年代	耐候性鋼の普及	JIS G 3114 （SMA）	LCC低減のため塗装が不要となる耐候性鋼が普及
1990年代	高性能鋼の多様化	SMA490W, SM570, SM490Yなど	高強度・高靭性・耐候性・溶接性を兼ね備えた鋼材が主流に
2000年代	高性能鋼の開発	JIS G 3140（橋梁用高降伏点鋼板　SBHS）	降伏点490MPa以上の橋梁用鋼材を規格化
2010年代	国際規格との整合性強化	JIS G 3101 （SS）改正 JIS G 3106 （SM）改正	ISO 630シリーズとの整合性を図る改正が進む
今後	規格の定期見直し・DX対応 グリーンスチール　など	JIS G 3101, G 3106, G 3140など	デジタル設計・維持管理に対応した品質保証体制の強化

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

1.鋼材の種類

JISの種類と記号／橋梁用厚板

名称	JIS	鋼材記号	記号の意味	主な特徴
一般構造用圧延鋼材	JIS G 3101	SS400	Steel Structure 数字：引張強さ下限	一般構造用。溶接性は未配慮。
溶接構造用圧延鋼材	JIS G 3106	SM400, SM490, SM520, SM570	Steel Marine 数字：引張強さ下限	溶接性に配慮。造船分野から発展。
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	JIS G 3114	SMA400W, SMA490W, SMA570W	Steel Marine Atmospheric 数字：引張強さ下限	溶接性に配慮した耐候性鋼材。Wは裸仕様(⇒P：塗装用)。
橋梁用高降伏点鋼板	JIS G 3140	SBHS400, SBHS500, SBHS700	Steels for Bridge High-performance Structure 数字：降伏強度下限	橋梁用鋼板。高強度・高じん性・優れた溶接性。予熱省略・低減が可能。Wは裸仕様。

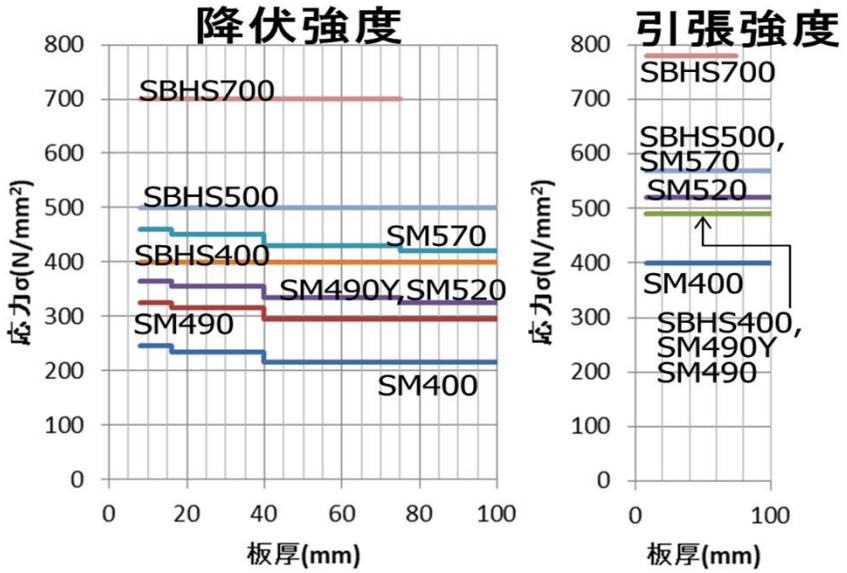
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

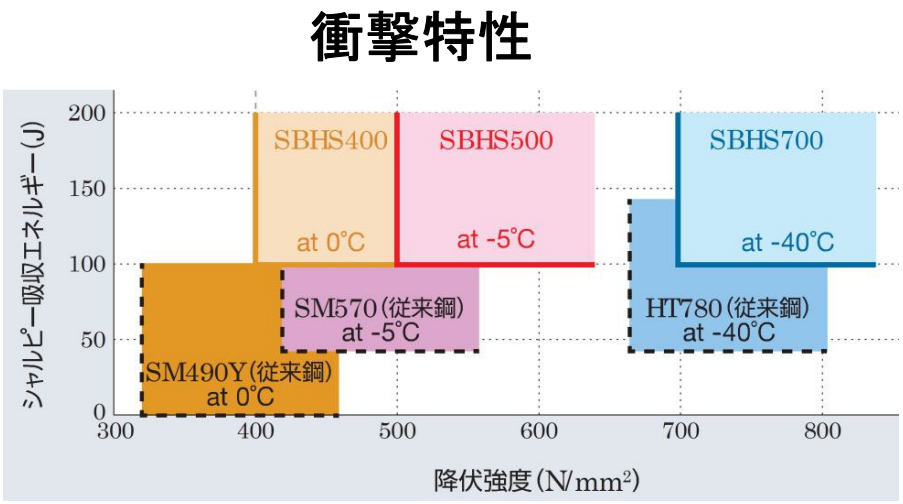
1.鋼材の種類

JIS規定の比較／橋梁用厚板

橋梁用鋼材の比較

	SS	SM	SMA-W	SBHS-(W)
引張強度	降伏点または耐力，引張強さ，伸びの規定			
シャルピー 吸収エネルギー	規定なし	A：規定なし B：27J以上(0℃) C：47J以上(0℃) [SM570は47J以上(-5℃)]		100J以上 0℃：SBHS400 -5℃：SBHS500 -40℃：SBHS700
化学成分	有害元素	5元素	5元素 ＋耐候性	5元素+P_{CM} (+耐候性)





©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

鋼材の高性能化技術

鋼材の高強度化(強化機構)
- 固溶強化(C, Si, Mn, Cu, Ni ,etc)
- 析出強化(Mo, V, Nb, Ti ,etc)
- 加工硬化(塑性変形)
- 結晶粒微細化

トレードオフ

強度以外の要求
- 変形性能(伸び)
- 破壊じん性
- 加工性(溶接性)　など

成分設計:様々な添加元素の効果を引き出す
組織制御:熱処理・加工方向による組織の大きさの制御

製鋼工程(転炉):不純物除去，成分の制御の高度化
圧延工程:結晶組織の制御の高度化(圧延，冷却温度)

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

添加元素の影響

鋼の主要5元素

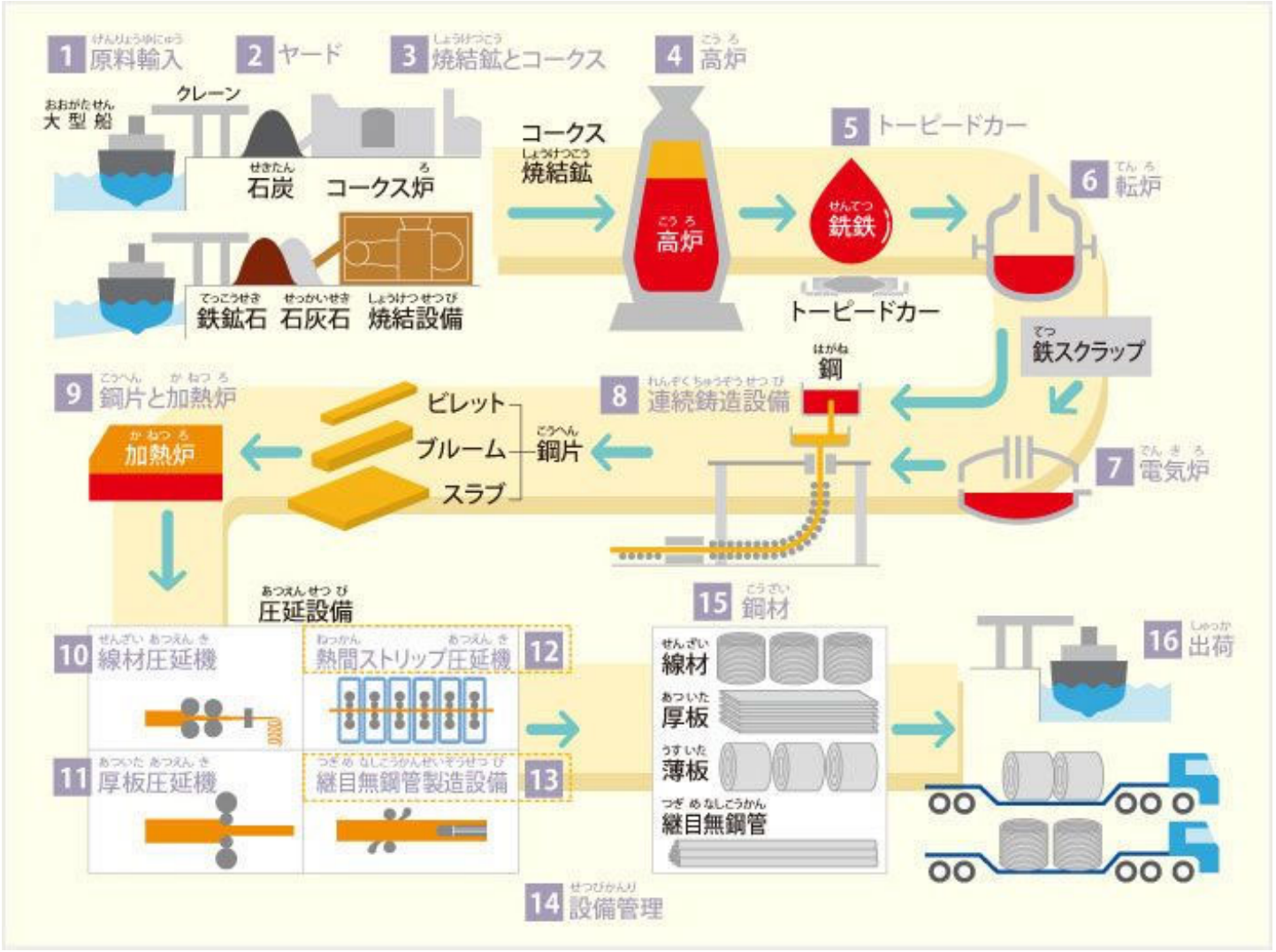
元素	利点	欠点
炭素(C)	鋼の強度を上げる	延性(伸び等)と衝撃特性を損なう．溶接性を悪くする
ケイ素(Si)	鋼の強度を上げる 脱酸作用がある	多量(0.5%以上)に添加すると，衝撃特性や延性が低下する．
マンガン(Mn)	鋼の強度，延性，衝撃特性を上げる 脱酸作用がある 硫黄の悪影響を抑える	多量(1.6%以上)に添加すると，衝撃特性や延性が低下する
リン(P)	多量(0.07%以上)の添加で鋼材の耐候性を高める	溶接性，冷間加工性，衝撃特性を劣化させる 偏析しやすく，悪影響が大きい
硫黄(S)	切削性を良くする (機械構造用鋼)	MnS系の非金属介在物を形成し，衝撃特性や板厚保方向の絞り特性を劣化させる

C,Si,Mn：必要な強度や衝撃特性を確保するために添加
P,S：不純物であり，通常用途では低い方がよい
→求められる特性に応じて，これ以外の元素も添加される(成分設計)

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

鋼材ができるまで(製鉄工程)



高炉材:
製銑→製鋼
→鋳造→圧延
の流れで製造されている

製品

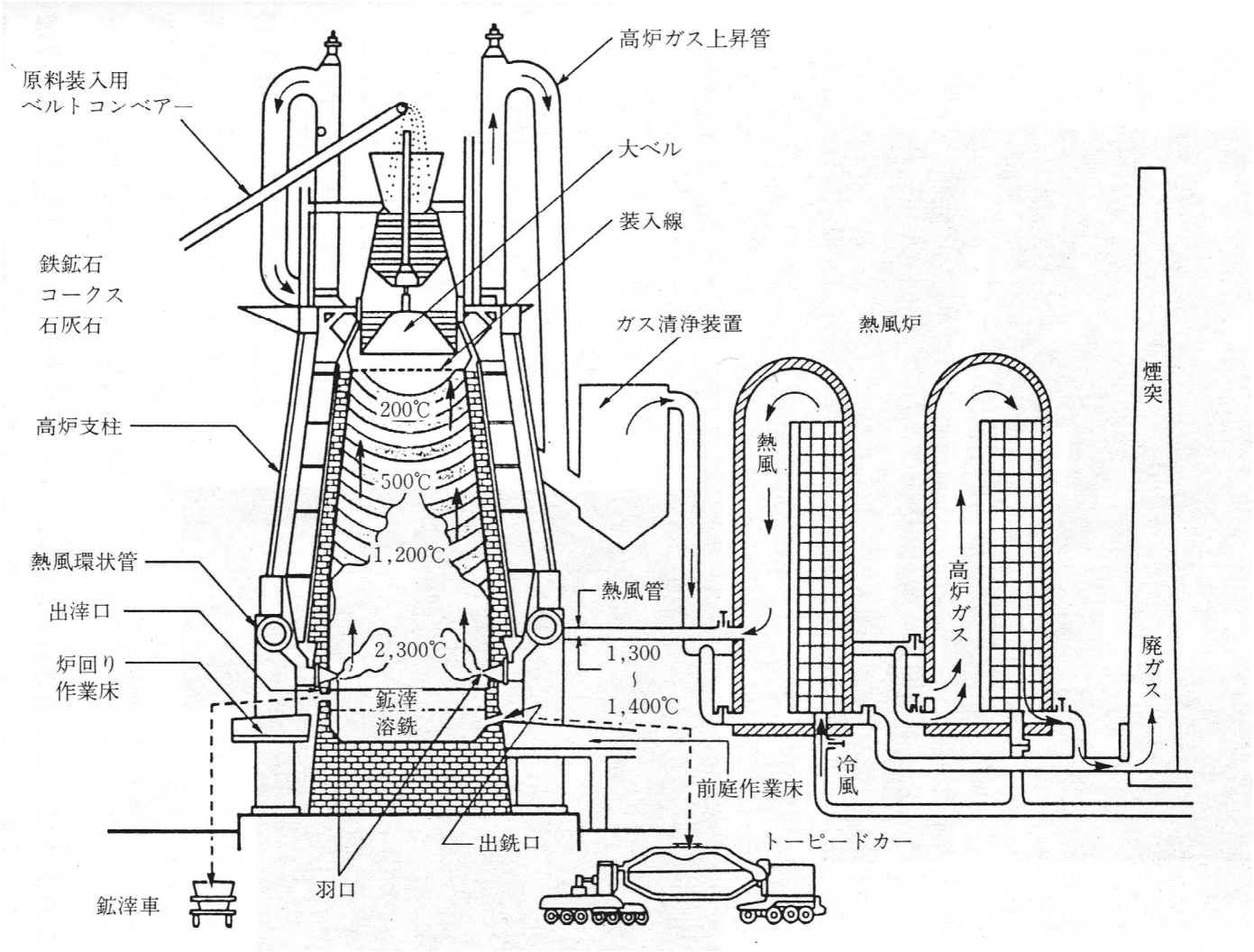
- 厚板
- 形鋼
- 棒線
- 鋼管　etc.

<(一社)日本鉄鋼連盟HP(https://www.jisf.or.jp/kids/shiraberu/index.html)
(2025.10.27確認) より転載>

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

高炉による製鉄工程の概要



橋本篤秀監修(1993)：建築構造用鋼材の知識，鋼構造出版　より転載

原料の準備
鉄鉱石・コークス・石灰石を準備

高炉への装入
原料を高炉上部から層状に装入

熱風の供給
高炉下部から高温の空気を送る

還元と溶融
酸化鉄を還元し、鉄を溶融

銑鉄とスラグの排出
炉底から銑鉄とスラグを抜き出す

副産物の処理
高炉ガスを回収・再利用

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

製鋼工程(成分調整)のフロー

高炉での製銑

運搬
(溶銑予備処理)

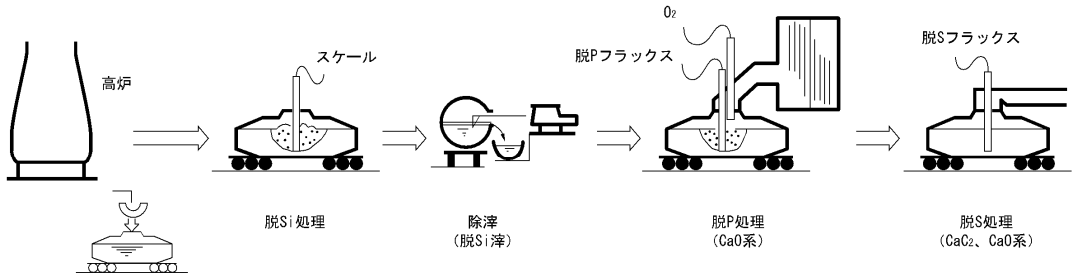
転炉による精錬

運搬

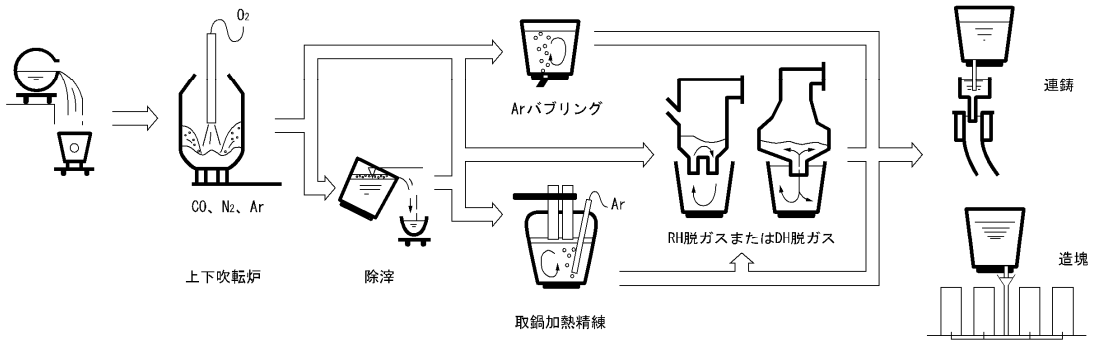
二次精錬
(真空脱ガス装置)

運搬

連続鋳造



溶銑予備処理工程の一例



溶鋼処理工程の一例

(株)神戸製鋼所HP：厚板の知識［https://www.kobelco.co.jp/products/steel-aluminum/plate/］ より転載
(2025.10.27確認)

溶銑予備処理、転炉での不純物除去の高度化に加え、二次精錬による高純度化が進展。連続鋳造化により内部品質も安定化。

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

精錬(製鋼)方法の変遷

	製鋼法	主な特徴・利点	欠点・限界点
1856年頃	**ベッセマー法**	空気を吹き込んで炭素を除去。大量生産が可能でコストが安い。	リン・硫黄の除去が困難。炭素量の調整が難しい。
1878年頃	**トーマス法**	ベッセマー法の改良版。石灰を使ってリンを除去可能。	硫黄の除去は依然として困難。
1865年頃	**オープンハース法**	鉄スクラップと銑鉄を混ぜて加熱。成分調整がしやすく、品質が安定。	生産に時間がかかり、エネルギー効率が低い。
1950年代以降	**転炉法（LD法）**	酸素を高圧で吹き込む。高速・高効率で不純物除去が容易。	初期設備投資が大きい。
1960年代以降	**連続鋳造法**	生産効率の向上と内部品質の安定。	設備投資が大きく、制御が難しい.

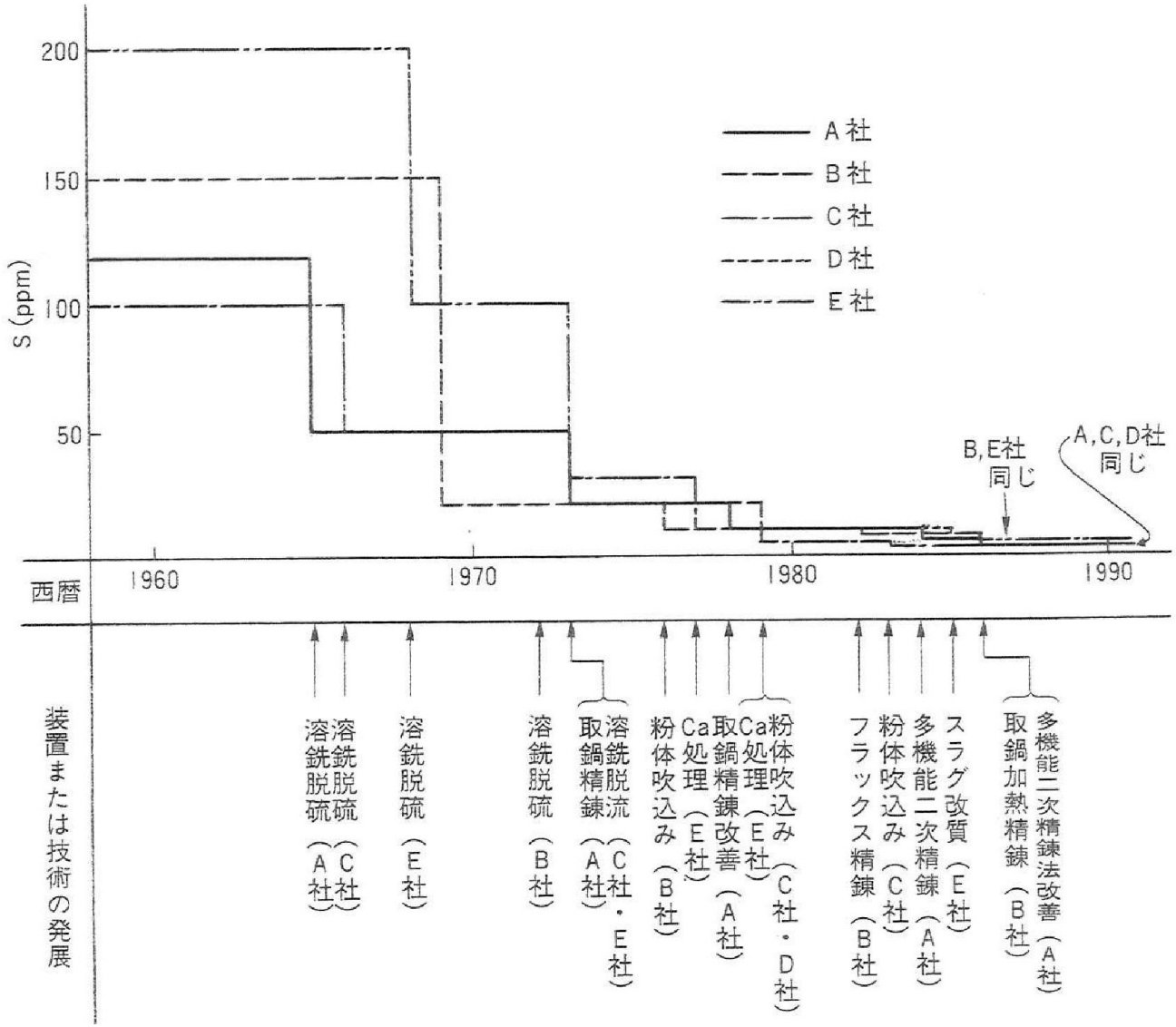
化学成分の分析

ミルシートに記載される成分値の基準となるのは「レードル分析（ladle analysis）」.
製鋼工程中にラドル（取鍋）から採取した溶融鋼のサンプルを用いて行う.

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

鋼材の清浄化の例(S量の変遷)



製鋼技術の進展により、1970年代後半以降、S値は大幅に低減されている。

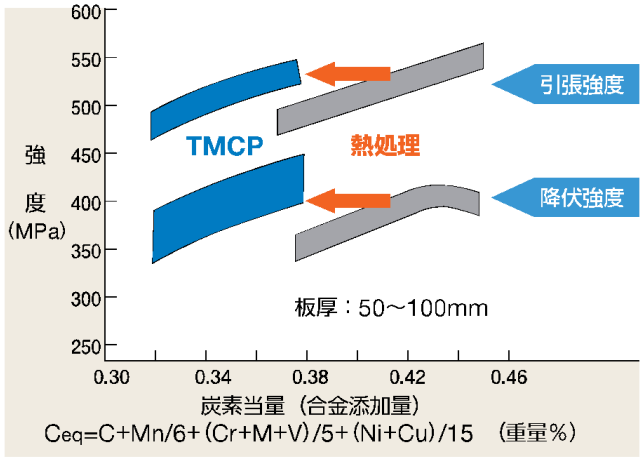
梶岡博幸(1997):取鍋精錬法—多品種・高品質鋼　量産化への挑戦—,地人書館　より転載

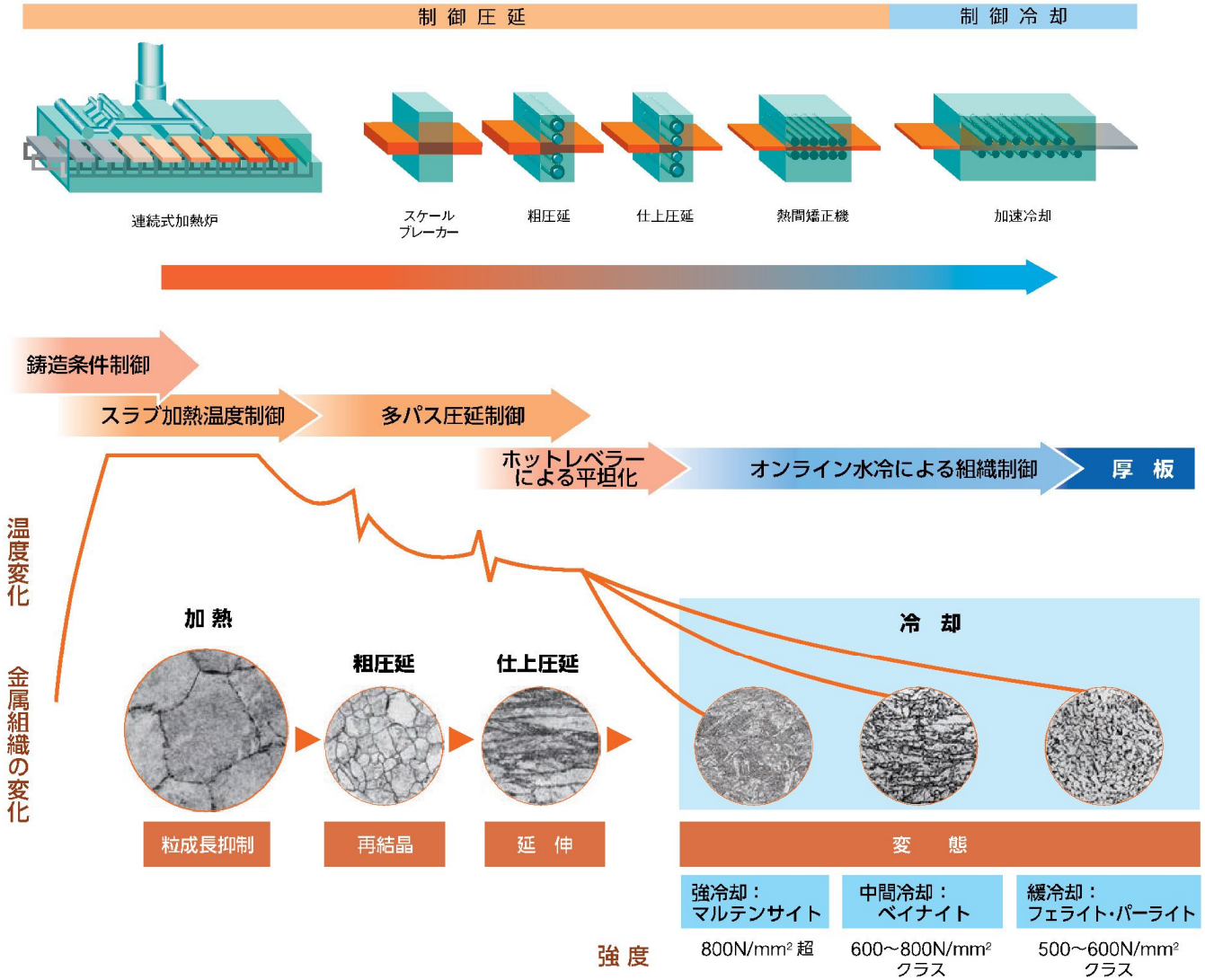
©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

鋼材の圧延(組織の制御)

- TMCP
  (Thermo Mechanical Control Process)





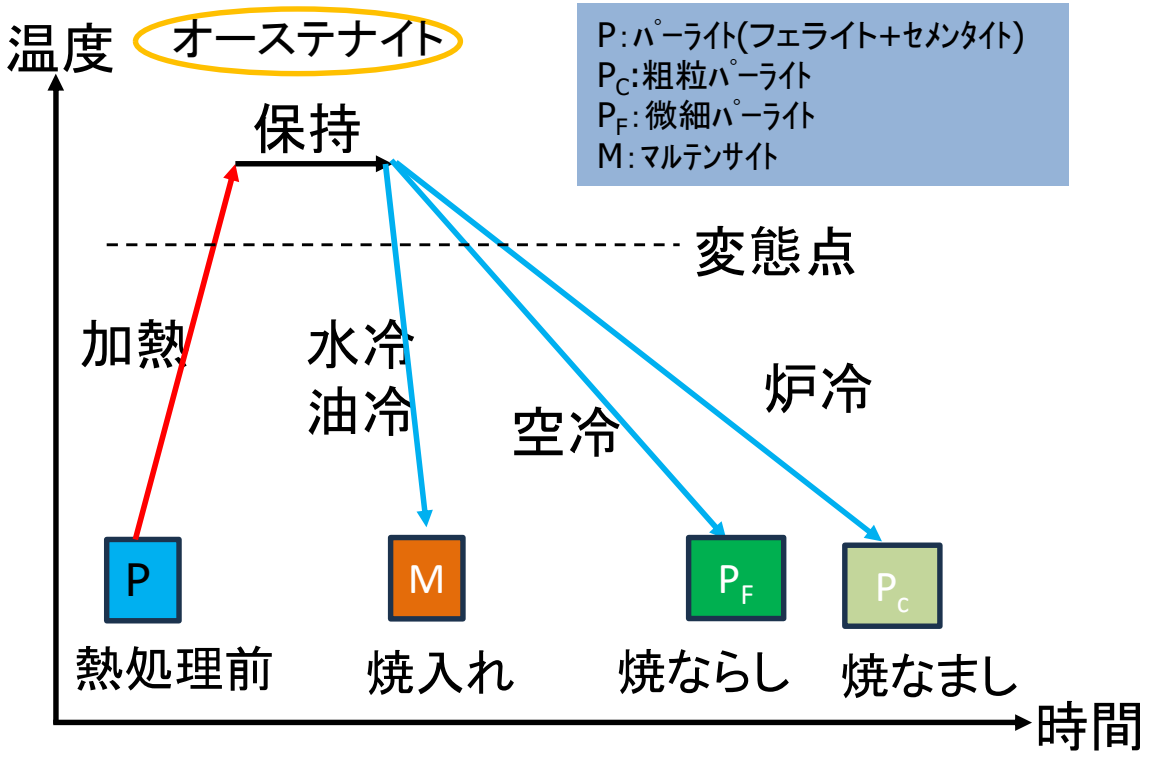
日本製鉄(株)(2025)：厚板／総合カタログ(A001)　より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

熱処理(組織の制御)

- 熱処理

金属材料を加熱したり冷却したりすると、内部構造（組織）に変化が起こり、機械性質が著しく変わることを利用して、金属材料を硬くしたり、柔らかくしたりする方法



熱処理のイメージ

- 組織の制御

冷却速度によって熱処理後の組織が変化する

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

2.鋼材の製造方法

熱処理に対するJIS

JIG G 3106 (SM)／ 熱処理の記号

鋼材に熱処理を行った場合，熱処理を示す記号は，次による。
なお，熱処理の記号を付記する場合は，種類の記号の末尾に付記する。

a) 協定によって，焼ならしを行う場合 N
b) 協定によって，焼戻しを行う場合 T
c) 焼入焼戻しを行う場合 Q
d) 協定によって，鋼材に熱加工制御を行う場合 TMC
e) 協定によって，鋼材に適切な熱処理を行う場合 協定による

例 SM490CN，SM570TMC

JIG G 3140 (SBHS)／熱処理の記号

熱加工制御によって製造した鋼板には，熱処理の記号は付記しない。熱加工制御以外の熱処理を行った場合は，表1の種類の記号の末尾に次の記号を付記する。

a) 鋼板に焼入焼戻しを行う場合 Q
b) 鋼板にその他（熱加工制御及び焼入焼戻し以外）の熱処理を行う場合 受渡当事者間の協定による

例 SBHS500 ：SBHS500 の鋼板を熱加工制御によって製造した場合
SBHS700WQ：SBHS700Wの鋼板を焼入焼戻しによって製造した場合

★鋼種によって熱処理の記号が付く、付かないの違いがあるので注意！

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

鋼材の基本特性（強度，粘り強さ）

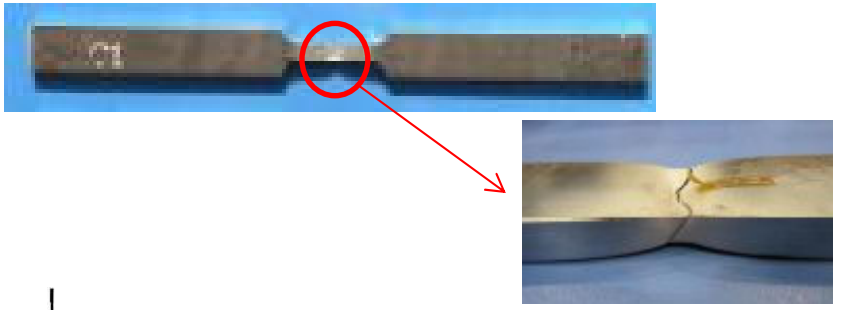
- 降伏強度、耐力
- 延性（伸び）
- 破壊じん性

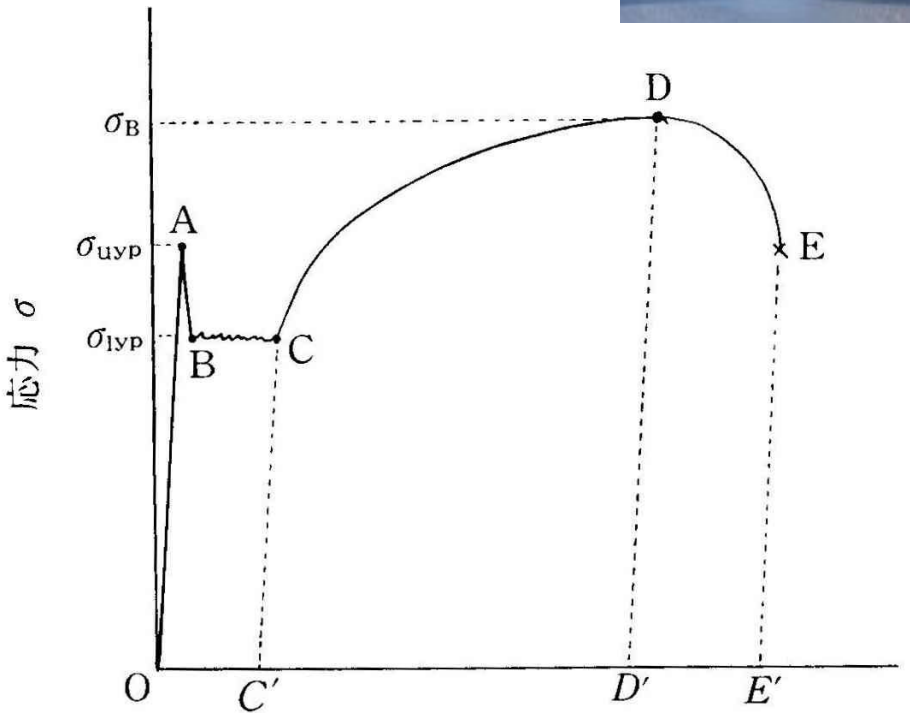
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

引張試験(強度，伸び)

JIS Z 2241　金属材料引張試験方法

- O～A：弾性域（傾き：ヤング率）
- A:上降伏点（σ_{yu}）
- B:下降伏点（σ_{yl}）
- B～C：降伏棚
- C～D：歪硬化域
- D:引張強さ（耐力）（σ_B）
- D～E：くびれ進行
- E：破断





©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

引張試験の注意点（1）

降伏点，耐力（⇒降伏強度）の定義[JIS G 0202]

降伏点,降伏応力

引張試験の過程中において生じる上降伏点及び下降伏点の総称。紛らわしくないときには、上降伏点を単に降伏点と呼ぶことがある。

上降伏点（かみこうふくてん）,上降伏応力

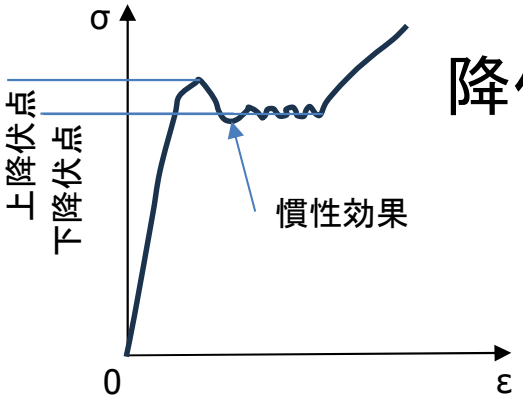
最初に試験力の減少が観察されるより前の応力の最大値

下降伏点（しもこうふくてん）,下降伏応力

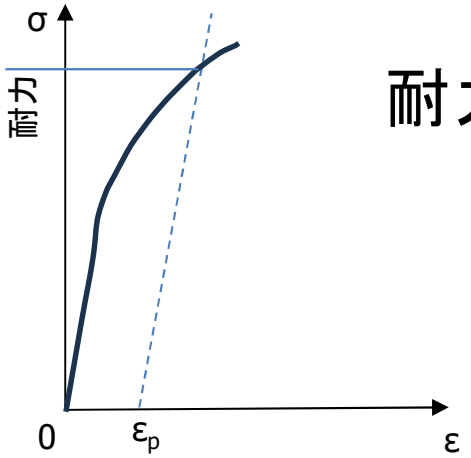
初期の過渡的影響（慣性効果）を無視した，塑性降伏する間の応力の最小値

耐力

引張試験において，規定された伸びを生じるときの試験力を平行部の原断面積で除した値。降伏点が明瞭でない材料では，その代わりに耐力が用いられる。JISでは，特に規定のない場合には，塑性伸びの値を0.2 %とする。



降伏点



耐力

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

引張試験の注意点（2）

載荷速度の規定[JIS Z 2241]

弾性域（降伏点まで）

・**応力増加速度**：3～30 MPa/s

→ 弾性域では、応力がこの範囲で増加するようにクロスヘッド速度を設定。

塑性域（降伏点以降）

・**ひずみ速度**：0.0003～0.008 s^{-1}（= 0.03～0.8 %/s）

→ 降伏後は、ひずみ速度がこの範囲に収まるように制御。

★強度や伸びの測定値に影響を与えないために、載荷速度が規定されている

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

引張試験の注意点（3）

試験片採取位置[JIS G 3106（SM),JIS G 3140(SBHS)]

・引張試験片

L,C方向：指定なし

幅方向：W/4位置

（取れない場合はできるだけ近くから）

板厚方向：全厚でない場合はt/4位置

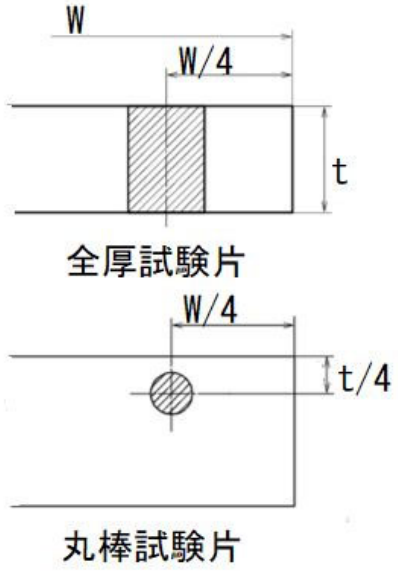
・衝撃試験片

L,C方向：L方向(SM),C方向(SBHS)

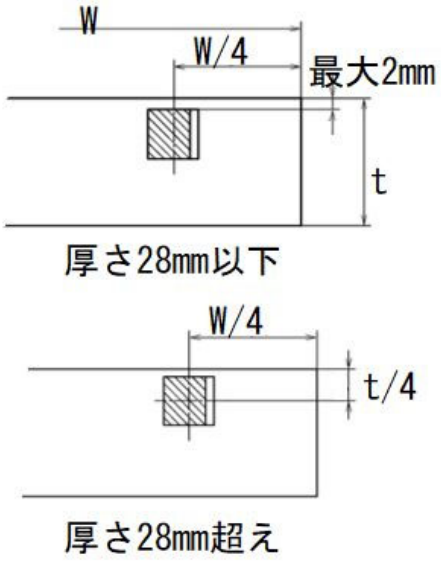
幅方向：W/4位置

（取れない場合はできるだけ近くから）

板厚方向：厚さ28mm超え　t/4位置



引張試験片



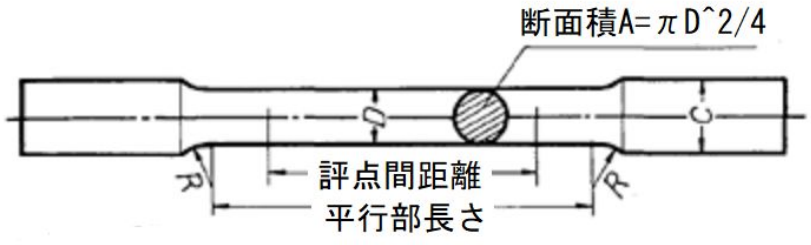
衝撃試験片

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

引張試験の注意点(4)

試験片形状の影響

引張試験片の形状寸法が引張特性に与える影響は,引張強さならびに耐力については小さく,伸び率に対して顕著と考えてよい。

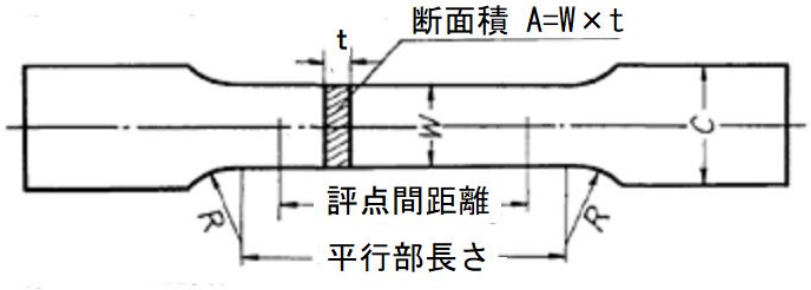


丸棒試験片

伸び

最後のネッキングによる伸びは試験片により異なる(一様伸びはほぼ同じ)

⇒試験片形状の影響が大きい



板状(全厚)試験片

伸びに対する規定の例(SBHS500)

種類の記号	厚さ	試験片	伸び(%)
SBHS500 SBHS500W	6以上 16以下	5号	19以上
	16を超えるもの	5号	26以上
	20を超えるもの	4号	20以上

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

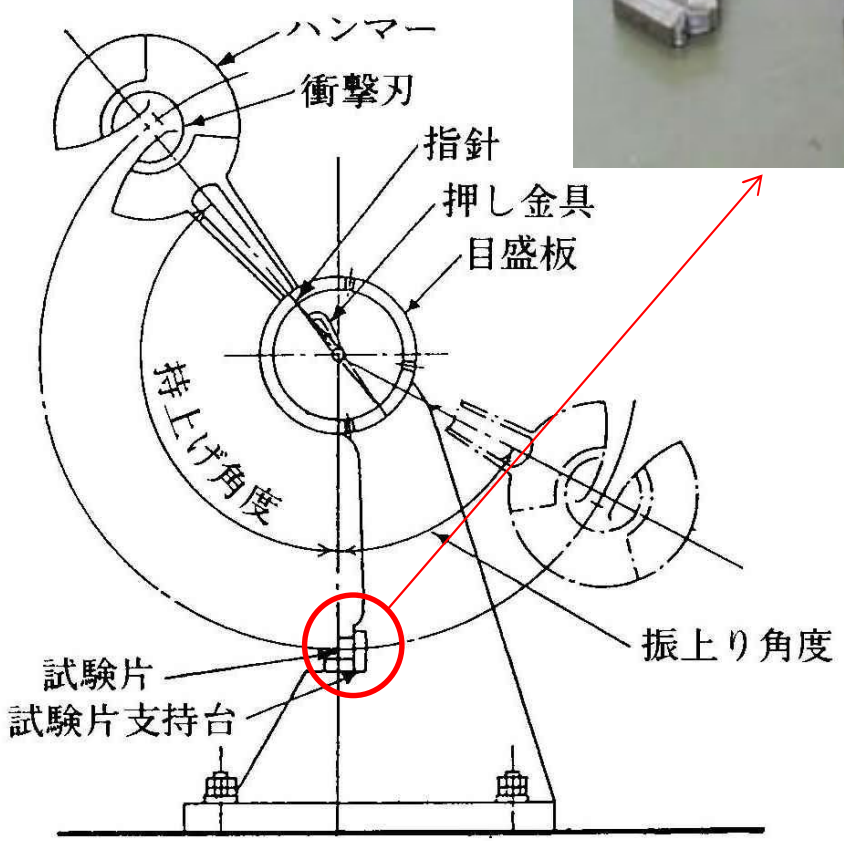
シャルピー試験(衝撃特性)

JIS Z 2242　金属材料のシャルピー衝撃試験方法

振り子型になったハンマーで試験片を破壊し、破断に要したエネルギーからその 材料の衝撃値を求める。衝撃値の大きいものほど粘り強い。

★脆性破壊防止に対する経験的な指標としてシャルピー衝撃試験が用いられている





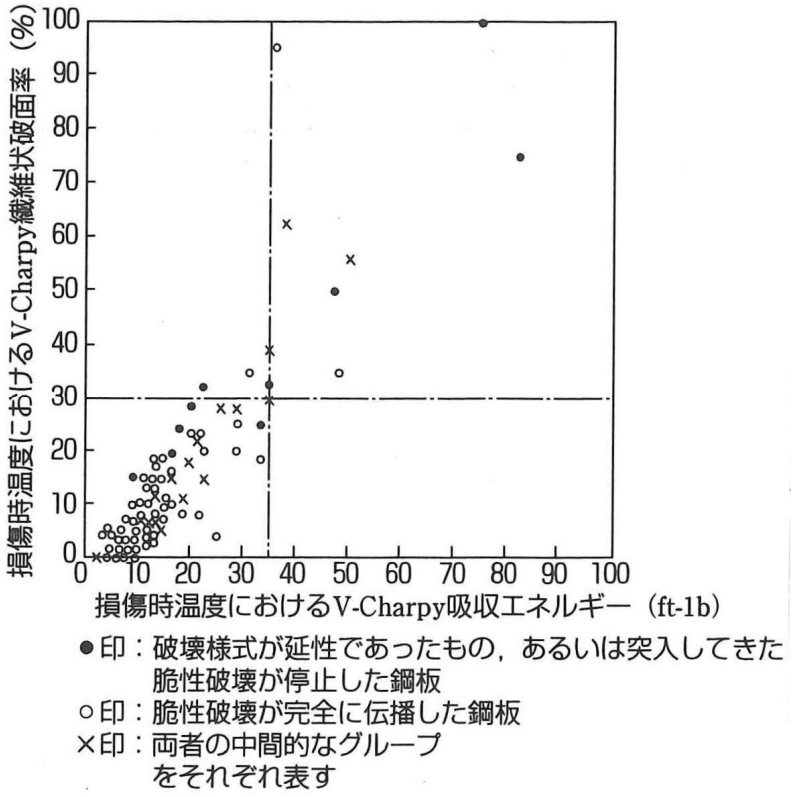
©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

シャルピー試験の要求値設定の背景

第二次大戦後の米国での戦時標準船(溶接船)の破壊事故をきっかけにした、米国船体構造委員会、英国の船級協会の調査結果を参考に吸収エネルギーの値が決められている.

・米国の調査:シャルピー吸収エネルギーが 13～27 J以上必要

・英国の調査:脆性破壊の防止には，使用温度におけるシャルピー吸収エネルギーが平均で47J(35ft-lb)以上



英国での破壊事故調査結果

大田・深沢(2000)：橋と鋼，建設図書　より転載

★シャルピー吸収エネルギーの要求値(27J,47J)は経験的な判定値

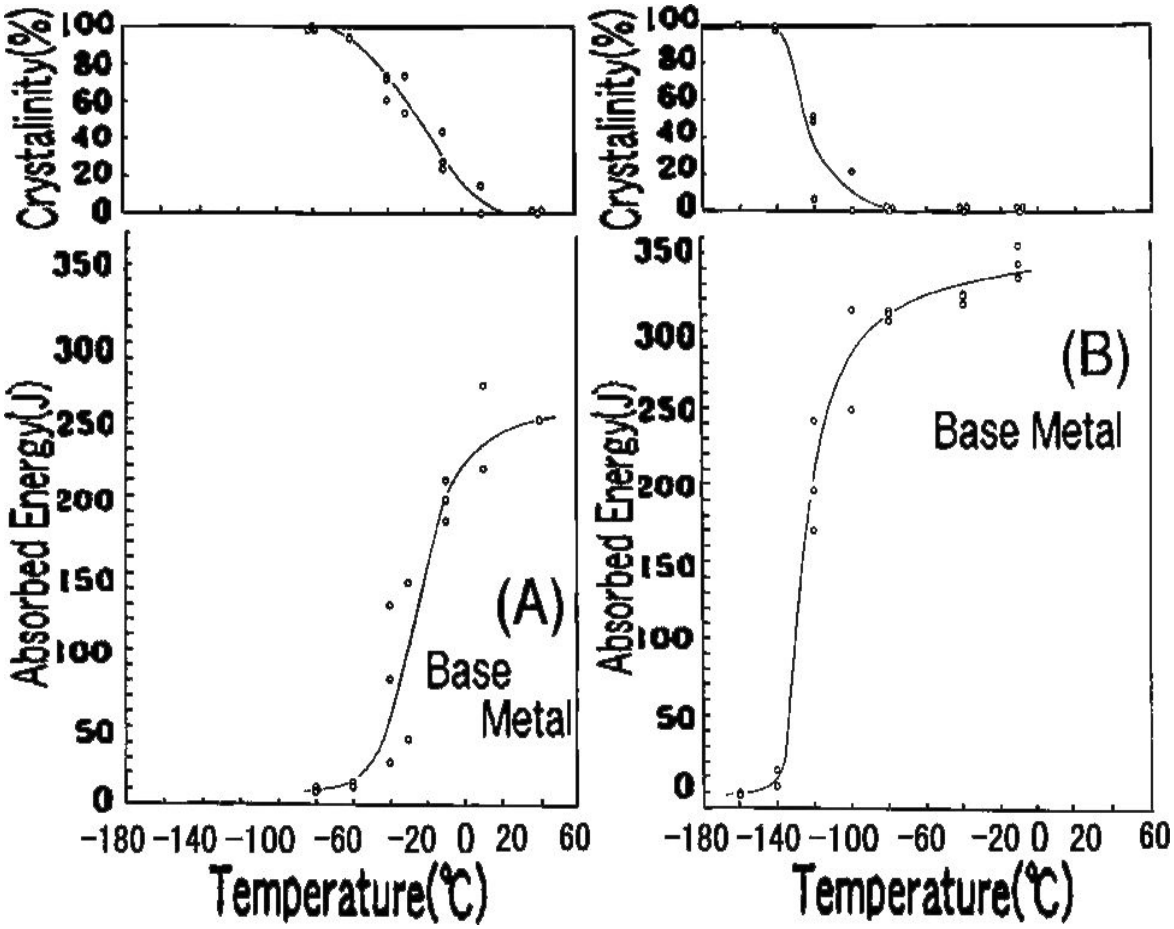
©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

シャルピー試験結果の例

- 横軸：試験温度（℃）
- 縦軸（１）：ぜい性破面率
- 縦軸（２）：吸収ｴﾈﾙｷﾞｰ

- 上部棚と下部棚
- 遷移温度

SM(JIS G 3106)の場合
A:保証なし，B:27J，C:47J
(例：SM490YB
/0℃で27J以上保証)



©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

シャルピー衝撃試験の注意点

★シャルピー吸収エネルギーは，3個の試験片の平均値

[JIS G 3106(SM),JIS G 3140(SBHS)]

→切り欠き先端の局所的な影響(介在物等)を受けやすい

→個々の試験片の値の一つは，規定値以下でもよいが，規定値の70％以上でなければならない。[JIS G 0404]

例)平均47J以上→個々は33J以上でOK（3つのうち1つのみ）

★試験片採取方向：L,C方向で差が出る場合がある(一般にLの方が高い)ため，採取位置の指定あり

SM：L方向，SBHS：C方向

→SBHSは弱い方向で性能保証しているため、板取りで主たる応力の方向をL方向にする必要がない[道路橋示方書]

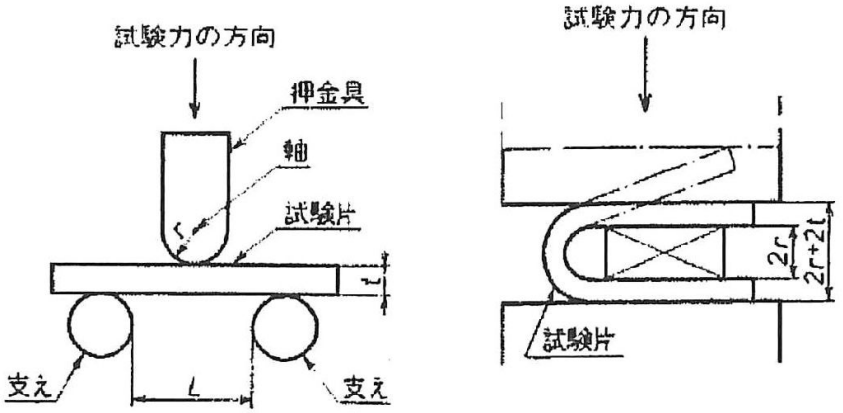
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

その他の試験(曲げ試験、硬さ試験)

鋼材の内部欠陥の有無や強度を調べる目的で、曲げ試験、硬さ試験が実施される場合がある.(溶接部の欠陥の有無や、鋼材の強度の調査などで実施されることが多い)

曲げ試験

内部にき裂などの欠陥がないか確かめる



(a) 押曲げ　　(b) 180° 曲げ

金属材料曲げ試験(JIS Z 2248)

試験片を規定の内側半径で規定の角度になるまで曲げ、わん曲部の外側の裂け傷,その他の欠陥の有無を調べる

硬さ試験

金属表面の硬さ(≒強度)を調べる

押し込み硬さ試験と呼ばれる、硬球や圧子を押し付けて出来た窪みの形状から硬さが計算される



ビッカース硬さ試験(JIS Z 2244)

押し込み試験:ビッカース硬さ(HV), ブリネル硬さ(HBW), ロックウェル硬さ(HRCなど), ヌープ硬さ(HK)
その他:ショア硬さ(HS) など

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

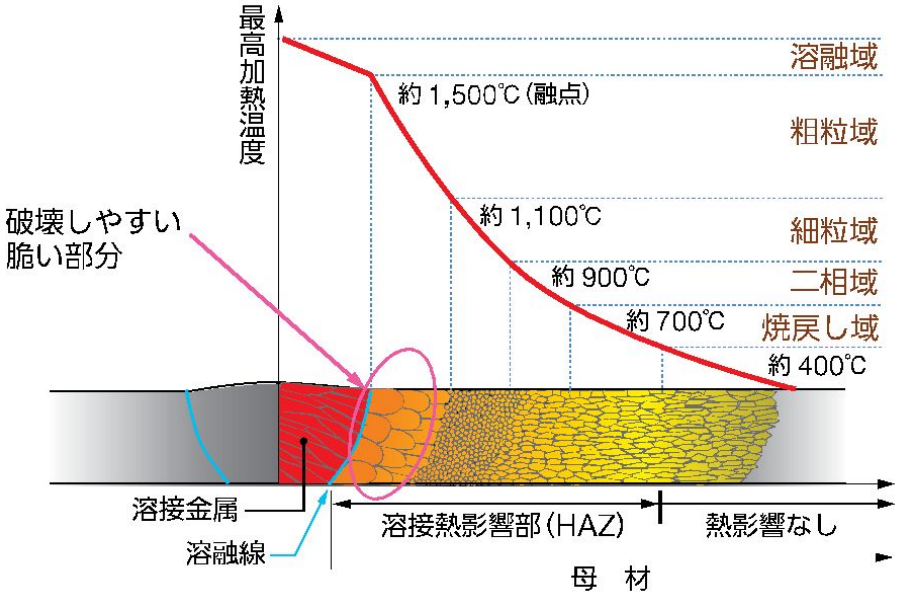
鋼材の基本特性(製作性)

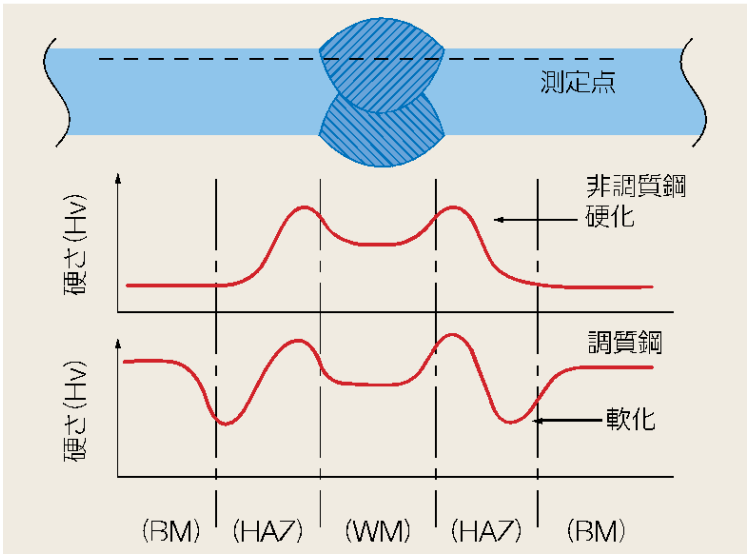
- 溶接性(予熱、大入熱)

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

3.鋼材の特性と試験方法

溶接継手と熱影響部(HAZ)





日本製鉄(株)(2025)：厚板／総合カタログ(A001)　より転載

- 硬さ（割れ，強度低下）
- 溶接熱影響部(HAZ)じん性　(じん性低下)

→一般的な鋼材に対しては、溶接時の入熱量を制限

→大きな溶接入熱による組織の粗大化を抑制する鋼材(大入熱溶接対策鋼)も開発されている。

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

3.鋼材の特性と試験方法

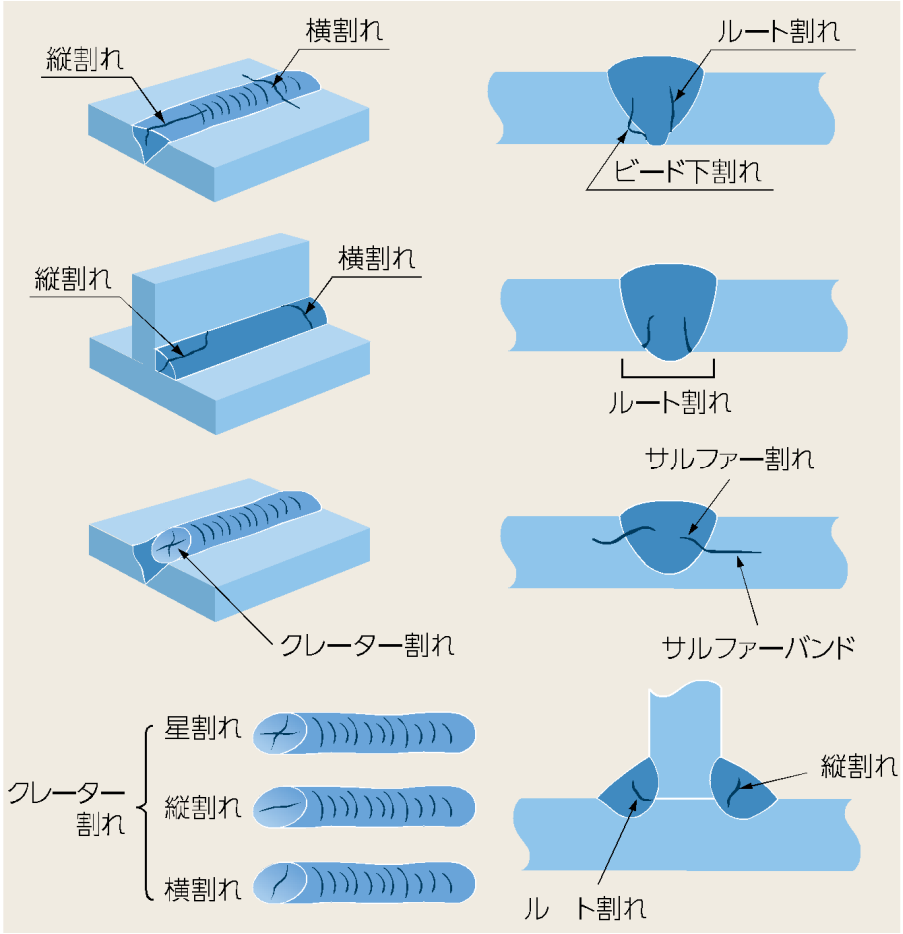
溶接割れ

- 高温割れ：融点近傍
- 低温割れ：室温近傍に冷却後(数日後に割れることも)

割れの防止は溶接施工において重要な問題

→予熱による割れ防止対策が一般的

→溶接割れが防止でき、効率的な施工ができる鋼材が求められる.



日本製鉄(株)(2025)：厚板／総合カタログ(A001)　より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

低温割れの防止 $-P_{CM}$による判断

予熱温度算定式Tp(℃)=1440P_w－392

$P_w=P_{CM}+(H_{GL}/60)+(K/400{,}000)$

P_{CM}:溶接割れ感受性組成

(P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B （%))

H_{GL}:溶接金属の拡散性水素量

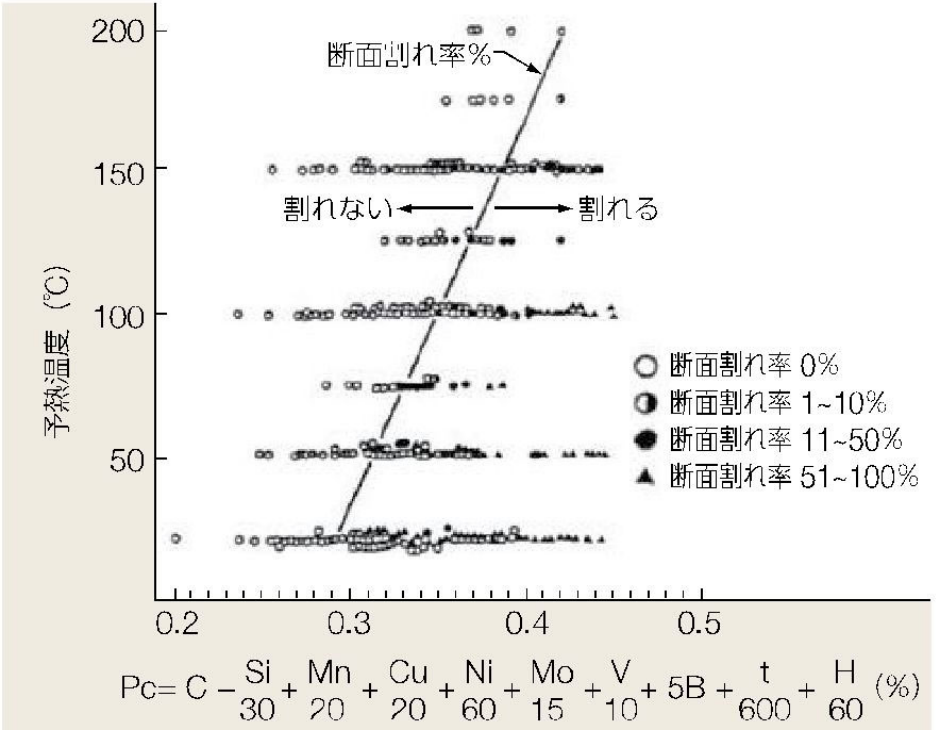
(低水素被覆アーク溶接の場合 2ml/100g,

サブマージアーク溶接及びガスシールドアーク溶接の場合 1ml/100g)

K:溶接継手の拘束度

(K=200t N/mm･mm:t=板厚,ただし,t＞50mmのときはt＝50)

★P_{CM}(成分のパラメータ)の低減により，予熱温度の低減が可能



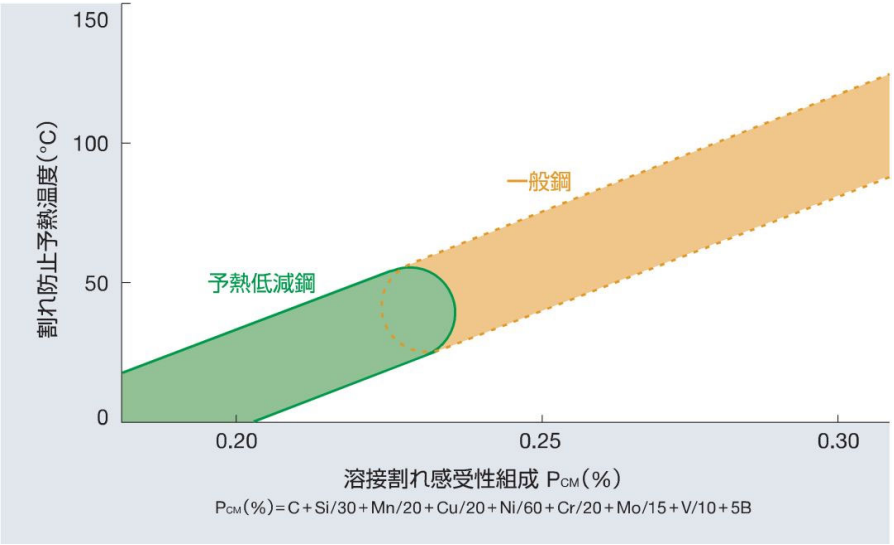
y型拘束割れ試験による低温割れの発生限界

日本製鉄(株)(2025)：厚板／総合カタログ(A001) より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

3.鋼材の特性と試験方法

予熱低減鋼



(道路橋示方書)

P_{CM}に基づく溶接施工時の予熱温度の標準が示されている

低P_{CM}鋼材の使用で予熱温度の省略・低減が可能

鋼種	区分	板厚区分(mm)			
		t≦25	25<t≦40	40<t≦50	50<t≦100
SM400 SMA400W	標準P_{CM}(予熱温度)	0.24(予熱なし)		0.24(50°C)	
	予熱なしとなるP_{CM}	—		0.22	
SM490 SM490Y	標準P_{CM}(予熱温度)	0.24(予熱なし)	0.26(50°C)	0.26(80°C)	0.27(80°C)
	予熱なしとなるP_{CM}	—	0.24	0.22	
SM520C SM570 SMA490W	標準P_{CM}(予熱温度)	0.26(予熱なし)	0.27(80°C)		0.29(100°C)
	予熱なしとなるP_{CM}	—	0.24	0.22	

標準P_{CM},予熱温度の標準:(「日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅱ.鋼橋編 平成24年3月版」より)

(一社)日本鉄鋼連盟(2025):高性能鋼の概要(橋梁向け) より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

鋼材の基本特性(耐久性)

- 疲労強度
- 耐食性(防食法)

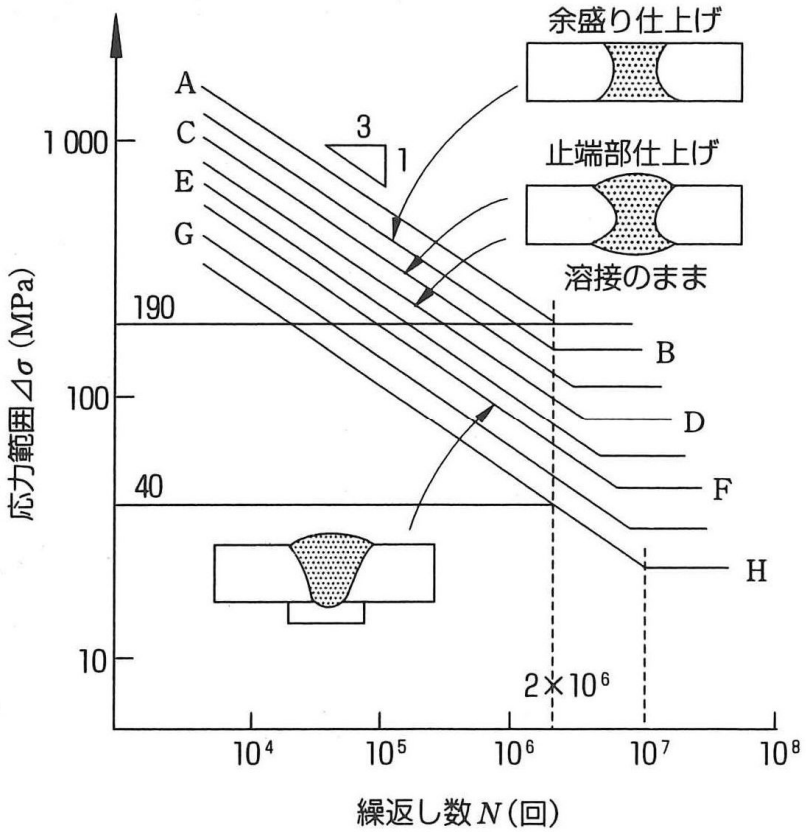
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

鋼材の疲労強度

疲労破壊：静的な引張強さよりも低い応力でも、繰り返し荷重によって破壊が起こる現象．鉄鋼材料では、ある応力以下では破壊が起こらない限界値（疲労限度）が存在する．

S–N線図（応力-繰返し数線図）：応力の振幅Sと疲労破壊するまでの繰り返し数Nの関係．代表的な構造ディテールについてデータが整理されている

[JSSC疲労設計指針]



大田・深沢(2000)：橋と鋼，建設図書　より転載

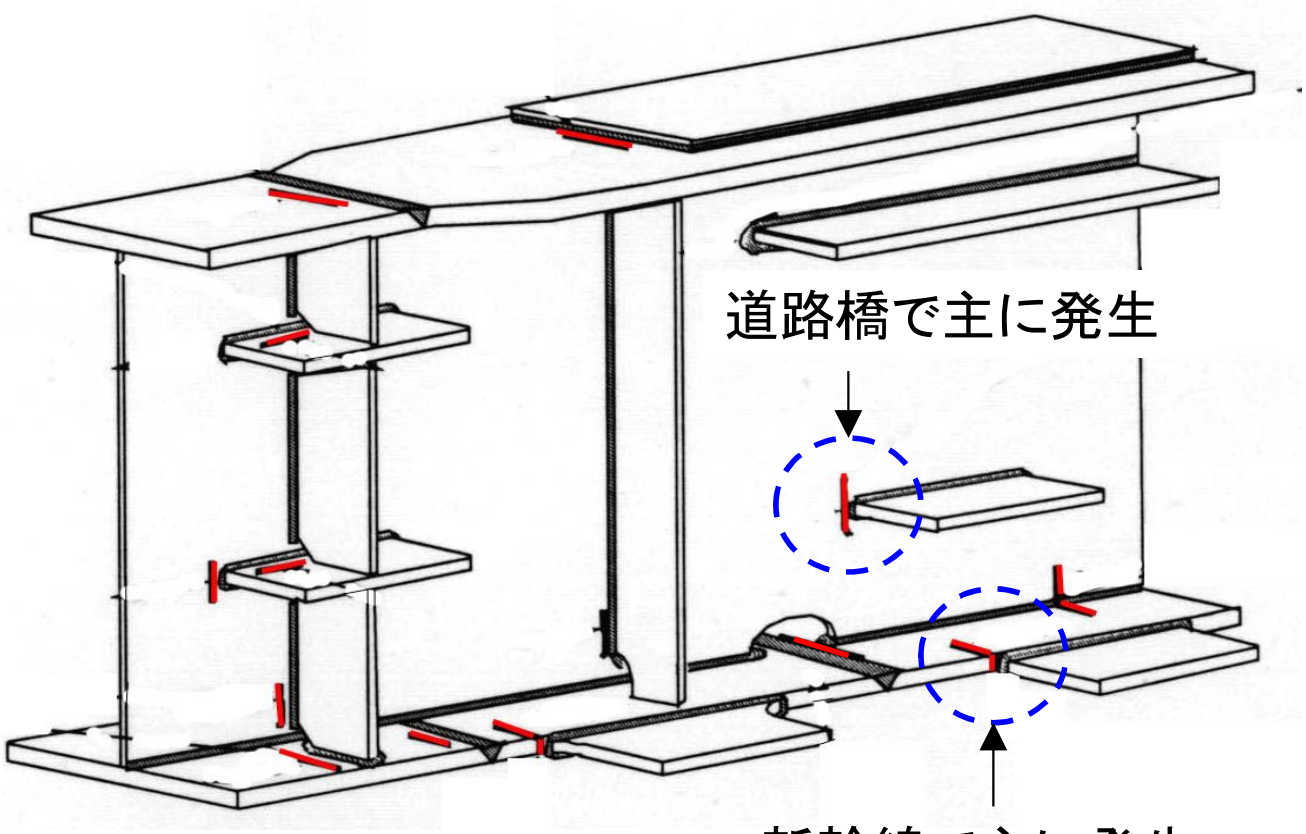
©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

鋼橋の疲労損傷

活荷重による応力振幅が大きく，応力集中が起きやすい部位(溶接部)に疲労き裂が発生

→溶接継手の疲労強度は鋼種(強度の高低)によらない

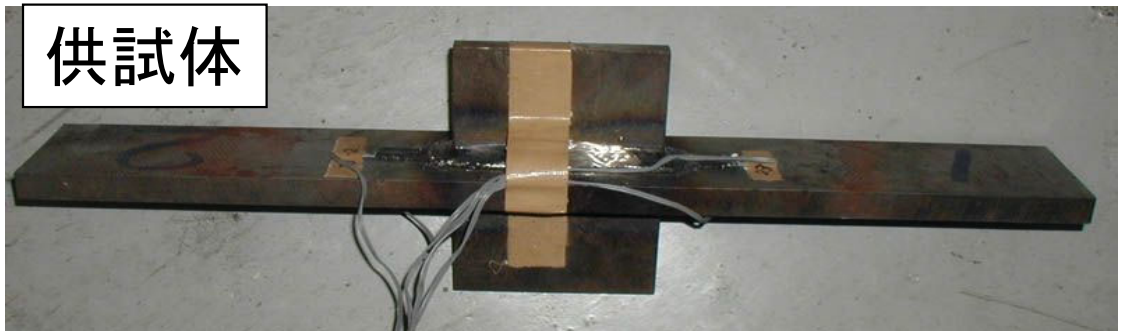
高強度鋼ほど、活荷重による応力振幅が大きくなるため，疲労強度上は不利になる。



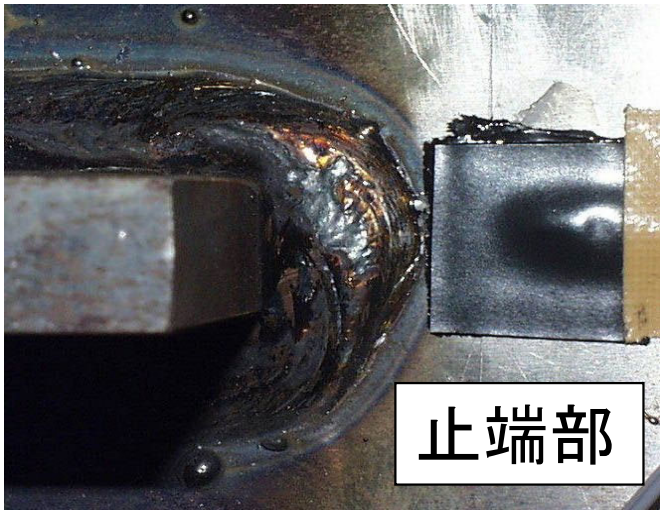
鋼桁の疲労損傷部位

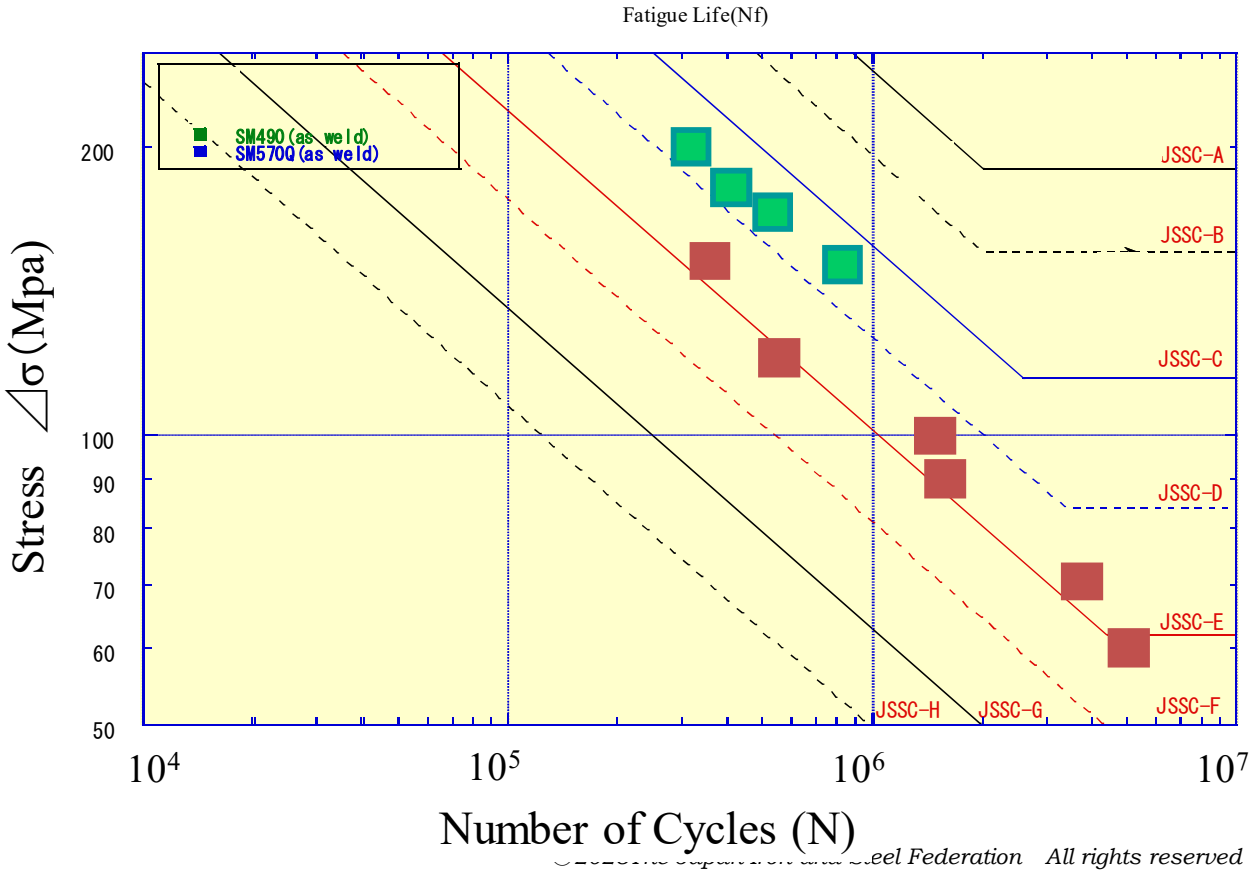
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

疲労試験結果例（S-N線図）



面外ガセット継手の
小型疲労試験の例

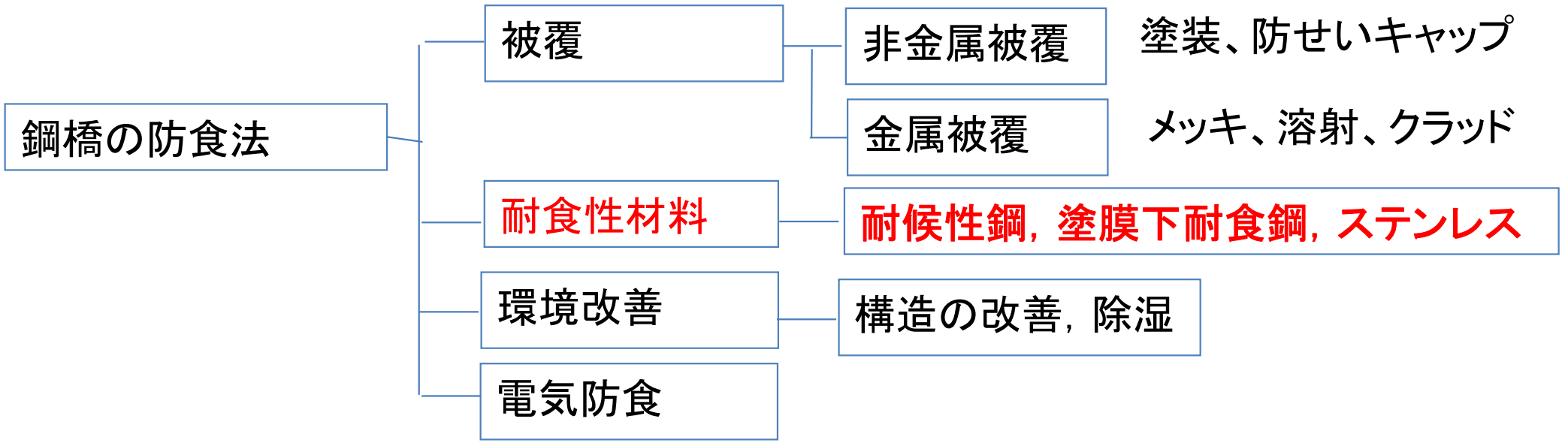




©2020 Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

3.鋼材の特性と試験方法

防食（耐食鋼）



★耐食鋼の(材料としての)耐食性能

→添加元素の量を保証することにより、耐食性を担保

→期待する性能を発揮できるかどうかは、適用環境、排水条件などに留意

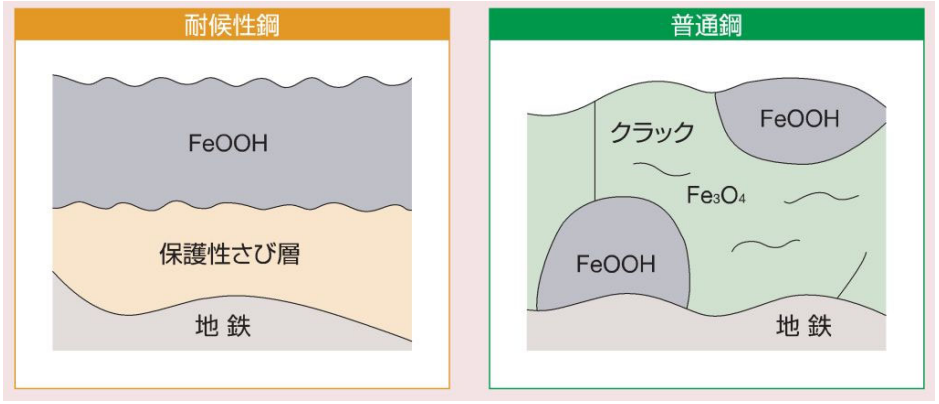
(適用環境の見極め（どこにでも使えるわけではない）、構造詳細への配慮が重要)

★(新技術)塗装の塗替え間隔を延ばす機能を有する耐食鋼(塗膜下耐食鋼)の実用化

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

3.鋼材の特性と試験方法

耐候性鋼の耐食性



(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け)　より転載

耐候性鋼の防食メカニズム

Cu,Cr,Niなどを添加することにより，緻密なさびを生成し，鋼材表面を保護する

→腐食速度を大幅に抑制

20世紀初頭からの米国、英国での大規模、かつ系統的な大気暴露試験

・耐候性にはP,Cu,Crなどの元素が最も効果的

・Ni,Mo,Al,V,Tiなども助長効果

→1933年にCOR-TEN（USスチール)として発売開始

国内：1960年代以降、高温多湿な日本の気候に合わせた耐候性鋼材を研究、開発

→1968年：溶接性に配慮した「JIS G 3114　構造用耐候性熱間圧延鋼材(SMA)」制定

→1993年：「無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(案)」(土木研究所ほか)

★JISでは、Cu,Cr,Niの添加量を規定(その他も必要に応じて添加可)

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

ミルシート（鋼材検査証明書）

★鋼材メーカーが発行する鋼材の品質を証明する書類

ミルシートに記載される主な項目

項目	内容
製造者名	鋼材を製造したメーカー
製品名・品番	鋼材の種類（例：SS400、SM490Yなど）
製造ロット番号	製造されたロットの識別番号
化学成分	炭素（C）、マンガン（Mn）、硫黄（S）などの含有量

ミルシートには決まった書式がない。そのため、鋼材メーカーは独自のフォーマットで作成したミルシートを使用

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

橋梁用高性能鋼

高性能鋼：橋に汎用的に使用されている鋼種と比較して、強度、じん性、溶接性、曲げ加工性、耐腐食性などにおいて、より優れた性能を有する鋼種、鋼材

代表的な高性能鋼

名称	特性	表記例
橋梁用高降伏点鋼板	優れた諸特性を有する高性能な鋼板	SBHS400,500,700
高強度鋼	引張強さ570N/mm^{2}以上の高強度の鋼材	HT690,HT780,SBHS700など
高じん性鋼	冷間曲げ加工や寒冷地での使用に対応した鋼材	*-5C,-5L,-7C,-7L
LP鋼板	長手方向に直線的に板厚を変化させた鋼材	*-LP1など
予熱低減鋼	溶接施工時の予熱温度低減が可能な鋼材	*- EX
大入熱溶接対策鋼	大入熱溶接が可能な鋼材	*- EGなど
耐ラメラテア鋼	板厚方向の強度特性を改善した鋼材	*- Z15,- Z25,- Z35, -Z15S,-Z25S,-Z35S
耐候性鋼	大気環境下で、鋼材表面に緻密なさび層が形成され、腐食進展が抑制される鋼材で、マイルドな環境下で無塗装での使用が可能	SMA***W(JIS耐候性鋼) SMA***W-MOD (ニッケル系高耐候性鋼)
厚鋼板(降伏点一定鋼)	板厚に関係なく規格降伏点を保証した鋼材	*- H
軟鋼	降伏点の低さと大きな伸び能力を有した鋼材	LY100,LY225

*: オリジナル規格記号(SM490YBなど)、 ***: 強度クラス(400,490,570)

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

高性能化の手段(製造方法)

厚板の主要性能向上に用いられる工業的手段

項目	改善手段	圧延まま	焼ならし	制御圧延	制御圧延+加速冷却
強度	化学成分	◎	◎	○	○
	結晶粒微細化	―	―	○	○
	ベイナイト生成	―	―	―	○
じん性	C量低減	―	―	○	○
	結晶粒微細化	―	○	◎	◎
耐溶接割れ性	C,Ceq低減	―	―	○	◎
HAZじん性	C,Ceq低減	―	―	○	◎
	微量元素添加	―	―	○	○

★様々な手段を用いて高性能化が実現されている

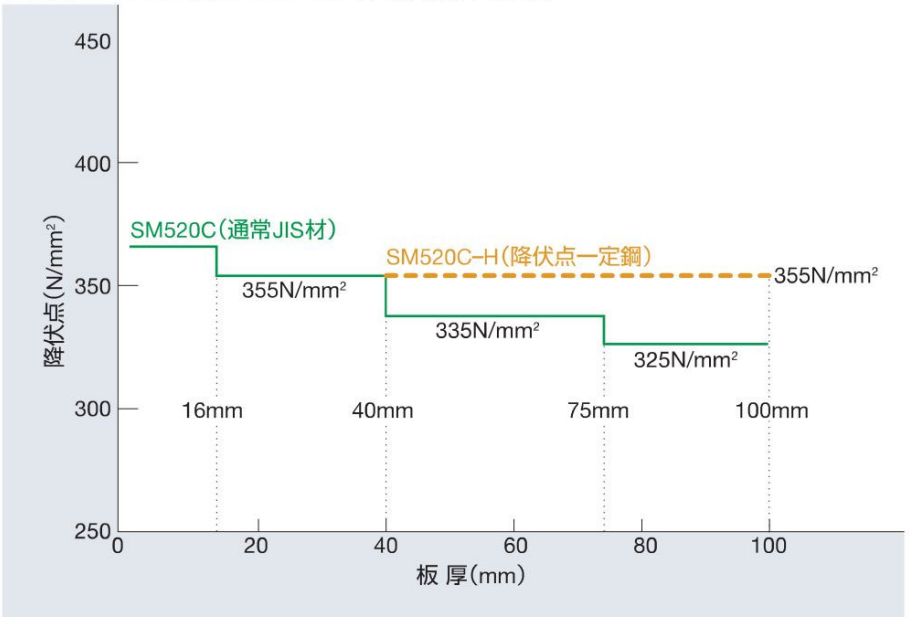
以降、橋梁分野で一般化している高性能鋼をいくつか紹介

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

降伏点一定鋼

SM520CとSM520C-Hの降伏点の比較



JIS-SS,SM,SMA＊：板厚が厚くなるに従い、保証降伏強度は低下

製造技術の進歩により、板厚が厚く(40mm以上)なっても一定の降伏強度の保証が可能に

＊SBHSでは板厚による降伏強度の区分なし

許容軸方向引張応力度および許容曲げ引張応力度(N/mm²)

降伏点一定鋼	板 厚(mm)	SM400C-H SMA400CW-H	SM490C-H	SM490YC-H SM520C-H SMA490CW-H	SM570-H SMA570W-H
	40＜t≦100	140	185	210	255

通常 JIS 材	板 厚(mm)	SM400 SMA400W	SM490	SMA490Y SM520C SMA490W	SM570 SMA570W
	t≦40	140	185	210	255
	40＜t≦75	125	175	195	245
	75＜t≦100	125	175	190	240

(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け)　より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

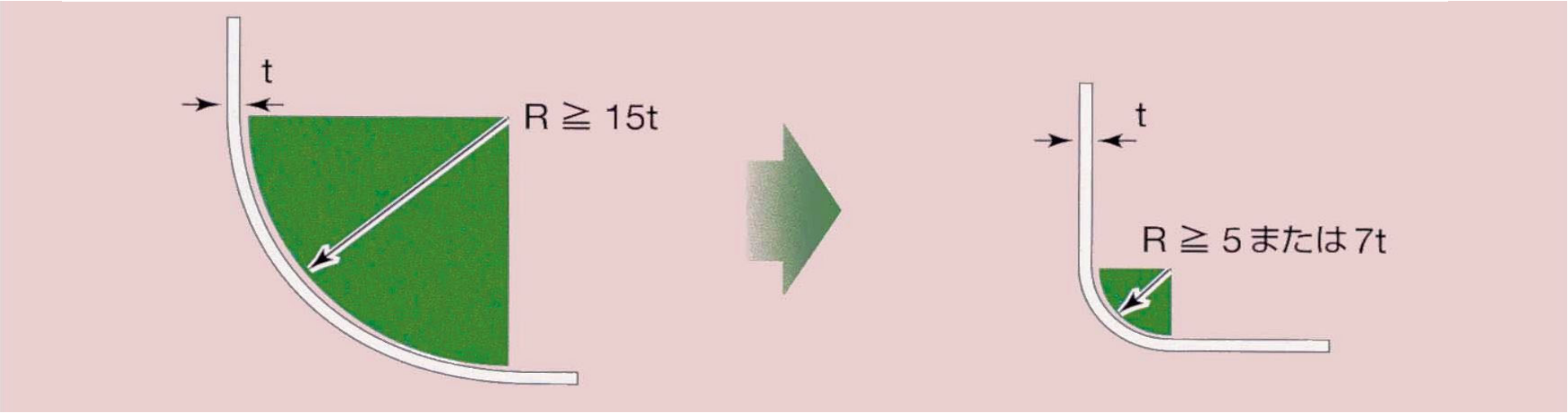
高じん性鋼による強冷間曲げ加工の実現

★強冷間曲げ加工後のじん性を確保

⇒ 従来(R≦15t)より厳しい曲げ加工が可能

○ 内側曲げ加工 ＝7t以上の冷間加工 ：
使用する鋼材のじん性保証値 ≧ 150J
○ 〃 ＝ 5t以上 〃 ：
〃 ≧ 200J

ひずみ時効に影響する
N≦0.006%

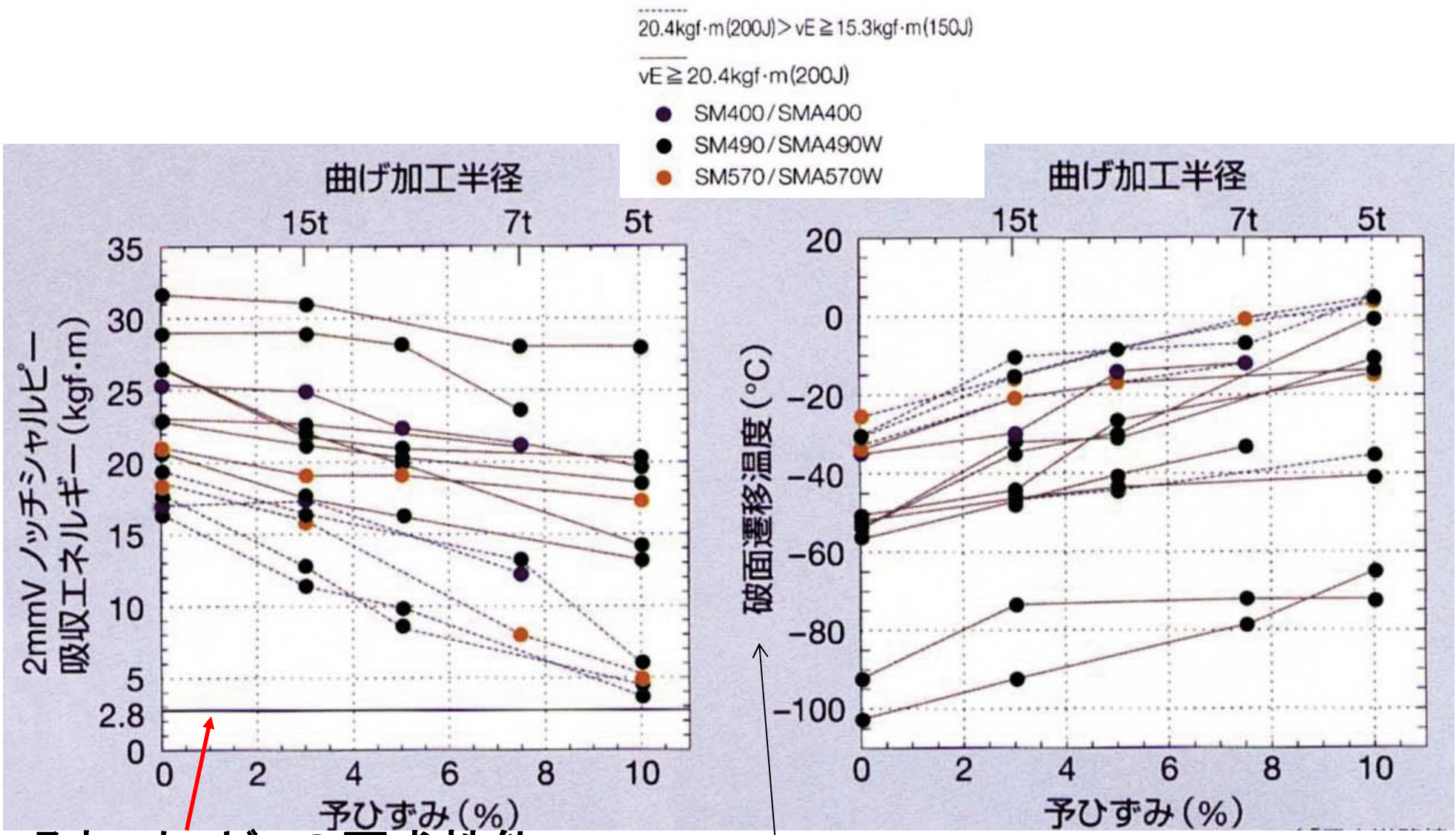


(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け) より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

冷間曲げ加工によるじん性の変化



吸収ｴﾈﾙｷﾞｰの要求性能

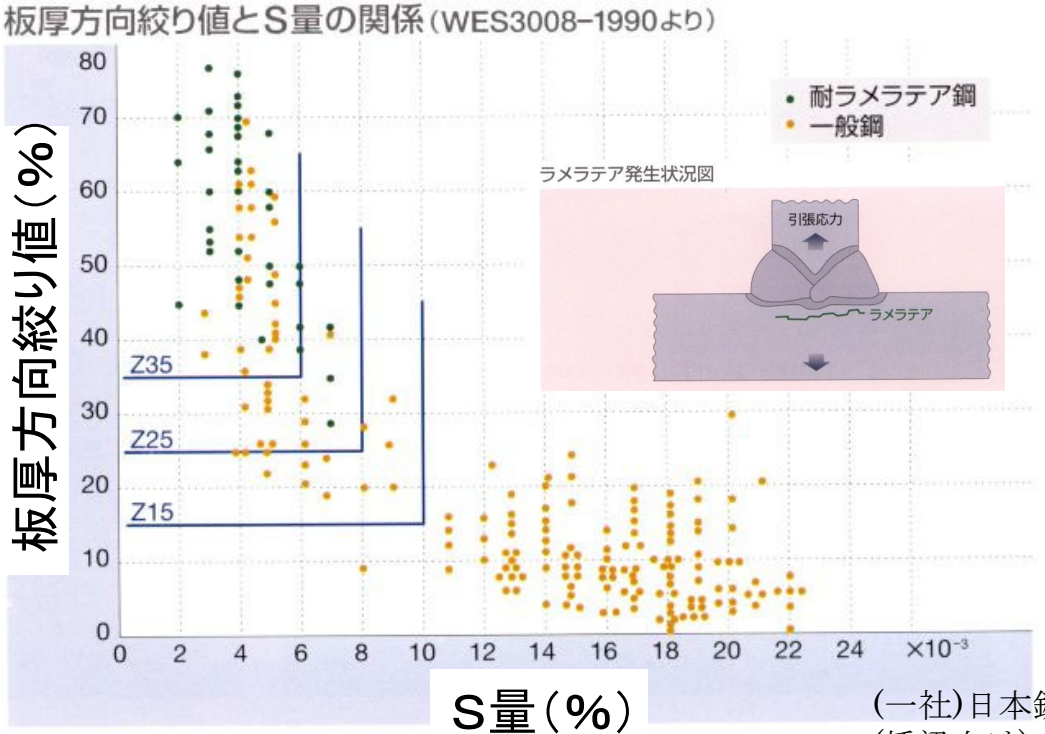
吸収ｴﾈﾙｷﾞｰが急激に低下する温度

(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け)　より転載

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

耐ラメラテア鋼



板厚方向絞り値とS(硫黄)の関係 (WES3008-1990より)

S量の低減などにより、起点となる非金属介在物(MnSなど)の減少や無害化
⇒板厚方向の絞り値が大幅に向上

板厚方向の引張試験における絞り値と鋼中のS量を規定

(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け) より転載

耐ラメラテア鋼の規格（JIS G 3199）

※ S表示： S含有量指定の場合に付加

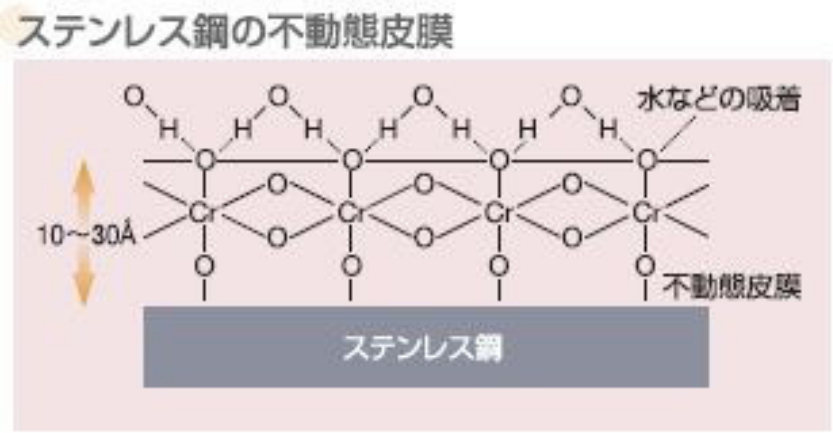
クラス番号	板厚方向絞り値		S量（%）
	3個の試験値の平均値	個々の試験値	
Z15(S)	15%以上	10%以上	0.010以下
Z25(S)	25%以上	15%以上	0.008以下
Z35(S)	35%以上	25%以上	0.006以下

受渡当事者間の協定によって適用する

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

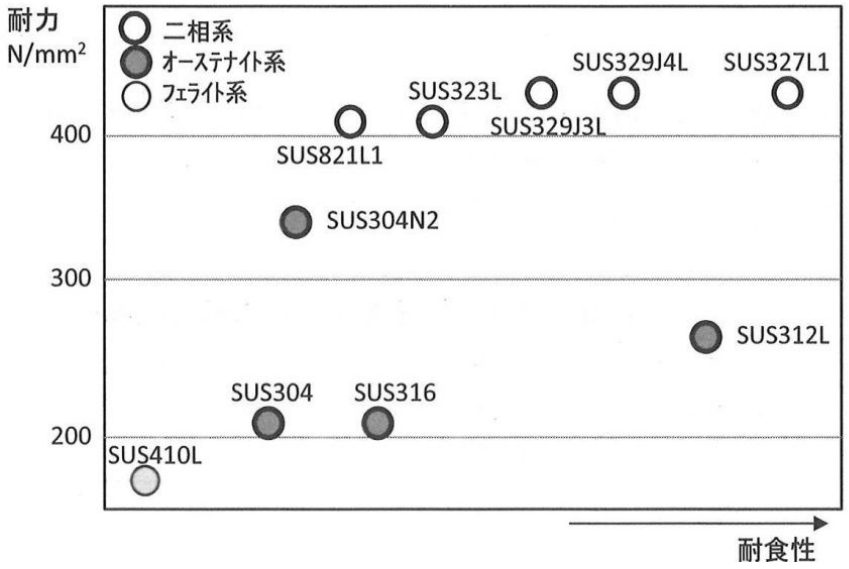
構造用ステンレス鋼



(一社)日本鉄鋼連盟(2025)：高性能鋼の概要(橋梁向け)より転載

ステンレス：10.5%以上のクロムを添加することで非常にさびにくくしたもの

耐食性に優れ，メンテナンスが容易であることが大きな特徴。多くの鋼種があるので，適切な鋼種(強度・耐食性)を選択。



代表的構造用ステンレス鋼

	鋼種	
オーステナイト系	SUS304	
	SUS316	
	SUS304N2	
二相系	SUS329L3L	
	SUS821L1	2015.9JIS化
	SUS323L	2015.9JIS化

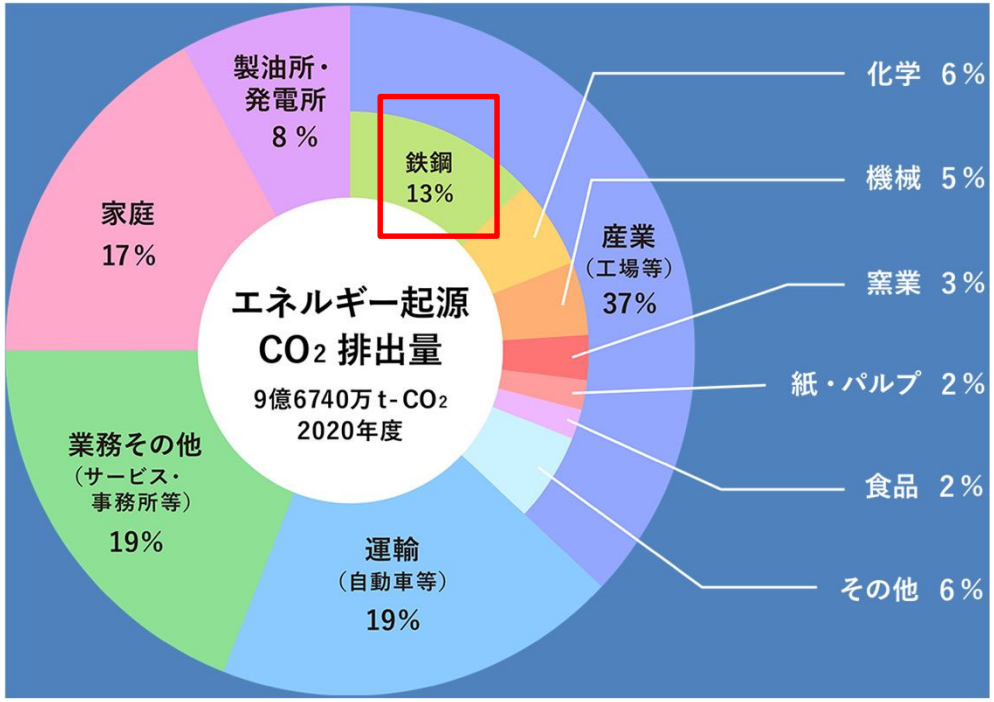
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

今後の展望－カーボンニュートラルスチール

鉄鋼業は、その製造量の多さから日本の産業部門の中で最大のCO_2排出量を示しており、その低減は重要な課題

日本のエネルギー起源CO_2排出量 (2020年、電気・熱配分後)



＜(一社)日本鉄鋼連盟HP
(https://www.carbon-neutral-steel.com/)
(2025.10.27確認) より転載＞

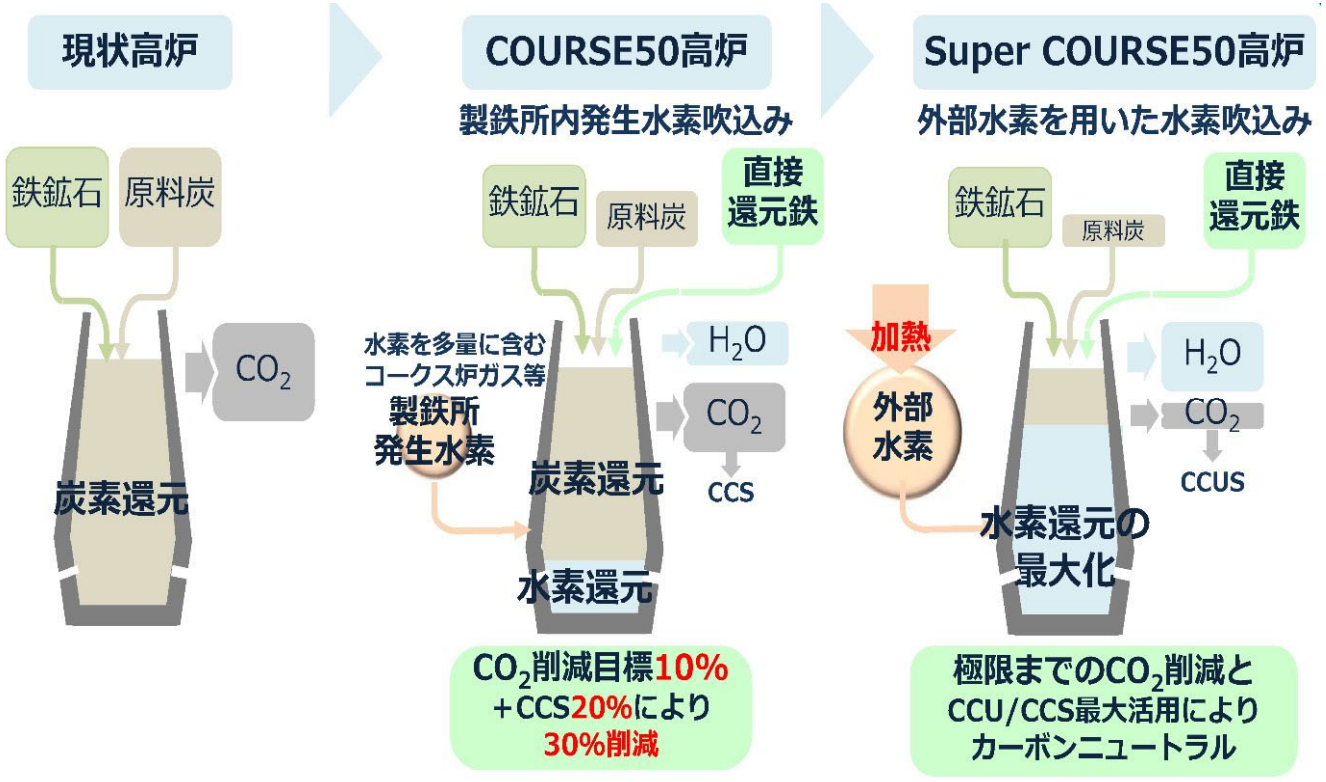
ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

4.橋梁用高性能鋼

カーボンニュートラルスチールへの挑戦

我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針(2021年2月15日)

我が国の2050年カーボンニュートラルという野心的な方針に賛同し、これに貢献すべく、日本鉄鋼業としてもゼロカーボン・スチールの実現に向けて、果敢に挑戦することを宣言



高炉を使わない水素直接還元

左記以外も含めた、ありとあらゆる「カーボンニュートラルスチール実現に向けた技術開発」を推進。
2050年にカーボンニュートラルスチール実現に向けた取組みを推進中。

＜(一社)日本鉄鋼連盟HP（https://www.carbon-neutral-steel.com/）
(2025.10.27確認) より転載＞

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

２．鋼材の加工と接合

瀧川　雅人
（一社）日本橋梁建設協会　技術委員会 製作小委員会 製作部会

第49回鋼構基礎講座

鋼 材 の 加 工 と 接 合

一般社団法人 日本橋梁建設協会
Japan Bridge Association Inc.

技術委員会　製作小委員会　製作部会

2025. 11. 11



鋼橋の製作の流れ

設計

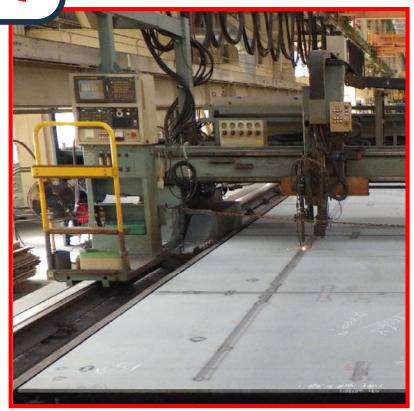
鋼材購入

板取り
平たん度

生産情報作成

けがき

加工



切断

孔あけ



曲げ加工

その他加工

組立・溶接

接合





仮組立



防せい・防食



輸送

現地架設

講　座　内　容

・鋼材の加工前の留意点

- 鋼材購入（板取り）
- 平 た ん 度

・鋼材の加工の留意点

- け　が　き
- 切断面の品質
- 冷　間　曲　げ
- 熱　間　曲　げ

・鋼材の接合方法と留意点

- 鋼材の接合方法と変遷
- 溶接方法の種類
- 溶接の留意点
- ひ ず み と り
- 溶接施工試験

板　取　り

板取りとは

・鋼板からどのように部品を切り出すかを決める作業
・同鋼種・同板厚の部品を１枚の鋼板から板取りすることで鋼板のロスを減らす

＜留意点＞

一般的に圧延方向（鋼板の長さ方向）は圧延直角方向（幅方向）に比べてじん性（粘り強さ）が大きい

⇩

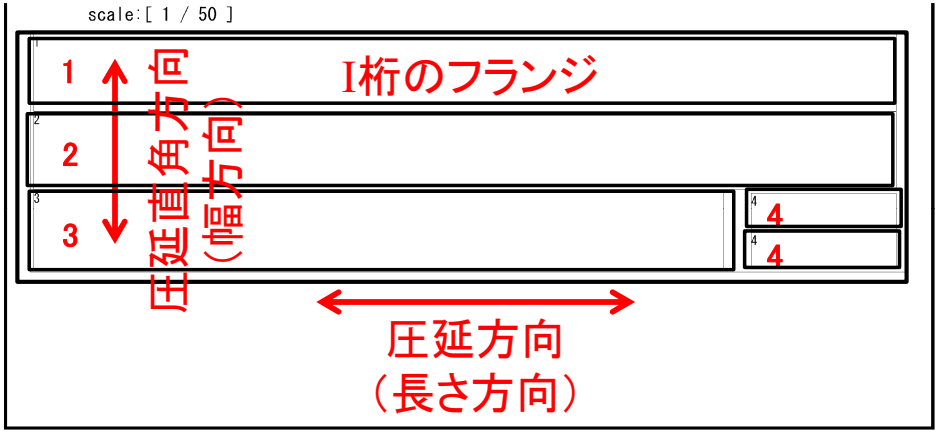
主要部材は、主たる応力方向と圧延方向を一致させるのを原則とする
【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.7.1 加工 】

主たる応力方向：大きな力が流れる方向

板取り管理シート(参考例)

番号	A069	材質	P-SM490YB			塗装	1MZMZ	寸法	26 ＊ 2530 ＊ 9230	
素材質量	4766	部材質量	4430	ロス率	8.0	個数	5	種類	4	

No.	部材番号	使用箇所		寸法	員数	名称	質量	部材符号	孔数	備考
1	1- 288	G1	BLK-15	26 ＊ 820 ＊ 9100	1	L-FLG	1523.0	A15LFL	0	
2	1-1082	G3	BLK-15	26 ＊ 820 ＊ 9100	1	L-FLG	1523.0	C15LFL	0	
3	1-1100	G3	BLK-16	26 ＊ 820 ＊ 7275	1	L-FLG	1218.0	C16LFL	0	
4	1- 833	G3	BLK-2	26 ＊ 380 ＊ 1530	2	SPL	83.1	C2SPL	0	



〇橋梁用高降伏点鋼板（SBHS材）

シャルピー吸収エネルギー：圧延直角方向で100J以上（SM570は圧延方向で47J以上）

↓

主応力方向と圧延方向を一致させなくてもよい。

平たん度

鋼板の平たん度は、部品の組合せ精度（密着度）に影響する

＜留意点＞

・JISおよび道示で鋼板の平たん度の上限が示されている

【JIS G3193 熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状，寸法，質量及びその許容差】

【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.6.1 鋼材 】

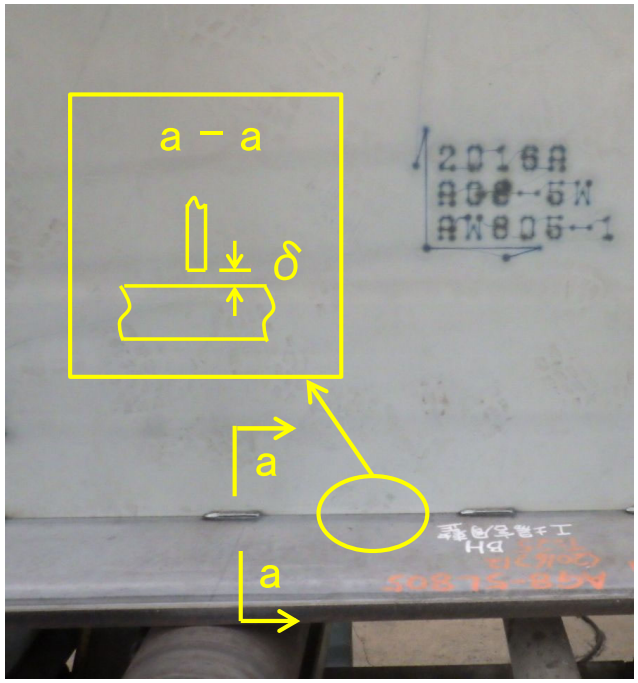
・道示の方がJISより厳しい値

・実際は、ミルメーカーでもっと厳しく管理されている

・さらに、製作工場では部品の組合せ精度をよくするためにプレス矯正を行うこともある

・厚板の場合、プレス機の能力によっては密着度が悪くなることもある

部品の組合せ精度（密着度）



け が き

けがきとは

・鋼材表面に切断位置や部品取付け位置、孔位置、部品名などを書き込む作業

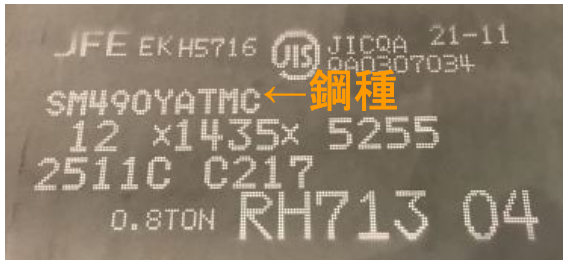
＜留意点＞

・鋼種を識別できるステンシルマークは、鋼板から複数の部品を切り出すと、その部品の鋼種がわからなくなる

⇩

・製作工場で鋼種の識別方法は異なるが、多くは鋼種ごとに色を決めて、切り出した部品の名称などをその色で記入している

鋼板のステンシル（鋼種の識別）



切断後の識別の例



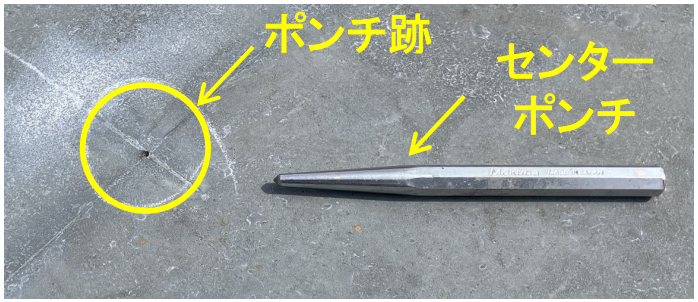
【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.7.1 加工　表−解 20.6.1
塗色表示による識別の例　抜粋】

鋼　種	識別色		摘　要
	色の種類	基準の色	
SM400A　SM400B　SM400C	緑	5G5.5/6	A　B　Cの別を文字で記入
SM490YA　SM490YB	だいだい	2.5YR6/13	A　B及びTMCの別を文字で記入
SM570Q	赤	5R4/13	Q　TMCの別を文字で記入
SBHS400	青	2.5PB5/6	Q　TMCの別を文字で記入
SBHS500	紫	7.5P5/12	Q　TMCの別を文字で記入

け が き

けがきとして、鋼材表面にポンチ跡を打刻することがある

ポンチ跡



補足）
ポンチ跡とは・・・部材を取付ける目印となるくぼみ

＜留意点＞

・疲労に配慮する場合、ポンチなどのきずは、完成後に残ってはならない
・切断してなくなる場合、溶接で溶融される場合はポンチでけがきを行うことが多い
・部品の識別マークを刻印で打刻する場合、疲労破壊や応力集中に配慮したローストレス刻印を使用する

ローストレス刻印の概念図
【鋼道路橋施工便覧】より

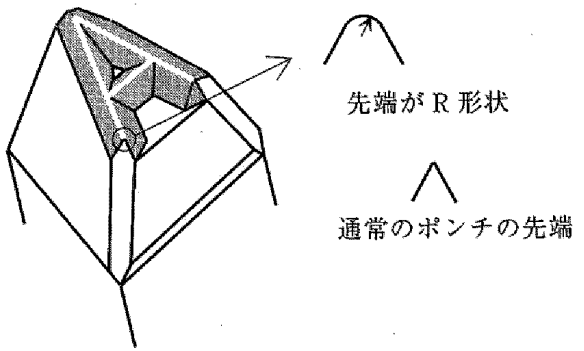


図-Ⅱ.4.2.1　ローストレス刻印の概念図

切断面の品質

切断方法 ： 熱切断 と 機械切断

- 熱切断

  ガス切断
  プラズマ切断
  レーザー切断

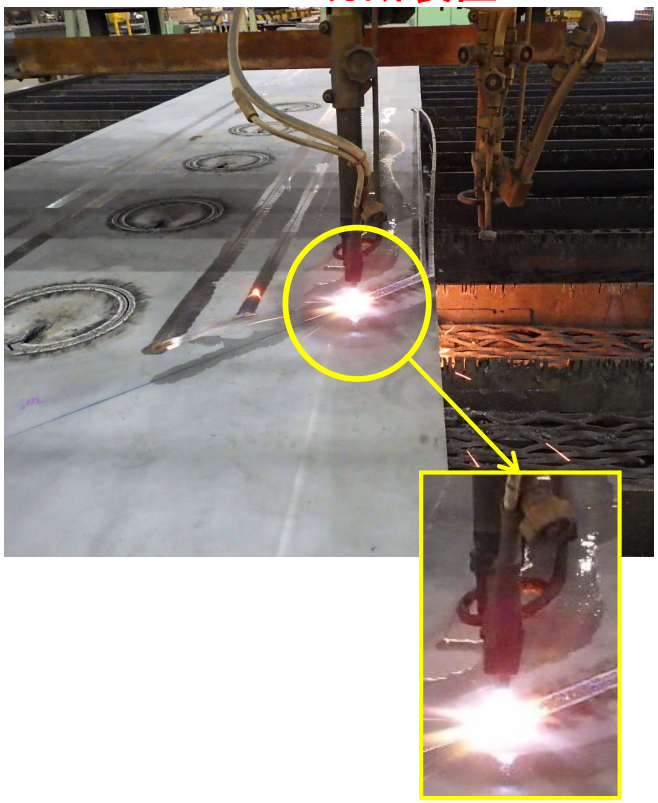
  ｝ ガス、プラズマ、レーザーにより鋼板を溶融して切断

- 機械切断

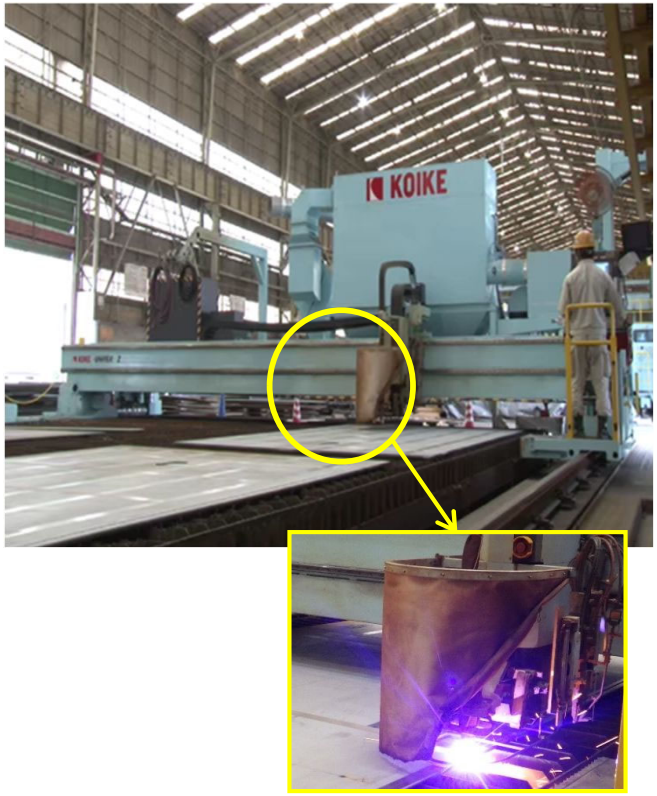
  鋸切断
  せん断切断

  ｝ 鋸を使ったり、機械で押し抜いて切断

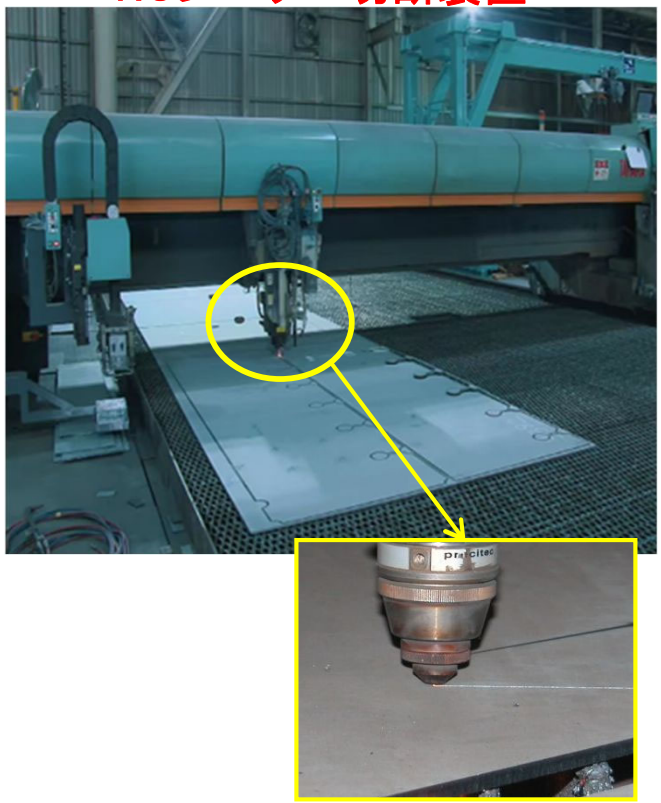
NCガス切断装置



NCプラズマ切断装置



NCレーザー切断装置



切断面の品質

切断面は、部品の組合せ精度（密着度）、耐久性(疲労、防せい・防食)等の観点から品質を確保する必要がある

＜留意点＞

下記が生じないように切断条件を調整する

・切断面の表面あらさ
　最大表面あらさは主要部材では50μm以下
・ノッチ
　主要部材ではノッチがあってはならない
・スラグ
　スラグがある場合は、除去する
・上縁の溶け
　切断面の角部は僅かに丸味をおびているが、滑らかなこと

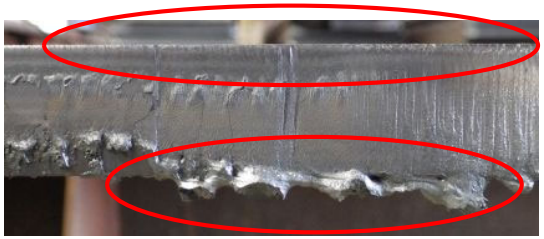
【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.7.1加工 】

補足）熱切断による熱影響部の硬さについて
・切断面は熱の影響を受け、熱影響部は硬化する
・一般的に熱切断による硬化の深さは1～2mm程度
・熱切断面の切欠きじん性は、切削面と同程度
・切断面が所定の品質であれば、熱影響部を除去する必要はない

ノッチの例



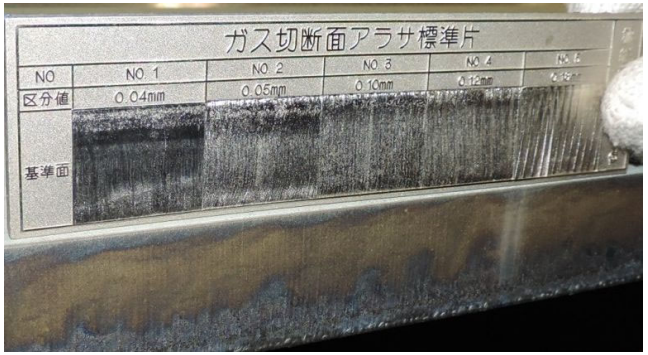
上縁の溶けの例



スラグ（溶けた金属が固まって付着）の例

写真は【鋼道路橋施工便覧】より

表面あらさの確認例
（ガス切断面を粗さ標準片と対比）



鋼板の曲げ加工（冷間曲げ）

曲げ加工方法
・冷間曲げ
・熱間曲げ

冷間曲げ：プレスやローラーにより常温で曲げ加工

＜留意点＞

・予ひずみが大きいとじん性が低下

⇩

・主要部材を冷間曲げ加工する場合、内側半径は板厚の15倍以上
・鋼材の機械的性質が規定された条件を満足している場合は、内側半径を板厚の7倍以上又は5倍以上としてもよい

【道路橋示方書・同解説Ⅱ 1.4.2 鋼種の選定 】

プレスによる冷間曲げ



ローラーによる冷間曲げ



シャルピー吸収エネルギー(J)	冷間曲げ加工の内側半径	付記記号　注)
150以上	板厚の7倍以上	−7L，−7C
200以上	板厚の5倍以上	−5L，−5C

注）1番目の数字 ： 最小曲げ半径の板厚の倍率
2番目の数字 ： 曲げ加工方向
L：最終圧延方向と同一方向
C：最終圧延方向と直角方向

・シャルピー衝撃試験の結果が上表を満足すること
・鋼板の化学成分中の全窒素量が0.006%を超えないこと

鋼板の曲げ加工（熱間曲げ）

熱間曲げ：鋼板を高温に加熱して曲げ加工

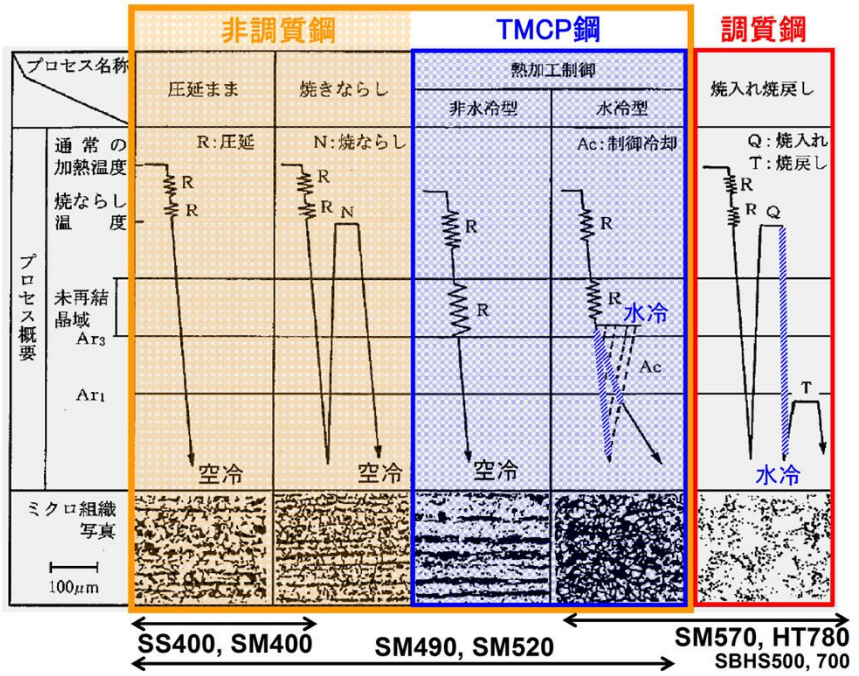
＜留意点＞

・調質鋼（Q材）
　圧延後、強度・じん性を高めるために熱処理（焼入れ・焼戻し）した鋼材
・熱加工制御鋼（TMCP鋼）
　圧延過程において制御圧延と制御冷却を併用した鋼材(厳しく温度管理して圧延した鋼材)
・熱処理した温度以上に加熱すると、熱処理により得られた鋼材の特性が失われる

⇩

・調質鋼（Q材）および熱加工制御鋼（TMCP鋼）の熱間曲げは原則として行ってはならない。

【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.7.1加工 】



【道路橋示方書・同解説Ⅱ　図-解20.7.2 】

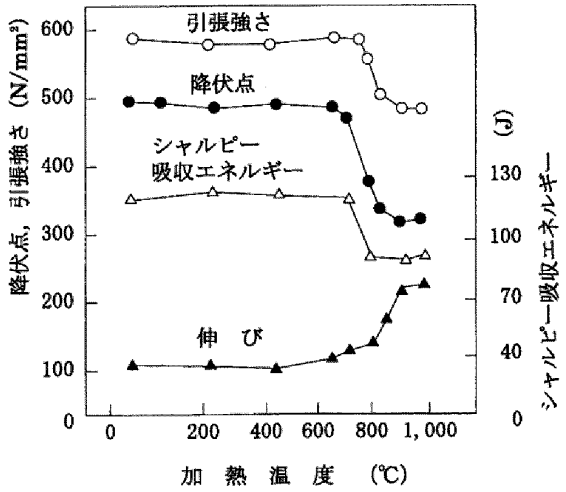


図-解 20.7.2　調質鋼（SM570）の加熱による機械的性質の変化

鋼材の接合方法と変遷

「リベット(鋲)」から「溶接」、「高力ボルト」へ

リベット(鋲) ➡ 溶接・・・工場での製作

➡ 高力ボルト　現場溶接・・・現場での組立て

補足)
・リベット接合
鋼板と鋼板または形鋼をリベットで綴じ合せて断面を形成する接合方法

リベット	高力ボルト	溶接
'26_JES 第39号 「鋲」	 写真は、日鉄ボルテン(株)HPより	1920年　導入
'49_JIS制定 '51_JIS B 1206～12 太径リベット規定	1955年　普及	'31_国鉄 電弧溶接設計製作示方書
'57_JIS B 1214 熱間成形リベット	'64_JIS B 1186 ボルトナット関連規定	'31～40_橋梁の溶接補修 1300連のﾌﾟﾚｰﾄｶﾞｰﾀﾞｰ
1970年　衰退	'65_日本道路協会 摩擦接合設計施工指針	'41_臨JES 第196号 鋼材用電弧溶接棒
溶接工学の進歩 **高力ボルトの普及** **H鋼の本格的な生産** **リベット工の不足**	'81　JSS　II09 トルシアボルトの規格制定	'50_JIS Z　3211 軟鋼用被覆アーク溶接棒
 写真は、藤本産業(株)HPより		'75_CO_2半自動溶接の拡大 '80_溶接ロボットの普及

1935　初の全溶接道路橋
田端大橋(東京都)

2017　SHTB(S14T)道路橋示方書で規定

出典：HTB継手の変遷と今後
(土木学会第34回鋼構造基礎講座2017.11)

鋼材の接合方法と変遷

「リベット(鋲)」から「溶接」、「高力ボルト」へ

リベット接合の橋梁



天満橋（1935（昭和10）年完成）
溶接、高力ボルト導入以前

溶接・高力ボルトを採用した橋梁



瀬田川大橋（1959（昭和34）年完成）
溶接断面、現場継手リベット

鋼材の接合方法と変遷

リベット施工の流れ



①リベットを炉で1100度程度まで加熱



②焼けたリベットを受け手に投げる



③リベットを差し込み、頭を当て盤で固定



④軸側をリベットハンマーでかしめる

溶接方法の種類

- **融接**
  - **アーク溶接**
  - ガス溶接
  - 電子ビーム溶接
  - エレクトロスラグ溶接
- **圧接**
  - 鍛接
  - 抵抗溶接
  - 摩擦圧接
  - ガス圧接
  - 超音波圧接
  - 常温圧接
- **ろう接**
  - ろう付
  - はんだ付

補足）

・アーク溶接
アーク放電で発生するアーク熱で溶接材料を溶かして接合する方法。

・アーク放電
通電している状態から、電極と電極を引き離すと、電極間の気体は陽イオンと電子に分離し強い光と熱（アーク熱）を発生する。

・アーク熱
10,000℃ぐらい
ちなみに、鉄（Fe）の融点 1,538℃

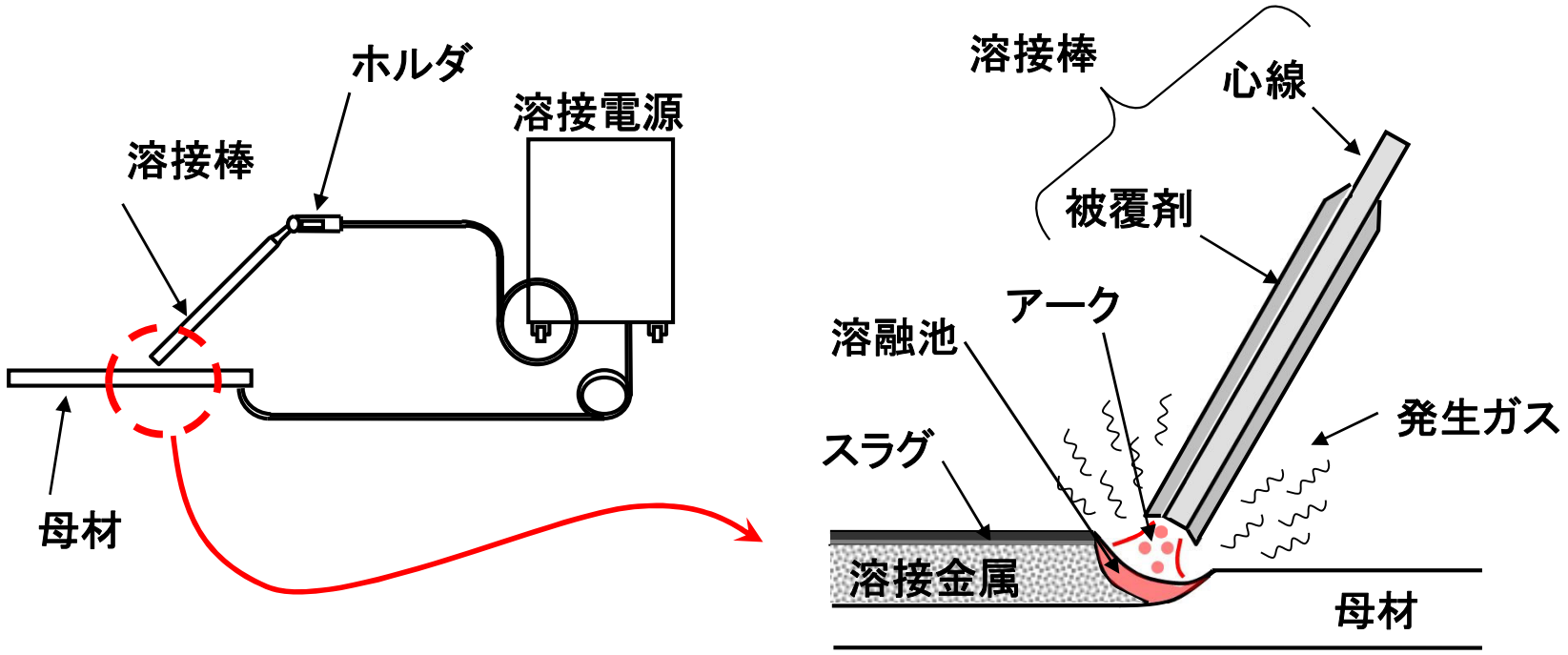
溶接方法の種類

アーク溶接の種類

- アーク溶接
  - ①被覆アーク溶接
  - ティグ溶接
    （tungsten inert gas welding ）
  - ②ガスシールドアーク溶接
    - マグ溶接
      （metal active gas welding）
      炭酸ガス（CO2）
    - ミグ溶接
      （ metal inert gas welding ）
      アルゴンなど
  - ③サブマージアーク溶接
  - セルフシールドアーク溶接
  - ④スタッド溶接
  - エレクトロガスアーク溶接

補足）
アーク熱で溶けた状態の溶接金属が、大気中の酸素や窒素にさらされると、酸化や窒化し、材質が劣化する。
そのため、溶けた状態の溶接金属を大気から遮断することが重要。
例）被覆剤で遮断→被覆アーク溶接
ガスで遮断 → ガスシールドアーク溶接

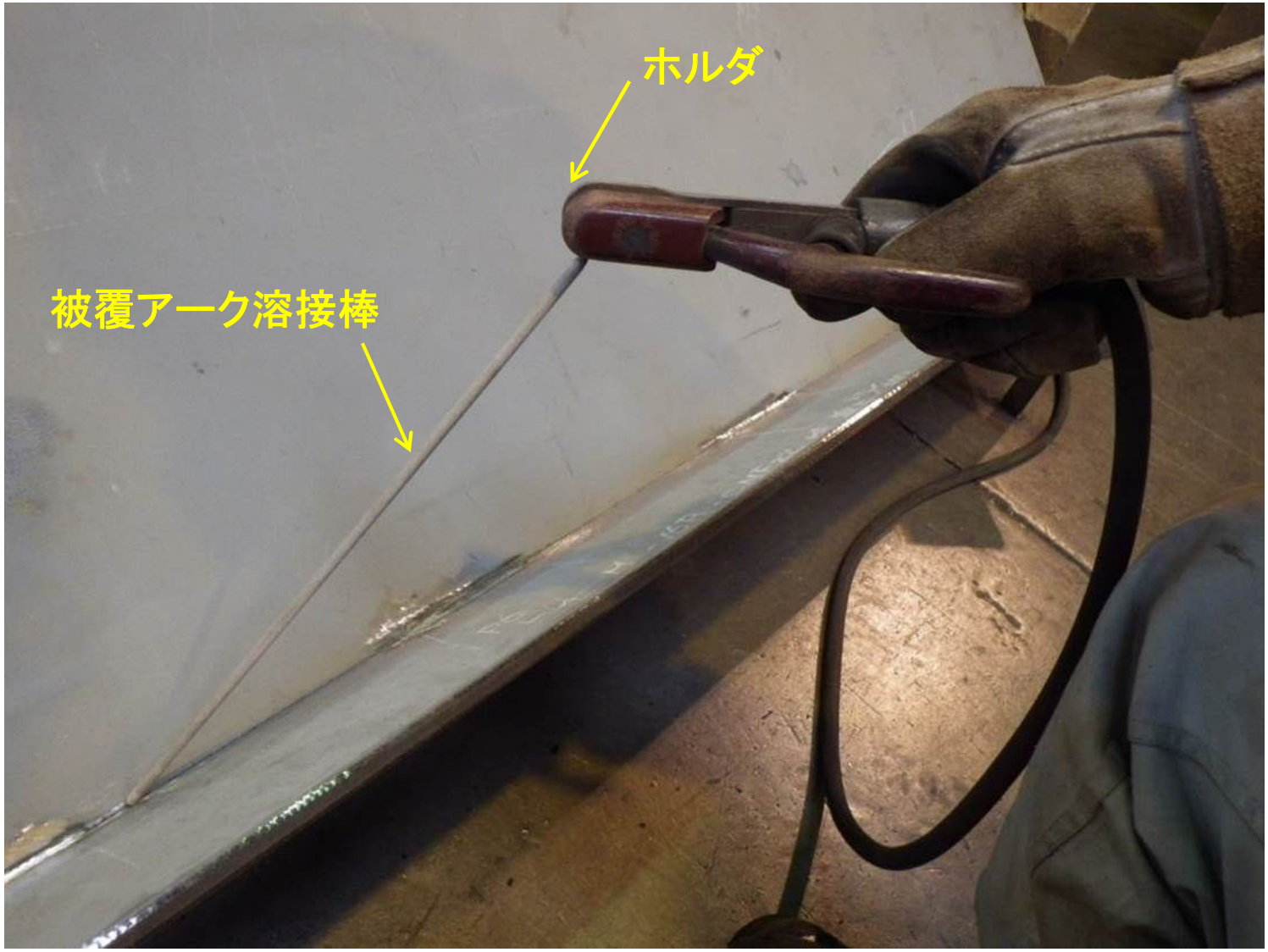
①被覆アーク溶接（手溶接）



被覆アーク溶接
　・・・心線を被覆材で覆った溶接棒を使った溶接方法。

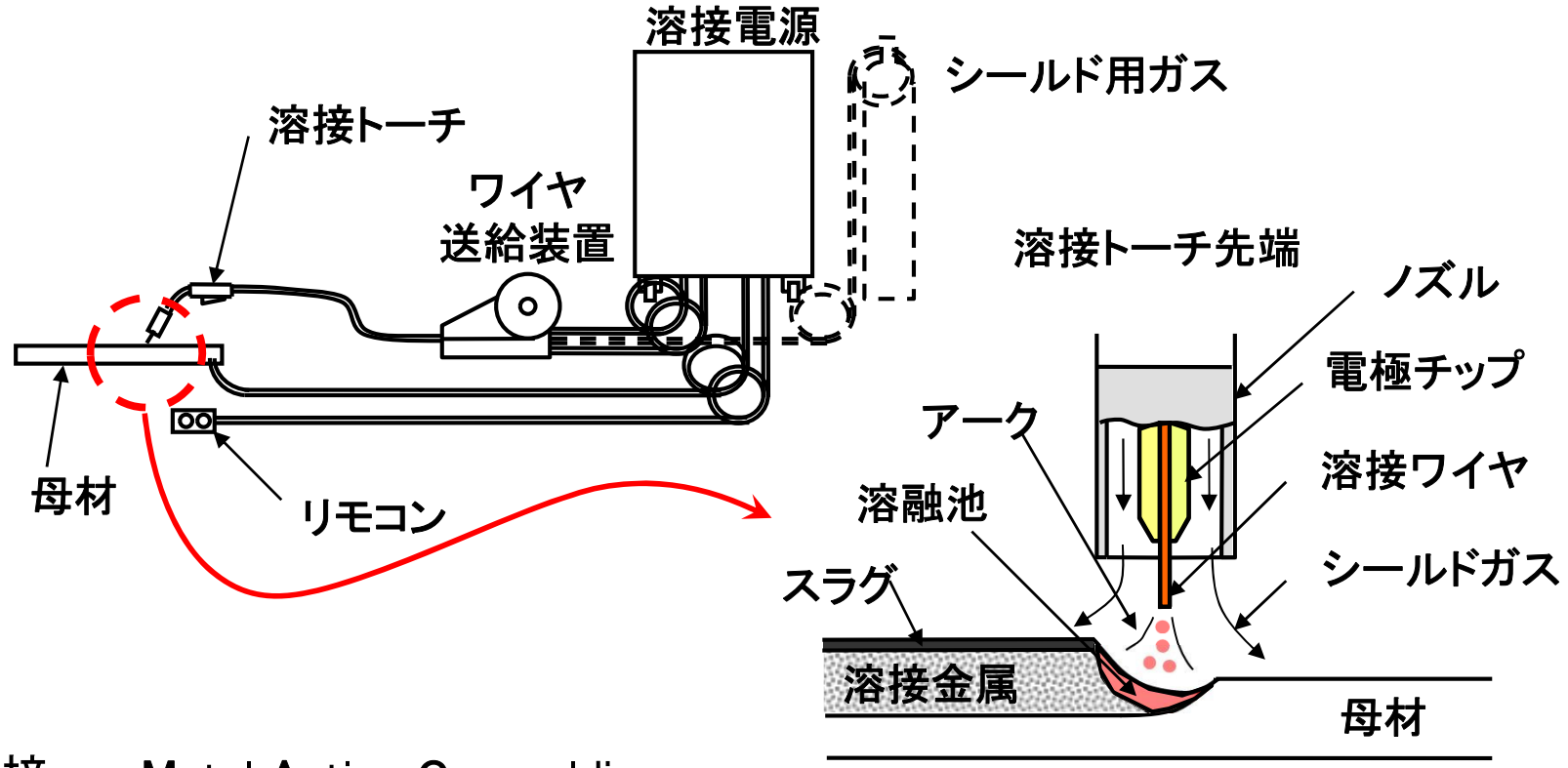
溶接棒と鋼材が電極になってアークが発生し、アーク熱により溶接棒の心線と被覆剤が溶ける。
心線は溶接金属になり、被覆剤は溶けた心線を大気から遮断し、溶接金属の表面をかさぶたのように覆う。このかさぶたのようなものを「スラグ」と呼ぶ。

①被覆アーク溶接（手溶接）



被覆アーク溶接（手溶接）動画へ

②ガスシールドアーク溶接（マグ溶接）

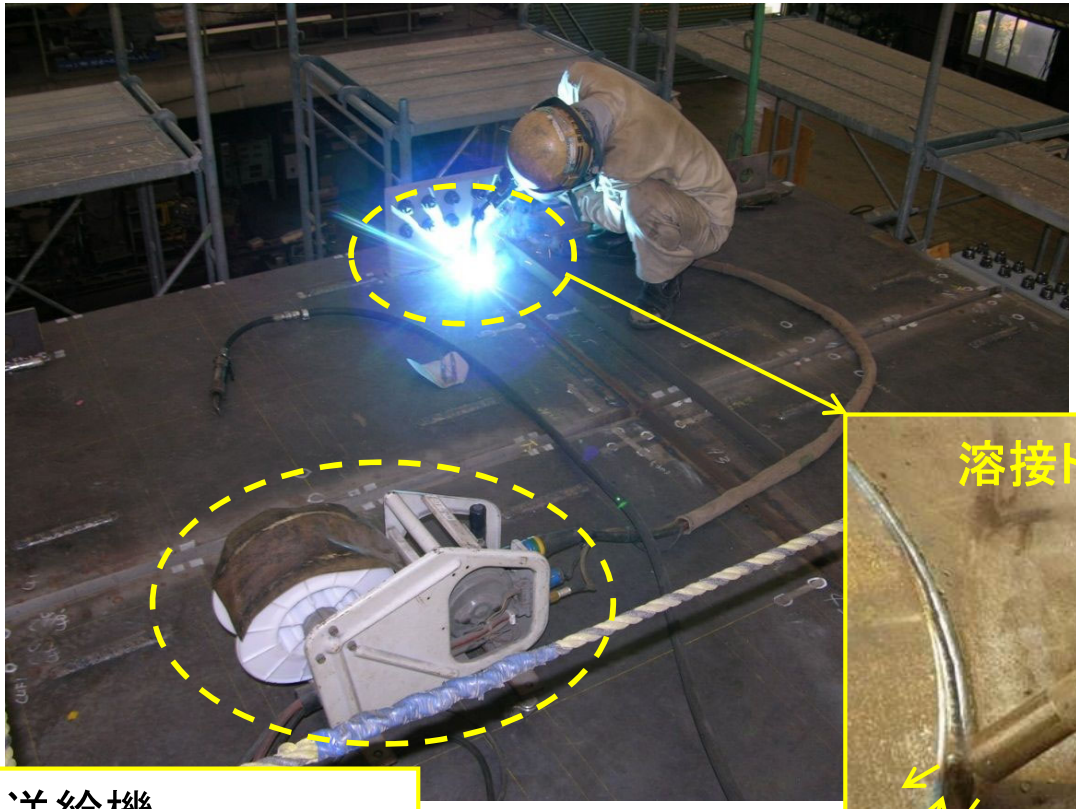


マグ溶接　：　Metal Active Gas welding

・・・溶接ワイヤと共に「CO2」や「Ar+ CO2 」といった、活性ガス（Active Gas)を
ノズル先端から噴出し、アークや溶接金属を大気から遮断する溶接方法です。

溶接ワイヤは自動的に送り出され、溶接トーチは手で操作するので、半自動溶接
とも呼びます。

②ガスシールドアーク溶接（マグ溶接）

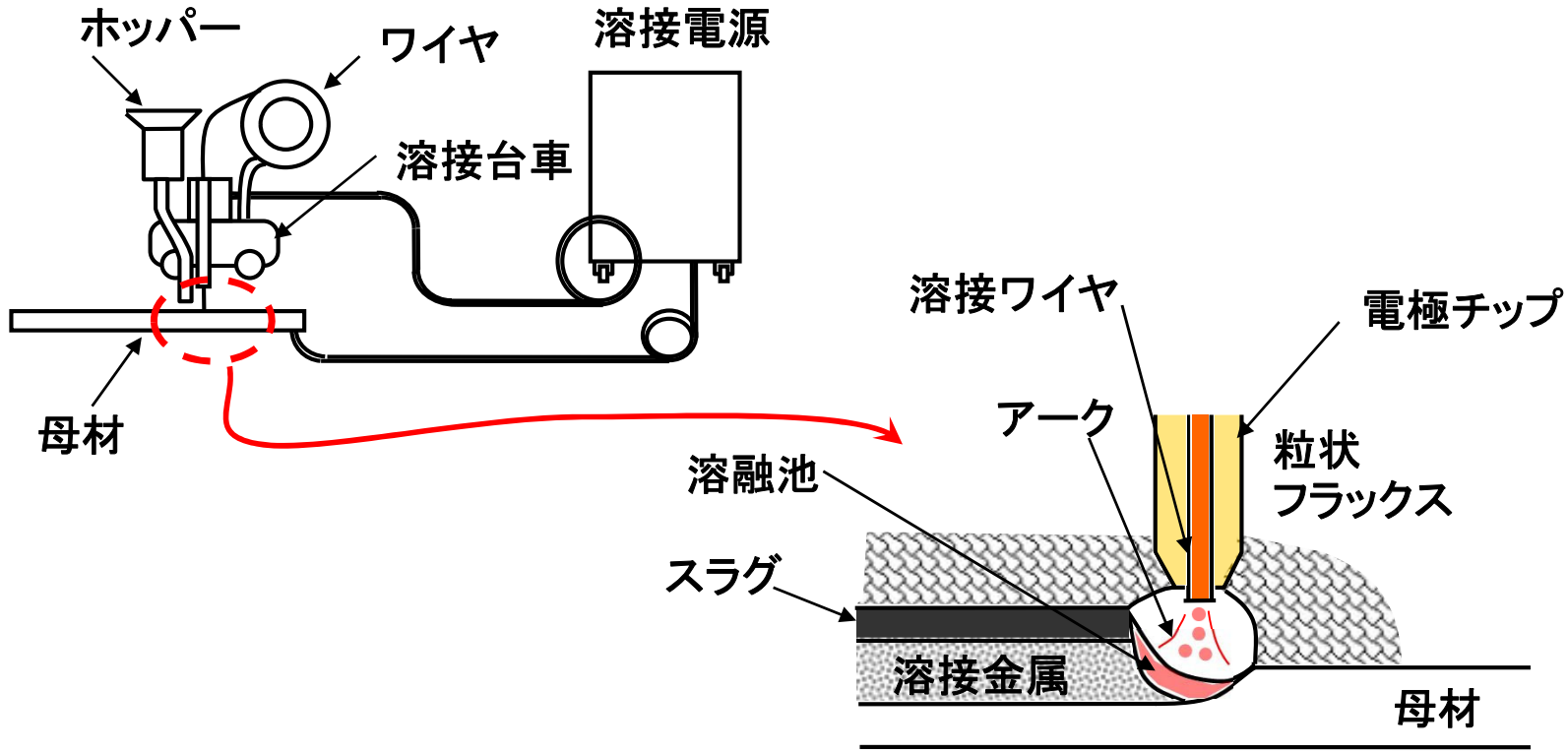


・送給機
溶接ワイヤーを
モーターで送る



ガスシールドアーク溶接（マグ溶接）動画へ

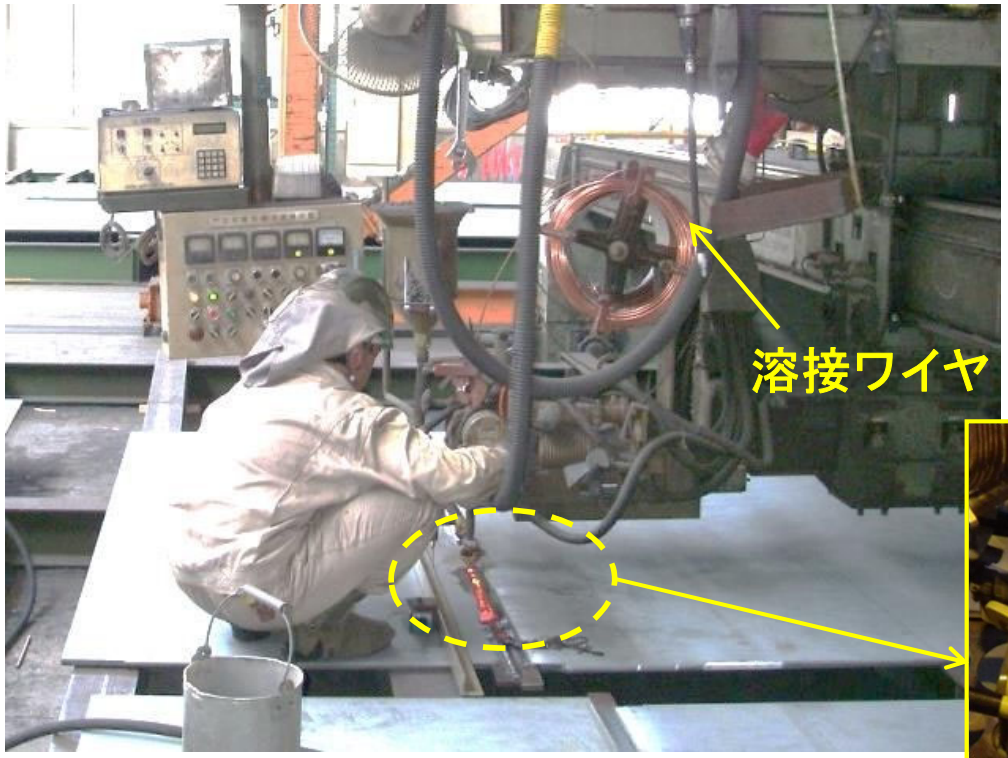
③サブマージアーク溶接（潜弧溶接）



サブマージアーク溶接

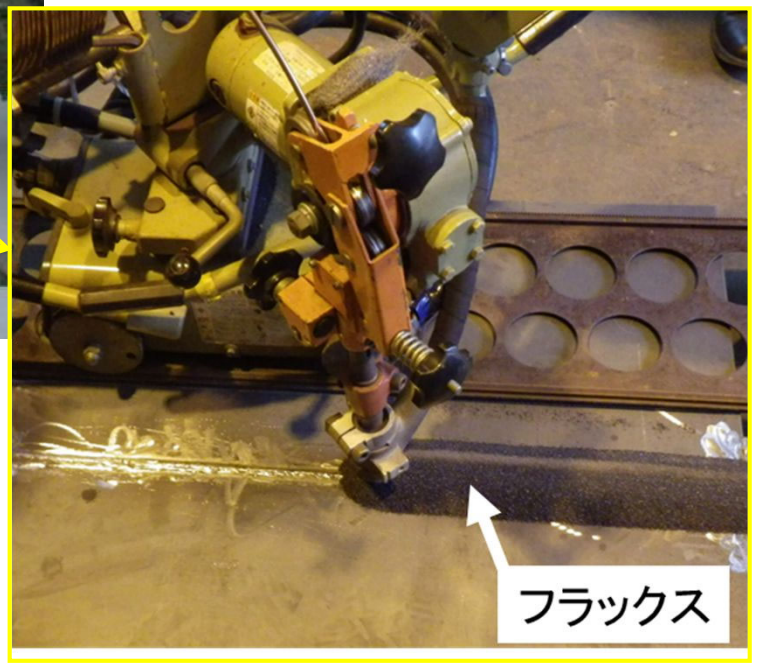
・・・フラックスの中にワイヤを送給してアークや溶接金属を大気から遮断する溶接方法です。

③サブマージアーク溶接（潜弧溶接）



フラックス：
　サラサラした砂状のもの

フラックスは掃除機で吸い取って
再利用する



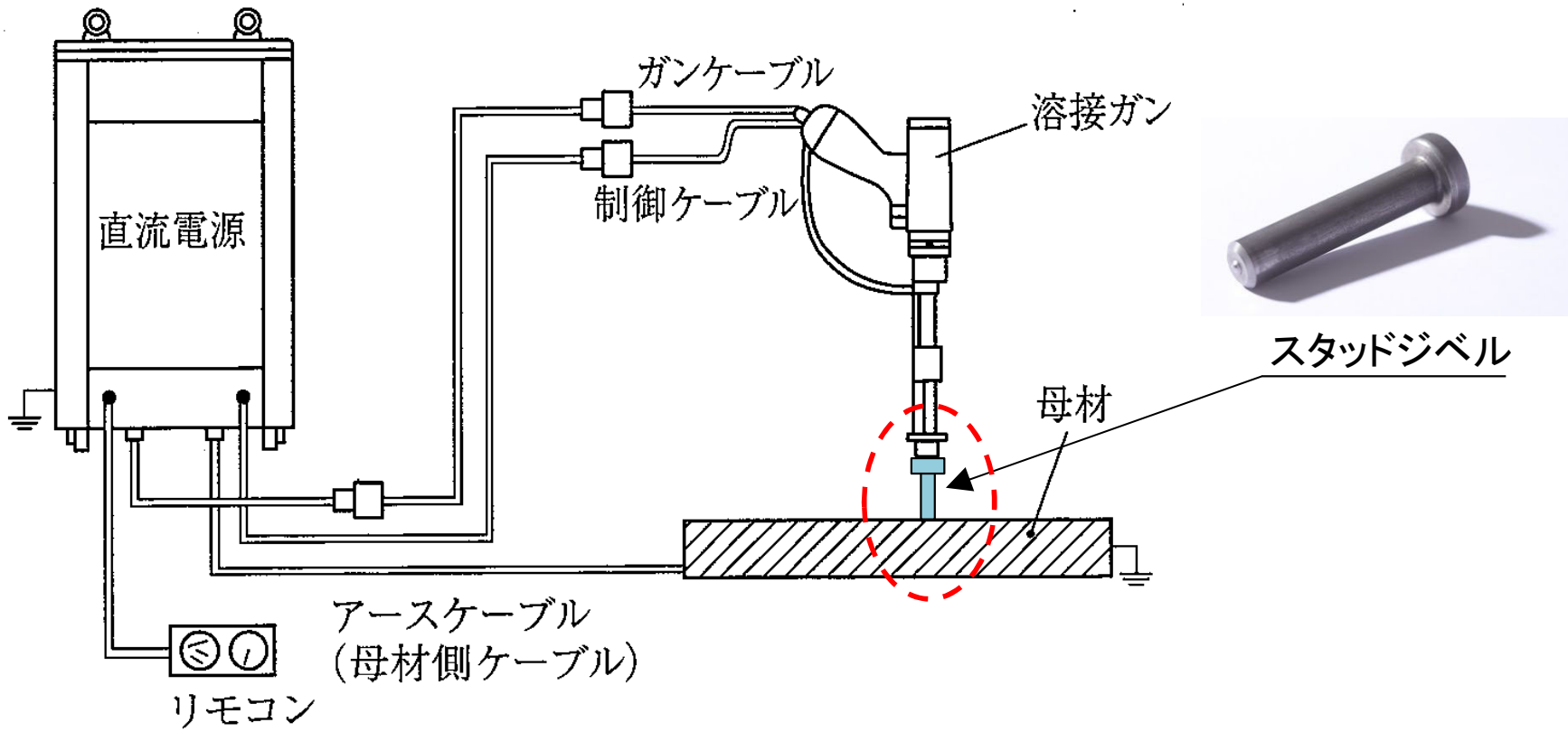
・サブマージアーク溶接

submerge：覆い隠す

→アークがフラックスに覆い隠されて
　外から見れない溶接

サブマージアーク溶接動画へ

④アークスタッド溶接



スタッドジベル:
　鋼板にコンクリートを定着させるボルトのような部品。

アークスタッド溶接
　・・・スタッドを鋼板に押し付けた状態で電気を流し、引っ張り上げると
　　隙間にアークが発生し、スタッドジベルそのものが溶けて溶接される。

④アークスタッド溶接









スタッドジベル

アークスタッド溶接動画へ

溶接の留意点（予熱）

予熱とは

・溶接前に鋼材の鋼種・板厚・溶接方法に応じて予熱を行うこと。

＜留意点＞

・予熱は、溶接で急熱急冷されることによる鋼材の硬化を緩和し、さらに溶接部の拡散性水素を低減し、低温割れを防止するために行う

・低温割れは溶接部の組織（硬さ）、拡散性水素、拘束度に起因

＜予熱温度算定式＞

予熱温度 $T_p(℃) = 1{,}440P_W - 392$

溶接低温割れ感受性指数 $P_W = P_{CM} + \dfrac{H_{GL}}{60} + \dfrac{K}{400{,}000}$

※鋼材のP_{CM}値が低いと予熱温度は低くなる

P_{CM} ： 溶接割れ感受性組成 （%） → 熱影響部の硬さ

H_{GL} ： 溶接金属の拡散性水素量

低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接の場合 H_{GL}=2ml/100g

サブマージアーク溶接及びガスシールドアーク溶接の場合 H_{GL}=1ml/100g

K ： 溶接継手の拘束度

鋼橋の一般的な溶接継手の拘束度として板厚t の200倍を想定

K=200t N/mm² 板厚 t は、50mm以上の場合は50mmとする。

・熱加工制御鋼（TMC鋼）は、予熱なしとなるP_{CM}値以下となることが多い

・非調質鋼と調質鋼の場合は、P_{CM}値を低減した予熱低減鋼を積極的に採用



写真-Ⅱ.5.3.5 ガスバーナーによる予熱と表面温度の測定



写真-Ⅱ.5.3.6 電気ヒーターによる予熱と表面温度の測定

写真は【鋼道路橋施工便覧】より

溶接の留意点（入熱制限）

入熱量とは

・溶接1パスの溶接長さあたりに投入される熱量

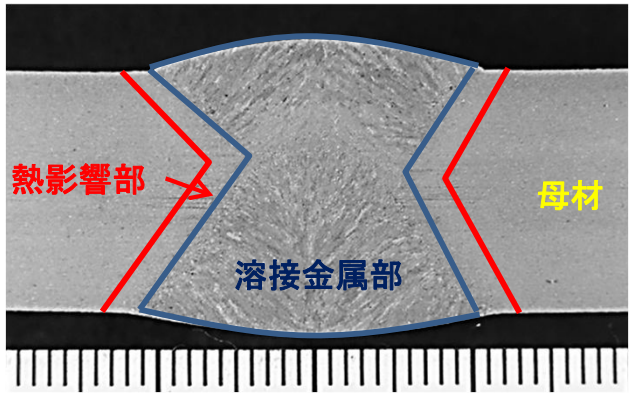
＜留意点＞

・入熱量が過大であると、熱影響部の強度やじん性が低下する

⇩

・熱影響部のじん性確保のために、鋼種に応じて入熱量の上限を規定

【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.8.4溶接施工法 】



・熱影響部
溶接の熱によって鋼材の組織が変化した部分

鋼種	溶接入熱量 Q(J/mm)
SM400　SMA400W	―
SM490　SM490Y SBHS400　SBSH400W SBHS500　SBHS500W	Q≦10,000
SM520　SM570 SMA490W　SMA570W	Q≦7,000

※SBHS材は溶接性に優れているためSM490材と同じ

※ 溶接金属部のじん性確保のための入熱制限も必要

＜入熱量算出式＞

$$Q(J/mm)=\frac{I(A)\times E(V)\times 60}{v(mm/\min)}$$

I：溶接電流（A）
E：溶接電圧（V）
V：溶接速度（mm/min）

溶接の留意点（パス間温度）

パス間温度とは

・多層盛り溶接において、あるパスの溶接を始める直前の鋼材または溶接金属の温度

＜留意点＞

・パス間温度が高すぎるとや鋼材の熱影響部の強度やじん性が低下する

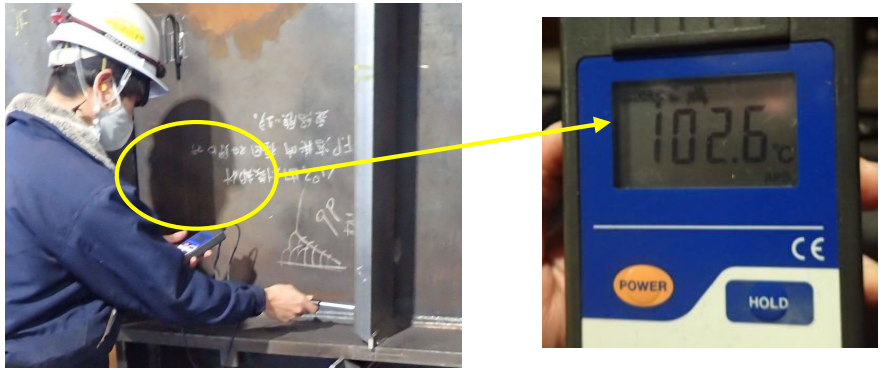
⇩

・鋼材の特性を踏まえて上限値を設定する
【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.8.4 溶接施工法】

・旧本州四国連絡橋公団の【鋼橋等製作基準】では、SM570（板厚75mm以下）はパス間温度230℃以下

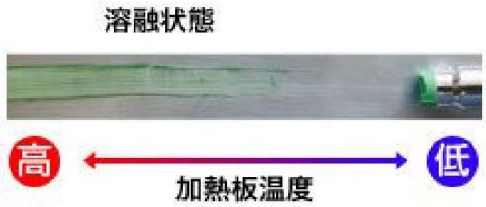
※ 溶接金属部のじん性確保のためのパス間温度の上限値の設定も必要

接触式温度計でのパス間温度測定状況



参考）
パス間温度を確認する温度チョーク





日油技研HPより

ひずみとり

ひずみとりとは
・溶接によって生じた部材の変形を矯正する作業

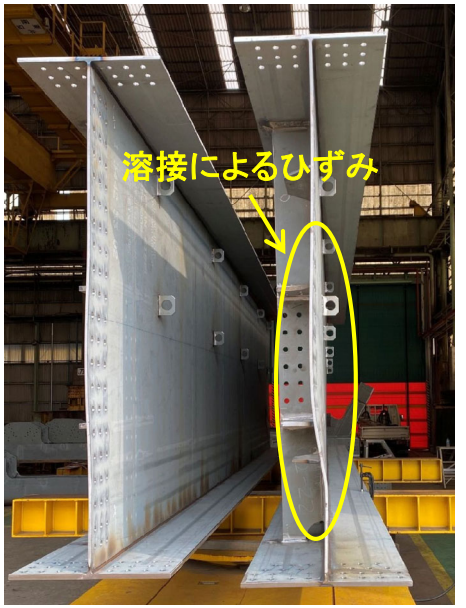
＜留意点＞

・溶接によって生じた部材の変形は、プレス、ガス炎加熱法等によって矯正

⇩

・ガス炎加熱法の場合、鋼種に応じた加熱温度、冷却方法と冷却開始温度の管理が重要
【道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.7.1加工 】

溶接によって生じた部材の変形
（溶接によるひずみ）



【 道路橋示方書・同解説Ⅱ表 20.7.4 】

鋼種		鋼材表面温度	冷却法
調質鋼（Q）		750℃以下	空冷又は空冷後600℃以下で水冷
熱制御加工鋼（TMC）	Ceq＞0.38	900℃以下	空冷又は空冷後500℃以下で水冷
	Ceq≦0.38	900℃以下	加熱直後水冷又は空冷
その他鋼材		900℃以下	赤熱状態からの水冷を避ける

※ Ceq：鋼材の炭素当量

ひずみ取り作業状況



溶接施工試験

溶接施工試験とは

・使用する鋼材の溶接性や使用する溶接方法の適性を把握する試験

＜留意点＞

・使用実績のない鋼種や溶接方法を採用する場合は、溶接施工試験を実施

・道路橋示方書・同解説Ⅱ 20.8.4　2)溶接施工試験に該当する場合に実施

試験項目	試験内容
引張試験	溶接部の引張強さが母材以上であること
型曲げ試験	溶接部を曲げて亀裂が生じないこと
衝撃試験	溶接部のシャルピー吸収エネルギが母材の要求値以上であること
マクロ試験	溶接部に欠陥がないこと
非破壊検査	溶接部に欠陥がないこと

開先溶接試験溶接方法

【 道路橋示方書・同解説Ⅱ 図 20.8.1】

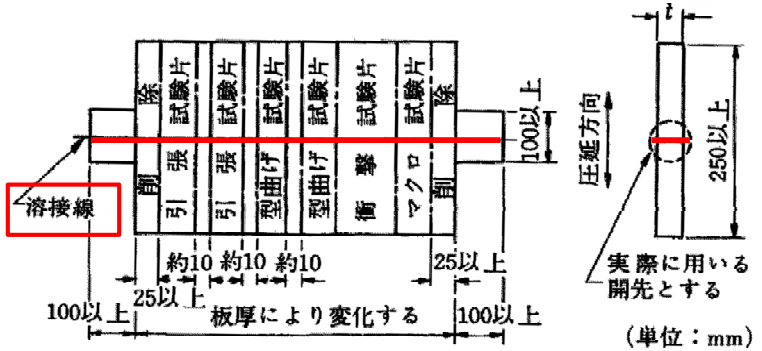


図-20.8.1　開先溶接試験溶接方法

衝撃試験片の採取位置

【 道路橋示方書・同解説Ⅱ 図 20.8.2】

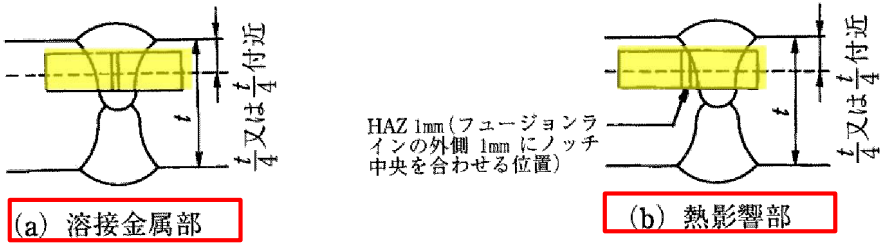
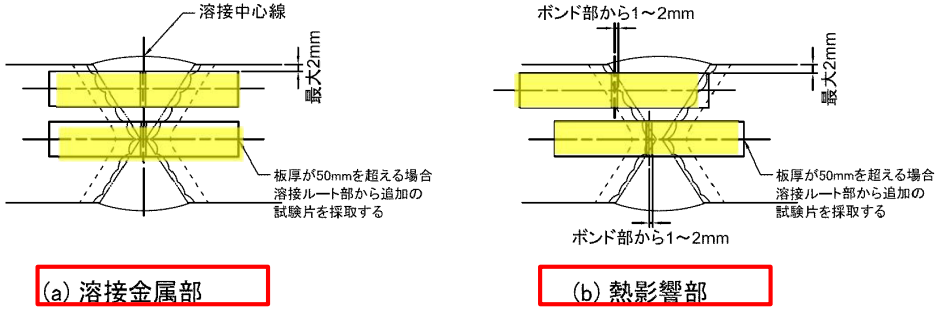


図-20.8.2　衝撃試験片（開先溶接試験片の採取位置）

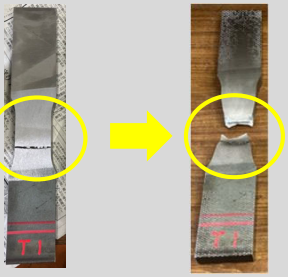
衝撃試験片の採取位置（道示改定後）



溶接施工試験

＜各試験項目　写真例＞

＜引張試験＞



試験片　　試験後

＜型曲げ試験＞



試験片　　試験中　　試験後

＜衝撃試験＞



試験片



試験後

試験中



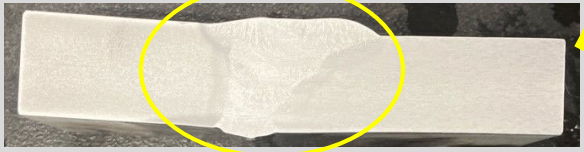
＜マクロ試験＞



試験片

試験中





試験後

・マクロ試験

溶接部の状態を評価するために、腐食液を用いてマクロ組織を現出させ、溶込み具合、溶接欠陥の有無、熱影響部の状態を観察する試験

[マクロ試験動画へ]

ご清聴、ありがとうございました

３．高性能鋼活用の展望

栗原　康行
（一社）日本鉄鋼連盟　橋梁用鋼材研究会



日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会
栗原　康行（JFEスチール）

主な橋梁向け高性能鋼

橋梁向け高性能鋼材の代表的なもの

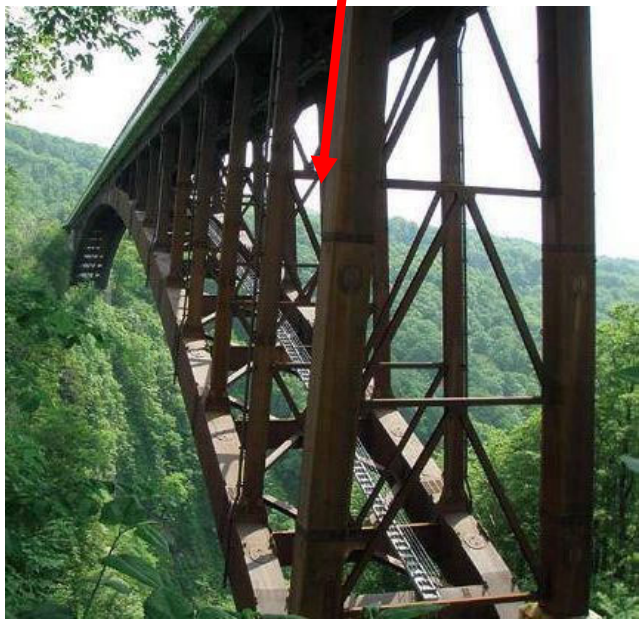
日本鉄鋼連盟ホームページより引用、一部追記・変更（http://www.jisf.or.jp/）

	①	高強度鋼	引張強さ570N/mm^{2}以上の高強度の鋼材
	②	高じん性鋼	冷間曲げ加工や寒冷地での使用に対応した鋼材
	③	LP鋼板	長手方向に直線的に板厚を変化させた鋼板
	④	予熱低減鋼	溶接施工時の予熱温度低減が可能な鋼材
	⑤	大入熱対策鋼	大入熱溶接が可能な鋼材
	⑥	耐ラメラテア鋼	板厚方向の強度特性を改善した鋼材
腐食	⑦	**耐候性鋼**	緻密なさびによって**さびの進展を抑制するため無塗装での使用が可能**な鋼材
	⑧	極厚鋼板（降伏点一定鋼）	板厚に関係なく規格降伏点を保証した鋼材
	⑨	低降伏点鋼（極軟鋼）	降伏点の低さと大きな伸び能力を有した鋼材
強度	⑩	**橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）**	TMCPを活用し，**靭性に優れ溶接性を向上させた高強度の鋼材**
	⑪	耐疲労鋼	軟質相（ﾌｪﾗｲﾄ）と硬質相（ﾍﾞｲﾅｲﾄ、パーライト）による複合組織とし，疲労き裂進展を遅延し疲労耐久性を向上させる鋼材
腐食	⑫	**塗膜下耐食鋼**	普通鋼に比べ塗装欠陥部からの腐食進展を抑制し、**塗装の寿命を延ばすことが可能な鋼材**
環境	⑬	**カーボンニュートラルスチール**	マスバランス法により**CO2排出量を0相当の鋼材**

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

高性能鋼　使用例

耐候性鋼
SMA



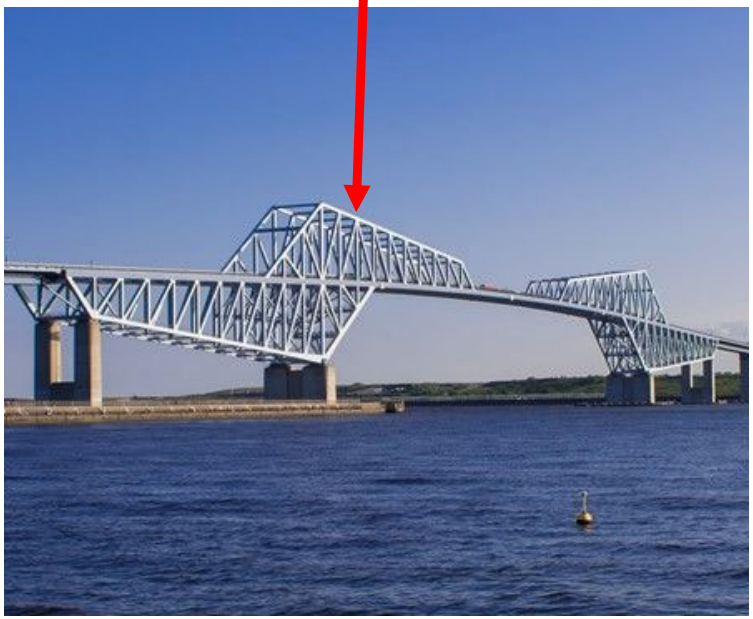
城ヶ倉大橋
（青森県）

塗膜下耐食鋼



港湾部海上橋
（沖縄県）

橋梁用高機能鋼材
SBHS



東京ゲートブリッジ
（東京都）

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

耐候性鋼

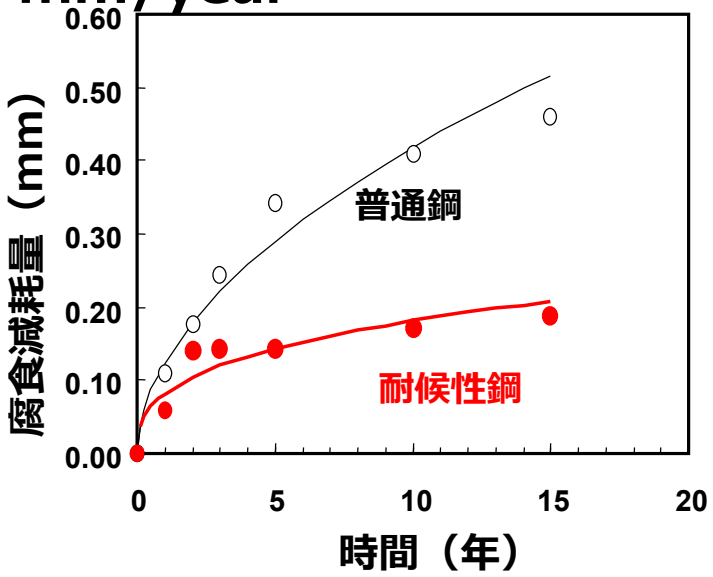
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

耐候性鋼橋梁の概要



城ヶ倉大橋: 架設後16年経過

平均気温： 16.3 ℃
降雨量： 1,529 mm/year



耐候性鋼は塗装不要 ⇒ 耐候性鋼は腐食の進行が遅い

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

耐候性鋼橋梁の概要

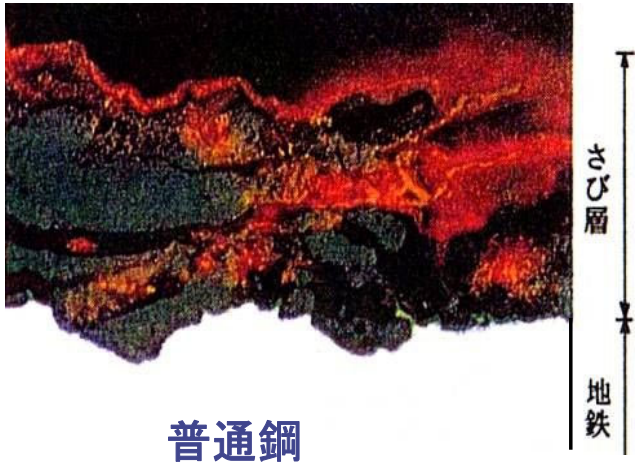
■耐候性の有効成分元素を含有

Cu，**Ni**，**Cr** を微量に添付 （**P**も効果的だが副作用強い）

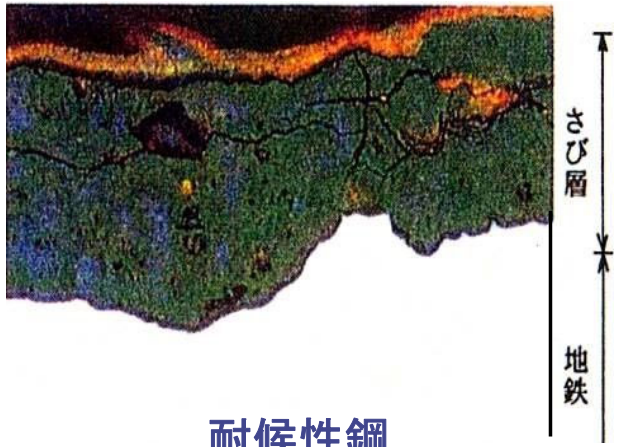
普通鋼：鋼材の表面にポーラスなさび層が形成

耐候性鋼：**緻密なさび**の保護効果により，

腐食進行抑制→**保護性さび**



普通鋼



耐候性鋼

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

耐候性鋼材の成分

Regulatory standard		Type of steel		Containing component %mass							
		Name	Intensity classification N/mm²	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
JIS G3114	G3114	SMA490AW	Y≧365	≦0.18	0.15～0.65	≦1.40	≦0.035	≦0.035	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
		SMA490AP	Y≧365	≦0.18	≦0.55	≦1.40	≦0.035	≦0.035	0.20～0.35	—	0.30～0.55
		SMA490W	B≧400	≦0.18	0.15～0.65	≦1.25	≦0.035	≦0.035	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
		SMA570W	B≧570	≦0.18	0.15～0.65	≦1.40	≦0.035	≦0.035	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
	G3140	SBHS500W	Y≧500	≦0.11	0.15～0.55	≦2.00	≦0.020	≦0.006	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
ASTM	(ASTM A709) ASTM A588	(Grade 50W) 345W	Y≧345	≦0.19	0.30～0.65	0.8～1.25	≦0.040	≦0.050	0.25～0.40	≦0.40	0.40～0.65
		(Grade 100W) 690W P,Q	Y≧690	0.14～0.21	0.15～0.35	0.95～1.30	≦0.035	≦0.035	—	1.20～1.50	1.00～1.50
	ASTM A709	(HPS 50W) 345W	Y≧345	≦0.11	0.30～0.50	1.10～1.35	≦0.020	≦0.006	0.25～0.40	0.25～0.40	0.45～0.70
		(HPS-100W) 690W	Y≧690	≦0.08	0.15～0.50	0.95～1.50	≦0.015	≦0.006	0.90～1.20	0.65～0.90	0.40～0.65
EN	10025-5	S355W	Y≧355	≦0.19	≦0.55	0.45～1.60	≦0.040	≦0.04	0.20～0.60	≦0.70	0.35～0.85
		S355WP	Y≧355	≦0.15	≦0.80	≦1.10	0.05～0.16	≦0.04	0.20～0.60	≦0.70	0.25～1.35
ISO	630－5	S355W	Y≧355	≦0.19	≦0.55	0.45～1.60	≦0.040	≦0.04	0.20～0.60	≦0.70	0.35～0.85
		S355WP	Y≧355	≦0.15	≦0.80	≦1.10	0.05～0.16	≦0.04	0.20～0.60	≦0.70	0.25～1.35
		SG365W1	Y≧365	≦0.18	0.15～0.65	≦1.40	≦0.035	≦0.035	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
		SG365W2	Y≧365	≦0.18	≦0.55	≦1.40	≦0.035	≦0.035	0.20～0.35	—	0.30～0.55
		SG345W	Y≧345	≦0.20	0.15～0.65	0.75～1.35	≦0.040	≦0.050	0.20～0.40	≦0.50	0.40～0.70
		SG400W	Y≧400	≦0.15	0.15～0.55	≦2.00	≦0.020	≦0.006	0.30～0.50	0.05～0.30	0.45～0.75
		SG700W	Y≧700	≦0.11	0.15～0.55	≦2.00	≦0.015	≦0.006	0.30～1.50	0.05～2.00	0.45～1.20

Y:Yield strength
B:Breaking strength

耐候性鋼では，
Cu（銅），Ni(ニッケル），Cr（クロム）を添加

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

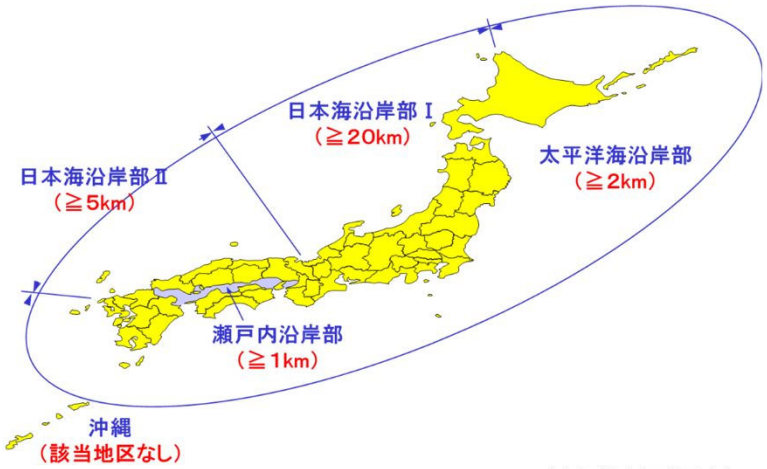
耐候性鋼 JIS SMA　～普及までの道筋～

●建設省，日本橋梁建設協会，現日本鉄鋼連盟が，日本全国の離岸距離規定適用指針(1993) → 現道路橋示方書

●無塗装裸仕様で塗装費，LCCを低減

＜国内適用＞

●国内第一号：知多2号橋(旧川崎製鉄)
供用58年



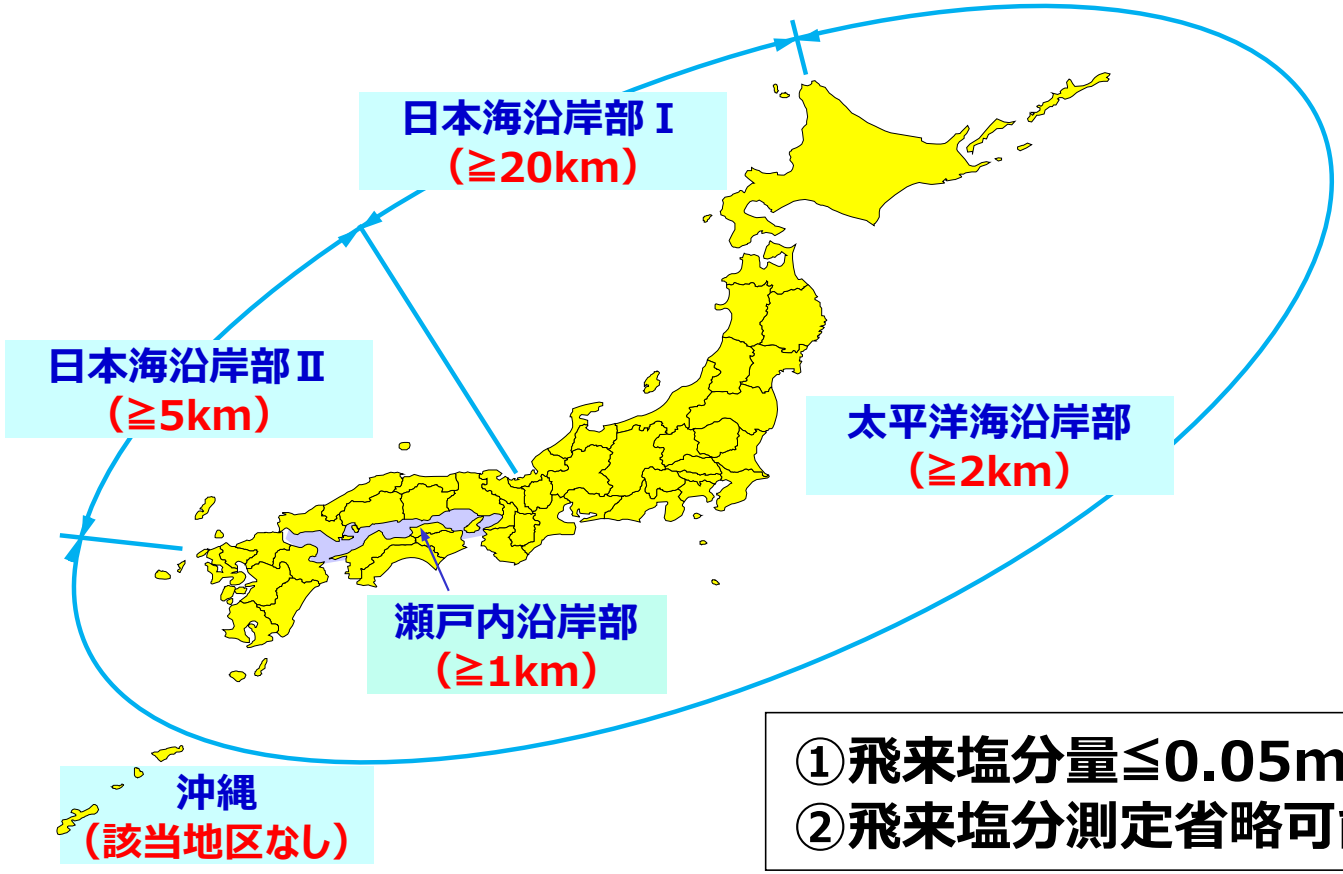
地域適用区分



知多2号橋（JFE知多製造所：1967年）

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

無塗装耐候性鋼橋梁の適用地域区分

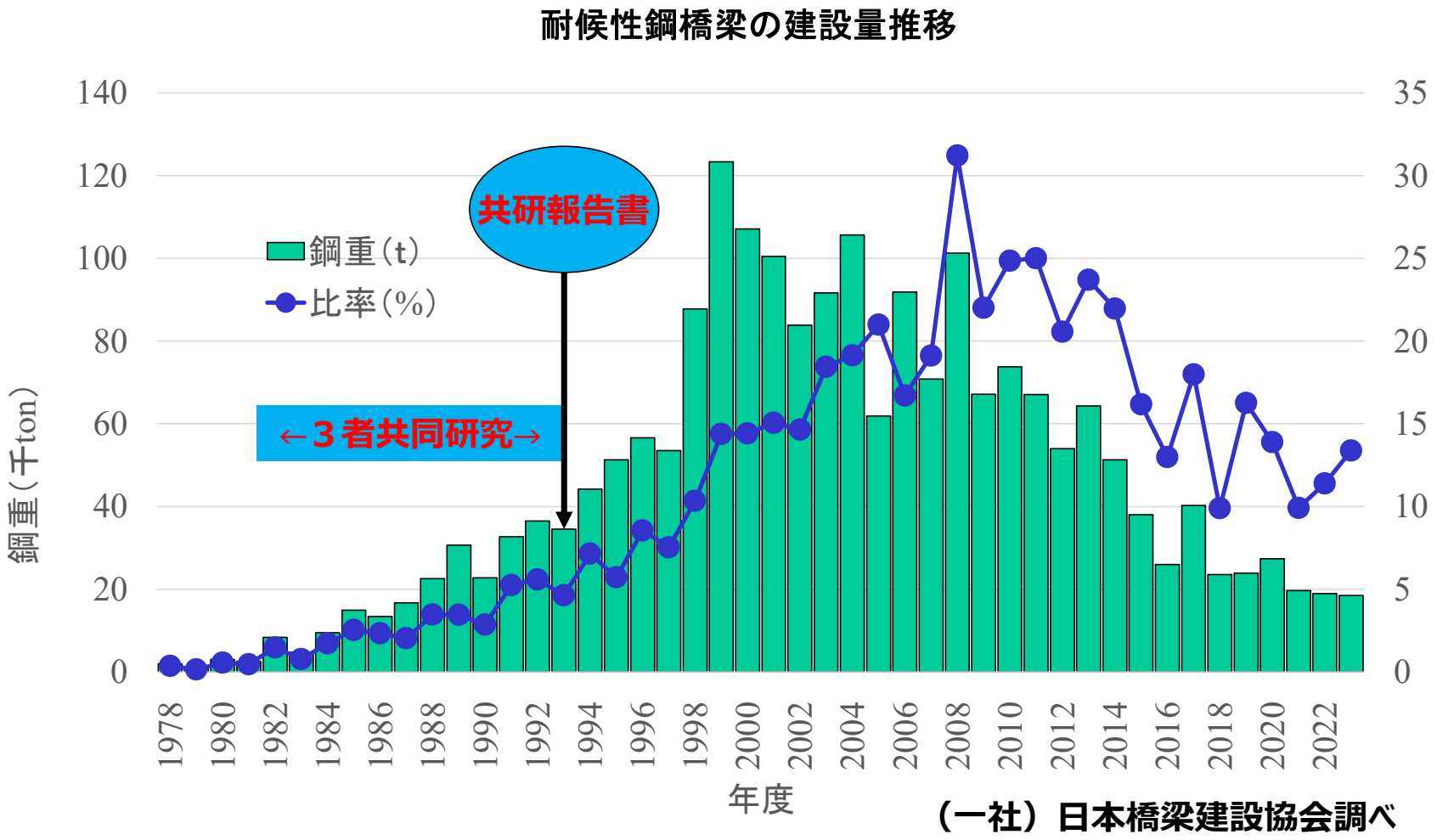


①飛来塩分量≦0.05mdd
②飛来塩分測定省略可能地域

9

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

耐候性鋼の現状



（一社）日本橋梁建設協会調べ

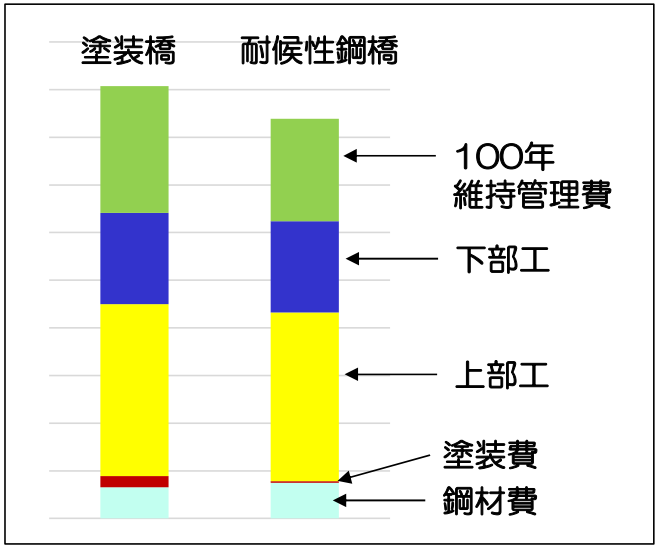
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

耐候性鋼 JIS SMA　～メリット、実績～

【メリット】

●塗装費減で初期コスト減

●再塗装減による維持管理費減

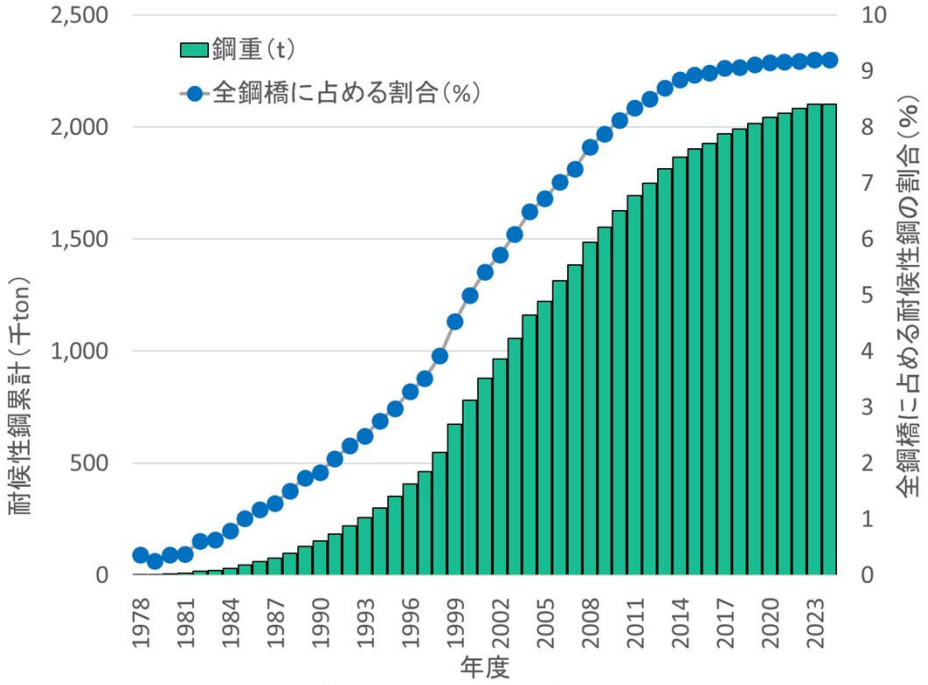


高架橋：維持管理費の比較

＜実績＞

●国内累計　約210万トン

●国内耐候性鋼橋梁が占める割合約1割



国内耐候性鋼の実績と重量比率

LCC効果などにより着実な普及実績　→　実橋梁の調査点検推進による信頼性向上

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

塗膜下耐食鋼

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

塗膜下耐食鋼※とは

※日本鉄鋼連盟による一般名称

微量のスズ（Sn），タングステン（W），チタン(Ti)，ニッケル(Ni)，銅(Cu)などの添加により，塗装弱点部の腐食進行を抑制
→塩害環境下での塗装の塗替え間隔の延長，ライフサイクルコストの低減

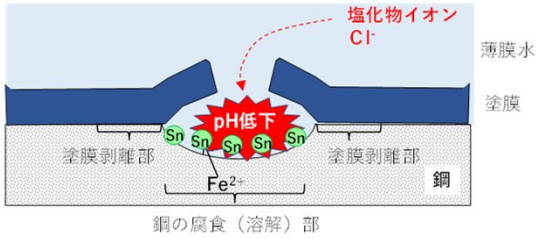
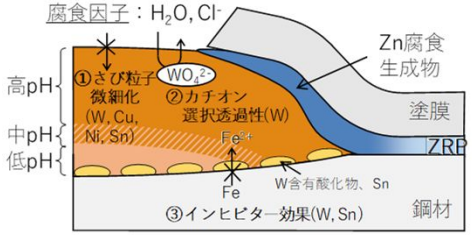
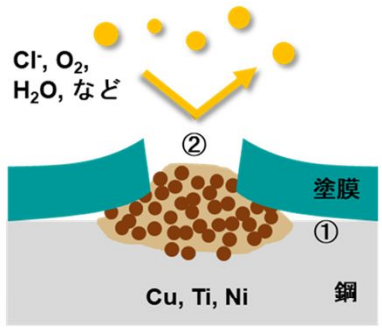
・劣化促進環境箇所（桁端部，滞水箇所）に使用することで腐食進行を抑制し，ローカル　部分の耐久性能を向上

・橋梁全体に使用することで，塗装塗り替え間隔を延長でき，LCC及び環境負荷の低減が可能

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

塗膜下耐食鋼のしくみ

塗膜下耐食鋼の防食機構

		塗膜下耐食鋼A	塗膜下耐食鋼B	塗膜下耐食鋼C
メカニズム		・塗膜欠陥部では塩化物イオンが濃縮し，溶出したFe^{2+}の空気酸化物であるFe^{3+}の加水分解により，その溶液環境は濃厚な塩化物を含む酸性水溶液となる． ・Ｓｎイオンによるインヒビター効果により、地鉄の溶解反応を抑制し、塗膜欠陥部の腐食を抑制する。	・Cu、Ni、Sn、Wがさび粒子を微細化し、腐食因子の透過を抑制 ・Wがさび層へカチオン選択透過性を付与し、腐食因子の透過を抑制 ・W、Snがインヒビター効果により地鉄の溶解反応を抑制	①合金をCr無添加とすることで塗膜下腐食先端部の酸性化による地鉄の溶解反応を抑制 ②Cu, Ni, Tiが生成さびを微細・緻密化することで塗膜欠陥部からの腐食因子の侵入を抑制
		 鋼の腐食（溶解）部		
耐食性能	普通鋼比	2.0倍	2.4倍	1.5倍
ラボ試験	試験方法	SAE J2334	ACTE（ISO16539B法 modify）	複合サイクル試験 （JIS K5600-7-9に準拠）
	塗装系	C-5塗装系	C-5塗装系	A系塗装、C-4塗装系
	試験期間	120日（120サイクル）	64週	180日（720サイクル）

※）耐食性能とは塗膜下での腐食進展・塗膜剥離抑制を示す。

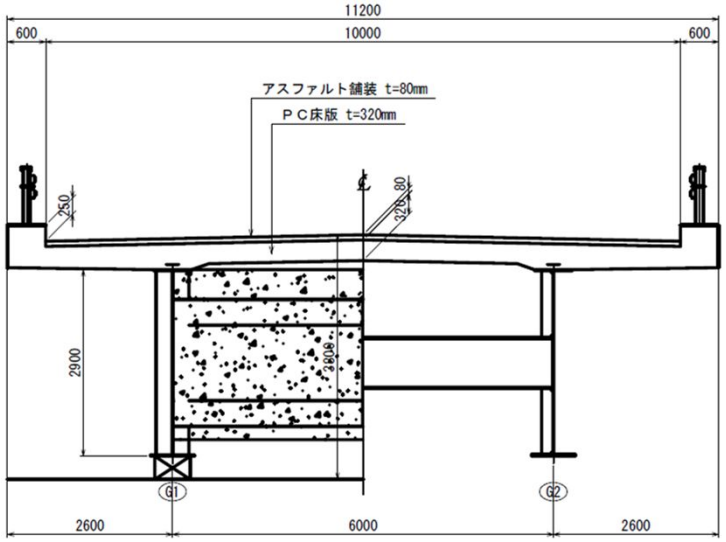
高木優任，長澤慎，栗原康行，鹿毛勇，松下政弘：鋼材製造・維持管理面に着目した鋼橋のCO2 排出量削減策に関する一考察，鋼構造年次論文報告集，Vol.33，2025.11(投稿中)より

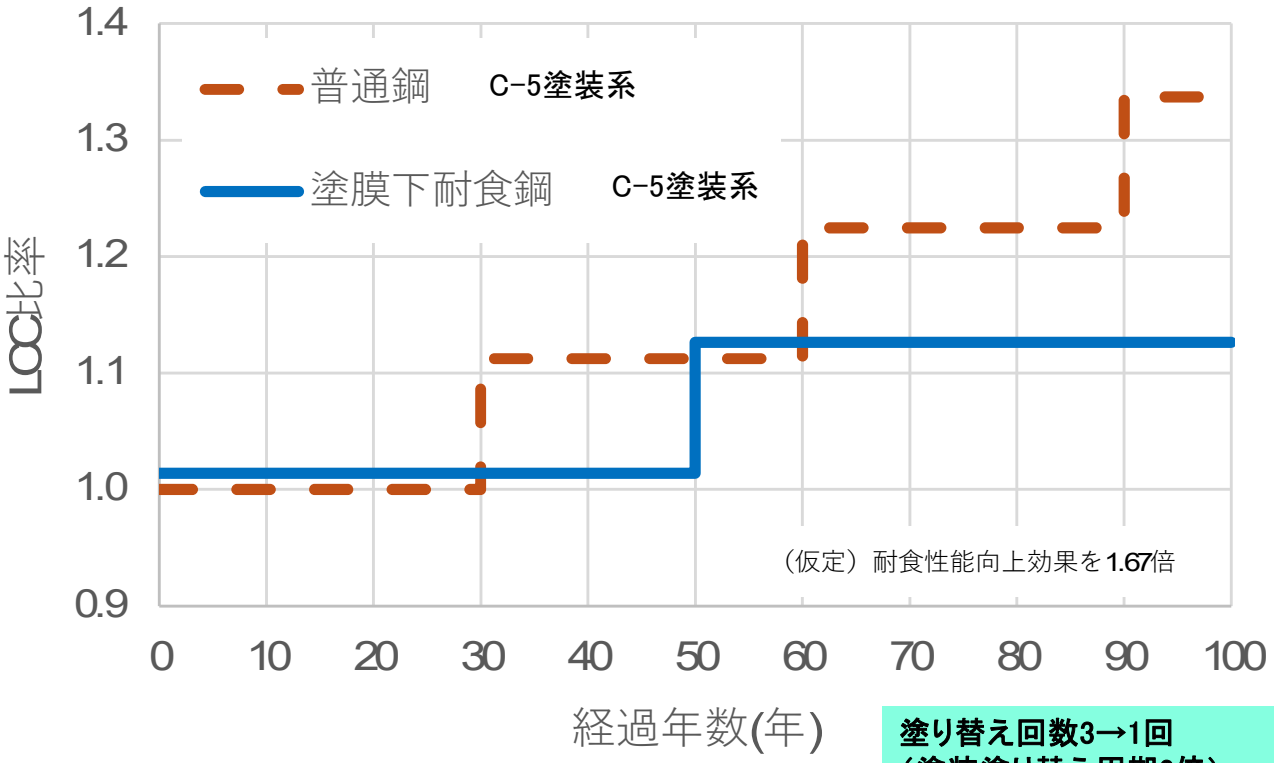
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

塗膜下耐食鋼のLCC試算

C5塗装系における塗膜下耐食鋼と普通鋼のライフサイクルコスト比較

橋梁形式	3径間連続合成2主桁橋
橋長	160m(49m+60m+49m)
全幅員	11.2m
総重量	321.3t
塗装面積	3555m^2





高木優任，長澤慎，栗原康行，鹿毛勇，松下政弘：鋼材製造・維持管理面に着目した鋼橋のCO2 排出量削減策に関する一考察，鋼構造年次論文報告集，Vol.33，2025.11(投稿中)より

塗り替え回数3→1回
（塗装塗り替え周期2倍）

初期建設費約2%
（鋼橋全体に適用）増で
LCCを約75%減

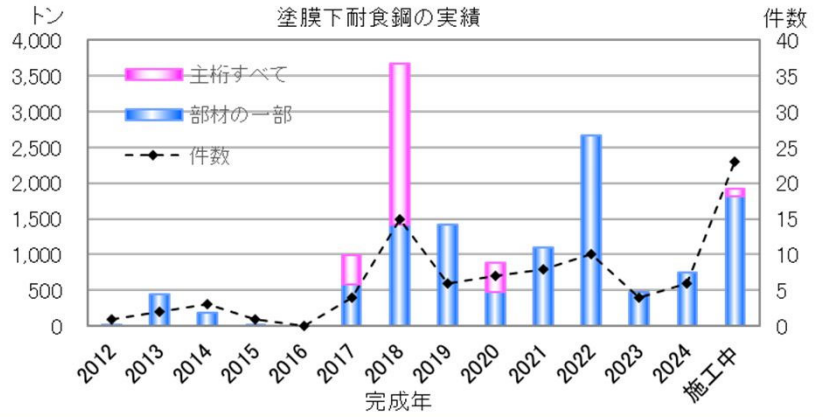
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

塗膜下耐食鋼の適用実績

適用実績

累計約14,000ﾄﾝ，100橋以上
（R7.3末現在,施工中含む）

(一社)日本鉄鋼連盟調べ



沖縄での適用事例



*港湾部海上橋での適用(浦添市)

日本製鉄(株)提供

LCC・環境負荷低減に貢献できる鋼材→基準化を進め、普及を目指す

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

橋梁用高降伏点鋼材 （SBHS）

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

橋梁用高降伏点鋼材　（SBHS）とは

SBHS（Steels for Bridge High Performance Structure）

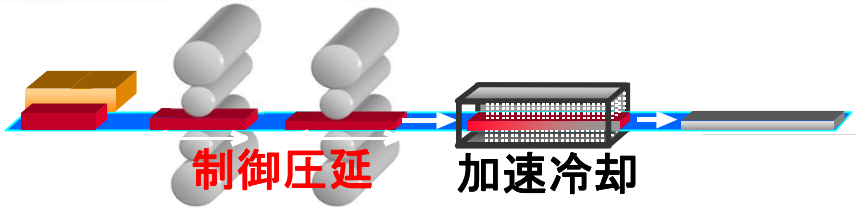
・鋼橋の建設コスト縮減のために産学連携研究プロジェクトの成果に基づき開発された高性能鋼材（JIS G 3140）。

・SBHSは、従来の490N/mm^2 、570N/mm^2 級および780N/mm^2 級高張力鋼と比較し強度・靭性および溶接性において、より優れた性能を保有

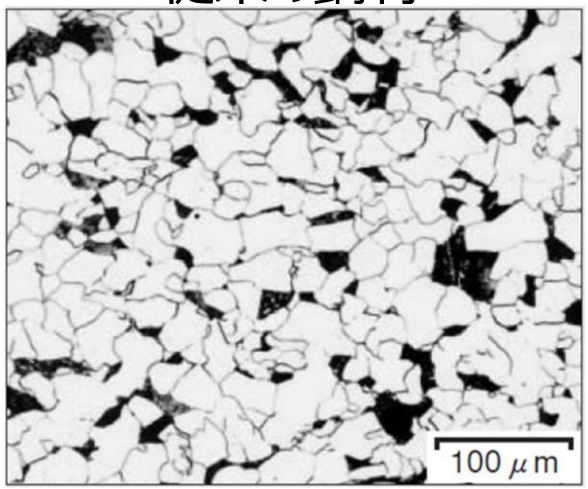
・SBHSの特長を有効に活用し、設計および製作の面で合理化を達成可能

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

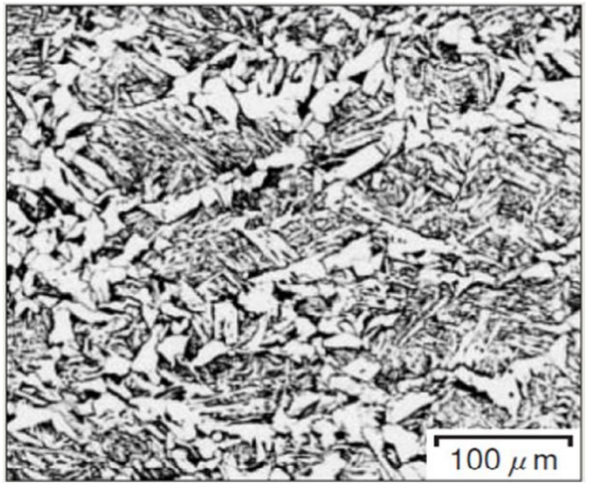
TMCP活用による高強度化



従来の鋼材※



ＴＭＣＰ鋼（制御圧延＋加速冷却）※



従来の鋼板に比べて微細化

⇒ 少ない合金元素とすることで良好な溶接施工性を具備

しながらも強度、靭性に優れた鋼材の製造が可能

※植田圭治、特集：構造物の基礎を支える鋼材技術 厚板編、日本溶接協会　第29号 2018.7

19

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

SBHSの特長

■SBHS（Steels for Bridge High performance Structure）

■製造：熱加工制御技術を活用

■特徴（SBHS500の場合）
- 降伏点：500N/mm^2
- 板厚方向特性および低温靭性に優れる
- SM490Yと同等以上の溶接性
- 冷間曲げ加工性向上（15t→7t or 5tへ対応可能：option）

■効果
溶接時の予熱の不要・低減
大入熱溶接が可能
→鋼橋の合理化への寄与が期待

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

SBHS普及のための規格化

① 2005年 鉄連規格：BHS鋼

■BHS（Bridge High Performance Steel）

② 2008年 JIS G 3140　SBHS制定（2011年改正）

■SBHS（Steels for Bridge High performance Structure）

わが国橋梁用鋼材のJIS制定としては40年ぶり（1968年　SM490Y以来）

SBHS500，SBHS500W，SBHS700，SBHS700Wの４種類(2008年)

SBHS400，BH400Wの2種類を追加(2011年)

③ 2017年 道路橋示方書（平成29年版）掲載

・**SBHS400，SBHS400W，SBHS500，SBHS500W**使用材料として規定

・SBHS400設計上の扱いは従来鋼と同様，SBHS500は降伏に対する安全余裕度大きめ

・SBHS500もSM490Y等と同等の入熱量を許容するなど，製作性が向上

・使用部位は上部工に限定　（塑性化が見込まれる部材(橋脚等)は対象外）

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

SBHS普及のための規格化

④2025年　道路橋示方書掲載に向けた検討

現在、日本道路協会で作業中。SBHSに関しては以下の動きがある
・SBHS700鋼材の掲載
・SBHS400,500鋼材の塑性化考慮　→　鋼製橋脚への適用



材発時期	橋名	発注者	形式
2006	臨海中央大橋	東京都港湾局	鋼床版箱桁
2007	東京ゲートブリッジ	国土交通省東京港湾事務所	トラス・ボックス複合橋
2009	永田橋	東京都建設局	トラスウェブPC橋
2011	印旛捷水路橋	千葉県	複合ラーメン橋
2011	まこご橋	東京都建設局	箱桁橋
2011	新宮川橋	三重県	トラス橋
2012	太田川大橋	広島市	複合アーチ橋
2012	築地大橋	東京都建設局	アーチ橋
2012	高槻JCTランプ橋	NEXCO西日本	鋼製橋脚
2013	朝明川橋	NEXCO中日本	アーチ補剛鋼床版箱桁橋
2014	沼田原橋	十津川村(奈良県)	ラーメン橋

本間：日本発祥の技術，橋梁用高性能鋼材 SBHS，橋梁と基礎(2014.11)より

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

SBHSの規格と機械特性

鋼種	鋼板の厚さ（mm）	降伏点または耐力（N/mm^2）	引張強さ（N/mm^2）	シャルピー吸収エネルギー（J）
SBHS400 SBHS400W	6≦ t ≦ 100	400以上	490～640	100以上 @ 0℃※
SBHS500 SBHS500W	6≦ t ≦ 100	500以上	570～720	100以上 @ －5℃※
SBHS700 SBHS700W	6≦ t ≦ 75	700以上	780～930	100以上 @ －40℃※

※ Vノッチ圧延直角方向

SM570	6≦ t ≦ 100	450以上	570～720	47以上 @ －5℃※※

※※ Vノッチ圧延方向

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

SBHSの規格と機械特性

鋼種	鋼板の厚さ（mm）	P_{CM}（%）	予熱条件
SBHS400 SBHS400W	100以下	0.22以下	予熱なし
SBHS500 SBHS500W	100以下	0.20以下	予熱なし
SBHS700 SBHS700W	50以下	0.30以下	50℃
	50を超え75以下	0.32以下	

SM570	25以下	0.26以下※	予熱なし
	25を超え50以下	0.27以下※	80℃（50℃）
	50を超え75以下	0.29以下※	100℃（80℃）

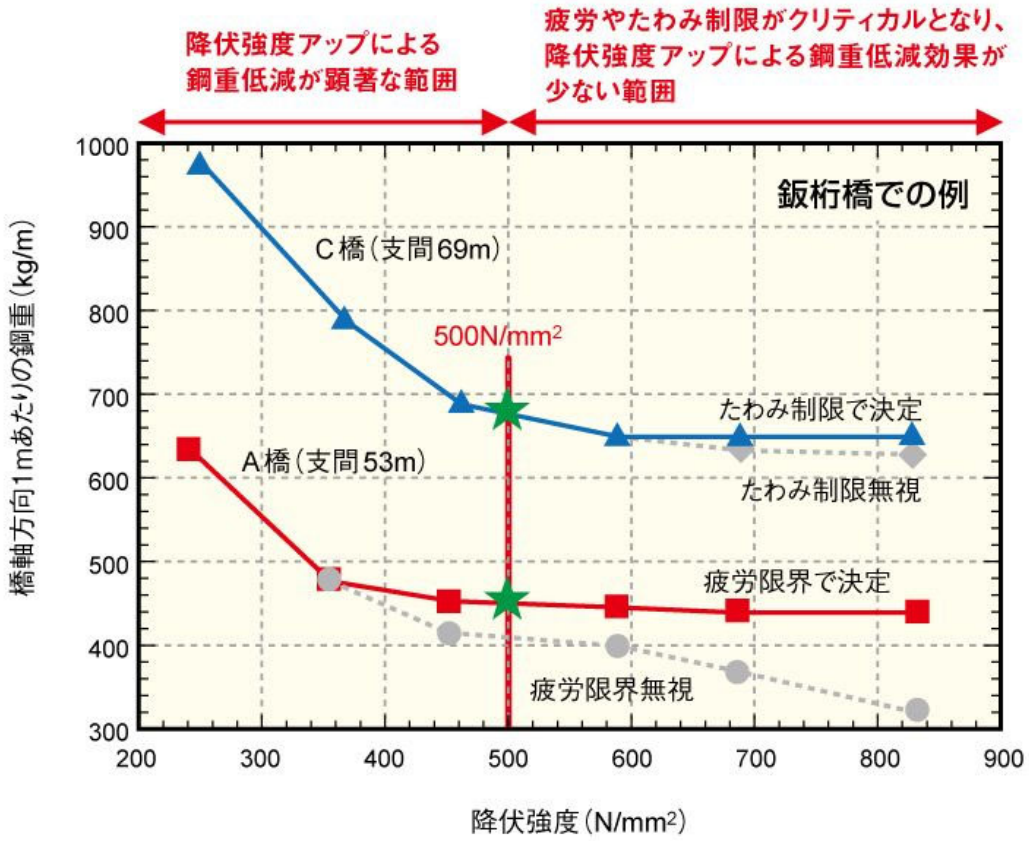
※道路橋示方書における標準

注)カッコ内は SMAW

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

降伏強度と鋼重の関係

鈑桁橋では、降伏強度500N/mm²鋼材以下が経済設計に有効*
厚手材の板厚低減にも有効



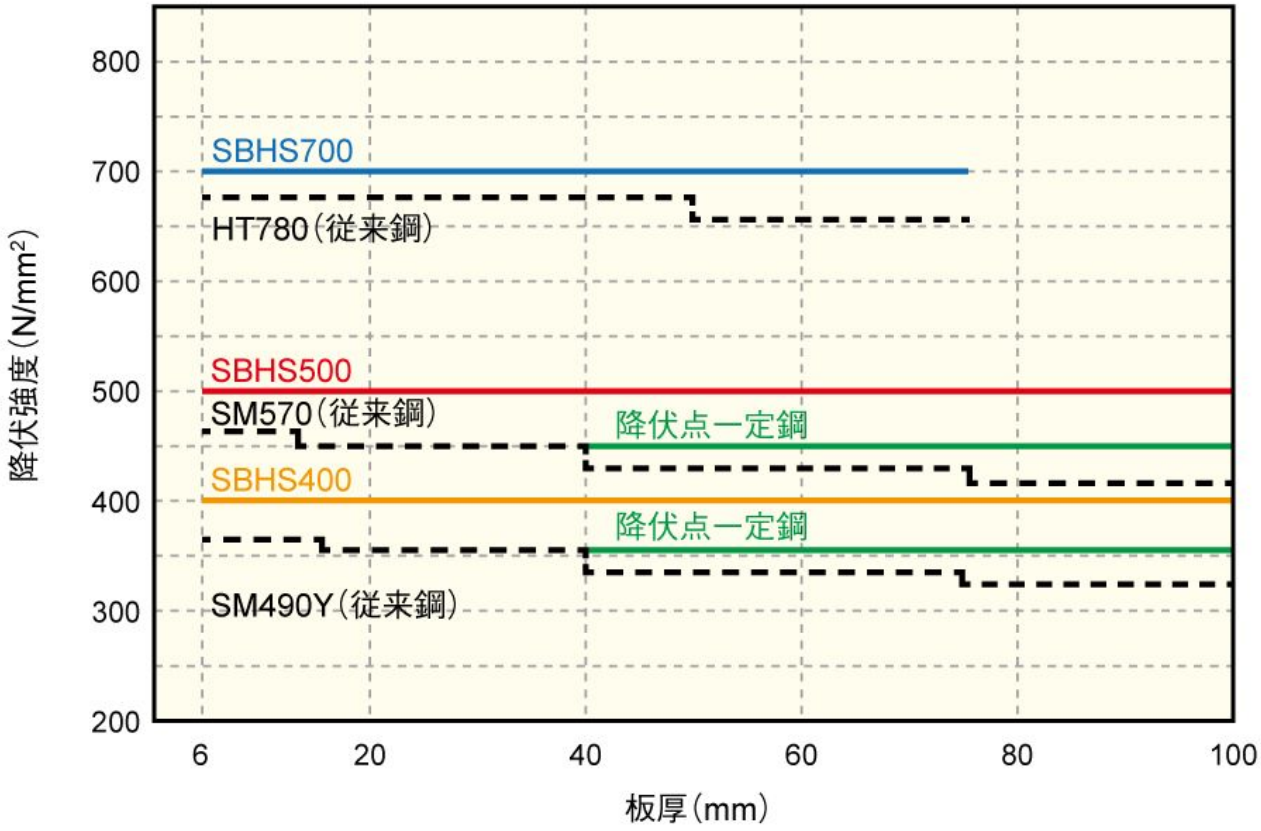
長大吊橋、斜張橋等では、降伏強度700N/mm²鋼材が経済設計に有効

＊「小西拓洋、三木千壽他：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No.654/1-52, 2000.7」

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

SBHSの降伏強度

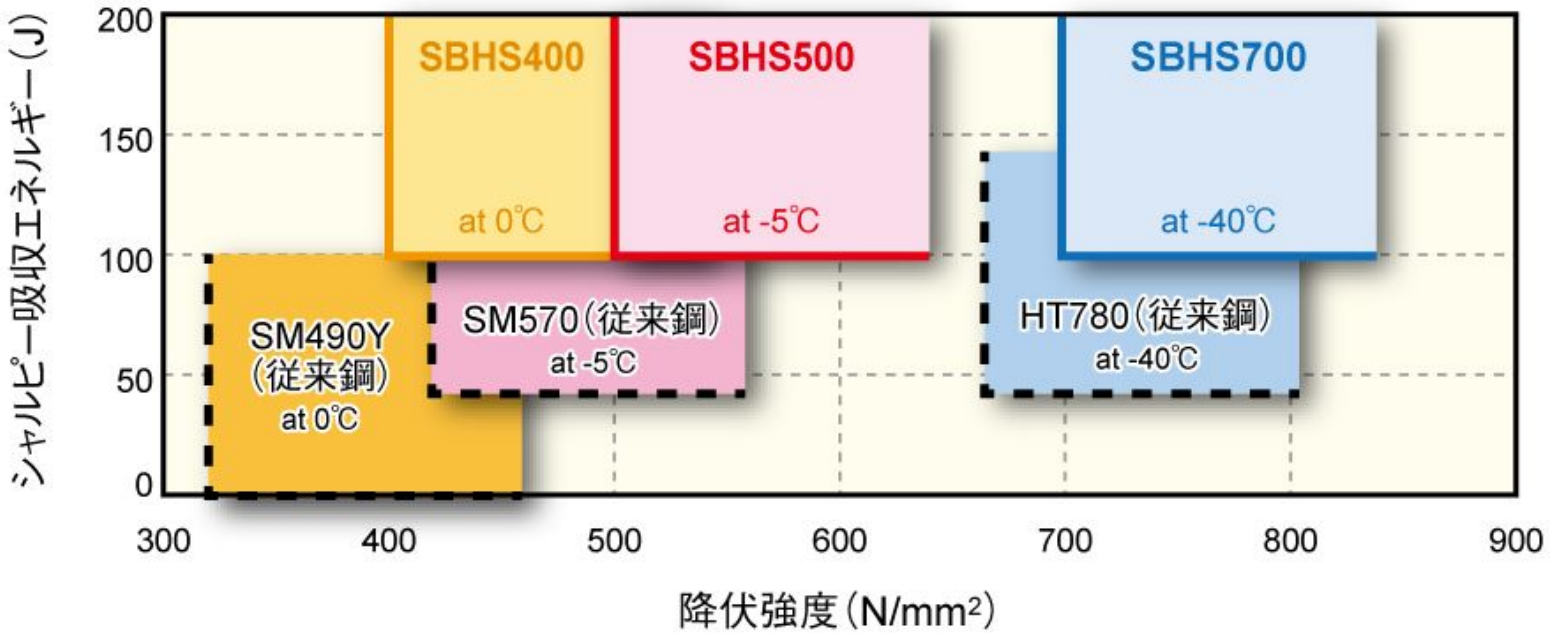
降伏強度400、500、700N/mm²の3種類で、板厚によらず降伏強度一定
耐候性鋼仕様も同様



©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

SBHSの母材靭性（例）

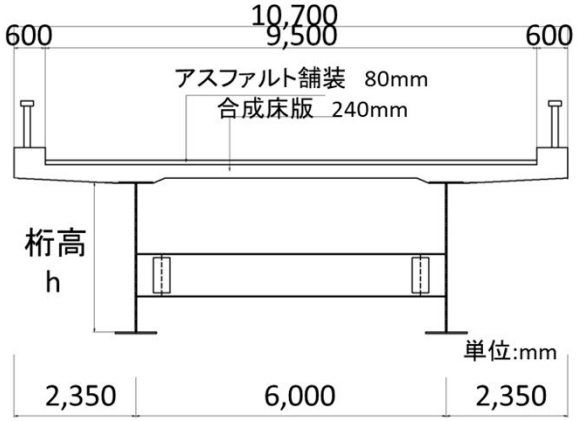
SBHSは従来鋼に比べて高い靭性を有し、かつ圧延直角方向を保証
耐候性鋼仕様も同様



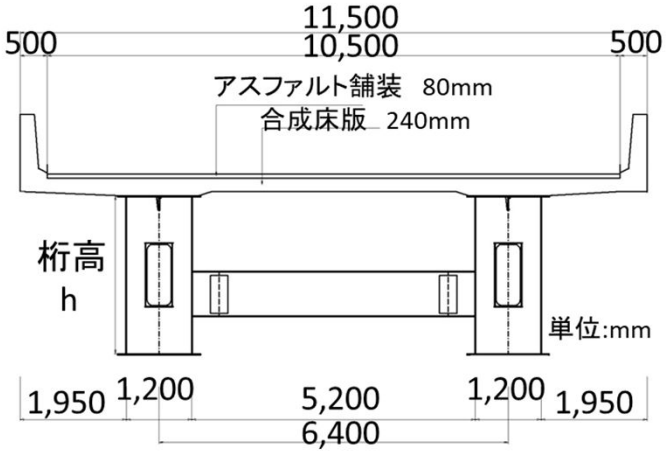
©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

試設計[H29道示ベース]によるメリットの検討例

①2主合成鈑桁橋
60m@3



②合成細幅箱桁橋
75m+90m+75m(平均80m)



ケース1	SM材のみ	桁高2900mm
ケース2	SM材+SBHS400,500	桁高2900mm
ケース3	SM材+SBHS400,500	桁高低減(複数ケース)

(積算) 鋼材価格:物価本
積算時のSM570相当材(1.28)の割増:SBHS400=1.0, SBHS500=1.12(実績より)
架設はトラッククレーンベントでトン当たり単価で概算

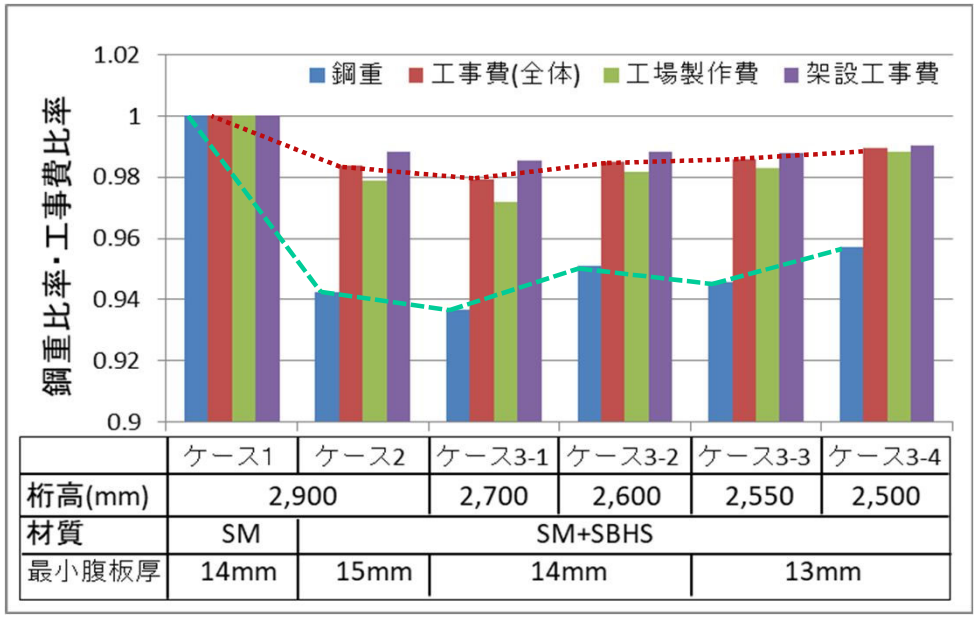
高木ほか:鋼道路橋での橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)の有効活用に向けた試設計, 橋梁と基礎(2020.1)より

28

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

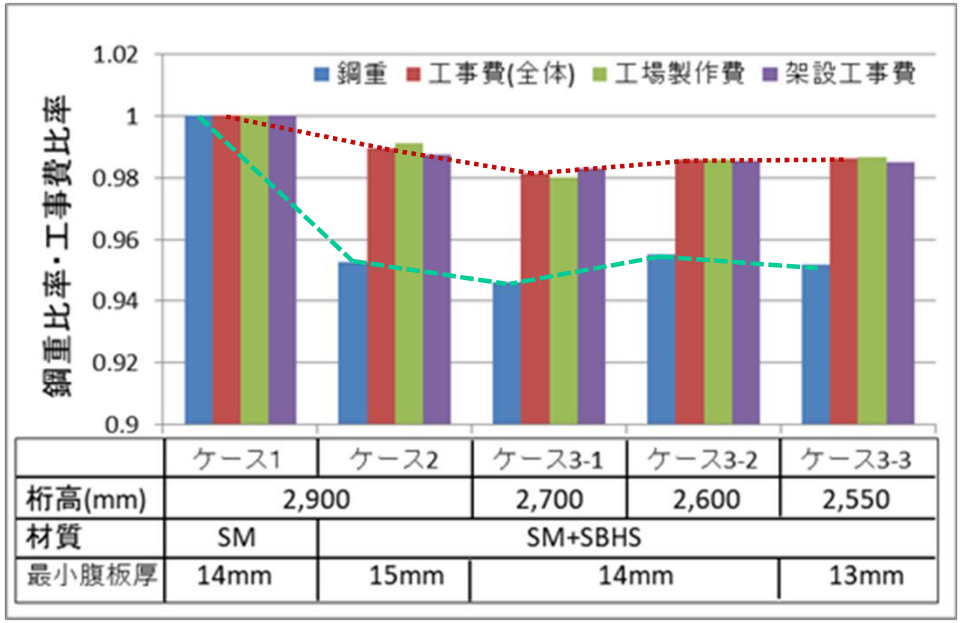
試設計[H29道示ベース]によるメリットの検討例

連続合成2主鈑桁



	ケース1	ケース2	ケース3-1	ケース3-2	ケース3-3	ケース3-4
桁高(mm)	2,900		2,700	2,600	2,550	2,500
材質	SM	SM+SBHS				
最小腹板厚	14mm	15mm	14mm		13mm	

連続合成細幅箱桁



	ケース1	ケース2	ケース3-1	ケース3-2	ケース3-3
桁高(mm)	2,900		2,700	2,600	2,550
材質	SM	SM+SBHS			
最小腹板厚	14mm	15mm	14mm		13mm

○鋼重：**SBHS**適用により鋼重は低減。桁高減でウェブ厚薄くなりさらに鋼重減。⇒**SBHS**は桁高低くしても全体鋼重は大きく増えることはなく，桁高を低減したい場合に有効。

○コスト：鋼重とほぼ同じ傾向。細幅箱桁の方が鋼重低減幅が小さいため，工事費の削減効果も2主合成鈑桁より小さくなった。

高木ほか：鋼道路橋での橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）の有効活用に向けた試設計，橋梁と基礎(2020.1)より

合理化設計・環境負荷低減に貢献できる鋼材→基準化、普及促進を目指す

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

カーボンニュートラルスチール

ⓒ2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

カーボンニュートラルスチールへの挑戦　～ゼロカーボン・スチール～

- 鉄は、鉄鉱石(自然界で酸素と結びついて錆びた状態の鉄)から酸素を取り除いて作る。
  従来型製鉄法(高炉法)では、酸素を取り除くのに「炭素」(石炭)を用いるのでCO_2が出る。
- ゼロカーボン・スチールでは「炭素」の代わりに「水素」を利用する。
  但しどこからか「水素」を買ってきて「炭素」に置き換えれば済むという単純な話ではない。

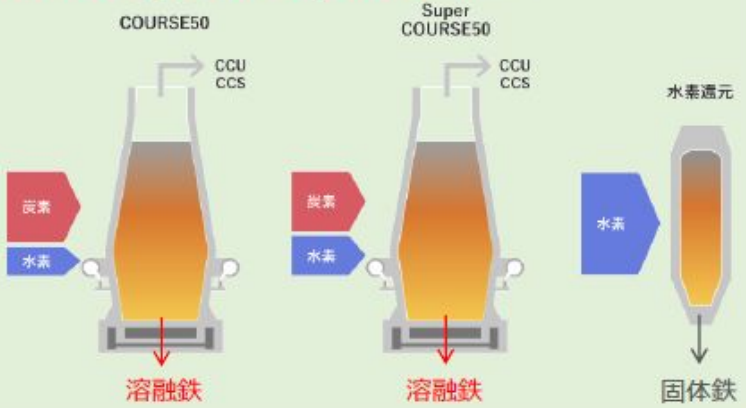
従来型製鉄法(高炉法)

- 巨大高炉(高さ100m)の中で、炭素(石炭)を用いて鉄鉱石から酸素を取り除く。
- 高炉は生産性やエネルギー効率が非常に高い。
- 鉄鉱石と炭素の反応は発熱。そのため反応は容易で、鉄は溶融鉄として得られる。
- 不純物も溶融スラグ(石の成分)として自然に分離される。



ゼロカーボン・スチール

- ゼロカーボン・スチールは以下の組合せでCO_2排出をゼロにする。
  (1) 炭素(石炭)から水素への転換
  (2) CO_2の回収固定(CCUS)
- 100%水素に替えるには製鉄所の上工程設備の総入替えや、所内エネルギー源として利用していた副生ガス(石炭副産物)の代替が必要。



<(一社)日本鉄鋼連盟HPより>

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

カーボンニュートラルスチールへの挑戦　～課題～

➢ ゼロカーボン・スチールの実現には、少なくとも以下のような困難な課題を乗り越える必要があり、極めてチャレンジング。

技術的課題

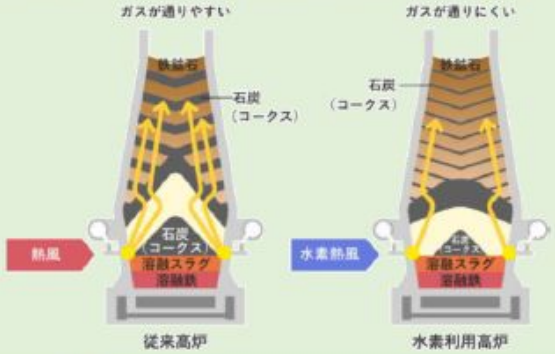
1. 水素と鉄鉱石の反応には加熱が必要

可燃性の水素をどう高温に加熱するか？

炭素による鉄鉱石の還元　　水素による鉄鉱石の還元

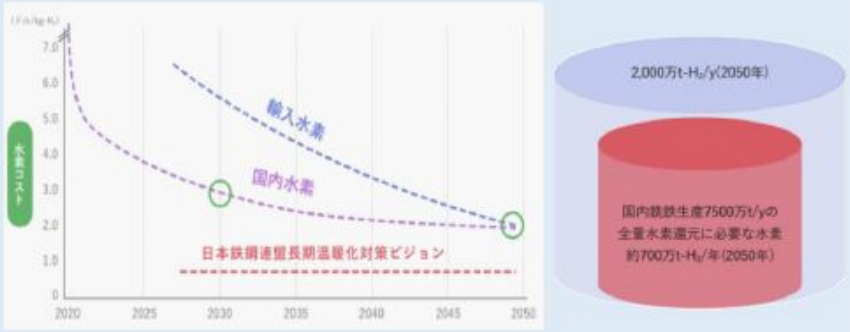


2. 石炭減→通気悪化+鉄鉱石を支えられなくなる



社会インフラの課題

3. 国の2050年目標より安価で大量の水素が必要



4. ゼロエミ電力の安価・安定供給

産業用電気料金の国際比較（USドル/MWh）

高額な電気料金は国際競争上の大きなハンディキャップ



5. 経済合理的なCCUSの社会実装

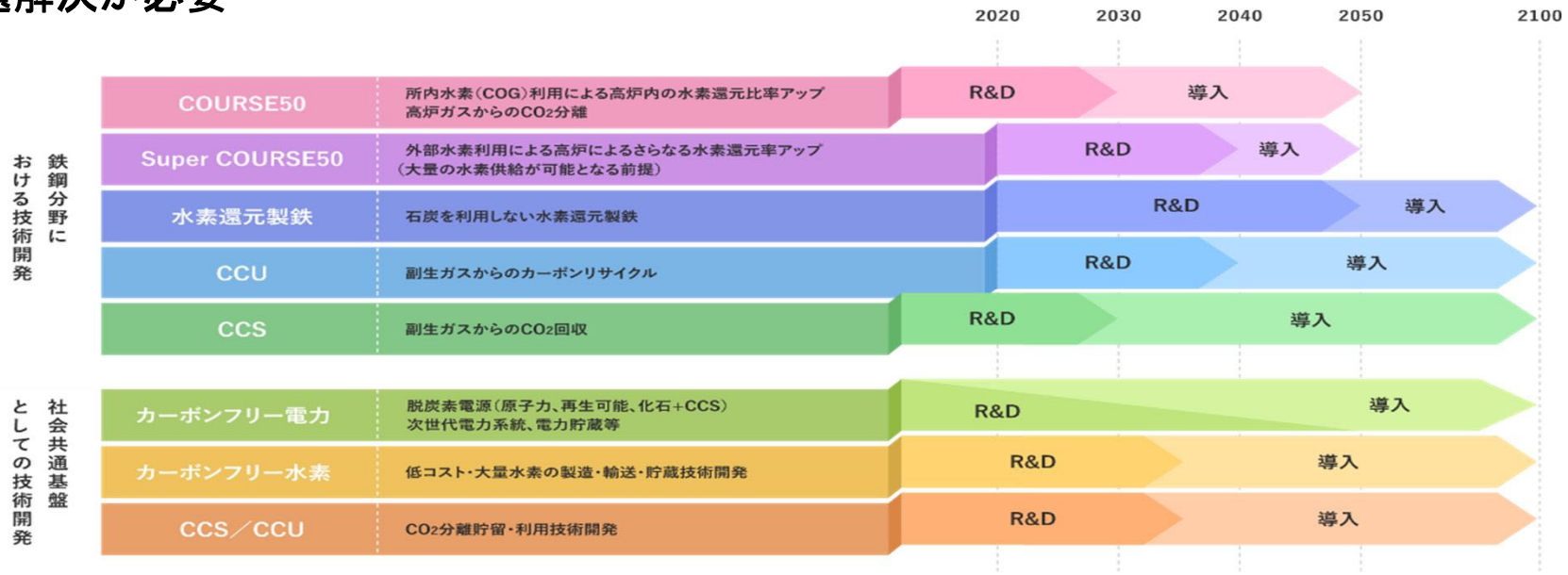
<(一社)日本鉄鋼連盟HPより>

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

カーボンニュートラルスチールへの挑戦　～ロードマップ～

2050カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ

・着々と開発が進んでいるCOURSE50プロジェクトに加え，2020年からは高炉での極限までの低CO_2排出を目指したSuper COURSE50，さらには究極のCO_2排出ゼロ製鐵技術である水素還元製鉄，CCS，CCUの開発に挑戦し，製鐵プロセスからのゼロエミッションを可能にする
・鉄鋼の製造に利用される水素はカーボンフリーであることはもとより，安価安定供給も重要な要件
・CCS実施にあたっては技術開発に加え，社会受容性，実施主体や経済的負担の在り方などの課題解決が必要



<(一社)日本鉄鋼連盟HPより>

©2025The Japan Iron and Steel Federation　All rights reserved　禁無断掲載

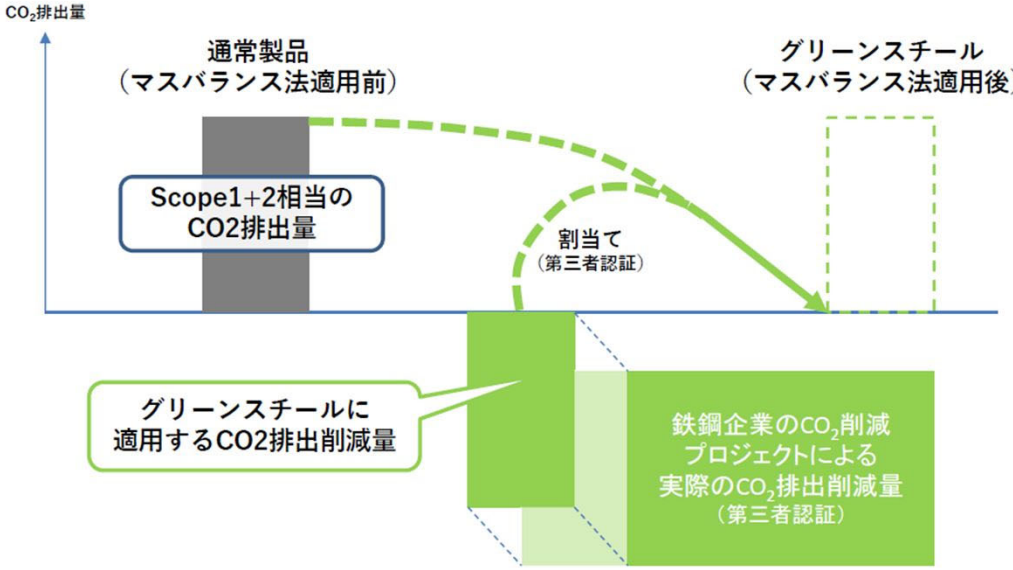
鋼材メーカーからの鋼橋のCO_2削減策の提案

カーボンニュートラルスチールの実現を待たずに今すぐ実行できることを推進
⇒鉄鋼メーカーとして，取り組みを提案

○マスバランス方式を適用したグリーンスチールの採用

マスバランス方式を適用した
グリーンスチール事例

(株)神戸製鋼所　Kobenable Steel
JFEスチール(株)　JGreeX™
日本製鉄(株)　NSCarbolex®



日本製鉄HPを基に日本鉄鋼連盟にて作成

※上記のマスバランス手法は日本鉄鋼連盟「マスバランス法を適用したグリーンスチールのCO2排出原単位の算定方法に関するガイドライン」（2022.9）に基づく

マスバランス方式のカーボンニュートラル鋼材を提供可能

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved　禁無断掲載

まとめと今後の展望

○耐疲労鋼
塗装不要によるLCCの低減が可能。現状、全鋼橋の約1割を占める。実橋梁の調査・点検データ分析による一層の信頼性の向上を推進中。

○塗膜下耐食鋼
塗装塗り替え回数の低減によるLCCおよび環境負荷低減が可能。規準化推進による普及促進を進め、環境負荷低減へ貢献。

○SBHS
道路橋示方書改定によるSBHS400(W)、500(W)、700(W)の全掲載。設計の容易化により合理化の推進促進、CO2削減効果期待。

○カーボンニュートラルスチール
マスバランス法によりCO2排出量0相当のグリーンスチールを提供することが可能。

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載

ご清聴ありがとうございました.

©2025The Japan Iron and Steel Federation All rights reserved 禁無断掲載