

鋼材の歴史的変遷

田中雅人

東京鉄骨橋梁(株)

鋼材の歴史の変遷と補修溶接

- 1. はじめに
- 2. 鋼材の歴史の変遷
 - 2.1 鋼材の変遷
 - 2.2 規格制定前の鋼材
 - 2.3 規格制定後の鋼材
 - 2.4 最近の鋼材の動向
 - 2.5 年代別鋼材の化学成分の頻度分布例
- 3. 鋼材の調査方法
 - 3.1 分析試料の採取
 - 3.2 硬さ測定
 - 3.3 機器分析
 - 3.3.1 発光分光分析法
 - 3.3.2 蛍光X線分析法
 - 3.4 化学分析
 - 3.5 水素量の測定方法
 - 3.6 鋼材の火花試験方法
 - 3.7 サルファープリント検査
- 4. 溶接補修構造と割れ感受性
- 5. 鋼橋の鋼材と補修溶接の留意点

鋼材の歴史の変遷と補修溶接

- 1. はじめに
- 2. 鋼材の歴史の変遷
 - 1.1.1 補修溶接継手の種類
 - 1.1.2 補修溶接継手の分類
- 3. 鋼材の調査方法
 - 1.2 割れ感受性評価式
 - 1.2.1 割れの要因
 - 1.2.2 鋼材の溶接性の評価
 - 1.2.3 水素量の評価
 - 1.2.4 拘束度の評価
- 2. 鋼橋の鋼材と補修溶接の留意点
 - 2.1 道路橋示方書における鋼材規格の変遷
 - 2.2 道路橋示方書における鋼材の溶接性に関連する規格の変遷
 - 2.3 補修溶接の留意点

溶接性を基準とした鋼材の時代区分

- 第1世代
 - 1952年(昭和27年)以前
 - : 高C・低Mn鋼が使用され、溶接性が劣る
- 第2世代
 - 1952年から1970年(昭和45年)代
 - : Mn/Cが2.5以上となり溶接性が改善
- 第3世代
 - 1980年(昭和55年)以降
 - : 高純化が進み、耐ラメラテア一性が向上
- 溶接予備処理技術の導入

製鋼の目的

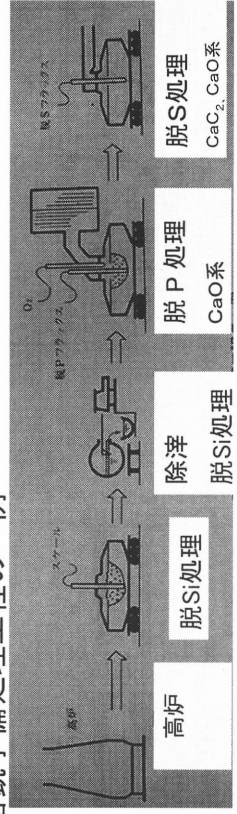
成分調整と不純物(おもにP、S)、ガス成分(H、O、N)の低減

溶銑予備処理

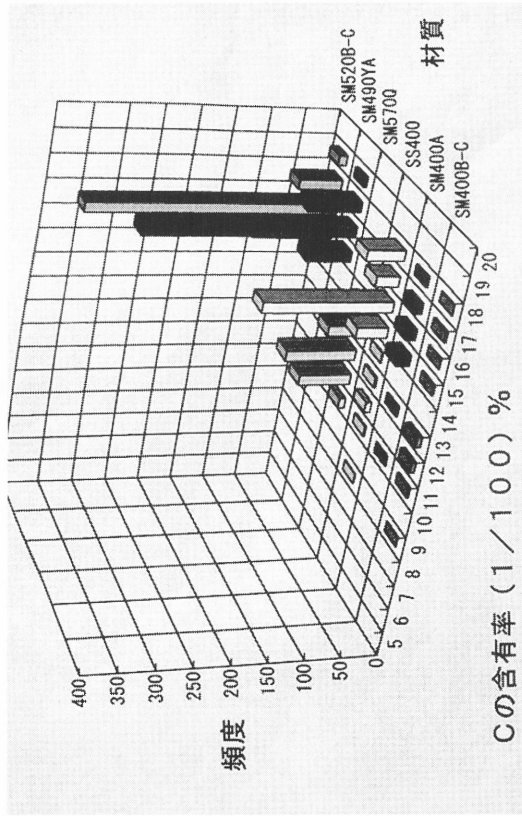
特にP、Sの低減については、転炉に溶銑を注入するまえに、取鍋またはトーピードカー内に脱燐剤、脱硫剤を投入し、脱燐、脱硫を行う

後、転炉精錬することにより低燐、低硫化をはかっている

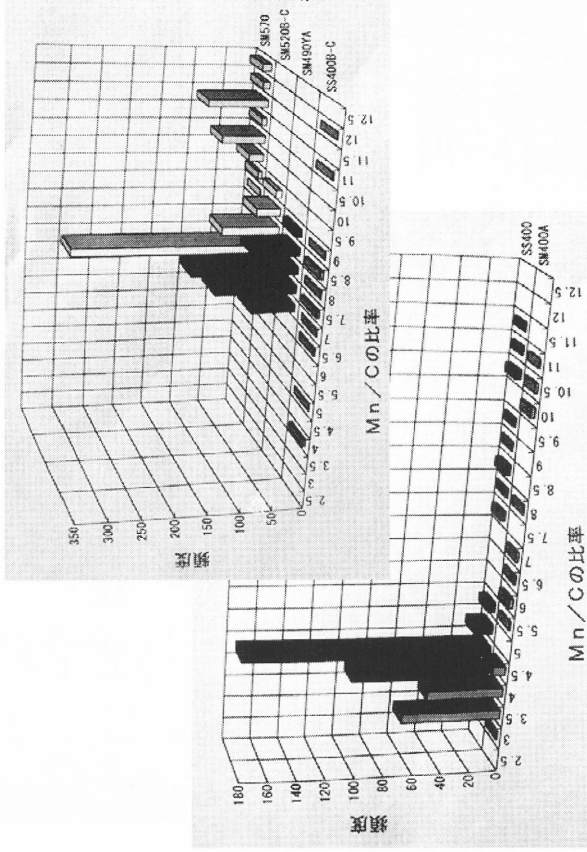
溶銑予備処理工程の一例



現在の鋼のCの実勢値(平成5年)



現在の鋼のMn/Cの実勢値(平成5年)



鋼材規格

- JES第20号(1925年)
- 構造用圧延鋼材
- SS39A、SS39B
- JES金属3101(1948年)
- 一般構造用圧延鋼材
- SS34、SS41

第一世代

- JIS G 3101(1952年)
- 一般構造用圧延鋼材
SS34、SS41、SS50
- JIS G 3106(1952年)
- 溶接構造用圧延鋼材
- SM41、SM41W

第二世代

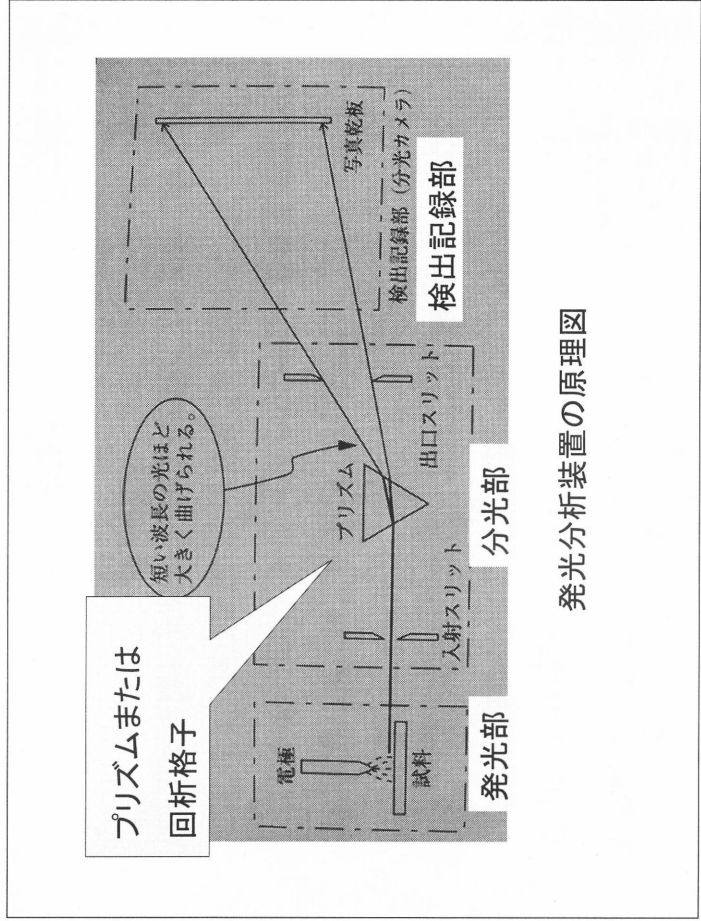
鋼材の調査方法

- 機器分析
- 化学分析
- 発光分光分析法
- 蛍光X線分析法
- 水素量の分析
- グリセリン置換法
- ガスクロマトグラフ法
- その他
- 火花試験
- サルファプリント検査

化学分析

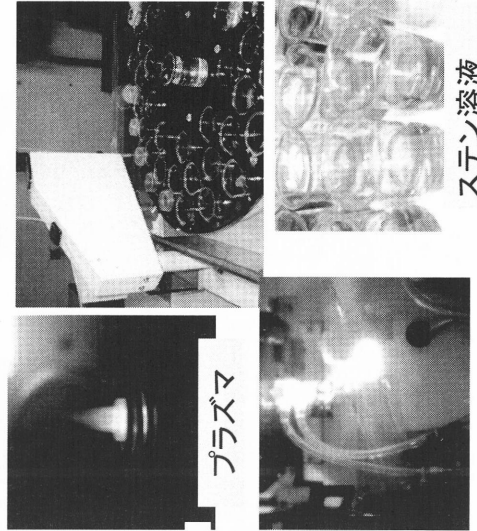
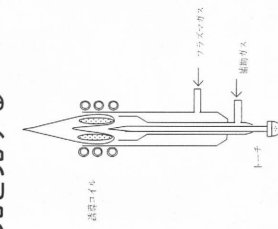
- 現場より分析を依頼した場合の分析
- ドリル穿孔により採取されたチップ
- 分析1成分当たり約1g(再試験、3g)
- ①ICP発光分光分析法
- (ICP)高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法
- C、S、O、N以外の元素の定量
- ②C、S、O、Nの元素の定量
- 写真提供
- 川鉄テクノリサーチ(株)
- 神鋼溶接サービス(株)

川鉄テクノリサーチ(株)
神鋼溶接サービス(株)



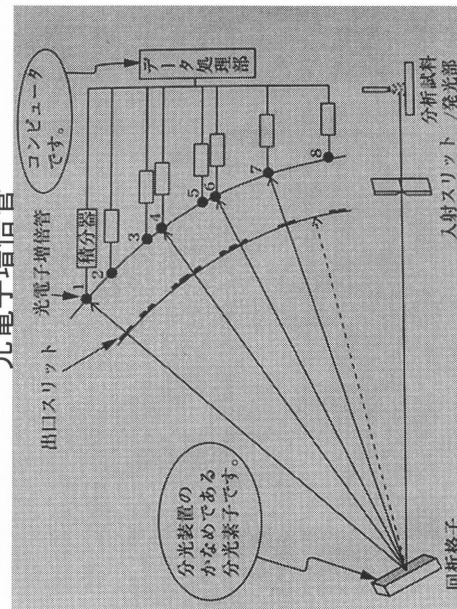
①ICP発光分光分析法

1. 試料を酸などで分解した後、溶液をAr気流中で霧状の粒にしプラズマトーチ内に噴霧する。プラズマ中で元素固有の光を発する



18頁図-3.4

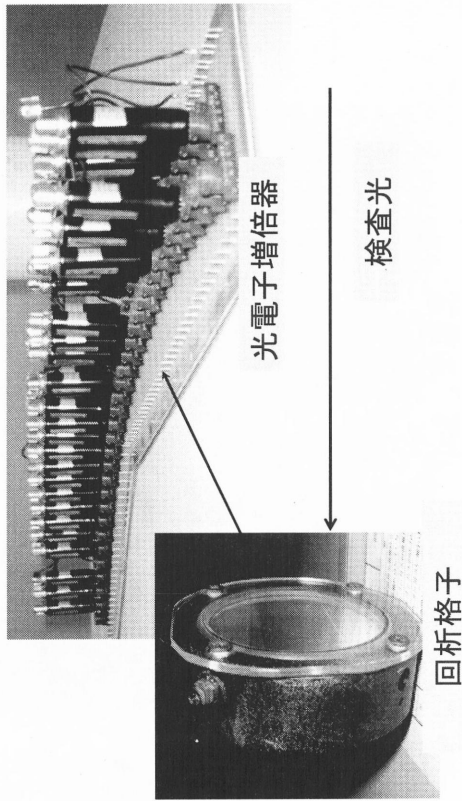
光電子増倍管



回析格子 マルチチャンネル型検出器

①ICP発光分光分析法

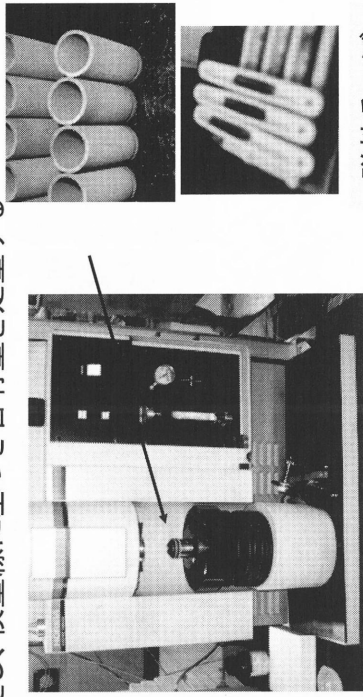
2. プラズマ中で元素固有の光を発生し、これを分光器に導入し、その波長、発光強度から元素の特定、含有量を定量する。



②C、S、O、Nの元素の定量

炭素、硫黄分析

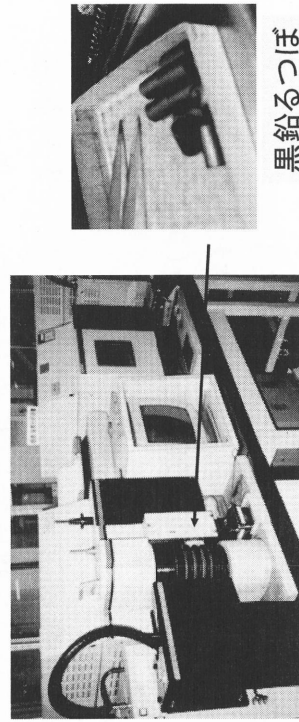
磁性るつぽに入れた試料を酸素気流中で燃焼させ、生成するCO₂、CO、SO₂を赤外線検出器で赤外線吸収量を測定し、検量線に基づき含有量を定量する



②C、S、O、Nの元素の定量

酸素、窒素分析

黒鉛るつぽに入れた試料を不活性ガス気流中で加熱し、CO、N₂を生成する。赤外線吸収量(CO)、熱伝導率(N₂)を測定し、検量線に基づき含有量を定量する。



水素量の測定(拡散性水素量の測定、全水素量の測定)

○溶接後5秒経過 氷水で急冷

○分析方法はグリセリン置換法またはガスクロマトグラフ法

○グリセリン置換法で2ml/100g以下の場合はガスクロ法

○溶接後直に捕集容器に挿入(90、120秒)

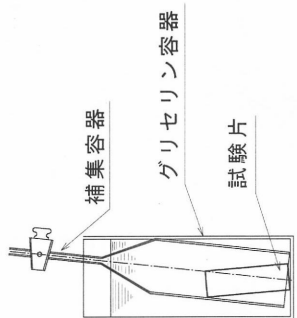
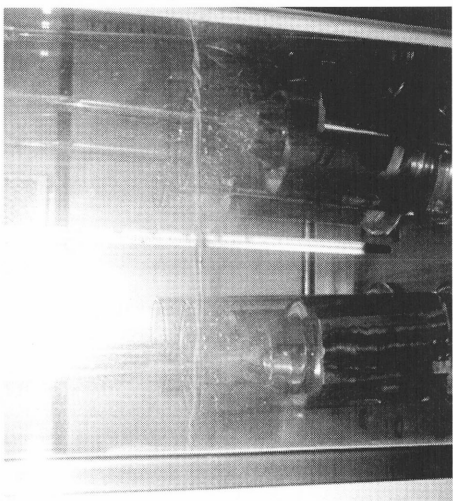
直に捕集容器に挿入出来ない場合

溶接後60秒以内にドライアイスアルコール、液体窒素に保存

保存期間は 3日、20日

保存した試験片を取り出し30秒以内に捕集容器に挿入

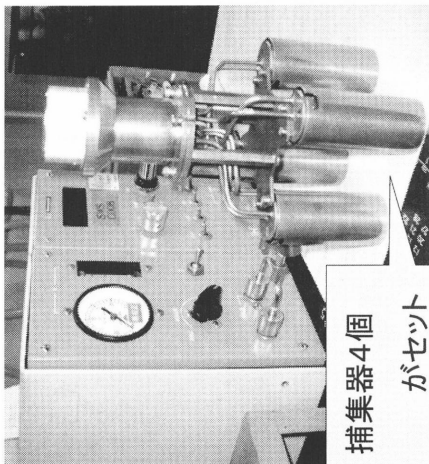
グリセリン置換法



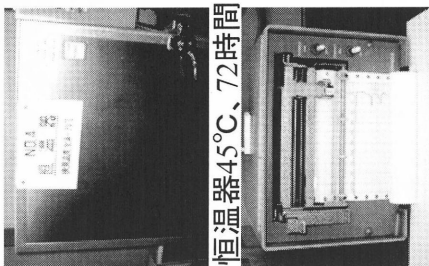
グリセリン温度45℃、72時間

ガスクロマトグラフ法

試料中の各成分ガスをキャリアガス(アルゴン)と吸着させ、濃度変化を熱伝導検出器等の検出器を用いて測定記録する。



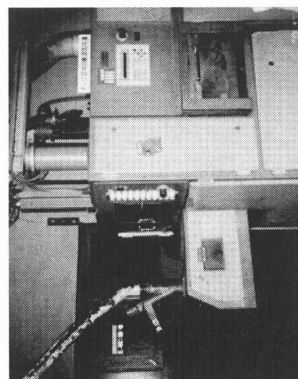
捕集器4個
がセット



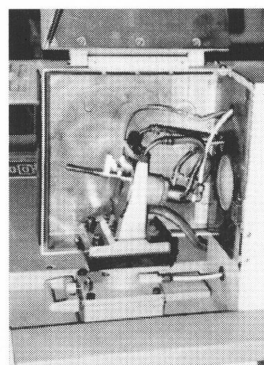
記録

機器分析

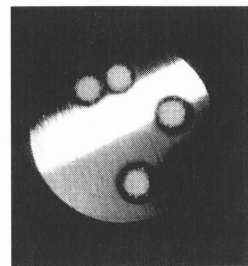
① 発光分光分析法



黄色のパイプにより試料が送付され、装置内で自動的にディスク状試料に加工、計測される



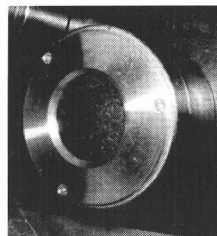
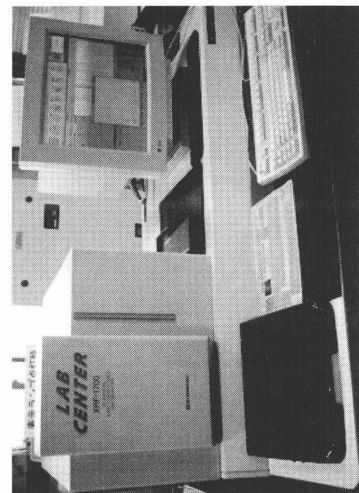
タングステン電極による発光



発光後のディスク状試料

機器分析

② 蛍光X線分析装置



試料容器の例

粉末、溶液の分析可

鋼材規格の変更

1925年(大正14年)
JES第20号

「構造用圧延鋼材」SS39
21号「造船用圧延鋼材」
SM41,SM44
23号「鉄道車両用圧延鋼材」
SR34,SR39,SR44,SR50

第一世代

種別	記号	抗張力 kg/mm ²	伸び %	常温曲げ 焼入れ曲げ	化学成分
鋼板・形	SS39A	39-47	t ≥ 9	常溫曲げ 180°	第1種 P, S ≤ 0.06
鋼・平鋼	SS39B	39-47	t ≤ 9	180° 1.5t	第2種 S ≤ 0.06
棒鋼	SS39A	39-47	2号 21以上 3号 25以上	650℃加熱 28℃急冷材 180° 1.5t	平炉 P ≤ 0.08; S ≤ 0.06
鉄筋棒鋼	SS39A	39-47	2号 21以上 3号 25以上	180° 1.5t	平炉 P ≤ 0.08; S ≤ 0.06
鋼材	SSR34	34-41	2号 27以上 3号 34以上	180° 密着	平炉 P, S ≤ 0.06

現行
0.040

1938年(昭和13年)
JES第430号

橋梁、造船、鉄道車両を含めた
「一般構造用圧延鋼材」
SS00,SS34,SS41,SS50

1939年(昭和14年): 鋼道路橋設計示方書
1940年(昭和15年): 鋼鉄道橋標準設計示方書
1942年(昭和17年): 鉄道橋電弧溶接補強法

1948年(昭和23年)
JES金属3101

「一般構造用圧延鋼材」
SS34,SS41,SS50--SS00(雑用鋼材)の廃止
曲げ性能向上
P, Sの低減

第一世代

S ≤ 0.12より
現行
0.040

種別	記号	引張強さ kg/mm ²	引張試験 試験片	伸び% (2号, 3号)	曲げ角度	曲げ試験 内側半径	化学成分
鋼板形鋼	SS34	34-41	1号 1号	25, 21以上	180°	密着	平炉 P, S ≤ 0.06
鋼板形鋼	SS41	41-50	1号 1号	20, 17以上	180°	密着	平炉 P ≤ 0.080
棒鋼	SS34	34-41	2号 3号	25, 30以上	180°	密着	S ≤ 0.060
棒鋼	SS41	41-50	2号 3号	20, 24以上	180°	密着	S ≤ 0.080
棒鋼	SS50	50-60	3号	18, 21以上	180°	1.5径 1.5径	S ≤ 0.060

1952年(昭和27年)
JIS G 3101
下記 JIS G 3106

降伏点の下限値23kg/mm²
造船用鋼板規格を一元化し
「溶接構造用圧延鋼材」

現行
0.040

第二世代

種類	記号	引張強 さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %	試験 片	曲げ 角度	内側半径	化学成分	
								Mn/C	P, S
板	SM41	41-50	≥23	≥21	特1号	180°	t ≤ 19 0.5t 32 ≥ 19 1.0t t ≤ 32 1.5t	≤ 0.040 0.050	平炉 S ≤ 0.06より 平炉 P ≤ 0.06より 転炉 P ≤ 0.08より
鋼	SM11W							≥2.5	

1956年(昭和31年)

橋梁基準改訂(鋼道路橋設計示方書、
鋼鉄道橋設計示方書)

1959年(昭和34年)改定

ほぼ現在の規格内容が完成
C, Si, Mn, P, Sの成分規定が設けられた
衝撃値が規定された

第二世代

同年: 高張力鋼鉄道設計示方書

種類	記号	鋼材の寸 法 mm	C	Si	Mn	P	S	衝撃値 kgm/cm ²	化学成分
1種	A SM41A	板, 100 ≥ 棒形平 50 ≥ 板	0.23 ≥ 50 m 超えの 板	—	2.5 x C 以上	0.040	0.050 ≥	—	P ≤ 0.040は 変わらず S ≤ 0.050より
1種	B SM41B	板棒形 平、 50 ≥	0.20 ≥	0.35 ≥	0.60	0.040	0.050 ≥	19 ≤ t ≤ 25 3.5 19 ≤ t ≤ 38 6.0	現行 0.040
1種	C SM41C	板, 38 ≥	0.18 ≥	0.35 ≥	1.40	0.040	0.040 ≥	—	
2種	A SM50A	板棒形 平、 50 ≥	0.20 ≥	0.55 ≥	1.5 ≥	0.040	0.040 ≥	—	
2種	B SM50B	板棒形 平、 38 ≥	0.18 ≥	0.55 ≥	1.5 ≥	0.040	0.040 ≥	16 ≤ t ≤ 25 3.5 19 ≤ t ≤ 20 6.0	
2種	C SM50C	板, 20 ≥	0.18 ≥	0.55 ≥	1.5 ≥	0.040	0.040 ≥	—	

1962年首都高速道路(京橋～芝浦) 1963年名神高速道路(栗東～尼崎)
1964年新幹線開業、阪神高速道路(土佐堀～湊町)

JIS規格と橋梁規格の関係

- 1952年(昭和27年)改定
 - SS41, SM41, SM41W
 - JIS G 3101, JIS G 3106
 - 1959年(昭和34年)改定
 - P=0.04
 - S=0.050
 - 1959年(昭和34年)改定
 - SS41, SM41A-C, SM50A-C
 - JIS G 3101, JIS G 3106
 - 1966年(昭和41年)改定
 - S=0.04-0.05
 - 1968年(昭和43年)改定
 - SM50Y, SM53, SM58の追加
 - S=0.04
 - 1956年昭和31年道路・鉄道
 - 1959年昭和34年 鉄道
 - 1960年昭和35年 鉄道
 - 1964年昭和39年道路
 - 1968年昭和43年道路(追補)
 - 1970年昭和45年 鉄道
 - 1972年昭和47年道路
 - 1980年昭和55年道路
 - 1983年昭和58年 鉄道
 - 1990年昭和 2年道路
 - 1992年平成 4年 鉄道
 - 1993年平成 5年道路
 - 1996年平成 8年道路
 - 1992年(平成4年)改定
 - JIS G 3114
 - 1992年(平成4年)改定
 - JIS G 3199
- 耐水性鋼材のJIS化
JIS G 3114
- 「鋼板及び平鋼の厚さ方向特性」
JIS G 3199

第二世代

第三世代

昭和32年以降の道路橋示方書の鋼材規格の変遷(隣、硫黄、衝撃値) SS41は除く

	燐 (%以下)		硫黄 (%以下)		衝撃値 (kg·m以上)			
	1957 (S32)	1959 (S34)	1957 (S32)	1959 (S34)	試験温度 0℃、*印は5℃	1957 (S32)	1959 (S34)	1968 (S43)
SS41	0.060		0.060					
SM41	0.040		0.050					
SM41W	0.040		0.050					
SM41A		0.040		0.050		3.5		
SM41B		0.040		0.050		3.5	2.8	
SM41C		0.040		0.040		6.0	4.8	
SM50A		0.040		0.040				
SM50B		0.040		0.040		3.5	2.8	
SM50C		0.040		0.040		6.0	4.8	
SM50YA				0.040				
SM50YB				0.040				2.8
SM53B				0.040				2.8
SM53C				0.040				4.8
SM58				0.040				4.8*

低温割れに対する評価式

一般に低温割れを防止する手段として以下のものがあげられる

- ① 低い炭素等量の鋼材を選択
- ② 水素量の少ない溶接材料、溶接方法を選択
- ③ 拘束度や応力集中が少なくなるような継手設計
- ④ 溶接入熱を出来るだけ高くする

予熱温度の算定式

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{60} + \frac{Mo}{20} + \frac{V}{15} + \frac{B}{10}$$

ここに

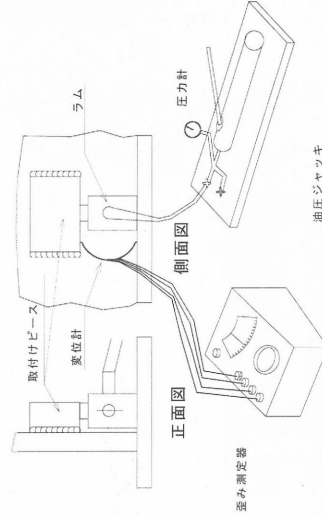
$$P_{CM} = \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{40,000}$$

溶接割れ感受性組成(1967提案)

① 開先内初層溶接割れ「斜めY型溶接割れ試験方法」

橋梁の拘束度の実測例

「斜めY型溶接割れ試験方法」 6.9 t



「橋梁部材の溶接継手の拘束度と溶接施工について」

三菱重工業横浜造船所S50(1975).2、鋼橋技術研究会施工部会(1990)提出資料

不純物の影響

$$P_N = C + \frac{Si}{20} + \frac{Mn}{10} + \frac{4P}{3} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{30} + \frac{Mo}{20}$$

ただし、 $0 \leq P \leq 0.08$

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \left(\frac{P}{2} \right)$$

ただし、Pは0.05%以上の時に考慮

○主要5元素と言われているなかで不純物としてのSは評価の対象とされていない

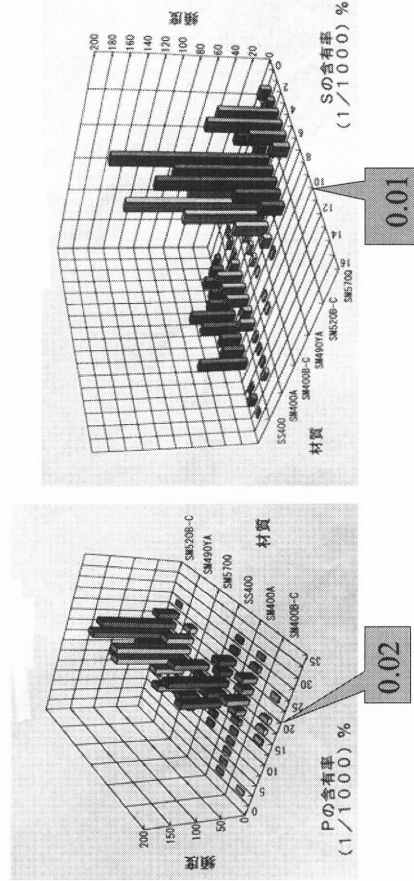
○多くの溶接性の評価式において、SおよびPが評価の対象とされていないことは、一定値以下では影響が少なく、当時の水準で一定値以下であれば害が少ないと推定

(P_{CM} は1968～69年、Dearden, O'Neillの式は1940年に提案)

P: 溶接性、冷間加工性および衝撃特性を著しく阻害

S: 衝撃特性と板厚方向の延性に大きく影響

現在の鋼の規格との乖離

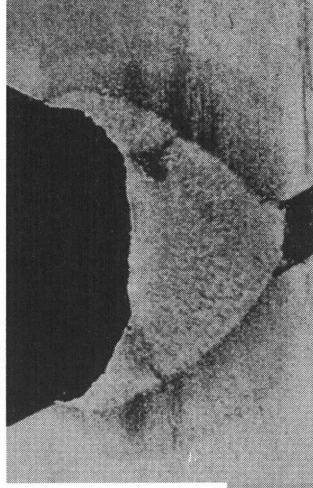


補修溶接に対して

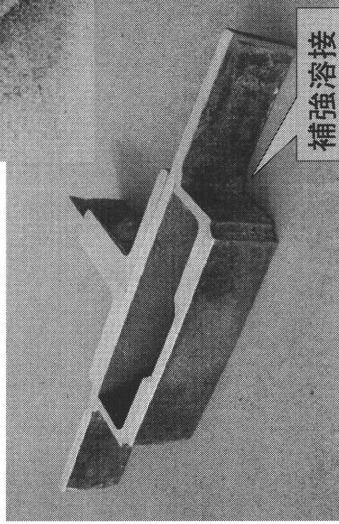
現在の(第三世代)鋼を基準にするのは問題ありか?

不純物である硫黄の注意点

- ①サルファクラック
- ②偏析を考慮した分析か?
- ③規格値と実勢値の乖離



サルファクラックの例



ベッセマー鋼に溶接補強された例

補修溶接の留意点

- ①不純物が現在の鋼材レベルと異なるもの

隣: 炭素の0.5～1.33倍溶接性を損なう

硫黄: 偏析、サルファクラックに注意

- ②不純物、衝撃値が規定されてからの鋼材

P_{CM} で評価(評価成分9成分)

規格と実際の乖離はないか?

- ③衝撃値の低い母材に補修溶接を行う場合

溶接が可能かどうかの議論の前に

補修溶接に何を求めるのか明確に

主構造に適用、付属物に適用、

起点となる疲労亀裂が発生する応力状況か? 維持管理状況は?