

技 術 資 料

最近の高張力鋼について (II)

山 木 正 義*

On the Recent High-Tensile Steels (II)

Masayoshi Yamaki, Dr. Eng.

VIII. わが国における実用例

すでにのべたごとく、高張力鋼はあらゆる構造物に適用できる。すなわち、建築、橋梁、水圧鉄管、高压容器、鉄塔、船舶、車両、鉄柱、各種産業機械などに使用されるべきものであり、戦前から欧米ではさかんに使用されている。わが国でも、戦後、次第に高張力鋼の真価が認められ、徐々に各方面に使用されつつある。ここでは国産の高張力鋼を使用した若干の実例について述べる。

(1) 橋 梁

わが国では昭和 28 年頃から本格的に橋梁に高張力鋼を使用することが計画され始めた。Table 19 は高張力鋼を使用した橋梁の数例を示すものである。なかでも相模大橋はわが国で最初に高張力鋼を用いた例である。同橋の架設地点は径間を小にし橋脚を多くすることは困難で、50m以上の長大径間となり、従来の橋梁形式からすればトラス構造となるところを、高張力鋼の採用により近代的な設計とすることができたといわれる¹⁸⁾。高張力鋼は補剛材以外のすべての主桁に用いられており、許容応力について現行の鋼道路設計示方書による S S 41 鋼の場合と高張力鋼の場合とを比較すると Table 20¹⁹⁾ の通りで、許容応力は格段に増加している。相模大橋の場合

には鋸接と溶接を併用してあるが、その後に架設された栖鳳橋、野比橋、飯塚橋などでは全溶接が採用されている。Table 19 のほかにも高張力鋼を使用したものとして瑞雲橋(新潟県)、鎧橋(東京都内、ゲルバーガーダー式、主桁に約 40 t 使用)などがあり、さらに建設中のものないしは最近完工したばかりのものとして、天王橋(宮城県、ランガーガーダー式、全長 368m)、旭橋(小千谷市、連続ボックスガーダー式、全長 350m)、昭和橋(奈良県、ゲルバーガーダー式、全長 150m)、城ヶ島大橋(神奈川県、連続ボックスガーダー式)などがあげられるが、主として、主桁、突縁板および腹板などに高張力鋼を使つた例が多い。

(2) 水圧鉄管(ペンストック)

高張力鋼は tension として働く部材、ことに水圧鉄管のように単純な hoop tension のみで管厚を計算する構造物に使用することは最も効果的と考えられる。わが国における水圧鉄管の特性として、磨耗腐蝕に対する 2 mm の余裕厚が要求されているので、必ずしも、普通鋼(降伏点 23 kg/mm²)と高張力鋼(降伏点 32~33 kg/mm²)の強度の比から計算した約 30% の重量減をもたらすとは限らないが、それでも約 25% 程度以上の節減となる¹⁹⁾。さて、わが国においては昭和 29 年始めて

Table 19 高張力鋼を使用した橋梁の例

	相模大橋 (神奈川県)	栖鳳橋 (神奈川県)	野比橋 (神奈川県)	飯塚橋 (東京都)	宮城野橋 (神奈川県)	能代橋 (秋田県)	
型 式	ゲルバー ガーダー	合 成 桁	合 成 桁	合成格子桁	プレート ガーダー	ゲルバー ガーダー	
橋 長 (m)	381・0	—	—	143・0	32・8	381・0	
巾 員 (m)	9・0	6・5	8・5	9・0	7・0	12・0	
支間または径間割り (m)	45・60+5@ 57・7+45・60	14・50	16・50	19・00(7連)	31・50	—	
鋼 使 材 用 量	高張力鋼 kg	748,584	6,232	9,118	104,382	約 28,000	709,148
	普通鋼 kg	384,165	5,118	5,400	53,062	約 32,000	228,771

* 東都製鋼株式会社東京製鋼所、工博

Table 20. 高張力鋼と S S 41 鋼との許容応力の比較¹⁸⁾

区 分		高 張 力 鋼	S S 41	高張力鋼と S S 41 の比	
引張強さ (kg/cm ²)		5,200	4,100	1,269	
降 伏 点 (kg/cm ²)		3,300	2,300	1,435	
許 容 応 力	引 張 (kg/cm ²)	1,800	1,300	1,384	
	圧 縮 (kg/cm ²)	$l/r \leq 90$ 1,600 ~ 0.0908 (l/r) ²	$l/r \leq 100$ 1,100 ~ 0.04 (l/r) ²	1,455	
		$l/r \geq 90$ 7,000,000 (l/r) ²	$l/r \geq 100$ 7,000,000 (l/r) ²	1,000	
	圧縮添接 (kg/cm ²)	1,600	1,200	1,333	
	曲げ 応 力	桁の圧縮縁 桁の引張縁 (純断面)	1,600 ~ 0.3 (l/b) ² 1,800	1,150 ~ 0.3 (l/b) ² 1,300	1,392 1,384
		圧縮縁力床板に 直接固定の場合	1,600	1,150	1,391
せん断 (kg/cm ²)	1,300	1,000	1,300		

東京電力が切明発電所にこれが採用を決定し、昭和30年に完成をみた¹⁸⁾。その後逐次各所で使用されるにいたり、当初は工場溶接、現場リベットが採用されていたが、最近では全溶接が施行されている。Table 21 はその数例を一括して示したものである。

(3) 球型ガスホルダー²⁰⁾

近年、酸素、窒素、都市ガスなどの各種ガスおよびブタン、プロパンなどの液化ガスを全溶接の球型ホルダーに貯蔵することが注目され、各方面に盛んに建設されている。外国ではすでに 20 年以上も前から建設されてお

つた球型ホルダーが、わが国においては数年前まで全く建設されず最近になって急激に建設され始めたのは、戦後わが国の溶接技術が飛躍的に向上し、またそれに関連した溶接部の非破壊検査法の進歩によつて X線検査などが現場で簡単におこなえるようになり、全溶接大型球型ホルダーの安全性が確認されたためである。また、高張力鋼の発達によつて普通鋼の 5 割以上も強度の高い材料が実用化されてきたため、大型、高圧の球型ホルダーの製作が可能になったからである。

球型ガスホルダーの所要板厚を求める式は、普通鋼の

Table 21. 高張力鋼を用いたペンストック要項

	出 位	東 京 電 力 所 切 明 電 力 所	インドマドラス政府 ペリヤール発電所	東 京 電 力 所 東 武 電 力 所	北 陸 電 力 所 北 陸 電 力 所	北 陸 電 力 所 和 田 川 第 一 電 力 所	中 国 電 力 所 龍 山 川 電 力 所	北 陸 電 力 所 和 田 川 第 二 電 力 所	ビルマ政府 Bala-Chaung 電 力 所
最大貯水頭	m	215・210	395・335	173・720	92・800	510・960	332・500	478・000	444・704
昇 圧 水 頭	m	55・524	• 335・280	52・116	28・500	51・096	99・750	47・8+10・0	66・705
最大設計水頭	m	270・734	• 731・215	225・836	121・300	562・056	432・250	535・800	511・409
流 水 量	m ³ /s	11・0	11・328×3	22・(最大 26)	19・6	6・99	19 (21)	32・2	24・9
管 径	m	365・411	≒ 1020・6×3	304・200	226・344	1027・197	711・127	1,342・973	≒ 2,040
管 径	mm	2,400 ~ 1,650	3,048 ~ 1,676・4	3,500 ~ 2,300	2,600 ~ 2,300	1,650 ~ 1,000	2,600 ~ 2,000	3,400 ~ 1,800	2,844・8 ~ 2,184・4
条 数		1 条	3 条 (2 条より上部 1 条分岐 1 条施工)	1 条	1 条	1 条 下部分岐 2 条	1 条	1 条 中間分岐 2 条	1 条, 下部 6 分岐
使用部分		全 長	S S 41 を 23・812 mm まで使用以下 H T S	S S 41 を 11 mm まで 使用以下 H T S	ごく一部の S M 41 W をのぞき全長 H T S	S S 41, S M 41 W を 36 mm まで以下 H T S	S M 41 W を 12 mm まで 使用以下 H T S	S M 41 W を 32 mm まで 使用以下 H T S	S M 41 W を 32 mm まで 使用以下 H T S
高 張 力 鋼	降 伏 点	kg/mm ²	≥ 32	≥ 33	≥ 32	≥ 33	≥ 33	≥ 33	≥ 33
	抗 張 力	kg/mm ²	50 ~ 55	50 ~ 58	50 ~ 58	50 ~ 58	50 ~ 58	50 ~ 58	50 ~ 58
	伸 び	%	≥ 20	≥ 21	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	10 ~ 20 mm > 21 20 ~ 30 " > 22 30 ~ 43 " > 21
	板 厚 (異れ代)	mm	8 ~ 22 (1・5 2・0)	19・05 ~ 30・163 (1588)	10 ~ 22 (1・5 2・0)	9 ~ 19 (2・0)	26 ~ 29 (2・0)	12 ~ 31 (2・0)	24 ~ 36 (2・0)
降伏点に対する安全率		2・3	2・1	2・0	2・2	≒ 2・2	2・0	≒ 2・2	2・5
全 重 量	t	388	3,100	337	135	792	828		
高 張 力 鋼 重 量	t	388	1,800	221	124	105	678		
支 承 方 法		リングガーダー	リングガーダー および 120° コンクリート	リングガーダー	120°コンクリート	リングガーダー および 120° コンクリート	120°コンクリート	120°コンクリート	リングガーダー
最大支承間隔	m	17・750m	6・000m	17・500m	6・000m	12・000m 6・000m	12・000m	12・000m	18・000m
工 事 一 期 間		30. 4. 1 ~ 30. 9. 30	31. 1. 21 ~ 32. 10	31. 9. 17 ~ 32. 9. 15	31. 10. 31 ~ 32.	30. 11. 1 ~ 33.	32. 1. 8 ~ 33. 10. 31	32. 4. 1 ~ 33. 11. 30	31. 12. 28 ~ 34. 3. 31
溶 接 効 率	%	90%	90% 他に溶接に板厚みの減少を考慮して 92・5% 以上	90% 工場 (仮工場を含む) 現場	95% 90%	和 田 川 第 二 と 同 じ	90%	95% 90% 共に X 線施工の場合	
備 考		たがって 90 × 92・5 = 83・2% 非常の場合を 標準として昇圧が非常に大きい。昇圧を 30% とすれば上記のように安全率 2・1				計画変更により水面 増加し一部に H T S を使用す。			

場合にはつぎのごとくである。

$$t = \frac{P \cdot D}{400 \cdot f \cdot x \eta - P} + e$$

ただし、 t : 本体の板厚 mm, P : 設計圧力 kg/cm^2
 D : ホルダーの内径 mm, f : 材料の引張り強さ kg/mm^2 , x : f に対する許容応力の割合で $x=0.25$ とする. η : 熔接接手効率, e : くされ代.

高張力鋼を用いる場合には、上記の f および x に対して下記を用いている. f : 材料の降伏強さ kg/mm^2 , $x=0.4$

さて、最近、丸善石油 K.K. の松山製油所に建設された国産の高張力鋼 (2H 鋼) を使用したわが国最初のガスホルダーの要目はつぎのごとくである。

内容物: プロパン, 幾何容量: 100m^3 , 使用圧力: 19kg/cm^2 , 直径: 5.8m , 本体板厚: 21mm , 使用熔接棒: LB60

(4) 鉄塔²¹⁾

鉄塔に高張力鋼が使用された一例として、最近、東京都芝公園に建設された電波塔がある。この塔は主としてテレビ放送および近い将来開始されるであろう FM 放送用の総合アンテナとして建てられたもので地上 332m の高さを誇るものである。鉄塔本体 (253m) には SS41 鋼が約 $3,600 \text{t}$ 使用されたが、最上部のアンテナ部分 (79m) のスーパーゲイン塔には高張力鋼が約 100t 用いられている。アンテナ部 79m はこの鉄塔の生命というべき部分で 253m の鉄塔本体もこのアンテナ部を支える土台にすぎない。この土台を最も経済的に設計し、建設するためにはアンテナ部をいかに経済的に設計するかにかかっているといても過言でない。このため

には、①できる限り風圧をすくなくすること②できる限り重量を軽減することに重点をおいたが、テレビ電波の指向性よりくる要求が台風時などの最大風速時において片振れ 2.5 度以上に鉄塔の先端が傾いてはならぬという厄介な条件がついている。これらの諸条件を充分満足してかつ経済的にアンテナ部を設計するためには、スーパーゲイン塔には普通鋼を使用することは不可能になり、高張力鋼棒を使用して熔接構造により組立てをおこなうことになった。Table 22 はこれに使用した高張力鋼の化学成分および機械的性質を示す。

(5) 船 舶

船舶に対する例として、防衛庁艦艇に使用された実績例を Table 23²²⁾ に示す。艦艇においては重量節減の意義はきわめて大きいとそのほかに、上部構造を軽減することにより重心を下げることができ、したがって船体の安定度を増しうることに高張力鋼使用の利点がある。

(6) 車 両²²⁾

鉄道車両に対し最初に使用した例として京王帝都電鉄の10両の電動車がある。(Table 11 の車両規格 SHT1, SHT2 材使用) 従来の車に比べての重量減および使用鋼材寸法の比較を示すと Table 24, Table 25 のごとくである。また Table 26 は同電鉄の別の設計になる高張力鋼使用電動車の主要部材の重量軽減比較表である。ついで、京成電鉄においても軽量車両の実現を期し電動車および制御車の一編成に対して軽量全金属製車体を採用した。台枠は高張力鋼板プレス製の側梁り、横梁、縦通桁を使用し、中梁は車端の枕梁間のみとし、全熔接構造による軽量台枠とした。鋼体の側構および屋根構共台枠と一環して、いわゆるモノコック構造として設計されたものである。鋼体および屋根の各骨組は SHT 2

Table 22. スーパーゲイン塔に使用した高張力鋼²¹⁾
(熔接棒は LB55 使用)

棒 径 (mm)	Charge No.	化 学 成 分						機 械 的 性 質				
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Y.P. (kg/mm^2)	T.S. (kg/mm^2)	E (%)	RA (%)	VC(0°C) (kg-m/cm^2)
150	K 760	0.15	0.28	1.25	0.014	0.010	0.17	35.7 ~37.0	52.2 ~53.2	35.4 ~37.3	60.0 ~66.5	23.4 ~27.1
120	L 496	0.16	0.24	1.26	0.019	0.007	0.20	36.7 ~40.9	54.2 ~55.2	34.0 ~35.6	64.0 ~66.0	21.6 ~25.4
100	K 716	0.15	0.28	1.25	0.014	0.010	0.17	38.3 ~38.9	52.9 ~54.2	35.9 ~37.7	68.2 ~75.0	25.8 ~26.9
90	K 720	0.14	0.26	1.23	0.017	0.013	0.15	36.3 ~38.3	51.9 ~52.6	36.6 ~38.0	65.7 ~69.7	20.9 ~26.9
70	K 720	0.14	0.26	1.23	0.017	0.013	0.15	36.3 ~38.3	51.9 ~52.6	36.6 ~38.0	65.7 ~69.7	20.9 ~26.7
60	L 375	0.15	0.31	1.29	0.017	0.014	0.16	38.3 ~42.2	52.2 ~54.6	35.2 ~36.8	64.0 ~66.5	25.6 ~27.1
50	K 719	0.16	0.28	1.20	0.014	0.010	0.16	40.9 ~41.5	53.9 ~54.8	35.8 36.0	61.8 ~62.3	22.5 ~25.3

Table 23. 高張力鋼の艦艇に対する使用例²⁵⁾

		昭和 28 年度 乙型警備艦 (排水量約 1,000 t)	昭和 31 年度 甲型警備艦 (排水量約 1,800 t)	昭和 33 年度 甲型警備艦 (排水量約 1,800 t)
使用張 重力量 kg	鋼板	41,200	110,000	128,600
	形鋼	9,000	12,600	12,400
	計	50,200	122,600	141,000
高張力鋼使用による 重量の節減量 kg		約 9,000	約 22,000	約 25,000
使用材の規格		防衛庁規格 S M52W (Table 33 参照)	同 左	防衛庁規格 N S30 B (Table 9 参照)
使用材の寸法 mm		6~12 鋼板 75×75×6 アンゲル 90×90×10 // 100×75×7 // 100×75×10 //	6~14 鋼板 100×50×5チャンネル 100×50×7.5 // 125×65×6 // 125×65×8 //	6~14 鋼板 100×50×5チャンネル 100×50×7.5 // 125×65×6 // 125×65×8 //

Table 24. 従来車と軽量車との重量比較²²⁾

名 称	従来車 (kg)	軽量車 (kg)	軽減量 (%)
台 枠	3,600	2,200	38.9
鋼 体	4,890	3,400	30.5
設 備	6,080	5,650	7.1
機 装	6,810	6,500	4.6
電 動	7,000	7,000	0
ボ キ	13,000	10,700	17.7
計	41,380	35,450	14.3

Table 26. 主要部材の軽減比較

	従来車 SS41 (kg)	軽量車 SHT (kg)	軽減量 (kg)	軽減率 (%)
台 枠	3,300	2,180	1,120	34
鋼 体	1,298	912	386	29.6
機器取付金具	480	378	102	21.3

Table 25. 使用鋼材の寸法比較²²⁾

		従来車(普通鋼)	軽量車(高張力鋼)
台 枠	中側バ	溝形鋼 180×75×7	溝形鋼 150×75×6
	側バ	//	//
	横バ	//	//
	端バ	//	//
	枕バ	//	//
	枕バ	//	//
鋼 体	枕バ	9 mm厚	6 mm厚
	枕バ	12mm //	9 mm //
	その他の当板	6 mm //	4.5 mm //
	外 帯	平 鋼 12×100	平 鋼 9×75
幕 板	平 鋼 6×50	平 鋼 6×50	
長 ケ	山形鋼 75×75×9	山形鋼 75×75×6	
夕 ル	山形鋼 50×50×6	山形鋼 40×40×5	
外 板	2.3mm 厚	1.6mm 厚	
屋 根	1.6mm //	1.6mm //	
側 板	3.2mm厚プレス	2.3mm厚プレス	
側 柱	4.5mm //	3.2mm //	
入 口			
妻 柱			

Table 27. 従来車と軽量車との比較(台枠, 鋼体, のみ)

名 称	従来車 (kg)	軽量車 (kg)	軽減率 (%)
台 枠	4,500	2,200	51
鋼 体	4,500	3,300	27
計	9,000	5,500	39

いるが、使用例は前述のものと大同小異である。国鉄では、ナハ 10 およびナハ 11 型軽量客車の車体の中梁、下当板、補強板などに 6mm 厚位の SHT 2 材が使用されている程度であつて、まだ全面的には採用されていない。

(7) 炭坑用鉄柱²³⁾

高張力鋼の需要の一つとして、数年前から、炭坑用鉄柱が大きく浮びでている。各種産業界のなかで最も機械化のおくれていたわが国の炭鉱界も、戦後、石油エネルギーの進出に対抗し、炭価の切下げをはかるため先進国ドイツに学んで徹底した機械化に踏切つた。いわゆる鉄柱カップ採炭法を採用するにいたつたもので、その普及程度は Table 28, 29 が雄弁に物語っている。さて、カップは梁の役目をして切羽の天盤を支え、鉄柱はそのカップを柱の役目をして保持するとともに天盤の荷重が一定の値以上の増加するにつれて、さからわずに降縮し、

(車両規格, Table 11) を、側構、外板は 2mm 厚の SHT 1 (同前) を使用した。かくして軽量化したものを従来の車と比較すると Table 27 のごとくである。このほかにも東京急行、南海、京阪、阪神の各電鉄および東京都電 (P.C.C. カー) の電車に高張力鋼が使用されて

Table 28. 鉄柱およびカッペ在籍本数推移

	鉄 柱	カ ッ ペ
昭和25年3月末	77,098	—
〃 26年	108,830	15,031
〃 27年	188,794	95,243
〃 28年	221,074	142,061
〃 29年	252,511	169,585
〃 30年	257,208	172,566
〃 31年	262,728	213,003
〃 32年	300,936	224,553

(通産省統計資料)

Table 29. 採炭様式別出炭比率

支 保 年 月	鉄 柱 カ ッ ペ	鉄 柱 木 梁	鉄木柱 混 用	木 柱 木 梁
昭和 27 年	30.6	20.6	—	48.7
昭和 28 年	34.5	20.5	2.6	42.1
昭和 29 年	46.8	14.3	3.6	35.8
昭和 30 年	55.9	14.9	2.6	26.5
昭和 31 年	58.7	11.8	3.1	26.6
推定 40 年	69.9	7.0	3.0	20.0
〃 50 年	78.0	4.0	3.0	15.0

(通産省統計資料)

であつて、図のように上柱、下柱および上柱と下柱を連結する締付部とからなつている。この上柱および下柱用鋼材は鉄柱の型式によつて種々の断面形状をしているがその数例を Fig. 8 に示す。これらの鋼材は熱間圧延または鋼板をプレスしてつくられるのであるが、いずれにしても材質は高張力鋼である。鉄柱は 30~50 t 程度の荷重に耐えねばならず、また悪条件下の坑内においてはその持運びは人力に頼らなければならぬ状況であるからできる限り軽くなければならぬ。また鉄柱はほとんど全部といつてよい位溶接によつて組立てられている。したがつて鋼材の溶接性が良好でなければならぬ。これらの条件を経済的にみたすものは高張力鋼を措いて他にはないのである。現在わが国で鉄柱用に使用されている高張力鋼の成分、機械的性質の例は Table 30 に示すごとくである。大部分は Si-Mn 系であつて圧延のままで使用されているが、近来、鉄柱性能の向上とともに鋼材に対する要求もきびしくなり、一部の鋼材には Cr-Mn 系の高張力鋼が使用され始め、しかも熱処理によつて鋼の性能を十二分に生かして用いられている。

IX. 諸外国における最近の研究

諸外国における高張力鋼の研究に関しては、すでに II, IV, V の各項で一部触れてあるので、重複をさける意味においても、ここではごく概略をのべるにとどめ、詳細は文献³¹⁾³⁸⁾にゆずる。

(1) 米国における研究

バツテル記念研究所では 1937 年以来低 Mn 鋼の溶接性に関し大規模な研究をおこなつた^{39)~44)}。試験用鋼材には C および Mn が適当に変化している焼準した板厚 1/4", 1/2", 1", 2", の 14 種の圧延鋼板と、板厚 1/2", 1", 2" の 3 種の鑄鋼の計 17 種 (C=0.09~0.36%, Si=0~0.54%, Mn=0.37~1.61%) を用い溶接性試験としては、変質部の硬度試験、ビード曲げ試験およびビード下割れ試験を採用した。これらの実験結果を等価炭素量について一括したものが Fig. 9 である。また、鑄鋼の溶接性は圧延鋼のそれときわめてことなつた結果を

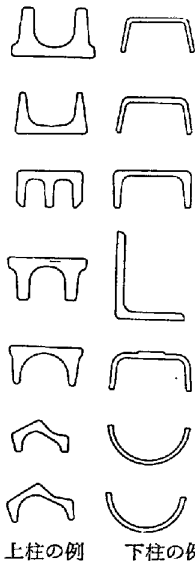
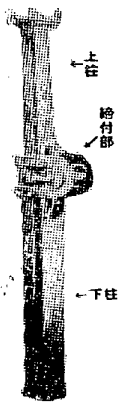
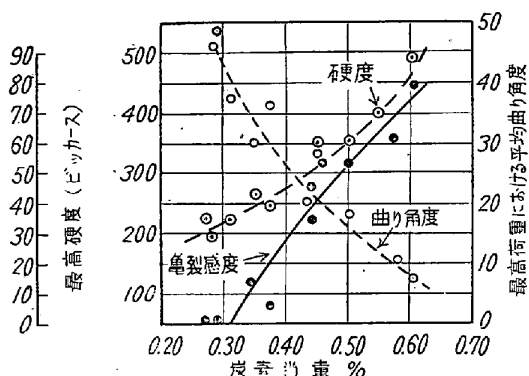


Fig. 7. 鉄柱の一例 Fig. 8. 鉄柱用鋼材の断面例

天盤を静かにおろすクッションの役目をするのが理想とされている。Fig. 7 は 1 本の鉄柱を取り出したもの

Table 30. 鉄柱用鋼材の例

鋼種	S	Si	Mn	P	S	Cr	T.S. kg/mm ²	Y.P. kg/mm ²	El.%	試験片	備考
A	0.16	0.45	1.23	0.022	0.017	—	55以上	36以上	18以上	1号	圧延のまま
B	0.20	0.46	1.27	0.020	0.016	—	60 "	38 "	17 "	1号	" "
C	0.26	0.28	1.12	0.021	0.020	—	—	—	—	—	—
D	0.23	0.49	1.28	0.024	0.021	—	63以上	40以上	17以上	4号	圧延のまま
E	0.20	0.45	1.51	0.022	0.021	0.54	85 "	75 "	20 "	4号	焼入焼戻
F	0.26	0.35	1.45	0.025	0.018	0.56	85 "	72 "	16 "	4号	" "



C+Mn/6+Si/24+Ni/15+Cr/5+Mo/4
+(Cu/13+P/2)

Fig. 9. 炭素当量と最高硬度, 平均アンダービード亀裂感度および切欠横ビード曲げ試験における曲り角度の関係 (1"厚 C-Mn 鋼, 熔接棒 E6010)

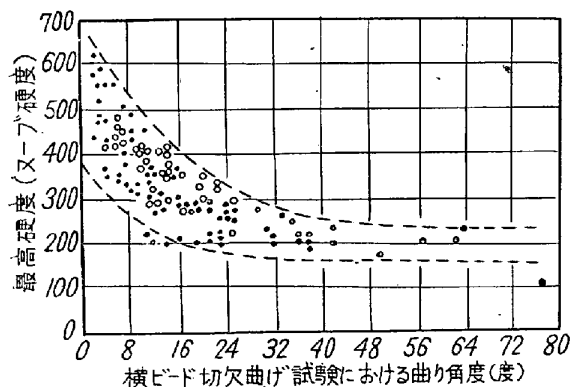


Fig. 10. 最高硬度と曲り角度との関係

示し, たとえば鋳鋼は圧延鋼よりも割れがずつとすくなかつたことは, 注目値する. 米国海軍技術研究所においても, 1940年ごろから高張力鋼の熔接性の研究が多数おこなはれた. まず Jackson などは熔接性試験法について広汎な調査をおこなつた結果⁴⁵⁾, 横ビード切欠曲げ試験, T曲げ試験および最高硬度試験の3種が最も合理的であることを結論した. さらに最高硬度試験などの間接試験結果と上記曲げ試験のごとき直接的試験結果との

関連性が求められている. たとえば, 硬度と曲り角度との間には Fig. 10 のような満足すべき関係が得られており, 簡単な硬度測定によつてある程度まで曲げ性能を推定しうることがわかる. 高張力鋼の性能を向上させるためには Mn を増すのみでは不都合なことがわかり, 検討の末, Mn 鋼に炭化物生成元素, 特にオーステナイト中への溶解速度の比較的小さい炭化物生成元素である V, Ti を添加することが効果的であることが認められ^{47)~51)} 有名なバナティ鋼として米海軍規格に採用されている.

本鋼種に関しては Luther らの多数の研究データが発表されている^{52)~54)}. これらの炭化物安定元素で処理した鋼は高温で炭化物の一部が再溶解するため焼準温度の差によつて諸性質がいちじるしく変化する特長を有する^{55)~57)}. 後述するように, わが国における研究結果²⁹⁾でも同様のことが確認されている. V や Ti に限らず, 広く各種の合金元素を添加することによつてすぐれた高張力鋼を得るための資料として, Heuschkel の研究結果⁵⁸⁾は相当参考になると思はれる. 彼が各種の鋼について T 曲げ試験により求めた熔接性能の良好な強度範囲を一括すると Table 31 のごとくなり, さらに各元素が熔接性能に与える影響力をまとめると Table 32 のごとくなる. V 項でのべたように T-1 鋼の切欠靱性は良好であるが最近の研究³⁶⁾によれば, T-1 鋼では一般の高張力鋼とは逆に熔接熱入力が大きかつたり, 予熱温度が高いと変質部の冷却速度が小さくなり過ぎ, 同部はフェライトの地にマルテンサイトとベイナイトが混在し切欠靱性が低下するから, -50°F で 10 ft-lb の切欠靱性を保つためには, 900°F での冷却速度が最小 6.5°F/s でなければならぬことがわかつた. (含 P 鋼については V 項参照).

(2) 英国における研究

英国における高張力鋼としては⁵⁹⁾, 1934 年に BS548 (C=0.23~0.30%, Mn=1.5~1.8%, 引張り強さ 58~

Table 31. 種々の合金成分による熔接性良好な機械的性質の範囲

番号	合金成分	降伏点 (kg/mm ²)		引張り強さ (kg/mm ²)		降伏比の平均値
		最小値	最大値	最小値	最大値	
1	Ni	29.5	40.0	42.2	57.6	0.701
2	Mn-V	30.9	37.9	42.2	52.7	0.727
3	Mn-Ti	29.5	37.9	42.2	54.1	0.708
4	Cr-Mo	28.1	35.8	42.2	54.1	0.660
5	Mn-Si	26.0	35.8	42.2	57.6	0.619
6	Mn-Mo	26.7	33.7	42.2	53.4	0.633
7	P+low Cu+Ni	26.7	33.0	42.2	52.0	0.638
8	C+Mn (Mn>0.75)	26.0	33.0	42.2	53.4	0.620
9	C (Mn<0.75)	23.8	29.5	40.8	49.8	0.588

Table 32. 1/2"厚鋼板の熔接性能におよぼす合金元素の影響

元 素	炭素を標準とした場合 の効果の比率		成 分 範 囲
	20°C	-30°C	
C	1.00	1.25	0.02~0.61
Mn	0.10	0.13	0.94~1.60
P	0.86	1.22	0.075~0.128
Si	0.11	0.26	0.25~1.00
Cu	0.03	0.045	0.02~1.05
Ni	0.03	0.045	0.49~3.10
Cr	0.10	0.18	0.34~4.94
Mo	0.33	0.37	0.18~0.44
V	0.17	0.00	0.15~0.11
Ti	—	—	—

67 kg/mm², 降伏点 36.5 kg/mm² 以上), が定められたが, C, Mn が多くて熔接用に不適なため, 1941年には BS 968 (Table 6) が完成した. 有名な Ducol 鋼の改良型としての熔接用 Ducol W25 (Table 6) はわが国における HT52 (Table 33 参照) に相当し, 同じく W30 (Table 6) は HT60 (Table 39 参照) に相当する⁵⁹⁾. 英国における高張力鋼の熔接性の研究は, その対象が冷間割れに集中されているようである. すなわち熔接々手の拘束度と冷却速度が硬化層割れにおよぼす影響について Reeve 試験^{60)~62)} およびそれを改良したものの^{63)~65)}が広く用いられていて, 切欠脆性あるいはビード曲げ試験はほとんど見られない. また特色のあるものとして Cottrell などの急速熱膨脹計による変質部の高速度変態の測定に関連した研究がある^{66)~71)}. なお最近 Reeve³⁷⁾は一連の C-Mn 系高張力鋼に対し CTS および Battelle 割れ試験をおこない, 熔接性を判定し, $(\%C + \%Mn/6)$ の値が 0.40 以下ならば熔接性は良好であるとの結論を出している.

(3) ドイツにおける研究

ドイツにおいては有名な St 52 がすでに 1930 年に規格化され, それが時代とともに改良されて今日にいたっていることは先にのべた. 熔接性については, 初期の St 52 を使用した橋梁に事故が起つた⁷²⁾ことから, 重要な問題として取上げられ, 詳細に検討されている^{73)~75)}. 熔接熱の影響を調べる方法として, T型割れ試験のほか大型縦ビード曲げ試験が広く採用されている^{76)~81)}. コマレル試験はこの試験法の発達したものである. その他, Houdremont⁸²⁾は St 52 の強度におよぼす Cu (0.8% 以下) の影響を調べた結果, Cu の増加につれて引張り強さは増すが, 降伏点は変わらず, 伸びはやや減少することを認めた. 同じく Wilhelm⁸³⁾も Si (1.3% 以下) の影響を調べているが, 熔接性に対する影響は判然としな

いようである. Grosse⁸⁴⁾は大型構造用鋼 (St 37, St 52) の脆性破壊感受性および熔接性を調べる目的で U ノッチ シャルピー試験, シュナット試験, コマレル試験などを行つたところでは, 破壊感受性には, 脱酸条件あるいは P の含有量が影響することがわかつた. Nehl⁸⁵⁾は St 52 の圧延温度よりの冷却条件の変化と強度および変質部の硬化性との関連を求めた. Roland⁸⁶⁾は Mn 鋼に核生成作用として添加した Al および Ti の影響について検討し, 降伏比, 加工性および低温靱性の向上を認めた. これらの St 52 の性能向上に関する諸研究の結果, さに画期的な HSB 鋼 (V 項参照) が生まれたのである^{87)~91)}.

X. わが国における最近の研究

(1) 鉄道車両関係の研究

すでに述べたように, 戦後, 東南アジア地域への鉄道車両の輸出引合があつてから, わが国車両工業界においても引張り強さ 55 kg/mm² 程度以上の高張力鋼の必要に迫られた. そこで日本鉄道車両工業協会では高張力鋼専門委員会を設置して, 運輸省の科学技術応用研究補助金の交付を受け, 車両メーカーのほかに, 大同製鋼, 東都製鋼, 三菱製鋼, 大同鋼板, 八幡製鉄の参加を得て, 昭和 27 年 4 月より主として Si-Mn 系高張力鋼の研究に着手した²²⁾. 約 1 年半年にわたつて, 材料試験, 工作加工性試験, 熔接作業性試験, 疲労試験, 耐蝕試験等一応の試験を実施して車両用鋼材として高張力鋼が使用可能であることの確認を得て, Table 11 に示したような規格を制定した. 化学成分中 Cu を 0.2% 以上と指定したのは, 耐蝕性を付与するためである. 高張力鋼を使用するときは使用鋼材の肉厚が減少するため, 車両では大気中における耐蝕性が特に問題となるのであつて, 本規格においても最初は Cu=0.2~0.4% であつたが, のちに 0.2% 以上として上限は使用者と製造者が協定することに改められたのである. また日本熔接協会車両部会も, 高張力鋼委員会を結成して Si-Mn 系高張力鋼の歪取り, 点熔接などの特殊作業に関連した問題を中心に実用試験を進めてきた²⁾.

(2) 日本材料試験協会の研究²⁶⁾

日本材料試験協会では橋梁用材料として適当な, 熔接性の良好な高張力鋼を得ることを主眼とし, 昭和 28 年 8 月に, 構造用高張力圧延鋼材研究委員会を設置し, 大学, 研究所, 製鋼会社, 橋梁メーカーなど多数のメンバーが参加し約 1 年半にわたり研究した. 試作鋼の特性はすでに述べたドイツの HSB 鋼に匹敵するものを目指

とした。すなわち、

化学成分

C	Si	Mn	P
0.15~0.20	0.40~0.50	0.90~1.00	≤0.05
S	Cu	(Al による脱酸を行う)	
≤0.05	0.20~0.30		

機械的性質

引張り強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²
50~60	34~36
伸び% (1号)	衝撃値 kg·m/cm ² (0°C)
20~24	≥7

を狙い、8 t、15 t 塩基性電炉および 60 t 塩基性平炉で熔製し、12 および 22 mm の 2 種の鋼板に圧延した。当初は H S B 鋼に準じて圧延温度を 1,000°C 以下にすることも考えられたが、現在の施設では実行困難なことから、取止めとなつた。これらの試験鋼板は、八幡製鉄、日本鋼管、川崎製鉄、三菱製鋼の各社から提供されまた別に構造物試験用として高張力山形鋼 (∠9×75, 50 t 塩基性平炉製) を東都製鋼より、25 mm 厚鋼板を八幡製鉄および三菱製鋼より提供した。これらの試料について各種試験を行つた結果を要約すればつぎのごとくである。

まず機械試験の結果は、ほとんどすべての試料が試作基準を満足していて問題はない。回転曲げ疲労試験の結果、疲労限度としては平均約 30 kg/mm² を得ている。加工性試験としてガス切断、剪断、ドリル穿孔などの試験を行つたが、剪断縁は脆化の傾向を示しているから適当に仕上げる必要がある。つぎに熔接性試験としては、母材そのままのもの、母材に 5% の引張歪を与えて時効させたものおよび母材にビードをおいたときの変質部についてそれぞれ V ノッチシャルピー衝撃試験を行つた。また、母材、ガス切断縁および剪断縁についてシュナット試験も行つた。その他、オーストリアビード曲げ試験、レハイおよびキンゼルビードノッチ曲げ試験、変質部硬度試験、亀裂性試験を行つた。以上の結果を要約すると、12 mm 厚鋼板は切欠脆性、硬化性、亀裂性のいずれの性質についても不安なく使用できるといえる。しかし 22 mm 厚鋼板では、切欠脆性が 12 mm のものに比してかなり遜色があり、また変質部の最高硬度もかなり高いから、使用に際して注意を要する。切欠脆性を改善するには適当量の Al を添加するのが望ましいようである。金属学的試験として、供試材の AIN の詳細な分析を行い、ある程度の AIN が存在する方が機械的性質の点においても、またビード曲げ試験においても概し

て優秀な成績を示しているから、Al 脱酸する場合には約 0.02% 程度以上の金属 Al が鋼中に残存するように Al 添加量を加減すべきであろう。熔接棒試験の結果は高張力鋼の熔接性は現状においては、予熱を行わない状況では、低水素系の棒を使用する必要があると考えられる。ただし、作業性にやや難点があるので、作業従事者の習熟が要望せられる。構造物試験として、∠9×75 山形鋼を用い、 $l/r=29\sim120$ について圧縮試験を行つた結果、得られた挫屈応力は次式で表わすのが適当である。

$$\sigma_K = 3400 - 0.135(l/r)^2 (\text{kg/cm}^2), \quad l/r \leq 100$$

$$\sigma_K = 21,000,000(l/r)^2 (\text{kg/cm}^2), \quad l/r > 100$$

25 mm 鋼板を用いて圧縮試験を行つた結果、供試材は圧縮に対する降伏点も良好であつて、設計基準としては、暫定的につぎのようにとつて差支えない。

$$\text{弾性係数: } E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

降伏点: 引張り降伏点の 85~95%

比例限度: " " の 55~65%

最後に、各供試鋼材の熔接接手について、疲労試験そのほかで得られた結果を総括すると、その疲労限度は St 52 鋼に比して同程度またはそれ以上である。一般構造用普通鋼に比し、下限応力の大きい場合にもその疲労強度は優秀である。この性質のため、高張力鋼の使用は死荷重の大きい橋梁、とくに長大スパン橋梁において非常に有利である。

(3) 日本造船研究協会の研究

わが国における最も大規模な研究は、艦艇用の高張力鋼を必要とする防衛庁の後援のもとに、日本造船研究協会が、製鋼会社、造船所、関係研究機関の協力によつて行つたものである。まず第一段階として、引張り強さ 50 kg/mm² 台の Si-Mn 系高張力鋼の研究を昭和 28 年度に行い、SM52W (略称 HT52) として Table 33 のごとき防衛庁暫定規格が制定された。これは一部改訂されて、現在はⅦ項に示したごとくになつている。続いて引張り強さ 60 kg/mm² 台の高張力鋼の研究が 3 次にわたつて行われ、一応の結論が出されている。以下にその大要を述べる。

1) 50 キロ Si-Mn 系高張力鋼の研究経過

これは引張り強さ 50 kg/mm² 台の Si-Mn 系高張力鋼を目標として、Si% を変え、それにつれて Mn% を変化させた 9 種の試験材 (Table 34) を八幡製鉄、日本鋼管、日本製鋼所、川崎製鉄の 4 社でつくり、これらを厚さ 12 および 20 mm の板に圧延して普通の機械試験のほか、詳細な各種の熔接性試験を行つたものである。

Table 33. 防衛庁 S M52W 規格表 (1954. 9. 2) (略称 H T52)

1.1 化学成分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
I	≤0.18	≤0.55	≤1.25	≤0.03	≤0.03	≤0.30	≤0.25	≤0.10
II	≤0.20	≤0.60	≤1.35	≤0.035	≤0.035	≤0.30	≤0.25	≤0.10
注. II は特採規格で, 1.4以下の追加試験を要する.								
1.2 機械的性質								
	降伏点 (kg/mm ²)	引張り強さ (kg/mm ²)			伸び (LG=200) (%)		曲げ	
	≥32	52~60			≥20		180° (r=1.0t)	
1.3 熔接性試験								
1.3.1 Vノッチシャルピー-衝撃試験								
≥3.5 kg·m/cm ² (0°C)								
1.3.2 オーストリア試験 (板厚 18mm 以上のもの)								
最大曲り角度 ≥120° (20°C 以下にて)								
1.4 化学成分が 1.1 の II に該当するときは 1.2, 1.3 の試験に合格するほか, 下記に合格しなければならぬ.								
1.4.1 Vノッチシャルピー-衝撃試験								
+20°C において ≥6.8 kg·m/cm ²								
-20°C において ≥1.9 kg·m/cm ²								
1.4.2 熱影響部最高硬度 ≤350								

Table 34. Si-Mn 高張力鋼試験材

符 号	化 学 成 分						引 張 り 試 験			結 晶 粒 度		製鋼炉
	C	Mn	Si	P	S	Cu	降伏点 kg/mm ²	引張り強 さ kg/mm ²	伸 び %	フェライ ト 粒 度	オーステナ イト 粒 度	
K 1 T20	0.19	1.38	0.19	0.020	0.006	0.16	38.0	60.9	26.0	7	4~5	電気炉
N 3 T20	0.17	1.32	0.29	0.019	0.016	0.15	32.6	53.0	26.5	7~8	6~8	平炉
M 3 —20	0.17	1.30	0.37	0.019	0.008	0.27	45.5	60.0	25.6	6~9	6~7~8	電気炉
K 4 T20	0.14	1.27	0.46	0.013	0.005	0.18	36.5	55.3	29.0	7~8	3~4	〃
Y 4 T20	0.17	1.49	0.53	0.021	0.021	0.21	38.9	60.3	23.0	6	5~6~7	平炉
N 5 T20	0.16	1.06	0.54	0.017	0.016	0.13	35.1	55.2	29.5	7	6~7	〃
M 6 —20	0.15	1.116	0.58	0.021	0.010	0.31	43.0	57.5	25.5	8	6~7~8	電気炉
N 6 T20	0.19	1.16	0.60	0.021	0.015	0.13	38.4	60.1	22.0	7~8	4~7	平炉
Y 6 T20	0.12	1.14	0.65	0.016	0.019	0.19	33.2	53.0	28.5	6	6~8	〃

その結果明らかにされた結論の概要²⁷⁾は,

①母材について行つたシャルピー, シュナット, レハイの各試験法による結果を調べると, 遷移温度の値を, いわゆる fracture 遷移温度および ductility 遷移温度の 2 群に分類するならば, 各群内では, 遷移温度の高低の順序はいずれの方法によつてもほぼ一致し, シャルピー試験の成績で鋼板の切欠脆性を代表させることができるようである. ② Si が 0.3~0.6% の間では遷移温度はほぼ一定であるが, 0.6% 以上では上昇するようである. また C, Mn の影響については諸文献の結論と一致する傾向が認められた. 一般的にいつて Si-Mn 系高張力鋼の切欠脆性は, 圧延のままではキルド鋼にやや劣り, その適用範囲も厚さ 20mm 以下とするのがよい. しかし, 焼準を行えばいちじるしく改善されるから, 20

mm以上の板厚で使用しても不安がないであろう. ③すべての試験において, 熔接部の延性は変質部の最高硬度 (H_{max}) と密接な関連性を有している. 特にノッチのない試験 (オーストリア) では (H_{max}) が 350V.P.N. 以上になると, 熔接部がいちじるしく脆化する. ノッチのある試験片の遷移温度に対しては, 変質部の硬化は熔接部の ductility 温度を上昇させ, その fracture 遷移温度は母材の切欠脆性によつて大体決定すると考えると, 諸成績の示す意義がほぼ理解される. また, 等価炭素量 (C_{eq}) を $C_{eq} = C + 1/4Mn + 1/12Si$ にとると, (H_{max}) を大体正確に推定することができる. ④試験鋼材はすべて S, P などの有害成分が少なかったが, このような良質鋼板では突合せ熔接部に発生する亀裂は (H_{max}) ときわめて密接に関連し, (H_{max}) が 350V.P.N. 以上に

なると、亀裂発生傾向がいちじるしく大となる。隅肉熔接 (T型亀裂性試験) では、亀裂が突合せ熔接よりはるかに発生しにくい。なお、SM-52W 規格の制定につづいて、その工作基準を決定するための研究が行われ、その結果にもとづいて、造船協会鋼船工作法研究委員会により、高張力鋼工作基準案が作成された。

2) 60キロ高張力鋼の研究経過^{28~33)}

使用目的によつては、上記の 50 kg/mm² 高張力鋼よりさらに 2~3 割強度の高い鋼に対する要求が強くなつたので、

降伏点 ≥ 39 kg/mm², 引張り強さ 60~70 kg/mm², 伸び ≥ 18%

程度を目標とし、かつ熔接性良好な 60 キロ高張力鋼 (略称 HT60) の試作研究が昭和 29 年度に開始された。まず第 1 次試験では、日本製鋼所、日本鋼管、川崎製鉄、三菱製鋼の 4 社で、500~1,000 kg 程度の小鋼塊を作りそれを板厚 20mm の 3'×6' 鋼板に圧延した。鋼種

は Table 35 のごとく 4 種であつて、合計 15 チャージである。これらの試料に対し Table 36 のごとき試験を行つた結果、鋼種 A は全般的に切欠靱性、硬化性、亀裂性の点ではきわめて劣るが、強度の比較的低いチャージ (C=0.16, Si=0.47, Mn=0.89, Mo=0.57) では亀裂性のすぐれたものがあり、今後若干改善の余地がある。鋼種 C は合金含有量が比較的多く、強度が高すぎたため結果が最も悪かつた。鋼種 D は従来の Si-Mn 系の延長であるため実用性が最もあり、切欠靱性の点では最もすぐれてはいるが、変質部の硬化が比較的大で亀裂の危険性が若干予想される。いわゆる vanity 型の鋼種 B は他にくらべて変質部の硬化が最も少なく、亀裂性の点できわめて良好な結果を示し、V または Ti の不溶解性炭化物生成による効果が充分示された。またシャルピーおよびキンゼル試験による母材ならびに熔接部の切欠靱性は圧延状態では満足すべき結果が得られないが、焼準すれば熔接構造用鋼として充分使用しうるから、第

Table 35. 第 1 次試験用鋼種

記号	鋼種	参 考	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti
A	Mn-Si-Mo	Mn と Mo の組合せによる改善を目的としたもの	0.15 ~ 0.21	0.28 ~ 0.54	0.89 ~ 1.28	0.19 ~ 0.21	0.03 ~ 0.22	0.09 ~ 0.62	0.24 ~ 0.57	—	—
B	Mn-Si-V-(Ti)	米海軍 vanity 鋼に準じ不溶解炭化物生成元素である V Ti の添加により特に降伏点を増し硬化性を減少せしめる。	0.12 ~ 0.23	0.23 ~ 0.59	0.90 ~ 1.12	0.14 ~ 0.19	0.08 ~ 0.14	0.07 ~ 0.12	tr	0.007 ~ 0.12	0.02
C	Mn-Si-Ni-Cr-V	英 Ducol W 30 型に準ずるもので多数の合金元素の組合せによる熔接性の改善を目的としたもの。	0.12 ~ 0.20	0.12 ~ 0.41	1.20 ~ 1.47	0.28 ~ 0.33	0.19 ~ 0.39	0.28 ~ 0.90	0.27 ~ 0.37	tr ~ 0.12	—
D	Mn-Si	オーストリアの Aldur 58 型に準じ、Si-Mn 鋼に微量の Cu を加えて析出硬化により強度増加をはかつたもの。	0.20 ~ 0.22	0.45 ~ 0.57	1.16 ~ 1.41	0.34 ~ 0.36	0.05 ~ 0.06	0.05 ~ 0.11	—	—	—

Table 36. 第 1 次試験項目一覧

研究番号	項 目	試 験 要 領	担当機関
1-1	母材試験	引張, 曲げ試験, 化学成分, 鋼材履歴組織および粒度	各製鋼所
1-2	Vシャルピー試験	母材の遷移温度決定	東 大
1-3	キンゼル試験	母材および熔接部の遷移温度の決定	運 研
1-4	鉄研式 亀裂性試験	スリット型試験片による亀裂性比較	鉄 研

Table 37. 第2次試験目標成分

鋼	成 分 %				
	C	Si	Mn	V	Ti
1	0.18	0.30	1.30	0.10	—
2	0.18	0.60	1.00	0.10	—
3	0.18	0.30	0.80	0.10	—
4	0.18	0.60	0.60	0.10	—
5	0.16	0.50	1.00	0.07	0.03
6	0.16	0.50	1.00	0.10	—
7	0.13	0.30	1.40	0.10	—
8	0.13	0.60	1.20	0.10	—

2次試験用鋼種として vanity 型を採用することに決められた。第2次試験としては、Table 37 のごとき目標成分の鋼種8チャージを日本製鋼所、日本鋼管、川崎製鉄、富士製鉄、八幡製鉄、三菱製鋼の6社で、5~20t程度の塩基性電気炉を使用して熔製し、厚さ20mmの鋼板に圧延し焼準後使用した。まず機械試験の結果によると、圧延状態では一応所定の範囲に入るが、焼準した場合、引張り強さで6~13kg/mm²、降伏点で8~16kg/mm²の減少を示し、鋼1および鋼2がわずかに焼準状態で約60kg/mm²である以外、大部分が55~59kg/mm²程度になつた。一方、熔接性試験結果は一部を除き一般に良好で、硬化性も少なく切欠靱性も高い。ところが強度の充分な鋼1および2は、硬化性、亀裂性およびコマレル試験結果にやや難色を示す。すなわち、本供試鋼の結果によれば、焼準した vanity 鋼は引張り強さ58kg/mm²程度までなら熔接性は比較的良好なるも60kg/mm²付近から幾分低下することが予想される。このように成績が思わしくなかつた最大の原因としては、焼準によつて圧延のままの場合の強度がいちじるしく低下することを過少評価した点があげられる。したがつて今後 HT60 として満足すべき結果をうるためには、他の合金元素添加によるなどのなお一層の材質的な検討が必要である。以上のごとき vanity 鋼が意外に不調であつたので、第3次試験としてはまず各製鋼会社で第1、2次試験の結果を基礎とした改良研究を行い、

各自がその予備試験結果にもとづいて最も良好と考えられる鋼種について試験用鋼を試作することとなつた。各社から提出された試作鋼種は Table 38 のごとくであつて、これらは容量2~10tのエルー式または高周波電炉で熔製した板厚20mmの圧延鋼材である。このうち20のみは圧延のまま、他はすべて焼準状態で試験を行つた。その結果、強度は13を除いて大体満足すべき値を示し、諸種の熔接性試験においても、13を除きほぼ良好と認められたが、なかでも、18(Mn-Ni-V-Ti系)は全試験に合格している。

以上、3次にわたる試験結果から、板厚20mmのHT60としては vanity 鋼あるいはこれに少量のNi、Moなどを添加した改良型 vanity 鋼が最適なることを確認し、HT60の規格案ならびに熔接性判定基準(板厚20mm)としてTable 39のごときものを決定した。なお、板厚の影響について追加試験を行い、板厚が20mmを超えた場合は熔接性試験結果は一般に低下するから、その使用板厚に応じた厳密な試験が必要であるとしている。以上はSR21、SR29研究部会として行われた研究である。続いて、昭和31年度にはSR33研究部会として、HT60として好適の改良型 vanity 鋼および調質Si-Mn鋼の20mm板厚のものについて(Table 40)、熔接性および加工性試験を行つた結果、調質Si-Mn鋼は、熱間加工性試験において高温にさらされると強度が低下する以外は、すべての点で非常にすぐれた成績を示した。また、製鋼上あるいは経済上の点で比較した場合も、商用鋼としては調質Si-Mn鋼が改良型 vanity 鋼よりすぐれていると考えられるので、昭和32年度には、SR36研究部会として、Table 41のごとき目標の2種の試験鋼をつくり、熔接性、工作性の各種試験を行つた。その結果

(A) 引張り強さ60~64kg/mm²調質Si-Mn鋼材については、①各種の熔接性試験結果から評価した板厚35mm程度までのものの熔接性は従来使用されているSi-Mn50キロ高張力鋼に匹敵し、熔接構造用として適

Table 38. 第3次試験用試作鋼

記号	成分系	処理	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al
11H	Mn-Ni-V	焼準	0.16	0.55	1.32	0.011	0.010	0.19	0.10	0.47	0.01	0.09	—	0.024
12H	Mn-Ni-V-Ti	〃	0.16	0.43	1.37	0.012	0.016	0.20	0.06	0.34	tr	0.08	0.02	0.026
13H	Mn-Mo	〃	0.19	0.42	1.47	0.014	0.008	0.29	0.13	—	0.27	—	—	—
15H	Mn-V	〃	0.18	0.40	1.27	0.021	0.013	0.15	0.09	0.06	—	0.20	—	0.03
16H	Mn-Cr-V	〃	0.17	0.39	1.10	0.008	0.011	0.15	0.77	0.07	0.016	0.27	tr	0.02
17H	Mn-V-Ti	〃	0.14	0.33	1.30	0.012	0.009	0.17	0.09	0.06	—	0.11	—	—
18H	Mn-Mo-V-Ti	〃	0.16	0.34	1.11	0.009	0.006	0.07	0.14	0.52	0.15	0.09	0.011	0.032
19H	Mn-Ni-Cu-Mo	〃	0.10	0.37	0.99	0.014	0.002	0.58	—	0.79	0.26	—	—	0.014
20R	Mn-Ni-Mo-V-Ti	圧延	0.13	0.42	1.08	0.009	0.011	0.07	0.24	0.42	0.16	0.07	0.014	0.040

Table 39.(その1) 熔接艦船用60キロ高張力鋼 (略称HT60) 規格案

1. 化学反応 (レードル分析値)

C ≤ 0.18%	P ≤ 0.04%	Cr ≤ 0.5 %
Si ≤ 0.50%	S ≤ 0.04%	V ≤ 0.2 %
Mn ≤ 1.35%	Ni ≤ 1.0 %	Ti ≤ 0.03%
2. 機械的性質

引張試験における

降伏点	ただし	板厚
≥ 40 kg/mm ²	板厚 ≥ 18mm	≥ 18mm
≥ 41 kg/mm ²	板厚 ≤ 16mm	≤ 16mm
引張強サ	≥ 18mm	≥ 18mm
58~66 kg/mm ²	板厚 ≤ 16mm	≤ 16mm
60~68 kg/mm ²	板厚 ≤ 16mm	≤ 16mm
伸び	≥ 18% (8'')	
3. 熔接性試験

(イ) Vノッチシャルピー試験における 0°C の衝撃値

第1種	E ₀ ≥ 6.0 kg·m/cm ²
第2種	E ₀ ≥ 3.5 kg·m/cm ²

(ロ) ビード置き試験片断面における熱影響部の最高硬度

H_{max} ≤ 350 ピッカース 10kg 荷重

Table 39(その2) 60キロ高張力鋼 (略称HT60) の熔接性判定基準 (板厚20mm)

記号	強度	Vシャルピー	最高硬度		コマレル試験		キンゼル試験 Trφ	鉄研式 割れ試験(磁気)
			H _{max}	亀裂発生 曲角度α _i	最大曲角度 α _{max}			
○	T.S 58~68 kg/mm ² Y.S ≥ 40 kg/mm ² E.L ≥ 18%	E ₀ ≥ 6.0 kg m/cm ²	H _{max} ≤ 350	α _i ≥ 50	α _{max} ≥ 100	Trφ ≤ 0°C	C% ≤ 10	
△	T.S 57~58 kg/mm ² Y.S 38~40 kg/mm ² E.L { < 18 % ≥ 15 %	3.5 ≤ E ₀ < 6.0 kg m/cm ²	350 < H _{max} ≤ 380	50 > α _i ≥ 45	100 > α _{max} ≥ 85	0°C < Trφ ≤ 20°C	10 < C% ≤ 20	
×	T.S < 57 kg/mm ² > 68 kg/mm ² Y.S > 38 kg/mm ² E.L > 15%	E ₀ < 3.5 kg m/cm ²	H _{max} > 380	α _i < 45	α _{max} < 85	Trφ > 20°C	C% > 20	

Table 40. SR33 研究部会試験鋼

		A 1	A 2			A 3
化 学 成 分	C	0.11	0.14			0.16
	Si	0.30	0.31			0.40
	Mn	1.09	1.09			1.05-
	P	0.009	0.013			0.012
	S	0.011	0.007			0.009
	Ni	0.66	0.69			0.19
	Cr	0.17	0.21			0.06
	Cu	0.15	0.18			0.14
	Mo	0.12	0.14			0.06
	V	0.09	0.11			—
	Ti	—	—			—
Al	0.04	0.02			0.015	
熱処理		900°C × 3 h 空冷焼準 500°C × 10 h 焼戻	880~900°C × 50mn 空冷焼準			850°C 焼入 650°C × 1 h 焼戻
機 械 試 験 値	降伏点	49 kg/mm ²	44.1 42.0 41.4 kg/mm ²			56.7 kg/mm ²
	引張強サ	62 kg/mm ²	68.4 68.2 67.5 "			65.0 kg/mm ²
	伸び (GL=200)	24%	23.8 23.3 23.0%			18.9%
熱影響部最高硬度		370	357 363 380			276

Table 41. S R36 研究部会試験鋼

記号	鋼種	目標降伏点 kg/mm ²	目標引張り強さ kg/mm ²	化学成分範囲											機械的性質の範囲		
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Al	降伏点 kg/mm ²	引張り強さ kg/mm ²	伸び (8'') %
A 4	焼入 焼戻	46~48	60~62	*15	*37.1	*12	*011	*013	*06	*04	*20	tr	—	—	50.7	59.3	18.3
				~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
A 5	鋼	50~52	66~68	*15	*39.1	*23	*014	*014	*41	*04	*21	*10	*03	—	59.3	69.1	18.0
				~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
				*16	*54.1	*25	*019	*016	*51	*07	*24	*12	*04	—	60.9	70.3	20.0

当と考えられる。②ショートビードクレータや熔接入熱のきわめて少ない熔接ビードなどは硬化がいちじるしいから、厚板や、とくに重要な部分においては、予熱や後熱を行うことが望ましい。③このような調質鋼の変質部に生ずる軟化部については、接手の静的強度上は特別の注意を必要としない。ただし、今後は、衝撃的荷重による強度や脆性破壊について充分吟味し安全性を確めることが必要である。④今回の試験に使用した熔接棒LB60 LB62, FL60, NL60などはそれぞれ亀裂性や作業性に多少の難点が認められたようであるが、これらに特別の考慮をすれば、本材程度のものに対しては使用可能と考えられよう。

(B) 引張り強さ 69~70 kg/mm² の調質 Si-Mn-Ni-Mo 鋼材については、各種熔接性試験結果から評価した熔接性は、板厚 25mm 程度までは、上記の Si-Mn 鋼材と同様に良好と考えられる。ただし、板厚が 30mm 程度以上になると硬化性および亀裂感受性が增大するから熔接構造用鋼としてはなお一層の検討を必要とする。

なお、SR39 研究部会として、昭和 32 年度から調質 HT60 鋼の自動熔接熔着金属の靱性試験および熔接接手の強度(板厚効果)試験などが実施されつつあり、将来は、HT70 鋼の研究も行われるものと思われる。

(4) 2H 鋼の研究

K.K. 日本製鋼所では、引張り強さ 60~70 kg/mm² の Si-Mn 系調質高張力鋼の生産に成功した。その規格はすでに Table 13 に示してあるが、本鋼はすぐれた切欠靱性と熔接性を有していることが各方面で実証されている³⁴⁾。Fig. 11 は 2H 鋼の機械的性質と切欠靱性を示す一例である³⁴⁾。また Fig. 12 は V ノッチシャルピーの遷移曲線を求めた一例である¹⁹⁾。

XI. 結 言

最近の高張力鋼について、技術的観点に立つて概説を試みたが、今後、わが国において高張力鋼がさらに伸びるためには、特につぎの 2 点を推進せねばならないと思われる。

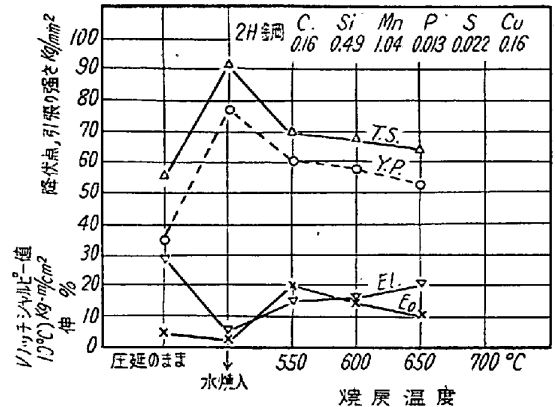


Fig. 11. 2H 鋼の性質

○ 2H 鋼 23mm 鋼板 焼入焼戻 C.0.16 Si.0.42 Mn.1.00
 ◐ SM41W 鋼 28mm 鋼板 圧延のまま C.0.15 Si.0.23 Mn

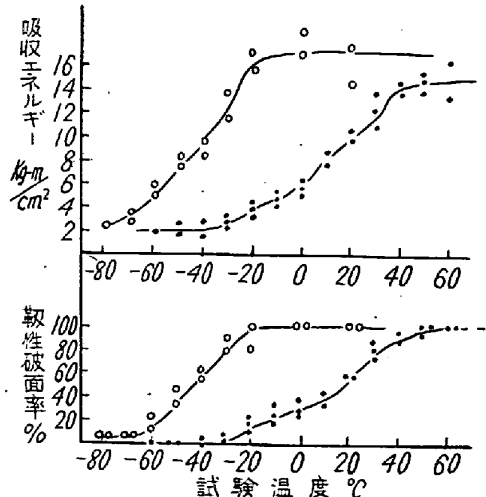


Fig. 12. 2H 鋼と普通鋼との V ノッチシャルピー試験の遷移曲線の比較

① 使用上、とくに設計上の合理化. 使用者、設計者が高張力鋼の特性を充分認識して、従来の観念にとらわれぬ合理的な設計を行い、新材料の採用に踏切ること。

② 法的措置. JIS の制定を始めとし、建築基準などの公的法規に高張力鋼の使用を認めること。

終りにのぞみ、貴重な資料を御提供下さった各位、ならびに引用させて戴いた文献の原著者各位に深く感謝の意を表す。
 (昭和 33 年 12 月寄稿)

文 献

- 1) 著者: 日本重工業, 1957年7月号, 20頁
- 2) 木原, 他: 材料試験 (高張力鋼特集号) 1955年, 6月号, 2頁
- 3) 木原, 他: 熔接学会誌, 1955年4月号, 241頁
- 4) C. E. Sims 他: Weld Jnl. April (1949) p. 178~192
- 5) J. A. Rinebolt 他: Trans. A.S.M. 1951, p. 1195~1214
- 6) 木原: 熔接資料, 1954年11月号, 985頁
- 7) J. Dearden 他: Trans. Inst. Weld., Oct., (1940) p. 203
- 8) C. B. Voldrich 他: Weld. Jnl., July (1949) p. 326~336
- 9) J. A. Rinebolt 他: Weld. Jnl., April (1951) p. 202~208
- 10) N. G. Grossman: Weld. Jnl., June (1949) p. 265~295
- 11) 木原, 鈴木共著: 高張力鋼の熔接 (熔接叢書第21巻, 昭33年3月発行) 88頁
- 12) H. Malcolm Priest & J. A. Gilligan 共著: Design Manual For High Strength Steels (1954) p. 19~30
- 13) 同 上 p. 94
- 14) 岡村: 金属, 1955年2月号 109頁
- 15) 高張力鋼 (SM52W) 工作基準
- 16) 鍵和田, 宮野: 金属, 1958年5月号, 359頁
- 17) 永井, 応和: 金属, 1955年2月号 120頁
- 18) 上野, 浜本: 金属, 1955年2月号 100頁
- 19) 水越, 佐藤: 東京電力研究報告
- 20) 東洋火熱工業 K.K.: 特殊鋼, 1958年11月号, 46頁
- 21) 松尾: 鉄鋼界, 1958年8月号 18頁
- 22) 日本鉄道車両工業会: 金属, 1955年2月号106頁
- 23) 著者: 東都製鋼, 第5号(1958年10月) 1頁
- 24) 八幡製鉄資料
- 25) 石川島重工資料
- 26) 小西: 材料試験 (高張力鋼特集号) 1955年6月号 1頁
- 27) 木原: 熔接学会誌, 1956年5月号, 材料試験 (高張力鋼特集号) 1955年6月号 10頁
- 28) 木原: 熔接学会誌, 1957年8月号 38頁
- 29) 木原: 同 上 誌, 9月号 7頁
- 30) 木原: 同 上 誌, 10月号 8頁
- 31) 木原: 同 上 誌, 11月号 2頁
- 32) S R 33 研究部会報告 (日本造船研究協会)
- 33) S R 36 研究部会報告 (日本造船研究協会)
- 34) 木原, 鈴木, 田村共著: Researches on Weldable High Strength Steels (1957) (日本造船協会 60周年記念論文集, 第1巻)
- 35) 浅野: 東都製鋼, 第5号 (1958年10月) 32頁
- 36) Welding Journal December (1957) p. 531
- 37) L. Reeve: British Weld. Jnl. September (1957) p. 425
- 38) 例えば, 最近の Welding Journal 誌
- 39) Spraragen W. 他: Weld Jul. 16(9), p. 23 (1937)
- 40) "Effect of C-Mn on the Weldability of Plain Carbon Steels" Weld. Jnl. 17 (1) p. 2 (1938)
- 41) Harder, O. E. 他: Weld. Jnl. 21(10), p. 450 (1942)
- 42) Voldrich, C. B. 他: 同上誌, 25(2), p. 77 (1946)
- 43) Voldrich, C. B. 他: 同上誌, 26(9), p. 489 (1947)
- 44) Williams, R. D. 他: " " 28(7), p. 311 (1949)
- 45) Hess, W. F. 他: " " 22(9), p. 377 (1943)
- 46) Brooks, W. B. 他: " " 23(10), p. 511 (1944)
- 47) Walter, F. M.: AIME., T. P. 1532, Metals Tech. Oct.(1942)
- 48) Franklin, F. F.: Weld. Jnl. 27(1) p. 20 (1948)
- 49) Hoyt, S. L. 他: Metals Tech., 12(4), Technical Publication T. P. 1847 June. (1945)
- 50) U. S. Steel Research Laboratories' Panphlet "Atlas of isothermal Transformation Diagram". 1943
- 51) Bibber, L. C.: Weld. Jnl. 23 (12), p. 609 (1944)
- 52) Luther, G. G. 他: 同上誌, 24 (4), p. 245 (1945)
- 53) Luther, G. G. 他: " " , 25 (10), p. 635 (1946)
- 54) Luther, G. G. 他: " " , 28 (7), p. 289 (1949)
- 55) Zunnernabn, J. S. 他: Trans. A.S.M., 25, 755 (1937).
- 56) Comstock, G. F.: Trans. Am. Soc. Metals, Vol. 33, 1944, p. 324
- 57) Comstock, G. F.: "Titanium in Iron & Steel", John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 1955
- 58) Heuschkel, J.: Weld. Jnl. 28(3), p. 135 (1949)
- 59) Reeve, L.: Trans. Institute Welding, Dec. (1953) p. 154
- 60) Reeve, L.: 同上誌 7, No.4, p. 177 (1940)
- 61) Dearden, J. 他: " " 3, No.4, p. 203 (1940)
- 62) Vatchagandhy, J. S. 他: Weld. Jnl., 22(11) p. 561 (1942)
- 63) Hanson, D. 他: Trans. Inst. 23(11), p. 601 (1944)
- 64) Ball, J. G.: Trans. Inst. 6, 1943, p. 24
- 65) Cottrell, C. L. 他: BWRA, Welding Research, 6, No.1, p. 2, Feb. (1952)

- 66) C.L.M. Cottrell: J. iron & Steel Inst. 1953, Vol. 173, p. 131
 67) C.L.M. Cottrell: 同上誌, 1954, Vol. 176 p. 273
 68) Apblett, W. S. 他: Welding. Jnl. Sept., 1952, p. 421
 69) Fenerstein, W. J. 他: Trans. A.S.M. Vol. 46, p. 1270 (1954)
 70) Christenson, A. L. 他: Ame. Inst., Metal. Eng. Vol. 155, (1944), p. 606
 71) Cottrell, C.L.M.: British Weld. Jnl. Vol.1, No.4, p. 177, April (1954)
 72) Grosse, W.: Stahl u Eisen, 60, s. 441 (1940)
 73) Bollenrath, F: Stahl u Eisen, 57, s. 419 (1937)
 74) Kühnel, R.: 同上誌 s. 381 (1940)
 75) Kühnel, R.: " " s. 405 (1940)
 76) Wasmuht, R. 他: " " 60, s. 453 (1940)
 77) Zeyen, K. L.: " " 60, s. 456 (1940)
 78) Fry, A. 他: Welding Jnl. 26(5), p. 149 (1947)
 79) Spraragen, W. 他: 同上誌 20 (11), p. 369 (1941)
 80) Bierett, G: " " 18 (1), p. 17 (1939)
 81) Wasmuht, R: " " 18, p. 165 (1939)
 82) Hondremont, E.: Archiv, für das E.H.W., Sept. (1939), s. 137
 83) Wilhelm, H. 他: 同上誌, Juni., s. 607 (1939)
 84) Grosse, W.: Stahl u Eisen 70, s. 1193 (1950)
 85) Nehl, F.: 同上誌, 66, s. 186 (1949)
 86) Roland, M: Stahl u Eisen, 73, s. 1652 (1953)
 87) Schulz, E. H.: Baningenieur, 25, Heft 2, s. 39 (1950)
 88) Nehl, F.: Stahl u Eisen, 72, Heft 21, s. 1261, (1952)
 89) Nehl, F.: Stahl u Eisen 73, s. 1443, (1953)
 90) Born, K. 他: 同上誌, 72, s. 1268, (1952)
 91) Krekeler, K. A.: " ", 72, s. 1278, (1952)

コークス炉の加熱作業について

西 尾 醇*

Heating Operation of Coke Ovens

Atsushi Nishio

I. 緒 言

富士製鉄のコークス工場では、コークス炉の加熱作業法の設定において、炉温の変動をチェックしやすく、かつ、アクションをとりやすいということを主眼にして、炉温管理と燃焼管理とを徹底的に実施した。そして、それを行うための不断的努力によつて、コークス炉の消費熱量原単位を従来に比しいちじるしく減少させ、しかも再操業炉についても、生産能力を最高度に高めることができた。ここに加熱作業法の確立に際して、実施した実窯における加熱試験と、その成果を報告するとともに、今後解決しなければならない2, 3の改良点を附記してコークス炉の加熱作業の改善資料に供する。

II. 炉温管理について

1) 炉温管理の必要

コークス炉のフリューは数多くの室に仕切られており炭化室はコークス側が押出側より広く、日鉄式複式コークス

炉では40mmのテーパーが設けられている。したがつて、個々のフリューに、炭化室のテーパーに応じたように(1, 2, 25, 26番フリューは除く)加熱ガス量を分配導入させるとともに、導入された加熱ガスを最少限の一定過剰空気完全燃焼させなければならない。そうすれば、いわゆるフリュー列間温度の変動およびフリュー列内温度差の変動は小さくなつて、消費熱量原単位および生成コークスの物理的性質の変動が減少するのはもち論のこと、炉の生産能力を最高度に高めることができるはずである。しかしながら、フリュー列間温度変動およびフリュー列内温度差の変動の管理は、旧式の日鉄式複式コークス炉のガスと、空気の導入、分配および調整の機構では困難であつて、この至難な炉温管理の達成には、明確なしかも、チェックとアクションをしやすい標準作業の作成と、それを行うための不断的努力にまつほかはない。

* 富士製鉄株式会社釜石製鉄所