
溶接性に優れた極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼の鋼製橋脚への適用*

Application of Heavy Gauge SM570TMC Steel to Bridge Pier

田畑 裕司(Yuji Tabata) 吉村 修身(Osami Yoshimura) 工藤 純一(Junichi Kudo)

要旨：

鋼製橋脚に使用される鋼材は近年厚肉化の傾向にあり、溶接時の予熱低減は製作を効率化する上で非常に有効である。そこで、川崎製鉄で開発された耐低温割れ性に優れた極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼（極低炭素ベイナイト鋼）を鋼製橋脚に適用することとなった。適用に先立ち、溶接性能、加工性能について種々の試験を行った。その結果、溶接熱影響部の耐硬化性、耐低温割れ性に優れ、板厚 83 mm においても予熱の省略または低減が可能であることが確認された。また、加工性能についても曲げ、線状加熱時の材質劣化も少なく、線状加熱は 1 000℃加熱、直後水冷も可能であることが確認された。

Synopsis：

There is a trend in the bridge industry that a steel bridge pier currently constructed in a city area becomes bigger and is fabricated with higher strength and heavier gauge plates than in the past. Taking account of this trend, Kawasaki Steel developed an advanced 570 N/mm² grade steel which is produced by a thermo-mechanical control process (TMCP). This steel contains a low carbon of less than 0.02% and has a single phase microstructure of bainite, and, therefore, has a low hardenability, a superior weldability and workability. This report describes the pre-qualification test for this low C-bainitic TMCP steel which was conducted on the occasion of the application of this steel to the bridge pier. The test result shows that preheating is not especially needed for the welding of the plates up to 83 mm thickness and that the steel can be heated up to 1 000. C and then be rapidly cooled by water immediately in hot-forming process without deteriorating its property. The steel plate also shows a sufficient toughness after the cold working of 9% straining. So, it is revealed that the low C-bainitic steel can greatly contribute to the improvement of the efficiency of the fabrication process.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

溶接性に優れた極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼の 鋼製橋脚への適用*

川崎製鉄技報
32 (2000) 2, 119-124

Application of Heavy Gauge SM570TMC Steel to Bridge Pier



田畑 裕司
Yuji Tabata

橋梁・鉄構事業部 製造部技術室 主査(主席掛長)



吉村 修身
Osami Yoshimura

橋梁・鉄構事業部 製造部技術室 主査(課長)



工藤 純一
Junichi Kudo

厚板セクター 主査(部長補)

要旨

鋼製橋脚に使用される鋼材は近年厚肉化の傾向にあり、溶接時の予熱低減は製作を効率化する上で非常に有効である。そこで、川崎製鉄で開発された耐低温割れ性に優れた極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼(極低炭素ベイナイト鋼)を鋼製橋脚に適用することとなった。適用に先立ち、溶接性能、加工性能について種々の試験を行った。その結果、溶接熱影響部の耐硬化性、耐低温割れ性に優れ、板厚 83 mm においても予熱の省略または低減が可能であることが確認された。また、加工性能についても曲げ、線状加熱時の材質劣化も少なく、線状加熱は 1000°C 加熱、直後水冷も可能であることが確認された。

Synopsis:

There is a trend in the bridge industry that a steel bridge pier currently constructed in a city area becomes bigger and is fabricated with higher strength and heavier gauge plates than in the past. Taking account of this trend, Kawasaki Steel developed an advanced 570 N/mm² grade steel which is produced by a thermo-mechanical control process (TMCP). This steel contains a low carbon of less than 0.02% and has a single phase microstructure of bainite, and, therefore, has a low hardenability, a superior weldability and workability. This report describes the pre-qualification test for this low C-bainitic TMCP steel which was conducted on the occasion of the application of this steel to the bridge pier. The test result shows that preheating is not especially needed for the welding of the plates up to 83 mm thickness and that the steel can be heated up to 1000°C and then be rapidly cooled by water immediately in hot-forming process without deteriorating its property. The steel plate also shows a sufficient toughness after the cold working of 9% straining. So, it is revealed that the low C-bainitic steel can greatly contribute to the improvement of the efficiency of the fabrication process.

1 はじめに

鋼製橋脚に使用される鋼材は近年厚肉化の傾向にあり、また兵庫県南部地震の教訓に基づいた耐震設計では、脚柱の角溶接が全線完全溶込み溶接となるなど、鋼製橋脚製作における溶接量は非常に増加している。一方、板厚が大きくなるほどより張力の高い鋼材を適用するケースが多い。溶接時の予熱温度は板厚、強度の増加にともない、高く設定する必要が生じる。板厚 50 mm を超えるような場合には、溶接線を均一に予熱するためには多大な工数を要するため、予熱を省略あるいは低減できる鋼材は製作効率の上で非常に有効である。

川崎製鉄において開発された 570 N/mm² 級 TMCP 鋼(極低炭素ベイナイト鋼)は極厚材においても溶接割れ感受性組成(P_{CM})を低く抑えることができるため予熱の省略あるいは低減が可能な鋼材である。本報では、この極低炭素ベイナイト鋼を板厚 50 mm を超え

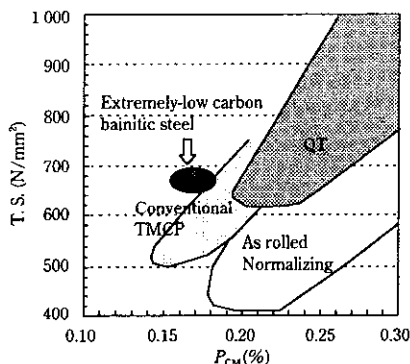
る鋼製橋脚に適用するにあたり、その溶接性能、加工性能を確認するために実施した一連の試験結果について述べる。

2 570 N/mm² 級 TMCP 鋼(極低炭素ベイナイト鋼)の特徴

従来 570 N/mm² 級鋼板の製造は熱間圧延後に調質する方法と非調質の 2 つの方法で製造されており、橋梁分野では溶接性確保の観点から調質鋼がおもに使用されている。調質鋼は圧延後焼入れ、焼戻し処理を行うため鋼板の製作期間が長くなり、また製造方法上の点から板厚方向で硬さなどの材質のパラツキが生じることがある。

鋼の含有炭素量をフェライトへの最大固溶限である約 0.02mass% 以下とした場合、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態時に炭素の分配が起こらず、従来の低炭素鋼とは異なる中間段階組織が得られる。このような極低炭素鋼を化学成分の調整でベイナイト単相組織化した場合、広い冷却速度範囲でベイナイト変態のみが生じる特徴的な変態挙動を示し、通常の冷却速度の範囲ではビッカース硬さは 200 ポイント前後でほとんど変化しない。その結果、厚肉鋼板でも薄鋼板と同等の強

* 平成12年2月28日原稿受付

Fig. 1 Schematic relation between P_{CM} and tensile strength

度を満足でき、かつ板内の冷却速度差に起因したミクロ組織変化による強度バラツキを低減できる²⁾。

1996 年 12 月の道路橋示方書改訂にともない、鋼橋への適用可能板厚が 100 mm まで拡大された。また、溶接時の予熱温度は鋼材の P_{CM} 値の概念に基づいて見直された²⁾。たとえば板厚 $75 < t \leq 100$ mm の鋼板をガスシールドアーク溶接する場合、予熱温度は P_{CM} 値が 0.26 で 60~80°C であるが、 $P_{CM} \leq 0.21$ となれば 20°C となり、ほとんど常温で溶接が可能となる。つまり P_{CM} 値を下げることで施工上の予熱作業の負荷を大幅に低減することができる。Fig. 1 に示すように鋼材の製造プロセスによる強度と P_{CM} 値の関係に関して一般的には強度上昇に対応して P_{CM} 値は大きな値となる。開発鋼は高強度にもかかわらず、同強度の調質鋼はもちろん従来型 TMCP 鋼と比較しても大幅に P_{CM} 値を低減することができる。従来鋼と開発鋼の化学成分の一例を Table 1 に示す。従来鋼 (板厚 66 mm) では $P_{CM} = 0.24$ であるのに対し、開発鋼 (板厚 83 mm) では $P_{CM} = 0.18$ となり、道路橋示方書に示される予熱温度は、鋼板だけの割れ感受性を考えた場合従来鋼では 20~40°C であるが、より板厚の大きい開発鋼で予熱なしとなる。

このように低 P_{CM} 値を実現できる極低炭素ベイナイト鋼は熱影響部の耐割れ性を著しく改善できると推測できる。しかし、これまでに施工実績がない 50 mm を超える板厚への適用を図るについては、種々の継手性能および加工性能に関し検討する必要がある。

3 570 N/mm² 級 TMCP 鋼の施工性評価

3.1 試験方法

試験に用いた鋼板の化学成分を Table 2 に示す。

3.1.1 溶接性試験

極低炭素ベイナイト鋼の溶接性を確認するため溶接熱影響部の最高硬さ試験、および y 形溶接割れ試験を行った。

(1) 溶接熱影響部の最高硬さ試験

溶接熱影響部の最高硬さは母材の低温割れ感受性に大きく影響する。それを確認するため JIS Z 3101 にしたがって、試験を行った。なお、試験板厚は上記 JIS にしたがって、83 mm を減厚して 20 mm とした。溶接条件は 170(A) - 25(V) - 15(cm/min) で溶接材料は極低炭素系の被覆アーク溶接棒 (LB-62UL) を用いた。

(2) y 形溶接割れ試験

溶接低温割れ感受性試験の代表的な試験方法として JIS Z 3158 に基づき試験温度 5°C、20°C の 2 条件で、各温度 3 体ずつの y 形溶接割れ試験を行った。溶接条件は 170(A) - 25(V) - 15(cm/min) とした。なお、本試験は鋼板の溶接熱影響部の耐割れ性を評価するものであり、溶接金属からの拡散性水素量が割れの主因子となる。本試験では溶接材料としては極低炭素系の被覆アーク溶接棒 (LB-62UL) を用いた。

3.1.2 窓型拘束割れ試験

2 章で極低炭素ベイナイト鋼は従来鋼と比較して P_{CM} 値が低いことにより予熱を低減できることについて述べた。しかし、溶接材料は従来のものであるため、実際の溶接継手においては母材で割れが生じなくても溶接金属部で割れが発生する可能性がある。そこで、溶接金属部を含めた継手全体に対する低温割れ感受性を確認するため窓型拘束割れ試験³⁾を行った。本試験方法は Fig. 2 に示すように 4 周を全面溶接された拘束力の大きい試験体を用い、実構造物の製作状況を再現できるものである。

試験は橋梁での施工条件のうち最も割れ発生確率が高い横向き姿勢として小入熱条件で行った。試験パラメータとして、溶接ワイヤおよび予熱-パス間温度はそれぞれ 2 条件とした。すなわち、溶接

Table 1 Example of chemical compositions of SM570 steel

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	B	Nb	P_{CM}
SM570TMC-H Thickness = 83 mm	0.02	0.31	1.54	0.008	0.003	0.56	0.25	0.49	—	—	0.037	0.0023	0.049	0.18
SM570Q-H Thickness = 66 mm	0.13	0.27	1.45	0.012	0.003	0.16	0.15	0.03	0.140	0.041	0.027	0.0001	—	0.24

Table 2 Chemical compositions of steels tested

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	B	Nb	P_{CM}
SM570TMC-H Thickness = 83 mm	0.02	0.31	1.54	0.008	0.003	0.56	0.25	0.49	0.037	0.0023	0.049	0.18
SM570TMC-H Thickness = 83 mm	0.02	0.29	1.54	0.009	0.003	0.52	0.48	0.49	0.030	0.0020	0.045	0.18
SM570TMC-H Thickness = 35 mm	0.02	0.31	1.53	0.009	0.003	0.55	0.25	0.29	0.037	0.0023	0.045	0.16

方法を炭酸ガスシールドアーク溶接とし、溶接ワイヤを低水素で耐低温割れ性に優れたソリッドワイヤと水素含有量がわずかに多いが作業性に優れたフラックスコアードワイヤとした。予熱—パス間温度は 20°C—(20°C~50°C) および 50°C—(50°C~150°C) の 2 条件を設定した。

3.1.3 継手性能試験

溶接継手の性能試験として炭酸ガスシールドアーク溶接およびサブマージアーク溶接による継手性能試験を行った。

継手性能試験として炭酸ガスシールドアーク溶接およびサブマージアーク溶接でそれぞれ引張試験、側曲げ試験、シャルピー衝撃試験、マクロ試験、ビッカース硬さ試験および継手の放射線透過試験を行った。開先形状、溶接条件を Fig. 3, Table 3 に示す。予熱温度は室温、溶接材料は炭酸ガスシールドアーク溶接は KC-60、サブマージアーク溶接は KW-101B と KB110 の組合せで行った。

3.1.4 加工性能試験

(1) 歪時効試験

冷間加工を行うと、鋼材は靱性が劣化するおそれがある。曲げ加工半径の許容値を決める目安として、道路橋示方書では 250°C、1h の時効処理を行った試験片の 2mmV ノッチシャルピー衝撃試験を定めている。判定基準の目安としては、シャルピー吸収エネルギーが 27J 以上であること、破面遷移温度が 0°C 以下であることとなっている²⁾。

これに基づき、板厚 83mm における曲げ加工 6t に相当する予歪み 9% の歪時効試験を行った。

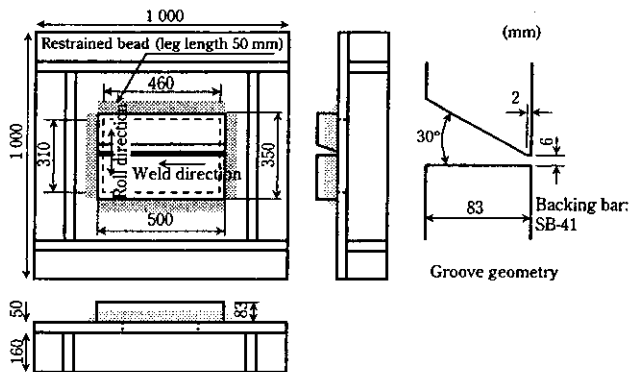


Fig. 2 Specimen of window type restraint weld cracking test

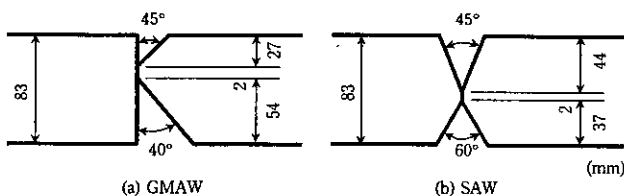


Fig. 3 Groove geometry of butt weld joints

(2) 線状加熱試験

鋼橋の製作においては、寸法精度確保上ブロック溶接後のガス炎加熱法による矯正は避けられない。道路橋示方書では調質鋼、熱加工制御鋼、その他の鋼材のそれぞれにおいて、ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材表面温度および冷却条件を規定している²⁾。熱加工制御鋼に区分される極低炭素ベイナイト鋼の場合、炭素当量 0.38 超では鋼材表面温度 900°C 以下、空冷または空冷後 500°C 以下で水冷として、炭素当量 0.38 以下では鋼材表面温度 900°C 以下、加熱直後水冷または空冷として規定される。しかし、極低炭素ベイナイト鋼は従来の熱加工制御鋼と化学成分などが大きく異なるため、ガス炎加熱による機械的性質の変化について確認試験を行った。

板厚 35mm × 幅 300mm × 長さ 800mm の試験体を用い、加熱温度を 600°C、700°C、800°C、900°C および 1000°C の 5 条件、冷却を加熱直後水冷、600°C から水冷の 2 条件で線状加熱を施した。各条件について Fig. 4 に示す全厚および減厚の引張試験（平面形状は JIS Z 2201 5号）、Fig. 5 に示すシャルピー衝撃試験および加熱部の硬さ試験を行った。

3.2 試験結果

3.2.1 溶接性試験

(1) 溶接熱影響部の最高硬さと試験

試験結果を Fig. 6 に示す。最高硬さ (Hvmax) は 277 であり、規格値 Hvmax ≤ 370 を十分満足している。冷却速度が大きくても硬化しにくいという極低炭素ベイナイト鋼の特徴を示す結果となっている。

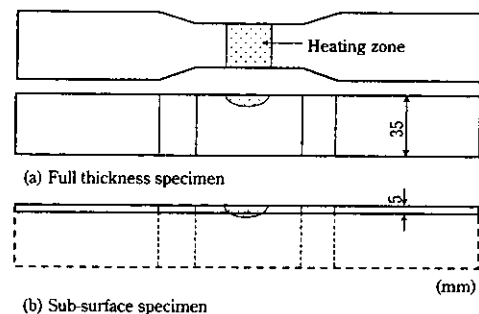


Fig. 4 Preparation of tensile test specimen after gas-heating

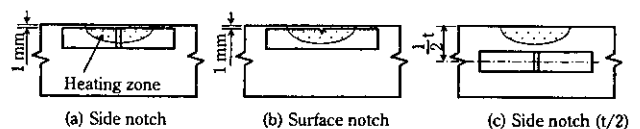


Fig. 5 Location of V-notch charpy impact specimen

Table 3 Welding conditions

	Welding pass	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Preheating temperature
GMAW	BP 1~35	260~300	33~34	25~28	18~25	Room temperature
	FP 1~22	260~300	34	25~28	19~25	
SAW	BP 1~15	600~700	32~34	35~40	29~41	Room temperature
	FP 1~17	600~700	32~34	35~40	29~41	

Table 5 Results of window type restraint weld cracking test

Welding consumables	Diffusible hydrogen (ml/100 g)	Welding pass	Heat input (kJ/cm)	Preheating temperature (°C)	Interpass temperature (°C)	Penetrant test
Solid wire (1.2 mmφ)	(30°C × 80%RH) 1.9	First layer	32	20	20~50	No crack
		Middle layer	17			
		Last layer	8~10	50	50~150	No crack
FCW (1.2 mmφ)	(30°C × 80%RH) 4.3	First layer	32	20	20~50	No crack
		Middle layer	17			
		Last layer	8~9	50	50~150	No crack

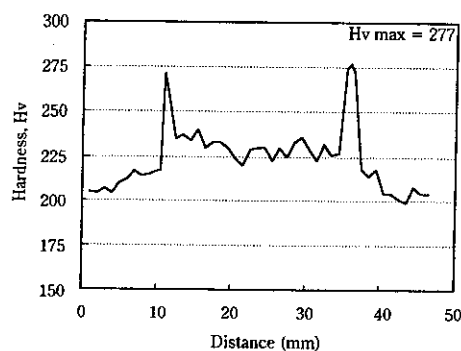


Fig. 6 Hardness distribution of maximum hardness test

Table 4 Results of y-groove weld cracking test

Preheating temperature (°C)	Cracking ratio (%)		
	Surface crack	Root crack	Sectional crack
20	0	0	0
5	0	0	0

(2) y 形溶接割れ試験

試験結果を Table 4 に示す。予熱温度 5°C においても表面、ルート、断面のいずれも割れ率は 0% であり、溶接熱影響部における優れた耐割れ性を示す結果であった。

3.2.2 窓型拘束割れ試験

本試験では鋼製橋脚の現場溶接でよく適用されている炭酸ガスシールドアーク溶接でソリッドワイヤおよびフラックスコードワイヤ (FCW) を用いて試験を行った。ソリッドワイヤは低温割れに悪影響をおよぼす拡散性水素量が低く、1.9 ml/100 g である。一方、FCW は作業性には優れるが、拡散性水素量は 4.3 ml/100 g と比較的高く、耐割れ性の点ではやや劣ると考えられる。今回行った試験条件では、結果としては Table 5 に示すようにいずれの溶接材料、予熱温度においても割れの発生は認められなかった。実構造物においては構造が複雑になり、さらには作業上の悪条件が重畳することもあると考えられるためこの試験結果をすべての溶接継手に適用できるとは言えない。しかし、本試験のような高拘束度においても割れが発生しなかったことから判断して、適正な溶接材料、溶接条件を選定すれば環境条件の厳しい現地施工においても予熱温度を大きく緩和できると考えられる。すなわち、極厚高張力鋼の溶接に際し、従来の鋼材に比較して大幅な作業条件の改善が期待できることが示された。

3.2.3 継手性能試験

炭酸ガスシールドアーク溶接継手、サブマージアーク溶接継手とも試験は板厚 83 mm の試験体を予熱なしで施工したが、放射線透

Table 6 Test results of butt welded joints

Welding method	GMAW	SAW	Requirements
Radiographic test	Class I (No crack)	Class I (No crack)	Better than Class II
Tensile test (N/mm ²)	650	675	≧570
Bend test	No crack	No crack	No crack
Charpy impact energy (J) (WM, 1/4 t) (HAZ 1 mm, 1/4 t)	104 414	203 295	≧47 (-5°C)
Macro-structure test	No defect	No defect	No defect
Hardness test (Hv, 98 N)	264 (max.)	224 (max.)	≦370

Table 7 Result of strain aging test

V-notch charpy impact test	Test result	Requirements
Absorbed energy, $\sqrt{E}$ (J)	274 (0°C) 201 (-5°C)	$\sqrt{E} \geq 27$
Transition temperature, $\sqrt{T_{rs}}$ (°C)	-7	$\sqrt{T_{rs}} < 0$

過試験の結果、割れなどの内部欠陥は検出されなかった。また、その他の試験項目についても Table 6 に示すように良好な結果が得られ、道路橋示方書に示された判定基準に対して大幅に上回る値となっている。特に硬さ試験結果は炭酸ガスシールドアーク溶接継手で最高硬さ (Hvmax) 264、サブマージアーク溶接継手で 224 であり、それぞれ母材部の値より 40 ポイント、10 ポイント程度の上昇にとどまっている。また衝撃試験は熱影響部 (HAZ + 1 mm) で 414 J、295 J という結果であった。いずれも極低炭素ベイナイト鋼の優れた溶接性を示唆する結果となっている。

3.2.4 加工性能試験

(1) 歪時効試験

曲げ加工性をあらわす歪時効試験の結果を Table 7 に示す。シャルピー吸収エネルギー、破面遷移温度ともに判定基準の目安を満足する値となっており、板厚 83 mm の鋼板で 6t 程度の曲げ加工性は十分有している。

(2) 線状加熱試験

線状加熱による引張強度の変化は Fig. 7 のように全厚試験では加熱温度の上昇にしたがってわずかに増加する傾向にあるが、減厚試験では明確な傾向は見られない。いずれの条件においても、強度の変化量は 10 N/mm² 程度であった。加熱部の硬化は Fig. 8 に示すように最も高い場合でも Hv = 300 をわずかに超える程度であった。

一方、シャルピー吸収エネルギー値は Fig. 9 に示すとおり、-5°C および -20°C ではほとんど変化は見られず、-40°C で若干低下するものの 150 J は確保されるという極めて良好な結果であっ

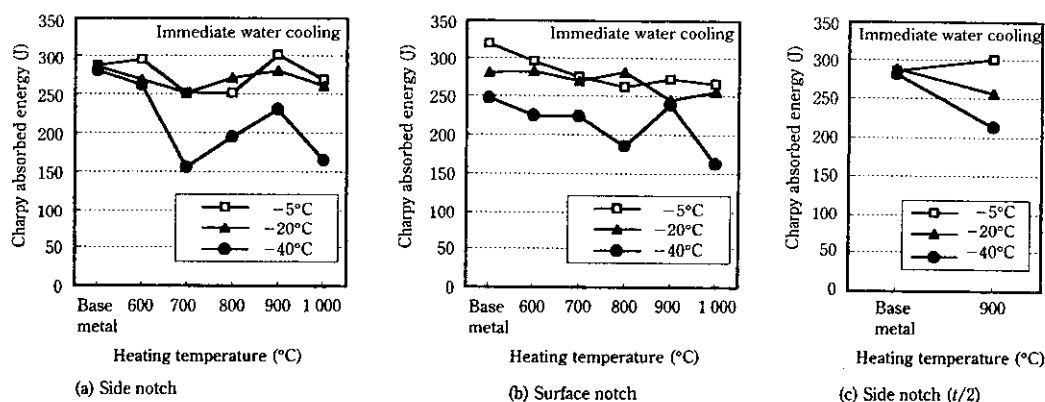


Fig. 9 Effect of hot-forming condition on Charpy absorbed energy

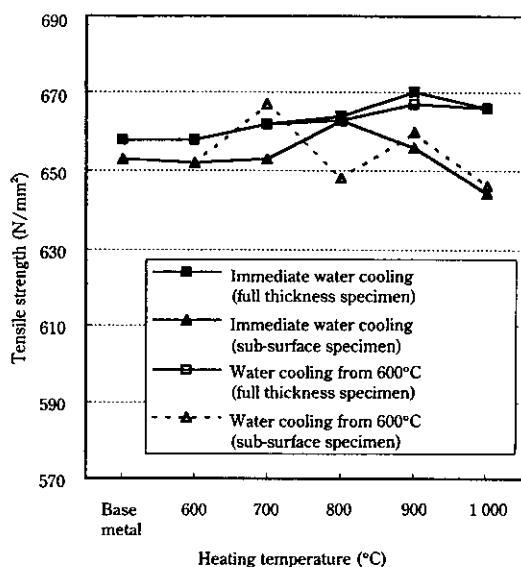


Fig. 7 Effect of hot-forming condition on tensile strength

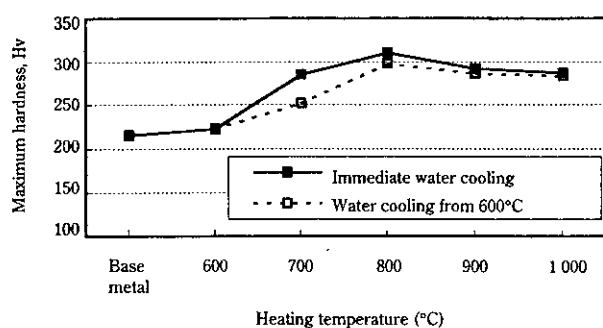


Fig. 8 Effect of hot-forming condition on maximum hardness

た。以上のことから極低炭素ベイナイト鋼は 1000°C 加熱、直後水冷でも加熱部の材質は実用上問題となるような劣化は認められず、道路橋示方書の熱加工制御鋼 ($C_{eq} \leq 0.38$) の線状加熱条件である鋼材表面温度 900°C 以下で加熱直後水冷または空冷という作業条件の適用が可能と結論づけられる。

従来の 570 N/mm² 級の鋼材では調質鋼であるため、線状加熱条件が鋼材表面温度 750°C 以下で空冷または空冷後 600°C 以下で水冷という条件になる。このような作業条件では鋼材が極厚化した場

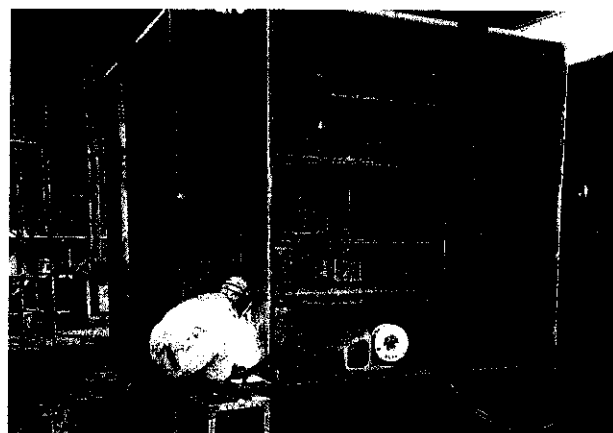


Photo 1 Welding work on bridge pier

合歪み取りが非常に困難となり、この点でも極低炭素ベイナイト鋼は鋼構造物の製作上、きわめて効率的な材料であると言える。

4 適用事例

板厚 50 mm 以上の極低炭素ベイナイト鋼の鋼製橋脚における川崎製鉄での使用実績は九州地方建設局殿向けに 167 t (最大板厚 83 mm)、中部地方建設局殿向けに 247 t (最大板厚 56 mm)、首都高速道路公団殿向けに 178 t (最大板厚 83 mm) である。九州地方建設局殿向け鋼製ラーメン橋脚では 83 mm 鋼板を含めて 500 R の曲げが脚柱部に適用されている。溶接施工状況写真を Photo 1 に示す。

現在までの適用最大板厚は 83 mm であるが、開発鋼の特徴を活かすことができるこのような板厚の厚肉化は今後も続く傾向であると思われる。特に都市部で既設道路上に設置される高速道路などでは立地条件の制約等から構造が複雑となり、脚隅角部では板厚が厚く、またリブなどにより狭隘な溶接部が多くなる。

今回の適用において工場溶接では仮付け溶接の予熱省略、本溶接では予熱の低減 (水分除去程度の予熱) を部分的に実施した。仮付けビード (長さ 80 mm 以上) には、割れの発生は認められなかった。また、本溶接においては放射線透過試験、超音波探傷試験ともに合格率 100% の結果であり、極低炭素ベイナイト鋼の優れた溶接性が確認できた。

歪み矯正作業では道路橋示方書による施工条件 (鋼材表面温度 900°C 以下、加熱直後水冷または空冷) を採用したため、極厚材の矯正が従来にくらべ容易になった。これまでのように調質鋼を使用

した場合には 750°C 以下、空冷または空冷後 600°C 以下で水冷となるため、板厚が 50 mm を超えるような継手には、歪み矯正に多大な工数を要する。極低炭素ベイナイト鋼の採用により溶接だけでなく歪み矯正も含めて、製作の効率化に大きく寄与することができるといえる。

5 まとめ

極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼（極低炭素ベイナイト鋼）の鋼製橋脚への適用にあたり種々の溶接施工試験、加工性能試験を実施した結果、以下の成果が得られた。

- (1) 溶接熱影響部の最高硬さ試験の結果、最高硬さ (Hvmax) は 277 であり熱影響部の硬化性が非常に低い。
- (2) y 型溶接割れ試験、窓型拘束割れ試験ともに割れの発生はなく、耐低温割れ性に非常に優れた鋼材であり、予熱の省略ある

いは低減が可能である。

- (3) 溶接継手試験では炭酸ガスシールドアーク溶接、サブマージアーク溶接ともに予熱なしの施工で割れの発生はなかった。また継手の機械的性質も規格を十分満足するものであった。
- (4) 歪時効試験の結果、板厚 83 mm で曲げ半径 6t 程度までの曲げ加工性は十分である。
- (5) 線状加熱試験によって 1000°C 加熱、直後水冷でも加熱部の材質はほとんど劣化しないことが明らかとなり、効率的に線状加熱が施工できる。
- (6) 工場製作において、予熱を低減して施工した結果、放射線透過試験、超音波探傷試験の合格率は 100% であり、優れた溶接性が確認できた。

以上のことから極厚 570 N/mm² 級 TMCP 鋼（極低炭素ベイナイト鋼）は耐低温割れ性、加工性に優れた材料であり、溶接量の多い鋼製橋脚への適用はきわめて有効であると結論づけられる。

参考文献

- 1) 岡津光浩, 林 透, 天野虔一: 川崎製鉄技報, 30(1998)3, 131-136 (1996)12
- 2) (社)日本道路協会:「道路橋示方書・同解説書 I 共通編 II 鋼橋編」, 3) 鈴木春義: 溶接学会技術資料 No. 1, (1976)8