

ドアビーム用超高強度冷延鋼板

岩谷二郎*・岡野洋一郎*・白沢秀則(工博)*・澤木慎路**

*加古川製鉄所・技術研究センター **株式会社三五

Ultra High Strength Cold-rolled Steel Sheets for Automobile Door Beams

Jiro Iwaya・Yoichiro Okano・Dr. Hidenori Shirasawa・Shinji Sawaki

Formability, impact property and delayed fracture resistance are essential for ultra high strength steel sheets used in automobile door beams. Laboratory experiments have shown that formability, bake hardenability and delayed fracture resistance are effectively improved by lowering the carbon equivalent and controlling the volume fraction of martensite. The effectiveness of these sheet characteristics were confirmed through the production of ERW pipes.

まえがき = 近年、衝突安全に関する FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) のさらなる強化や、従来からの CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 規制により、安全および軽量化の両面から超高強度を有する鋼板や部材のニーズが増大してきており、現在、自動車のドアやパンパの補強部品に 980MPa を超える超高強度の冷延鋼板が使用されている。

これまで、引張強さが 780MPa を超える冷延鋼板については、おもに、その曲げ特性や耐遅れ破壊特性についての報告がなされている¹⁾。ここでは、側面衝突規制強化に対応可能な、耐遅れ破壊特性に優れた非熱処理型ドアビーム用の 1 180~1 270MPa 級冷延鋼板の品質設計について検討した結果を報告する。

1. ドアビームについて

ドアビームは、自動車のドア内部に装着され、側面衝突時に衝撃を吸収して乗員の安全性を確保する保安部品であり、従来は 590~980MPa 級の冷延鋼板を 1~3 山のチャンネルに加工したタイプが輸出車を中心に使用されていたが、近年では前述の安全規制に重量増なしに対応するため、パイプタイプのドアビームが主流となり、

1 180~1 470MPa の超高強度冷延鋼板(非熱処理パイプ形)をもちいたり、低強度パイプをもちいて熱処理(Q-T 型)にて超高強度化したものが、国内車にも装着され始めている。また、非熱処理パイプ型の中にも (a) 超高強度鋼板をロール成形にてパイプ(ビーム部)に加工し、その両端部に低強度材で作製したブラケットを溶接する 3 体構成のもの、(b) プレス加工により一体成形したものとがあり、材料には高強度(高衝撃吸収エネルギー)のほか、十分な加工性や溶接性などが求められている。さらに、超高強度鋼板は遅れ破壊感受性が高い²⁾ため、耐遅れ破壊特性も具備すべき重要な特性となる。

2. 鋼板品質設計の考え方

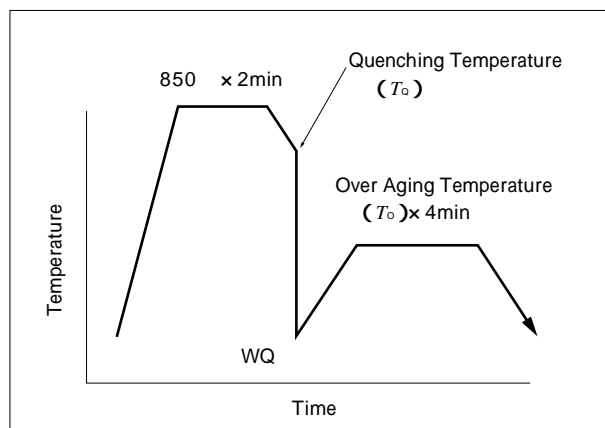
2.1 材料強度と加工性

著者らはこれまで連続焼鈍設備(CAL)を活用した、水焼入れ(WQ)タイプの超高強度冷延鋼板の強度と延

性について多くの検討をおこなってきた³⁾。鋼の化学成分は加工性や溶接性を考慮すると低成分量が望ましく、鋼板の強度は CAL でのヒートパターンで制御する方法が有効である。ここでは、非熱処理型ドアビーム用の 1 180 および 1 270MPa 級冷延鋼板の強度と加工性に関する品質設計の考え方について述べる。

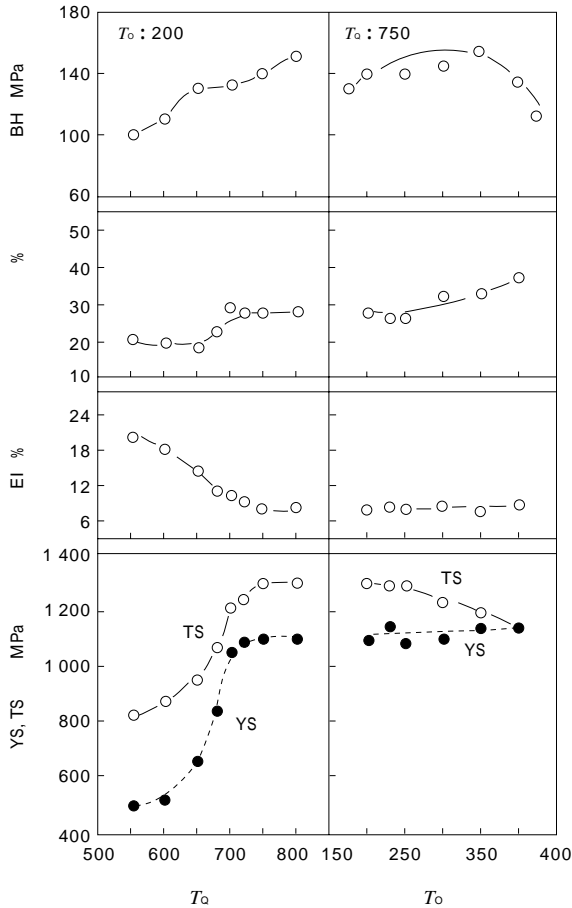
実験室で溶製した 0.12%C-0.41%Si-2.0%Mn 系の Al キルド鋼を、熱間圧延して酸洗し、その後、冷間圧延により板厚 1.8mm に仕上げた。続いて、第 1 図に示すような CAL ヒートパターンをソルトバスにてシミュレートした。すなわち、850 で 2 分間均熱した後、強制空冷にて 500~800 の焼入れ開始温度(T_Q)まで冷却して水焼入れをおこない、ついで、150~400 の焼き戻し温度(T_0)で 4 分間の焼き戻しをおこなった。えられた鋼板について JIS5 号引張試験片を作製し、その機械的性質を調査した。また、鋼板の伸びフランジ性を調査する目的で穴拡げ試験を実施した。試験は 10mm の打抜き穴に頂角が 60 度の円錐パンチをかえり側から挿入し、穴を押し拡げる成形をおこない、限界穴拡がり率 ($\epsilon = [(D-10)/10] \times 100\%$, D : 亀裂が板厚を貫通したときの穴径)を求めた。

機械的性質および ϵ に及ぼす T_Q および T_0 の影響を第



第 1 図 水焼入れタイプの連続焼鈍設備(CAL)におけるヒートサイクル

Fig. 1 Schematic thermal cycle of water quenching type continuous annealing line



第2図 機械的性質に及ぼす焼入れ開始温度 (T_0) と過時効温度 (T_0) の影響

Fig. 2 Influences of quenching temperature (T_0) and over aging temperature (T_0) on mechanical properties

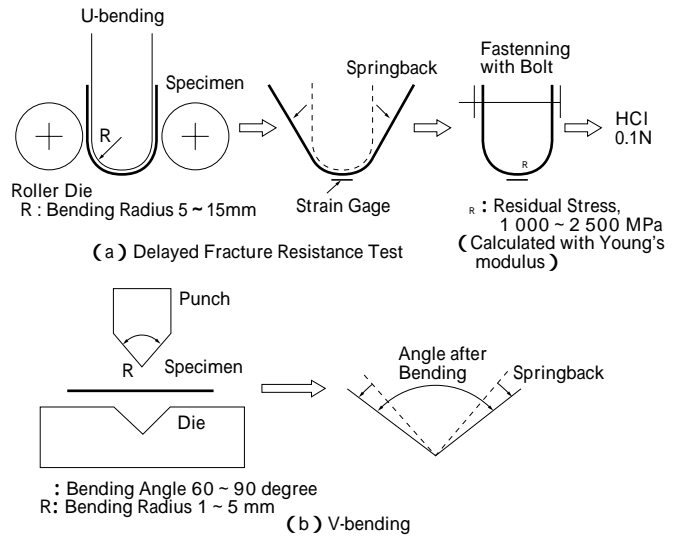
2 図に示す。 T_0 および T_0 により機械的性質が大きく変化している。ここには示していないが、 T_0 が低いほどマルテンサイトが減少しフェライトが増加するため、伸び (EI) は高まるが、反面、 と引張強度 (TS) は減少し、 T_0 が 700 以下では TS が 1 270MPa はもちろんのこと 1 180MPa をも下回ってしまう。 T_0 が高まるとマルテンサイトが焼戻されて は向上するが、 TS はやや減少傾向を示す。

2.2 塗装焼付け硬化 (BH) 特性

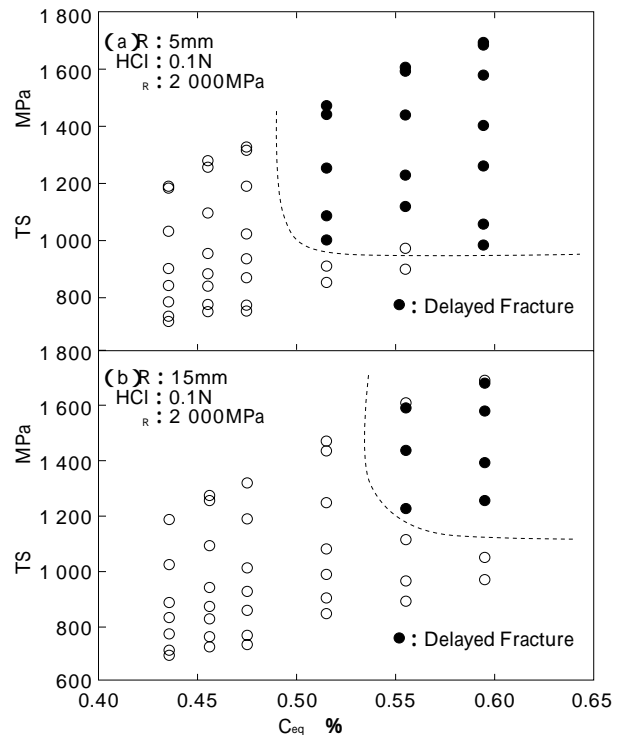
ドアビームの吸収エネルギーを高めるためには原板の強度を高めることはもちろんのこと、塗装焼付けによる降伏強度 (YS) の上昇量 (BH 量) も重要である。 CAL-WQ による超高強度冷延鋼板の BH 量 (2% 予歪み + 170 × 20min) に及ぼす T_0 、 T_0 の影響を前記第 2 図中にあわせて示す。第 2 図より、 T_0 を高くしてマルテンサイト量を多くし、焼戻すことで高い BH 量がえられることがわかる。

2.3 耐遅れ破壊特性

鋼板の耐遅れ破壊特性にはその強度はもちろんのこと、化学成分やマイクロ組織などが影響するといわれており、水素を入れない (耐食性の向上) か、入れても拡散させない (トラップサイトの活用) などの方法が提唱されている²⁾。しかし、実際の部品はプレス加工されることから、鋼板の化学成分や強度以外にプレス加工時の加工度および腐食環境が重要な因子となる。さらには、残



第3図 耐遅れ破壊試験 U 曲げ-塩酸浸漬および V 曲げ試験方法
Fig. 3 Experimental procedure of (a) Delayed fracture resistance test (U-bending and HCl dipping) and (b) V-bending



第4図 遅れ破壊に及ぼす引張強度 (TS) と炭素当量 (C_{eq}) の影響
Fig. 4 Effects of TS and C_{eq} on delayed fracture

留応力 (R) を考慮する必要もある。ここでは、化学成分と材料強度の影響を調べるために、種々の炭素当量の材料を CAL ヒートサイクルを制御して種々の強度に仕上げ、第 3 図 (a) に示すように、U 曲げた材料を塩酸に浸漬する方法で耐遅れ破壊特性を評価した。

すなわち、短冊状試験片を曲げ半径が 5mm と 15mm で圧延方向と直角方向に U 曲げ加工し、離型後に歪みゲージで曲げ部の応力値 (ヤング率にて算出) を確認しながらボルトで締め込み、2 000MPa の応力を負荷して実パイプ部品の残留応力状態をシミュレートした。浸漬する塩酸の濃度は 0.1N とし、336 時間 (14 日間) 以内での割れの発生の有無を判定した。結果を第 4 図に示すが、遅れ破壊特性は引張強度や化学成分 (炭素当量)、さらには加工度の影響を受け、材料の強度や炭素当量が

高く成形時の加工度が高いほど遅れ破壊が発生しやすいことがわかる。低成分設計とした本 1 180 および 1 270 MPa 材（ともに炭素当量が 0.48）は、遅れ破壊の発生に関して問題がない領域にあることがわかる。

以上述べたように、1 180 および 1 270MPa 級冷延鋼板の製造にあたっては、低成分鋼を CAL-WQ での T_Q を高めてマルテンサイト組織の分率を高め、これを焼戻すことで、高い加工性や BH 特性、さらには優れた耐遅れ破壊特性を具備することが可能である。

3. 実機で製造した超高強度冷延鋼板の諸特性

実験室的な検討結果にもとづき、板厚が 2.0mm の 1 180 および 1 270MPa 級冷延鋼板を実機で製造した。鋼板の化学成分は第 1 表に示すように低成分とした。CAL-WQ 材は、前述のように、同一成分鋼においてもおもに T_Q を制御することで TS の造りわけが可能であり、ここでの T_Q は 1 180MPa 材が 710、1 270MPa 材が 740 で、 T_0 はいずれも 200 である。

鋼板の機械的性質、BH 量および σ_{max} を第 1 表中にあわせて示す。実機製造においても、実験室での結果が再現され、とくに、BH 量は 150MPa 以上がえられており、実部品（ドアビーム）での高い吸収エネルギーが期待できる。

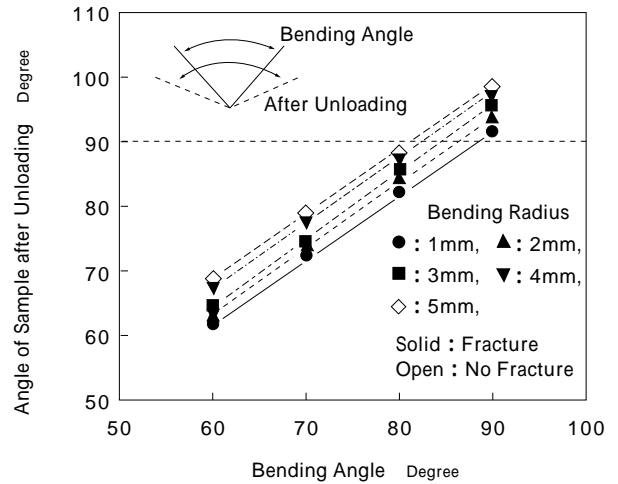
ドアビームをプレスにて一体成形するような場合には高い加工性（曲げ性）が要求される。ここでは曲げ性を評価するため、第 3 図（b）に示すように、圧延方向と直角方向に曲げる V 曲げ試験をおこなった。試験は曲げ角度を 60~90 度、さらに曲げ半径を 1~5mm と変化させておこなった。1 270MPa 材の曲げ試験結果を第 5 図に示す。第 5 図より、本鋼板の限界曲げ半径は約 5mm であり、プレス加工にてドア補強部材に成形する場合でも、十分に加工に耐えうる事がわかる。さらに、V 曲げ加工における割れ限界は、曲げ角度よりも曲げ半径の影響を大きく受ける事がわかる。また、曲げ半径が 5mm の V 曲げにおける離型後の角度変化（スプリングバック）は曲げ角度によらず約 10 度であり、製品の寸法精度を確保するためには約 10 度を見込む必要がある。

同鋼板の耐遅れ破壊特性を第 6 図に示す。ここでも第 3 図(a)に示した U 曲げ - 塩酸浸漬にて評価したが、加工時の曲げ半径を 5~15mm と変化させ、さらに R のレベルも変化させた。本来、 R の影響は大きいと思われるが、本実験範囲では第 6 図に示すように R の影響は認められなかった。しかし、曲げ半径の影響は大きく、曲げ半径が約 5mm で極端に耐遅れ破壊特性が劣化することがわかる。この曲げ半径は前述の限界曲げ半径 ($R = 5\text{mm}$) と一致しており、1 180MPa を超える超高強度鋼板の成形においては曲げ半径（加工度）が加工割れや耐遅れ破壊特性の面で重要な因子であるといえる。しかし、3 体構成ドアビームのビーム部（パイプ断面）のように曲げ半径が大きい場合（約 15mm）にはなんら問題は無い。

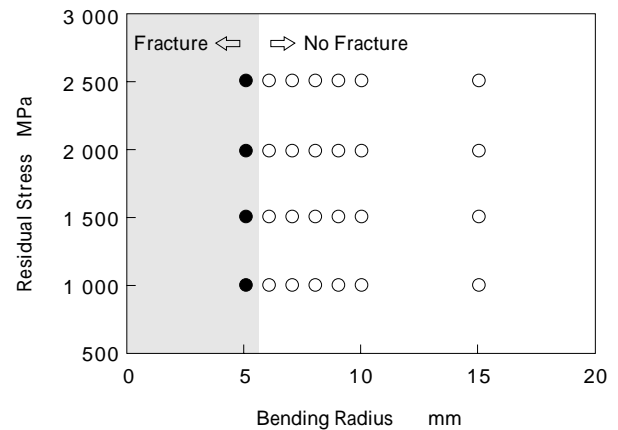
また、ドアビームはスポット溶接にてドアパネルに接合されることから、スポット溶接性も重要な特性である。1 270MPa 材の十字および剪断引張強度、ナゲット径と

第 1 表 超高強度冷延鋼板の化学成分と機械的性質
Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of cold-rolled steel sheets

mass%					
C	Si	Mn	P	S	Al
0.13	0.45	1.90	0.005	0.001	0.040
Steel	YS MPa	TS MPa	E _l %	%	BH MPa
1 180 MPa	1 060	1 120	10	56	155
1 270 MPa	1 180	1 350	9	52	167



第 5 図 V 曲げ後のサンプル角度に及ぼす曲げ角度と曲げ半径の影響
Fig. 5 Effects of V-bending angle and bend radius on angle of sample after unloading

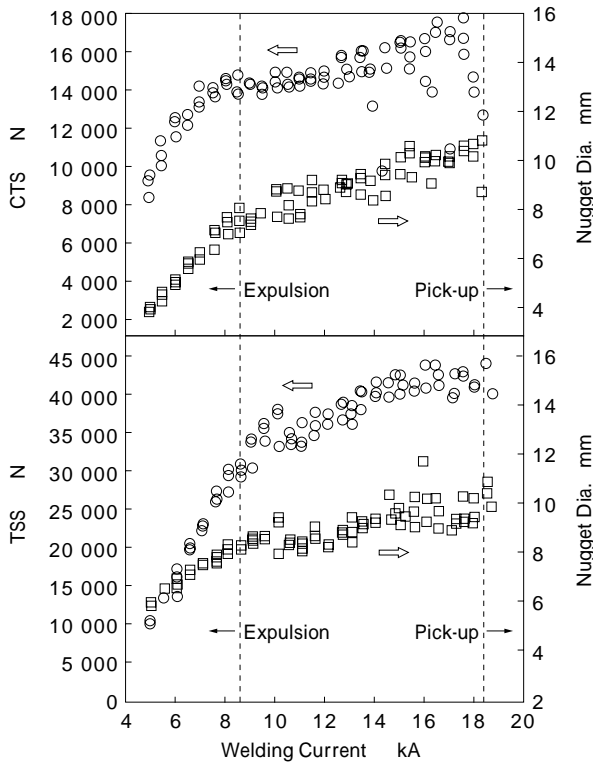


第 6 図 遅れ破壊特性に及ぼす U 曲げ半径および残留応力の影響
Fig. 6 Influences of U-bending radius and residual stress on delayed fracture

溶接電流の関係を第 7 図に示す。本鋼板は、とくに十字引張りにおいて、チリ発生後の強度のばらつきも小さく、優れたスポット溶接性を示す。

4. ロール成形型電縫管の製造とその性能

1 270MPa 材をもちいて外径が 30mm の非熱処理アズロール型電縫管を作製した。溶接部のマクロ組織を写真 1 に示すが、材料の突合わせは比較的良く溶接されている。本パイプをもちいてパイプ状態での引張り試験をおこない、その強度を 0.23% C 系の Q-T 型パイプと比較した。また、BH 処理を施したものについても評価



第7図 スポット溶接部強度とナゲット径に及ぼす溶接電流の影響
Fig. 7 Effect of spot welding current on cross tension strength (CTS), tensile shear strength (TSS) and nugget diameter

をおこなった。結果を第8図に示すが、本アズロール型電縫管はQ-T型にくらべて造管後のYS ($Y_{S\text{PIPE}}$)は低い、BH処理によりQ-T型に匹敵するまでにYSが上昇しており、原板のBH特性が再現されていることがわかる。

本パイプの静的な3点曲げ圧壊試験における吸収エネルギーと $Y_{S\text{PIPE}}$ との関係を示す。第9図には種々の強度のパイプのデータを示しているが、パイプの吸収エネルギーは $Y_{S\text{PIPE}}$ が高まるほど上昇し、BH特性は吸収エネルギーの向上に有効に寄与することがわかる。

また、本パイプを0.1Nの塩酸に浸漬し、耐遅れ破壊特性を調査したが、遅れ破壊の発生は認められず、ドアビームが具備すべき特性を満足していることがわかった。

むすび=側面衝突規制強化に対応可能な、非熱処理型ドアビーム用の1180~1270MPa級冷延鋼板について、実験室的な検討結果にもとづき実機製造してその特性を確認した。

優れた加工性と耐遅れ破壊特性、さらに高い吸収エネルギーを有する1180MPa以上の冷延鋼板を製造するには、鋼の組成を低成分とし、それに最適な連続焼鈍でのヒートパターンを制御することが有効である。本ヒートパターンによって鋼板のBH量を制御することも可能であり、高いBHを付与するためには連続焼鈍での焼入れ開始温度を高めてマルテンサイト量を多く含有させることが有効である。本鋼板の加工にあたっては、曲げ半径が5mm以上であれば問題なく、耐遅れ破壊特性も良好である。以上の考えにもとづいた1180~1270MPa級

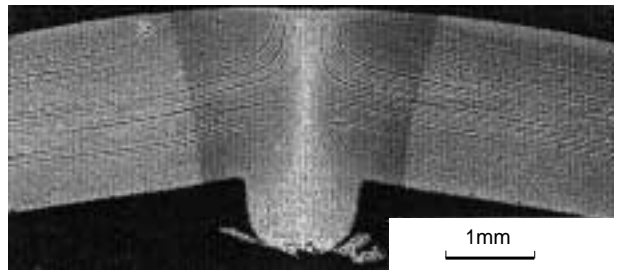
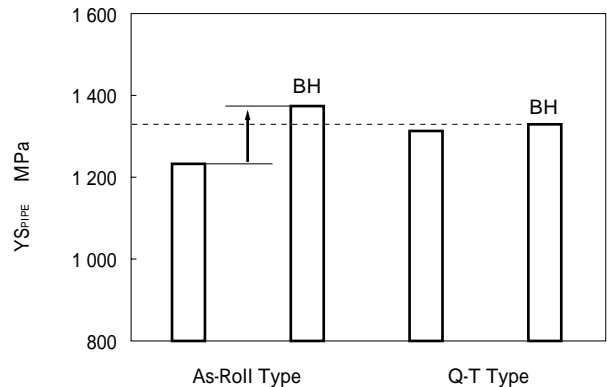
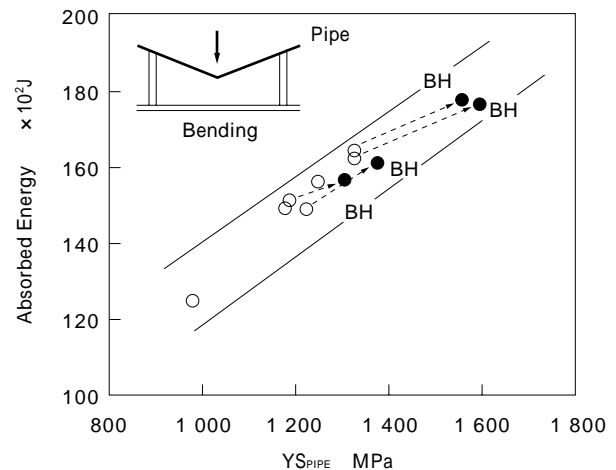


写真1 電縫管の溶接部
Photo.1 Weld section of pipe



第8図 パイプの引張特性 ($Y_{S\text{PIPE}}$)
Fig. 8 Tensile property (YS) of pipes



第9図 パイプの3点曲げ吸収エネルギーとパイプの降伏強度 ($Y_{S\text{PIPE}}$) の関係

Fig. 9 Relationship between yield strength of pipe ($Y_{S\text{PIPE}}$) and absorbed energy

冷延鋼板を製造し、アズロール型電縫管の品質を調査した結果、Q-T処理が不要の非熱処理型ドアビーム用の素材として優れた特性を有していることを確認した。

さらに、上記鋼板に加え、耐食性を向上させた1470MPa級冷延鋼板の実機試作をおこない、その機械的性質や耐遅れ破壊特性がドアビーム用素材としていずれも優れていることを確認し、現在実用化を検討中である。

参考文献

- 1) 細谷佳弘ほか：NKK 技報, No. 145 (1994), p. 33.
- 2) 松山晋作：遅れ破壊, 日刊工業新聞社 (1989).
- 3) 田中福輝ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol. 42, No. 1 (1992), p. 20.