

川崎製鉄(株) 技術研究所 正員 田中康浩
工藤純一
大阪大学 溶接工学研究所 正員 堀川浩甫

1. はじめに 橋梁等の土木構造物では冷間塑性加工された部材が多く用いられているが、冷間加工された鋼材ではひずみ時効による脆化が大きな問題となる。そのため、たとえば道路橋示方書・鋼橋編では冷間加工における許容曲げ半径(内半径 R)を板厚(t)の15倍以上($R \geq 15t$)に規制している。しかしながら、現実にはこの規制を守るとは必ずしも容易ではなく再検討する研究活動も行なわれている。

本報告では製造方法の異なる種々の土木構造用鋼材について引張試験、シャルピー試験およびディープノッチ試験を行ない、ひずみ時効による脆化を調べ、その結果をもとに工業の見地から冷間曲げ加工における許容加工量を検討した結果について報告する。

2. 供試鋼材と実験方法 表1に示すような40キロから60キロ級で脱酸、造塊および圧延条件の異なる12種類の鋼板と形鋼を実験に供した。実験はまず最初に橋梁のリブのような強度の曲げ加工を考慮して、各鋼材につき室温で、0%、3%、5%、10%および15%の引張り予ひずみを付与した。次に250℃で1時間の時効処理を行なったのち、シャルピー試験片(2mm Vノッチ、JIS 4号)と丸棒試験片(ゲージ部6mm ϕ × 30mm l)を切り出し試験に供した。一部については予ひずみ加工後250℃×1hrの時効処理を行わずに直ちに試験片加工を行ない冷間加工のみによる鋼材の脆化を調べた。またとくに板厚の薄い場合について構造物での破壊挙動を把握するためディープノッチ試験も実施した。

3. 試験結果 各供試鋼材のシャルピー遷移曲線はひずみ時効により図1(SM50B(1)鋼の場合)のように高温側に移行する。図2は予ひずみ量 $\epsilon = 5\%$ における各供試鋼材のvTrsの上昇量 $\Delta(vTrs)$ を比較したものである。 $\epsilon = 5\%$ ではvTrsは20~40℃上昇するが、焼ならし材であるSM50CN鋼と焼入れ焼戻し材であるSM58Q鋼の上昇量が他に比べて小さいことがわかる。しかし、 $\Delta(vTrs)$ の大きさには脱酸、造塊および圧延方法の相違による明確な差は認められない。また図2から明らかなように、ひずみ時効による $\Delta(vTrs)$ の60~70%は冷間加工のみによるものであることが知られる。図3は0℃シャルピーエネルギーvEoの予ひずみ量による変化を示したものである。 $\epsilon = 3\%$ ではす

表1 供試鋼材の化学成分

Steel	Thick (mm)	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Cu	(Wt %)			Process
										so	Al	N _{total}	
SM41B	25	0.14	0.02	1.16	0.018	0.015	-	-	-	0.003	0.005	0.0032	Semi-killed Ingot
SM50B(1)	25	0.15	0.35	1.45	0.020	0.009	-	-	-	0.036	0.001	0.0062	Al-killed Ingot
SM50B(2)	25	0.16	0.36	1.26	0.024	0.013	-	0.027	-	0.029	0.001	0.0081	Al-killed Ingot
SM50B(3)	25	0.15	0.32	1.41	0.020	0.013	-	-	-	0.036	0.001	0.0041	Al-killed Ingot
SM50CN	25	0.15	0.32	1.41	0.020	0.013	-	-	-	0.036	0.001	0.0041	Al-killed Ingot, normalized
SM58Q	25	0.12	0.36	1.37	0.018	0.005	-	0.042	-	0.054	0.001	0.0054	Al-killed Ingot, Q.T.
SM41A(1)	12	0.14	0.22	0.83	0.024	0.014	-	-	-	0.026	0.001	0.0051	Al-killed Ingot
SM41A(2)	25	0.14	0.25	1.05	0.020	0.006	-	-	-	0.038	0.001	0.0056	Al-killed Ingot
A285C	12.7	0.24	0.003	0.46	0.018	0.026	-	-	-	<0.001	<0.001	0.0028	Rimmed Ingot
SS41	16 (Flange)	0.21	0.22	0.59	0.024	0.012	-	-	-	0.002	0.001	0.0054	Si-killed Rolled H beam ¹⁾
SM50YB	15.4 (Flange)	0.18	0.18	1.17	0.023	0.010	0.026	-	-	<0.001	<0.001	0.0032	Si-killed Rolled H beam ²⁾
SY30	13	0.35	0.16	0.74	0.031	0.016	-	-	0.28	0.003	0.001	0.0047	Si-killed Sheet pile ³⁾

Note ; 1) Rolled H beam, 390 x 300 x 10 x 16 (mm)
2) Rolled H beam, 307.9 x 310.3 x 15.42 (mm)
3) Sheet pile 400 x 130 x 13 (mm)

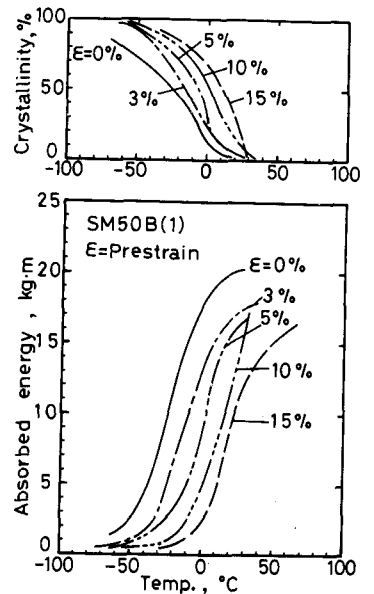


図1 ひずみ時効によるシャルピー遷移曲線の変化(SM50B(1)鋼)

すべてのSM-B, C, Q鋼のvEoは規格値より十分大きい, $\epsilon = 5\%$ ではSM41BとSM50B(2)鋼のvEoが規格を満足しなくなり, さらに $\epsilon = 10\%$ ではSM50B(1)とSM58Q鋼を除いた他のSM-B, C鋼ではvEoが規格を満足できなくなることがわかる。SM58Q鋼は $\epsilon = 10\%$ でもvEoが10kg-m以上であり, 厳しい冷間加工下でも十分な靱性を有することが知られる。

4. 冷間曲げ加工における許容曲げ半径の検討 SM-B, C鋼についてvEoが規格値に等しくなる時のひずみ量を用いて単純曲げ加工理論におけるR(内半径)およびtと最大相当ひずみ ϵ との関係($\epsilon = t/2R + t$)に従って, 各供試鋼材についての許容曲げ半径Rとtの関係を求めて図4に示した。R-t曲線が下側にあればあるほど厳しい冷間加工が許容されることになる。図中には $R = 15t$ ($\epsilon = 3.2\%$)と $R = 10t$ ($\epsilon = 4.8\%$)の直線を併記したが, すべてのSM-B, C鋼は $R = 15t$ の直線よりは下側にあるが, $R = 10t$ の直線に対してはSM41B鋼が上側になる。すなわちシャルピーエネルギーから考えると $R \geq 15t$ なる現行の道路橋示方書の規制は適当なものであるが, 鋼材によっては過分に安全側になる場合もある。一方, $R \geq 10t$ にするとvEoが規格値以下になる鋼材が存在する可能性があることになる。しかし, 橋梁のトラフリップ等のように, 板厚が薄い場合には, 脆性破壊の危険性が少ないと考えられる。試みに板厚9mmのSM41B鋼を用いて, $\epsilon = 5\%$ の時効処理をした場合について, ディープノッチ試験(幅=400mm, ノッチ比=0.4)を行なったところ, -30°C では脆性破壊発生時の限界CODが2mmと十分大きく, また 0°C では完全延性破壊を示した。すなわち $\epsilon = 5\%$ ($R \cong 15t$)でも脆性破壊に対して十分な抵抗を有することがわかる。このような点を十分考慮して, 各鋼種と板厚ごとにそれぞれ適正な規制値を今後検討して行く必要があると思われる。

謝辞 本研究は日本溶接協会鉄鋼部会HSE委員会(委員長 阪大 佐藤教授)において実施された共同研究の一部であり, 種々有益なご議論を載いた同委員会委員長をはじめ委員各位に深甚の謝意を表します。

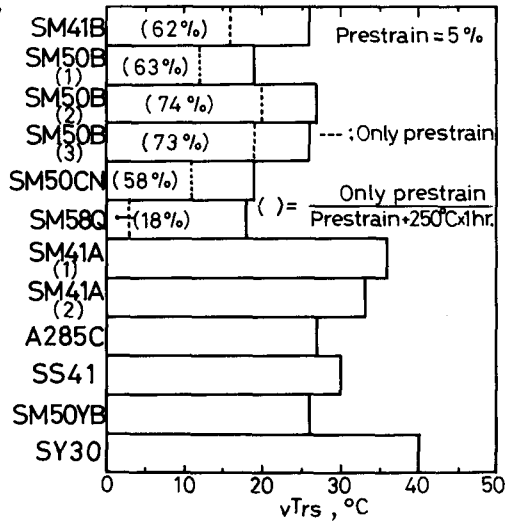


図2 ひずみ時効による各種鋼材のvTrsの上昇

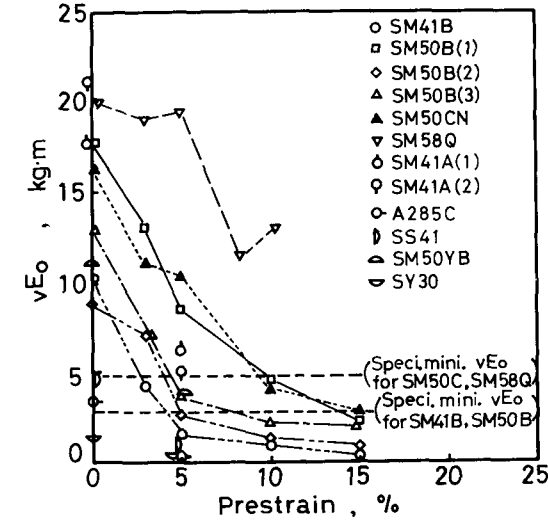


図3 ひずみ時効による各種鋼材のvEoの変化

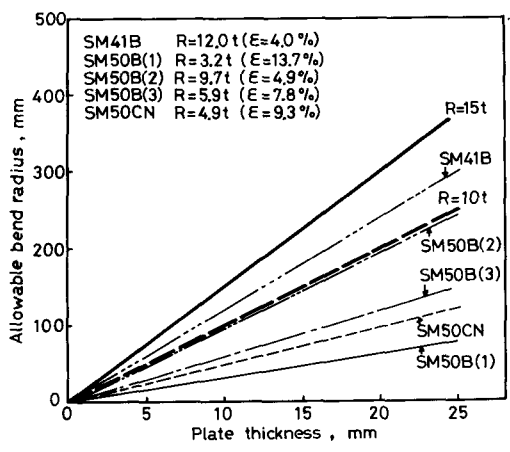


図4 SM-B, C鋼における許容曲げ半径と板厚の関係