

板厚・板幅が部材の変形能力に及ぼす影響に関する2、3の検討

トピー工業株式会社 鉄構事業部 正会員 林 健治
大阪産業大学工学部 土木工学科 正会員 森脇良一

1. まえがき

鋼部材の変形能力は、寸法効果により材料固有の値よりも大きく低下することが知られている¹⁾が、その定量化に関する研究は始まったばかりである²⁾。著者ら²⁾は、先に板厚・板幅の異なる切欠き材の引張試験結果から、変形能力に及ぼす板厚・板幅の影響を調べたが、前者の影響は明らかにされておらず、また、脆性破壊発生との関連についても不明のままである。そこで、本報では、文献2)で使用した板厚36mmの材料を用い、その厚さを切削加工により9mm~27mmまで減厚した板から製作された切欠き材の引張試験を通して、材の変形能力に及ぼす板厚・板幅の影響を再検討するとともに、脆性破壊発生との関連についても吟味した。

2. 実験概要

供試材には板厚36mmのSM490A鋼板を用いた。その化学成分と機械的性質を表-1に示す。同表には切削加工により36mmの板厚を9mmに減じた板の引張試験結果も併記している。

切欠き付き引張試験体には両側切欠き材を用い、切欠き先端の曲率半径 r を0.2mmと300mmの2段階に変化させ、切欠き底の応力集中係数 α をそれぞれ9.95(記号N1)と1.05(N4)とした。また、試験体の長さ($L=1000\text{mm}$)、板幅($W=80\text{mm}$)、標点距離($GL=300\text{mm}$)を一定とし、板厚 t とリガメント幅 b をパラメータとした。なお、試験体の記号W**はリガメント幅を、T**は板厚を表す。また、参考のために、 $W=80\text{mm}$ 、 $b=40\text{mm}$ 、 $r=2\text{mm}$ ($\alpha=3.90$)の試験体を別途準備した。試験の詳細については、文献2)を参照されたい。

3. 実験結果

切欠き材の室温での引張試験結果を表-2に示す。ここで、最大荷重時の伸び δ を平滑材の一樣伸び δ_u で無次元化した値を塑性変形能力 (δ/δ_u) と、また、ネット応力-伸び曲線下の面積を素材の引張強度および δ_u で無次元化した値をエネルギー吸収能 E_u^* と定義した。

図-1と図-2は、切欠き材の塑性変形能力 (δ/δ_u) に及ぼすリガメント幅と板厚の影響を調べたものである。同図から明かなように、リガメント幅が大きくなると、切欠き材の塑性変形能力は増大する。また、板厚の増加に伴い、延性破壊により破断した試験体では、若干ではあるが、塑性変形能力が増大し、脆性破壊したものでは、板厚に依存せず、ほぼ一定となることが確認された。なお、N4試験体では、N1試験体と異なり板幅中央部でひずみ集中を生じ、延性き裂も同部位から外の方に進展したため、塑性拘束の影響は最も小さい。その結果、板厚の増加に伴い、塑性変形能力が僅かながら増大するという傾向が認められた。

つぎに、従来の結果^{1)、2)}から明かなように、最大荷重時における塑性変形能力とエネルギー吸収能は一对対応するものと予想される。両者の関係を調べた結果を図-3に示す。塑性変形能力 (δ/δ_u) とエネルギー吸収能 (E_u^*) は、本実験の範囲内でも、文献1)の実験及び解析結果と同様に、試験体形状に拘らずほぼ一对対応し、 $E_u^*=m \cdot (\delta/\delta_u)$ の関係が成立する。ここに、 $m=0.922$ であり、表-2の結果とも良好に対応する。なお、以上の結果は、延性 (δ/δ_u) と靱性 (E_u^*) が密接に関連することを意味し、引張部材の一つの特徴ともなっている。

脆性破壊した試験体では、切欠き先端付近に無特徴な破面(ストレッチゾーン)が見られた。弾塑性破壊靱性試験では、破壊靱性値とこの延性き裂進展量 Δa との対応から、脆性破壊に対する材料の抵抗値を表す平面ひずみ破壊靱性を求めている。本報でも、この Δa と塑性変形能力 (δ/δ_u) との対応を調べた。その結果を図-4に示す。 $\delta/\delta_u=0.055$ を境として、脆性破壊を生じ、リガメント幅 b の増加とともに、 δ/δ_u と Δa は増大する。 $b/W=0.5$ では、 $\delta/\delta_u=0.055$ が脆性破壊に対する限界値であると推察される。同時に、板厚に関する延性-脆性の閾値は、板厚 $t=12\text{mm}$ と 15mm の間にあることが予想される。また、比較的薄板である $t=15\text{mm}$ で脆性破壊した事例は、特筆すべき(注意すべき)であると考えられる。

表-1 供試材の化学成分と機械的性質

板厚 (mm)	試験片 記号	化学成分 (%)						降伏点	引張強度	降伏比	全伸び	一様伸び	絞り	エネルギー
		C	Si	Mn	P	S	Ceq	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	YR	δt (%)	ϵu (%)	q (%)	吸収能 Eu ¹⁾
		x100	x100	x100	x1000	x1000	x100							
9	S36-09	16	35	136	22	7	40	298.5	486.2	0.614	31.7	20.2	53.6	174.5(0.771)
36	S36-36	16	35	136	22	7	40	292.8	490.3	0.597	29.3	20.8	62.2	188.5(0.769)
36	S36 ²⁾	16	35	136	22	7	40	302.9	492.9	0.615	31.1	20.4	63.9	171.2(0.757)

注：1)括弧内の数値は、引張強度と一様伸びの値で無次元化したものである。
2)前回の試験結果(参考文献2)参照)を表記した。

表-2 切欠き材の引張試験結果

板厚 板幅 (mm)	試験体 記号	降伏応力 ¹⁾ σ_{ny} (MPa)	引張強度 ¹⁾ σ_{nu} (MPa)	全伸び δ_{nt} (%)	一様伸び ϵ_{nu} (%)	最大荷重時伸び $\delta^{2)}$ (mm)	絞り q (%)	エネルギー 吸収能 Eu ³⁾	パラメータ m ⁴⁾	終局時期 決定要因
板厚 36	W40-1	377.9(1.25)	530.5(1.08)	1.1	0.3	3.20(0.052)	6.8	0.046	0.894	脆性破壊
	W50-1	378.6(1.25)	543.6(1.10)	2.6	2.0	7.64(0.125)	1.1	0.120	0.916	"
	W60-1	346.7(1.14)	514.6(1.04)	4.6	3.3	13.89(0.227)	7.9	0.200	0.867	"
	W70-1	330.3(1.09)	509.7(1.03)	7.9	6.6	23.69(0.387)	20.5	0.340	0.859	延性破壊
板幅 80	T27-1	366.2(1.21)	542.6(1.10)	1.2	0.1	3.56(0.058)	5.9	0.053	0.914	脆性破壊
	T18-1	370.1(1.22)	556.8(1.13)	1.3	0.5	3.93(0.064)	7.6	0.062	0.938	"
	T15-1	379.0(1.25)	539.1(1.09)	1.1	0.2	3.36(0.055)	6.1	0.050	0.908	"
	T12-1	384.3(1.27)	528.0(1.07)	1.1	0.4	3.25(0.053)	26.9	0.049	0.890	延性破壊
	T09-1	334.1(1.10)	524.6(1.06)	1.1	0.4	3.43(0.056)	34.2	0.051	0.884	"
板幅 80	T36-4	312.3(1.03)	503.3(1.02)	4.9	2.4	14.83(0.242)	60.9	0.215	0.848	延性破壊
	T27-4	310.4(1.02)	506.4(1.03)	4.5	2.5	13.40(0.219)	60.6	0.195	0.853	"
	T18-4	316.2(1.04)	512.3(1.04)	4.7	2.9	14.24(0.233)	56.9	0.209	0.863	"
	T09-4	312.5(1.03)	511.1(1.04)	4.1	3.2	12.38(0.202)	52.0	0.183	0.861	"
	W40-R	357.5(1.18)	604.6(1.23)	2.6	1.3	7.91(0.129)	36.2	0.165	1.019	"

注：1)括弧内の数値は、素材の値で無次元化したものである。
2)括弧内の数値は、素材(平滑材)の一様伸び(δ_u)で無次元化した値を示す。
3)括弧内の数値は、素材(平滑材)の δ_u と引張強度(σ_u)で無次元化した値を示す。
4)括弧内の数値は、Eu*と δ/δ_u の線形関係を表す比例定数である。
5)上記の無次元化には表-1のS36の値を用いた。

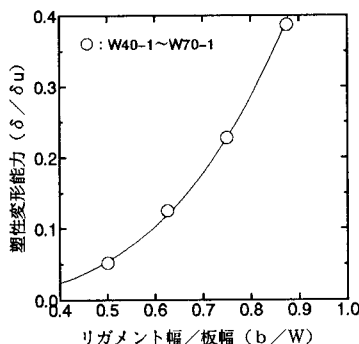
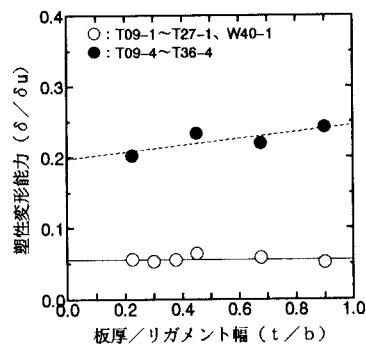
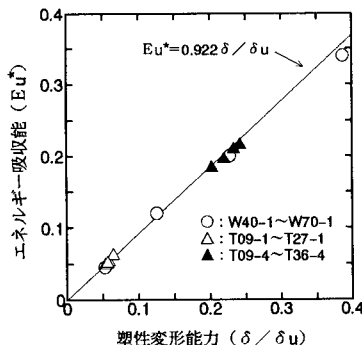
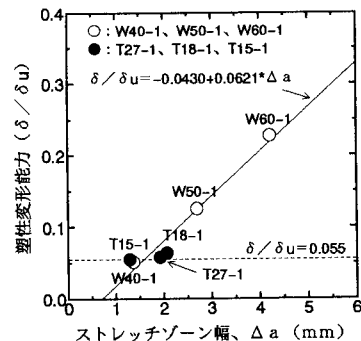
4. あとがき

本報では、切欠き材の塑性変形能力に着目し、材の引張試験を通して、変形能力に及ぼす板幅・板厚の影響を再検討した。その結果、板厚・板幅の影響を明らかにするとともに、切欠き比(b/W)が0.5では、塑性変形能力が一定となること、板厚 $t=15\text{mm}$ 以上になると、脆性破壊が発生することを確認した。

以上の結果は、変形能力と破壊靱性が対応する可能性があることを示し、興味深い。

参考文献

- 1) 森脇、林：切欠き材の塑性変形能力について、鋼構造論文集、Vol. 2, No. 8, 1995
- 2) 林、森脇：切欠き材の変形能力に及ぼす板厚・板幅の影響、JSSC鋼構造年次論文報告集、Vol. 5, 1997

図-1 δ/δ_u と b/W の関係図-2 δ/δ_u と t/b の関係図-3 E_u^* と δ/δ_u の関係図-4 δ/δ_u と Δa の関係