

トピー工業（株）鉄構事業部 正会員 ○林 健治
大阪産業大学工学部 正会員 森脇 良一

1. はじめに

構造部材の変形能力は予ひずみの影響を受け、鋼素材の変形能力よりも低下することが知られている¹⁾。しかし、切欠き靱性に及ぼす予ひずみの影響については、明らかにされつつあるが、部材の変形能力に及ぼす予ひずみの影響を調べた研究は少なく、その定量化は重要な課題と考えられる。本報告では、応力勾配を有する予ひずみ材の引張試験とシャルピー衝撃試験を通して、材の塑性変形能力に及ぼす予ひずみの影響を明らかにするとともに、切欠き靱性との関連についても検討を加えるものである。

2. 実験概要

供試材は板厚19mmのSM490A鋼板であり、その化学成分と機械的性質を表-1に示す。鋼素材に予め冷間塑性加工として3%、5%、7.5%、10%、15%、20%の引張予ひずみを導入（記号：PS）し、その後、一部250℃・30分の時効促進処理（PA）を施した。試験体には図-1に示す応力勾配を有する切欠き材を用いた。ここで、試験体の長さ $L=1000\text{mm}$ 、板幅 $W=80\text{mm}$ 、リガメント幅 $b=40\text{mm}$ とし、切欠き底の曲率半径 r を4mmと300mmの2段階に変化させ、応力集中係数 α を2.95（N2）、1.05（N4）とした。記号のN2-PS-10は、10%の引張予ひずみのみを導入したN2試験体を意味し、T-PAは、予ひずみ+時効処理材について素材と同様の引張試験を実施した事例を表す。なお、PS材についてはシャルピー衝撃試験も併せて実施した。

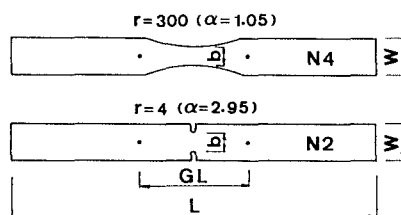


図-1 試験体の形状と寸法

3. 実験結果と考察

シャルピー衝撃試験の結果を図-2に、切欠き材の引張試験の結果を表-2に示す。ここで、最大荷重時の伸び δ を素材の降伏時伸び δ_y で無次元化した値（ δ/δ_y ）を塑性変形能力と、最大荷重時までのネット応力-伸び曲線下の面積を素材の降伏点と δ_y で無次元化した値（ E_u ）をエネルギー吸収能と定義した。その他の記号の詳細は文献1)及び表-2の脚注を参照されたい。

図-3は、予ひずみの増加に伴う δ/δ_y とシャルピー吸収エネルギーの変化を示す。T-PAは予ひずみの増加により δ/δ_y は大きく低下している。特に、予ひずみが10%以上になると急激に低下している。切欠き材でも、予ひずみの増加により、また、 α が大きくなると、 δ/δ_y は低下するが、時効処理の影響は小さく、時効処理の結果、僅かに δ/δ_y が低下している。一方、シャルピー吸収エネルギーについては、予ひずみの増加により低下しているが、時効処理の影響は δ/δ_y とは異なる結果となっている。吸収エネルギーについては、3個の試験値の平均を採っているが、ばらつきが大きく、本研究の範囲内では、時効処理の影響はそれほど大きくないものと考えて差し支えない（その詳細は省略する）。

切欠き材のような引張部材では、 δ/δ_y と E_u の間には線形関係が成立する¹⁾。図-4は、両者の対応を調べたものであり、本研究においても、試験体形状、導入予ひずみ量及び時効処理の有無とは無関係であることが確認された。なお、このような関係は、最大荷重時のみならず、塑性変形量が弾性変形量よりも十分大きい場合、各荷重段階でも成立することが確認されている。

4. おわりに

供試材SM490A鋼板の塑性変形能力は、予ひずみの増加により大きく低下するが、時効処理の影響は小さいことが確認された。なお、20%予ひずみは、冷間塑性加工の曲げ半径が板厚の2.5倍であることに相当する。

表－1 供試材の化学成分と機械的性質

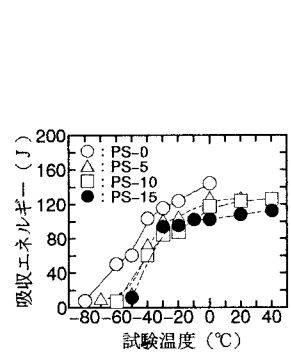
板厚 (mm)	試験片 記号	化学成分 (%)						降伏点 σ_y (MPa)	引張強度 σ_u (MPa)	降伏比 YR	全伸び δt (%)	一様伸び ϵu (%)	絞り q (%)	エネルギー 吸収能 $E_u^{1), 2)}$
		C x100	Si x100	Mn x100	P x1000	S x1000	Ceq x100							
19	S19	16	35	143	16	9	41	368.6	507.7	0.726	32.7	20.8	65.1	147.5(0.924)

注：1)最大荷重時までの仕事量を降伏点と降伏時伸びで無次元化したものである。
2)括弧内の数値は仕事量を引張強度と一様伸びの値で無次元化したものである。

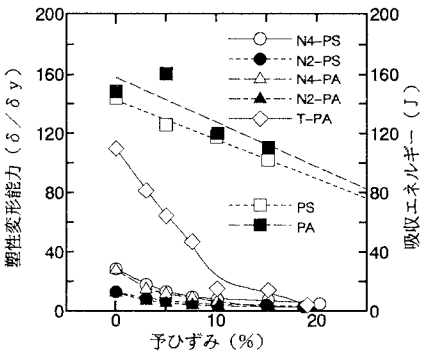
表－2 予ひずみ材及び時効処理材の引張試験結果

試験体 記号	予ひずみ 量 (%)	降伏応力 ¹⁾ σ_{ny} (MPa)	引張強度 ¹⁾ σ_{nu} (MPa)	一様伸び ϵ_{nu} (%)	全伸び δ_{nt} (%)	最大荷重時伸び ²⁾ $\delta^{2)}$ (mm)	絞り q (%)	エネルギー 吸収能 $E_u(E_u^*)^{3), 4)}$	パラメータ $m^{5)}$
T-PA-0	0.00	349.3(0.95)	505.7(1.00)	19.2	30.7	31.44(109.72,0.947)	63.4	138.03(0.864)	1.258(0.912)
T-PA-3	2.98	474.7(1.29)	536.9(1.06)	14.7	25.6	23.28(81.23,0.701)	61.6	113.58(0.711)	1.398(1.001)
T-PA-5	5.00	525.8(1.43)	555.0(1.09)	11.3	22.8	18.44(64.35,0.555)	60.3	94.29(0.591)	1.465(1.065)
T-PA-7	7.59	561.8(1.52)	570.0(1.12)	8.6	19.2	13.41(46.80,0.404)	55.0	70.72(0.443)	1.511(1.097)
T-PA-10	10.09	577.2(1.57)	582.6(1.15)	1.7	13.1	4.01(13.99,0.121)	54.8	20.74(0.130)	1.482(1.074)
T-PA-15	15.19	598.2(1.62)	603.8(1.19)	2.8	14.3	4.32(15.06,0.130)	57.6	23.35(0.146)	1.550(1.123)
T-PA-20	19.03	626.3(1.70)	636.3(1.25)	2.0	12.5	1.13(3.93,0.034)	52.1	5.10(0.032)	1.298(0.941)
N4-PS-0	0.00	373.6(1.01)	521.5(1.03)	1.6	8.9	15.37(28.61,0.247)	59.0	36.66(0.230)	1.281(0.931)
N4-PS-3	3.01	453.3(1.23)	535.0(1.06)	0.3	7.8	9.58(17.83,0.154)	59.7	23.86(0.149)	1.338(0.968)
N4-PS-5	4.98	503.9(1.37)	549.1(1.08)	0.0	6.8	6.93(12.89,0.111)	57.4	17.75(0.111)	1.377(1.000)
N4-PS-7	7.60	531.4(1.44)	555.7(1.09)	0.2	6.4	5.03(9.36,0.081)	59.8	12.97(0.081)	1.386(1.000)
N4-PS-10	10.12	567.9(1.54)	578.8(1.14)	0.2	5.9	4.26(7.92,0.068)	55.3	11.27(0.071)	1.423(1.044)
N4-PS-15	15.16	598.3(1.62)	598.8(1.18)	0.2	5.3	3.89(7.23,0.062)	51.6	10.66(0.068)	1.474(1.097)
N4-PS-20	20.29	625.8(1.70)	625.8(1.23)	0.0	5.4	2.58(4.80,0.041)	51.9	6.89(0.043)	1.435(1.049)
N2-PS-0	0.00	464.9(1.26)	601.2(1.18)	0.1	3.6	6.89(12.81,0.111)	45.1	18.50(0.116)	1.444(1.045)
N2-PS-3	2.97	546.5(1.48)	611.5(1.20)	0.0	3.3	4.55(8.47,0.073)	45.3	12.62(0.079)	1.490(1.082)
N2-PS-5	4.95	601.2(1.63)	637.3(1.26)	0.1	3.1	3.71(6.90,0.059)	46.3	10.72(0.067)	1.553(1.136)
N2-PS-7	7.57	631.4(1.71)	649.1(1.28)	0.1	2.6	2.91(5.41,0.047)	41.8	8.38(0.052)	1.549(1.106)
N2-PS-10	10.07	657.8(1.78)	667.3(1.31)	0.1	2.4	2.40(4.46,0.038)	40.9	6.85(0.043)	1.536(1.132)
N2-PS-15	15.01	697.8(1.89)	700.6(1.38)	0.1	2.2	2.09(3.89,0.034)	36.0	6.24(0.039)	1.604(1.147)
N2-PS-20	18.65	728.7(1.98)	730.2(1.44)	0.1	2.3	1.46(2.72,0.023)	43.4	4.17(0.026)	1.533(1.130)
N4-PA-0	0.00	361.8(0.98)	516.0(1.02)	1.8	9.2	14.92(27.76,0.239)	58.2	34.47(0.216)	1.242(0.904)
N4-PA-3	2.99	490.2(1.33)	548.5(1.08)	0.3	7.4	7.89(14.69,0.127)	61.7	20.25(0.127)	1.378(1.000)
N4-PA-5	4.98	536.8(1.46)	566.1(1.12)	0.2	5.9	6.10(11.35,0.098)	54.9	16.31(0.102)	1.437(1.041)
N4-PA-7	7.61	564.3(1.53)	569.7(1.12)	0.1	6.2	4.82(8.96,0.077)	60.5	12.83(0.080)	1.432(1.039)
N4-PA-10	10.06	596.7(1.62)	598.1(1.18)	0.0	5.4	3.25(6.05,0.052)	55.7	8.81(0.055)	1.456(1.058)
N4-PA-15	15.29	630.5(1.71)	630.5(1.24)	0.0	5.1	1.38(2.56,0.022)	53.1	3.22(0.020)	1.258(0.909)
N4-PA-20	19.27	653.1(1.77)	654.5(1.29)	0.0	4.9	1.23(2.28,0.020)	51.9	2.98(0.019)	1.307(0.950)
N2-PA-0	0.00	466.0(1.26)	595.4(1.17)	0.0	3.9	6.57(12.22,0.105)	45.3	17.42(0.109)	1.426(1.038)
N2-PA-3	3.01	575.9(1.56)	625.2(1.23)	0.0	2.9	3.65(6.79,0.059)	44.2	10.22(0.064)	1.505(1.085)
N2-PA-5	5.01	633.2(1.72)	652.2(1.29)	0.0	2.5	2.84(5.29,0.046)	38.4	8.28(0.052)	1.565(1.130)
N2-PA-7	7.63	658.8(1.79)	669.6(1.32)	0.0	2.8	2.18(4.06,0.035)	44.5	6.26(0.039)	1.542(1.114)
N2-PA-10	10.24	694.3(1.88)	699.7(1.38)	0.0	2.5	1.69(3.15,0.027)	34.1	4.75(0.030)	1.508(1.111)
N2-PA-15	15.14	729.9(1.98)	731.3(1.44)	0.0	2.1	1.50(2.78,0.024)	29.7	4.30(0.027)	1.547(1.125)
N2-PA-20	19.23	753.2(2.04)	754.6(1.49)	0.0	2.3	1.32(2.45,0.021)	42.3	3.75(0.023)	1.531(1.095)

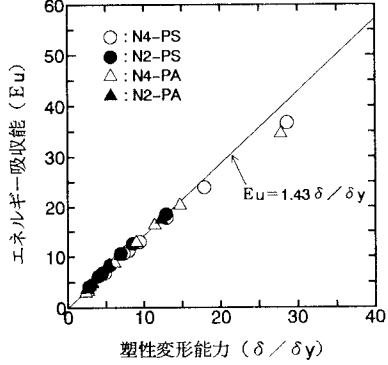
注：1)括弧内の数値は、素材の値で無次元化したものである。
2)括弧内の数値は、素材(平滑材)の降伏時伸びと一様伸びで無次元化した値を示す。
3)最大荷重時までの仕事量を素材の降伏時伸びと降伏点で無次元化したものである。
4)括弧内の数値は、素材(平滑材)の一様伸び(δu)と引張強度で無次元化した値を示す。
5) E_u と δ/δ_y の関係を表す。また、括弧内の数値は、 E_u^* と δ/δ_y の線形関係を表す比例定数である。



図－2 予ひずみ材のシャルピー衝撃特性



図－3 塑性変形能力、吸収エネルギーに及ぼす予ひずみの影響



図－4 塑性変形能力とエネルギー吸収能の対応