

切欠き先端近傍における構造用鋼材の延性破壊発生条件

(その1) 実験計画及び素材特性

正会員 ○服部 和徳^{*1}
同 後藤 拓紀^{*2}
同 見波 進^{*3}
同 宗川 陽祐^{*1}

建築構造用鋼材 延性き裂 応力集中
切欠き 応力三軸度 相当ひずみ

1. はじめに

鋼構造物における溶接欠陥などの応力集中部からの破壊は延性き裂を起点として脆性破壊に至ることが知られており、破壊発生を抑制を目的とし延性破壊の発生・進展を把握する研究が行われている^{1,2)}。鋼材の延性破壊は応力三軸度に対する限界歪として与えられることが提唱されている¹⁻³⁾。本研究では、この延性破壊発生条件を求めることを目的として、切欠き先端半径を変えた円周切欠き付き丸棒の引張試験を行って検討⁴⁾を進めているが、昨年引き続き、鋼種や切欠き半径を変えた実験を行った。

2. 試験概要

2.1 試験片

試験片形状を図1に示す。使用する鋼材はSN400B, SN490B, BCP325, BCP325Tの4種類とする。使用鋼材の機械的性質と化学成分を表1, 表2に示す。切欠きの形状は3種類である。前報⁴⁾において切欠き半径を2.0mmでは表面からのき裂が観察できなかったため、切欠き半径を1.5mm以下と設定した。SN400B, BCP325はR0.5~1.5を各2本, SN490BはR1.0を1本, R1.5を2本, BCP325TはR0.5~1.5を各1本実施した。

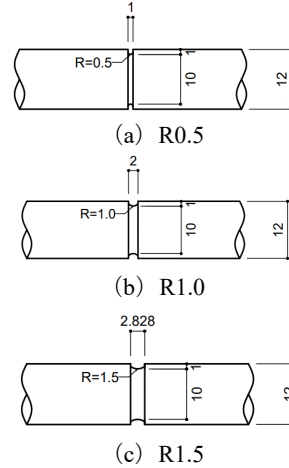


図1 試験片形状

イクロスコープを用い観察した。切欠き部の最小径と標点距離26mmの変位をレーザー寸法測定器を使用し連続的に測定した。応力歪関係を得るためφ6mmの14A号試験片の素材引張試験を常温で実施した。

3. 試験結果

3.1 素材試験結果

素材試験の結果を表3, 図2に引張試験結果を真応力真歪関係で示す。図中丸プロットは後に用いるFEM解析用応力歪曲線である。

表1 供試材の機械的性質(ミルシート)

鋼種	Y.P.	T.S.	EL.	Y.R.	vEo
	N/mm ²		%		
SN400B	272	420	30	65	311
SN490B	379	533	27	71	188
BCP325	382	539	27	71	264
BCP325T	396	530	32	75	306

Y.P.: 降伏点, T.S.: 引張強さ, EL.: 伸び
Y.R.: 降伏比, vEo: 0°Cシャルピー吸収エネルギー

表2 供試材の化学成分(ミルシート)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Sn	B	Ceq	Pcm
	×100		×1000		×100			×1000		×1000		×10000		×100	
SN400B	8	23	90	14	5	19	8	10	3		2	10	1	27	15
SN490B	13	28	133	13	5	19	7	11	3	13	4	8	11	39	23
BCP325	15	28	140	10	3	-	1	3	1	1	0	-	-	40	-
BCP325T	16	26	151	7	2	1	1	2	0	1	1	-	0	42	-

Ceq: 炭素当量, Pcm: 溶接割れ感受性組成

表3 素材試験結果

記号	鋼種	σ _{VL}	σ _{0.2}	σ _u	EL.	Y.R.	vEo	φ	ε _u	e _u
		N/mm ²		%			J	%		
4	SN400B	267	422	37.5	63.3	295	67.1	20.7	18.8	
N	SN490B	386	540	36.6	71.5	160	67.8	16.6	15.4	
5	BCP325	317	520	30.2	61.1	187	72.4	16.4	15.2	
T	BCP325T	440	541	27.9	81.4	268	69.2	13.0	12.2	

σ_{VL}: 降伏点, σ_{0.2}: 0.2%耐力, σ_u: 引張強さ, EL.: 伸び
Y.R.: 降伏比, vE₀: 0°Cシャルピー吸収エネルギー, φ: しぼり
ε_u: 一様伸び, e_u: 真一様伸び

3.2 シャルピー衝撃試験結果

表4にシャルピー衝撃試験結果一覧, 図3に吸収エネルギーおよび脆性破面率の遷移曲線を示す。表4におけるvE₀は0°C時の吸収エネルギー平均値であり、これ以外の表中の結果は次式で近似する遷移曲線から求めている。

$$vE(T) = \frac{vE_{shelf}}{\exp[-\alpha(T - vT_E)] + 1} \dots \dots \dots (1)$$

$$B_r(T) = \frac{100}{\exp[B(T - vT_s)] + 1} \dots \dots \dots (2)$$

2.2 載荷方法

載荷は400kN油圧式万能材料試験機を用いて実施した。切欠き付き丸棒試験片はき裂観察のため常温で行い、マ

A ductile fracture criterion in structural steels near notch tip
- Part 1: Experimental outline and material test results -

Kazunori Hattori, Takunori Goto, Susumu Minami, Yosuke Sokawa

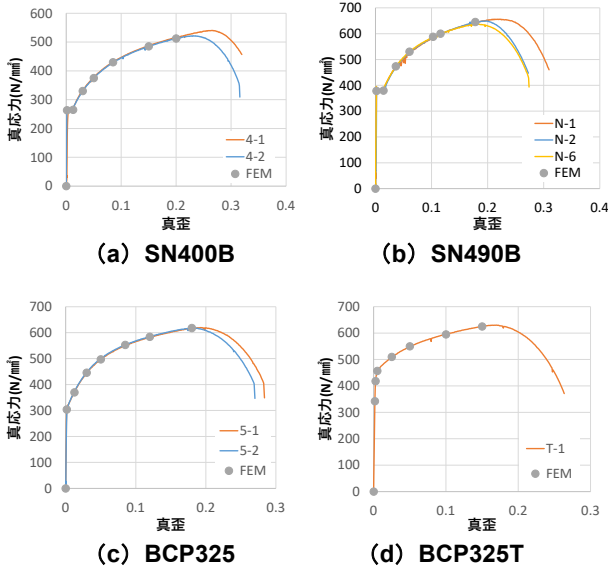


図2 素材引張試験結果(真応力真歪関係)

表4 シャルピー衝撃試験結果

鋼種	$\sqrt{E_0}$	$\sqrt{E_{shelf}}$	$\sqrt{T_E}$	$\sqrt{T_s}$	α	β
	J		°C		$\times 10^{-2}$	
SN400B	295	298	-41.2	-39.6	9.07	38.9
SN490B	160	198	-29.2	-9.1	2.50	2.46
BCP325	187	217	-36.3	-20.6	3.25	1.97
BCP325T	268	258	-67.5	-64.3	8.43	7.13

E_0 : 0°C シャルピー吸収エネルギー
 E_{shelf} : 上部棚吸収エネルギー
 T_E : エネルギー遷移温度, T_s : 破面遷移温度
 α : エネルギー遷移係数, β : 破面遷移係

3.3 切欠き付き丸棒

実験から得られた平均真応力平均真歪の関係を図4に示す。ここで真応力 s と真歪 e は次式で定義された切欠き底を通る断面の平均的な真応力と真歪を表している。

$$s = P/(\pi d^2/4) \dots\dots\dots(3)$$

$$e = 2\ln(d_0/d) \dots\dots\dots(4)$$

ここで, s : 平均真応力, e : 平均真歪, P : 引張荷重, d_0 : 初期直径, d : 当該負荷レベルにおける直径

4. 有限要素法解析

試験片形状の対称性を考慮し, 1/4 の回転対称モデルとし, 切欠き底より標点距離である 13.5mm の範囲とした。要素分割は切欠き底近傍で1辺の大きさを 0.1mm とした。R1.0 について図5に要素分割を例として示す。载荷条件は変位制御とした。解析に用いる応力-歪関係は 14A 号試験片の実験値から多直線に近似した (図2)。

5. まとめ

(その1)では, 実験方法と FEM 解析方法ならびに素材試験結果と切欠き付き丸棒の試験の一部について示した。なお, BCP325, BCP325T は平板部より採取したが, 若干

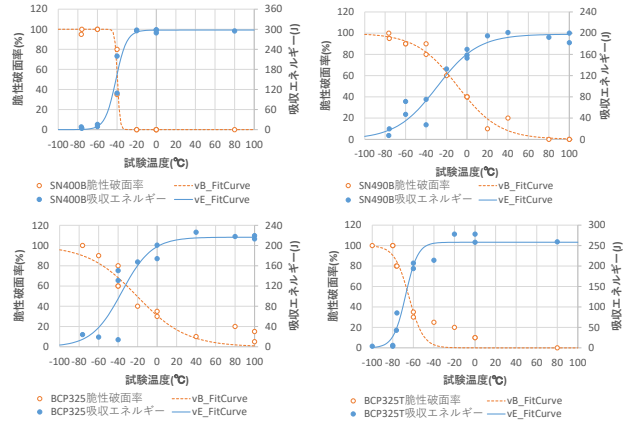


図3 シャルピー衝撃試験結果

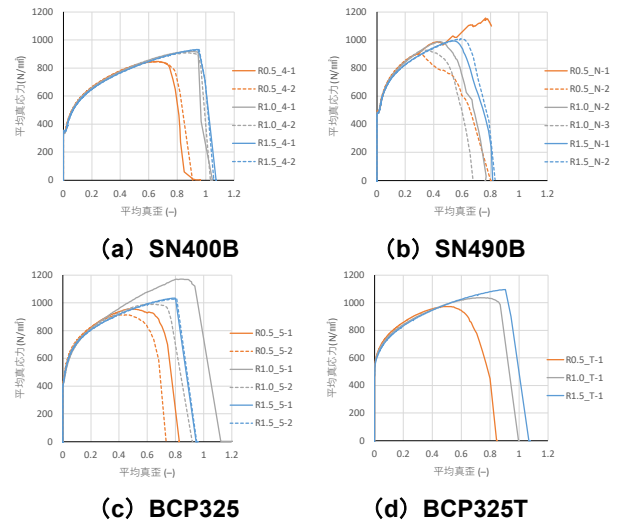


図4 切欠き丸棒引張試験平均真応力真歪関係

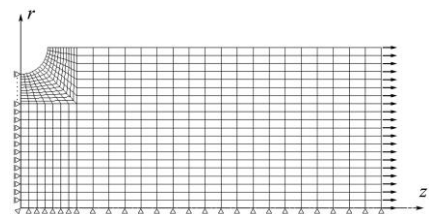


図5 解析モデル (R=1.0)

冷間加工の影響が現れる形であった。

(その2)では, 実験結果と延性き裂発生条件について考察する。

【参考文献】

- 1) 桑村仁, 山本恵市: 三軸応力状態における構造用鋼材の延性き裂発生条件, 日本建築学会構造系論文集, No.477, pp.129-135, 1995.11
- 2) 小野徹郎, 佐藤篤司, 横川貴之, 相川直子: 構造用鋼材の延性き裂発生条件, 日本建築学会構造系論文集, No.565, pp.127-134, 2003.3
- 3) A.C.Mackenzie, J.W.Hancock, D.K.Brown: On the influence of state of stress on ductile failure initiation in high strength steels, Engineering Fracture Mechanics, Vol.9, Issue 1, pp.167-168, 1977
- 4) 見波進, 服部和徳, 宗川陽祐: 切欠き先端近傍の延性き裂発生における構造用鋼材の破壊条件, 日本建築学会大会講演梗概集, C-1, pp.1019-1020, 2022.9

*1 (一財)ベターリビングつくば建築試験研究センター・博士(工学)
 *2 東京電機大学 理工学研究科 修士課程
 *3 東京電機大学 理工学部 教授・博士(工学)

*1 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr. Eng.
 *2 Graduate student, Graduate School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ.
 *3 Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.