

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3) 実大実験の実験方法および実験結果

正会員 ○服部 和徳*
同 見波 進**

建築構造用鋼材 延性き裂 切欠き
脆性破壊 延性破壊 累積塑性変形倍率

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を把握する研究が行われている^{1,2)}。既報⁶⁻⁸⁾においてSN400B, SN490B, BCP325, BCP325Tの4種類の鋼材を対象に切欠き丸棒試験片の破壊試験を実施し、延性き裂発生条件について検討した。

本研究では、既報の同4鋼材を用いて、異なる欠陥角度、高さ、長さの施された実大試験体の引張試験を行い、延性き裂発生条件について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体一覧を表1に示す。使用する鋼材は既報において用いた同材のSN400B, SN490B, BCP325, BCP325Tの4種類とする。素材試験の結果を表2に示す。素材引張試験片は14A号試験片とした。試験体形状を図1に示す。すべての試験体の断面(幅(B=56mm)×板厚(t=32mm))に合わせ標点距離は文献5)に基づき $L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$ (S_0 : 原断面積 = $B \times t = 240\text{mm}$)とした。欠陥については、欠陥角度を35°と0°の2種類、欠陥長さ(a)=高さ(d)を11mmと16mmの2種類とした。欠陥の幅(w)は全試験体1mmである。欠陥の詳細を図2に示す。本研究では欠陥の形状のみについて検討をすることとし、溶接は行わず均質な母材に切欠き状の欠陥を人工的に設けることとし放電加工で作成した。

2.2 載荷方法

載荷は1000kN アムスラー型油圧万能材料試験機を用いて実施した。試験はき裂観察のため常温で行い、マイクロスコブを用いて試験体表面に生じるき裂を観察した。変形測定は試験体高ナット位置に変位計を2箇所に取り付け、その平均値とした。荷重は試験機出力を収録した。

3. 実験結果

結果一覧を表3に示す。ここで、応力度は荷重を原断面積(S_0)で除した公称応力度、ひずみは変位を標点距離(L_0)で除した公称ひずみで表している。多くの試験体は延性き裂が進展し脆性破壊により破断に至った。BCP325Tの全試験体とその他の鋼材の一部の試験体は延性破壊で終わった。図3に荷重変位関係を示す。マーカーは各試験体のき裂発生点である。これらよりいずれの試験体もき裂

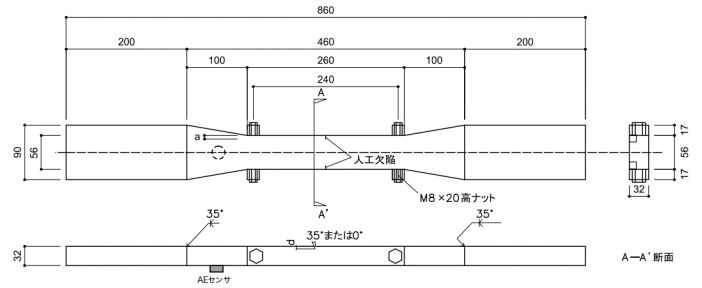
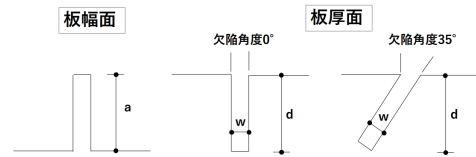


図1 試験体形状



a: 長さ d: 高さ w: 幅

図2 欠陥形状

表1 試験体一覧

鋼種	試験体名	板厚t (mm)	幅B (mm)	欠陥寸法			欠陥角度	欠陥率α (%)
				長さa	高さd	幅w		
SN400B	4-1	32	56	11	11	1.0	35°	6.8
	4-2			16	16			14.3
	4-3			11	11		0°	6.8
	4-4			16	16			14.3
SN490B	N-1			11	11		35°	6.8
	N-2			16	16			14.3
	N-3			11	11		0°	6.8
	N-4			16	16			14.3
BCP325	5-1			11	11		35°	6.8
	5-2			16	16			14.3
	5-3			11	11		0°	6.8
	5-4			16	16			14.3
BCP325T	T-1			11	11		35°	6.8
	T-2			16	16			14.3
	T-3			11	11		0°	6.8
	T-4			16	16			14.3

表2 素材試験結果

記号	鋼種	$\sigma_y, \sigma_{0.2}$	σ_u	EL.	Y.R.	vEo	ϕ	ϵ_u	e_u
		N/mm ²		%		J	%		
4	SN400B	267	420	36.9	63.5	295	70.7	20.0	18.2
N	SN490B	386	540	36.6	71.5	160	67.8	16.6	15.4
5	BCP325	317	519	30.6	61.1	187	73.0	16.0	14.9
T	BCP325T	405	528	31.4	76.7	268	73.4	14.4	13.5

σ_y : 降伏点, $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力, σ_u : 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, ϕ : しぼり
 e_u : 一様伸び, e_u : 真一様伸び

A ductile fracture criterion in structural steels near notch tip

- Part 3: Experimental outline and results of notched steel plate tensile tests -

Kazunori Hattori, Susumu Minami

は最大荷重より前に発生しているということが分かる。

4. 考察

図4に $\eta_s - \epsilon_{cr}$ 関係を示す。 ϵ_{cr} (き裂発生時のひずみ)が大きい方が、 η_s (塑性変形倍率)が大きいことが分かる。すなわち、延性き裂の発生を遅らせることで、変形能力を向上させることが可能であると言える。図5に $\epsilon_{cr} - e_u$ 関係を示す。ばらつきがあるものの、 ϵ_{cr} と e_u (真一様伸び)とは正の相関があり、真一様伸びが大きい方が、き裂発生時のひずみは大きくなる傾向にある。

5. まとめ

4種類の鋼材を対象に人工欠陥を有する継手試験体の引張試験を行い、以下が得られた。

- 1) 本実験の範囲において、 ϵ_{cr} (き裂発生時のひずみ)と η_s (塑性変形倍率)に正の相関があることが確認できた。延性き裂の発生を遅らせることは、部材の変形能力を向上させることに有効である。
- 2) ϵ_{cr} (き裂発生時のひずみ)と e_u (真一様伸び)とは正の相関があり、真一様伸びが大きい方が、き裂発生時のひずみは大きくなる傾向にあることを確認した。これは、次報で示す延性き裂発生指標D値と対応関係にあると言える。

【参考文献】 (その2)に示す。

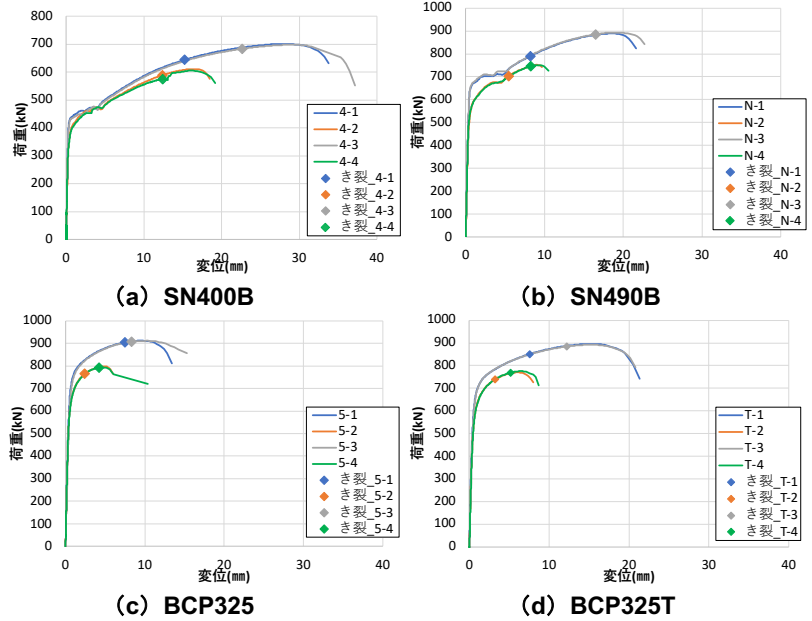


図3 荷重変位関係

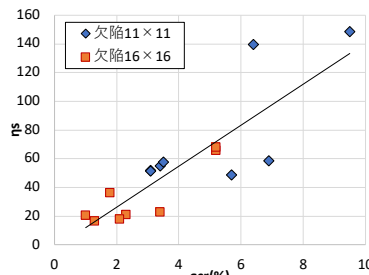


図4 $\eta_s - \epsilon_{cr}$ 関係

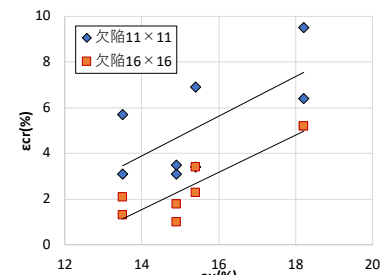


図5 $\epsilon_{cr} - e_u$ 関係

表3 試験結果一覧

試験体名	P_{cr} (kN)	P_{max} (kN)	δ_{cr} (mm)	δ_{max} (mm)	δ_f (mm)	σ_{cr} (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	ϵ_{cr} (%)	ϵ_{max} (%)	P_{cr}/P_y	P_{max}/P_y	P_{cr}/P_u	P_{max}/P_u	μ_{cr}	μ_{max}	η_s	破断性状
4-1	644	701	15.3	28.0	33.8	360	391	6.4	11.6	1.35	1.47	0.86	0.93	48.8	89.4	139.6	DB
4-2	589	611	12.4	16.5	18.5	329	341	5.2	6.9	1.23	1.28	0.78	0.81	39.6	52.8	65.8	DB
4-3	684	698	22.7	29.0	37.2	382	390	9.5	12.1	1.43	1.46	0.91	0.93	72.6	92.7	148.7	D
4-4	575	605	12.4	16.3	19.2	321	338	5.2	6.8	1.20	1.26	0.76	0.80	39.8	52.3	67.8	DB
N-1	790	889	8.21	19.0	21.6	441	496	3.4	7.9	1.14	1.29	0.82	0.92	18.2	42.0	55.2	DB
N-2	703	752	5.42	9.1	9.7	392	419	2.3	3.8	1.02	1.09	0.73	0.78	12.0	20.1	20.8	DB
N-3	886	894	16.5	18.9	22.7	494	499	6.9	7.9	1.28	1.29	0.92	0.92	36.5	41.8	58.5	D
N-4	746	751	8.22	9.3	10.5	416	419	3.4	3.9	1.08	1.09	0.77	0.78	18.2	20.6	22.7	D
5-1	904	911	7.47	9.4	13.4	504	509	3.1	3.9	1.59	1.60	0.97	0.98	20.1	25.2	51.7	DB
5-2	765	797	2.45	4.8	6.0	427	445	1.0	2.0	1.35	1.40	0.82	0.86	6.6	13.0	20.6	DB
5-3	908	911	8.34	10.0	15.3	507	508	3.5	4.2	1.60	1.60	0.98	0.98	22.5	27.0	57.8	D
5-4	792	793	4.21	4.7	10.4	442	442	1.8	2.0	1.39	1.40	0.85	0.85	11.3	12.6	36.1	DB
T-1	851	896	7.55	15.0	21.3	475	500	3.1	6.2	1.17	1.23	0.90	0.95	15.9	31.6	51.5	D
T-2	738	770	3.19	6.1	8.0	412	430	1.3	2.5	1.02	1.06	0.78	0.81	6.7	12.8	16.4	D
T-3	890	892	13.8	15.8	20.8	496	498	5.7	6.6	1.23	1.23	0.94	0.94	29.1	33.3	48.7	D
T-4	769	775	5.13	6.4	8.7	429	433	2.1	2.7	1.06	1.07	0.81	0.82	10.8	13.6	18.0	D

P_{cr} : き裂発生時荷重, P_{max} : 最大荷重, δ_{cr} : き裂発生時変位, δ_{max} : 最大荷重時変位, δ_f : 破断時変位, P_y : 降伏荷重= $(\sigma_y$ または $\sigma_{0.2}) \times S_0$, $P_u = \sigma_u \times S_0$
 σ_{cr} : き裂発生時公称応力, σ_{max} : 最大荷重時公称応力, ϵ_{cr} : き裂発生時公称歪, ϵ_{max} : 最大荷重時公称歪, μ_{cr} : き裂発生時塑性率, μ_{max} : 最大荷重時塑性率
 σ_y : 降伏点, $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力, σ_u : 引張強さ, η_s : 塑性変形倍率= $W/(P_y \cdot \delta_{cr})$, W : 吸収エネルギー(最大荷重の90%まで), $\delta_{cr} = \epsilon_{cr} \times L_0$
 公称応力 $\sigma = P/S_0$, 公称歪 $\epsilon = \delta/L_0$, 原断面積 $S_0 = B \times t$, 標点距離 $L_0 = 240$ mm, D: 延性破壊, DB: 延性き裂→脆性破壊

* (一財)バタリービングつくば建築試験研究センター・博士(工学) * Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr. Eng.

** 東京電機大学 理工学部 教授・博士(工学)

** Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.