

構造的な不連続により応力集中を受ける接合部への破壊力学の適用

大阪大学 大学院

学生員 〇 林 健治

大阪大学溶接工学研究所

正 員 堀川 浩南

大阪大学 工学部

正 員 前田 幸雄

1. まえがき

構造全体系に作用する負荷応力が許容応力以下であるにもかかわらず、構造的な不連続により応力集中を受ける接合部や溶接残留応力場では、比較的広範囲にわたって降伏応力を超える領域が出現し、設計で想定した部材強度よりかなり小さい値で破壊することがある。構造的な不連続部における破壊がみかけ上脆性破壊であっても、キ裂先端ではくびれが先行し最大荷重を与えた破壊の様式は延性破壊である場合が多い。このような延性破壊特性及び構造部材の全面降伏後の伸び能力を捉えることを試みた。

2. 実験概要

応力集中の影響を考察するために、中央板厚貫通切欠材(図1-a)と構造試験件(図1-b)とを製作し、破壊まで引張試験を行なった。材料の機械的性質を表-1に示す。切欠材は板厚、鋼種及び切欠比をパラメーターとし、構造試験件は切欠比をパラメーターとして、その差による影響を検討した。以下、簡単にために NH-6-30 (Nは切欠材[Sは構造試験件], HはHT80 [SはSS41], 6は板厚6mm, 30は切欠長さ30mmを意味する。)のように略記する。試験中、各荷重段階における切欠先端近傍のくびみ、切欠端部開口変位、巨視的な負荷くびみとそれぞれ塑性くびみゲージ、クリップゲージ及び標点距離200mmの間をダイヤルゲージで測定し、また、すべり線の形成及び塑性域の広がり形状を加熱乾燥型くびみ塗料を試験件に塗布することにより観察した。

3. 実験結果とその考察

変形モード(塑性域の広がり形状)を図2に、破壊モードを図3に示す。Net降伏時及び最大荷重時の応力などを巻2に示す。ここで、塑性拘束係数(キ裂先端ではくびみにより多軸応力状態となっているため、みかけ上、降伏応力が上昇する。)はNet降伏応力を材料の降伏応力で除くことであり、キ裂先端開口変位 δ はB.C.S.モデル¹⁾を用いて切欠

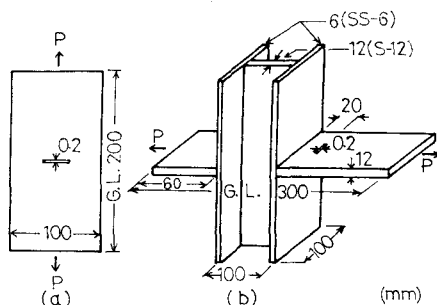


図-1

表-1 材料の機械的性質

鋼材	降伏応力 σ_y kg/mm ²	引張強度 σ_b kg/mm ²	降伏比 %	伸び %	絞り %
SS41 S-6	24.6	42.6	62	23	63
SS-6	38.2	49.1	78	21	66
S-12	28.5	44.6	64	27	60
HT80 H-6	86.7	90.6	96	7	53
H-12	102.0	108.0	95	6	61

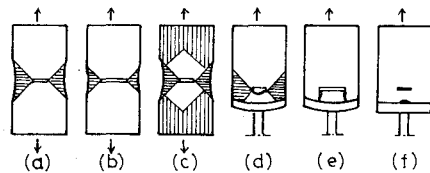


図-2 変形モード(種・縦線は塑性域)

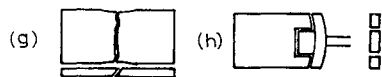


図-3 破壊モード

端部開口変位 V_g より

表-2

計算し、J積分値は Rice の簡便式²⁾を用い計算した。更に、最大荷重時の Net 断面の応力と引張強度 σ_b で除した比 r を同表に示す。但し、添字 C は最大荷重

試験体	使用鋼材	最大荷重 ton	ネット降伏 時荷重 ton	塑性形変 ϕ	r	クラック長さ 変位 V_g mm	C.T.O.D. δ_c mm	$J_c(V_g)$ $\text{kg mm}^2/\text{mm}^2$	荷重点変位 J_c $\text{kg mm}^2/\text{mm}^2$	M $= J_c / \sigma_b \delta_c$	変形モード 破壊モード
NH-6-30	H-6	36.3	36.1	0.98	0.98	1.76	1.16	141	131	1.34	b, g
NH-6-50	H-6	26.3	26.0	0.99	1.00	2.05	1.38	160	155	1.29	a, g
NH-12-30	H-12	90.3	89.0	1.03	1.05	3.22	2.25	305	272	1.25	b, g
NH-12-50	H-12	64.3	64.0	1.05	1.06	2.94	1.92	304	306	1.46	a, g
NS-6-30	S-6	17.0	12.0	1.08	0.95	3.53	2.39	106	107	1.04	c, g
NS-6-50	S-6	12.7	8.7	1.08	0.98	2.84	1.77	79	83	1.04	c, g
NS-12-30	S-12	34.4	26.0	1.14	0.95	3.90	2.64	159	144	1.35	c, g
NS-12-50	S-12	26.0	19.0	1.15	1.02	4.57	2.86	166	161	1.30	c, g
SS-12-30	S-12	25.5	17.0	—	—	5.79	3.56	119	114	—	d, g
SS-12-50	S-12	19.4	13.0	—	—	6.07	4.12	145	147	—	d, g
SH-12-50	H-12	33.9	—	—	—	—	—	—	270	—	e, h

点で定義した限界値を意味する。 V_g 及び荷重点変位で計算された J_c 値は SH-12-50 を除いてほぼ一致し、 J_c と δ_c の関係は σ_b に依存している。 ϕ は板厚大、SSH 材及び切欠比大の方が大まな値を示し、 r は板厚・切欠比については同じで、鋼種は HT80 材の方が大まな値を示している。これは変形モードと材料の降伏後の変形能（降伏比）の差異に影響を受けているものと思われる。SH-12-50 はせん断破壊したため、 V_g による J_c 値は意味をなさないが、荷重点変位及び実効断面で与えられた J_c 値は NH-12-50 の値と J_c の塑性成分がほぼ一致している。これは J_c 値が破壊モードには影響を及ぼさない一定値であることを示している。

次に、図4に応力拡大係数 K から $J_c (= K^2/E)$ を求め、これを J 値で除した値と Net 応力の関係を示す。この図より応力集中を受ける接合部への K の適用は切欠材よりごく低荷重であることがわかる。更に、図5に各荷重段階における J と負荷ひずみ ϵ の関係を示す。同図より $J \sim \epsilon \epsilon_y$ は材料強度と変形モード (a)~(c) と (d) との差は応力

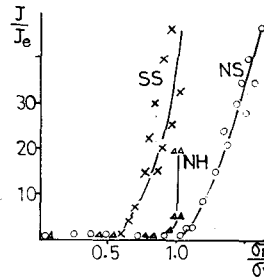


図-4

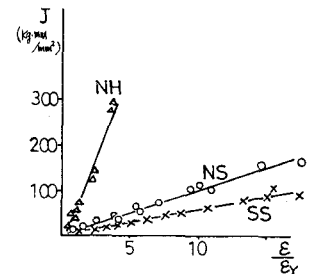


図-5

集中に依存することがわかる。つまり、 $J \sim \epsilon \epsilon_y$ が降伏比と応力の多軸性に影響を受けることを意味する。図5を用いて、 J_c 値に対応する破断延性が決定される。

4. あとがき

以上、中央板厚貫通切欠材と橋造筋の連続により応力集中を受ける接合部にスリットを設けた試験体（非常に数少ない実験結果ではあるが）に対して、次の事項が判明した。
(1) エネルギー条件に対応した J 値を用いると破壊モードには関係なくある一定値 J_c に達すると破壊条件が満足される。
(2) J 値と負荷ひずみの関係は降伏比及び応力の多軸性に依存するが、線形関係が成立し、 J_c 値より破断延性が決定される。最後に、試験体の製作に御協力いただいた片山鉄工所(株)の柴田泰氏、玉置光男氏ほかの方々に対し、ここに感謝の意を表します。

- 参考文献 (1) Bilby, et al. ; Plastic yielding from sharp notches, Proc. Roy. Soc. A vol. 279, 1963
(2) Rice, et al. ; Some Further Results of J-Integral Analysis and Estimates, ASTM, STP536, 1973