

応力集中を有する枝の降伏後の挙動に及ぼす
応力-ひずみ曲線の影響

大阪大学密接工学研究所 正 ○鈴木 博之
同 上 正 堀川 浩南

諸言 構造物の大型化、軽量化に伴って合理的な設計が要求されるようになり、加えて応力集中を有する部材にも適当な伸び性能を要求する傾向になりつつあることを考慮すると、材料特性が異なり応力集中を有する部材の降伏後の挙動を明らかにすることが望まれている。本研究では応力集中の程度により破壊様式が異なることを示し、伸び性能の立場から切欠きを有する枝について考察を加える。

実験 応力集中を有する枝の引張試験を行なった。供試鋼枝はHT80とSM41であり、板厚はそれぞれ7.0, 5.6mmである。試験片は図1中に示すように $l=300\text{mm}$, $W=60\text{mm}$ であり、中央切欠きとして3種類の円孔を設けた。図1の実線に実験結果の応力-ひずみ曲線を示す。破壊応力には大きな違いは見られず、ほぼ素枝の引張強さに等しい。一方、HT80、SM41のいずれにおいても切欠き長さの増加と共に伸びの低下が著しい。破壊様式について見ると、SM41の切欠き長さ5mmだけが亀裂の先行により破壊し、他はすべてくびれの先行により破壊した。特にHT80の切欠き長さ1mmでは切欠き断面以外で破断した。これはよく知られているように塑性拘束のためである。以上より破壊様式は応力集中の程度、枝料特性に依存すると言える。

解析 解析は変形の影響を考慮した弾塑性有限要素法を用いて行なった。解析における破壊の条件としては、1)要素の真ひずみが最大真ひずみに達した時を真の破壊、2)外力の増分を加えなくても変形が進行する状態を不安定破壊とした。入力データを表1に示す。SM41の H_1 はおどり場を表わし実際には零であるが、解析上不安定現象が生じる可能性があるので約30の勾配を与えた。図1の記号は解析結果を示す。実験結果とよい対応を示している。また、破壊様式も実験結果と同様であった。図2、3に降

表1 入力データ

	σ_Y	ϵ_Y	σ_{ST}	ϵ_{ST}	H_1	σ_B	ϵ_B	a	n	ϵ_{max}	H_2
HT80	74.9	0.0036				85.2	0.0649	96.1	0.0444	1.18	69.4
SM41	32.0	0.0015	32.5	0.0196	30.4	57.9	0.180	90.5	0.261	1.27	43.0

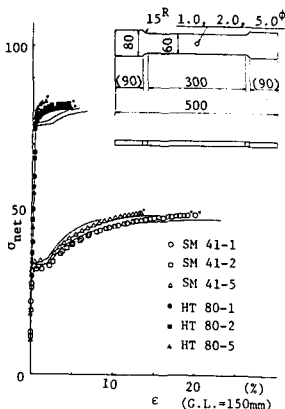


図1. 応力-ひずみ曲線

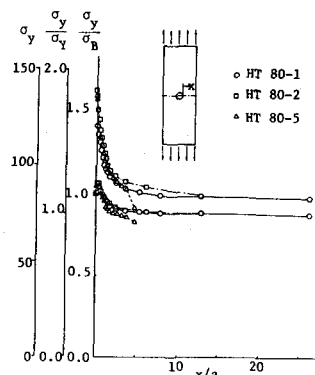


図2. 切欠き断面上の応力分布

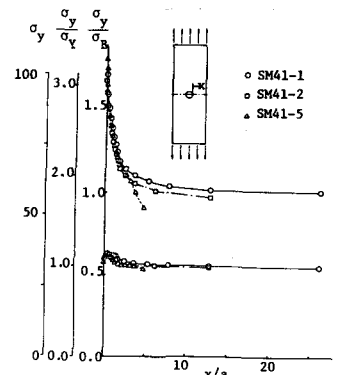


図3. 切欠き断面上の応力分布

伏時と破壊時における切欠き断面上の真応力 σ_y の分布を示す。降伏時とは切欠き断面の断面積に σ_y を乗じた値が外荷重に等しくなった時であり、以後これを降伏時と呼ぶ。降伏時においてHT80では切欠き先端近傍ですでに σ_B を越える領域が存在するにもかかわらずSM41ではこのような領域は存在していない。これは降伏比が異なることとおどろき場の有無のためと考えられる。破壊時においてはHT80とSM41の応力分布が切欠き長さによらず類似している。降伏後は隣接要素間の剛性が大きく異なるためであると思われる。HT80が降伏した時にはすでに破壊荷重の90%近くに達しており、SM41の場合60%たらずである。これは降伏比に相当する量であり切欠き断面が降伏してから破壊までの余力はSM41の方がHT80より大きいといえる。図4、5に降伏時と破壊時における σ_y の荷重軸方向の分布を示す。SM41の切欠き長さ1mmでは切欠き先端から十分離れた箇所の応力は降伏時にすでに σ_y に達しているが、切欠き長さの増加に従って徐々に低下している。一方HT80では切欠き長さ1mmと2mmに大きな違いは見られないがSM41同様切欠き長さの増加と共に応力が低下する傾向にある。破壊時においても切欠き長さの増加と共に応力が低下するという点では降伏時と類似しているが、HT80の切欠き長さ1mmと2mm、SM41の切欠き長さ1mmにおいて応力が σ_B に達した箇所があり、切欠き断面以外から破壊する可能性を示している。

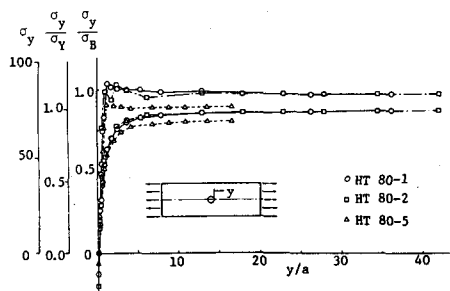


図4 荷重軸方向の応力分布

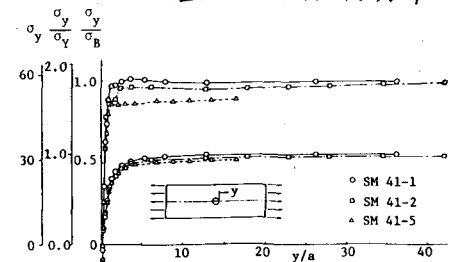


図5 荷重軸方向の応力分布

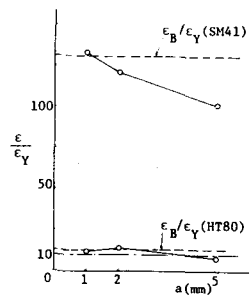


図6 ϵ_B/ϵ_Y と a の関係

図1より明らかのように破壊応力に有意差は見られないが破壊時の伸びに大きな違いが認められることを考慮して破壊時の伸びについて考察する。この基準として塑性設計法における塑性ヒンジが形成されるための条件中/ $\phi_y=10$ が一つの目安と考えられるので、載荷方法は異なるが本研究でも $\epsilon/\epsilon_y=10$ を基準として用いることとする。このとき ϵ のゲージ長としては板幅を用いる。それぞれの解析結果について破壊時の ϵ/ϵ_y と切欠き長さの関係を図6に示す。図中の点線は素材の一樣伸びを降伏ひずみで除した値である。HT80では $\epsilon/\epsilon_y=10$ とすると許容される欠陥寸法と板幅の比は2/60と5/60の間にあり、5/60では破壊時の伸び ϵ/ϵ_y は10以下となる。SM41では $\epsilon/\epsilon_y=10$ をはるかに越えている。

結言 切欠きを有する材は切欠き長さの増加と共に破壊までの伸び量は減少し、強度だけでなく変形に関する検討が必要であると考えられる。変形に関する検討の試案として破壊時において板幅をゲージ長とするひずみ ϵ が降伏ひずみ ϵ_y の10倍とした。これに基づく素材の伸び性能に劣るHT80は切欠きの存在によりさらに伸びの減少があり $\epsilon/\epsilon_y < 10$ となり切欠きに対して注意を払わなければならない。