

繰返し曲げを受ける鋼部材の延性き裂発生・進展・破壊現象の解明に関する実験的研究

名城大学
名城大学

学生会員
半谷 尚士

○吉田 聡一郎

名城大学大学院
名城大学

学生会員
フェロー

猪飼 豊樹
葛 漢彬

1. 緒言

1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震で、溶接部のみならず母材で破断するケースが見られた。即ち、脆性的破壊は溶接部のみの問題ではなく、局部座屈が生じにくい厚肉鋼材にも潜在する一般的な問題である事が実証された¹⁾。このような脆性的破壊は延性き裂を起点として生じていることは明らかとなっているが、土木分野に関しての延性き裂発生から脆性破壊へと至る破壊メカニズムの解明の研究は多くない。本研究では、既往の研究²⁾を踏まえ、溶接を有しない母材のみの試験体を用いた三点曲げ繰返し载荷実験を行う。実験試験体には初期不整や傷を模した人工的な切り欠きを設け、载荷パターンの異なりが延性き裂発生および進展に及ぼす影響について実験的検証を行っていく。

2. 実験概要

試験体は SM490YB 材を用いた母材が計 7 本あり、全てに人工的な切り欠きを設けている。切り欠き形状は U 形および V 形があり、全て深さは 2mm とし、ノッチ半径 R を V 形は 0.25mm, U 形は 1.0mm, 4.0mm と変化した計 3 種としている。試験体の全体図と切り欠き部分の拡大図をそれぞれ図-1, 図-2 に示す。実験には荷重 $\pm 500\text{kN}$, ストローク $\pm 75\text{mm}$ まで制御可能な MTS 試験機を用いる。また、実験装置の両端と試験体中央にはローラーを用いた治具を設置し、繰返し曲げ载荷試験を行っている。载荷方法については、 $R=1.0\text{mm}$ の試験体の解析結果より 1Half cycle の降伏点より算出した降伏変位 $\delta_y=4.5\text{mm}$ を基準とした漸増载荷(I), 一定载荷(C)およびランダム载荷(R)である。試験体名にある V と U はノッチの形状である。これら試験体概要の一覧を表-1 に示す。支持条件はピン支持とし、支間長は 540mm となっている。

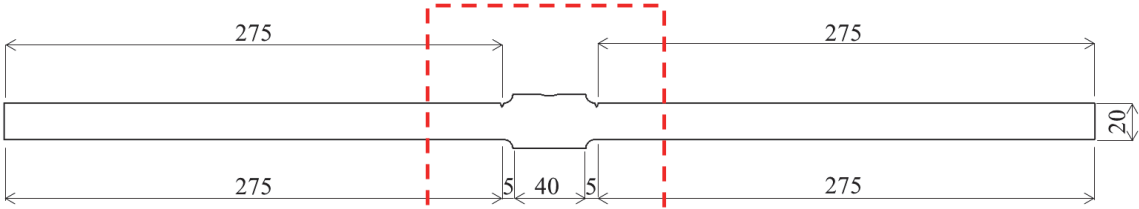


図-1 試験体図 (全体)

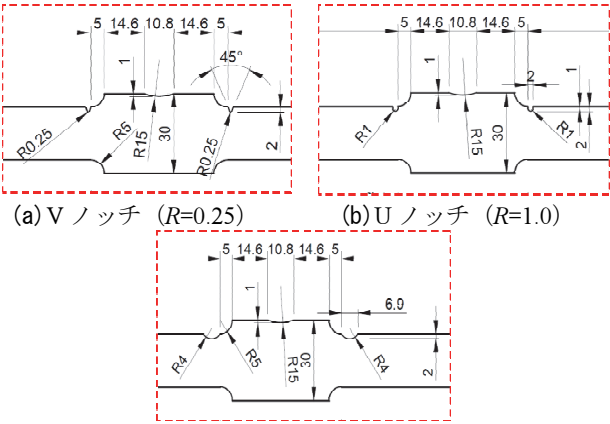


図-2 試験体図 (拡大)

表-1 試験体概要一覧

No.	試験体名	ノッチ半径(mm)	载荷パターン
1	R0.25-V-I	0.25	漸増载荷
2	R1.0-U-I	1.00	
3	R4.0-U-I	4.00	
4	R1.0-U-CL	1.00	一定载荷($\pm 14\delta_y$)
5	R1.0-U-CM	1.00	一定载荷($\pm 10\delta_y$)
6	R1.0-U-CS	1.00	一定载荷($\pm 6\delta_y$)
7	R1.0-U-R	1.00	ランダム载荷

キーワード 繰返し曲げ, U ノッチ, V ノッチ

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

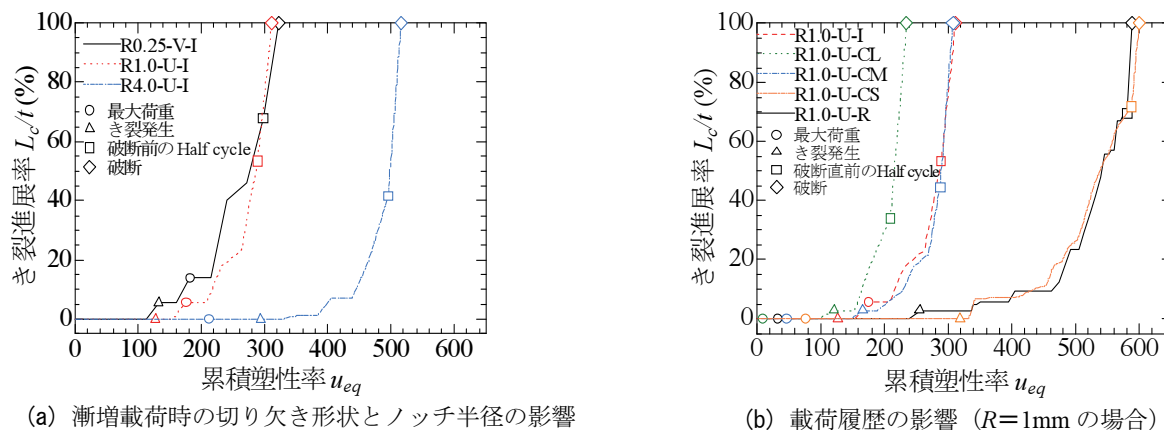


図-3 き裂進展率-累積塑性率関係

3. 実験結果

繰り返し载荷時の塑性変形能力の指標として、累積塑性率 u_{eq} を以下の2式より算出した。

$$u_{eq} = \frac{\sum_i \left| \delta_i - \frac{P_i}{K_e} \right|}{\delta_y}, \quad K_e = \frac{P_y}{\delta_y}$$

ここで、 δ_i : 1 Half cycle以降の変位、 P_i : 1 Half cycle以降の荷重、 P_y : 降伏荷重、 δ_y : 降伏変位である。

各試験体の実験結果における累積塑性率 u_{eq} とき裂進展率 L_c/t の関係を図-3に示す。き裂進展率は、実験試験体のき裂深さ L_c を最小断面厚の板厚 $t=18\text{mm}$ で除して百分率で表しており、100%で完全に破断とする。

(a) より R0.25-V-I と R1.0-U-I を見てみると、破断直前のき裂進展率の値に差が出ている。これは本実験がき裂深さを試験体側面で測定しているため、き裂発生後にき裂が側面に現れず内部に進展し、内部のき裂とその後側面に現れたき裂がつながることで一気に破断したものとする。さらに R4.0-U-I はき裂発生後において側面でき裂を観測できず、破断前のき裂進展率が40%と小さいことから、漸増载荷はノッチ先端半径が大きい程、最大荷重後にもき裂は発生しづらく耐力低下が非常に緩やかであるといえる。しかしき裂は側面に現れず内部に進展しやすいため、見た目だけで破断の前兆はわかりにくいと考える。

(b) より R1.0-U-I と R1.0-U-CM が同程度の累積塑性率でき裂が進展しているが、き裂進展率20%あたりまでに着目してみると、R1.0-U-I は引張側と考えられる時に急激に上昇するのに対し、R1.0-U-CM はグラフに段差ができていないことから引張圧縮の両方で同じように進展していることがわかる。破断前のき裂進展率はR1.0-U-I が53.3%、R1.0-U-CM が44.4%と10%程度R1.0-U-Iの方が大きな値まで取れているため、漸増载荷に比べ一定载荷の場合は一定的なき裂が進展していくが、破断直前はき裂が一気に進展することがわかる。

R1.0-U-CS と R1.0-U-R は、き裂進展率は破断直前まで同程度の値を得ているが、ランダム载荷は小さな累積塑性率でき裂発生から破断に至っていることがわかる。R1.0-U-CS はき裂発生直後からある程度圧縮側でもき裂が進展し、累積塑性率が400を超えたあたりから、同程度で圧縮と引張の両方でき裂が進展している。

4. 結言

一定载荷は特に振幅の大きいもののほどき裂は一気に進展しやすく、前兆が現れることなく破断に至ると分かる。しかし、き裂の内部進展は少ないため側面でき裂がそのまま内部へのき裂深さと考えてもよい。一定载荷は漸増载荷に比べ、き裂の進展は振幅の大きなものを除き安定して進むが、破断直前には振幅の小さいものの場合を除き、き裂が一気に進展する。ランダム载荷と一定载荷は同じようなき裂が進展していくが、ランダム载荷では変位33.75mm以上を与えたときにおいて一気にき裂が進展していく。

参考文献: 1) 桑村仁, 山本恵市: 応力三軸状態における構造用鋼材の延性き裂の発生条件, 日本建築学会構造系論文集, 第447号, pp.129-135, 1995. 2) 加藤友哉, 猪飼豊樹, 山口雄涼, 賈良玖, 葛漢彬: T型溶接継手の延性き裂発生メカニズムの解明に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.I_634-I_645, 2016.