

### 橋梁鋼部材の極低サイクル亀裂特性に関する基礎的研究

三菱重工鉄構エンジニアリング(株) 正会員 山根 茂春  
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行  
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司  
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀

#### 1. まえがき

強地震下にある構造部材において、数回または十数回で亀裂が発生する現象を極低サイクル疲労亀裂と呼ぶ。

兵庫県南部地震以降、耐震対策の一つとして、強地震動を受ける構造物内の2点間の変動が大きい箇所に履歴型ダンパーが盛んに利用されている。履歴型ダンパーは、鋼材の塑性変形履歴に伴うエネルギー吸収、および構造物全体の剛性低下を利用し、柱・梁などの主要構造部材の損傷を制御し、構造物の崩壊を防止する制震ツールである。その機能上、履歴型ダンパーの構造においては、極低サイクル疲労が問題となってくる。現在、履歴型ダンパーの極低サイクル疲労亀裂の照査は、疲労現象として行い、累積塑性ひずみで評価される場合が多い。しかし、低降伏点鋼からなる履歴型ダンパーの極低サイクル疲労破断面は、延性破断を示すディンプル模様が現れることから、破壊現象としては延性破断であるという報告もある<sup>1)</sup>。このように、極低サイクル疲労亀裂発生現象はまだ十分に明らかにされていないのが現状である。

本研究では、曲げ変位増分をパラメータとした片持H形断面梁基部の着目部分のフランジに切欠を設けた供試体の漸増繰返し載荷実験を行い、亀裂発生点のひずみに着目した極低サイクル疲労亀裂特性を検討している。

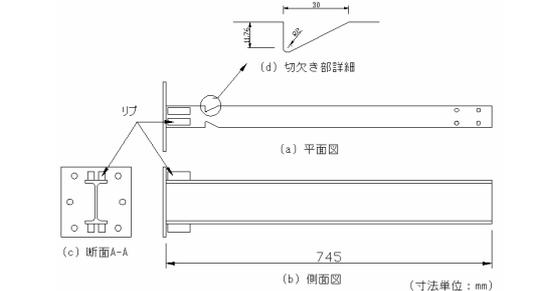


図-1 実験供試体

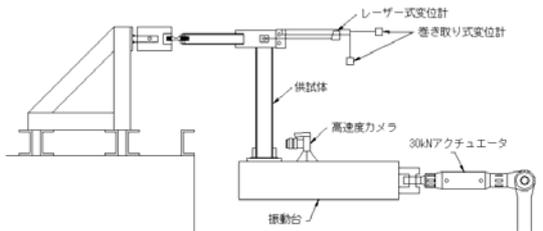


図-2 実験装置の概要

#### 2. 漸増繰返し水平変位載荷実験

##### 2.1 載荷方法および実験条件

極低サイクル疲労亀裂発生特性を把握するために、図-1 に示す片持 H 形断面梁の着目部分のフランジに切欠きを設けた供試体を製作し、漸増繰返し水平変位載荷実験を行った。実験後、走査型顕微鏡を用いて亀裂破面を観察した。図-2 に示すように、大ひずみを導入するため曲げ載荷とし、漸増繰返し水平変位載荷により変位制御で実施した。また、繰返し載荷における曲げ変位増分量  $n\delta_y$  は降伏変位を基準に決定した(図-3 参照)。なお、降伏変位は切欠き部先端が降伏したときの載荷点変位  $\delta$  と定義した。表-1 には、供試体呼称および実験条件を示す。曲げ変位増分量をパラメータとして、 $\delta_y$ 、 $3\delta_y$ 、 $6\delta_y$  の 3 パターンについて実施した。

また、切欠き近傍の局所ひずみを計測するために、高速度カメラを用いて画像計測を行った。方法は、画像内に目標点を設置し、画像計測を行い、目標点を追尾することで変位量を計測し、ひずみを算出した。写真-1 には、計測画像を示す。目標点設置位置は切欠き先端から 1mm、2 点間距離 2mm の位置である。なお、画像計測は No.2、および No.3 に対して行った。

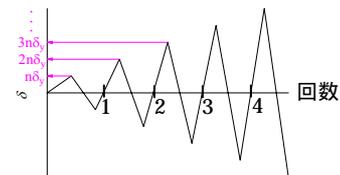


図-3 載荷パターン



写真-1 ひずみ測定に用いた計測画像

キーワード 極低サイクル疲労, 延性破断面, 最大ひずみ  
 連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL 06-6605-2765

2.2 繰返し回数とSEMによるフラクトグラフィ

表-1には、各供試体の亀裂発生時、および破断時の回数と亀裂発生箇所を示す。なお、破断時の回数は亀裂がフランジを貫通しウェブに達した時点の回数とした。また、写真-2にNo.1のSEMによる破断面画像を示す。なお、観察位置は亀裂発生点と亀裂が急成長したウェブ中央である。

写真-2より、亀裂発生点、および亀裂進展した破断面に延性破断を示すディンプル模様が確認できる。これはNo.2およびNo.3についても同様の結果であった。これより、漸増繰返し静的载荷による繰返し回数が数回から十数回の範囲では亀裂発生、進展は延性破断であることが確認できた。

2.5 局所ひずみ

図-4にはNo.2およびNo.3の切欠き部両側の亀裂発生点ひずみの時刻歴応答を示す。また、表-2には、亀裂発生までの累積ひずみ、および最大ひずみを示している。なお、切欠き部左側および右側をLおよびRで表し、No.2-L、No.2-R、No.3-L、およびNo.3-Rの結果を示している。

図-4より、亀裂が発生したサイクルの前のサイクルまでに受けた最大ひずみを基準として亀裂発生点位置に違いが見られる。また、表-2より、それぞれの亀裂発生点のひずみ値を比べると、累積ひずみが最大1.65の差異があるのに対して、最大ひずみは最大0.06と差異が小さいことがわかる。これは、累積ひずみは亀裂発生までの载荷パターンに依存していることと亀裂発生に最大ひずみが大きく影響しているためと考えられる。すなわち、極低サイクル疲労による亀裂発生は延性的であることを示している。

3. まとめ

本研究では、橋梁鋼部材の極低サイクル亀裂特性を把握するために、漸増繰返し水平変位载荷実験を行った。本研究で得られた結果を以下に示す。

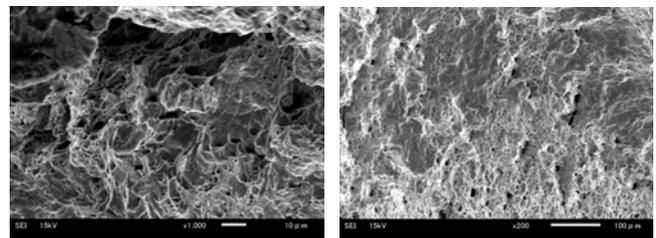
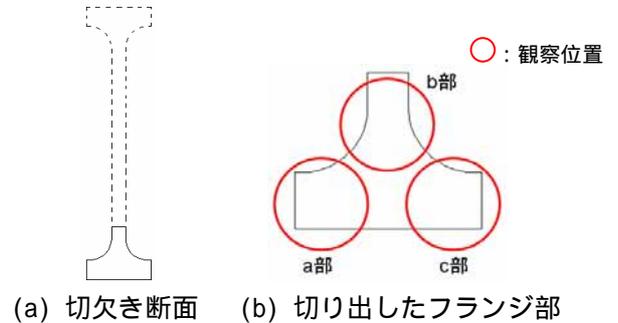
- 1) 繰返し回数が数回～18回程度で破断に至る範囲において、静的载荷では、亀裂は延性破断であった。
- 2) その亀裂発生は最大ひずみに支配されていることを明らかにした。

参考文献

- 1) (財)阪神高速道路管理技術センター・せん断パネル性能確認検討委員会資料, No. 2-5号, 2007
- 2) 桑村 仁: 繰返し塑性ひずみを受ける構造用鋼材の疲労-延性破壊遷移, 日本建築学会構造系論文集, 第461号, 123-131, 1994年7月

表-1 実験条件および载荷回数

供試体呼称	曲げ変位増分量	亀裂発生時回数	破断時回数	亀裂発生箇所
No.1	$\delta_y$	15回 1/4	18回 1/4	上フランジ・左
No.2	$2\delta_y$	6回 1/4	8回 1/4	上フランジ・左
No.3	$3\delta_y$	2回 3/4	5回 1/4	下フランジ・右



(c) a部 × 1000倍 (d) c部 × 1000倍

写真-2 SEM画像(No.1)

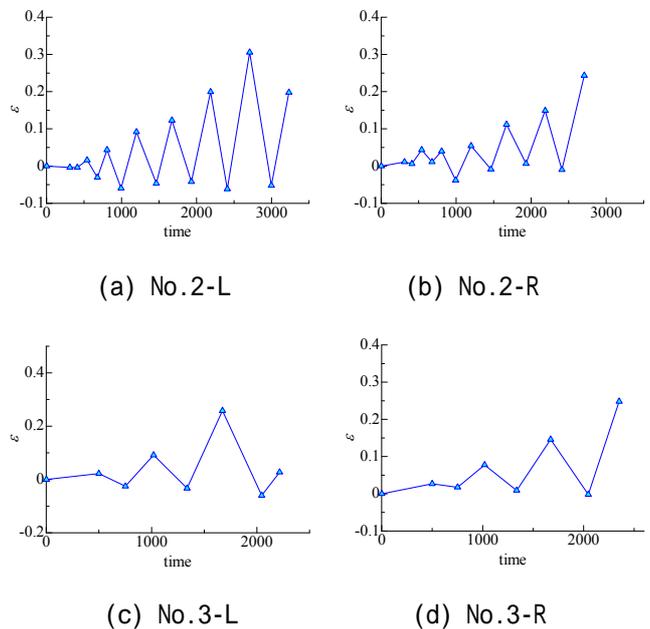


図-4 亀裂発生点ひずみの時刻歴応答

表-2 累積ひずみ、および最大ひずみ

亀裂位置	$\Sigma\epsilon$	$\epsilon_{max}$
No.2-L	2.349	0.306
No.2-R	1.207	0.244
No.3-L	1.210	0.248
No.3-R	0.700	0.258