

鋼製橋脚の極低サイクル疲労に対する照査法の一検討

名城大学 学生会員
名城大学 正会員

岩田 勝成
葛 漢彬

1. はじめに

現在、地震時に発生する鋼材の低サイクル疲労による鋼構造物の破壊などに関する最近の研究は多く見られてきているが、一般の鋼構造物に対する実用的照査法が十分に研究されていないのが現状である。そのため一般の鋼構造物に対して終局ひずみに制限値 $20\epsilon_y$ を設けることでこれに対処している¹⁾。本研究では、既往の実験データ²⁾⁻⁵⁾を用い、はり要素を用いたファイバーモデルによる静的繰り返し解析を行った。これにより、圧縮側平均ひずみ ϵ_a を算出し、終局ひずみの制限値 $20\epsilon_y$ を延性破壊点および最大荷重点と比較し、制限値 $20\epsilon_y$ の妥当性について検証した。また実験供試体の概要図を図-1 に示した。

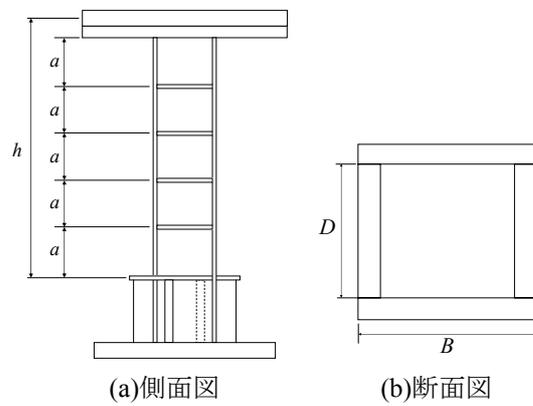


図-1 供試体概略図

2. 解析概要

2.1 解析モデル概要

解析は汎用解析プログラム ABAQUS を用い、実験と同様に一定鉛直荷重を与えた状態で水平方向に繰り返し変位履歴を与えた。水平方向の荷重パターンは実験と同様である。本研究では解析には、はり要素にて作成したファイバーモデルを用いる。基部の収束解を得るため、有効破壊長領域(=0.7b)を5分割し、その上部は15分割とした。基部は完全固定とした。また構成則はバイリニア型で2次勾配は $E_{st} = E/100$ を用いた。

2.2 荷重パターン

実験では、供試体頂部の水平荷重載荷点における水平変位制御で、一定の鉛直荷重と変動繰り返し水平荷重を載荷した。鉛直荷重は降伏軸力の0.1倍とし、水平荷重は変位振幅を $1\delta_y$ ずつ漸増させ繰り返し荷重と異なる変位振幅において3サイクルごと繰り返し漸増荷重させたのと動的解析による応答変位から抽出したランダムな荷重パターンを用いた。詳しくは文献²⁾⁻⁴⁾を参照されたい。

表-1 供試体の寸法および解析結果

供試体名	R_f	$\bar{\lambda}$	延性き裂発生時の Half Cycle	$20\epsilon_y$ 達成時の Half Cycle
UB25-25C1P1	0.25	0.24	18	23
UB25-25C3P1	0.25	0.23	14	25
UB35-25C1	0.34	0.24	19	21
UB25-35C1	0.25	0.33	14	21
UB25-35C3	0.25	0.33	11	19
UB25-35C1P1	0.26	0.37	12	23
UB25-35C3P1	0.26	0.37	26	>30
UB25-35CCP1	0.26	0.37	6	>30
UB35-35C1P1	0.37	0.37	8	23
UB35-35C3P1	0.37	0.37	22	>30
UB35-35CCP1	0.37	0.37	4	>30
UB35-45C1P1	0.37	0.48	8	19
UB35-45C3P1	0.37	0.47	18	>30
UB35-45CCP1	0.37	0.47	4	>30
UB35-35R1P1	0.37	0.36	13	>30
UB35-35R2P1	0.37	0.36	13.5	13.8
UB35-35R3P1	0.37	0.36	12	13
UB35-35R4P1	0.37	0.37	63	>100
UB35-35R5P1	0.37	0.37	11	19

3. 解析結果

本研究でのファイバーモデルの解析結果から、有効屈長領域(=0.7b)の圧縮側平均ひずみ ϵ_a を求め、終局ひずみ ϵ_u との比較を行う。圧縮と一軸曲げを受ける無補剛箱形断面の部材セグメントの終局ひずみの算定式は式(1)に示す
キーワード 延性き裂, 鋼製橋脚, 延性破壊実験, 極低サイクル疲労, ファイバーモデル解析

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 TEL 052-838-2342

れたものが提案されている。

$$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} = \frac{0.24}{(R_f - 0.2)^{2.8} (1 + P/P_y)^{2.4}} + \frac{2.8}{(1 + P/P_y)^{0.6}} \leq 20.0 \quad \text{ただし} \quad \begin{matrix} 0.2 \leq R_f \leq 0.7 \\ 0.0 \leq P/P_y \leq 1.0 \end{matrix} \quad (1)$$

表-1 に全てのケースの実験における延性破壊点と解析における制限値達成点を示した。これを見ても明らかのように全てのケースにおいて延性破壊の後に制限値 $20\epsilon_y$ に達する。解析は、30 または 100 Half Cycle 時（解析終了時）の平均圧縮ひずみが $20\epsilon_y$ に達していないケースでは >30 または >100 と記した。また例として図-2 に解析結果から求めたひずみ時刻歴を UB25-35C1P1 と UB25-35C3P1 の 2 ケース示す。グラフの横軸は Half Cycle、縦軸は平均ひずみ ϵ_a を降伏ひずみ ϵ_y で無次元化したものである。また実験での延性破壊点、最大荷重点もグラフに示した。

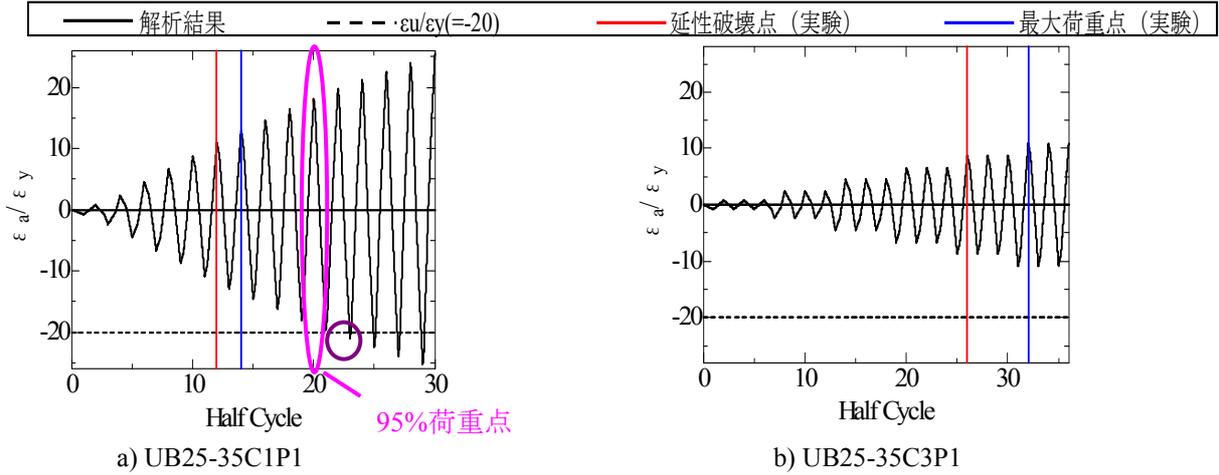


図-2 ひずみ時刻歴

図-2 において(a)UB25-35C1P1 の延性破壊点(実験)は 12Half Cycle、最大荷重点(実験)は 14Half Cycle である。耐荷力低下後に制限値 $20\epsilon_y$ に達している。(b)UB25-35C3P1 の延性破壊点(実験)は 26Half Cycle、最大荷重点(実験)は 32Half Cycle である。明らかに延性破壊点(実験)、最大荷重点(実験)を迎えた後に制限値 $20\epsilon_y$ に達することになる。これより、終局ひずみに制限値 $20\epsilon_y$ を設けることにより極低サイクル疲労に対処するのが適切でないことが言える。

4. ひずみ集中現象の影響を考慮した損傷度による簡易照査法

著者らが累積塑性ひずみの影響を考慮した損傷度による照査法を提案している³⁾⁻⁵⁾。その1つにはり要素を用いたファイバーモデル解析を適用した簡易照査法がある⁵⁾。この手法では解析により得られた塑性ひずみ範囲 ϵ_{pr} に、角部でのひずみ集中現象を考慮した係数 β を乗ずることで、次のように損傷度を算出する。

$$D = C \sum (\beta \cdot \epsilon_{pr})^m \quad (2)$$

ここで C 、 m は材料定数であり鋼種により異なる。UB25-35C1P1 と UB25-35C3P1 の 2 ケースについて照査した結果を図-3 に示し、本手法は延性き裂の発生を概ね評価できることが分かる。

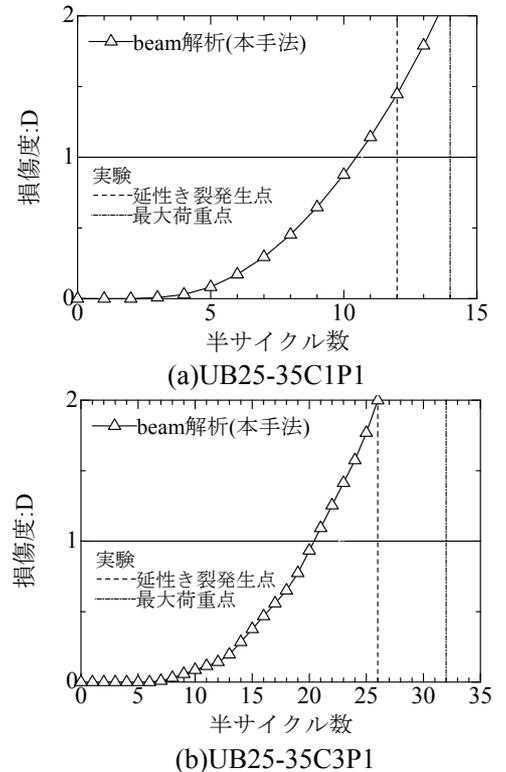


図-3 損傷度による簡易照査

参考文献：1) 宇佐美勉編著：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，日本鋼構造協会編，技報堂出版，2006. 2) 葛漢彬，大橋正稔，田島僚：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂の発生とその進展に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.53A，pp.493-502，2007. 3) 葛漢彬，津村康裕：鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂の評価に関する実験的および解析的研究，構造工学論文集，Vol.55A，pp.605-616，2009. 4) 葛漢彬，藤江渉，岩田勝成：ランダムな荷重を受ける鋼製部材の延性き裂発生・進展挙動及び照査法の検証，構造工学論文集，Vol.56A，pp.342-355，2010. 5) 葛漢彬，藤江渉，津村康裕：鋼製橋脚の延性き裂照査法の開発に関する一検討，土木学会地震工学論文集Vol.30，pp.368-377，2009年。