

I - B187

履歴吸収エネルギーを基準とした低降伏点鋼の低サイクル疲労における損傷指標の提案

東京大学工学系研究科 学生会員 賀川義昭

東京大学工学系研究科 正会員 阿部雅人

東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1.はじめに

1995 年 1 月の兵庫県南部地震以後，構造物にエネルギー吸収能力の優れた部材（制震部材）を配置することによって地震による損傷をその部材に集中させ構造物全体の損傷を防ぐという損傷制御型構造物が提案されている．制震部材には大きな塑性ひずみの繰り返しが生じるため，低サイクル疲労特性が重要となる．特に，ランダムな地震荷重を受けた後の低サイクル疲労の損傷の評価が必要となる．しかし，数％以上の大ひずみ下における低サイクル疲労の研究は数少ないのが現状である．一方，制震部材に用いられるエネルギー吸収能力の優れた材料として安価でじん性に富んだ低降伏点鋼が注目されている．

そこで本研究では低降伏点鋼を用いた大ひずみ下における一連の低サイクル疲労試験をもとに累積損傷の指標式を提案することを目的とした．その際，本研究では低サイクル疲労の損傷をエネルギーを基準として表すことを試みた．複雑な応力状態となることが多い制震部材においてエネルギーという基準を用いるとひずみ分布や応力分布に関係なく一義的に疲労を表現できるからである．

2.定振幅低サイクル疲労試験

図 1 に示す 3 種類の低降伏点鋼（NK-LY100）の供試体を用いて曲げ荷重による低サイクル疲労試験を行った．実験装置を図 2 に示す．1 種類の供試体につき数種類のひずみレベルにおける実験を行った．供試体に生じる最大外縁ひずみ範囲は 1.4%～11.5%である．またこの試験より得られた荷重－変位曲線の一例を図 3 に示す．ループ内の面積が吸収するエネルギー量を表す．それぞれのケースの試験結果より 1 サイクルあたりに供試体が吸収する平均的なエネルギー量を求め，それと疲労寿命（破断までの回数）の関係を調べた．両者の関係を両対数グラフにプロットすると図 4 のようになる．既往の一軸荷重による疲労試験の結果¹⁾と比べても良い整合性が認められる．この結果より疲労寿命を推定するのに履歴吸収エネルギーを用いるのが有効であることが分かる．また，供試体の種類によって寸法効果と思われる差が認められるがこれは本試験結果の範囲では供試体の表面積に依存していることが明らかとなった．図 5 に式(1)の係数 C と表面積の関係を示す．これは低サイクル疲労の大部分は亀裂の進展過程であると考えられ，亀裂の生じやすい欠陥の存在し得る個所が多ければ多いほど疲労破壊に至りやすいことに起因していると思われる．

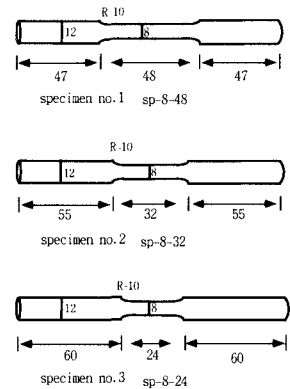


図 1 供試体

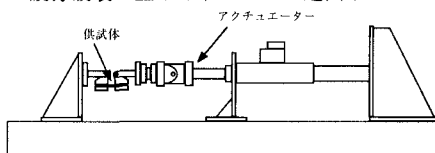


図 2 実験装置

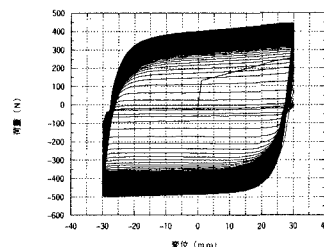


図 3 荷重－変位曲線

3.損傷指標の提案

図 4 より 1 サイクルあたりの吸収エネルギー量 W_{1cycle} は疲労寿命 N の関数として以下の回帰式で表せる．

キーワード：低降伏点鋼，低サイクル疲労，損傷指標，表面積

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 TEL:03-3812-2111 (内線 6099) FAX:03-5689-7292

$$W_{\text{cycle}} = C \cdot N^{-\beta} \quad (1)$$

式より疲労寿命 N は次式で表される。

$$N = \left(\frac{C}{W_{\text{cycle}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

Palmgren-Miner 則²⁾に基づくと、 $1/N$ の累積が疲労

損傷を表し、その累計が1に達したときに疲労破壊が

起こることになる。よって本疲労予測式を用いて

$$D = \sum \frac{1}{N} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{C} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3)$$

N : ループの数 W_i : 1サイクル
 ルで吸収するエネルギー量

4. 損傷指標の検証

地震波を入力したハイブリッド実験を行い、損傷指標の検証を行った。用いた地震波は鷹取 NS 波と東神戸 NS 波である。それぞれの地震波で3種類の供試体について実験を行い提案した式(3)の損傷指標を適用した結果が図6である。破壊時の値は 0.87~1.13 に収まっており、有効な指標であることを示唆している。

5. まとめ

低降伏点鋼を用いた低サイクル疲労試験を行った結果、低サイクル疲労寿命を履歴吸収エネルギーで推定することが有効であることが分かった。また、それをもとにランダム荷重下における疲労寿命を推定する損傷指標を提案し、ハイブリッド実験で検証した結果、有効性が示唆されたといえる。また供試体の寸法効果は本研究で用いた供試体のサイズにおいては供試体の表面積に依存することが定性的に示された。ただし、損傷指標についても寸法効果についても実験数が少ないため確定的な結論を導くには至っておらず更なる検証が必要であると思われる。

【謝辞】

本研究における低降伏点鋼（NK-LY100）の供試体の設計には日本鋼管株式会社の岡本隆氏、石川博氏、大森俊道氏に大変お世話になりました。また多くの有益な助言を頂いたことをここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐伯, 杉沢, 山口, 望月, 和田. “低降伏点鋼のヒステリシス及びヒステリシスエネルギー特性に関する研究” 日本建築学会構造系論文集第 472 号, 1995 年 7 月. 2) M.A.Miner, "Culmulative damage in fatigue", Journal of Allied Mecanichs. ASME12, 159-164(1945).

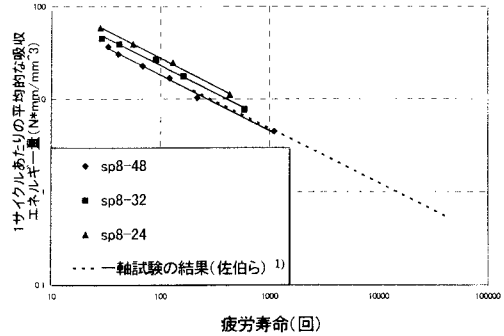


図 4 1 サイクル当たりの吸収エネルギー量と疲労寿命の関係

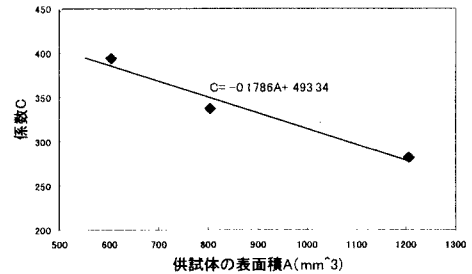


図 5 係数 C と供試体の表面積 A の関係

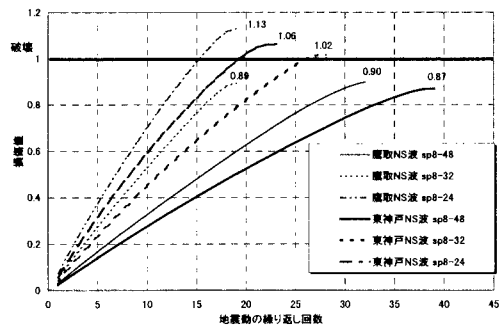


図 6 ハイブリッド実験における損傷指標の値