

極低降伏点鋼のせん断特性に関する研究

東京工業大学 学生会員 古庄 龍悟 東京工業大学 学生会員 休場 裕子
東京工業大学 フェロー 三木 千尋

1. 目的、背景

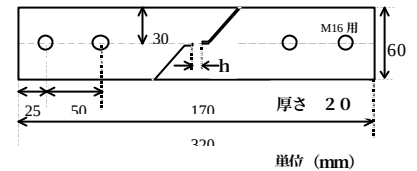
近年、建築の分野においてエネルギー吸収要素を建物内に組み込み地震時の応答を低減する制振設計が注目され、実用化も進んでいる。本研究では、その制振部材として注目されている極降伏点鋼（以下、極低鋼）のせん断特性を定量的に把握する事を目的とする。そのために、まず座屈現象が発生しないようなせん断試験法を考案し、引張試験によりせん断応力が卓越した状態を実現する事でせん断試験を実現する。さらに、その試験片を繰返し載荷試験へ適用させ制振能力や低サイクル疲労特性についても考察する。

2. 試験の概要

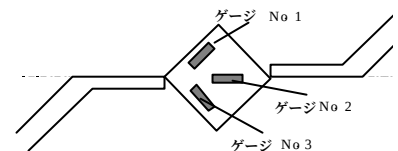
試験片を図1-aに示す。長手方向の載荷で試験片中央部にせん断を起こす仕組みになっている。せん断変形部幅 h は12mm、14mmの2種類それぞれ用意した。試験材には極低鋼、SM490B、SM570Qを用い、単調せん断試験および変位漸増繰返しせん断試験、漸増漸減繰返しせん断試験を行う。後者の2試験は変位制御とし、単調せん断試験で算出された降伏変位 δ_y を用い、図2のような条件で行う。せん断応力 τ は荷重 P をせん断変形部断面積で除した値（ $=1000P/h t$ 、ここに、 h :せん断幅、 t :板厚）、せん断ひずみ γ にはせん断変形部に図1-bのように貼った3軸塑性ゲージから算出した最大せん断ひずみを用いる。

3. 試験片の繰返しせん断試験への適用

繰返しせん断試験から得られた変位と荷重の関係はどの試験片においても非常に安定した履歴ループを描いた。一例として極低鋼（ $h=12\text{mm}$ ）の結果を図3に示す。また、 τ - γ 関係についても同様に安定した履歴曲線が得られた（図4）。最大せん断ひずみの方向は図5のように正のひずみと負のひずみが90度の角度をなして交互にせん断変形部付近の一定の角度へ移動しているのが良くわかる。その角度は0~10度と単調せん断試験による破断面の方向とも一致する。さらに、最大せん断ひずみ方向におけるひずみの状況は、図6に示すように最大せん断ひずみが主ひずみに比べ大きく、せん断の卓越した状態が実現されたことがわかる。

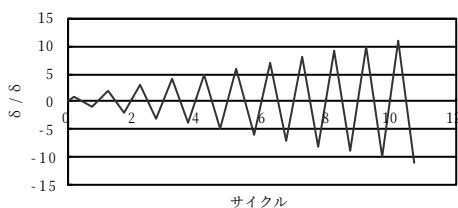


(a) 試験片図



(b) ひずみゲージ貼付状況

図1 試験片図



(a) 変位漸増繰返し載荷

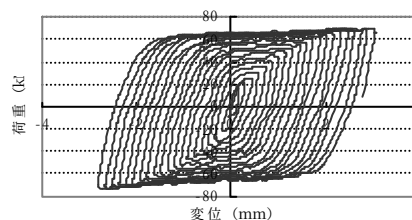


図3 変位と荷重の関係

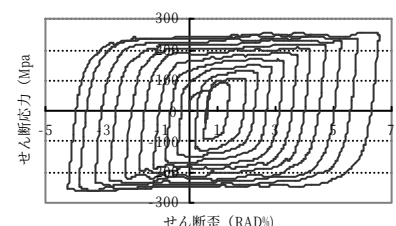
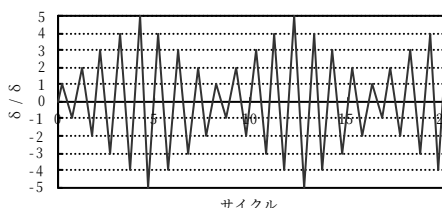


図4 τ - γ 関係



(b) 漸増漸減繰返しせん断試験

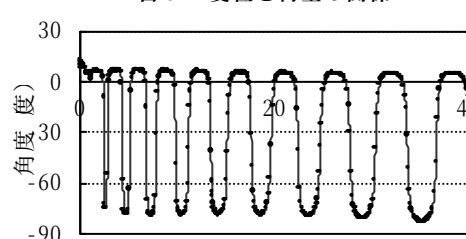


図5 $\gamma_{\max}$ 方向の推移

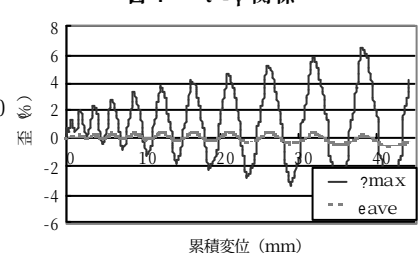


図6 $\gamma_{\max}$ と ϵ_{ave} の関係

キーワード：極低降伏点鋼、せん断試験、制振、低サイクル疲労

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1、(TEL：03-5734-2596)

4. 極低鋼の制振性能の評価

極低鋼の制振能力を定量的に議論するために等価粘性減衰定数 h_{eq} を用いて、変位漸増繰返し試験の結果を整理する。定数は以下の通りに定義される（図7）。

$$h_{eq} = \frac{1}{4p} \cdot \frac{\Delta W}{W_{eq}} \quad \begin{array}{l} \text{ここに、} \Delta W: 1 \text{ サイクルの間の履歴吸収エネルギー} \\ W_{eq}: \text{最大ひずみエネルギー} \end{array}$$

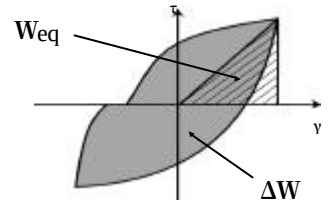


図7 ΔW 、 W_{eq} の定義

図8に各鋼材の各サイクルにおける減衰定数 h_{eq} の推移を示す。極低鋼は他の鋼材に比べ、終始大きな値を示した。また、注目すべき点は、変形の早期である0.3%のひずみで15%もの減衰定数値を示した事である。これから、極低鋼は一般鋼に比べ制振能力の早期発現性が高いことがわかる。

5. 包絡線と単調せん断曲線との比較

図9,10に極低鋼とSM570Qの包絡線と単調せん断曲線の比較図を示す。図9からわかるように極低鋼は繰返しによる硬化が著しい。しかし、耐力の低下後も安定した包絡線を描き、大きな伸び能力を示した。それと比して、他の2鋼種は単調せん断の曲線と包絡線はほとんど変わらないが、ともに非常に早い時点で破断もしくは、大きな耐力の低下が起こっている。

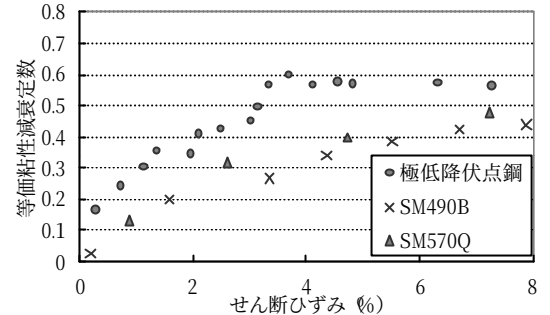


図8 等価粘性減衰定数の推移

6. 極低鋼の低サイクル疲労特性

漸増漸減繰返しせん断試験による疲労の蓄積の度合いを線形被害則を用いた累積被害により考察する。ただし、疲労寿命は軸方向のものを用いる。

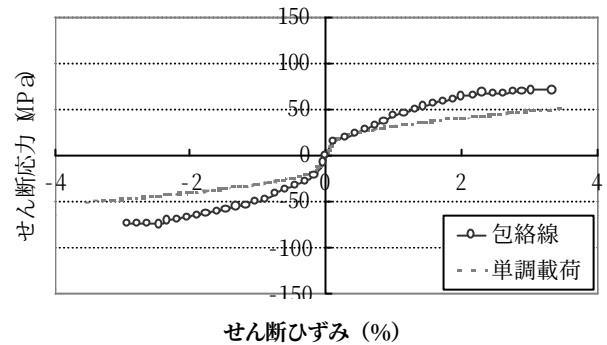


図9 包絡線と単調載荷の比較図（極低鋼）

$$D = 2 \cdot (\epsilon_{PR})^2 \Sigma (1/\epsilon_f^2)$$

ここに、 D : 累積被害、 ϵ_f : 破断延性、 ϵ_{PR} : 塑性歪振幅

図11よりSM490B、SM570Qは引張寿命 $D=1$ 以下で亀裂が発生したのに対し、極低降伏点鋼は $D=1$ を大幅に上回った時に亀裂が発生し、結局破断も起こらなかった。したがって極低降伏点鋼のせん断方向における疲労抵抗は非常に優れている事がわかる。

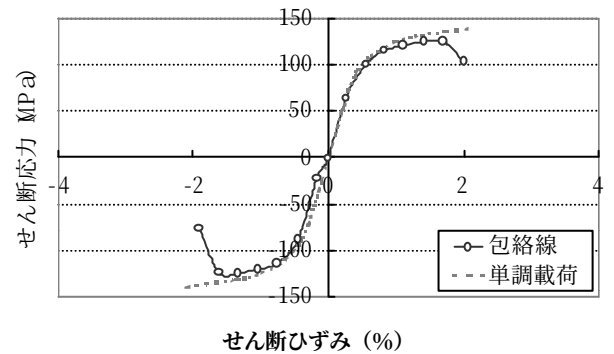


図10 包絡線と単調載荷との比較図（SM570Q）

7. 結論

提案試験片は、繰返しせん断試験にも適用可能であり、大きなひずみ領域までの試験が可能である。

極低降伏点鋼は、早期から高い等価粘性減衰定数を得て、エネルギー吸収能力に優れていることがわかった。また、低サイクル疲労特性を引張方向の疲労寿命を用いて整理することにより、極低降伏点鋼の高いせん断低サイクル疲労抵抗を示した。

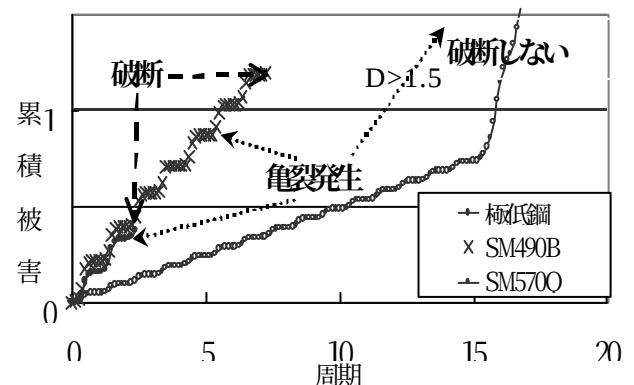


図11 線形被害則による累積被害