

繰り返し荷重下でせん断応力と引張応力が同時に作用する鋼材の延性破壊実験

名城大学 学生会員 ○篠原 一輝
名城大学ポスドク研究員 賈 良玖
名城大学大学院 学生会員 加藤 弘務
名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

1995 年の兵庫県南部地震では、多くの鋼構造物に脆性的な破壊が生じた。塑性変形過程での脆性的な破壊は、多軸応力とひずみ集中を受ける部分に、まず延性き裂が発生し、そこに応力が集中し延性き裂が進展してある限界サイズに達したとき生じるということが知られている。したがって、地震時の脆性的な破壊を防止するため、大きな塑性ひずみを受けた後でも十分な破壊靱性を有する鋼材を適用することが必要である。一方、柱部材は主に圧縮、曲げを受けるのに対し、梁腹板や隅角部、部分溶け込み溶接断面ではせん断応力が卓越する。これまでの鋼構造分野における研究では、引張応力が支配する状況での破壊実験は数多く行われているが、せん断応力も作用する状況での破壊実験は進んでいないのが現状である。そこで本研究では、せん断応力も作用する状況での鋼材の破壊実験を行い、破壊の過程や崩壊の状況を実験的に明らかにする。文献 1)では、今回と同様の試験片に対し単調載荷試験を行った結果を報告したが、ここでは、載荷パターンの違いによる影響を調べるため繰り返し行った載荷試験の結果について述べる。

2. 実験概要

試験片は初期状態で純せん断が作用する形（Pure Shear シリーズ，以降 PS シリーズと称する），軸力とせん断力が作用する形（Shear and Tension シリーズ，以降 ST シリーズと称する）の二種類を用いての漸増変位振幅繰り返し載荷試験（Cyclic Test）を行う。また、破壊箇所を特定するため、両シリーズ共に 25 mm の半円で切り出し、他の部分より細くすることで断面積を部分的に小さくした。この部分（以降、塑性変形部と称する）が塑性化すると想定している。試験片の概要図および使用する鋼種と、その機械的性質をそれぞれ図-1、表-1 に示す。表-1 に示す機械的性質は実験直前に行った引張試験の結果の平均値である。

3. 実験結果

以下に破壊状況と荷重－変位曲線について記す。ST-SS400-C は座屈してしまったため検討の対象としない。

(1) 破壊状況

図-2 にき裂発生から破断までの代表的な破壊状況を示す。き裂は長さ約 1mm 以上のものとする。PS シリーズでは両側の塑性変形部の上下、両端部に合計 8 ヶ所のき裂が発生し、き裂が進展した後破断した。塑性変形部の中央でなく両端部にき裂が発生したのは、純せん断を受ける中央部より曲げを受ける両端部の損傷の方が大きかったことが考えられる。ST シリーズ

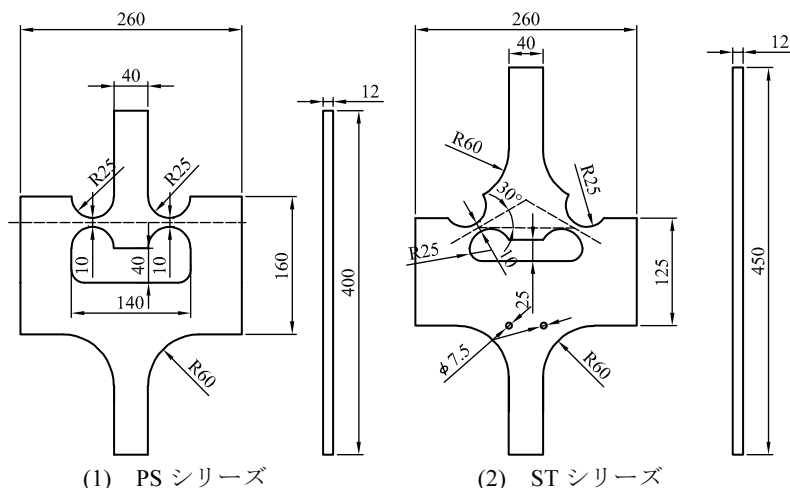


図-1 試験片概要図

表-1 機械的性質

鋼種	降伏点 (MPa)	引張強 さ(MPa)	ヤング 率(GPa)	ポアソ ン比	伸び (%)
SS400	283	416	204	0.29	32
SM490A	351	530	204	0.28	24
SM570TMC	543	643	208	0.27	15

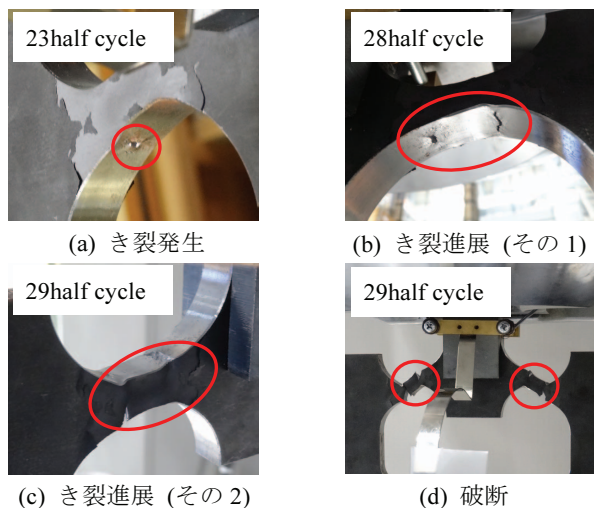


図-2 PS-SM490-C の破壊状況

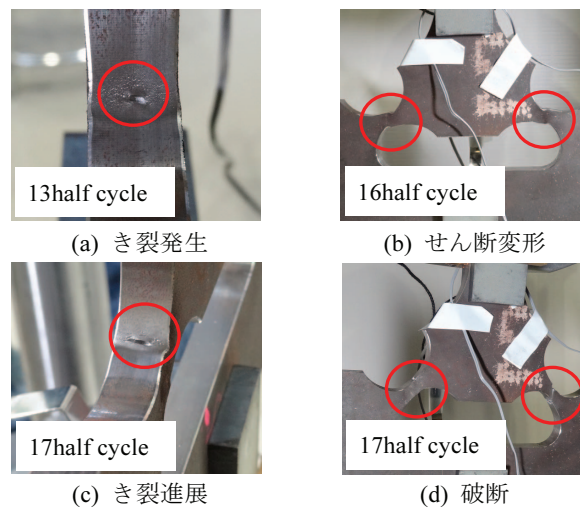


図-3 ST-SM570-C の破壊状況

では両側の塑性変形部の上下, 中央部に合計 4 ヶ所のき裂が発生し, き裂が進展した後破断した. また, 圧縮荷重載荷中に PS シリーズでは見られなかった図-3 の(b)に示すような変形が見られた. 塑性変形部の角度が 0° に近づき, 中央部にせん断応力が集中したといえる. 図-4 にき裂進展過程を, 赤印でき裂発生時を示す. 高強度鋼である程, また, ST シリーズの方がき裂発生時の half cycle 数は小さいことがわかる. き裂長さが小さいうちは急激に進展することはなかったがき裂長さが約 2mm 以上に進展すると, 急激にき裂長さが大きくなる.

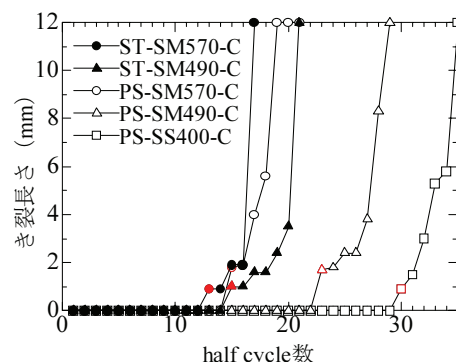


図-4 き裂進展過程

(2) 荷重－変位曲線

図-5 に荷重－変位曲線を示す. ここに示す(a)～(d)は図-2, 3 の(a)～(d)と対応している. PS シリーズでは引張および, 圧縮荷重載荷時共にき裂長さが板厚の半分程度までは荷重が上昇しているが, それ以降荷重が低下し破断した.

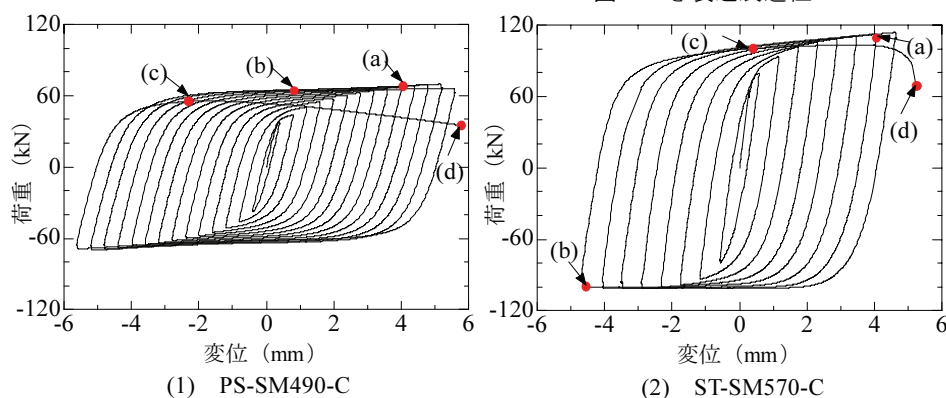


図-5 荷重－変位曲線

ST シリーズでは圧縮荷重載荷時において一定以上荷重が上昇しない現象が見られ, 引張荷重載荷時に比べ 10%程耐力が低かった. これは, 図-3 の(b)に示すような純せん断変形を受けていたことが原因と考えられる.

4. 結言

繰り返し荷重を受ける過程で, PS シリーズは純せん断を受ける部分ではなく曲げの影響を受ける部分に 8 ヶ所のき裂が発生した. ST シリーズはせん断応力が集中したと考えられる左右の中央部分に合計 4 ヶ所き裂が発生した. ここでは, 高強度鋼である程, また, ST シリーズの方がき裂発生時期は早くなる. なお, き裂は長さが小さいうちは急激な進展は見られなかったが, き裂長さが約 2mm 以上になると急激に進展した.

参考文献

- 1) 篠原一輝, 賈良玖, 加藤弘務, 葛漢彬: せん断応力と引張応力が作用する鋼材の延性破壊実験, 第 34 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 論文番号 A14-638, 2014.10.