

SS400 鋼材の動的力学特性に及ぼす応力三軸度の影響に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○濱田 匠李 防衛大学校 正会員 別府 万寿博
大阪大学 正会員 堤 成一郎 防衛大学校 正会員 市野 宏嘉

1. 緒言

鋼材の静的力学特性の特徴として、多軸応力状態において破断ひずみが小さくなることが実験的に知られている。一方で、鋼材の動的力学特性については、降伏応力および引張強度のひずみ速度効果を調べた研究例¹⁾はあるが、応力三軸度の影響を調べた例は非常に少ないのが現状である。本研究は、切欠きを有する SS400 平板試験体の動的引張試験を行い、SS400 鋼材の動的力学特性に及ぼす応力三軸度の影響を調べたものである。

2. 引張試験の概要

引張試験は、図-1 に示すサーボ制御式急速载荷装置および引張試験装置を用いて行った。引張試験装置の掴み部に試験体を固定し、引張用载荷フレームを下方方向に载荷することで試験体に引張力を与えることができる。引張試験に用いた平板試験体の形状および寸法を図-2 に示す。試験体の種類は、切欠き無しの平板試験体 A および切欠き半径の異なる 3 種類(切欠き半径 R=35mm:B(R35), R=8.75mm:C(R8.75), R=2.5mm:D(R2.5))の平板試験体である。応力三軸度 η はくびれの曲率半径 r と最小断面半径 a から Bridgman の式 ($\eta=1/3+\ln(a/2r+1)$)を用いて算出され、試験体 A, B, C および D の値はそれぞれ 0.33, 0.61, 0.70 および 0.97 となる。実験ケースを表-1 に示す。载荷速度は、静的, 0.01m/s および 4m/s とし、合計 36 ケースの実験を行った。荷重については引張試験治具の上部に設置している定格容量 100kN ロードセルを用いて計測し、荷重を初期の断面積で除して応力を求めた。また、ゲージ長 5mm のひずみゲージを試験体平行部の中央に貼付して計測してひずみを計測した。破断ひずみは、デジタル画像相関法(Digital Image Correlation, DIC)を用いて試験体の平行部(切欠き部を含む)の値を算出した。

3. 引張試験結果および考察

図-3 に、試験体 A (平板) に対する静的および载荷速度 4m/s の試験で得られたひずみ～時間関係を示す。ひずみ速度については、図中の赤線で示すように試験体の降伏応力時のひずみをそれに至るまでの時間で除した値とした。図から、静的試験ではひずみ速度は約 1.8×10^{-5} /s となり、载荷速度 4m/s では約 1.0×10^0 /s となった。図-4 に、試験体 A (平板) および B (R35) の静的引張試験および载荷速度 4m/s の試験で得られた応力～ひずみ関係の例を示す。以降に示す降伏応力は、降伏点を明瞭に示す場合は応力～ひずみ関係の上降伏点とした。降伏点を明瞭に示さない場合は、残留ひずみ 0.2%のときの応力を降伏応力とした。図から、試験体 A (平板) については、静的試験(ひずみ速度 1.8×10^{-5} /s)では明確な降伏点を示し、約 247N/mm² となった。また、载荷速度を増加させると応力の増加が認められ、降伏応力は静的試験の約 1.7 倍(約 410 N/mm²)となった。試験体 B (R35) においては、载荷速

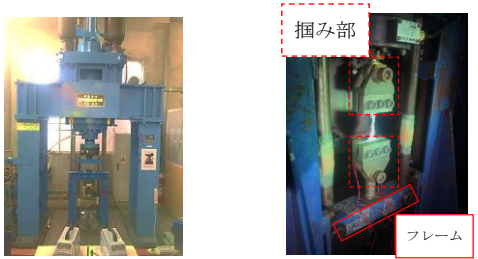


図-1 実験装置

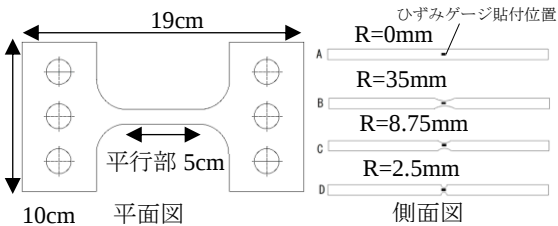


図-2 試験体の形状および寸法

表-1 実験ケース

No.	载荷速度	試験体種類
1~3	静的	A
4~6		B
7~9		C
10~12		D
13~15	0.01m/s	A
16~18		B
19~21		C
22~24		D
25~27	4m/s	A
28~30		B
31~33		C
34~36		D

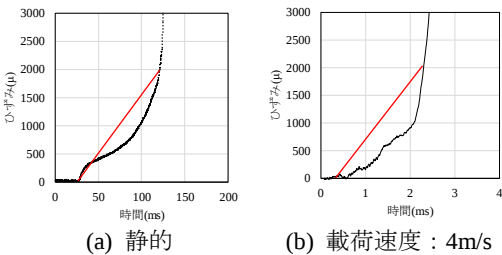


図-3 ひずみ～時間関係(試験体 A)

キーワード 鋼板, 動的力学特性, 応力三軸度

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810

度によらず明確な降伏点を示さない結果となった。静的試験（ひずみ速度 $5.6 \times 10^{-6}/s$ ）での降伏応力は約 160 N/mm^2 であり，载荷速度 4 m/s （ひずみ速度 $9.8 \times 10^{-1}/s$ ）では静的試験の約 1.3 倍（約 203 N/mm^2 ）となった。

図-5 に，試験体 A（平板），B（R35），C（R8.75）および D（R2.5）における降伏応力および引張強度の動的強度倍率（Dynamic Increase Factor）～ひずみ速度関係を示す。図中には，高橋¹⁾の実験式も比較して示す。図から，降伏応力については，全ての試験体においてひずみ速度の増加にともなって降伏応力の増大が認められた。ただし，試験体の種類によってばらつきが生じ，ひずみ速度 $10^0/s$ 付近で最もばらつきが大きくなった。高橋の実験式と比較すると，ひずみ速度 $10^2/s$ 付近で最も差が大きく，約 18% の差が認められた。引張強度については，ひずみ速度 $10^2/s$ 付近の強度倍率は平均で約 1.1 倍となった。また，ひずみ速度 $10^0/s$ 付近で最もばらつきが大きく，試験体 D（R2.5）の強度倍率が最大の約 1.7 倍となり，試験体 C（R8.75）は強度倍率が最小の約 1.2 倍となった。高橋の実験式と比較すると，ひずみ速度 $10^2/s$ 付近では約 10% の差が認められ，ひずみ速度 $10^0/s$ 付近で最も差が大きく最大で約 50% の差が認められた。

図-6 に，試験体 B（R35）に対して速度 4 m/s で载荷した実験ケースで得られた，DIC により計測したひずみ分布の例を示す。载荷後から時間の経過とともにひずみは切欠き部の中心に局所化し，破断が生じている。以下では，破断直前において切欠き中心部に発生した最大ひずみを破断ひずみと定義する。なお，試験体 A（平板）については，変形初期に塗装が剥がれ落ちたため DIC による破断ひずみの算定ができなかった。図-7 に，試験片 B（R35），C（R8.75）および D（R2.5）の破断ひずみ～ひずみ速度関係および破断ひずみ～応力三軸度関係を示す。破断ひずみ～ひずみ速度関係から，全てのケースにおいてひずみ速度の増加に伴う破断ひずみの低下が認められた。また，全てのひずみ速度において，応力三軸度が最も大きい試験片 D（R2.5）で破断ひずみは最小となり，応力三軸度が最も小さい試験片 B（R35）で最大となった。破断ひずみ～応力三軸度関係から，全ての载荷速度において，応力三軸度の増加に伴う破断ひずみの低下が認められた。

4. 結言

本研究は，切欠きを有する平板試験体の動的引張試験を行い，鋼材の動的力学特性に及ぼす応力三軸度の影響を調べたものである。実験の結果，切欠きの有無によらず全てのケースでひずみ速度の増加とともに降伏応力および引張強度の増加や破断ひずみの低下が認められた。また，応力三軸度の増加に伴う破断ひずみの低下が認められた。

参考文献

- 1) 高橋芳彦：高速载荷試験における鉄筋コンクリートはりおよび鋼板・コンクリート合成はりの耐衝撃性評価に関する基礎的研究，九州大学博士論文，1990。

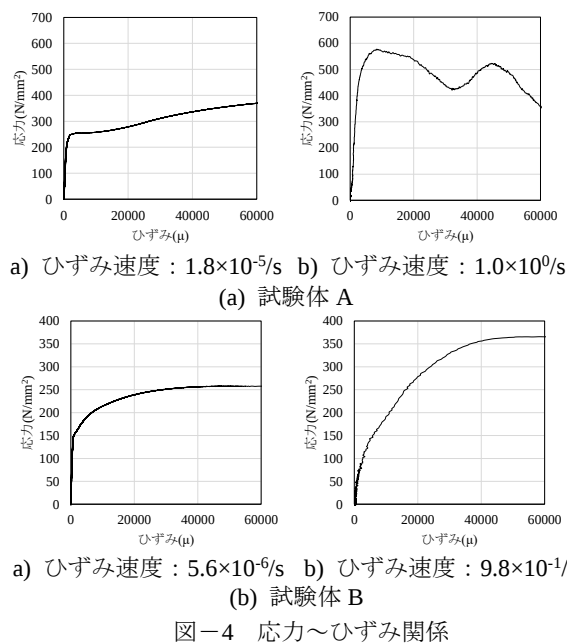


図-4 応力～ひずみ関係

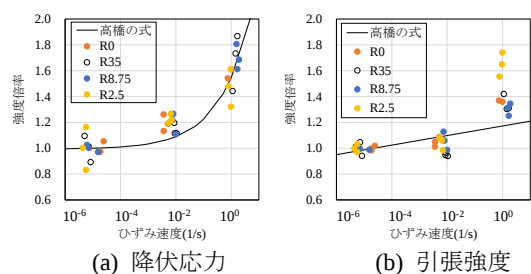


図-5 動的強度倍率～ひずみ速度関係

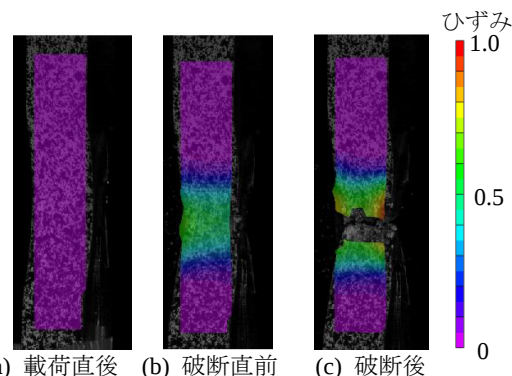


図-6 DIC により計測したひずみ分布の例(試験体 B)

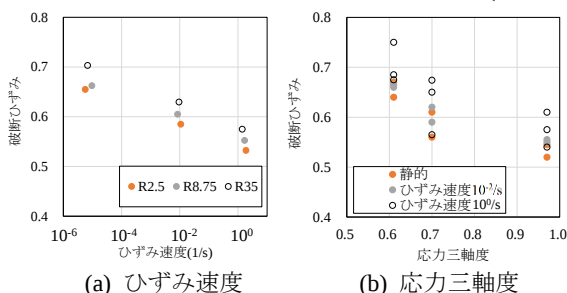


図-7 破断ひずみに及ぼすひずみ速度

および応力三軸の影響