

川崎重工業

宇田川 清

東京都立大学

堀川 浩甫

1. 諸言

この研究では、歪速度をパラメータとした応力論により、切欠きを有する鋼板の破壊を説明しようと試みた。応力論は、切欠き先端の応力が材料固有の破壊応力に達したら、破壊が発生するという考え方であり、破壊応力には、延性破壊を示す繊維状破壊応力と脆性破壊を示す劈開状破壊応力がある。繊維状破壊応力は、温度が低下したり歪速度が速くなると上昇する傾向があるのに対し、劈開状破壊応力は、それらの影響を受けにくい。そのため、部材を低温及び高速度で引張ると、繊維状破壊応力が増大し、そして、それが劈開状破壊応力より高くなると脆性破壊が発生するものと考えられる。切欠きを有する鋼板の破壊に、歪速度を考慮した応力論の考え方を適用すると次のようになる。切欠き材の切欠き先端では歪集中により他の部分よりも歪速度が速くなっている。そのため、切欠き先端では、繊維状破壊応力が増大し、そして、それが劈開状破壊応力よりも大きくなると、脆性破壊が発生するものと考えられる。以上のことを確かめるために、次のような実験と解析を行なった。まず、破壊応力に及ぼす歪速度の影響と解析の材料定数を求めるために、丸棒引張試験を行なった。次に、解析値との比較と破壊に及ぼす歪速度の影響を調べるために、円周切欠きを有する丸棒引張試験を行なった。解析では、実験と同じ応力状態とするため、有限要素法による変形を考慮した軸対称三次元弾塑性解析を行なった。

表-1 供試材の機械的性質

降伏点	引張強さ	絞り	吸収エネルギー ⁰ (J/cm ²)
26.6 kg/mm ²	52.6 kg/mm ²	66.1 %	3.2 kg-m

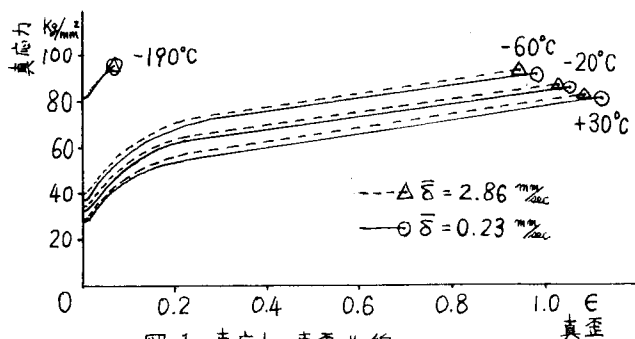


図-1 真応力-真歪曲線

2. 供試材及び試験方法

供試材には、表-1に示すような機械的性質を持つ鋼材を用いた。丸棒引張試験には、平行部の直径14mm、長さ70mmの試験片を用いた。円周切欠きを有する丸棒引張試験では、上記の丸棒引張試験片に深さ3mmの円周切欠きを付けた試験片を用い、開口変位量 δ を測定した。両者とも破壊に及ぼす歪速度の影響を調べるため、クロスヘッドの変位速度 $\dot{\delta}$ を高速と低速に変化させて引張試験を行ない、試験温度は、室温から40℃ピッチで-78℃まで低下させた。切欠き先端半径は、切欠き形状の違いによる歪集中の影響を調べるため、1.0mmと0.1mmの2種類とした。また、劈開状破壊応力を求めるため、-190℃で丸棒引張試験も行なった。

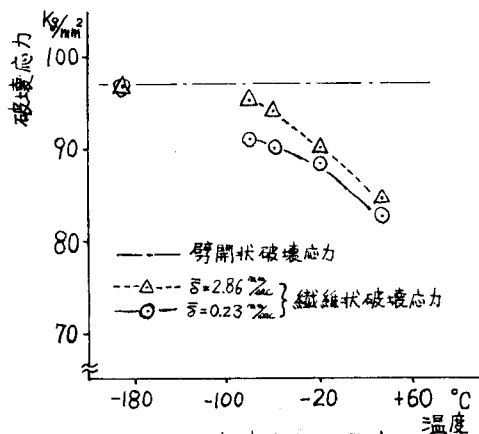


図-2 破壊応力と温度

3. 試験結果及び解析結果

丸棒引張試験から得られた真応力-真歪曲線を図-1に

示す。この真応力-真歪曲線を数式化して解析の材料定数とした。図-2に丸棒引張試験から求めた破壊応力と温度の関係を示す。この図が示すように、繊維状破壊応力は、歪速度が増加すると大きくなっているが、劈開状破壊応力は、歪速度が増加しても変化していない。円周切欠きを有する丸棒引張試験の実験値と解析値を図-3及び図-4に示す。この図の解析値は、次のような方法で歪速度も考慮した。まず、すべての要素に同一の材料定数を用いて解析する。次に、その解析結果から各要素の歪量を求め、切欠き部周辺の要素の歪量が、切欠きのない部分の歪量の何倍になっているかと調べる。そして、その倍率に対応する材料定数をその要素の材料定数として再び解析した。図-3は切欠き先端半径1.0mmの結果である。解析値は荷重の増加なしに歪が進行するくびれ破壊により計算を終了しており、この値は実験において荷重が低下し始める点と対応している。この図が示すように、実験値と解析値は、温度が低下するに従い、くびれ発生時の荷重は増加し、開口変位は少し大きくなっている。図-4は切欠き先端半径0.1mmの結果である。解析は切欠き先端の要素の相当歪が材料定数としての最大歪に達したことにより計算を終了している。この図が示すように、実験値と解析値のよい対応は見られなかった。この原因は、解析において、切欠き先端の要素の歪速度に対応する材料定数が得られず、十分に歪速度を考慮できなかったためと思われる。

4. 結言

図-5に、破壊時の開口変位と温度の関係を示す。この図が示すように、切欠き先端半径1.0mmの試験片では、実験値と解析値のよい対応が見られた。切欠き先端半径0.1mmの試験片では、前記の理由により実験値と解析値のよい対応は見られなかった。破壊に及ぼす歪速度の影響は、切欠き先端半径1.0mmの試験片では、開口変位にあまり変化はなかったが、切欠き先端半径0.1mmの試験片では、開口変位及び遷移温度に大きな影響が表われた。

以上のことから、切欠きを有する鋼板の破壊は、歪速度の影響を受け、歪速度も考慮した応力論により、ある程度説明できるものと思われる。

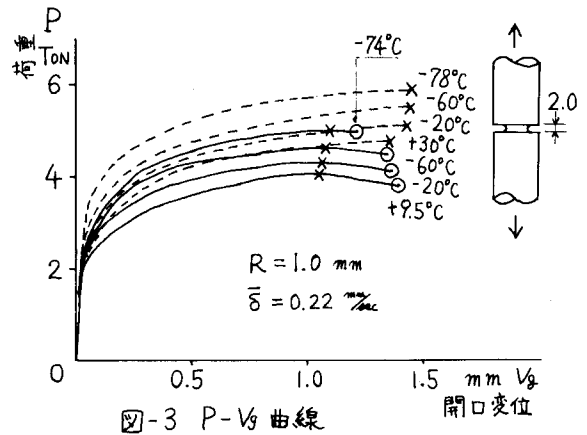


図-3 P-V_g 曲線

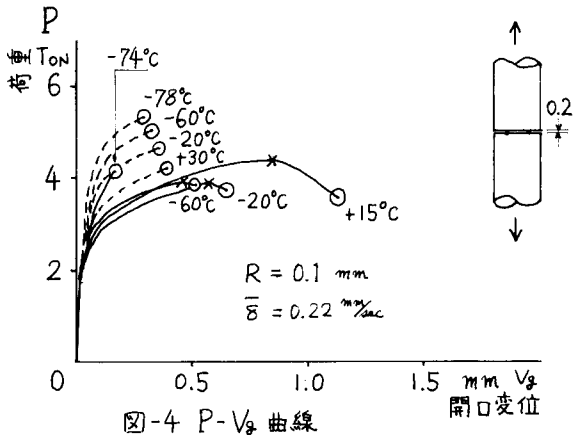


図-4 P-V_g 曲線

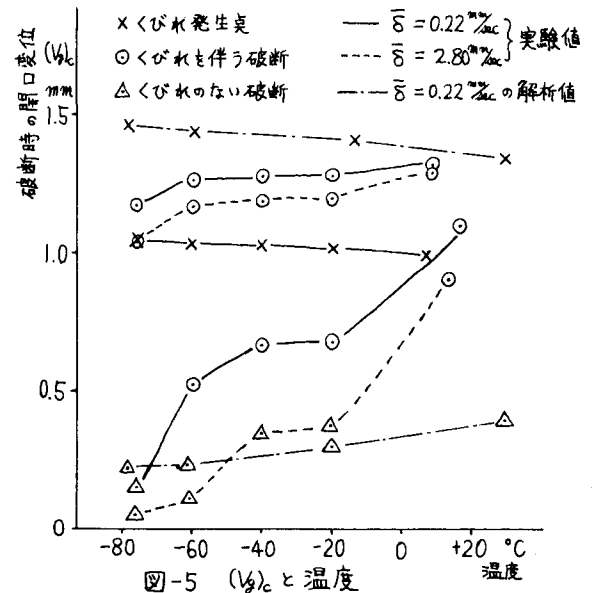


図-5 (V_g) と 温度