

AE 計測用の引張試験片形状の検討

日大生産工(院) ○佐藤 隼斗

日大生産工 小幡 義彦 日大生産工 高橋 清造

1. 緒言

アコースティック・エミッション(Acoustic Emission; AE)とは、固形材料が変形またはき裂が発生する際に、蓄えられたエネルギーを弾性波として放出する現象であり、材料評価法の一つとして早くから注目されている。近年では、構造物のき裂進行、材料の評価法に应用されている。その中で、小型材料試験でのAE計測における実用的な応用として、実用機器材料破損時や部材交換時に得られる構造部材から小型材用試験片を作製し、その材料試験時に得られるAE特性から、材質の劣化を診断する利用法がある¹⁾。しかし、試験片の形状によるAE特性に及ぼす影響に関する報告は少ないため、標準化されていない。

本研究では、黄銅を用いて塑性変形に伴うAE特性に及ぼす試験片形状の影響について明らかにした。また、高感度なひずみ計測法であるAEの測定結果を利用し、最適な引張試験片形状について検討した。

2. 実験方法および測定方法

供試材は板厚 2mm の市販の α 型黄銅板 (64 黄銅板) を使用した。試験片形状は Fig.1 に示した。平行板はつかみ部幅 25mm, R 部半径 24mm, 全長 200mm を一定とし、14B 号試験片の平行部の板幅を Table 1 に実験方法を Fig.1 に示す通り、3mm から 20mm の間で変化させた 8 種類と 13B 号試験片の計 9 種類を作製した。丸棒は全長 160mm, R 部半径 15mm, ネジ部直径 10mm, 平行部長さを 60mm とし、平行部直径を 5mm から 9mm まで 1mm 間隔の計 5 種類を作製した。

作製後、480℃で 1 時間焼きなまし処理を施した。インストロン万能試験機を用いて単軸引張試験を行い、応力および AE RMS 電圧を計測した。なお、AE にひずみ速度によ

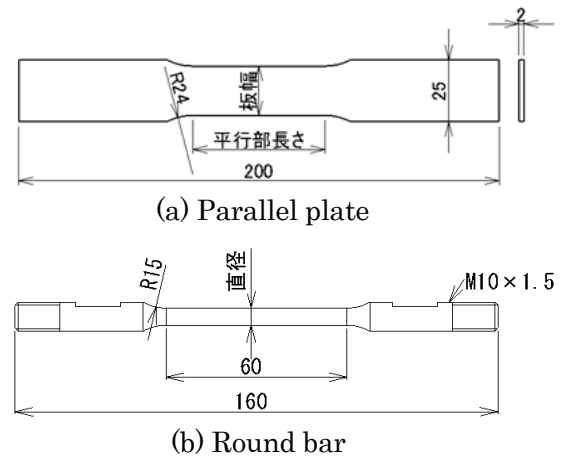


Fig.1 Shape of tensile

Table 1 Size of specimen (unit:mm)

規格	14B								13B
平行部長さ	55								60
板幅	3	4	5	10	12.5	15	17.5	20	12.5

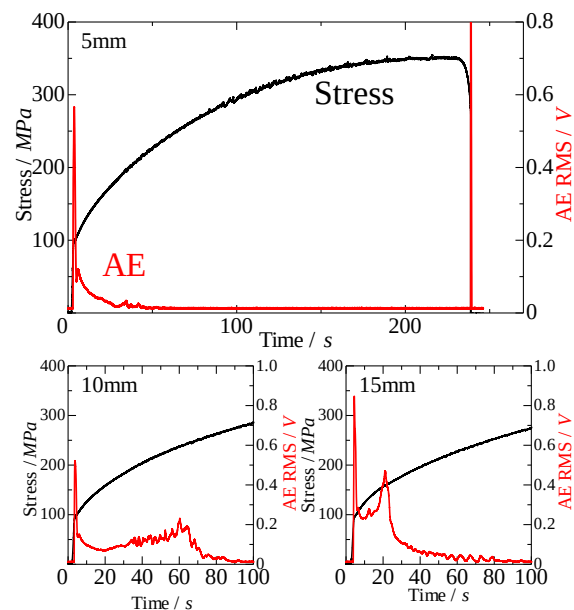


Fig. 2 AE waveform of Parallel plate

A discussion of Specimen Shape for Acoustic Emission Measurement during tensile test

Hayato SATOU, Yoshihiko OBATA and Seizo TAKAHASHI

る影響を及ぼさないように、全ての試験片において負荷速度を 250 秒前後で破断させるように設定した。

3. 実験結果および考察

3.1 平行板

3.1.1 AE の発生特性

各形状の塑性変形に伴い発生する AE の一例を Fig. 2 に示す。平行板の板厚 5mm のように、一般的には降伏域で AE のピークが発生し、その後加工硬化と共に減少する。しかし、板厚 10mm 以降のように、板幅が大きくなると、降伏域で AE ピークが発生し、その後、第 2 のピークが発生する結果となった。

3.1.2 機械的性質に及ぼす試験片板幅の影響

機械的性質に及ぼす試験片板幅の影響を Fig.3 に示す。引張強さは板幅が大きくなるにしたがい若干低下したが、これ以外の機械的性質は板幅の影響は認められなかった。降伏域の AE ピーク電圧発生時の応力(σ_{AE})も板幅の影響を受けない結果となった。一方、AE 第 2 ピーク発生応力(σ_{2AE})は、板幅が大きくなるにしたがい急激に低下し、板幅が小さいほど引張強さに近づき、板幅が大きいほど 0.2%耐力に近づく結果となった。

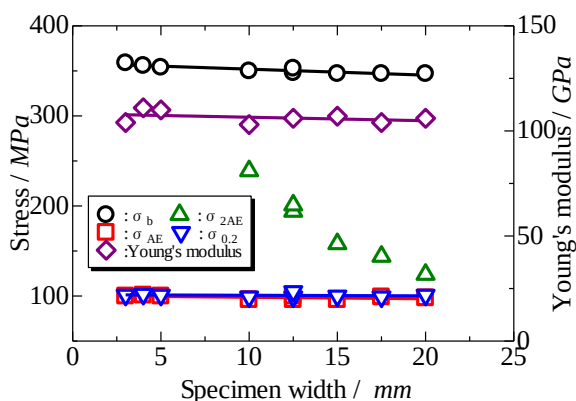


Fig. 3 Relationship between mechanical properties and specimen width

3.1.3 試験片変形量に及ぼす試験片板幅の影響

試験片板幅と伸びの関係を Fig.4 に示す。伸びは試験終了後の平行部標点間距離から求め、クロスヘッド変位は、試験開始から試験片破断までのクロスヘッド変位量である。伸びは、試験片板幅が大きくなるにしたがい若干増加する傾向があるが大きな違いはみられ

なかった。それに対し、クロスヘッド変位は板幅が大きくなるにしたがい急激に増加した。板幅 20mm では 2 倍ほどの大きくなった。クロスヘッド変位は一般的に、試験機のバックラッシュやあそびなどがあるため誤差が生じ、標点間距離から求めた伸びより若干大きくなる傾向がある。しかし、この大きな増加量はこれでは説明できない。

このクロスヘッド変位は右肩上がりで AE 第 2 ピーク発生時の応力は右肩下がりに対応していると考えられる。ここで、第 2 ピークの発生要因をつかみ部の変形によるものと仮定すると、板幅が小さいほどつかみ部の変形開始が遅くなることで、変形の時間が短いために変形量は小さくなり、逆に板幅が大きいほど変形開始が速くなり変形時間が長いことで変形量が大きくなったと考えられる。

すなわち、引張強さなど機械的性質は、試験片形状にあまり影響を受けないが、AE 特性は試験片つかみ部の変形に大きな影響を受け、AE 試験固有の試験片形状の検討が必要である。たとえば、変形部の寸法がより小さな形状が最適であると考えられる。

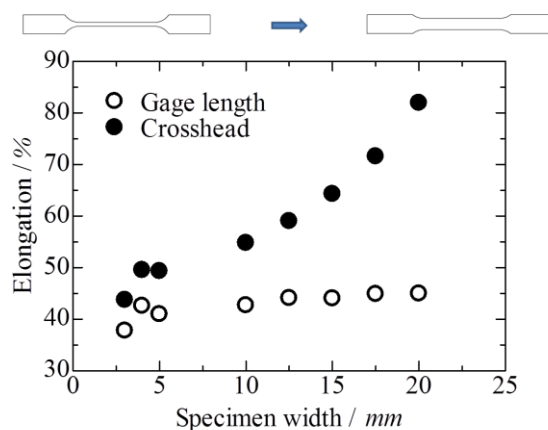


Fig. 4 Relationship between elongation and specimen width

3.1.4 AE 発生特性に及ぼす試験片形状の影響

降伏点付近で発生する AE の代表値として実効値電圧の最大値 V_{rms}^{max} がよく使用されており、いろいろな材料パラメータとの対応が付けられ、変形機構解明の有力なパラメータの 1 つとなっている。以下、降伏点付近での V_{rms}^{max} をピーク電圧と表記する。試験片板幅と降伏域 AE ピーク電圧との関係を Fig.5 に示す。板幅が 3mm から 20mm まで約 6.7 倍増

加すると、ピーク電圧は約 2.2 倍増加した。

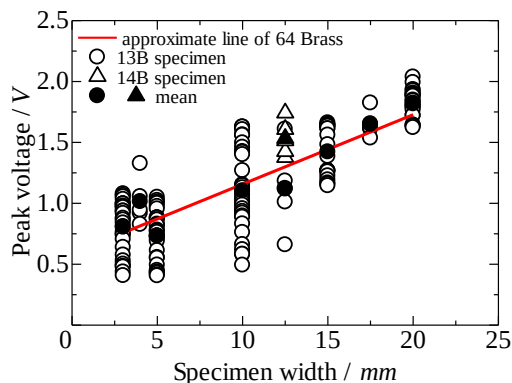


Fig. 5 Relationship between AE peak RMS voltage and specimen width

事象のエネルギーは AE 信号の瞬時値を $V(t)$ としたとき、瞬時値の 2 乗積分の値に比例しているであろうと仮定し、相対値として AE エネルギー E は次式で定義される²⁾。

$$E = \int_0^T V(t)^2 dt$$

ここで、 T は 1AE 事象の持続時間である。従って本実験において、AE エネルギーは比較的活 AE が比較的活発な試験開始から 200 秒までの AE 実効値電圧を 2 乗し、時間積分をして求めた AE エネルギーと試験片板幅との関係を Fig.6 に示す。ばらつきが大きい、ほぼ比例関係を示した。その増加率は AE ピーク電圧よりも大きくなった。

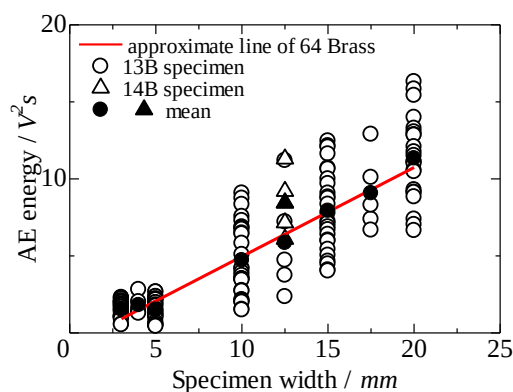


Fig. 6 Relationship between AE energy and specimen width

3.1.5 第 2 ピークの発生要因

Fig.2 に示したとおり、第 2 ピークは板幅が大きくなるに伴い増加する傾向となっている。また、板幅が大きくなると、第 2 ピークの発生時間が早まる傾向が見られた。この確認をするため、FEM 解析を行った。その結

果を Fig.7 に示す。0.2%耐力は板幅 5mm、板幅 15mm とともに 101MPa となっている。

板幅 5mm の試験片では、つかみ部に 82MPa の応力が生じている。つかみ部に生ずる応力が 0.2%耐力以下であるため、つかみ部は変形していないことが分かる。これに対し、板幅 15mm の試験片では、つかみ部に 225MPa の応力が生じている。つかみ部に生ずる応力が 0.2%耐力以上であるため、つかみ部が塑性変形していることが分かる。

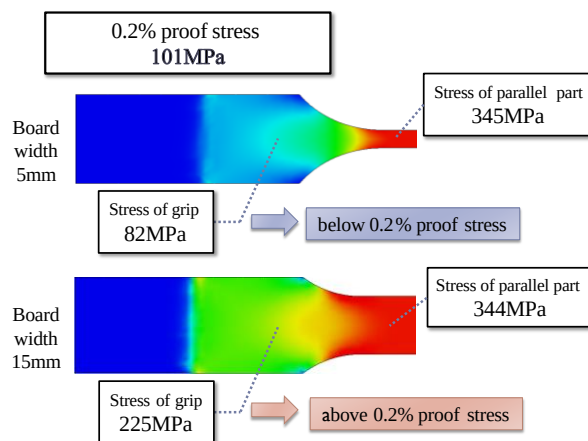


Fig. 7 Results of stress analysis of specimen

3.2 丸棒

3.2.1 AE の発生特性

各形状の塑性変形に伴い発生する AE の一例を Fig.8 に示す。丸棒においても、平行板と同様に直径が大きくなるに伴い、降伏域で AE ピークが発生し、その後、第 2 のピークが大きくなる結果となった。直径 8mm は平行部ではなくネジ部で破断したため、破断時間が 150 秒前後になっている。直径 9mm の場合も同様の理由で破断時間が 100 秒前後となっている。

3.2.2 AE の発生特性

試験片板幅と降伏域 AE ピーク電圧との関係を Fig.9 に示す。ばらつきは大きい、平行部の直径が 5mm から 9mm になるとピーク電圧は約 1.2 倍増加した。AE エネルギーと試験片板幅との関係を Fig.10 に示す。AE エネルギーにおいても平行板と同様に、直径が大きくなると平行板と同様に AE エネルギー共に大きくなる傾向が見られる。直径 8mm、9mm の場合、破断時間が 200 秒より短い

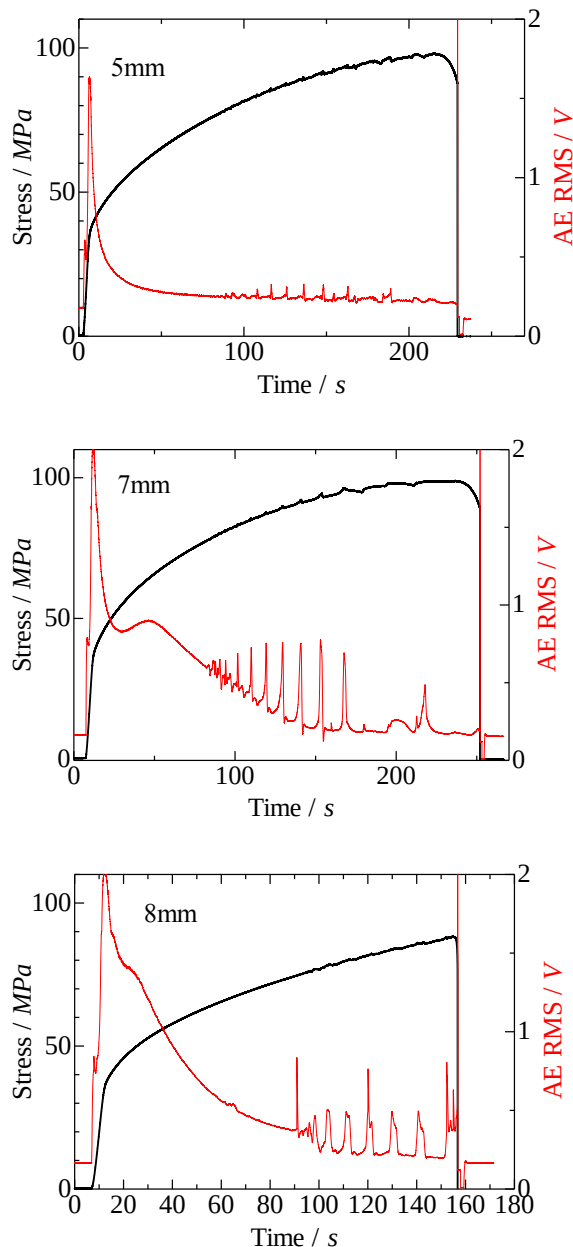


Fig. 8 AE waveform of Round bar

で、Fig10 に示す値になっている。しかし、ネジ部ではなく平行部で破断し、破断時間が250 秒前後となった場合には、AE エネルギーがさらに大きくなると考えられる。

4. 結言

- 1) AE 発生特性は、板幅 5mm 以下では同じであったが、板幅 10mm 以上では板幅の増加に伴い発生時の応力が減少する第 2 ピークが観察された。
- 2) 試験片板幅が大きくなるに従い、0.2% 耐力、引張強さが低下する傾向になった。

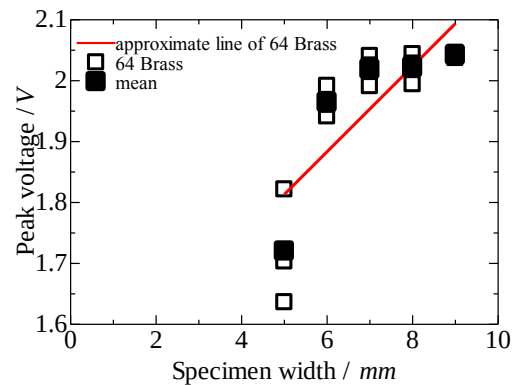


Fig. 9 Relationship between AE peak RMS voltage and specimen width

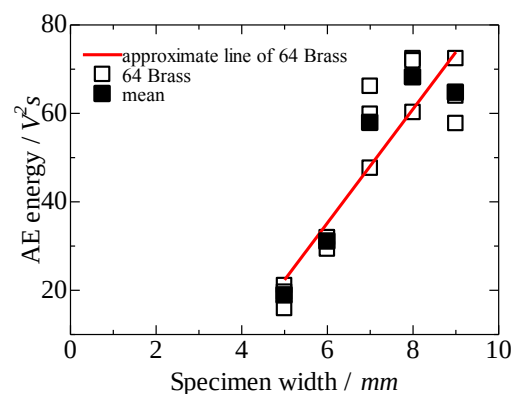


Fig. 10 Relationship between AE energy and specimen width

- 3) 最適な試験片形状としてつかみ部の幅の差を、板幅の 5 倍まで大きくした 13B 号試験片を選定すればよいと考えられる。
- 4) AE ピーク電圧は板幅によらず発生したが、その大きさは板幅が約 6.7 倍になると約 2.2 倍となった。
- 5) AE エネルギーは板幅に比例し、約 9.1 倍の増加傾向となった。ただし、第 2 ピークの影響により単純比較はできない。
- 6) 丸棒においても、平行版と同様、ピーク電圧、AE エネルギーは直径が大きくなると、増加する傾向が見られた。

「参考文献」

- 1) 仲佐博裕,「アコースティックエミッションの理論と実際」, 地人書館, (1994), pp. 179-183.
- 2) 社団法人 日本非破壊検査協会,「アコースティック・エミッション」, 社団法人 日本非破壊検査協会, (1990), pp. 32-33.