真鍮における AE 特性に及ぼす試験片寸法効果

日大生産工(院) 〇小尾 竜也 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, 固体材料が変形または亀 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る. 近年において AE は, 構造物の亀裂進行, 材料の評価法に応 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, 現状として, 試験片の 形状によって AE 特性にどのような影響を及ぼ すのか, といった最も基本的なところが明確にな っていない.

そこで、本研究では、材料から放出される AE 信号のみの諸特性を選択的に調べることが可能 であり、最も基本的な材料試験である単軸引張 試験を行い、試験片形状が異なる場合、試験片 形状とAEとの関係について調べた.また、同様 な試験において適切な試験片形状について検 討を行った.

2. 実験方法

供試材は板厚 2 mm および 3 mm の市販の 64 真鍮板を使用した. 試験片形状は JIS Z2201 に規定されている 13B 号試験片(定型試 験片), 14B 号試験片(比例試験片)を選定し,板 厚 2 mm のものを 13B 号試験片,板厚 3 mm のものを 14B 号試験片とした. 試験片の基本形 状を Fig. 1 に示す. 13B 号試験片の形状は一 定, 14B 号試験片については平行部幅を 3 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm と変化させた 計 6 種類の試験片を作製した. Table 2.1 に示 す通り各試験片を試験片 A, B, C, D, E, F として表記する. 試験片は作成後, 450 °Cで 1 時間焼きなまし処理を施した. 焼きなまし処理 を施した試験片を, インストロン万能試験機を用 いて, 引張試験を行い, 荷重および AE RMSを 計測した. なお, 本実験の引張試験での負荷速 度は, 全ての試験片において 250 秒前後で破 断させるように設定した.



Fig. 1 Shapes of specimens.

Table 1 Shapes of specimens.

13B	番号	板厚	板幅
号	А	2 mm	$12.5 \mathrm{~mm}$
14B 号	В	3 mm	3 mm
	С		$5~\mathrm{mm}$
	D		10 mm
	E		15 mm
	F		20 mm

Specimen Size Dependence on Acoustic Emission during Plastic Deformation of Brass. Tatsuya OBI, Yoshihiko OBATA and Seizo TAKAHASHI

実験結果および考察

3.1 試験片形状による応力差

Table 2 に各試験片の引張強さと降伏強度に ついて示す.表中の数値は各試験片の平均値 である. Table 2 より, 試験片 A と試験片 B~F と ではどちらの応力値も約 50 MPa とかけ離れた 数値差が出ていることが確認できる.これについ ては,発注を行った材質とは別の材質の可能性 があるため,規格外の試験片も作製し,試験す ることで現在調査中である. 次に引張強さにお いて,試験片 B~F を比較すると,おおよそ近い 数値を示しているが試験片 C のみ若干高い数 値を示している.また,降伏強度については,試 験片Bのみ若干低い数値を示す結果となった. 以上のように、JIS で規格化された試験片形状 であるにも関わらず両方の応力値に誤差が発生 しているため、AE にも何らかの影響を与えてい るのではないかと考える.

Table 2 Tensile strength and Yield strength

bureing titt.				
番号	$\sigma_{\rm B}$	σ_{ys}		
А	353 MPa	100 MPa		
В	407 MPa	148 MPa		
С	413 MPa	161 MPa		
D	406 MPa	159 MPa		
Е	407 MPa	161 MPa		
F	407 MPa	159 MPa		

3.2 試験片形状に現れる AE の違い

AE は、材料内での急激かつ局所的な応力 緩和によって発生する弾性波であり、塑性変 形はすべりの集合した変形帯の伝播によって 生ずるものであるから, 塑性変形に伴う AE は,材料の変形の不均一性によるものである. 変形の不均一性が最も大きくなる塑性変形開 始時すなわち降伏点付近で AE は最も活発に なる. そのため一般的に, 塑性変形に伴う AE 発生の大まかな流れは、降伏域で AE ピークが 発生し,その後加工硬化と共に減少していき破 断の瞬間にまた増加する形となる.

今回計測された各試験片の塑性変形に伴い 発生する AE の一例を Fig. 2 に示す. Fig. 2 よ り, 試験片A, E, Fに見られるように, 降伏域以 降に第2のピークが発生しているものや、試験 片Dのように降伏域後もほぼ収縮せず波形が出 ているものなど、試験片形状によるAEの発生パ ターンに違いが発生していることが確認できた. また,平行部幅が減少するに伴い,第2ピーク は減少する傾向にあり,発生する位置も変化す ることが確認できた.

一般的なAEの発生パターンについては前述 のとおりであることから、降伏点付近で一度ピー クが発生し、その後に第2ピークが発生している 真鍮板においては,試験片平行部以外の変形 または、試験片平行部のすべり変形以外の何ら かの要因により AE が発生していると考えられる. この発生要因については、試験片掴み部および R 部の変形から発生したものだと考えられる.こ の結果について、仮に平行部幅 5 mm = 1 kN で降伏すると仮定すると, 掴み部 25 mm は 5 kN で降伏する. 試験片 E は平行部幅 15 mm であるので3kN, 試験片Cは1kNで降伏する ことになる. 試験片 E において平行部幅と掴み 部の降伏する応力の差は約1.7倍に対し、試験 片 C では5 倍である. 従って, 試験片 E におい ては, 平行部と掴み部およびR部の降伏応力の 比が小さいために, 平行部のみの変形に留まら ずに掴み部およびR部まで変形し,その影響に より第2ピークが発生し、試験片Cはこの比が大 きいため平行部のみの変形に留まり第2ピーク は発生しなかったと考えられる.また,第2ピーク の発生位置については、試験片FとEを比較す ると, 平行部幅が細い試験片 E の方が遅れて発 生していることから, 平行部幅が減少するにつれ て発生位置が後退していくと予想し, 追加実験 により確認を行う.

降伏域後に発生している微小な AE について

は、 鋸刃状の荷重曲線が見られることからボルト ヴァン・ルシャトリエ効果(P-L 効果)によって発生 しているものだと考えられる.



Fig. 2 Relationships between tensile stress and AE wave.

3.3 ピーク電圧

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Vmax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^{max}をピーク電 圧と表記する.

各平行部幅とピーク電圧との関係を Fig. 3 に 示す. グラフ中の黒塗りプロットは各平均値であ る. Fig. 3より, 平行部幅が増加するとともにピー ク電圧も増加する傾向にあることが分かった.こ の結果からピーク電圧は少なからず試験片形状 の影響を受けていると考えられる.この理由とし て降伏応力は,材料中の転移の運動によって大 規模なすべり変形が始まる応力であるが, すべり 変形によって塑性変形が起こると, ひずみ量が 顕著に大きくなり、ひずみを増加させるためには、 更に負荷応力すなわち変形応力を増加させな ければならない.ここで,ピーク電圧は降伏域で 発生した最大 RMS 電圧であるため, 単純に試 験片の平行部幅が大きいほど, AE の発生源と なる降伏する結晶粒の割合も多くなることから、 ピーク電圧は増加したと考えられる.





3.4 AE エネルギー

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⁾.

$$\mathbf{E} = \int_0^T \mathbf{V}(\mathbf{t})^2 \, \mathrm{d}\mathbf{t}$$

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 発に AE が発生している試験開始から 200 秒ま でに計測された AE 実行値電圧を二乗し, それ を時間積分して求めた.

各試験片形状とAEエネルギーとの関係をFig. 4 に示す. Fig. 4 より, 平行部幅が増加するとと もに AE エネルギーも増加する傾向にあることが 分かった.

ここで、AE の結果を比較する上で比較の前 提となるのは、条件 1. 試験片形状を変えても機 械的性質が変わらない. 条件 2. AE 発生パター ンが変わらない. 以上の条件が満たされなけれ ば単純な比較はできない. Fig. 2より、条件 1 は 少々の誤差はあるがクリアしている. 条件 2 は降 伏域のピーク値の絶対値は違うが発生パターン は同じであるのでクリアしている. しかし、降伏域 後は平行部幅の減少に伴い第 2 ピークも減少し ていき、AE の発生パターンに違いが生じた. AE エネルギーは全体の AE の活動度を比較し ているものであり、比較の前提条件が崩れたた め単純に比較することができない結果となった.



geometry and AE energy.

3.5 AE のばらつき

Fig. 3 および Fig. 4 より, AE の計測値には, ばらつきが大きいことが分かり, 試験片形状の違 いによりばらつきの大きさは異なるように見える. ばらつきを抑制できる試験片形状を調べるため に各試験片形状とピーク電圧および AE エネル ギーのばらつきの関係をまとめ Fig. 5 に示す. Fig. 5より, 平行部幅が大きいほどばらつきは少なくなる傾向にあることが確認できた.





Fig. 5 Relationship between specimen geometry and coefficient of variation.

- 4. 結言
- 1. JIS で規格化された試験片においても, 試験片形状による引張強さおよび降伏応力 に違いが生じた.
- 2. 真鍮板の塑性変形における AE は平行部 幅に比例して発生し, 第 2 のピークの影響 により, 発生パターンに違いが生じた.
- 平行部幅が減少するにつれて、第2ピーク も減少した.また、第2ピークの発生要因は 試験片掴み部およびR部の変形によるもの だと考えられる.
- ピーク電圧, AEエネルギーともに平行部幅 の変化に比例して増加したが, AEエネル ギーは比較の前提条件を満たさなかったた め単純比較できない結果となった.
- 5. 真鍮板においては, 第2のピークの発生を 抑えるためには, 掴み部とR部の影響を受 けにくい, 掴み部と平行部の差が大きい試 験片が適していると考えられる.

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.