

鋼における A E 発生と切欠部の変形形態について

島田 道男*・榊 昌英*
勝又 健一*・神尾 昭*

Study on the Characteristics of AE Generation Relating to the Deformation Mode in Notched Part of Steel

By

Michio SHIMADA, Masahide SAKAKI,
Kenichi KATSUMATA and Akira KANNŌ

Abstract

AE characteristics of notched specimen were studied in view of deformation mode. Concerning to these characteristics there have been many researches which were undertaken mainly related to the fracture mechanics parameter K. However, there seems to be some limitations of it's treatment. For example, while AE mainly generates in the elastic plastic transition region, K-value is useful only in small deformation region. These situations seem to be improved by considering the deformation mode in notched part.

In order to investigate the effect of deformation mode on AE generation in bending and tensile tests, experiments were conducted changing the size and shape of notches of test specimens. The experimental results showed that AE generation in notched part was closely related to the behavior of slip lines started at the notch bottom.

In addition to the above experiments, AE characteristics of several kinds of steel and their weld part were studied using notched specimens. The result showed that AE generation in ordinary carbon steel became more active with the increase of carbon content, but in 50 and 60 kg/mm² in tensile strength steel the relation mentioned above was not clear due to the effects of chemical composition and microstructure. As for the weld part, there were very low AE activities in weld metal and very high in HAZ.

目 次

	頁		頁
1. まえがき	39	3.1 切欠底破壊様式と A E 発生特性	40
2. 実験装置	40	3.2 切欠形状と A E 発生特性	42
2.1 試験装置	40	3.3 曲げ及び引張り試験における A E 特性の比較	45
2.2 A E 計測装置	40	4. 各種鋼及び溶接部の A E 発生特性	47
3. 切欠部の変形形態と A E 発生特性	40	5. 小型試片と大型試片の A E 特性の比較	50
		6. ま と め	50

1. ま え が き

A E (Acoustic Emission, アコースティックエミッション) とは鋼材等に荷重が加わった際に、材料内部に弾性波を生じる現象である。このような A E 波の発

生は材料の変形及び欠陥からの破壊過程と密接に関連している。したがって非破壊試験の分野では、構造物の載荷試験中の A E を計測することによって欠陥を検出し評価する方法が考えられた。この A E 試験法は従来の非破壊試験が放射線や超音波を用いて静的な欠陥

* 溶接工作部

原稿受付：昭和58年12月8日

を検出することに対し、荷重を加えることによって生じるAEを計測し危険な状態の欠陥を検出する点で、動的な非破壊検査法と言われている。またAE試験法は発生したAEを受動的に計測することから、試験の自動化がきわめて容易である等の利点があり、その実用化が期待されてきた。

非破壊試験としてAE試験を考えると、低荷重で小さい欠陥より発生するAEを検出する必要がある。これらの点については従来から破壊力学パラメータK値とAE発生特性の関係を中心として調べられてきたが、まだ疑問点があると考えられる。第一にこれらの試験は材料試験として行われており、試験片形状がほぼ一定である。したがって欠陥の形状、大きさが異なる場合に観測されるAE発生特性の差異について説明できないと思われる。第二にはAEの発生が材料の弾塑性遷移領域で多いことを考えると、K値による整理にも限界があると思われる。第三に試験形式が異なる場合のAE発生特性の差異についても明らかに出来ないとと思われる。同じ形状の欠陥でも曲げと引張りではAE発生特性が異なるであろう。以上の問題点はAE発生特性の理解に、K値だけでなく材料の変形形態の考慮も必要であることを示していると考えられる。

そこで曲げ試験を中心とした実験を行い、切欠形状とAE発生特性の関係及び曲げと引張り試験のAE発生特性の違いを比較検討し、AE発生特性と変形形態の関係を調べた。

またAEの発生には変形形態だけでなく材料側の要因も影響するので、ここでは代表的な50キロ級及び60キロ級鋼と組成の単純な炭素鋼のAEを比較し、溶接部については溶接金属部及び熱影響部と母材のAE発生特性を比較した。溶接金属部についてはAEが非常に少ないので、その原因を調べるため焼鈍した材料を用いて溶接熱応力履歴の効果についても検討した。

2. 実験装置

2.1 試験装置

AEは主に図1に示す曲げ試験機により切欠付き曲げ試験片を用いて発生させた。AEの検出にはきわめて高感度のAE計測システムを用いるため、わずかな機械的こすれもAEノイズとなるので、図1に示すとおり油圧ジャッキの上下2カ所にベアリングを設け、また変形速度を低く(油圧ジャッキ変位速度 $\sim 10\text{mm}/5\text{min}$)することにより、ノイズの発生を防いだ。

2.2 AE計測装置

AEの計測はNORTEC社製AEMS-4型AE計測

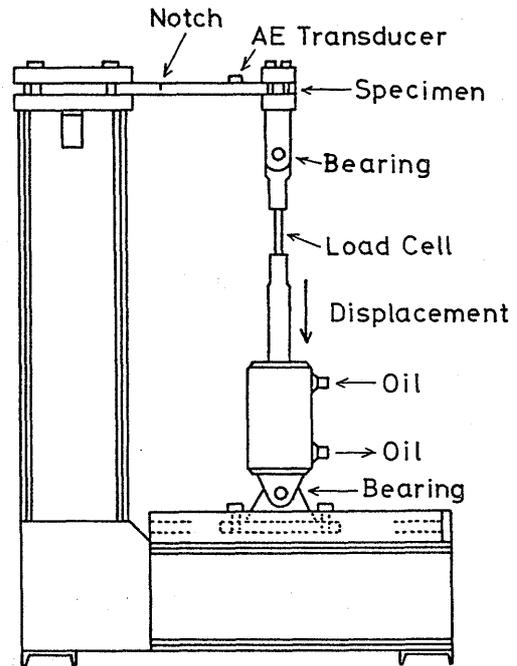


図1 AE発生用曲げ試験機

装置によって行い、同時に荷重、変位、CODも計測してデータレコーダに記録した。全体のシステムを図2に示す。AEの計測では低い周波数のノイズを除去するため、100kHzのハイパスフィルターを用いた。計測したAEはピーク検波波形を高速ペンレコーダに入力するか、イベントカウンタにより事象総数に直して整理した。その際AE振幅はプリアンプ入力換算値で示した。AE変換子は当初NORTEC-VZ 1/2 1/4 T型を用いたが、後により使いやすいフジセラミックAE-174S型が市販されたのでそれを用いた。双方の変換子とも170kHzの共振周波数を有するが、AE-174Sの方が約2倍の高感度である。

3. 切欠部の変形形態とAE発生特性

切欠部のAE発生特性は図3に示す切欠試験片を用いて、NORTEC-VZ 1/2 1/4 T型変換子を用いて調べた。供試材の性質を表1に示す。

3.1 切欠底破壊様式とAE発生特性

3種の鋼のAE計測例を図4に示す。AE Ampは高速ペンレコーダの出力である。HT-60が最も多く、HT-80ではやや少ないAEが発生するが、SM41ではAEが観測できなかった。HT-60及びHT-80とも鋼材が降伏する付近で最も多くAEが発生した。SM41とHT-

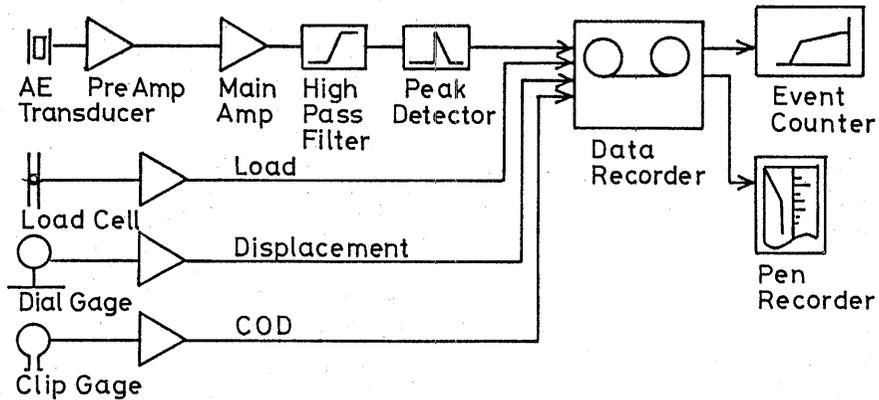


図2 AE計測装置

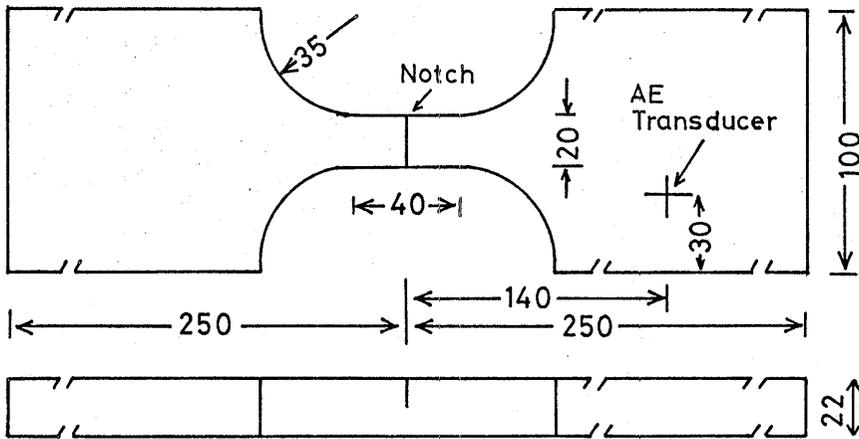


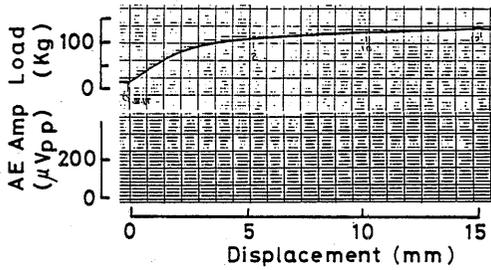
図3 曲げ試験片

	Chemical Composition (%)										Tensile Test		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Mo	B	Y.P(Kg/mm ²)	T.S(Kg/mm ²)	EL (%)
SM 41	.16	.21	.68	.018	.017						26	42	31
HT-60	.17	.42	1.31	.016	.003	.21	.06				49	63	32
HT-80	.12	.24	.85	.017	.005	.82		.18	.42	.11	78	85	22

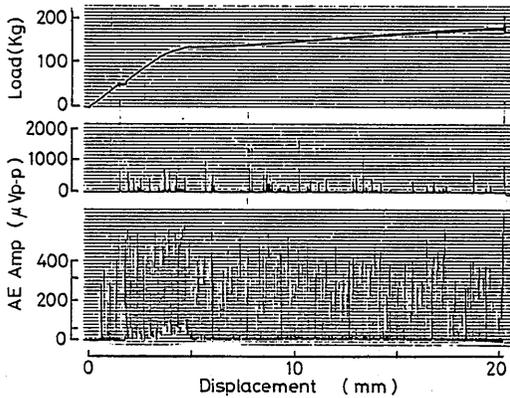
表1 供試材の化学成分及び機械的性質

60についてAE計測後切欠底を走査型電子顕微鏡で観察すると写真1に示すとおり、双方とも一種の延性的な割れと考えられる裂け目(深さは浅い)が生じ、破壊が始まっていることが解る。しかし双方のAE発生の差異を考えると、このような割れはAE発生に関係しないと考えられる。また図5はHT-80の試験片を大きく曲げた例であるが、Crackと示した位置から切欠底に目視できる割れを生じた。図中のAE Amp > 50μV_{p-p}は50μV_{p-p}のAE振幅をスライズレベルとし

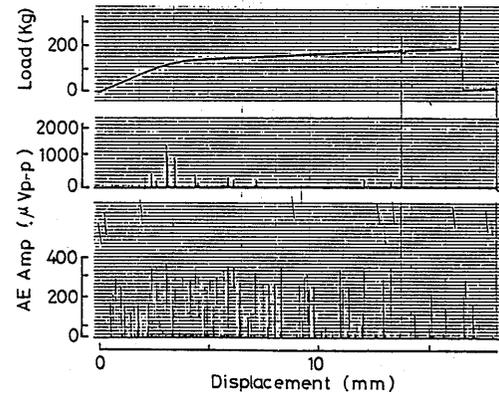
てAE事象数を求めたことを示す。他も同様である。AE事象数は目視できる割れの発生、進展によってもほとんど増加しなかった。延性的な割れがゆっくり進展する場合にはAEがほとんど発生しないと考えられる。したがってHT-60及びHT-80において計測されるAEはほとんど塑性変形により生じたと考えられる。



(a) SM-41



(b) HT-60



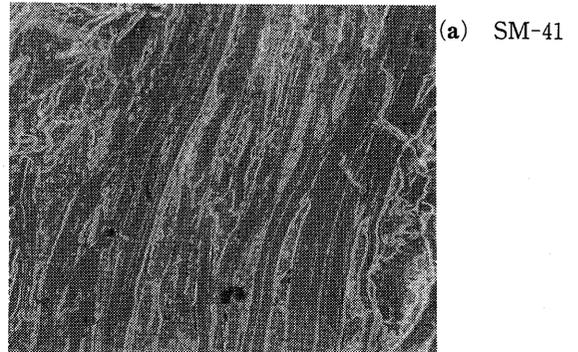
(c) HT-80

図4 AE発生状況

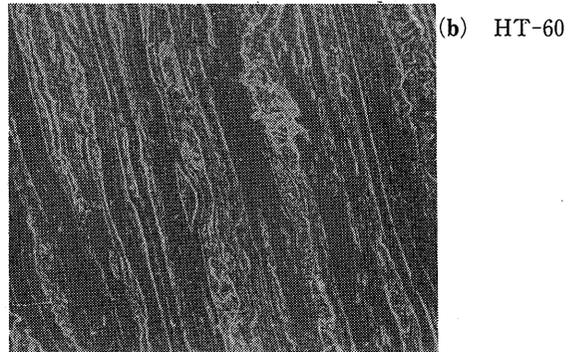
3.2. 切欠形状とAE発生特性

AE発生に及ぼす切欠の寸法効果を調べるため、HT-60を用いて切欠底の曲率、深さ、試験片の幅をパラメータとしてAEを計測した。AEは油圧ジャッキ変位0～5mm(鋼材は完全に降伏する)で計測した。

図6は切欠底曲率 ρ と計測されたAE事象数の関係



(a) SM-41



(b) HT-60

写真1 曲げ試験片切欠底の変形の様子
(走査型電子顕微鏡写真(×1000)
線の不連続或は複雑な個所は表面割れである)

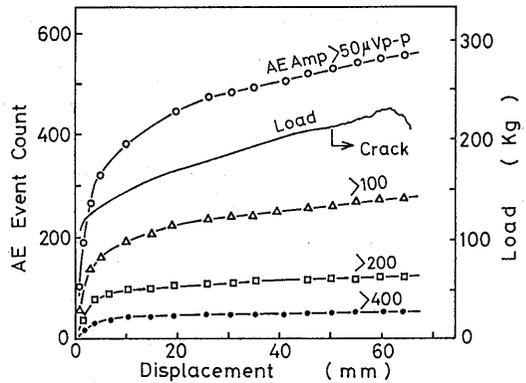


図5 クラック発生変形時のAE特性(HT-80, 延性割れが生じた場合)

を示す。切欠底が鋭い場合はほぼ一定の事象数となったが、切欠底曲率が3mmを超すと事象数が少くなる。また曲率が大きい場合の極限である切欠き無し試験片では全くAEが観測されなかった。試みにその表面歪を計測すると図7のとおりであり、試験片の一部で塑性変形が進み大きな塑性歪を生じていることが解る。こ

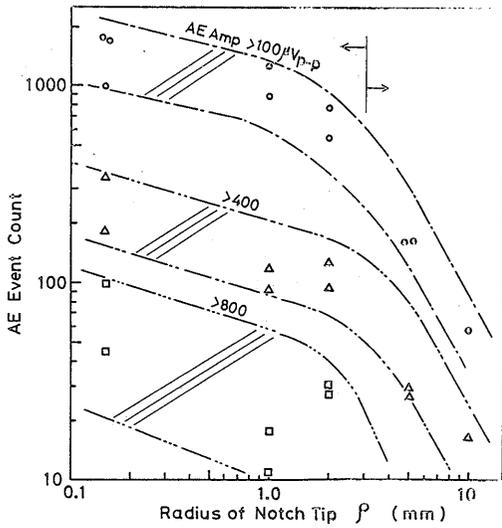


図6 切欠底曲率半径とAE事象数 (HT-60)

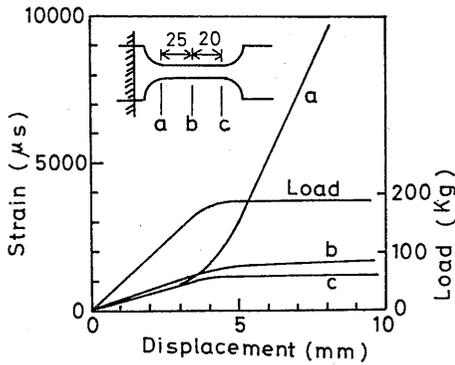


図7 平滑試験片の表面歪

の塑性変形の体積は切欠付き試験片より大きいことを考慮すると、AE発生特性は単なる塑性変形の体積では説明できず、塑性変形の形態の考慮も必要と考えられる。そこで、塑性変形の形態をすべり線を用いて表現するカチャノフらの研究⁽¹⁾を引用すると、平面歪状態のもとで切欠先端より発達するすべり線は切欠先端の曲率 ρ により図8に示すとおり2通りに分けられる。 ρ が小さいと切欠先端直下にすべり線の生じない剛体部が生じ、剛体部分の外側に沿って孤立すべり線を生じ、あたかも剛体部分を蝶番の軸のようにして回転変形する。一方 ρ が大きいと剛体部分を生じることなく、切欠先端からたくさんのすべり線が発達する。したがってAEとの関連を考えると、 ρ が小さい場合には剛体部分の周囲に沿って瞬間的に起るすべりが多数発生し、その都度弾性エネルギーが解放されA

Eが発生すると考えられる。 ρ が大きい場合には、切欠先端の応力分布がゆるやかなため、すべり線がある面積に渡って発生し曲げ変位と比例しつつ徐々にすべり線が鋼材内部に進展するため、弾性エネルギーの解放がスムーズに行われ観測できるAEが発生しないと考えられる。

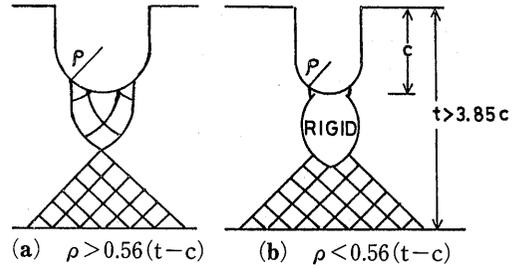


図8 曲げ試験片におけるすべり線の形態

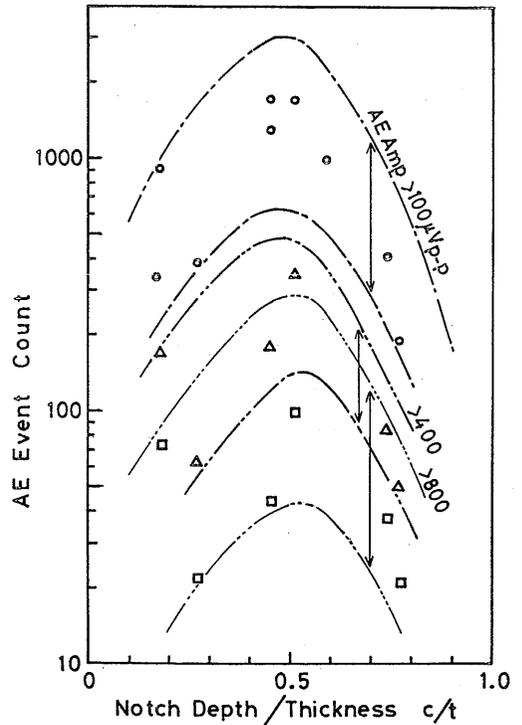


図9 切欠深さとAE事象数 (HT-60)

図9は切欠深さ c とAE発生特性の関係を示す。 t は板厚である。 $c/t=0.5$ 付近でAEの発生が最も多く、切欠がさらに深くても浅くてもAEの発生が少い。切欠が深いと切欠直下の塑性変形する体積が少くなりAE発生数が少くなる。一方切欠が浅い場合には、図10に示すとおり切欠底からのみすべり線が発生するの

ではなく、切欠の両側の表面からすべり線が発生する⁽²⁾。表面から発生するすべり線は平滑試験片で見られるものと同じタイプと考えられることから、切欠が浅いと全体の塑性変形量に占めるAEを発生しないタイプの塑性変形の比率が増すためAE発生数が少くなると考えられる。

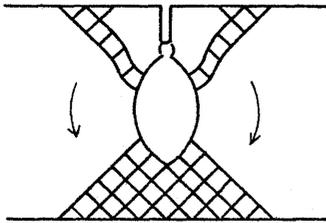


図10 浅い切欠を有する曲げ試験片のすべり線の形態

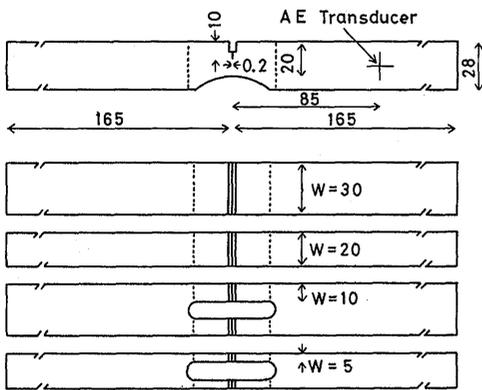


図11 幅(W)の異なる曲げ試験片

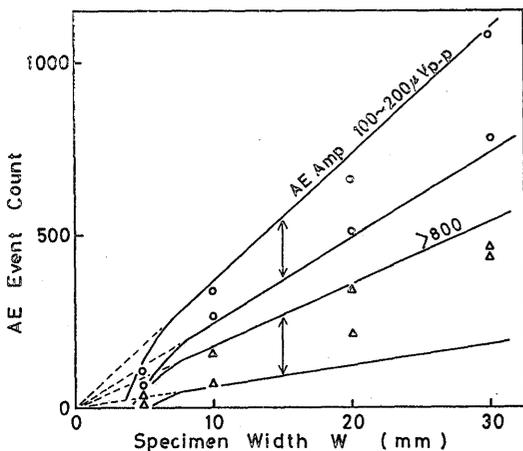


図12 試験片の幅とAE事象数 (HT-60)

(76)

図11に示す曲げ試験片を用いて調べた試験片の幅WとAE発生特性の関係を図12に示す。W>10mmではほぼAE事象数はWに比例している。これは塑性体積がWに比例しているのが当然であるが、W<10mmでは比例から推定されるAE事象数よりAEの発生が少い。幅が小さいと切欠底においても三軸的拘束のある平面歪状態ではなく、拘束の弱い平面応力状態となる。このときのすべり線はカチャノフらの研究によると、図13に示すとおり試験片両側面から発生するすべり線となる。これは形態的には平滑試験のすべり線と同じであり、AEを発生しにくいと思われる。

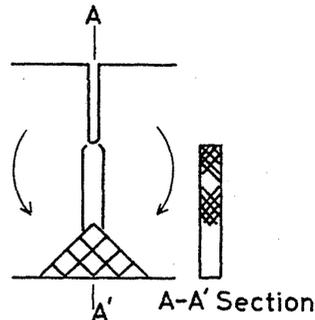


図13 幅(W)の狭い曲げ試験片におけるすべり線の形態

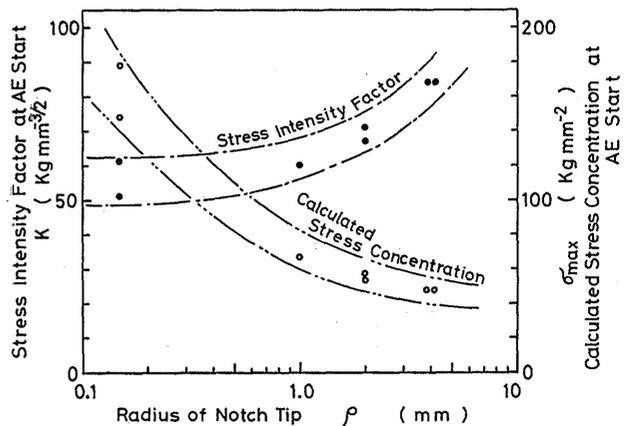


図14 AE発生開始点における切欠底曲率半径 ρ と K_1 , σ_{max} の関係 (HT-60)

AEの発生は曲げ変形が少し進行した点で急増するが、そのAE発生開始点と切欠底曲率 ρ の関係を図14に示す。AE発生開始点はAE事象数と油圧ジャッキ変位量の比例部分から外挿して求めた。 ρ が大きいか場合には正確でないが、発生開始点荷重から K_1 値を求

めると、 ρ が大きい場合にはやや大きくなるが、 ρ が小さい場合には一定値となった。また K_I 値から切欠底最大応力 σ_{max} を次式で計算した。

$$\sigma_{max} = \frac{2K_I}{\sqrt{2\rho}}$$

計算した σ_{max} は ρ が小さくなると大きくなり、 $\rho = 0.15\text{mm}$ では完全に降伏点を超している。また A E 発生開始点と切欠深さ c の関係を求めると図15のとおりである。 t は板厚である。発生開始点荷重は切欠が浅いほど大きいが、 K 値は切欠の深さに関係なくほぼ一定範囲内となった。以上のことから A E 発生開始点はほぼ K 値により整理できると思われる。切欠先端の塑性域の大きさ r_p は、降伏点を σ_y とすれば

$$r_p = \frac{1}{18\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_y} \right)^2$$

であることから、A E 発生開始点は塑性域がある大きさになった時とも考えられる。

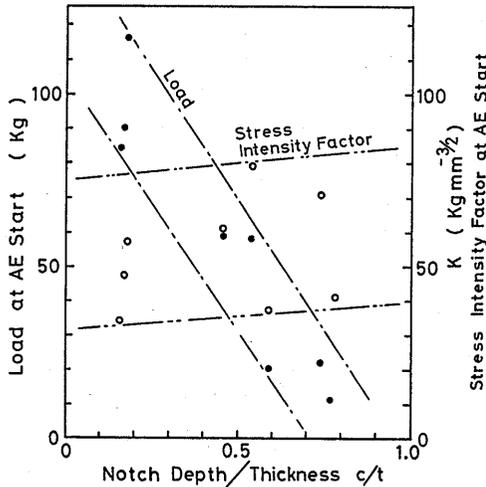


図15 A E 発生開始点における切欠深さと荷重及び K の関係 (HT-60)

以上一般構造用鋼の切欠材 A E 特性について、切欠形状と関連させて調べてきた。ここで行った実験から機械切欠試片と疲労き裂試片³⁾の間に本質的な A E 特性の差がないことが説明できる。切欠底曲率がある値以下(本実験の場合約 3 mm)では、曲率をさらに小さくしても A E 特性に大きな変化がないことから、疲労き裂と機械切欠とでは、疲労き裂導入時の荷重履歴によるカイザー効果により負荷開始時の疲労き裂からの A E が少ない可能性を除くと、A E 特性にはほとんど差

がないと考えられる。これは延性き裂発生に伴う A E が観測されないことから当然予想されることでもある。したがって A E 検査の基礎的データとしての切欠材 A E 特性は、疲労き裂試片を用いなくとも、機械切欠試片で十分調べることができると考えられる。

3.3 曲げ及び引張り試験における A E 特性の比較

図16は曲げ試験における A E 計測例 (HT-60) を荷重及び COD とともに示す。領域 A では切欠底より塑性変形が進み始め、荷重曲線が横になる変位約 5 mm になると塑性変形が全断面に行き渡る。領域 B では変形が進むものの塑性域が広がることはなく、すでに塑性化した部分がさらに変形する。未降伏部分にすべり線が発達する領域 A では A E の発生が多いが、領域 B では一度すべった部分がさらにすべるため、すべりがスムーズになり A E の発生が少くなると考えられる。

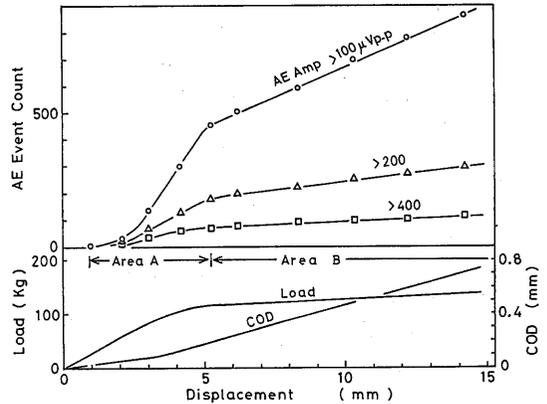


図16 曲げ試験における A E 計測例 (HT-60)

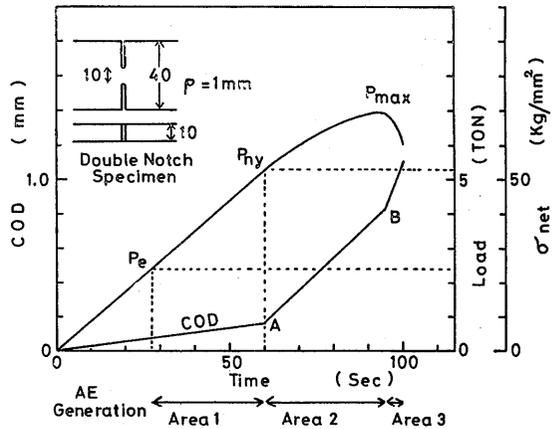


図17 引張り試験における荷重と COD の関係 (HT-60)

図17は引張り試験 (HT-60) における荷重及びCODを示す。図中の P_e は切欠底が降伏する荷重を推定したもので、次式により計算した。

$$P_e = \frac{2Bt \cdot \sigma_y}{1 + 2\sqrt{c/\rho}}$$

- 2B : 板幅
- t : 板厚
- c : 切欠深さ
- ρ : 切欠底の曲率
- σ_y : 材料の降伏応力

P_{ny} は最小断面が降伏する荷重で COD 曲線の A 点に対応する。切欠部より発生するすべり線はカチャノフ¹⁾らによると切欠底の曲率の大小により、図18(a), (b)のどちらかになる。これらのすべり線は図17の P_{ny} 点では図18の B または D 点まで達する。 P_{ny} 点を過ぎると図19において板中央部から引張り方向 (図中矢印の方向) に降伏が進行し、 P_{max} 点で点線の範囲まで広がる。 P_{max} 点を過ぎると板中央部の厚さが減少し破断する。

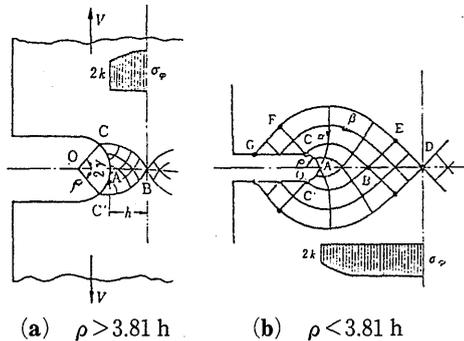


図18 引張り試験片におけるすべり線の形態

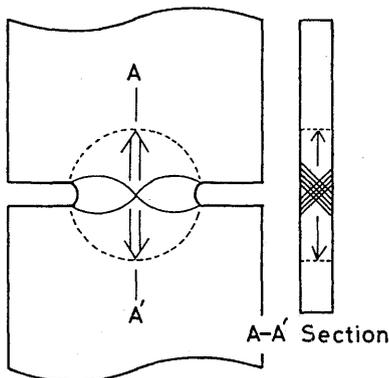


図19 引張り試験で見られる断面降伏

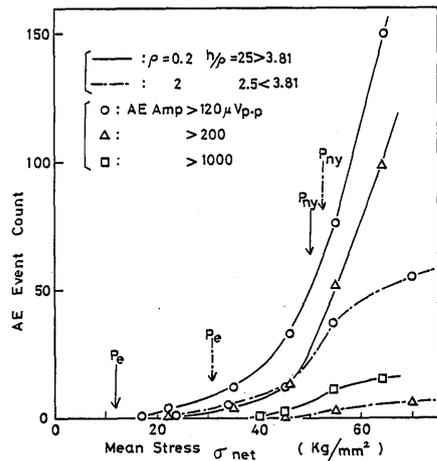


図20 引張り試験片のAE発生特性 (HT-60)

図20に切欠部の平均応力を横軸として切欠底曲率の異なる2種の試片のAE事象数を示した。AEは図17で示した P_e 点の前後から発生開始し、 P_{ny} に近づくとAE事象数が多くなる。このときAEの振幅も大きくなることが観測された。切欠底曲率 ρ との関係では、曲げ試験と同様に ρ が大きいとAEの発生が少い傾向を示した。切欠底曲率が大きい場合にはその応力集中が低く、図18(a)のすべり線からも解るとおりすべり線が切欠底のある面積にわたって発生し、切欠底から多数のすべり線が徐々に内部に向かって進展することにより塑性が進行する。この様なすべりによる応力の解放はスムーズに行われると考えられ、それに伴いAEも発生しにくくなると思われる。一方切欠底曲率が小さい場合には、応力集中の度合いが高いため、図18(b)に示すすべり線のなかで切欠底に始発点を持つものが主に発生し、これらのすべり線が内部に進展することにより塑性が進行する。このように比較的狭い限定された領域ですべり線が発生発達する場合には、小さなすべりの発生がまだすべっていない領域の応力を高めることとなり、小さなすべりをきっかけとして雪崩的に大きなすべりに発達することが考えられ、その際の応力解放に伴い大きな振幅のAEが発生するものと考えられる。

P_{ny} 点を過ぎると断面降伏型の塑性変形となり、振幅の小さい発生数のきわめて多い連続型と呼ばれるAEが発生する。連続型AEは一般に平滑引張り試験片のリュウダース変形の際に観測されるもので、リュウダース帯の先端が小さな応力集中源となり、次々と小さなすべりを起こしていくことに伴い発生するもので

		Chemical Composition (%)										Tensile Test		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Mo	B	Y.P(Kg/mm ²)	T.S(Kg/mm ²)	EL (%)
Base Metal	S10C	.13	.24	.42	.011	.009	.03		.01		.01			
	S30C	.28	.24	.76	.023	.013	.05		.01		.01			
	S50C	.53	.21	.71	.015	.011	.03		.01		.01			
	SM 50	.17	.41	1.31	.024	.008						35	54	26
	HT-60	.12	.43	1.08	.016	.005	.13	.04	.12			52	64	28
Welding Electrode	LBM-52(SM50)	.08	.54	1.01	.012	.008						49	58	31
	LB-62(HT-60)	.08	.59	1.10	.010	.008			.25	.58		57	66	29

表2 供試鋼材及び使用溶接棒の化学成分及び機械的性質

あるが、同じことが切欠付き引張り試験片でも生じていると考えられる。なお連続型AEは断面降伏が図19の点線の範囲に広がるまで発生する。

P_{max}点を過ぎると塑性域は外へは広がらず、すでに塑性化した部分がさらに塑性変形することとなり、AEの発生はほとんど見られない。また試験片の破断直前になるとき裂の急速な伝播に伴い大振幅のAEが急増する。

曲げと引張りでは変形破壊過程の差異を反映して上述のとおりAE発生特性が異なり、特に引張りでは曲げでは見られない連続型AE及び破断直前のAEの急増が観測された。切欠底より発達するすべり線に伴うAEは、曲げ及び引張りの双方で低荷重よりその発生が認められた。しかし曲げでは発生開始後断面降伏するまで多くのAEの発生があるが、引張りではAE発生開始後もAEの発生が比較的少く、荷重の増加とともにAE振幅、AE発生数が徐々に高くなり断面降伏でそのピークに達した。曲げでは小規模降伏から大規模降伏まで塑性域が単調に増加することに対し、引張りでは荷重が増加しても断面降伏以前では比較的塑性域が発達せず、断面降伏点近くで急激に発達するためと思われる。双方ともAE発生開始点は低荷重域にあるが、AEの発生が多い領域は引張りの方がかなり高荷重側になる。これらの違いがあるが、双方のAE発生特性はすべり線によって説明でき、本質的に同じ発生機構によるAEと考えられる。

4. 各種鋼及び溶接部のAE発生特性

50キロ級及び60キロ級鋼の母材、溶接金属部、熱影響部と炭素鋼のAE発生特性を調べた。用いた切欠曲げ試験片の形状を図21に示す。供試材の化学成分及び機械的性質を表2に示す。AE変換子はフジセラミック製AE-174Sを用いた。図22に結果をまとめて示した。炭素鋼ではS10CはややAEの発生が少いが、S30C、S55Cでは多くのAEが発生した。S55Cでは靱性が低いため、切欠底に割れを突然生じる現象があり、その際大振幅のAEを発生したが、そのAE事象数は1つ

であった。その際割れ前後で特長的なAEの挙動はなく、ぜい性的な割れがAE的にも突然発生していることが解った。

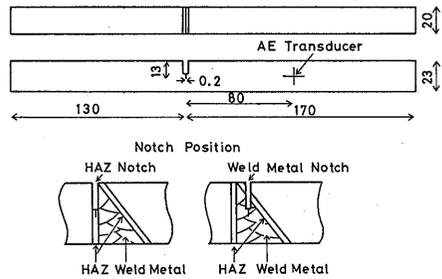


図21 曲げ試験片

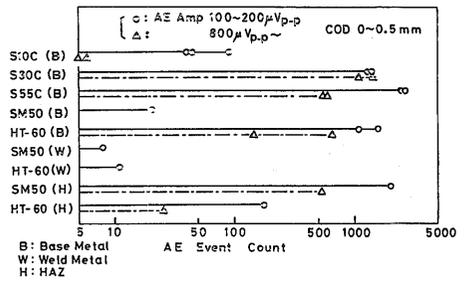


図22 供試鋼及びその溶接部におけるAE発生特性

一方50キロ級及び60キロ級鋼を比較すると、SM-50ではAEが少くHT-60では多数のAEが発生した。また溶接金属部では双方ともAEはきわめて少く、反対に熱影響部では双方で多数のAEが発生した。溶接金属部では複雑な熱応力履歴を受けているためAEの発生が少い(カイザー効果)可能性があるが、通常行う応力除去焼鈍より高い温度であるが、780℃(パーライト→オーステナイト変態)及び940℃(フェライト及びパーライト→オーステナイト変態)の1時間の焼鈍を行った試験片についてAE発生特性を調べた。また参考のために熱影響部についても同様に調べた。図23は結果をまとめたものであるが、溶接金属部及び熱影響部の双方ともAE発生数にほとんど変化がなかつ

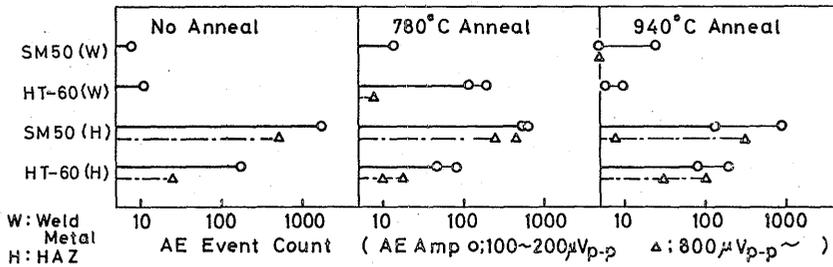


図23 溶接部A E特性に及ぼす焼鈍の効果

た。ただし熱影響部においては、焼鈍前にはほとんど荷重ゼロの状態からA Eの発生があったことに対し、焼鈍後は少し荷重がかかってからA Eの発生開始があり、焼鈍により残留応力が除去されていることが解った。また1つ特徴的なことはHT-60の溶接金属部を780°Cで焼鈍した場合、大振幅のA Eは焼鈍前と同様にほとんど発生しないが、小振幅(200 μ V_{pp}程度)のA Eがきわめて多く発生したことである。これらの小振幅の連続型A Eは実構造物のA E検査ではノイズレベル以下となり役に立たないものであるが、通常平滑引張り試験で見られる連続型A Eが切欠曲げ試験片で見られることは面白い現象である。

図24は各種鋼のA E特性が炭素量と関係していると考え、炭素量を横軸にA E発生量を縦軸として整理したものである。炭素鋼(S10C, S30C, S55C)では炭素量が多いほどA Eの発生が多い傾向を有しているが、ほぼ同じ炭素量であるSM-50とHT-60の母材のA E発生量に大きな差異があることから、簡単に炭素量だけでは整理できないことが解る。炭素鋼では炭素量と鋼中のパーライト量が比例しており、そのパーライトの割れをA E源とする説⁵⁾もあるが、合金元素を多く含む組織も単純なパーライト・フェライト組織でないHT-60でも多くのA Eを発生することから、単純にパーライトの割れだけではA Eの発生を説明できないと思われる。

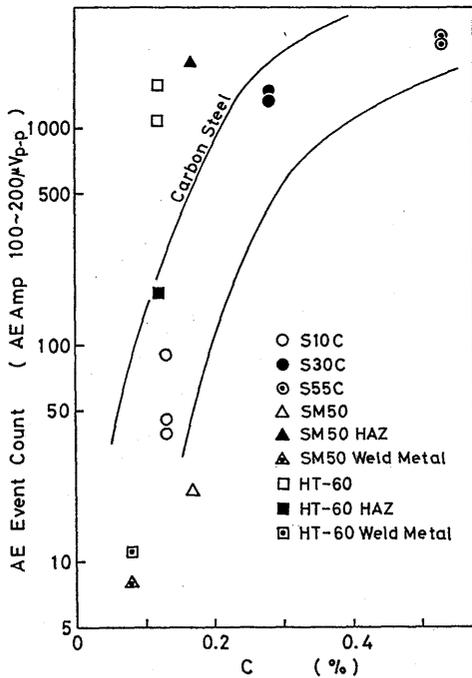


図24 A E発生特性に及ぼす炭素量の効果

また溶接金属部のA Eがきわめて少いことの説明として、溶接金属部に少いMnS 介在物の剥離をA E源とする説⁵⁾もあるが、SM-50ではMnS 介在物を含む母材でもA Eが少く、また炭素鋼では同じようにMnS 介在物を含むと思われるS10C, S30C, S55C間でもA E発生量がかかなり異なることから、必ずしもMnS 介在物をA E源とすることもできないと思われる。

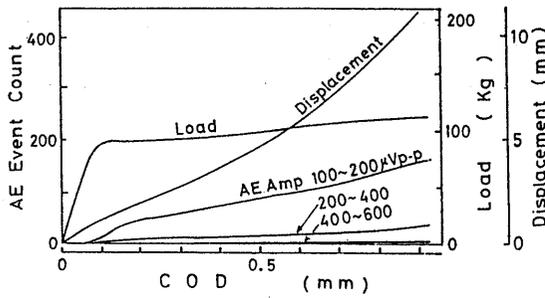
以上各種鋼は一部を除いてすべて延性的であり、そのA E特性はすべり線を用いて説明すべきものと思われる。平滑材においてもすべり線の一種であるリュウダース帯が現われる時には連続型のA Eを生ずるが、切欠材においても応力集中により切欠先端からすべり線が急速に発生、伝播する時にはA Eの発生が考えられる。しかし鋼材によってすべり線がリュウダース帯となる場合とそうでない場合がある様に、切欠底から発生するすべり線もすべての鋼種で同じではなく、急速にすべるもの、小さいステップをくり返しながらすべるもの、滑らかにすべるもの等が考えられ、その時の歪エネルギーの解放のされ方により、A Eが観測されたり、観測されなかったりするものと思われる。A Eの発生源と考えられるこれらのすべり線の活動は、鋼の化学成分や組織等の影響を複雑に受けており、そ

の解明は今後の研究を待つ必要があると考えられる。

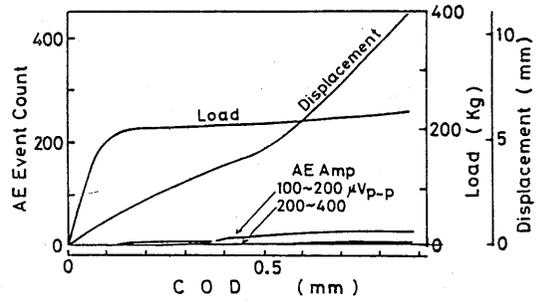
なお熱影響部では熱履歴の程度が場所によって異なり、部分的なぜい化部に微少な割れを生じAEを発生

している可能性もあり、今後の解明が望まれる。

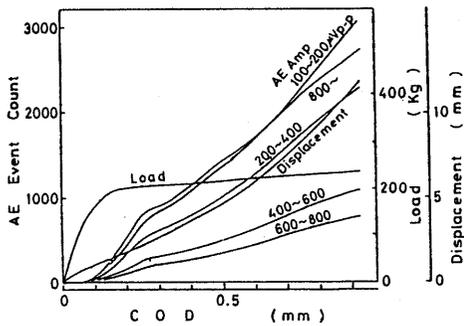
また今までの実験で得たデータの代表的なものを図25以下に示しておく。



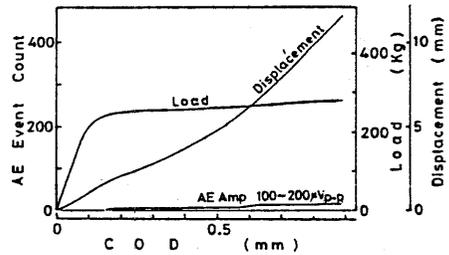
(a) S10C



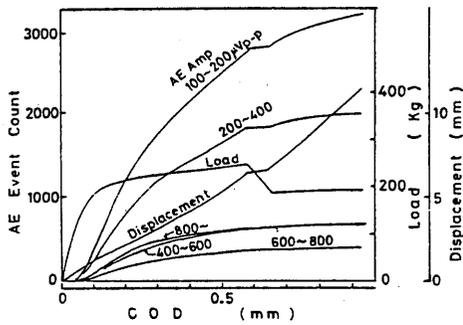
(a) 母材



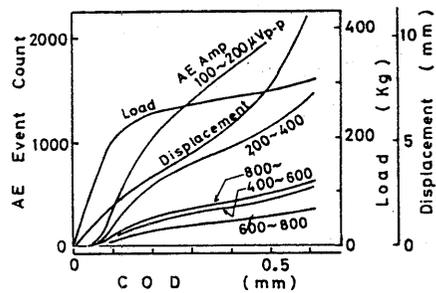
(b) S30C



(b) 溶接金属部



(c) S55C



(c) 熱影響部

図25 炭素鋼のAE特性

図26 SM50材及びその溶接部のAE発生特性

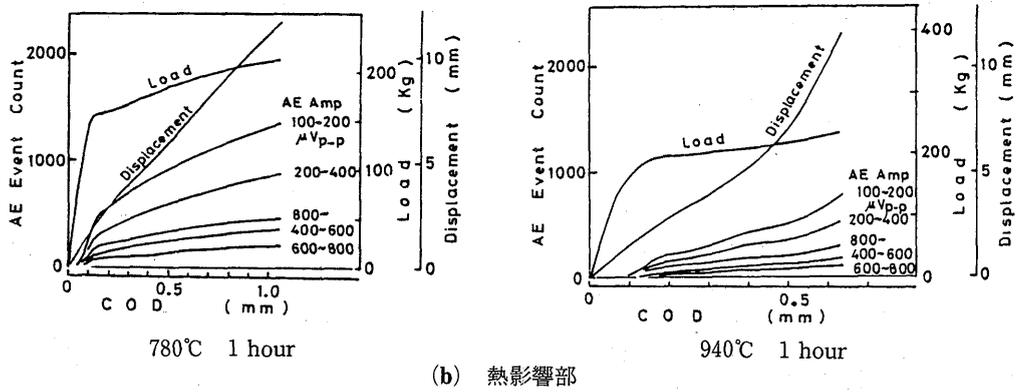
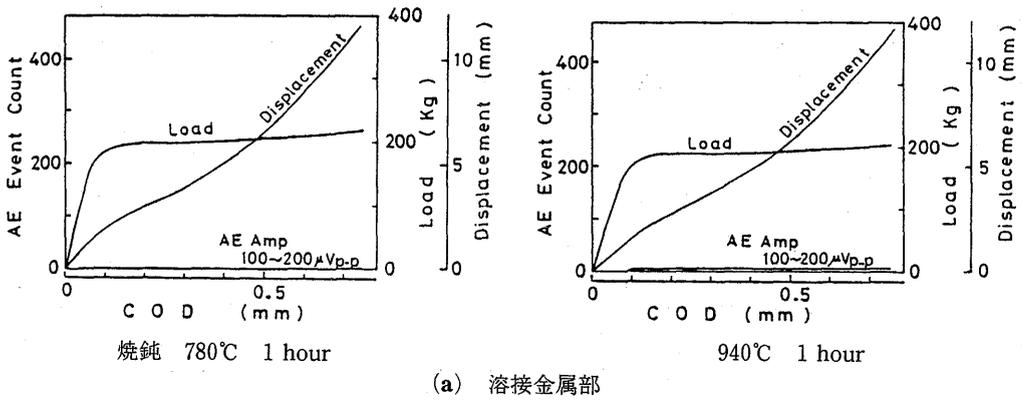


図27 SM50材溶接部AE特性に及ぼす焼鈍の効果

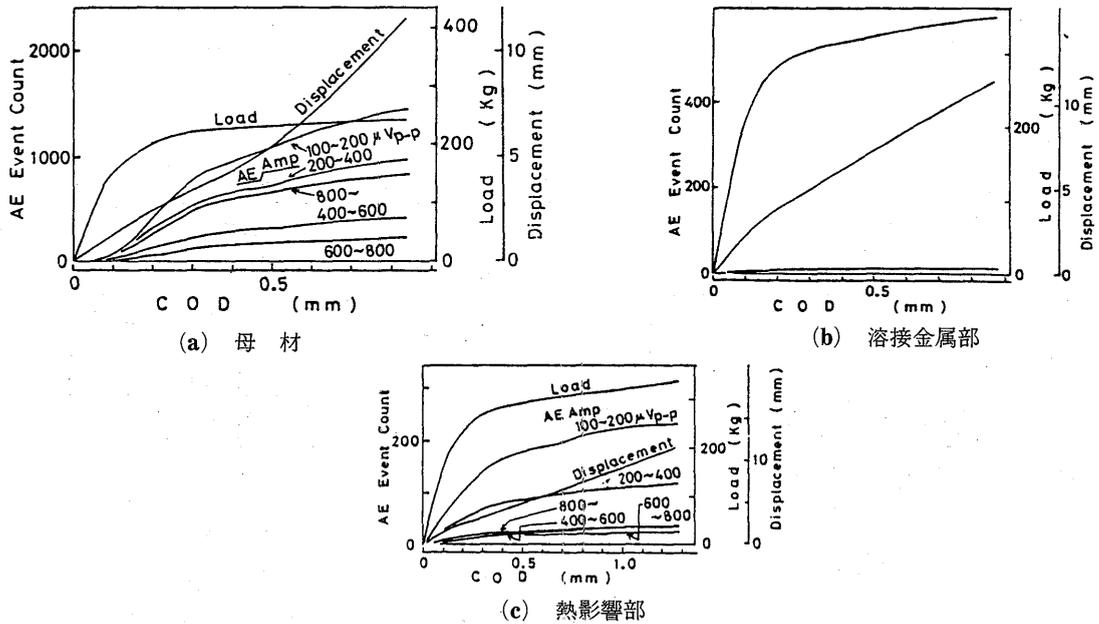
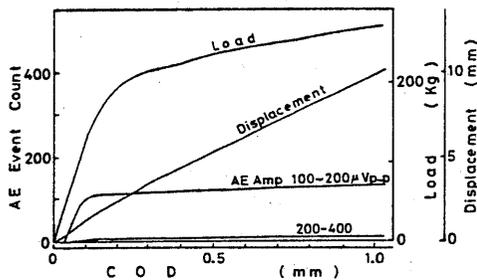
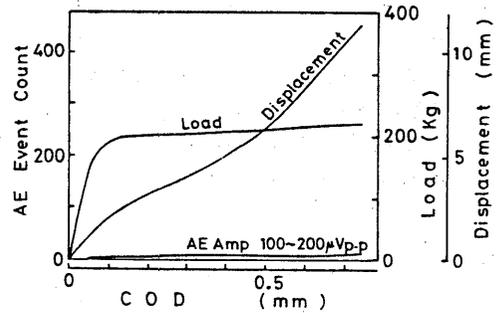


図28 HT-60材のAE発生特性

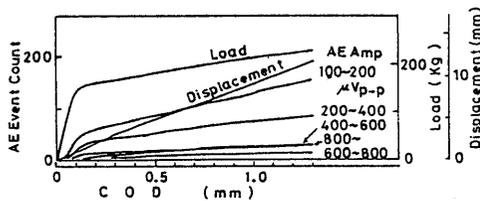


焼鈍 780°C 1 hour

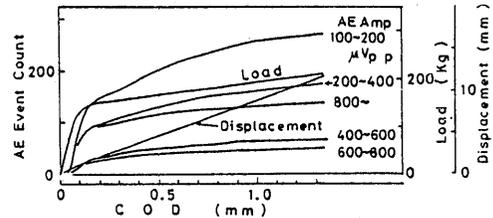


940°C 1 hour

(a) 溶接金属部



780°C 1 hour



940°C 1 hour

(b) 熱影響部

図29 HT-60 材溶接部AE特性に及ぼす焼鈍の効果

5. 小型試片と大型試片のAE特性の比較

今回行った小型試験と実構造物を模擬できる大型試験^{6),7),8)}のAE特性を比較すると、小型試験では比較的低荷重よりAEの発生が認められたが、大型試験では高荷重 ($0.7\sigma_y$ 以上) でないと有意なAEが測定できない点に大きな違いがある。この不一致の原因としては、大型試験ではAE測定における環境ノイズが高いことに加え、AE波の拡散によりその振幅が本質的に小さくなってしまふこと、及び大型試片では切欠周囲の拘束が大きく塑性変形が広がりにくいことなどが考えられる。したがって小型試験結果から定量的に大型試験結果を推定することには問題があるが、本実験における溶接金属部と熱影響部のAE特性の違いが大型試験でも観測されるなど、両者の定性的なAE特性には共通する点もある。今後は両者の定量的な関係の解明が必要と思われる。

6. まとめ

今回の曲げ試験を中心としたAE測定から、鋼材のAE発生特性について多くの知見が得られた。以下に主な点を示す。

- (1) 一般構造用鋼の切欠試片で観測されるAEは塑性変形によるものであり、延性き裂の発生、伝播に伴うAEは引張り試片の破断直前を除いて観測されない。
- (2) 切欠材でのAE発生はすべり線の形態と関係しており、切欠底曲率、切欠深さ、試片の幅のAE発生に及ぼす効果は、すべり線の形態から説明できた。
- (3) 各種鋼材のAE特性は、炭素鋼では炭素量との相関が認められたが、他の鋼では炭素以外の成分や金属組織の状態が複雑に影響し簡単な整理はできなかった。AE特性の傾向は母材ではSM-50、

HT-80, HT-60の順にA Eの発生が多かった。溶接部分では鋼種によらず溶接金属部はA Eの発生が極めて少く、熱影響部では多く発生した。

- (4) 実構造物を模擬した大型試験のA E特性は、(3)で述べた溶接部の傾向とほぼ一致するが、A E発生の荷重レベル等では大きな差がある。今後は両者の関係について定量的に解明することが望まれる。

参 考 文 献

- 1) 塑性理論の基礎 П.М.カチャノフ 養賢堂
- 2) Initial Plastic Yielding in Notch Bend Tests. A, P, Green and B. B. Hundy. J. Mech. Phys. Solids. 1956, Vol. 4 pp.128~144
- 3) 小型試験片における各種鋼材及び溶接部のA E特性の比較 榊, 島田, 神尾, 非破壊検査第31巻 第10号 (1982) pp. 779~788
- 4) Slow Crack Growth Processes and AE Energy in Pressure Vessel Steel During COD Tests. M. Mirabile, Conference on Fracture Mechanics Technology. Hong Kong 1977.
- 5) Acoustic Emission Characteristics of Structural Steels K. Ono, G. Hung and H. Hatano, The 8th World Conference on NDT 1976 3K. 3.
- 6) 溶接欠陥及び隅肉溶接部のA E特性 神尾, 榊, 中島, 仲佐, 渡辺, 富士 非破壊検査 第31巻第10号 (1982) pp. 748~757
- 7) 大形試験片における低靱性鋼のA E特性 神尾, 榊, 渡辺, 富士 非破壊検査 第31巻第10号 (1982) pp. 758~764
- 8) 大型試験片における60キロ級鋼及び溶接部のA E特性 神尾, 榊, 中島, 渡辺, 富士 非破壊検査 第31巻 第10号 (1982) pp. 765~771.