

ATR 用圧力管材料のAcoustic Emission の測定に関する試験研究（第 3 報）

1980 年 4 月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

この資料は、社内における検討、周知を目的
とする社内資料です。

ATR 用圧力管材料のAcoustic Emission の 測定に関する試験研究 (第 3 報)

実施責任者 三浦 信*
報告者 佐藤 政一**
五十嵐 幸*
近藤 吉隆*

期間 1979 年 4 月 1 日～1979 年 10 月 31 日

目的 ATR 用圧力管内圧破壊試験時のAcoustic Emission 測定を行い, ATR 圧力管モニタリングのための基礎データ収集を目的とする。

要旨

ATR 用圧力管内圧破壊試験時のAcoustic Emission (以下AE と略す)測定を行った。内圧破壊は、水圧と空圧の 2 種類で行った。水圧の場合、加圧は手押しポンプで行い、空圧の場合はブースタポンプによる自動加圧で行った。

AE は、加圧開始から破壊時まで測定され、データレコーダに記録された。AE 発生の特徴と破壊進行を示すパラメータの関係が解析された。

その結果次のようなことが明らかとなった。

- ① 2 軸応力下ではZr-2.5Nb はAE を発生し難い。
- ② 水素富化の量が多くなると、発生するAE の量も増加する。
- ③ 破壊に直接関係して発生したAE 信号は高周波成分が多い。
- ④ 破壊パラメータのひとつである応力拡大係数と、AE 累積数は指数関係を示す。
- ⑤ 切欠からのAE と、探触子と試験片を接着するエポキシ接着剤の割れる音は、それぞれの発生様式に特徴があった。

* 技術部検査開発課

** Pu 燃製造第 2 課

目 次

1. はじめに	1
2. 試験方法	3
2.1 試験片	3
2.2 試験装置	4
2.3 試験方法	6
2.3.1 AE 測定	6
2.3.2 切欠開口変位量及び圧力測定	10
2.3.3 AE 解析	10
3. カウント解析	18
3.1.1 水圧試験結果	18
3.1.2 空圧試験結果	37
3.2 波形解析	51
3.2.1 水圧試験結果	51
3.2.2 空圧試験結果	56
3.3 フィルタによる信号の分離	56
4. まとめ	70
付 録	

(1) は じ め に

ATR 用圧力管材料であるZr-2.5NbのAE特性は、単軸引張試験で調べられてきた。その結果、開口変位量の平方根と、AE累積カウントの関係は、一定の試験片形状において、一定の破壊時期に変動することが明らかとなった。そして、これはAE法による破壊時期の予知と言う観点から有益な現象であった。

しかし、実際の構造は、内圧が作用している管としてとらえる必要があり、今まで行ってきた単軸引張りの結果だけで判断できない。そこで、今回は内圧試験を行って、実際と類似の条件とし、破壊に至るまでの圧力を加えたときのAEを測定し解析した。なお、圧力管の水素吸収を考慮して、一部水素富化を行った試料についても試験を行った。



Equipment

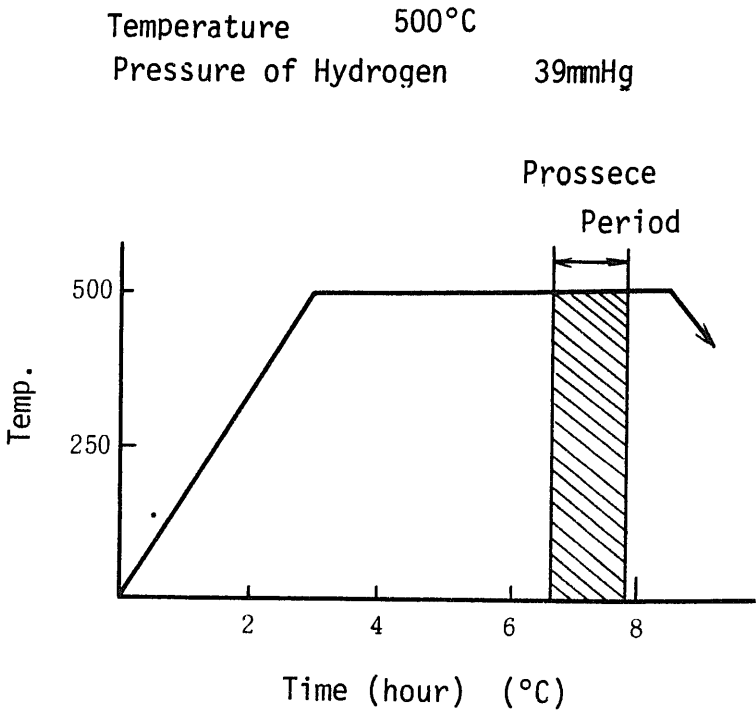


図1 圧力管材料の水素富化法

表 1. 試験片種類

試験片番号	切欠長	切欠深さ	切欠種類	水素量	負荷方法	試験温度
64 - 8	60	3.3	放電加工	100	空圧	室温
68 - 6	"	"	"	250	"	"
71 - 1	30	2.0	"	< 5	"	"
71 - 2	60	2.0	"	"	"	"
71 - 4	30	3.3	"	"	"	"
71 - 5	100	3.3	"	"	"	"
71 - 6	30	3.3	"	"	"	"
769D - 1	60	3.3	フライス	"	水圧	"
769D - 2	"	2.3	"	"	"	"
769D - 3	"	1.3	"	"	"	"
65 - A	60	3.3	放電加工	"	空圧	150 °C
71 -15	60	4.0	"	"	"	"
71 -16	100	4.0	"	"	"	"

単位 ; mm

切欠幅は, 0.3 mm

(2) 試 験 方 法

2.1 試験片

試験片は、2種類の照射試験用小口径圧力管から作られた。すなわち、肉厚は4.3 mm、内径は40.88 mmと56.9 mm、そして長さは約220 mmである。1部には、水素雰囲気中で加熱する方法で水素富化を行ったものも含んでいる。水素富化の方法を図1に例示する。試験片には、深さ及び長さをかえた人工欠陥が、管軸と平行につけられた。試験片の一覧を表1に示す。なお、フライス加工欠陥における長さの定義は、図2のごとく定めた。試験片のシールは加圧媒体によってかえた。水圧の場合、試験片には盲端栓を溶接して密封し、空圧の場合は機械シール法を用いた。

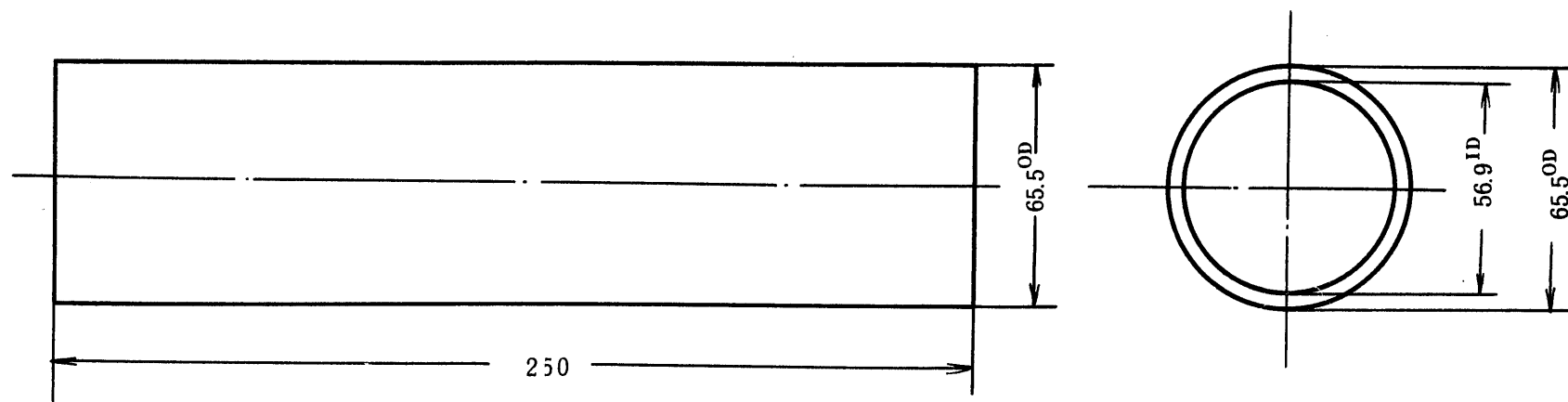
2.2 試験装置

○AE 測定器

信号処理器	3000 シリーズ	Dunegan 製
プリアンプ	257 W	Nortec 製
“	1801	Dunegan 製
センサ	S 9201	“
“	DZ - 210	Nortec 製
フィルタ	442	Lock land 製
X-Tレコーダ	MARK 220	Brush 製

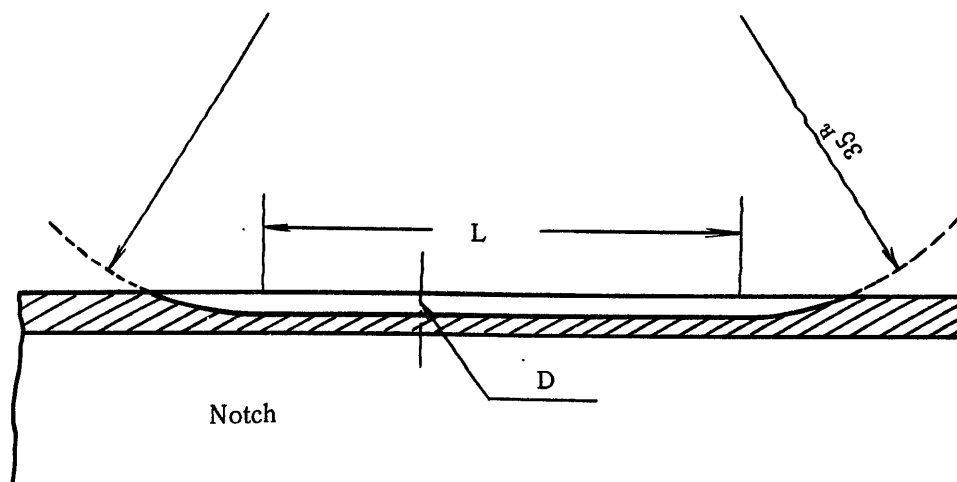
○データレコーダ

SAVRE	VI	Sangamo 製	60 IPS
	内 容	入力	出力 モード
CH 1	開口変位量	1 V → 1 V	FM
“ 2	圧 力	1 V → 1 V	FM
“ 3	カウント率	10 V → 1 V	FM
“ 4	Nortec CH 1	5 V → 2 V	DR
“ 5	“ CH 2	5 V → 2 V	DR
“ 6	Dunegan A	10 V → 2 V	DR
“ 7	“ B	10 V → 2 V	DR



Test Piece

(Unit ; mm)



Dimention of Test Section

図2 フライス切欠の寸法の定義
(フライス歯の移動距離 L を切欠長とする)

○歪一荷重測定記録装置

歪計	RC - 9001	新興通信製	30 mm/min
ロードセル			容量 1500 kg/cm ²

○AE 信号解析装置

デジタルメモリ	DM - 901	岩崎通信機	0.5 μ sec/語
AE 信号解析装置	SM - 7250	"	

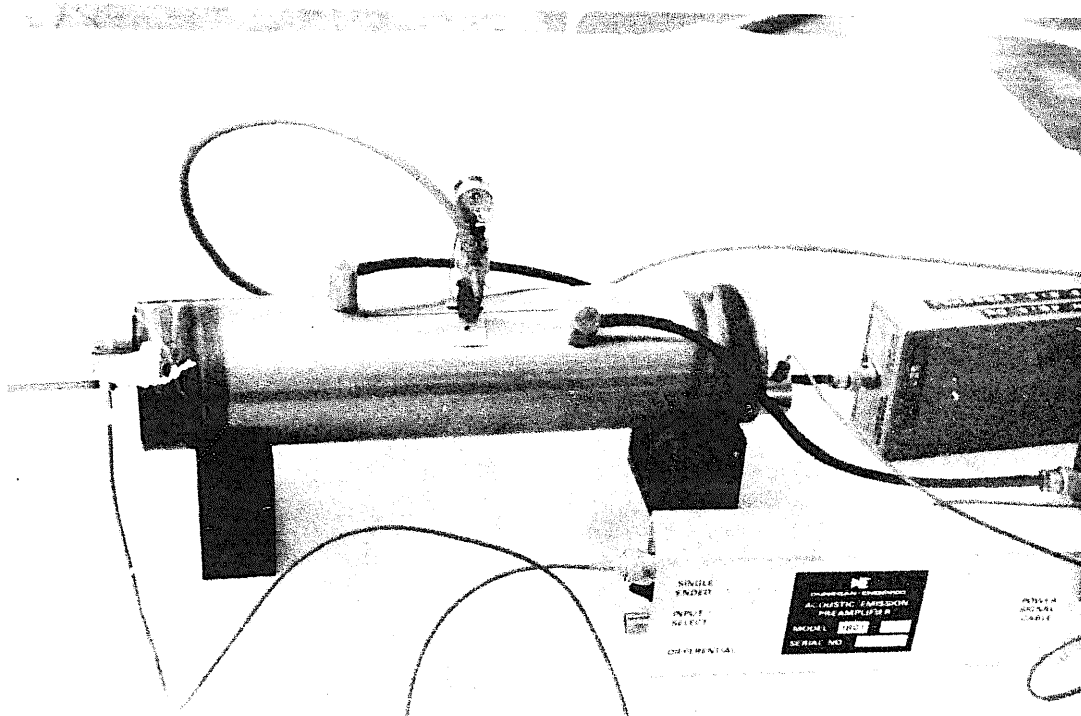
○加圧装置

手押水圧ポンプ	坂下製作所	最大圧力 1500 kg/cm ²
内圧破壊試験装置	日本高圧力	

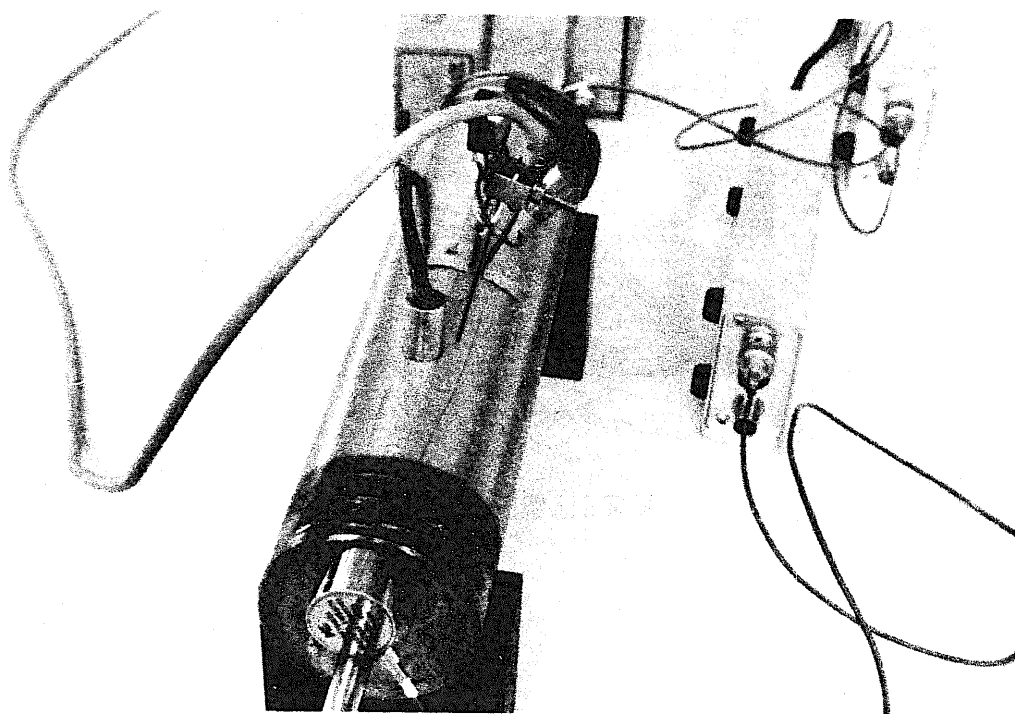
2.3 試験方法

2.3.1 AE 測定

AE 現象は、再現のできない、1度限りの破壊に伴うものであることから、可能な限り多くの情報を得るため、2系統のAE 測定装置を使用した。それは、Dunegan の装置と、Nortec の装置である。両者は夫々2チャンネルで構成されるため、結局AE のデータは、ひとつの試験片から4つ得られることになった。写真1に水圧試験時の状況、そして写真2に空圧試験時の状況を示す。図3にAE 測定系及び解析系のブロック図を示す。Nortec の装置の2つのプリアンプ出力は、高域波をうけた後、データレコーダに記録される。Dunegan の装置からの信号は、主増幅器で増幅をうけた後、データレコーダへ導かれる他、カウンタに入力され、カウント出力とされる。これには0.1秒ごとのカウント率と、時定数0.1秒でのイベントカウント累積数の2つの形式があり、それぞれX - T レコーダに記録される。



Front View



Side View

Specimen & AE Sensor Under the Test

写真 1. 水圧試験

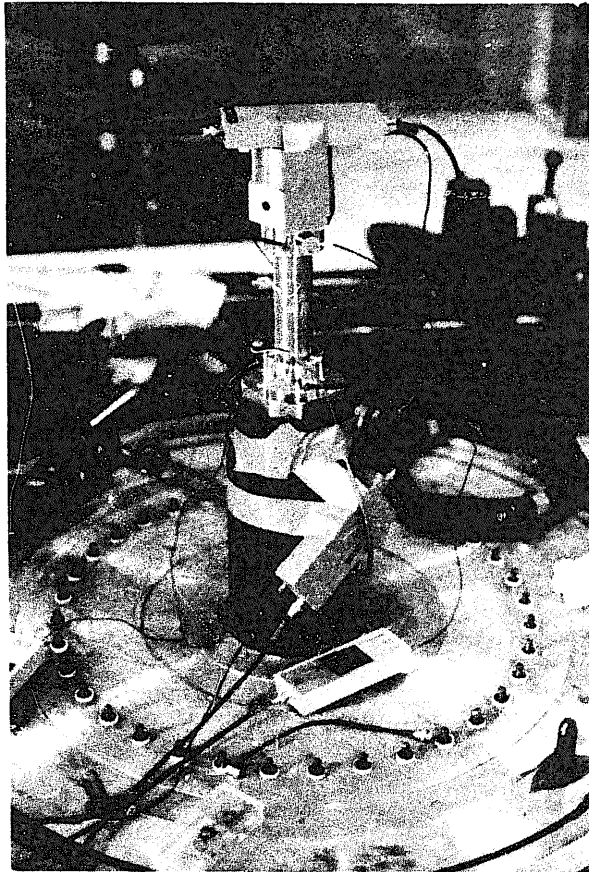
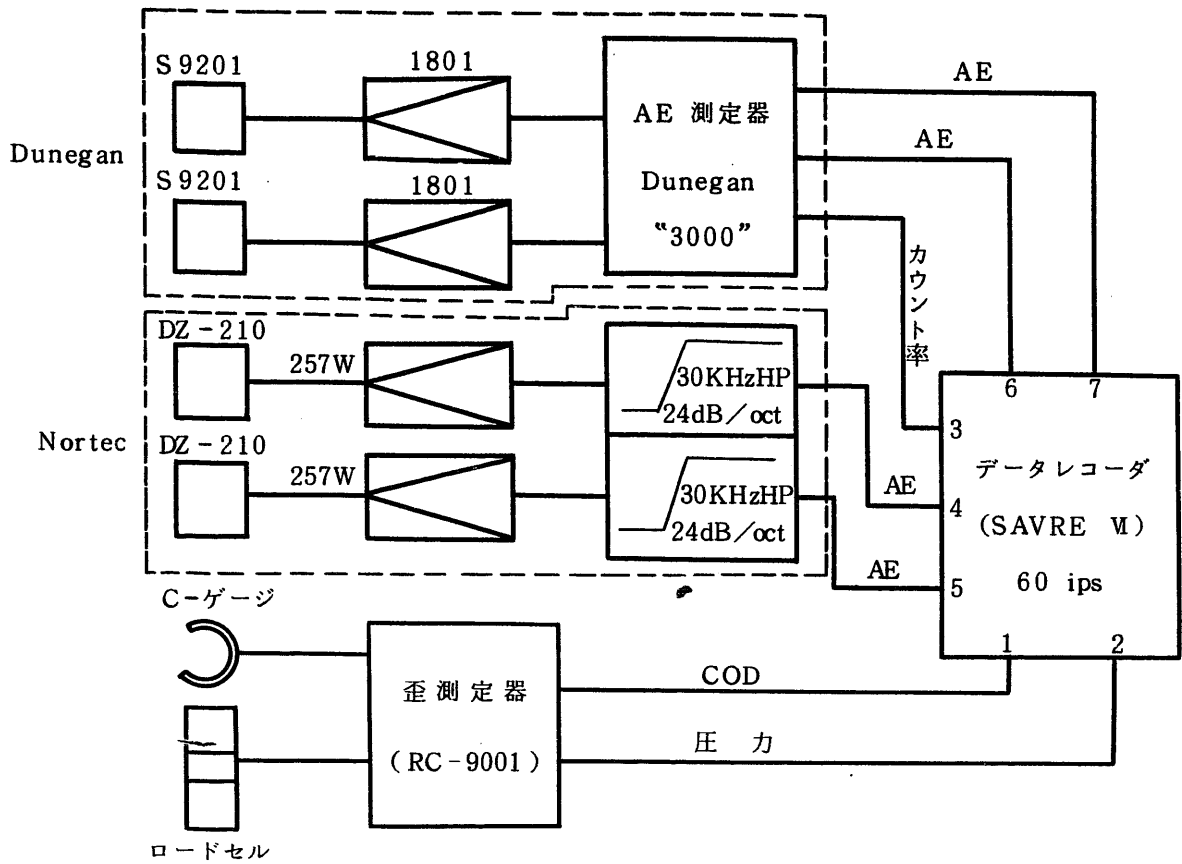
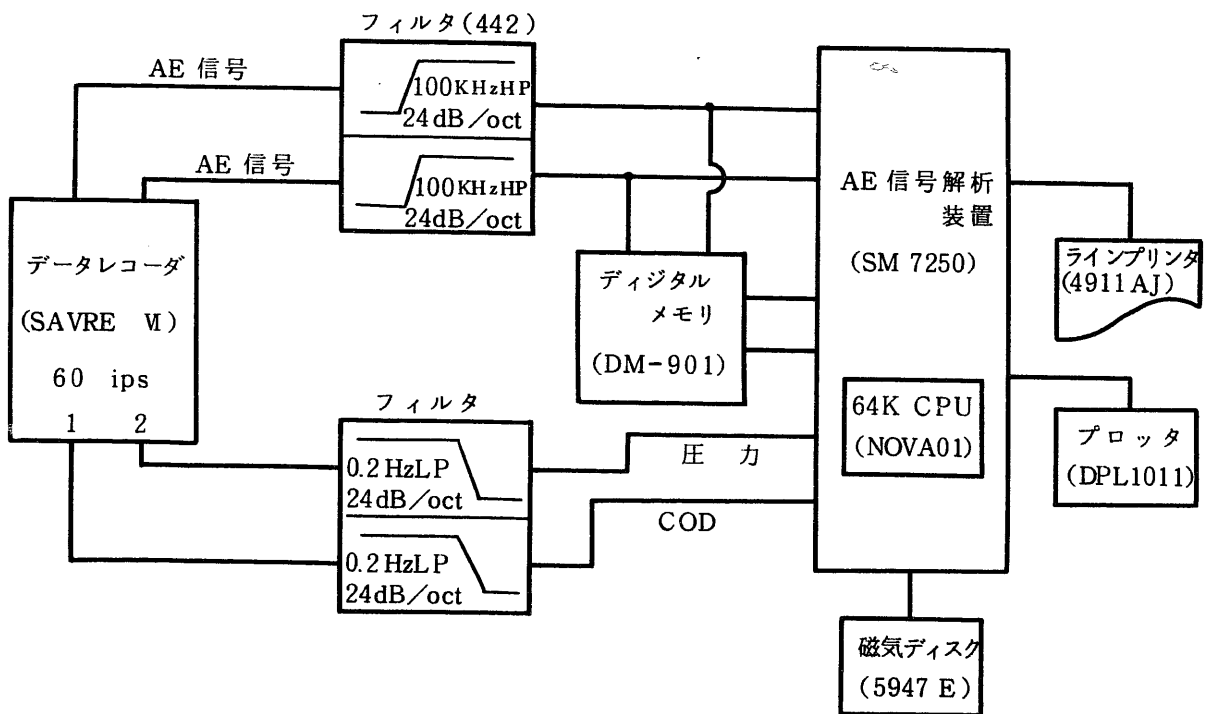


写真 2. 空圧試験



(a) 測定時



(b) 解析時

図3. AE 信号測定解析ブロック図

図4、図5は使用したAEセンサの周波数特性例である。

図6に水圧試験時の切欠及び、AEセンサ位置を示す。

2.3.2 切欠開口変位量及び圧力測定

内圧破壊試験のように、蓄積エネルギーが大きく、破裂口から加圧流体が噴出する場合、切欠開口変位量測定具は損傷し、再使用はできなくなる。特に可圧縮性の気体を使用した空圧試験で損傷が大きい。ASTM E 399で勧められているクリップゲージは、切欠開口変位量測定に良く使用されるが、試験本数も多く、1回ごとに確実に破壊されてしまう今回の試験にはあまりにも高価すぎた。このため、“C-ゲージ”と称する簡易形の切欠開口変位量測定具を考案試作し使用したところ、精度・安定度ともに、充分実用に耐えることがわかったので、空圧試験の切欠開口変位量測定に全面的に使用した。図7にその概略を示す。また写真3には、取りつけたC-ゲージの様子を示す。図8はC-ゲージの特性例で、図9は水圧試験で使用したASTM規格のクリップゲージ特性図である。両図とも、変位量に対して出力が直線関係を保っており、実用上問題ないといえる。圧力の検出にはストレインゲージ型の圧力変換器を使用した。

2.3.3 AE解析

内圧破壊試験時にデータレコーダで記録されたAE信号等は、試験終了後に解析された。解析は破壊試験の進行に係るAE発生状況の変化、およびAE信号波形解析を主に行った。図3に示した装置のうち、SM7250はコンピュータをそなえており、AE信号の波形解析等が容易にできるものである。波形解析は次の手順で行った。

データレコーダを再生して全試験結果をSM7250に入力する。SM7250は、あらかじめ設定したしきい電圧を越えた信号入力に対してだけデジタルメモリを働かせ、信号の採取を行う。また、同時に、圧力、切欠開口変位量の再生信号をA/Dコンバータを通して採取する。全データの採取が終ってから以後は、オフラインで動作するAE信号処理プログラムにより解析処理を行った。

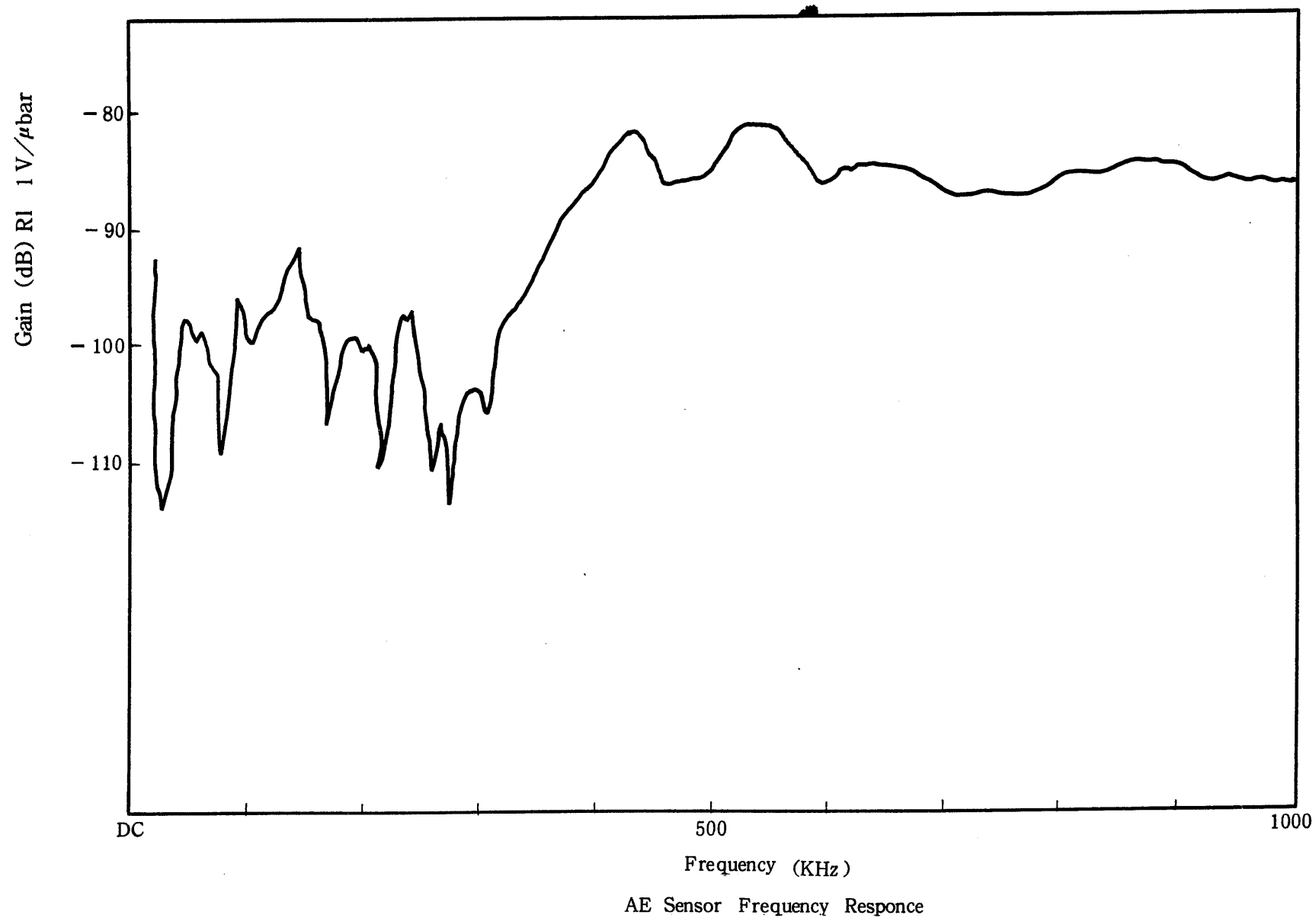


図4 AE センサ周波数特性
(Nortec DZ - 210)

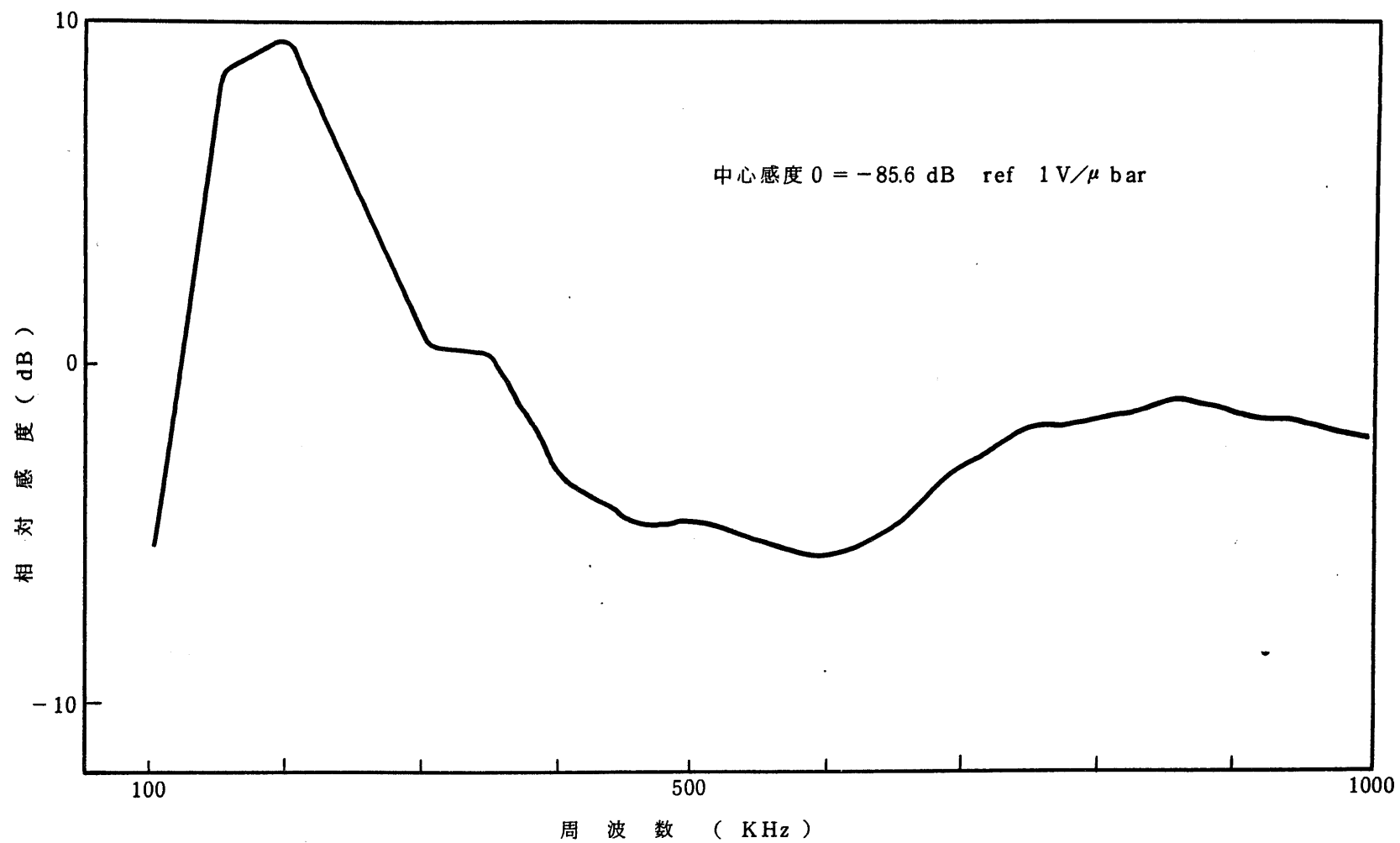
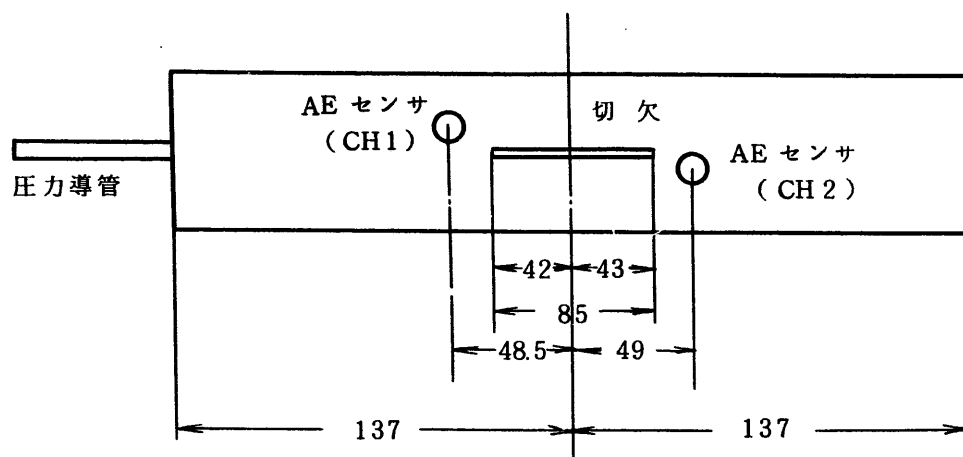
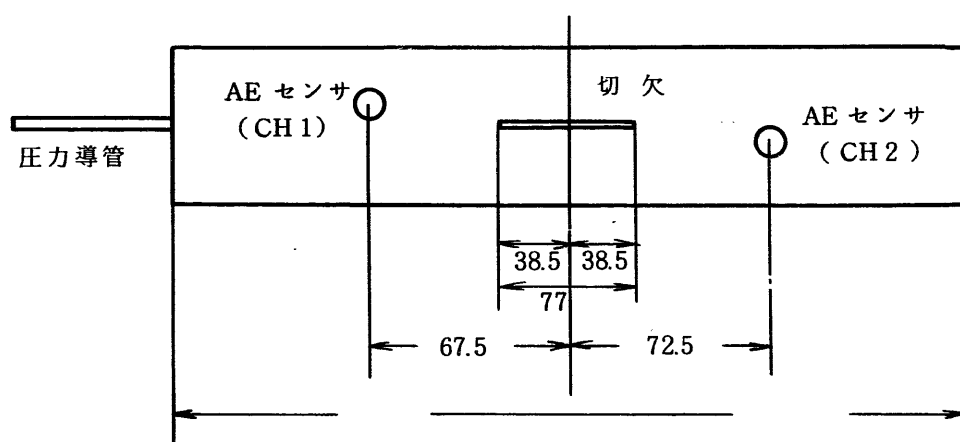


図5 AE センサ周波数特性
(Dunegan S-9201)

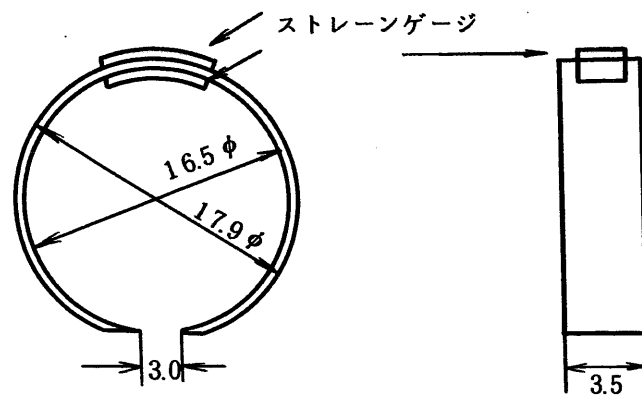


769D-2

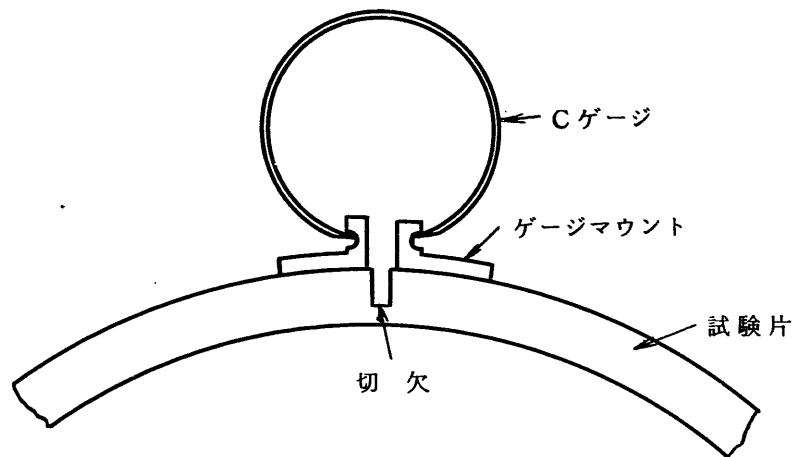


769D-3

図6 水圧試験片の寸法



a) 形状・寸法
単位；mm



b) 使用概略

図7 C-ゲージ形状・寸法及び使用概略

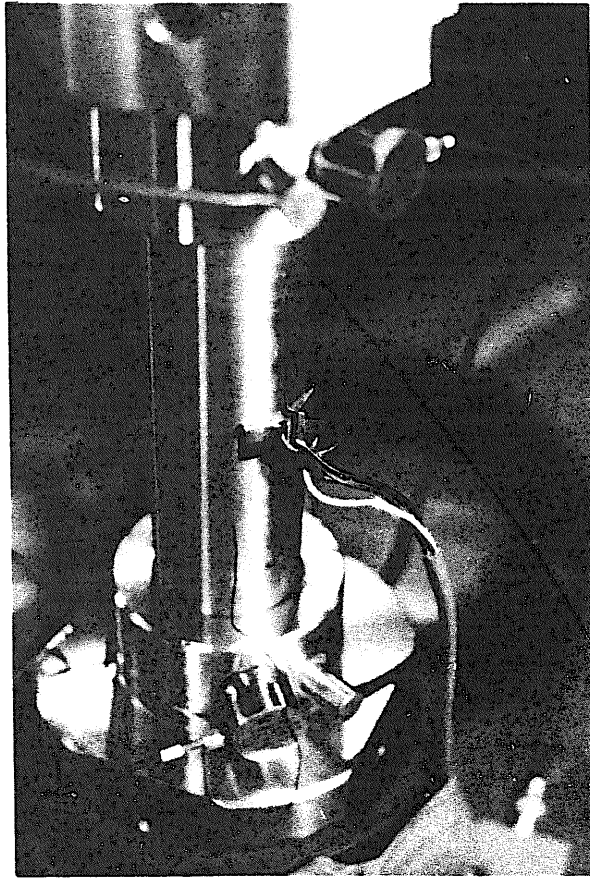


写真3. C - ゲージ使用状況

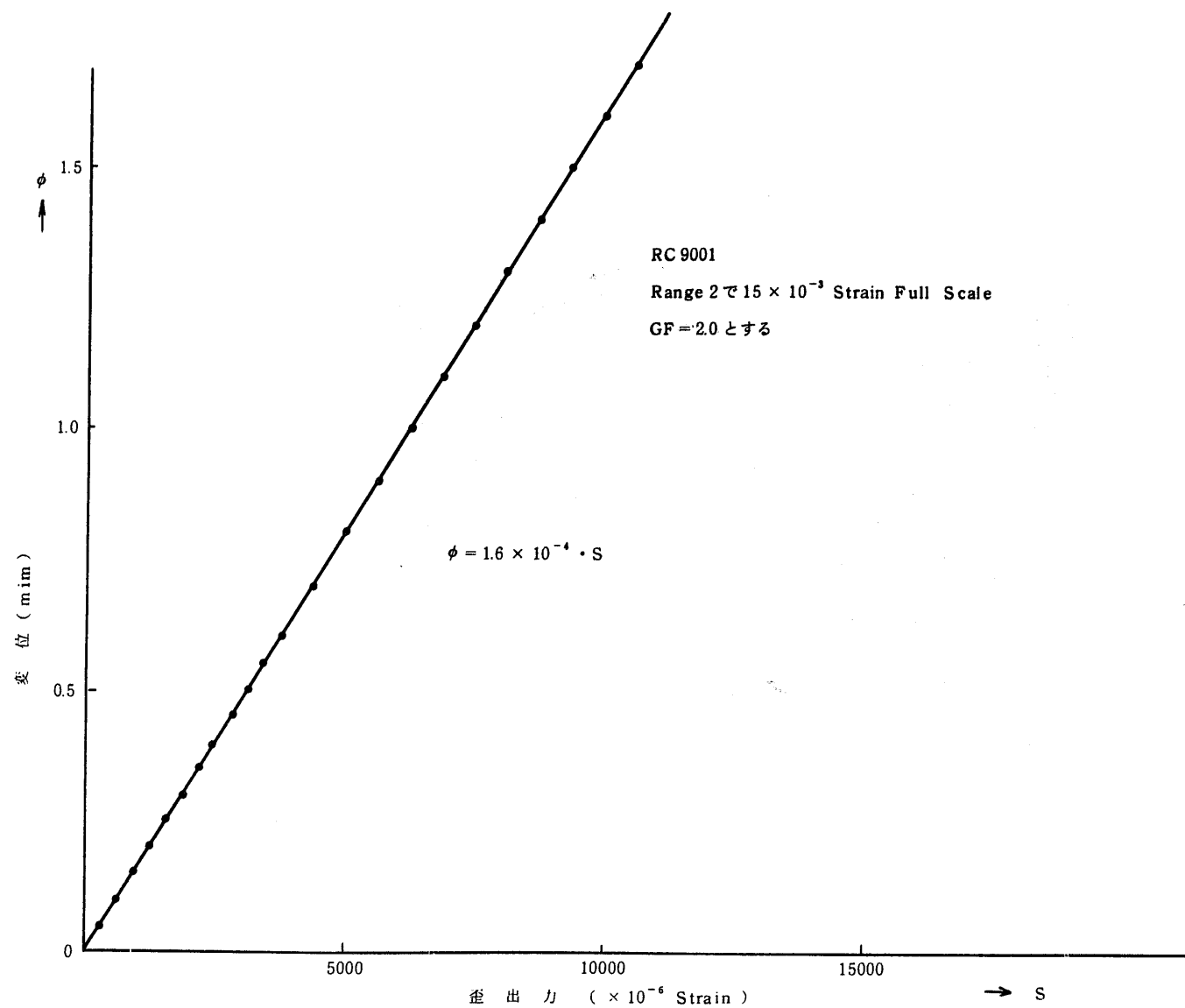


図8 C ゲージ特性図

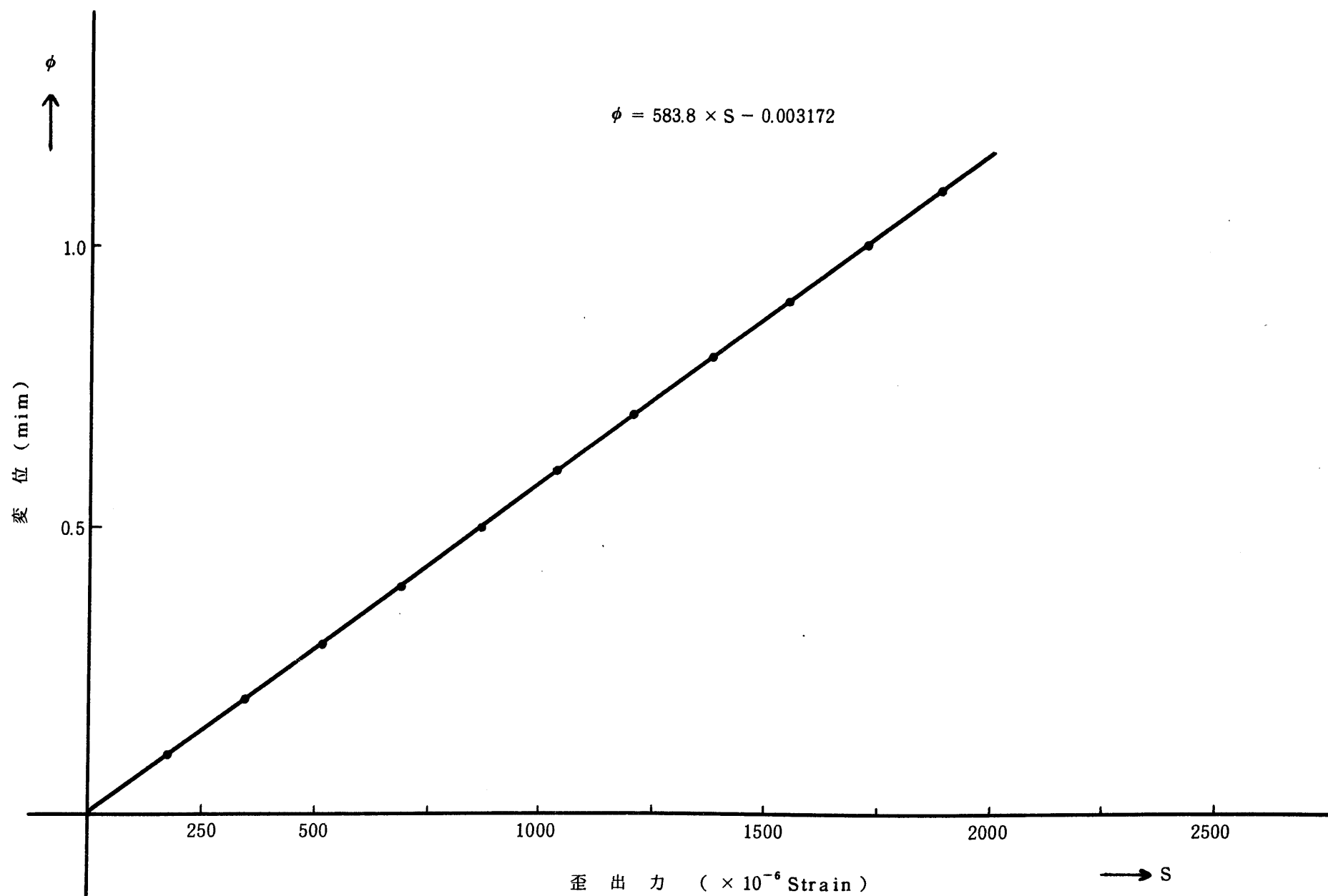


図9 クリップゲージ特性図

3 結果及び検討

3.1 カウント解析

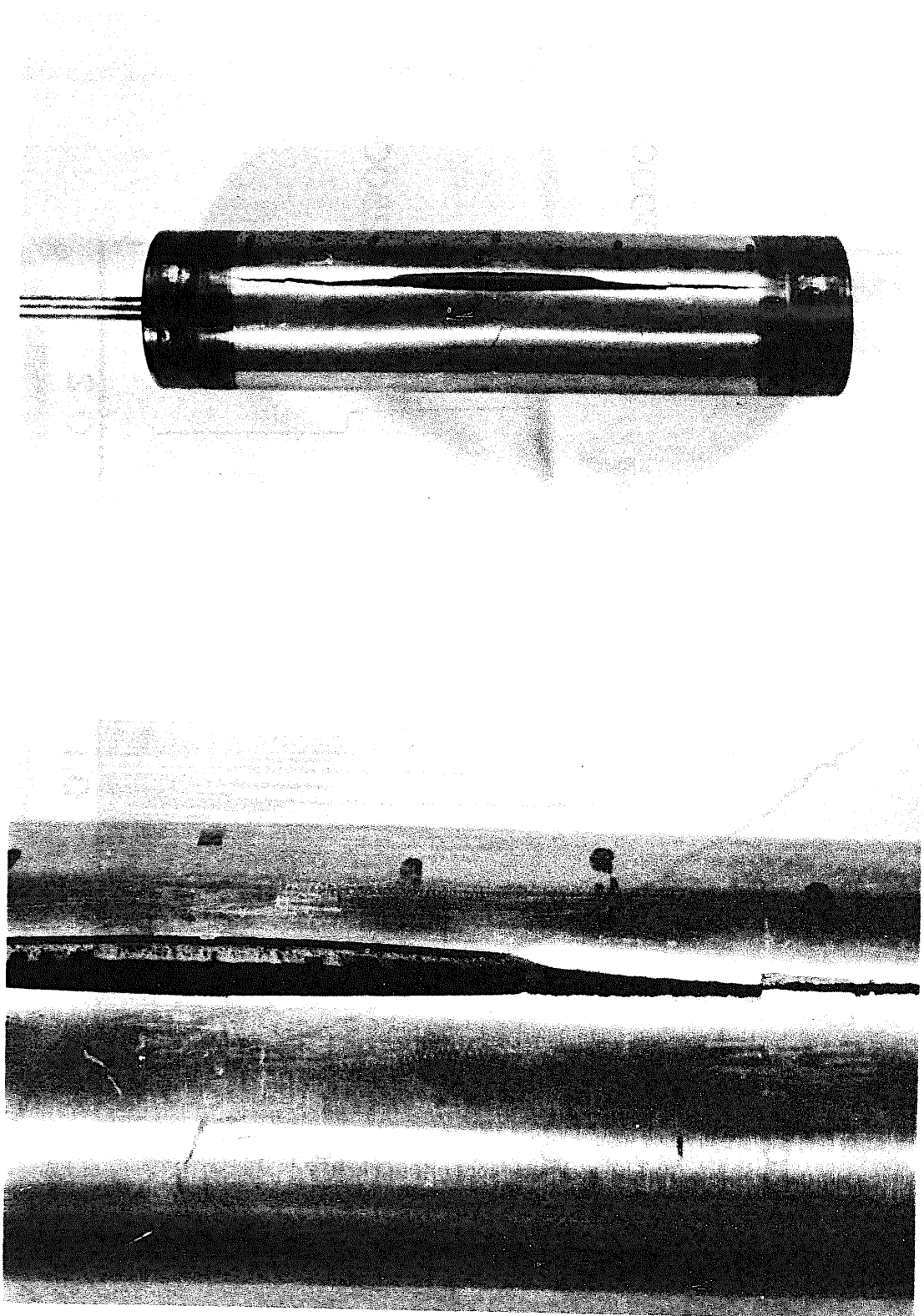
3.1.1 水圧試験結果

写真4は、水圧試験後の試験片の様子である。破壊の衝撃でAE センサ、クリップゲージ、ゲージマウント等はすべて飛んでしまっていた。写真の例は約 790 kg/cm^2 で破壊したものであるが、明らかに破壊口に“張り出し”が起っており、さらに、亀裂は試験片端部にまで達し、端栓の位置で停止していた。切欠の先端付近を調べると、浅いくぼみが軸方向についており、最終的な破壊の以前に、大きな塑性変形を起していたことが明らかとなった。

図10は、試験終了後にデータレコードから再生した切欠開口変位量（以下COD と略す）と圧力及びAE カウント率の生データ例である。図より明らかなように、大部分のAE はCOD と圧力が直線状態にある時期に発生しており、直線弾性状態からはずれ、圧力の増分が小さくなるとAE の発生率は小さくなっていった。しかし、これらのAE は、センサでとらえられたすべての振動に対応するものである。いいかえるなら、電気ノイズを始めとして、中央部のクリップゲージや、AE センサを取りつけるのに使用したエポキシ接着剤の割れ等が原因する信号すべてを含んでいる。このようなノイズと、真のAE との弁別は、後述するAE 発生位置解析と周波数分析によって行った。

しかし、弁別そのものにもかなり複雑な装置が必要となることから、本報告においてはフィルタを用いた簡便な弁別法の検討も行った。

図10の結果について、AE 信号発生位置分布分析を行った。分析に先き立ち、既知の位置から入力した模擬音を用いて、使用すべき音速の決定を行った。図11は音速を 1900 m/sec として解析した模擬音源の位置標定結果である。この音速はかなり小さいもので、表面波のそれに近い。図11においては、両端AE センサに同時に入感する電気ノイズを除くため、センサ間隔中央にちかい $-10 \text{ mm} \sim +5 \text{ mm}$ の範囲のAE 信号は計測から除外した。模擬音は中央から左右に振り、夫々、 -25 mm 、 -75 mm 、端面、 $+25 \text{ mm}$ 、 $+75 \text{ mm}$ 、端面の6ヶ所から入力した。前述の 1900 m/sec という音速は、これら位置のに模擬音が集中するように選んだ値である。



Specimen after the Burst

写真 4, 水圧試験後の試験片の様子

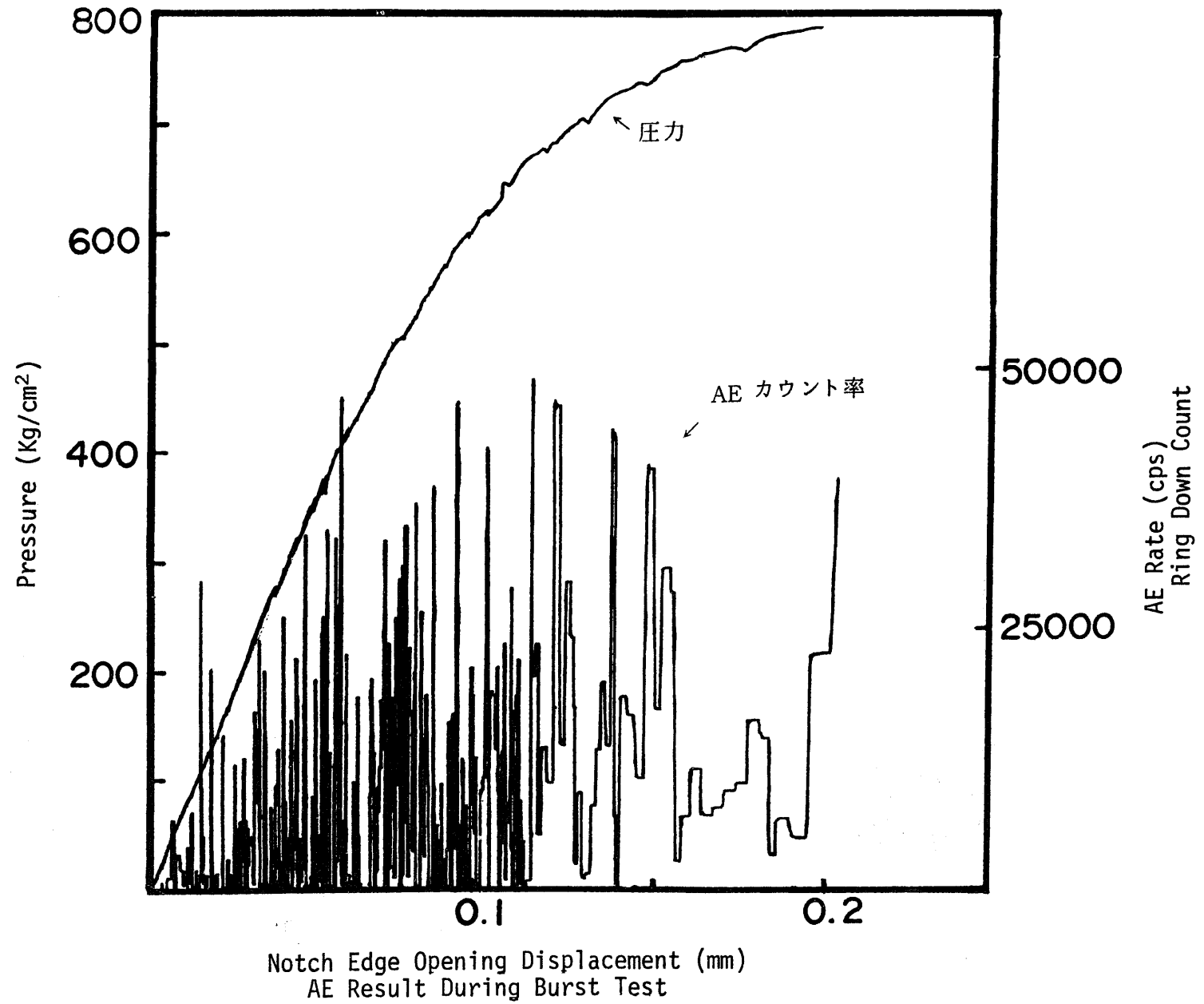


図 10, 水圧試験中のAE カウント率

図 12 に試験の全過程で発生した AE 信号の位置標定結果を示す。図中央で最大の集中をみせているのが電気ノイズに相当すると考えられるもので、以下の解析では除かれている。図 12 では、電気ノイズも含めて 5 ケ所の AE 集中がみられるが、AE センサ、切欠先端、溶接部の AE 発生源と考えられる位置と比較することで、発生源を同定することができた。すなわち $\pm 140\text{mm}$ 付近の集中は、端栓の溶接部に相当し、 -70mm と $+65\text{mm}$ の集中は、AE センサのとり付け位置に相当している。しかし、切欠に相当する $\pm 40\text{mm}$ の範囲からの AE はほとんどみられなかった。

各発生原因について、応力-COD 曲線、及び応力-時間-AE 累積数の関係を示す。図 13、図 14 は、溶接部で発生した AE の累積数を、COD と時間に対してプロットした結果を示す。両図における不連続部は、加圧操作中に行った増締めの影響である。溶接部における AE の累積数は、試験前半において応力とほぼ比例して増加したが、それ以降では、応力と関係なく急増した。

PT BURST

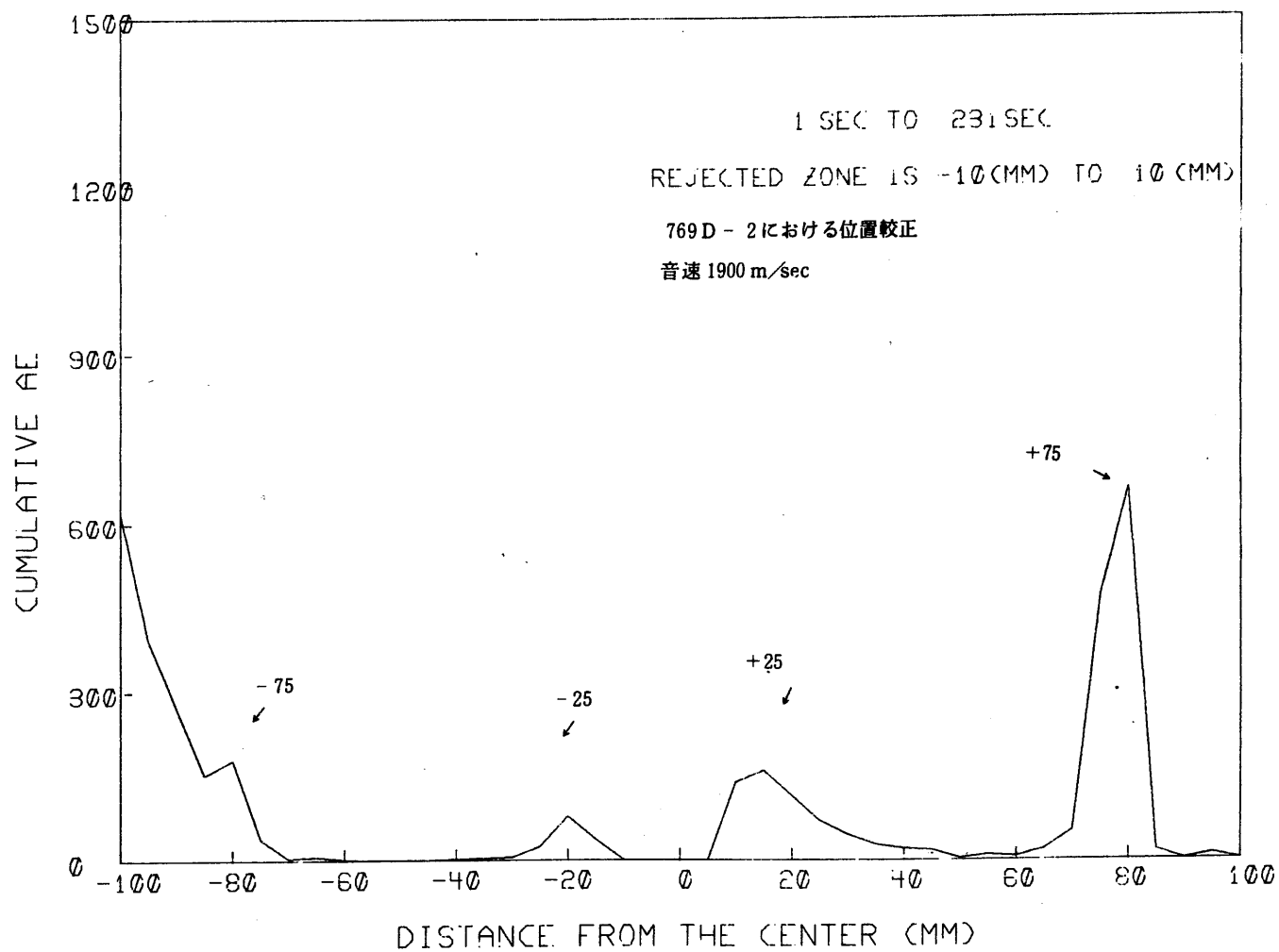


図 11 ZONE DISTRIBUTION OF AE

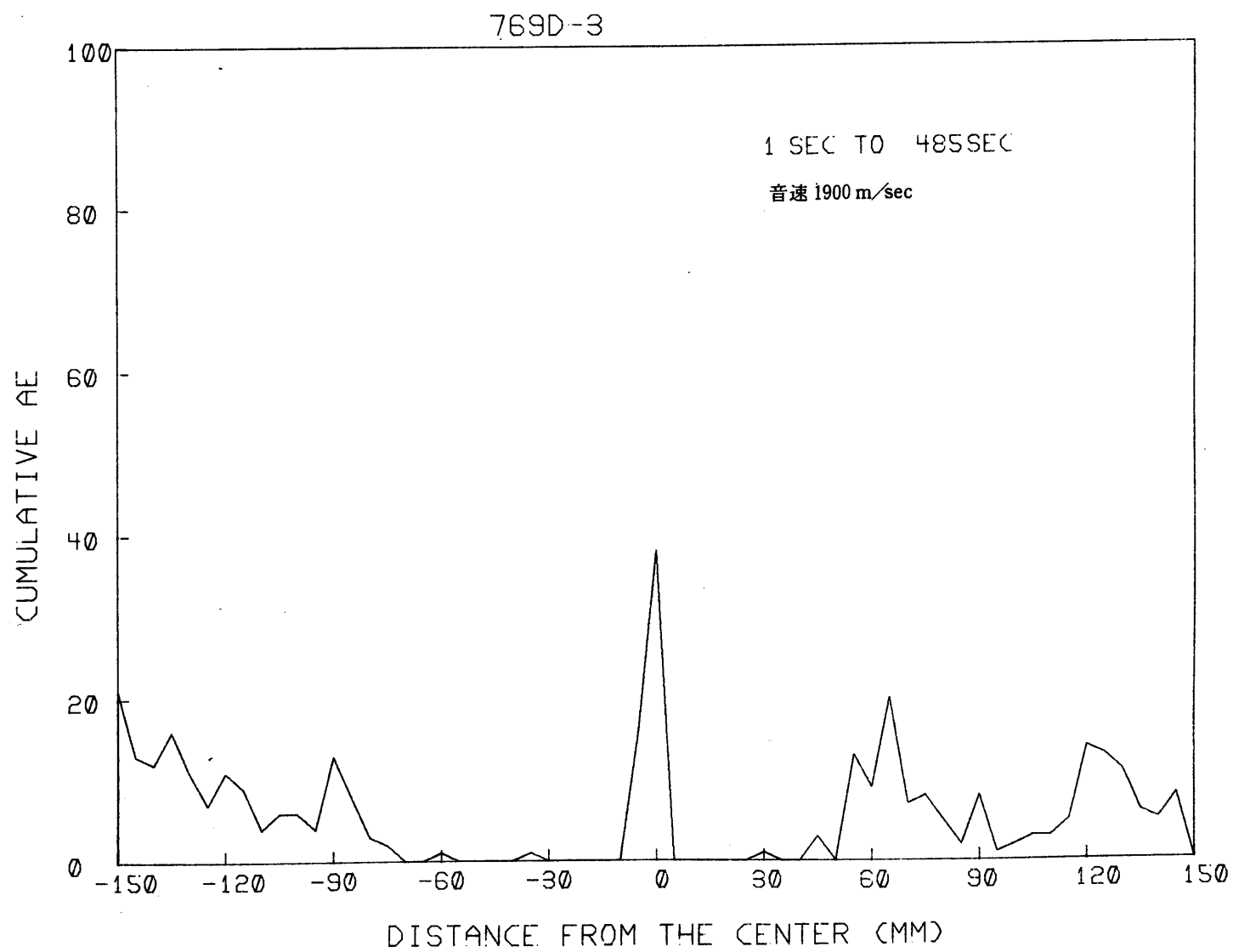
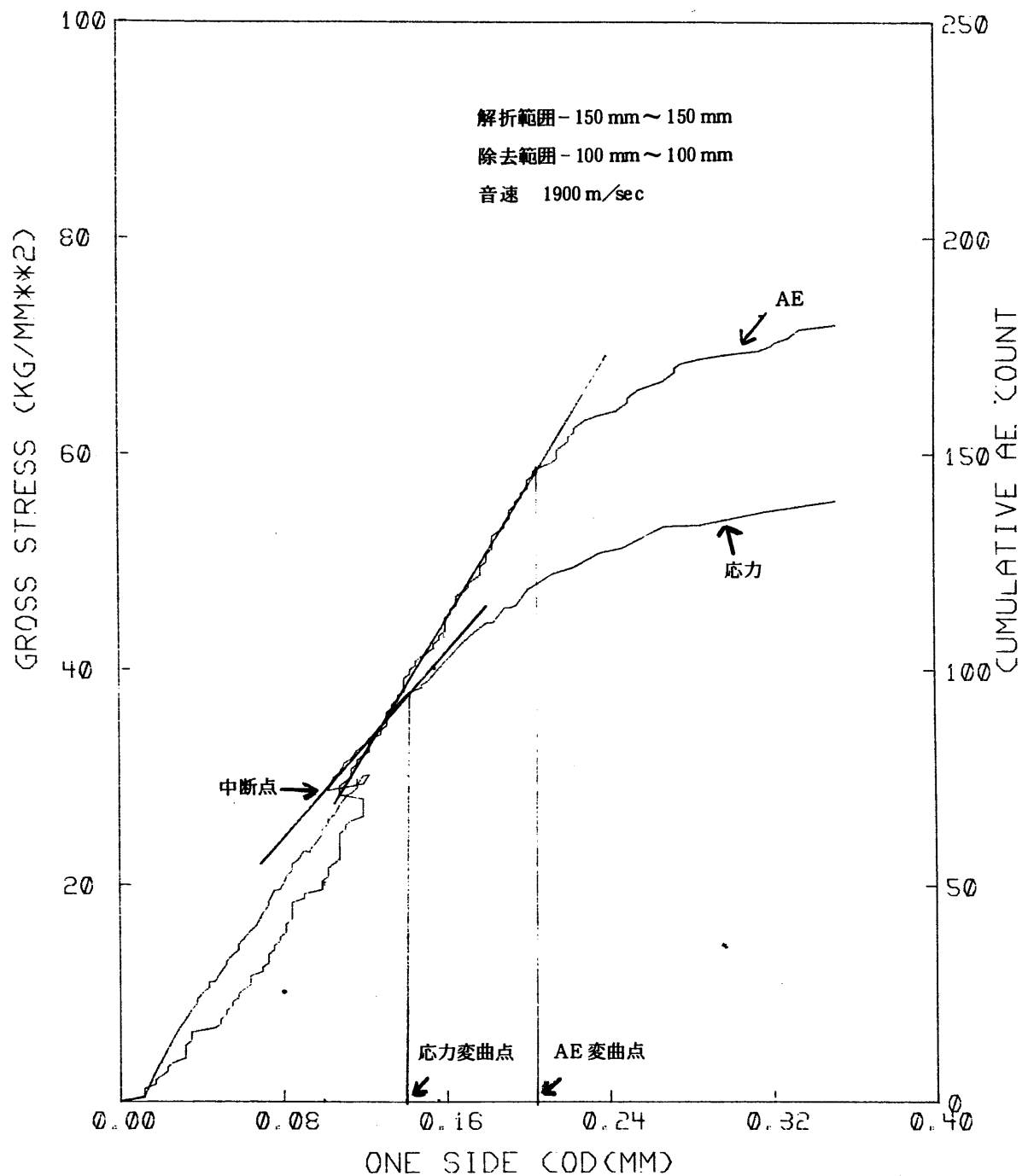


图 12 ZONE DISTRIBUTION OF AE

769D-3



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 13. 溶接部におけるCODに対するAE累積数と応力

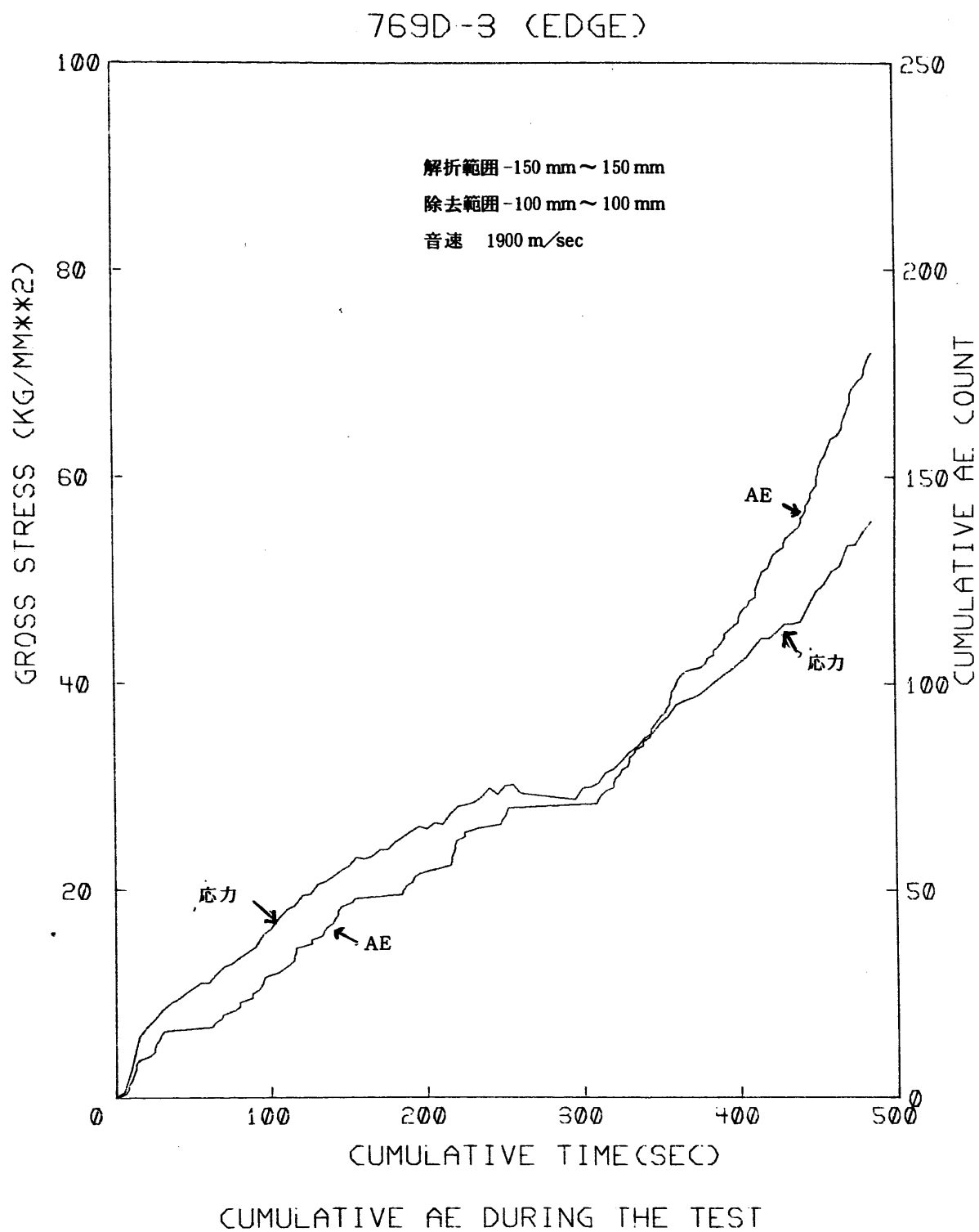


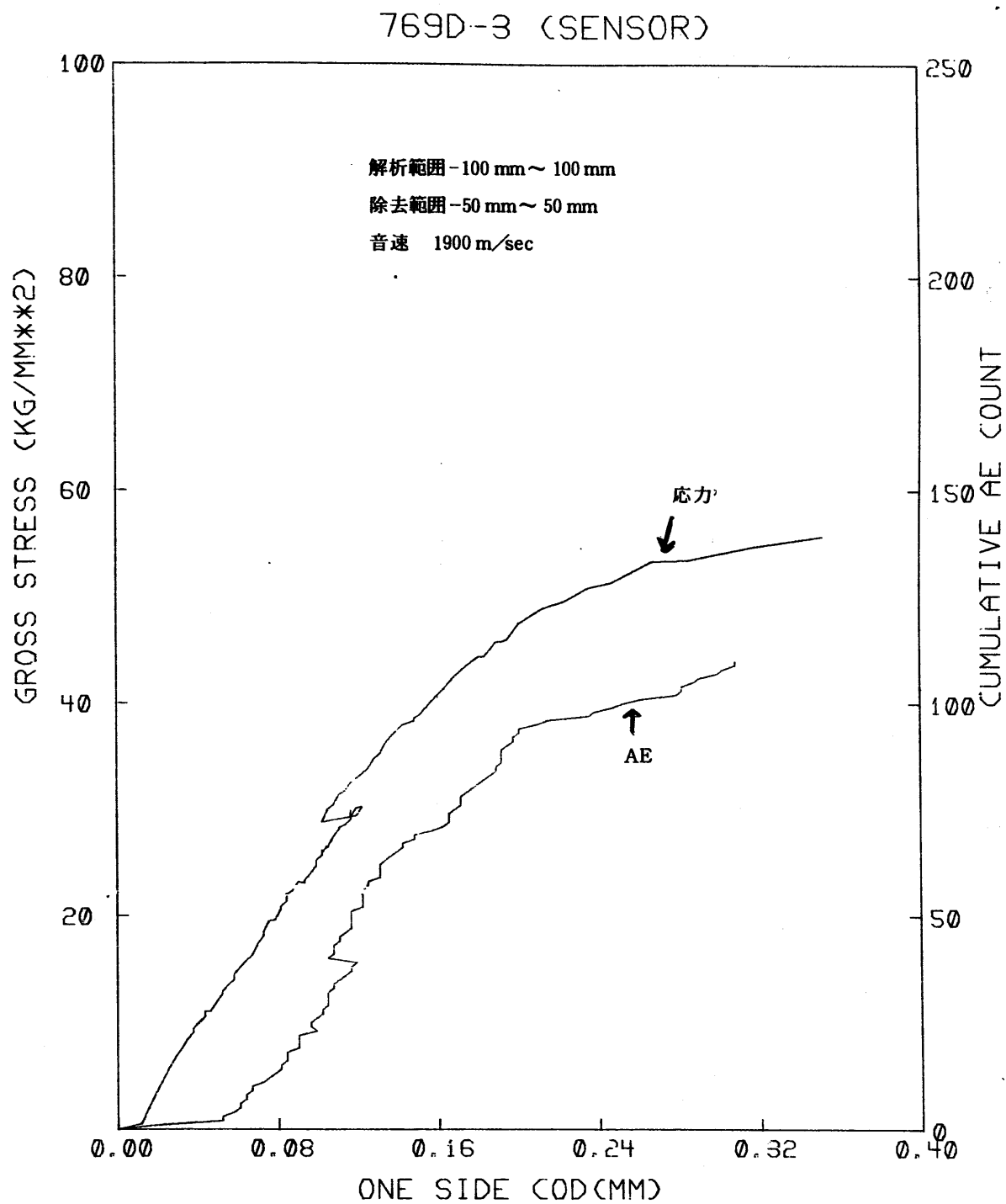
図 14. 溶接部における時間に対するAE 累積数と応力

図 13 は、COD に対して、応力と AE 累積数をプロットしたものであるが、図中に示した補助線を利用すると明らかなように、応力が直線からはずれ始める時の COD と、AE 累積数の曲線が直線からはずれる時の COD は大きく異なっており、応力依存性の小さいことをうかがわせた。

時間経過に対する AE 発生状況は、図 14 のようであるが、試験後半における AE 累積数の急増が特徴となっている。溶接線は、端栓と試験片の境界にあることから、内圧が作用した時に発生する曲げモーメントが、この部位における AE の原因であろうと考えられた。

次に AE センサ取付け位置からの AE 累積数を、COD 及び時間に対してプロットした例を図 15 と 16 に示す。両図から明らかなことは、COD 及び時間に対して、プロットした AE 累積数がほとんど応力と比例していることである。これは、センサ位置からの AE 信号が、接着剤の割れによるものであると考えれば、その割れ量は、応力に比例するであろうから、このような結果は当然なものと考えられる。なぜ COD ではなく、応力であるかと言うと、COD は、切欠が原因する局所的な変形量を与えるのであって、平均的な歪を示すものではない。したがって、COD が増加しても変形のほとんどは切欠先端に局限されており、AE センサ取付け位置の歪とは関係がない。一方、接着剤の割れの原因となる歪は、センサが切欠先端に位置していないため、試験片の平均的な値で評価しなければならない。以上のような理由によって、図 15 と 16 に示した AE は接着剤の割れに伴うものであることが明らかとなった。

図 17 と図 18 は、電気ノイズを除いた切欠部における AE 累積数である。両図はそれぞれ COD 及び時間に対して、AE 累積数等をプロットしたものであるが、記録された AE は非常に少なく、今回のような多軸応力下での破壊試験では、AE の発生量が低下することを明らかに示している。



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 15. センサ位置におけるCODに対するAE累積数と応力

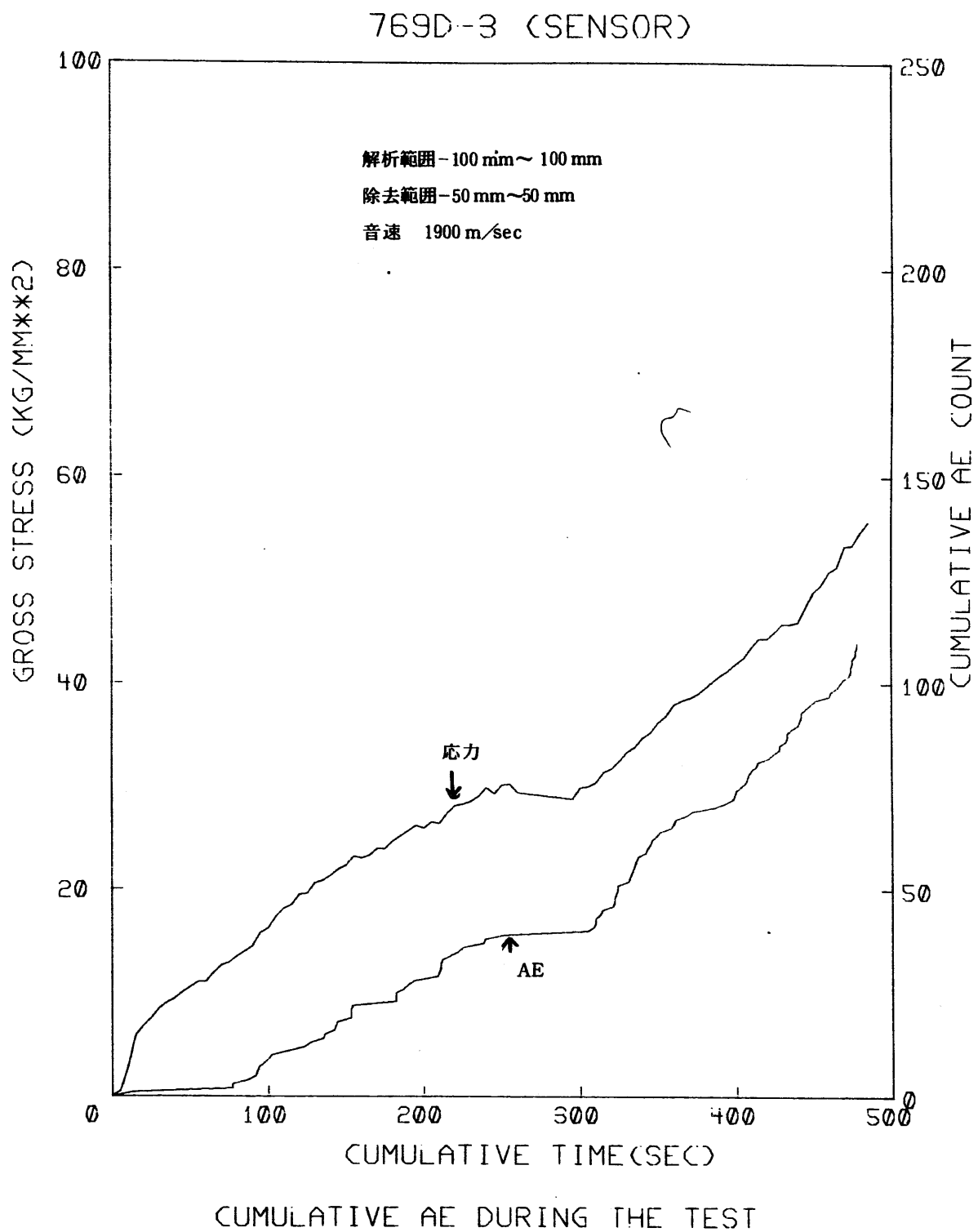
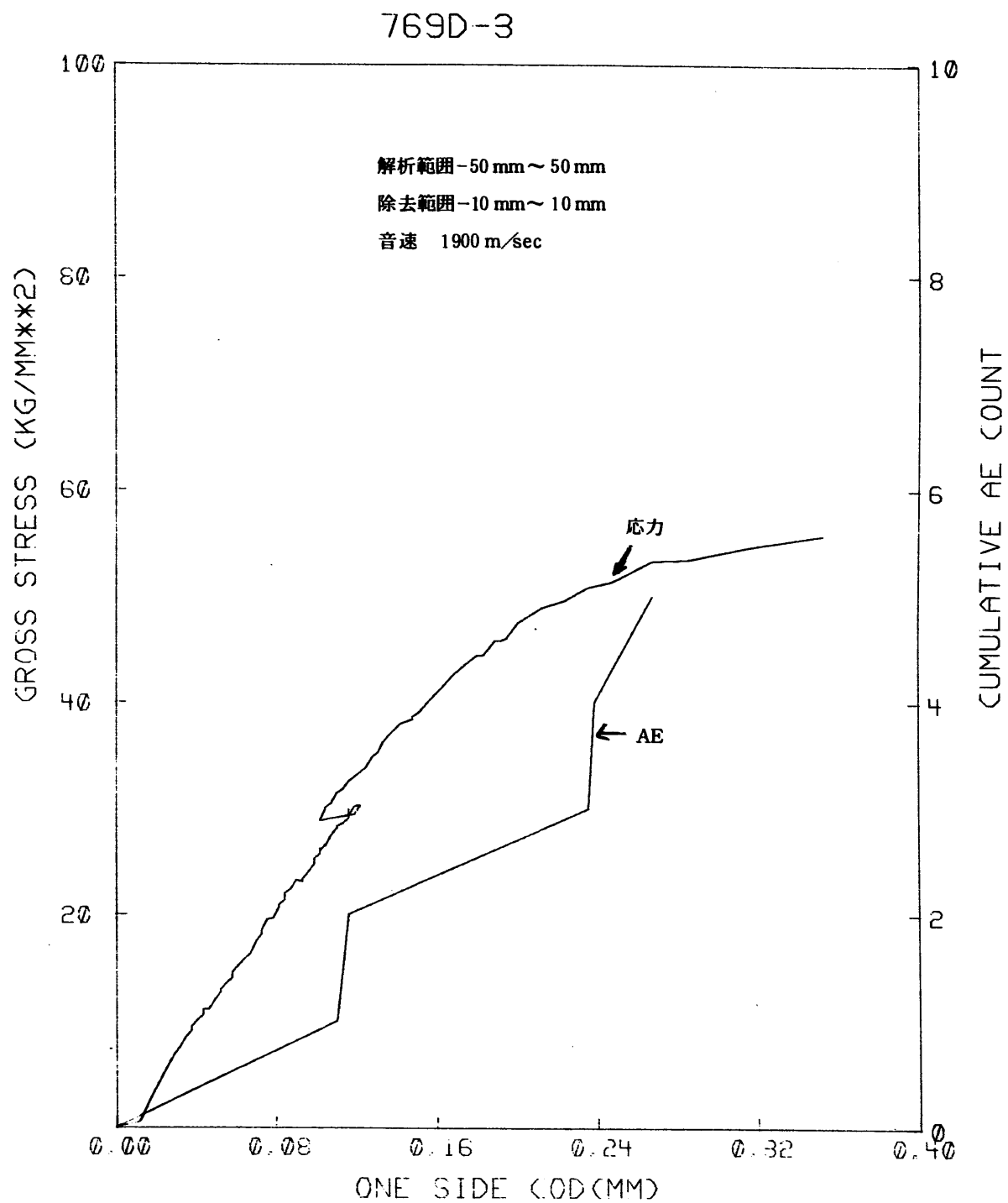
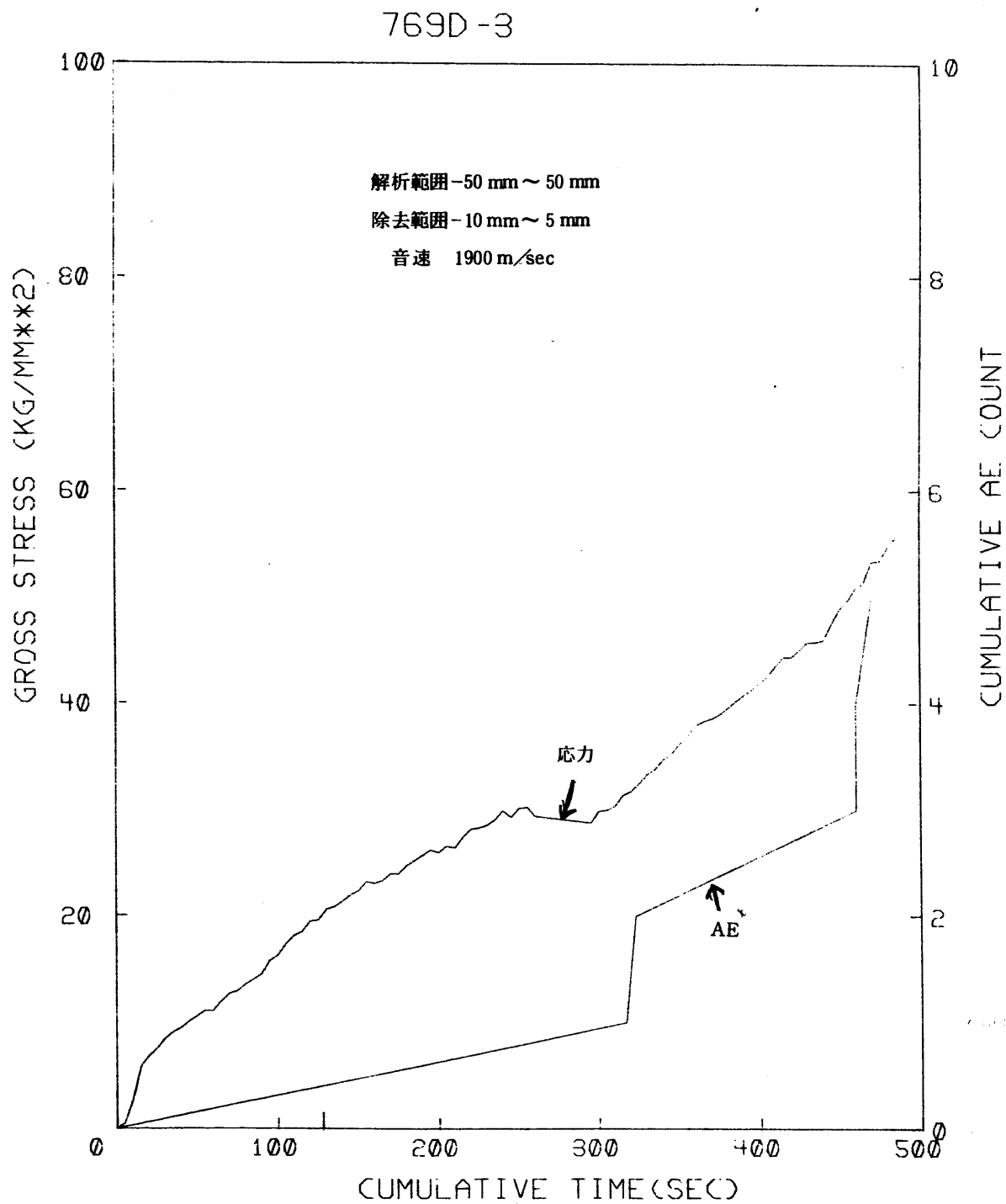


図 16. センサ位置における時間に対するAE累積数と応力



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 17 切欠位置におけるCOD に対するAE 累積数と応力



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 18 切欠位置における時間に対するAE累積数と応力

図 19. 20, 21 は、AE 累積数を COD の平方根に対して両対数グラフにプロットしたもので、それぞれ切欠部、溶接部、センサ位置に相当している。図中に示された数字は、適当な区間について行った回帰分析の結果である。切欠部からの AE は、極めて少なかったため、回帰分析に高い精度は望めないが、一応の傾向として得た。その結果、相関係数は 0.916、回帰線の傾きは 2.71 となった。前述のごとく、本試験ではリークのため試験の中断がある。図 20 には直線の補助線が回帰線として引かれているが、傾きが中断点前後で少しかわっていた。すなわち、中断前の傾きが 2.973 であったものが、2.937 へ減少していたのである。これは図 22 にプロットした中断点前後の圧力と、COD の様子からも明らかのように、再加圧時の圧力と COD の関係が変化してしまったため、もしリークがなければ、傾きの変化も起なかったものと考えられた。この原因は明らかではないが、それぞれの領域で直線関係が保たれていること、図 23 で示したように、圧力と荷重測定装置出力の関係が、リーク前後で変化しなかったことなどから、増締め操作中に誤って触れたため、クリップゲージのあたりがかわってしまったことが原因となっていると考えられた。また興味深いことは、図 20 に示された回帰線の傾きが、切欠部について得られた回帰線の傾きに近いことであった。今後、更に多くの実験を繰り返し、回帰分析を重ね、統計的な信頼度を上げ、ここで比較したような、材料破壊時の AE が一定の指数関係を持つという仮説を証明できるならば AE 法による破壊予測にとって非常に有益な特性となるであろう。

図 21 は、前述したように AE センサ位置からの信号について行った解析結果である。この AE も、2 つの直線部を形成していた。しかし図 19. 20 等の材料破壊に関係すると考えられた AE とは異り、その回帰線の傾きは非常に大きかった。

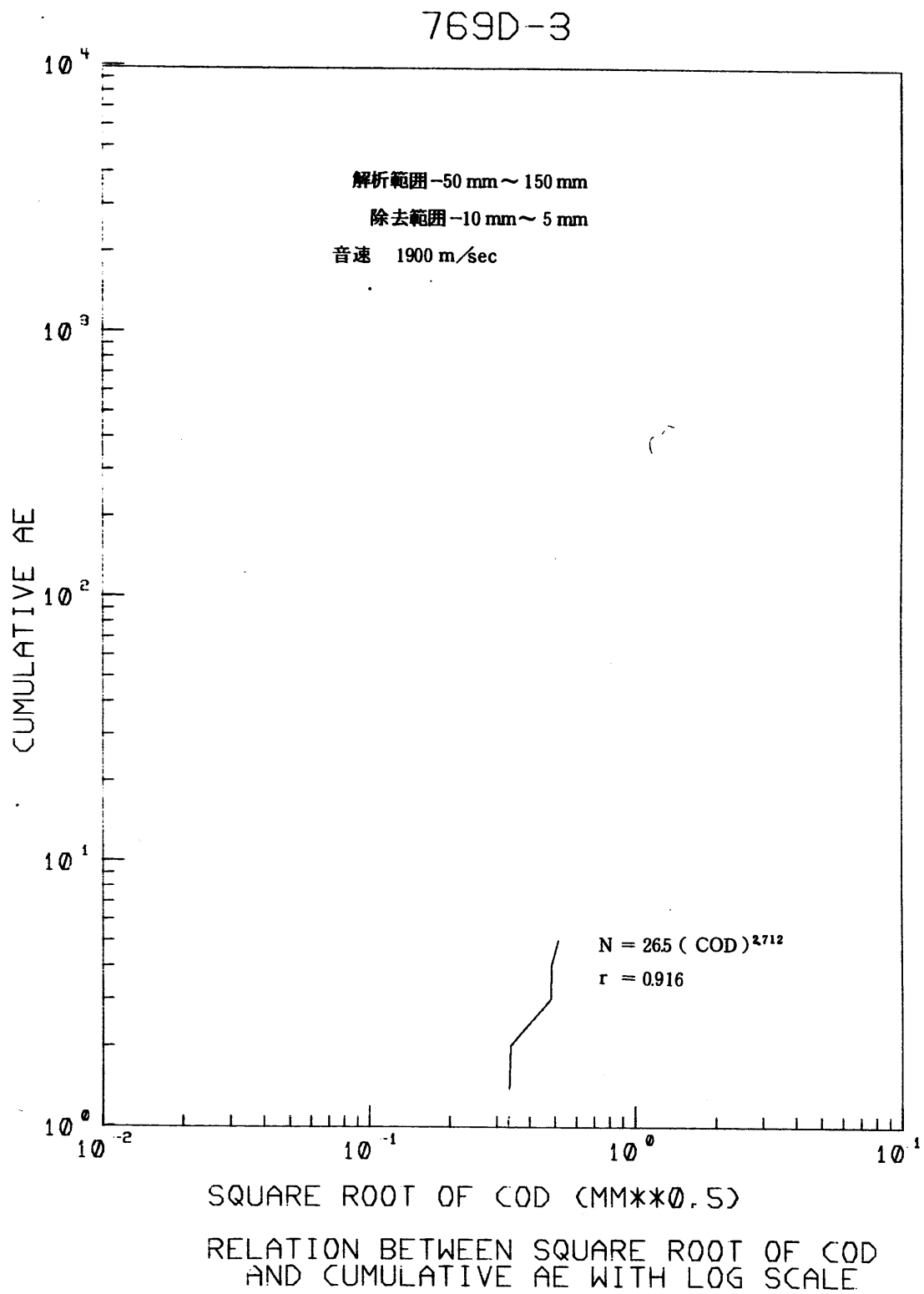


図 19. 切欠位置で発生したAEの回帰分析

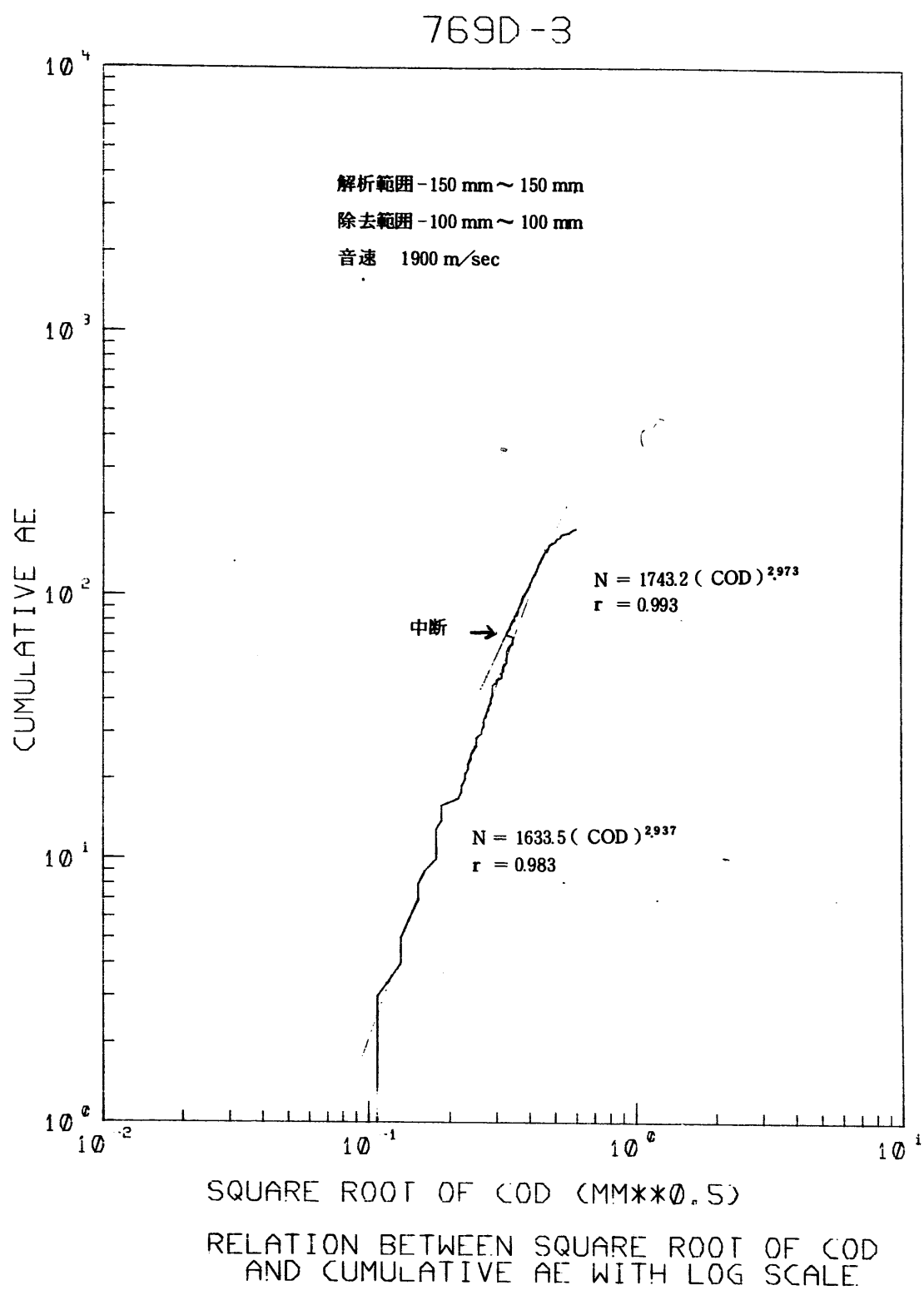
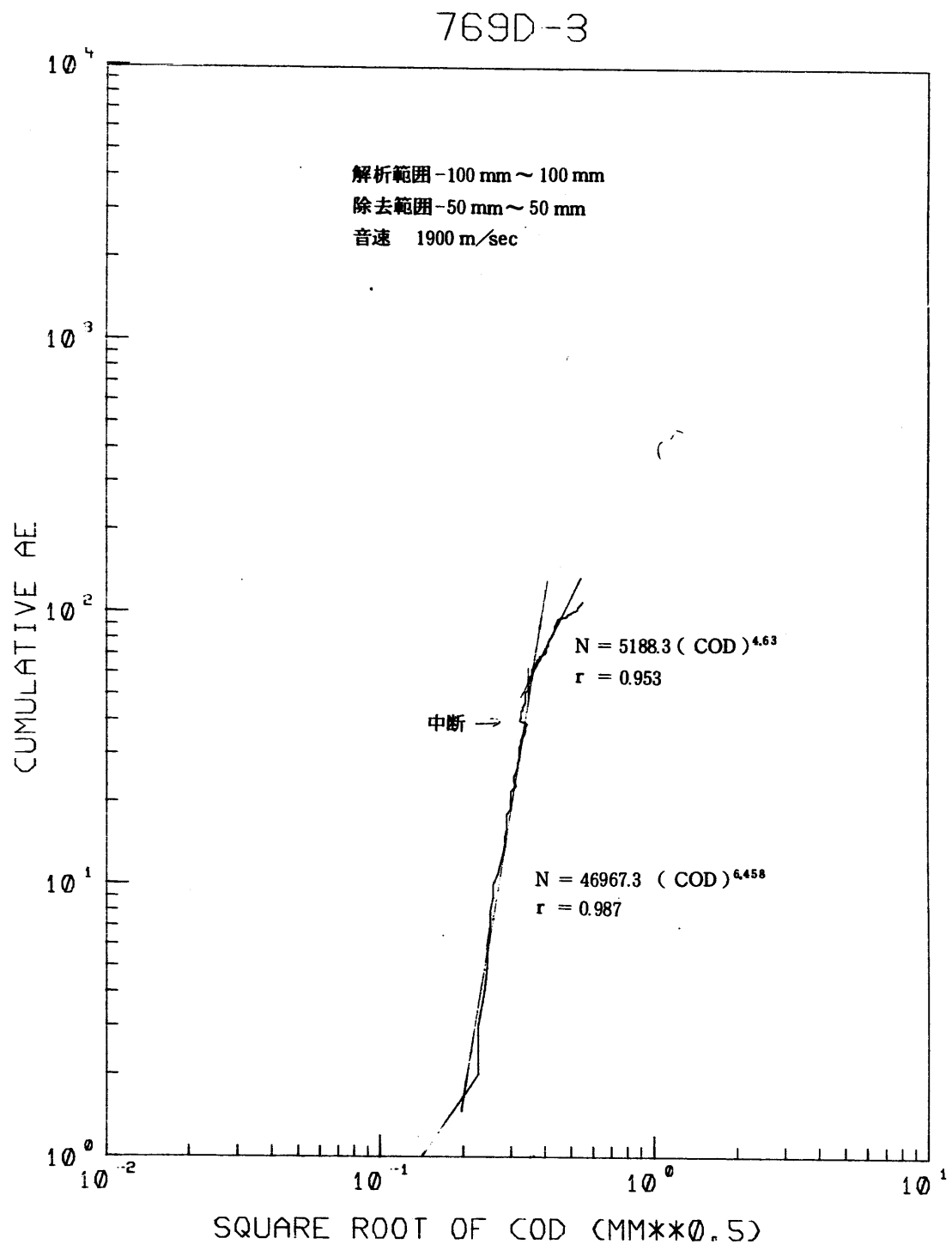


図 20 溶接部で発生したAEの回帰分析



RELATION BETWEEN SQUARE ROOT OF COD
AND CUMULATIVE AE WITH LOG SCALE

図 21. センサ位置で発生したAE の回帰分析

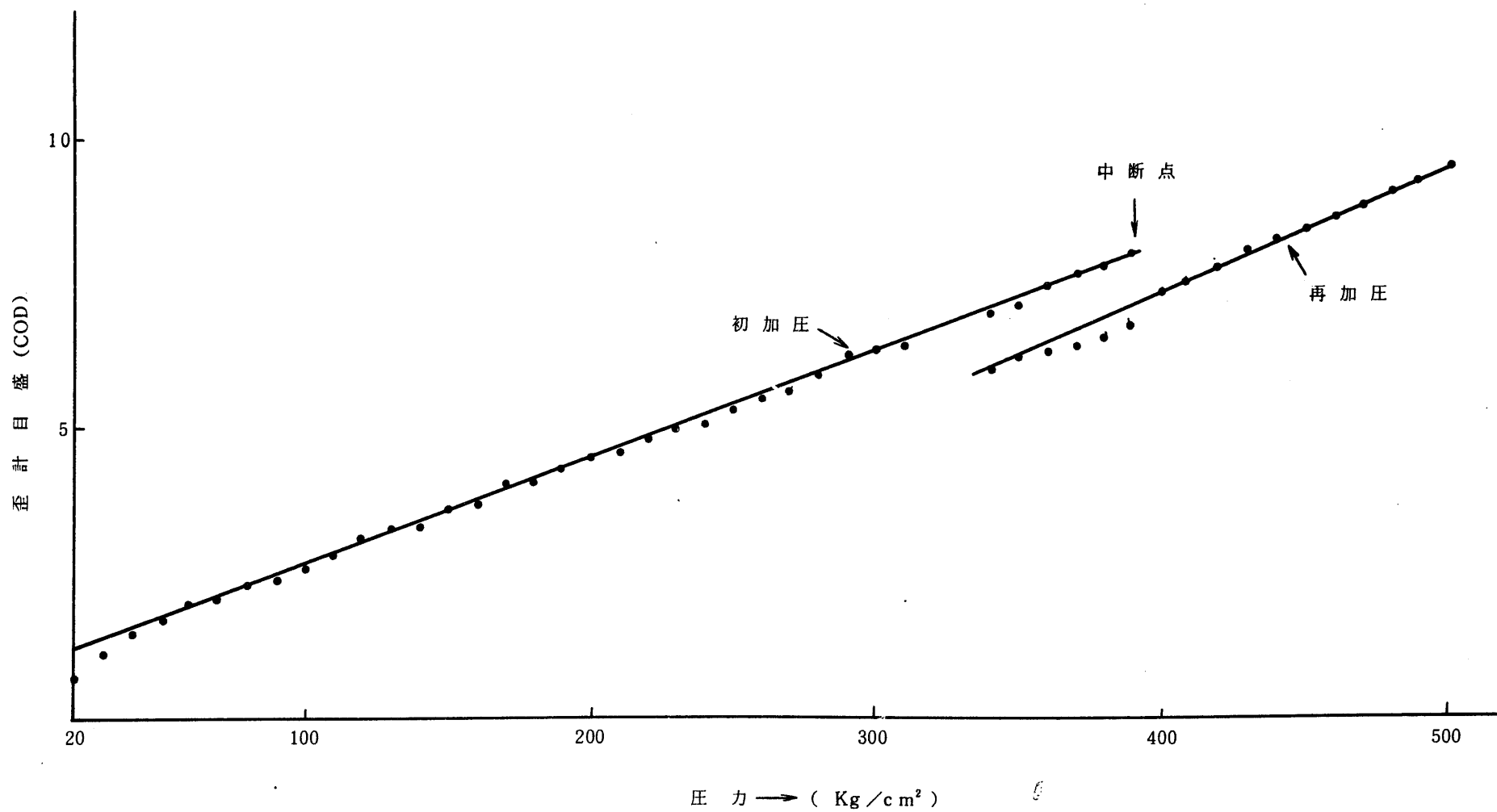


図22 試験片 769 D-3 の加圧中断前後

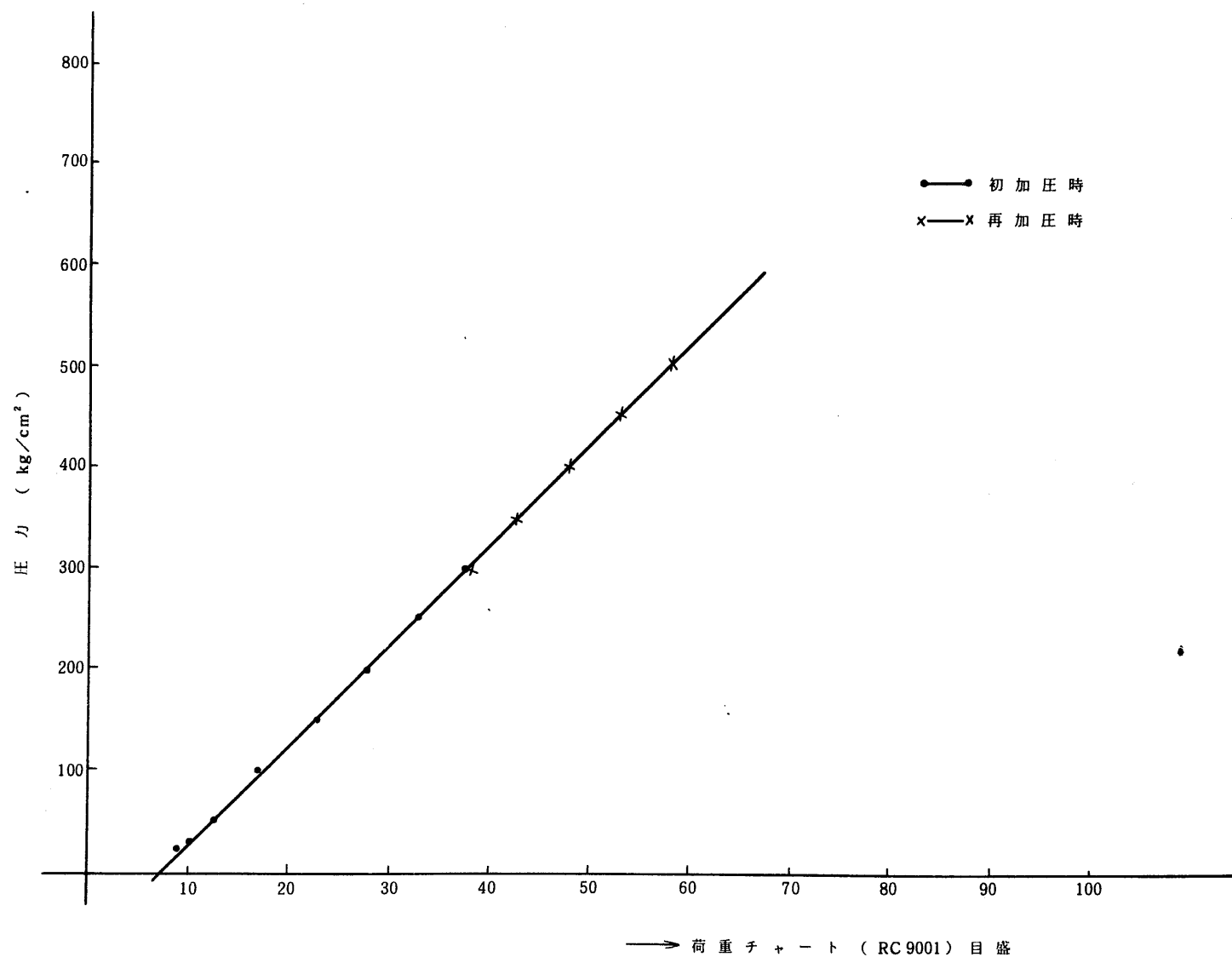


図 23 圧力と歪計チャート目盛の間

3. 1. 2 空圧試験結果

写真 5 は、空圧試験後の状況である。この場合も、AE センサや、COD 測定用の C ゲージ等は破壊時の衝撃ではづれた。図 24 は、空圧試験時に得られた圧力と C ゲージ出力記録例である。AE センサは、写真のように高圧シール治具に接着剤を用いてとりつけられたため、ここでは、3. 1. 1 で述べたような接着剤の割れに相当するような信号はみられなかった。また溶接部が存在しない、開放端方式の内圧試験であるため、端栓が原因する AE の発生もみられなかった。

図 25 は水素富化していない試験片の AE カウント率と累積数のデータ例である。図 26 は、250 ppm に水素富化された試験片の AE 測定結果である。両図を比較すると、水素富化の有無によって AE の発生量は極端に異なり、水素富化されていない試験片は全くと言えるくらい AE は発生しない。単軸引張試験時の AE 測定結果には、このような極端な差がみられなかったことから、内圧加圧のような 2 軸応力下において、塑性変形が原因する AE は発生し難くなるものと考えられた。一方、水素富化された試験片では、水素の量に比例して AE 量が増加する傾向がみられた。写真 7 は、水素富化した試験片の金相写真である。このような水素化物はきわめてもろいため、応力の負荷によって容易に割れてしまう。今回の試験において、水素富化の量に比例して AE 量が増加したということは水素化物の割れる数が増加したと考えることでうまく説明される。

従来、実施されてきた単軸引張試験結果は、水素富化が AE 発生状況に影響を及ぼさないことを示しているが、これは単軸応力下における塑性変形による AE に水素化物の割れによる AE が加わった結果として計測されたためと考えられる。

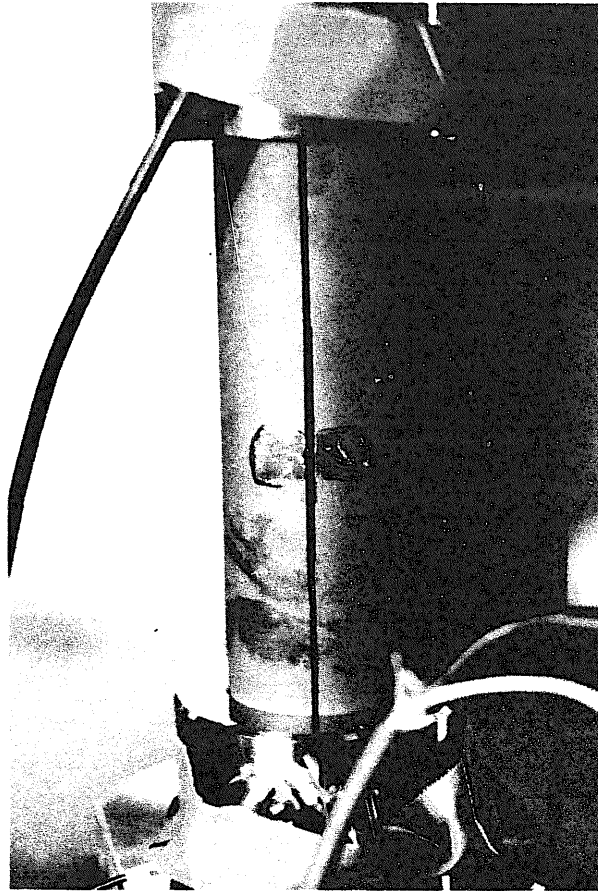


写真 5. 空圧試験後の状況（試験片 68 - 6）

これは写真6のようにA E センサを試験片に直接取り付けて測定した場合でも、あまりA E を計測できなかったことから明らかであった。

このようにA E センサを直接取りつけた結果、試験片破裂時の衝撃で Dunegan のセンサが2個とも破壊してしまった。したがって、この試験以降は、4 個を Nortec のセンサにかえて測定しなければならなかった。

尚、通常のA E センサ取り付け位置は、写真 2,3 に示されている。

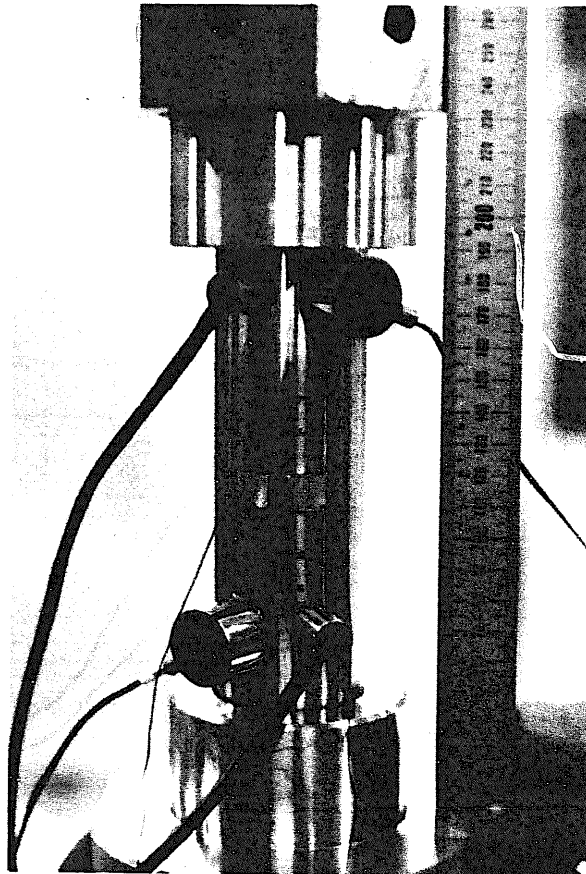


写真 6. 試験片に直接取り付けたAE センサ

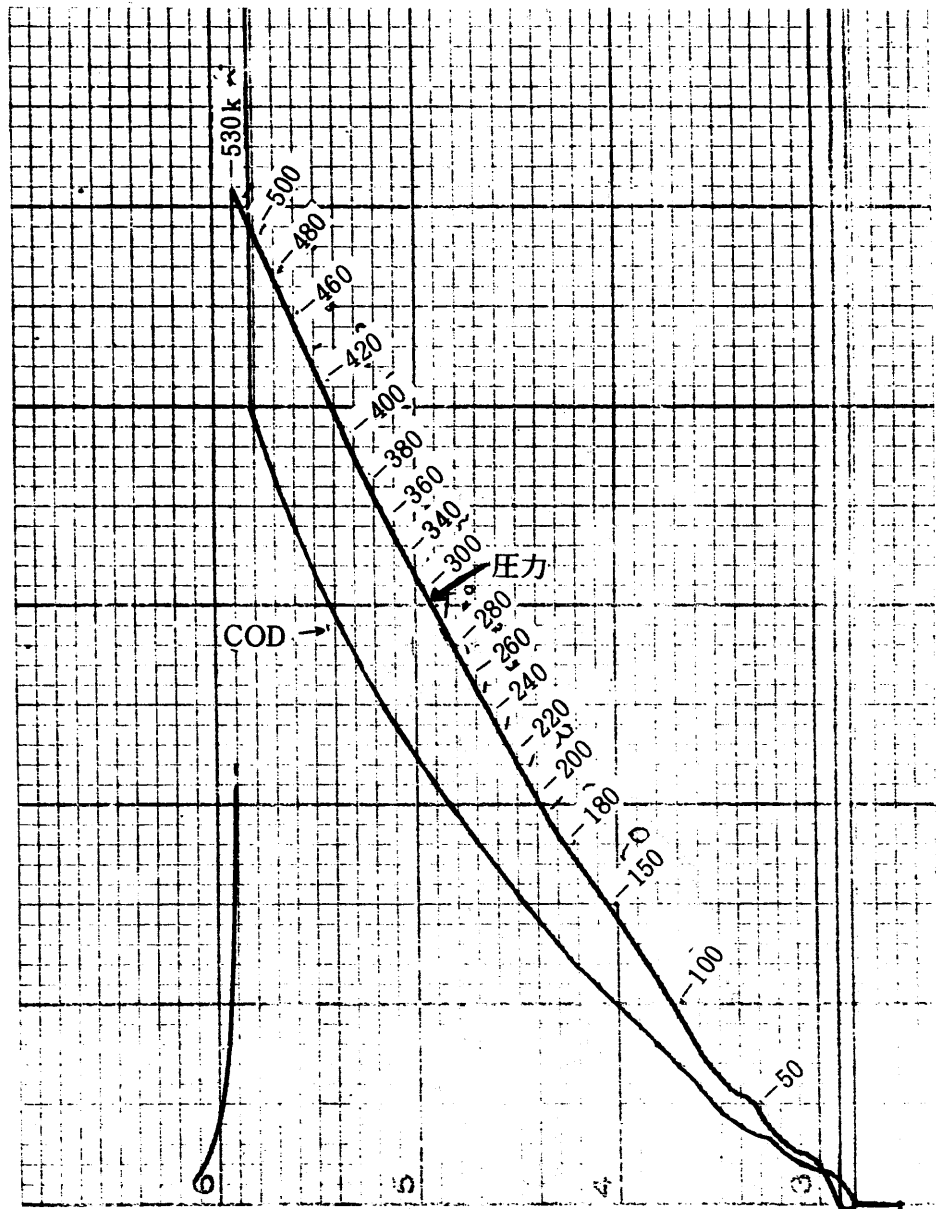


図 24. C ゲージによるCOD 測定例

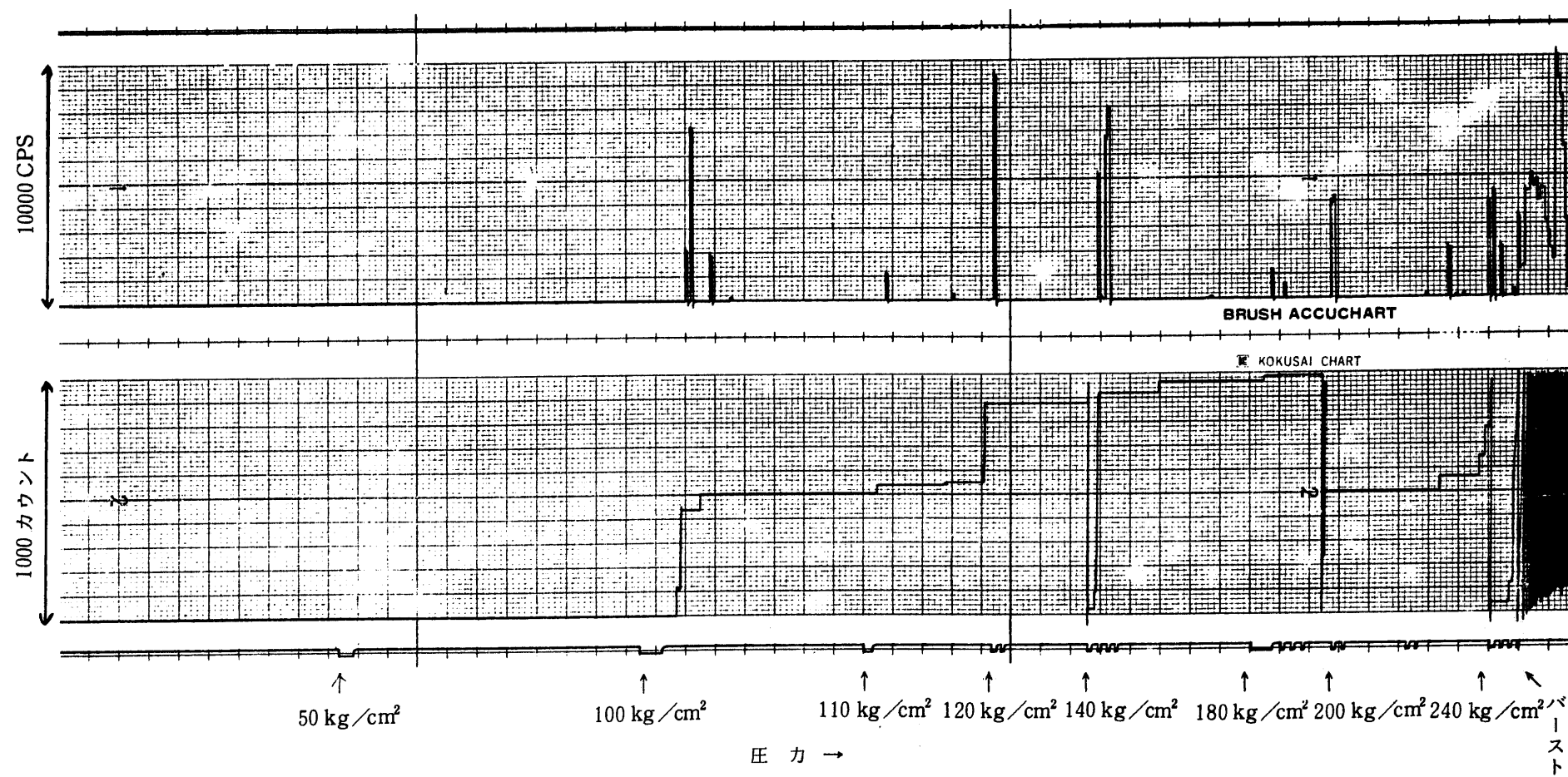


図 25. 受け入れ材の内圧破壊時AE 測定結果

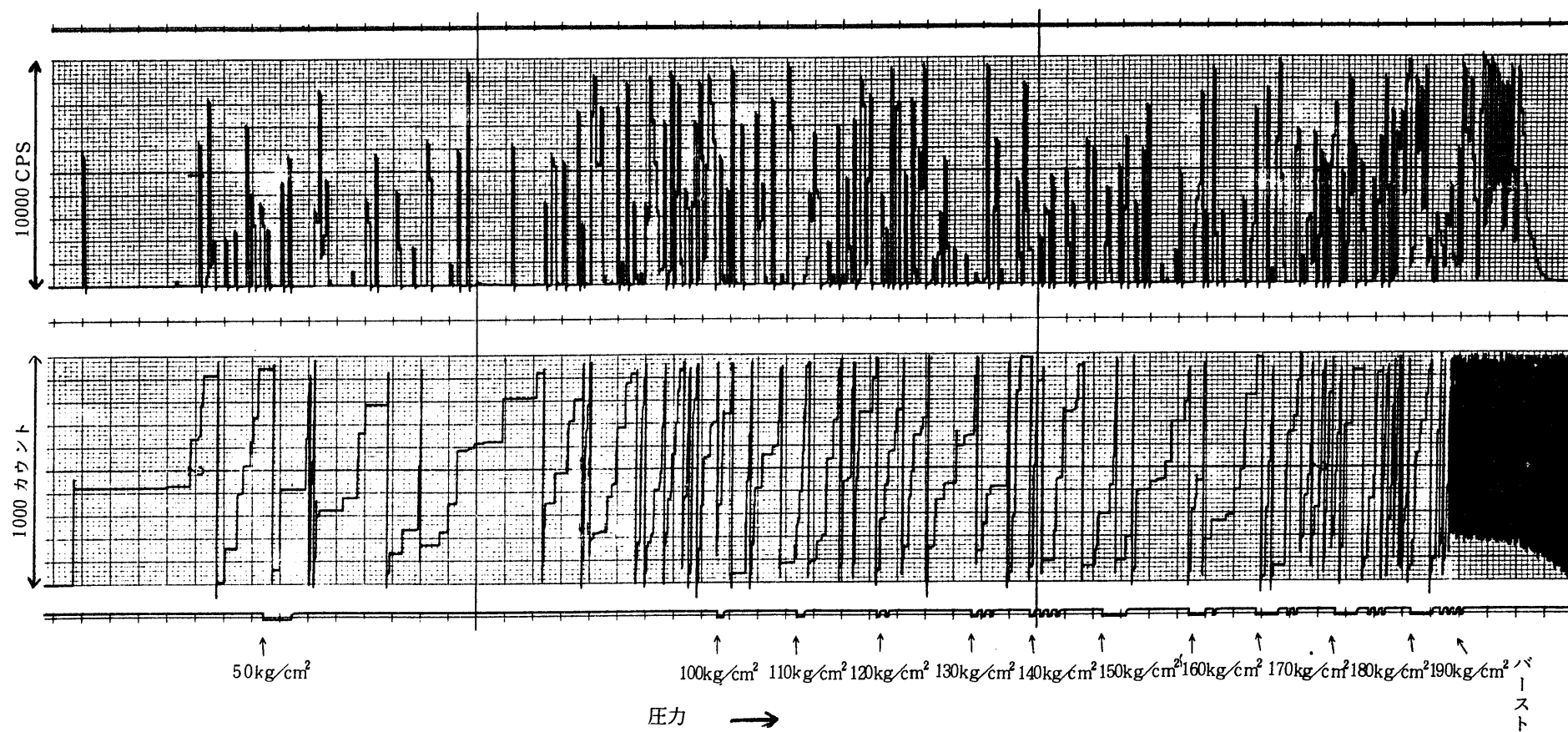


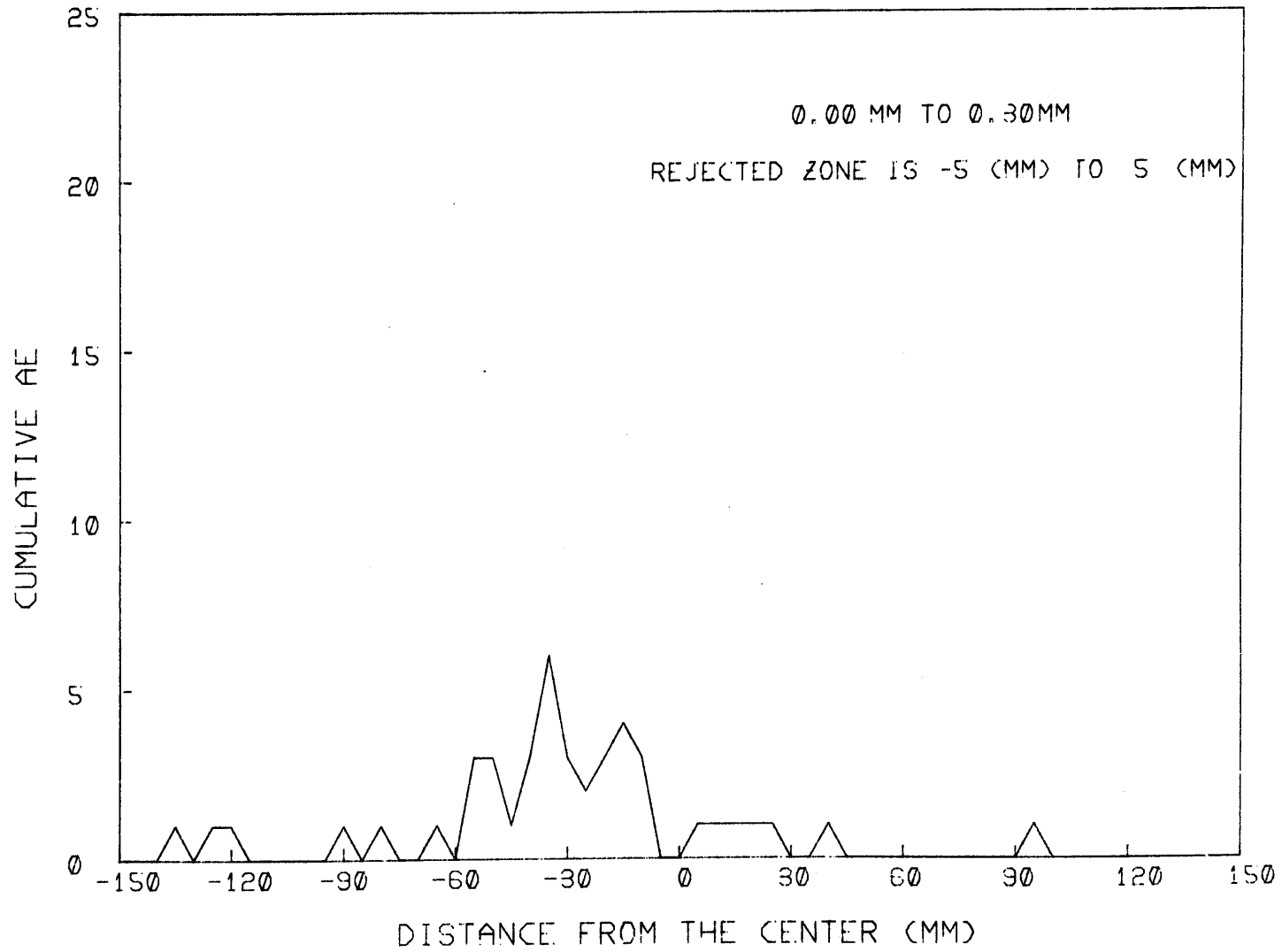
図 26. 水素富化材の内圧破壊時AE 測定結果

図 27 は、250 ppm に水素富化された試験片の、AE 発生位置分布を示すものである。図に記入された試験片の寸法と比較すると明らかなように、切欠の先端に相当する -35 mm を中心とした AE 発生がみられた。しかも、切欠の片側だけに AE の発生があったような結果となった。一般に破壊発生の確率は、切欠の両端で等しいはずであるが、この例では、片側からだけ破壊が発生しているように考えられる。原因としては、①実際に片寄りがあった、②NO 2 チャンネル側のセンサ取り付けが不充分であったとの 2 つが考えられたため、その検証を行った。図 28 は同一条件で行ったが各チャンネルごとの AE カウント率の比較である。前述のごとくデータレコーダには 4 つのチャンネルがあり、2 チャンネルずつ費して 2 組の AE データ対を記録している。すなわち、データレコーダのチャンネル 4 と 6 が位置標定で言うところの CH 1 側に相当し、チャンネル 5 と 7 が CH 2 側に相当する。図より明らかなように、どちらの対についても CH 1 側のカウント率が大きい傾向を示している。これはセンサの取り付け方によるものではなく、AE 発生そのものにかたよりがあったことを示している。しかし、なぜこのようなかたよりが生じたかは明らかではない。

図 27 の例では、大部分の AE が切欠先端付近から発生しているため、水圧試験のように、発生源別のカウント解析は実施しなかった。しかし、電気ノイズと考えられる時間差 0 にちかいデータは除外して解析を行った。

図 29 は COD に対してプロットした応力と AE 累積数の例である。試験片の水素量は約 250 Ppm であるため、材料の延性は低下し、ほとんど直線弾性状態のまま破壊するはずである。図 29 の応力-COD 曲線は、それほどよく直線に沿っていないが、図 12 等で示した無富化材と比較すると、明らかに延性は低い。破壊の直前において応力の増加が停滞しているのは、切欠先端における塑性変形量の増加によるものと考えられる。

68-6



27 ZONE DISTRIBUTION OF AE

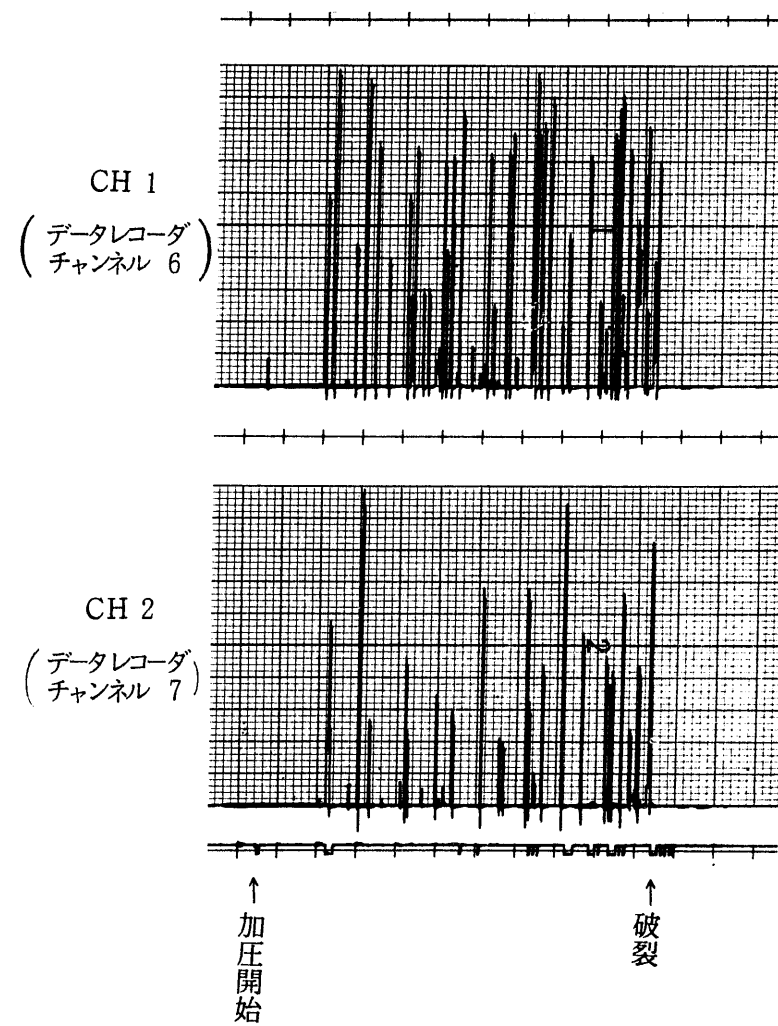
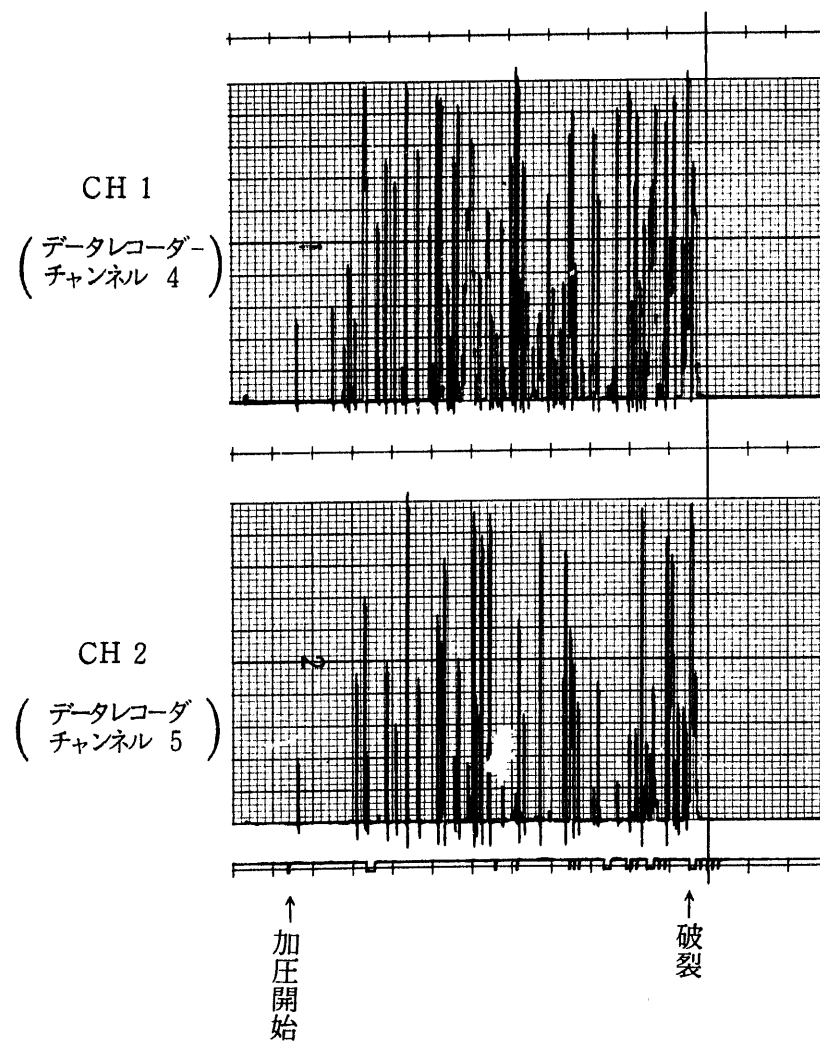
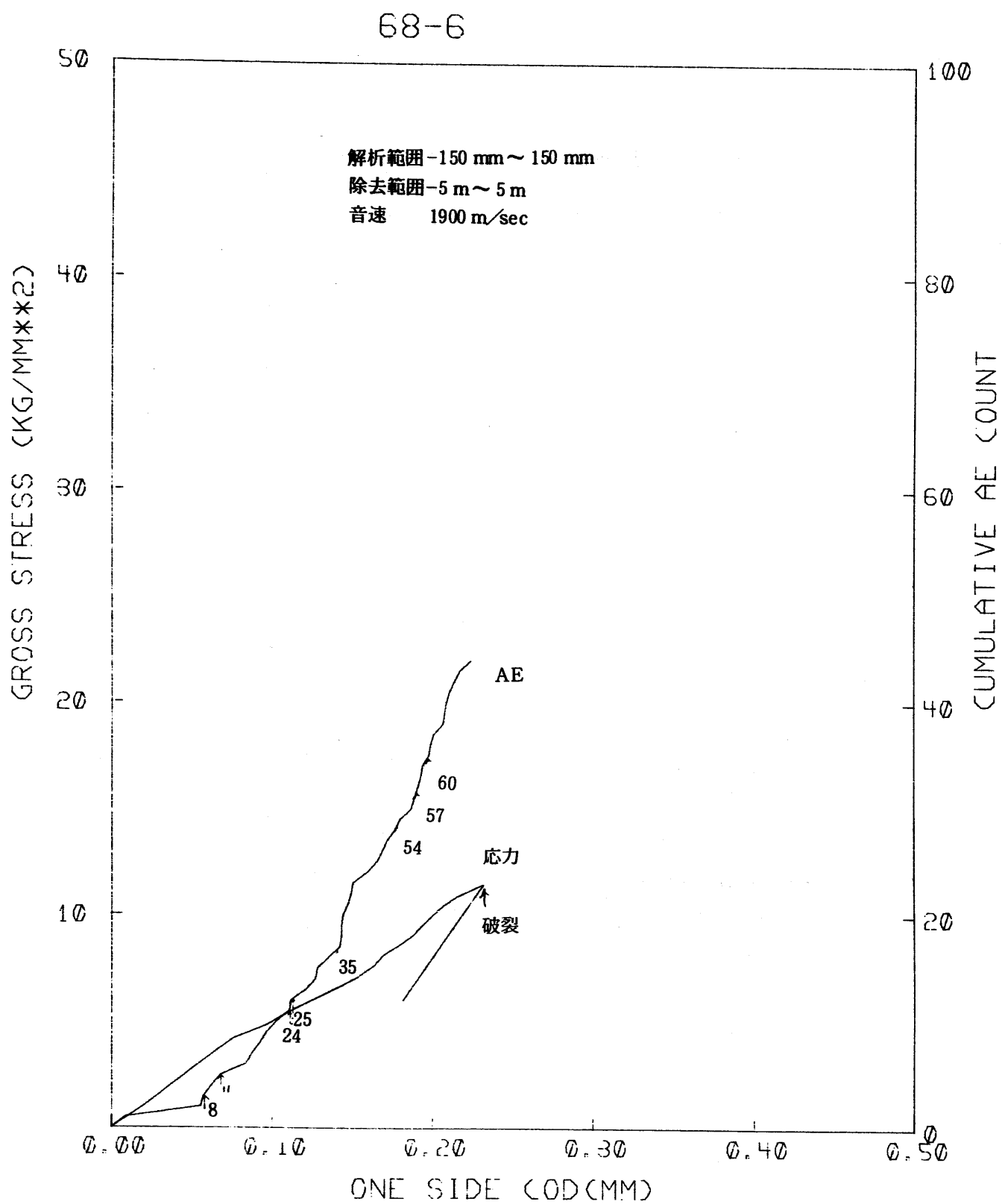


図 28 各チャンネルのカウンtr率比較 (5000 CPS フルスケール)



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 29. 水素富化材内圧破壊時AE 測定結果 (Dunegan)

AE 累積数は単調に増加しており、特に状態が急変するようなことはなかったが応力増加の停滞を示した。

図 30 は、COD の平方根に対して、プロットした AE 累積数で、両対数グラフ上で直線関係を示していた。図中に記入されたデータは、回帰分析を行った結果であるが、相関係数は 0.993 ときわめて 1 に近く、両者が強い正の相関を持っていることを示していた。また回帰直線の傾きは 4.091 であり 理論的に示される 4 乗則に合致していた。これは、水素富化材のように、延性の小さな材料では直線弾性理論が適用しやすく、また、4 乗則そのものが応力拡大係数を用いて説明しているため、塑性体積といっても、直線弾性理論の制限下にあるような、きわめて小さな範囲についてもゆるされる性格をもっており、脆性の強い材料には、比較的合致し易い事情によるためである。

前述したように、AE は 2 系統で測定した。図 31, と 32 は Nortec の装置で測定された AE の結果である。図 29, 30 との比較で明らかなように、COD に対する AE 累積数の増加傾向は、Dunegan で得られたものとほとんど同じであったが、両対数グラフ上における回帰分析の結果は、少し傾きの異なることを示していた。しかし、その相関はきわめて強く、COD の平方根と 1 対 1 的に比例する K 値、すなわち、破壊靱性値は、AE の発生状態に強く関係しているといえる。

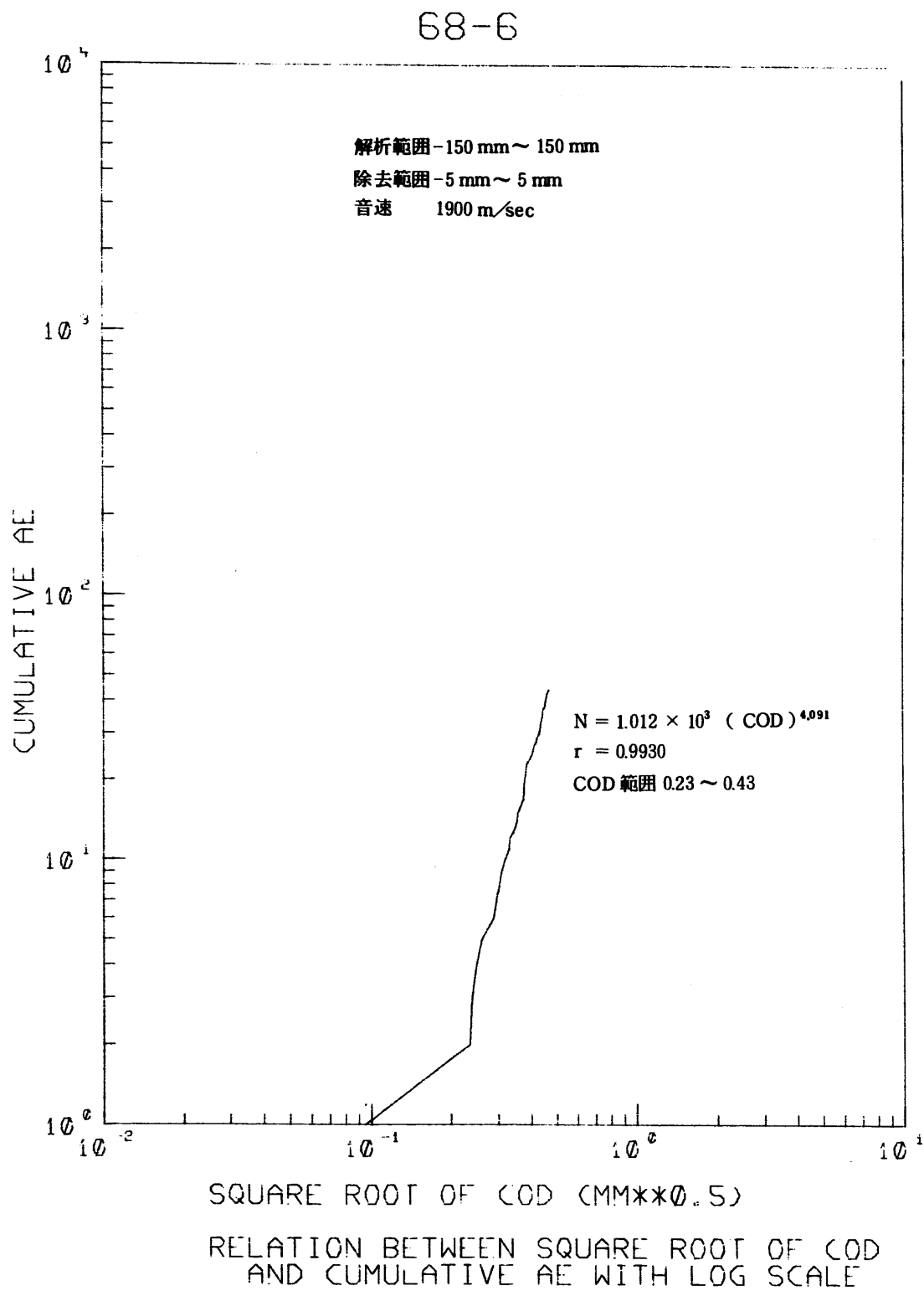
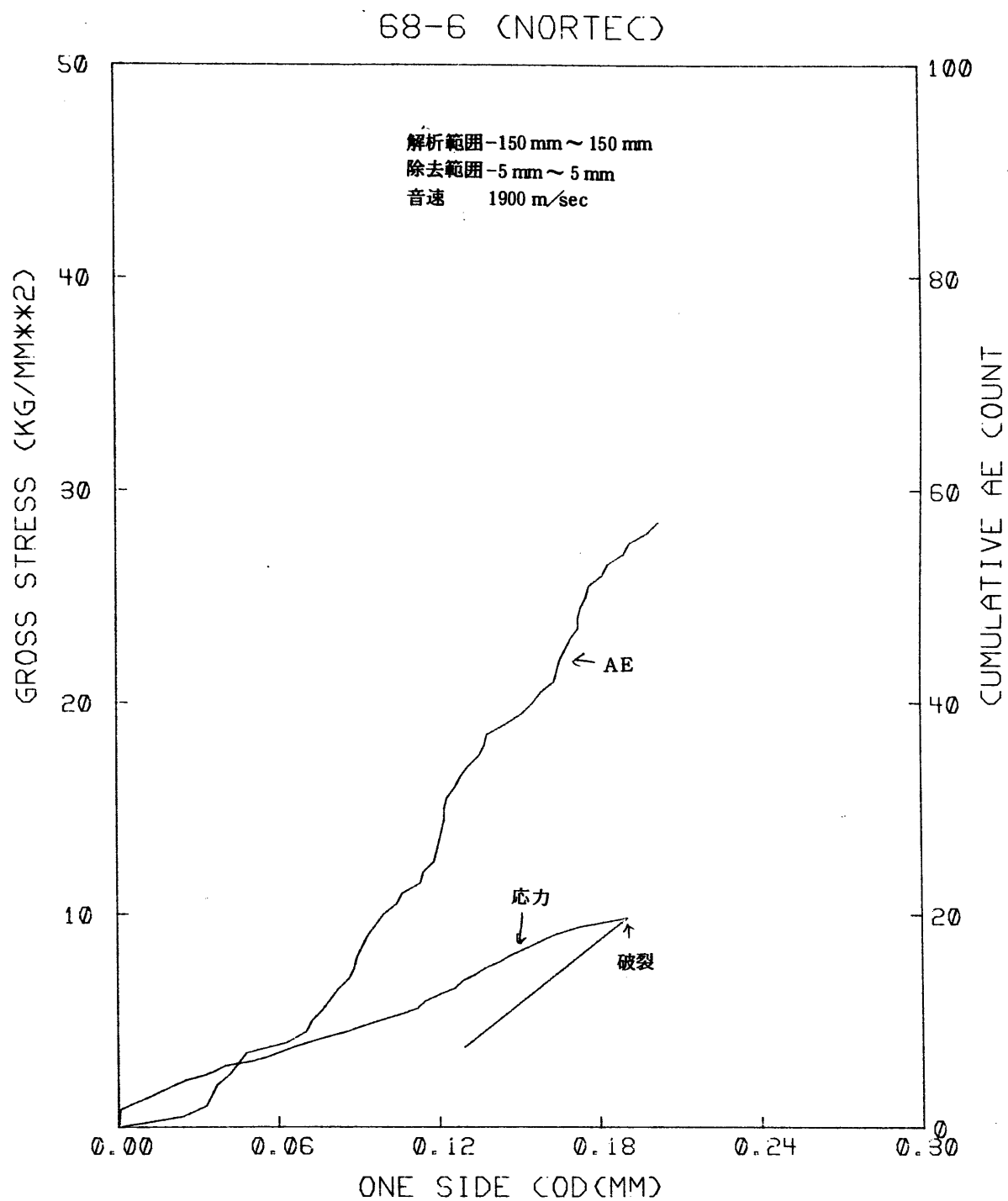


図 30. 水素富化材の内圧破壊試験時に測定されたAEの回帰分析



CUMULATIVE AE DURING THE TEST

図 31 水素富化材内圧破壊時AE 測定結果 (Nortec)

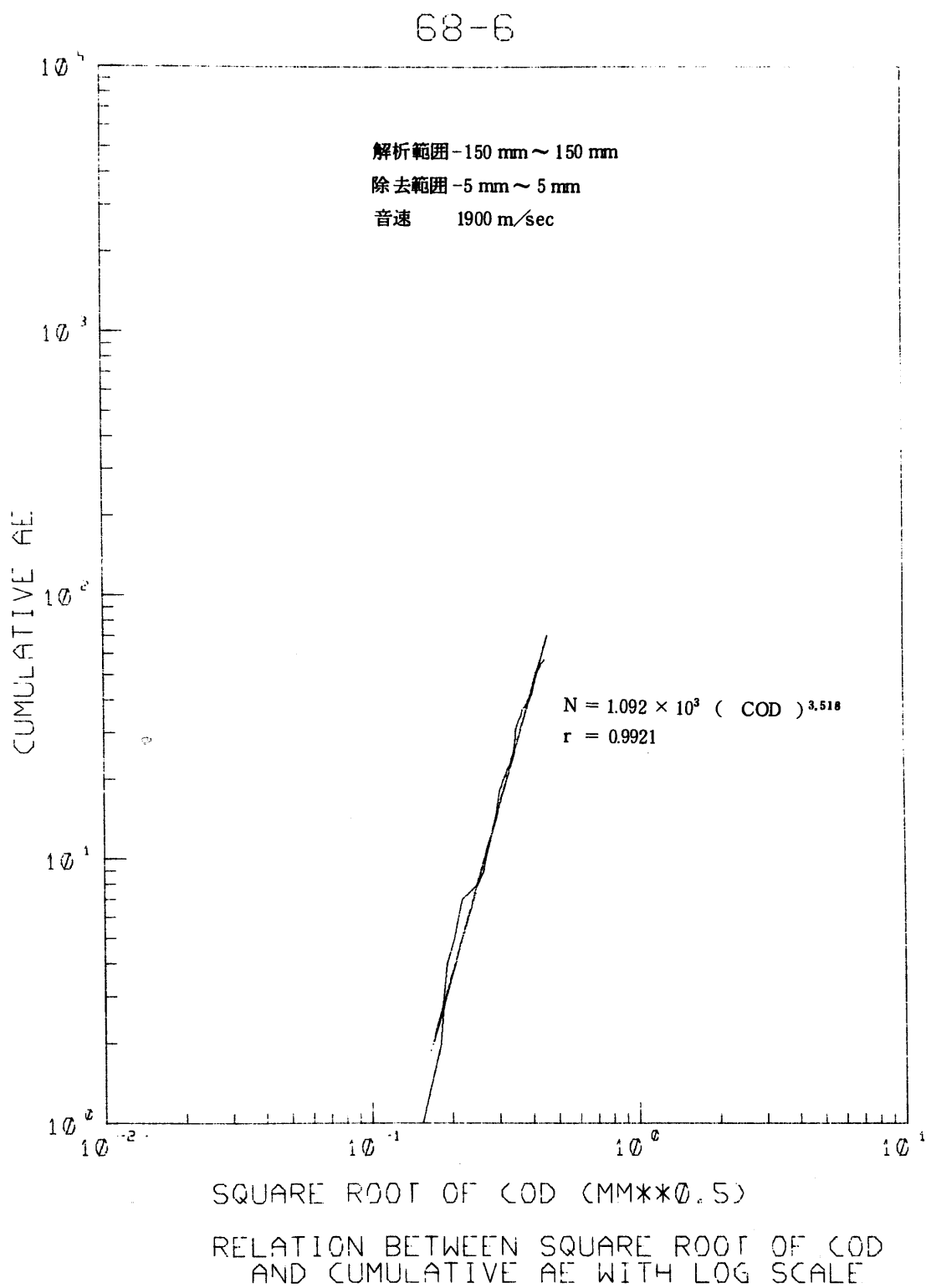


図 32. 水素富化材の内圧破壊試験時に測定されたAEの回帰分析 (Nortec)

3.2 波形解析

3.2.1 水圧試験結果

AE 信号の波形解析を行った。信号は、位値標定のために使用した 2 個の AE センサそれぞれについて記録されているが、波形解析のためには、伝播距離が短かく、信号のゆがみが少ないほうということで先着した信号が用いられた。信号採取に使用したディジタルメモリのトリガは、CH 1 の入力を利用してかけているため、CH 2 に信号が先着した場合、両 CH での到着時間差が、50～100 μsec 以上では CH 2 の信号の先頭部が切られてしまった。ここでは、波形の再生とその信号のパワースペクトルを求めた。なお、スペクトルを求めるための前処理として、ハニング（Hanning）窓関数を使用した。

解析の対象とした信号は、①切欠部から発生した AE、②AE センサ取付け部から発生した AE、そして、③端栓の溶接部から発生した AE の 3 種類とした。これらの信号は、発生原因の相異なる周波数の変化と、応力の推移に伴う周波数変動を調べる目的で、さまざまな応力について解析された。

図 33, 34, そして 35 に切欠部、AE センサ位置、そして溶接部で発生した AE の波形とそのパワースペクトル例を示す。解析は全部で 26 データについて行ったが、ここでは繁雑になるのをさけるため、代表的な結果だけを示した。それぞれの発生位置からの信号の特徴は定性的に次のようである。

- ① 切欠部からの AE のピーク周波数は、大部分が 300 kHz 以上である。
- ② センサ位置からの信号は非常に大きな振幅をもっているが、その周波数ピークは 2 百数十 KHz にあり、300 KHz を超えたのは 1 例だけであった。図 36 はその例であるが、明らかに信号は飽和しており、他の例と同列に比較することはできない。
- ③ 溶接部からの AE は、材料的な発生原因と考えられたので、切欠部の AE と同じような周波数特性を示すものと予想されたが、図 35 から明らかなように、そのピーク周波数は、むしろセンサ位置からの信号に近かった。

以上の結果では切欠付近から発生した AE は、わずかではあるが、高い周波数にピークを持つ傾向を示した。

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 258

STRESS 40.94

COD 0.36

PEAK-V 2.22

TIME-P 127.0

CHANEL 1

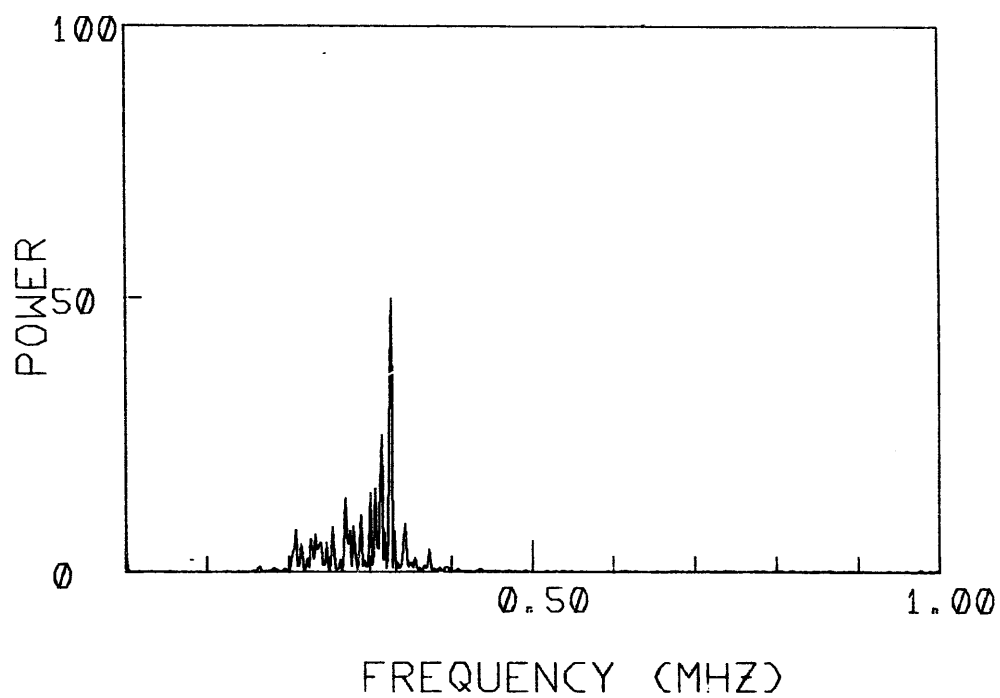
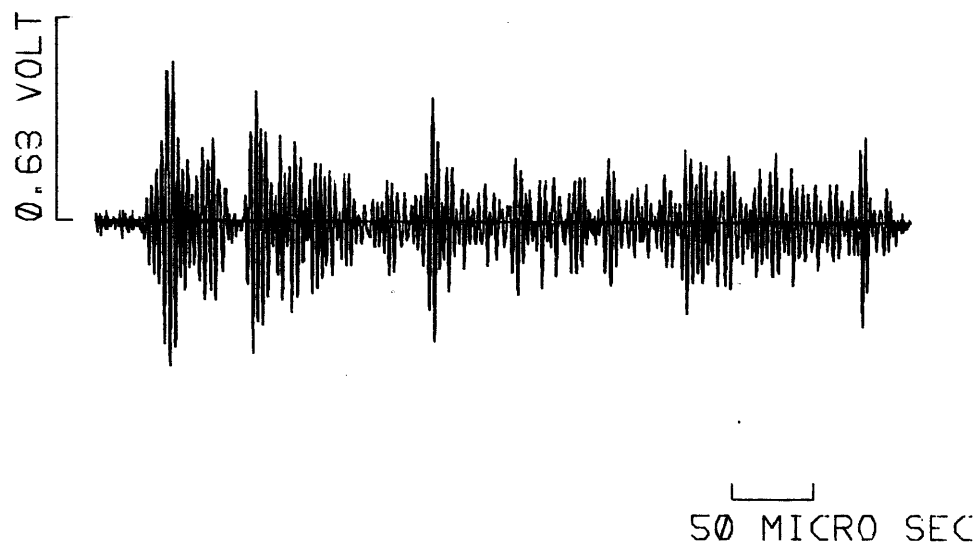


図 33. 切欠から発生したAEの波形とパワースペクトル

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 309

STRESS 44.66

COD 0.38

PEAK-V 3.10

TIME-P 1852.0

CHANEL 1

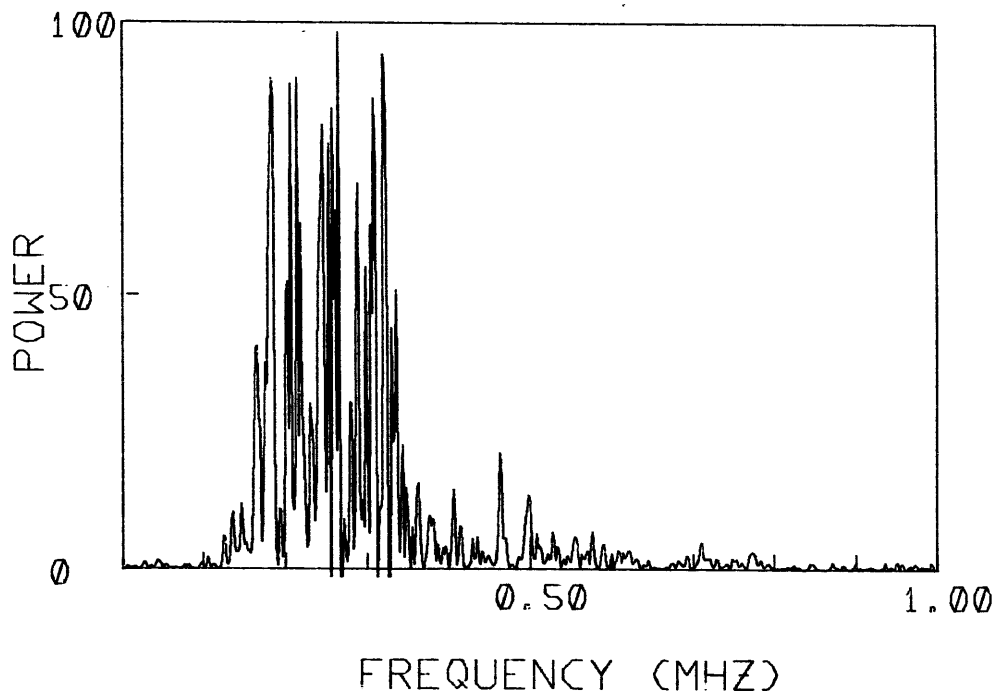
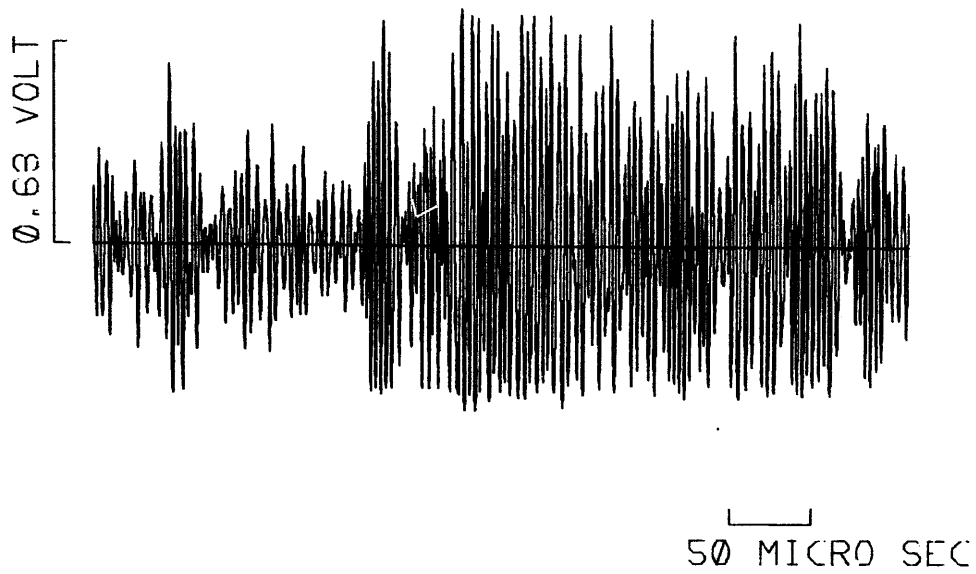


図 34. センサ位置から発生したAE の波形とパワースペクトル

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 280

STRESS 42.68

COD 0.37

PEAK-V 5.20

TIME-P 511.0

CHANEL 1

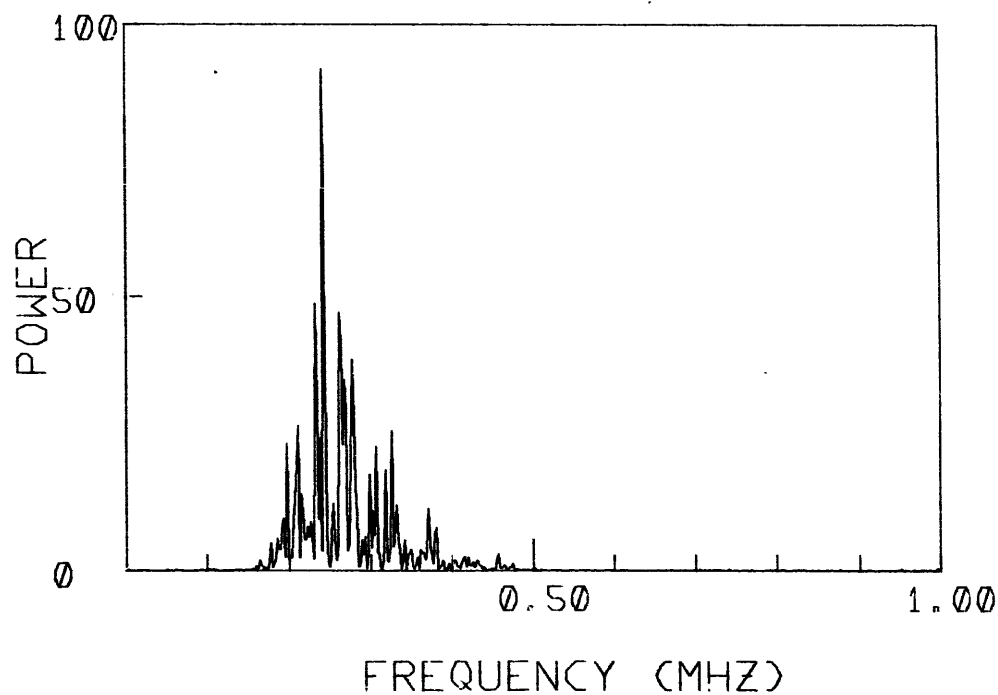
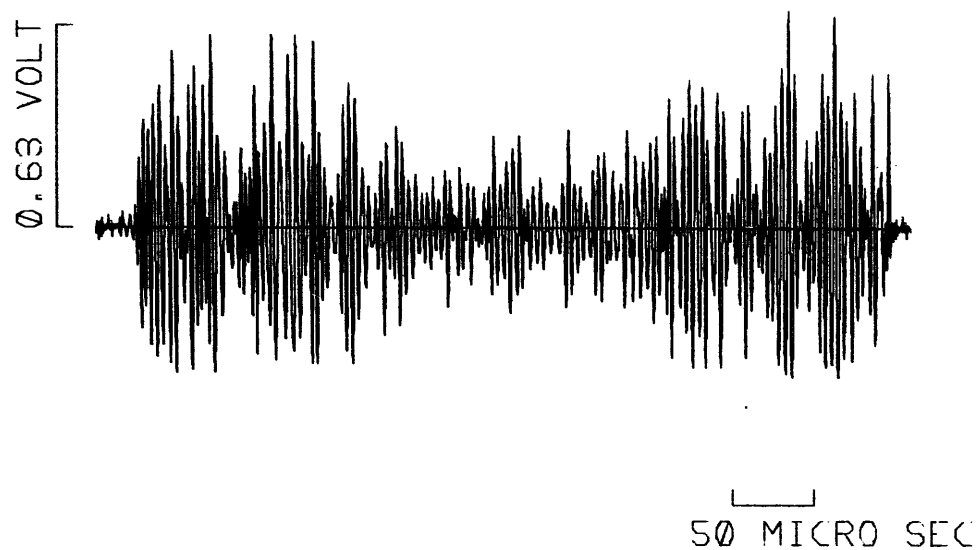


図 35. 溶接部から発生したAE の波形とパワースペクトル

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 303

STRESS 44.41

COD 0.38

PEAK-V 3.06

TIME-P 1950.0

CHANEL 1

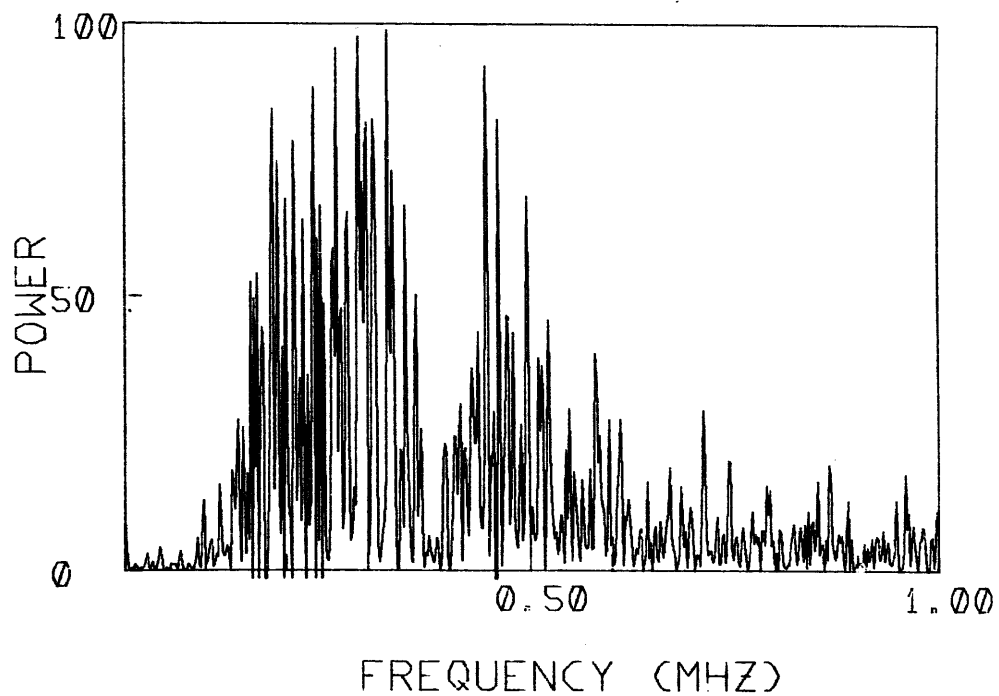
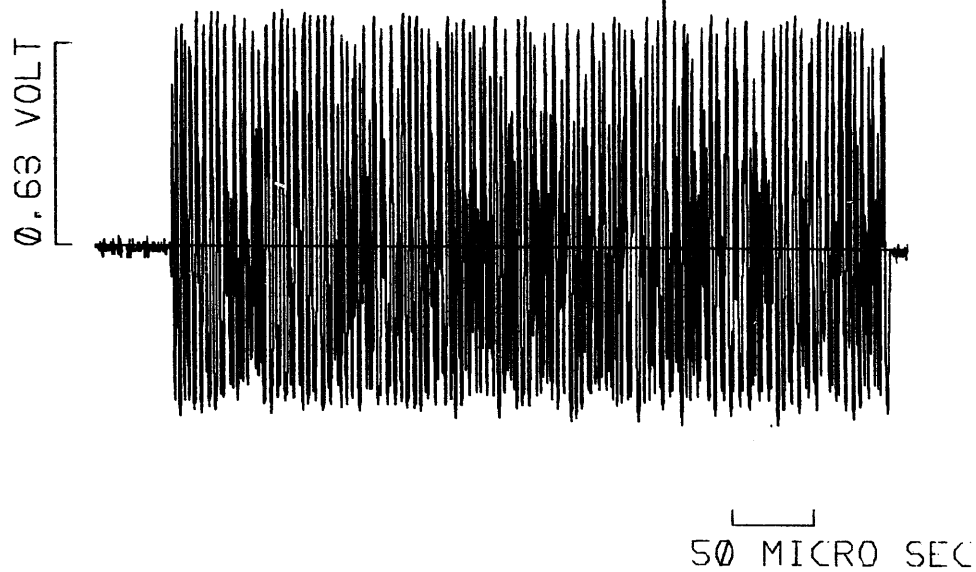


図 36. センサ位置から発生したAE の波形とパワースペクトル

3.2.2 空圧試験結果

ここではDunegan と Nortec それぞれのAE センサで受けたAE 信号について波形解析を行い、AE センサとの関連を調べた。解析は3.2.1 と同一の方法で行った。すでに述べたように、空圧試験においても受け入れ材はほとんどAE を発生しなかったため、波形解析のためのデータは、最も水素量の高い試験片 68 - 6 から得ることとした。この例では、切欠先端付近からのAE が多く得られたので、特に試験の進行と、波形及び周波数分布の変化に重点を置いて解析を進めた。

図 37 は、加圧直後に発生したAE 信号の波形と、そのパワースペクトルでDunegan の装置で得られたものである。3.2.1 で示した例にくらべ、高周波成分の多いことが明らかであった。このようなパワースペクトルの相異の原因には、AE センサの周波数特性の影響がひとつ考えられる。しかし、同じ発生位置、同じAE センサで得られたAE 信号のパワースペクトルが、後述するように、試験の進行に伴って変化していることから、AE 発生源そのもののパワースペクトルが変化していることは明らかである。

図 38 は、試験の中期に発生したAE 信号の周波解析結果である。信号の振幅が小さい。クトルのパワーも小さいが、500 K ~ 700 KHz 付近の周波数成分は、依然として優勢であった。しかし、試験も進行して応力が破壊時の 80 %を超える頃になると、500 K ~ 700 KHz の成分は減少を始める。図 39 は、破壊時応力の、約 90 %の応力で発生したAE の波形解析結果であるが、明らかに高い周波数成分は減少していた。図 40, 41,そして 42 は、Nortec の装置によって、高圧機械シール部から発生したものと分類されたAE 信号の波形解析例である。この図より試験中期までは、500 K ~ 600 KHz 付近にも周波数のピークが出てくるようになる。図 42 は試験後期に発生したAE の波形と、そのパワースペクトルであるが、図 40 および 41 の波形と比較しても、信号の周期が長い、すなわち、低い周波数成分の多いことは明らかである。

図 43, 44, 45 そして 46 は、Nortec の装置で測定された切欠端からのAE 信号波形解析例である。この4枚の図は、今までと同様に、試験直後、中期、後期、そして破壊直前で発生したAE である。信号レベルに大小があるため、パワースペクトルのパワーもそれぞれ異なっているが、応力の増加に伴う周波数分布の特徴は明らかであった。すなわち、負荷応力が、破壊応力の約 60 %に達するまでは 400 KHz ~ 600 KHz が主な周波数成分となっているが、それ以上の負荷応力で発生するAE 信号は、100 K ~ 200 KHz の成分を多く持つようになる。

3.3 フィルタによる信号の分離

今まで行ってきた波形解析の結果から、試験の進行とともに、周波数成分が明らかになったので、ここでは、その結果を利用して、生信号にフィルタをかけ、破壊時期への接近と、各周波数成分の変化を調べた。図 47 と 48 は、それぞれ、データレコーダのチャンネル 4 と 5、そして 6 と 7 について信号を再生し、ひとつの信号を高域・低域の 2 つに分離し、両者を同一の条件でカウント解析した結果である。

図 47 は、データレコーダのチャンネル 4 と 5、すなわち、Nortec の装置を使用して得たデータで、カウント率の圧力に伴う変化のしかたは、それぞれ異なっていた。すなわち、チャンネル 4 では、500 KHz および 600 KHz 以上の成分は、圧力が約 100 kg/cm^2 のところでひとつのピークを作り、約 150 kg/cm^2 において“谷”を形成していた。しかし、50 KHz ～ 200 KHz の範囲の成分は、逆の変化を示し、約 70 kg/cm^2 で“谷”を作り、 150 kg/cm^2 の圧力でピークを作っていた。チャンネル 5 も同じように 70 kg/cm^2 と 150 kg/cm^2 の圧力において、それぞれ“谷”とピークを形成しており、しかも 500 KHz および 600 KHz 以上の周波数成分が多い時は 50 KHz ～ 200 KHz の成分が少なく、逆に 600 KHz 以上の成分が少ない時は、50 KHz ～ 200 KHz の成分は多くなる傾向を示した。

Dunegan の AE センサで、測定した 4 チャンネル 6 と 7 における、(について行なった)フィルタによる信号の分離試験の結果を図 48 に示す。図 47 と図 48 の相異は、主として、AE センサの種類に帰因するものと考えられる。しかし、主要な変化点は、センサの種類の影響をうけておらず、図 47 と同様に、 70 kg/cm^2 と 150 kg/cm^2 のところに“谷”を作り、約 100 kg/cm^2 にピークを形成していた。

以上の結果から、AE センサの特性はかわっても、破壊試験過程で発生する AE 信号の周波数成分の特徴は、一定の形式に沿って変化していることが判明した。また、重要なことは、ひとつの AE 信号を高い周波数成分（ここでは 500 KHz 以上）と、低い周波数成分（ここでは 50 KHz ～ 200 KHz の範囲）に分離した場合、それぞれの信号レベルは、他方が増えると一方が減り、逆に減るともう一方が増加する関係を示したことである。これは、AE 信号の周波数成分が 2 種類に大別できることを意味し、かつ、AE 発生源の種類と周波数的特徴の関係を示すものとして注目できる。今回の結果では、ある周波数範囲について、AE 信号を監視することによって破壊時期の推定を行うまでには至らなかったが、ここで述べたように、周波数的特徴の存在が確認されたことから、そのような方法に充分可能性があると思われた。

SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 11

STRESS ~~7.90~~ 3.194

COD ~~0.08~~ 0.068

PEAK-V 1.97

TIME-P 1900.0

CHANEL 1

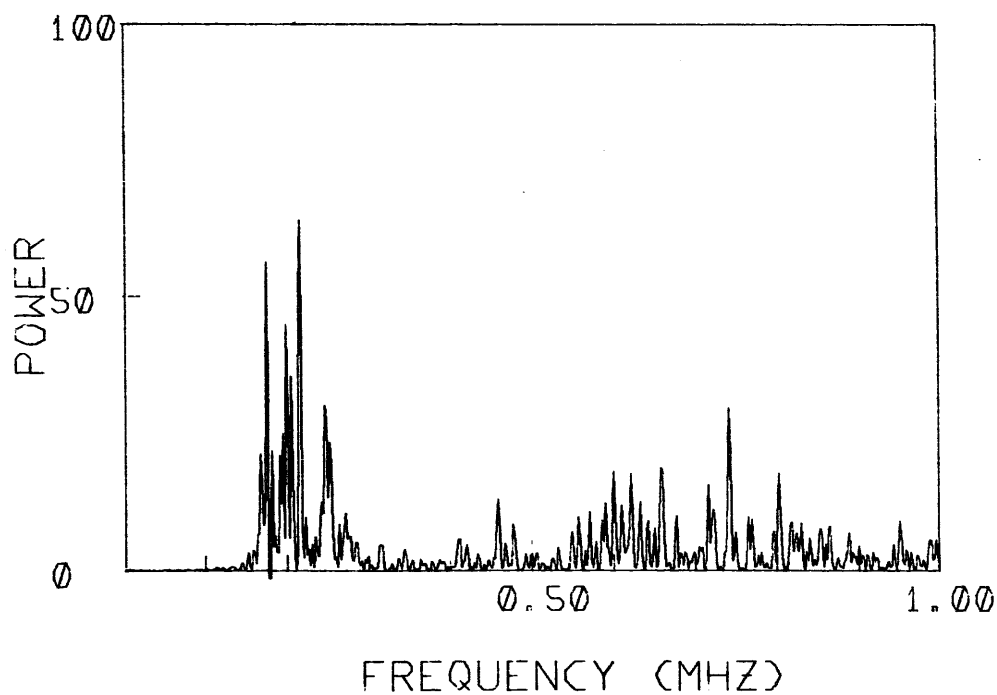
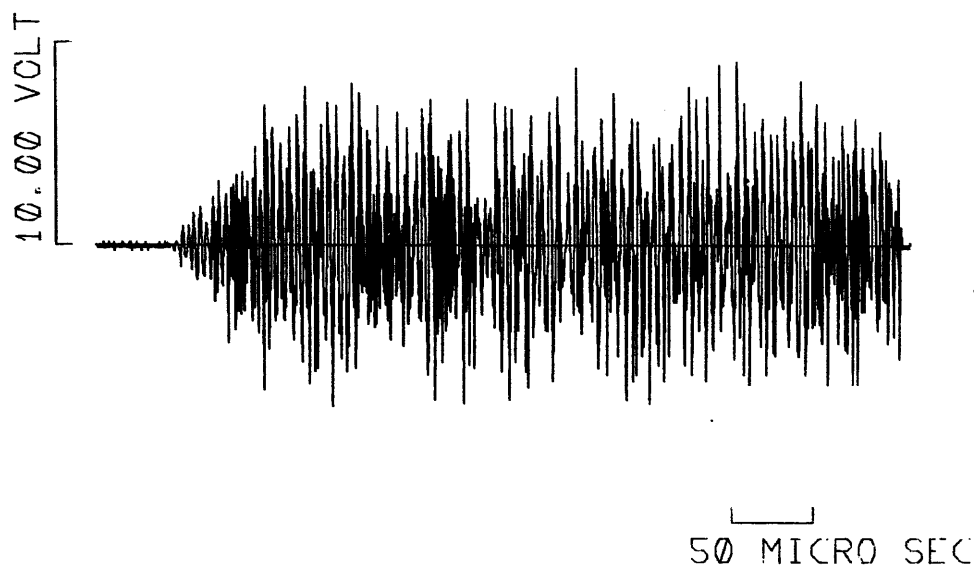


図 37. 水素富化材のAEの波形とパワースペクトル (Dunegan)

SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 35

STRESS 10.59 6.68

COD 0.15 0.140

PEAK-V 0.39

TIME-P 692.0

CHANEL 1

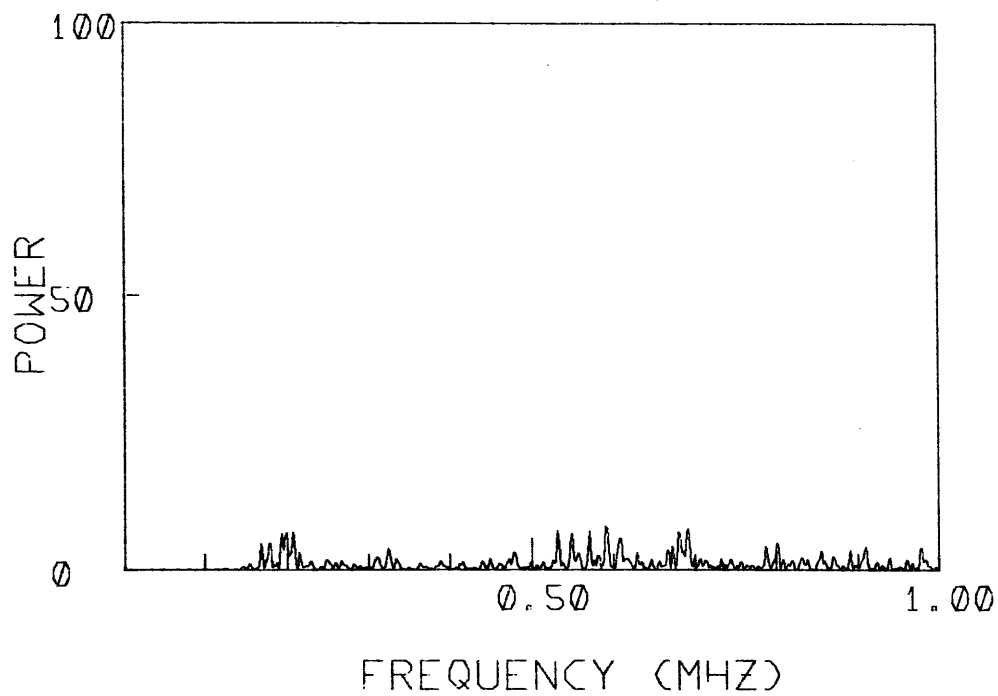
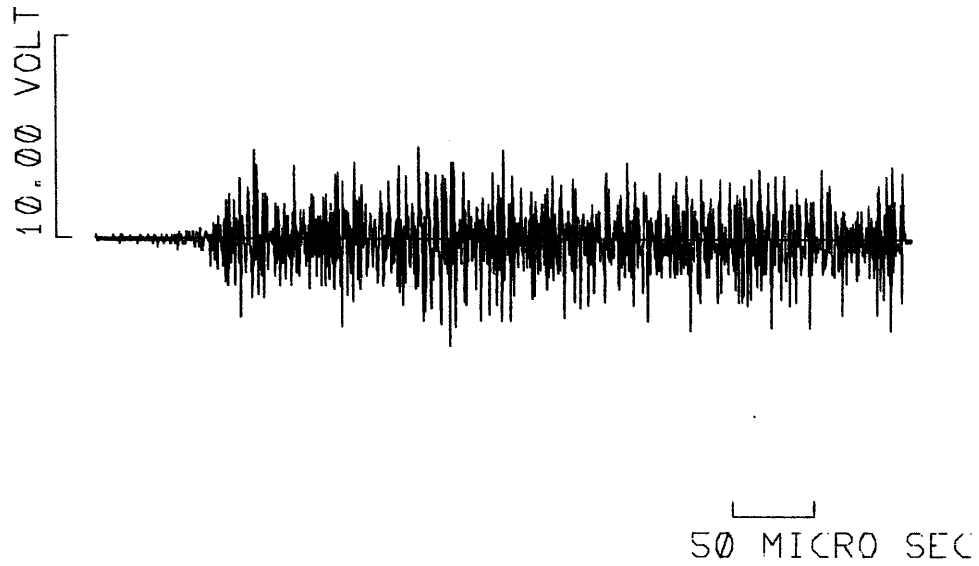


図 38. 水素富化材のAE の波形とパワースペクトル (Dunegan)
— 試験中期 —

SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 60

STRESS ~~13.63~~ 9.724

COD ~~0.03~~ 0.192

PEAK-V 1.21

TIME-P 511.0

CHANEL 1

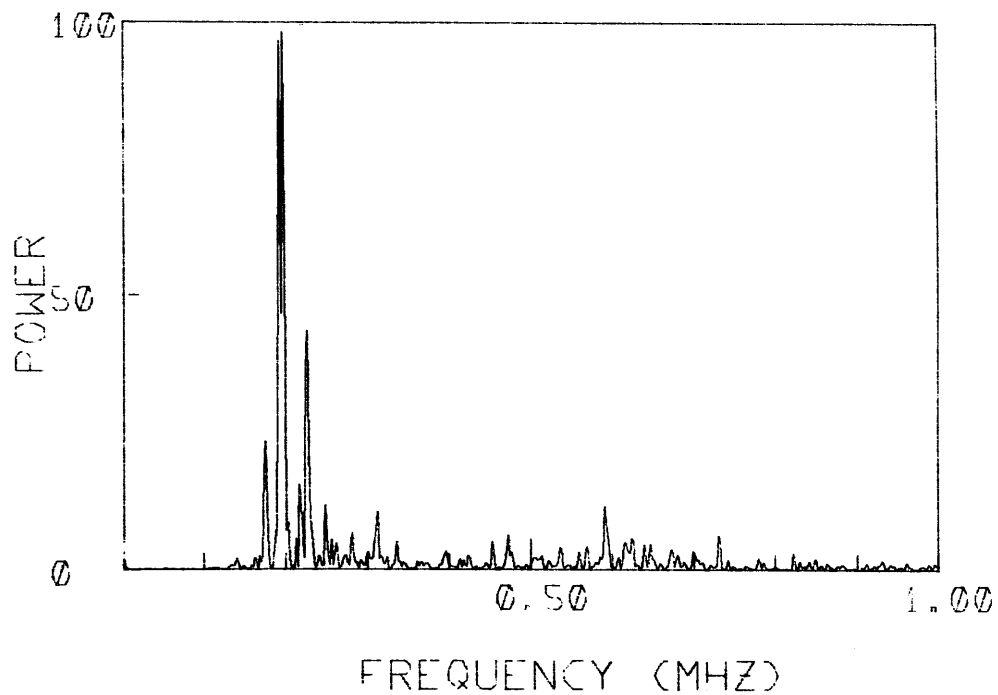
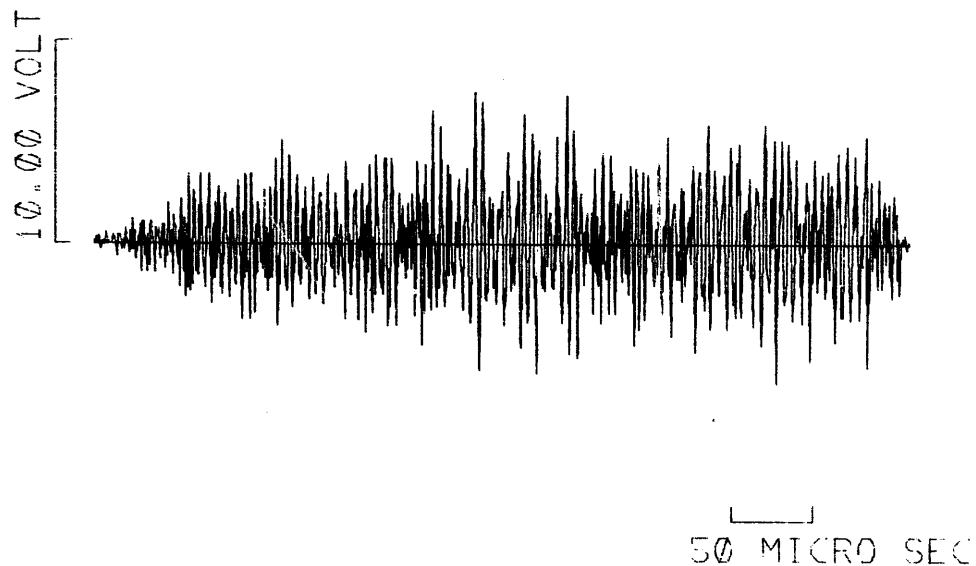


図 39. 水素富化材のAE の波形とパワースペクトル (Dun e_{ran})
— 試験末期 —

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 6

STRESS 7.38

COD 0.06

PEAK-V 2.32

TIME-P 1895.0

CHANEL 1

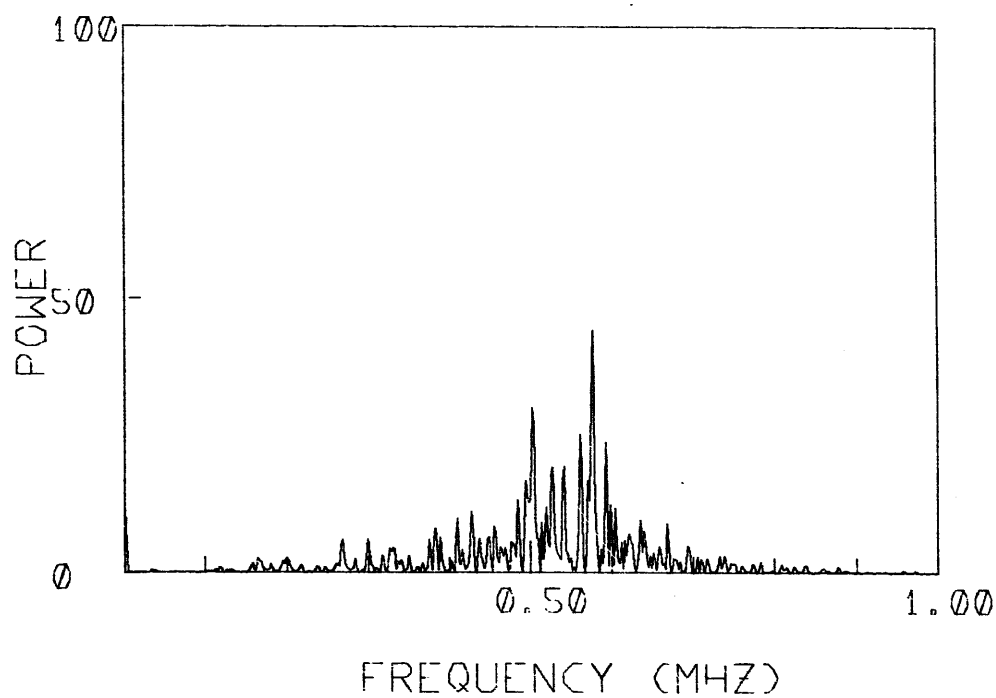
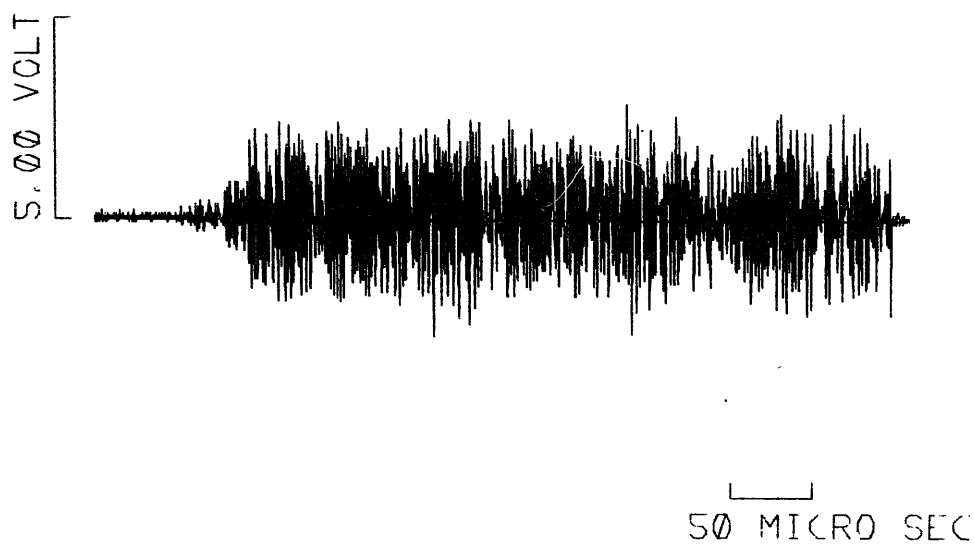


図 40. 水素富化材シール部から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
—加圧直後—

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 36

STRESS 10.59

COD 0.15

PEAK-V 3.73

TIME-P 510.0

CHANEL 1

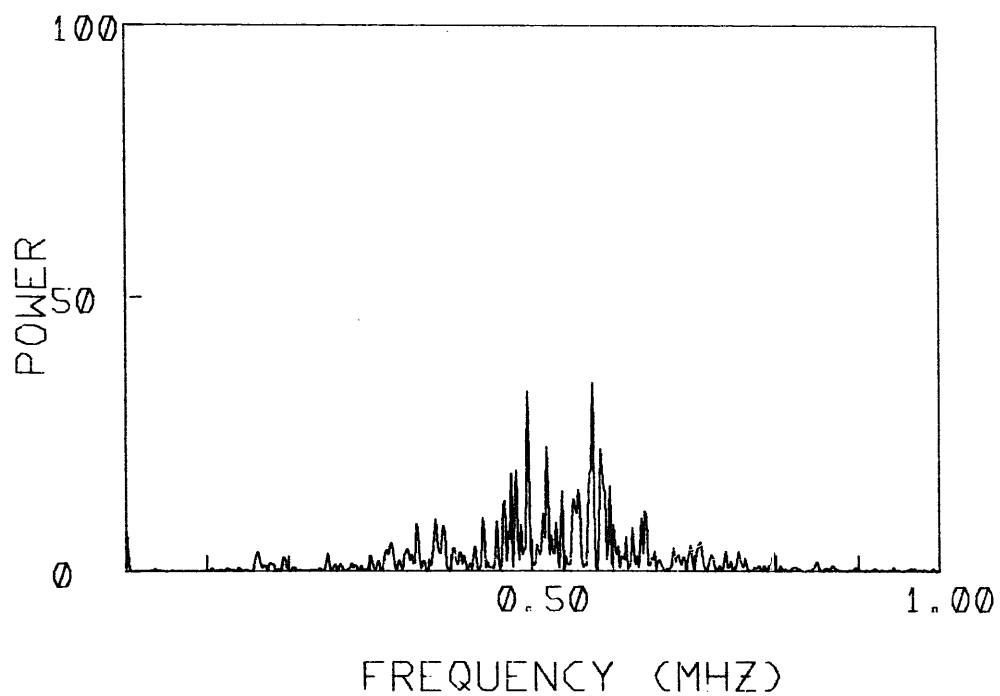
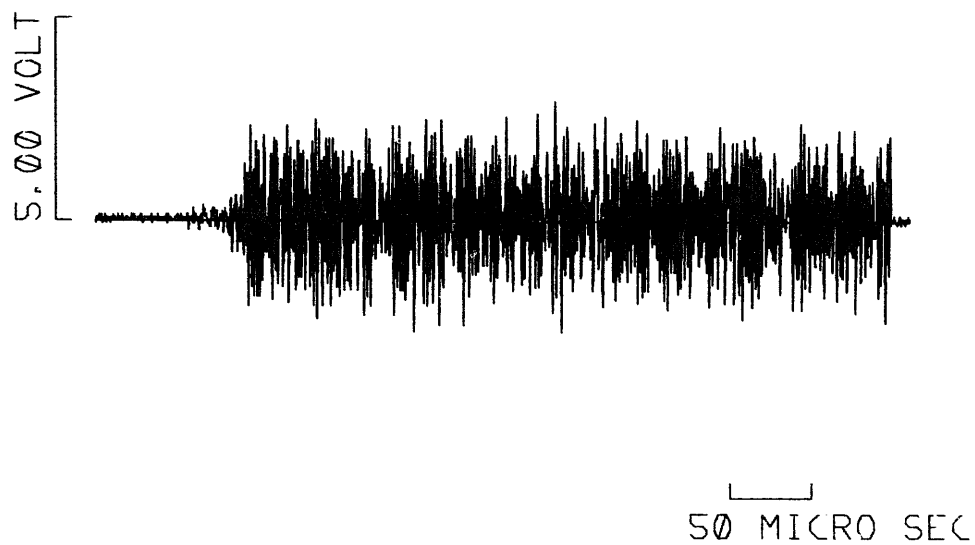


図 41. 水素富化材シール部から発生したAEの波形とパワースペクトル (Nortec)
—試験中期—

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 67

STRESS 13.76

COD 0.03

PEAK-V 0.63

TIME-P 28.0

CHANEL 2

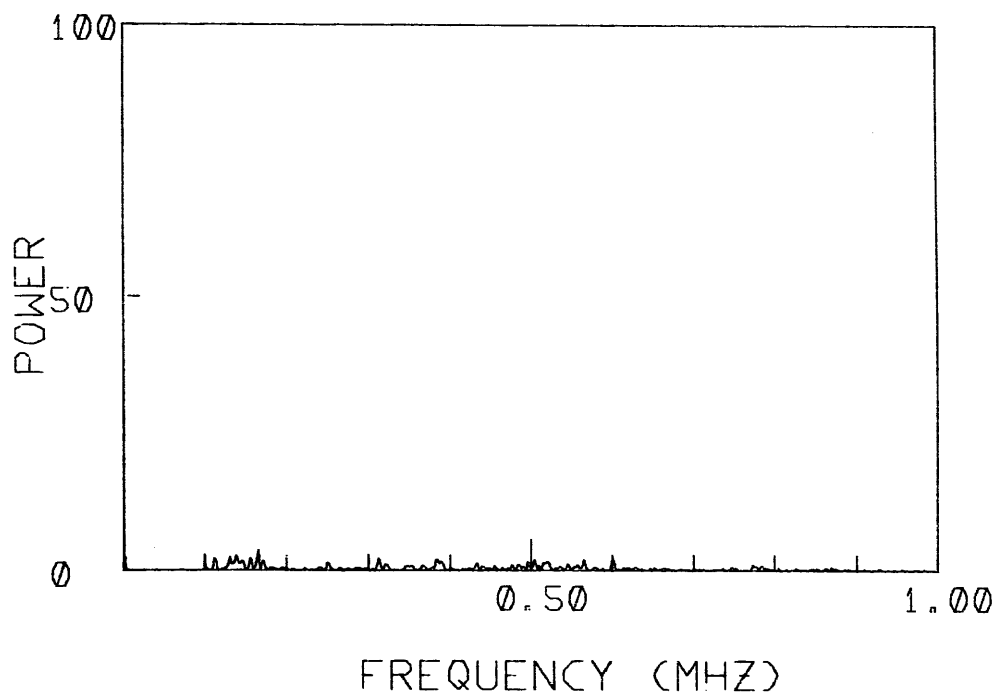
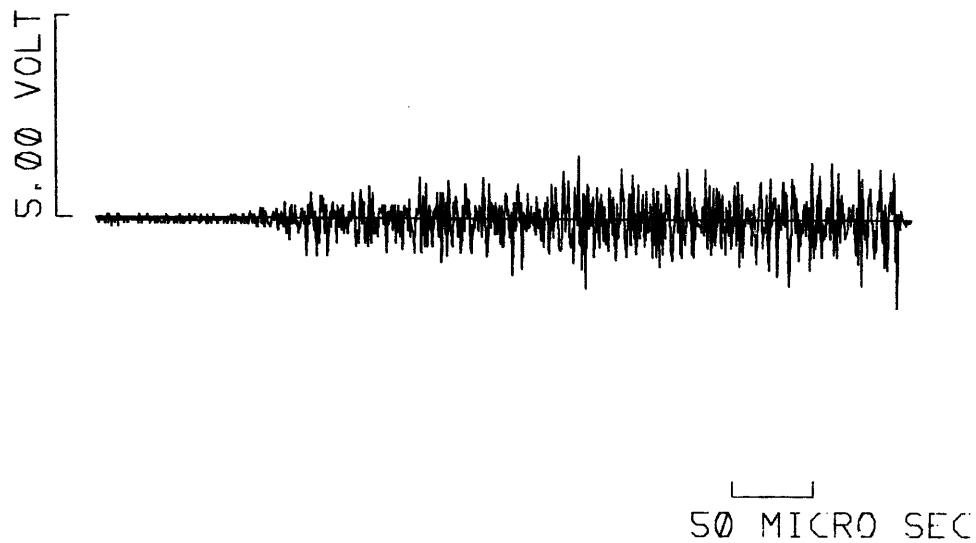


図 42. 水素富化材シール部から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
—試験後期—

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 5

STRESS 7.34

COD 0.06

PEAK-V 1.86

TIME-P 847.0

CHANEL 1

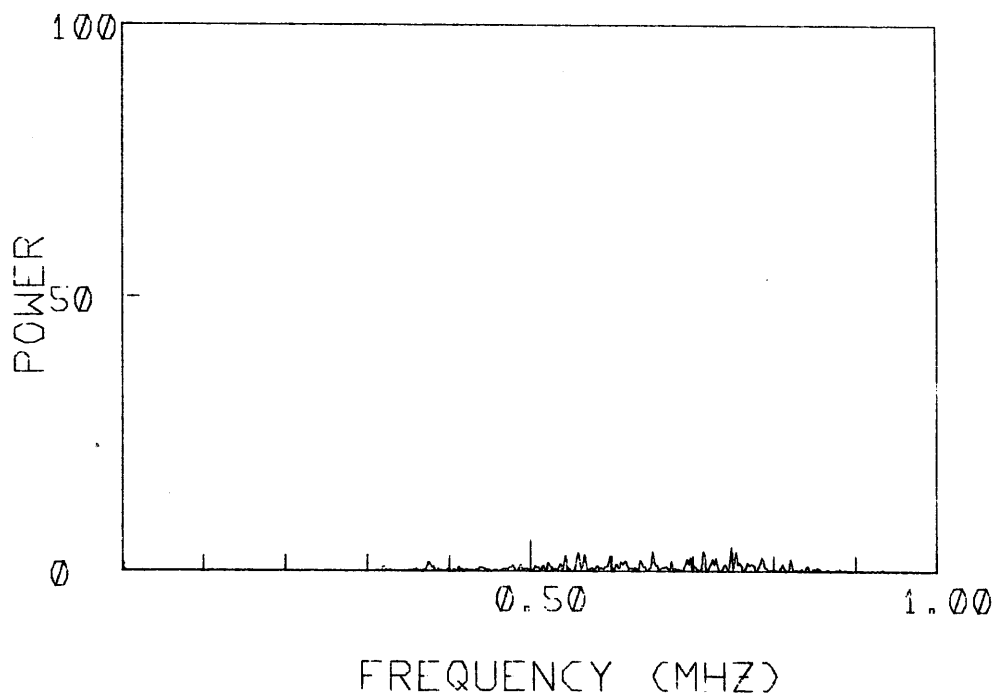
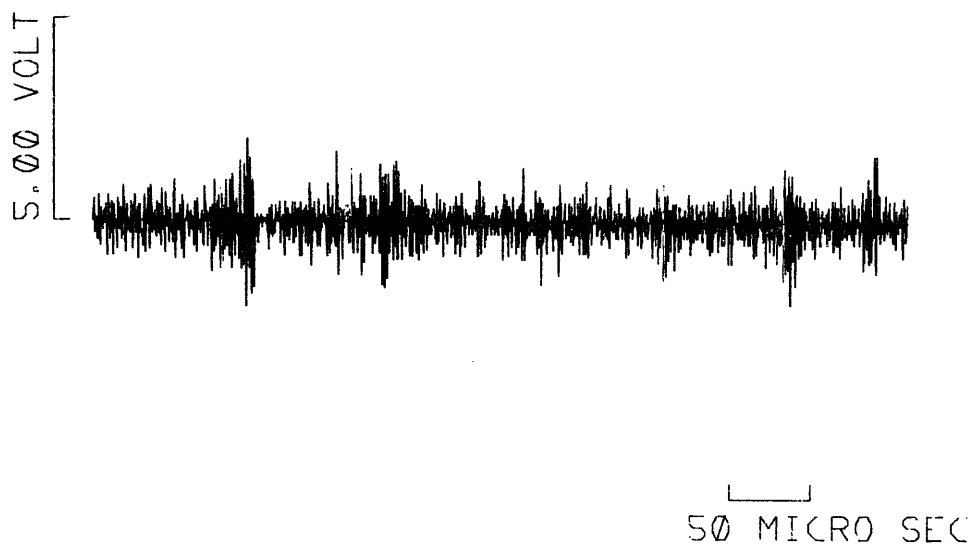


図 43. 水素富化材切欠から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
—加圧直後—

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 38

STRESS 10.77

COD 0.15

PEAK-V 3.59

TIME-P 446.0

CHANEL 1

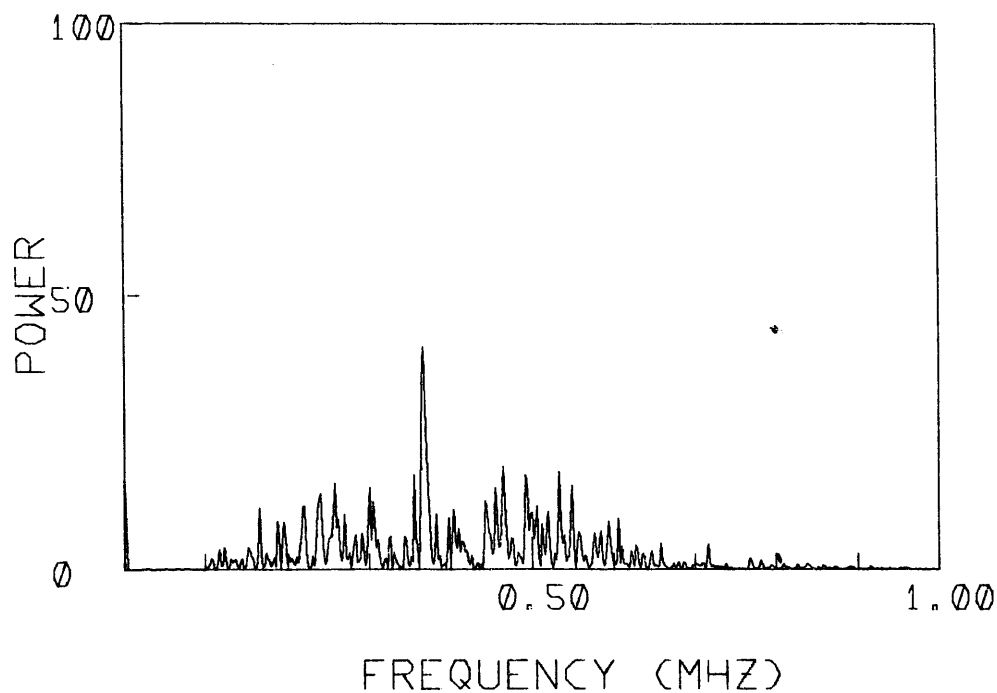
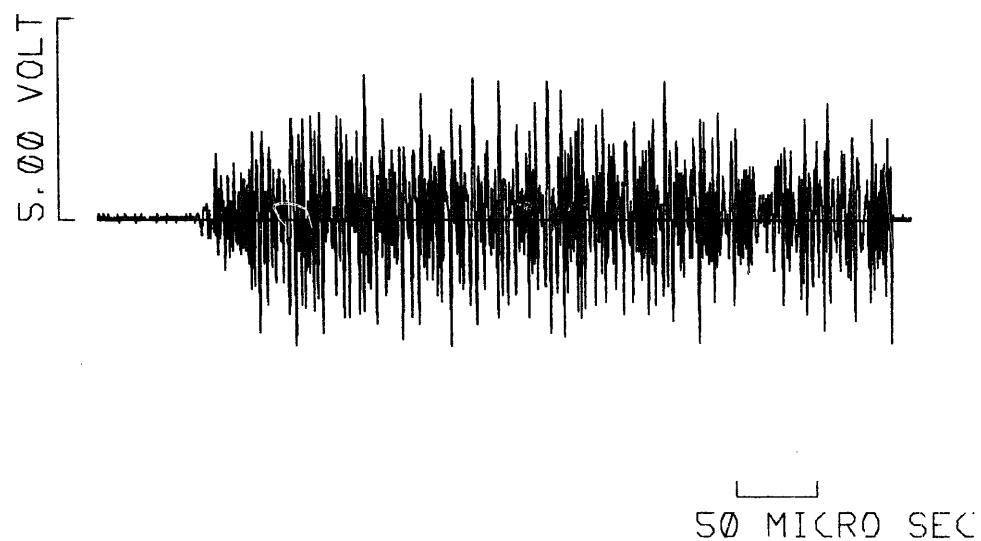


図 44. 水素富化材切欠から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
—試験中期—

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 65

STRESS 13.50

COD 0.03

PEAK-V 0.92

TIME-P 1435.0

CHANEL 2

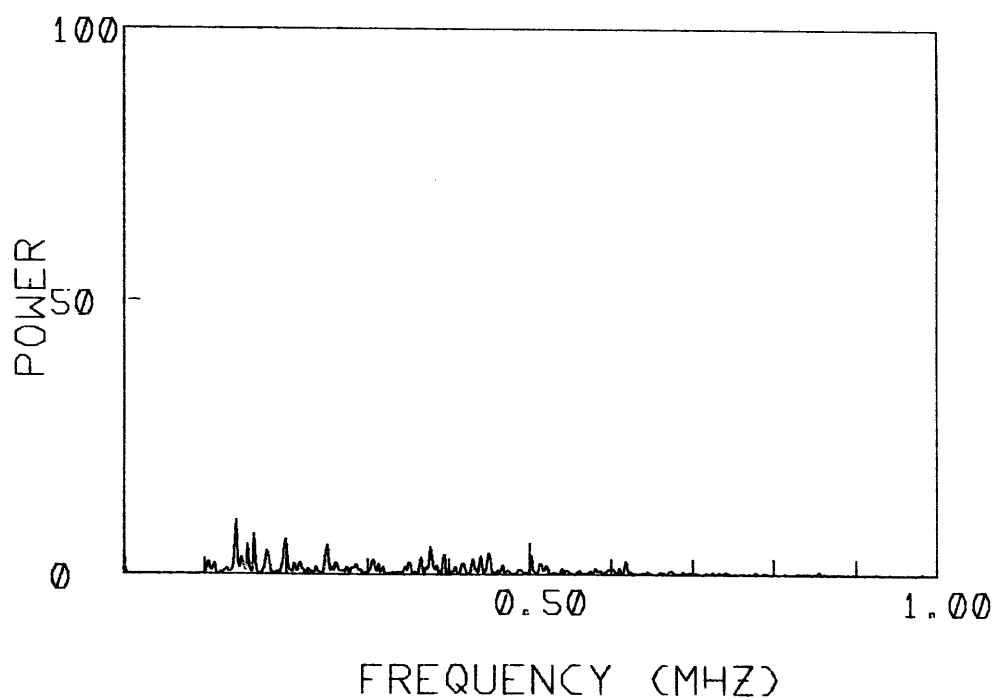
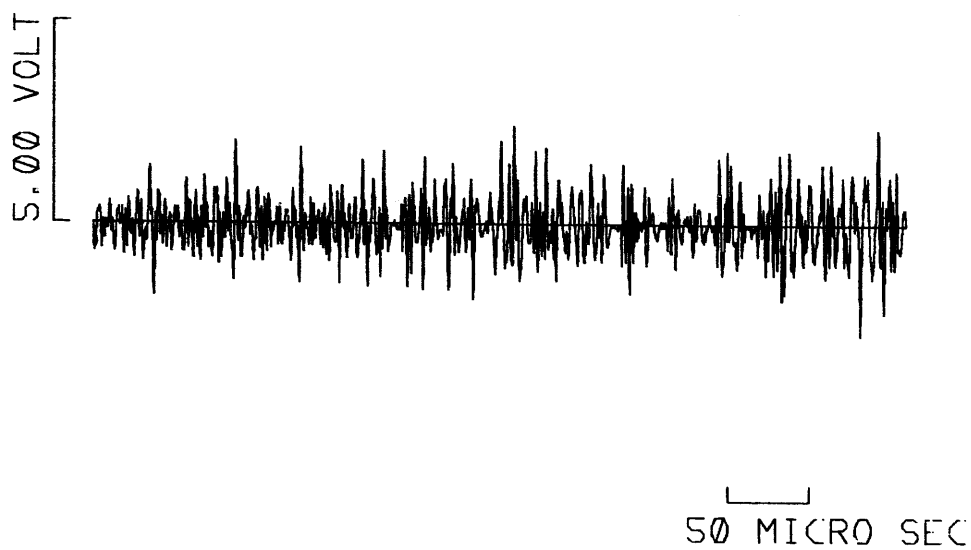


図 45. 水素富化材切欠から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
— 試験後期 —

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 77

STRESS 14.37

COD 0.04

PEAK-V 0.96

TIME-P 321.0

CHANEL 2

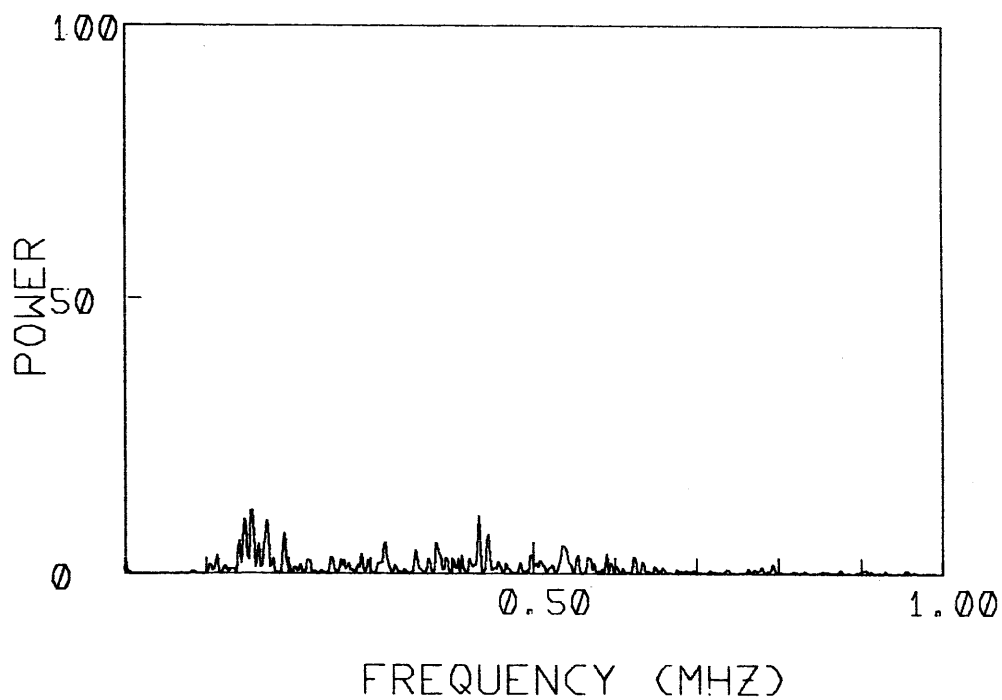
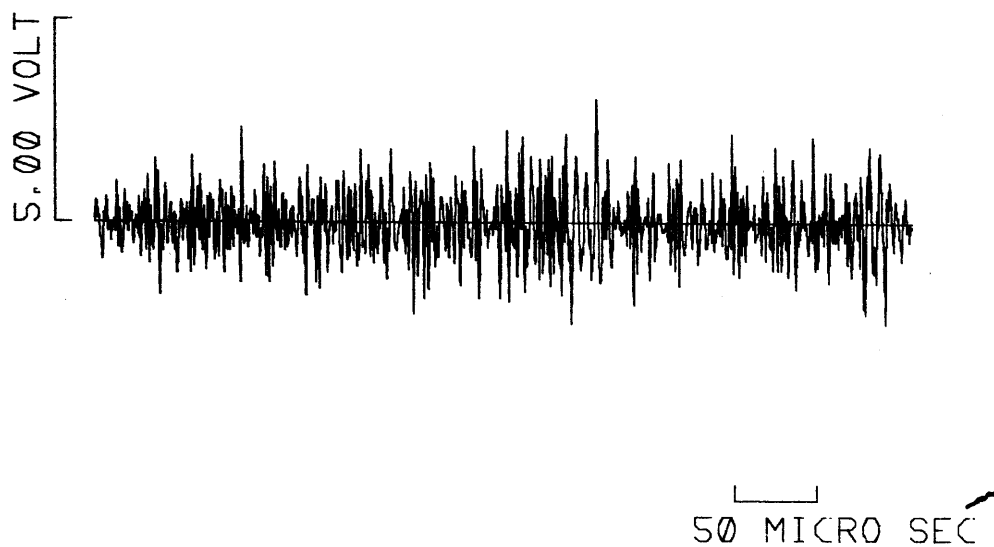


図 46. 水素富化材切欠から発生したAE の波形とパワースペクトル (Nortec)
—破壊直前—

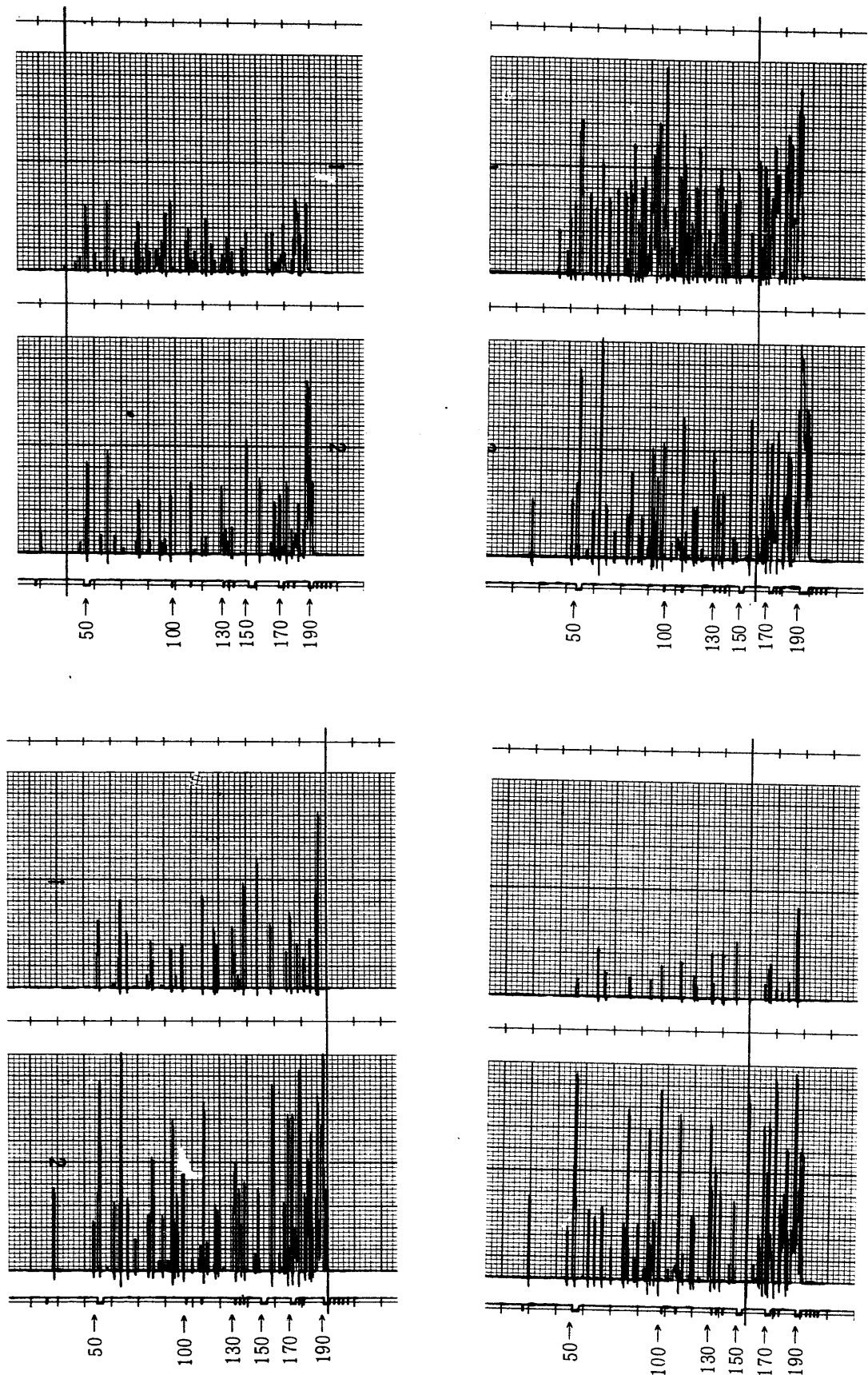


図 47, フィルタで分離した時のAE カウント率
(データレコーダチャンネル4と5→Nortec)

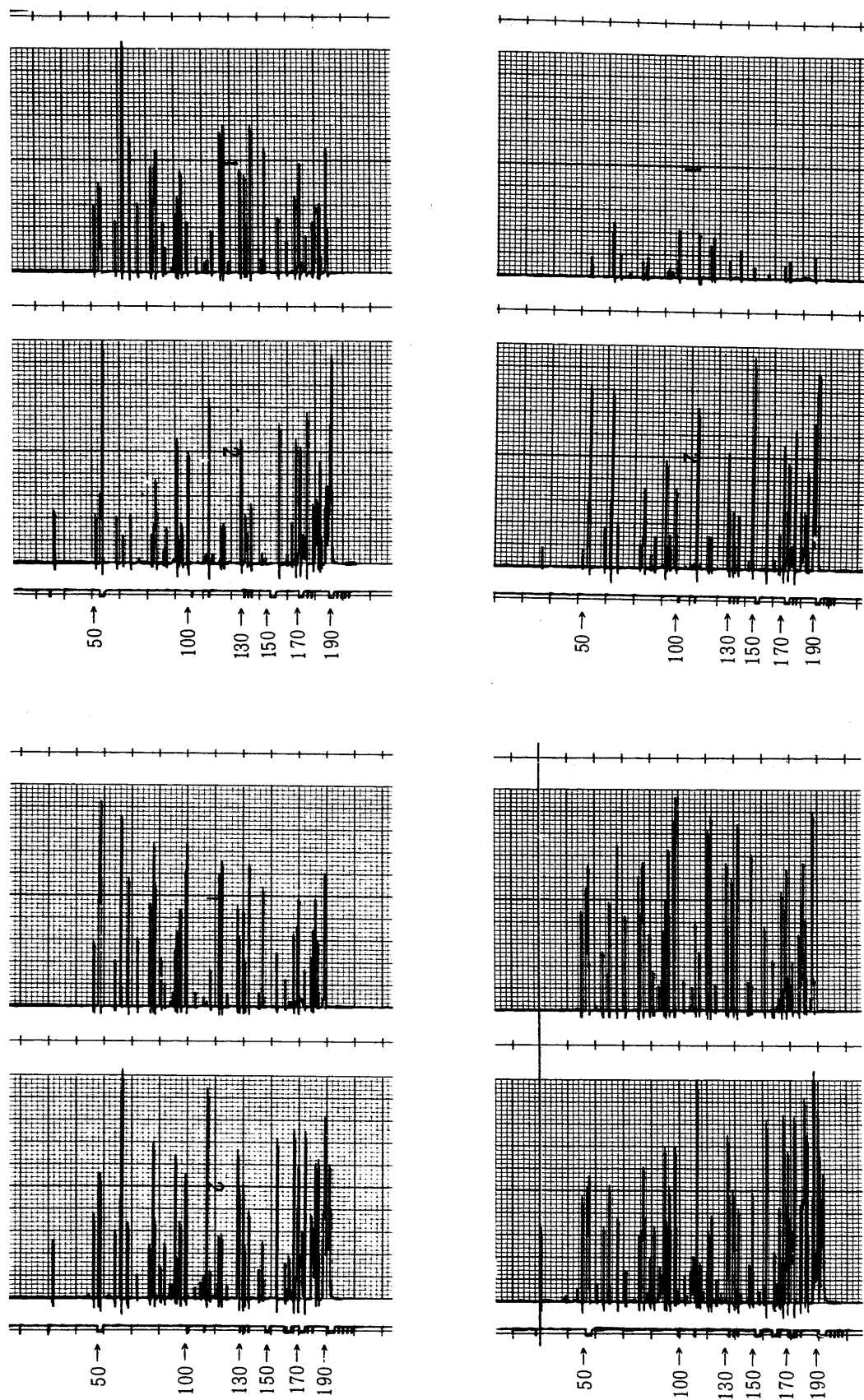


図 48. フィルタで分離した時のAE カウント率
(データレコーダチャンネル6と7→Dunegan)

4. ま と め

軸方向切欠付小口径圧力管の内圧破壊試験時 AE 測定を行った。負荷は、水圧と空圧の 2 種類で行い、一部には、人為的に水素富化したものも使用した。

AE は、全試験期間について測定し、圧力、COD とともにデータレコーダに記録した。AE データは、試験後、AE 発生位置分布、カウント解析、そして波形解析がなされた。その結果、内圧破壊試験において、受け入れ材はほとんど AE 的に無音であることがわかった。しかし、水素富化材では、水素量の増加とともに、AE 活性度が高くなっていた。これは、本試験で得られた AE が、試験片中に散在するもろい水素化物の割れ、もしくは、鋭い水素化物先端における応力集中の影響によるものであることを示している。

破壊パラメータのひとつである COD の平方根と AE 累積数には、非常に強い正の指数相関があった。

水素富化材の AE 信号の周波数成分は、約 200 KHz と約 500 KHz が主要なものであった。そして、それぞれの成分は、破壊試験の進行に伴って変化することが明らかとなった。

今後は水素量の増加と、AE 発生量の増大の関係を調べることにより、AE 法による Zr-2.5 Nb 製圧力管の水素吸収状態の監視の可能性をみつけること、及び、ATR 運転環境に近い、300℃の温度での内圧破壊試験時 AE 測定等を行って、実機使用状況下での、AE 技術使用についての可能性を確認する試験を進める必要があると考えられる。

付 録

- (1) 内圧破壊試験データ
- (2) AE カウントデータ
- (3) AE 信号波形解析

(1) 内圧破壊試験データ

a) 水圧試験

a - 1 769 D - 2 (第 1 回加圧)

a - 2 769 D - 2 (第 2 回加圧)

a - 3 769 D - 3

b) 空圧試験

b - 1 試験片 64 - 8

b - 2 " 68 - 6

b - 3 " 71 - 1

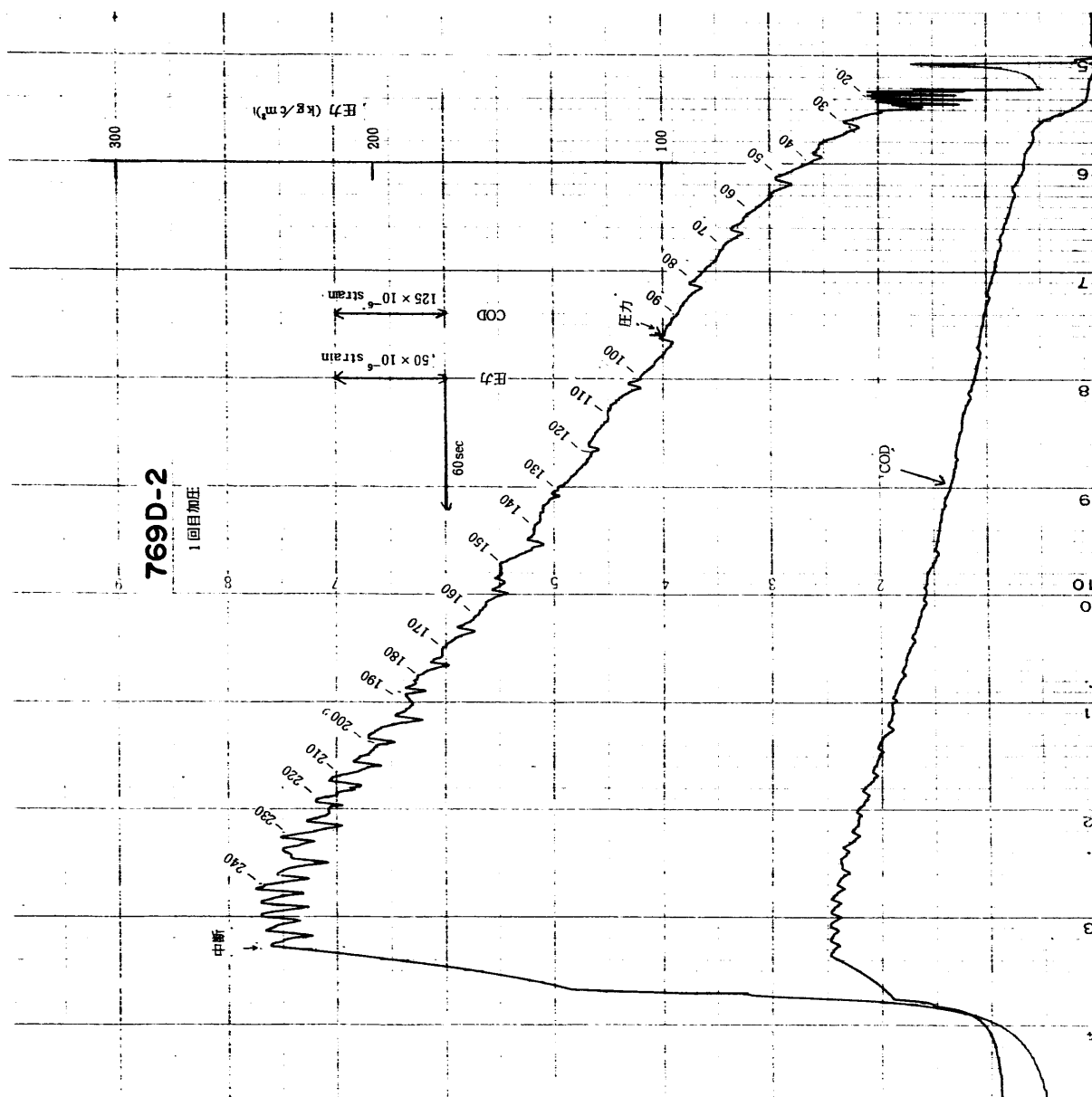
b - 4 " 71 - 2

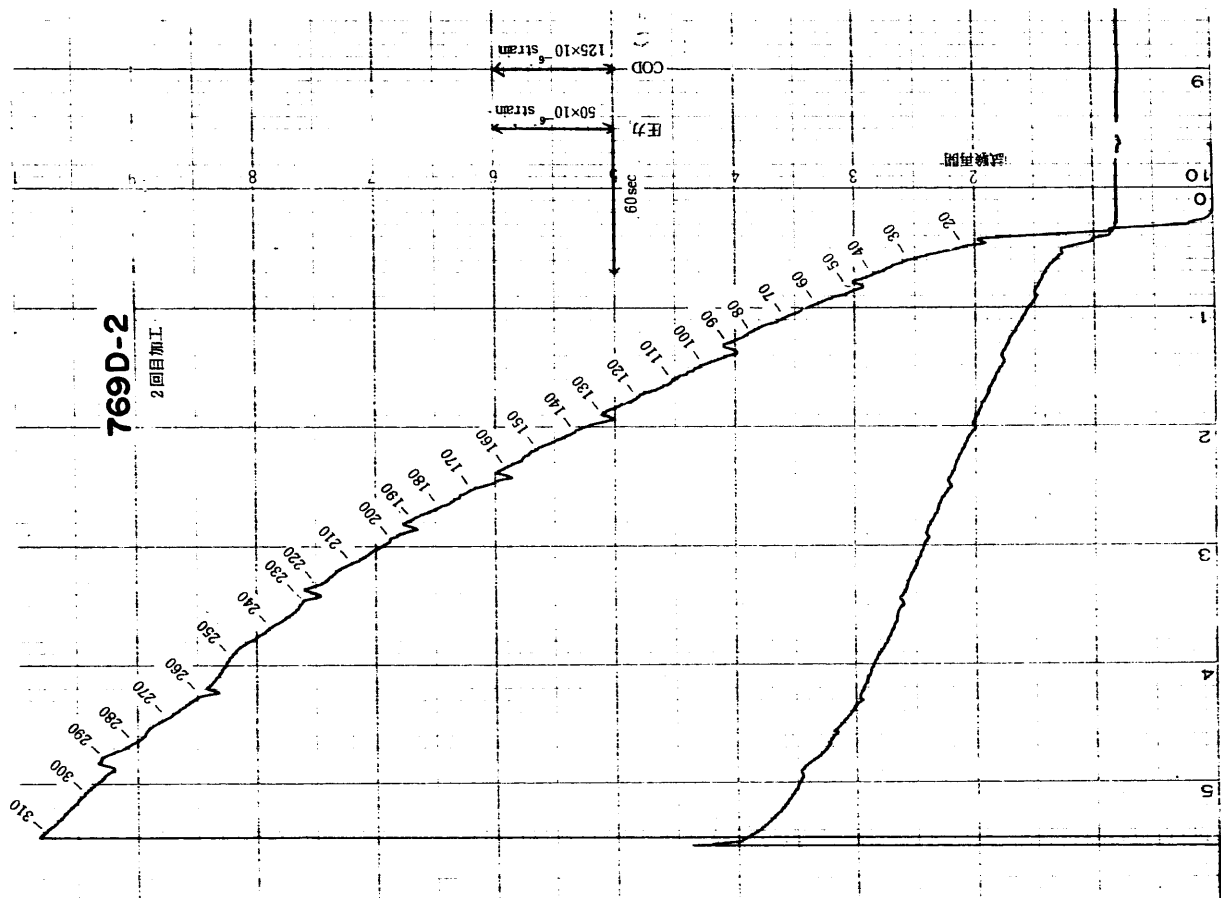
b - 5 " 71 - 4

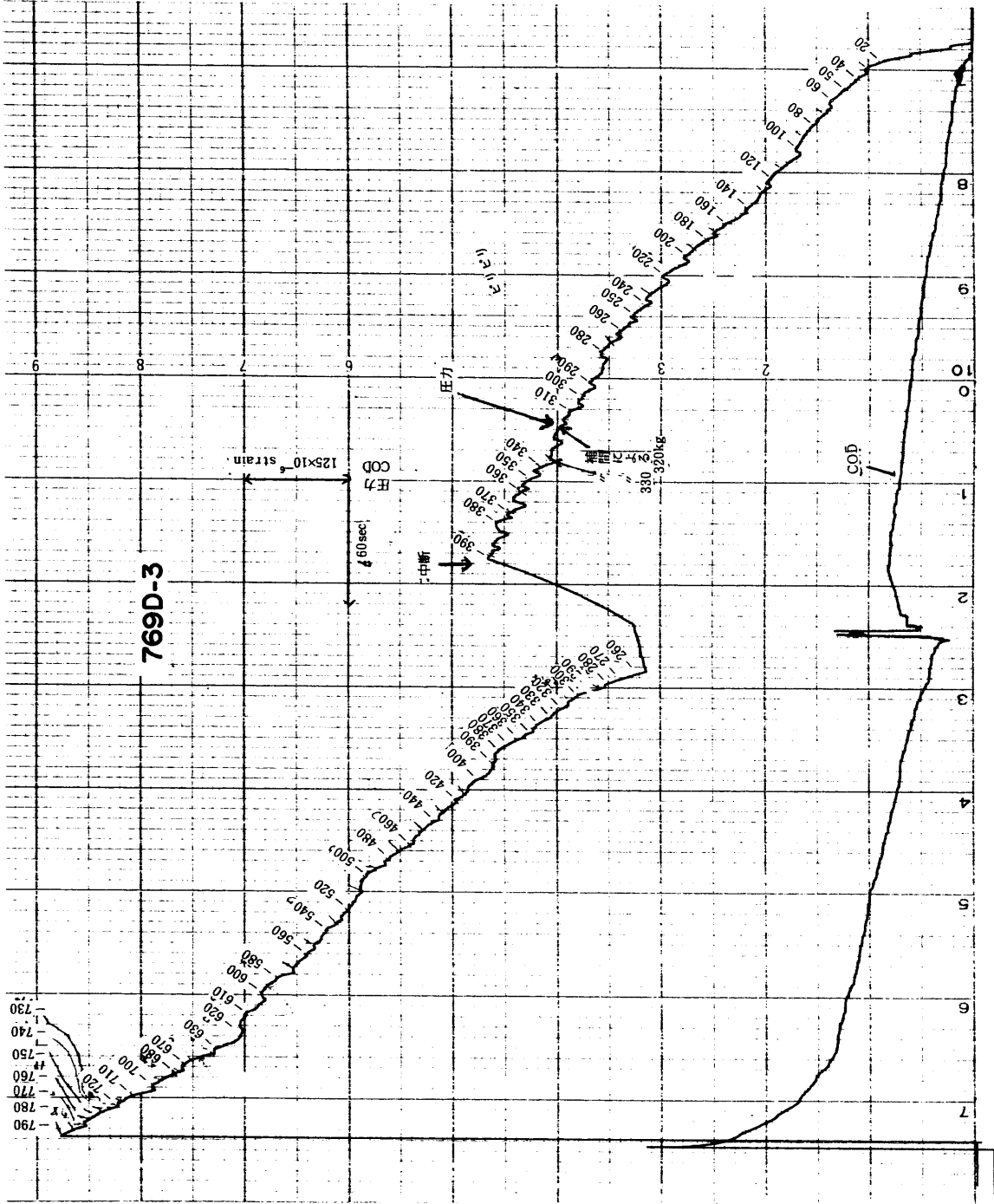
b - 6 " 71 - 5

b - 7 " 71 - 6

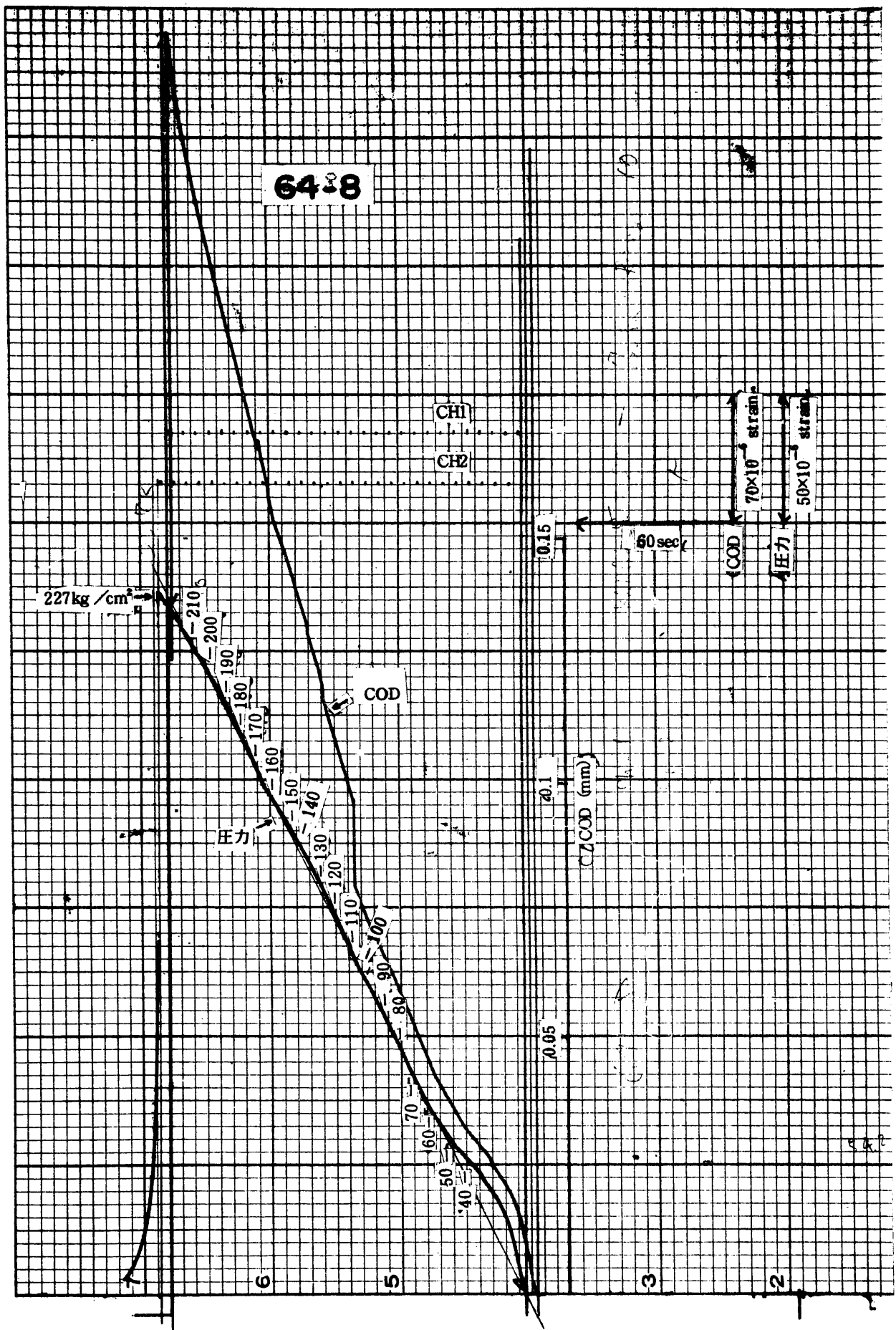
a) 水圧試験







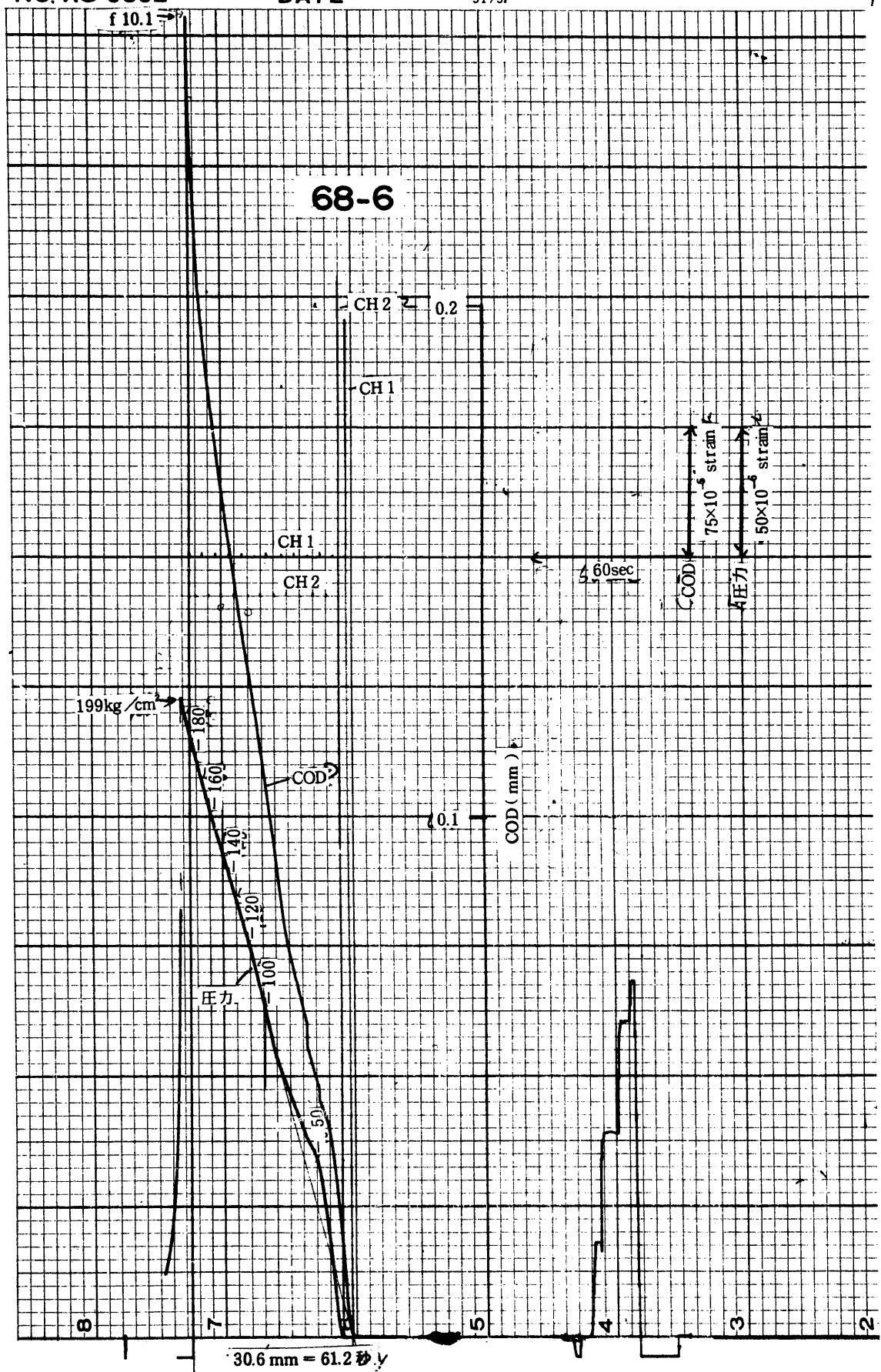
b) 空圧試験

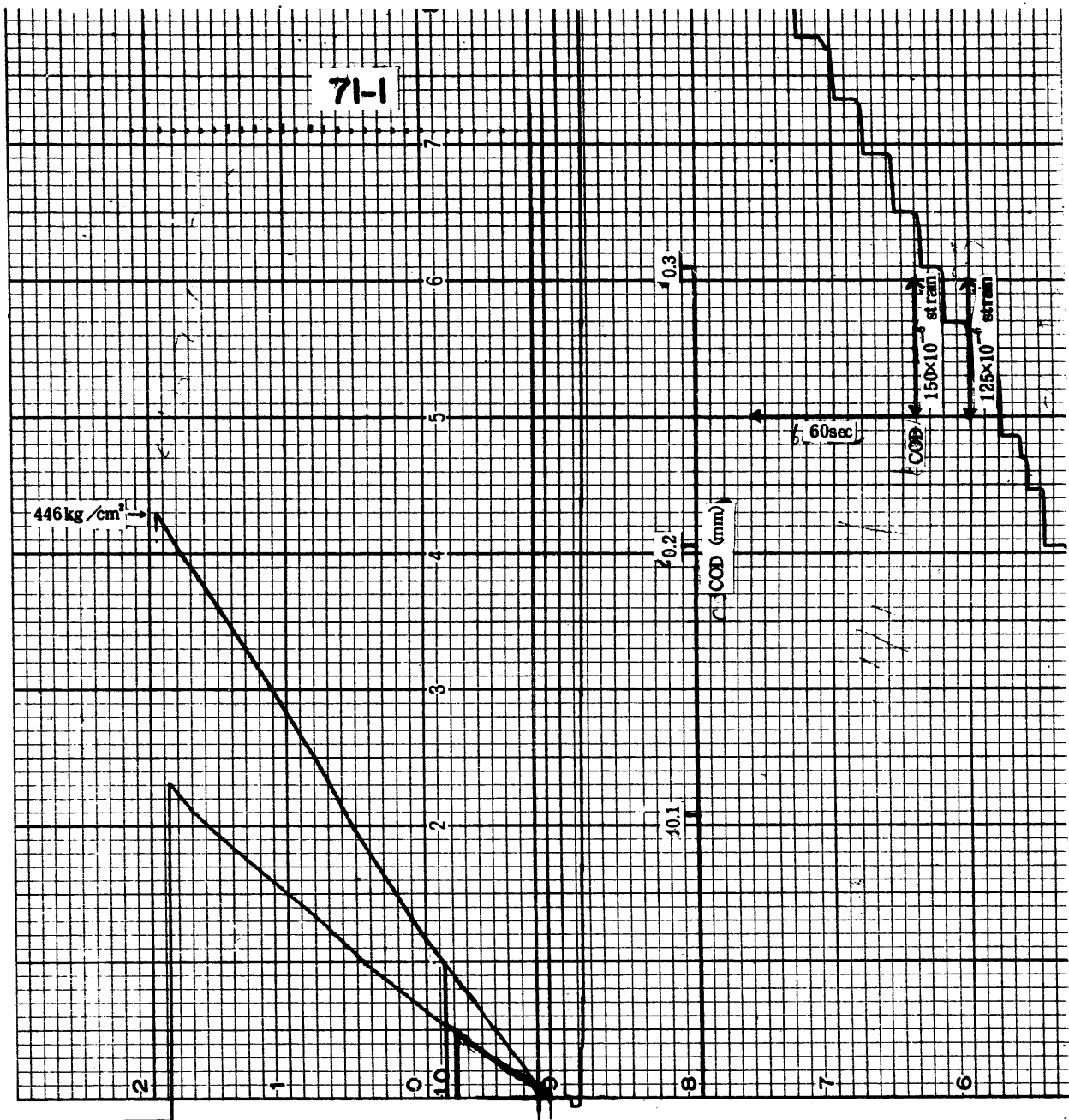


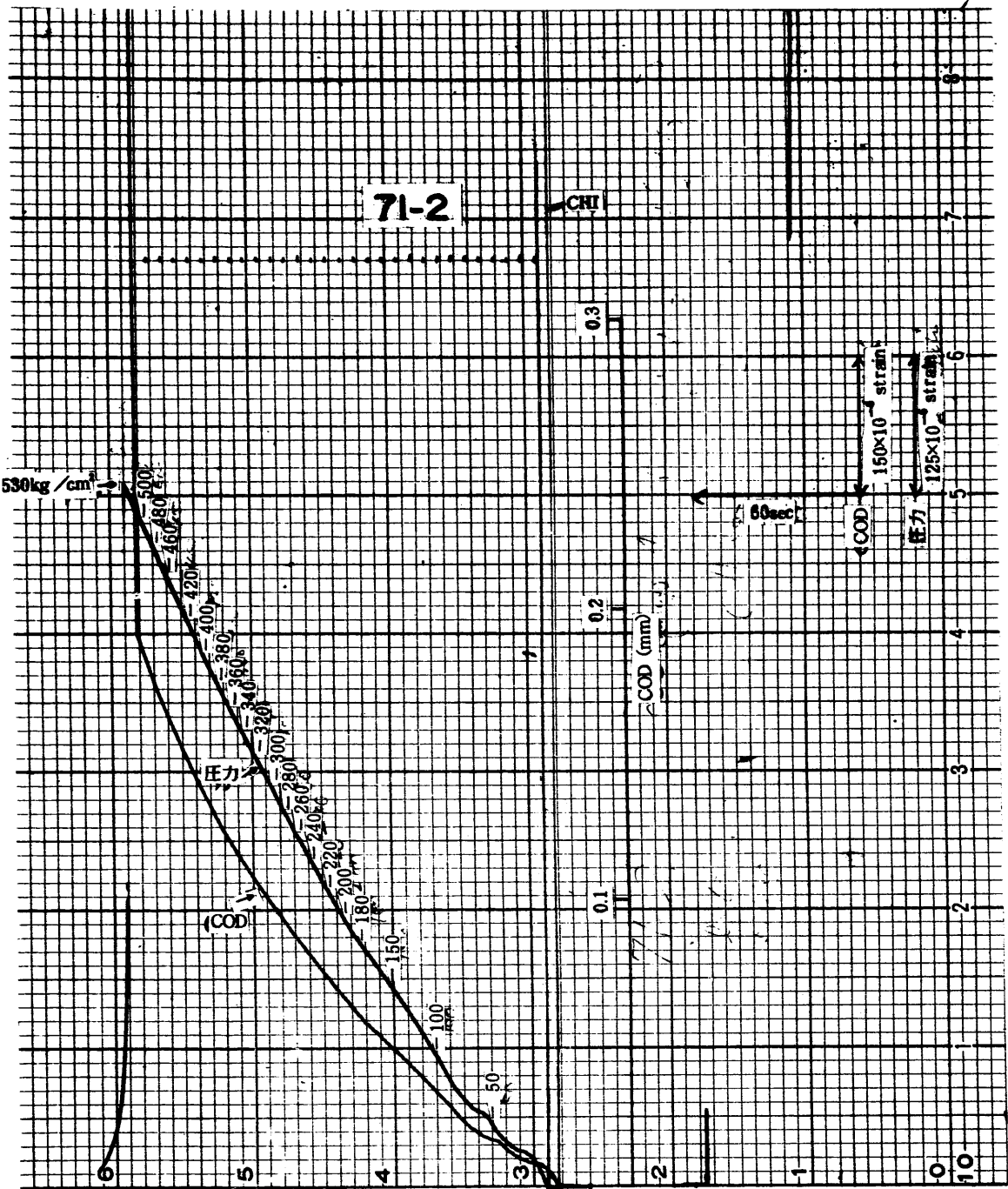
NO. AS-0602

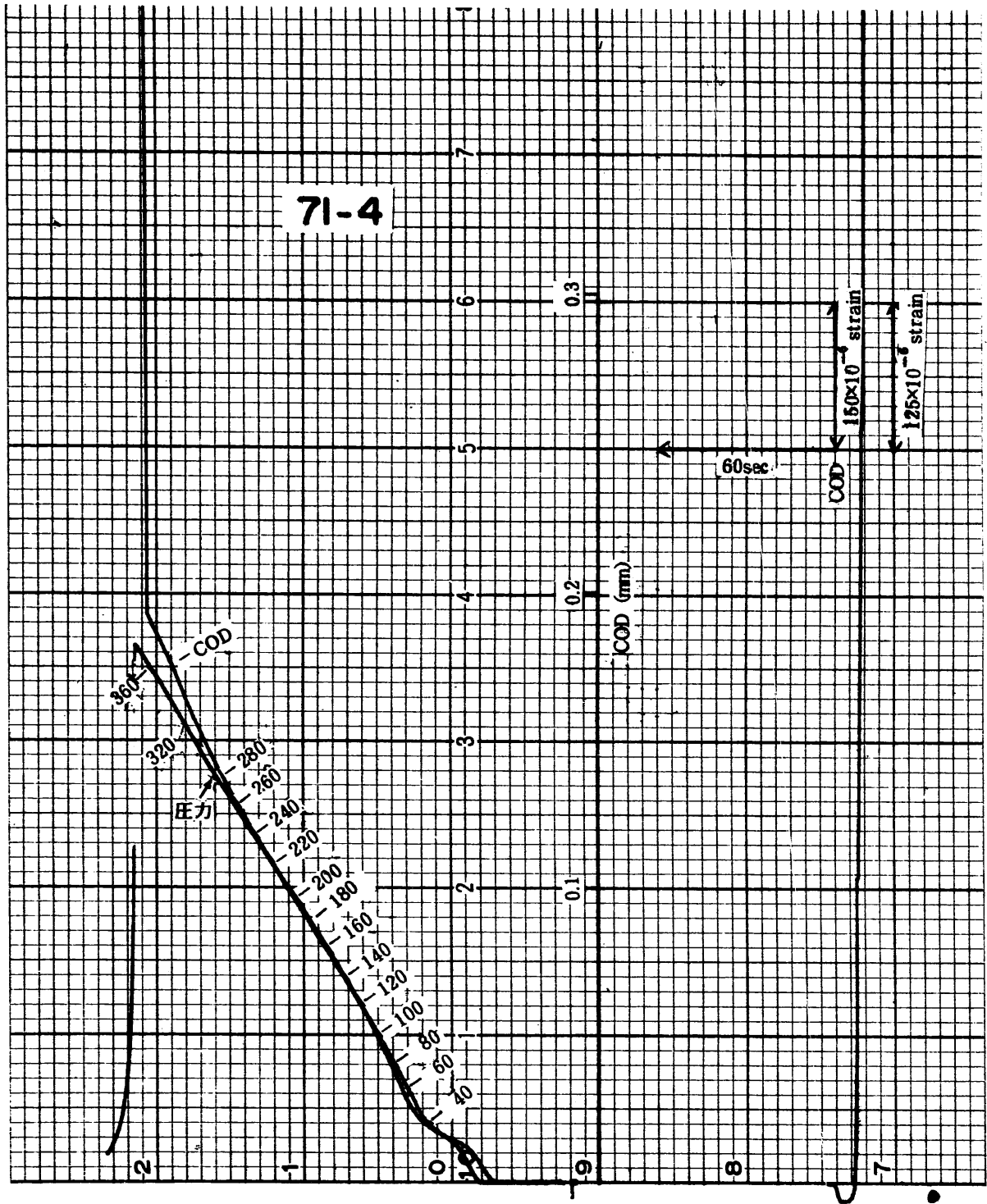
DATE

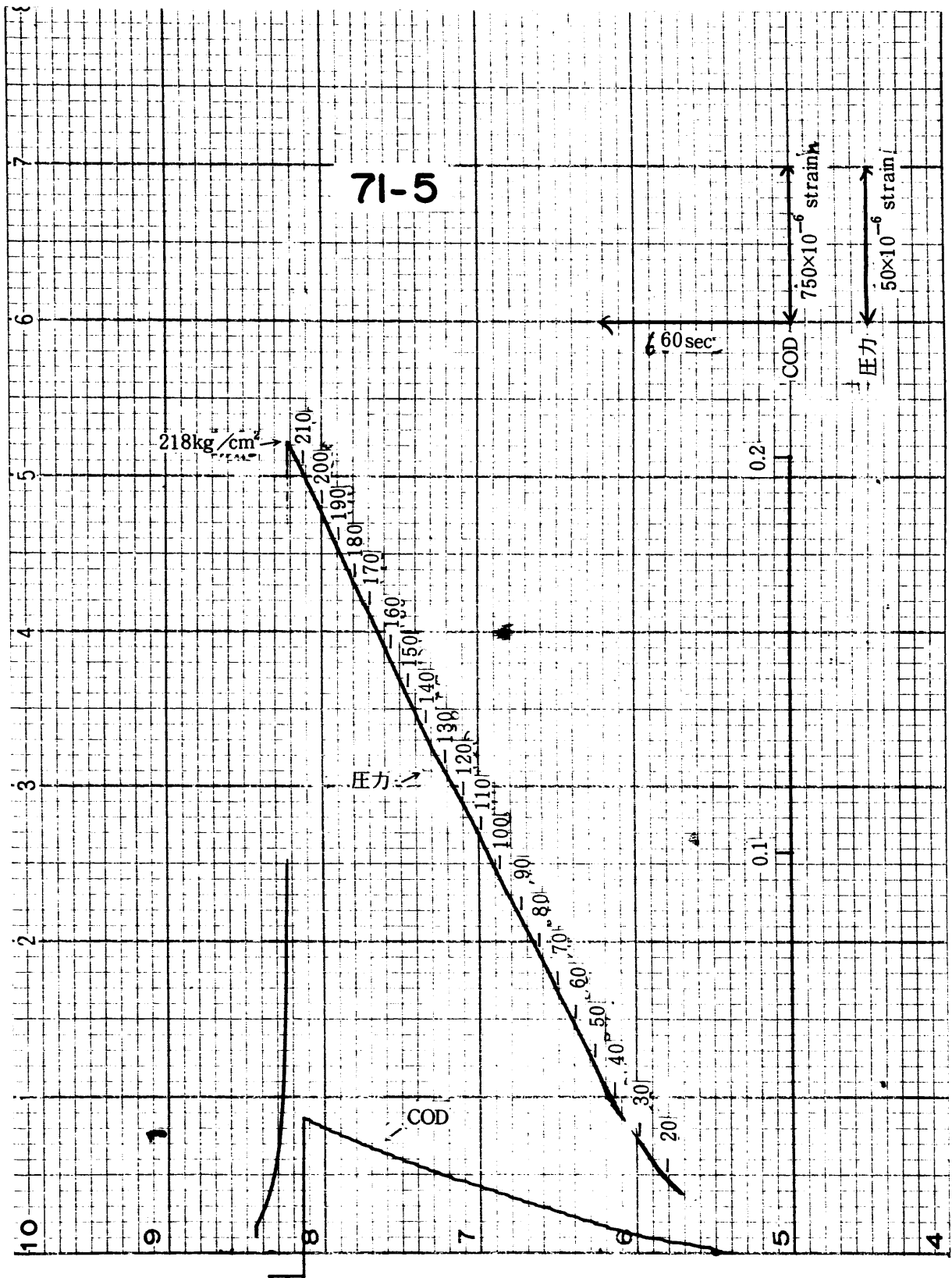
5173.

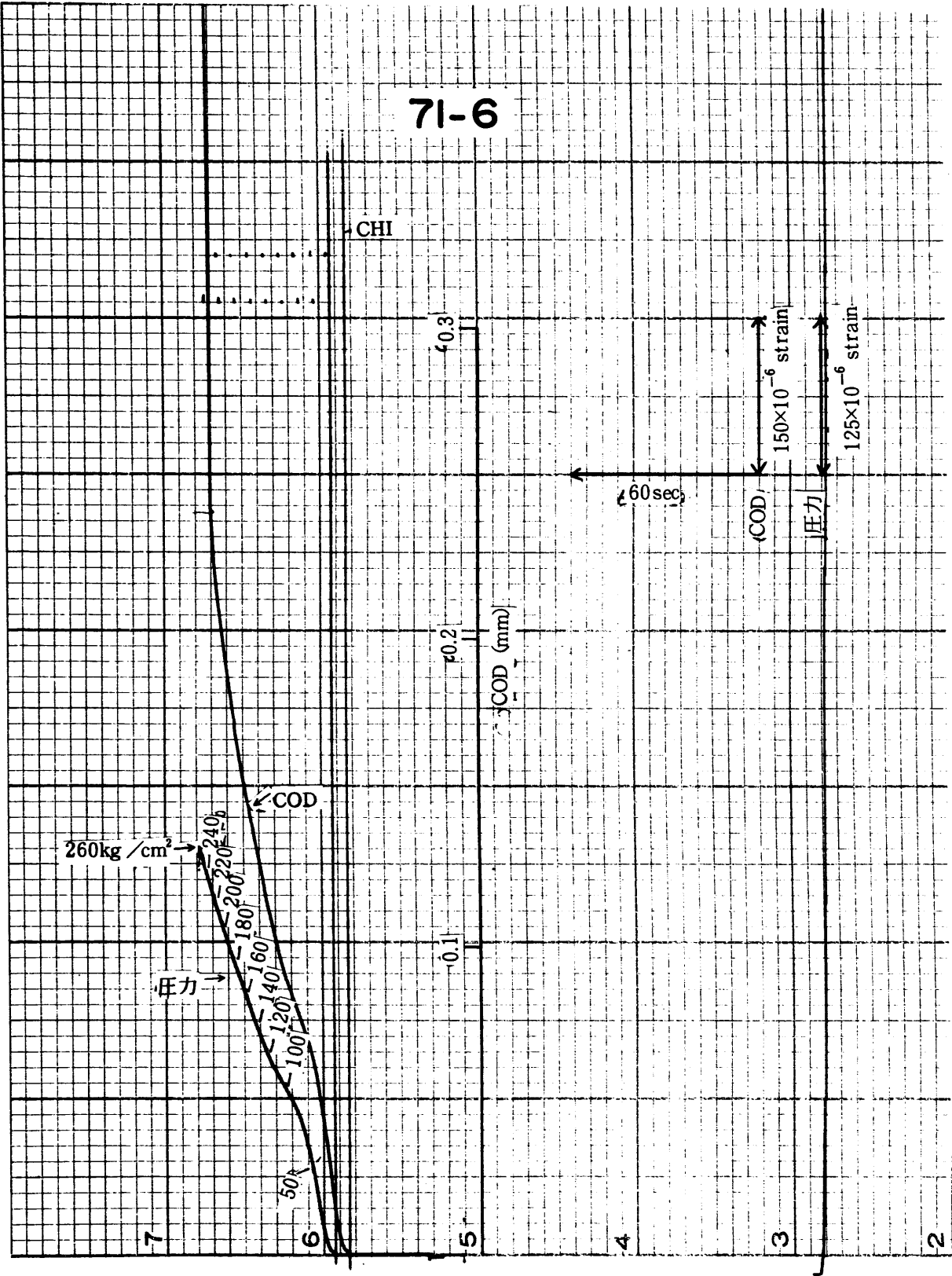












(2) AE カウントデータ

a) 水圧試験

a - 1 試験片 769 D - 2

a - 2 試験片 769 D - 3

b) 空圧試験

b - 1 試験片 64 - 8

b - 2 " 68 - 6

b - 3 " 71 - 1

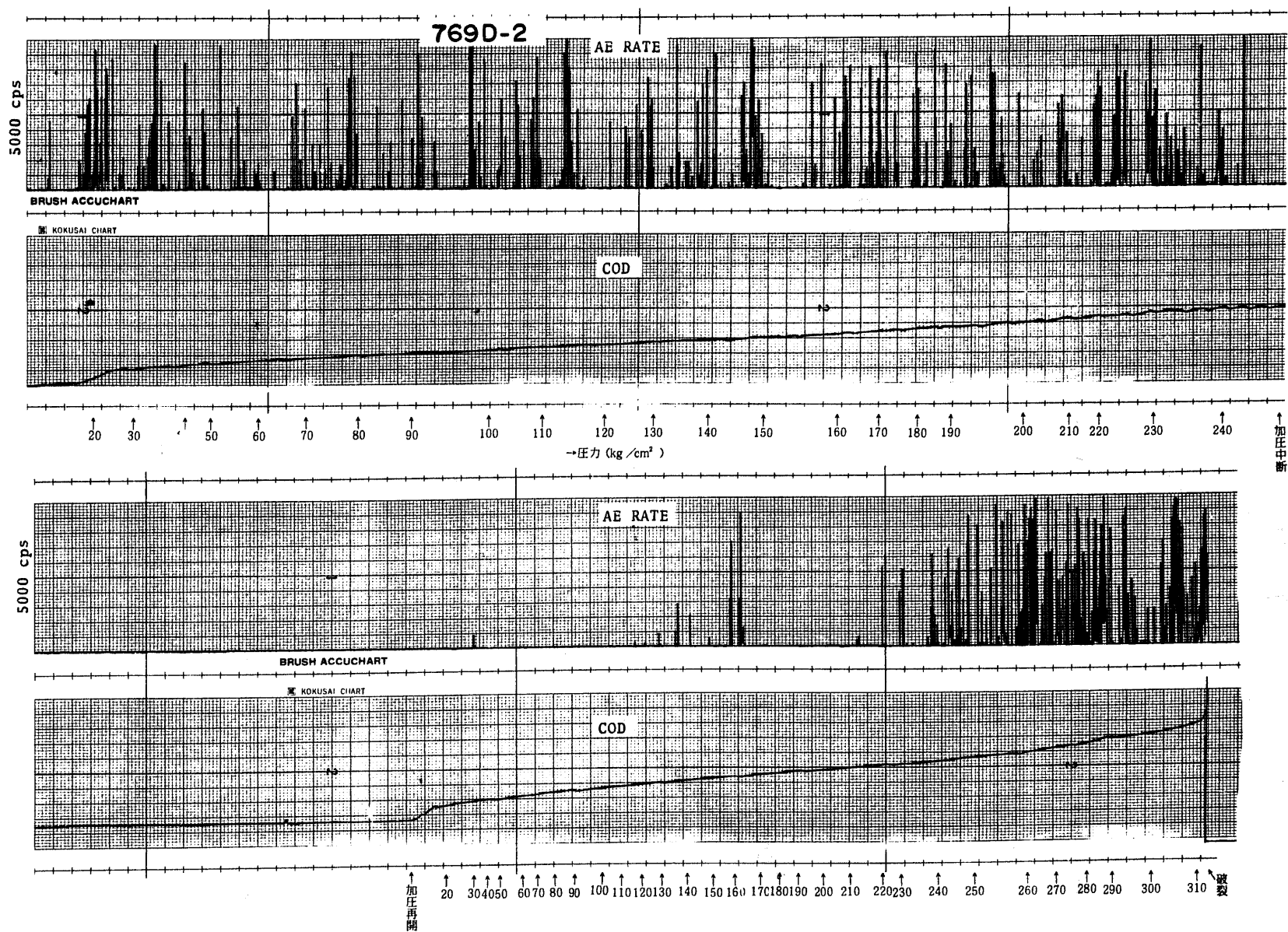
b - 4 " 71 - 2

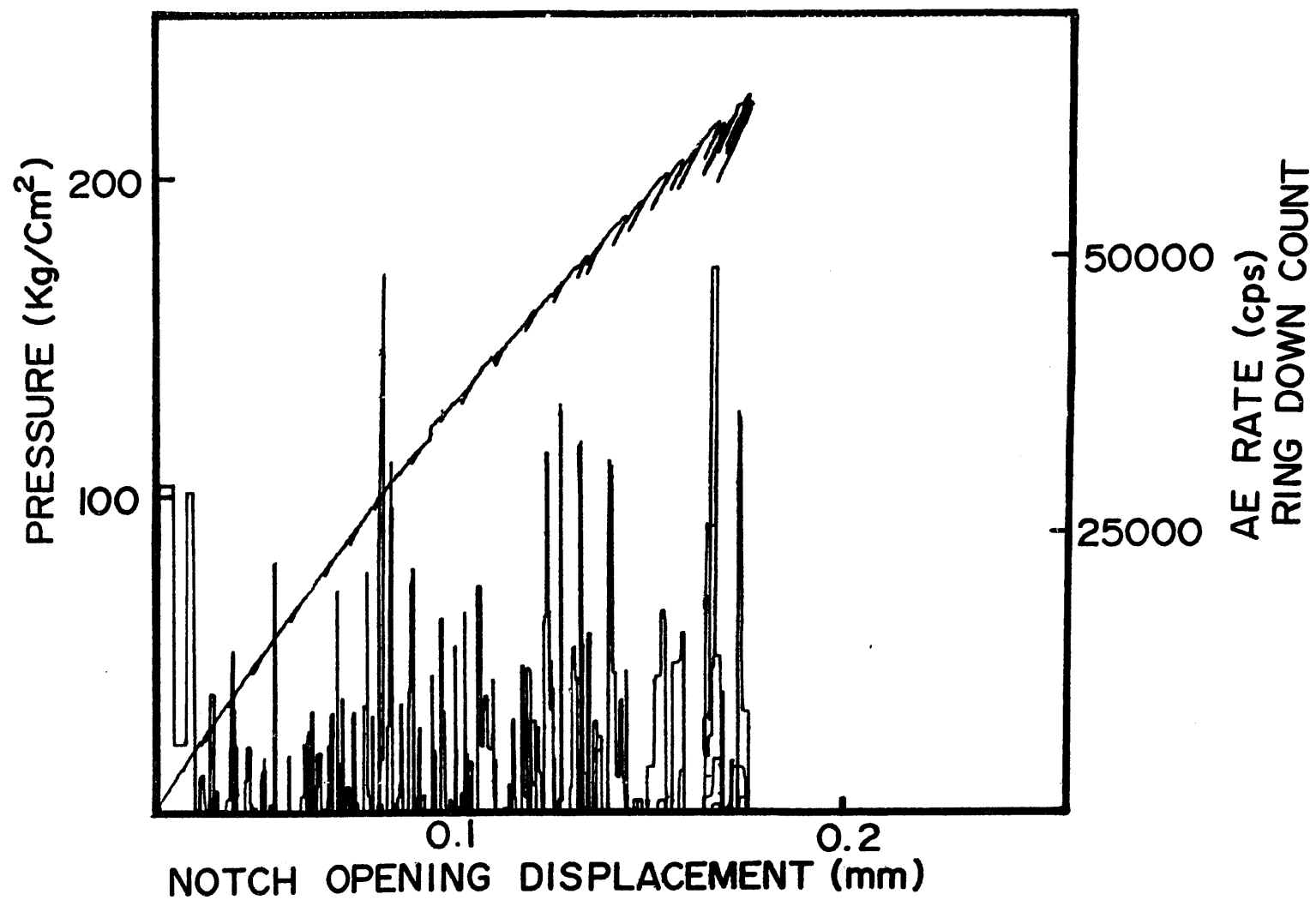
b - 5 " 71 - 4

b - 6 " 71 - 5

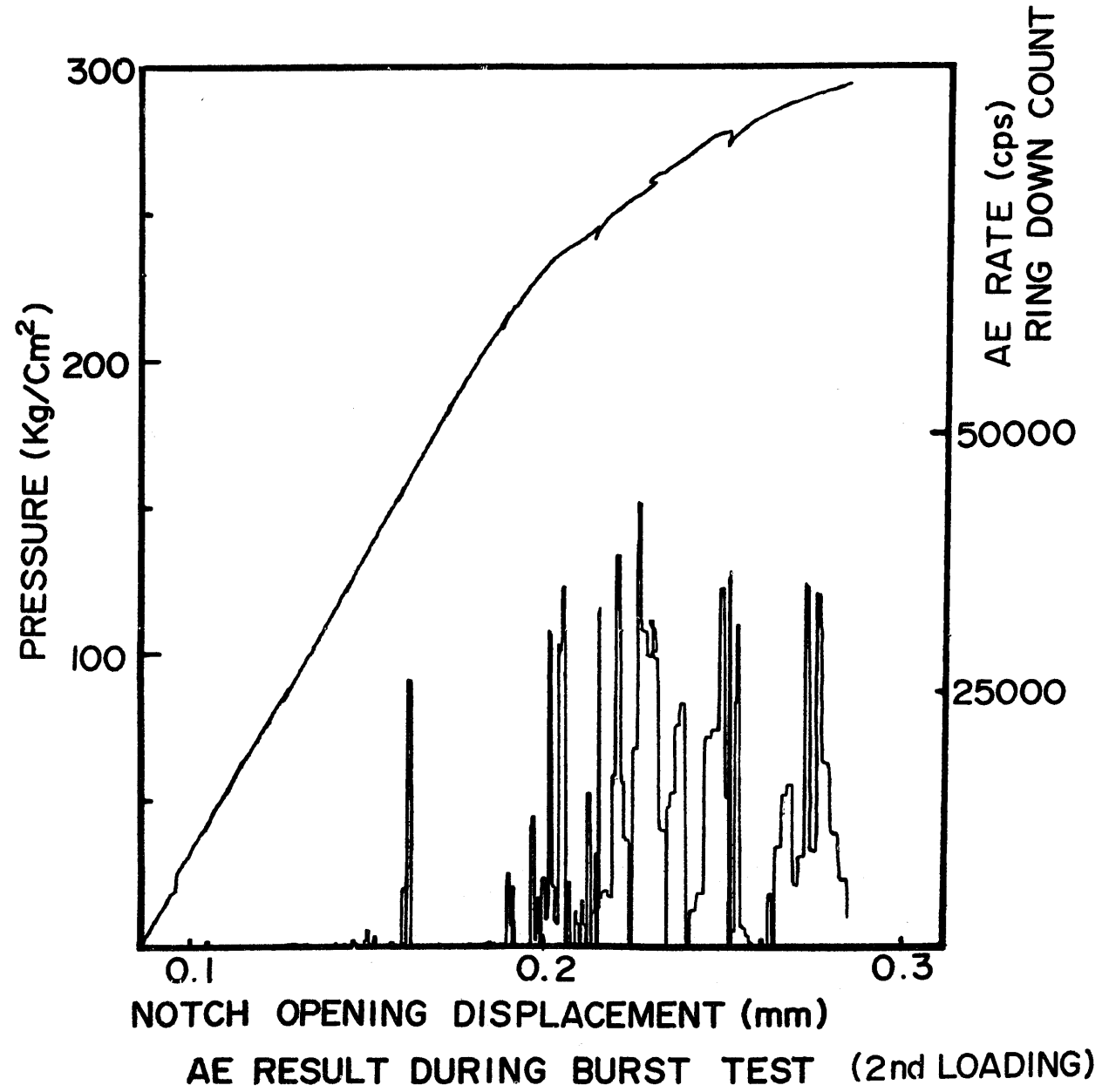
b - 7 " 71 - 6

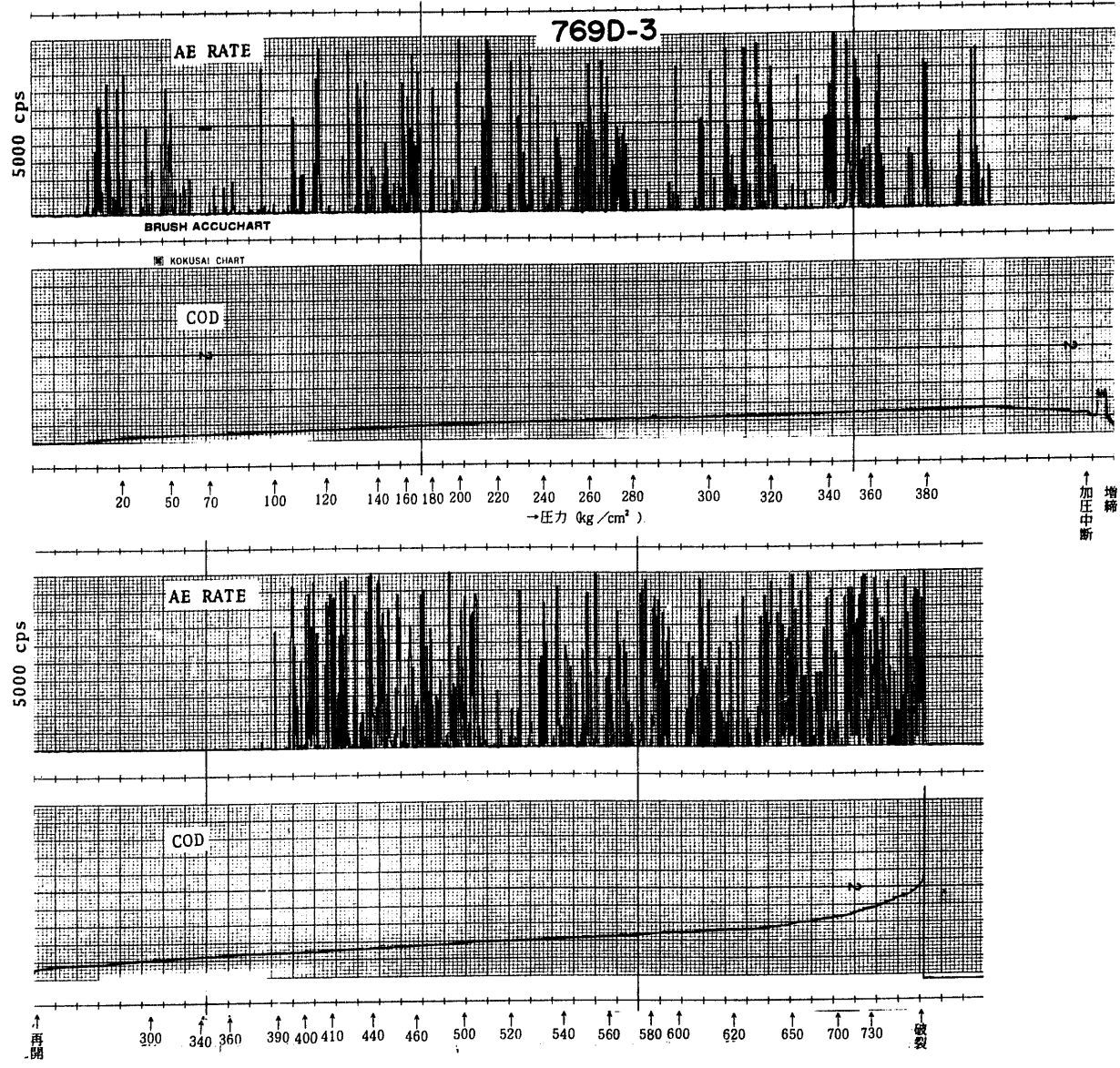
a) 水圧試験



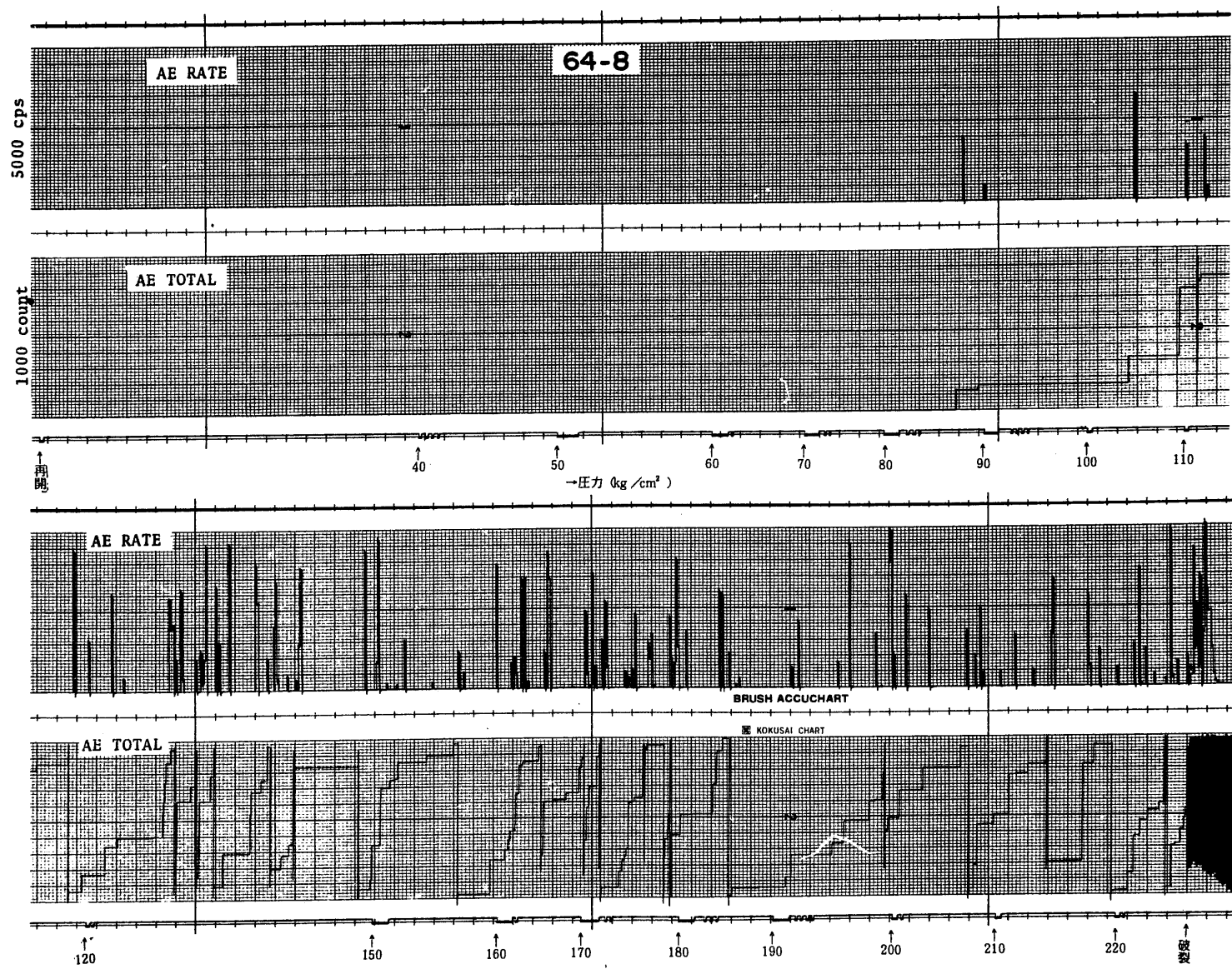


AE RESULT DURING BURST TEST (1st LOADING)

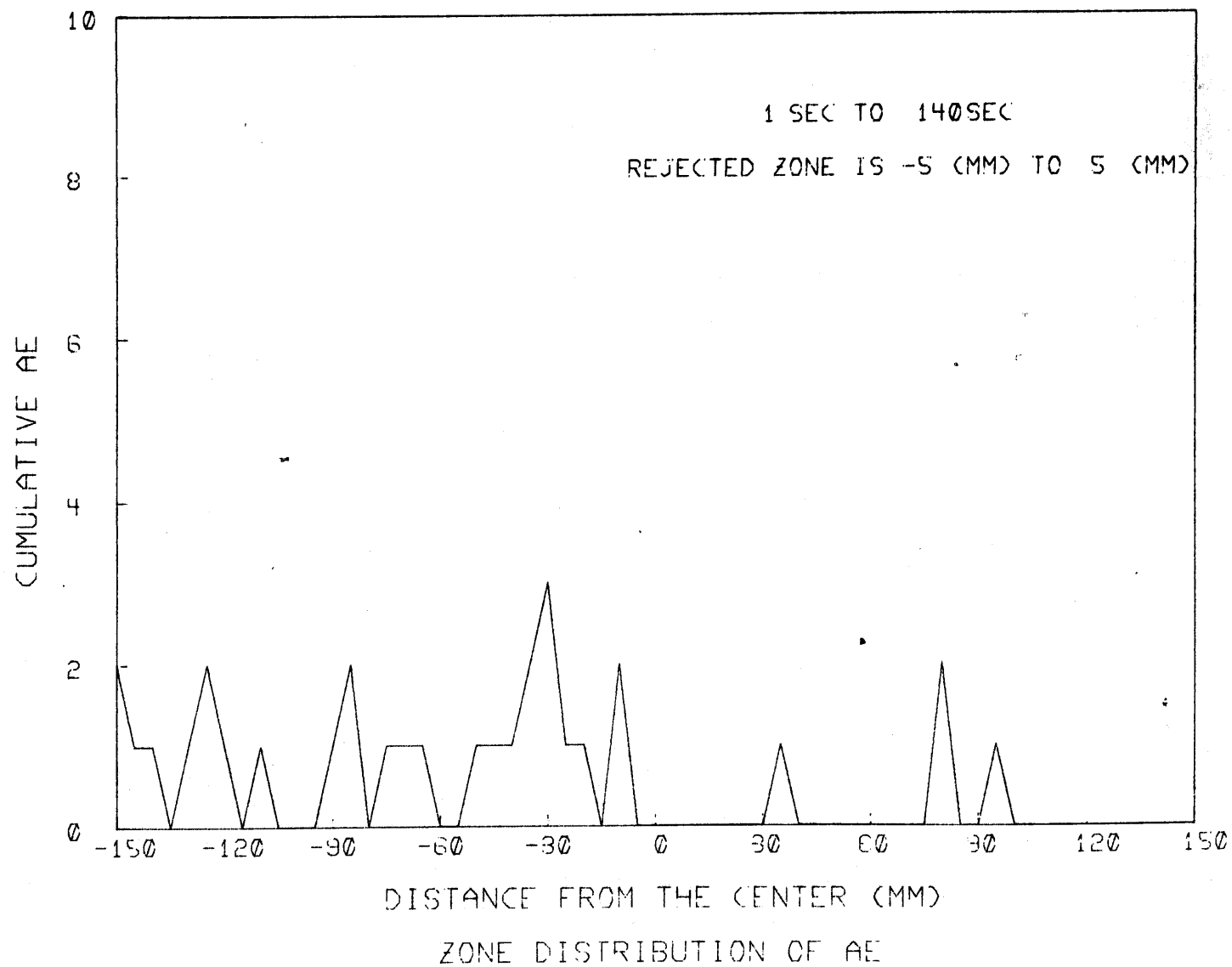


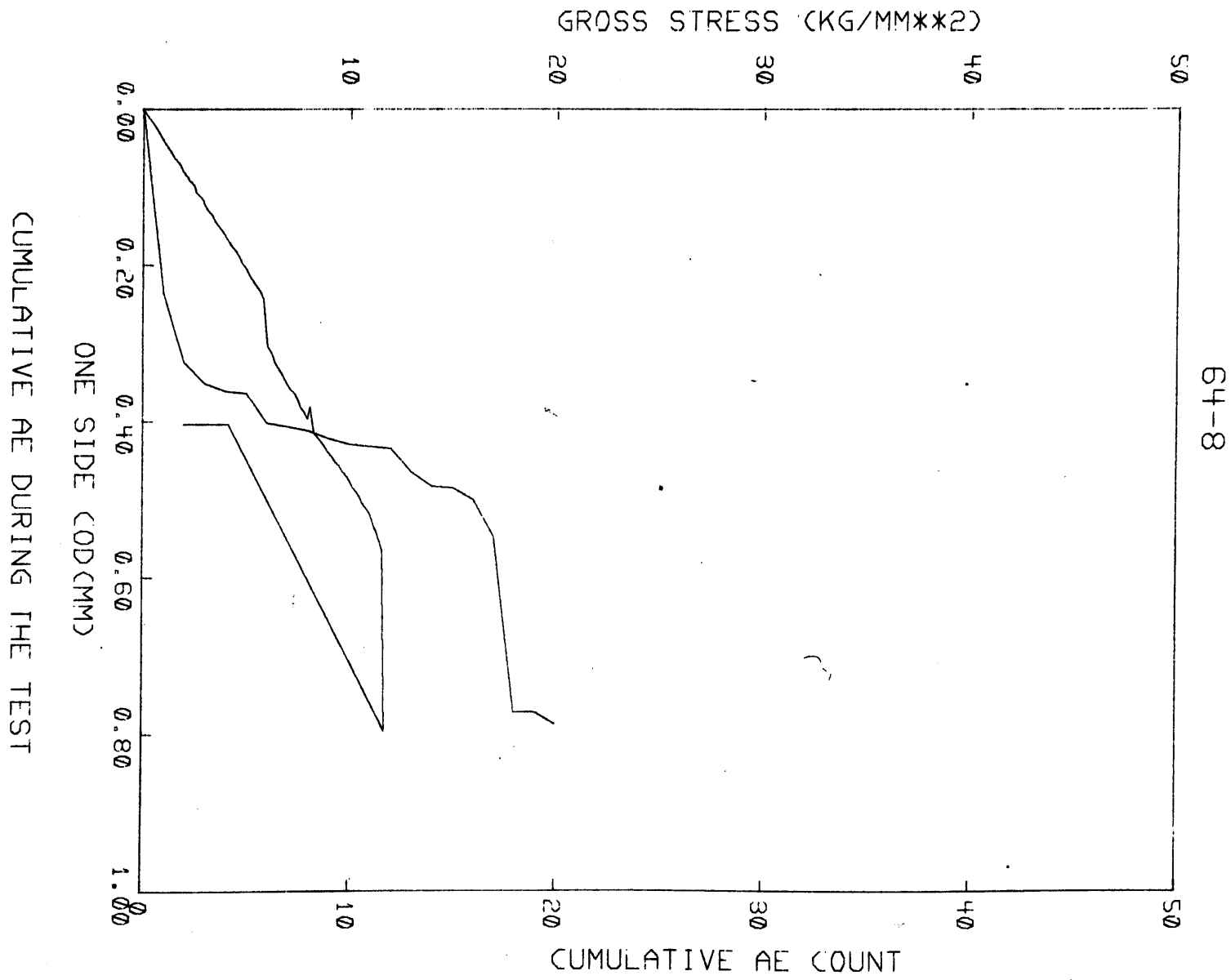


b) 空圧試験

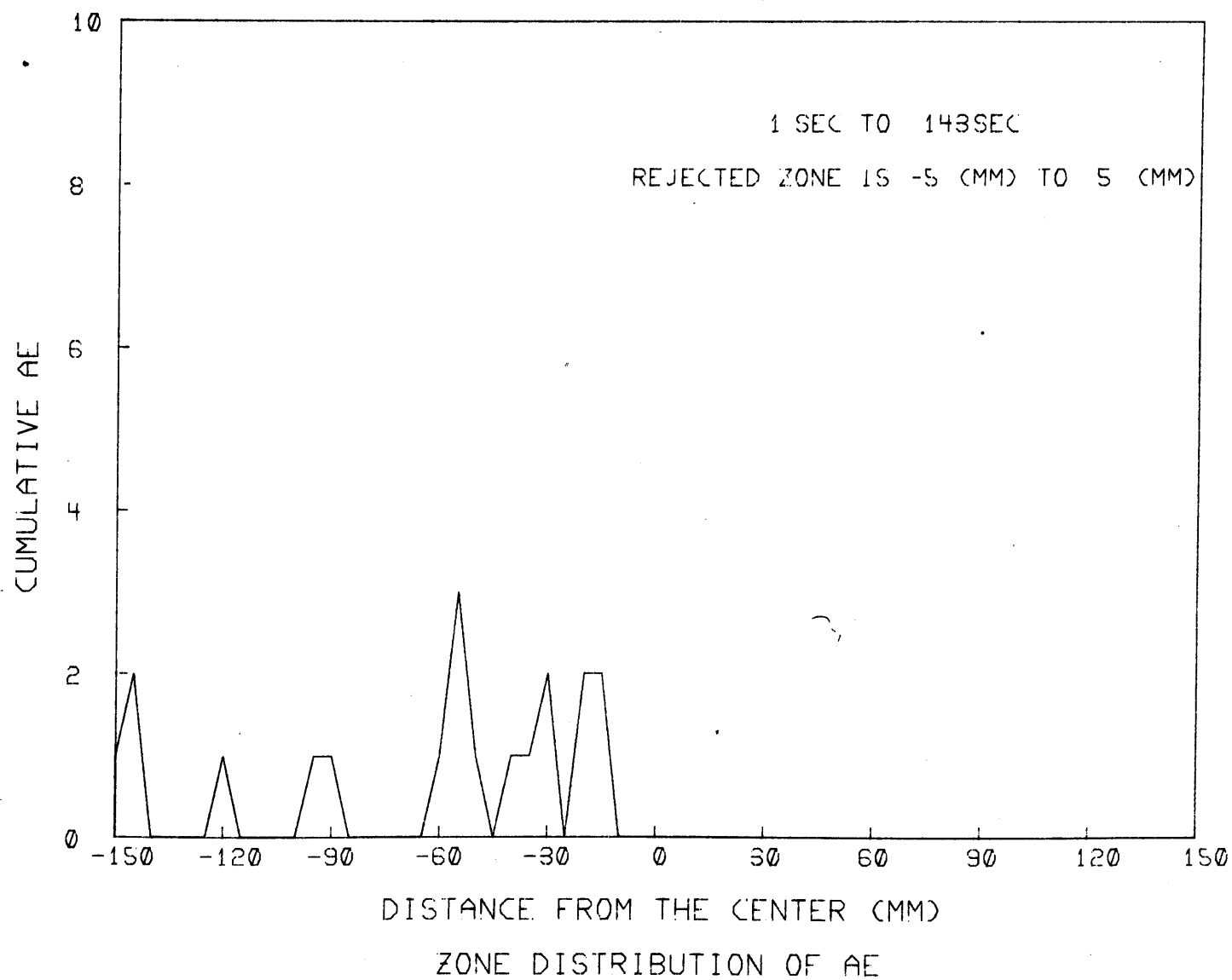


64-8(N)

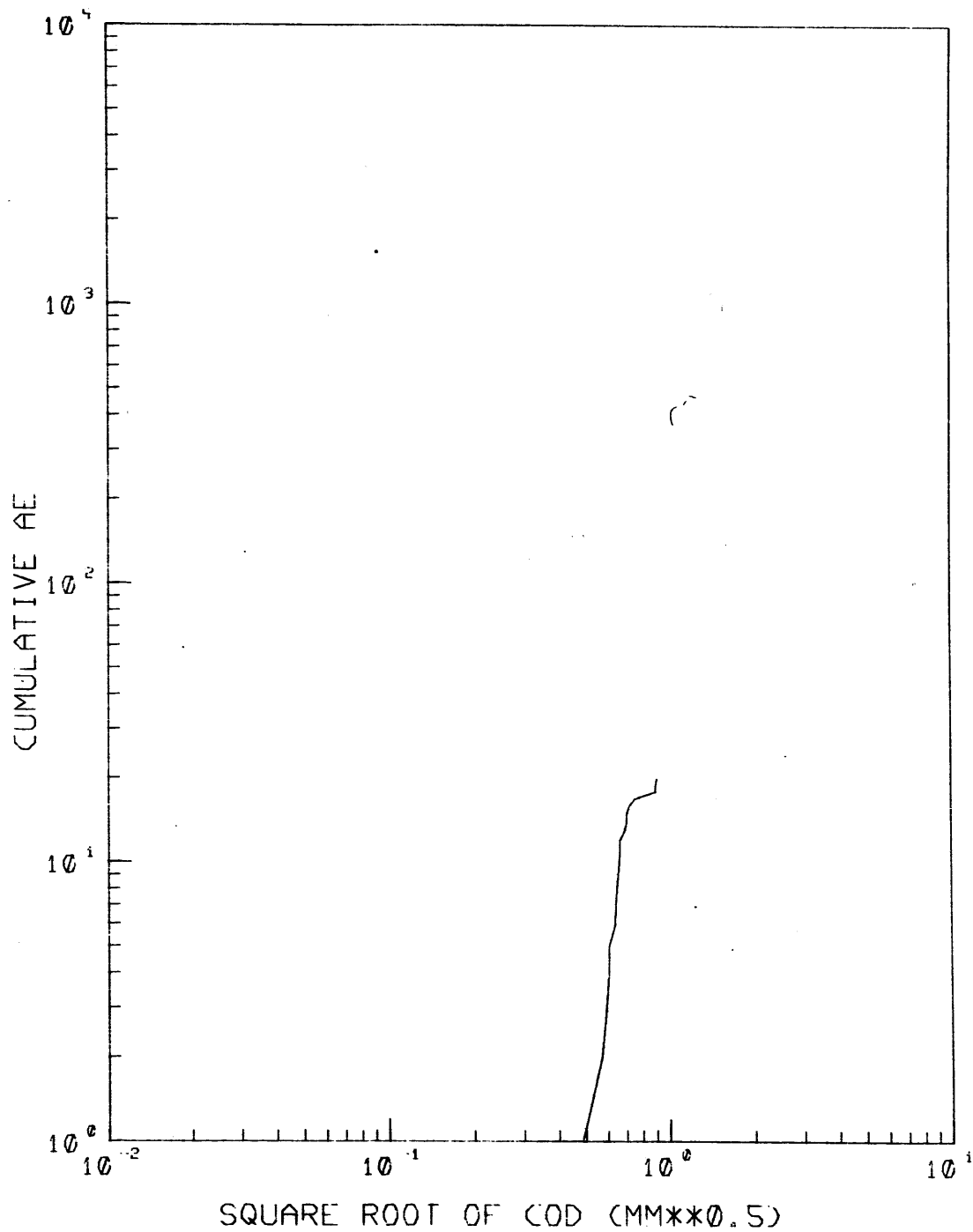




64-8

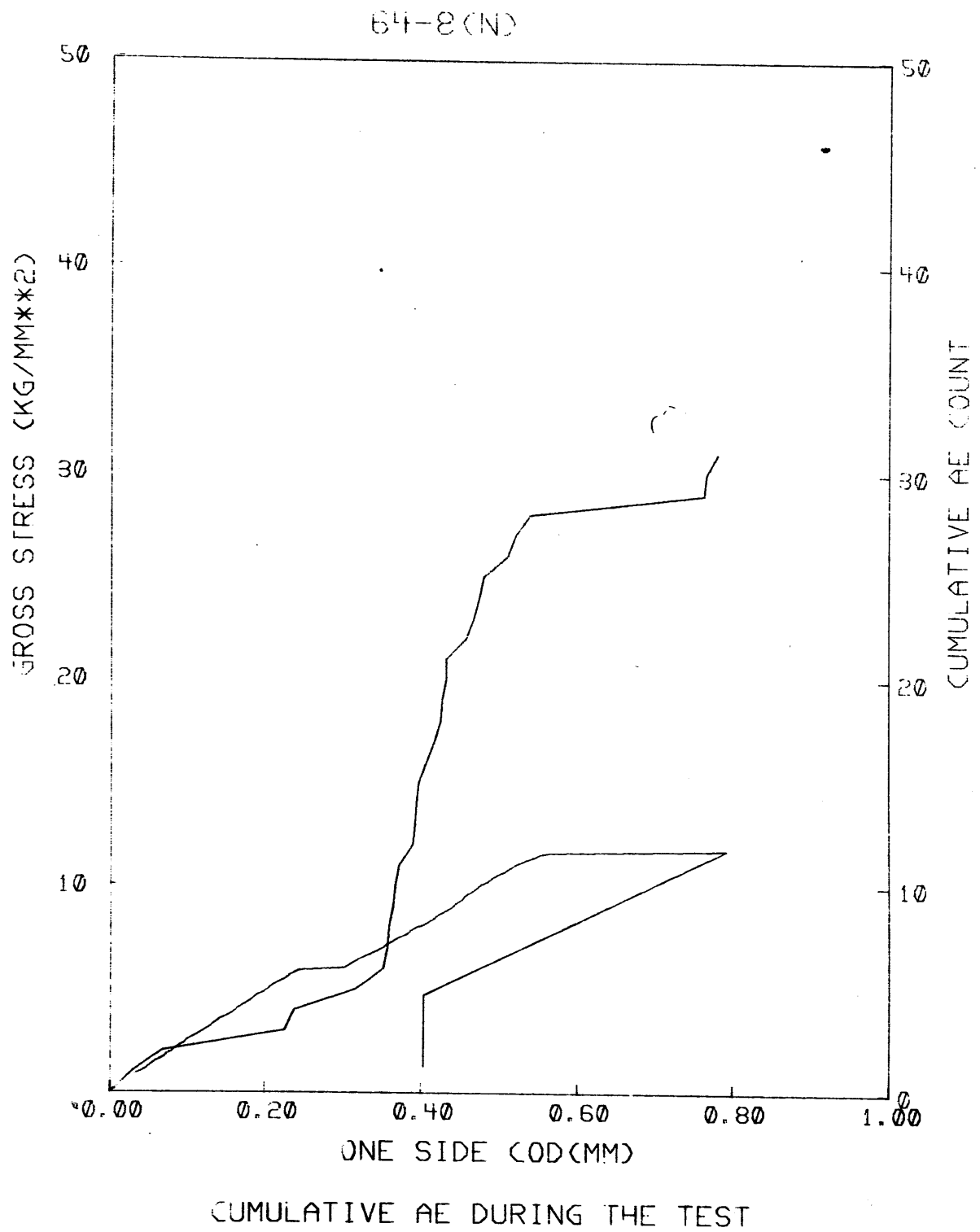


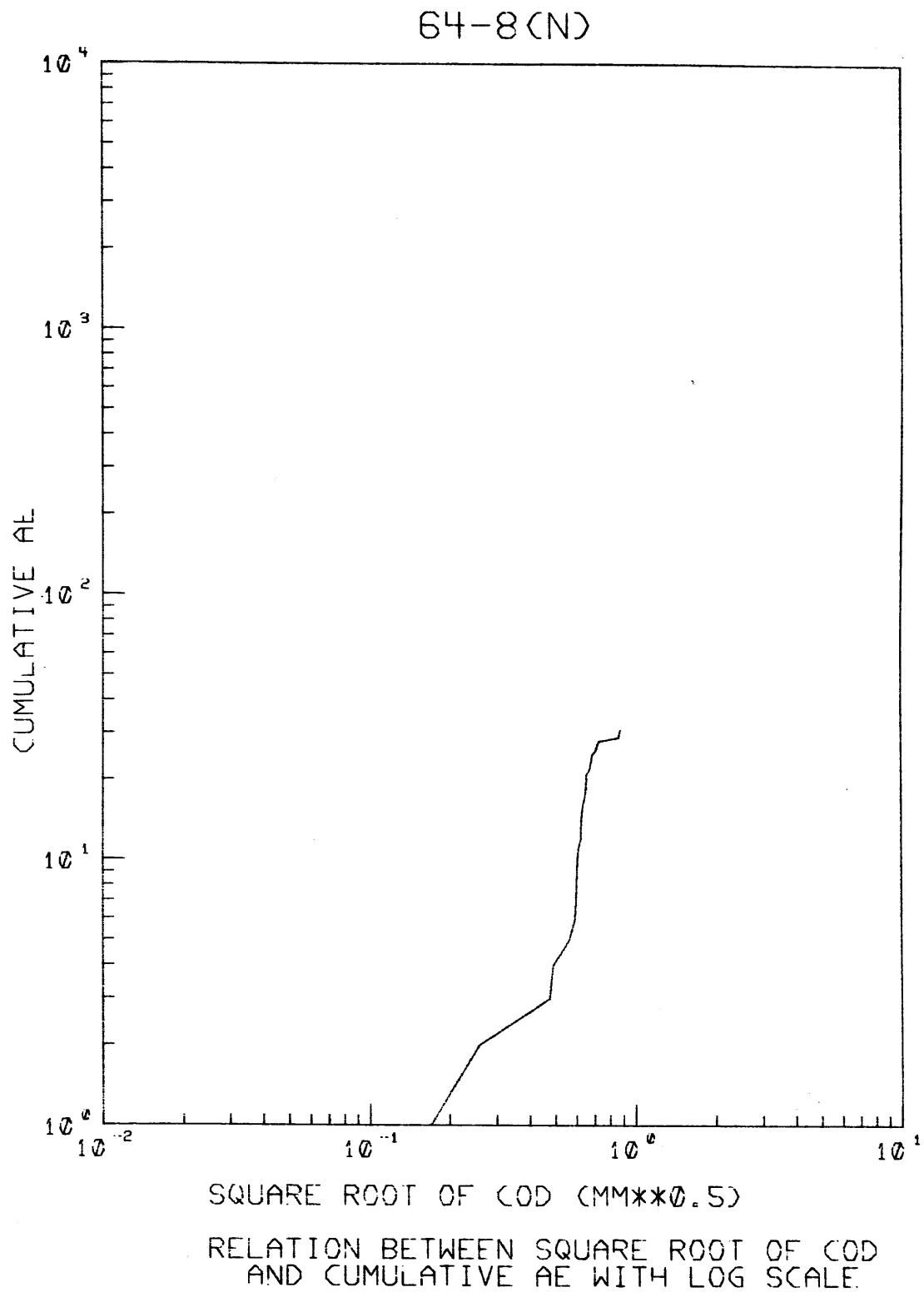
64-8

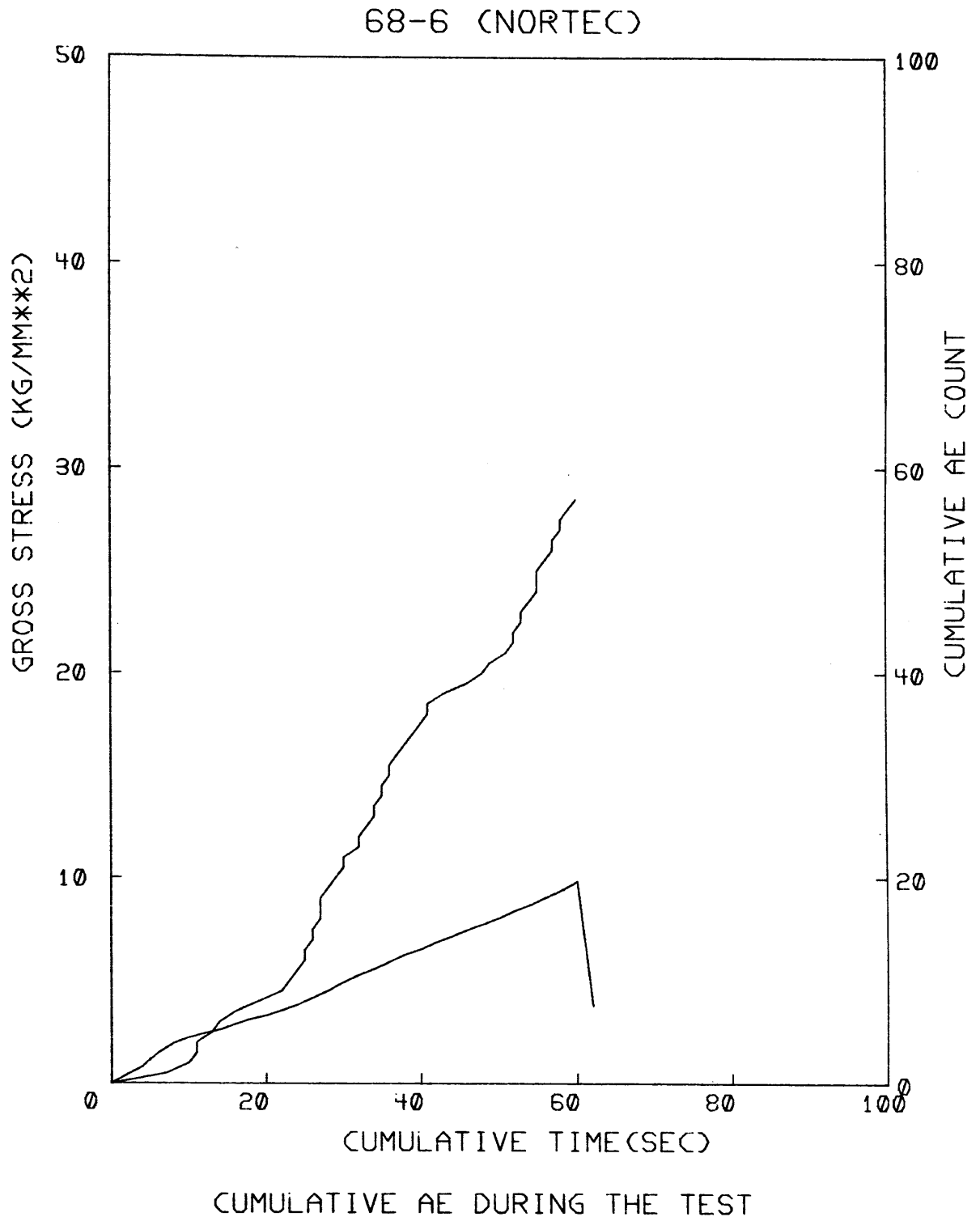


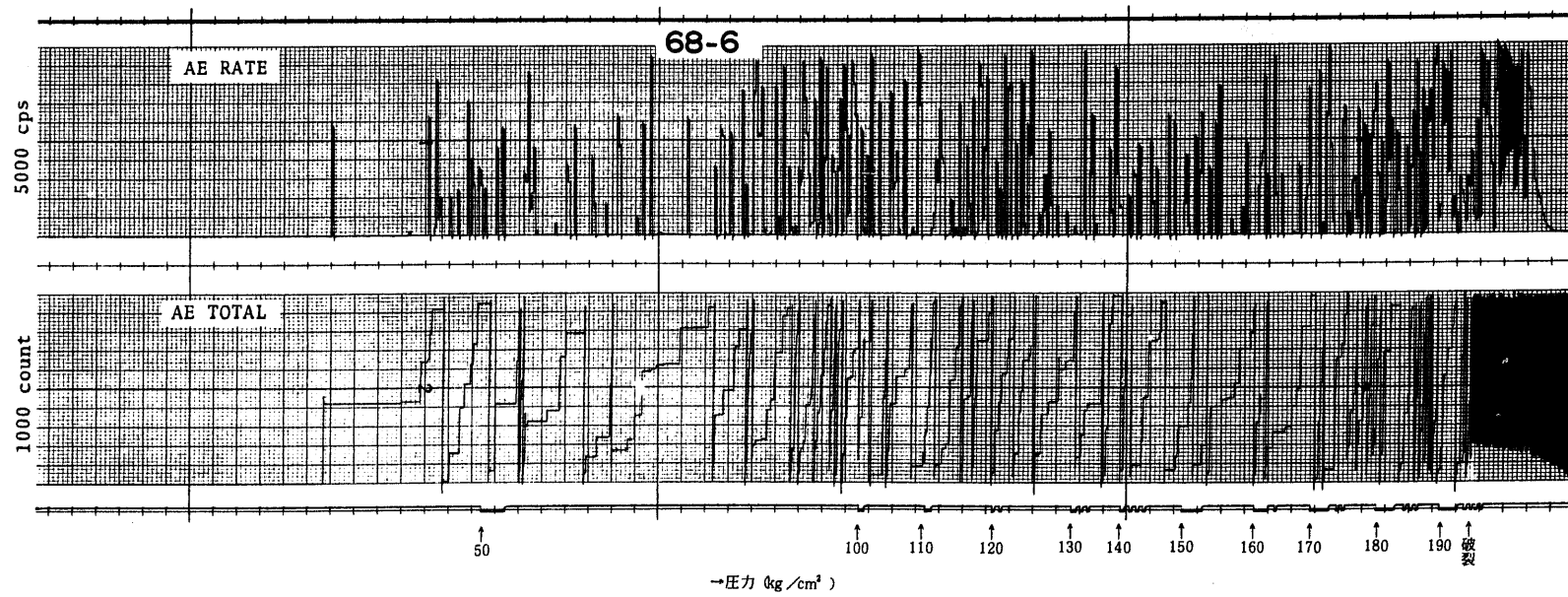
SQUARE ROOT OF COD (MM*0.5)

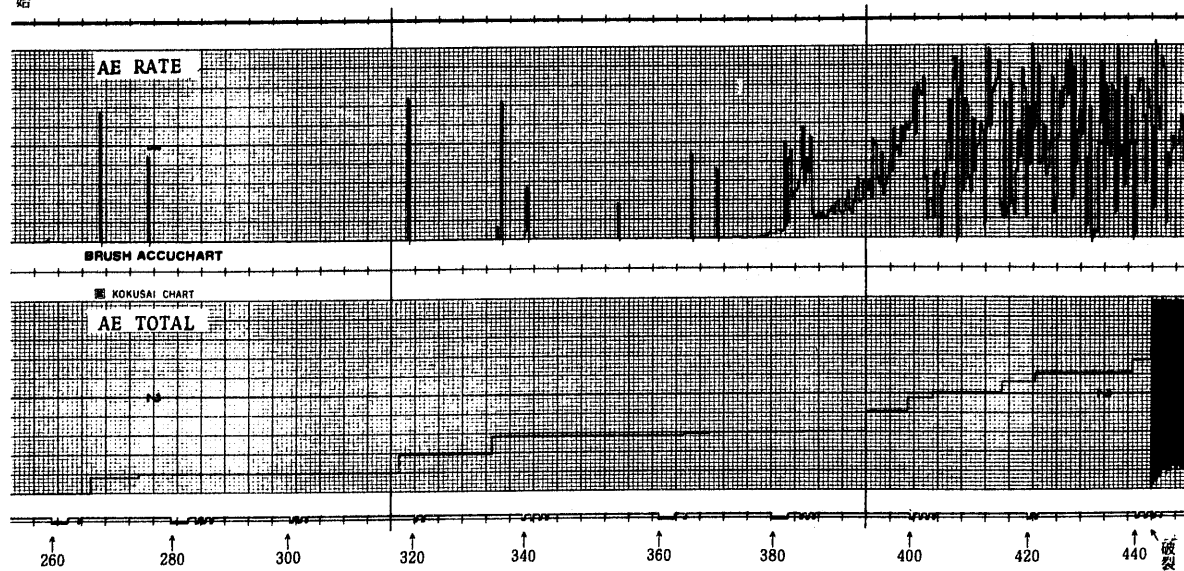
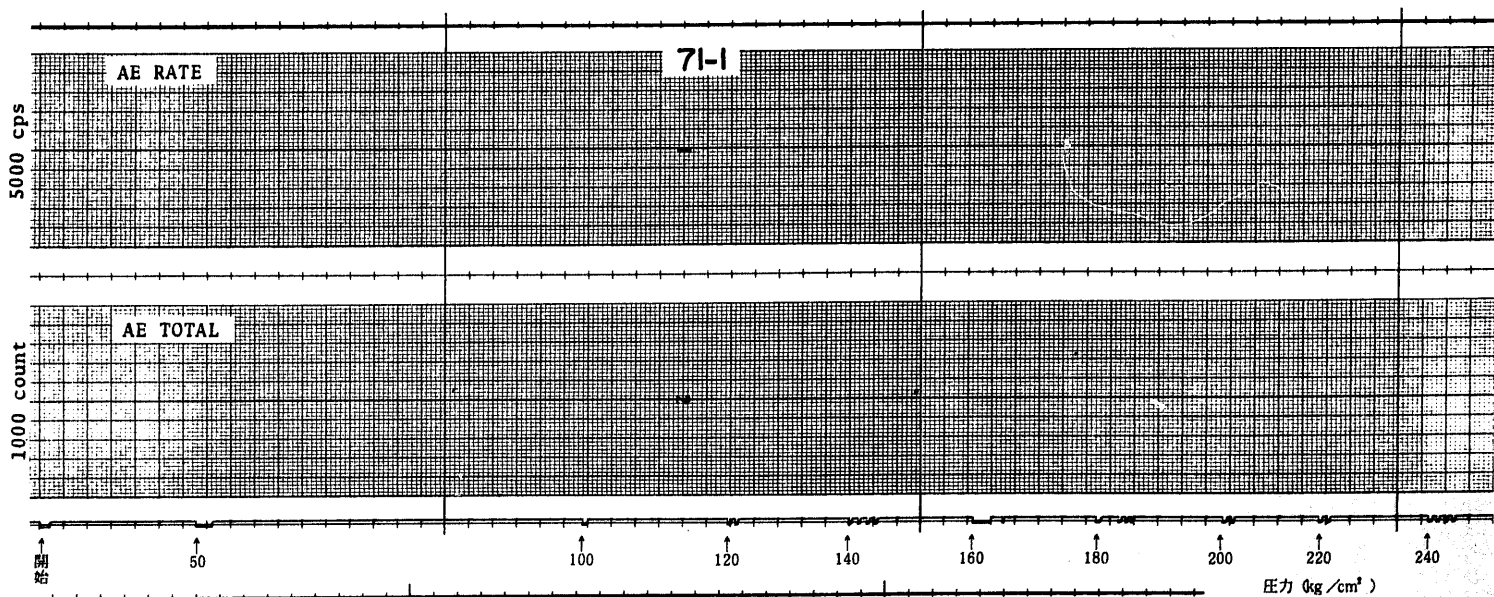
RELATION BETWEEN SQUARE ROOT OF COD
AND CUMULATIVE AE WITH LOG SCALE

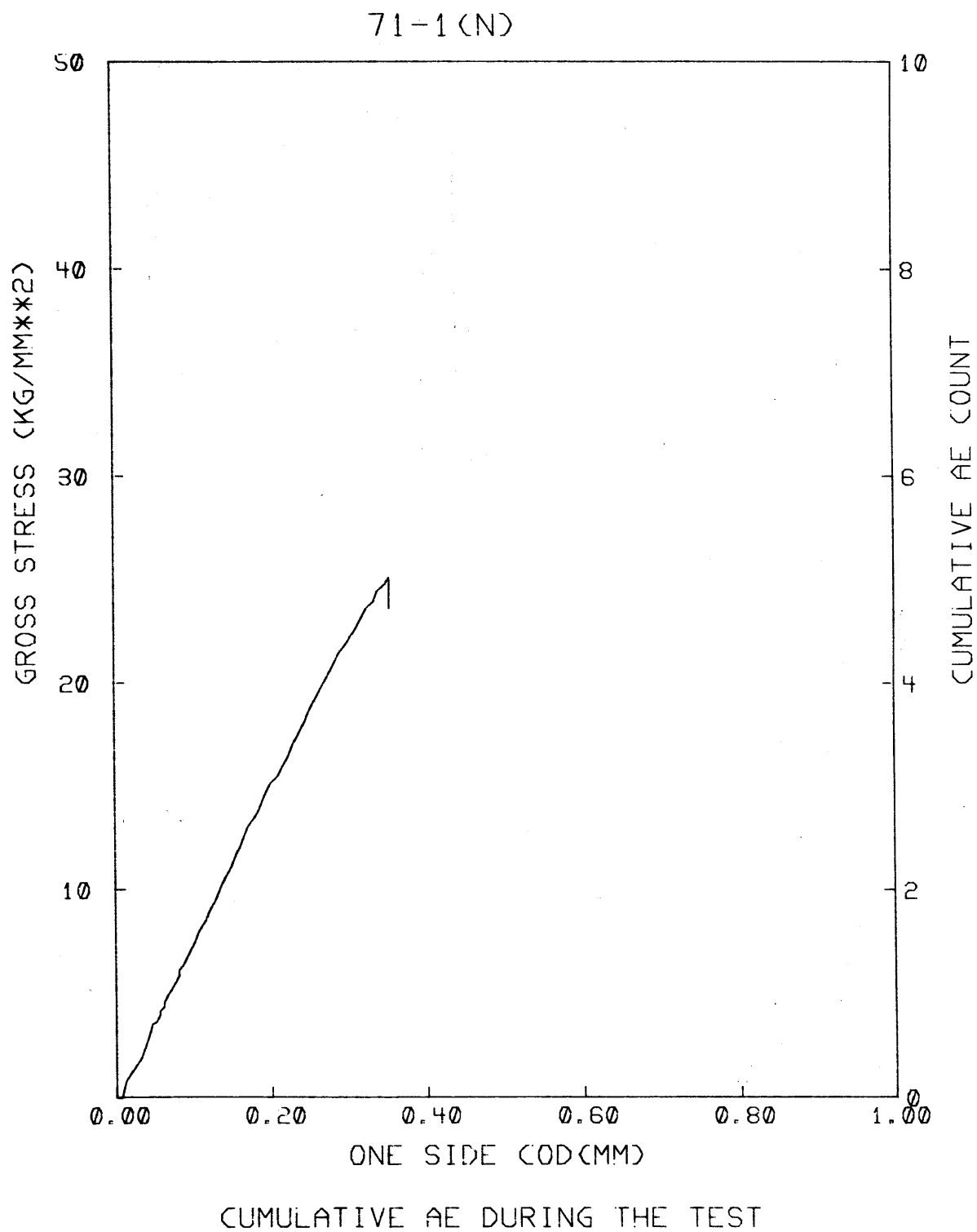


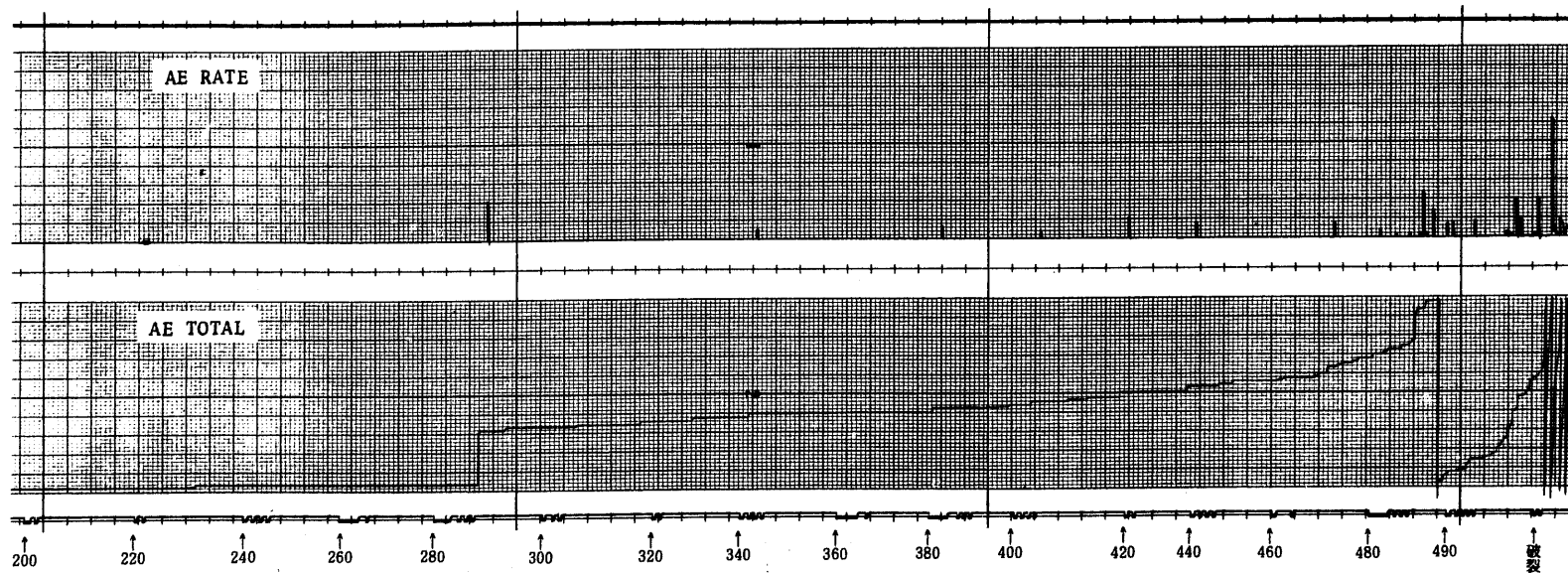
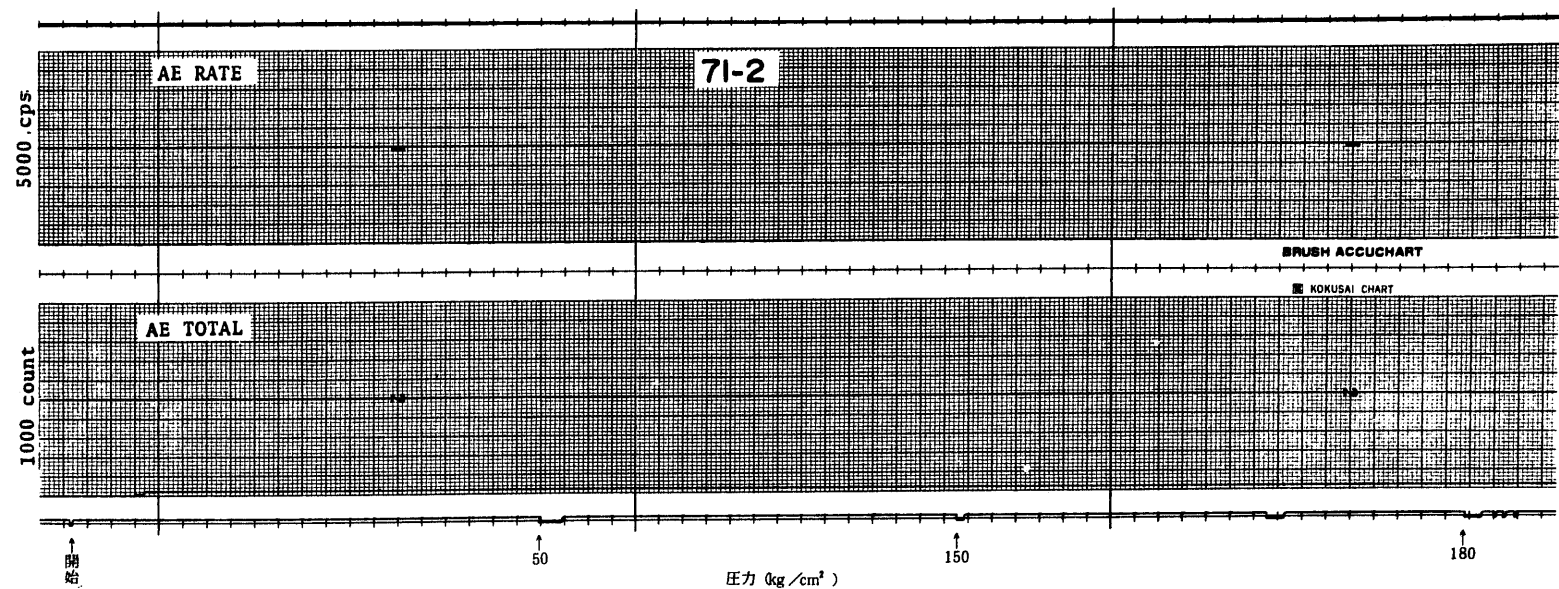


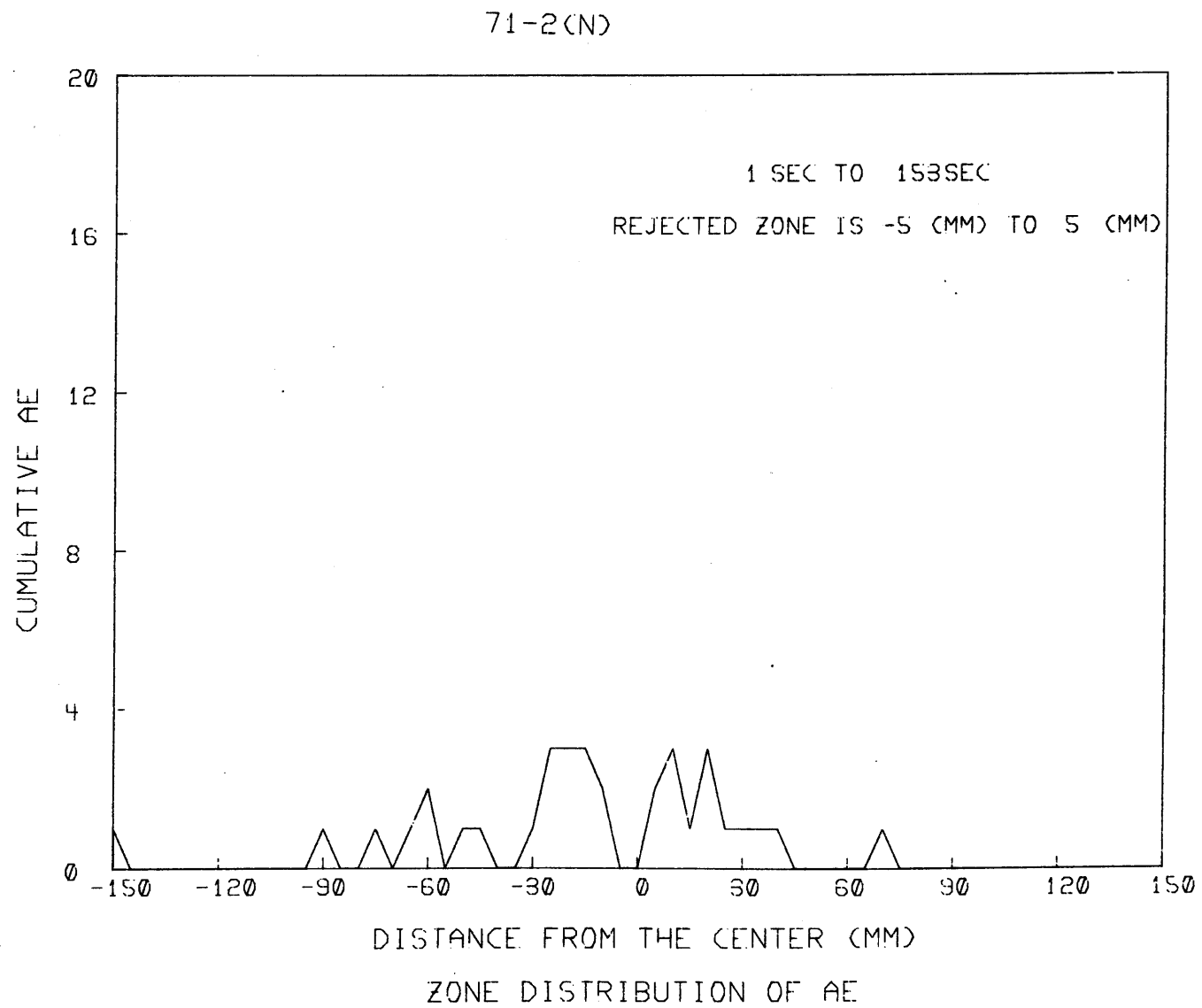


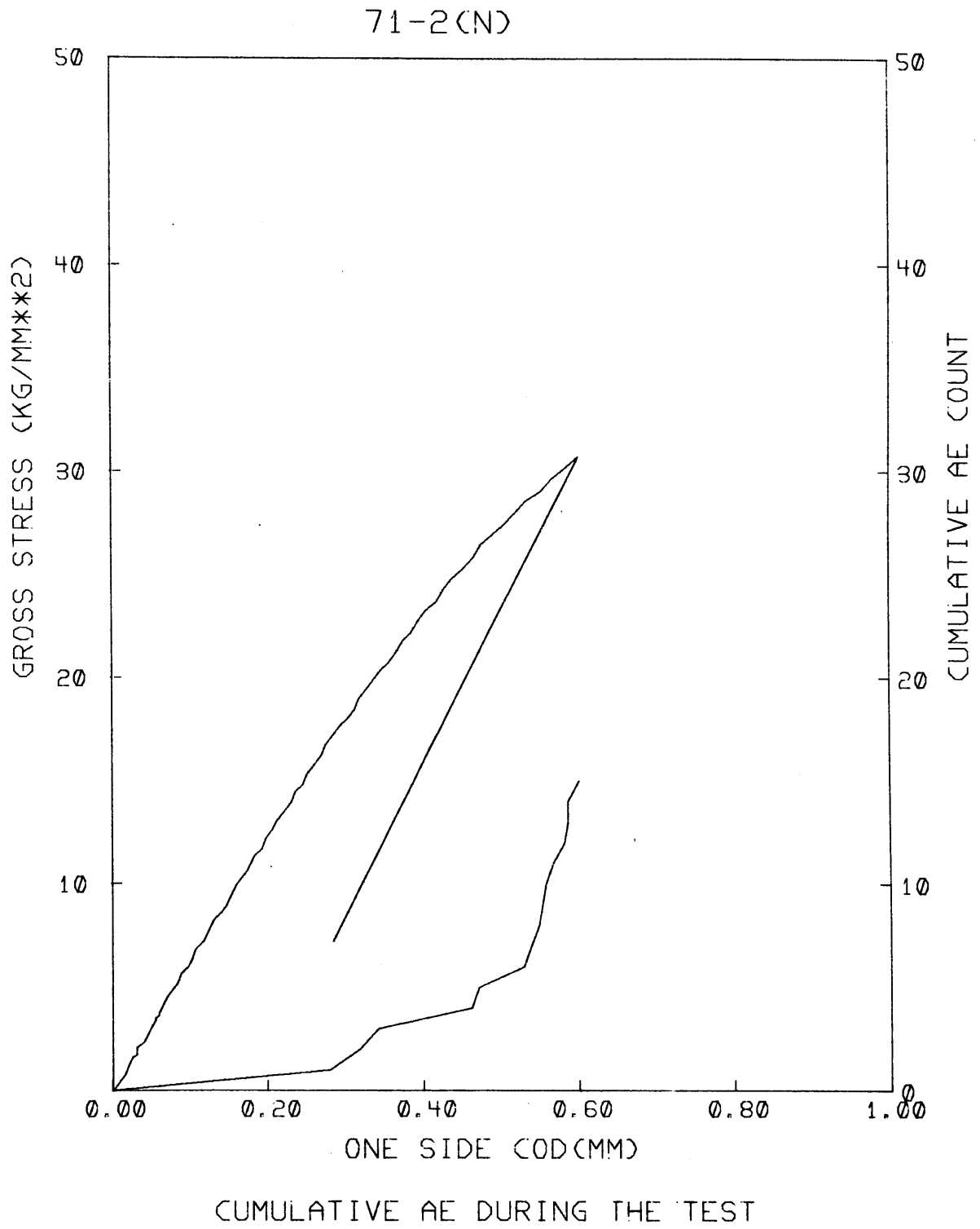


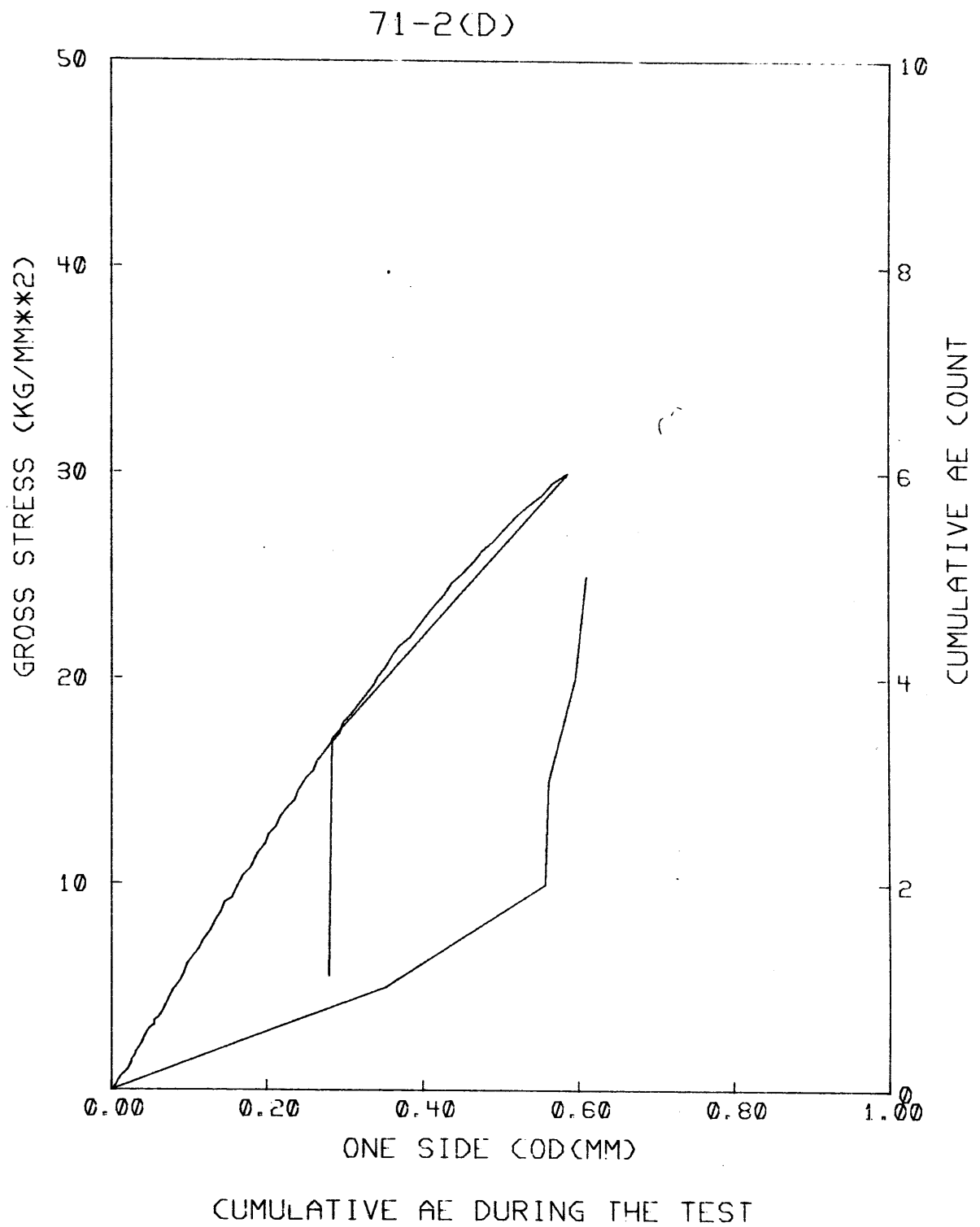


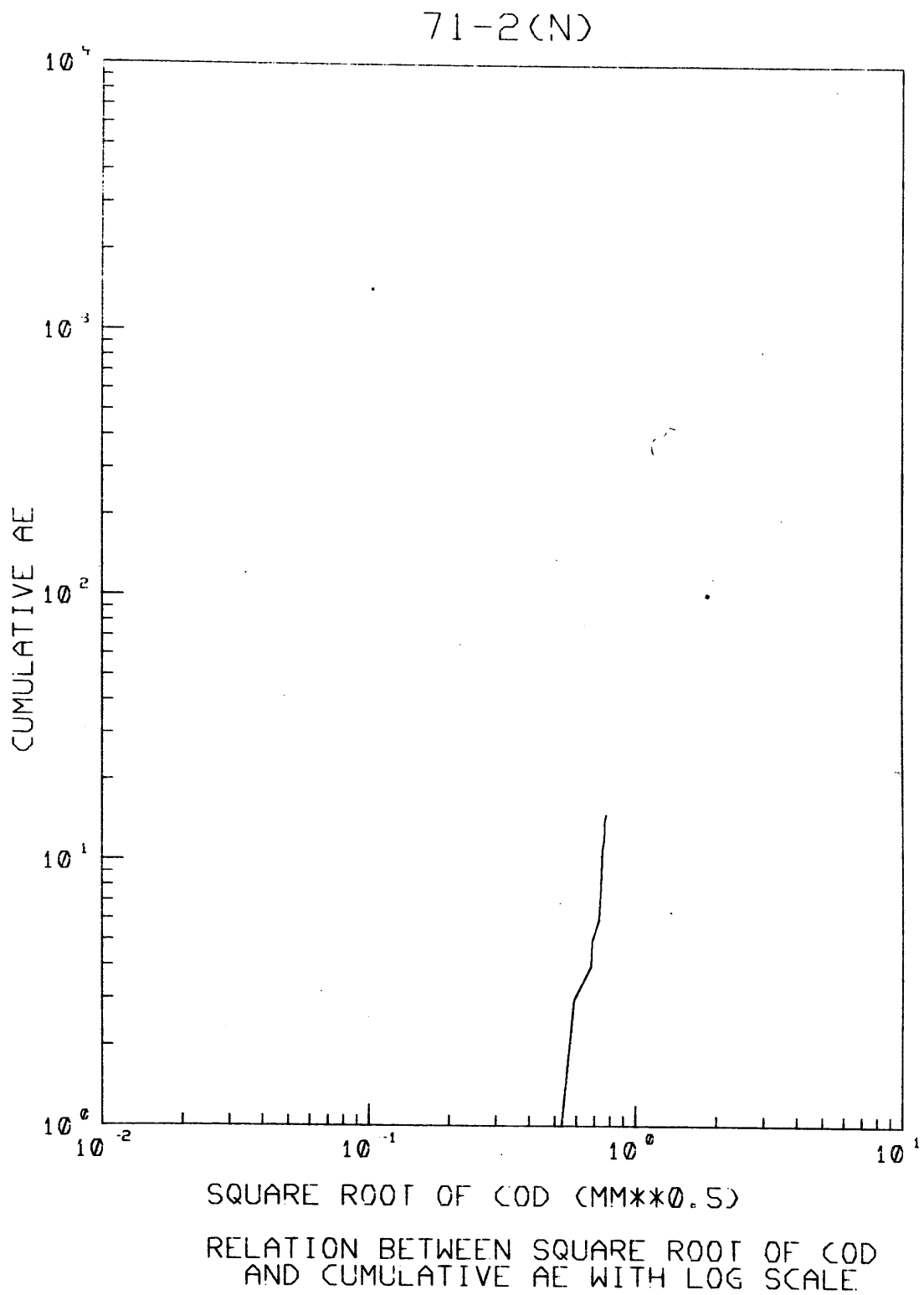


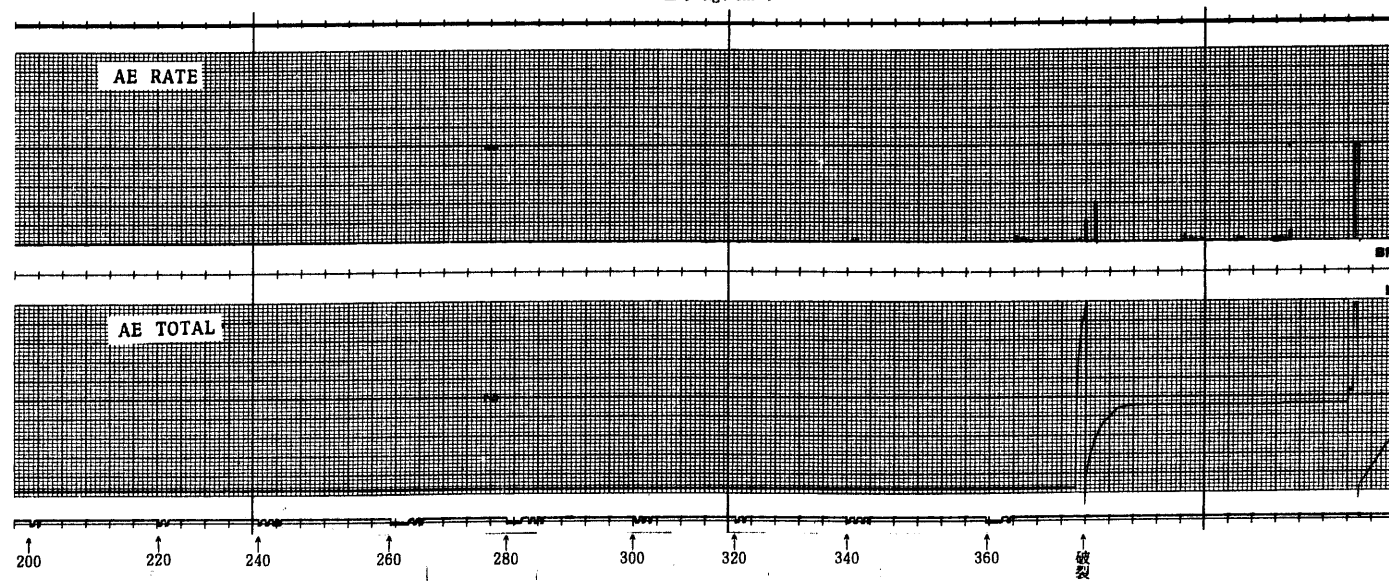
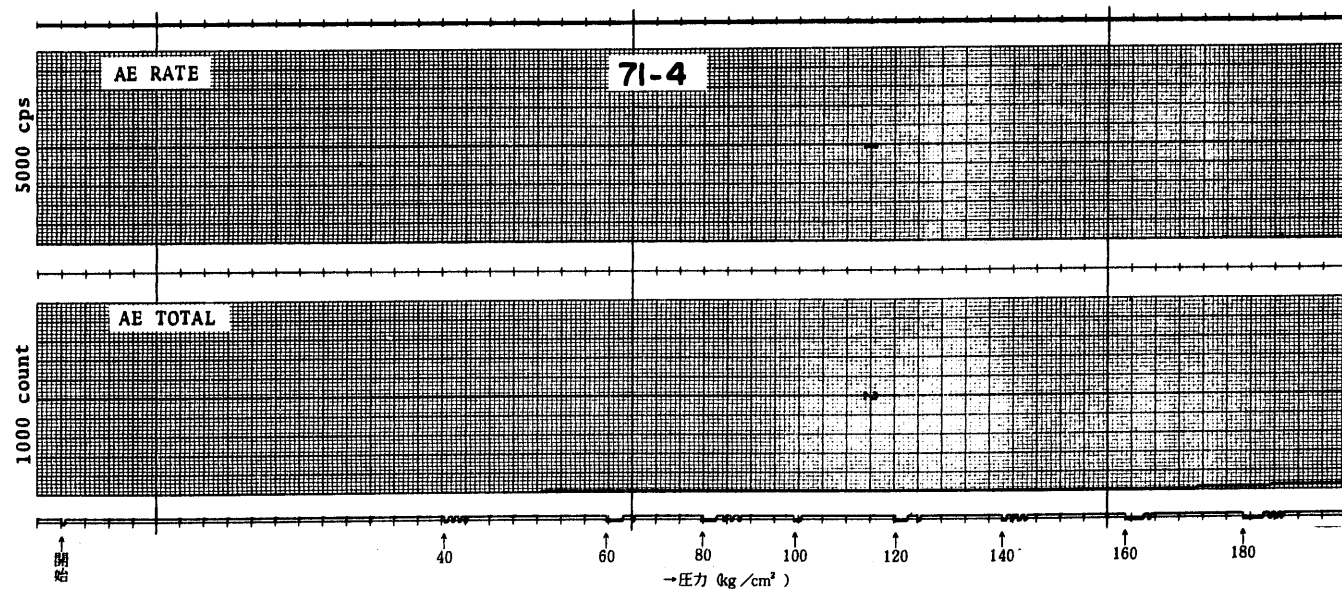




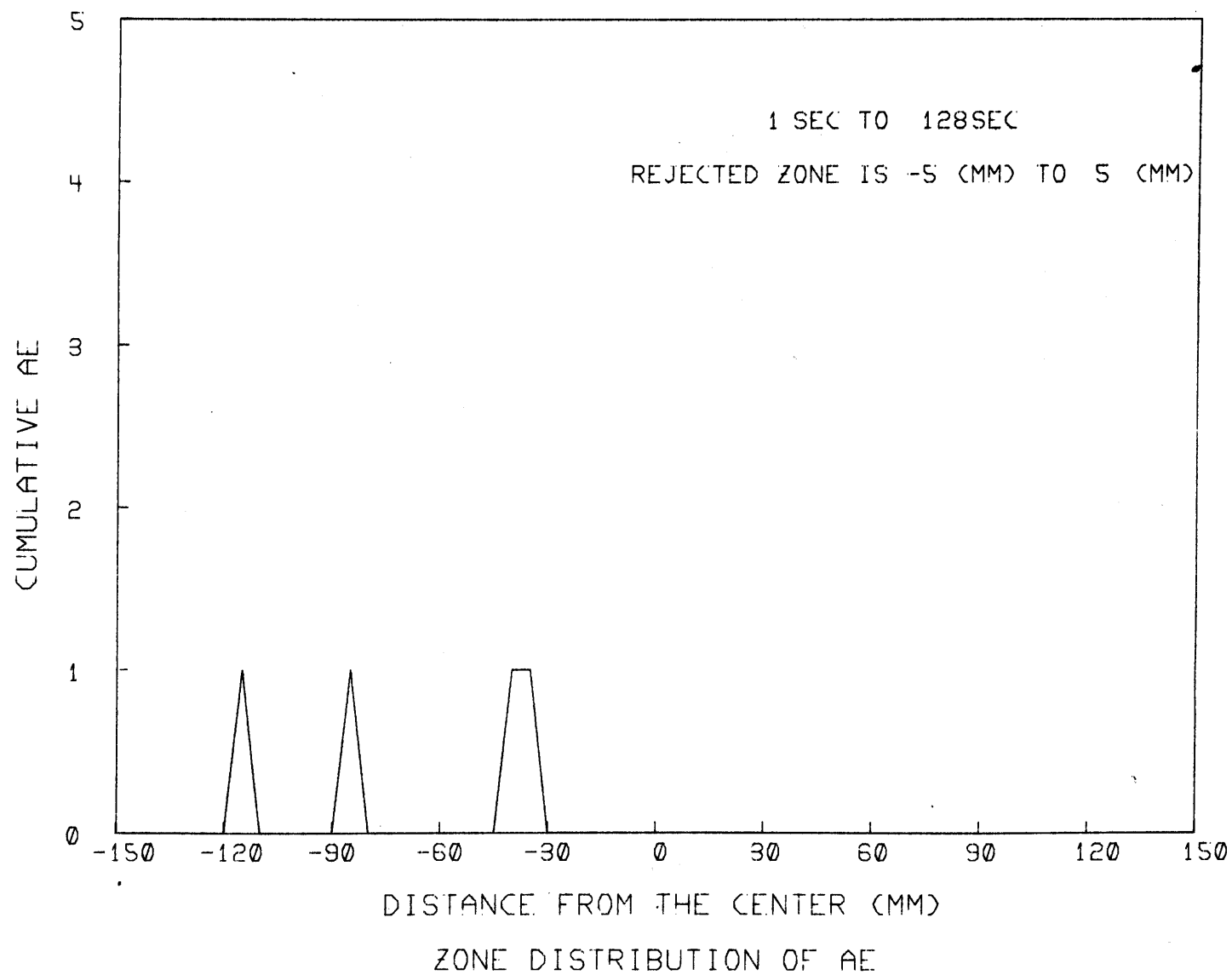


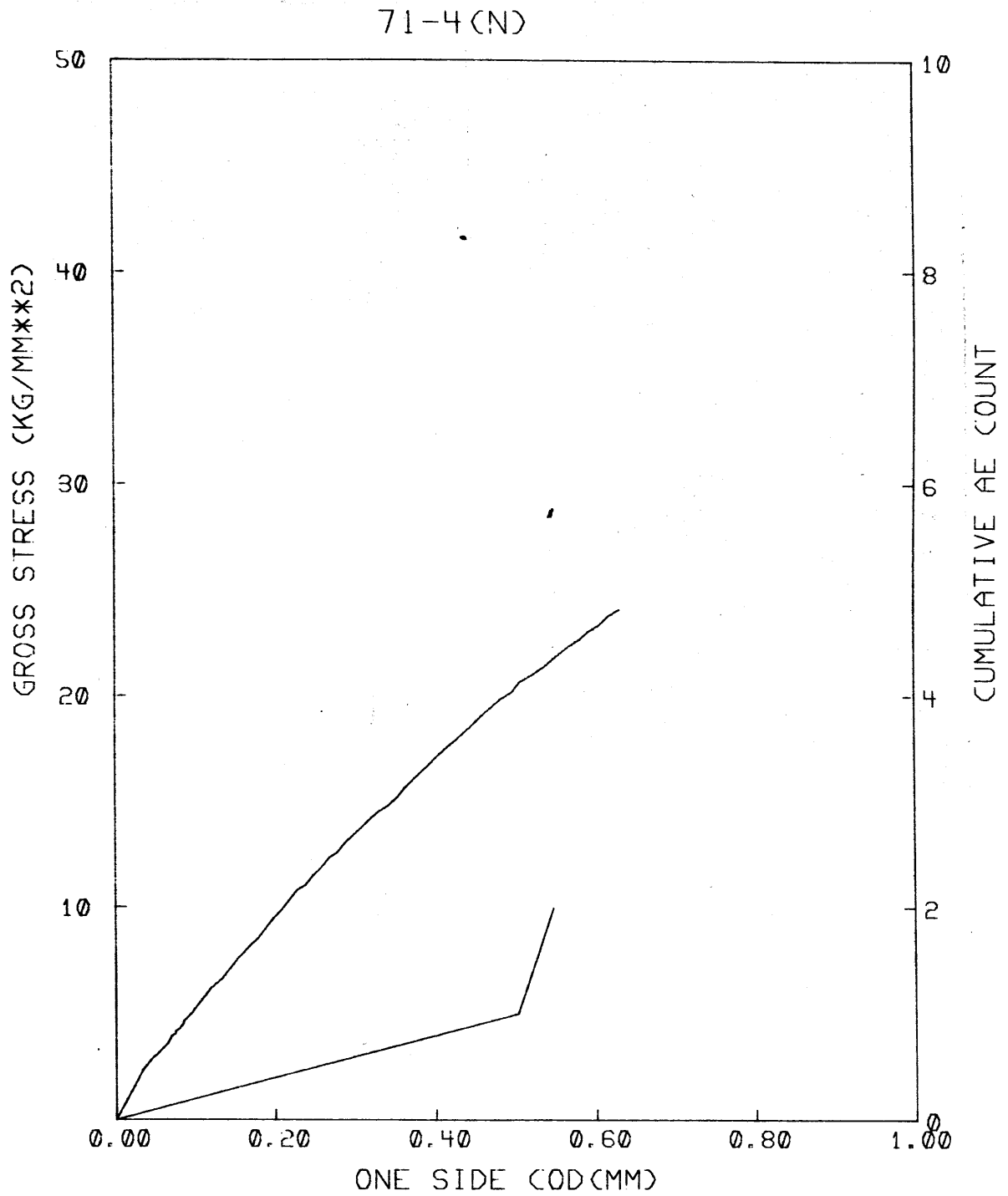




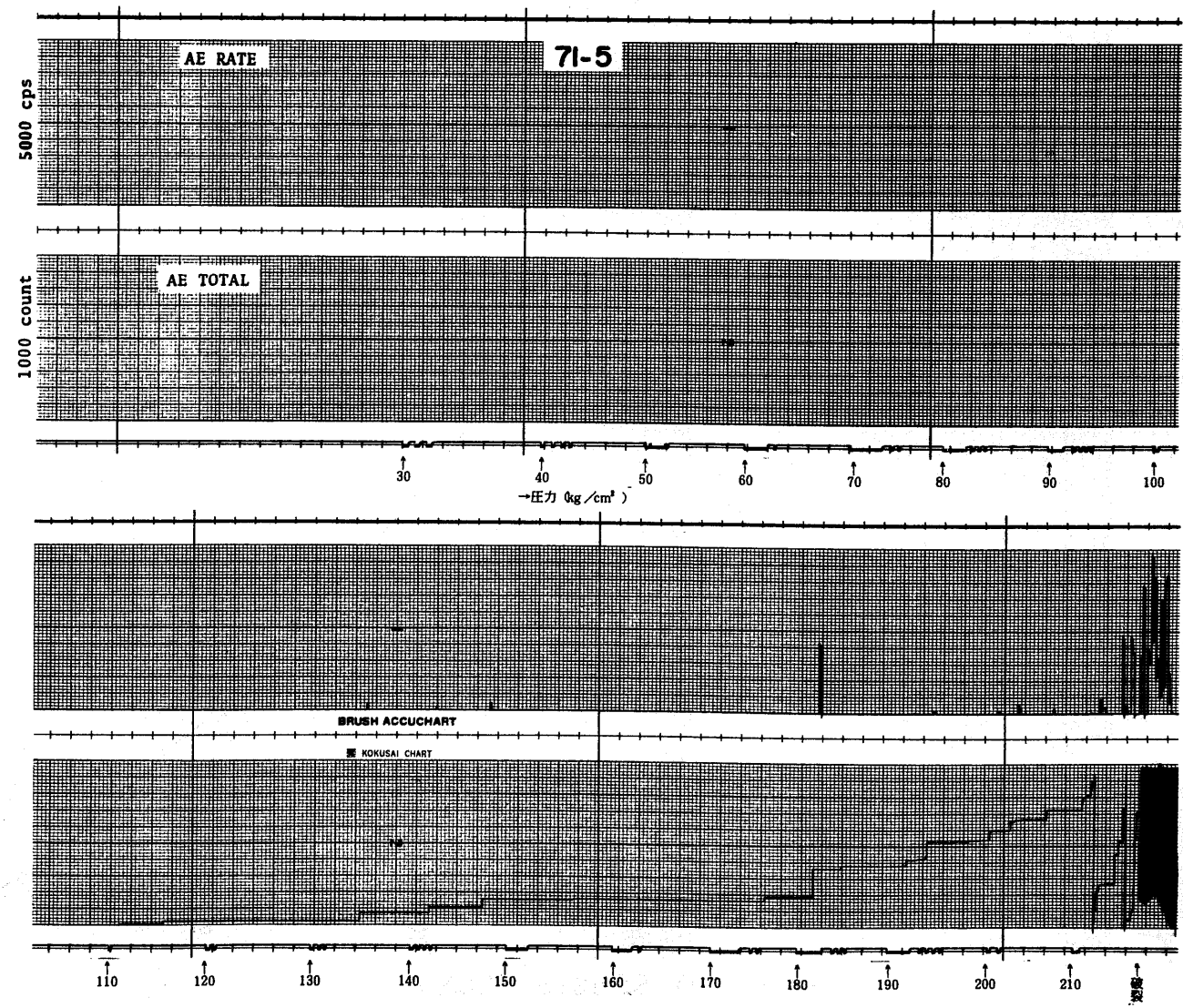


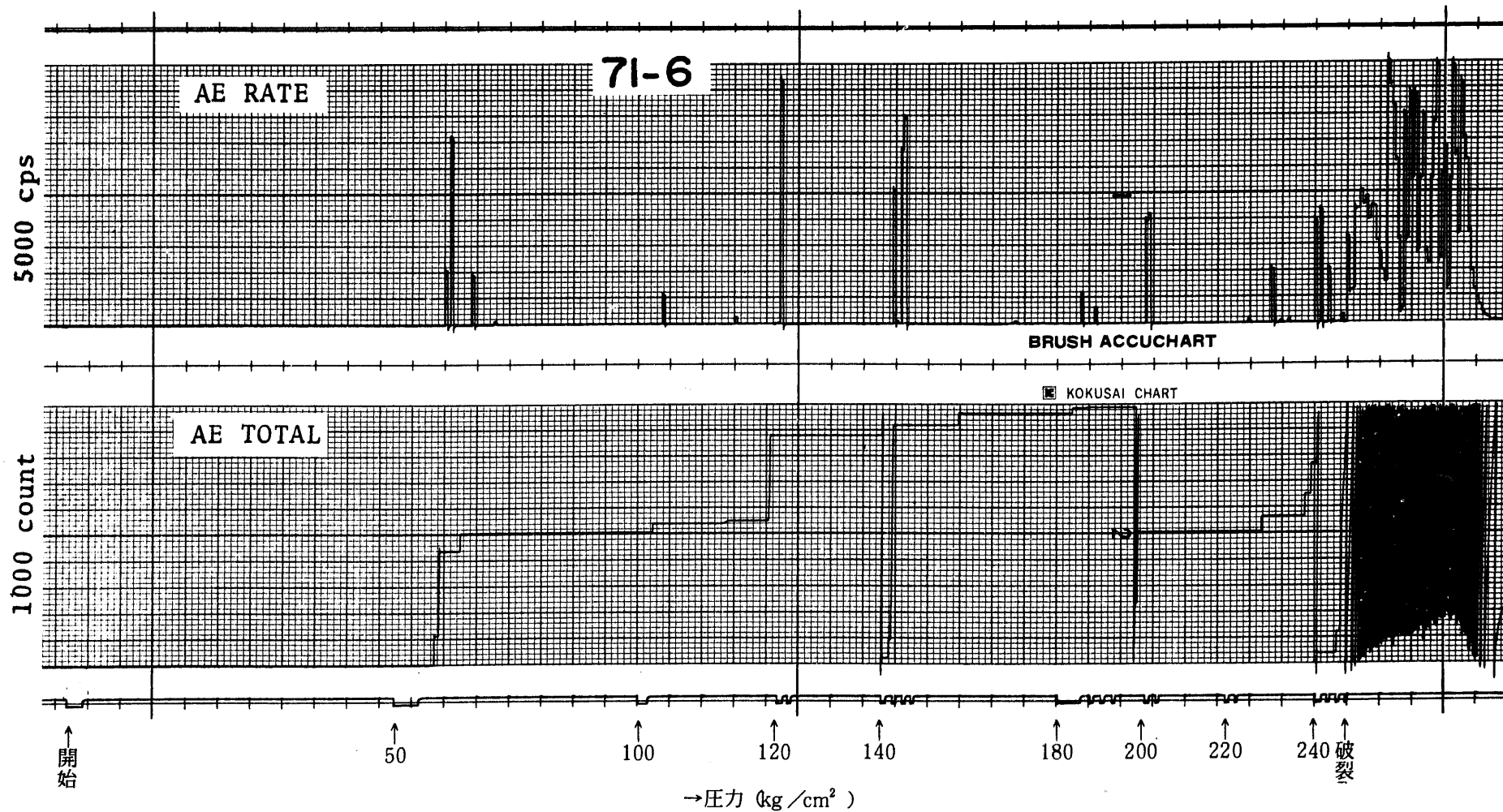
71-4 (N)

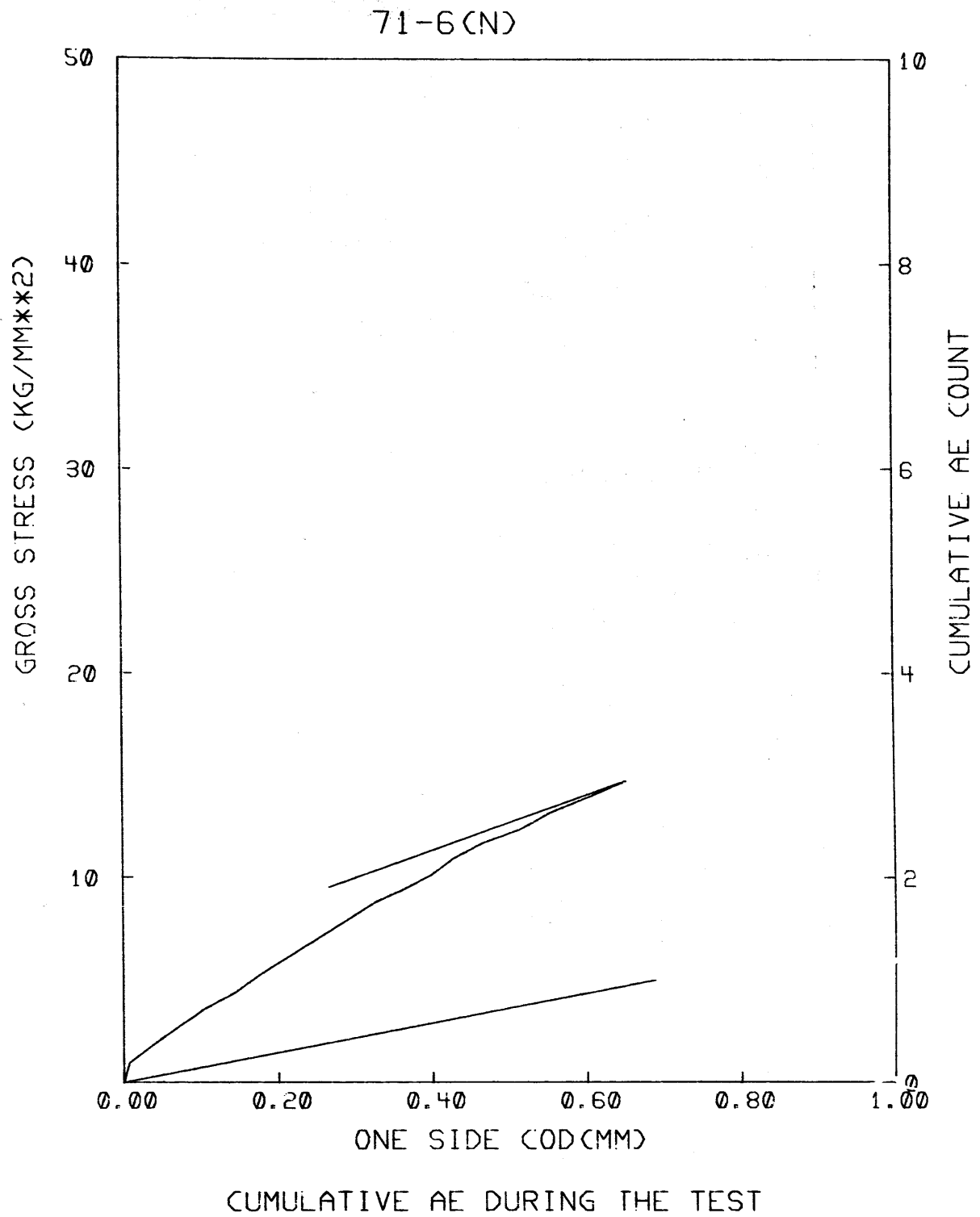




CUMULATIVE AE DURING THE TEST







(3) AE 信号波形解析

a) 水圧試験 (769 D - 3)

a - 1 端栓位置からのAE

a - 2 AE センサ位置のAE

a - 3 セカ欠からのAE

b) 空圧試験

b - 1 試験片 68 - 6

Dunegan センサによるAE

b - 2 試験片 68 - 6

Nortec センサによるAE

b - 2 - 1 シール部及びセンサ位置からのAE

b - 2 - 2 セカ欠からのAE

b - 3 試験片 64 - 8

Dunegan センサによるAE

b - 4 試験片 64 - 8

Nortec センサによるAE

b - 5 試験片 71 - 1

Nortec センサによるAE

b - 6 試験片 71 - 2

Dunegan センサによるAE

b - 7 試験片 71 - 2

Nortec センサによるAE

b - 8 試験片 71 - 4

Nortec センサによるAE

b - 9 試験片 71 - 6

Nortec センサによるAE

試験片 769 D－3

a - 1 端栓位置からの A E

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 8

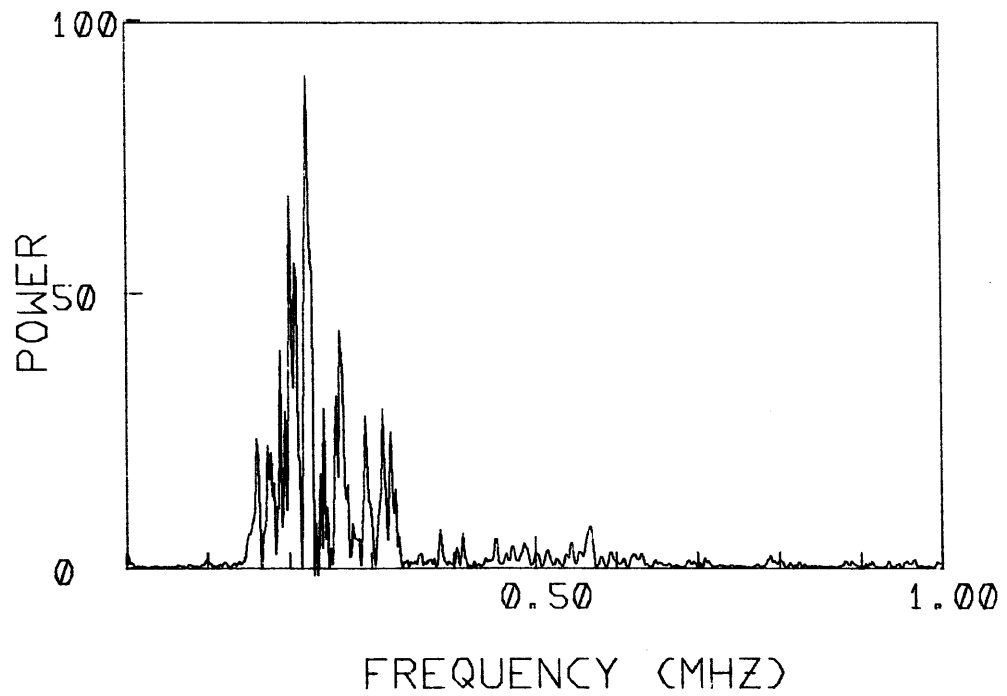
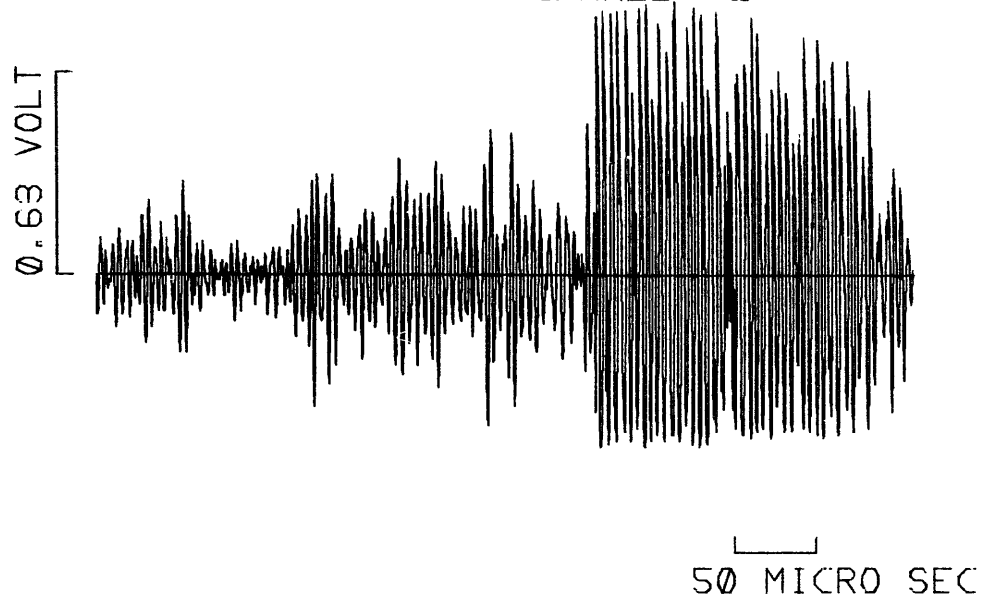
STRESS 12.53

COD 0.26

PEAK-V 3.49

TIME-P 560.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 15

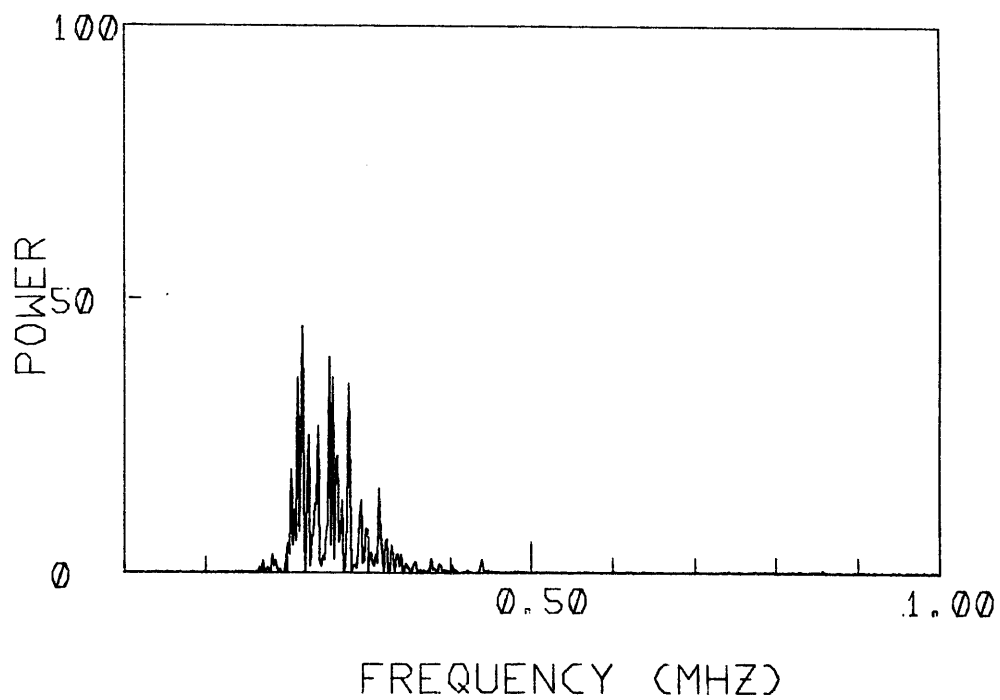
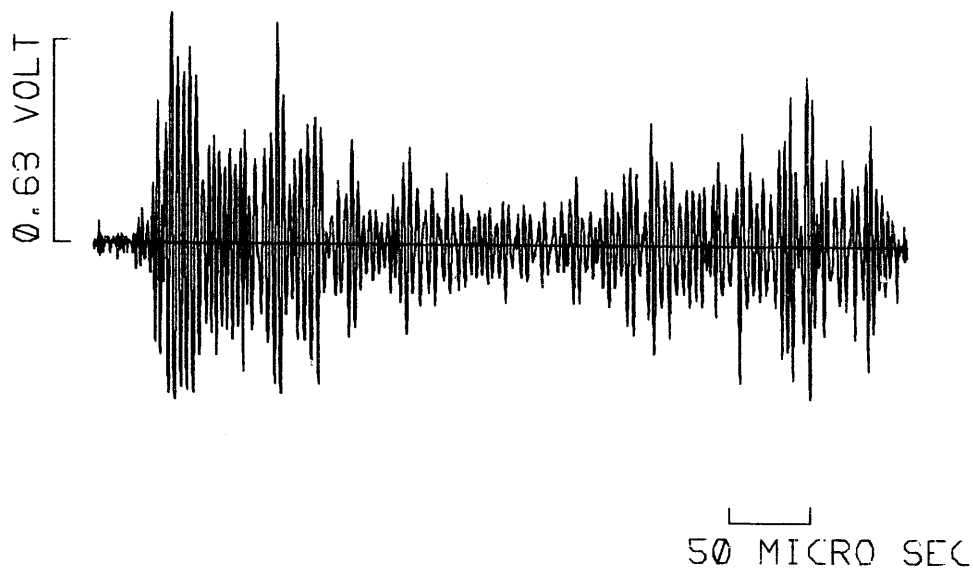
STRESS 14.39

COD 0.27

PEAK-V 2.55

TIME-P 127.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 38

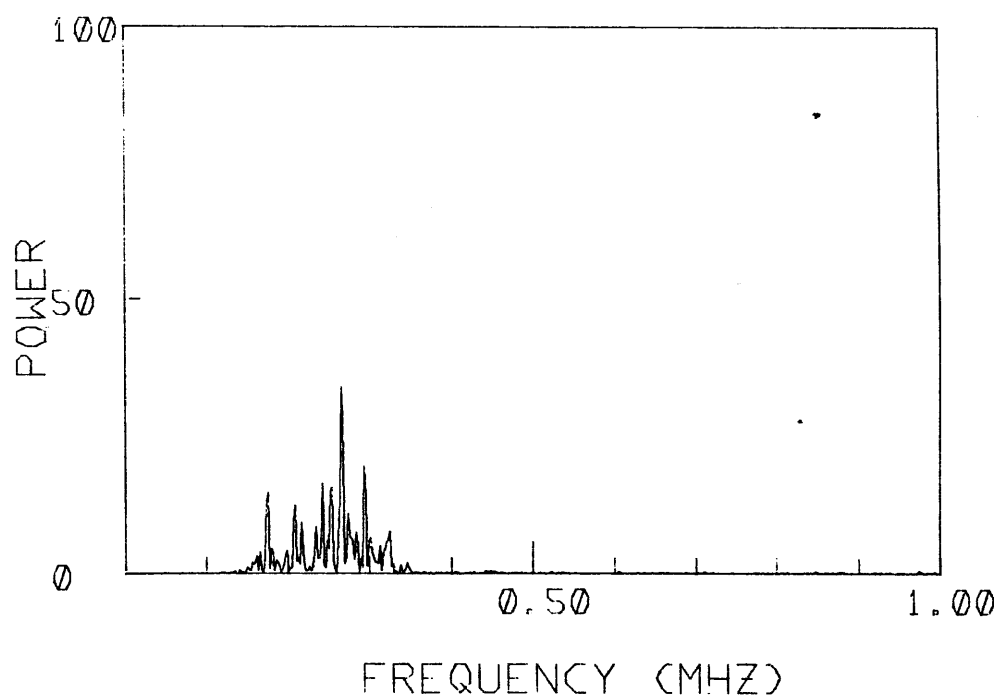
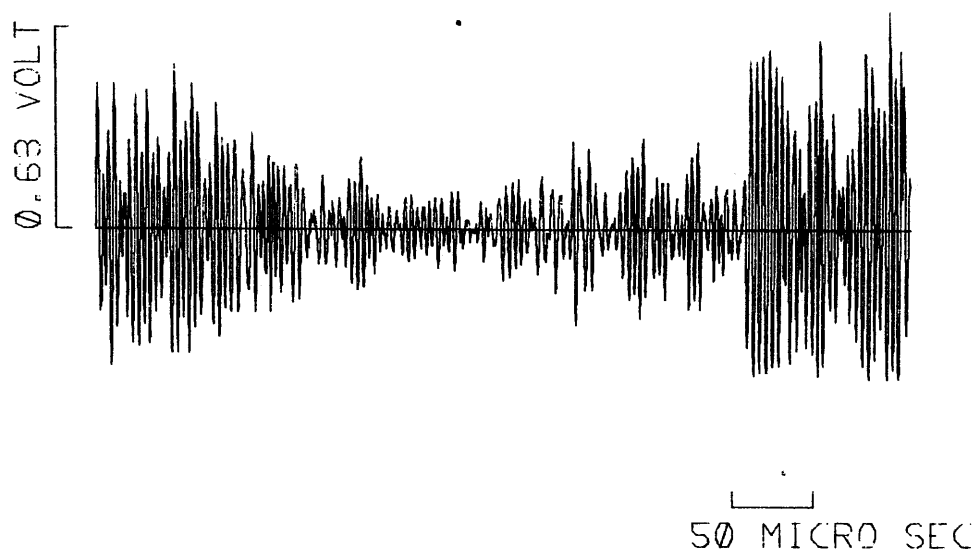
STRESS 28.04

COD 0.32

PEAK-V 4.53

TIME-P 481.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 127

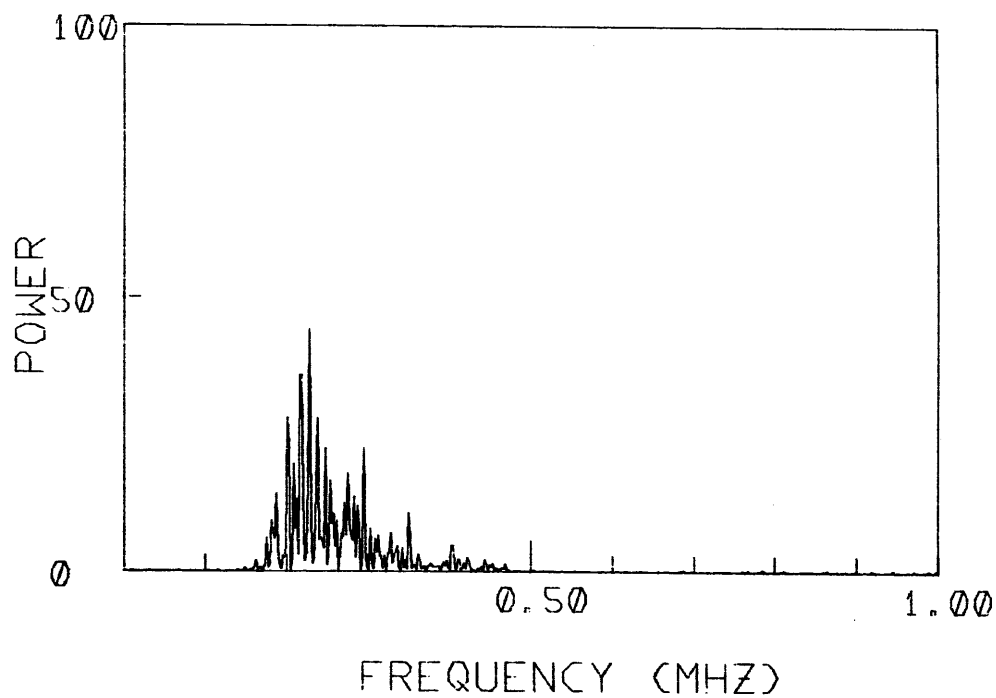
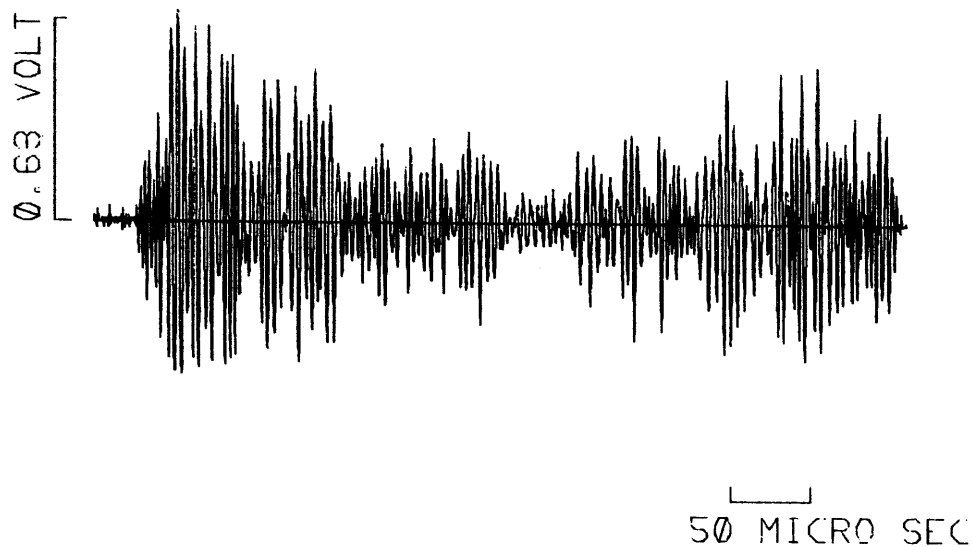
STRESS 31.14

COD 0.33

PEAK-V 2.59

TIME-P 127.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 232

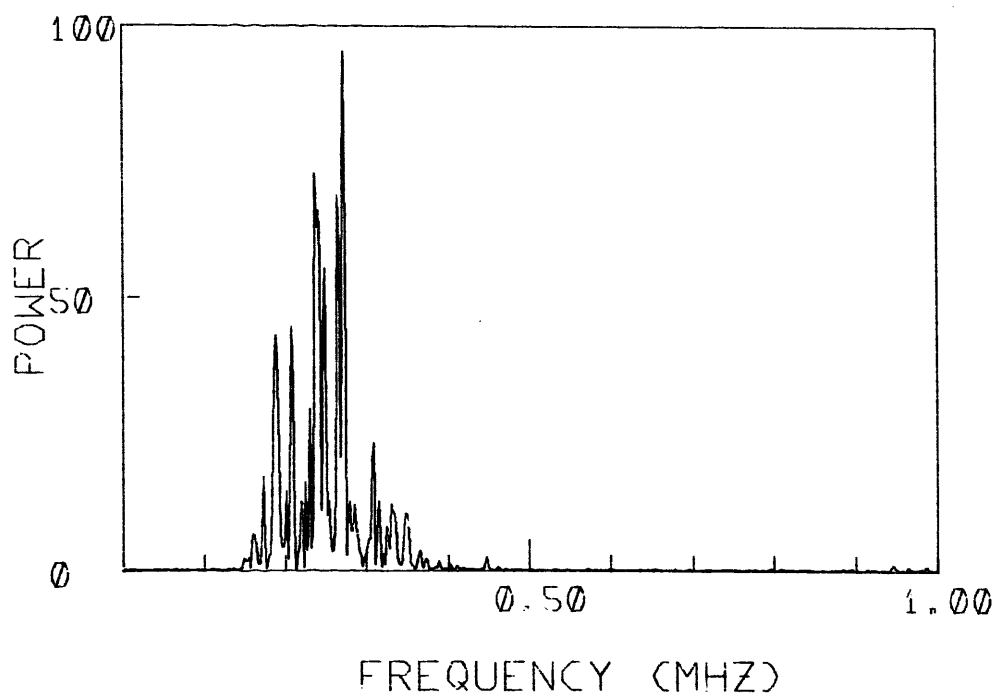
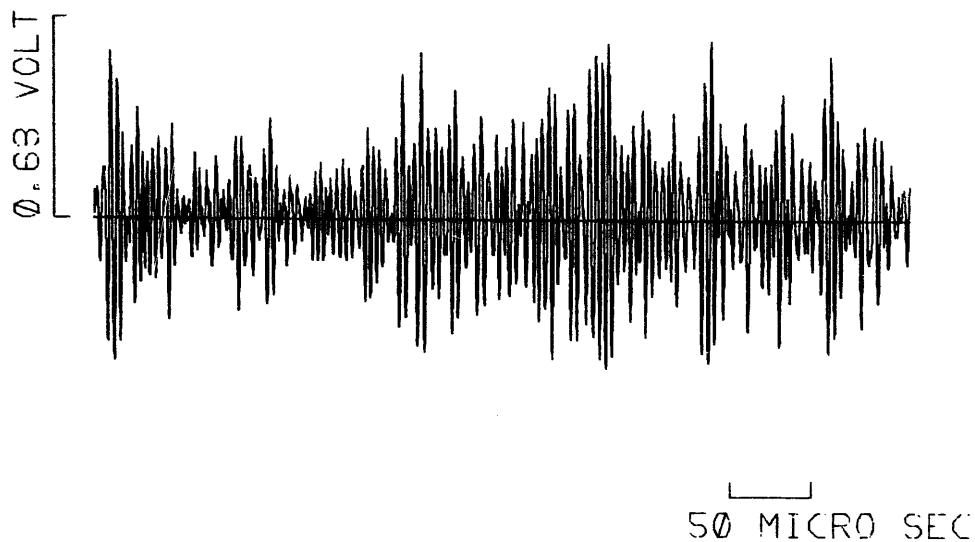
STRESS 39.33

COD 0.37

PEAK-V 3.20

TIME-P 64.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 354

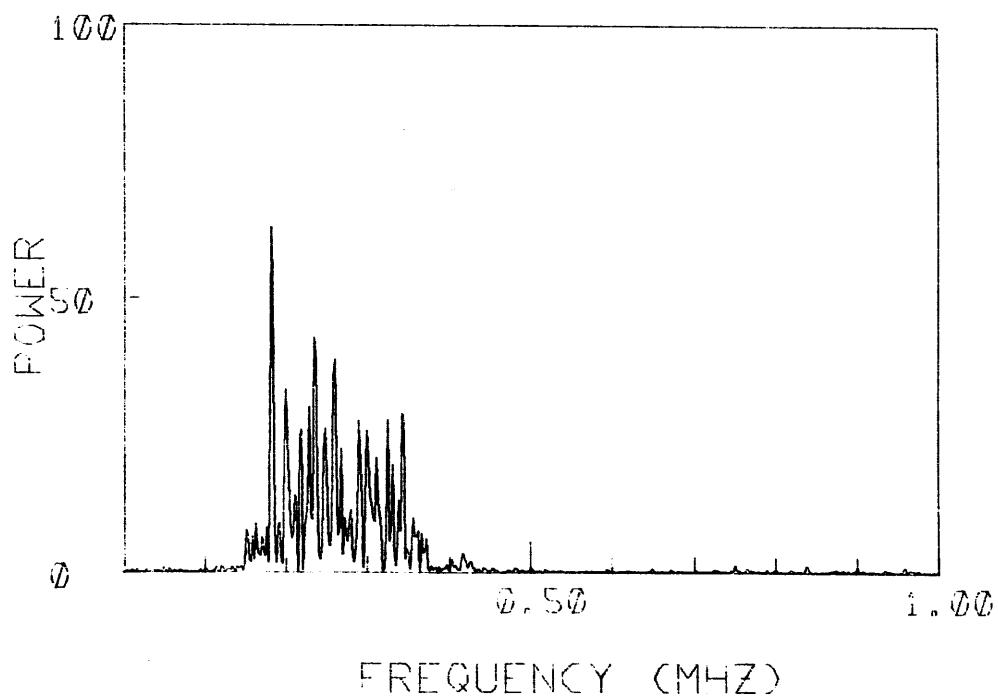
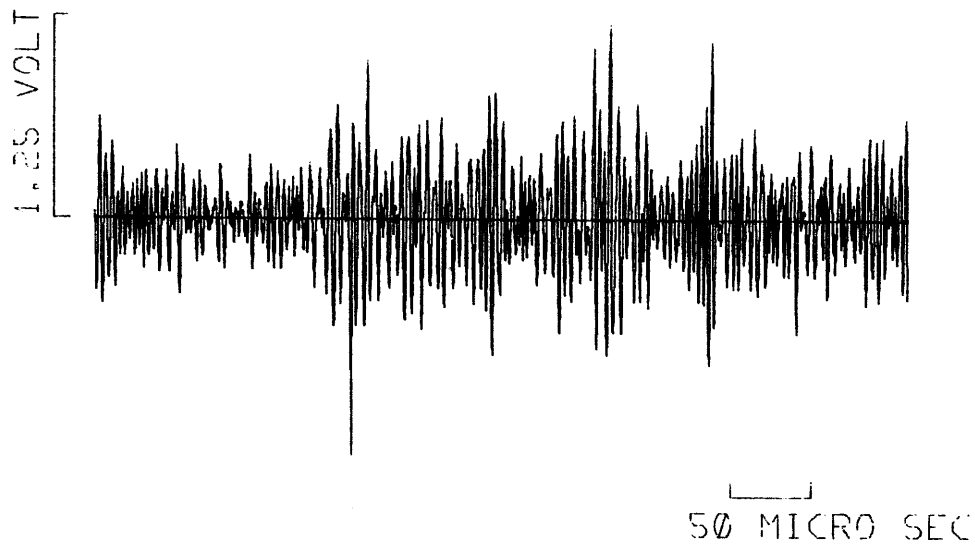
STRESS 48.88

COD 0.40

PEAK-V 2.52

TIME-P 78.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 406

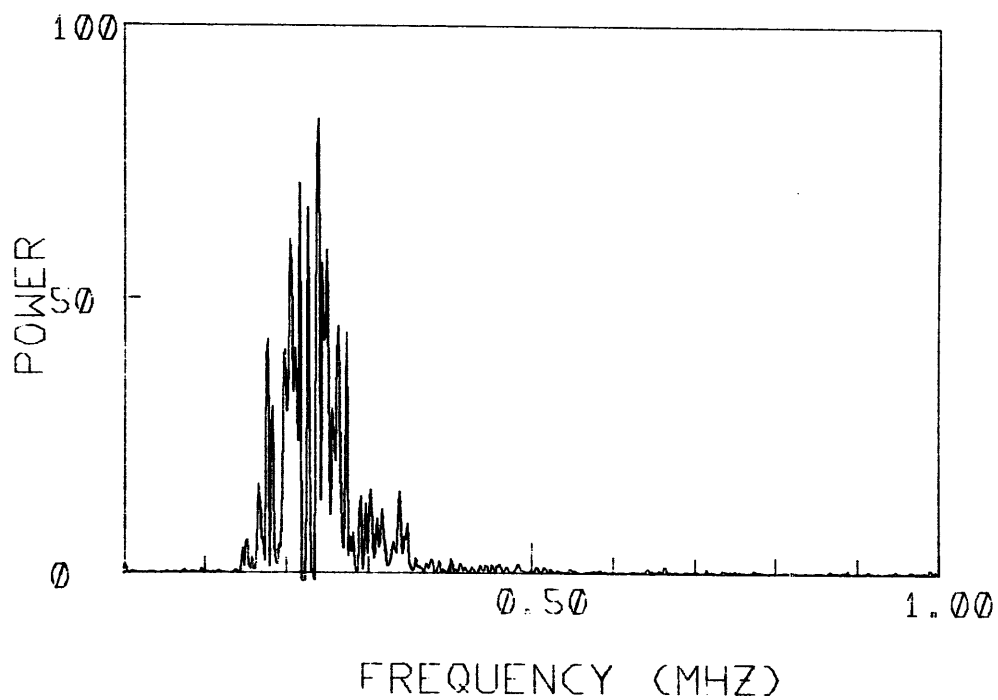
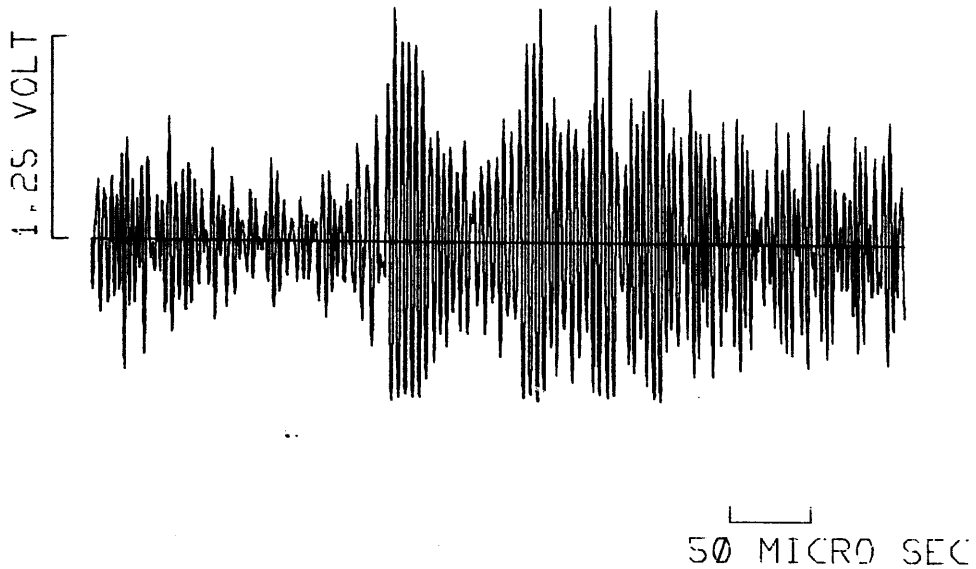
STRESS 53.10

COD 0.42

PEAK-V 2.87

TIME-P 462.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 502

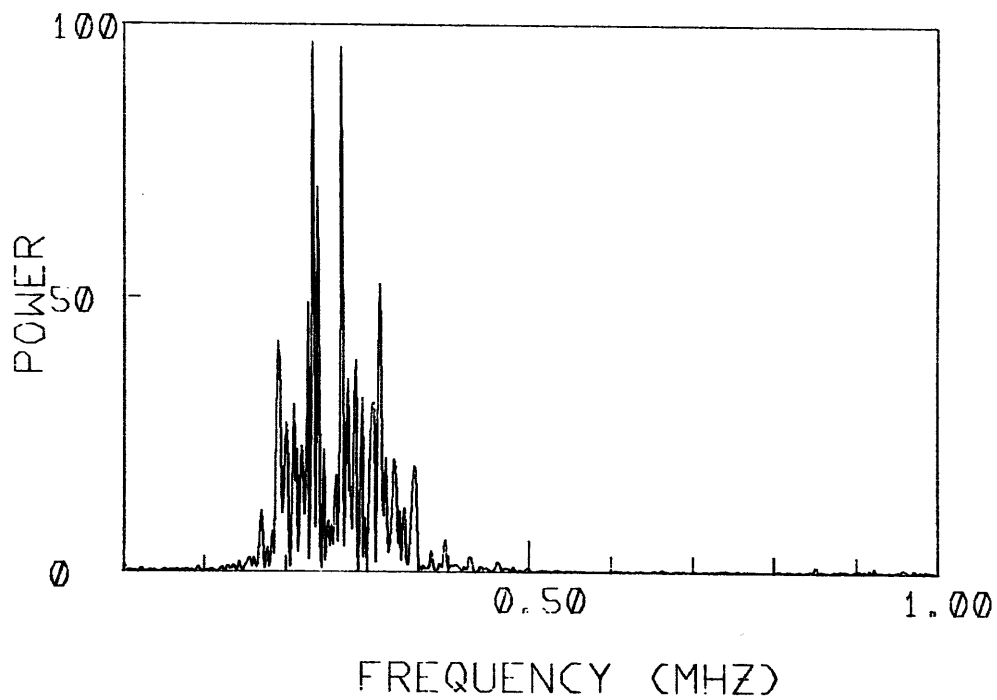
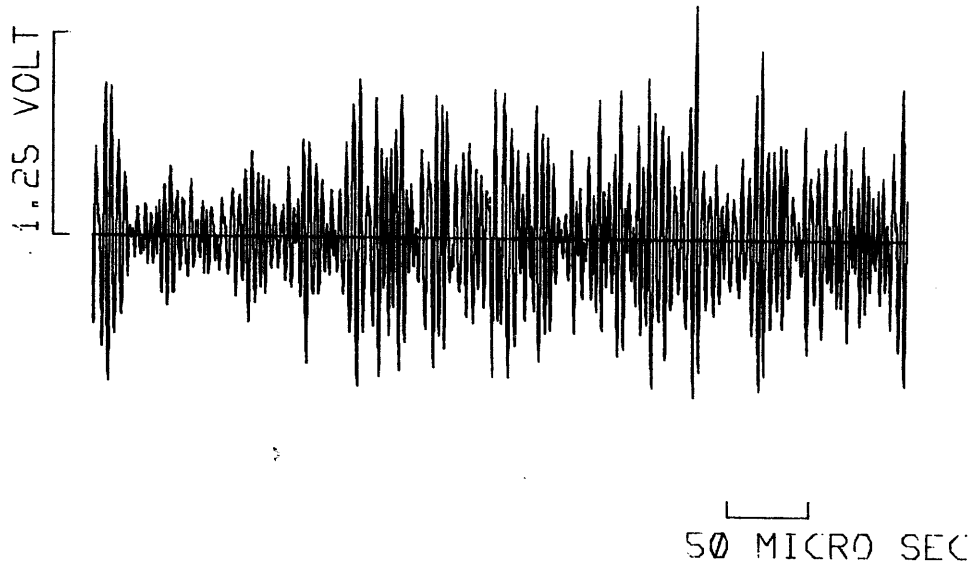
STRESS 61.04

COD 0.50

PEAK-V 2.54

TIME-P 64.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 532

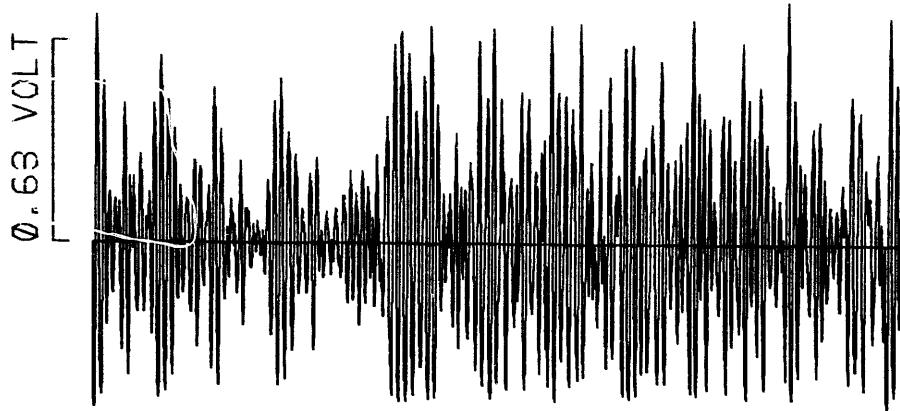
STRESS 1.49

COD 0.57

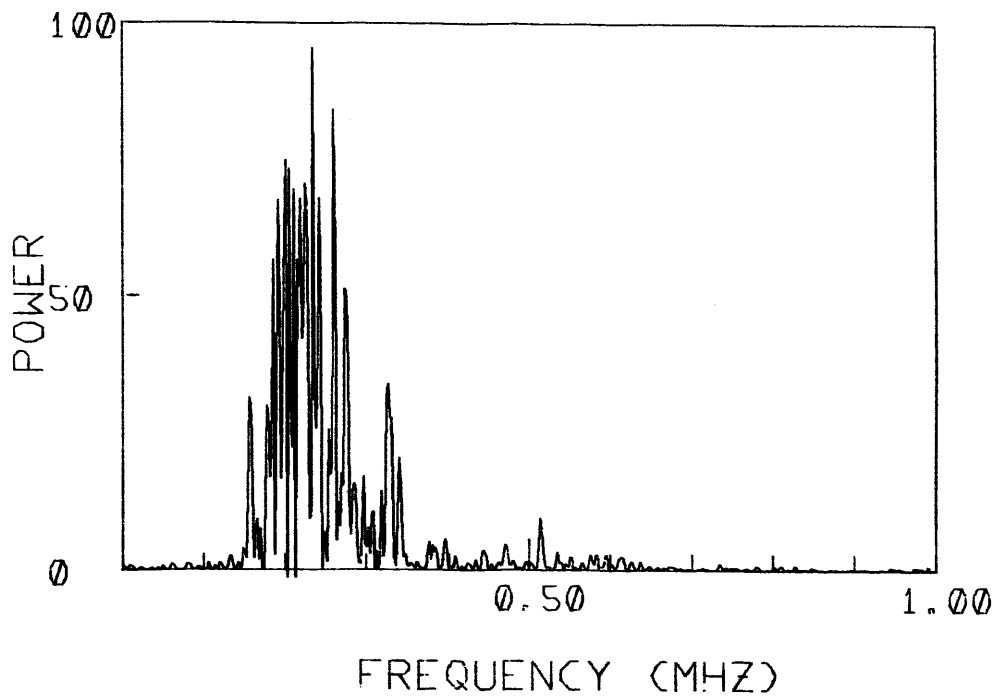
PEAK-V 3.35

TIME-P 78.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



a -2 A E センサ位置からの A E

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 13

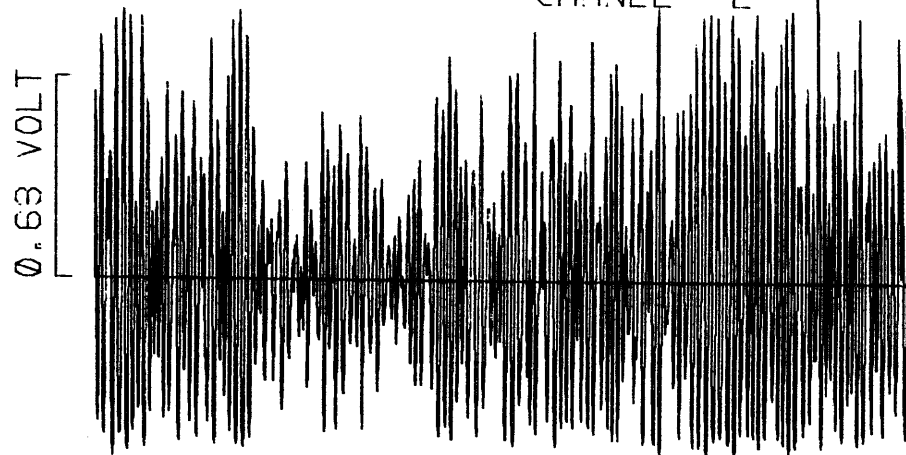
STRESS 14.14

COD 0.27

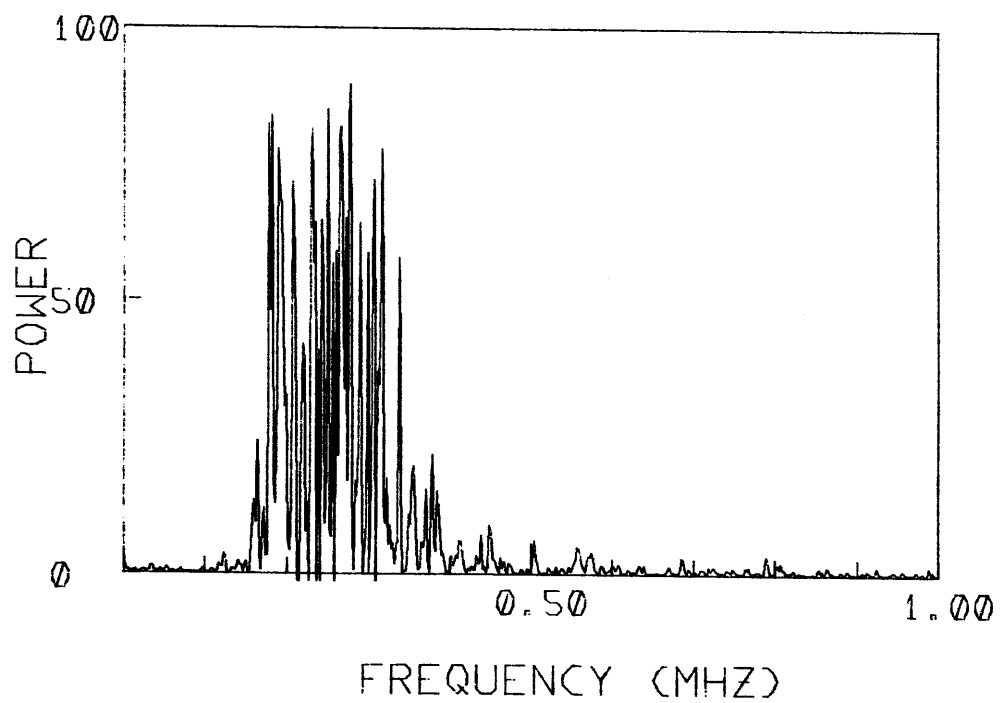
PEAK-V 3.45

TIME-P 494.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 117

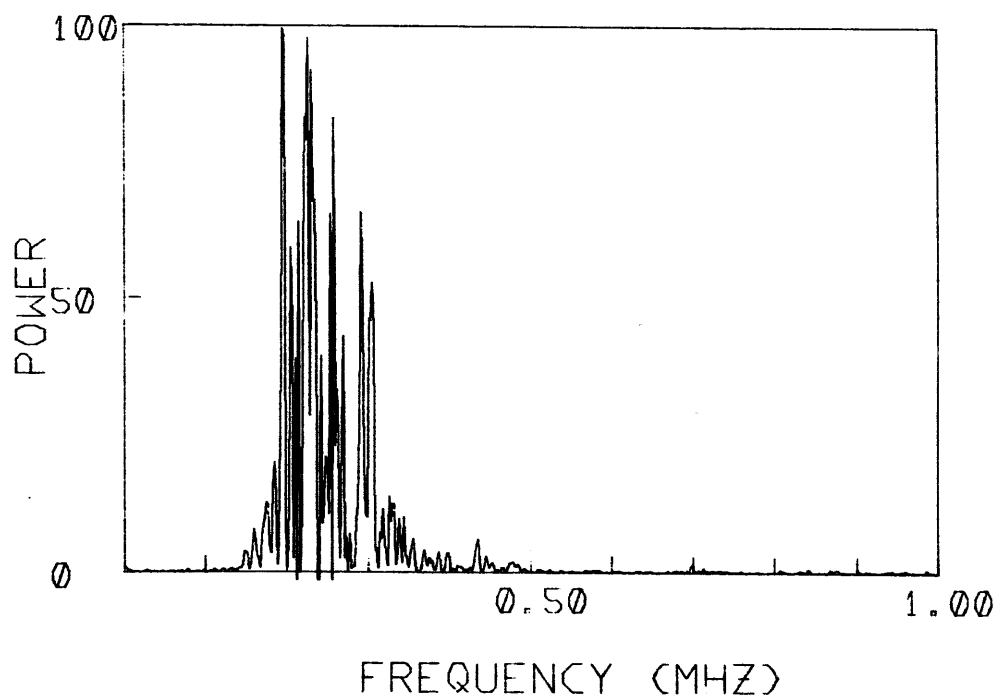
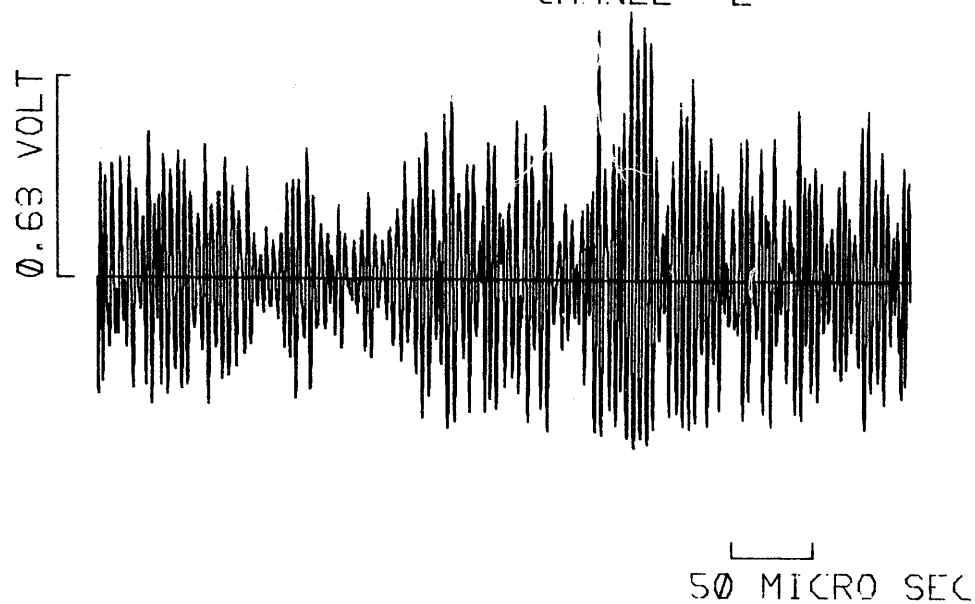
STRESS 30.27

COD 0.33

PEAK-V 3.37

TIME-P 475.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 233

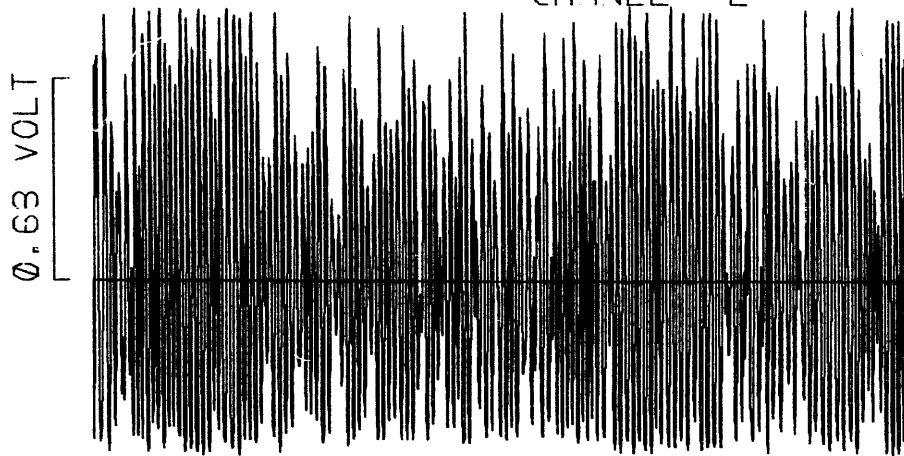
STRESS 39.33

COD 0.37

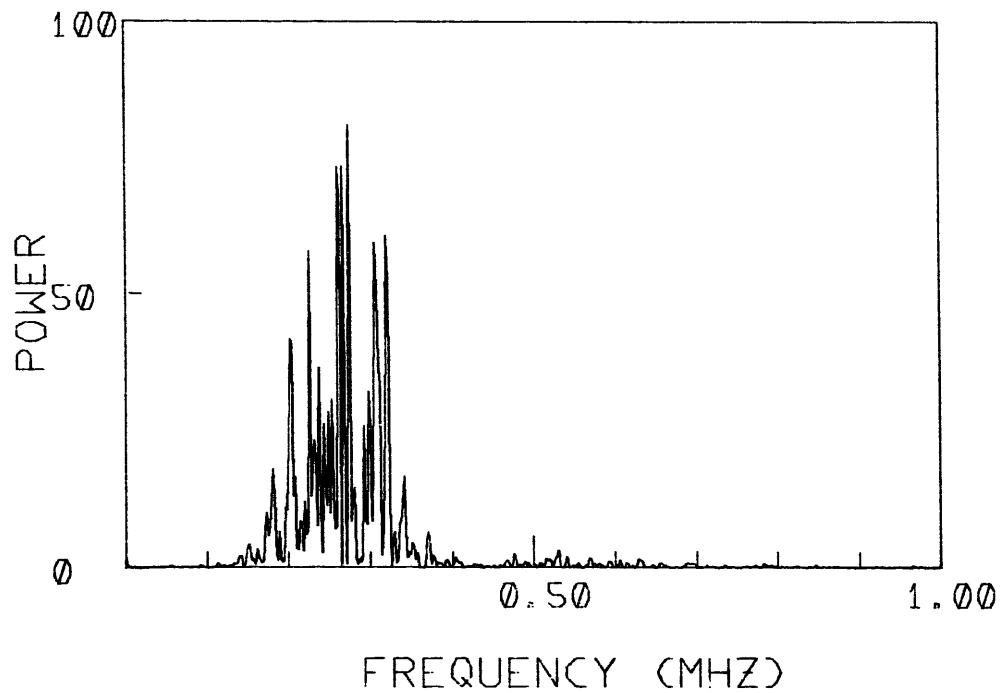
PEAK-V 3.51

TIME-P 58.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 270

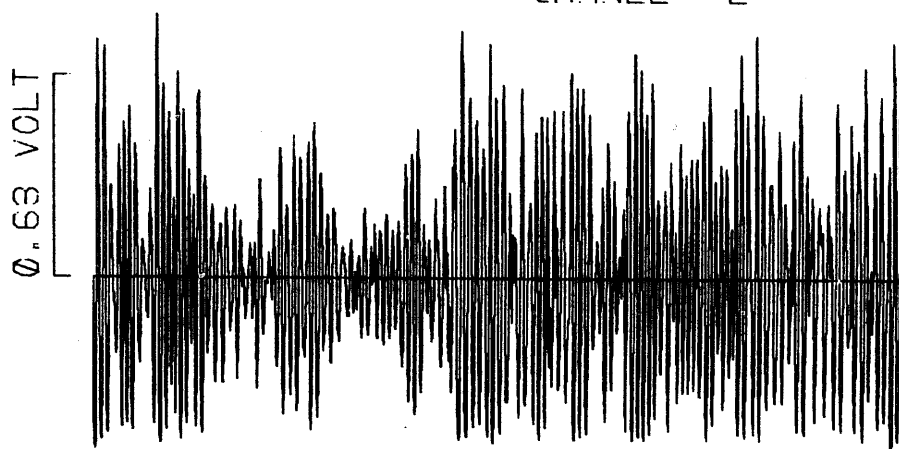
STRESS 41.68

COD 0.36

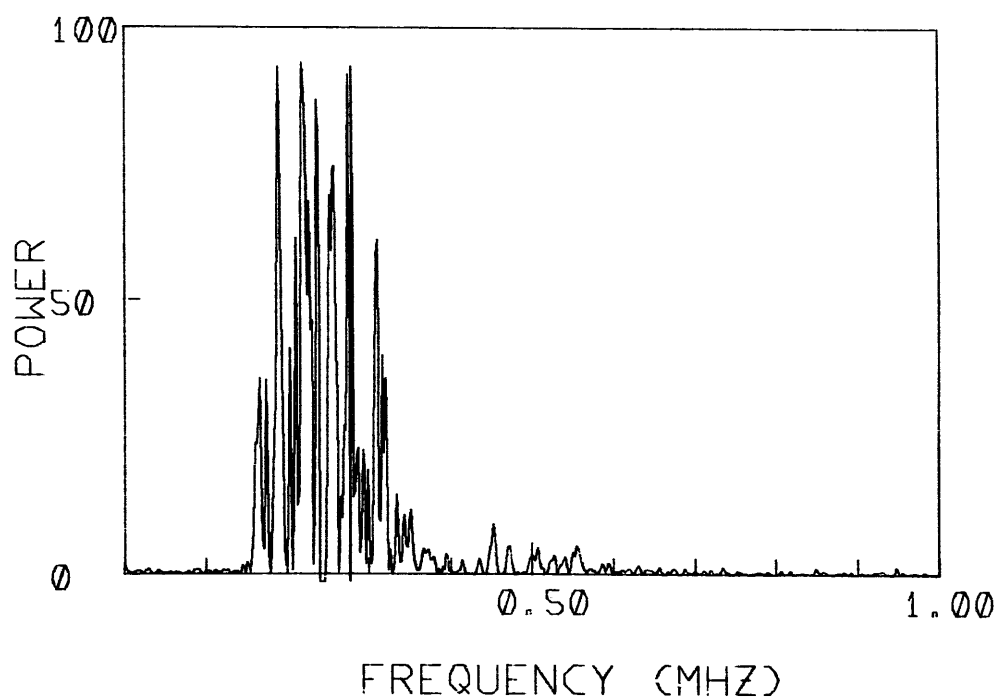
PEAK-V 3.35

TIME-P 97.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 422

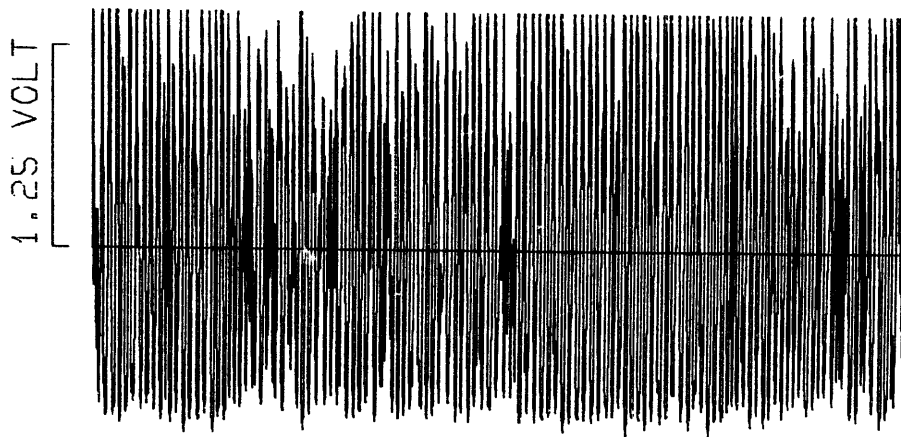
STRESS 53.72

COD 0.43

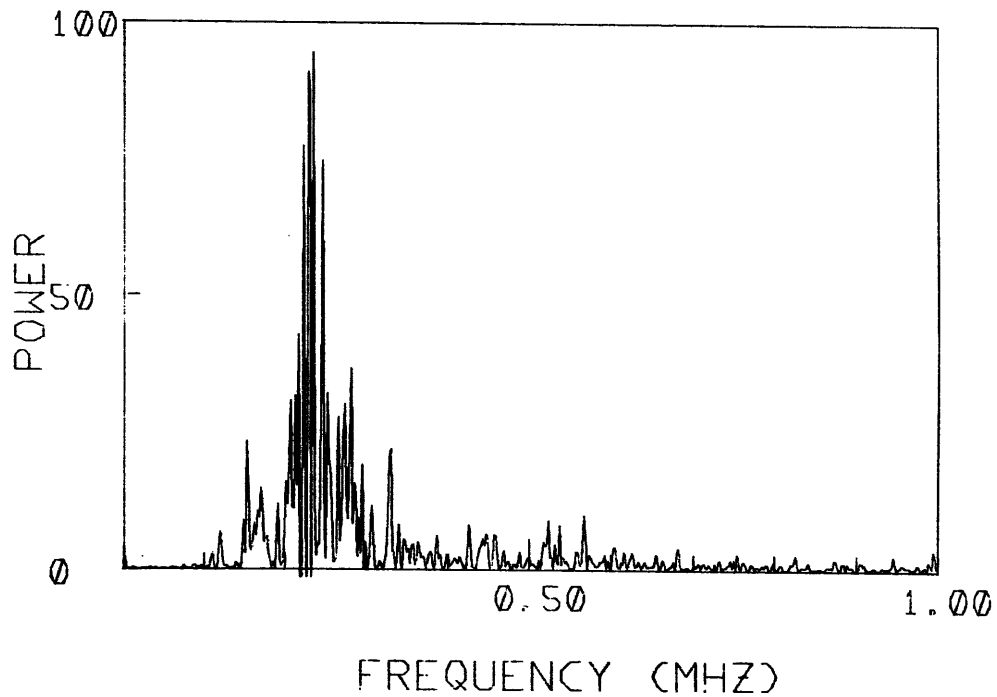
PEAK-V 3.38

TIME-P 78.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



a -3 切欠位置からの A E

SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 268

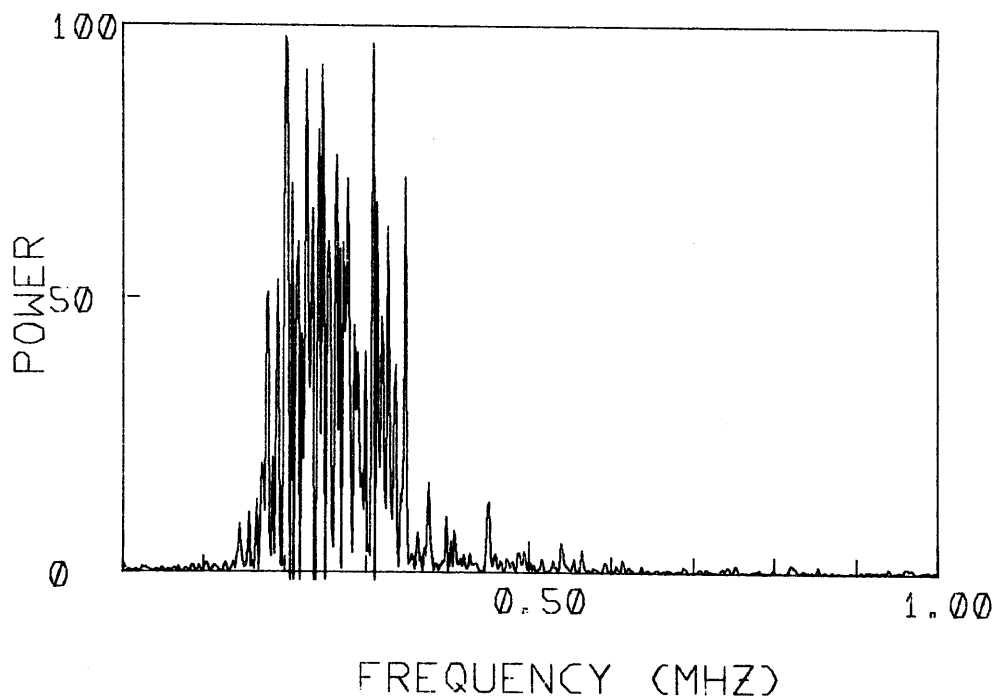
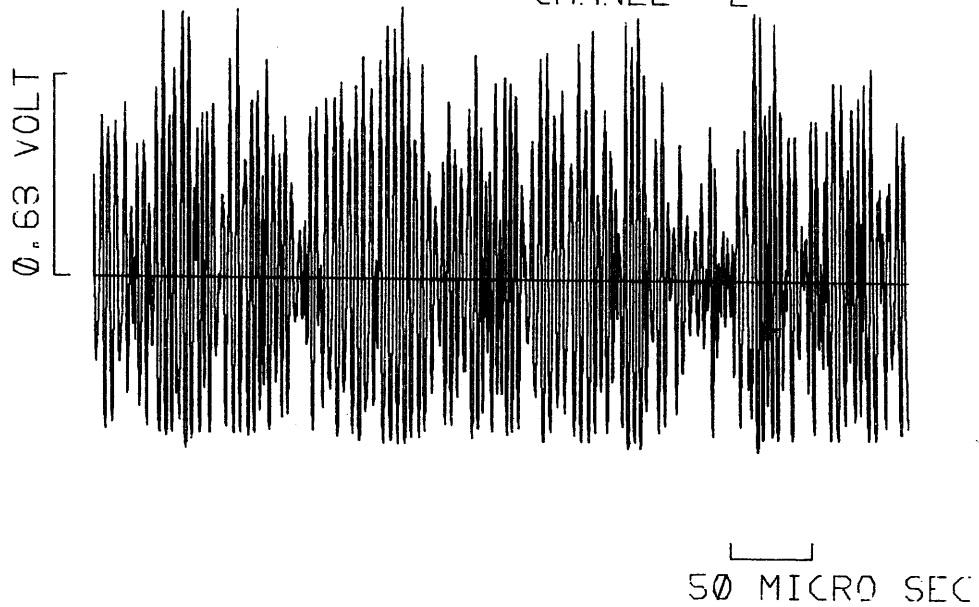
STRESS 41.56

COD 0.36

PEAK-V 3.35

TIME-P 124.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 493

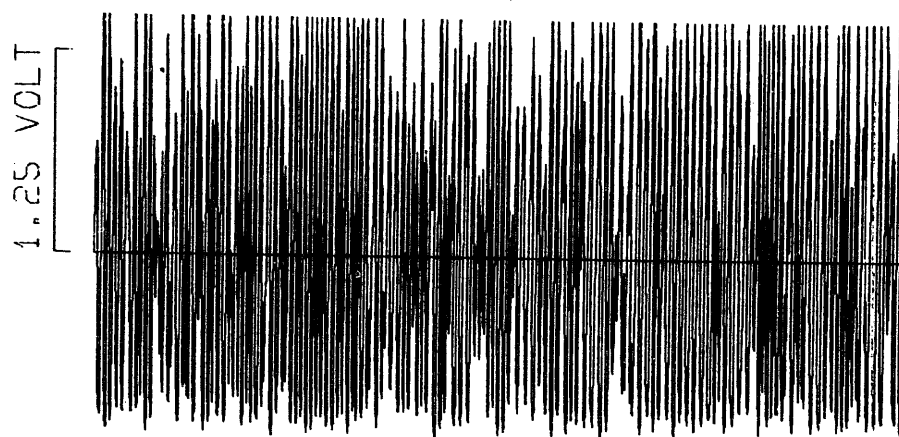
STRESS 60.29

COD 0.48

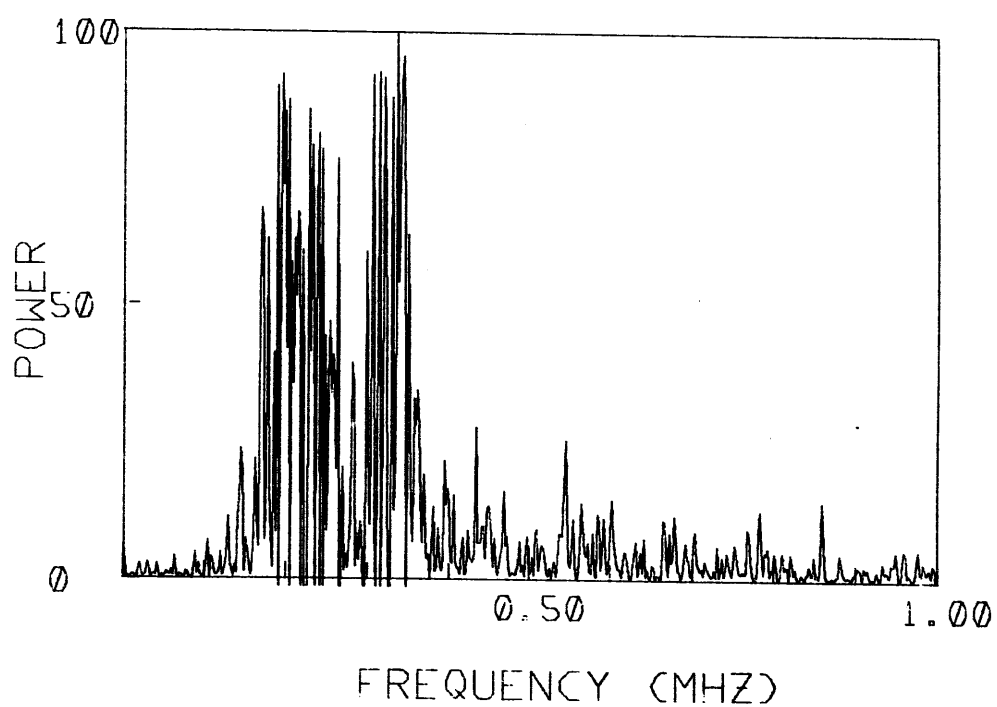
PEAK-V 3.36

TIME-P 98.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 769D-3

EVENT NUMBER 494

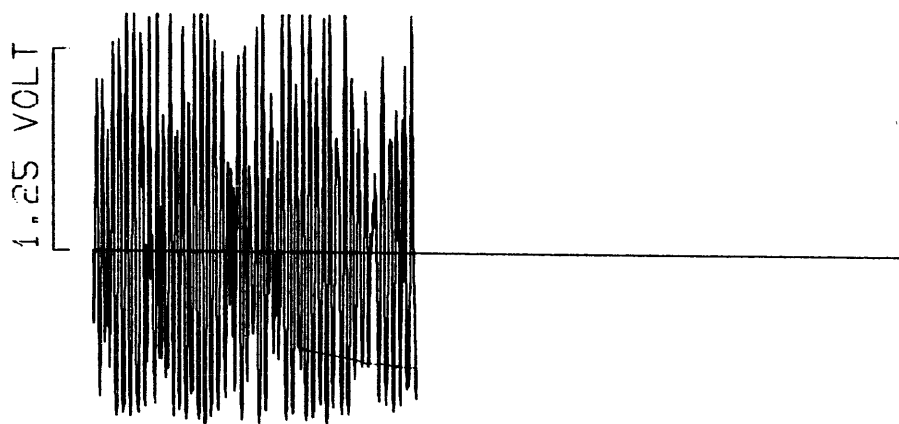
STRESS 60.41

COD 0.49

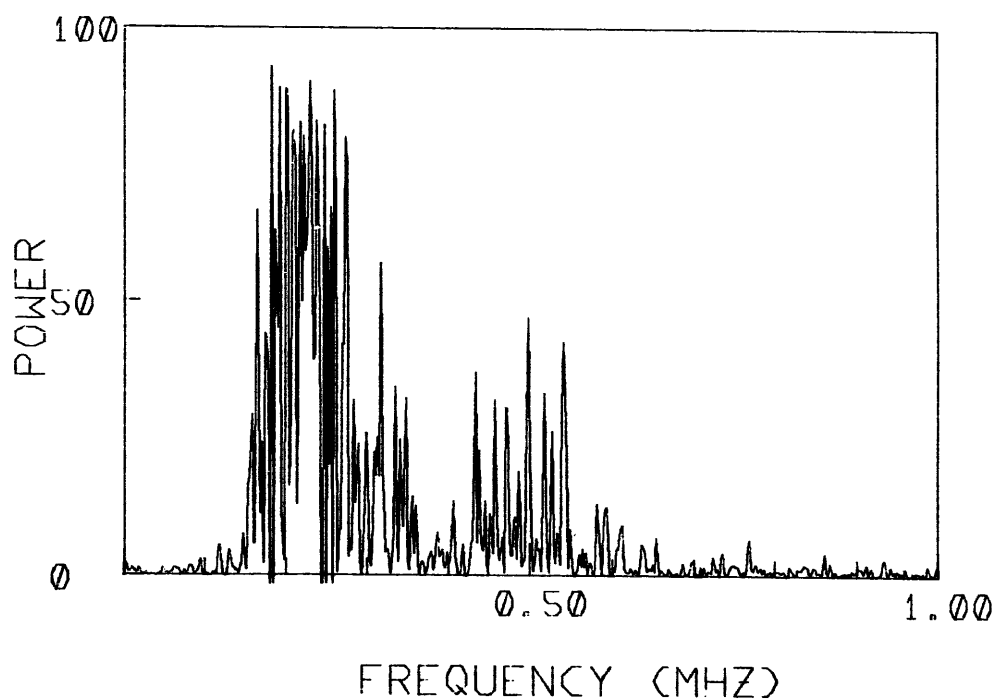
PEAK-V 3.30

TIME-P 269.0

CHANEL 2



50 MICRO SEC



b) 空圧試験

b-1 Dunegan センサによるAE

SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 3

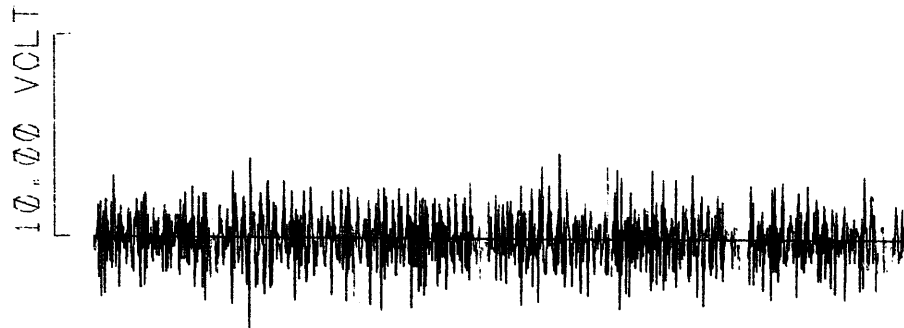
STRESS ~~6.77~~ 2.86

COD ~~0.05~~ 2.344

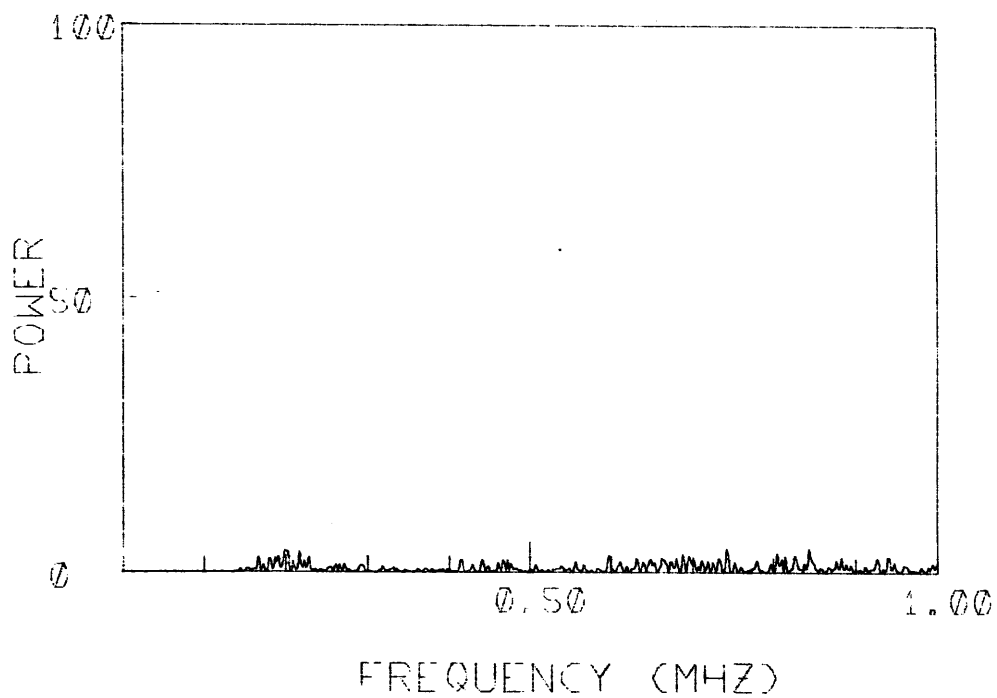
PEAK-V 2.77

TIME-P 1007.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 8

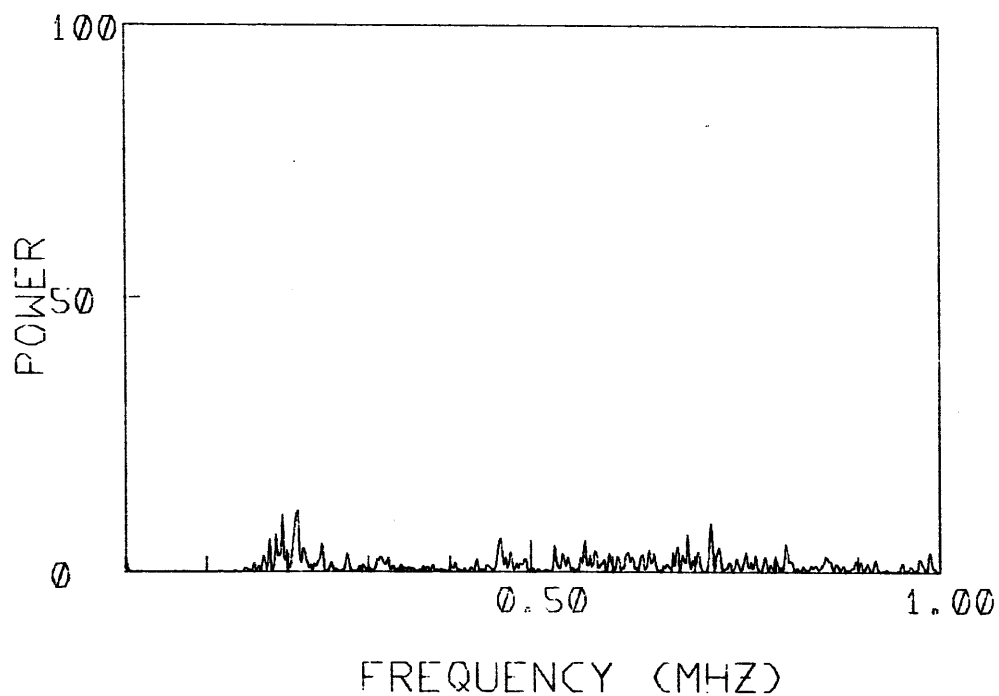
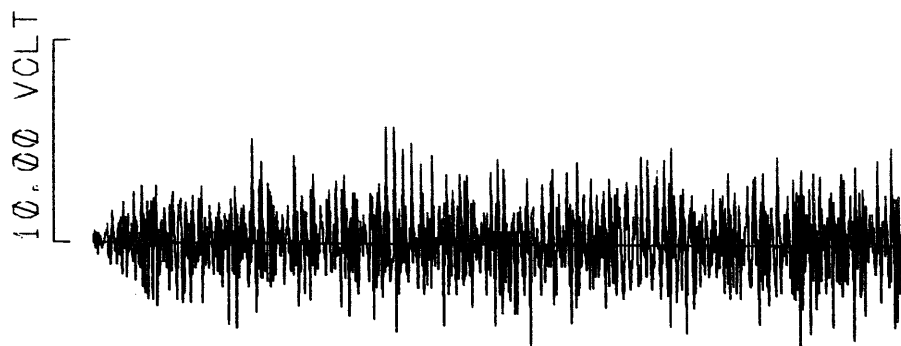
STRESS ~~7.38~~

COD ~~0.07~~

PEAK-V 3.71

TIME-P 511.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 25

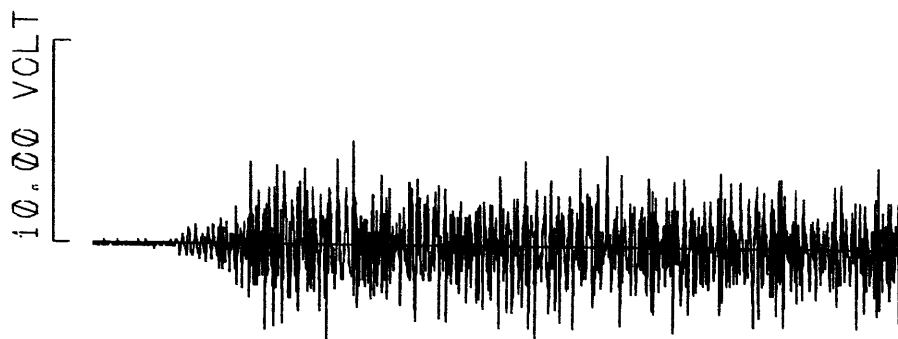
STRESS 9.51 - 600

COD 0.12 112

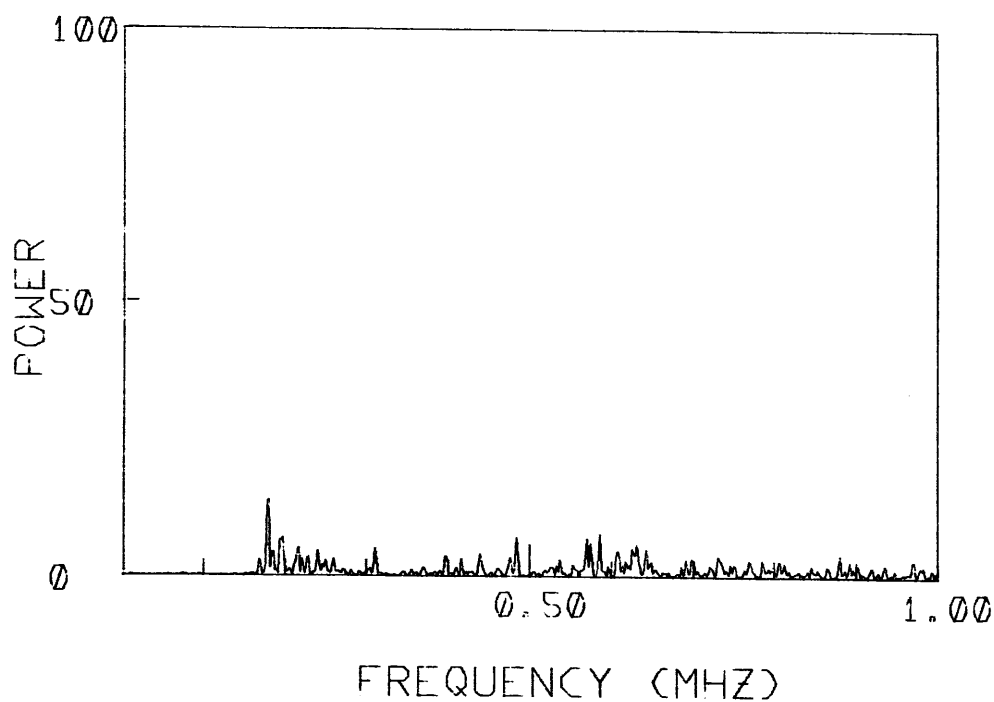
PEAK-V 4.36

TIME-P 255.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 30

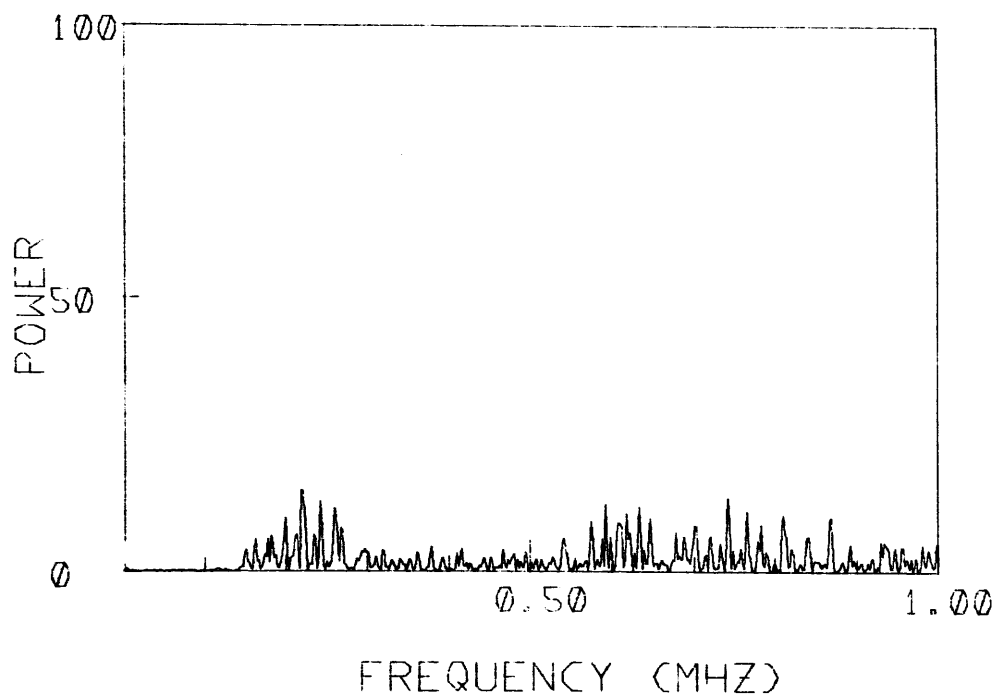
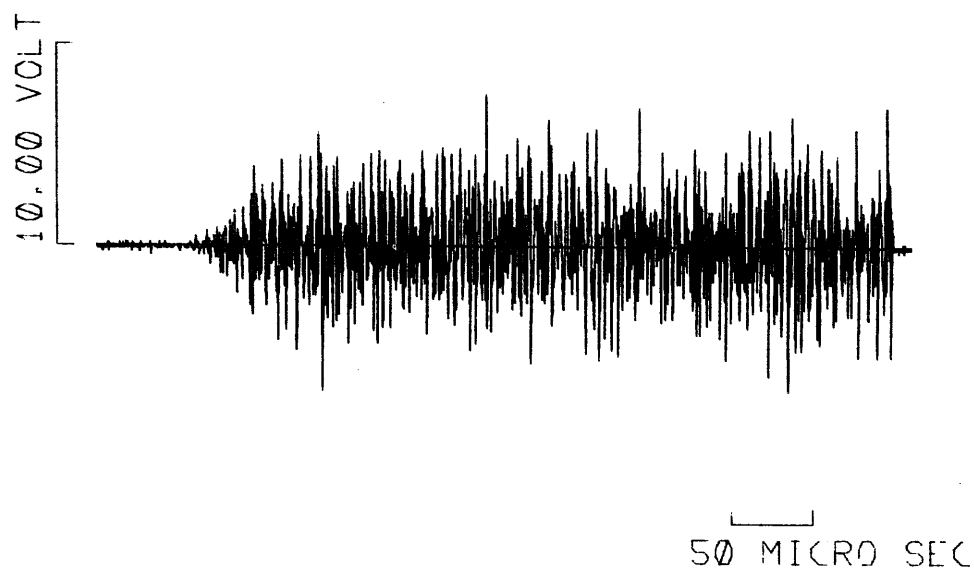
STRESS ~~9.98~~ 6.072

COD ~~0.13~~ 0.125

PEAK-V 3.01

TIME-P 927.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 44

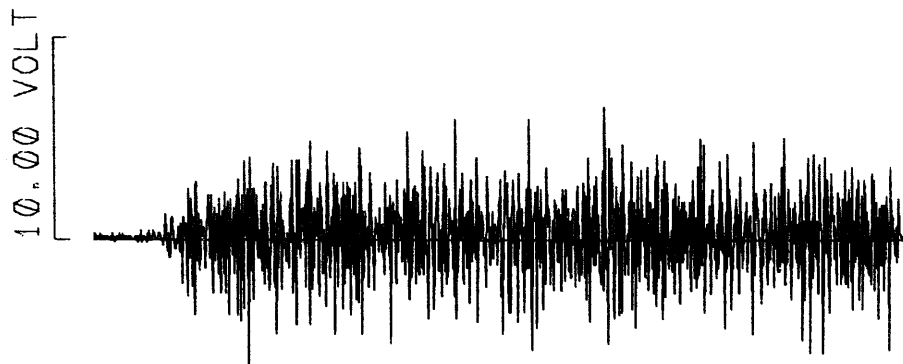
STRESS 11.33 0.227

COD 0.16 0.150

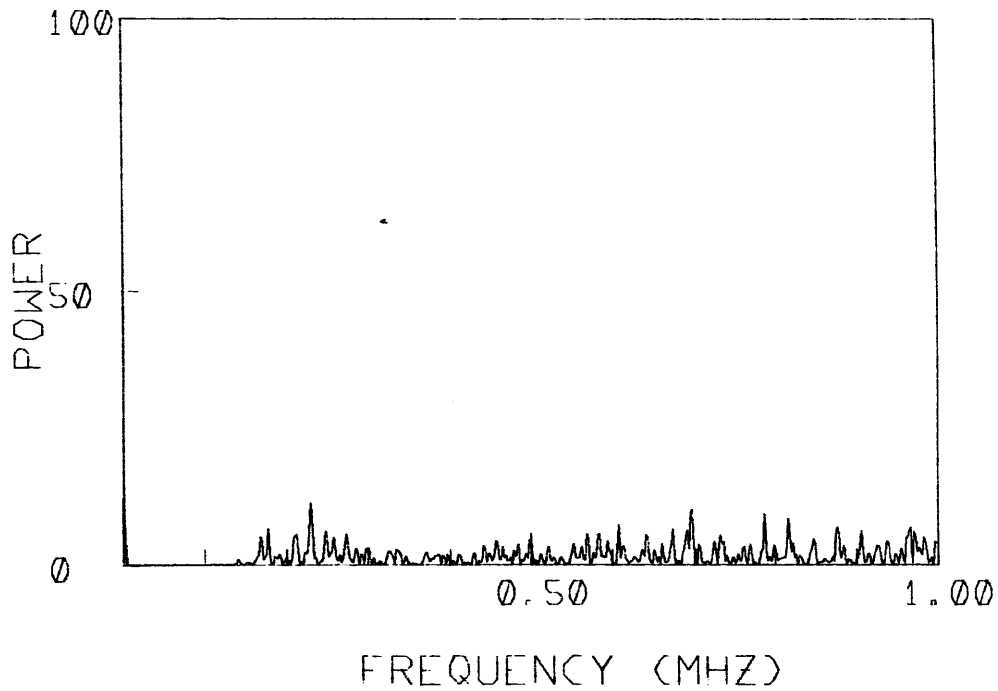
PEAK-V 0.51

TIME-P 23.0

CHANNEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 54

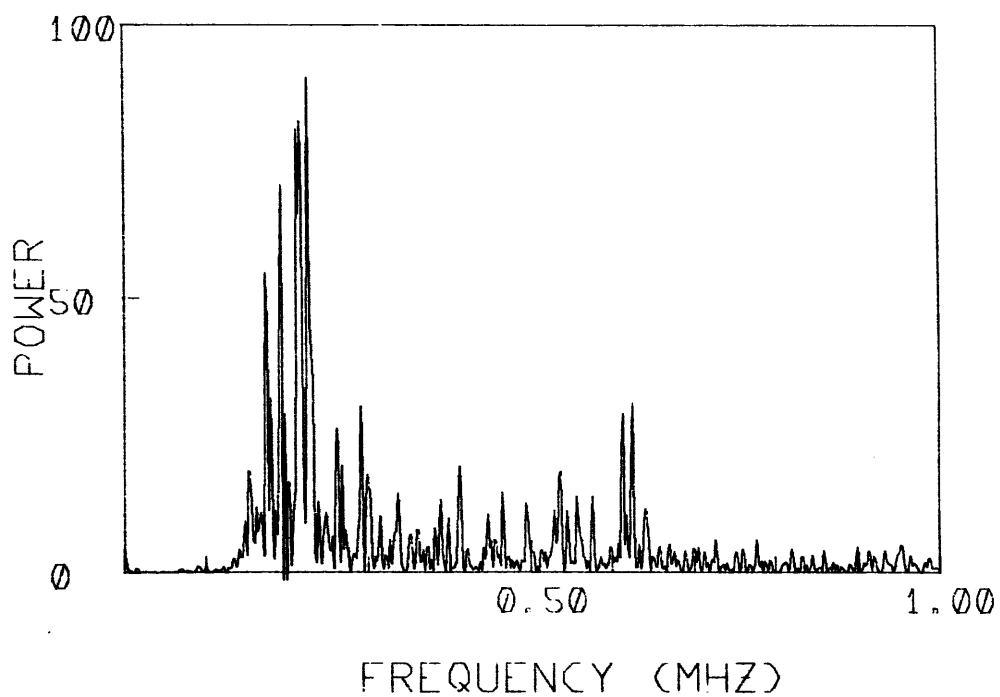
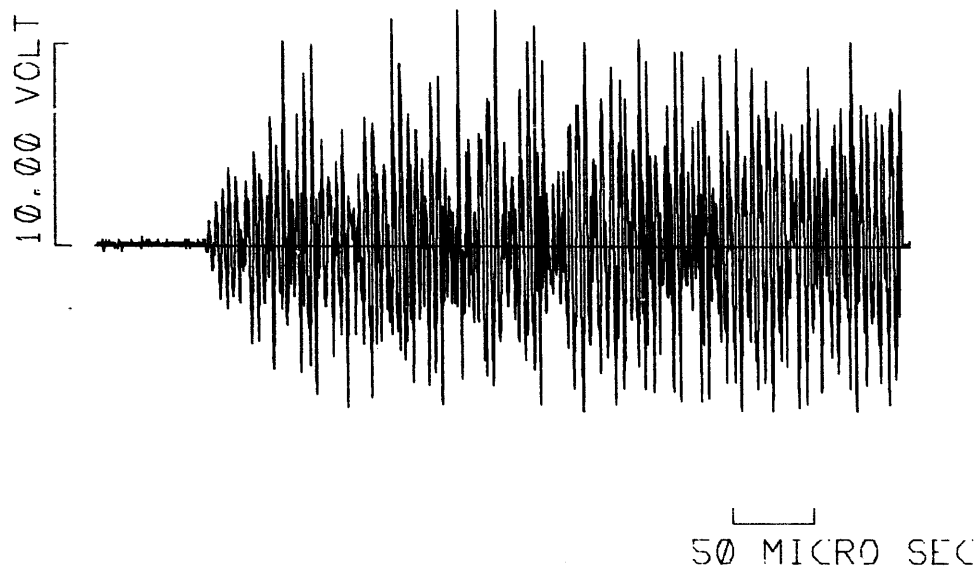
STRESS 12.59

COD 0.01

PEAK-V 3.71

TIME-P 730.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 57

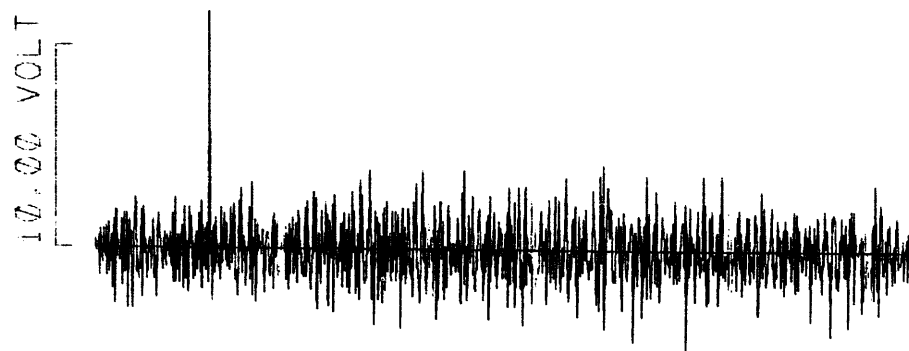
STRESS ~~43.46~~ 0.00

COD ~~0.02~~ 0.00

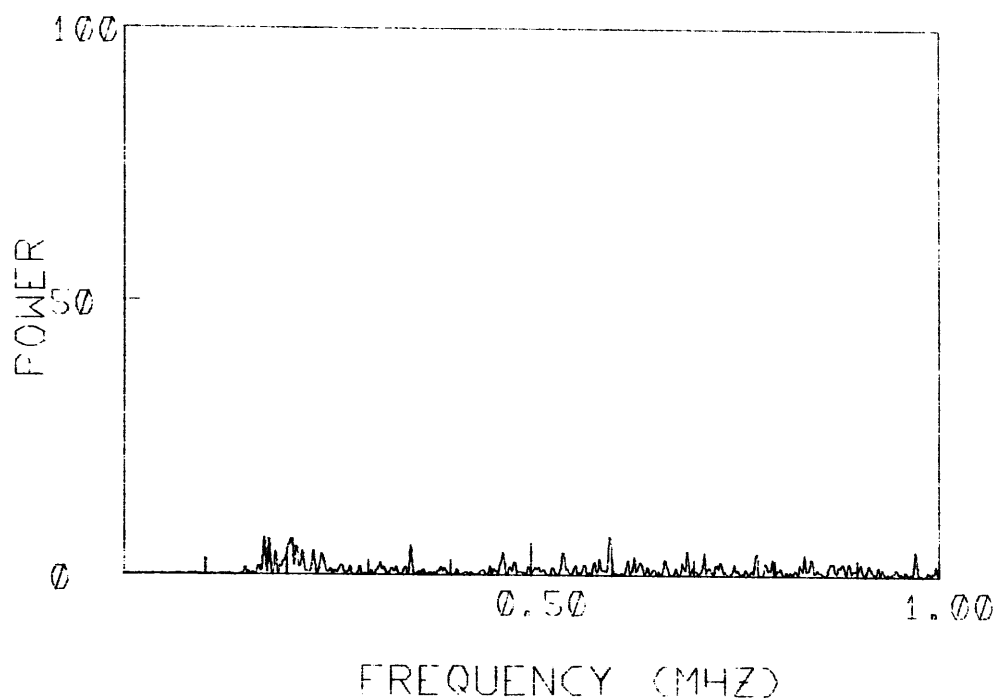
PEAK-V 0.61

TIME-P 351.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 68-6

EVENT NUMBER 73

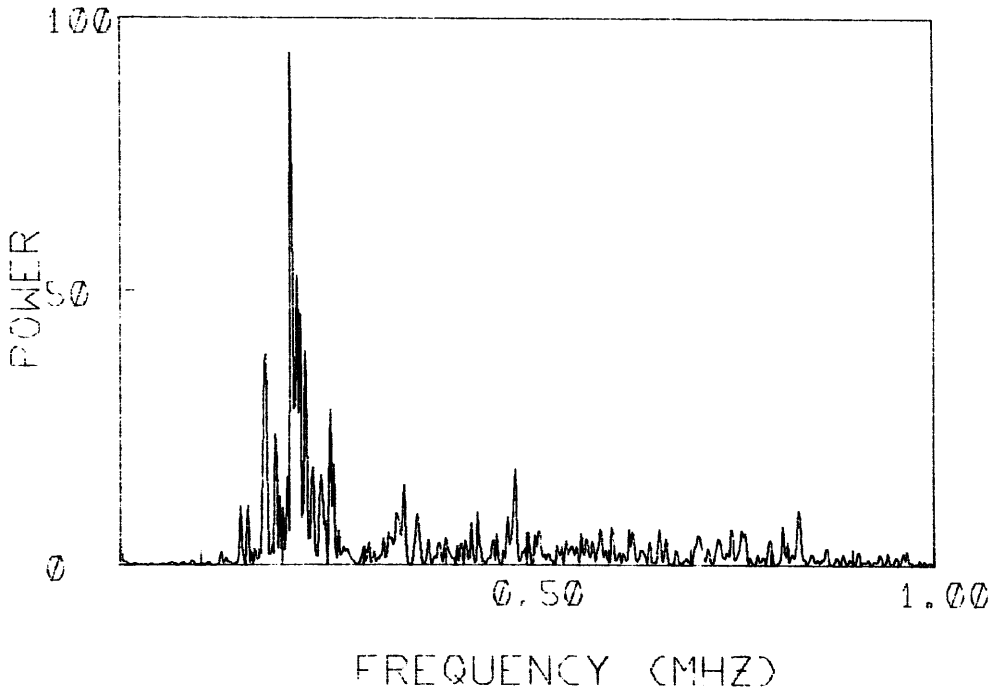
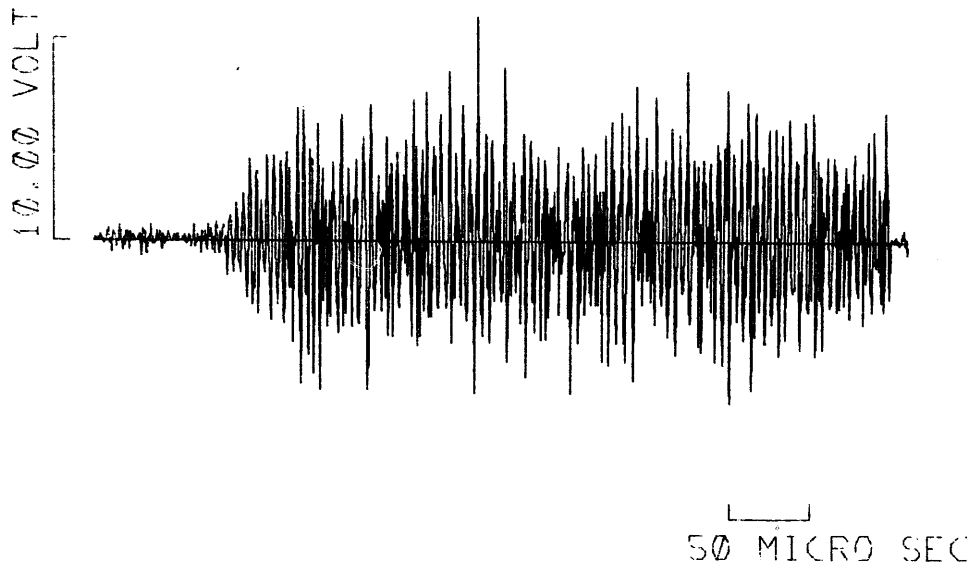
STRESS ~~14.76~~ 10.12

COD ~~0.06~~ 0.12

PEAK-V 3.40

TIME-P 959.0

CHANEL 1



b-2 Nortec センサによるAE

b-2-1 シール部及びセンサ位置からのAE

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 1

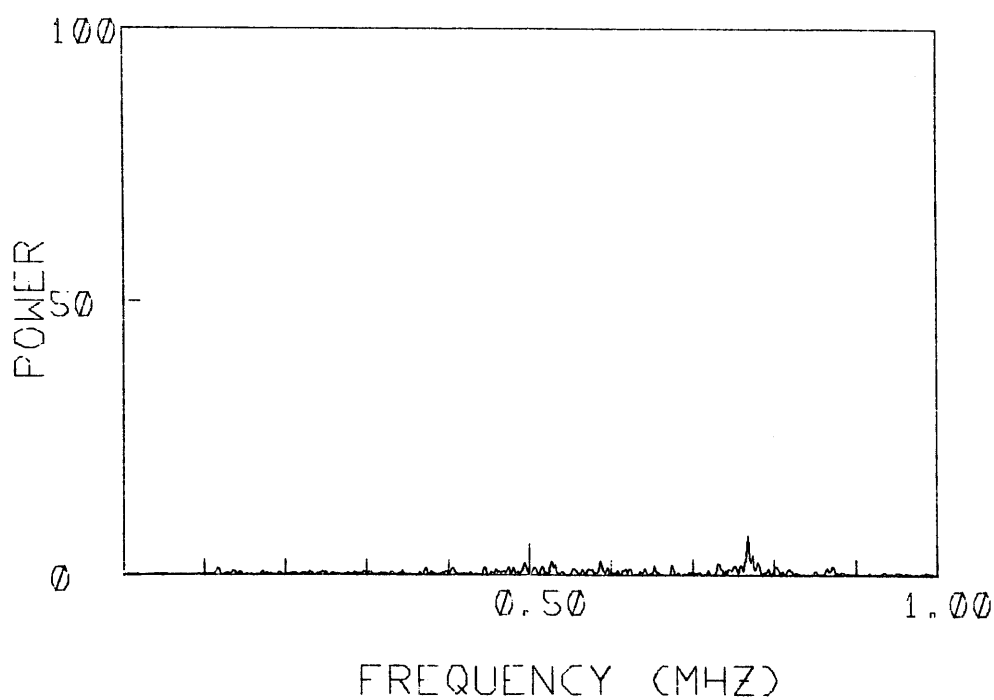
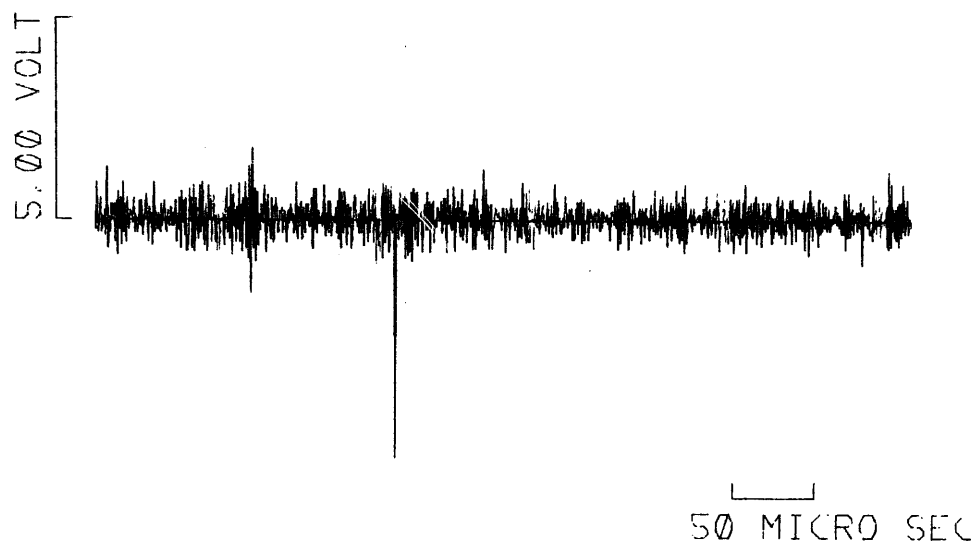
STRESS 6.82

COD 0.05

PEAK-V 4.94

TIME-P 1277.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 26

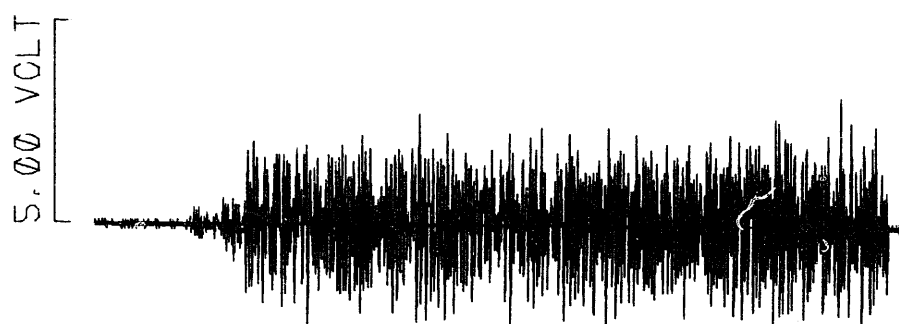
STRESS 3.51

COD 0.12

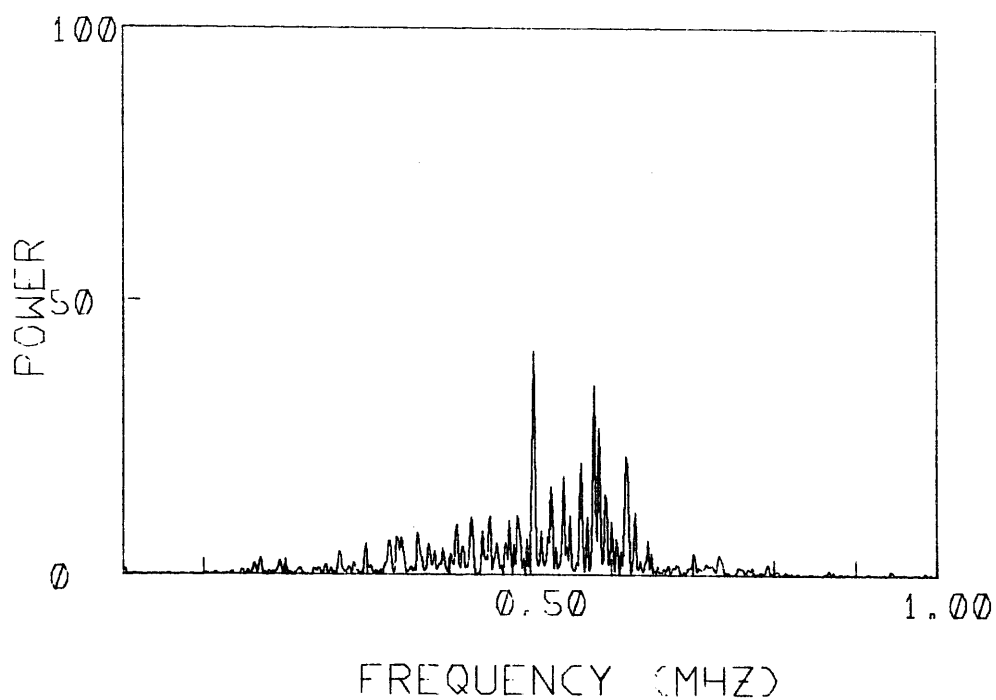
PEAK-V 2.23

TIME-P 498.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 35

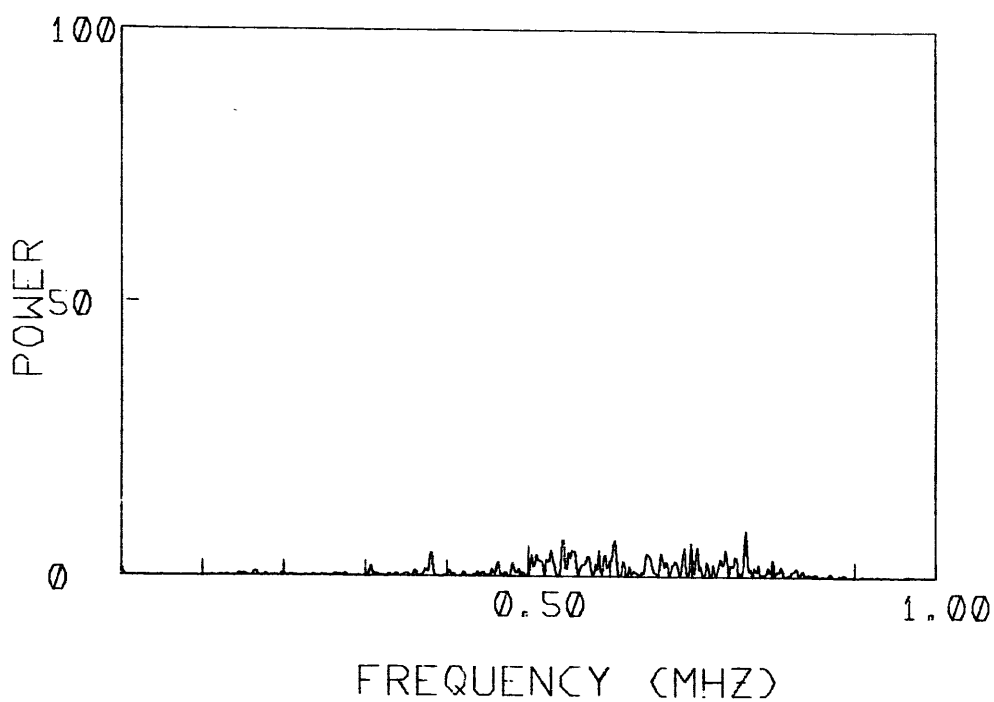
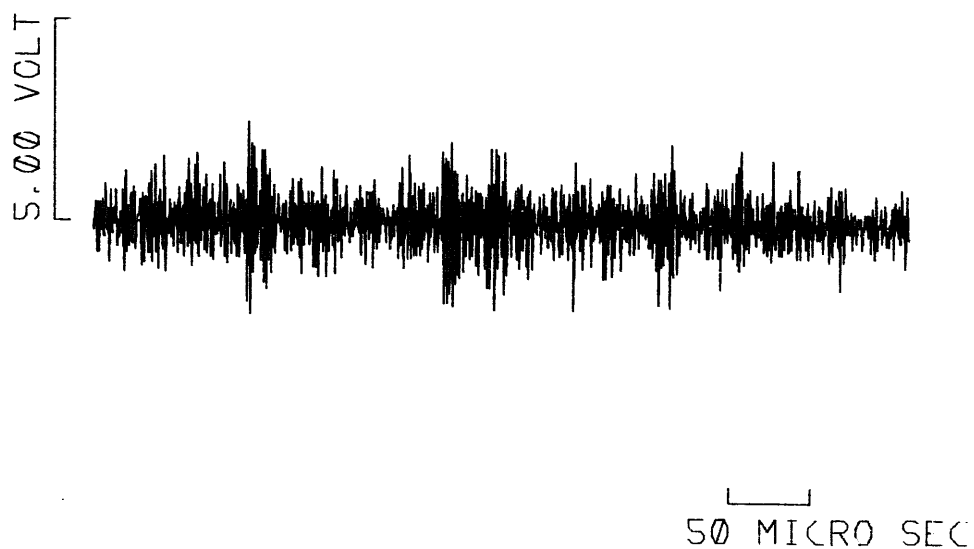
STRESS 10.46

COD 0.14

PEAK-V 3.07

TIME-P 255.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 49

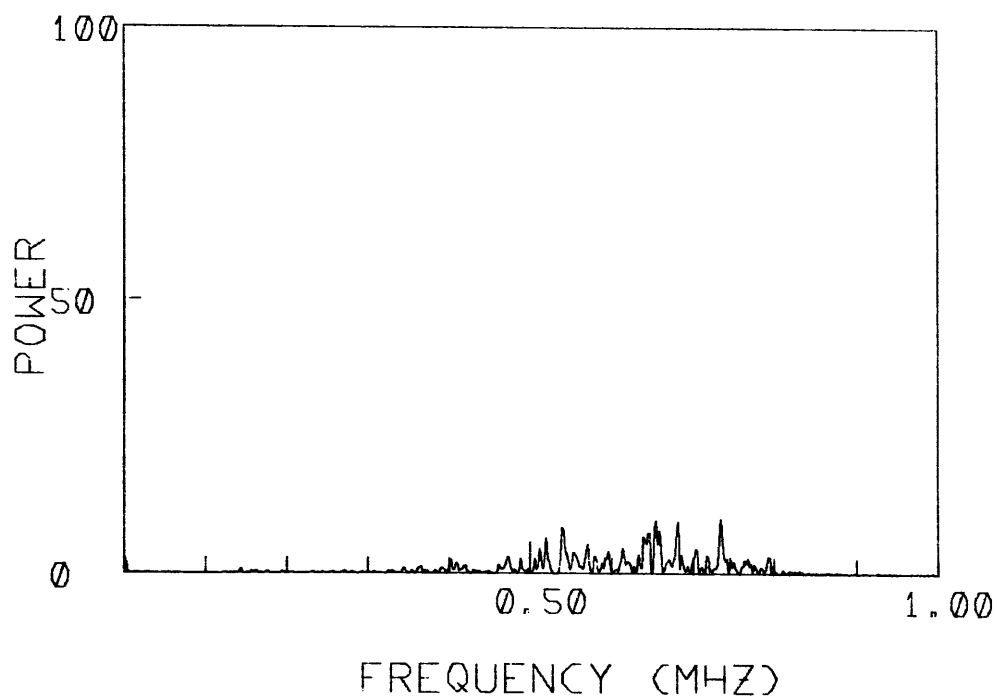
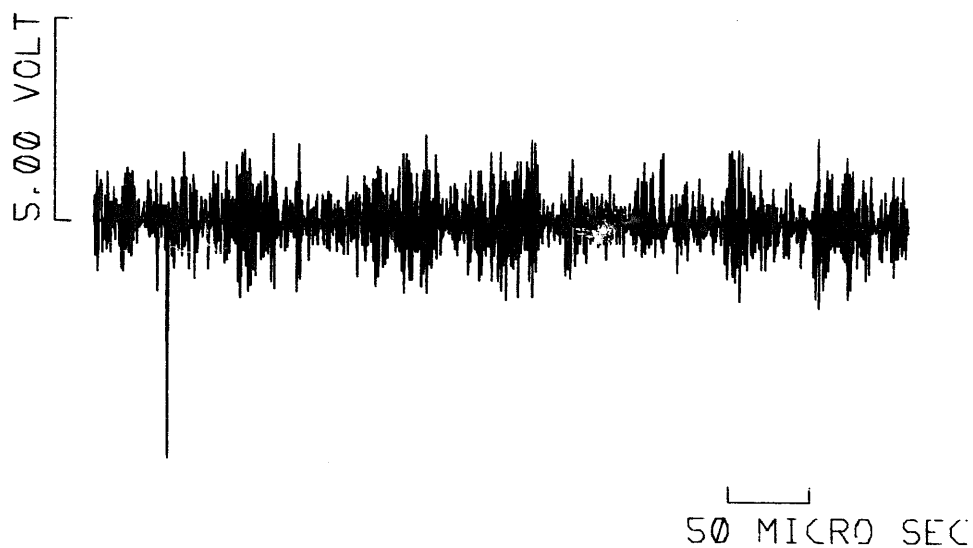
STRESS 11.68

COD 0.16

PEAK-V 0.23

TIME-P 886.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 55

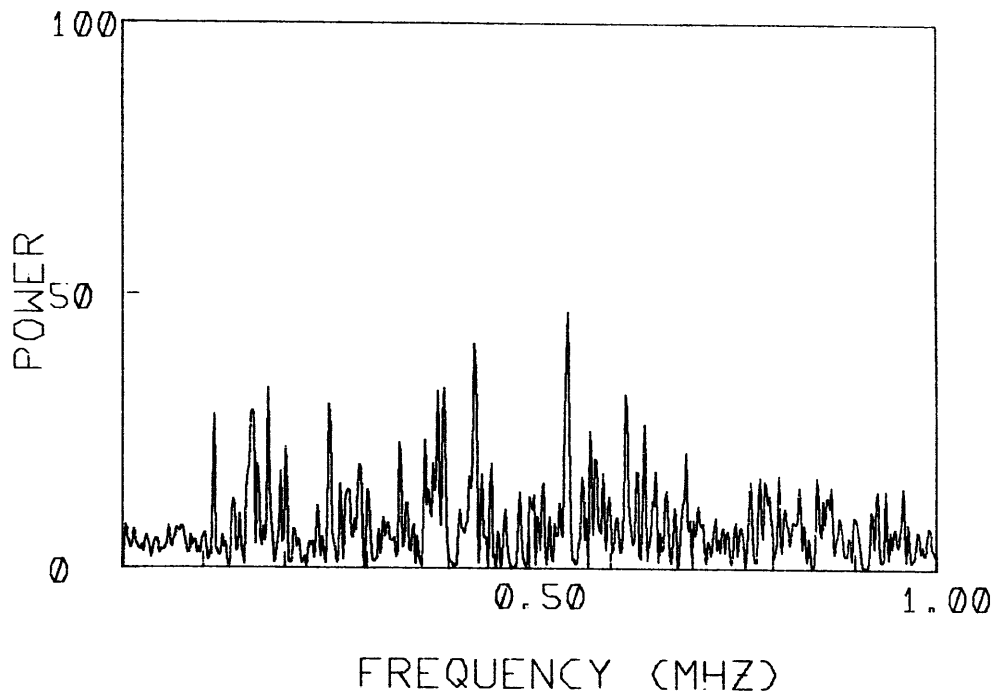
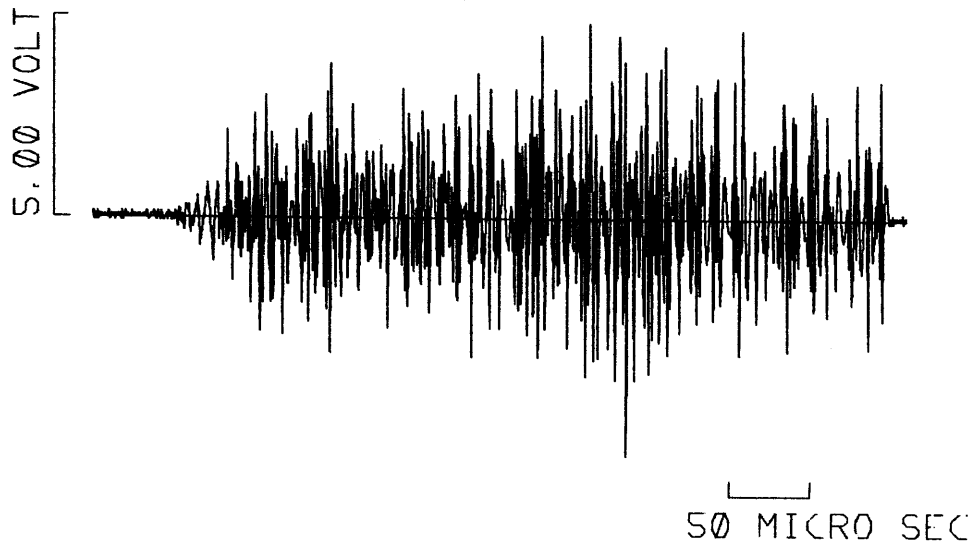
STRESS 12.20

COD 0.01

PEAK-V 1.27

TIME-P 302.0

CHANEL 2



b-2-2 切欠からの A E

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 27

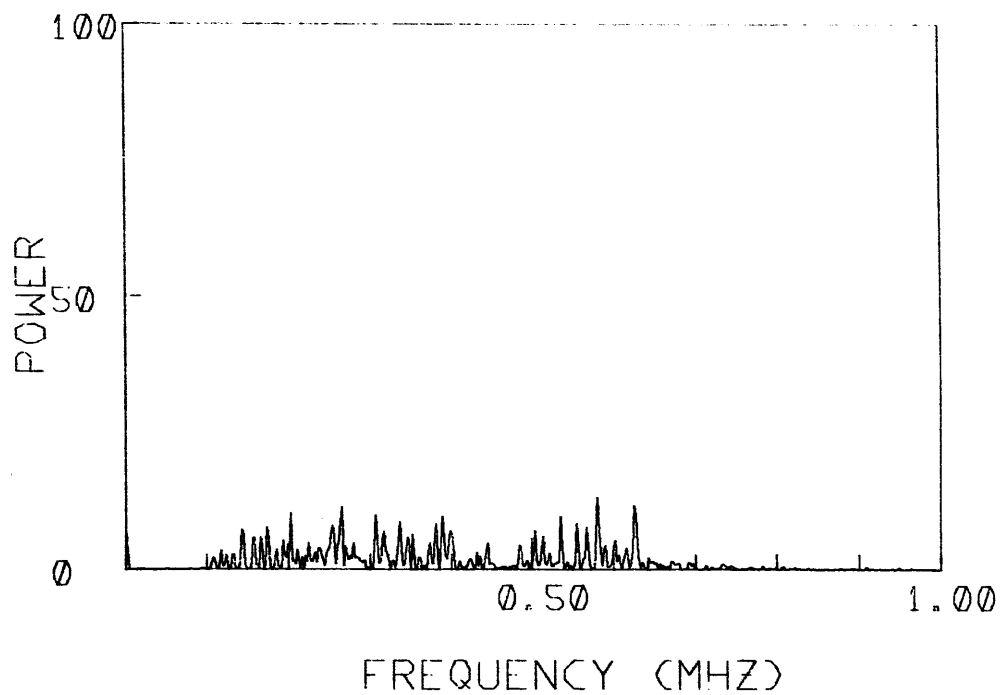
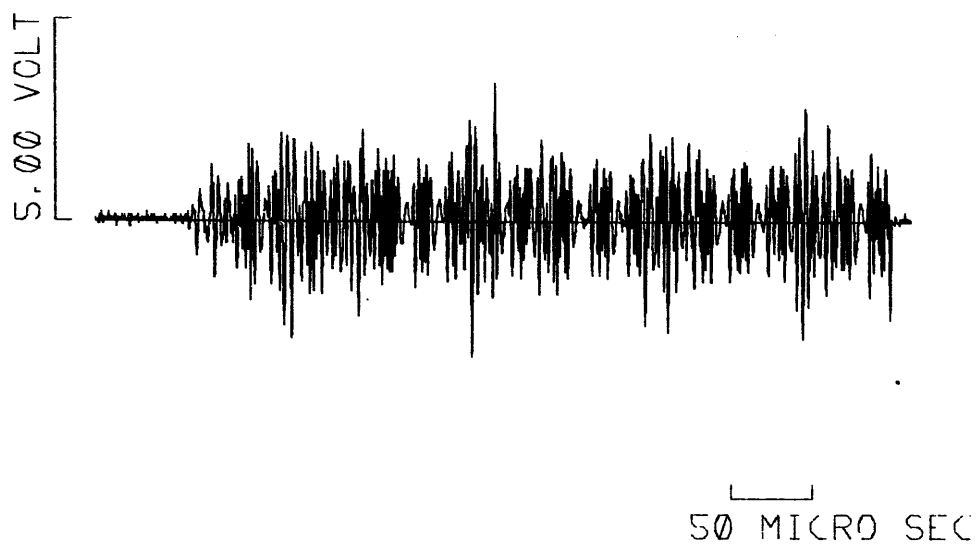
STRESS 9.59

COD 0.12

PEAK-V 4.36

TIME-P 719.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 34

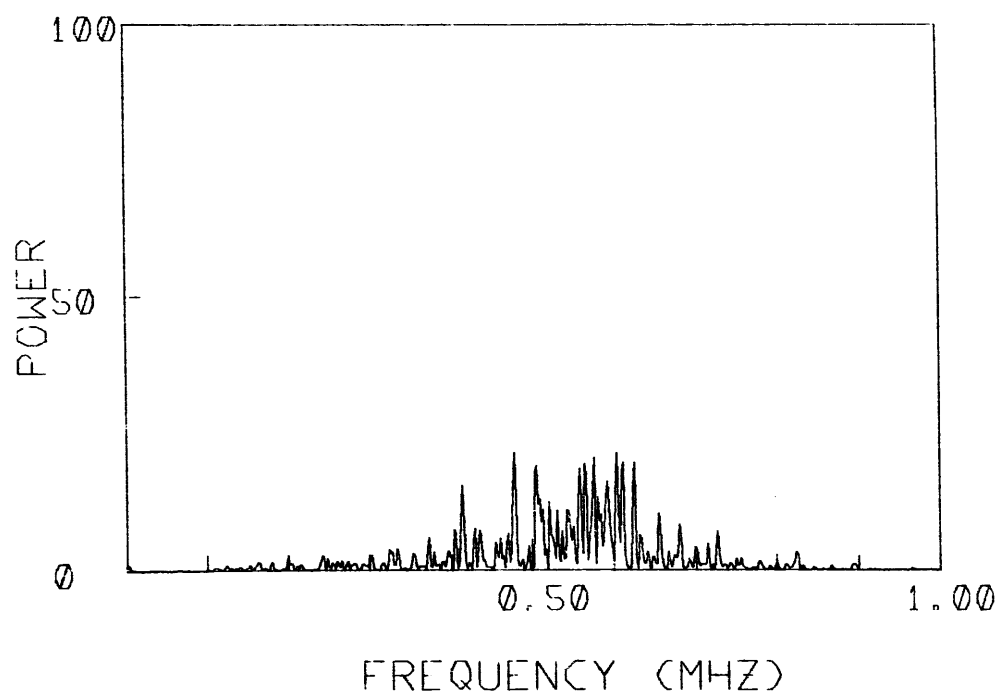
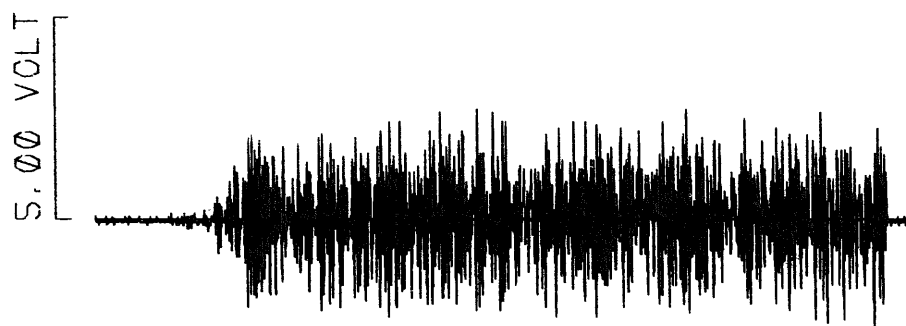
STRESS 10.38

COD 0.14

PEAK-V 1.04

TIME-P 887.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 59

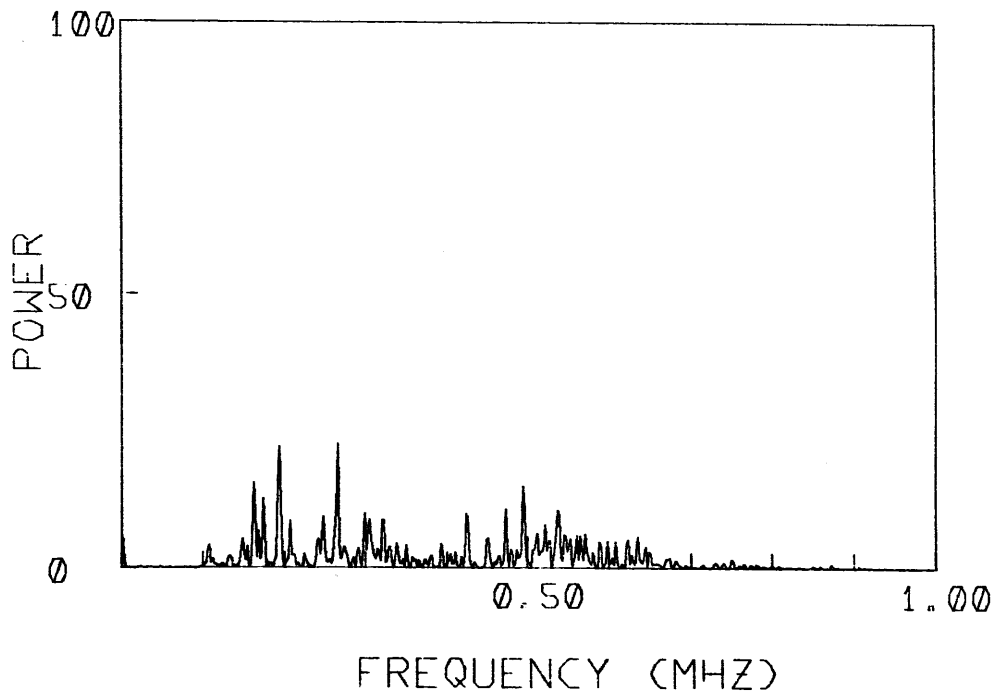
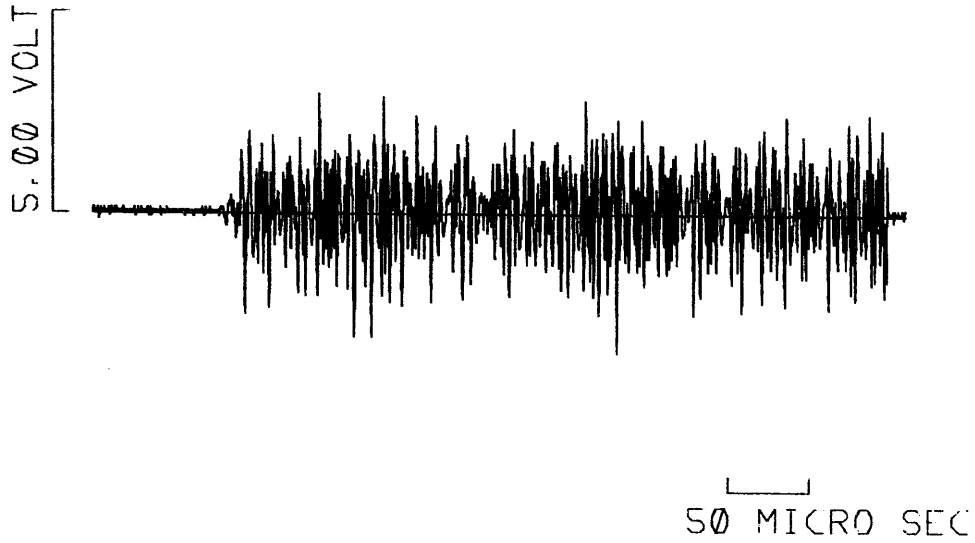
STRESS 12.63

COD 0.01

PEAK-V 2.32

TIME-P 631.0

CHANEL 1



b-3 試験片64-8

Dunegan センサによるAE

SPECIMEN NAME 68-6 (N)

EVENT NUMBER 74

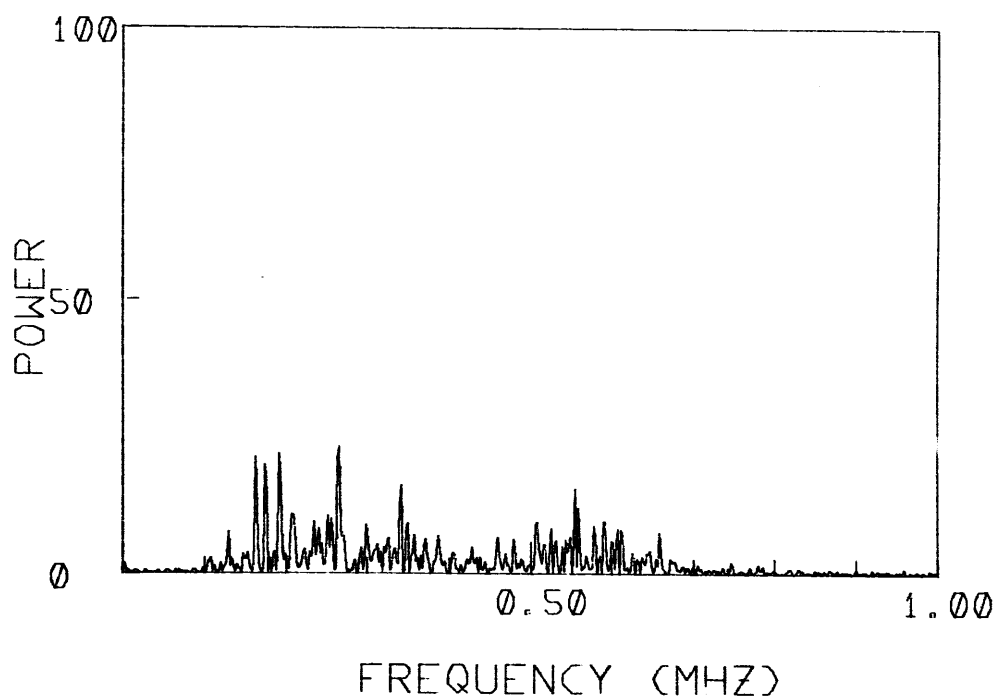
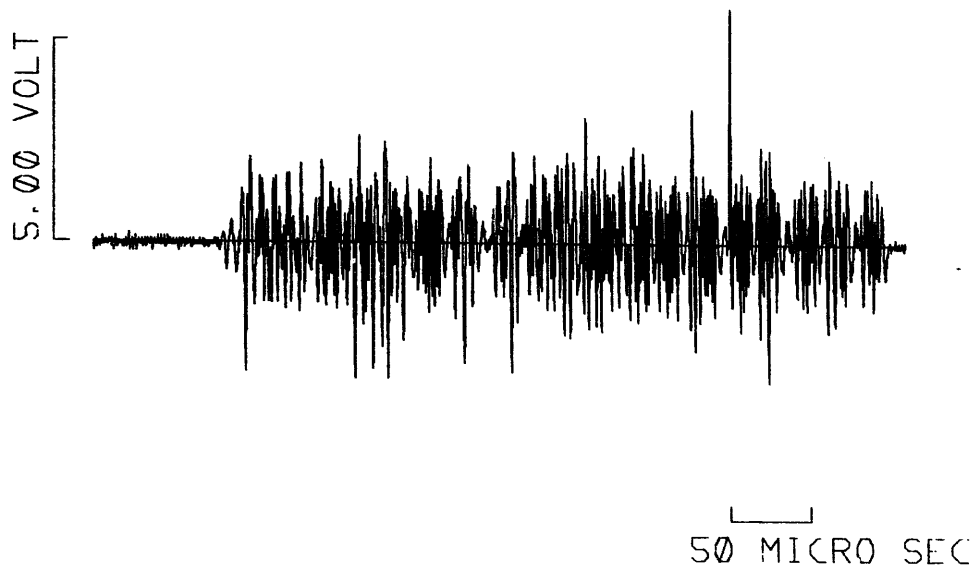
STRESS 14.07

COD 0.04

PEAK-V 3.57

TIME-P 252.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 64-8

EVENT NUMBER 15

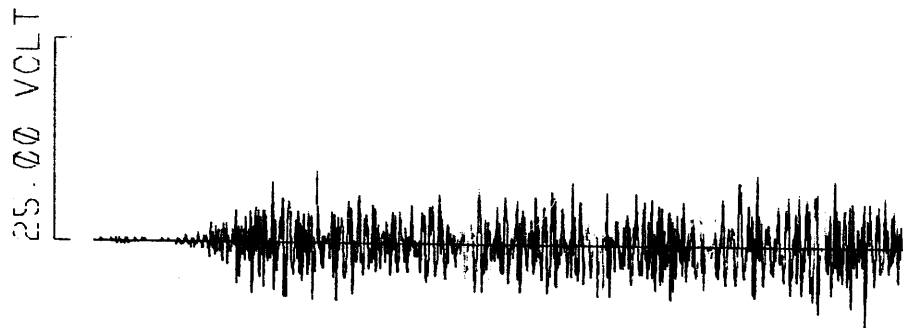
STRESS -4.17

COD 0.35

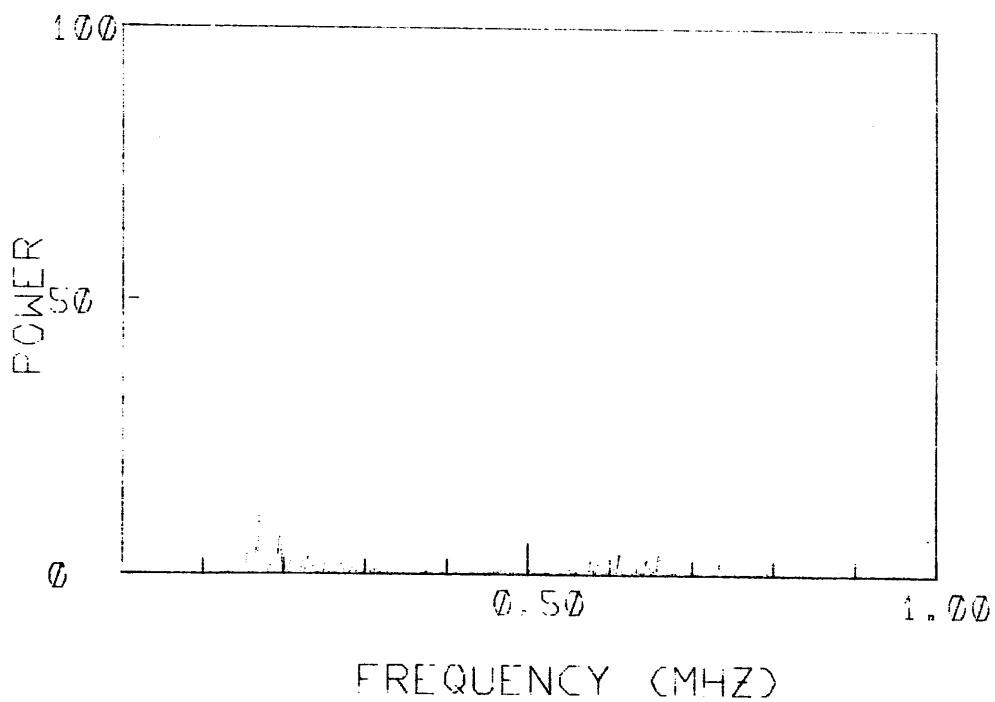
PEAK-V 0.30

TIME-P 695.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 64-8

EVENT NUMBER 18

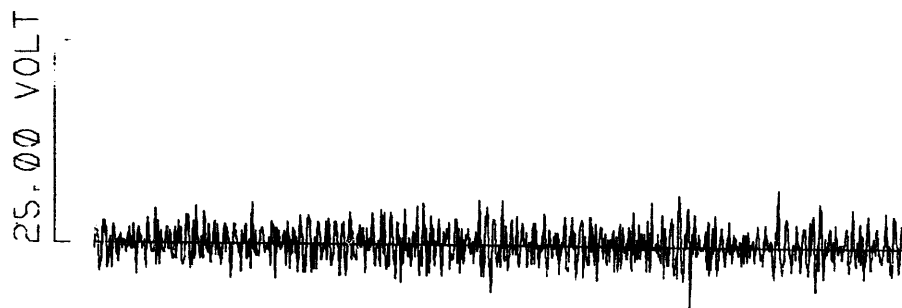
STRESS 7.21

COD 0.36

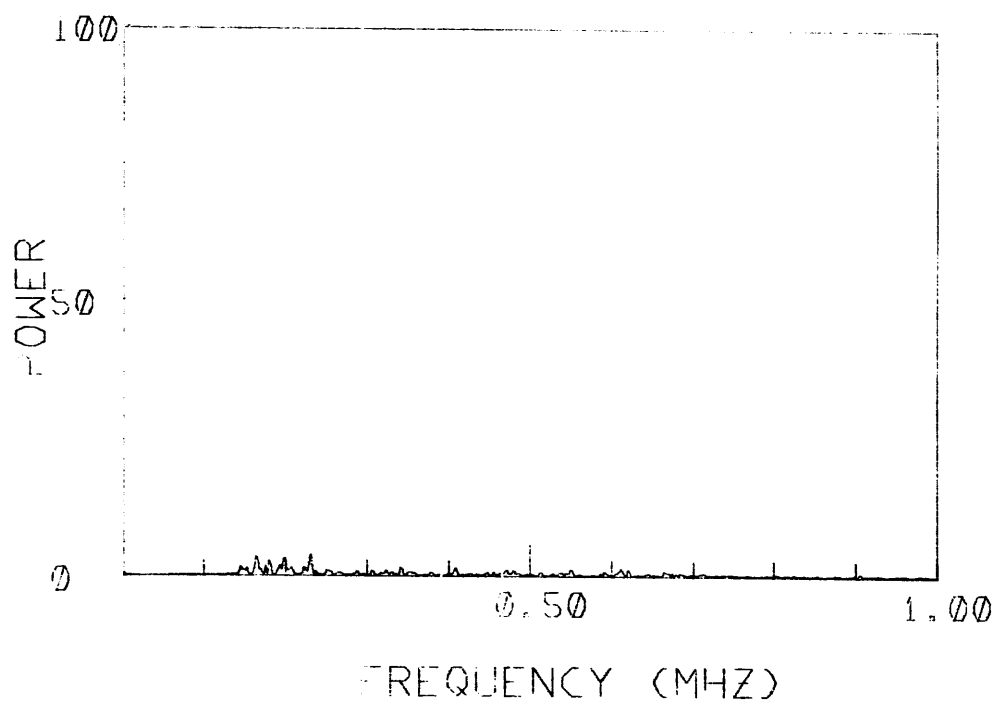
PEAK-V 4.36

TIME-P 511.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 64-8

EVENT NUMBER 47

STRESS 9.38

COD 0.46

PEAK-V 2.25

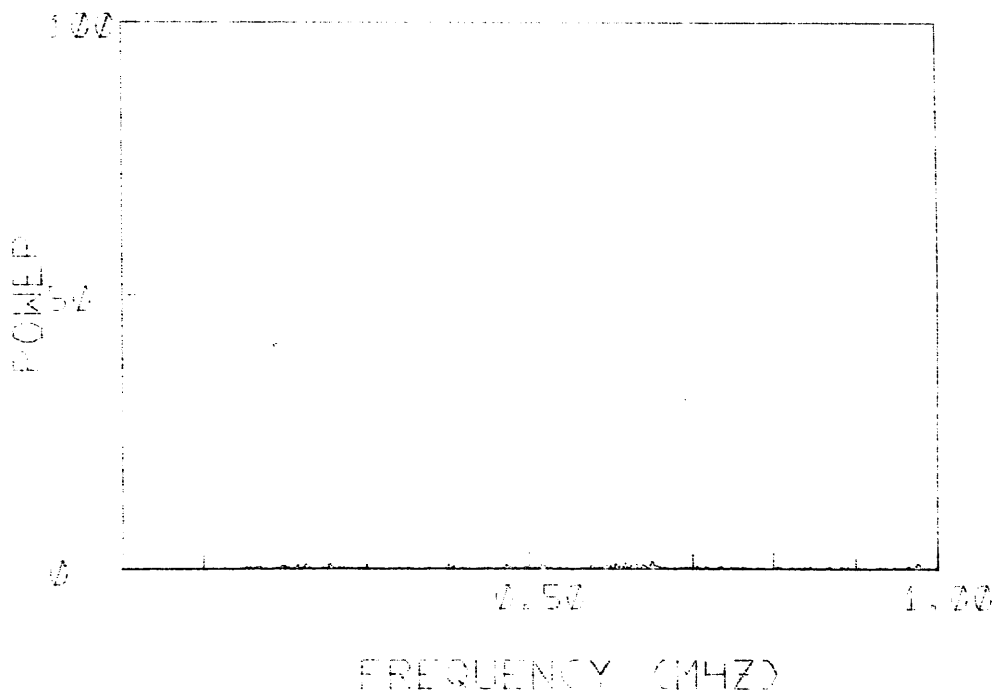
TIME-P 319.0

CHANEL 1

25.00 VOLT



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 64-8

EVENT NUMBER 61

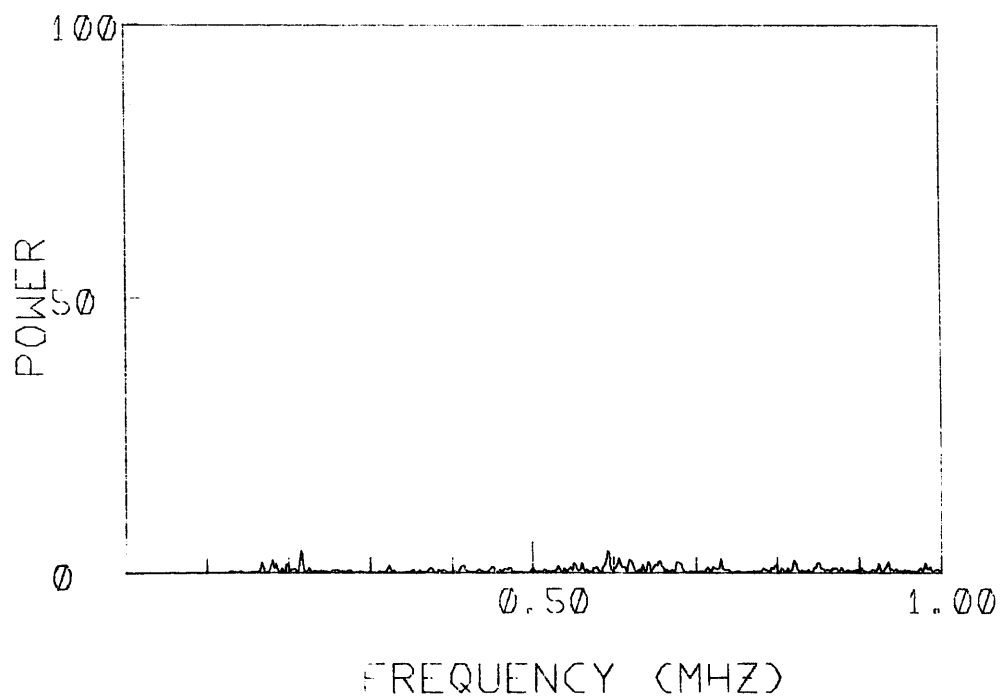
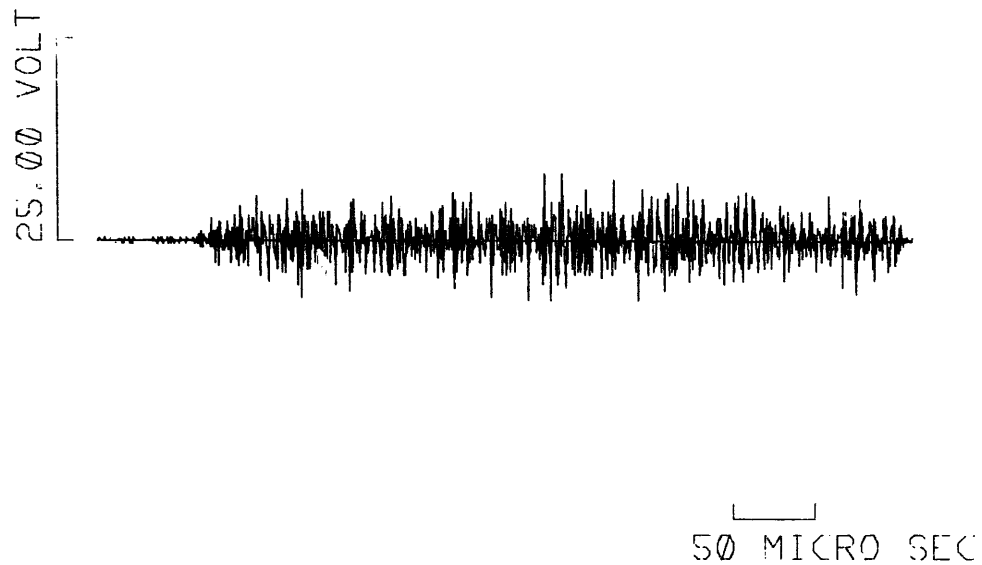
STRESS 11.59

COD 0.77

PEAK-V 4.36

TIME-P 751.0

CHANEL 1



b-4 試験片64-8

Nortec センサによるAE

SPECIMEN NAME 04-8 (ND)

EVENT NUMBER 2

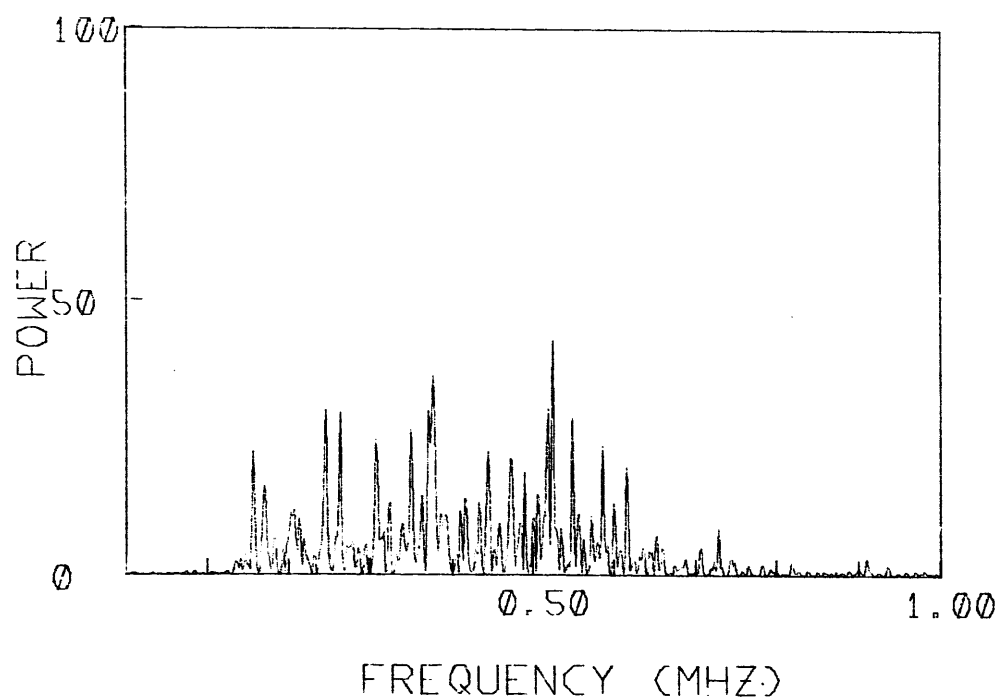
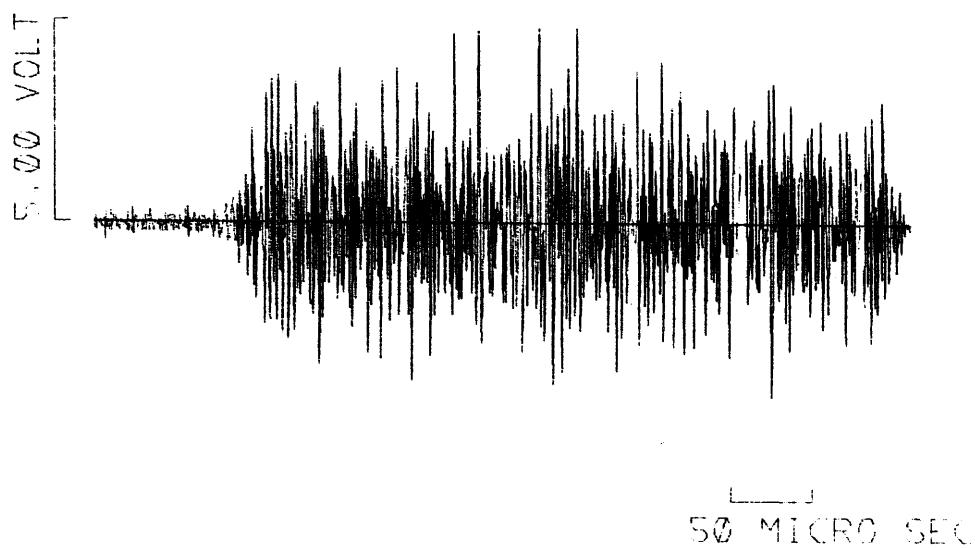
STRESS 8.85

COD 0.20

PEAK-V 8.52

TIME-P 511.0

CHANNEL 1



SPECIMEN NAME 64-8(N)

EVENT NUMBER 13

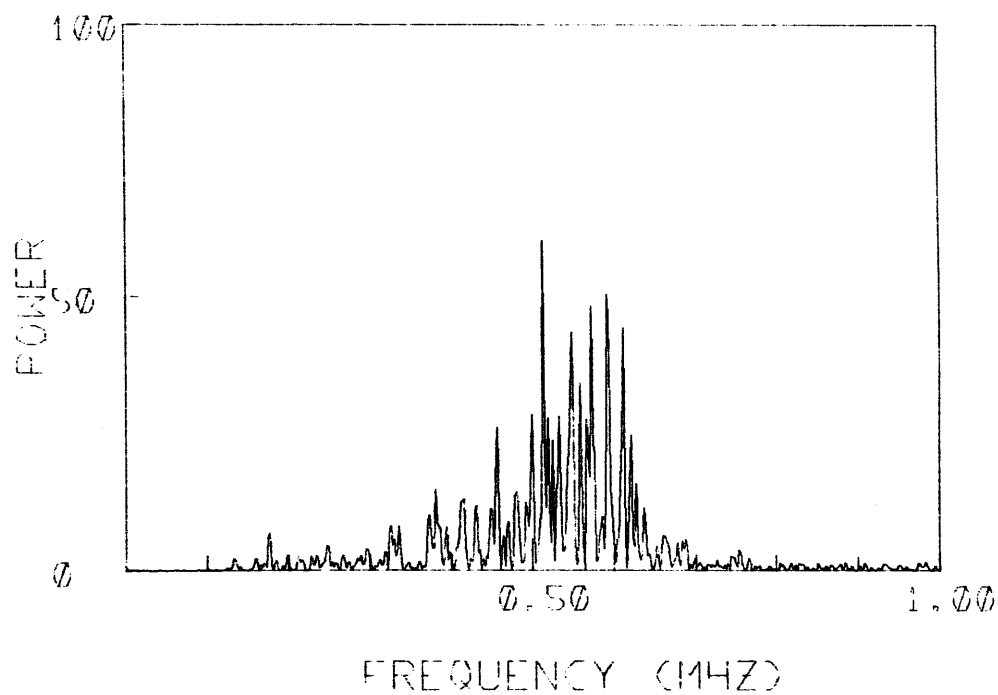
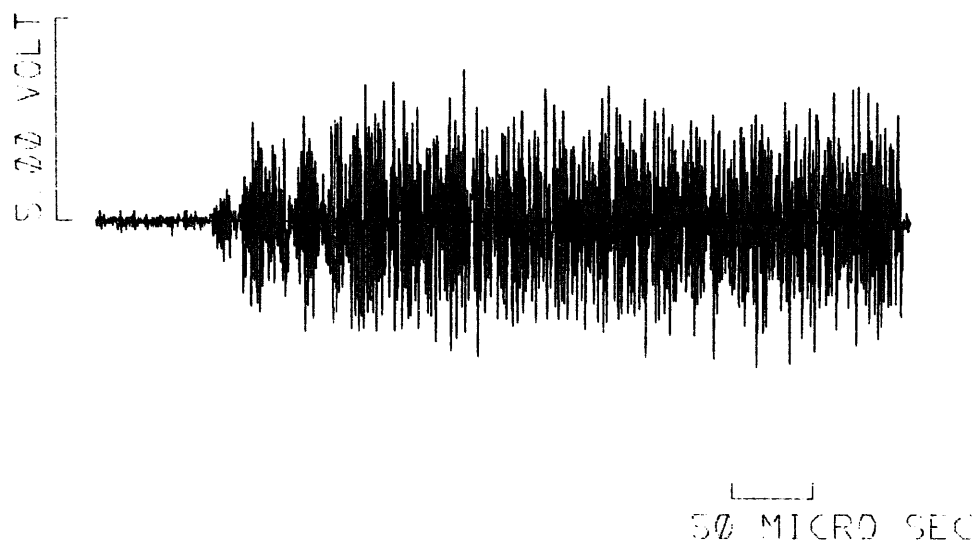
STRESS 11.42

COD 0.39

PEAK-V 1.17

TIME-P 511.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 64-8(N)

EVENT NUMBER 14

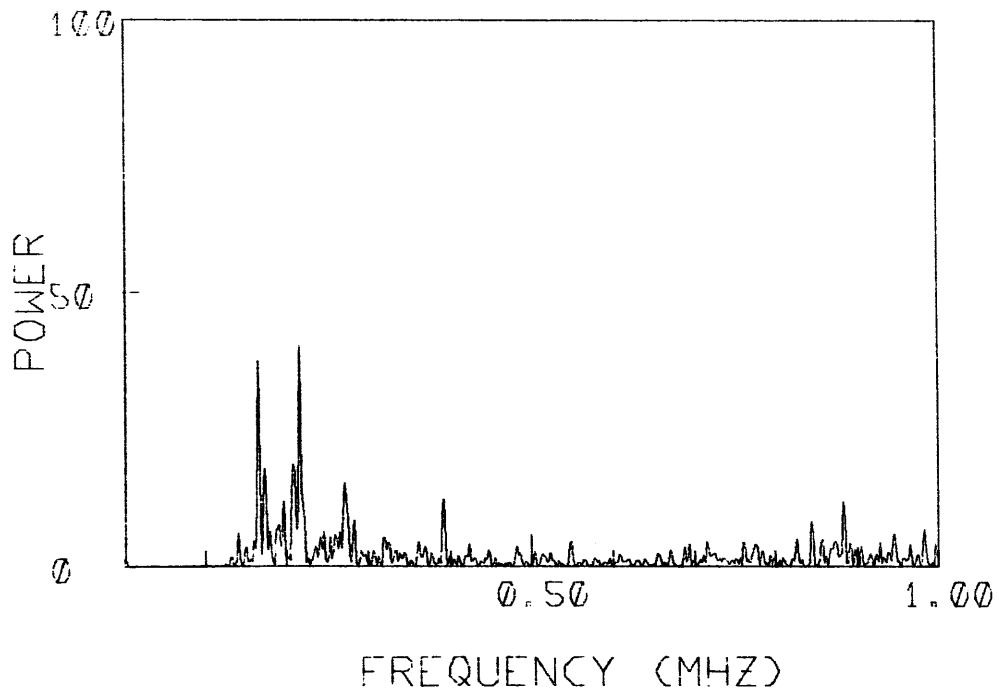
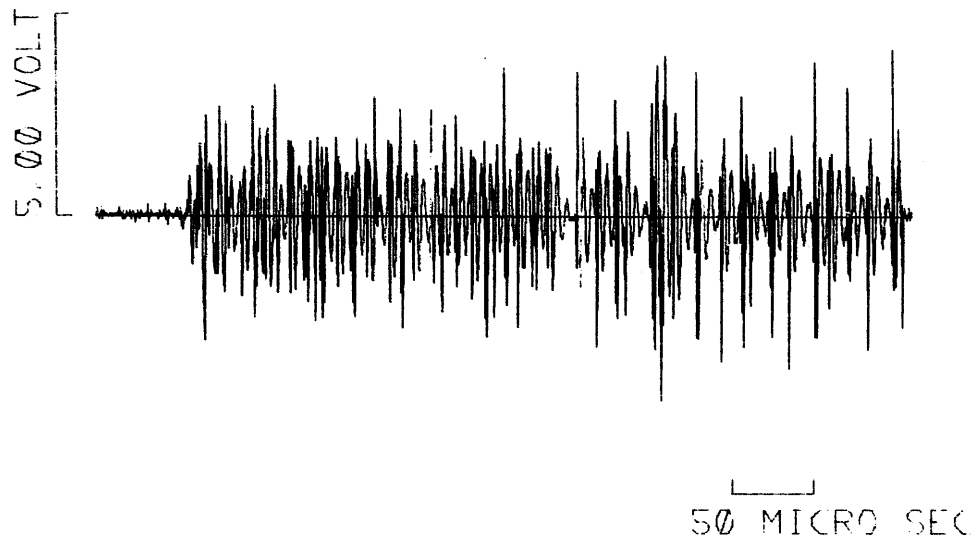
STRESS 11.55

COD 0.39

PEAK-V 1.27

TIME-P 478.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 64-8(N)

EVENT NUMBER 17

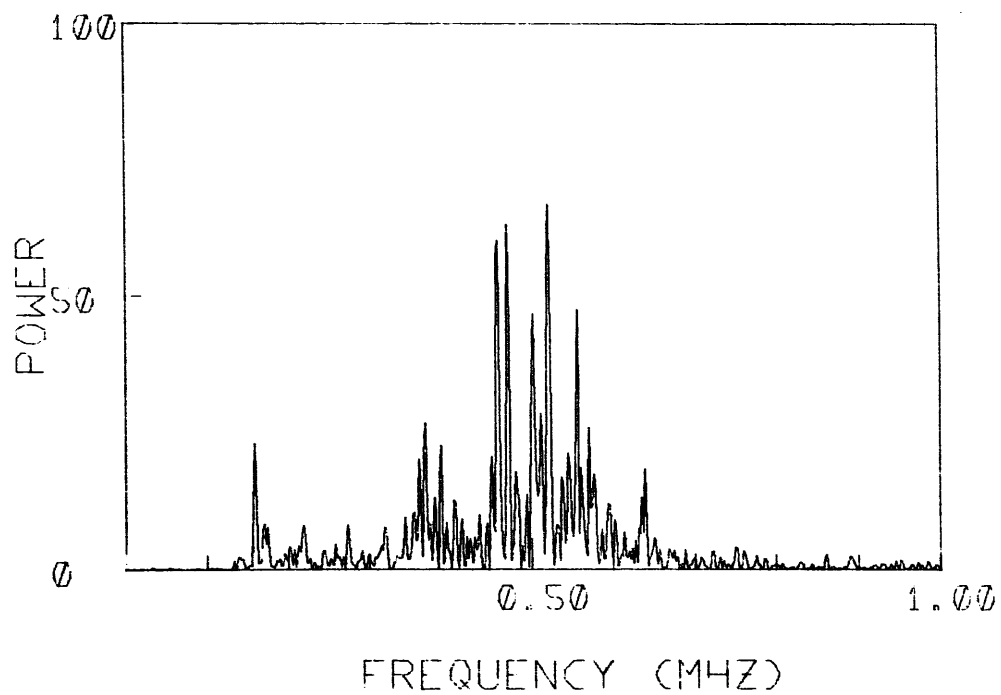
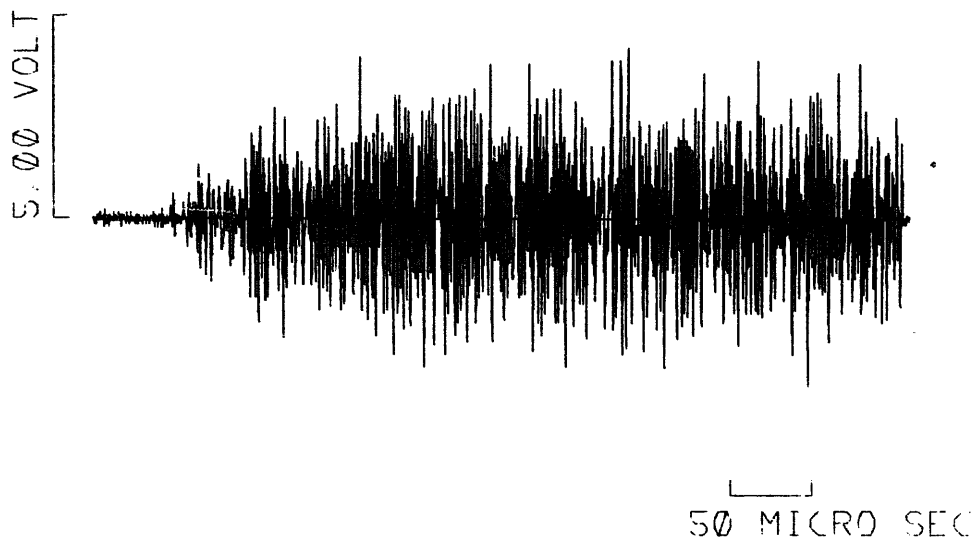
STRESS 11.94

COD 0.42

PEAK-V 1.23

TIME-P 809.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 64-8(N)

EVENT NUMBER 26

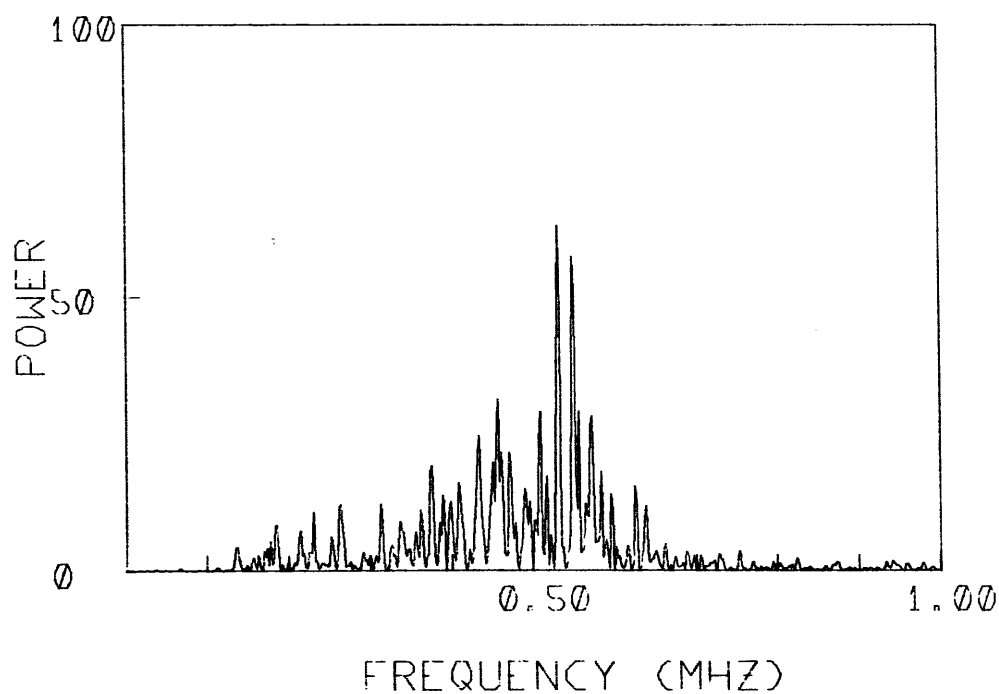
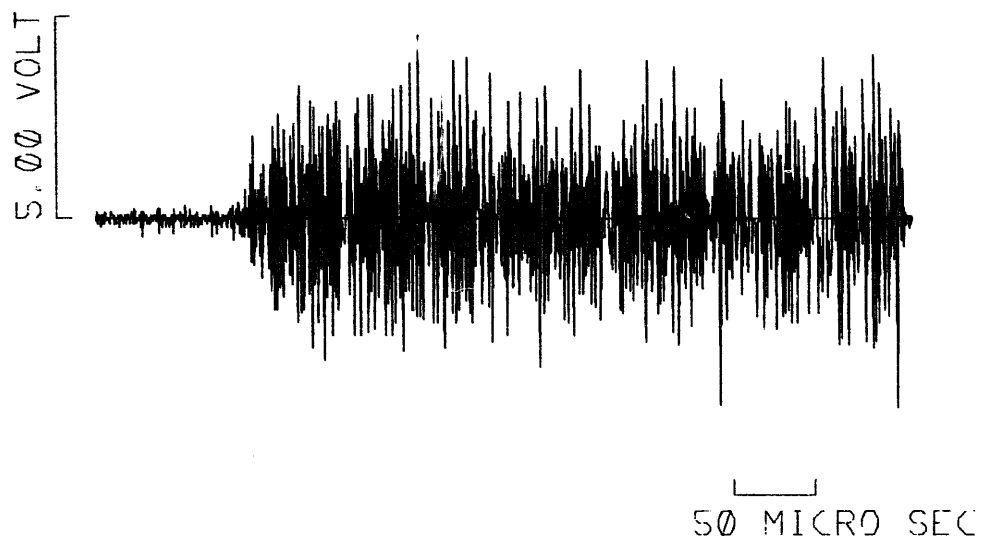
STRESS 12.98

COD 0.04

PEAK-V 3.28

TIME-P 943.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 64-8(N)

EVENT NUMBER 59

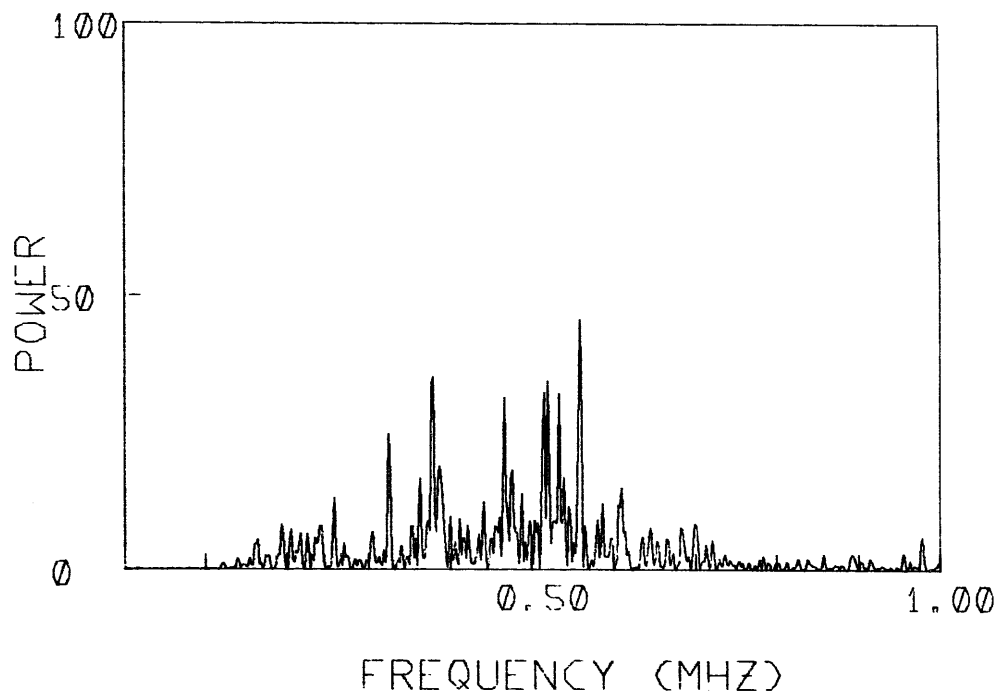
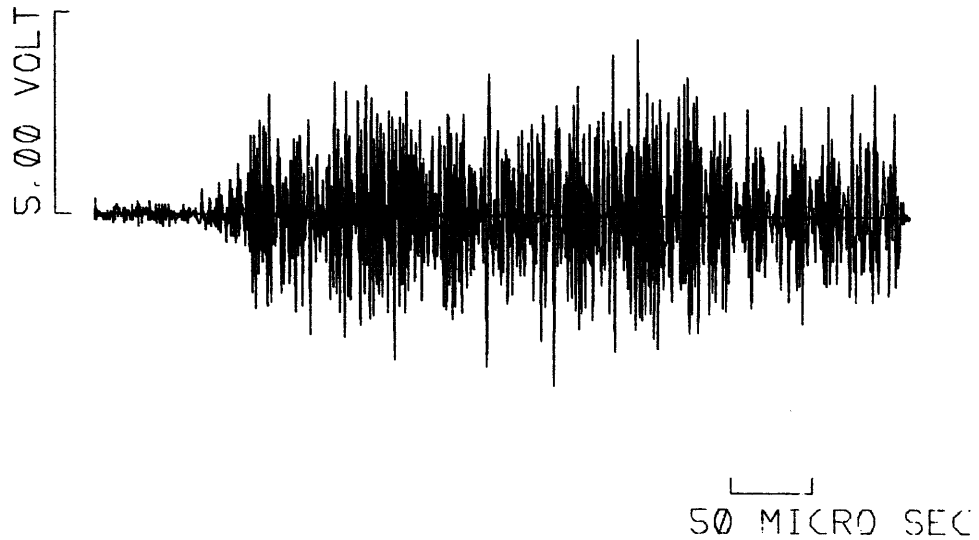
STRESS 15.11

COD 0.12

PEAK-V 1.80

TIME-P 348.0

CHANEL 1



b-5 試験片71-1

Nortec センサによるAE

SPECIMEN NAME 71-1(N)

EVENT NUMBER 6

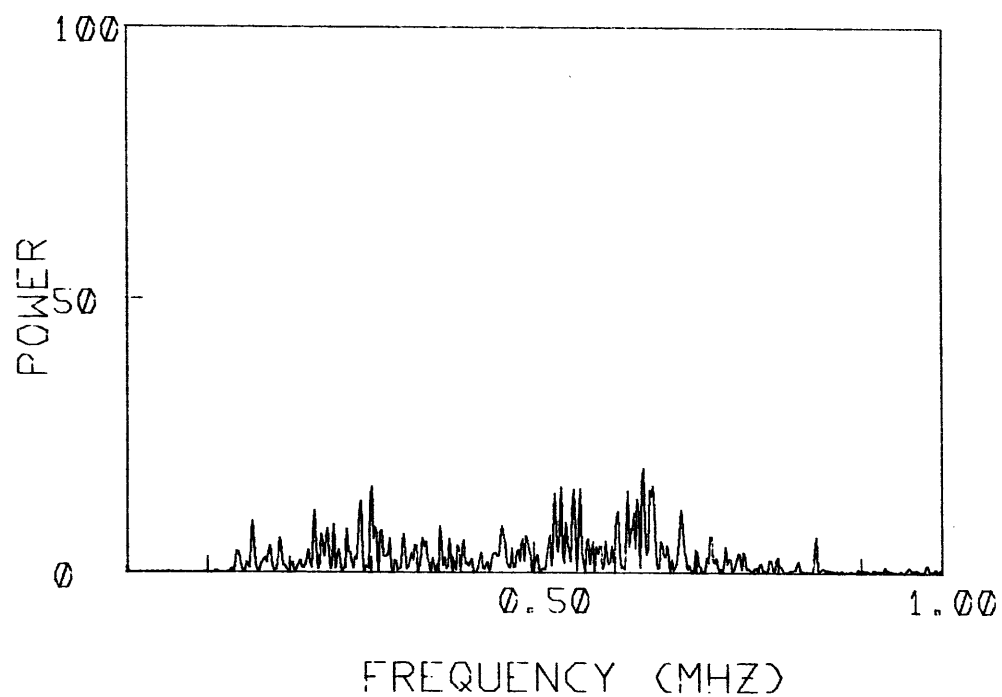
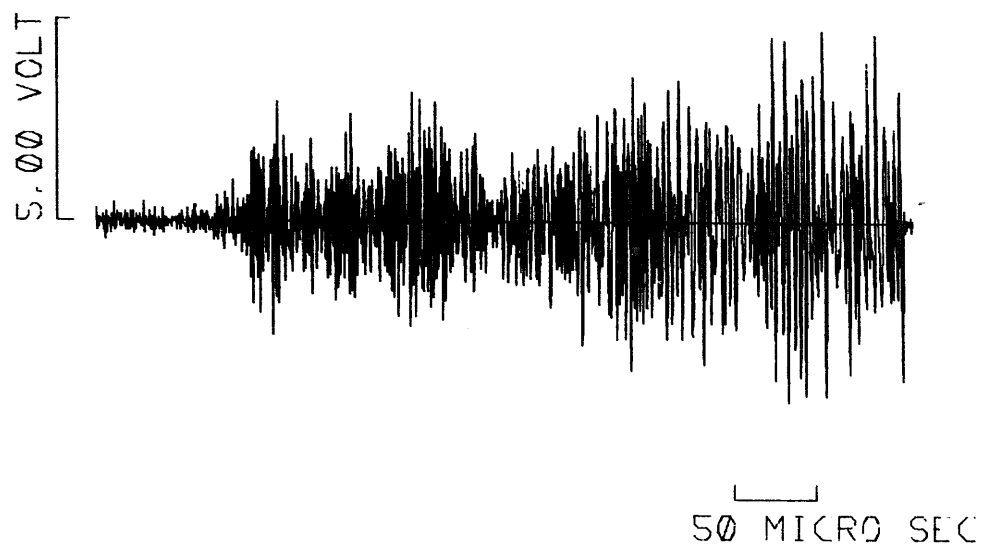
STRESS 29.89

COD 0.36

PEAK-V 3.54

TIME-P 1785.0

CHANEL 1



b-6 試験片71-6
Dunegan センサによるAE

SPECIMEN NAME 71-2(D)

EVENT NUMBER 2

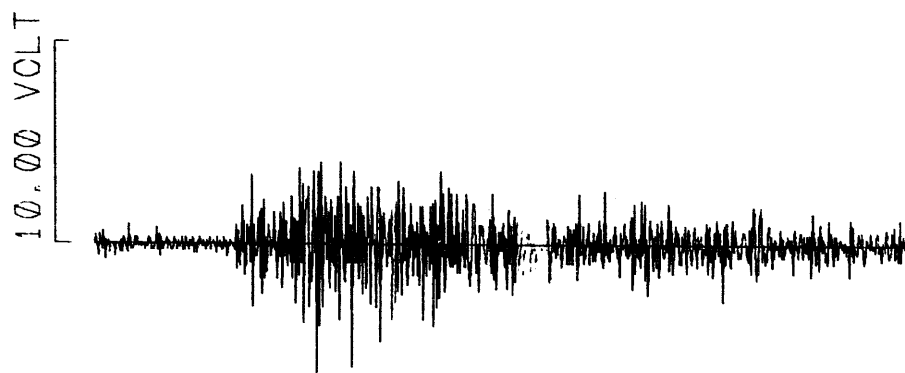
STRESS 21.57

COD 0.35

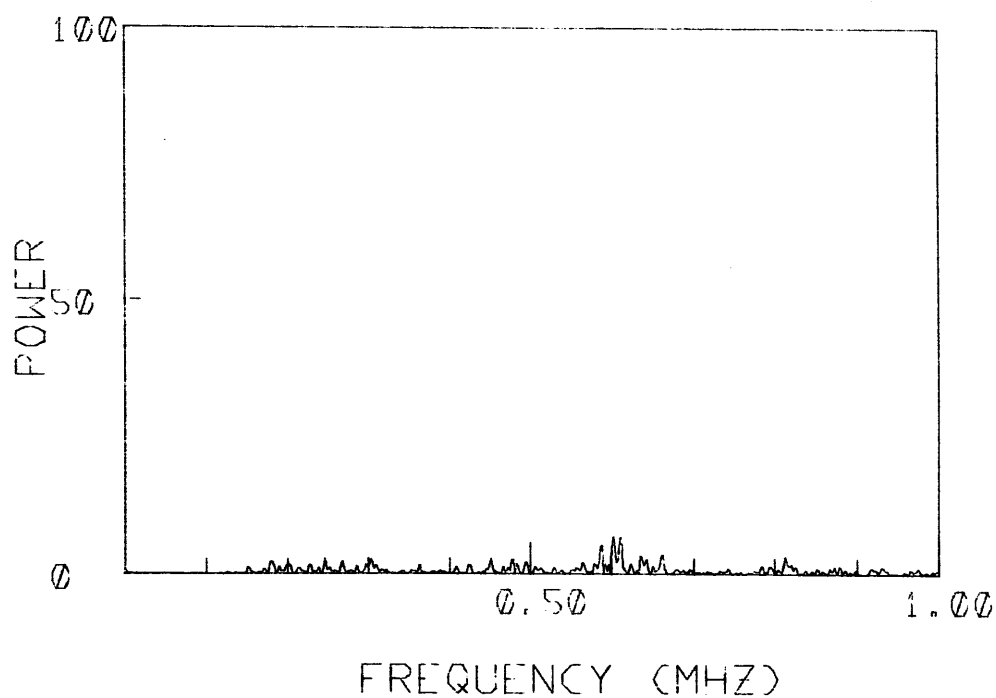
PEAK-V 2.91

TIME-P 153.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 71-2(D)

EVENT NUMBER 4

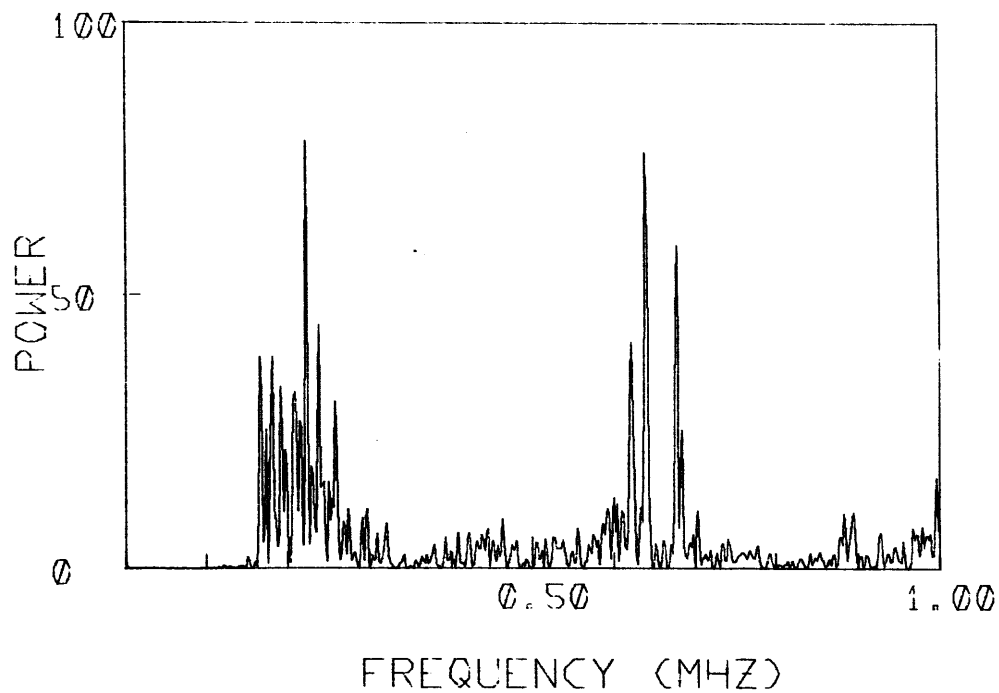
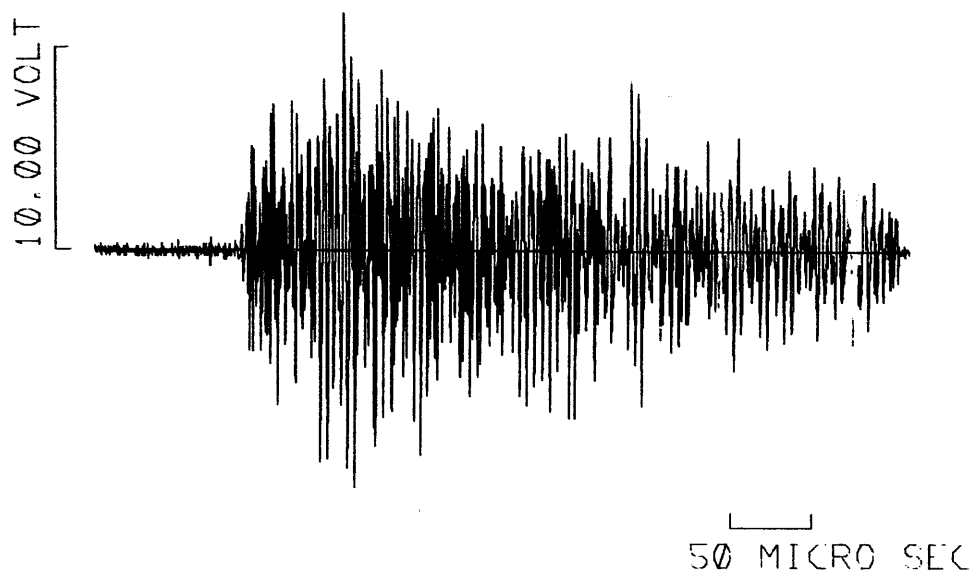
STRESS 30.60

COD 0.56

PEAK-V 0.94

TIME-P 116.0

CHANEL 2



SPECIMEN NAME 71-2(D)

EVENT NUMBER 6

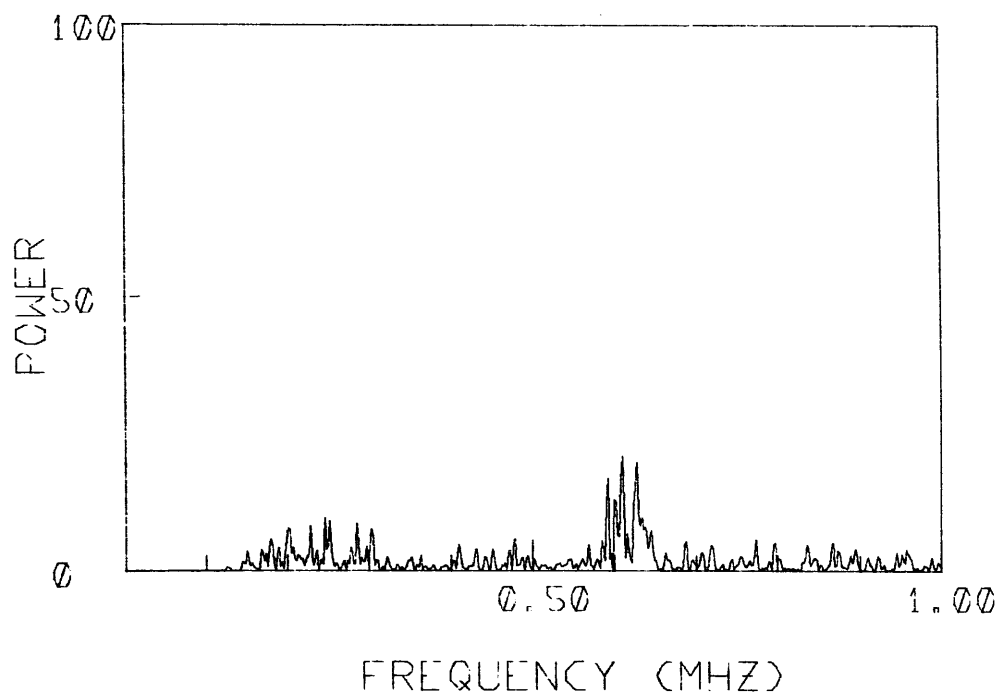
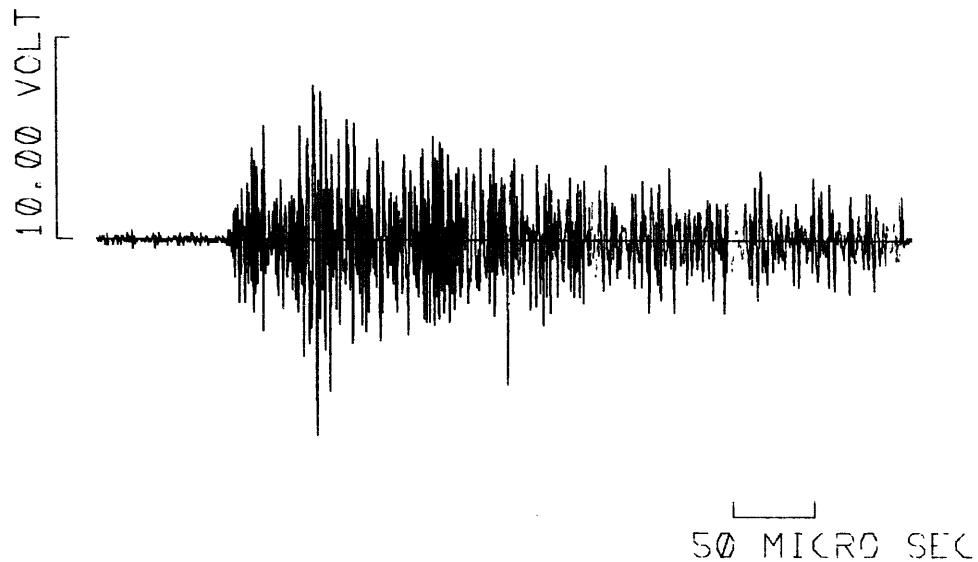
STRESS 32.15

COD 0.61

PEAK-V 1.04

TIME-P 85.0

CHANEL 1



b-7 試験片71-2

Nortec センサによる AE

SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 93

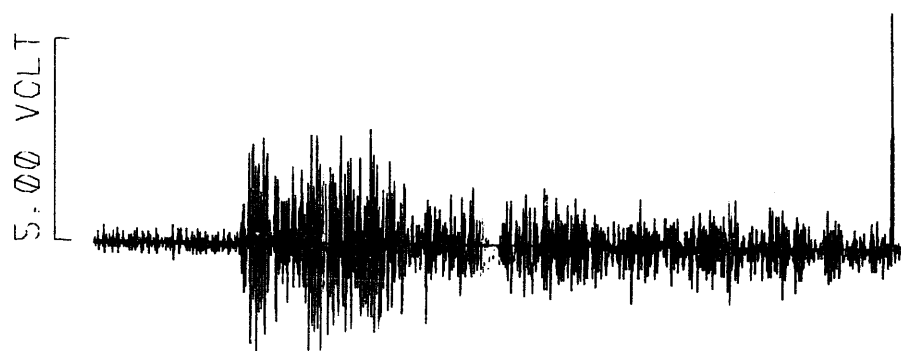
STRESS 20.20

COD 0.34

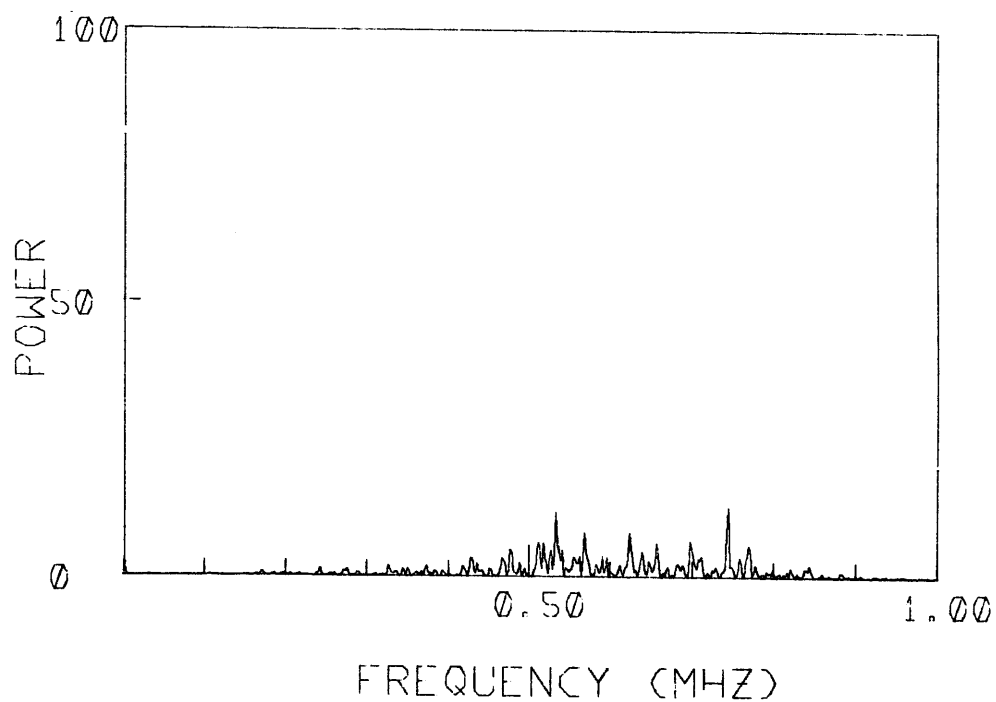
PEAK-V 1.66

TIME-P 69.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC



SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 100

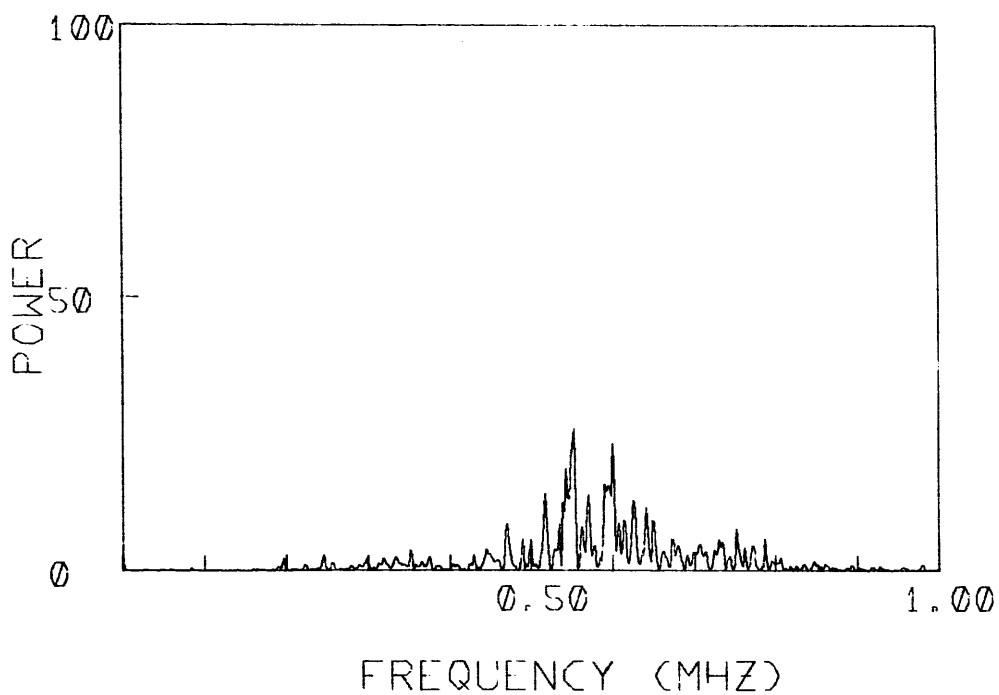
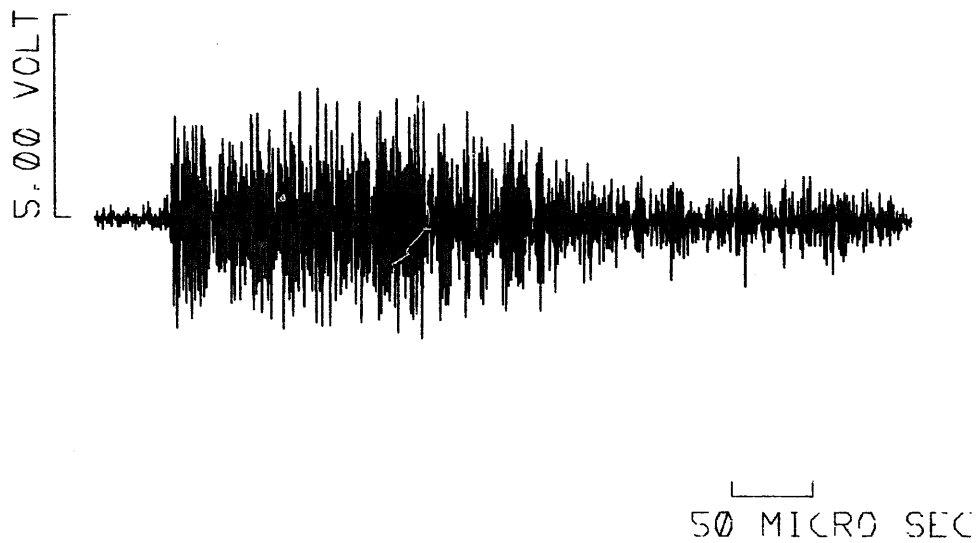
STRESS 25.91

COD 0.46

PEAK-V 1.82

TIME-P 216.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 102

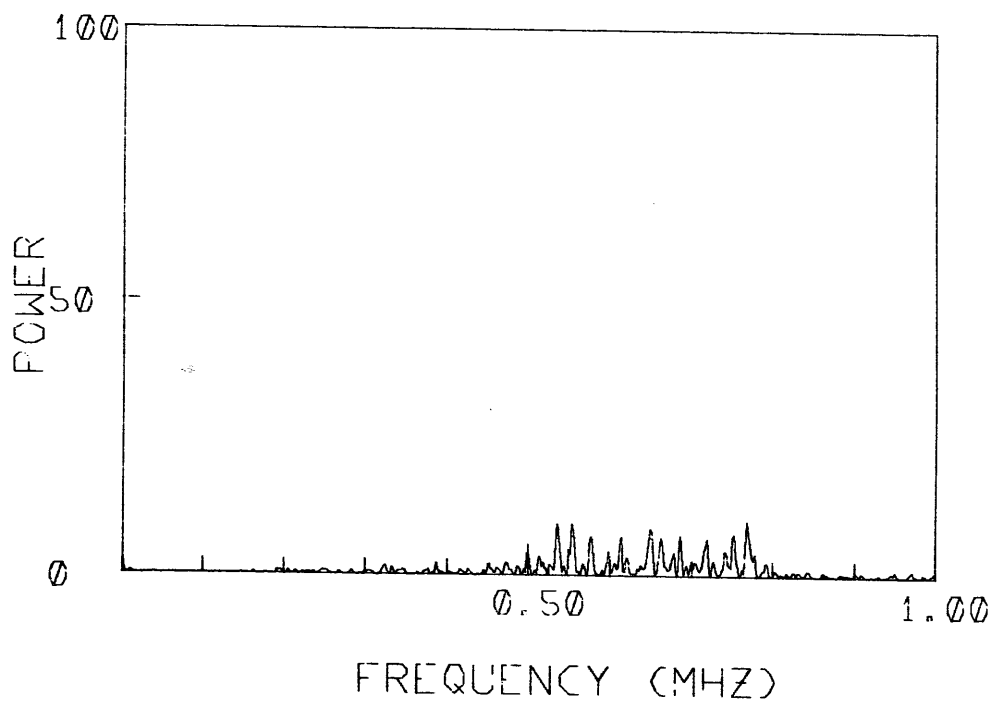
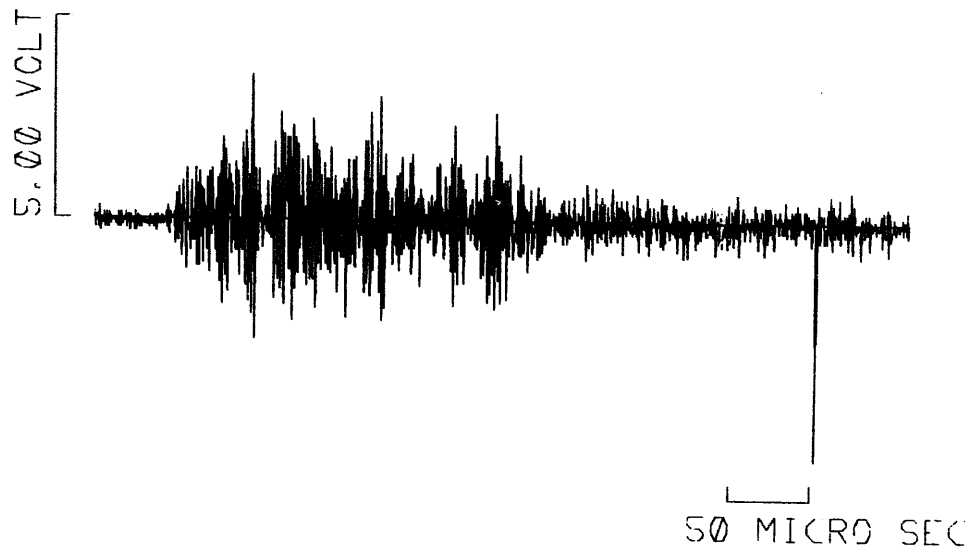
STRESS 28.05

COD 0.52

PEAK-V 3.07

TIME-P 221.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 107

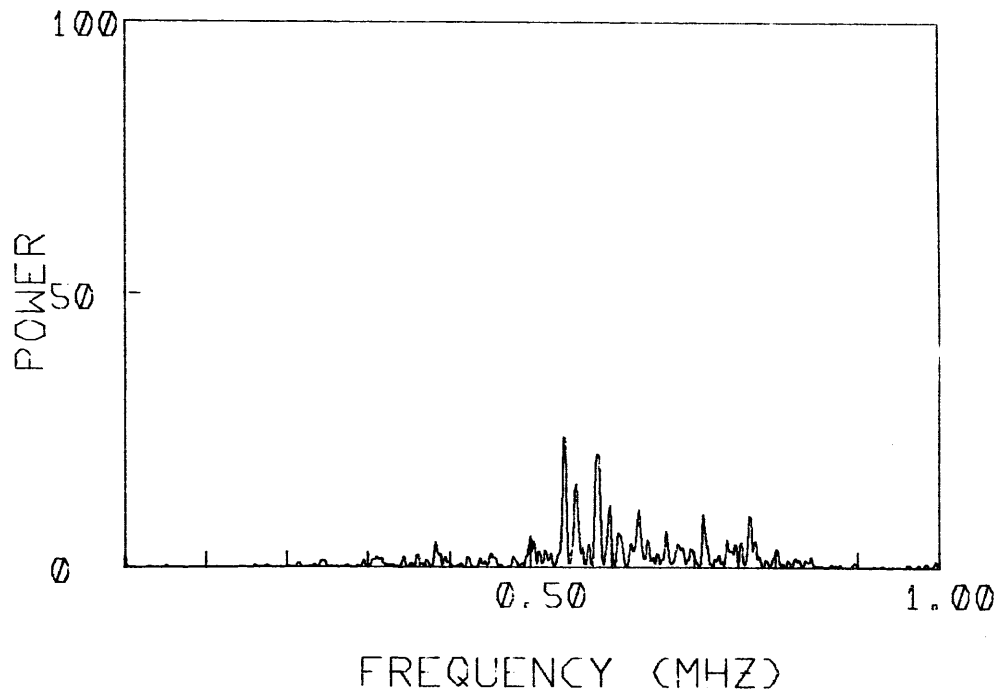
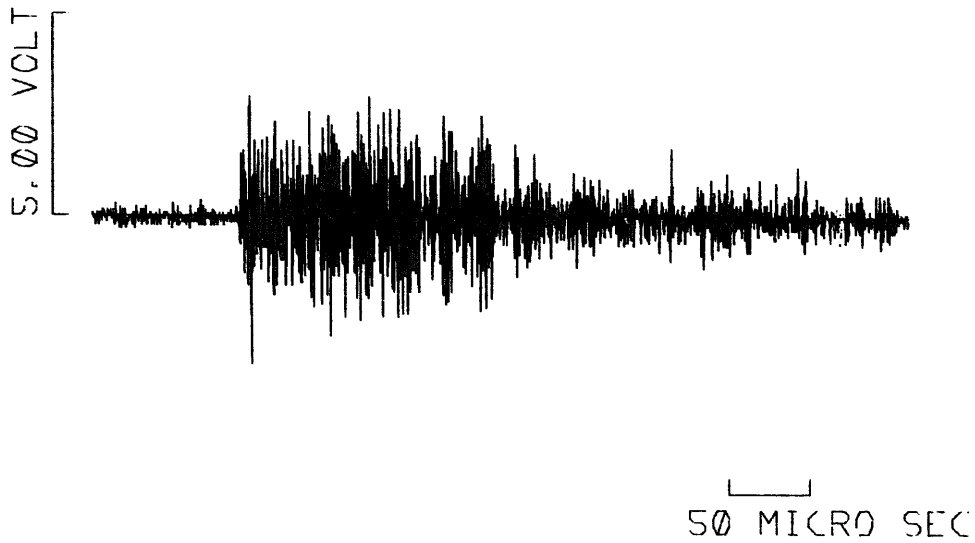
STRESS 29.35

COD 0.56

PEAK-V 2.89

TIME-P 213.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 108

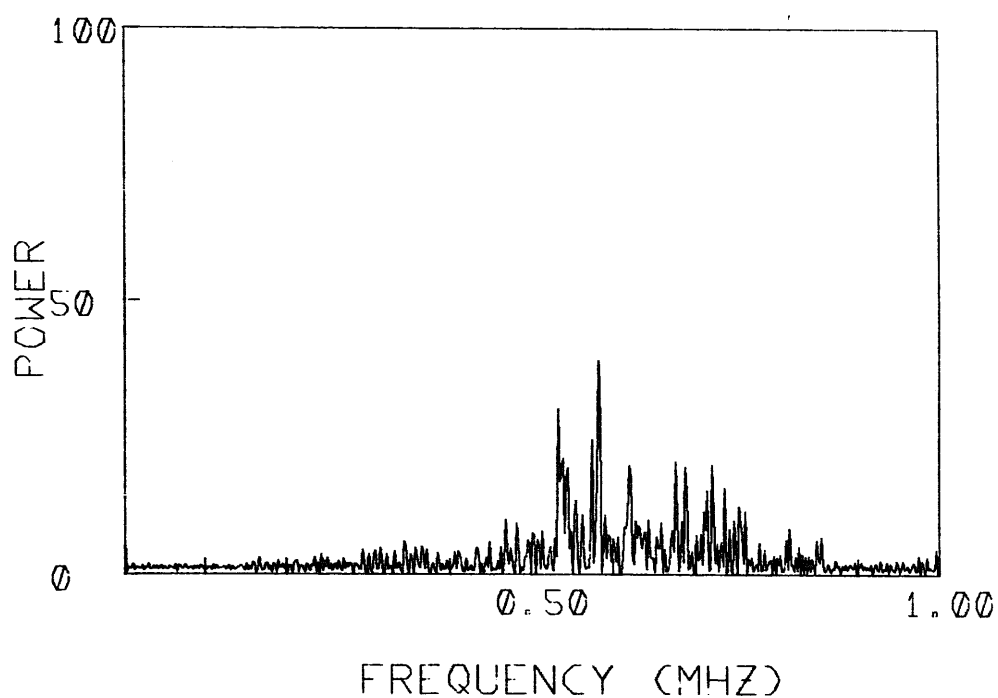
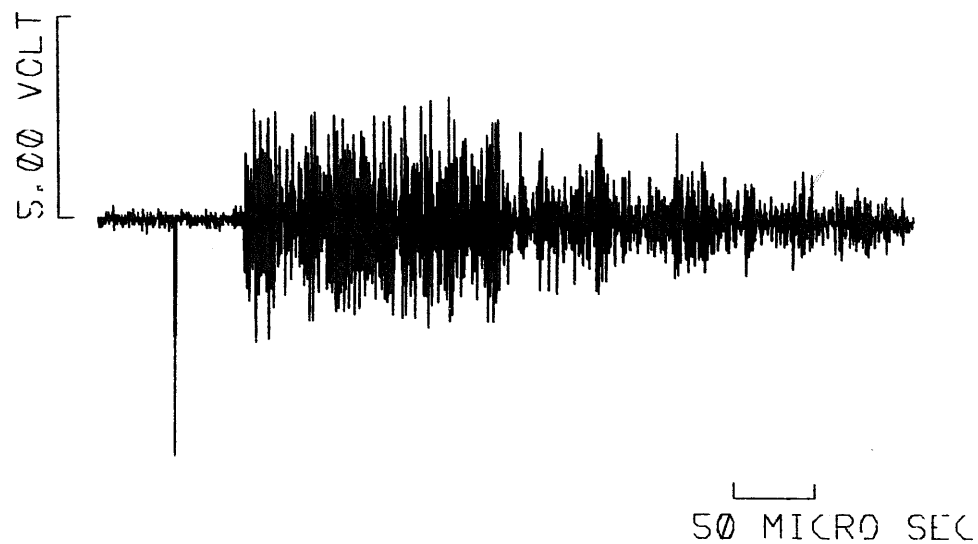
STRESS 29.71

COD 0.57

PEAK-V 1.64

TIME-P 77.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 71-2(N)

EVENT NUMBER 112

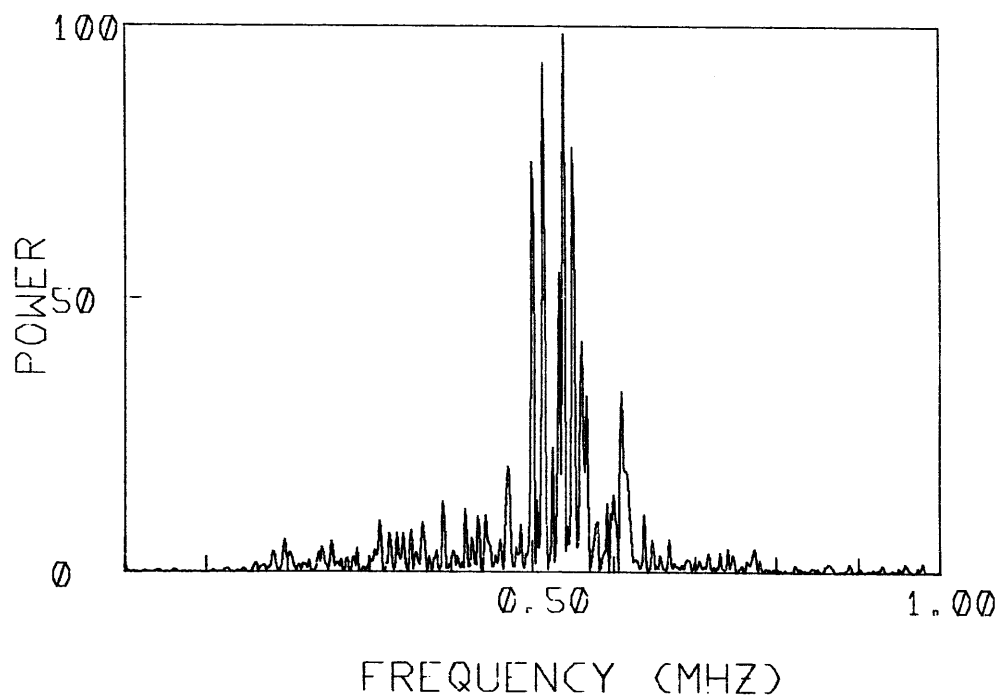
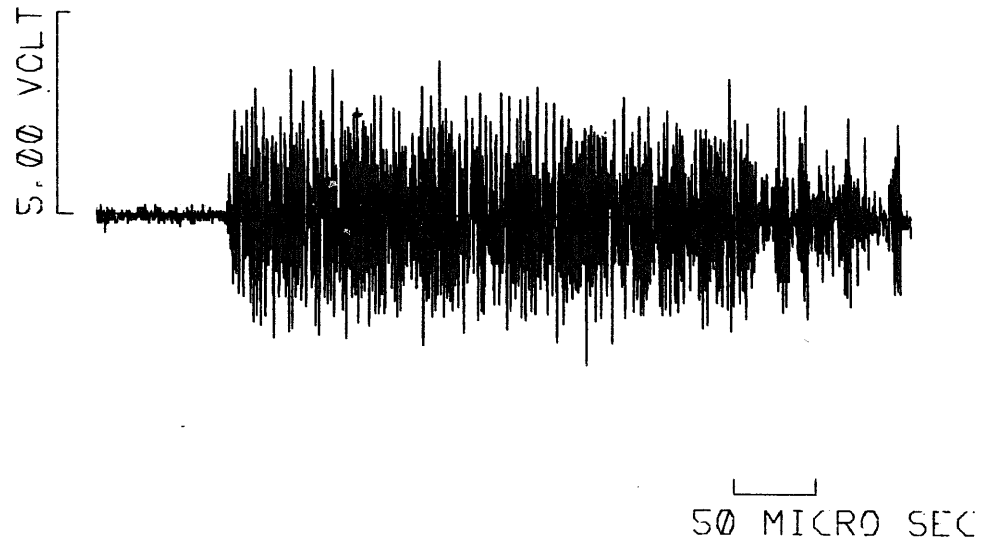
STRESS 30.42

COD 0.59

PEAK-V 1.43

TIME-P 93.0

CHANEL 1



b-8 試験片71-4

Nortecセンサによる A E

SPECIMEN NAME 71-4(N)

EVENT NUMBER 45

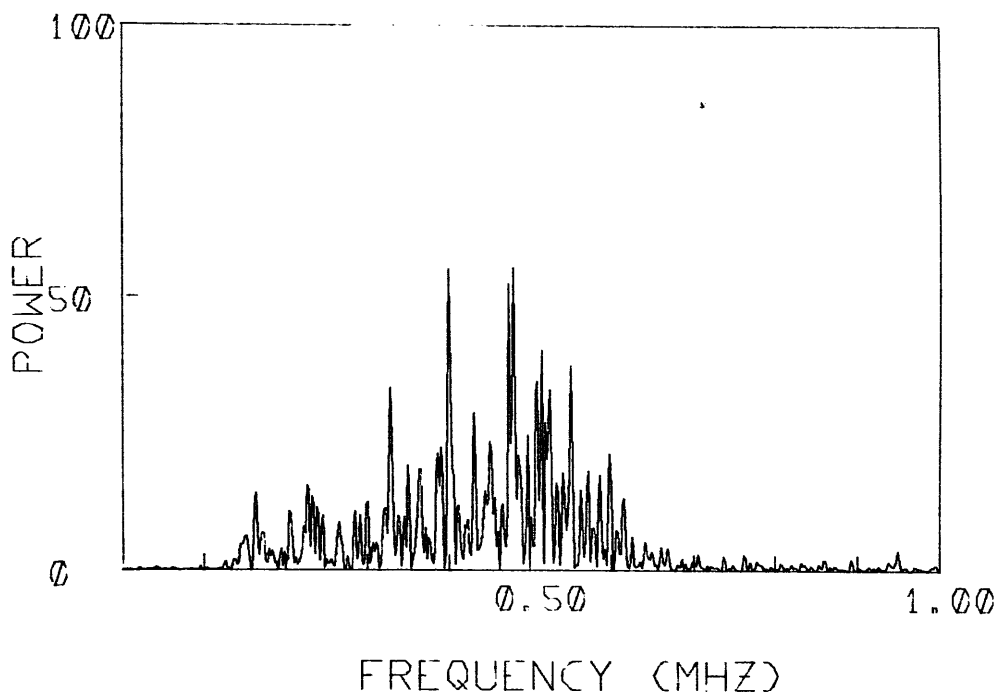
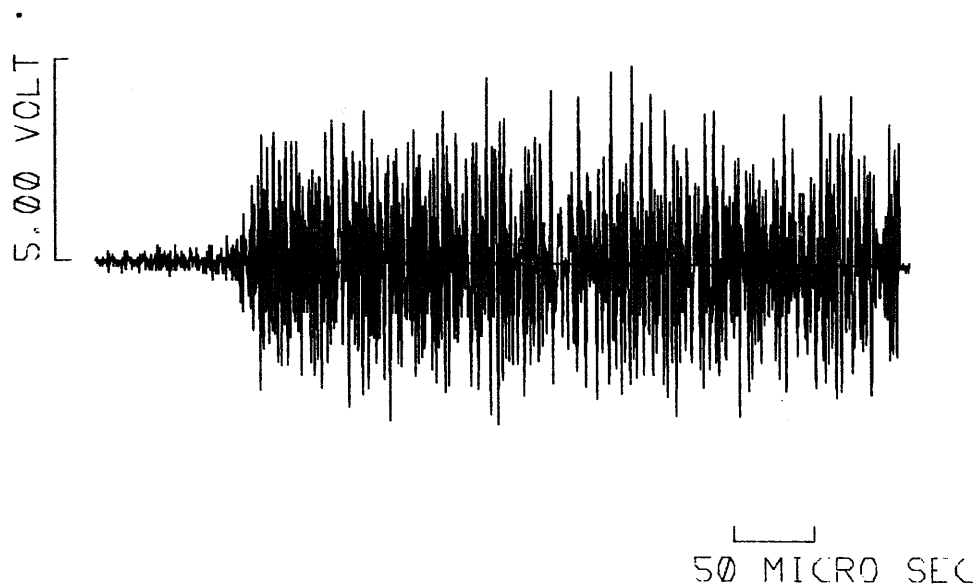
STRESS 17.94

COD 0.50

PEAK-V 0.63

TIME-P 816.0

CHANEL 1



SPECIMEN NAME 71-4(N)

EVENT NUMBER 54

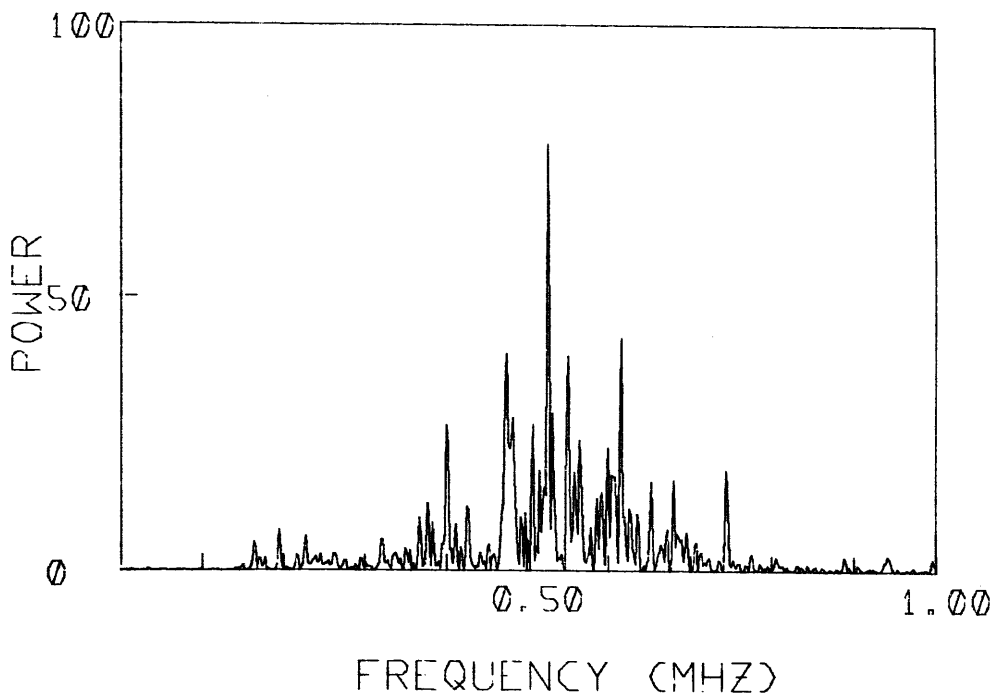
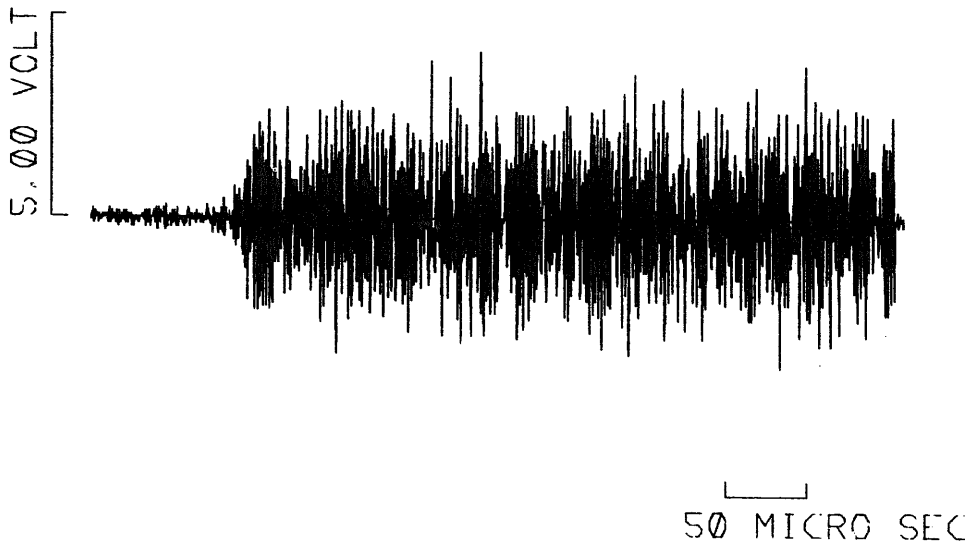
STRESS 20.68

COD 0.60

PEAK-V 3.07

TIME-P 437.0

CHANEL 1



b - 9 試験片71- 6
NortecセンサによるAE

SPECIMEN NAME 71-6(N)

EVENT NUMBER 4

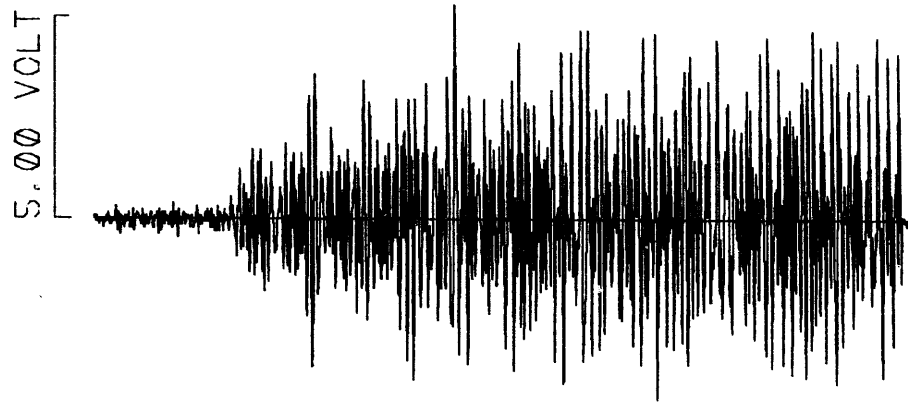
STRESS 15.21

COD 0.69

PEAK-V 2.44

TIME-P 509.0

CHANEL 1



50 MICRO SEC

