

土岐花崗岩を対象としたA E法の カイザー効果時間依存性の調査

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

1999年3月

株式会社 日本パブリック

複製またはこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

研究調整グループ

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to : Co-ordination Group.
Tono Geoscience Center. Japan Nuclear Cycle Development 959-31, Jorinji, Izumi-machi,
Toki-shi, Gifu-ken 509-5102, Japan

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 1999

土岐花崗岩を対象としたA E法のカイザー効果時間依存性の調査

田仲正弘* 三浦玲子*

要 旨

地山の初期地圧を測定する一手法であるA E法は、応力履歴を受けた岩石に再度載荷を行うと、先に受けた応力に達するまでA Eがほとんど発生しないというカイザー効果を利用したものである。このA E法においては、現地で岩石コアを採取してから地圧測定のための一軸圧縮試験を行うまでに時間の経過が生じる。この時間経過がA E法による測定精度に大きな影響を及ぼすという指摘がある。

そこで、土岐花崗岩を対象としてカイザー効果の時間依存性を調べるために、岩石供試体に繰返し載荷で被り圧の2倍の応力(25MPa)を人工的に記憶させ、繰返し載荷から1, 5, 10, 20, 53日経過後にA E法により先行応力を推定した。

その結果、いずれの場合においても先行応力値の2.5%程度の誤差範囲内で比較的精度良く測定された。したがって、土岐花崗岩においては、先行応力を与えてから53日後まではカイザー効果が時間に依存しないことがわかった。

* 本報告書は、(株)日本パブリックが核燃料サイクル機構の委託により実施した業務の成果である。

契約番号……10C1283

担当部課室および担当者：東濃地科学センター 地層科学研究グループ 松井裕哉

* * (株)日本パブリック 技術開発部

An Investigation on the Time Dependence of Kaiser Effect by AE Method in Toki Granite

Masahiro TANAKA *

Reiko MIURA *

Abstract

AE method, a technique for measuring the in-situ rock stress, is based on Kaiser effect in which the Acoustic Emission (AE) hardly occurs when the reload-stress reaches the maximum stress that the rock had experienced in its stress history. In this AE method, there is a time lose during the period of taking the core sample from a field to laboratory for uniaxial tests. And the time lose is supposed to have a great influence on the accuracy of AE method.

In order to investigate the time dependence of Kaiser effect in Toki granite, a series of tests were carried out, in which the rock specimens were artificially made to memorize a double stress level of its overburden pressure (25Mpa) by the cyclic loading and estimated the preload-stress by AE method after 1, 5, 10, 20, 53 days.

As a result, in each case of these, the preload-stress was measured accurately within the limits of 2.5% error. Therefore, it is clarified that, in Toki granite, the Kaiser effect does not depend on time till to 53 days after its preloading.

Work performed by Nihon Public Co., Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

JNC Liaison : Geoscience Research Execution Group. Tono Geoscience Center.

Hiroya MATSUI

* Nihon Public Co., Ltd. Engineering & Development Department

目 次

	ページ
1. 概 要	1
1.1 件 名	1
1.2 目 的	1
1.3 実 施 期 間	1
1.4 内容および数量	1
2. 試 験 方 法	2
2.1 供試体形状と試験方法	2
2.2 人工的な応力値の記憶方法（繰返し載荷）	4
2.3 時間依存性の調査方法	4
2.4 AE法による地圧計測方法	5
3. 試 験 結 果	6
3.1 人工的な応力値の記憶（繰返し載荷）	6
3.2 カイザー効果の時間依存性	16
3.3 カイザー効果の時間依存性の評価	22
4. ま と め	23
〔 巻 末 資 料 〕	
1. AE法試験結果（リングダウン計数法）	付－1
2. AE法試験結果（200kHz 共振）	付－6
〔 記 録 写 真 〕	
1. 岩石供試体	付－11
2. 載荷装置およびAE計測システム	付－14

[図表番号]

	へ - ヨ
図 2.1 供試体形状と測定システム	2
図 2.2 繰返し载荷パターン	4
図 2.3 カイザー効果説明図	5
図 2.4 変形率変化法での応力ひずみ関係	5
図 3.1.1 (1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-2	7
図 3.1.1 (2) AE イベント発生状況 MIU-1-2 2ch	8
図 3.1.2 (1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-3	9
図 3.1.2 (2) AE イベント発生状況 MIU-1-3 2ch	10
図 3.1.3 (1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-5	11
図 3.1.3 (2) AE イベント発生状況 MIU-1-5 3ch	12
図 3.1.4 (1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-6	13
図 3.1.4 (2) AE イベント発生状況 MIU-1-6 2ch	14
図 3.1.5 (1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-4	15
図 3.2.1 試験結果 (MIU-1-2 1日経過後 2ch)	17
図 3.2.2 試験結果 (MIU-1-3 5日経過後 2ch)	18
図 3.2.3 試験結果 (MIU-1-5 10日経過後 3ch)	19
図 3.2.4 試験結果 (MIU-1-6 20日経過後 2ch)	20
図 3.2.5 試験結果 (MIU-1-4 53日経過後 2ch)	21
図 3.3.1 カイザー効果の時間依存性	22
表 2.1 供試体一覧	2
表 2.2 使用機器一覧	3
表 2.3 繰返し载荷と時間依存性試験	4
表 3.2.1 試験結果	16

1. 概 要

1.1 件 名

土岐花崗岩を対象としたA E法のカイザー効果時間依存性の調査
(契約番号：10C1283)

1.2 目 的

一般に、A E法により初期地圧応力測定を実施する場合には、岩芯採取から測定までの時間の経過とともに、「カイザー効果」の原理を利用して算定される応力値が小さく見積もられることが指摘されている。本件では、土岐花崗岩を対象として、A E法による初期応力測定を実施する際の、カイザー効果の時間依存性を把握する。これにより、これまでの実施してきたA E法による初期応力測定データの品質を確認するデータを取得する。

1.3 実 施 期 間

自 平成 10年 12月 10日

至 平成 11年 3月 19日

1.4 内容および数量

- | | |
|--------------------|-------|
| i) カイザー効果の時間依存性の調査 | 1 式 |
| ii) 報告書の作成 | 1 4 部 |

2. 試験方法

2.1 供試体形状と試験方法

図2.1に供試体の形状と測定システムの模式図を示す。供試体は直径36mm、高さ72mmの円柱形の土岐花崗岩（表2.1参照）で、試験は図に示すように供試体上下端面にアルルダイトで載荷板を接着する。なお、供試体の写真を巻末資料に収めてある。

表2.1 供試体一覧表

試料番号	採取位置 (GL-m)	方 向	岩 種	φ (mm)	断面積 (cm ²)	高さ (mm)	体積 (cm ³)	重さ (g)	密度 (g/cm ³)
MIU-1-2	441~ 442m	鉛 直	花崗岩	36.10	10.24	71.90	73.59	192.0	2.61
MIU-1-3		鉛 直	花崗岩	36.20	10.29	72.05	74.16	192.0	2.59
MIU-1-4		鉛 直	花崗岩	36.15	10.26	72.00	72.05	192.0	2.66
MIU-1-5		鉛 直	花崗岩	36.10	10.24	71.75	73.44	190.9	2.60
MIU-1-6		鉛 直	花崗岩	36.10	10.24	72.00	73.69	192.0	2.61

AEセンサーは150kHzの共振型を使用する。センサーの配置は図に示したように供試体側面の上下方向に直列に3個配置し、各センサーへの到達順位から中央のセンサーに1着に到達したものを集計することにより、上下端面や載荷盤から発生した音と供試体内部（岩石内）から発生したAEを区別する。なお、予備として、200kHzの共振型センサーを対面の中央部に1個取り付ける。

AEの測定はAEセンサーで捉えた信号をプリアンプで40dB、アンプで50dBの計90dB増幅する。しきい値はノイズレベルより若干高めに設定する。

また、岩石のひずみを測定するために、AEセンサーが取り付けられていない2つの面に、ひずみゲージを各面に並列に2枚ずつ接着する。

試験の制御方法は荷重制御で、載荷速度は5MPa/minを基本とする。ただし、繰返し時の初期載荷と繰返し後の時間依存性の試験時には2.5MPa/minとする。

表2.2にAE測定装置など使用機器一覧を示す。

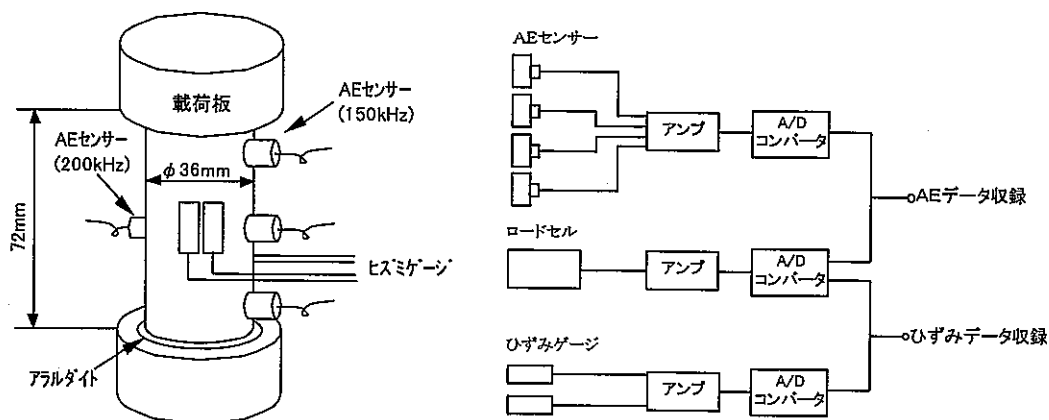


図2.1 供試体形状と測定システムの模式図

表 2.2 使用機器一覧

	機器名	型式名	仕 様	メーカー	
A E 測定装置	A E センサー	AE154AW	・150kHz共振	富士セラミックス	
		AE-904DM	・200～500kHz共振	NF回路ブロック	
	プリアンプ	6100	・高周波(50kHz～2MHz) ・増幅度(20dB or 40dB)	(株)昭和電気研究所	
	A E 信号 処理装置	メインアンプ AEしきい 値 プリアンプ 電源保護	NAIS6000	・増幅度 ・周波数特性 ・入力インピーダンス ・最大出力	(株)昭和電気研究所
				最大60dB(f=200kHz) 10kHz～1MHz(-3dB) 75Ω 20VP-P以上	
				・設定範囲 ・分解能 ・精度	
			・出力電圧 ・電源遮断電流	DC28V 約150mA	
ひずみ測定装置	ひずみゲージ	KFG-10-120-C1-11L30C2R	・ゲージ長 ・ゲージ率 ・抵抗値 ・適合線膨張計数	10mm 2.1 120Ω $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	(株)共和電業
	ブリッジボックス	DB-120P	・対応ゲージ ・ケーブル長	120Ωゲージ 5m	(株)共和電業
	動ひずみアンプ	MCC-16A	動ひずみ測定器カードDPM-11A内蔵		(株)共和電業
			・測定点数 ・ゲージ率 ・非直線性 ・適用ゲージ抵抗 ・応答周波数範囲 ・ブリッジ電源 ・平衡調整範囲	16点 2.00 $\pm 0.2\%FS$ 60～1000Ω 0～2.5kHz 2Vrms正弦波 R:純電子式オプ・トランス、 精度 $\pm 1 \times 10^{-6}$ ひずみ、 10, 30, 100, 300, 1000Hz, F	
	A-D変換器	ADC-160A	・チャンネル数 ・入力電圧 ・分解能 ・変換精度 ・サンプリング形式 ・サンプリングタイム ・変換速度 ・バッファメモリ ・電源	16CH $\pm 5V$ 16 bit $\pm 0.025\%FS$ 同時サンプリング 5μS～10S 5μS/ch 1Mワードまたは4Mワード AC90～130V 50/60Hz	(株)共和電業
	載荷装置		サポパック	・静的最大荷重 ・動的最大荷重 ・最大荷重速度 ・最大変位 ・加振周波数範囲	$\pm 12000\text{kg}$ $\pm 10000\text{kg}$ $\pm 3\text{cm/sec}$ $\pm 30\text{mm}$ DC0.001 10Hz

2.2 人工的な応力値の記憶方法（繰返し载荷）

カイザー効果の時間依存性を調べるために、まず岩石に予想される鉛直応力の2倍の応力を繰返し载荷して人工的に記憶させる。本試験で用いる土岐花崗岩は採取深度が441～442mなので、予想される鉛直応力は、 $\sigma_z = 441.5\text{m} \times 2.6\text{g/cm}^2 = 115\text{kgf/cm}^2 = 11.3\text{MPa}$ である。よって、2倍程度の25MPaを先行応力として与えるものとする。

繰返し回数は、残留ひずみが一定となるまで、かつAEの発生がなくなるもしくは定常的となるまでとする。本試験では150回を目安とする。（表2.3参照）

図2.2に繰返し载荷のパターンを示す。

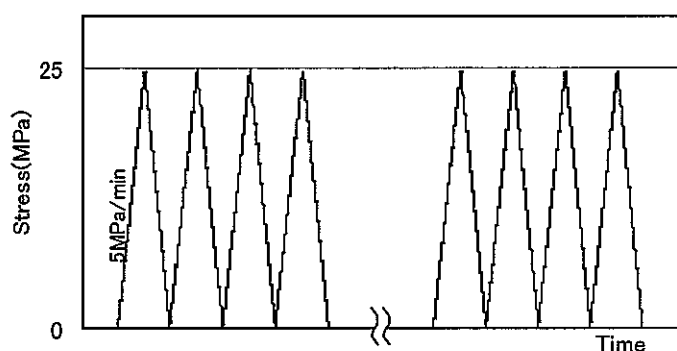


図2.2 繰返し载荷パターン

表2.3 繰返し载荷と時間依存性試験

供試体No.	先行応力を与えてからの日数	先行応力 (MPa)	繰返し载荷数
MIU-1-2	1	25	150
MIU-1-3	5	25	150
MIU-1-5	10	25	160
MIU-1-6	20	25	160
MIU-1-4	53	25	150

2.3 時間依存性の調査方法

供試体に繰返し载荷を行ってから1日、5日、10日、20日、53日後に試験を行い、AE法により先行応力を推定する。このときの载荷応力は先行応力の2倍の50MPaとする。なお、試験はDRA法も併せて実施するため、5回繰返し载荷する。

2.4 AE法による地圧計測方法

AE法による初期地圧を推定する方法は、カイザー効果に基づいている。カイザー効果とは、応力履歴を受けた材料を再び载荷すると、先行応力レベルまではAEの発生が少ないという現象である（図2.3参照）。AE法では地山から採取した試料に室内で一軸圧縮応力を加え、AEの発生が急増する応力レベルを、その方向の初期地圧とみなしている。

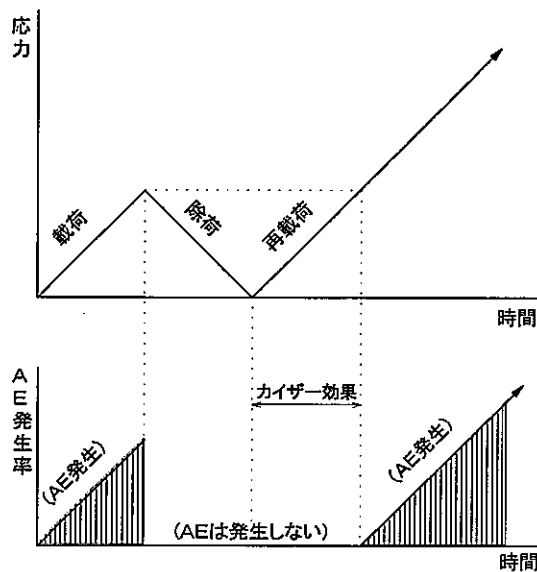


図2.3 カイザー効果説明図

変形率変化法(DRA法)による初期地圧を推定する方法は、応力履歴を受けた岩石に再び先行荷重以上の繰返し载荷を行った時にみられる応力-ひずみ関係の非線形性が利用される（図2.4参照）。すなわち、繰返し载荷各回での同じ応力レベルにおけるひずみ差を求め、その応力と差ひずみの関係に見られる変曲点が初期地圧に相当するものとみなされている。

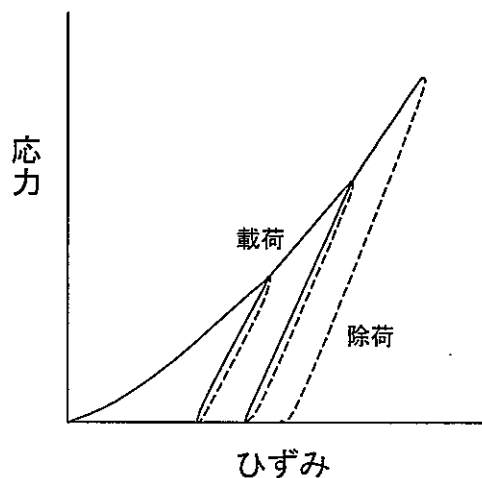


図2.4 変形率変化法での応力ひずみ関係

3. 試験結果

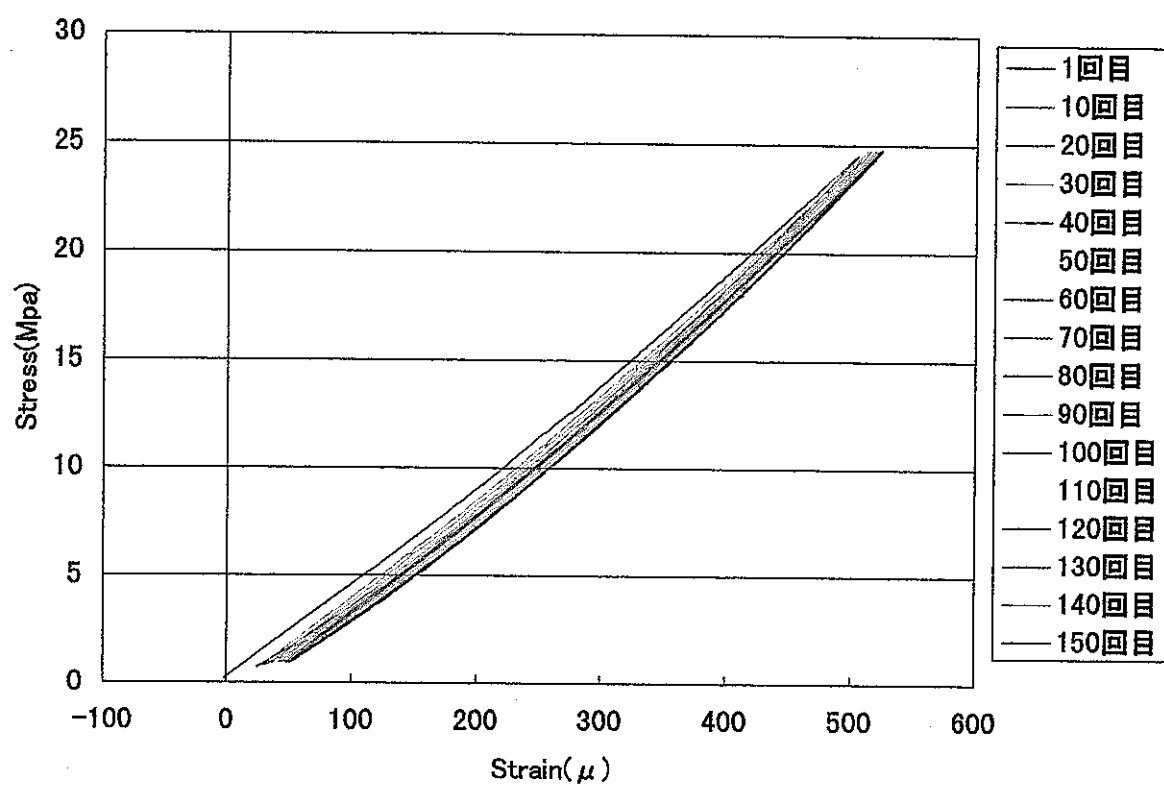
3.1 人工的な応力値の記憶（繰返し载荷）

岩石供試体に先行応力を与えるための繰返し载荷を 150 回程度としたが、その回数が妥当かどうかを判断するために、载荷中の軸方向ひずみと A E 発生状況を測定した。妥当性の判断は、前記（2 章の 2.2 節）したが、残留ひずみが一定あるいは A E の発生が定常的になることとした。その測定結果を図 3.1.1(1), (2)～図 3.1.5(1)に示した。図 3.1.1

(1), (2)は供試体 No. MIU-1-2 の結果で、(1)が载荷 1 回目, 10 回目, 20 回目と 10 回おきに 150 回までのひずみ変化を重ねて示した結果であり、図中にはひずみ変化の全体図と残留部を詳細にみるための拡大図も示している。これらの図は横軸がひずみ量 (μ)、縦軸が応力 (MPa) である。なお、このひずみ変化は 2 面に貼ったひずみゲージの平均値をプロットしたものである。図 3.1.1(2)が A E 発生状況で、载荷 1 回目と 10 回目, 100 回目, 150 回目の A E 発生状況を示した。図の横軸は経過時間(sec)、縦軸が A E イベントの発生率(counts/2sec)を示している。また、図 3.1.2(1), (2)は供試体 No. MIU-1-3、図 3.1.3(1), (2)は MIU-1-5、図 3.1.4(1), (2)は MIU-1-6、図 3.1.5(1)は MIU-1-4 の結果である。なお、供試体 No. MIU-1-4 において、A E の収録に欠陥があり解析不能であったため、図化することができなかった。

図 3.1.1(1) (MIU-1-2) をみると、繰返し载荷 120 回目付近から残留ひずみがほぼ一定になっていることがわかる。(2)をみると、A E は数回目あたりから発生状況が変わらなくなっている。他の供試体での結果をみても MIU-1-2 と同様に残留ひずみは 110 回から 140 回目程度で、A E は数回目からほぼ一定になる傾向が伺われる。

したがって、土岐花崗岩においては、先行応力を与えるための繰返し载荷回数は 150 回程度で十分であるものと思われる。



拡大図

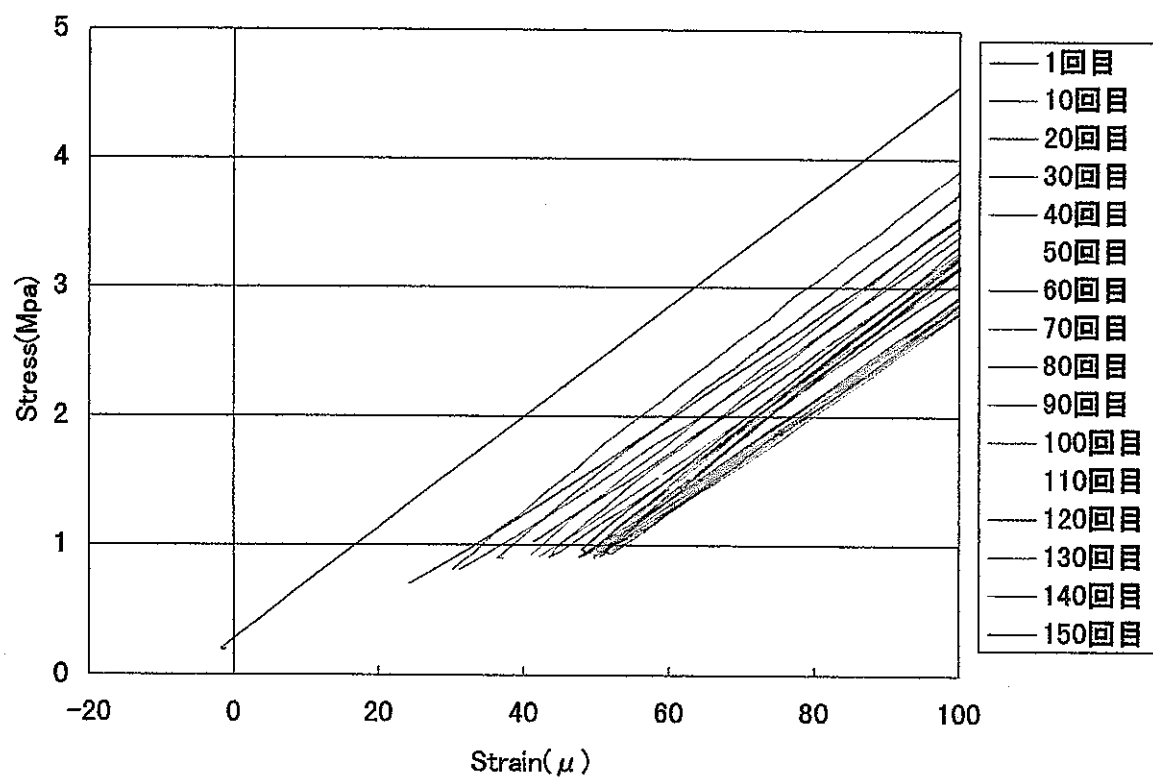


図 3.1.1(1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-2

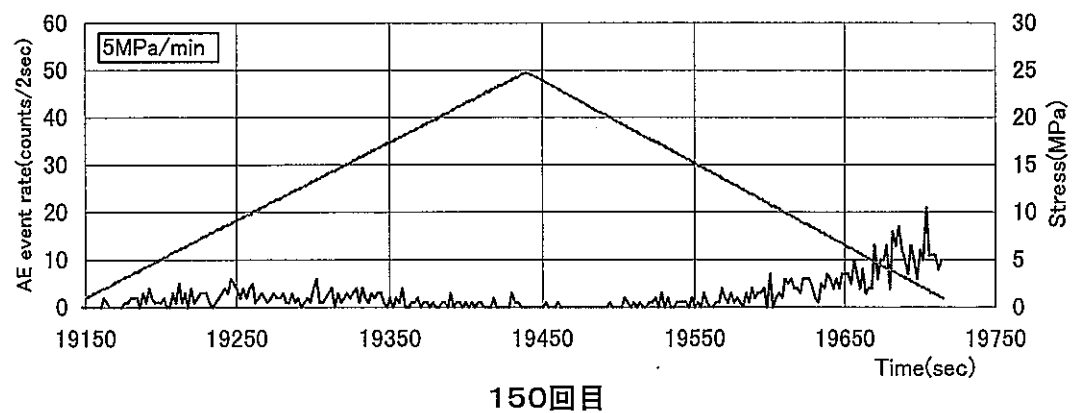
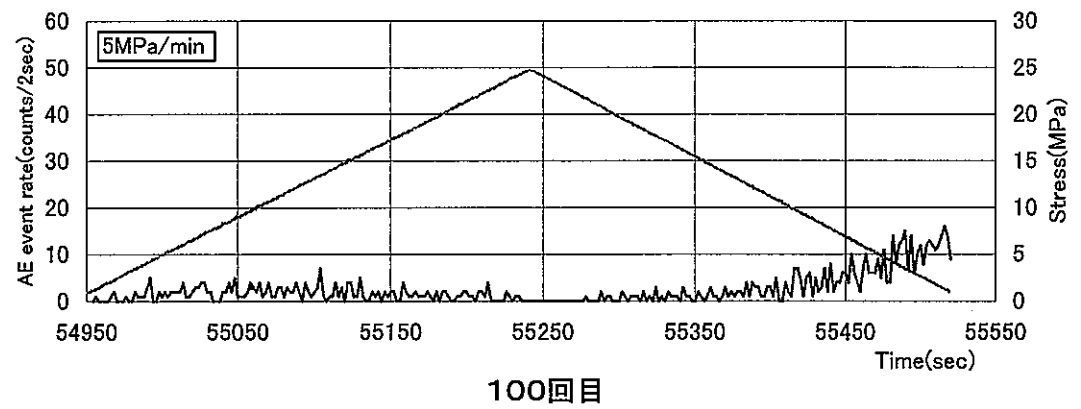
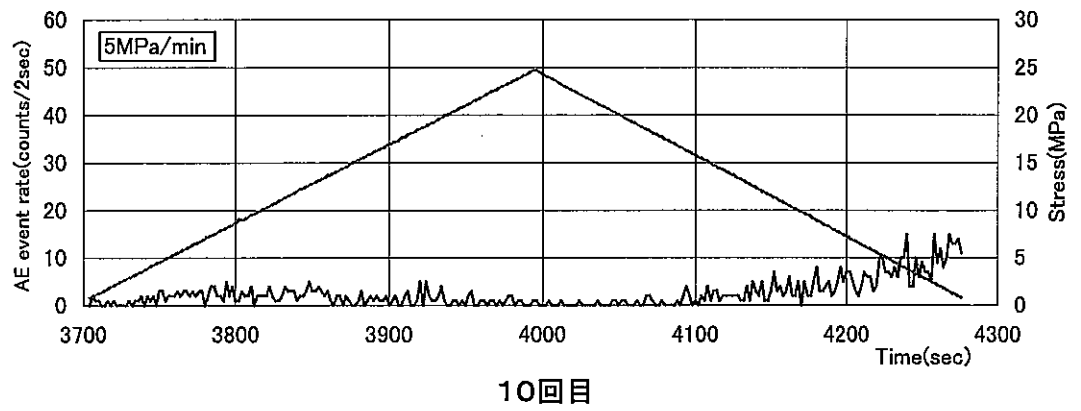
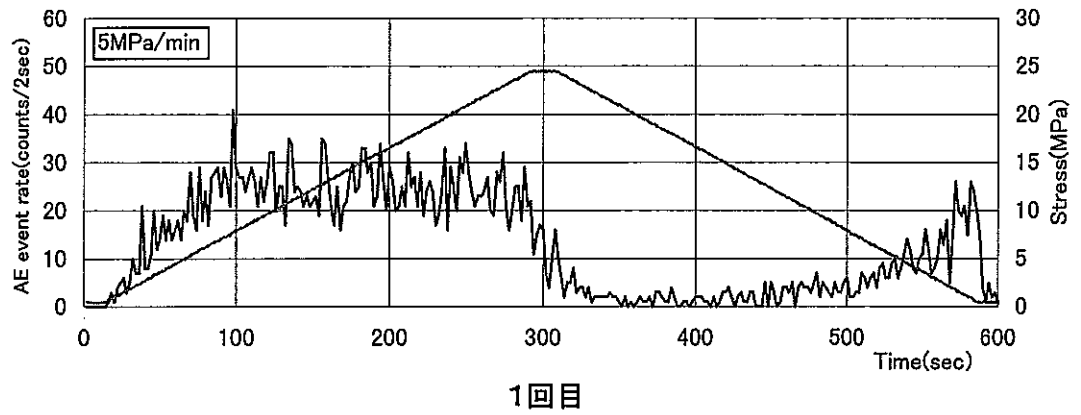
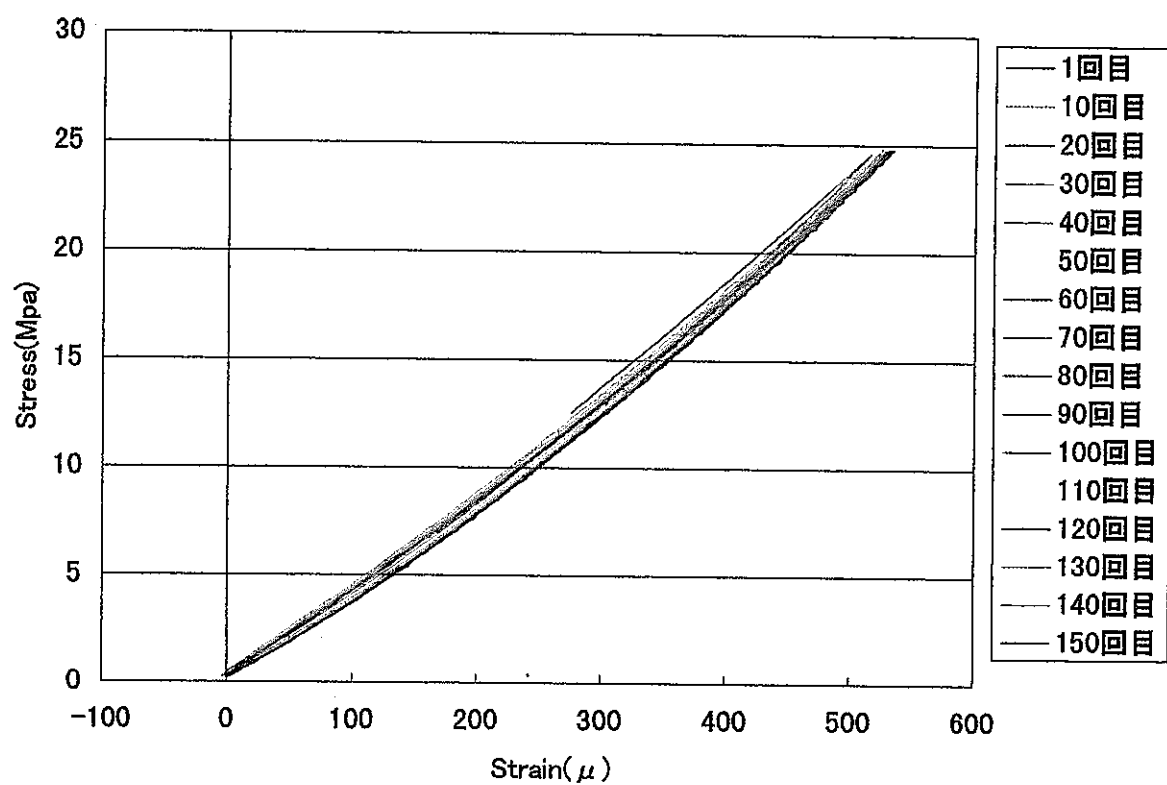


図 3.1.1(2) AEイベント発生率 MIU-1-2 2ch(150kHz)



拡大図

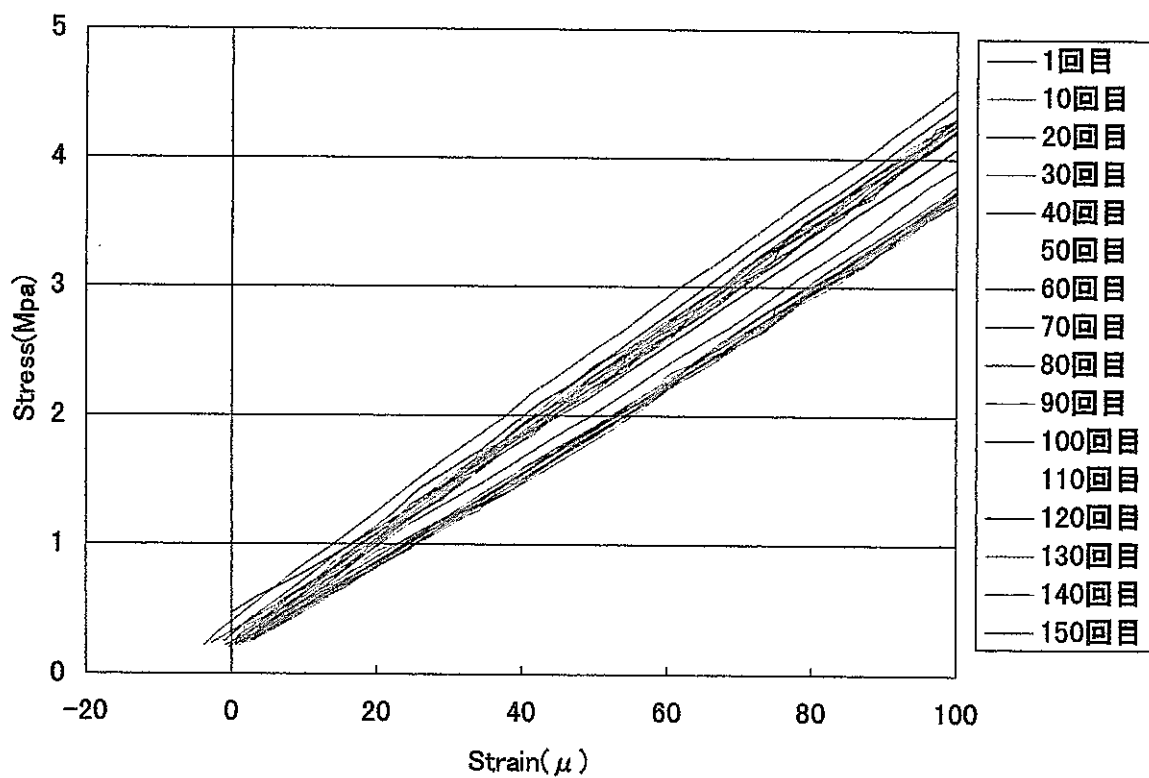


図 3.1.2(1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-3

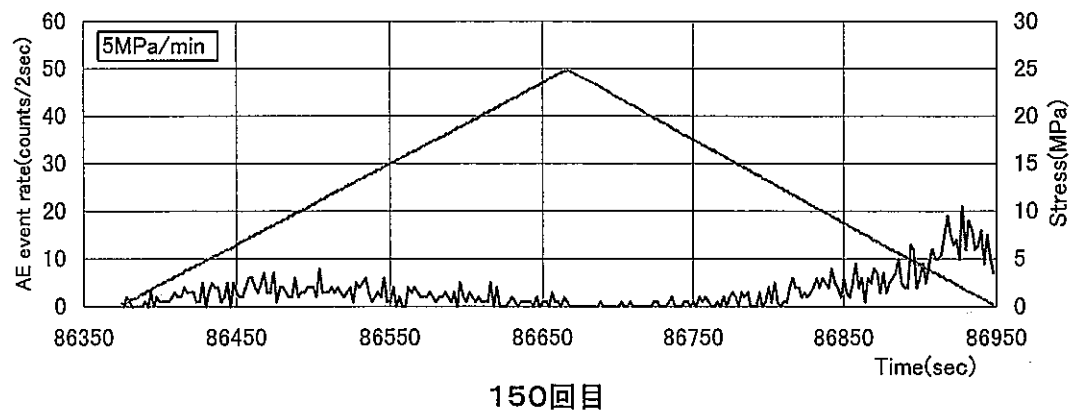
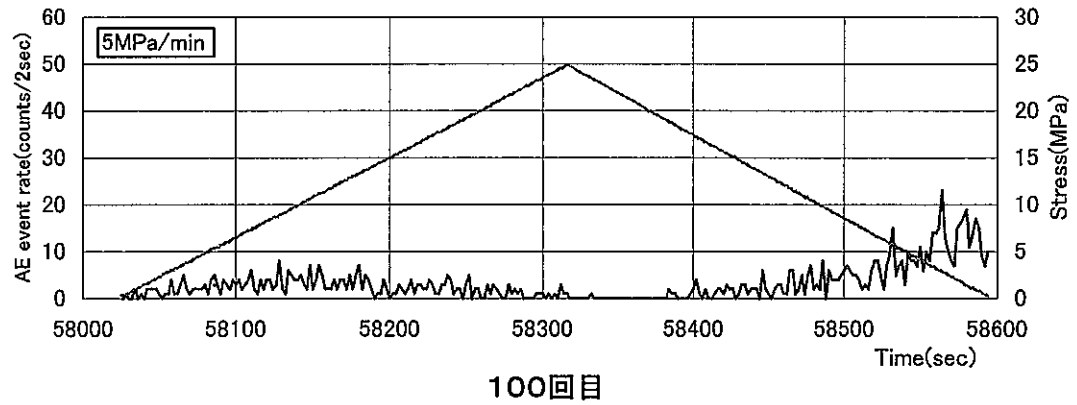
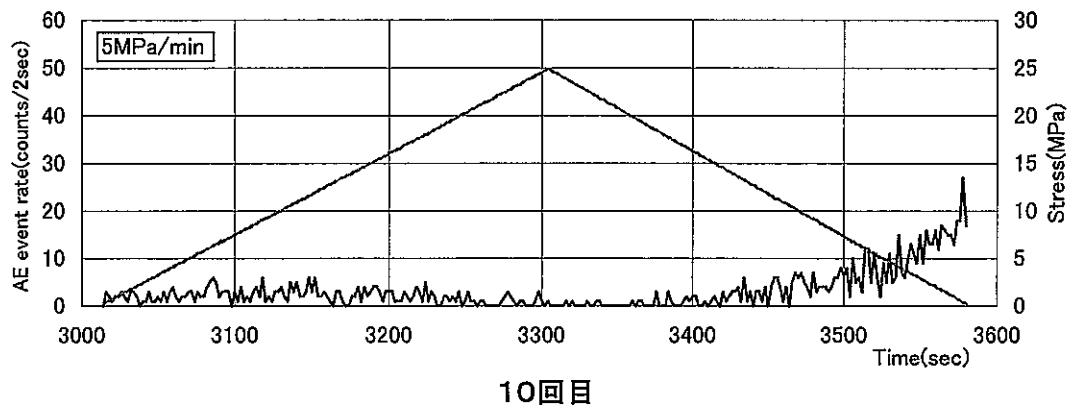
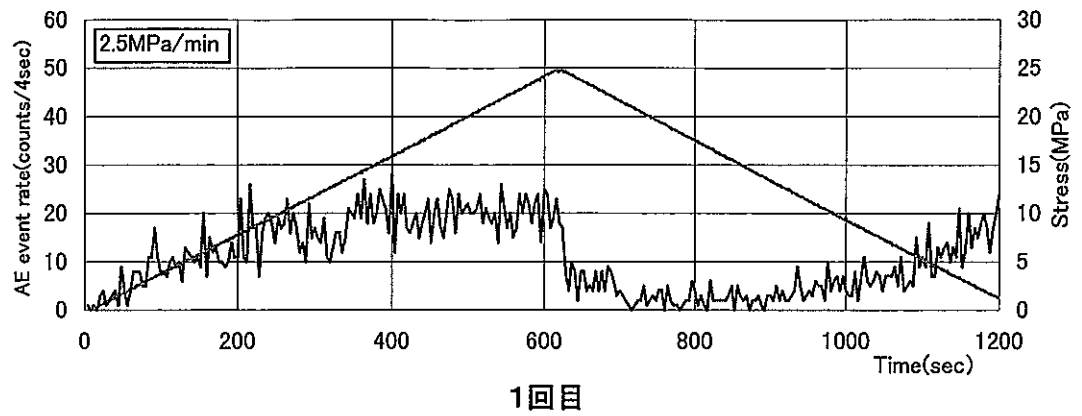
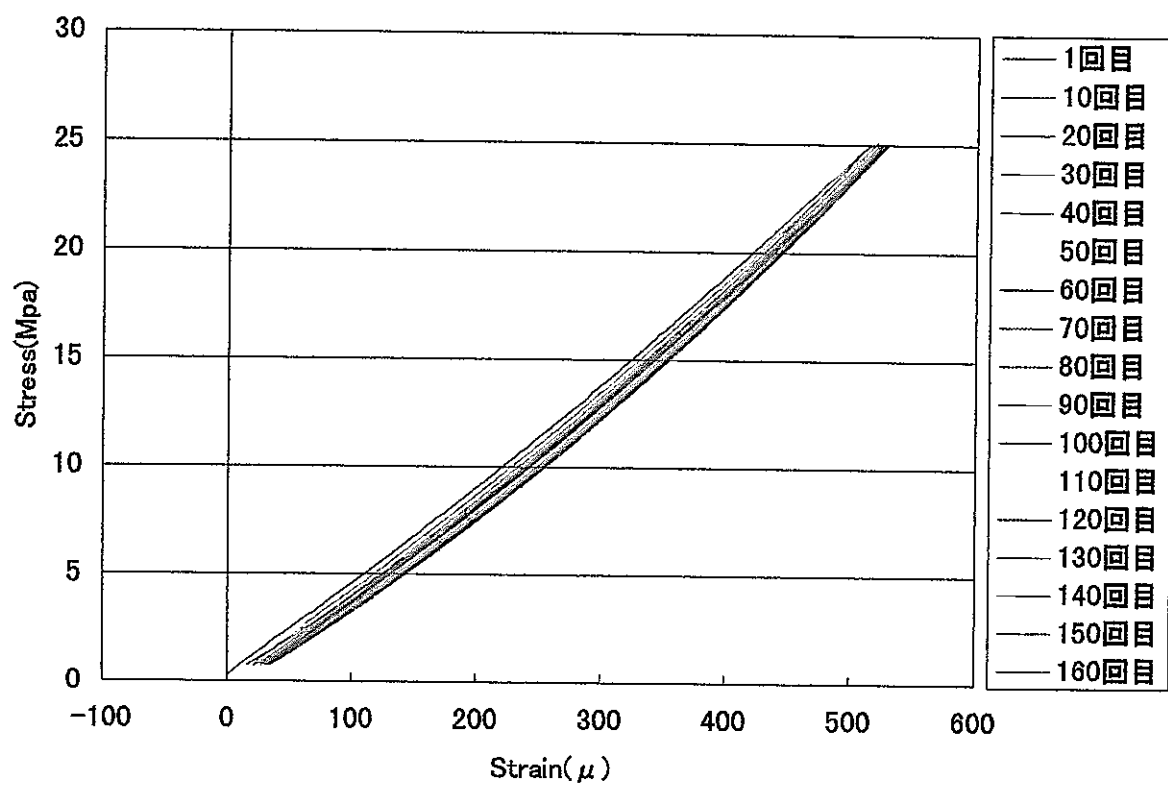


図 3.1.2(2) AEイベント発生率 MIU-1-3 2ch(150kHz)



拡大図

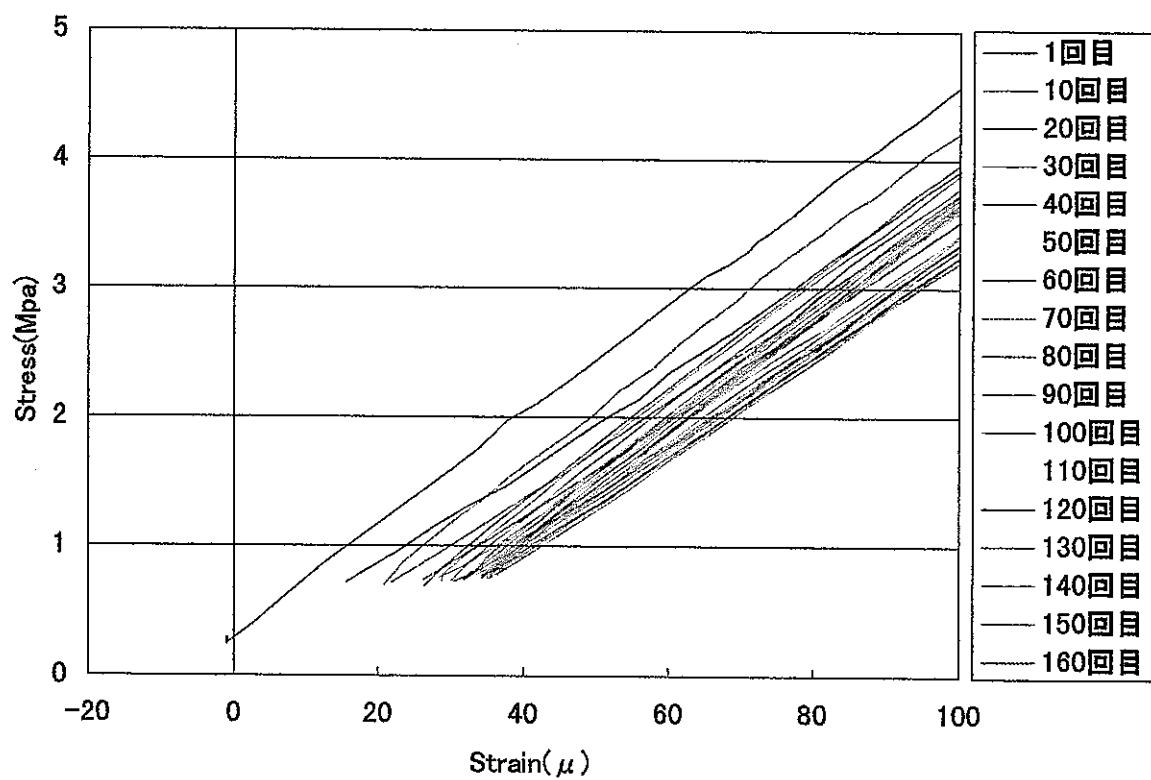
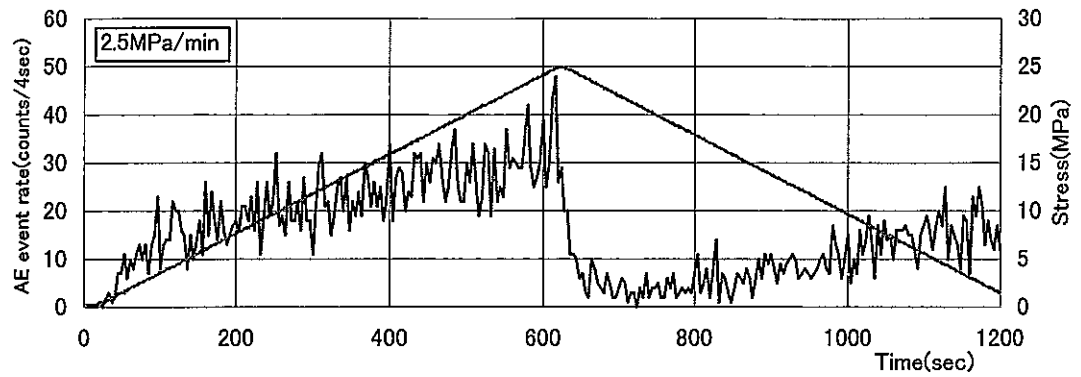
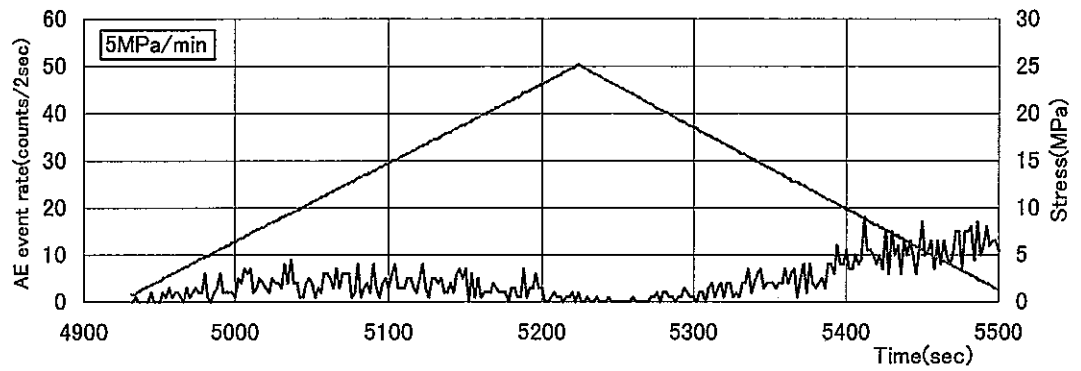


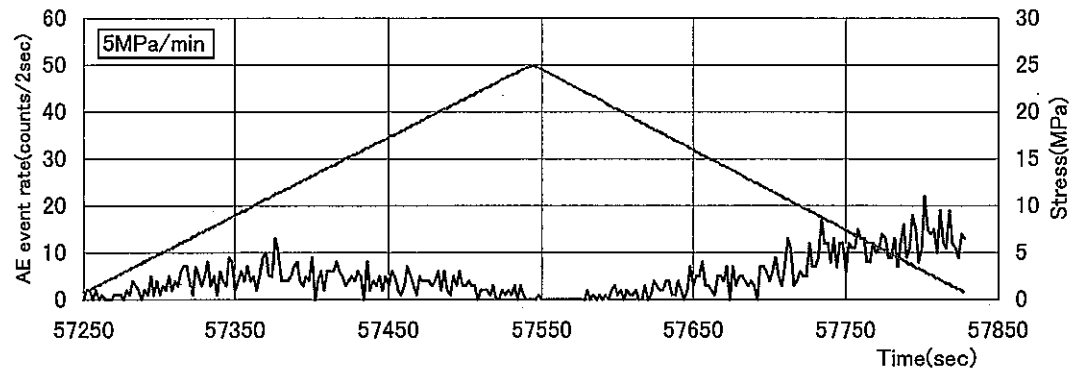
図 3.1.3(1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-5



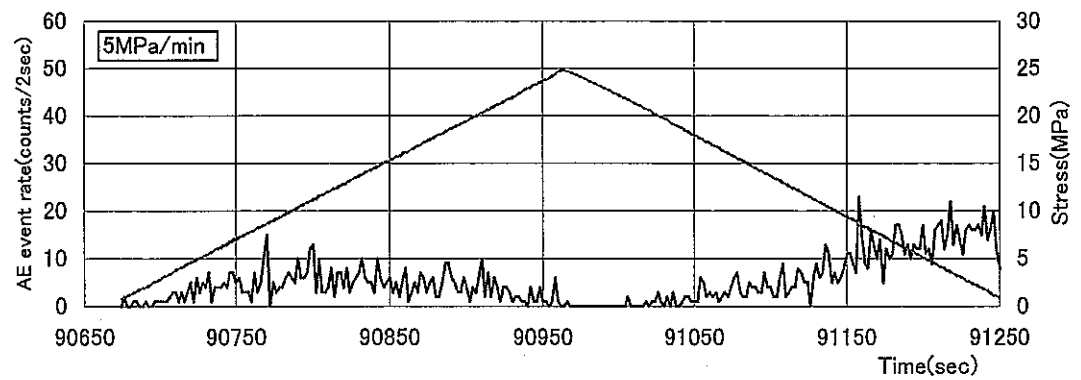
1回目



10回目

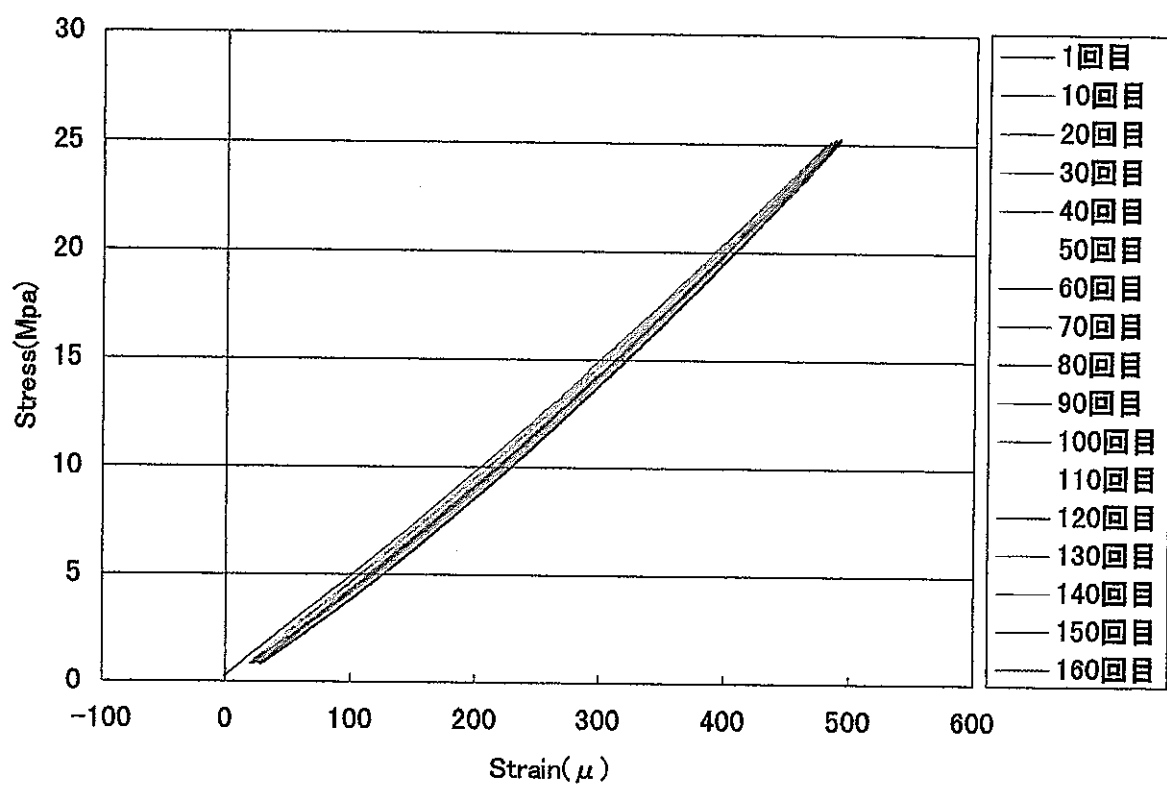


100回目



160回目

図 3.1.3(2) AEイベント発生率 MIU-1-5 3ch(200kHz)



拡大図

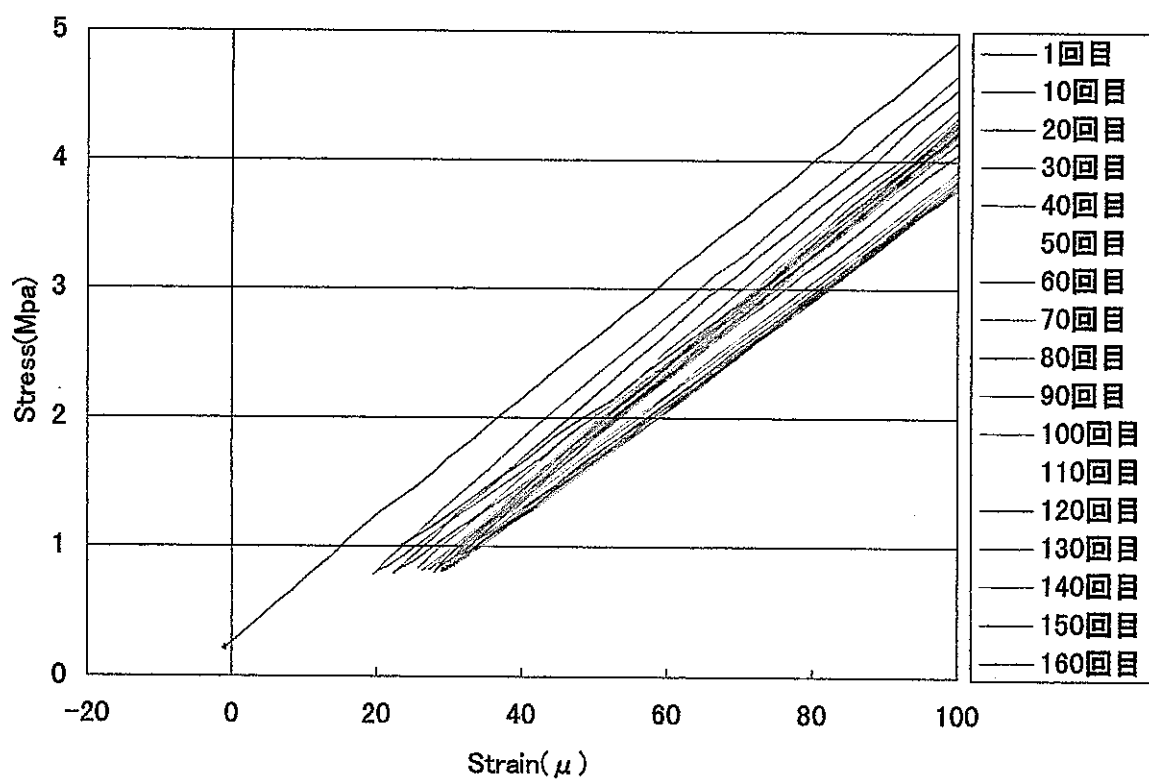
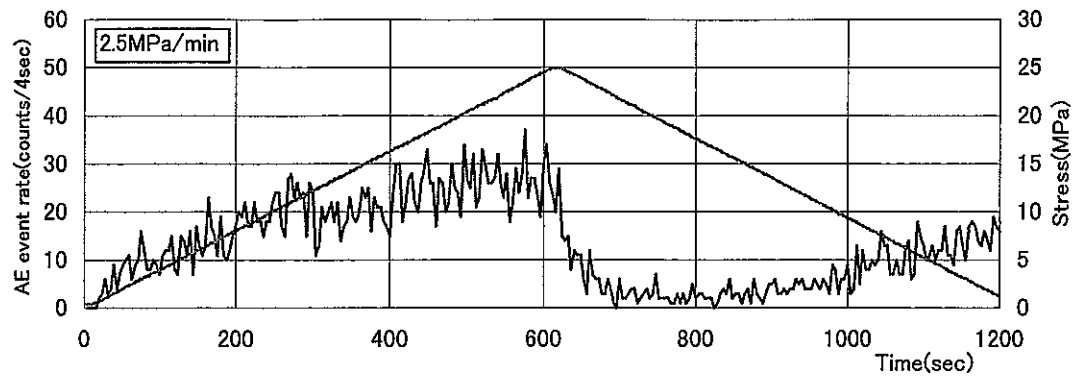
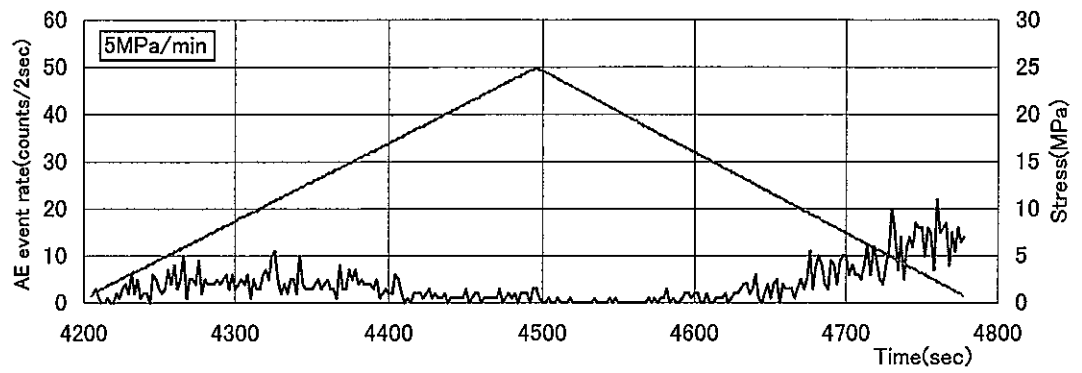


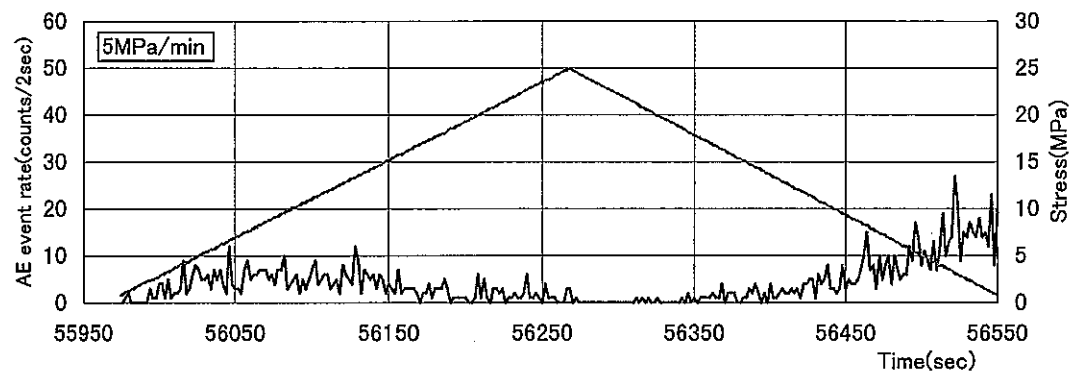
図 3.1.4(1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-6



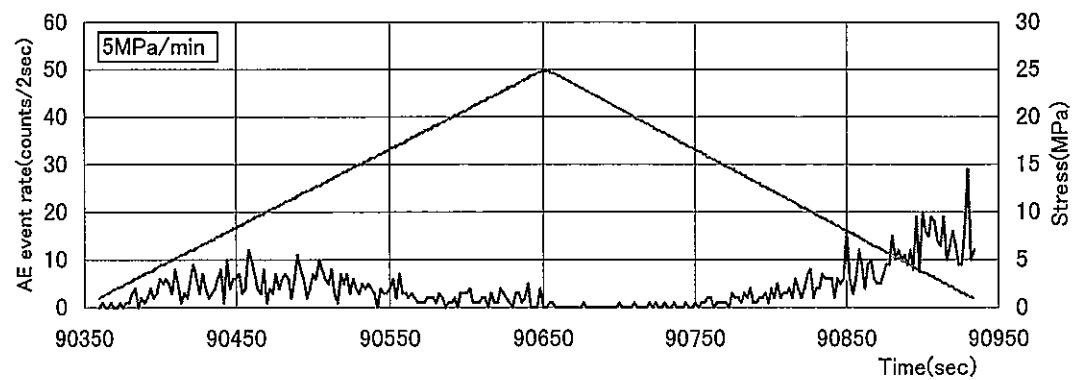
1回目



10回目

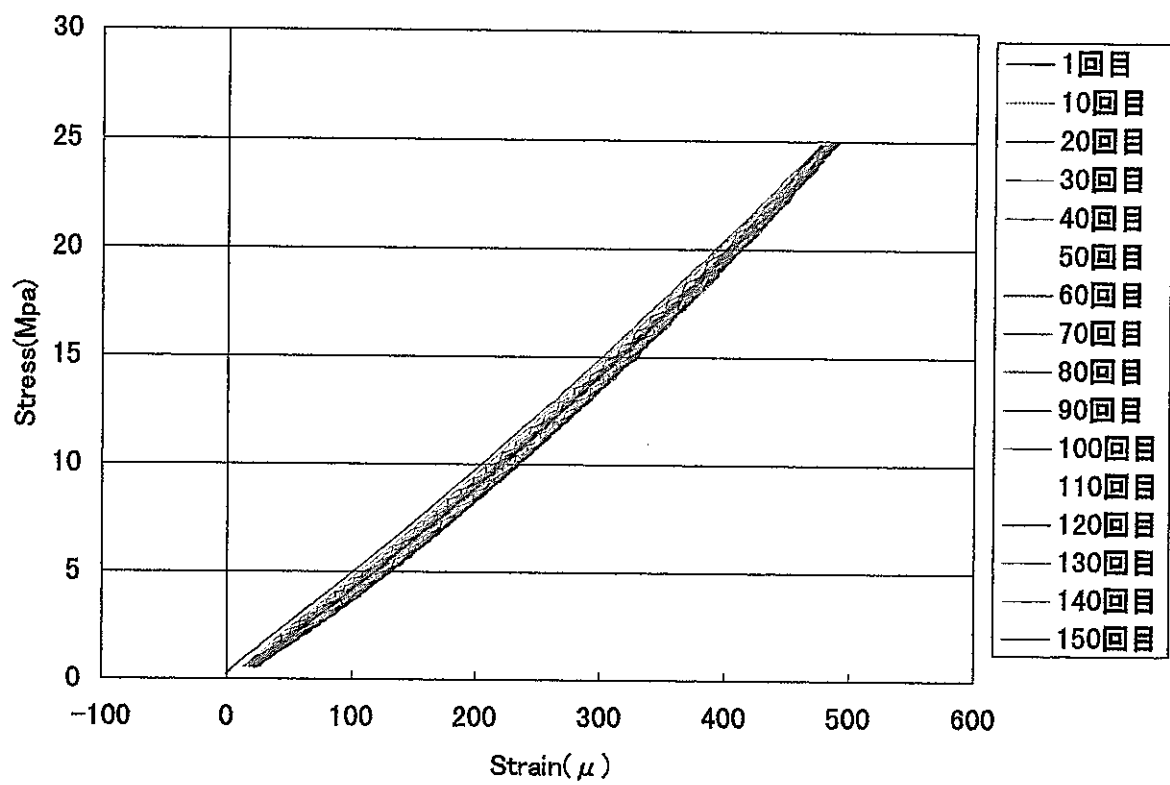


100回目



160回目

図 3.1.4(2) AEイベント発生率 MIU-1-6 2ch(150kHz)



拡大図

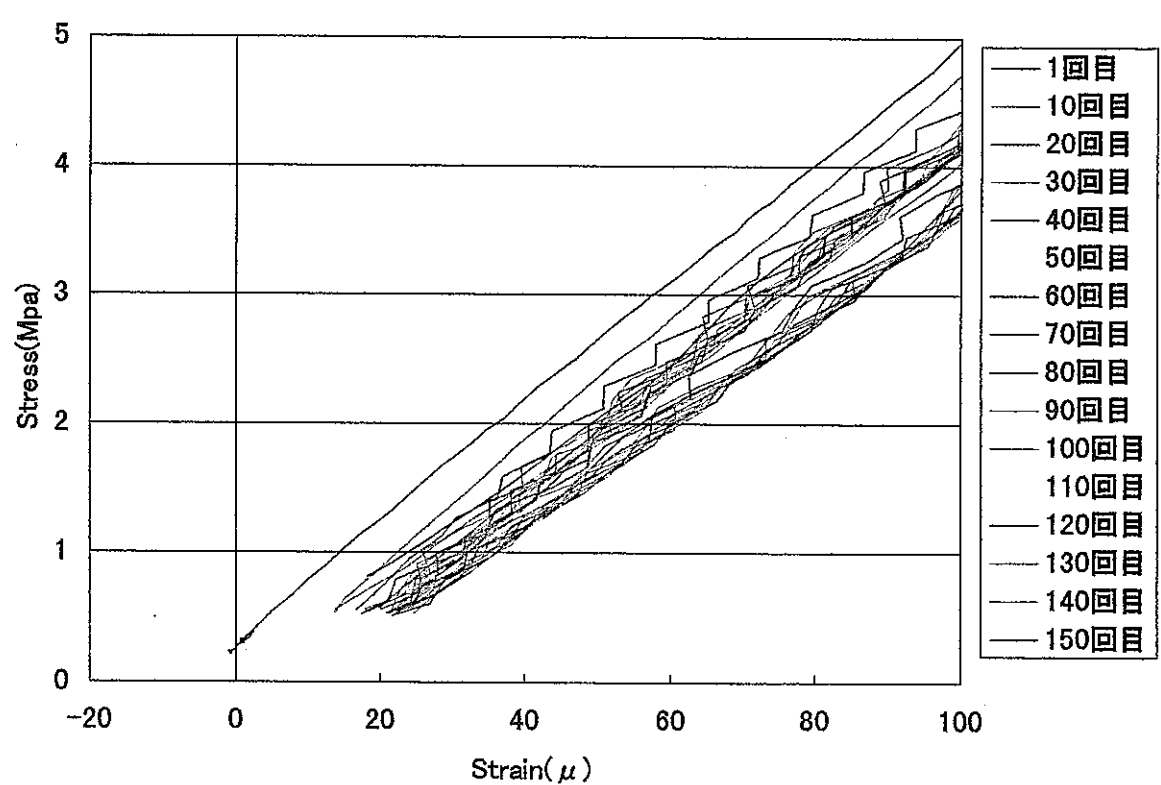


図 3.1.5(1) 応力-ひずみ曲線 MIU-1-4

3.2 カイザー効果の時間依存性

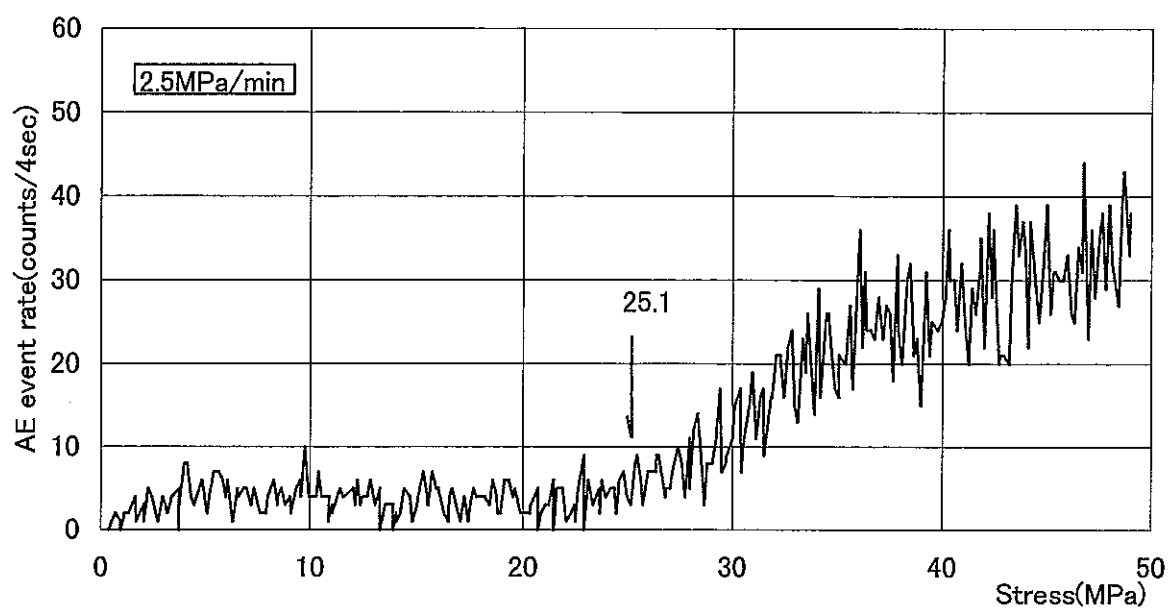
図3.2.1に先行応力を与えてから1日経過後に行ったAE法の試験結果を示した。AEの計数には150kHz共振周波数のセンサーで、供試体中央部に設置したセンサーが一番はじめに受振したものだけで行った（詳しくは前章の2.1参照）。図中の(a)はイベント法で計数したAE発生状況で、図の横軸は载荷応力(MPa)、縦軸はAE発生率である。(b)はイベント数を累積した結果で、(c)はDRA法の結果である。それぞれの図に記した矢印と数値はAE法またはDR法から読み取った先行応力値で、AE法では25.1Mpa、DRA法では27.5Mpaであった。

図3.2.2から図3.2.5は5日、10日、20日、53日経過後に行った結果で、その結果から読み取った応力値を表3.2.1にまとめた。ただし、供試体No. MIU-1-5については、2chの150kHz共振型センサーの設置が適切でなくAEの収録が芳しくなかったため、3chの200kHz共振型センサーの結果から読み取った(*)。

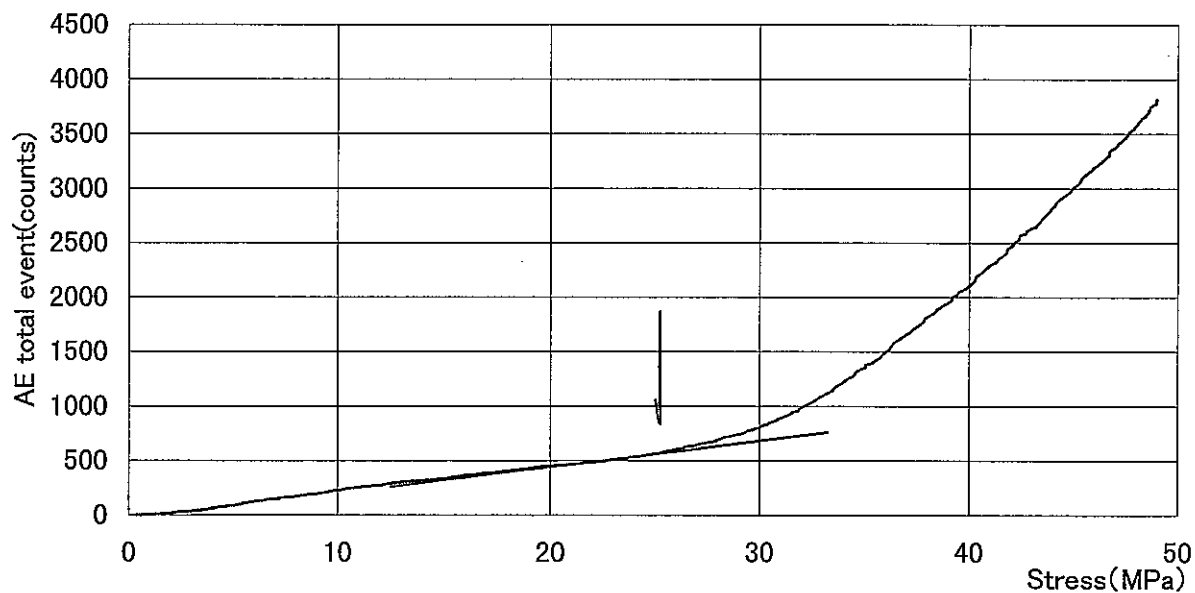
なお、イベント計数法とは別にリングダウン計数法で整理した結果と200kHzの共振型のセンサーでまとめた結果（供試体No. MIU-1-5については、2chの150kHz共振型）を巻末資料に収めた。

表3.2.1 試験結果

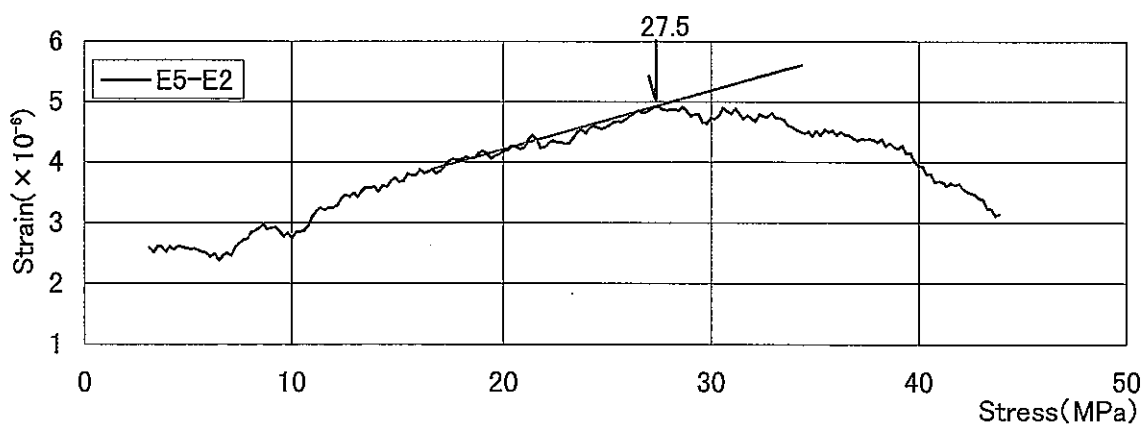
供試体No.	先行応力を与えてからの日数	先行応力(MPa)	先行応力の読み取り値(MPa)	
			AE法	DRA法
MIU-1-2	1	25	25.1	27.5
MIU-1-3	5	25	24.8	25.6
MIU-1-5	10	25	25.2 *	25.1
MIU-1-6	20	25	25.1	26.6
MIU-1-4	53	25	25.6	27.2



(a) AEイベント発生率

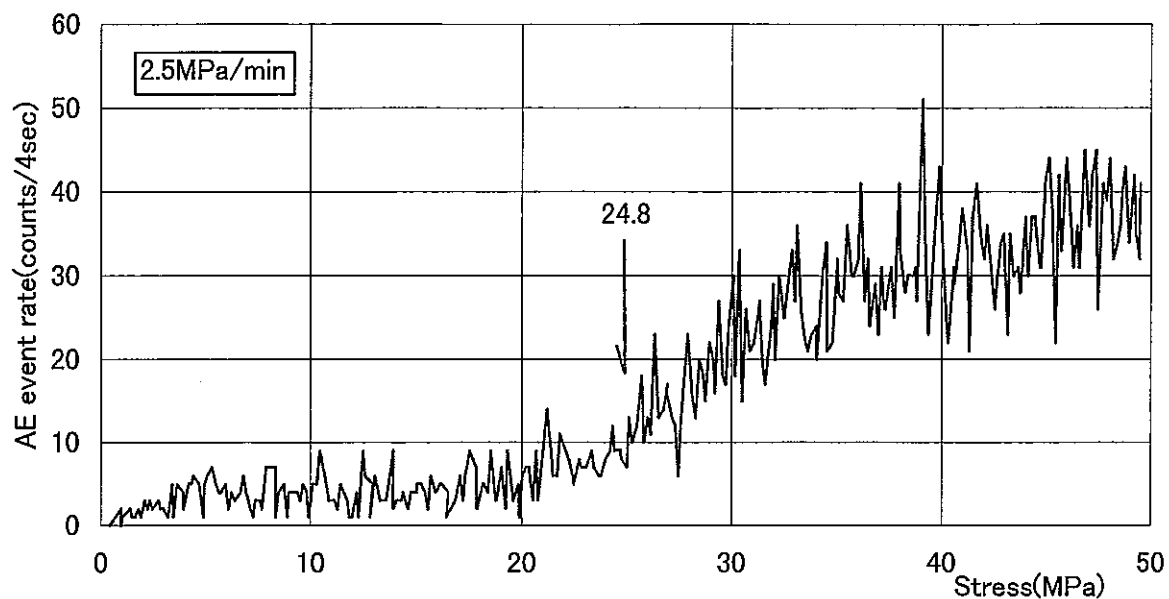


(b) AEイベント累積数

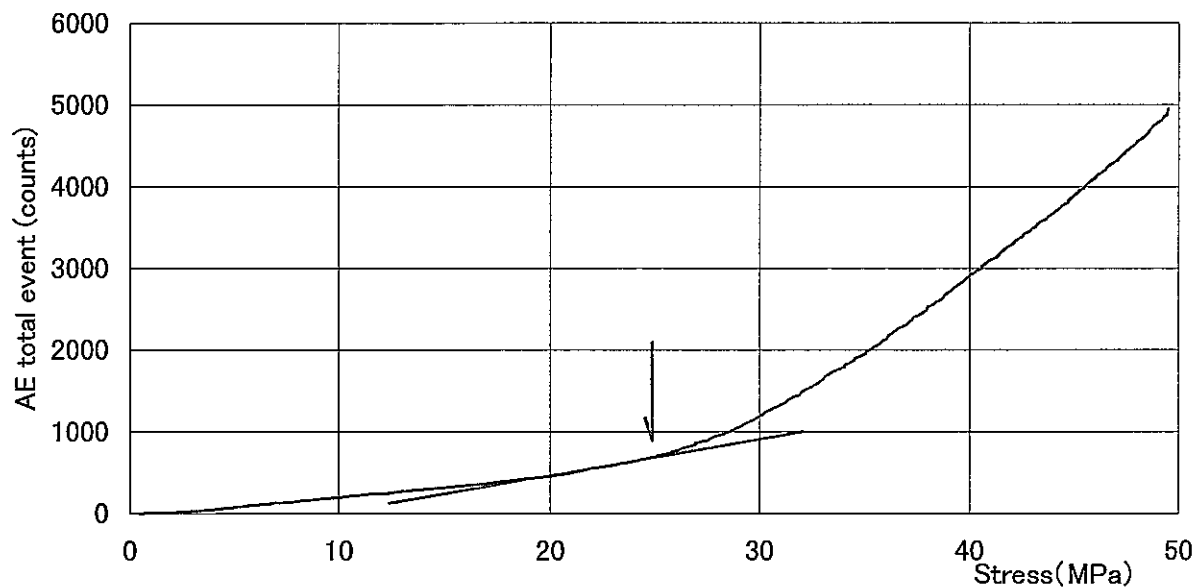


(c) DRA法

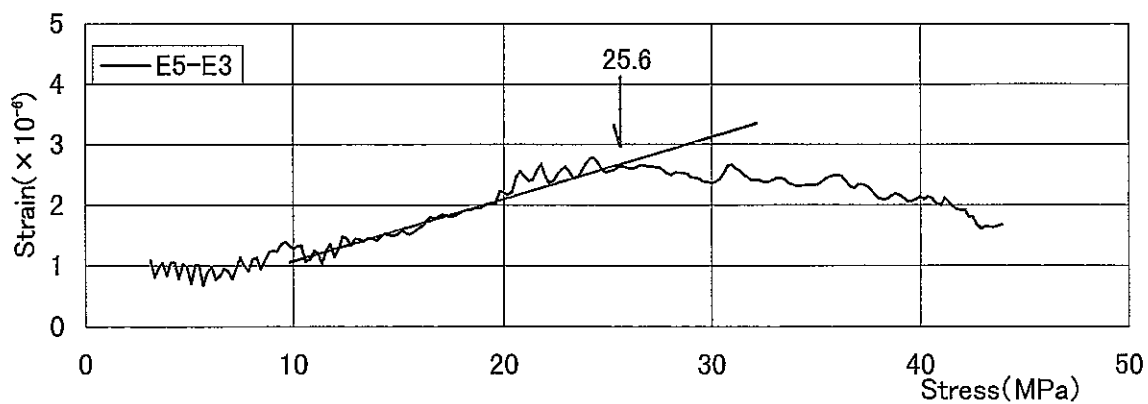
図 3.2.1 試験結果(MIU-1-2 1日後 2ch)



(a) AEイベント発生率

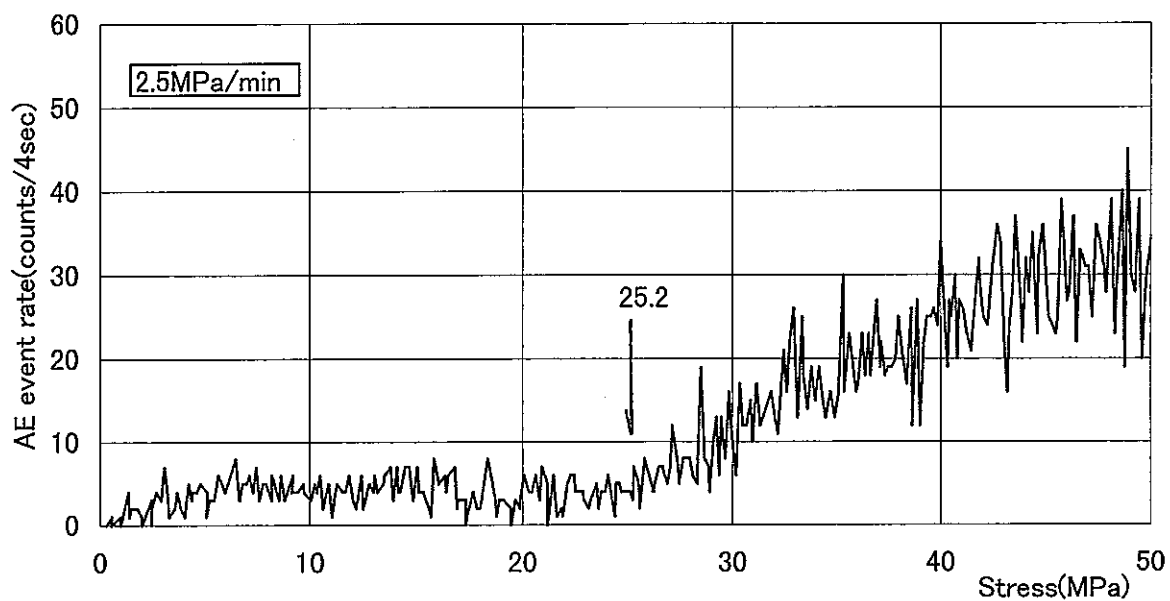


(b) AEイベント累積数

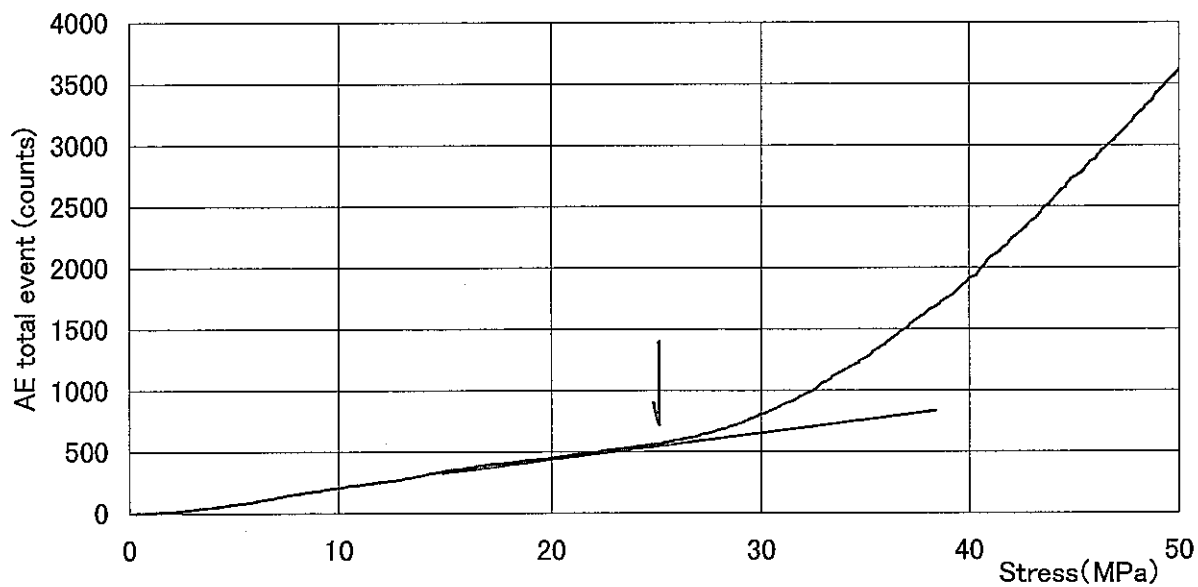


(c) DRA法

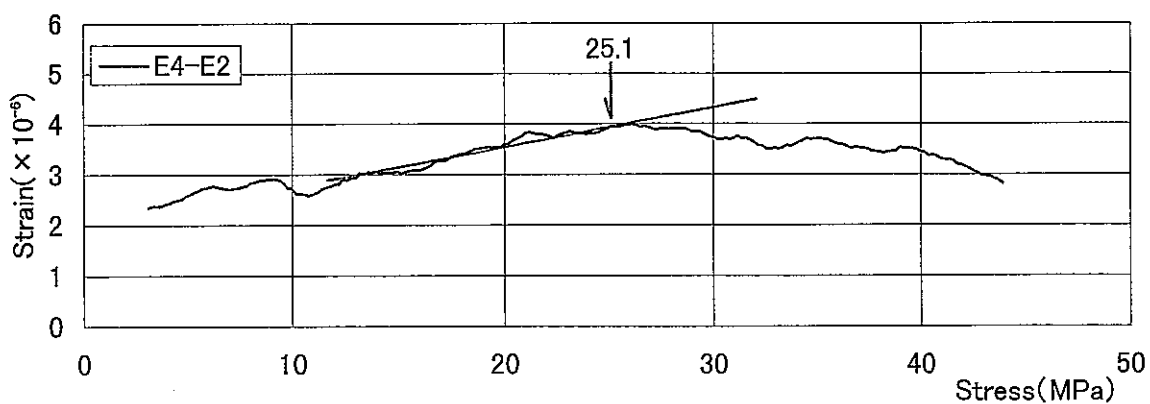
図 3.2.2 試験結果(MIU-1-3 5日後 2ch)



(a) AEイベント発生率

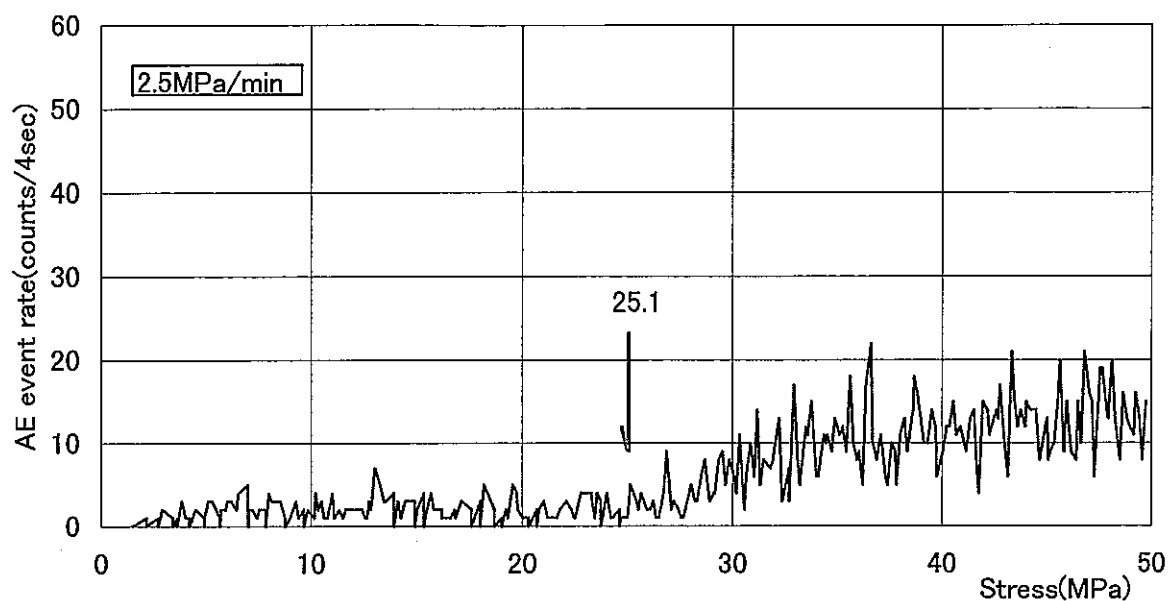


(b) AEイベント累積数

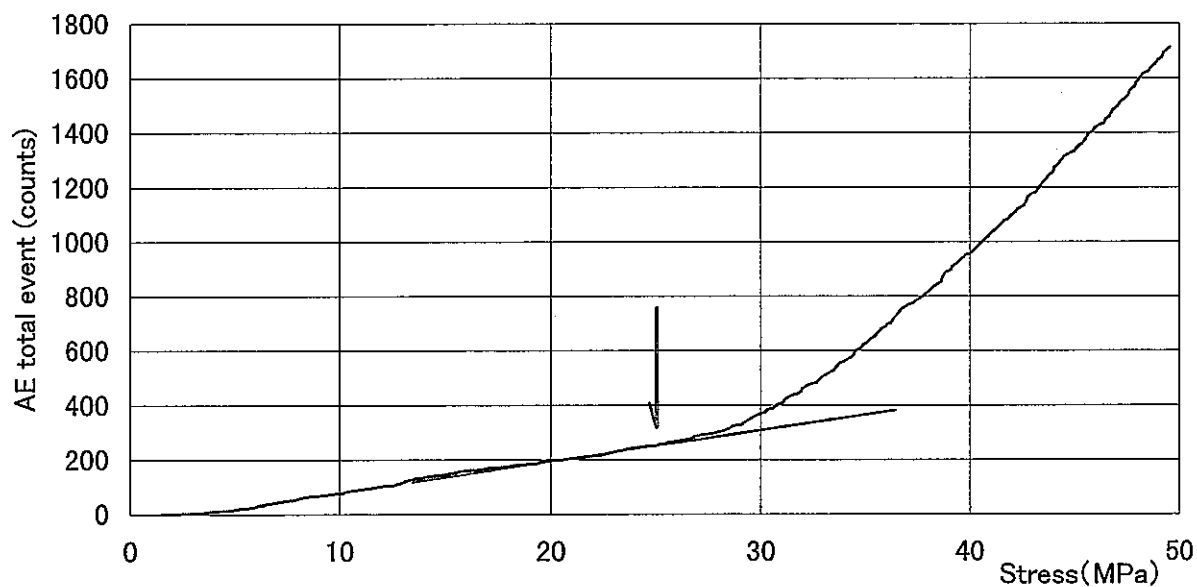


(c) DRA法

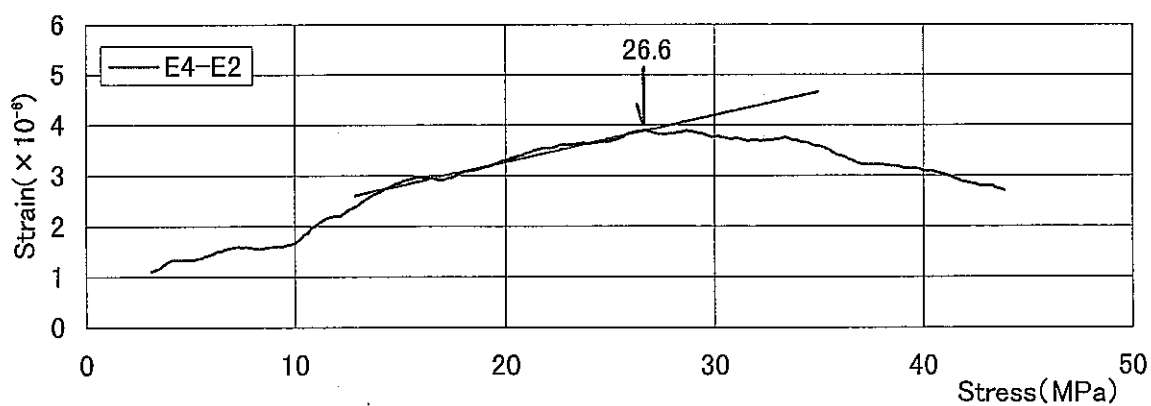
図 3.2.3 試験結果(MIU-1-5 10日後 3ch)



(a) AEイベント発生率

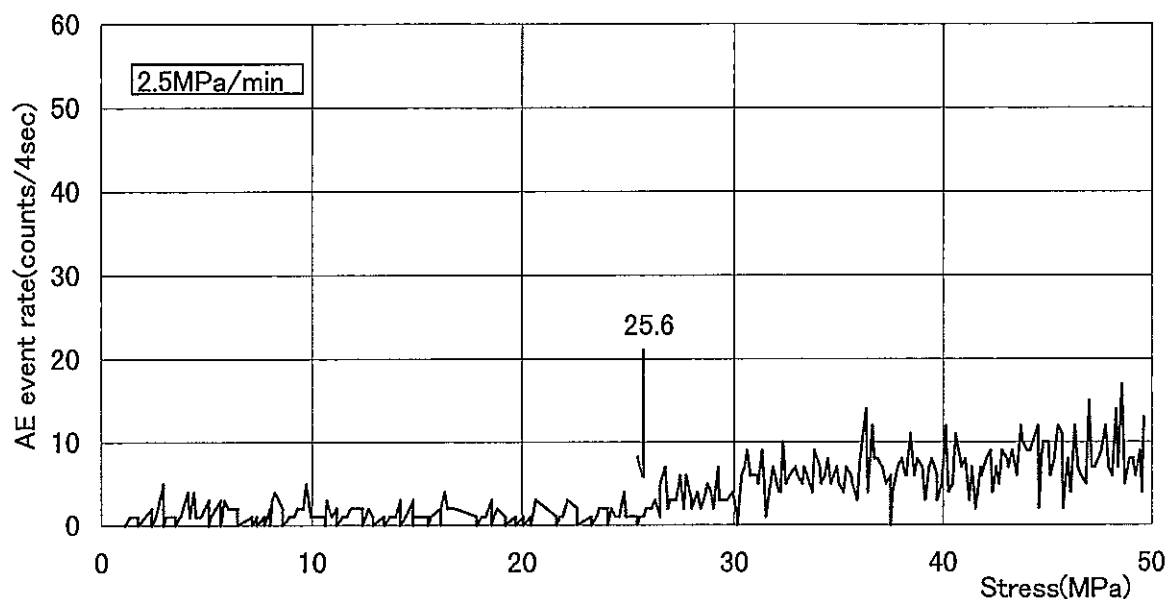


(b) AEイベント累積数

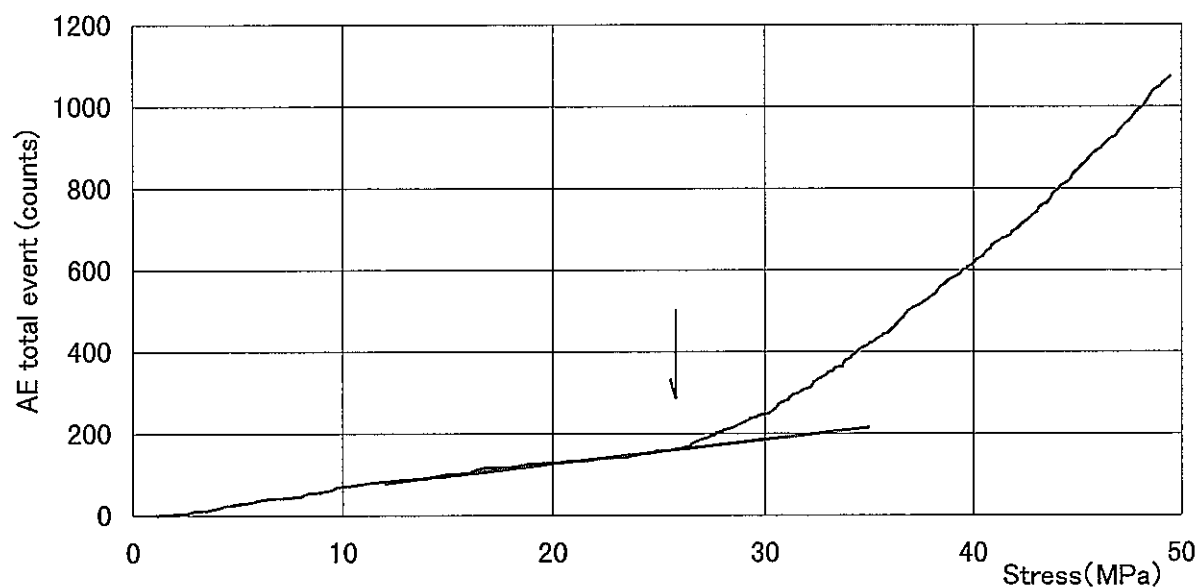


(c) DRA法

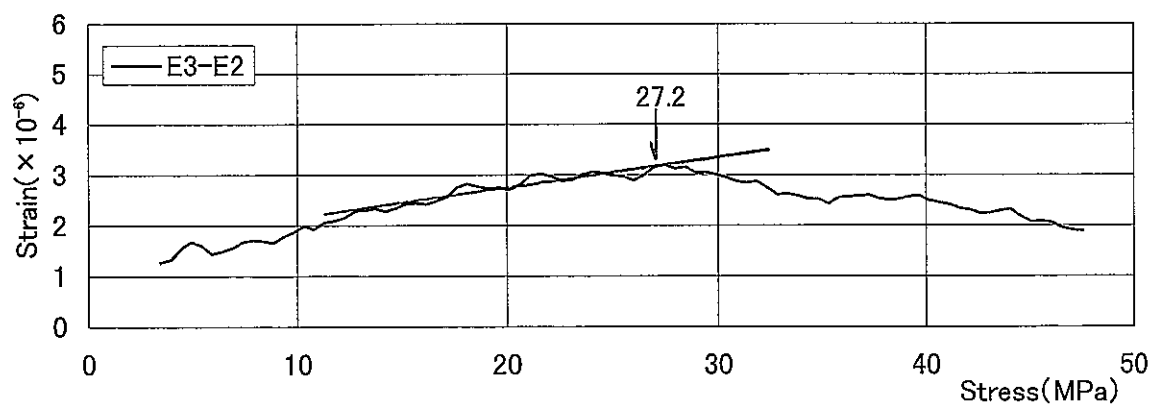
図 3.2.4 試験結果(MIU-1-6 20日後 2ch)



(a) AEイベント発生率



(b) AEイベント累積数



(c) DRA法

図 3.2.5 試験結果(MIU-1-4 53日後 2ch)

3. 3 カイザー効果の時間依存性の評価

カイザー効果の時間依存性を調べるために、人工的に先行応力を与えから、1日、5日、10日、20日および53日経過後にAE法により先行応力を推定した。この結果から、カイザー効果の時間依存性を検討するために、経過日数と推定値の誤差（（先行応力-AE法での推定値）÷先行応力×100）をプロットしたものが図3.3.1である。

AE法による推定値の誤差は、1日後で0.4%（読み取り値25.1Mpa）、5日後で0.8%（24.8Mpa）、10日後で0.8%（25.2Mpa）、20日後で0.4%（25.1Mpa）、53日後で2.4%（25.6Mpa）であり、図3.3.1からわかるように今回の結果では先行応力とAE法による推定値との差は2.5%以下と小さいものとなった。したがって、先行応力を与えてから53日後まではカイザー効果が認められたものと判断される。

また、同図にはAE法と併せて実施したDRA法（×印）の結果も示してある。その結果から、先行応力とDRA法による推定値との差をみると、1日後が10%、5日後が2.4%、10日後が0.4%、20日後が6.4%、53日後が8.8%と各試験によってバラツキがあることから、今回の試験ではDRA法よりAE法の方が比較的精度良く測定されているものと思われる。

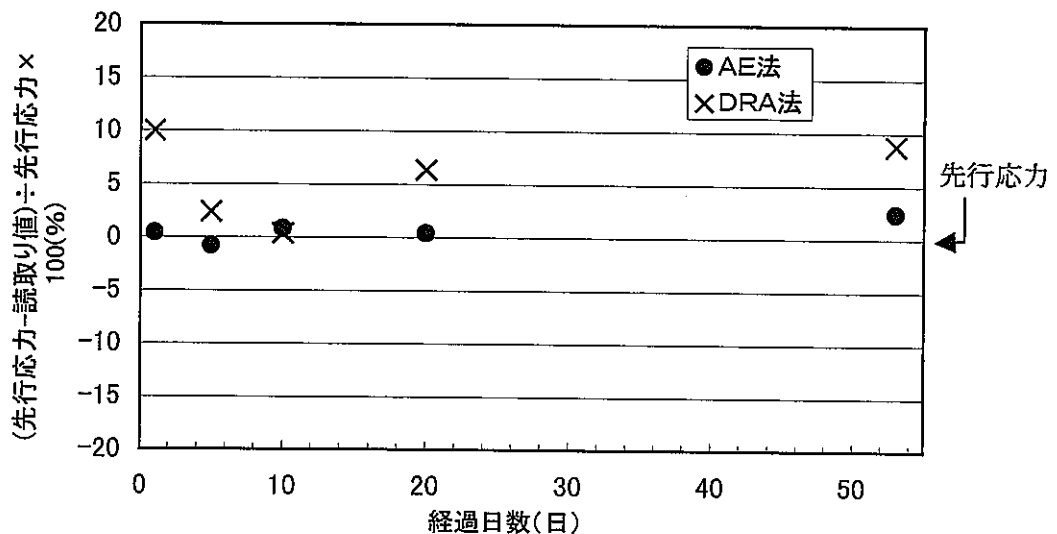


図 3.3.1 カイザー効果の時間依存性

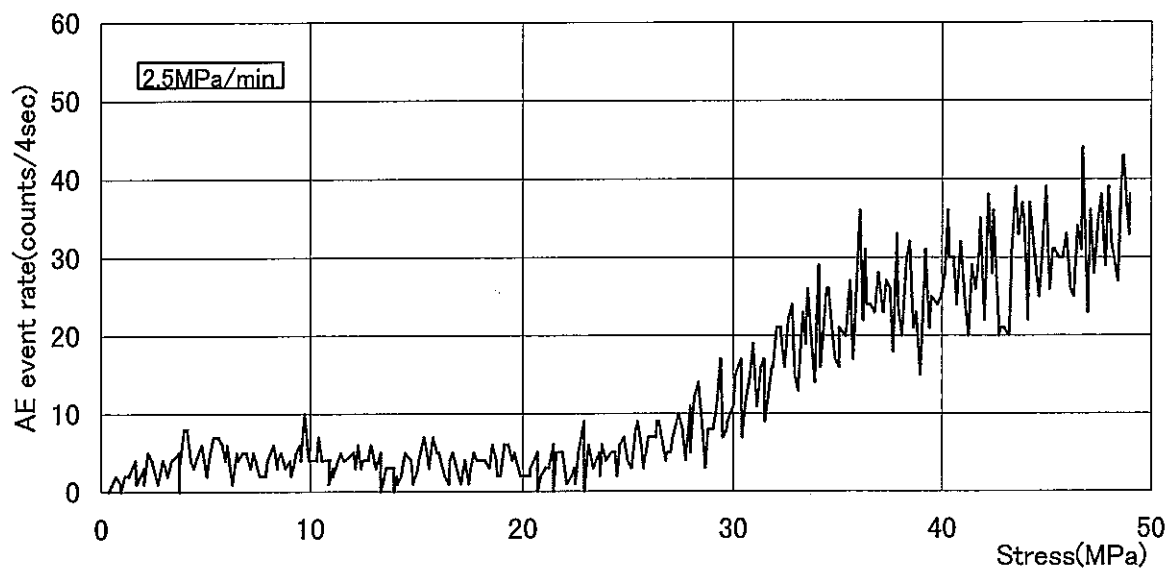
4. ま と め

土岐花崗岩を対象としてカイザー効果の時間依存性を調べた結果、以下の結論を得た。

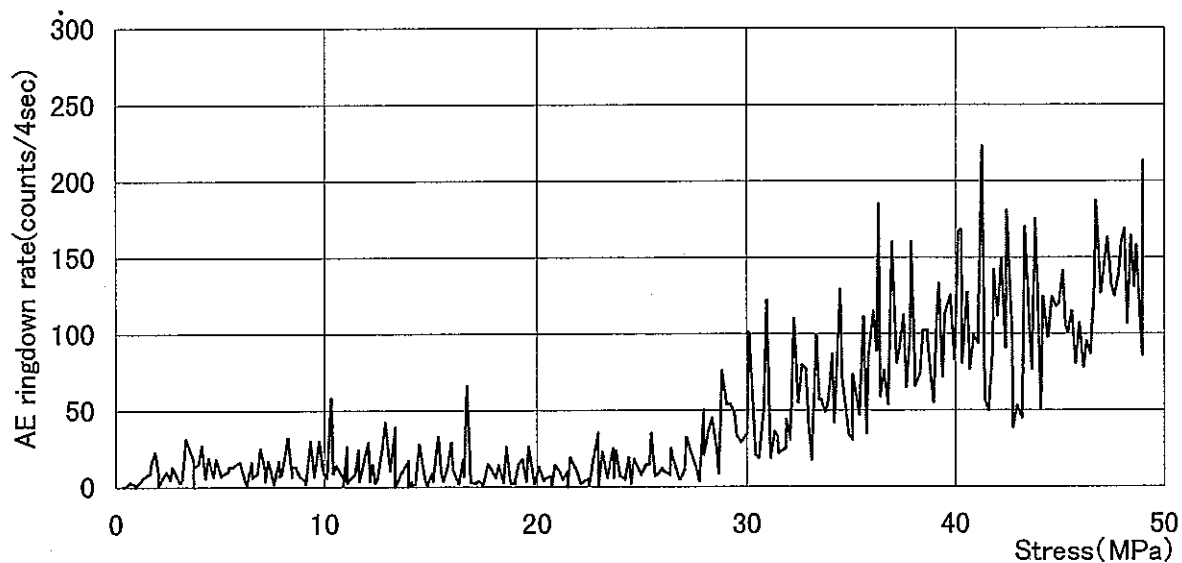
- ・ 土岐花崗岩では、人工的に応力を記録させる繰返し回数は150回程度と判断される。
- ・ 繰返し載荷後、1, 5, 10, 20, 53日目の供試体についてAE法による応力測定を実施した。その結果、いずれの供試体においてもAE法により推定された応力値と先行応力との誤差は2.5%以内であり、先行応力を与えてから53日後まではカイザー効果が認められることがわかった。

〈 巻 末 資 料 〉

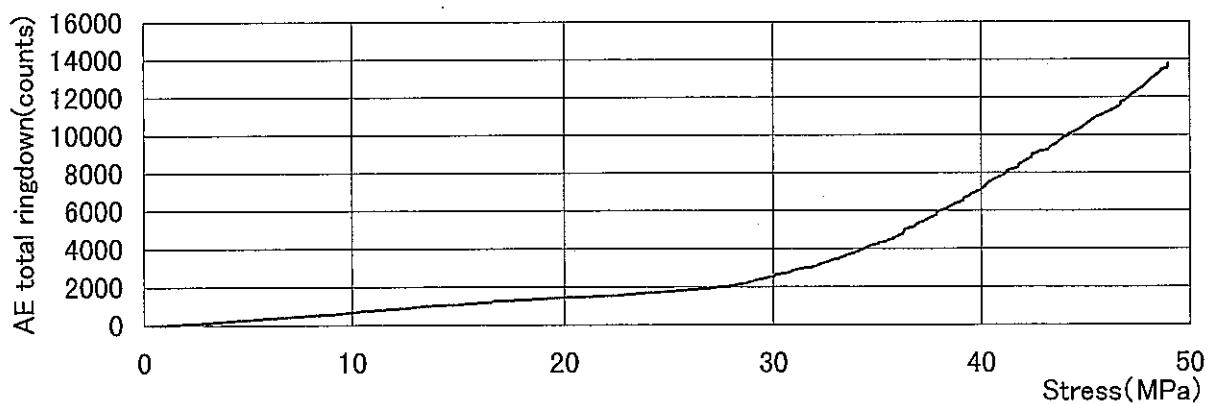
1. A E法試験結果（リングダウン計数法）
2. A E法試験結果（200kHz 共振）



(a) AEイベント発生率

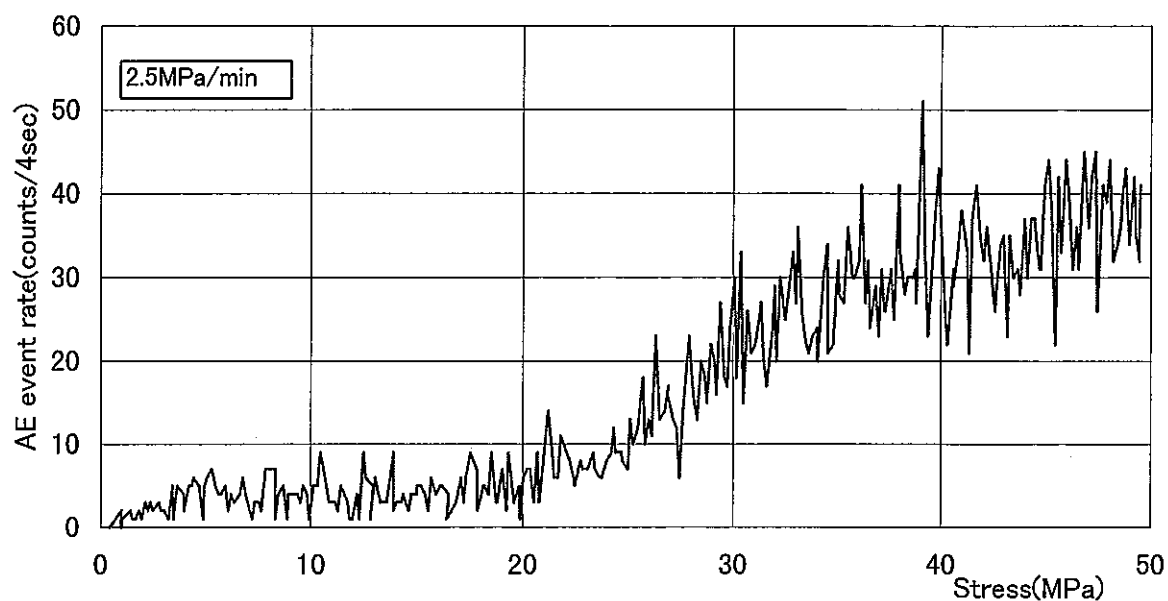


(b) AEリングダウン発生率

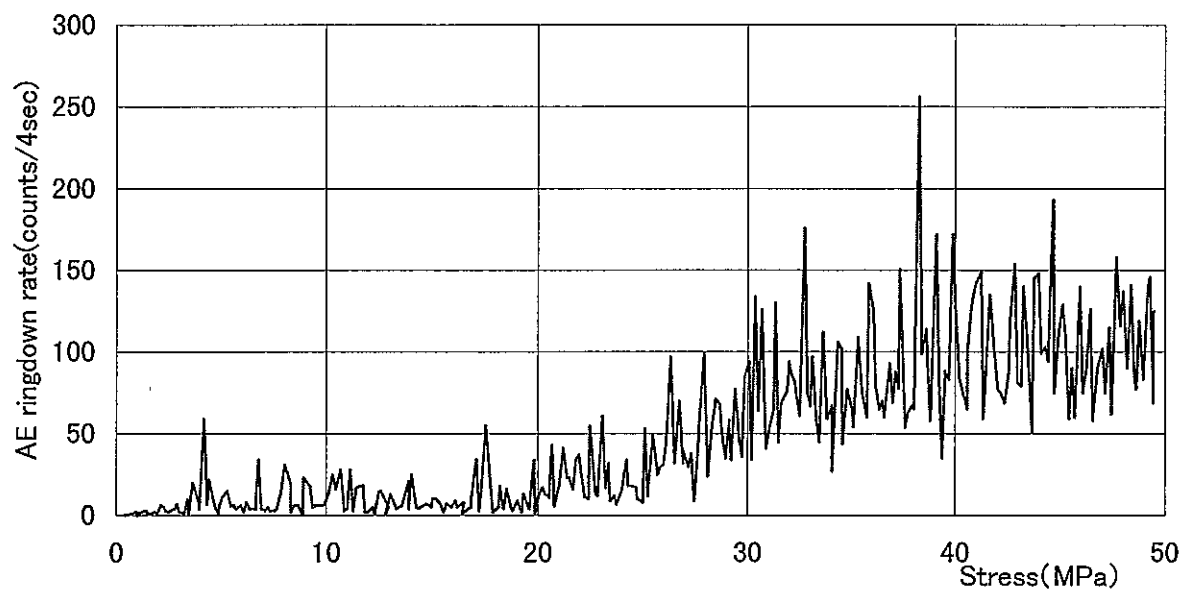


(c) AEリングダウン累積数

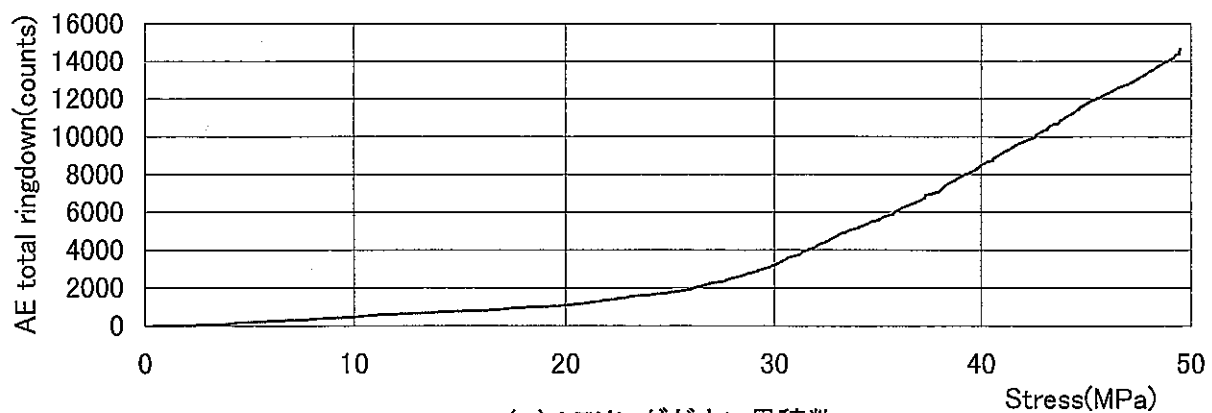
資料 1.(1) AE法試験結果 リングダウン計数法(MIU-1-2 1日後 2ch)



(a) AEイベント発生率

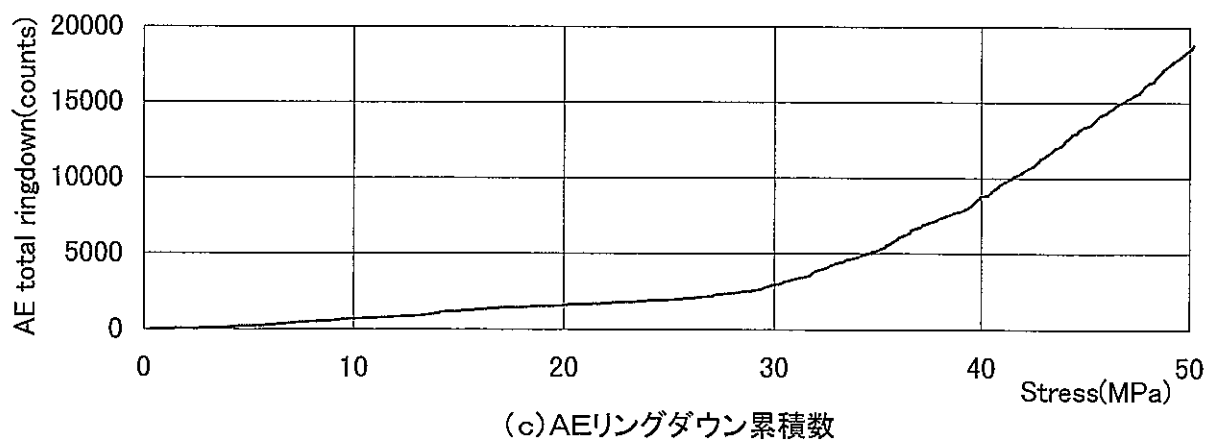
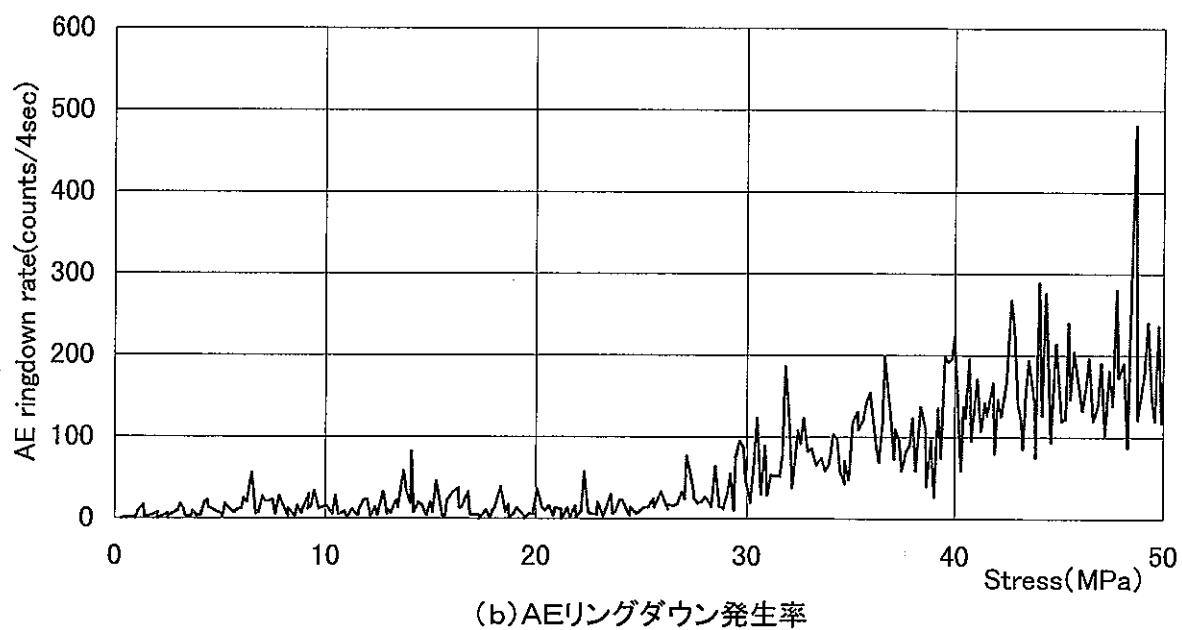
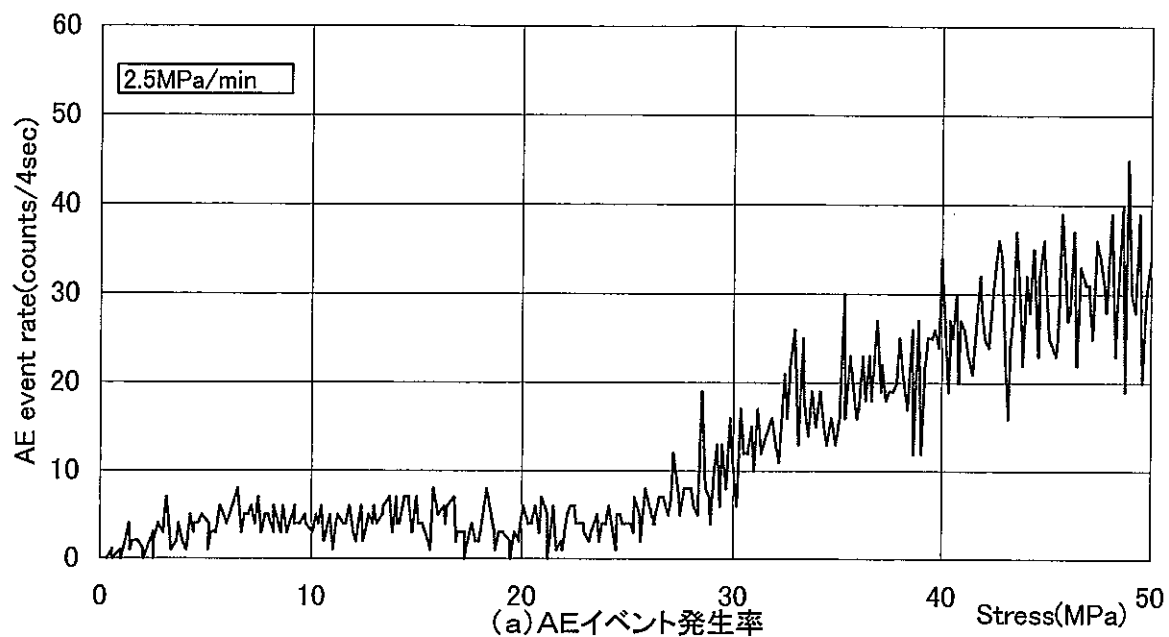


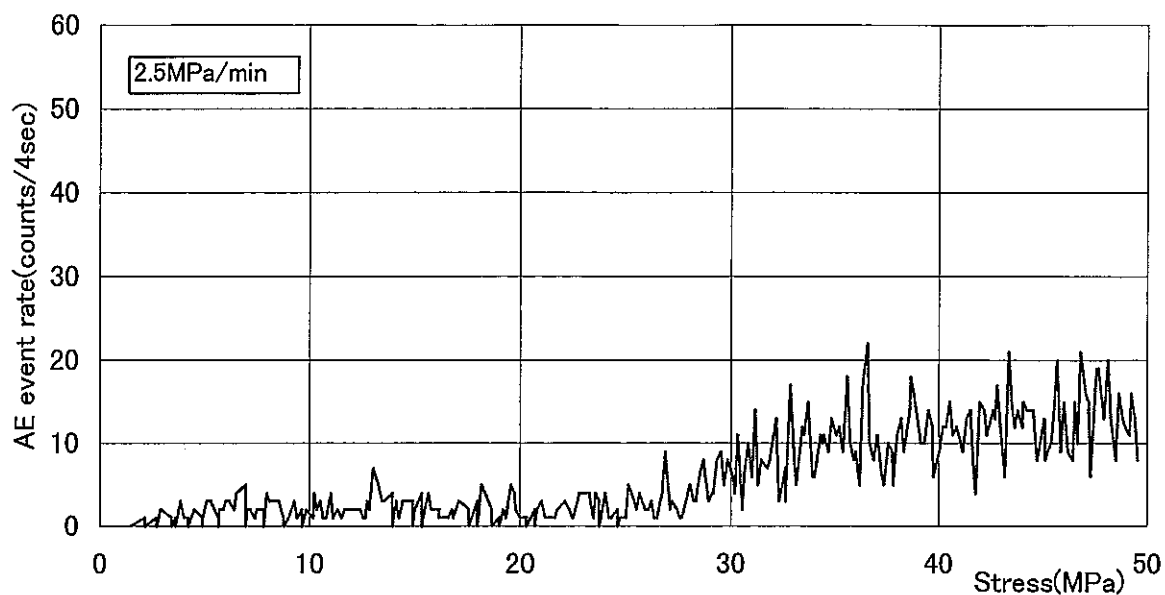
(b) AEリングダウン発生率



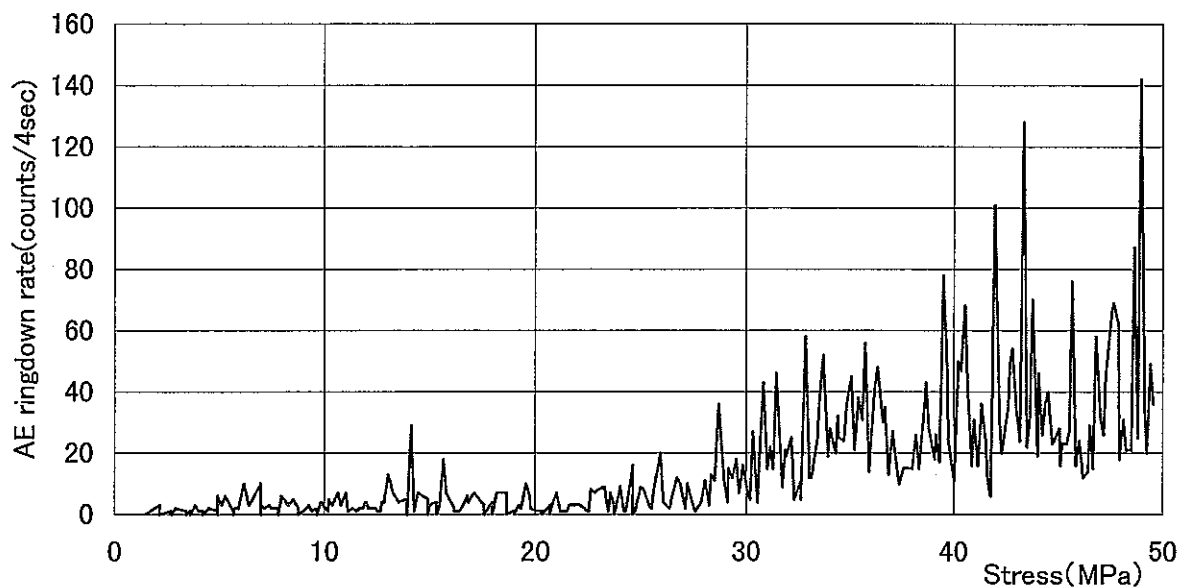
(c) AEリングダウン累積数

資料 1.(2) AE法試験結果 リングダウン計数法(MIU-1-3 5日後 2ch)

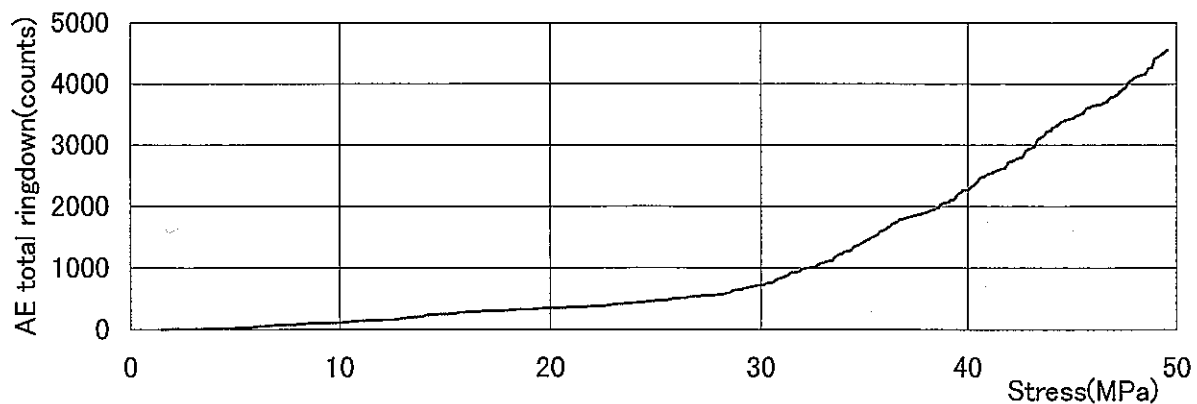




(a) AEイベント発生率

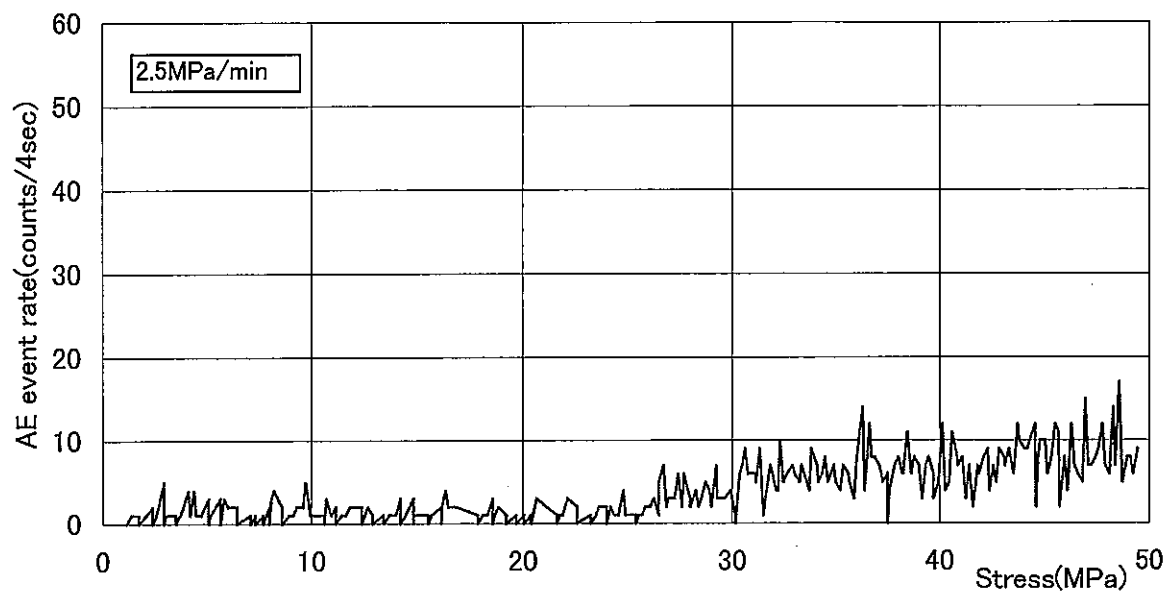


(b) AEリングダウン発生率

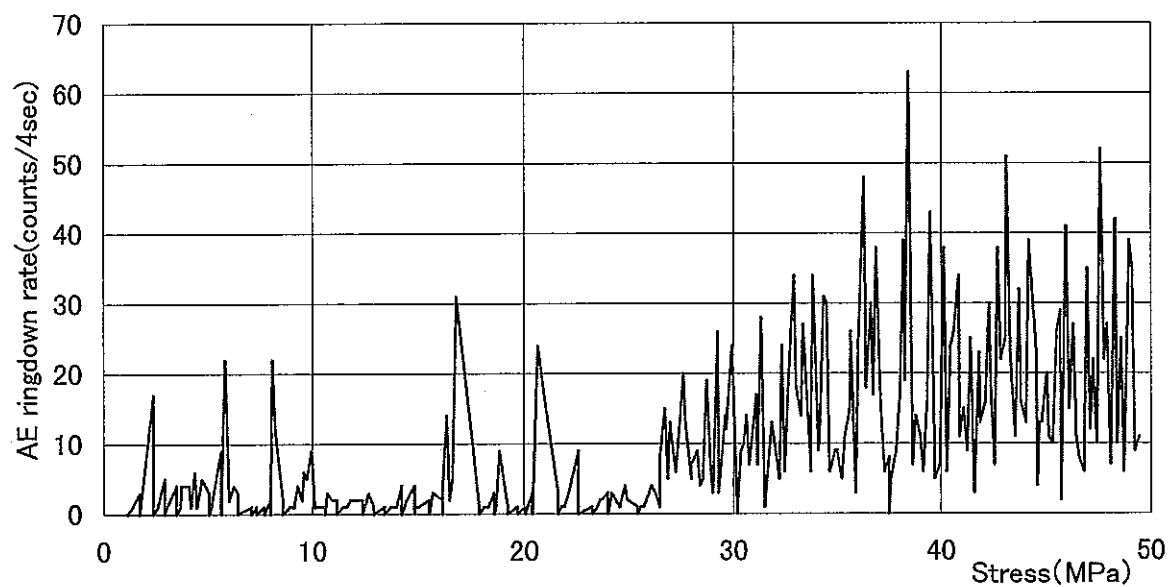


(c) AEリングダウン累積数

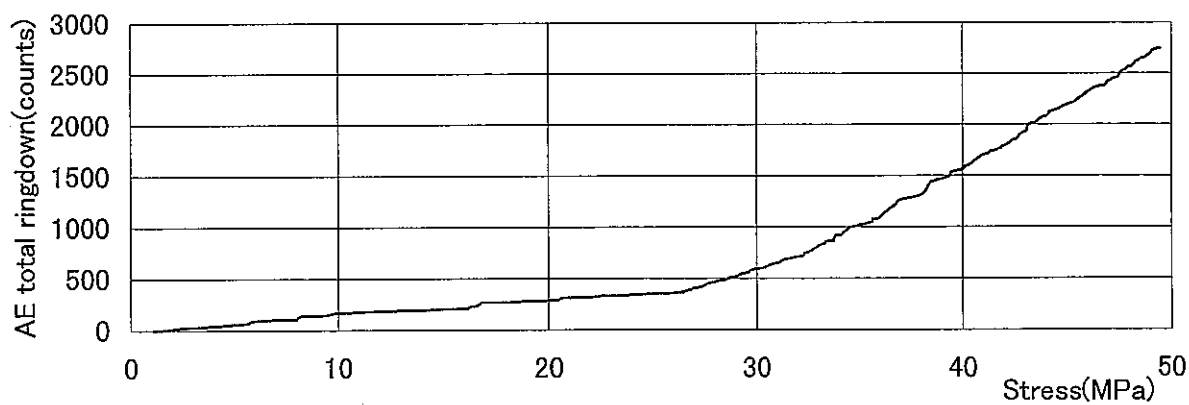
資料 1.(4) AE法試験結果 リングダウン計数法(MIU-1-6 20日後 2ch)



(a) AEイベント発生率

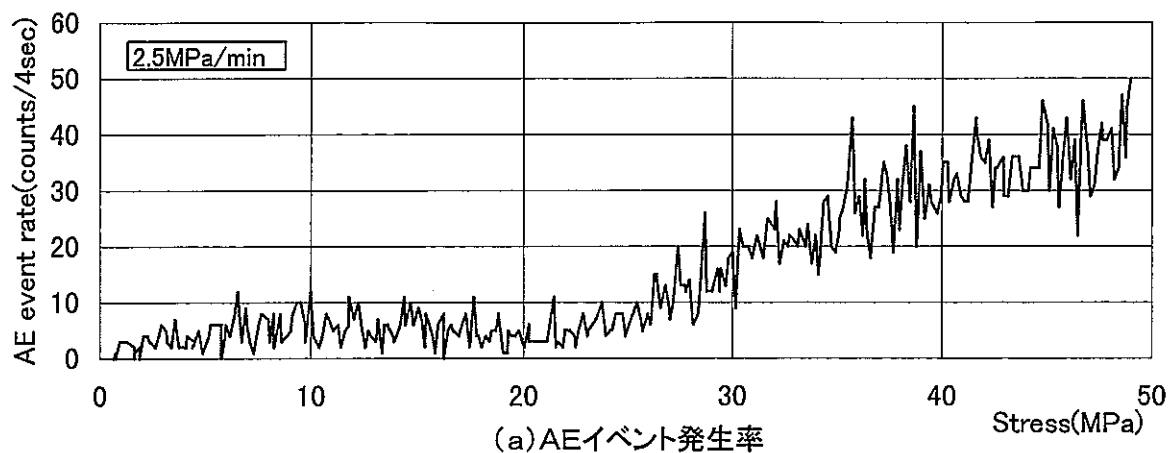


(b) AEリングダウン発生率

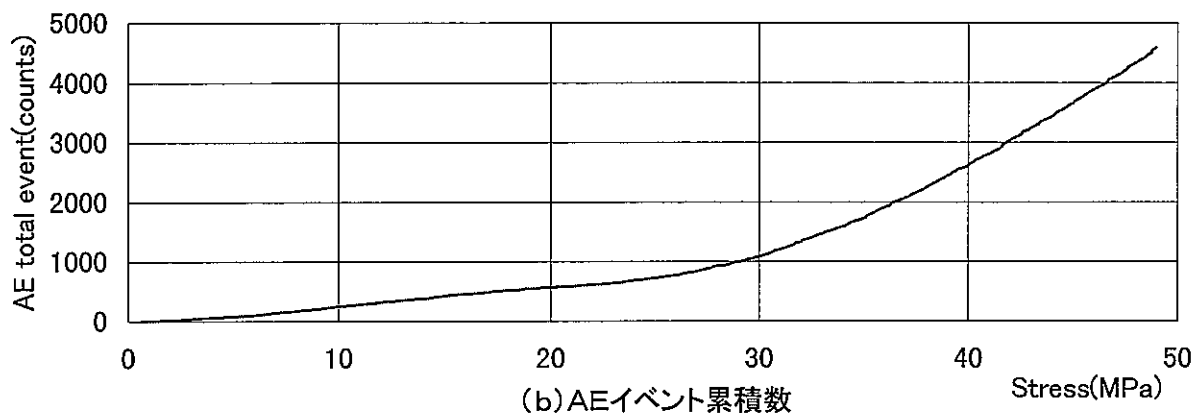


(c) AEリングダウン累積数

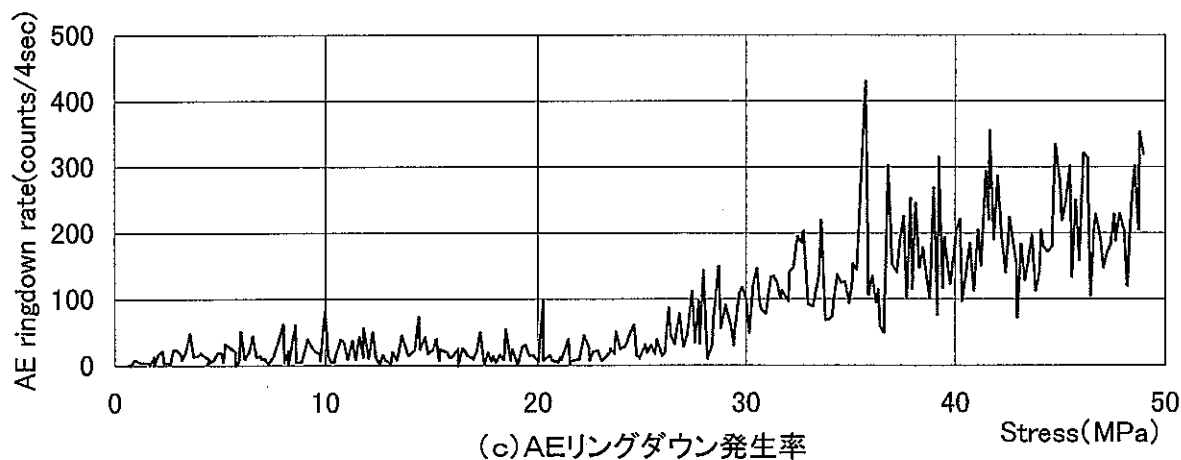
資料 1.(5) AE法試験結果 リングダウン計数法(MIU-1-4 53日後 2ch)



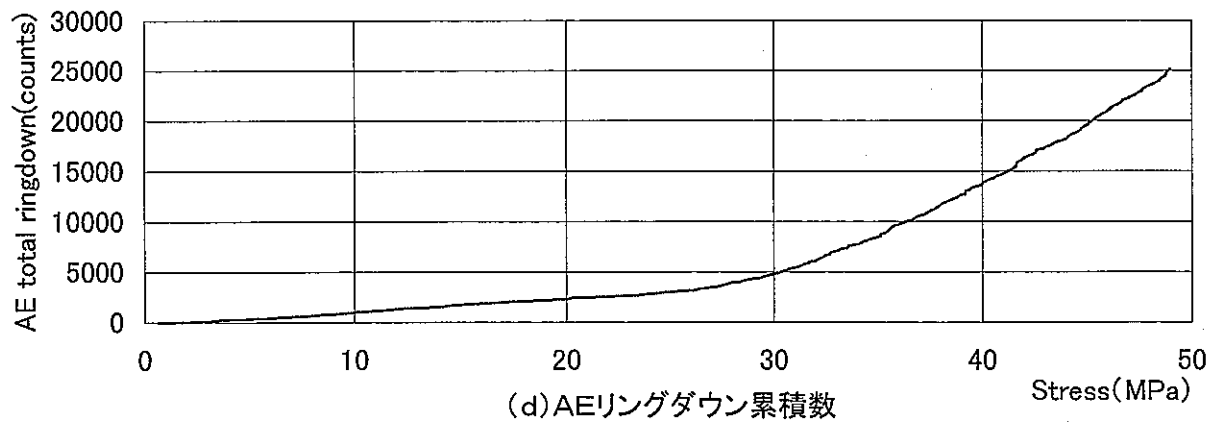
(a) AEイベント発生率



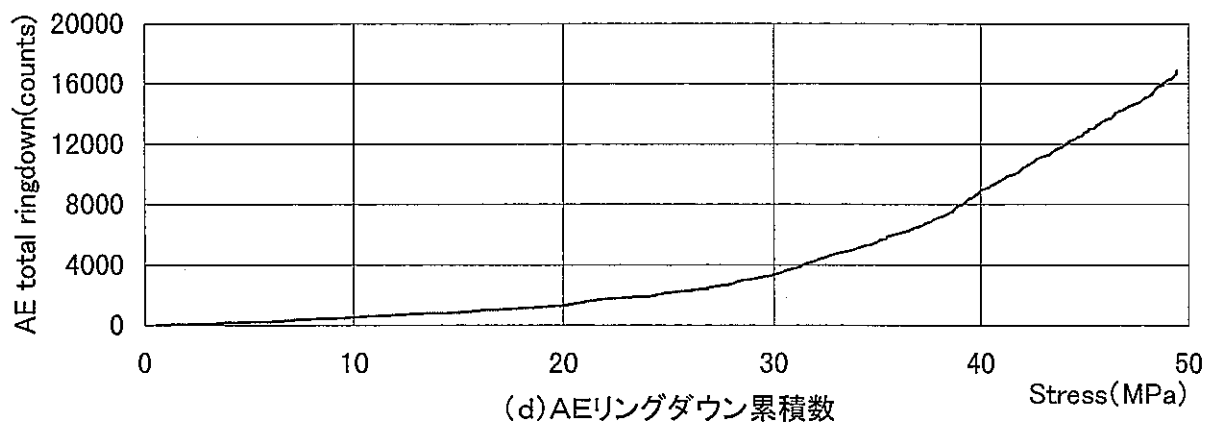
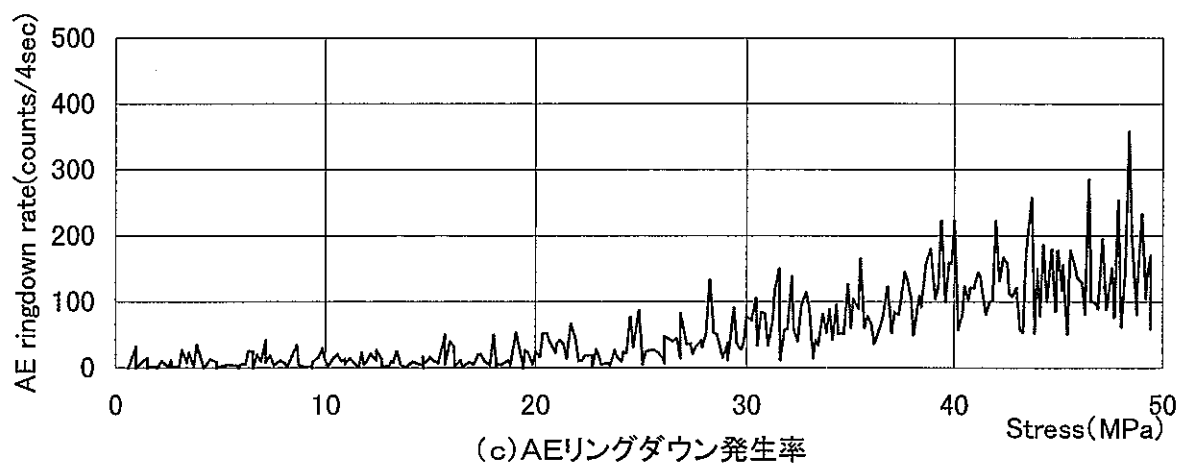
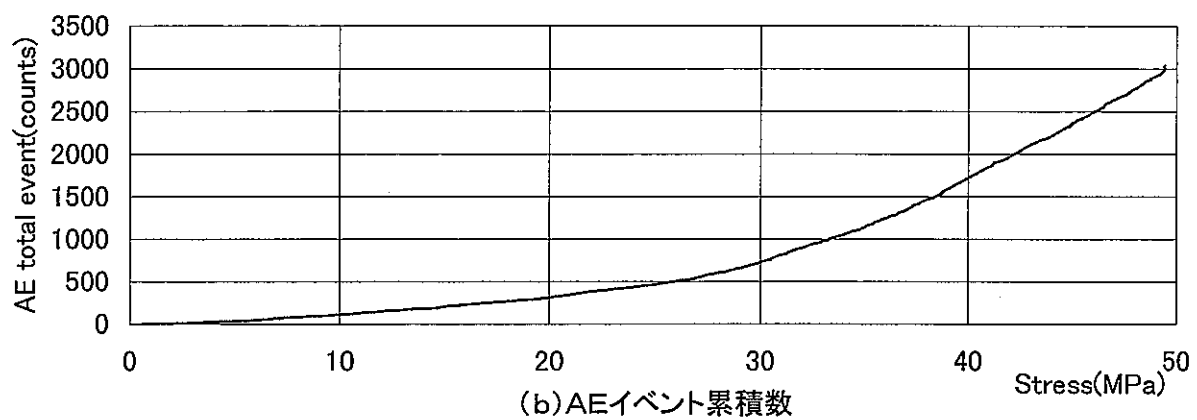
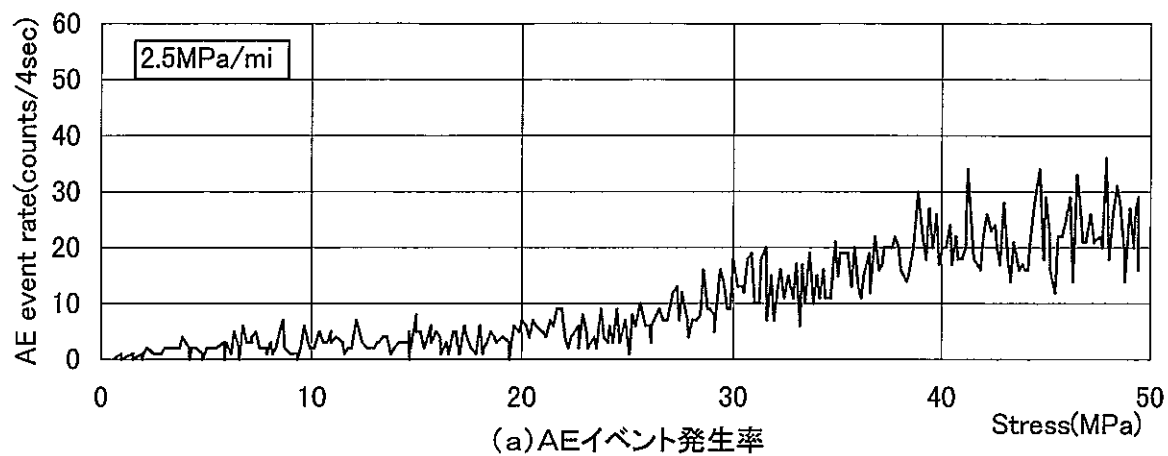
(b) AEイベント累積数

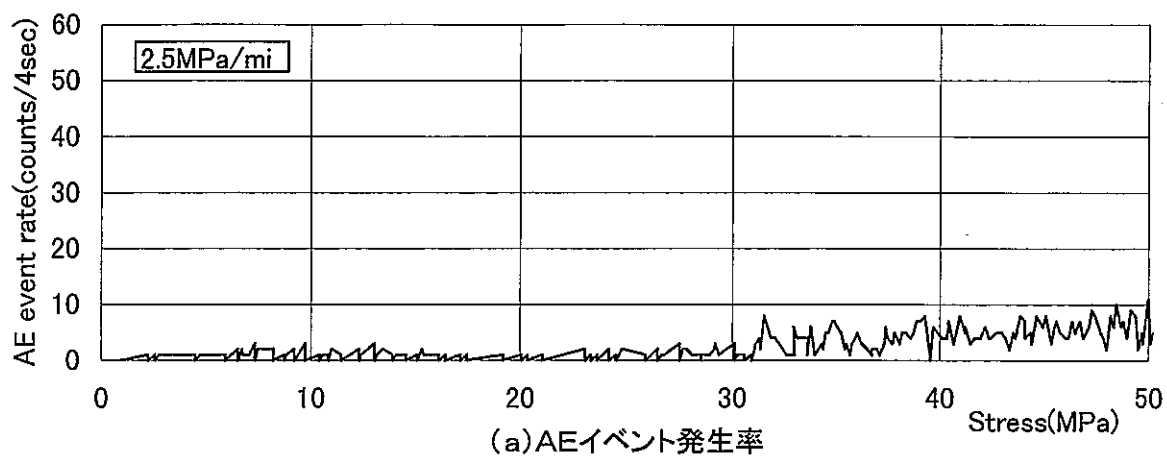


(c) AEリングダウン発生率

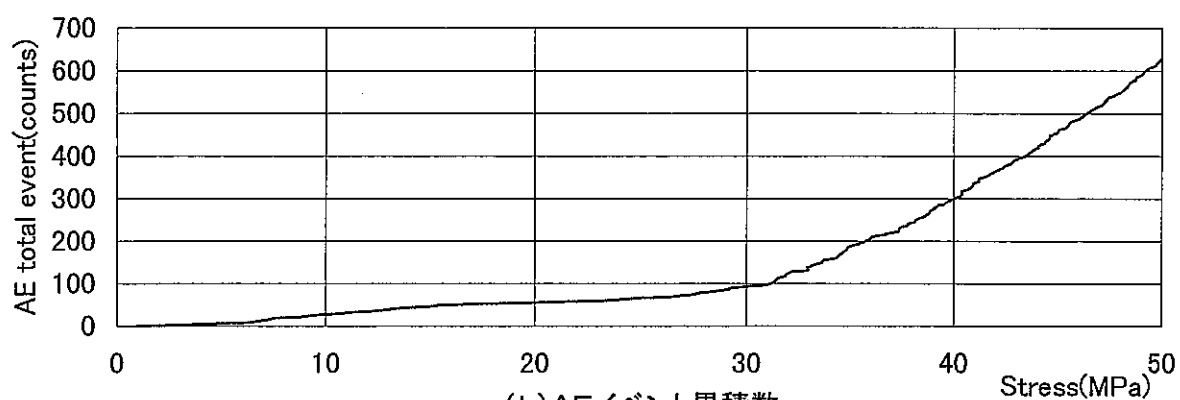


(d) AEリングダウン累積数

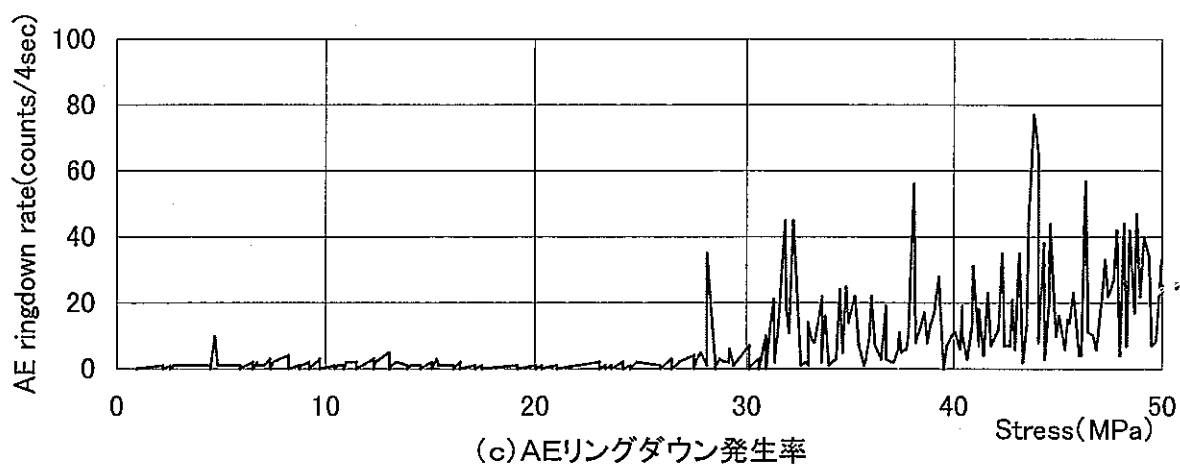




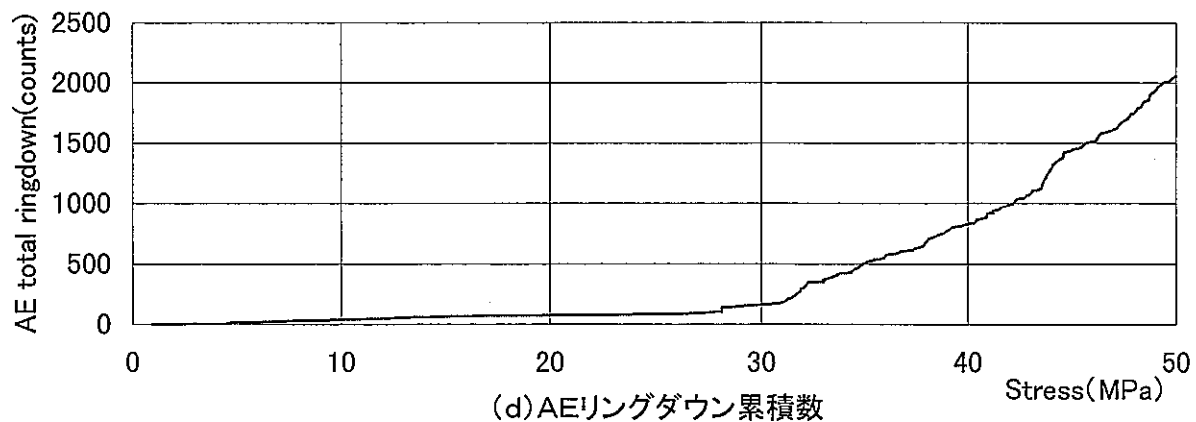
(a) AEイベント発生率



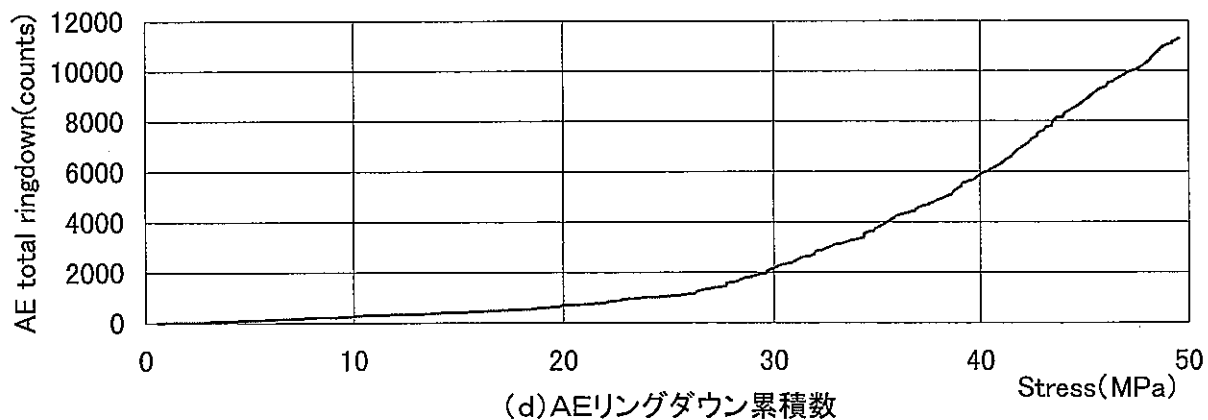
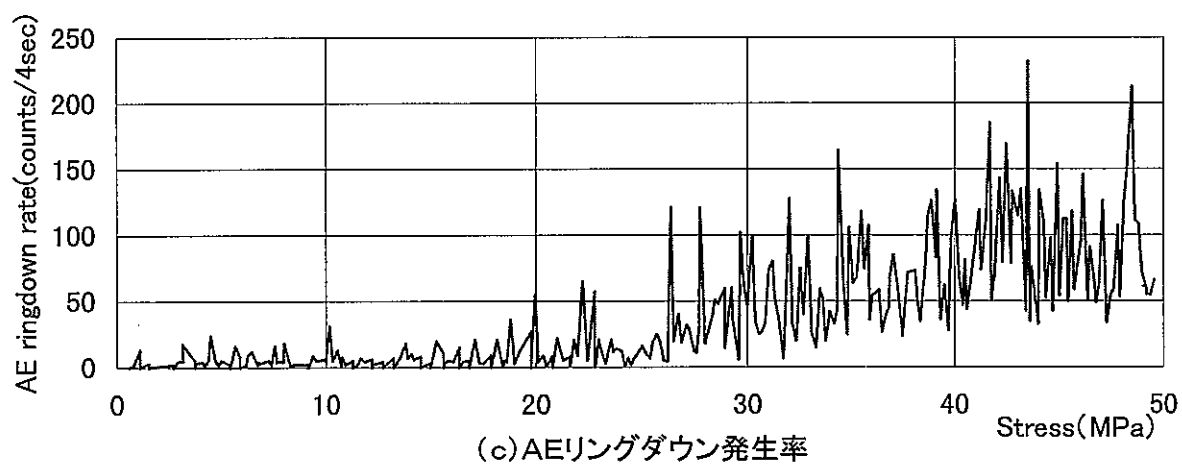
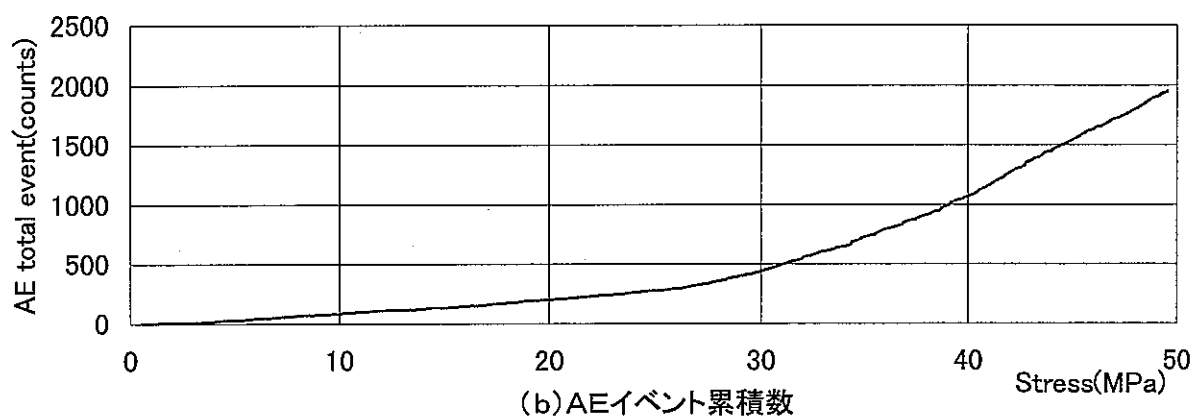
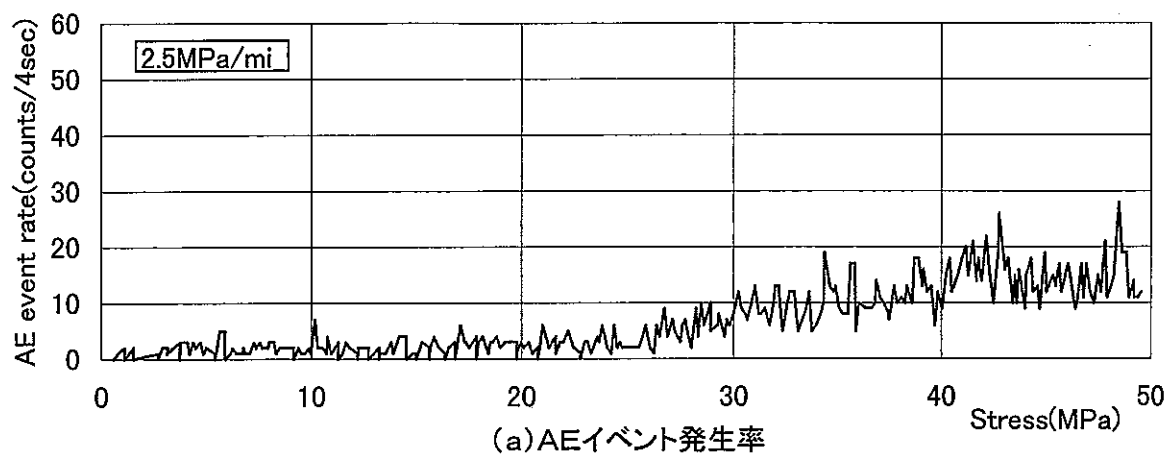
(b) AEイベント累積数

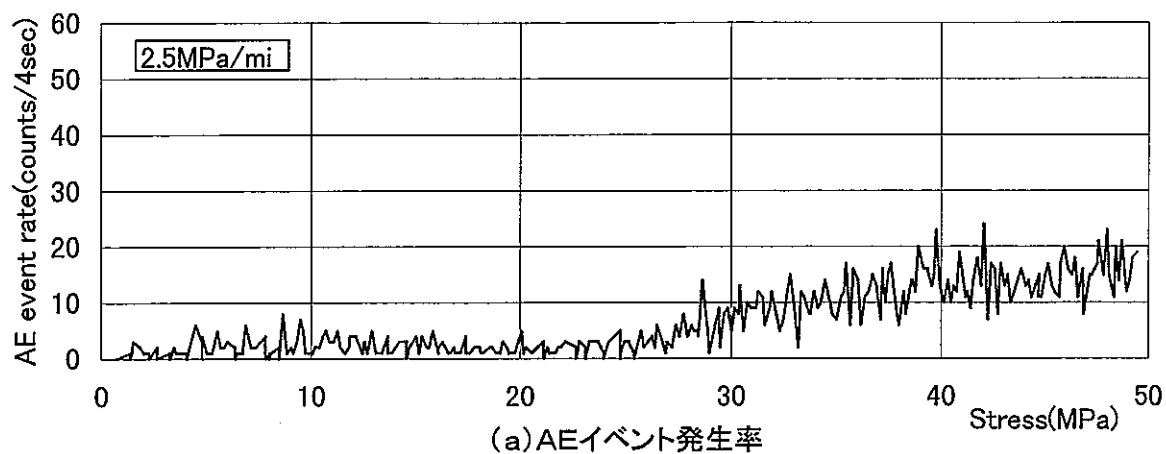


(c) AEリングダウン発生率

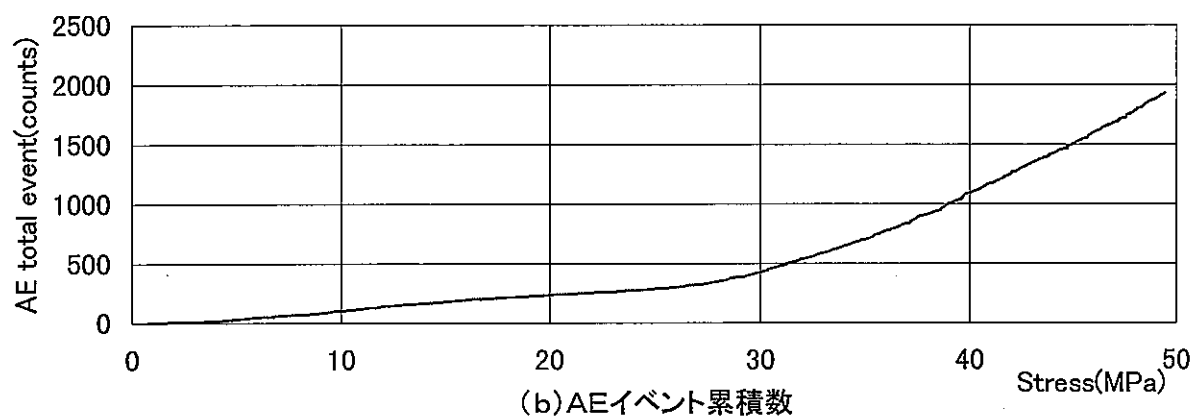


(d) AEリングダウン累積数

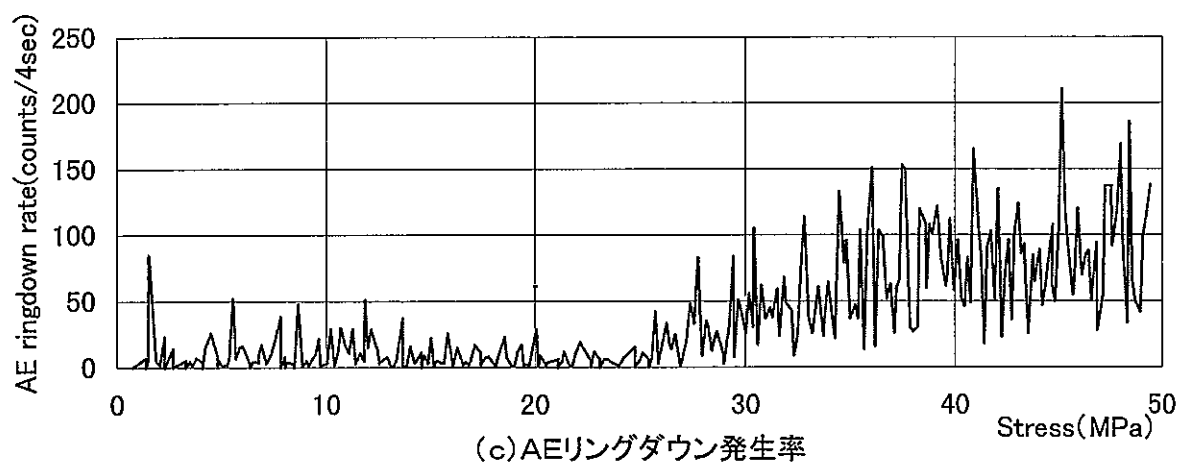




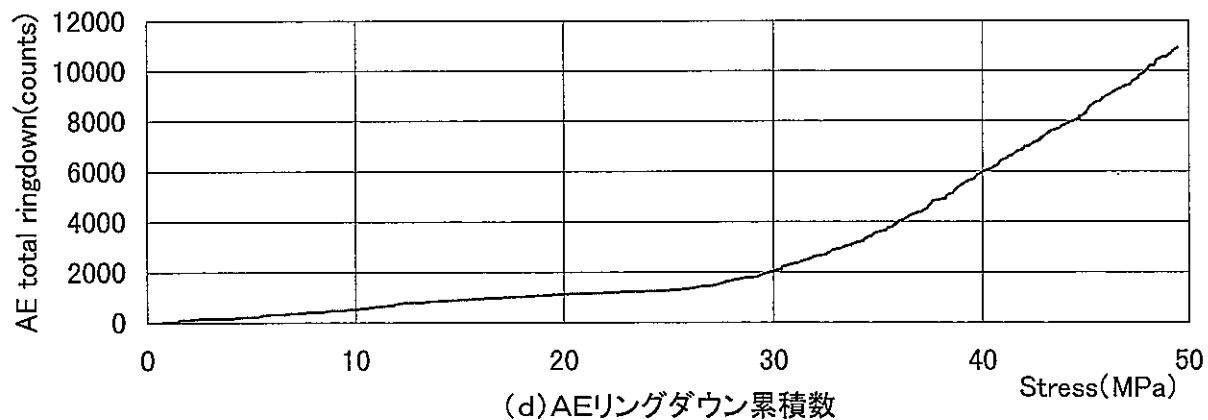
(a) AEイベント発生率



(b) AEイベント累積数



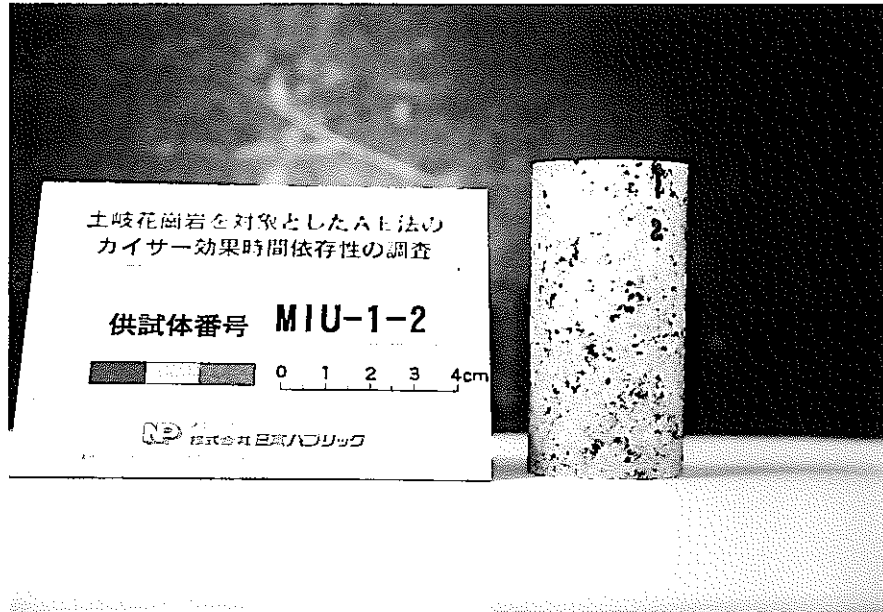
(c) AEリングダウン発生率



(d) AEリングダウン累積数

〈 記 録 写 真 〉

1. 岩石供試体
2. 載荷装置およびA E計測システム



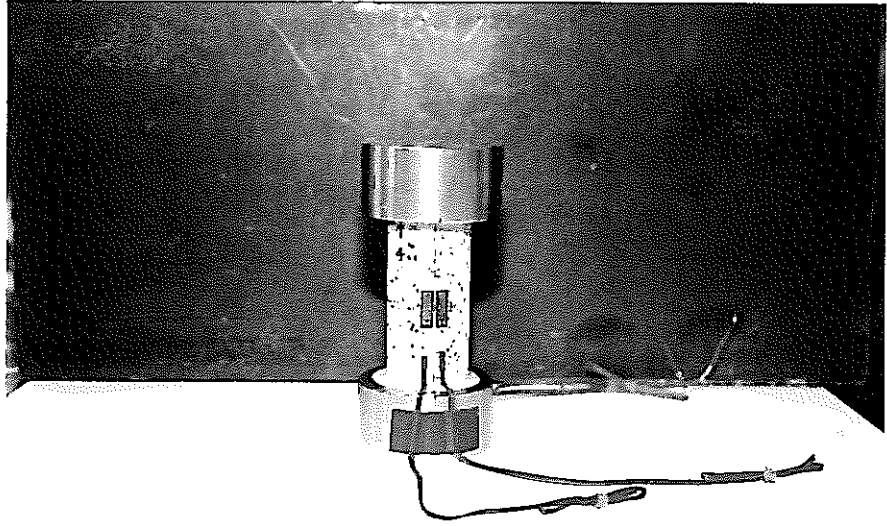
岩石供試体（1）



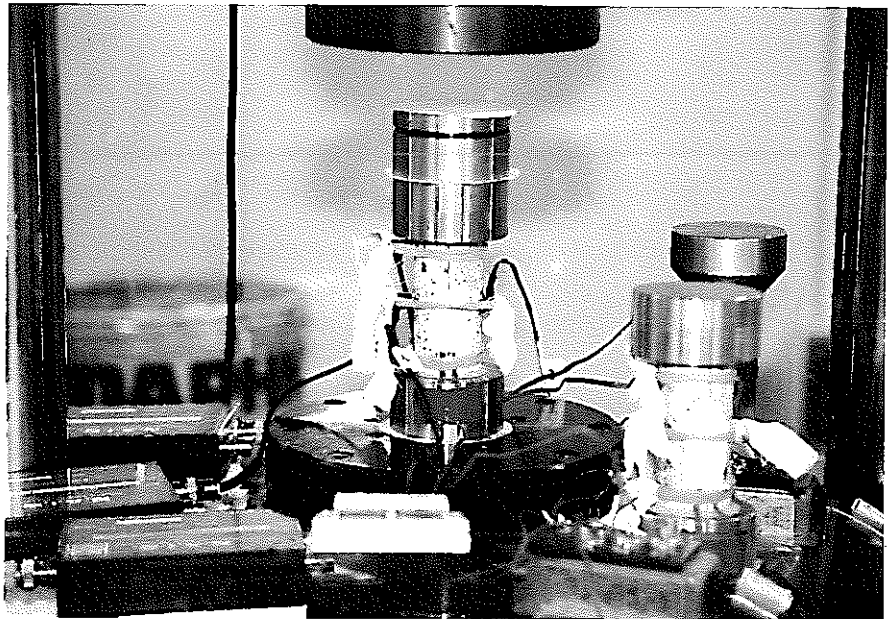
岩石供試体（2）



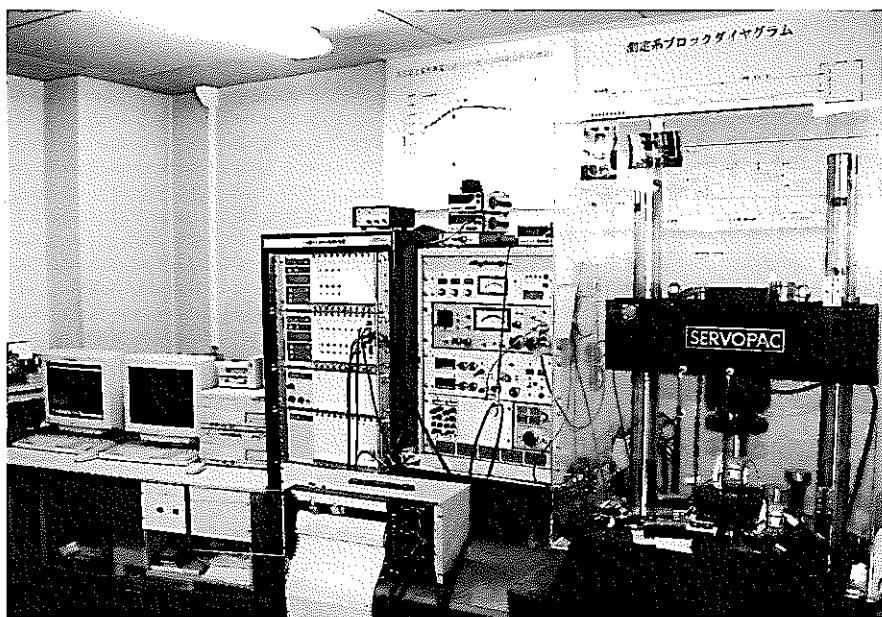
岩石供試体（3）



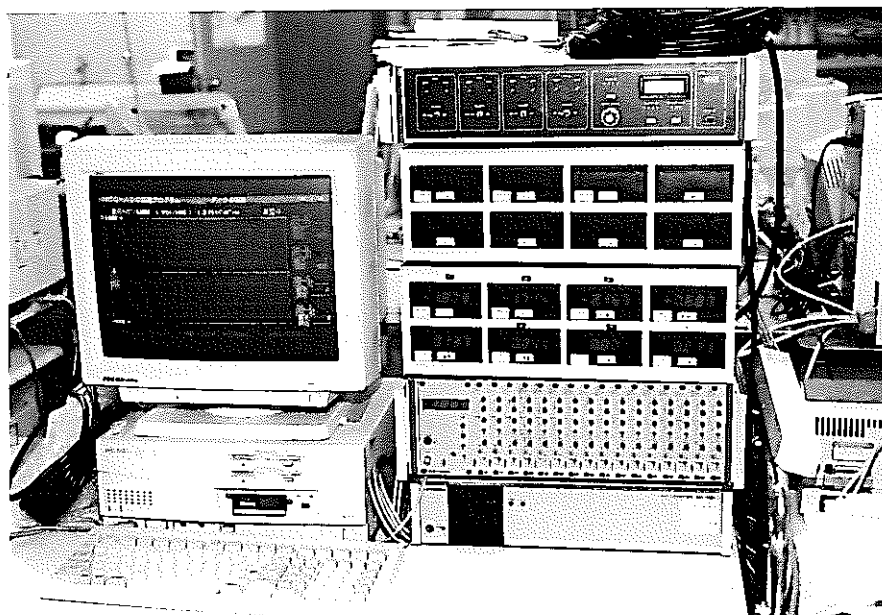
ひずみゲージ接着



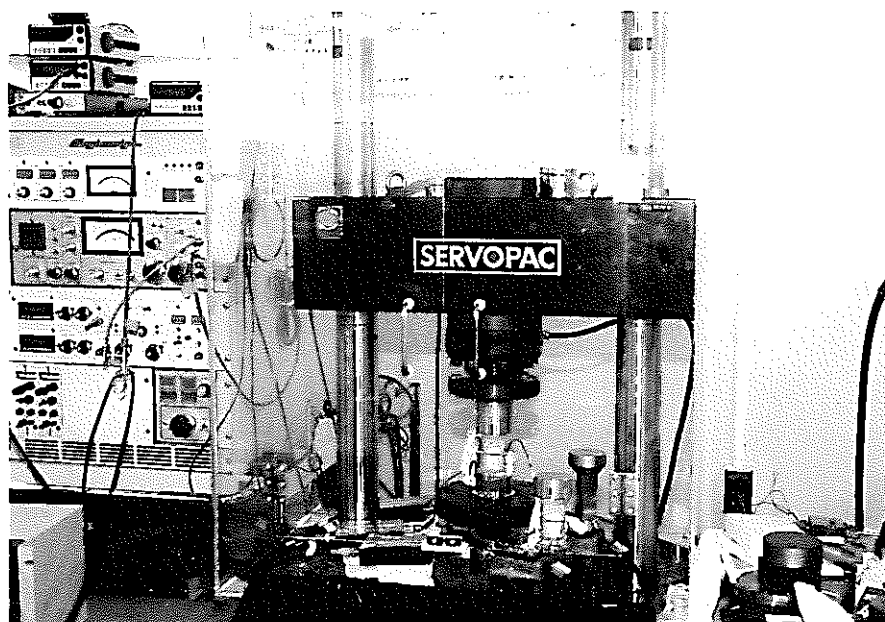
供試体セット状況



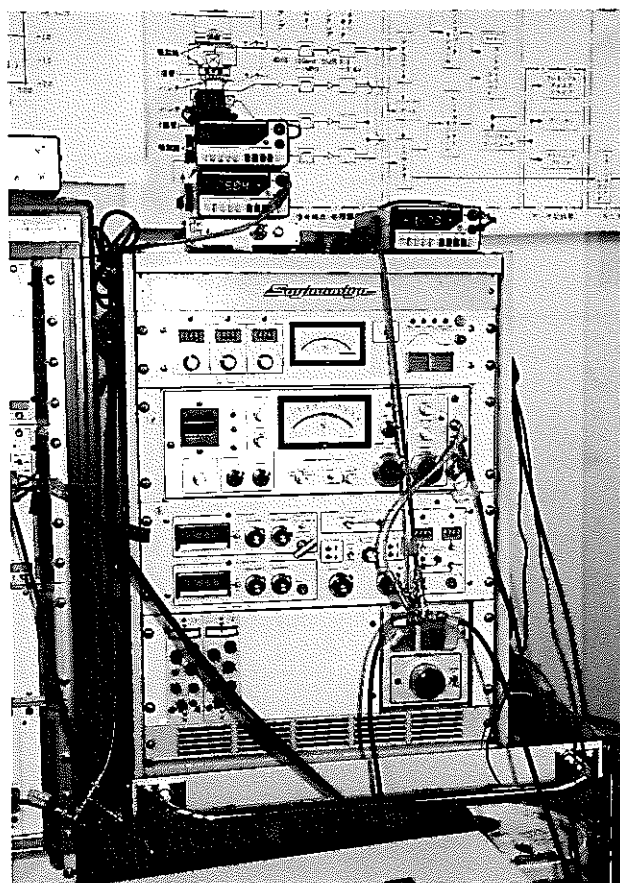
A E 測定装置および試験装置



ひずみ測定装置



載荷装置



載荷制御装置