

PNC TJ7201 98-001

# TM-2孔のコアを用いた AE法による初期応力測定

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998年3月

株式会社 大林組

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺959-31

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

技術開発課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to : Exploration and Mining Technology Development Section. Tono Geoscience Center. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 959-31, Jorinji, Izumi-machi, Toki-shi, Gifu-ken 509-5102, Japan

c 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

PNC TJ7201 98-001

# TM-2孔のコアを用いた AE法による初期応力測定

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998年3月

株式会社 大林組

## TM-2孔のコアを用いたAE法による初期応力測定

大内 一\*、畑 浩二\*

## 【要 旨】

揚水式地下発電所や大断面トンネルのような大規模地下構造物を構築する場合、地盤の初期応力を事前に把握しておくことは重要である。対象地山の初期応力状態を把握しておくことにより、合理的な設計・施工を実施することが可能になる。具体的には、地下構造物の最適な形状、位置ならびにレイアウト方向の選定を支援することが可能になる。我が国では、初期応力測定にオーバーコアリング法や水圧破碎法が主に利用されてきた。しかし、これら原位置で実施される方法は手軽に実施できるという状況にはなく、かつ非常に高価なものであった。一方、室内で実施可能な方法の一つにアコースティック・エミッション法（以下、AEと略す）がある。この方法は、原位置試験法に比べて非常に簡単で、安価に実施できる特徴を有している。

AEとは材料内部に蓄えられたエネルギーの一部分が音響パルスとなり伝播することから、材料内の組織構造変化を把握する有力な手段になりうる。岩石のAEには「カイザー効果」と呼ばれる現象が確認されている。カイザー効果とは、履歴荷重を受けた材料に載荷する際、先行荷重値を越えるまでAEはほとんど発生しない現象である。地山の初期応力は履歴応力と考えられることから、カイザー効果を利用すれば初期応力が評価できることになる。

本研究では、東濃鉱山の300m×300m×深度200m程度の領域内における初期応力状態を把握するため、TM-2孔から採取されるボーリングコアを利用して鉛直方向の初期応力分布状況をAE法を用いて測定した。得られた結果の概要を以下に示す。

- (1)凝灰質砂岩では、しきい値を230mV、210mV、感度を90dBに設定することによりカイザー効果を確認した。
- (2)花崗岩では、しきい値を450mV、430mV、感度を80dBに設定することによりカイザー効果を確認した。
- (3)鉛直方向の初期応力成分 $\sigma_v$ と土被りHとの間には、 $\sigma_v=0.022 \times H$ なる関係のあることが判明した。

---

本報告書は、株式会社大林組が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した研究成果である。

契約番号：09C0619

事業団担当部課室および担当者：東濃地科学センター 地質環境研究室 室長 坪田浩二

\*：株式会社大林組 技術研究所 土木第四研究室

## Measurement of the initial stress in rock cored from TM-2 borehole by AE

H.Ouchi\*, K.Hata\*

### 【Abstract】

When constructing underground large rock cavern such as hydraulic power stations and large scale tunnels, it is quite important to estimate the initial stresses. If the initial stresses of the site are known, the most suitable support member and quantity can be determined. Further, the shape, location and selection of the layout can readily be determined. For the determination of the initial stress condition, overcoring method and hydraulic fracturing method have been currently in use. However, these methods are very expensive and laborious for implementation. Therefore, since acoustic emission (hereafter abbreviated "AE") method can be examined in the laboratory, it is very simple and inexpensive.

When subjected to applied stress, one part of the stored energy in the material is released in the form of the elastic waves, called AE and could be a powerful tool in assessing the mechanical change of internal characteristics in the materials. A phenomenon is called "Kaiser effect" has been confirmed to exist in AE of rock material. The Kaiser effect is a phenomenon that AE activity begins to increase continuously when the compressive stress level exceeds the previous maximum stress. Since the initial stress is equal to the historical stress, it is possible to estimate the initial stress condition by the Kaiser effect of AE.

It was estimated that the vertical initial stress in rock cored from TM-2 borehole by AE method. The purpose of this investigation is to estimate the initial stress condition about wide 300m × 300m and depth 200m area in Tono mining. The result can be summarized as follows,

- (1) In tuffaceous-sandstone, the Kaiser effect made clear under the condition that threshold levels were 230mV and 210mV and total-gain was 90dB,
- (2) In granite, the Kaiser effect made clear under the condition that threshold levels were 450mV and 430mV and total-gain was 80dB, and
- (3) It was made clear that the relationship between the vertical initial stress ( $\sigma_v$ ) and overburden (H) is  $\sigma_v = 0.022 \times H$ .

---

This work performed by Obayashi Corporation under contact with Nuclear Fuel Development Corporation.

Agreement No. : 09C0619

PNC Liaison : Tono Geoscience Center, Geological Environment Research Section, General Manager, K.Tsubota

\* : Obayashi Corporation, Technical Research Institute

TM-2孔のコアを用いたAE法による初期応力測定

担当者一覧表

実施責任者： 大内 一

実施担当者： 畑 浩二

研究業務担当者：畑 浩二

## TM-2孔のコアを用いたAE法による初期応力測定

### 目次

	頁
1.はじめに	1
2.AE法による測定原理	2
3.測定装置	3
4.測定条件の決定	5
5.試料採取位置	9
6.測定方法	10
7.測定結果とその評価	11
8.おわりに	15
9.参考文献	16

#### 巻末資料

予備試験結果

初期応力測定結果

## 1.はじめに

近年、地中構造物の大型化・大深度化に伴い、より合理的な設計・施工が望まれてきている。このような状況の中で、各種の地盤物性を施工前に把握することは極めて重要なことである。しかし、設計外力となる初期応力に関しては特殊な場合を除いて測定されないのが現状である。多くの場合、土被り、岩石の単位体積重量とポアソン比から初期応力(土被り圧)を推定しているが、実際に初期応力を測定してみると、土被り厚や地形などから推察される大きさや方向と異なる場合が少なくない。そこで、実際の地盤条件にあった合理的な設計・施工を実施するためには、対象となる場所の初期応力を測定し、正しく評価することが望まれている。

初期応力の測定方法は、原位置試験法と室内試験法の2つに大別される。代表的な原位置試験法には、応力解放法と水圧破碎法がある。応力解放法は、解放ひずみと岩盤の弾性係数から初期応力を算定するもので、我国では埋設法、平面孔底法および球面孔底法の適用実績が多い。水圧破碎法は、ボーリング孔内で水圧を作用させ岩盤にき裂を生じさせることによって初期応力を算定するものであり、ひずみゲージや変位計を介さず直接岩盤応力を測定できる利点を有している。これら原位置試験法を広く普及させるには、使用装置の小型化やコストダウンが大きな課題となっている。一方、室内試験法は多岐にわたっており、岩石の物理特性(超音波、音弾性、X線など)や力学特性(応力-ひずみ関係)に着目している方法が多い。いずれの方法も、原位置試験法に比べて試料が採取できれば手軽に実施できる利点を有している。これらの内、我国では超音波伝播現象を利用したAE法(アコースティック・エミッション:以下AEと記す)の適用実績が多い。

本業務では、東濃鉱山の300m×300m×深度200m程度の領域内における初期応力状態を把握するため、TM-2孔から採取されるボーリングコアを利用して鉛直方向の初期応力分布状況をAE法を用いて測定する。



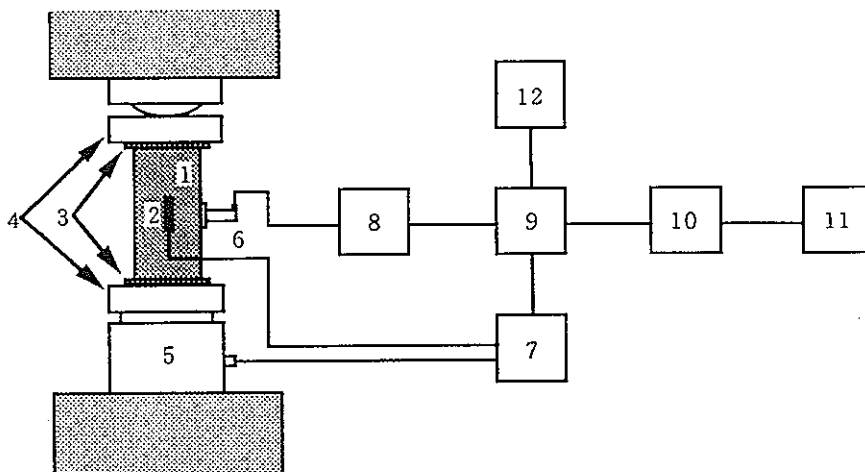
## 2.AE法による測定原理

岩石、コンクリートをはじめとする固体材料は、外力を受けることによって変形が生じる。場合によっては巨視的な破壊へと至ることになる。変形が生じ始める段階から巨視的な破壊に至る過程の中で、材料内部ではマイクロクラックが発生したり、逐次進展したりする現象が起こる。つまり、外力によって材料に蓄えられたエネルギーの一部が、マイクロクラックなどの微小破壊の発生に伴い、波動の形態として材料外部へと放出されることになる。その結果、可聴域の音であったり、熱として感知されることになる。AEとは、材料内部に蓄えられたエネルギーの一部分が音響パルスとなり伝播する現象である。そのため、超音波探傷試験などの従来試験とは異なり、実際の負荷に対応した材料内部の組織構造変化を把握する有力な手段になりうると考えられている。

Kaiser<sup>1)</sup>は、金属材料試験において履歴荷重を受けた材料に載荷する際、先行荷重値を越えるまではほとんどAEの発生が無いことを明らかにした。これがカイザー効果と称される現象であり、「履歴荷重を受けた材料に載荷する場合、先行荷重値を越えるまではほとんどAEは発生しない」と定義されている。地山の初期応力は、主に岩盤の自重によって生じるが、これに地形、地質構造、地殻変動、地熱などの影響が加った履歴応力であると考えられることから、AEのカイザー効果を利用して推定することが可能と考えられている。AE法を初期地圧測定に利用するための先駆的な研究は、金川ら<sup>2)</sup>によって行われた。その後、カイザー効果に関する基礎的な研究は畑ら<sup>3)4)</sup>などによって行われ、AE法を利用した初期応力測定の実用化が進められている。

### 3.測定装置

計測システムは図-1に示すようにAE計測器、マイクロコンピュータおよび圧縮試験機からなる。AE計測器はトランスデューサ、アンプ、ディスクリミネータおよびカウンタからなる。トランスデューサは共振周波数140kHzのPZT(ジルコン酸チタン酸鉛磁器振動子)であり、円柱供試体中央部に鋼製アタッチメントを介して接着する。トランスデューサの周波数応答特性を勘案し、100kHz~200kHzのバンドパスフィルタを構成している。AE信号の計数には、1つのAE信号波形を包絡線検波し計数するイベント計数法を用いている。従来、1つのしきい値でイベントの判定を行っていたが、このシステムでは反射波などの影響を少なくするため1組のしきい値 ( $V_H$ 、 $V_L$ ) を用いる。図-2に1組のしきい値とイベント計数との関係を示す。AE計測は微小な弾性波動を取り扱う関係上、環境雑音の除去が極めて重要になる。その内、電氣的雑音に関しては適切なアースを施すことによって除去している。機械的雑音、特に載荷板と供試体の接触部から発生する雑音に対しては、独立気泡を有したスポンジパッドを載荷板と供試体端面の間に挿入することにより除去している。載荷試験機は、応力制御が可能な高剛性タイプで最大150tの容量を有するが、実際の荷重検出には5tロードセルで対処する。表-1に使用した装置の仕様を示す。



- |            |               |
|------------|---------------|
| 1.岩石供試体    | 7.ひずみ測定器      |
| 2.ひずみゲージ   | 8.プリアンプ       |
| 3.スポンジパッド  | 9.ディスクリミネータ   |
| 4.載荷板      | 10.カウンタ       |
| 5.ロードセル    | 11.マイクロコンピュータ |
| 6.トランスジューサ | 12.オシロスコープ    |

図-1 AE計測システム

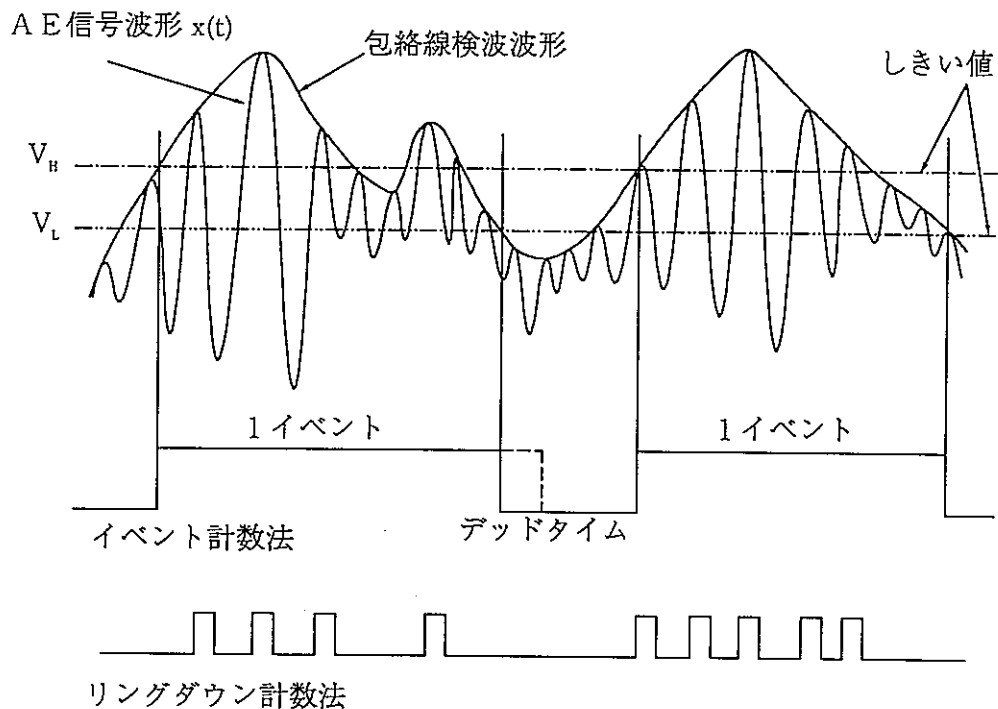


図-2 しきい値とイベントの関係

表-1 使用した装置の仕様

装置名称		メーカー	形式	仕様
多目的材料試験機	ロードフレーム	MTS	Model 315.01S	最大圧縮容量：150 t 最大引張容量：100 t 剛性： $7 \times 10^9 \text{ N/m}$
	制御装置		Model 458.91	サーボ機構によるクローズドループ制御方式
	油圧供給装置		506.02E	最大油量：24.2 l/min 動力：11.2kW
AE計測器	トランスデューサ	NF回路設計ブロック	AE-901S	140kHz共振型 高さ40mm、直径12mm
	プリアンプ		AE-912	40dB固定、差動式
	ディスクリミネータ		AE-922	メインアンプ、フィルタ(バイパス、ローパス)内蔵
	カウンタ		AE-932	2ch出力、AE発生数計測時間 0.1、1、10、100sec
ひずみ測定器	東京測器研究所	TDS-301	0.08sec/点サンプリング 測定範囲： $\pm 40,000 \times 10^{-6}$	
オシロスコープ	岩崎通信	DS-6121A	デジタルストレージ式 分解能8ビット、 25レベル/div、 クロックレート40MHz	
マイクロコンピュータ	NEC	PC-9801RX	16ビット	
ロードセル	東京測器研究所	LU-5TE	容量5 t	
高感度変位計	東京測器研究所	CDP-10	$1000 \times 10^{-6} \text{ mm}$	

#### 4.測定条件の決定

AE法による初期応力測定では、カイザー効果と呼ばれる「履歴荷重を受けた材料に載荷する場合、先行荷重値を越えるまでほとんどAEは発生しない」現象を利用することになる。本方法では、連続的なAEの発生し始めるポイントをカイザー効果と評価しているため、対象岩石に適したしきい値と感度の条件を決定しておくことが望ましい。今回対象のTM-2孔から採取される試料は凝灰質砂岩と花崗岩の2種類である。すでに、東濃鉦山のTM-1孔から採取した凝灰質砂岩については実施済み<sup>5)</sup>であり、表-2のように求められている。そのため、TM-2削孔時に回収された試料が凝灰質砂岩であれば、表-2に示したしきい値と感度の組み合わせ条件を用いて初期応力測定を実施することとした。

一方、東濃鉦山周辺に分布する花崗岩を対象にした初期応力測定は実施されていない。そのため、カイザー効果の存在は未知である。そこで、図-3に示すフローに準拠し、対象岩石にカイザー効果が存在するか否か調べると共に、カイザー効果が存在する場合精度良く先行応力を評価できる試験条件（しきい値と感度の組み合わせ）の選定を目的にしきい値と感度決定の予備試験を実施した。ただし、TM-2削孔スケジュールの関係から、既に削孔を終了しているTM-1孔から回収した花崗岩（深度175 m付近）を用いた。6.5MPaで20回の繰返し載荷中におけるAE発生数の推移を図-4に示す。AE発生頻度は繰返し回数増加に伴い減少するものの、完全に消失することはなかった。通常、数回の繰返しでAEは発生しなくなり、その載荷条件下で先行応力を記憶させることが可能である。しかし、この試料のように繰返し載荷中絶えずAEが発生するという事は、その載荷条件下で安定した状態すなわち先行応力を記憶した状態に至らしめることが困難であると判定される。試験に用いた試料は、軽度ではあるが風化が進み結晶粒界の固結度が低かったことから、AEが絶えず発生したものと考えられる。すなわち、この試料にはカイザー効果が成立しないためしきい値と感度の組み合わせ条件を選定することは不可能と判断された。

表-2 東濃鉦山地区の凝灰質砂岩におけるAE試験条件<sup>5)</sup>

項目		設定条件
しきい値	$V_H$	230mV
	$V_L$	210mV
感度		90dB

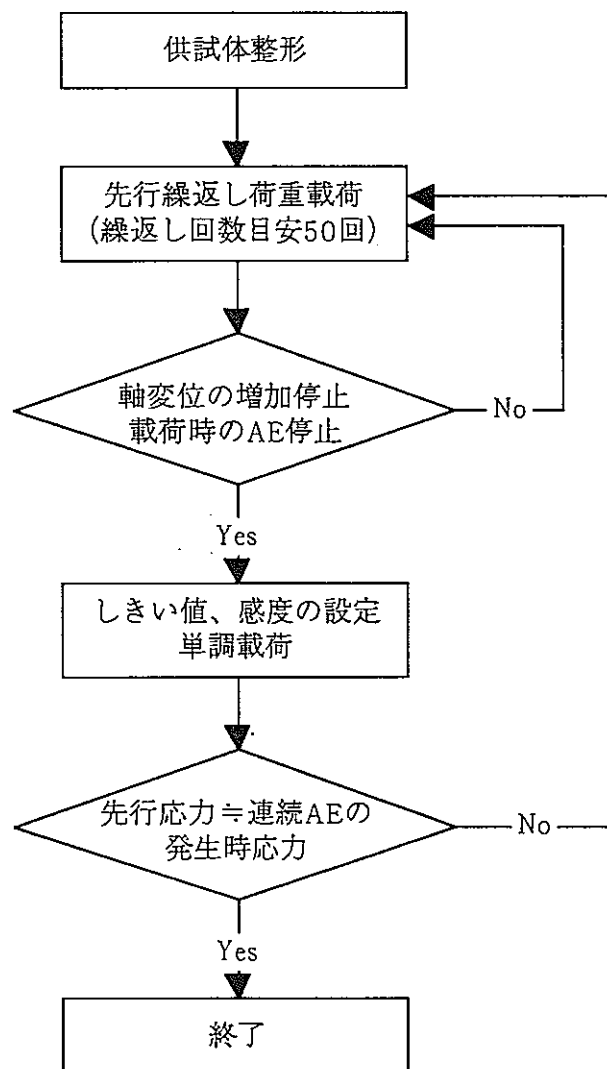


図-3 しきい値と感度決定のための予備試験フロー

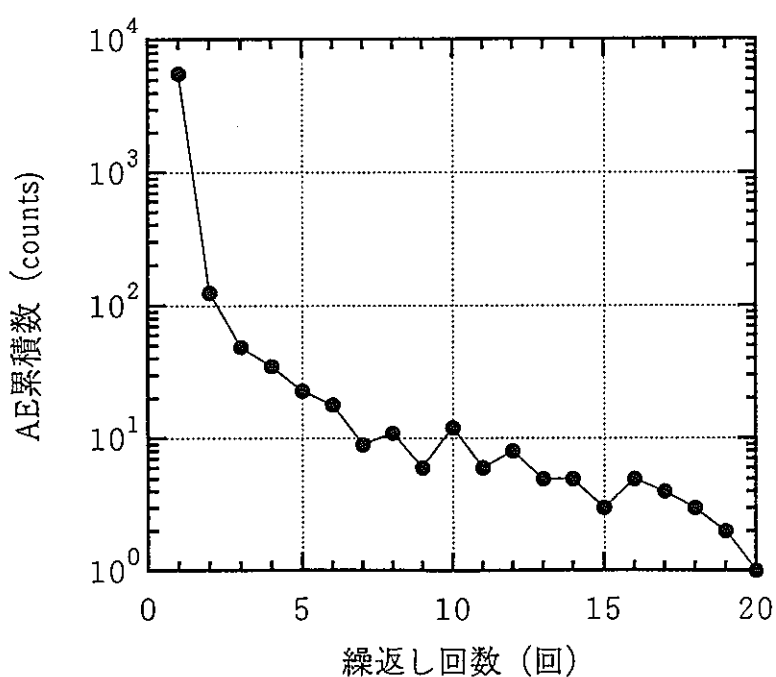


図-4 TM-1孔採取試料 (深度175m付近) の繰返し载荷中におけるAE累積数の推移

初期応力測定試験に先立ち、TM-2孔から予備試験に供することの可能な試料が入手困難であった。そこで協議の上、別途削孔していたMIU-1孔（深度99.7m）から採取した花崗岩コアを用いて予備試験を実施した。花崗岩を対象にしたカイザー効果の基礎的試験実績を勘案して感度を80dBに固定し、しきい値を種々変えた試験とした。

採取深度を勘案し、約2.5MPa、5.0MPaおよび6.5MPaの先行応力を繰返し50回の载荷条件下で供試体に作用させ、先行応力を記憶させた。その後、感度を80dBに固定し、しきい値を試行錯誤的に4種類設定し、それぞれの試験条件の基で先行応力を越えて単調载荷しAEの発生状況を調べた。先行応力と試験条件の組み合わせは6パターンである。測定結果の一例を図-5に示す。この図は、4.85MPaの先行応力を作用させた試料について、しきい値が450mV、430mV、感度を80dBとした場合の試験結果であり、応力-ひずみ-AE累積数の関係を示したものである。図中、矢印で先行応力を、点線で連続的なAEの発生した応力をそれぞれ表している。この試験条件の場合、連続的なAEは5.12MPaから発生し始め、繰返し载荷で作用させた先行応力とほぼ一致した。測定結果を表-3に示す。しきい値を500mV、480mV、感度を80dBとした場合、AEは検知されなかった。一方、しきい値を300mV、280mV、感度を80dBとした場合には、先行応力よりかなり小さい応力値から連続的なAEが発生した。以上のことから、予備試験を行った花崗岩の場合、先行応力と連続的なAEが発生する応力値がほぼ一致する試験条件は、しきい値を450mV、430mV、感度を80dBに設定する場合と考えられる。そこで、TM-2削孔時に回収された試料が花崗岩であれば、表-4に示したしきい値と感度の組み合わせ条件を用いて初期応力測定を実施することとした。

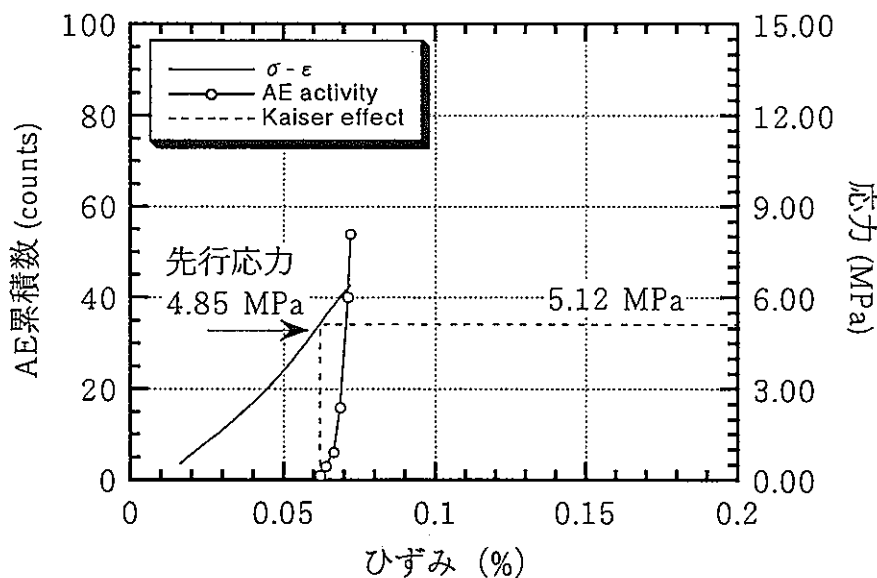


図-5 予備試験結果の一例

(先行応力4.85MPa、しきい値450mV、430mV、感度80dBの場合)

表-3 東濃鉦山地区の花崗岩における予備試験結果<sup>1)</sup>

供試体 No.	供試体寸法 (cm)		単位体 積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	カイザー効 果から推定 される応力 (MPa)	先行繰返し 応力 (MPa)	試験条件		
	直径	高さ				感度 (dB)	しきい値(mV)	
							V <sub>H</sub>	V <sub>L</sub>
MIU1-1	2.98	5.78	24.9	—*	2.69	80	500	480
				4.67	4.88	80	400	380
				4.83	6.35	80	300	280
MIU1-2	2.98	6.00	24.9	2.70	2.59	80	450	430
				5.12	4.85	80	450	430
				6.87	6.40	80	450	430

\* AEは発生せず

表-4 東濃鉦山地区の花崗岩におけるAE試験条件

項目		設定条件
しきい値	V <sub>H</sub>	450mV
	V <sub>L</sub>	430mV
感度		80dB

## 5. 試料採取位置

東濃鉾山は岐阜県土岐市に位置する。鉾山周辺の地層は、瀬戸層群、瑞浪層群（生俵累層、明世累層、土岐夾炭累層からなる）および基盤岩からなっている。瑞浪層群は凝灰質砂岩を主体とし、基盤岩は土岐花崗岩からなっている。本研究で使用する試料は、TM-2削孔時に回収された鉛直方向のボーリングコア（直径約4.8cm）である。TM-2孔の位置関係を図-6に示す。

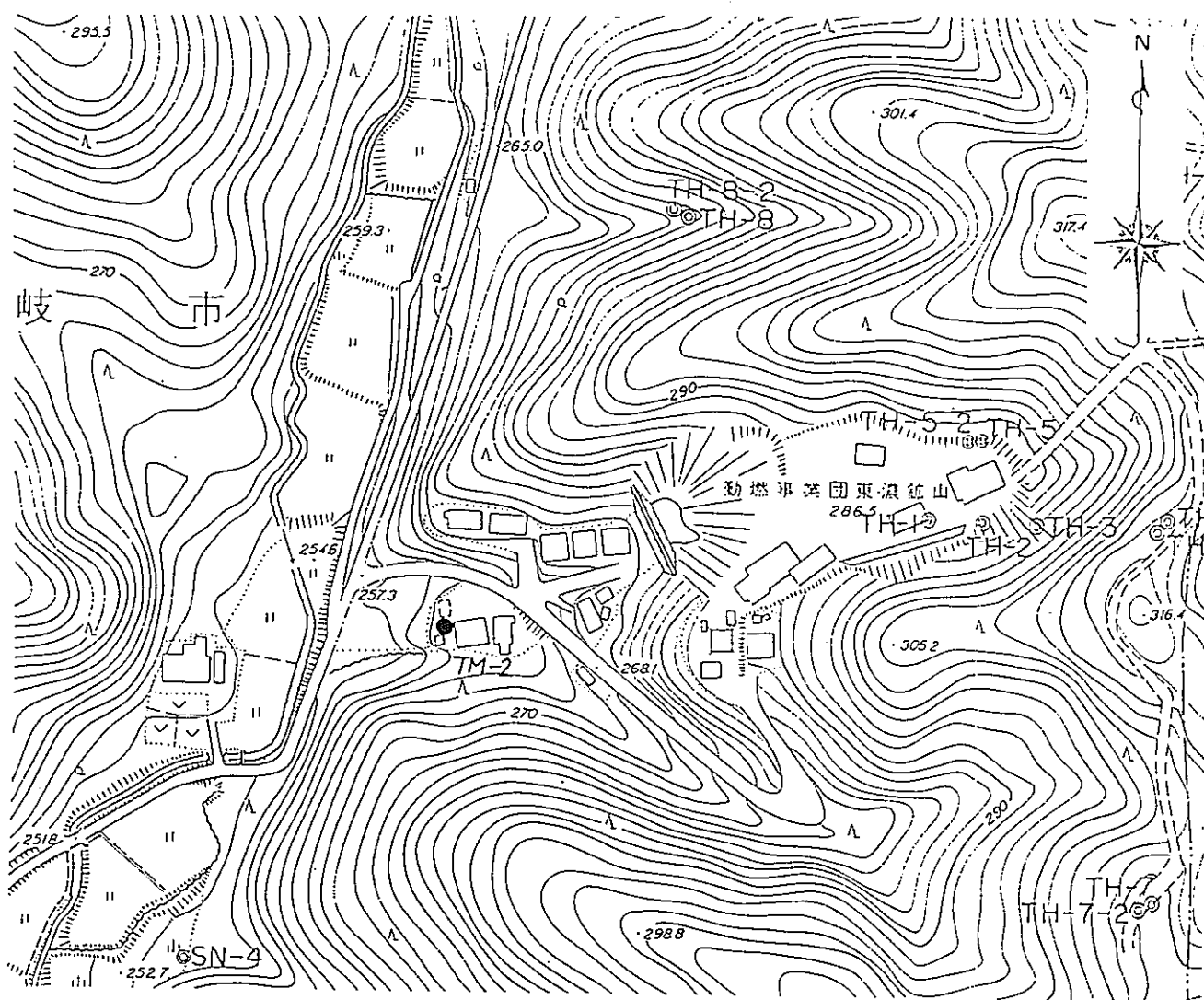


図-6 試料採取位置 (TM-2孔)



## 6.測定方法

掘進予定長200 mのTM-2孔から逐次回収されるボーリングコアを用いて、直径30mm、細長比1：2の円柱供試体を整形した。ボーリングコア軸方向と供試体軸方向は一致させた。所定の形状、寸法に整形した供試体の側面にアタッチメントを介してトランスデューサを取り付けた。アタッチメントおよびトランスデューサ取り付けには硬化型のシリコンゴムを用いた。

供試体への荷重は、荷重制御により行った。計測した諸量は、単調荷重時における荷重、変位（場合によりひずみ）およびAE発生数である。供試体軸方向の変形量は、花崗岩の場合、供試体側面中央の対角の位置にひずみゲージを2枚貼付し計測した。一方、凝灰質砂岩は含水比が高く、ひずみゲージを貼付することができなかつたため上下載荷板の間に高感度変位計を設置し計測した。AE計測では雑音除去のため供試体と載荷板の間にスポンジパッドを入れていることから、高感度変位計による変位計測ではスポンジパッドの変形分を加えた変形量になっており、供試体自体の変形量にはならない。ただし、本計測に関してはカイザー効果が発現する応力値が評価対象になり、変形量は付加的であるため不都合を生じることはない。荷重速度はJIS M 0302に準拠し、破壊するまでの時間がおおむね10min.前後になるように定めた。今回採取される岩種は2種類であることから、凝灰質砂岩の荷重速度を0.98MPa/min、花崗岩の荷重速度を9.8MPa/minとした。凝灰質砂岩については破壊するまで荷重を行ったが、花崗岩については測定器具（5tロードセル使用）の関係から30MPaまでとした。ボーリングコア採取予定の最大深度が200 m、単位体積重量が約26 kN/m<sup>3</sup>となることから、土被り圧は4.6MPa程度になるものと予想される。花崗岩の荷重レベル30MPaは、想定土被り圧4.6MPaの約7倍あることから初期応力測定に際して支障はきたさない。なお、畑ら<sup>31,9)</sup>の研究成果を基に、凝灰質砂岩については試料採取後3日以内に、花崗岩については試料採取後5日以内に試験を完了した。

## 7. 測定結果とその評価

凝灰質砂岩と花崗岩で初期応力測定を実施した。結果の一例を図-7と図-8に示す。図-7は凝灰質砂岩（供試体No.TM2-3）の測定結果であり、応力-変位-AE累積数の関係を示したものである。図中、点線で連続的なAEの発生した応力値を示した。この供試体について、載荷軸方向の初期応力は1.18MPaと評価される。一方、図-8は花崗岩（供試体No.TM2-10）の測定結果であり、応力-ひずみ-AE累積数の関係を示したものである。図中、点線で連続的なAEの発生した応力値を示した。この供試体について、載荷軸方向の初期応力は2.80MPaと評価される。

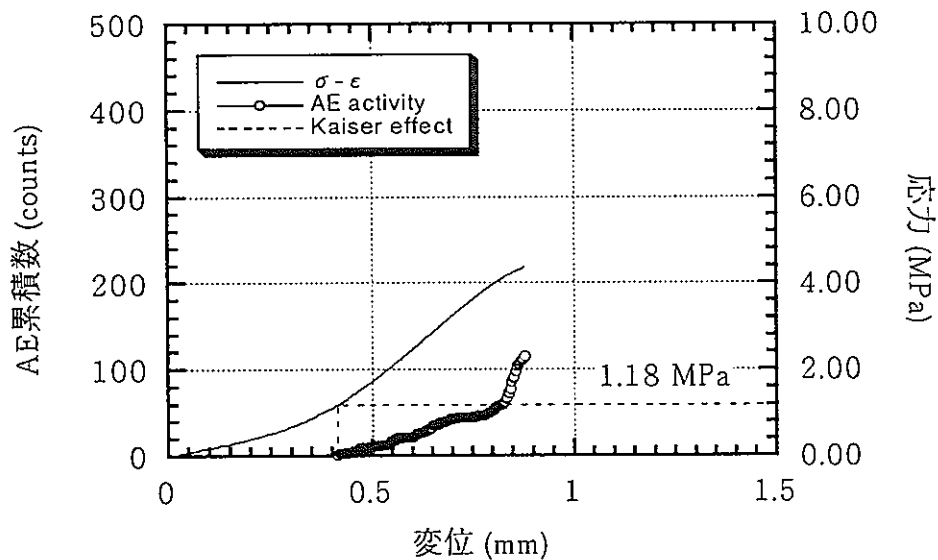


図-7 凝灰質砂岩（供試体No.TM2-3）の測定結果

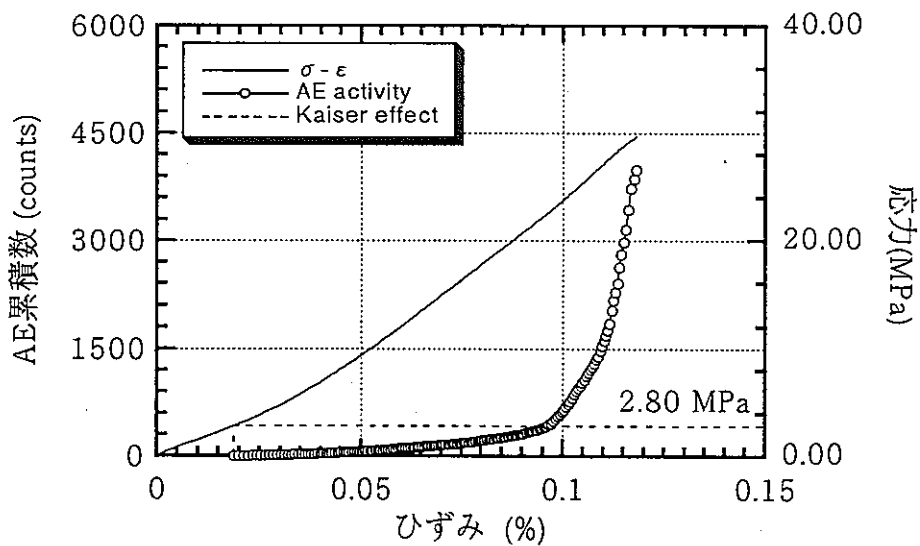


図-8 花崗岩（供試体No.TM2-10）の測定結果

初期応力測定結果の一覧を表-5に示す。試料の送付は深度58mから始まり、途中74～167mまでは著しくコアの状態が悪くAE試験に供することが不可能であった。そのため、凝灰質砂岩については深度58～74m区間で採取した試料を用いた。一方、花崗岩については深度168～170m区間で採取した試料を用いた。

表中、凝灰質砂岩のうちTM2-1とTM2-2の2供試体については、載荷直後から多数のAEが発生し、初期地圧の評価は困難であった。目視上はマクロな欠陥が無いことを確認しているが、一軸圧縮強度は同種の供試体に比べてかなり小さくなったことから、供試体内部に何らかの欠陥があったものと考えられる。それ以外のTM2-3～TM2-9については、ある応力を境に明確なAEが連続的に発生していることから初期応力の評価が可能であった。一方、花崗岩のうちTM2-15ならびにTM2-17～TM2-20の5供試体については、載荷初期に集中的にAEが発生した。凝灰質砂岩の場合と同様に、目視上はマクロな欠陥が無いことを確認しているが、結晶粒界部の風化劣化が影響し、載荷初期の段階でAEが頻発したものと考えられる。そのため、これらの供試体については初期応力を評価することは困難であった。また、TM2-14についてはAE発生数が極端に少ないことから、初期応力評価は不適と判断した。これら以外の供試体については、ある応力を境に明確なAEが連続的に発生していることから初期応力の評価が可能であった。

得られた初期応力測定結果と試料採取深度との関係を図-9に示す。凝灰質砂岩について、ほぼ同一深度と考えた場合には平均値で1.18MPa、変動係数<sup>6)</sup>は9.59となった。この結果は土被り圧にほぼ等しいものとなった。一方、花崗岩の測定結果は最大値5.41MPaから最小値2.80MPaと凝灰質砂岩の結果に比べてバラツキが大きくなり、平均値で3.79MPa、変動係数<sup>6)</sup>は21.55となった。バラツキが大きくなった原因として、局所的な応力集中と緩和の発生、試験条件（しきい値・感度）の不一致もしくは結晶粒界部分の風化度合いの影響が考えられるが、現状では特定することは困難である。ところで、5.41MPaを除いた他の測定結果は比較的バラツキが少ない（平均値：3.46MPa、変動係数<sup>6)</sup>：11.85）が、統計論的に棄却できないことから土被り約170m地点における平均的な初期応力は3.79MPa（平均値）と評価した。

得られた初期応力測定結果から、深度との相関性を直線回帰したところ、(1)式のような関係（図-9中実線部）を得た。式中 $\sigma_v$ は鉛直方向の初期応力成分を、Hは土被りを示す。また、参考までに図-9中に点線で土被り圧の推移を示す。TM-2孔では、0～30mに瀬戸・明世層、30～130mに土岐夾炭累層、130m以深は花崗岩が分布していた。それぞれの単位体積重量は16.9kN/m<sup>3</sup>、18.1kN/m<sup>3</sup>、25.5kN/m<sup>3</sup>であったことから、土被り圧を算定した。今回得られた鉛直方向の初期応力はほぼ土被り圧に等しい結果になったものと判断した。

$$\sigma_v = 0.022 \times H \quad (1)$$

ところで、AE計測で最も不利になる事項は、新鮮なコアが回収できないことにある。AE発生メカニズムは試料内部に蓄えられたエネルギーの一部が解放されることにあり、初期応力測定に関しては新たな応力条件（応力値）によって試料内部に新たなき裂が発生したり、進展することに起因していると考えられている。しかし、風化していたり、マクロなき裂を含んだ試料については、外力が作用し始めるやいなや欠陥部分（結晶構造がポーラスな部分やき裂の部分）から発生する摩擦音が顕著になり、有意なAEを取り出すことが不可能になる。このような何らかの欠陥を有する供試体をAE法による初期応力測定に利用した場合、載荷初期の段階で多数のAEが発生し、AE累積数曲線は上に凸型の形状を呈する特徴を有する。一方、新鮮な供試体を利用した場合にはAE累積数曲線は下に凸型の形状を呈することになる。

表-5 初期応力測定結果

供試体 No.	深度* (m)	岩種	初期応力 (MPa)	初期応力 評価の可否	一軸圧縮強度 (MPa)	試料採取日	採取後試験までに要した日数(日)
TM2-1	58.32	凝灰質砂岩	0.00	×	2.35	9/24	2
TM2-2	58.41		0.12	×	1.96	9/24	2
TM2-3	60.91		1.18	○	4.35	9/24	2
TM2-4	67.18		1.02	○	8.94	9/29	3
TM2-5	67.80		1.37	○	3.95	9/29	3
TM2-6	68.61		1.10	○	11.44	9/29	3
TM2-7	73.66		1.09	○	9.30	9/29	3
TM2-8	73.74		1.22	○	7.70	9/29	3
TM2-9	73.86		1.29	○	9.87	9/29	3
TM2-10	167.26		花崗岩	2.80	○	—	1/7
TM2-11	167.39	3.20		○	—	1/7	3
TM2-12	168.14	5.41		○	—	1/7	3
TM2-13	168.27	3.60		○	—	1/7	3
TM2-14	168.68	6.56		×	—	1/7	3
TM2-15	168.85	0.80		×	—	1/7	3
TM2-16	169.36	3.85		○	—	1/7	3
TM2-17	170.22	0.09		×	—	1/7	3
TM2-18	170.29	0.83		×	—	1/7	3
TM2-19	170.35	0.71		×	—	1/7	3
TM2-20	170.43	0.61		×	—	1/7	3
TM2-21	170.53	3.87	○	—	1/7	3	

注) 深度74~167mはコア不良のため欠測

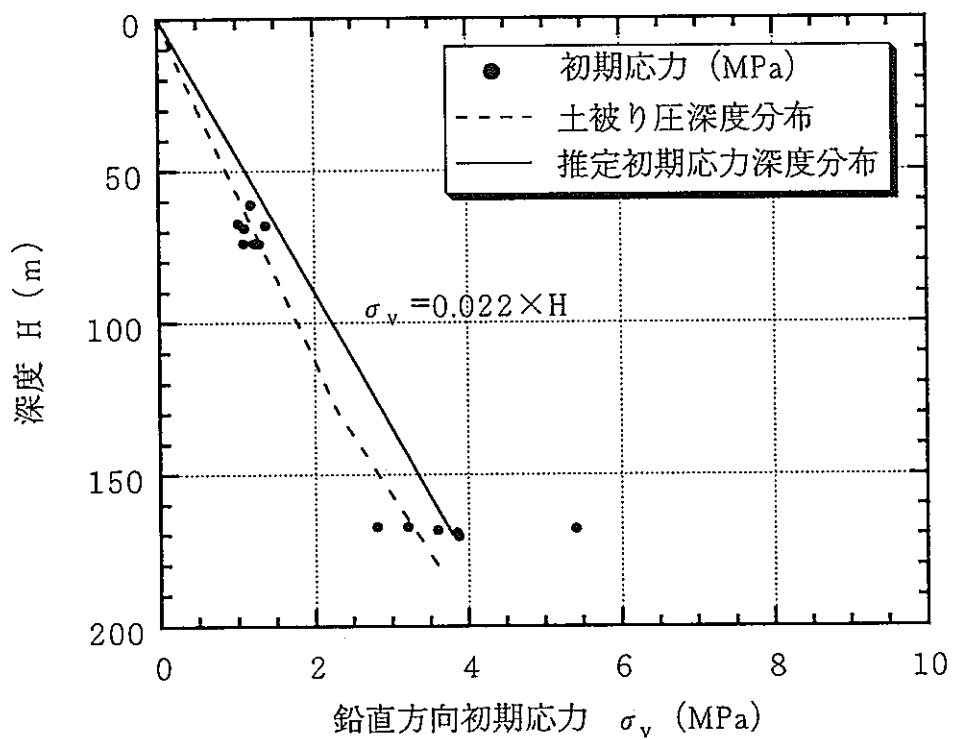


図-9 鉛直方向初期応力の深度分布

## 8. おわりに

TM-2孔から回収されたボーリングコアを用いてAE法により初期応力の測定を実施した。当初、深度30mピッチで各3体の供試体から初期応力を測定する計画であった。しかし、深度によっては新鮮なコアが採取できないこと、測定のタイミングにずれが生じたことなどから深度30mピッチでの測定はできなかった。試料の送付は深度58mから始まると同時に初期応力測定を開始した。しかし、途中74～167mまでは著しくコアの状態が悪くAE試験に供する試料を入手することができなかった。そのため、凝灰質砂岩については深度58～74m区間で採取した試料を、花崗岩については深度168～170m区間で採取した試料を用いた。

初期応力測定に先立ち、花崗岩の予備試験（しきい値と感度の条件設定）を実施した。ただし、TM-2孔からは測定スケジュールの関係で予備試験可能な新鮮な岩石が入手できなかったため、MIU-1孔から回収した花崗岩を代用した。その結果、しきい値を450mV、430mV、感度を80dBに設定することによって連続的にAEが発生した応力値と先行応力が良く一致することが明らかになったことから、深度168～170mで入手できた花崗岩についてはこの条件を採用した。深度58～74m区間で採取した凝灰質砂岩については、既に測定実績のあるしきい値を230mV、210mV、感度を90dBに条件を採用した。

初期応力測定対象の岩石は凝灰質砂岩と花崗岩である。上述の理由から、凝灰質砂岩については深度58～74m区間で採取した試料を、花崗岩については深度168～170m区間で採取した試料をそれぞれ用いた。凝灰質砂岩については9本試験を実施したが、その内7本について鉛直方向初期応力成分を評価できた。一方、花崗岩については12本試験を実施したが、その内6本について鉛直方向初期応力成分を評価できた。初期応力を評価できなかった測定結果では、载荷初期に多数のAEが発生したり、その逆にAEの発生数が極端に少なかったりした。その原因として、载荷初期に多数のAEが発生する場合は、供試体に目視観察では検知できなかった微小き裂が存在していたことや、結晶粒界の風化劣化が影響を及ぼしたことが考えられた。一方、AEの発生が極端に少ない原因については現状では特定することはできなかった。

AE法によって得られた測定結果から、東濃鉦山の300m×300m×深度200m程度の領域内における鉛直方向初期応力の深度分布を検討した。その結果、鉛直方向の初期応力成分 $\sigma_v$ と土被りHとの間には、 $\sigma_v=0.022 \times H$ なる関係のあることが判明した。この関係はほぼ土被り圧に対応していた。

本業務では、鉛直方向の初期応力成分に着目し測定を行った。通常、地山は3次元応力状態下にあることから、厳密には鉛直方向のみの測定では不十分である。AE法では、相異なる6方向の供試体が整形できれば3次元初期応力が評価できるため、比較的容易に対応可能である。今後、初期応力状態を詳しく議論するためにはAE法による3次元初期応力測定を提案したい。

## 9.参考文献

- 1) J.Kaiser : Untersuchungen über das auftreten gerauschen beim zugversuch, Archiv für das Eisenhüttenwesen, Vol.24, pp.43 ~45, 1953.
- 2) 金川 忠、林 正夫、仲佐博裕 : 岩石における地圧成分のAcoustic Emissionによる推定の試み、土木学会論文報告集、第258号、pp.63~75、1977.
- 3) 畑 浩二 : AEによる地圧計測の実例Ⅱ、－現場技術者のための－AE技術の応用、pp.388~401、1994.
- 4) 畑 浩二、道廣一利、吉岡尚也、杉原弘造 : AE法を利用した初期地圧測定とその適用例、材料、特集岩石力学、第44巻、第502号、pp.885~890、1995.
- 5) 畑 浩二、木梨秀雄、杉原弘造、佐藤稔紀 : 新第三紀堆積岩におけるカイザー効果の時間依存性、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.235~240、1994.
- 6) 日本材料学会、建設材料実験、pp.33~38、1978.

# 卷末資料

1. 予備試験結果

2. 初期応力測定結果

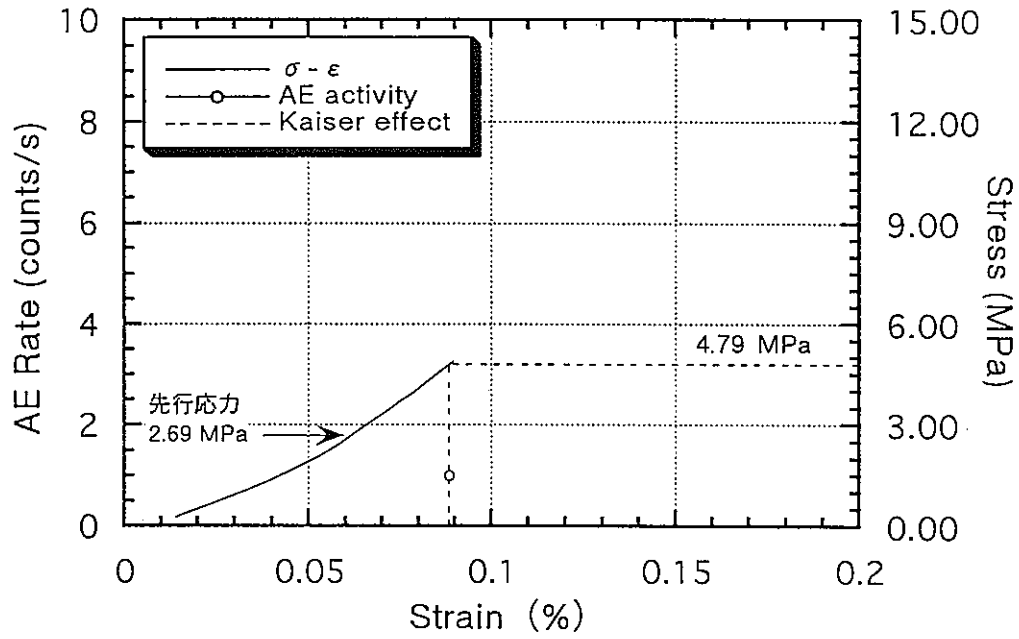


## 1. 予備試験結果

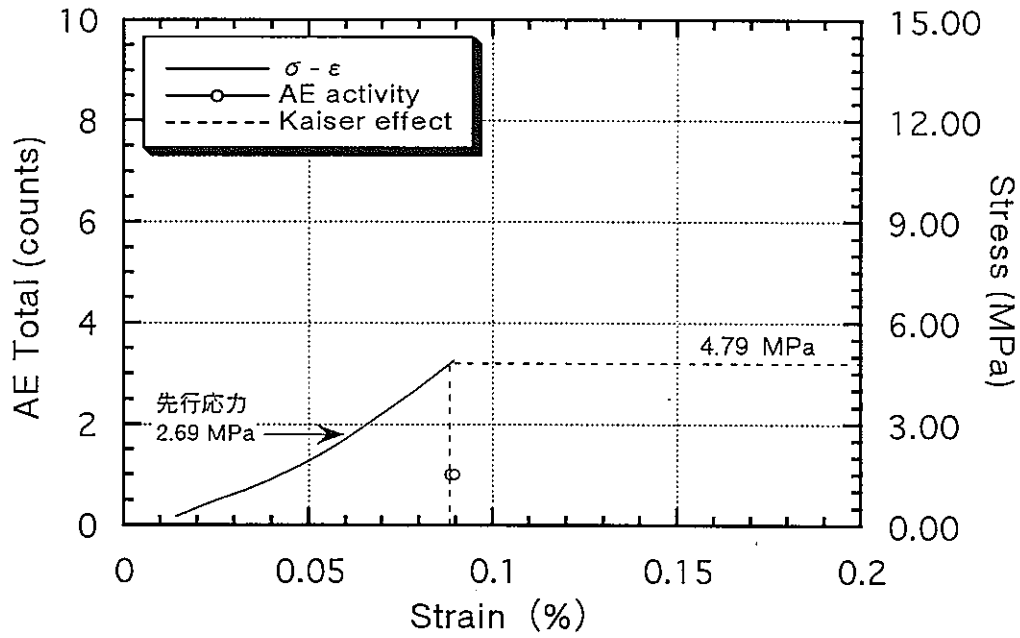
応力－ひずみ－AE発生数の関係

応力－ひずみ－AE累積数の関係

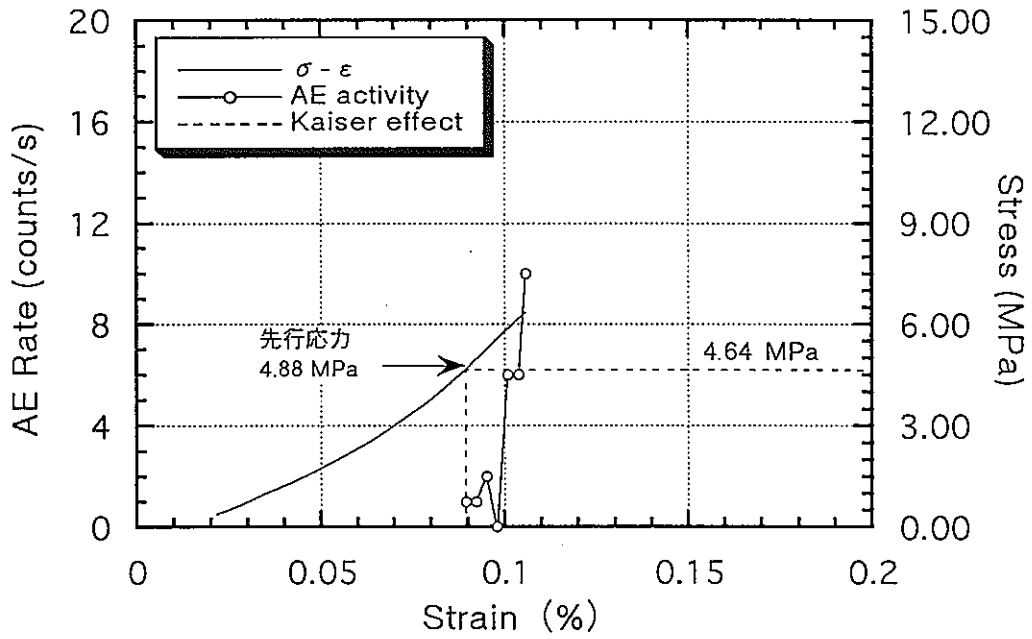
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 2.69 MPa)



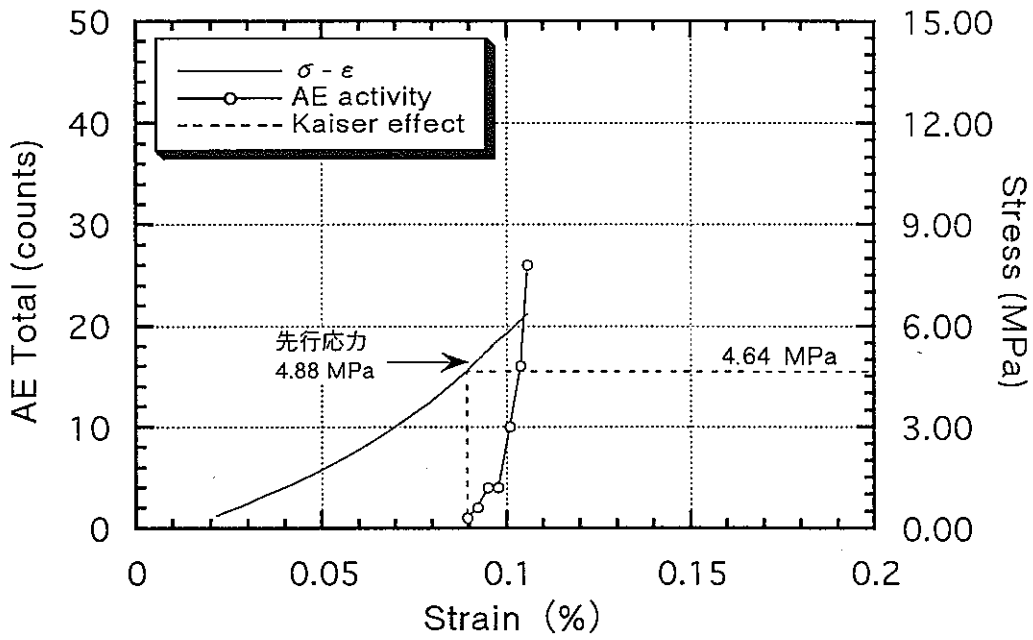
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 2.69 MPa)



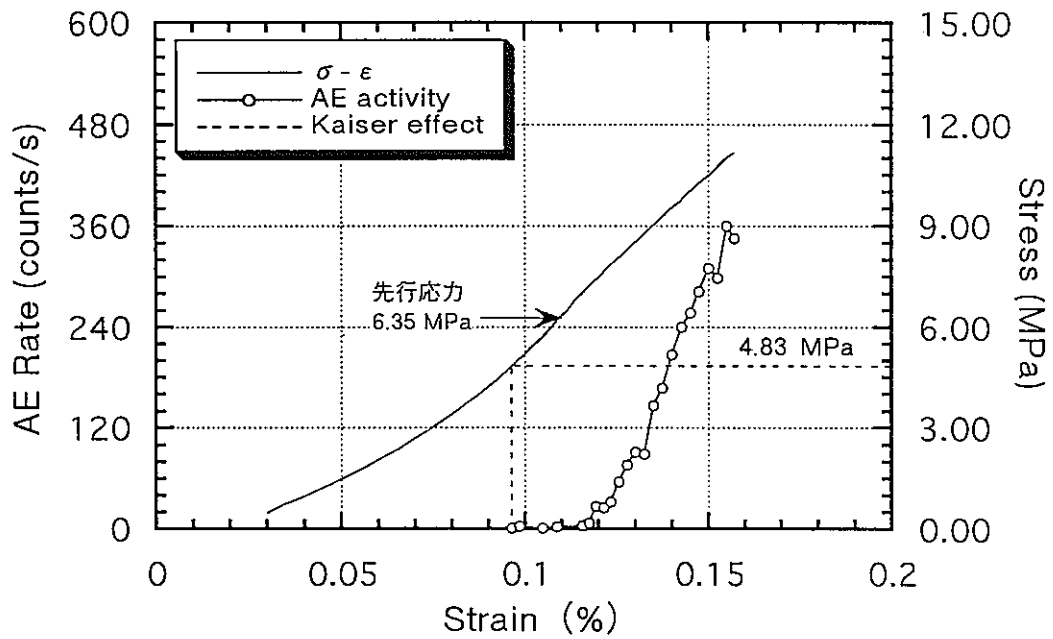
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 4.88 MPa)



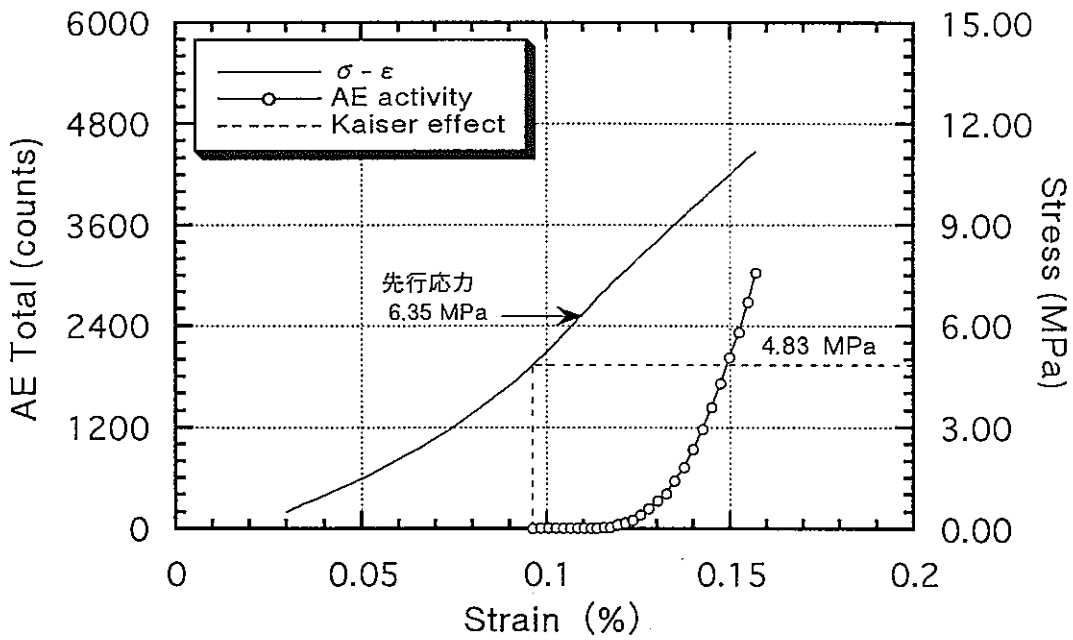
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 4.88 MPa)



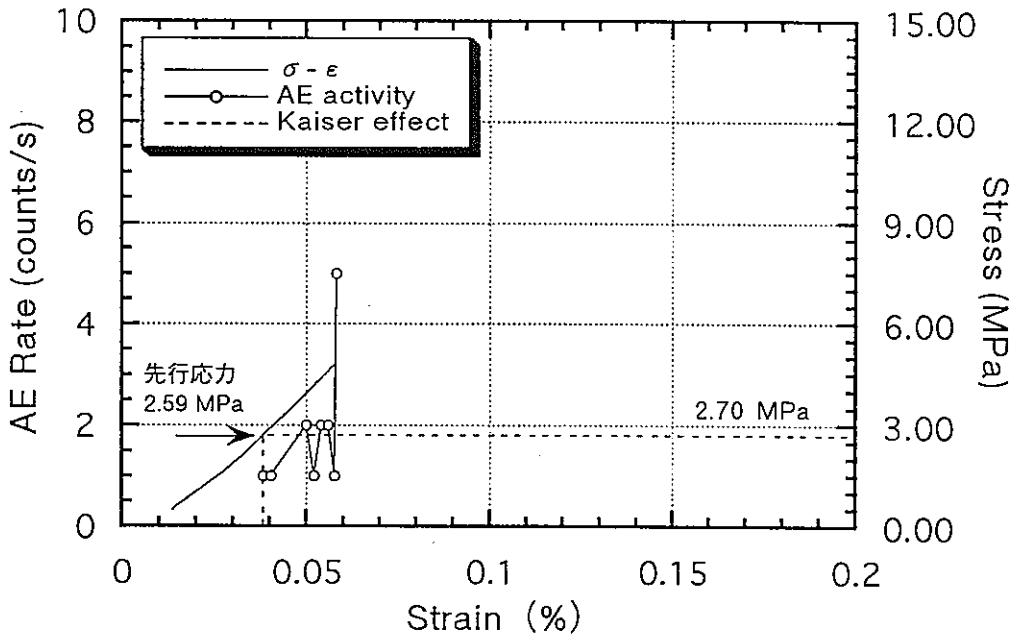
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 6.35 MPa)



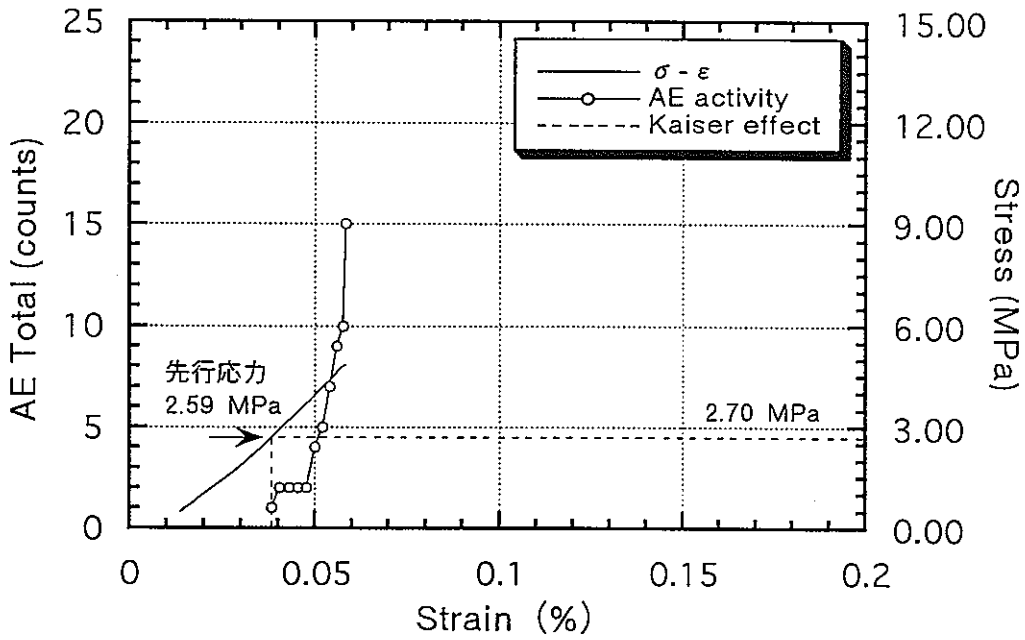
MIU1-1 (99.59m, 先行繰返し応力 6.35 MPa)



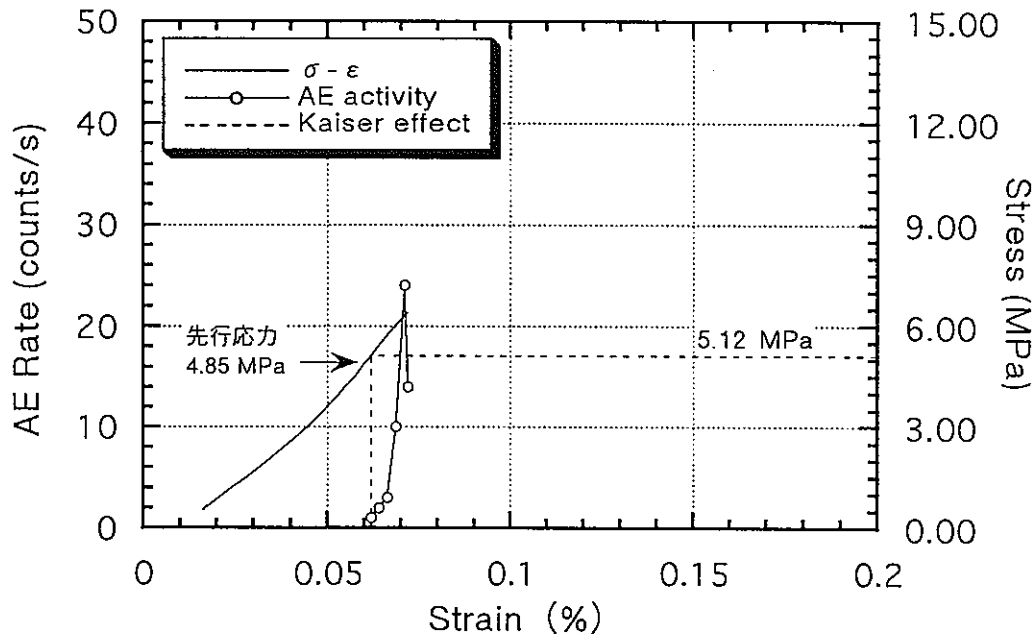
MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 2.59 MPa)



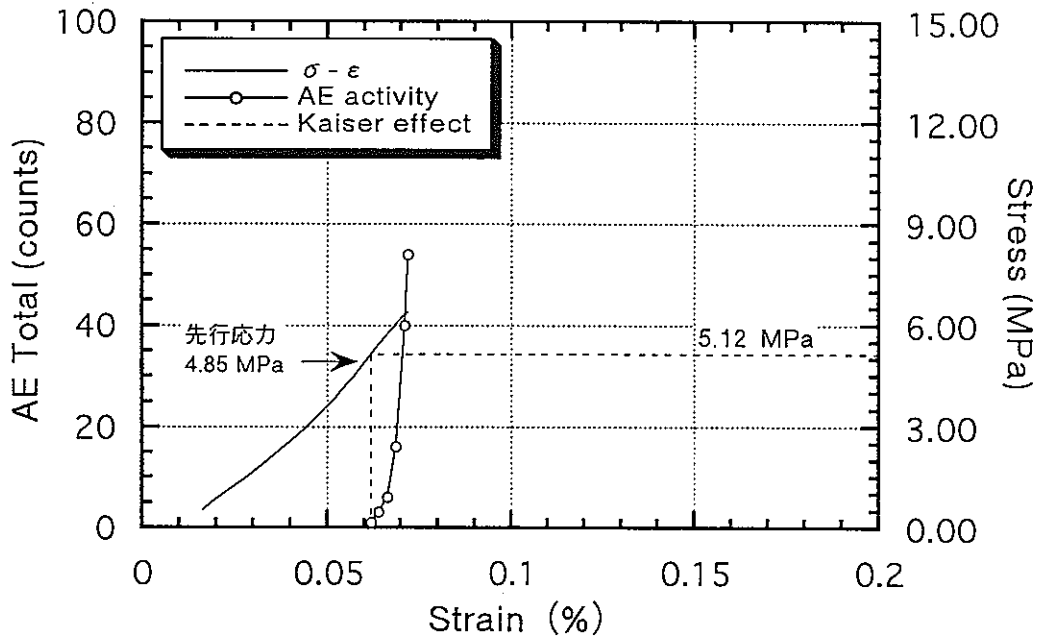
MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 2.59 MPa)



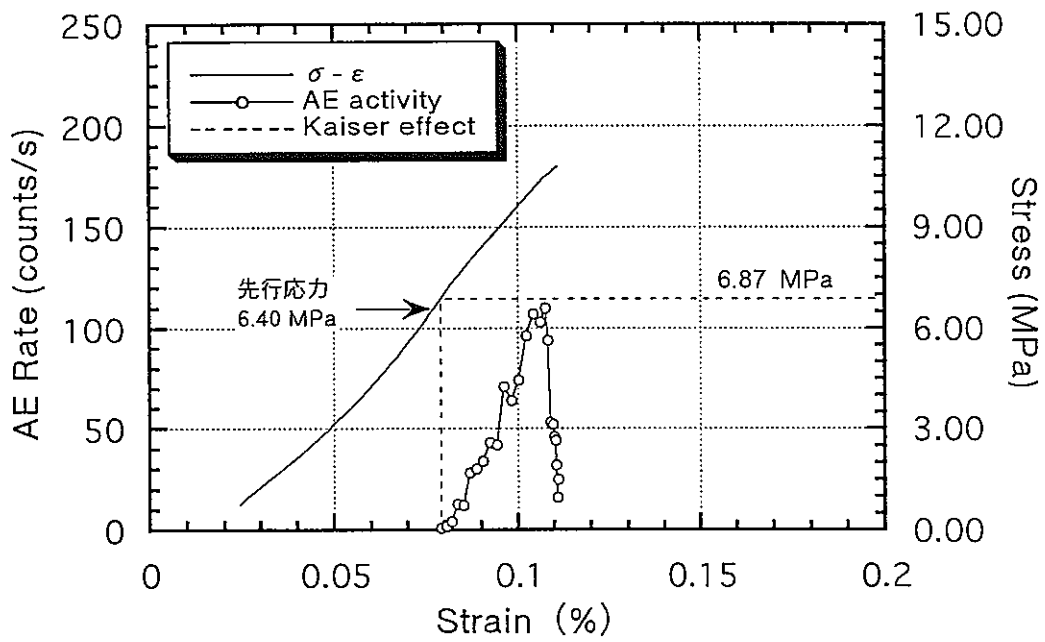
MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 4.85 MPa)



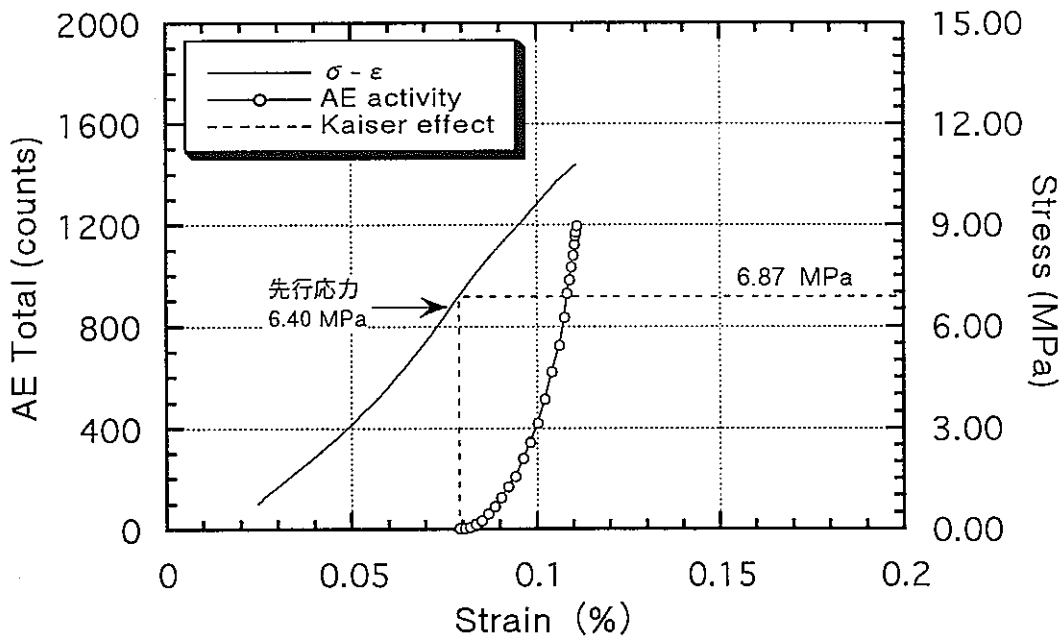
MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 4.85 MPa)



MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 6.40 MPa)



MIU1-2 (99.69m, 先行繰返し応力 6.40 MPa)



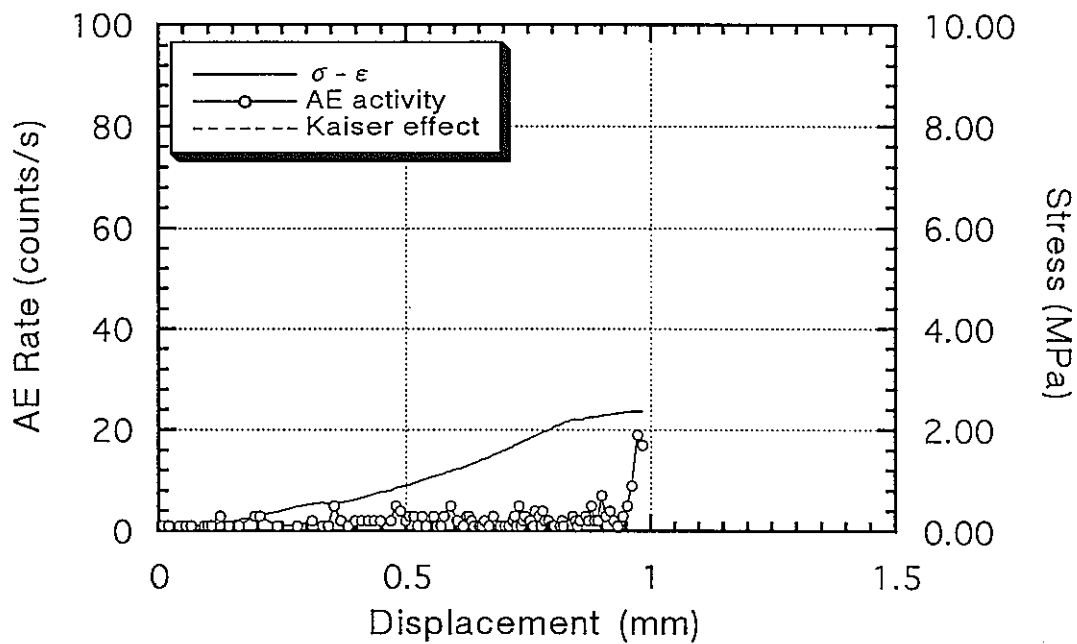
## 2.初期応力測定結果

応力－ひずみ－AE発生数の関係

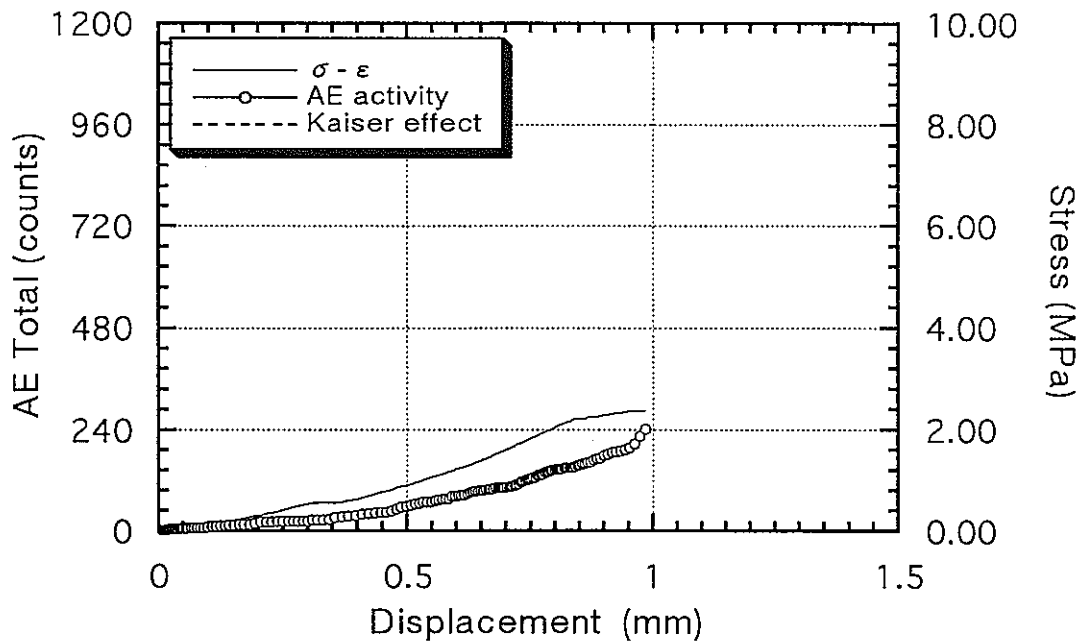
応力－ひずみ－AE累積数の関係



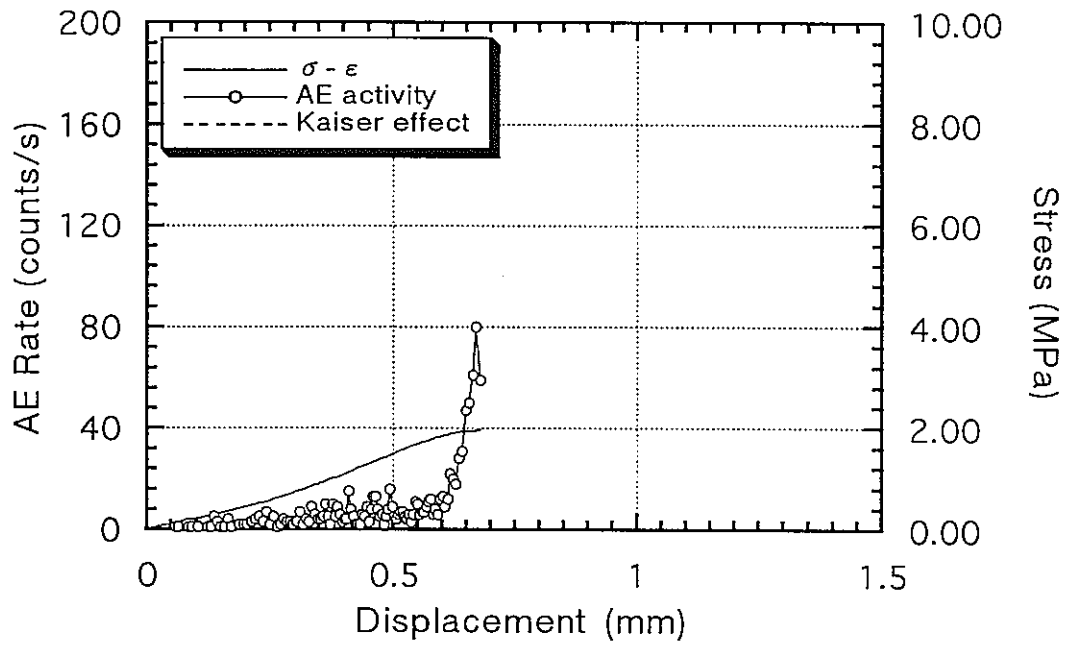
TM2-1 (58.32m)



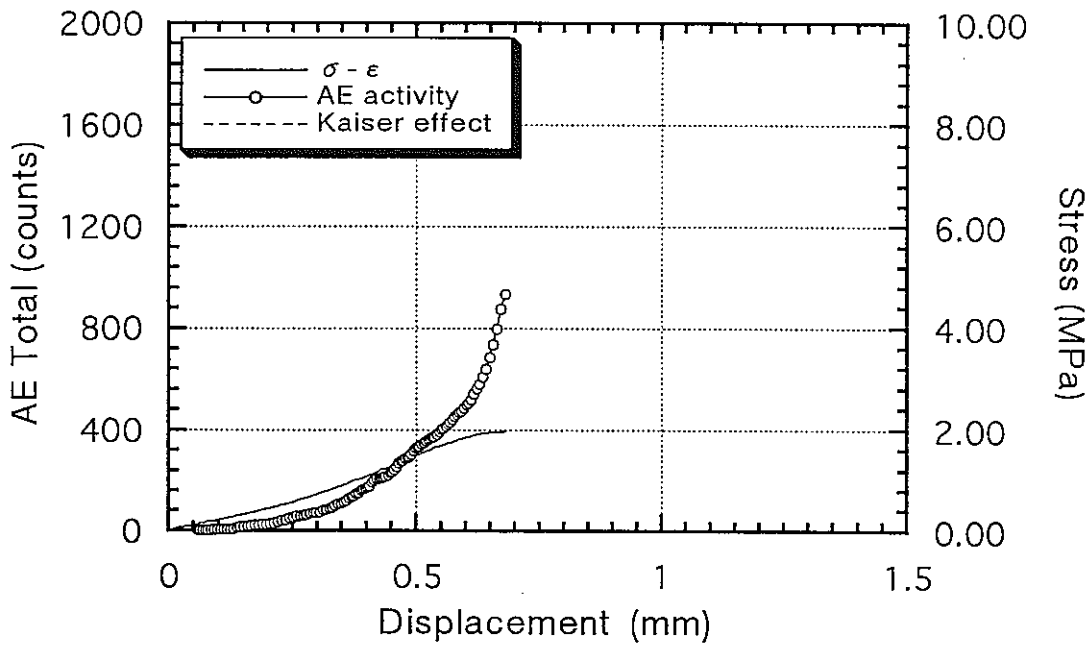
TM2-1 (58.32m)



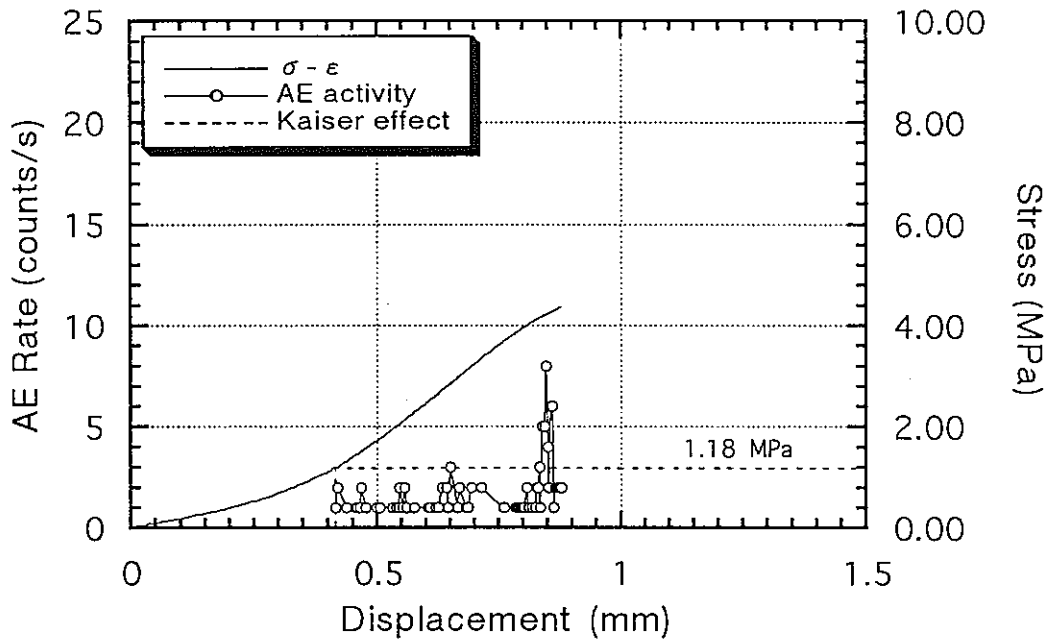
TM2-2 (58.41m)



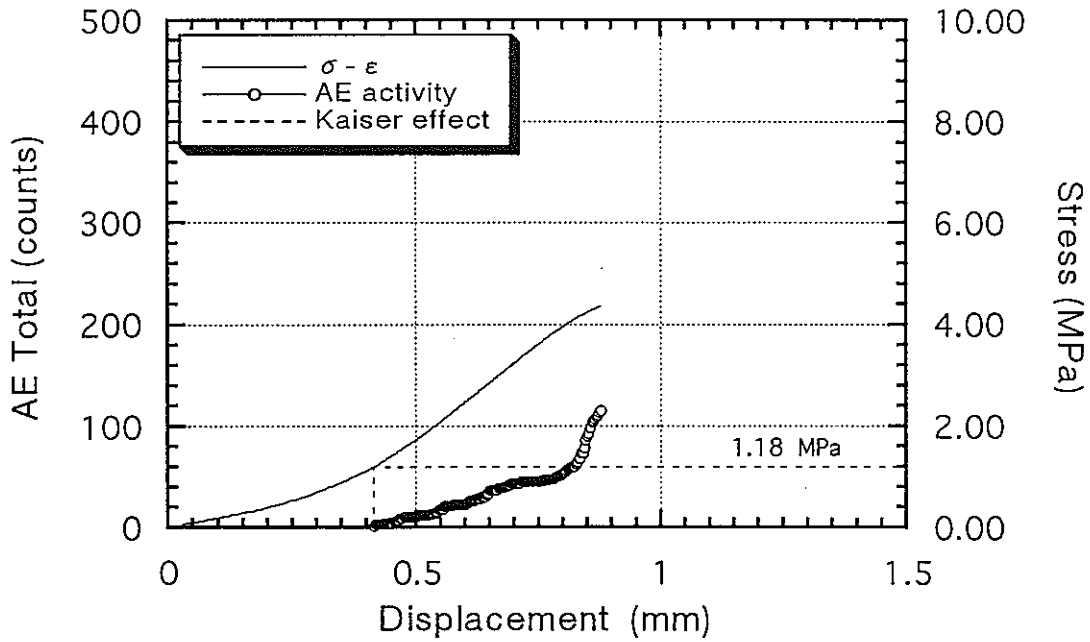
TM2-2 (58.41m)



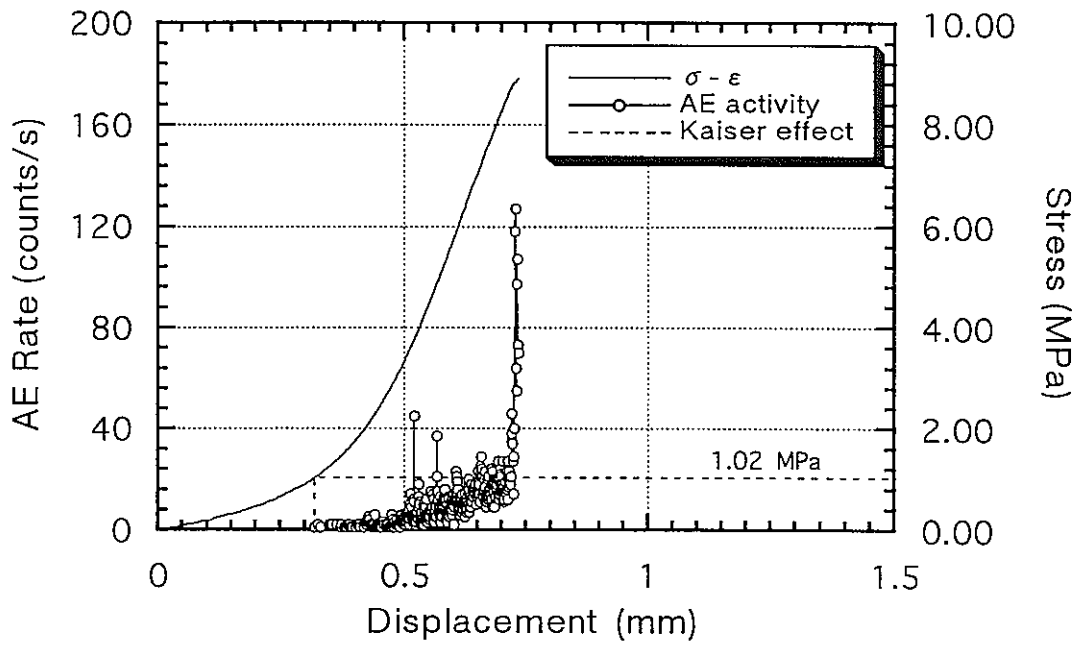
TM2-3 (60.91m)



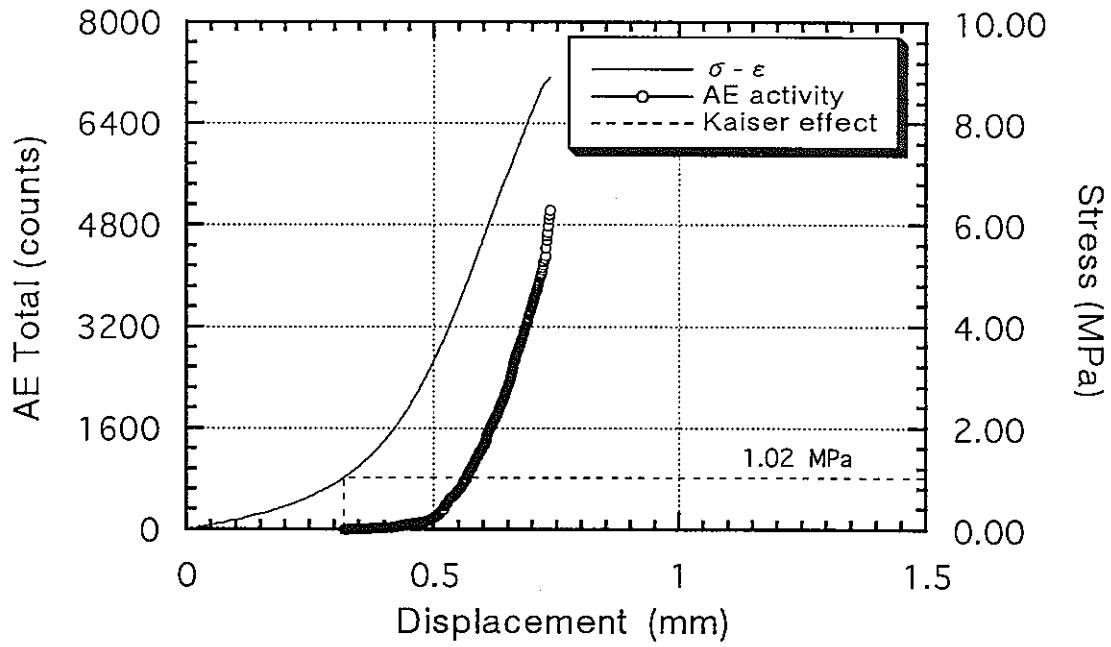
TM2-3 (60.91m)



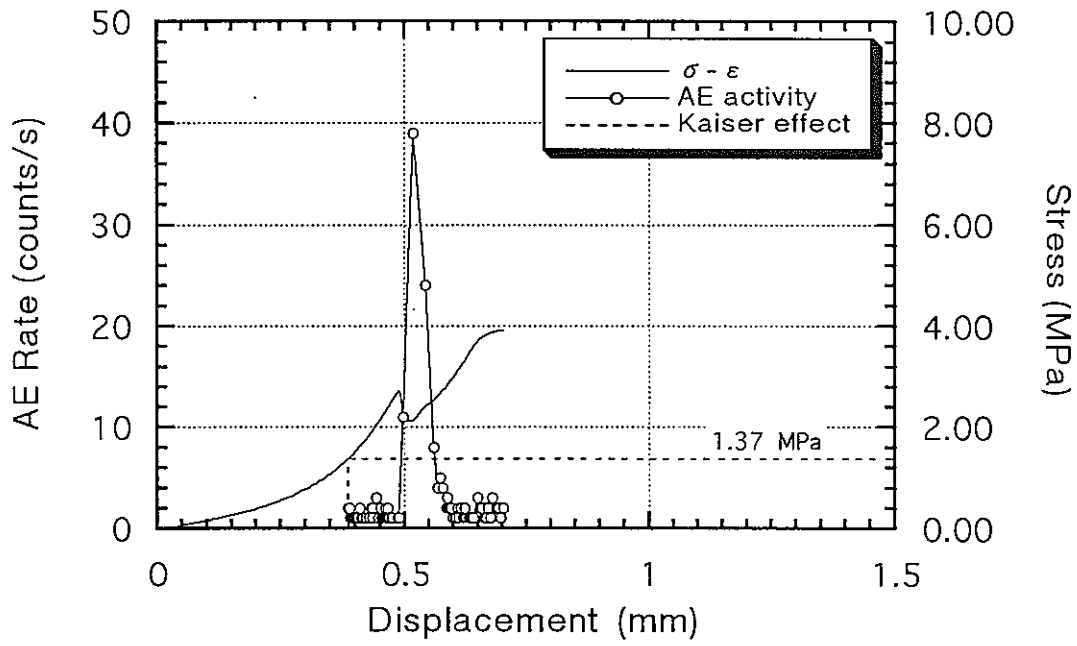
TM2-4 (67.18m)



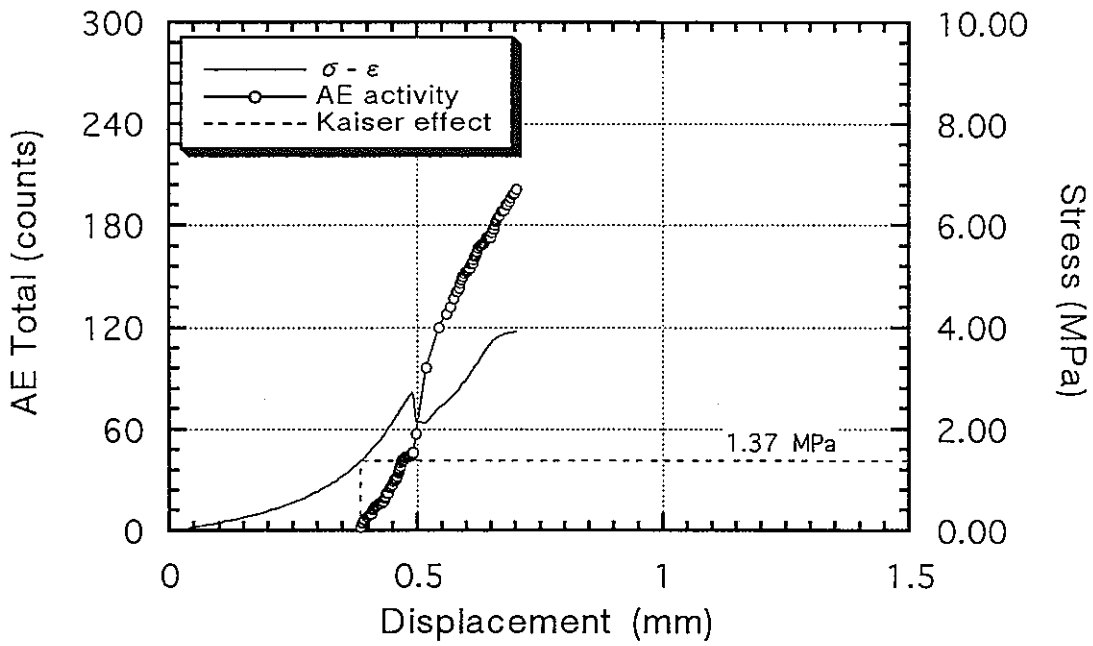
TM2-4 (67.18m)



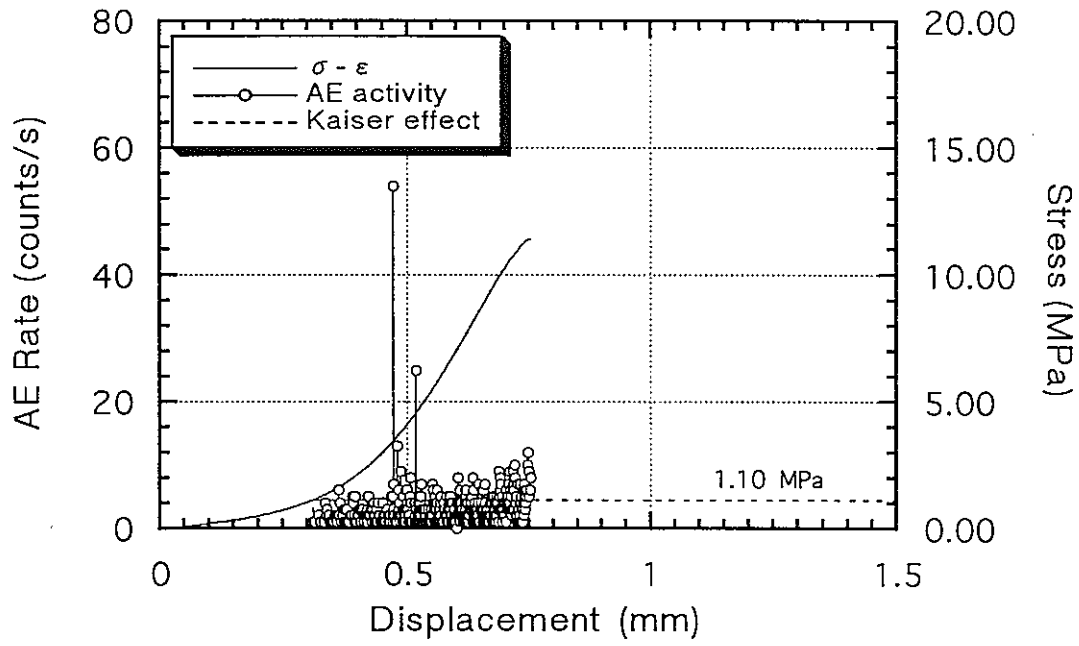
TM2-5 (67.80m)



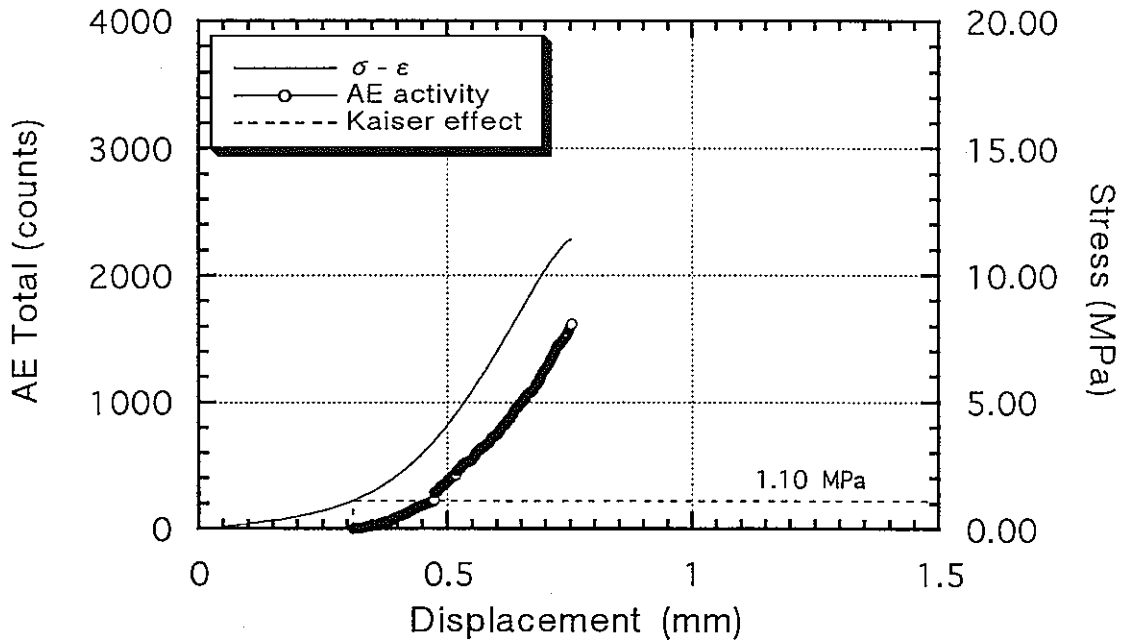
TM2-5 (67.80m)



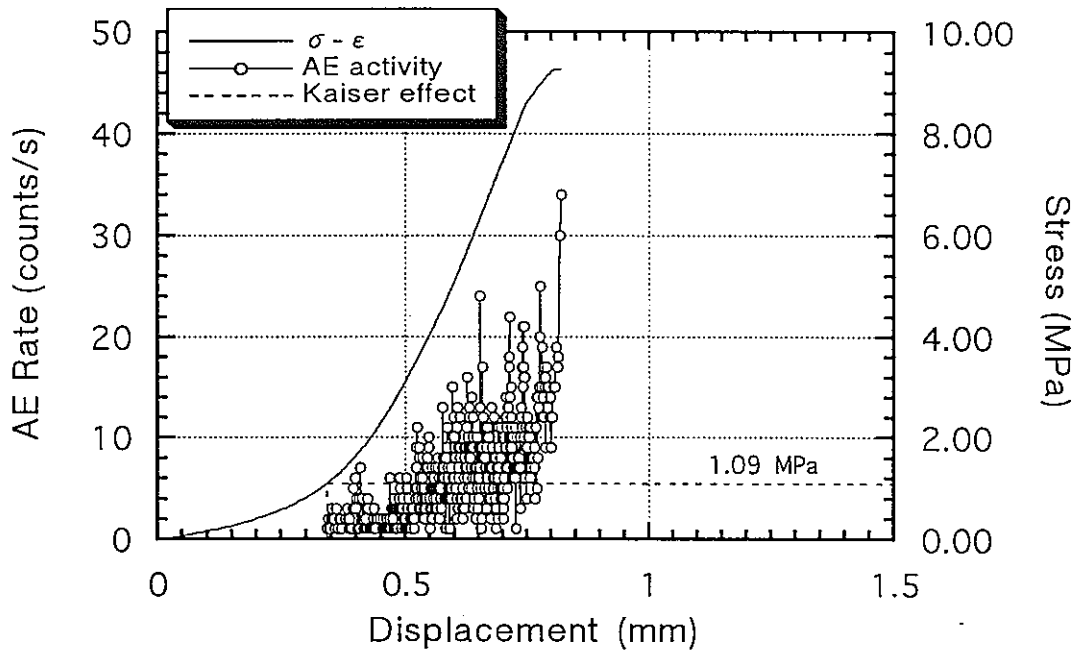
TM2-6 (68.61m)



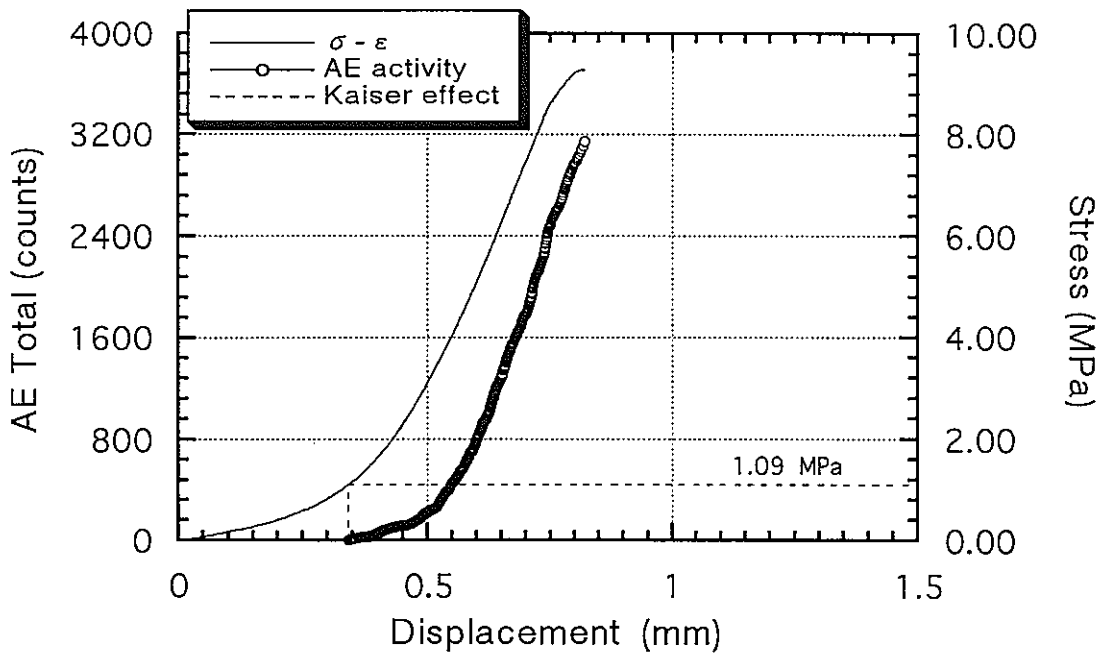
TM2-6 (68.61m)



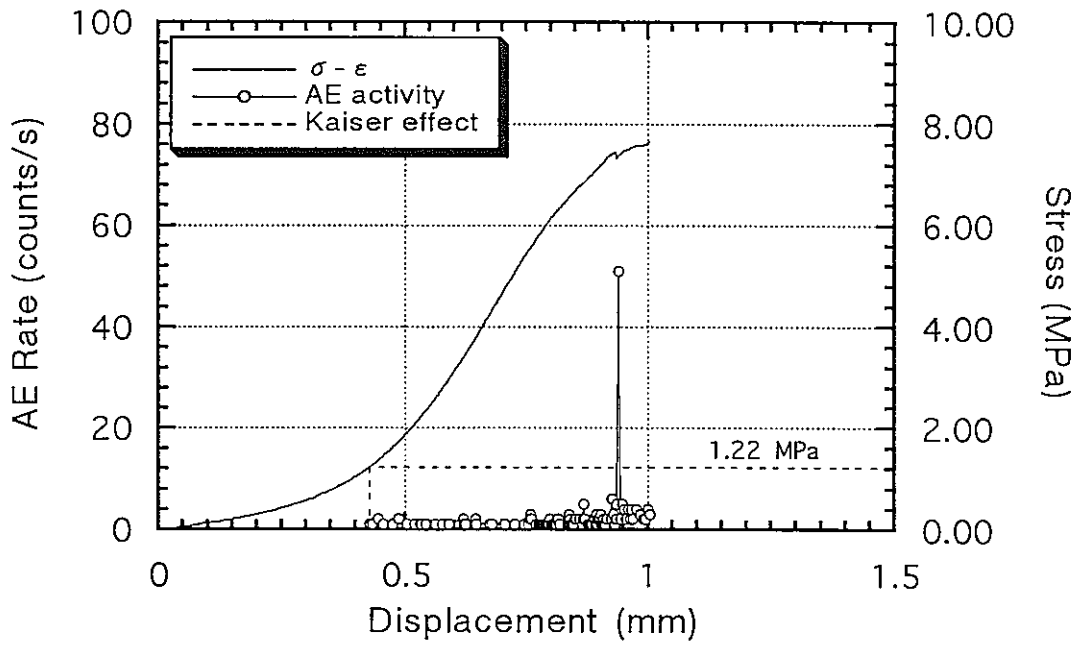
TM2-7 (73.66m)



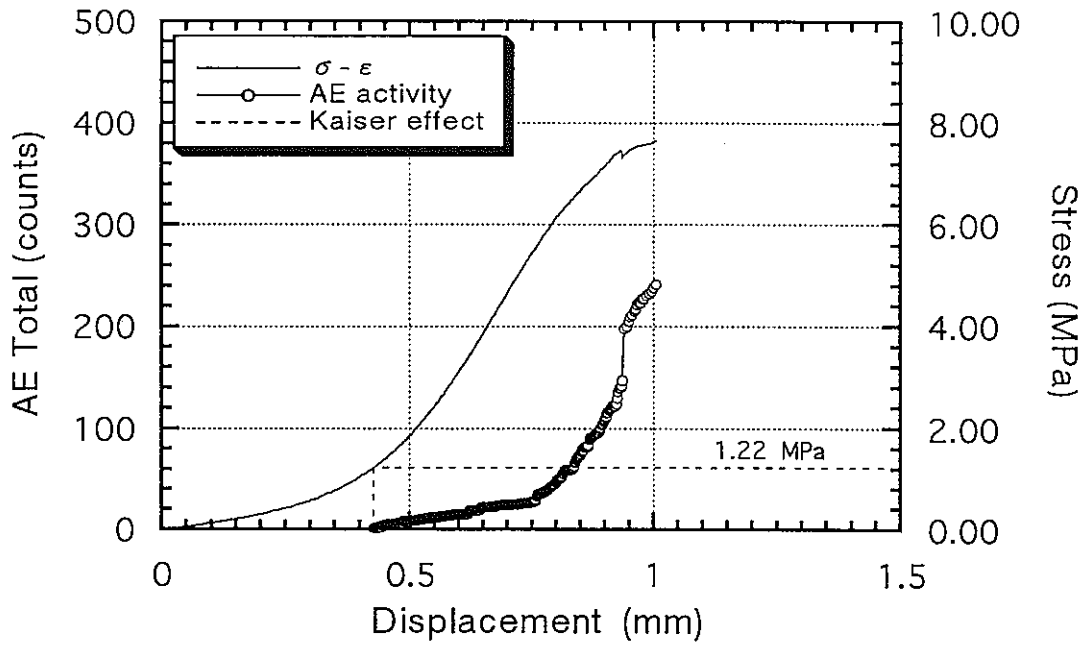
TM2-7 (73.66m)



TM2-8 (73.74m)

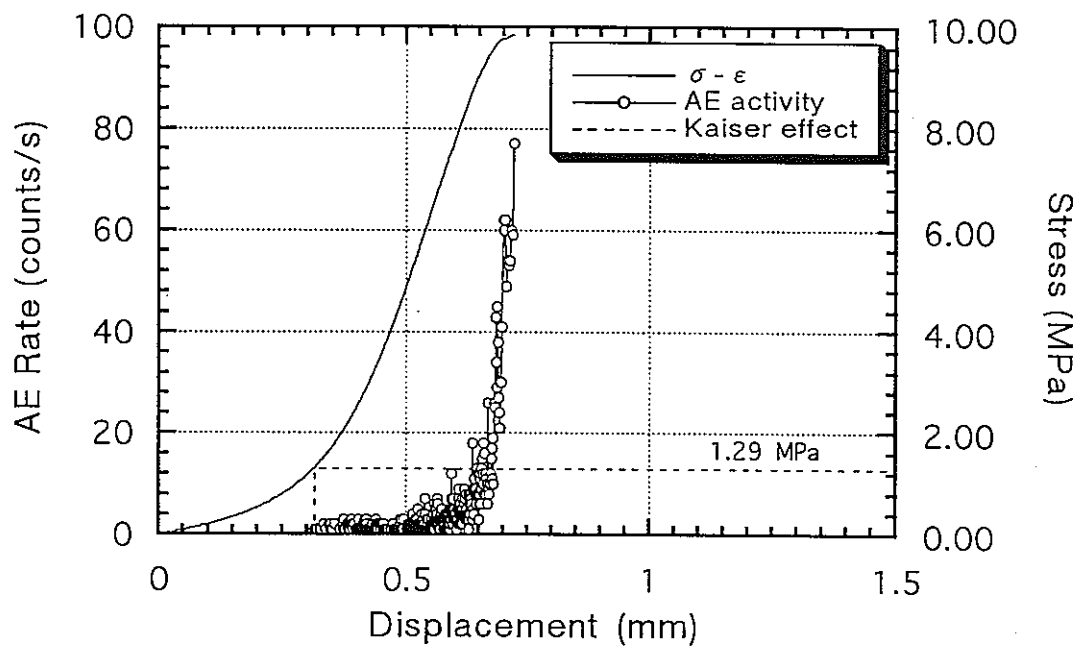


TM2-8 (73.74m)

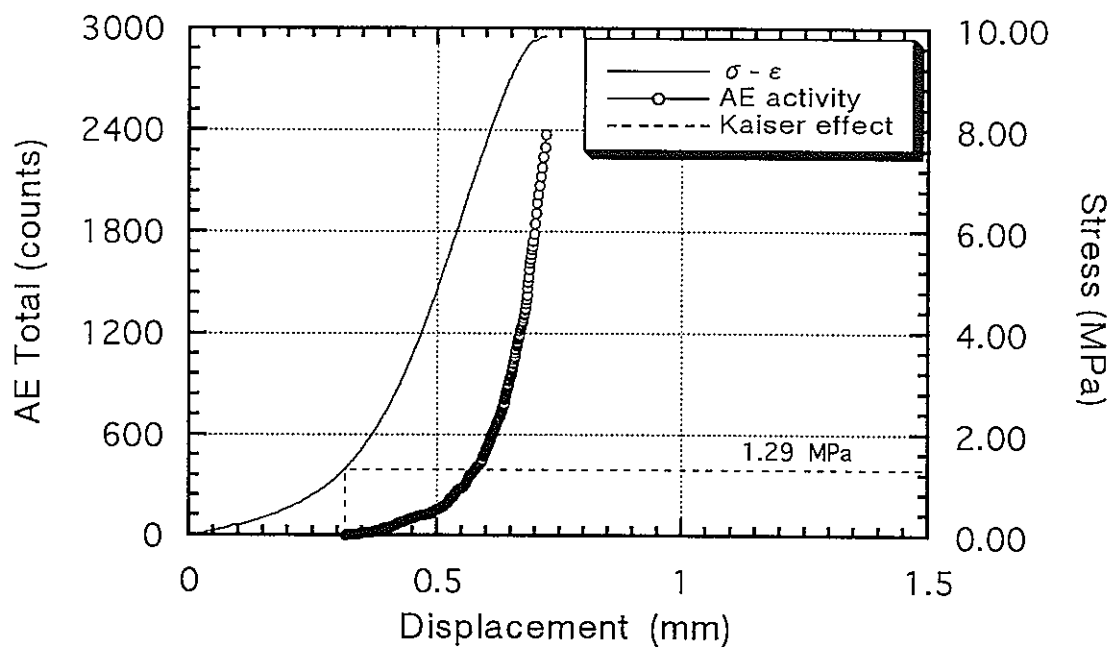




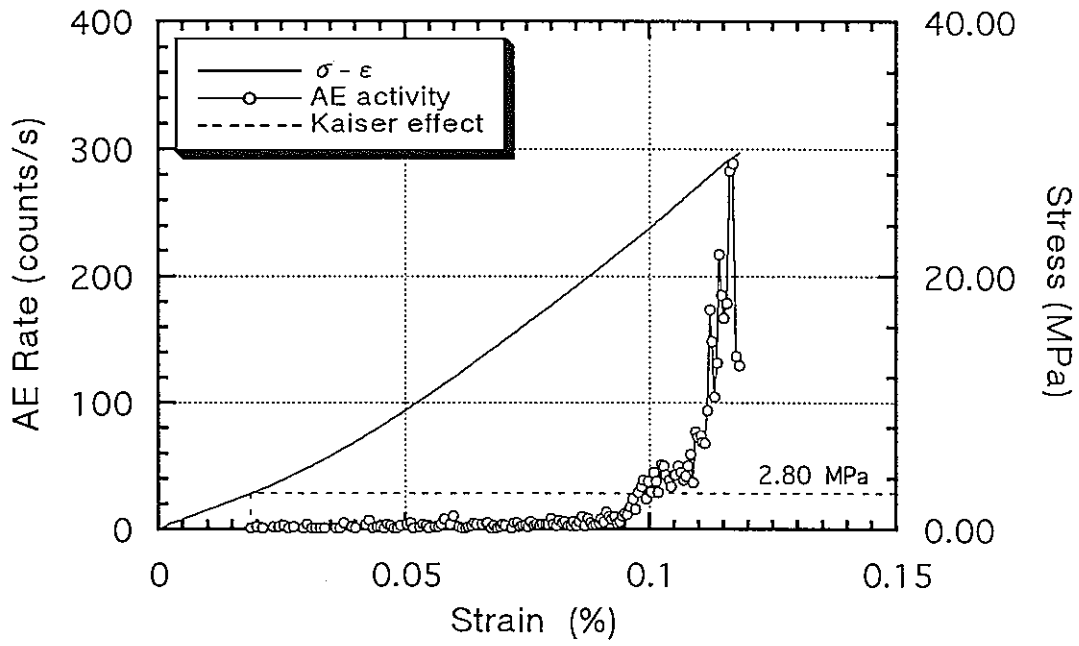
TM2-9 (73.86m)



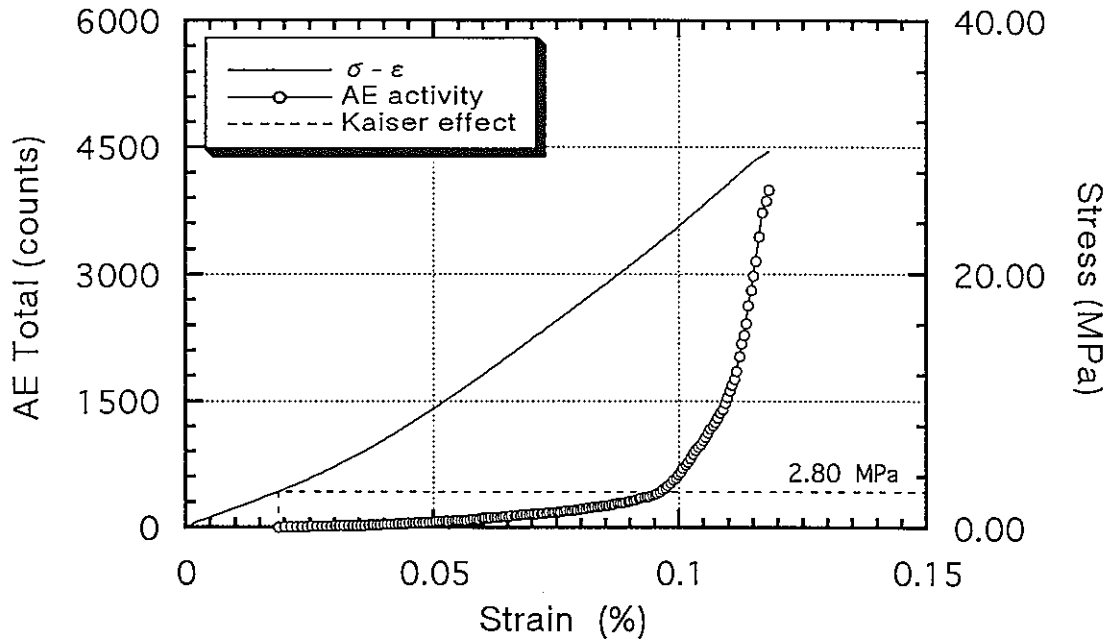
TM2-9 (73.86m)



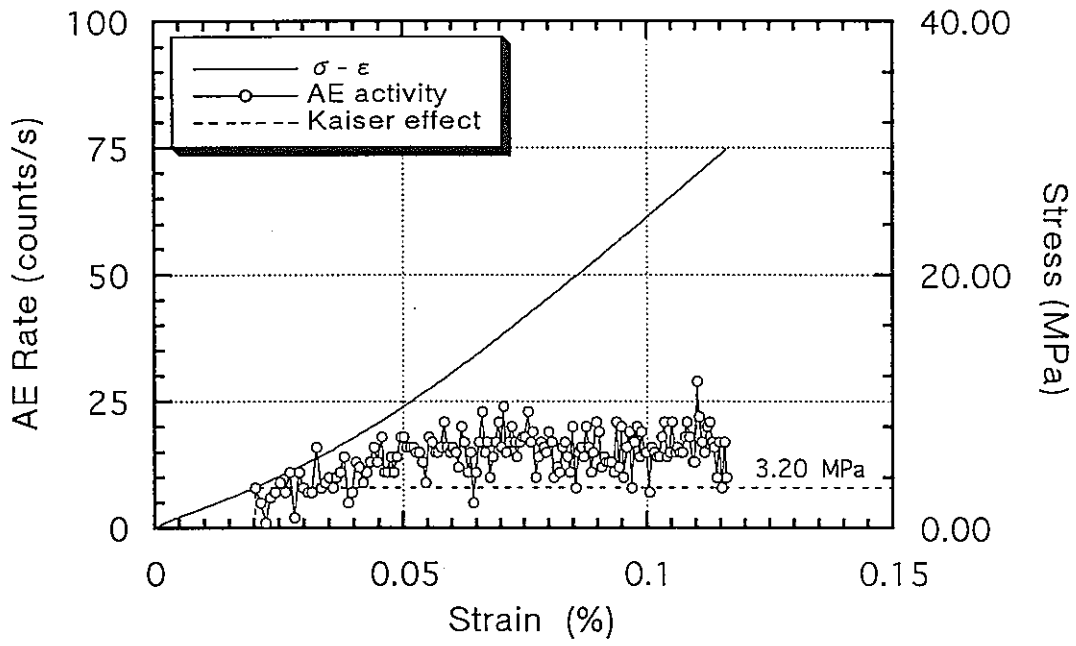
TM2-10 (167.26m)



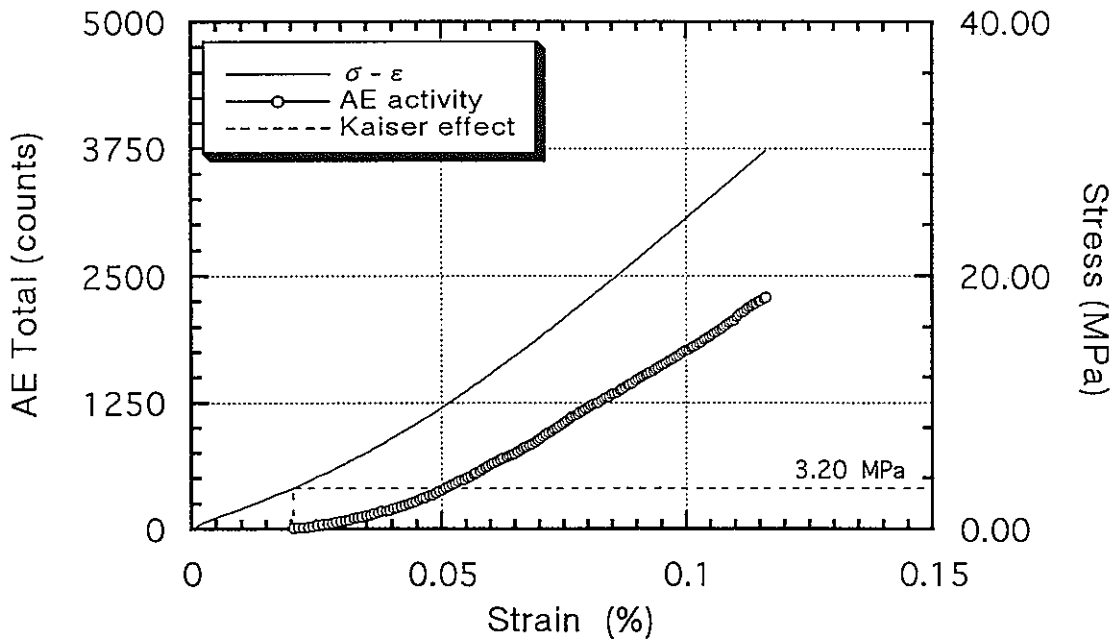
TM2-10 (167.26m)



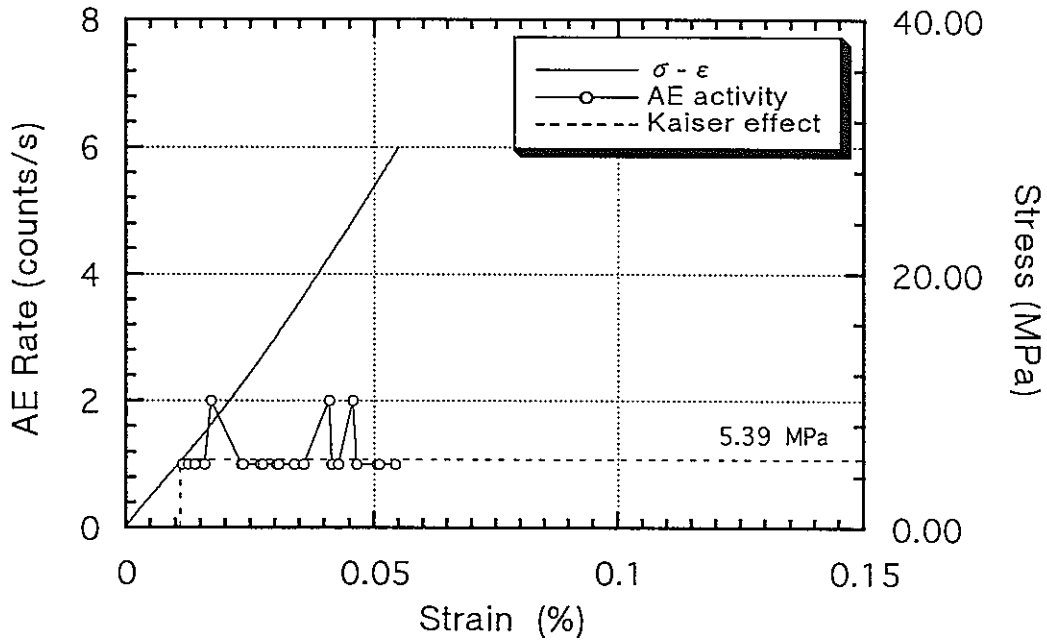
TM2-11 (167.39m)



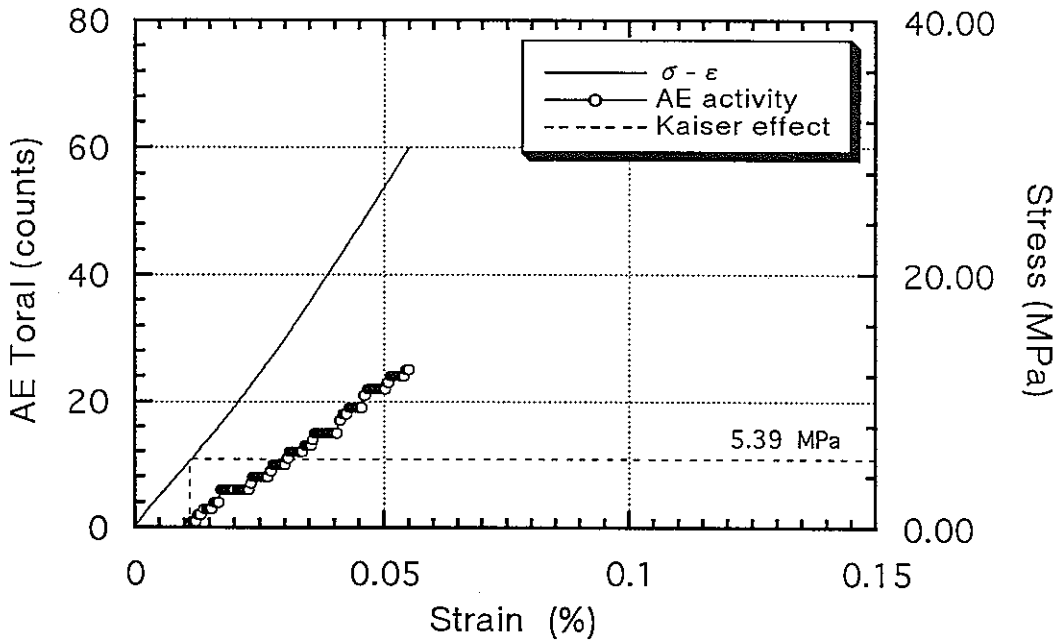
TM2-11 (167.39m)



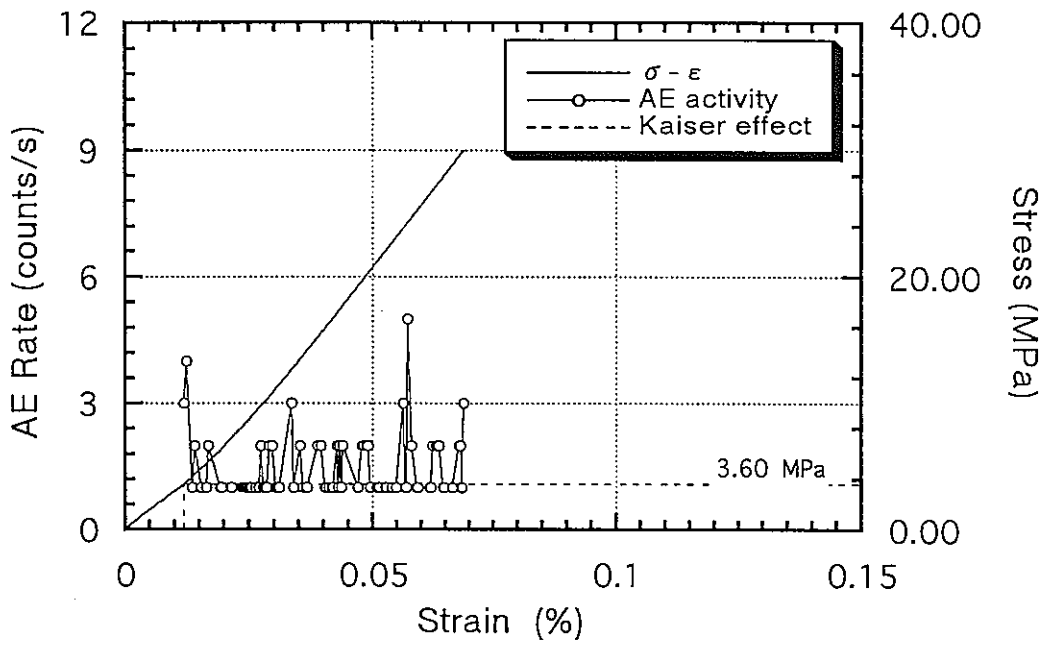
TM2-12 (168.14m)



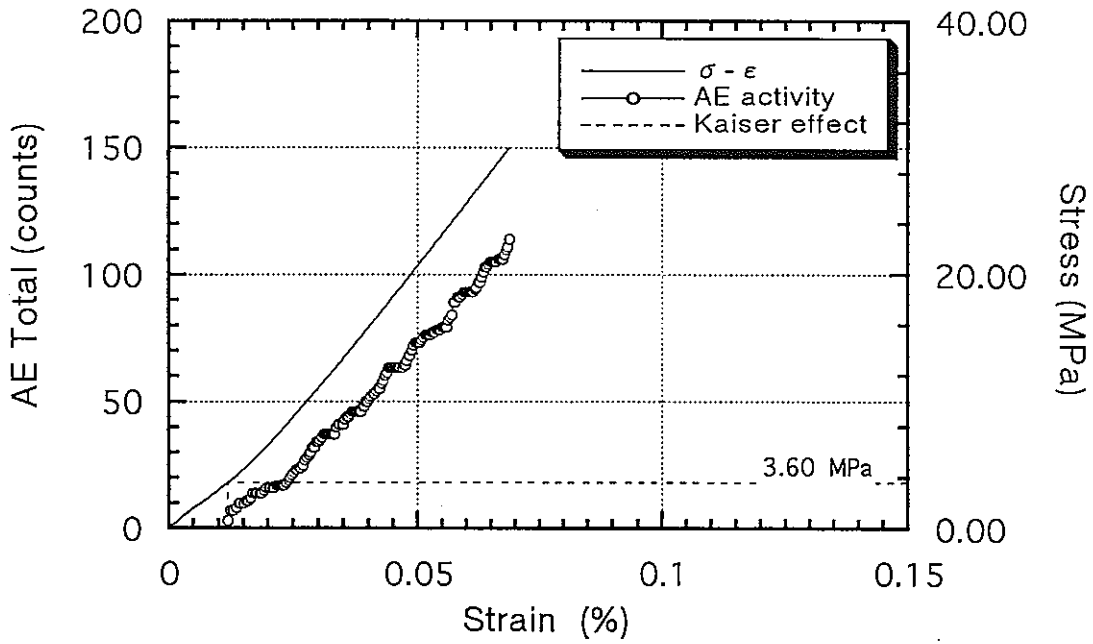
TM2-12 (168.14m)



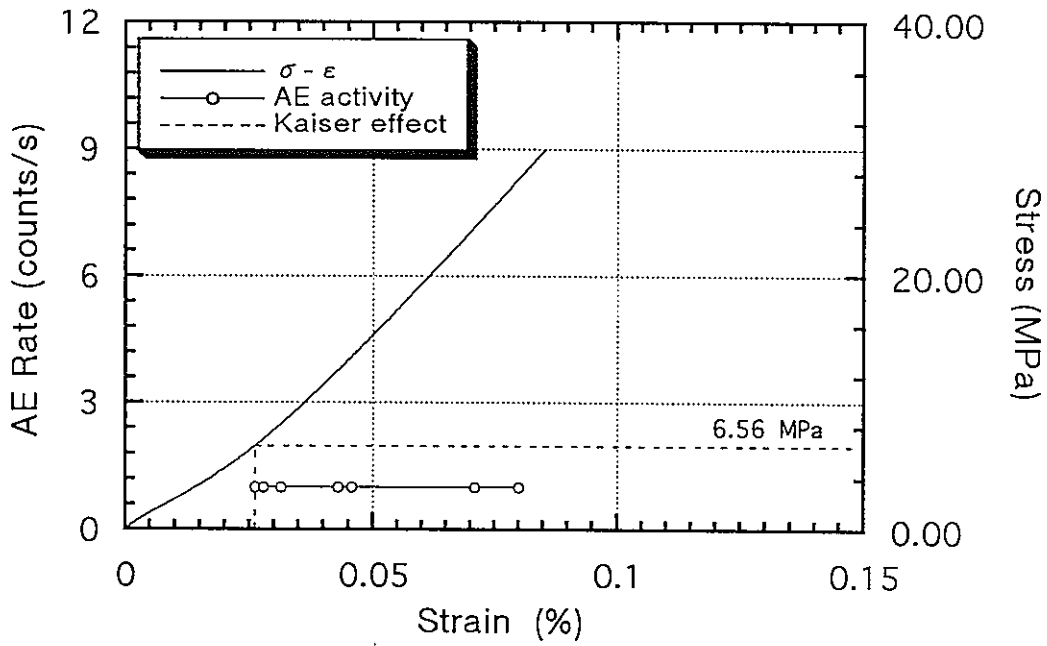
TM2-13 (168.27m)



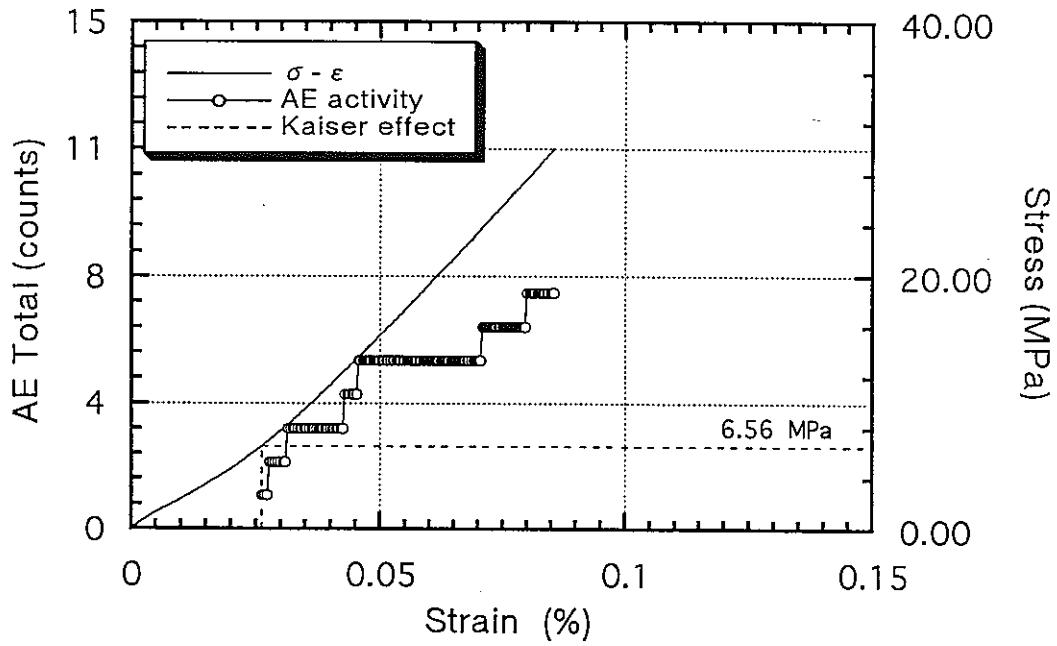
TM2-13 (168.27m)



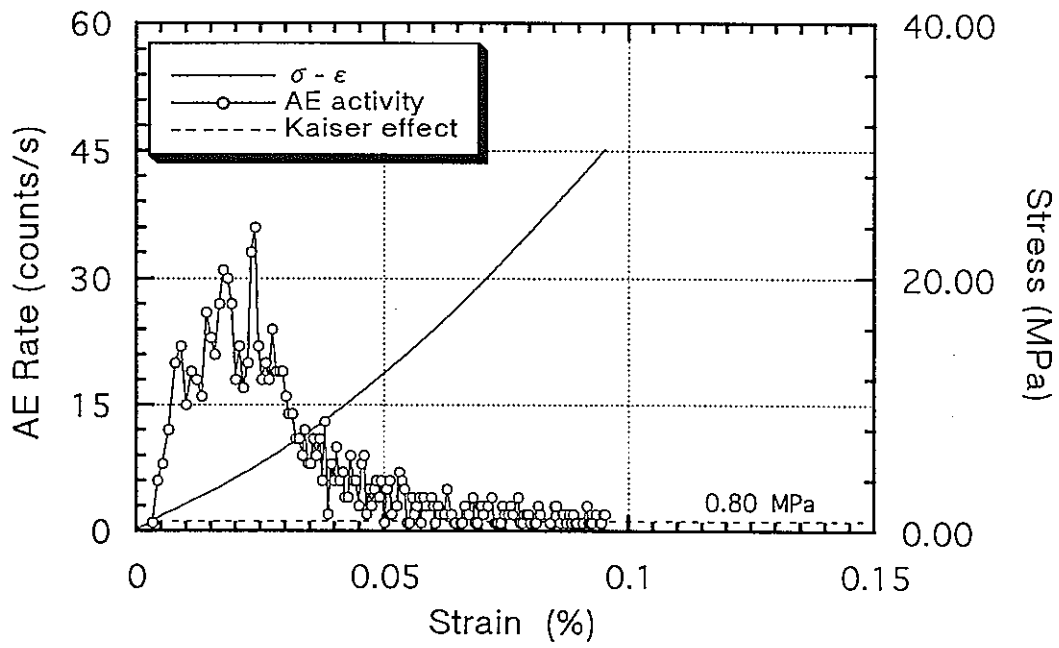
TM2-14 (168.68m)



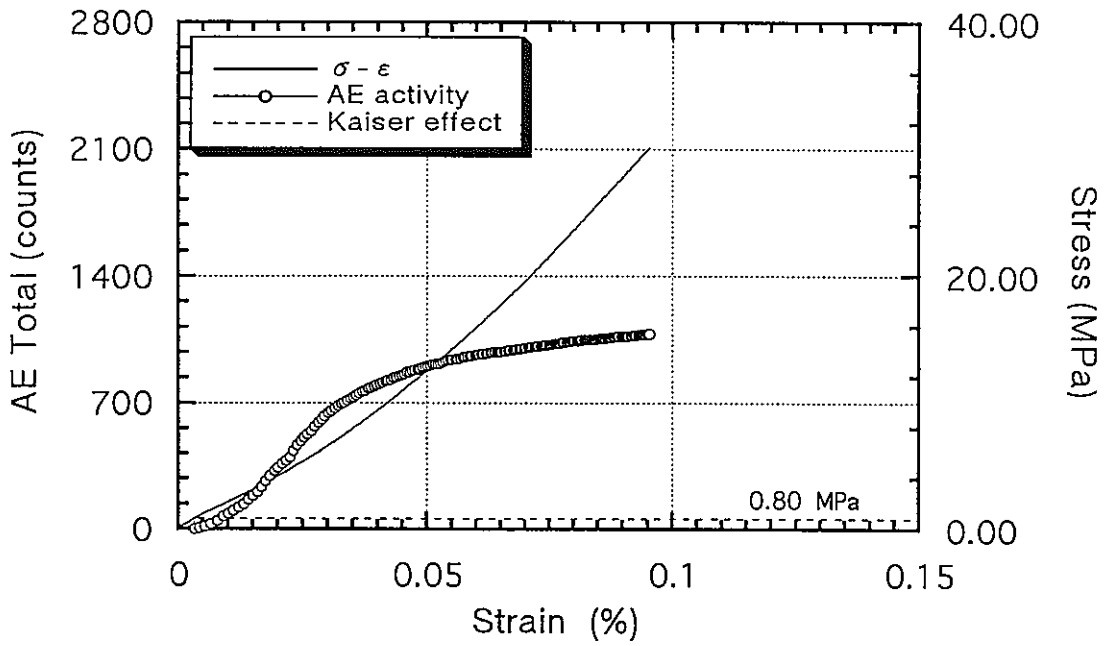
TM2-14 (168.68m)



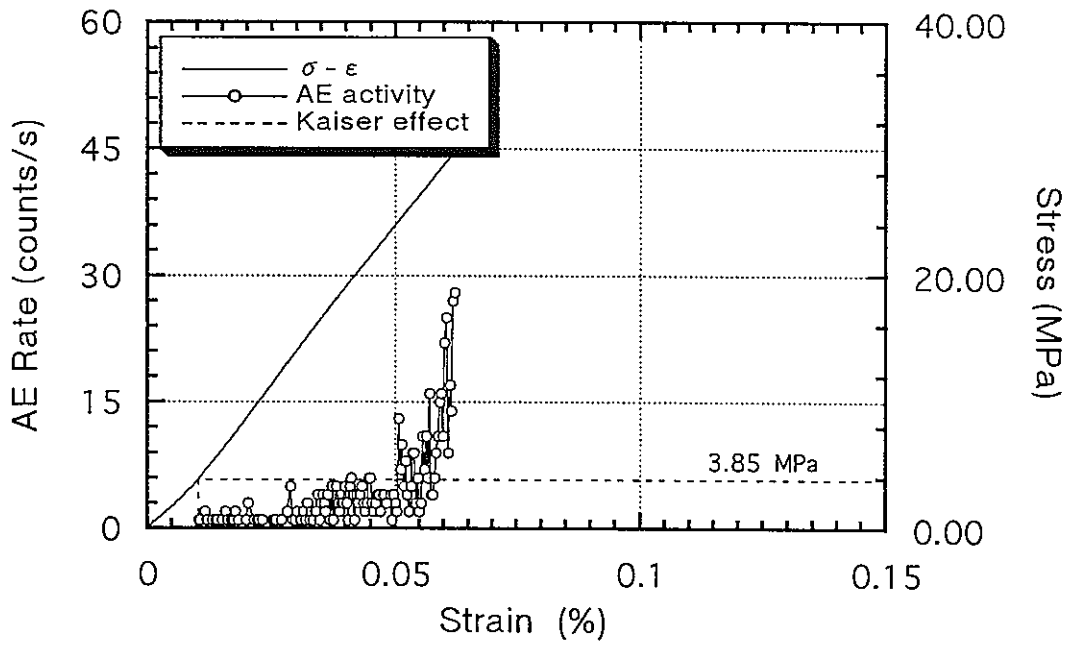
TM2-15 (168.85m)



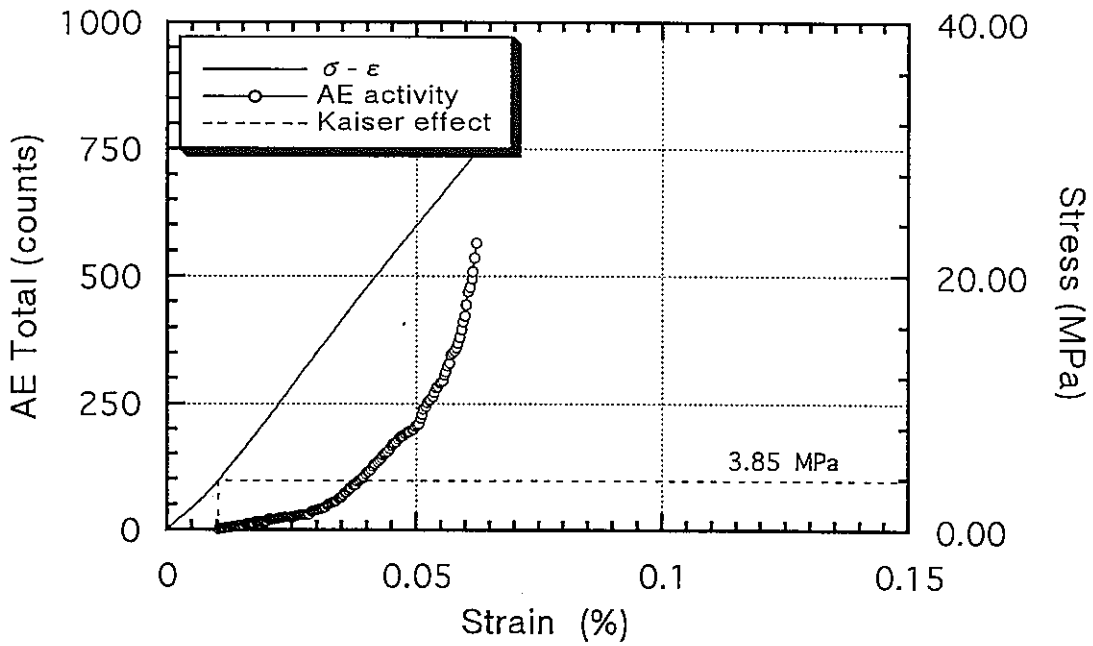
TM2-15 (168.85m)



TM2-16 (169.36m)

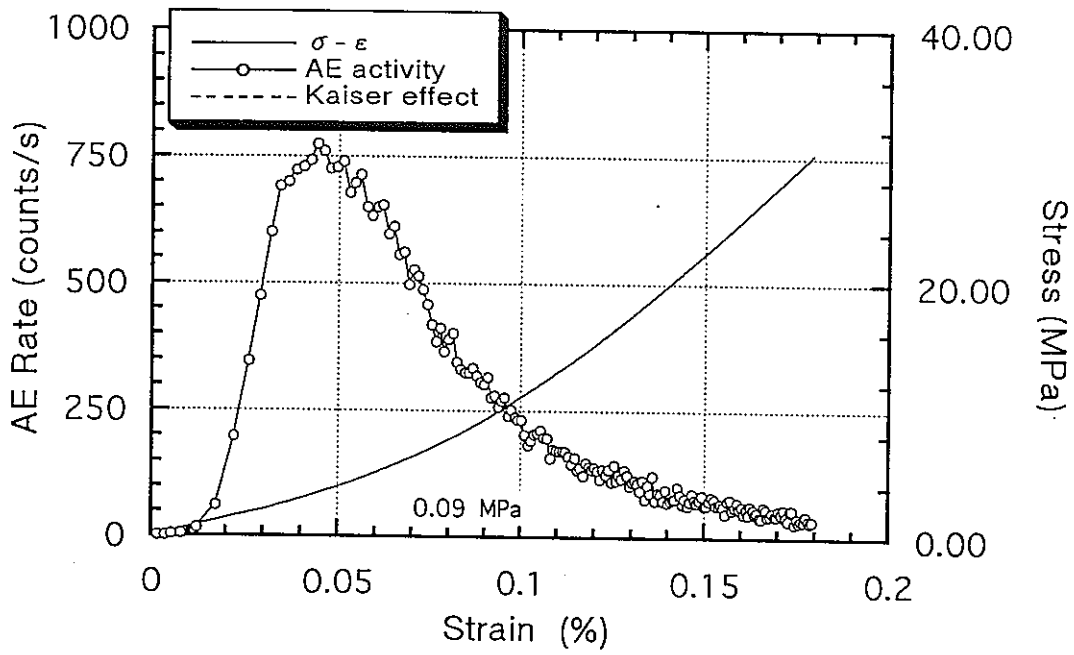


TM2-16 (169.36m)

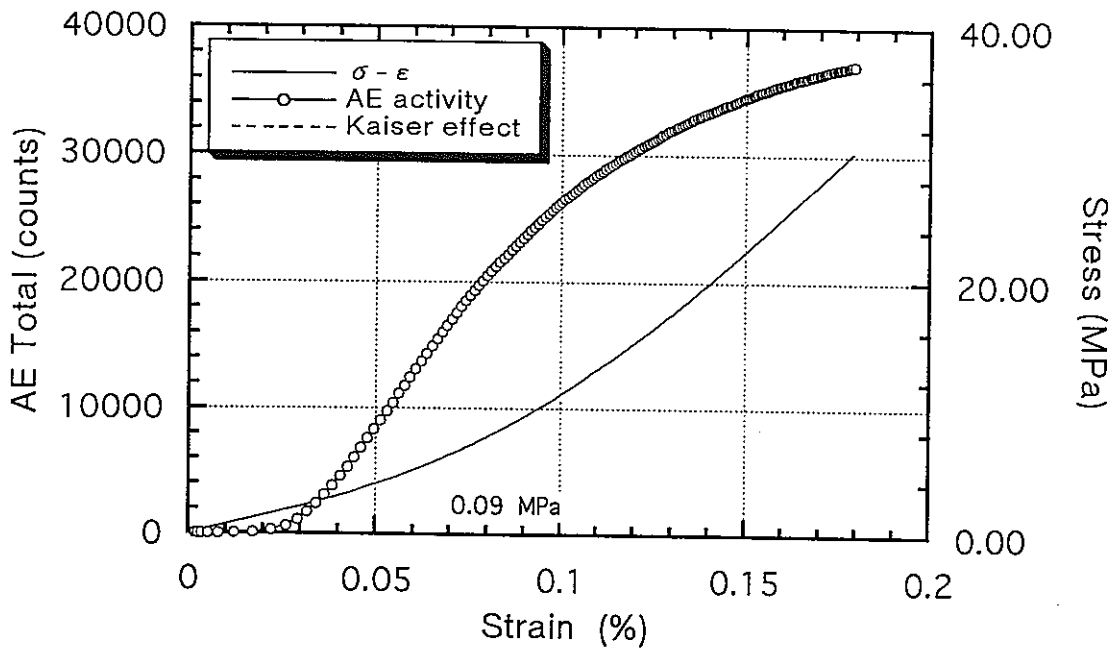




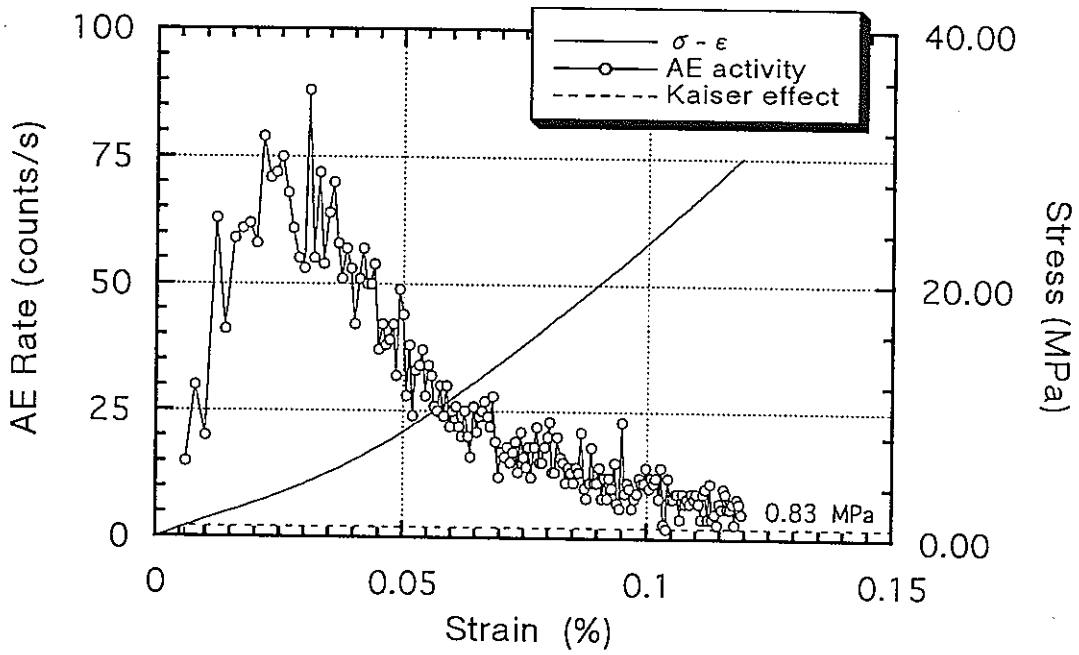
TM2-17 (170.22m)



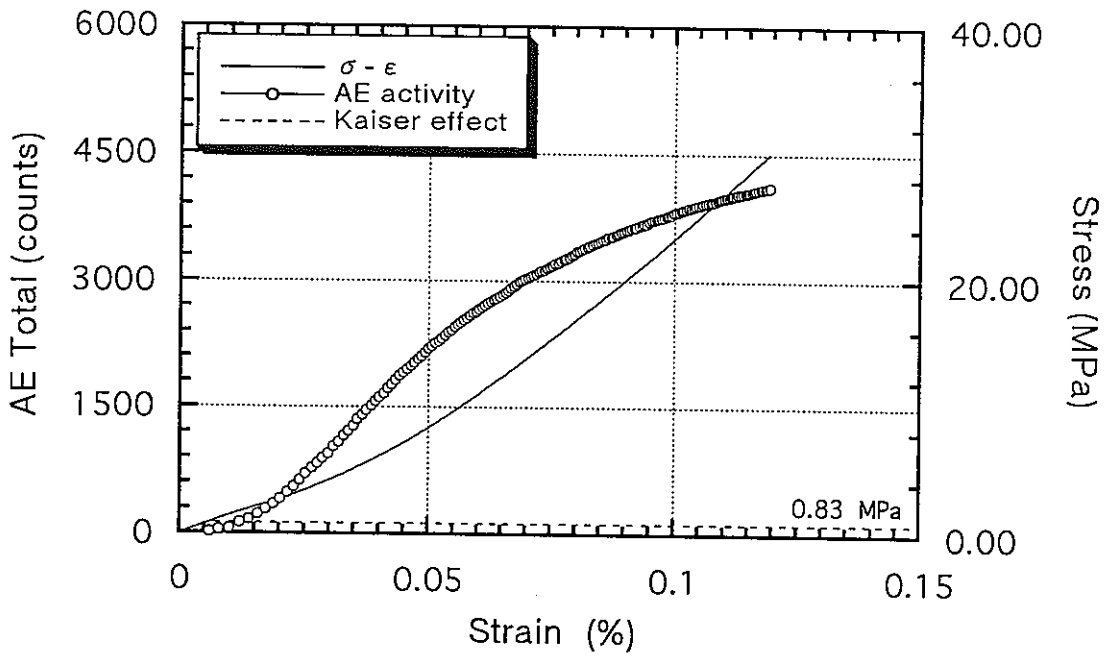
TM2-17 (170.22m)



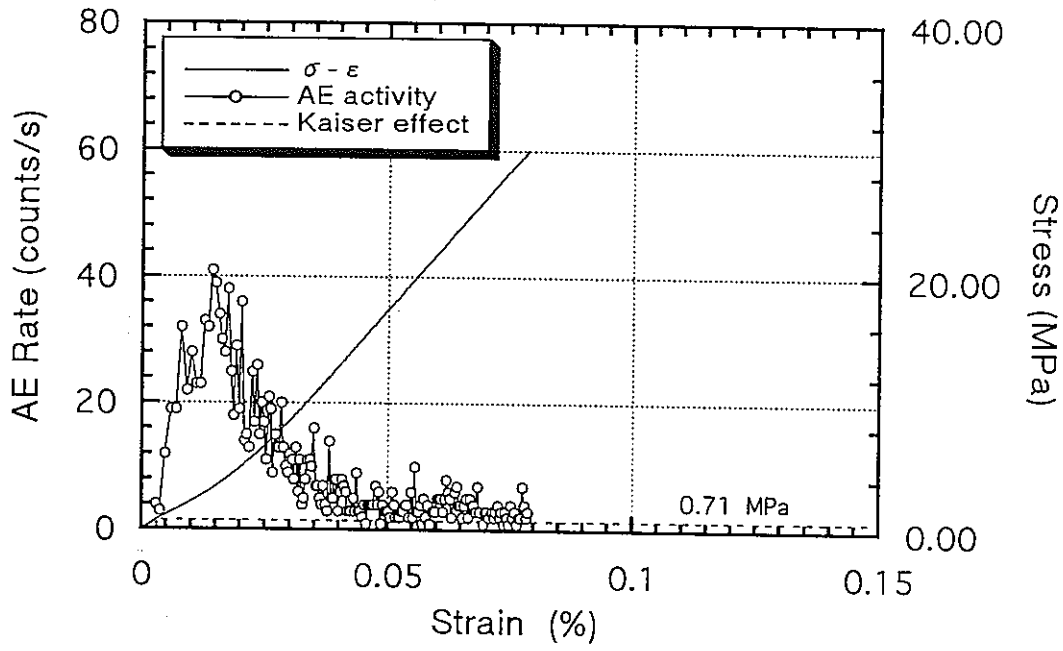
TM2-18 (170.29m)



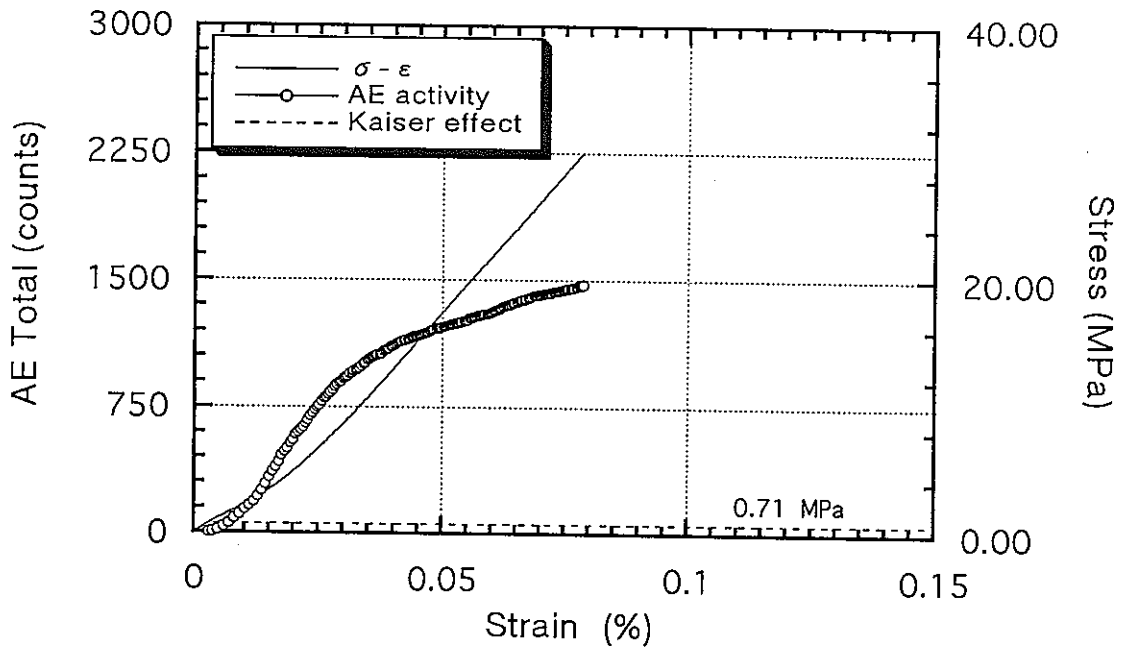
TM2-18 (170.29m)



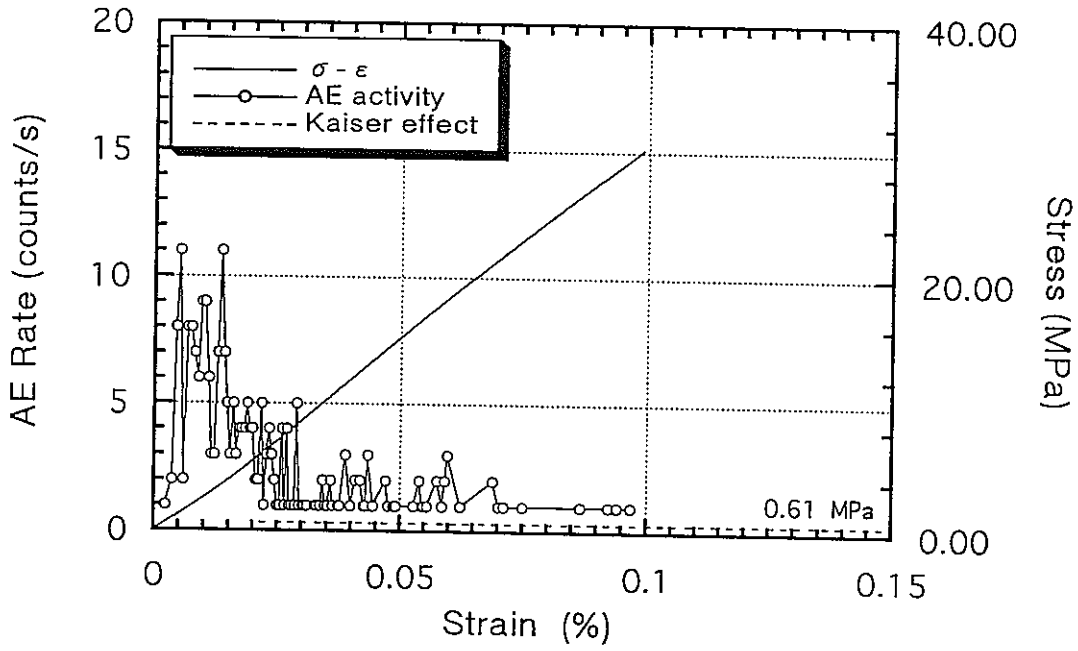
TM2-19(170.35m)



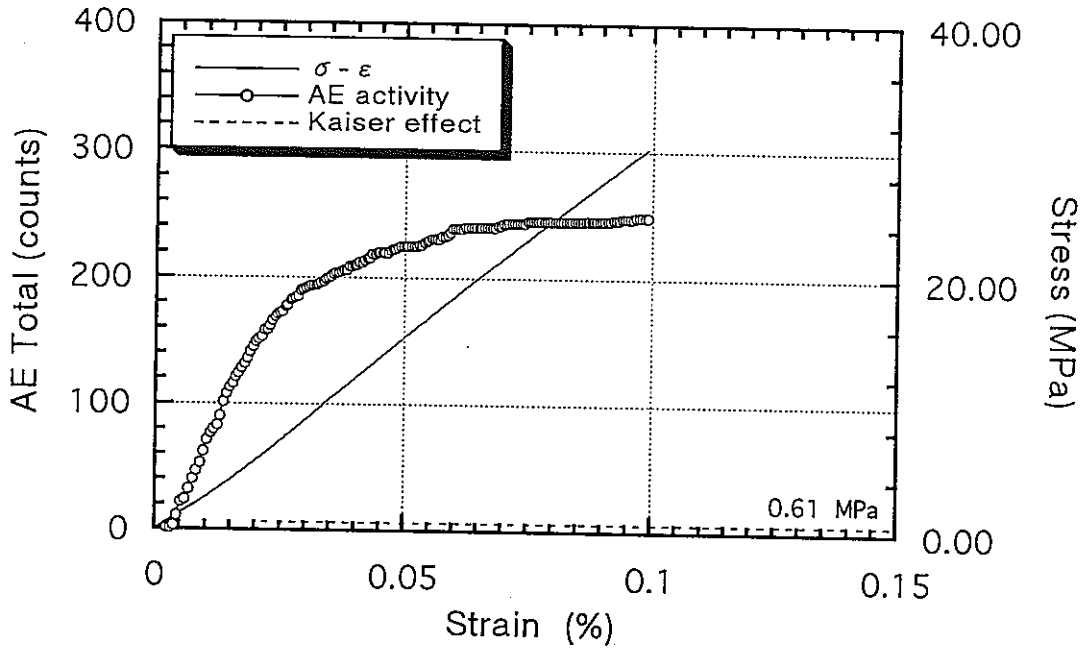
TM2-19(170.35m)



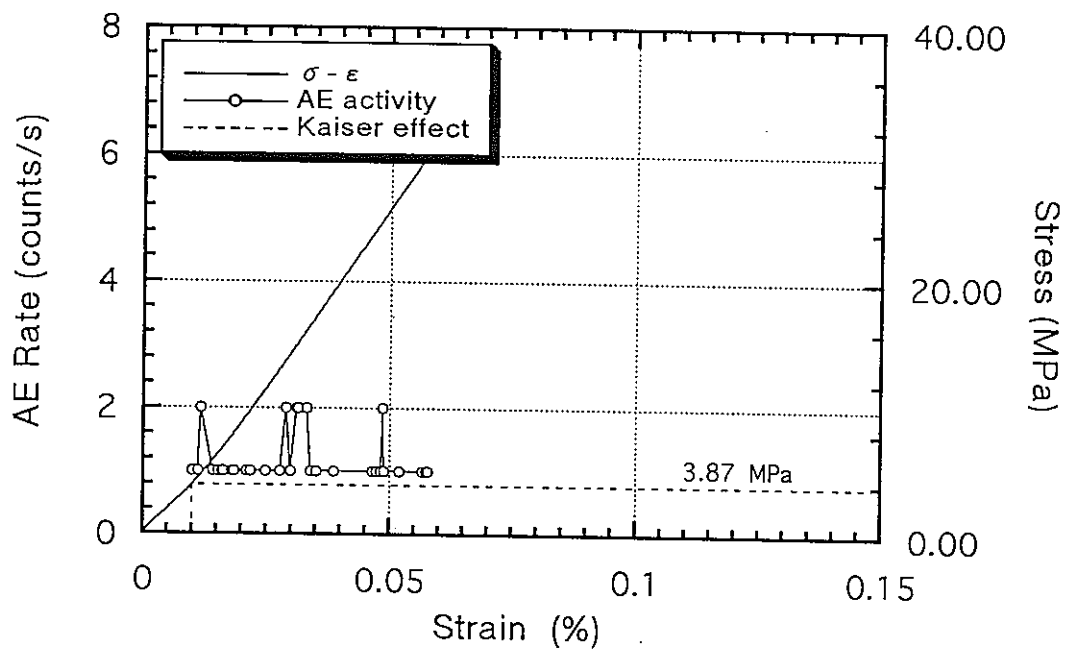
TM2-20(170.43m)



TM2-20(170.43m)



TM2-21(170.53m)



TM2-21(170.53m)

