

JNC TJ7430 2000-002

99SE-02孔のコアを用いた AE法による初期応力測定

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2000年3月

株式会社 大林組

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319 - 1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaragi 319-1194,

Japan

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

2000

99SE-02孔のコアを用いたAE法による初期応力測定

畑 浩二*、大内 一*

【要 旨】

大深度に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。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（以下、AEと略す）法がある。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が音響パルスとなり伝播する現象であり、これは材料内の組織構造の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という現象である。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。

本業務では、東濃鉾山領域を例として実施している初期応力状態の評価手法に関する研究の一環として、99SE-02孔から採取されるボーリングコアを利用して鉛直方向および水平方向の初期応力状態をAE法を用いて測定した。さらに、TM-1孔、TM-2孔および98SE-01孔で既に実施済みである鉛直方向の初期応力測定結果を踏まえ総合評価を行った。得られた結果の概要を以下に示す。

- (1) 鉛直方向の初期応力成分 σ_v と土被り H との間には、 $\sigma_v = 0.022 \times H$ なる関係にある。
- (2) 水平方向初期応力は土被り圧の0.6～1.3倍の範囲にある。
- (3) 主応力比 (σ_1 / σ_3) は1.4～2.1の範囲にある。
- (4) 最大主応力の作用方向は凝灰質砂岩ではほぼNE-SW方向、土岐花崗岩ではほぼNW-SE方向にある。

本報告書は、株式会社大林組が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究成果である。

契約番号：11C0479

サイクル機構担当グループおよび担当者：東濃地科学センター 地層科学研究グループ
グループリーダー 武田精悦

*：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 99SE-02 borehole by AE

K.Hata*, H.Ouchi*

【Abstract】

When constructing underground rock cavern at great depth, it is quite important to estimate the initial stresses. 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 and the horizontal initial stresses in rock cored from 99SE-02 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 mine. The results of vertical initial stresses in rock cored from TM-1 and TM-2 and 98SE-01 boreholes were added for evaluation of the initial stress condition. The result can be summarized as follows,

- (1) It was made clear that the relationship between the vertical initial stress (σ_v) and overburden (H) is $\sigma_v = 0.022 \times H$,
- (2) The ratio of horizontal initial stress and overburden pressure ranges from 0.6 to 1.3,
- (3) The ratio of maximum principal stress and minimum principal stress ranges from 1.4 to 2.1 ,
- (4) Direction of maximum principal stress is about NE-SW in tuffaceous-sandston area and is about NW-SE in granite area.

This work performed by Obayashi Corporation under contact with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Agreement No. : 11C0479

JNC Liaison : Tono Geoscience Center, Geological Research Execution Group, Group Leader,
Seietsu Takeda

* : Obayashi Corporation, Technical Research Institute

99SE-02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

99SE-02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.測定システム	3
4.測定条件	5
5.試料採取位置	6
6.供試体の整形寸法と方向	7
7.測定方法	8
8.主応力算定方法	9
9.測定結果とその評価	10
9.1 99SE-02孔における測定結果	10
9.2 4本のボーリング孔のコアを用いた測定結果	21
10.まとめ	24
11.参考文献	25
巻末資料	26
初期応力測定結果	
花崗岩一軸圧縮試験結果	
写真集	

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。

自然状態の岩盤に作用している応力のことを初期応力（初期地圧）あるいは1次応力（1次地圧）と称する。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て、地域性を有した複雑な3次元応力状態になる。また、地質学的な時間スケールで見ると、初期応力は地殻の粘弾性的性質の影響を受けつつ、過去から現在に続く地殻変動に対応して変化し、地震の発生に伴って短時間にも変化しているものと考えられる。初期応力は、その大きさや方向によっては地中構造物の規模、形状ならびに向き¹⁾に大きな影響を及ぼすことから、設計外力として取り扱われる。

設計外力としての初期応力は、測定コストおよび工期の観点から特殊な場合を除いて測定されないことが多く、対象構造物の深度（土被り）、岩石の単位体積重量およびポアソン比から概算しているのが現状である。しかし、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ことから、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^{例えば²⁾}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、東濃鉦山領域を例として実施している初期応力状態の評価手法に関する研究の一環として、99SE-02孔から採取されるボーリングコアを利用して鉛直方向および水平方向（3方向）の初期応力分布状況をAE法を用いて測定する。さらに、既にTM-1孔³⁾、TM-2孔⁴⁾および98SE-01孔⁵⁾で実施済みの初期応力測定結果を踏まえ総合評価を行う。

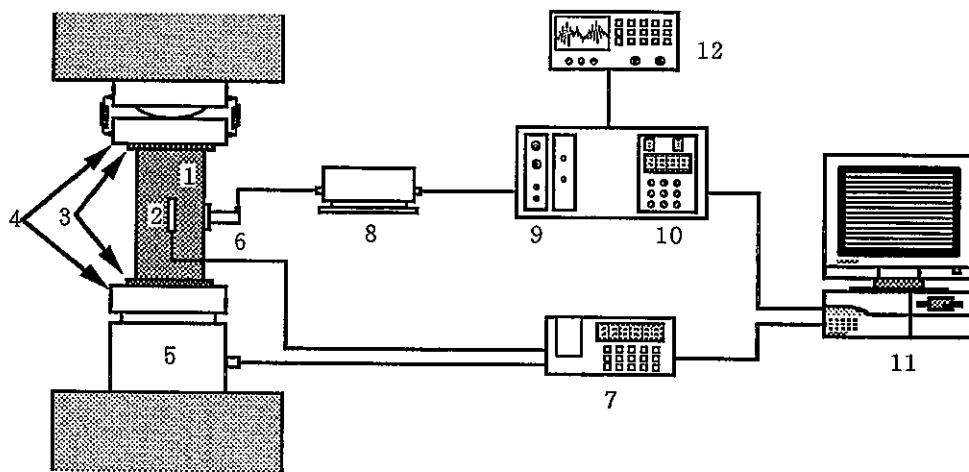
2. AE法による測定原理

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、それらが逐次進展したりする現象が起こる。すなわち、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、それらの波動は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。

Kaiser⁶⁾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の発生が生じな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法を初期応力測定に利用するための先駆的な研究は、金川ら⁷⁾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⁸⁾⁹⁾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. 測定システム

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、電気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.トランスデューサ | 12.オシロスコープ |

図-1 AE計測システム

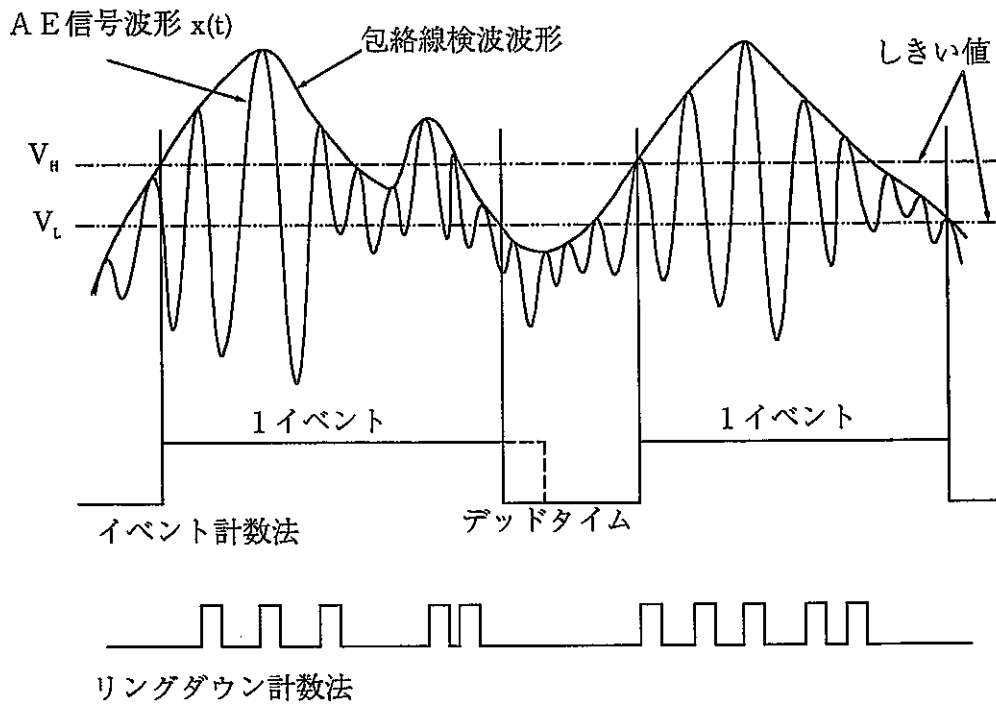


図-2 しきい値とイベントの関係

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

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、単調載荷時に連続的なAEが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99SE-02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。両岩石ともにしきい値と感度の条件は既に決定済み^{3),5),10)}で、表-2のように求められていることから、AE法による初期応力測定では採取岩石に合わせてこの条件を適宜用いることにした。

表-2 東濃鉦山地区の凝灰質砂岩と花崗岩におけるAE試験条件^{3),5),10)}

対象岩石 条件項目		設定条件	
		凝灰質砂岩	花崗岩
しきい値	V _H	230mV	450mV
	V _L	210mV	430mV
感度		90dB	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、99SE-02孔（直径100mm、深さ約200m）削孔時に採取された鉛直方向のボーリングコア（直径約63.5mm）である。コア観察の結果、正確な深度は判断できないものの深度50.7～55.0m付近で月吉断層が横切っている。また、深度152.7mに堆積岩と花崗岩の境界である不整合面が存在する。深度40m間隔で5地点の初期応力測定を計画したが、深度120m～185mで分布する花崗岩は風化変質が顕著であり、AE法を用いた初期応力測定には不適と判断した。そのため、凝灰質砂岩は深度40mと78mの2ヶ所で、花崗岩は深度189m、200mおよび207mの3ヶ所で採取されたコアを用いて初期応力測定を行った。深度40m付近では細粒の凝灰質砂岩が分布し、暗灰色、非変質で風化は認められなかった。深度78m付近では中粒の凝灰質砂岩が分布し、灰色、非変質で風化は認められなかった。一方、深度189m、200mおよび207m付近では粗粒花崗岩が分布し、淡灰桃色、非変質で風化は認められなかった。東濃鉾山内における99SE-02孔、98SE-01孔、TM-1孔およびTM-2孔の位置関係を●印で図-3に示す。

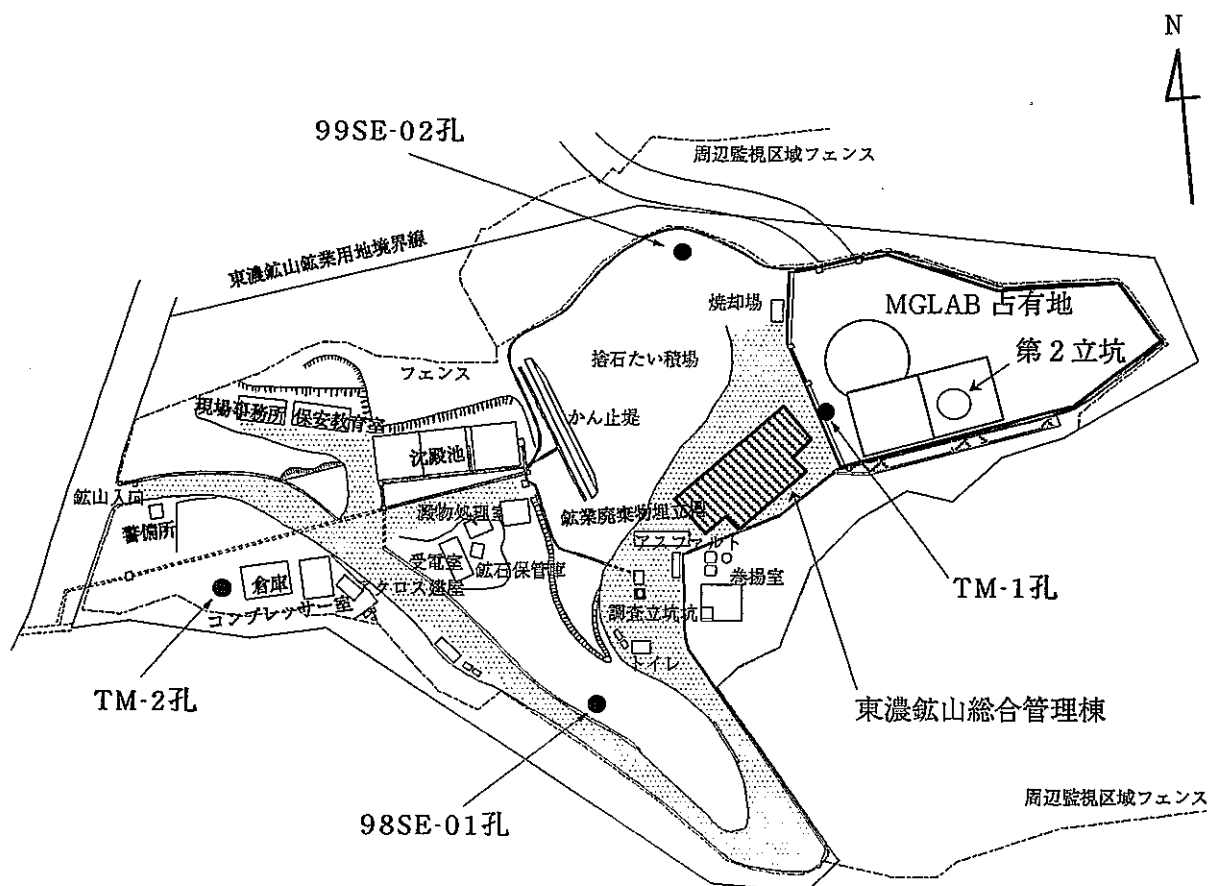


図-3 試料採取位置 (99SE-02孔、98SE-01孔、TM-1孔およびTM-2孔)

6. 供試体の整形寸法と方向

99SE-02孔から逐次採取される定方位ボーリングコア（直径約63.5mm）を用いて、直径20mm、細長比約1：2の円柱供試体ならびに直径30mm、細長比約1：2の円柱供試体を整形した。直径20mm円柱供試体の整形方向は、ボーリング軸方向と水平面内における異なる3方向の合計4方向とした。水平面内における3方向は、主応力を算定できるようにそれぞれ45°の角度をなすようN方向、NE45°方向およびE方向に設定した。一方、直径30mm円柱供試体の整形方向は、ボーリングコア径の関係からボーリング軸方向のみとした。従来、AE法を利用した初期応力測定では直径30mm、細長比約1：2の円柱供試体を主に使用してきた。本業務では、直径約63.5mmの定方位ボーリングコアから水平面内の供試体を整形する必要があり、従来方法では所定の細長比を満足する供試体を整形することはできない。そこで、供試体寸法を一回り小さく直径20mmで対処することにし、測定結果の保証を行うためボーリング軸方向のみではあるが従来寸法の直径30mmの測定を追加した。

供試体の整形方法は、まず採取ボーリングコアを適度な長さに小割し、ダイヤモンドビットで直径約20mmと直径約30mmの棒状コアを採取した。次いで、ダイヤモンドカッタにより細長比が約1：2となるよう切削した。最後に供試体の高さが最大値と最小値の差で0.1mm以内になるようカーボランダムを用いて研磨した。供試体整形方向を図-4に示す。

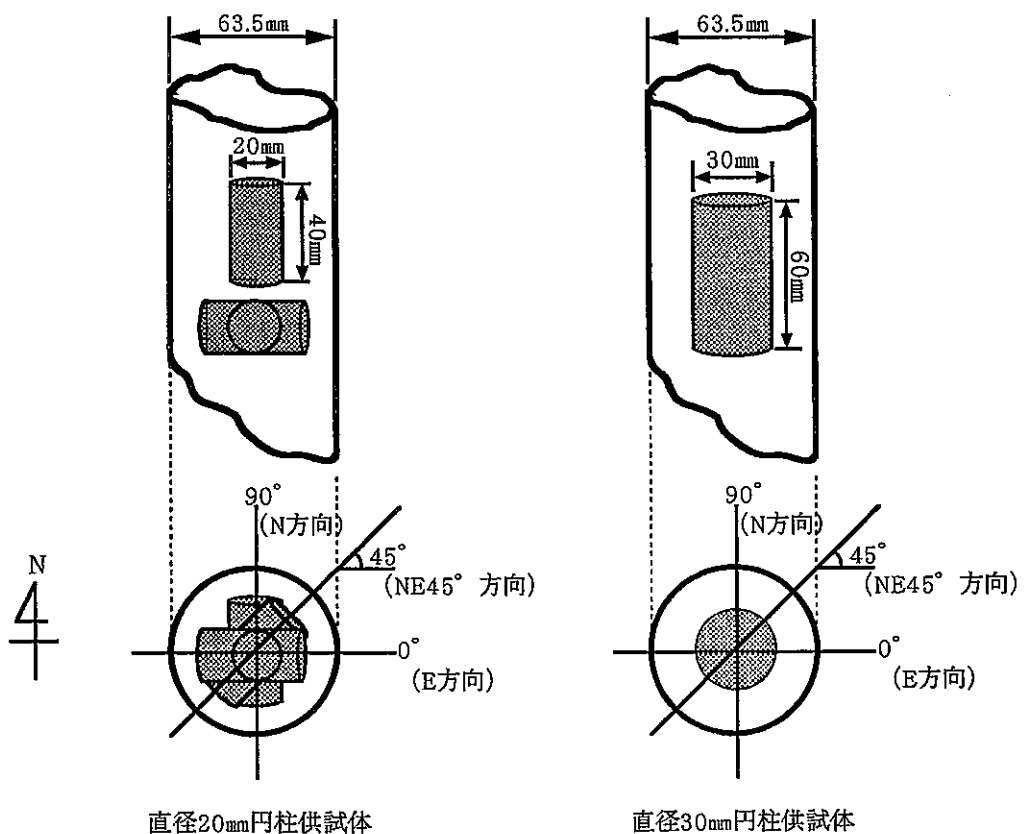


図-4 供試体整形方向

7. 測定方法

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ったため上下荷重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荷重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。しかし、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10分前後になるように定めた。今回採取される岩種は2種類であり一軸圧縮強度を勘案し、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。また、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15MPaまでの荷重とした。ボーリングコア採取予定の最大深度が約200 m、凝灰質砂岩および花崗岩の単位体積重量がそれぞれ約18kN/m³と約26kN/m³となることから、土被り圧は最大で4.6MPa程度になるものと予想される。花崗岩の荷重レベル15MPaは想定土被り圧4.6MPaの3倍以上あることから、初期応力測定に際して十分余裕をもっているものと考えられる。なお、花崗岩については、初期応力測定の後、再度一軸圧縮試験を行い一軸圧縮強度を求めた。

畑ら⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾の研究において、カイザー効果から推定された先行応力は応力除荷後の時間経過により小さくなることが明らかになっている。そこで、これらの研究成果を基に、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日以内に初期応力測定試験を完了することにした。

8. 主応力算定方法

平面内の異なる3方向の応力成分が算定できていれば、平面内の主応力を求めることができる。本研究では、主応力の算定を簡易にするため直角ロゼット法¹⁾の考えを利用するとともに、水平面内における主応力の大きさとその方向を求めるため供試体の整形方向を図-4のように定めた。水平面内における3つの応力成分を σ_x 、 σ_y 、 σ_{xy45} とする。また、その面内における主応力値を σ_1 、 σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_3$)、それらの方向と基準軸とのなす角を θ (基準軸xもしくはyから反時計方向を正とする) とすると、これらは図-5の関係にあることがわかる。よって、(1)式から主応力の大きさと方向を求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{aligned} \right\} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_{xy45})^2 + (\sigma_y - \sigma_{xy45})^2} \quad \left. \begin{aligned} \tan 2\theta = \frac{2\sigma_{xy45} - (\sigma_x + \sigma_y)}{\sigma_x - \sigma_y} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

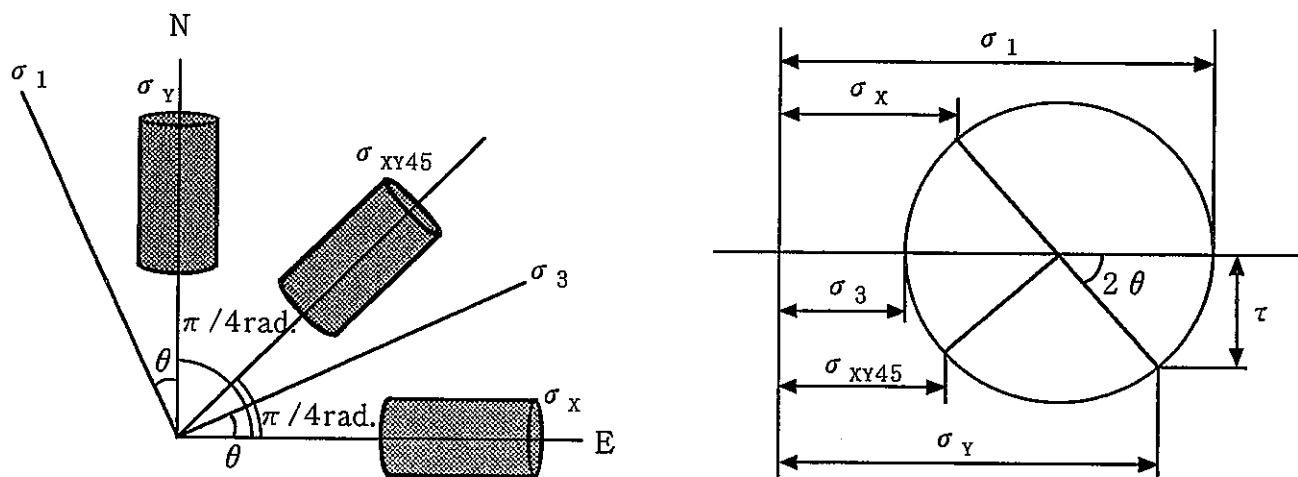


図-5 モールの応力円

9. 測定結果とその評価

9.1 99SE-02孔における測定結果

深度40m付近の凝灰質砂岩における初期応力測定結果の一例を図-6~10に示す。全ての図は、単調載荷時における応力-変位-AE累積数の関係を示したもので、点線で連続的なAEが発生した応力値を示している。図-6、7は鉛直方向の測定結果であり、それぞれ直径20mmと直径30mmの円柱供試体を用いたものである。直径20mmの供試体を用いた場合、0.48MPaから連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できたことから、鉛直方向の初期応力を0.48MPaと評価した。一方、直径30mmの供試体を用いた場合、同様に0.56MPaから連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できたことから、鉛直方向の初期応力を0.56MPaと評価した。この直径20mmと直径30mmの供試体の結果では、大きさの違いによる有意な差は得られなかったことから、供試体の大きさによる影響はないものと判断できる。図-8~10は、それぞれN方向、NE45°方向およびE方向の測定結果である。鉛直方向と同様に、いずれの場合も連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できた。したがって、N方向は0.66MPa、NE45°方向は0.55MPa、E方向は0.37MPaと水平面内における3方向の初期応力成分を評価した。3つの方向で最大(N方向)と最小(E方向)の応力比が約1.8であることから、少なからず応力場には異方性のあることが推察される。

深度200m付近の花崗岩における初期応力測定結果の一例を図-11~15に示す。全ての図は、単調載荷時における応力-ひずみ-AE累積数の関係を示したもので、点線で連続的なAEが発生した応力値を示している。図-11、12は鉛直方向の測定結果であり、それぞれ直径20mmと直径30mmの円柱供試体を用いたものである。直径20mmの供試体を用いた場合、5.43MPaから連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できたことから、鉛直方向の初期応力を5.43MPaと評価した。一方、直径30mmの供試体を用いた場合、同様に4.48MPaから連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できたことから、鉛直方向の初期応力を4.48MPaと評価した。この直径20mmと直径30mmの供試体の結果では、大きさの違いによる有意な差は得られなかったことから、凝灰質砂岩と同様、供試体の大きさによる影響はないものと判断できる。図-13~15は、それぞれN方向、NE45°方向およびE方向の測定結果である。鉛直方向と同様に、どの場合も連続的なAEが発生し明瞭なカイザー効果が確認できた。よって、N方向は4.41MPa、NE45°方向は3.42MPa、E方向は4.65MPaと水平面内における3方向の初期応力成分を評価した。3つの方向で最大(E方向)と最小(NE45°方向)の応力比が約1.4であることから、少なからず応力場には異方性のあることが推察される。

初期応力測定結果の一覧を表-3、4に示す。今回の測定では、試料採取からAE試験までに要した日数は凝灰質砂岩で2日、花崗岩では4日もしくは5日であり、試験条件を満足している。表中、初期応力評価の可否について○×印で示した。×印を示した試料では、載荷直後からAEが頻発し初期応力の評価が不可能であったり、載荷途中に局所的な破壊が原因と考えられる急激な荷重降下が生じAE計測が不都合と判断したものである。初期応力評価が不可であった結果の一例として、凝灰質砂岩の場合を図-16、花崗岩の場合を図-17に示す。両結果ともに応力-変位（ひずみ）-AE発生数の関係を示したもので、載荷直後からAEが頻発しカイザー効果を抑えることはできなかった事例である。

AE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。エネルギー解放の原因としては、マイクロクラックの発生や進展であったり、結晶粒子の摩擦であったりする。試験対象の岩石が新鮮であればカイザー効果は存在するが、風化等によって結晶粒界の固結度が低い場合や、マクロな欠陥が存在する場合にはカイザー効果は確認できなくなる⁴⁹⁾。つまり、このような試料においては、初期応力より小さな力によって結晶粒間に変形が生じ、その結果摩擦音が発生するため適切に初期応力を評価することは不可能となるものと考えられる。

図-16の凝灰質砂岩は目視観察上局所的に粗粒混じりであることが確認されており、この状態が載荷直後の段階からAEが頻発した原因と考えられる。図-17の花崗岩について、同一深度の供試体は11本あるが目視観察上結晶粒分布の差異は認められなかった。しかし、図-17の供試体を含む同一整形方向（鉛直）の供試体5本は、全て載荷直後の段階からAEが頻発しカイザー効果の評価することはできなかった。一方、他の3方向の供試体では明瞭なカイザー効果を確認し、初期応力を評価できた。応力-ひずみ曲線に着目すると、カイザー効果が明瞭に確認できた供試体では最大荷重15MPaで約0.05～0.07%のひずみ量を感じたが、明瞭なカイザー効果が認められなかった供試体については0.13～0.2%となった。明瞭なカイザー効果が認められなかった供試体の変形性は、明瞭なカイザー効果が認められた供試体に対して2～3倍大きいことから、結晶粒界の結合力が新鮮な花崗岩に比較して小さくなり載荷初期の段階で結晶粒界の摩擦音を鋭敏に感知したものと考えられる。

表-3、4に示す初期応力測定結果をそれぞれの深度毎にまとめたものが表-5である。この表は、初期応力が評価可能であった全データについて、概略深度に対する平均値や変動係数（標準偏差と平均値の比を百分率で示したもので、測定値のバラツキを表す）¹²⁾を整理したものである。また、表中の概略土被り圧は、99SE-02孔からの採取コアが0～157.2mで凝灰質砂岩、157.2m以深は花崗岩であったことと、それぞれの単位体積重量が 17.3 kN/m^3 、 25.6 kN/m^3 であったことを勘案し算定した。測定結果に対する変動係数は

比較的小さくなり、バラツキは相対的に少ないことがわかった。この表から、鉛直方向の初期応力は概略土被り圧に対して約0.8～1.4倍の範囲に、今回測定した三方向（N方向、NE45°方向およびE方向）の水平面内の初期応力は概略土被り圧に対して約0.6～1.3倍の範囲にあることがわかる。

表-3、4に示す測定結果の内、鉛直方向初期応力と深度との関係を図示したものが図-18である。図中、点線で土被り圧の推移を示した。この結果から、深度との相関性を直線回帰したところ、(2)式のような関係（図中実線部）を得た。式中 σ_v は鉛直方向の初期応力成分を、Hは土被りを示す。

$$\sigma_v = 0.025 \times H \quad (2)$$

(1)式を用いて主応力とその最大主応力方向を求めた。結果の一覧を表-6に示すとともに、水平面内における主応力の大きさとその方向を図化したものが図-19で、深度との関係を図示したものが図-20である。図-19から、凝灰質砂岩の分布する深度では、最大主応力（ σ_1 ）はNE-SW方向に、最小主応力（ σ_3 ）はNW-SE方向に作用していることが判明した。一方、花崗岩が分布する深度では、主応力の作用方向が逆転し最大主応力（ σ_1 ）はNW-SE方向に、最小主応力（ σ_3 ）はNE-SW方向に作用していることがわかった。また、主応力比（ σ_1/σ_3 ）は1.4～2.1の範囲にあり、異方的な応力場にあることがわかった。図-20では主応力の深度分布状況を示した。図中▼印で最大主応力を、▽印で最小主応力を示した。この結果から、凝灰質砂岩より花崗岩の方で差応力が大きくなる傾向を得た。また、深度との相関性を直線回帰したところ、(3)式のような関係（図中実線部と一点鎖線）を得た。式中 σ_{max} は最大主応力を、 σ_{min} は最小主応力を、Hは土被りを示す。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{max} &= 0.028 \times H \\ \sigma_{min} &= 0.015 \times H \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

以上、99SE-02孔での初期応力測定結果において、鉛直方向と水平方向の初期応力はともにほぼ土被り圧に等しい結果を得たこと、主応力比が1.4～2.1の範囲になったことから、応力場としては異方的であるものの、局所的な応力集中や緩和は生じていないことが推察された。

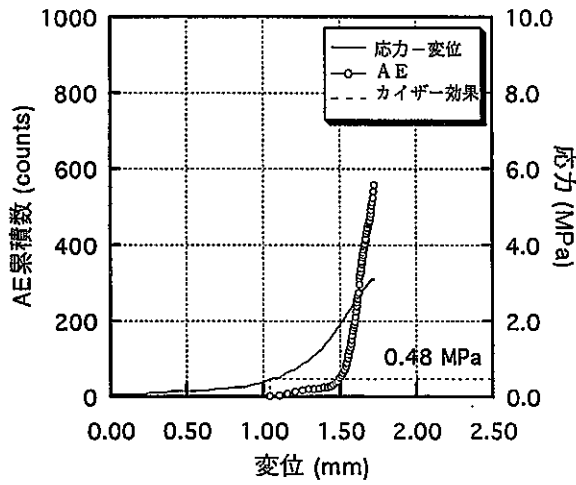


図-6 直径20mm供試体による鉛直方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE01)

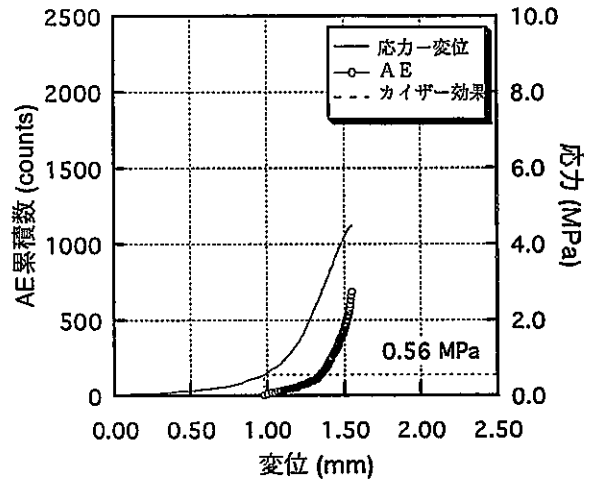


図-7 直径30mm供試体による鉛直方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE03)

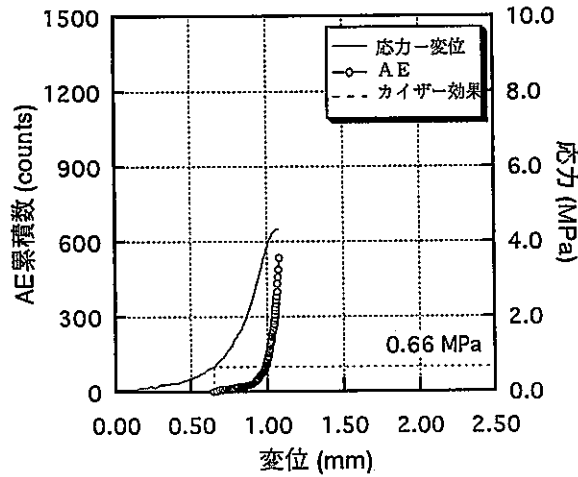


図-8 N方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE04)

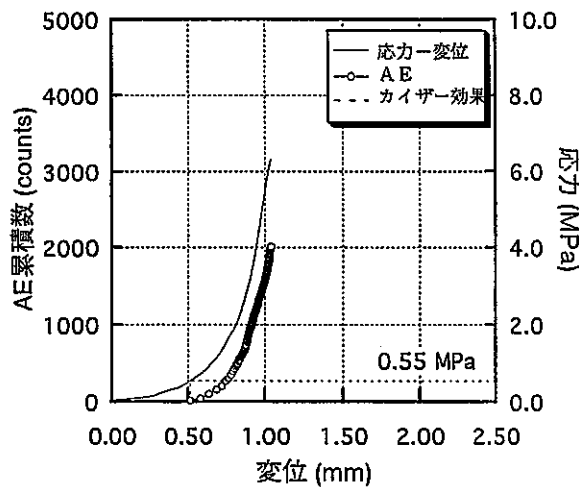


図-9 NE45°方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE07)

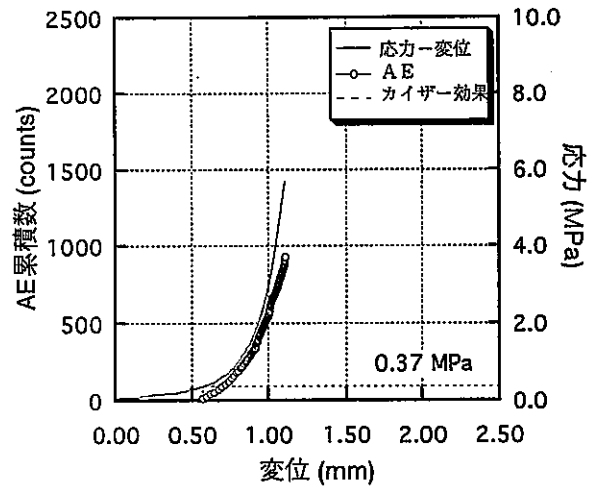


図-10 E方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE08)

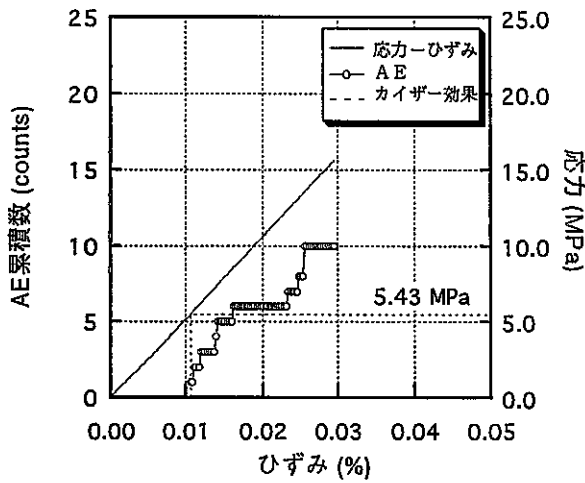


図-11 直径20mm供試体による鉛直方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE39)

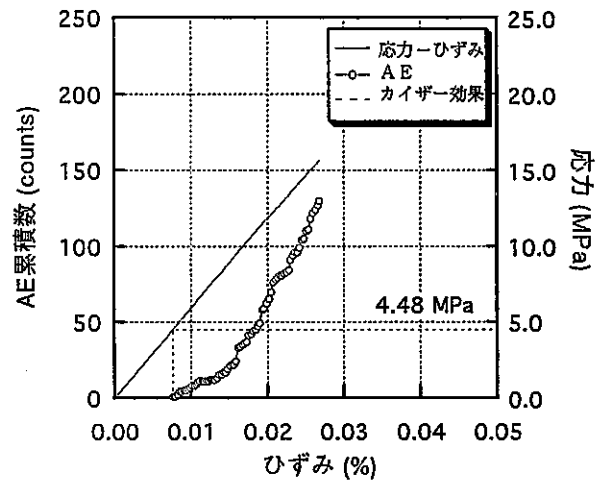


図-12 直径30mm供試体による鉛直方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE41)

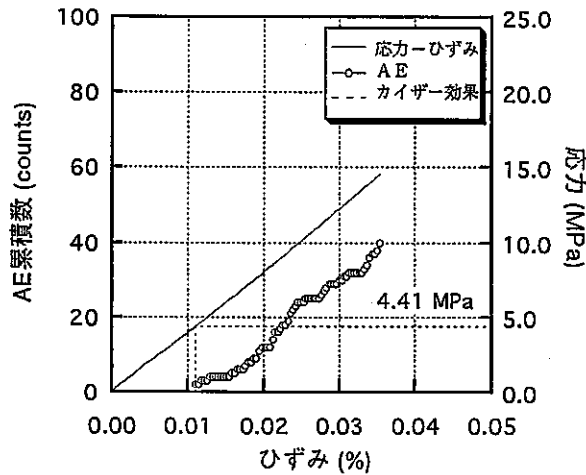


図-13 N方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE32)

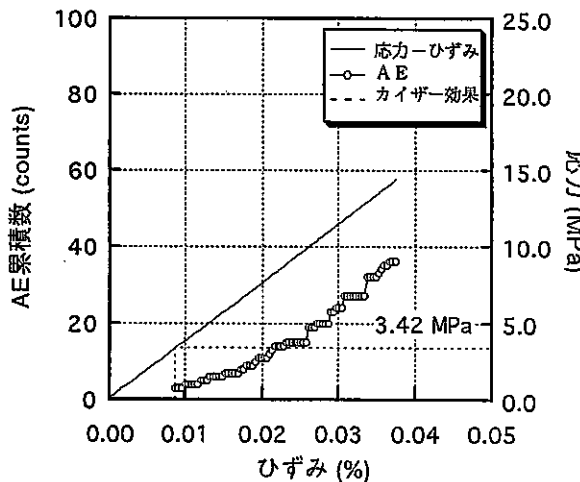


図-14 NE45°方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE34)

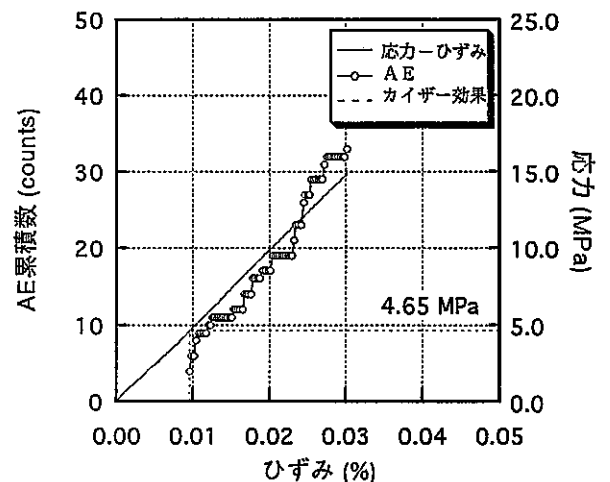


図-15 E方向初期応力測定結果の一例 (No.99SE36)

表-3 99SE-02孔における凝灰質砂岩の初期応力測定結果

供試体 No.	深度 (m)	供試体 整形方向	寸法 直径×長さ (cm)	単位 体積重量 (kN/m ³)	初期応力 (MPa)	初期応力評価の可否	一軸 圧縮強度 (MPa)	採取後試験までに要した日数 (日)
99SE01	40.00	Z	2.08×4.03	17.27	0.48	○	3.11	2
99SE02	40.05	Z	2.08×3.68	17.26	0.51	○	4.36	2
99SE03	40.31	Z	2.96×6.20	17.48	0.56	○	4.47	2
99SE04	40.40	N	2.08×4.27	17.31	0.66	○	4.32	2
99SE05	40.43	N	2.08×4.46	17.35	0.66	○	4.39	2
99SE06	40.95	NE45°	2.08×4.25	17.53	0.04	×	6.77	2
99SE07	40.99	NE45°	2.08×4.18	17.41	0.55	○	6.30	2
99SE08	41.01	E	2.07×4.29	17.67	0.37	○	5.70	2
99SE09	41.04	E	2.07×4.17	17.97	0.41	○	2.96	2
99SE10	78.10	Z	2.08×3.97	17.29	1.21	○	6.37	2
99SE11	78.28	Z	2.09×3.96	17.31	0.36	×	5.84	2
99SE12	78.10	Z	2.08×3.66	16.63	1.14	○	4.87	2
99SE13	78.37	Z	2.96×6.19	17.44	1.07	○	6.98	2
99SE14	77.45	N	2.08×3.92	17.52	0.11	×	5.89	2
99SE15	77.48	N	2.08×3.96	17.48	0.11	×	8.02	2
99SE16	77.51	N	2.08×3.91	17.04	1.50	○	5.49	2
99SE17	77.55	NE45°	2.08×4.00	17.23	1.65	○	5.31	2
99SE18	77.58	NE45°	2.08×4.09	17.52	0.15	×	5.53	2
99SE19	77.68	E	2.08×3.96	17.19	1.61	○	6.44	2
99SE20	77.71	E	2.08×3.82	16.76	1.17	○	5.13	2

表-4 99SE-02孔における花崗岩の初期応力測定結果

供試体 No.	深度 (m)	供試体 整形方向	寸法 直径×長さ (cm)	単位 体積重量 (kN/m ³)	初期応力 (MPa)	初期応力評価の可否	一軸 圧縮強度 (MPa)	採取後試験までに要した日数 (日)
99SE21	189.27	E	2.11×4.18	25.23	3.81	○	72.61	4
99SE22	189.30	E	2.11×4.08	25.30	4.13	○	85.43	4
99SE23	188.38	Z	2.07×3.92	26.39	0.18	×	82.82	4
99SE24	188.88	Z	2.07×3.86	26.57	0.18	×	72.84	4
99SE25	188.98	N	2.12×4.21	25.21	3.31	○	119.89	4
99SE26	189.01	N	2.12×4.20	25.27	2.93	○	83.39	4
99SE27	189.05	NE45°	2.12×4.33	25.34	2.71	○	86.25	4
99SE28	189.09	NE45°	2.12×4.27	25.31	3.49	○	85.19	4
99SE29	189.65	Z	2.99×6.22	25.35	0.25	×	62.91	4
99SE30	189.79	Z	2.99×6.15	25.32	0.11	×	67.94	4
99SE31	188.43	Z	2.99×6.06	25.26	0.14	×	66.96	4
99SE32	200.12	N	2.11×3.99	25.44	4.41	○	100.09	5
99SE33	200.15	N	2.11×4.12	25.53	4.02	○	128.81	5
99SE34	200.21	NE45°	2.11×4.31	25.70	3.42	○	146.13	5
99SE35	200.24	NE45°	2.13×4.24	25.70	2.91	○	121.21	5
99SE36	200.31	E	2.13×4.11	25.65	4.65	○	164.77	5
99SE37	200.34	E	2.14×4.16	25.56	4.84	○	135.20	5
99SE38	200.58	Z	2.08×3.99	26.26	5.09	○	130.02	5
99SE39	200.62	Z	2.07×4.09	25.79	5.43	○	155.02	5
99SE40	200.58	Z	2.07×4.09	25.86	4.77	○	151.69	5
99SE41	200.72	Z	2.99×6.20	25.57	4.48	○	115.87	5
99SE42	200.88	Z	2.99×6.05	25.67	4.73	○	172.42	5
99SE43	207.02	N	2.07×3.98	25.71	5.10	○	155.34	4
99SE44	207.05	N	2.07×4.10	25.75	4.44	○	168.63	4
99SE45	207.11	NE45°	2.08×3.89	25.57	2.97	○	—*	4
99SE46	207.14	NE45°	2.08×3.73	25.68	3.30	○	165.83	4
99SE47	207.20	E	2.08×4.05	25.48	5.05	○	170.97	4
99SE48	207.26	E	2.08×3.93	25.40	5.09	○	181.74	4
99SE49	206.86	Z	2.07×4.12	25.62	6.21	○	155.89	4
99SE50	207.30	Z	2.08×3.97	25.36	5.53	○	155.15	4
99SE51	206.68	Z	2.99×6.24	25.67	5.03	○	132.92	4
99SE52	206.95	Z	2.99×5.96	25.72	5.71	○	143.24	4

* 計測システム不調のためデータ記録されず。

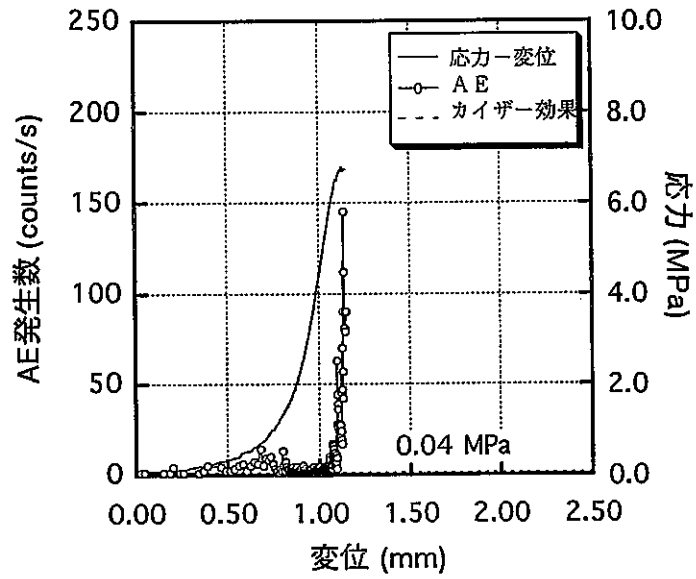


図-16 凝灰質砂岩における初期応力評価不可の一例 (No.99SE06)

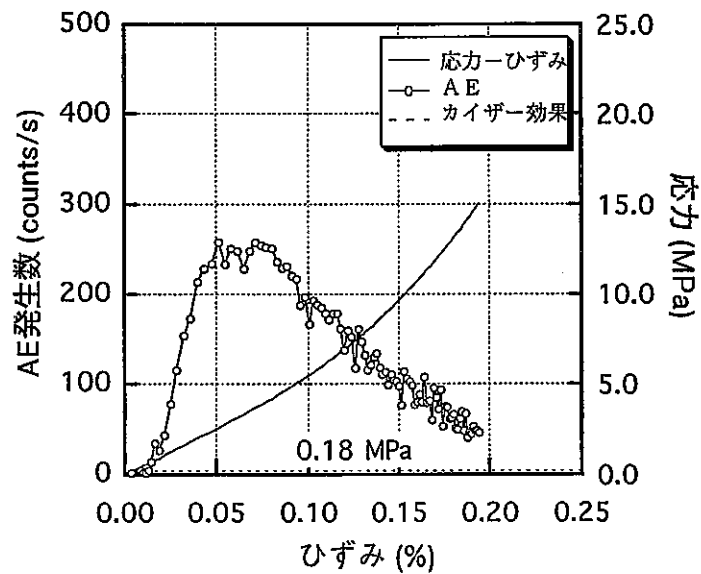


図-17 花崗岩における初期応力評価不可の一例 (No.99SE23)

表-5 99SE-02孔での初期応力測定結果のまとめ

岩種	概略の深度 (m)	AE法による初期応力				概略の 土被り圧 (MPa)
		整形 方向	平均値 (MPa)	変動係数 (%)	評価可能な 試験本数 (本)	
凝灰質砂岩	40	Z	0.52	6.39	3	0.69
		N	0.66	0.00	2	
		NE45°	0.55	—**	1	
		E	0.39	5.13	2	
	78	Z	1.14	5.01	3	1.35
		N	1.50	—**	1	
		NE45°	1.65	—**	1	
		E	1.39	15.83	2	
花崗岩	189	Z	—*	—**	0	3.53
		N	3.12	6.09	2	
		NE45°	3.10	12.58	2	
		E	3.97	4.03	2	
	200	Z	4.90	6.70	5	3.82
		N	4.22	4.63	2	
		NE45°	3.17	8.06	2	
		E	4.75	2.00	2	
	207	Z	5.62	7.51	4	3.99
		N	4.77	6.92	2	
		NE45°	3.14	5.26	2	
		E	5.07	0.39	2	

注) 整形方向Zは鉛直、整形方向N、NE45°、Eは方位を表す。

* 明瞭なカイザー効果が認められなかったため、初期応力は評価不可。

** 試料本数が0もしくは1本のため計算不可。

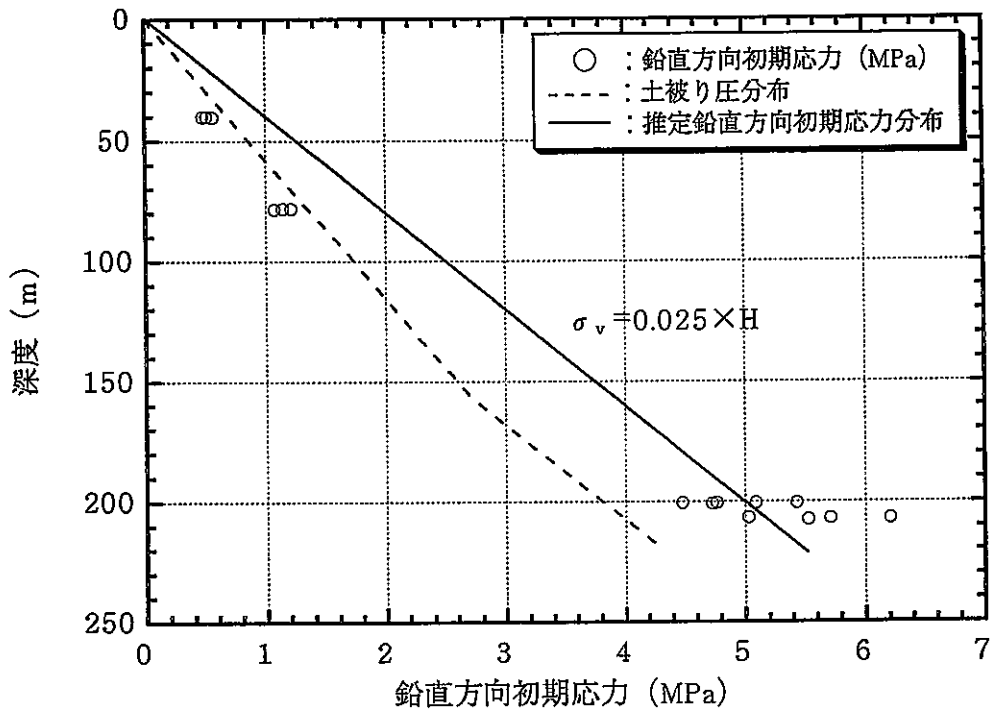


図-18 99SE-02孔における鉛直方向初期応力の深度分布

表-6 主応力算定結果

岩種	概略深度 (m)	鉛直方向初期応力 (MPa)	水平方向初期応力					
			平均値 (MPa)			主応力 (MPa)		方向(°)
			N方向	NE45°方向	E方向	σ_1	σ_3	θ
凝灰質砂岩	40	0.52	0.66	0.55	0.39	0.66	0.39	-5.2
	78	1.14	1.50	1.65	1.39	1.66	1.23	-37.5
花崗岩	189	-*	3.12	3.10	3.97	4.16	2.92	-23.2
	200	4.90	4.22	3.17	4.75	5.82	3.14	-39.3
	207	5.62	4.77	3.14	5.07	6.71	3.13	-42.6

注) 整形方向N、NE45°、Eは方位を表す。

* 明瞭なカイザー効果が認められなかったため、初期応力は評価不可。

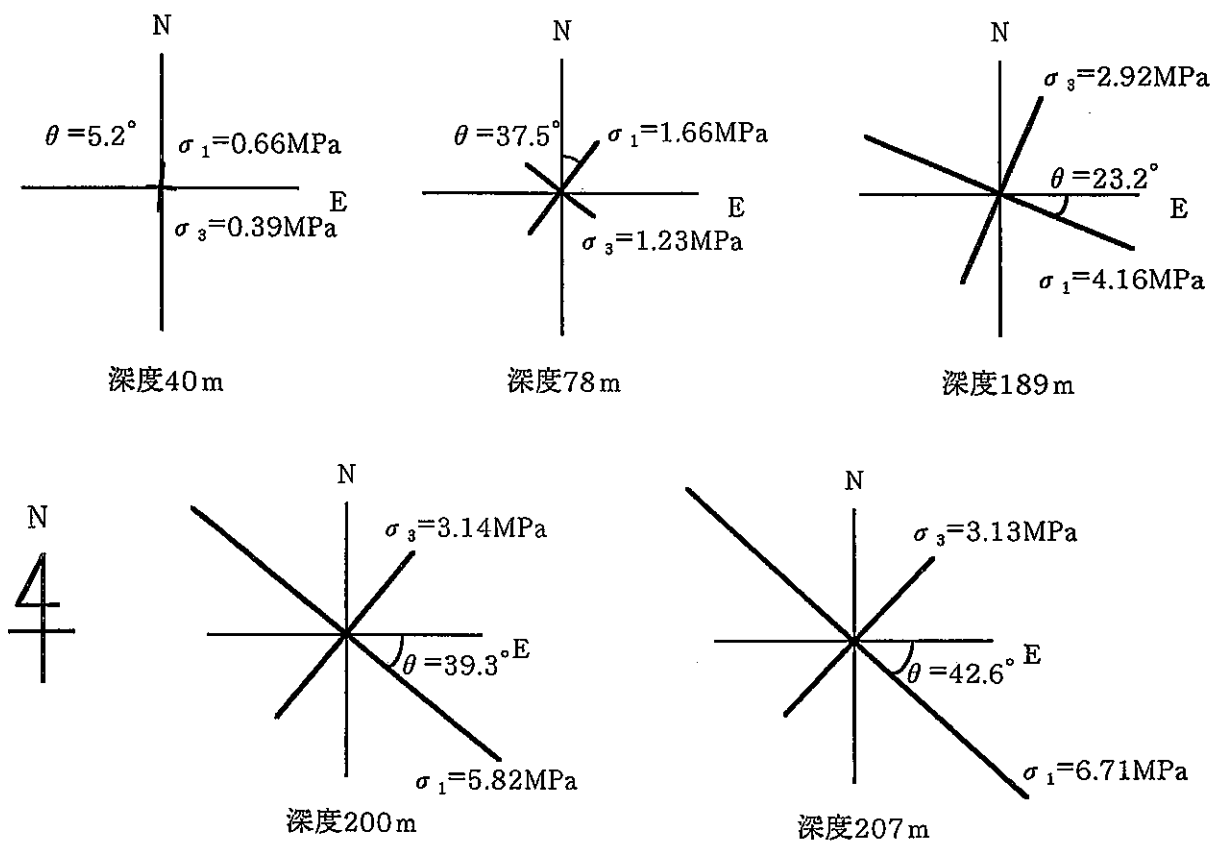


図-19 主応力の深度変化

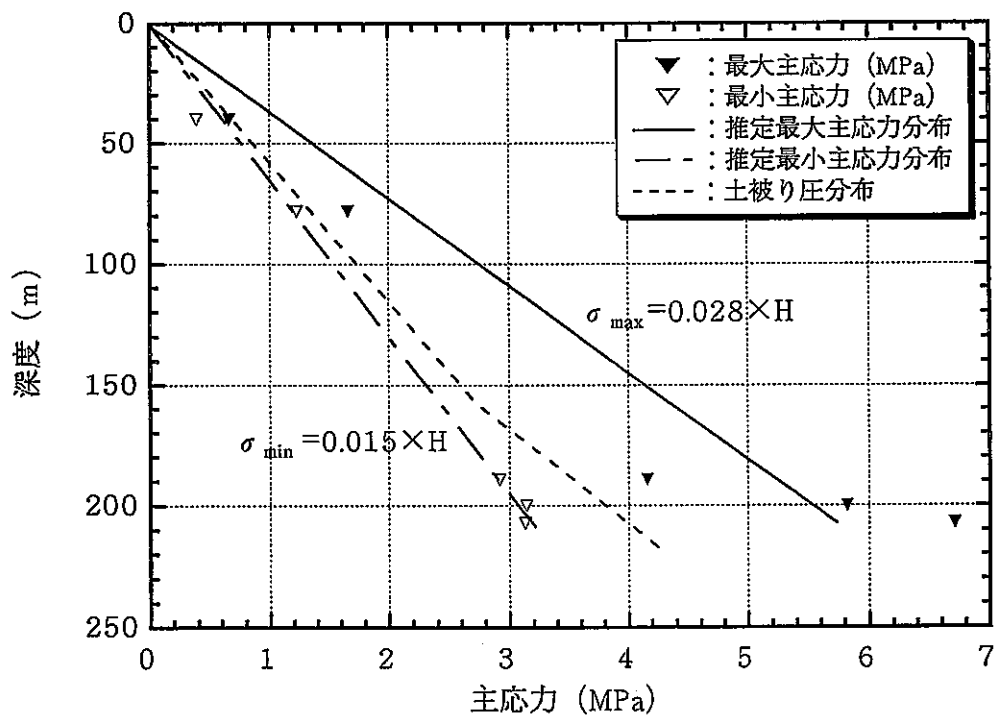


図-20 99SE-02孔における主応力の深度分布

9.2 4本のボーリング孔のコアを用いた測定結果

東濃鉾山では、TM-1孔³⁾、TM-2孔⁴⁾、98SE-01孔⁵⁾で鉛直方向の、99SE-02孔で鉛直方向と水平方向の岩石コアをもとにAE法を用いて初期応力を測定した。これら測定結果より、鉛直方向の初期応力結果をまとめたものが表-7である。この表は、初期応力が評価可能であった全データについて、概略深度に対する平均値や変動係数（標準偏差と平均値の比を百分率で示したもので、測定値のバラツキを表す）¹³⁾を整理したものである。また、表中の概略土被り圧は、TM-2孔からの採取コアが0～30mで瀬戸・明世層、30～130mで土岐夾炭累層、130m以深は花崗岩であったことと、それぞれの単位体積重量が16.9kN/m³、18.1kN/m³、25.5kN/m³であったことを勘案し算定した。

98SE-01孔と99SE-02孔での測定結果に対する変動係数は、TM-1孔とTM-2孔での測定結果に比較して相対的に小さくなった。つまり、98SE-01孔と99SE-02孔での測定結果のバラツキは相対的に小さいことになる。鉛直方向の初期応力は概略土被り圧に対して0.8～1.3倍の範囲にあり、ほぼ土被り圧に等しい結果を得たことから、局所的な応力集中や緩和は生じていないことが推察される。

表-7の測定結果を試料採取深度との関係で整理したものが図-21、22である。図-21ではTM-1孔、TM-2孔、98SE-01孔および99SE-02孔における全測定結果を示した。一方、図-22ではそれぞれの深度で初期応力値を平均し示した。図-21に示す鉛直方向の全測定結果から、深度との相関性を直線回帰したところ、(4)式のような関係（図中実線部）を得た。式中 σ_v は鉛直方向の初期応力成分を、Hは土被りを示す。

$$\sigma_v = 0.022 \times H \quad (4)$$

表-7 TM-1孔、TM-2孔、98SE-01孔および99SE-02孔での
鉛直方向初期応力測定結果のまとめ

ボーリング孔 No.	岩種	概略の 深度 (m)	AE法による初期応力				概略の 土被り圧 (MPa)	
			整形 方向	平均値 (MPa)	変動係数 (%)	評価可能な 試験本数 (本)		
TM-1	凝灰質砂岩	154	Z	2.81	11.26	3	2.93	
TM-2		70	Z	1.18	9.59	7	1.23	
98SE-01	凝灰質砂岩	170	Z	3.79	21.55	6	3.34	
		30	Z	0.61	14.94	6	0.51	
		60	Z	1.23	7.34	4	1.05	
	花崗岩	90	Z	—*	—**	0	1.59	
		花崗岩レキ	90	Z	1.73	8.61	4	1.59
		140	Z	3.05	3.45	2	2.57	
		160	Z	—*	—**	0	3.08	
	180	Z	4.17	7.38	6	3.59		
	200	Z	3.75	6.78	6	4.10		
	99SE-02	凝灰質砂岩	40	Z	0.52	6.39	3	0.69
78			Z	1.14	5.01	3	1.35	
花崗岩		189	Z	—*	—**	0	3.53	
		200	Z	4.90	6.70	5	3.82	
		207	Z	5.62	7.51	4	3.99	

注) 整形方向Zは鉛直を表す。

* 明瞭なカイザー効果が認められなかったため、初期応力は評価不可。

** 試料本数が0もしくは1本のため計算不可。

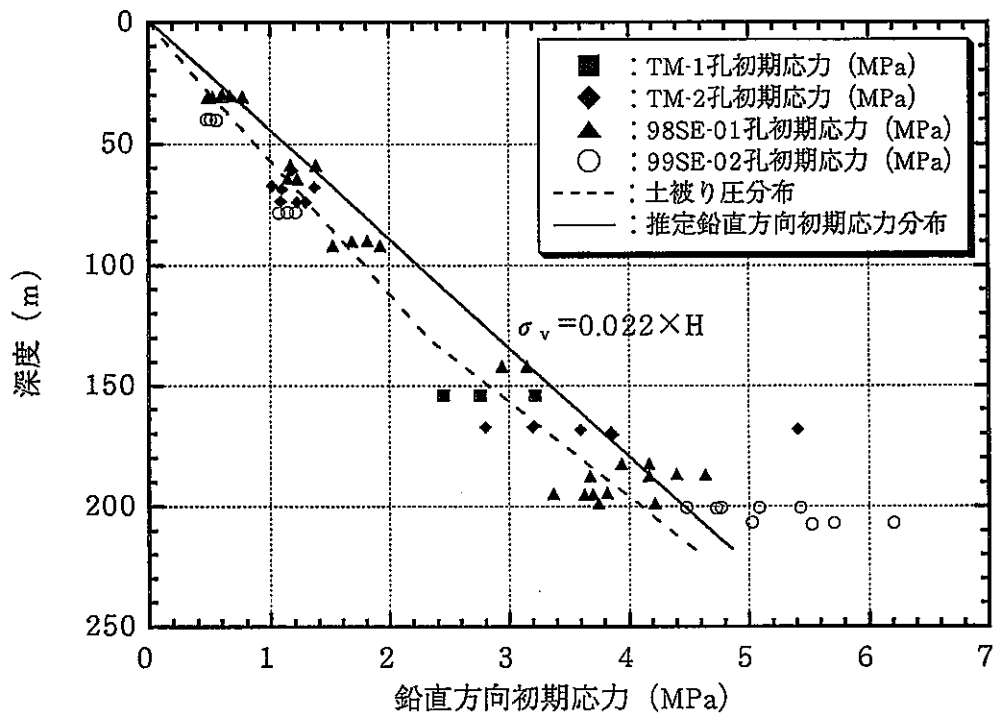


図-21 TM-1孔、TM-2孔、98SE-01孔および99SE-02孔での鉛直方向初期応力の深度分布

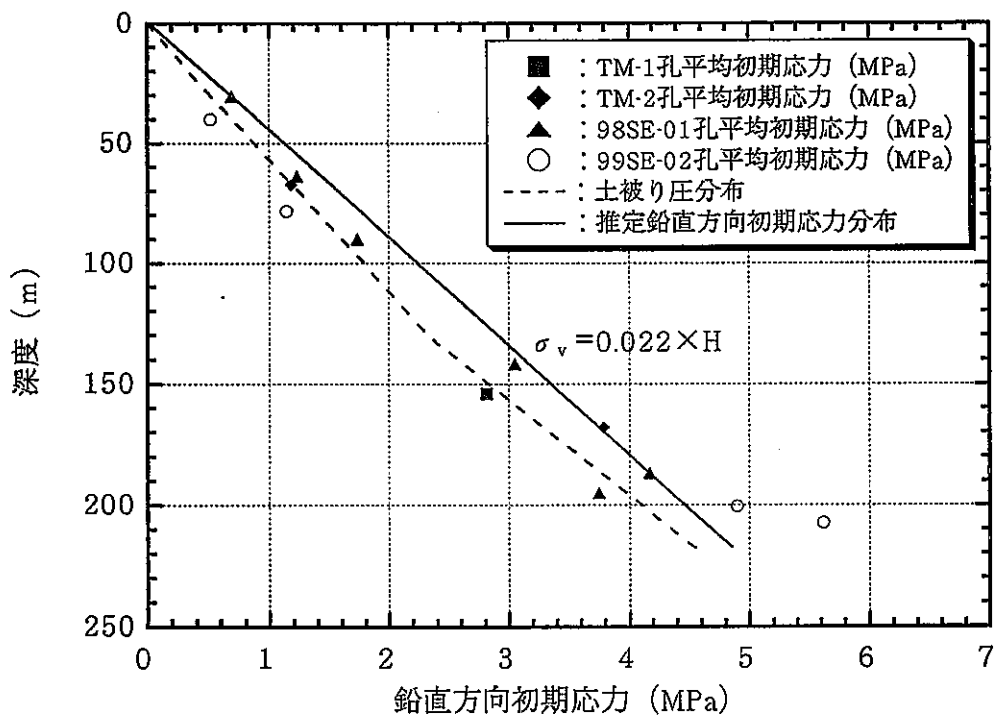


図-22 TM-1孔、TM-2孔、98SE-01孔および99SE-02孔での鉛直方向初期応力の深度分布（それぞれの深度で平均したもの）

10. まとめ

東濃鉾山領域を例として実施している初期応力状態の評価手法に関して研究することを目的に、99SE-02孔から採取されたボーリングコアを用いてAE法による初期応力測定を実施した。初期応力の測定方向は、鉛直方向、方位N方向、方位NE45°方向および方位E方向の計4方向である。方位N方向、方位NE45°方向および方位E方向の初期応力成分からは水平面内の主応力分布を算定した。鉛直方向初期応力状態の評価に際しては、既に実施済みのTM-1孔、TM-2孔および98SE-01孔の測定結果も踏まえた。

99SE-02孔の測定に関して、凝灰質砂岩では深度40mと78mの2ヶ所から採取した試料20本を用いて初期応力測定を行った。その内、深度40mでは9本中8本、深度78mでは11本中7本について初期応力を評価できた。一方、花崗岩では深度189m、200mおよび207m3ヶ所から採取した試料32本を用いて初期応力測定を行った。その内、深度189mでは11本中6本、深度200mでは11本全て、207mでは10本中全てについて初期応力を評価できた。鉛直方向の初期応力測定結果から、鉛直方向初期応力成分 σ_v と土被りHとの間には、ほぼ土被り圧に相当する $\sigma_v=0.025 \times H$ なる関係のあることがわかった。一方、水平面内での初期応力（方位N方向、方位NE45°方向および方位E方向）は土被り圧に対して約0.6~1.3倍の範囲になり、主応力比（ σ_1/σ_3 ）は1.4~2.1の範囲になることがわかった。さらに、凝灰質砂岩の分布する深度では最大主応力の方向はNE-SW方向に、花崗岩が分布する深度では最大主応力の方向はNW-SE方向に作用することがわかった。主応力分布から異方的な応力場にあることがわかるものの、鉛直方向と水平方向の初期応力成分がほぼ土被り圧に等しいことから局所的な応力集中や緩和は生じていないことが推察される。

本試験では、初期応力を評価できなかった試料が52本中10本あった。ほとんどの場合、载荷初期にAEが頻発しカイザー効果を確認できなかったものである。凝灰質砂岩では局所的に内在した粗粒が起因したものと考えられる。一方、花崗岩では風化等の影響により結晶粒界の結合力が小さかったことが起因したものと考えられる。

4本のボーリング孔のコアを用いた測定結果から、東濃鉾山の敷地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 σ_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、直径20mm、細長比1:2と直径30mm、細長比1:2の円柱供試体を用いて測定を行った。両寸法で、測定結果に有意な差のないことが明らかになったことから、直径70mm程度のボーリングコアが採取できれば、異なる6方向の供試体が整形でき3次元主応力の算定が可能と判断できた。

1 1. 参考文献

- 1) E.Hock & E.T.Brown : Underground Excavations in Rock, pp.87~130, pp.183~243, 1980.
- 2) 初期地圧測定法の現状と課題、土木学会、1992.
- 3) 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.
- 4) TM-2孔のコアを用いたAE法による初期応力測定、動力炉・核燃料開発事業団公開資料、PNC TJ7201 98-001、1998.
- 5) 98SE-01孔のコアを用いたAE法による初期応力測定、核燃料サイクル開発機構公開資料、JNC TJ7400 99-001、1999.
- 6) J.Kaiser : Untersuchungen uber das auftreten gerauschen beim zugversuch, Archiv fur das Eisenhüttenwesen, Vol.24, pp.43~45, 1953.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 応用弾性学、川本とし万、共立出版、pp.33~36、1977.
- 12) 日本材料学会、建設材料実験、pp.33~38、1978.

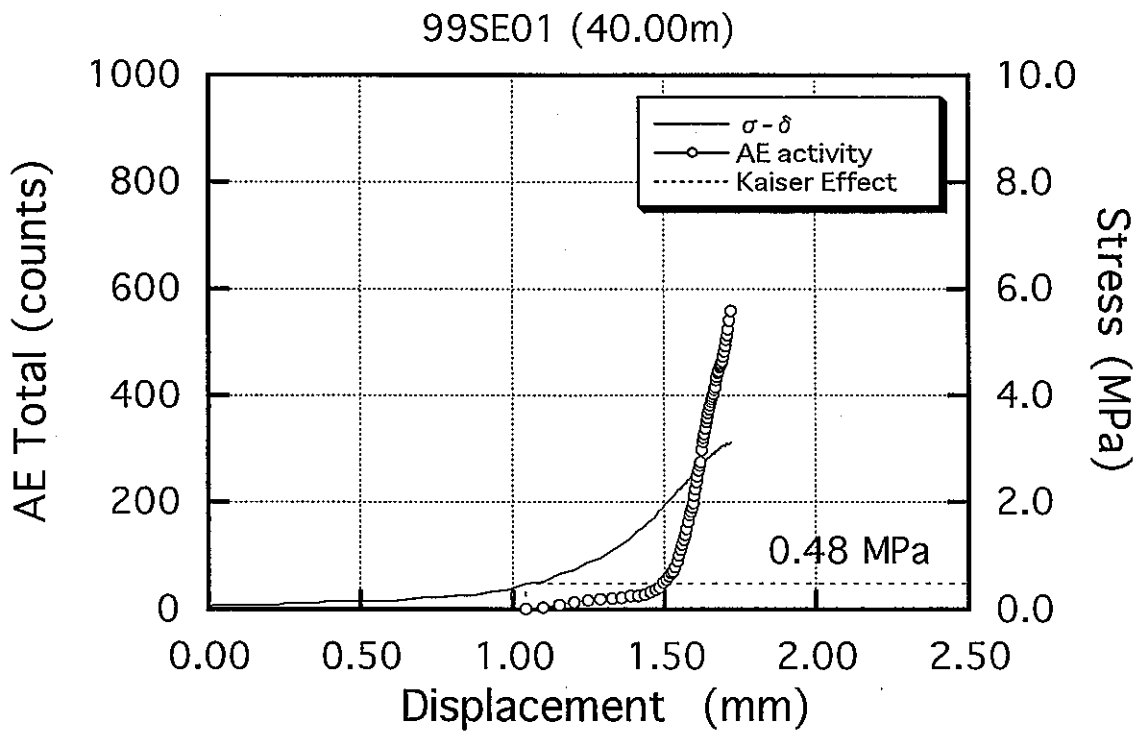
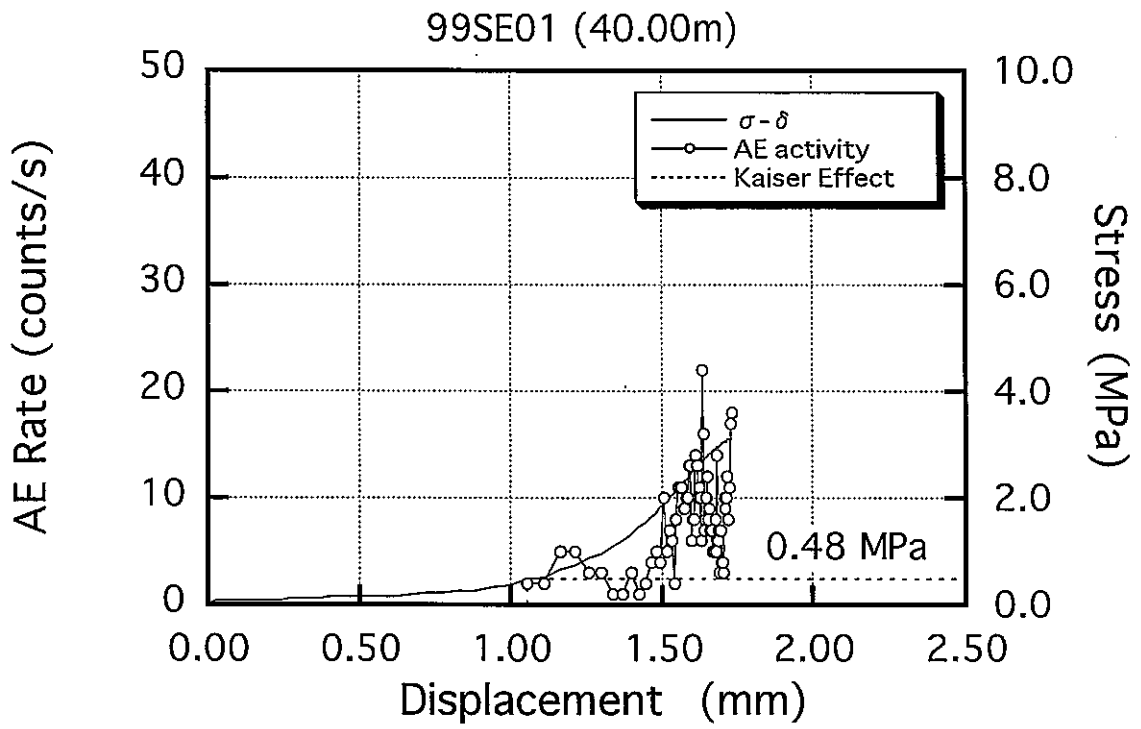
卷末資料

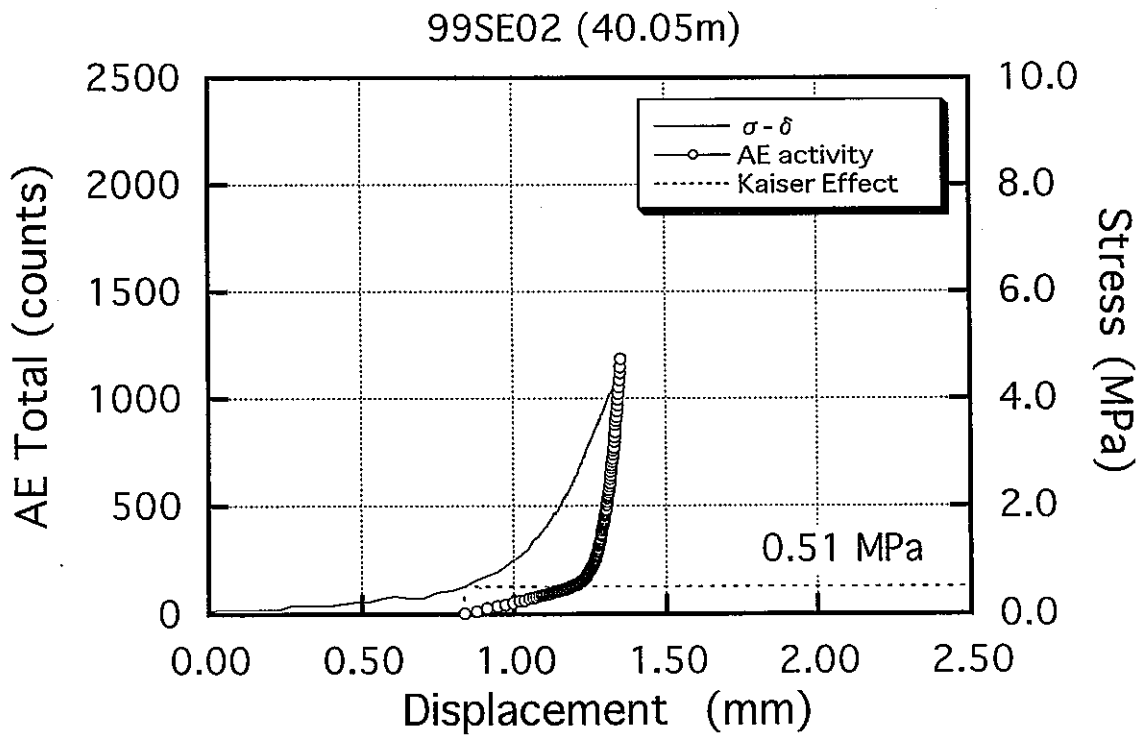
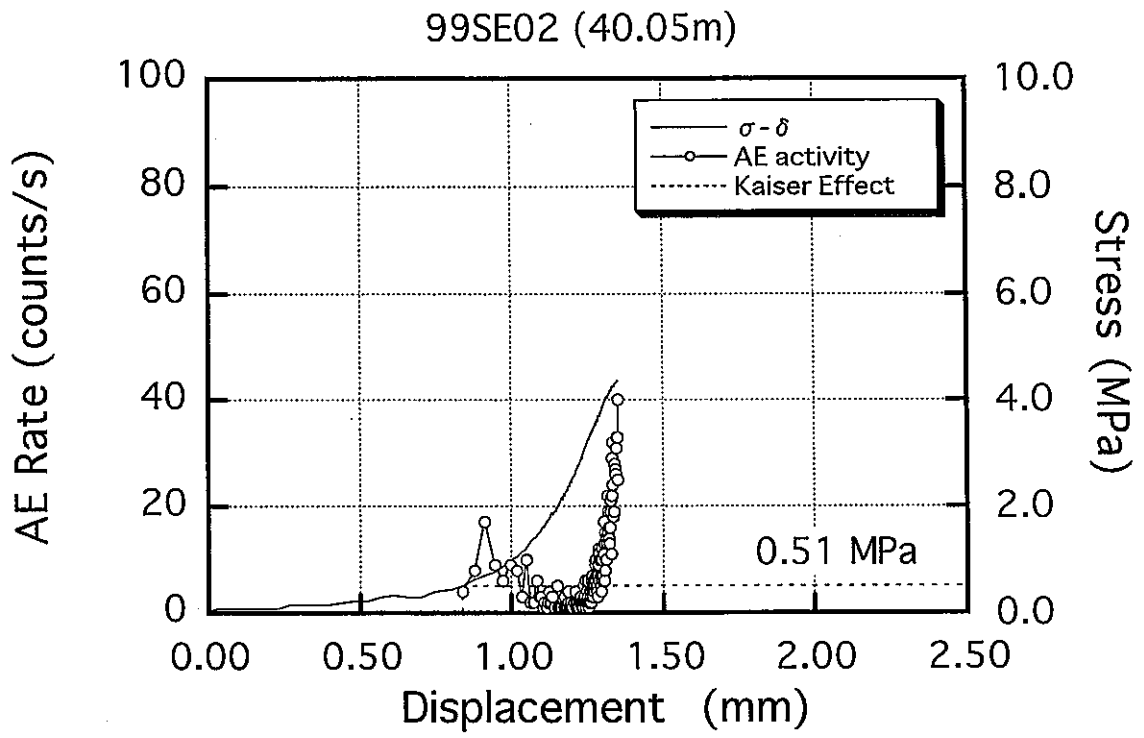
- 1.初期応力測定結果
- 2.花崗岩一軸圧縮試験結果
- 3.写真集

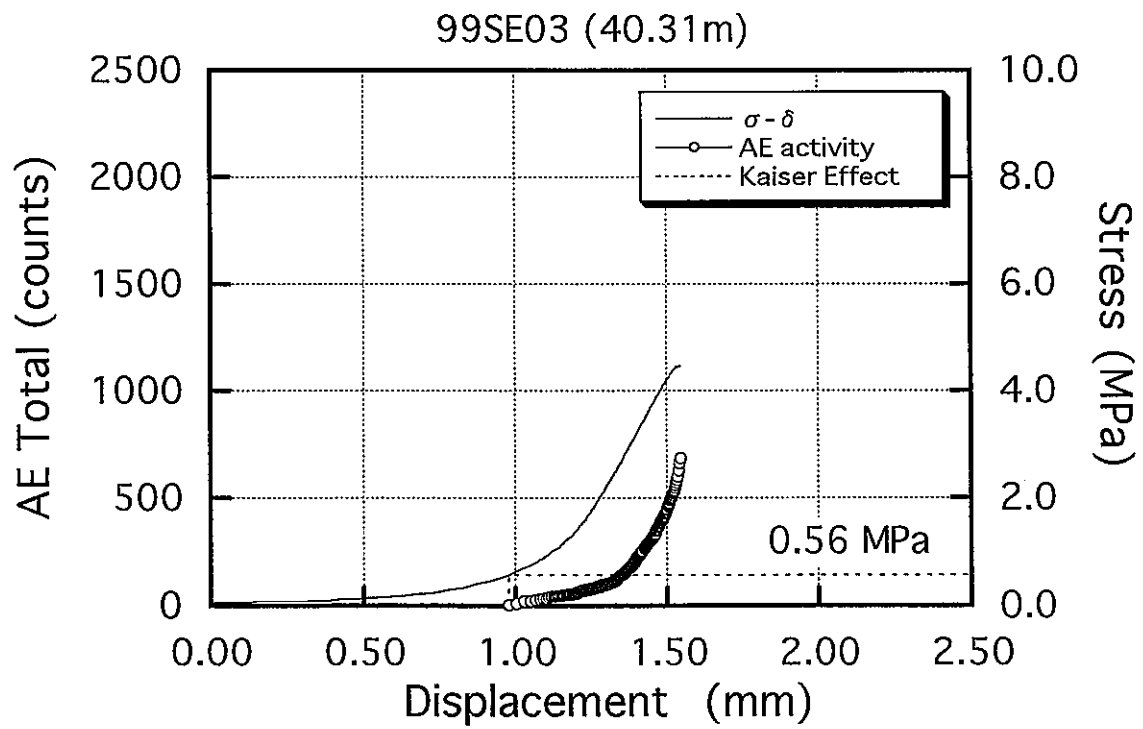
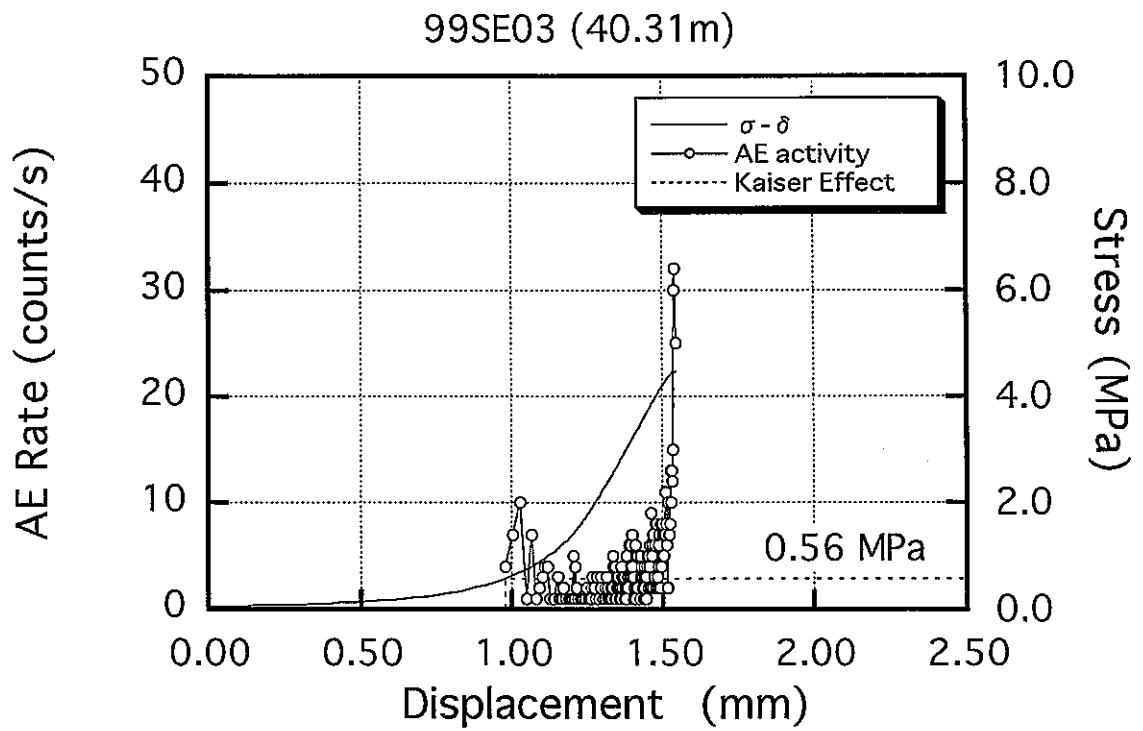
1.初期応力測定結果

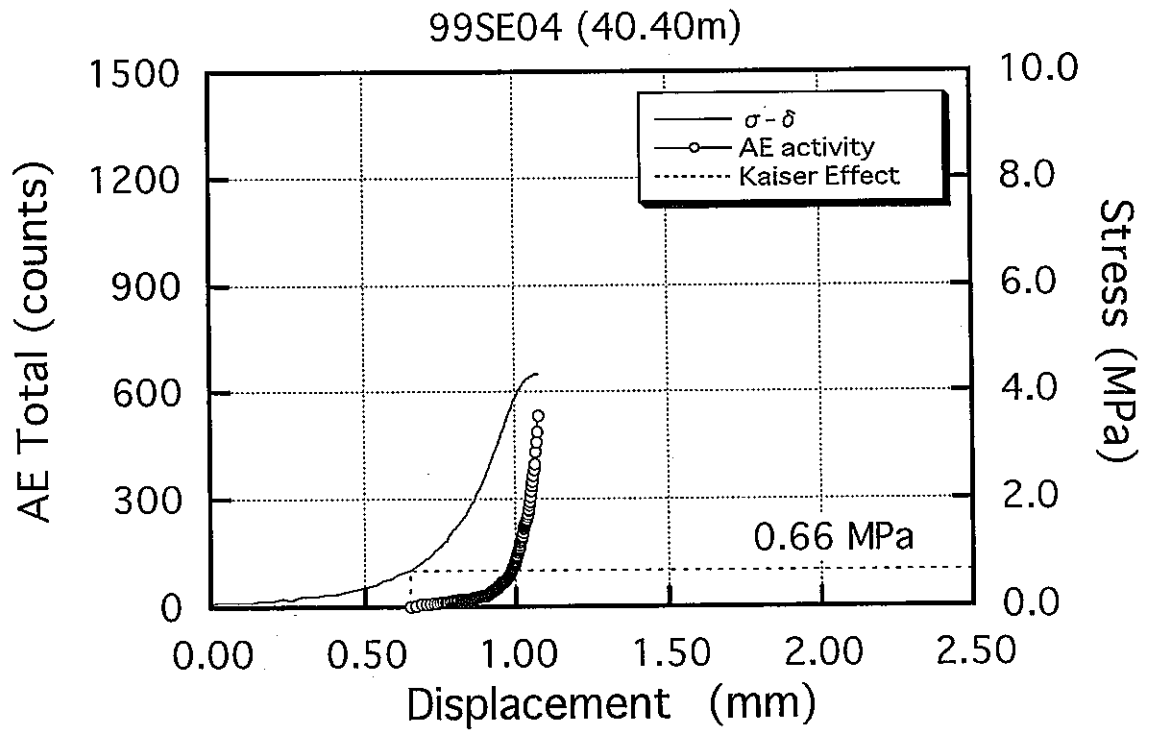
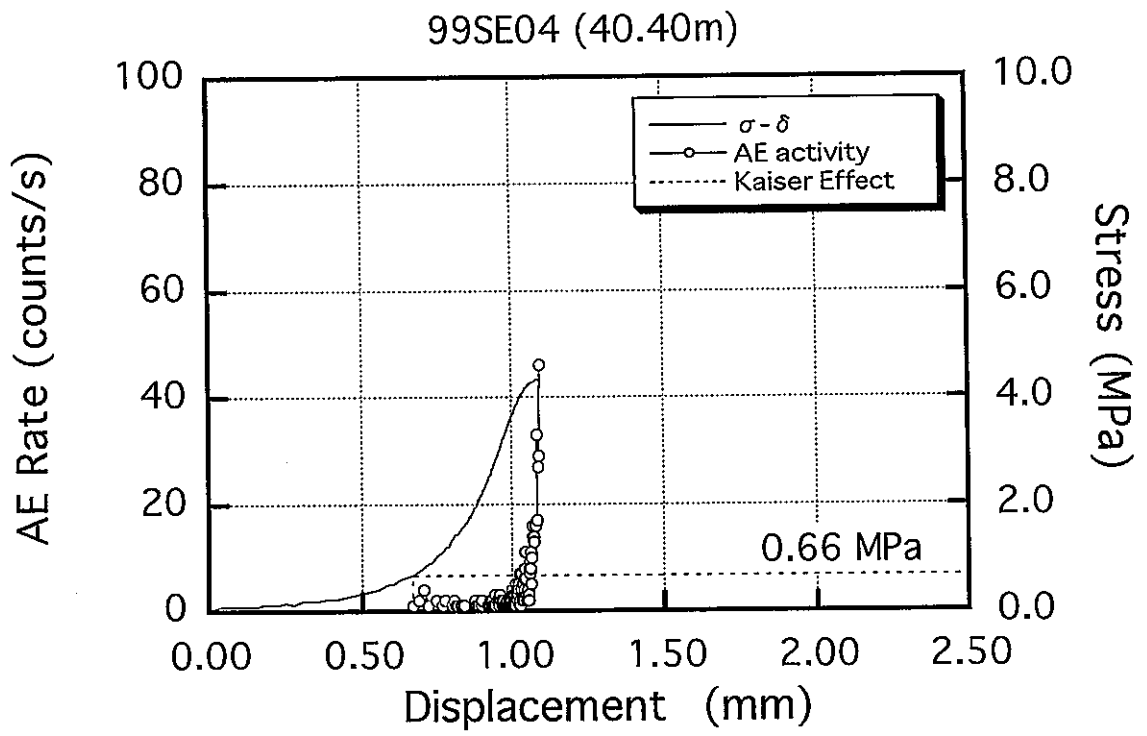
応力－ひずみ－AE発生数の関係

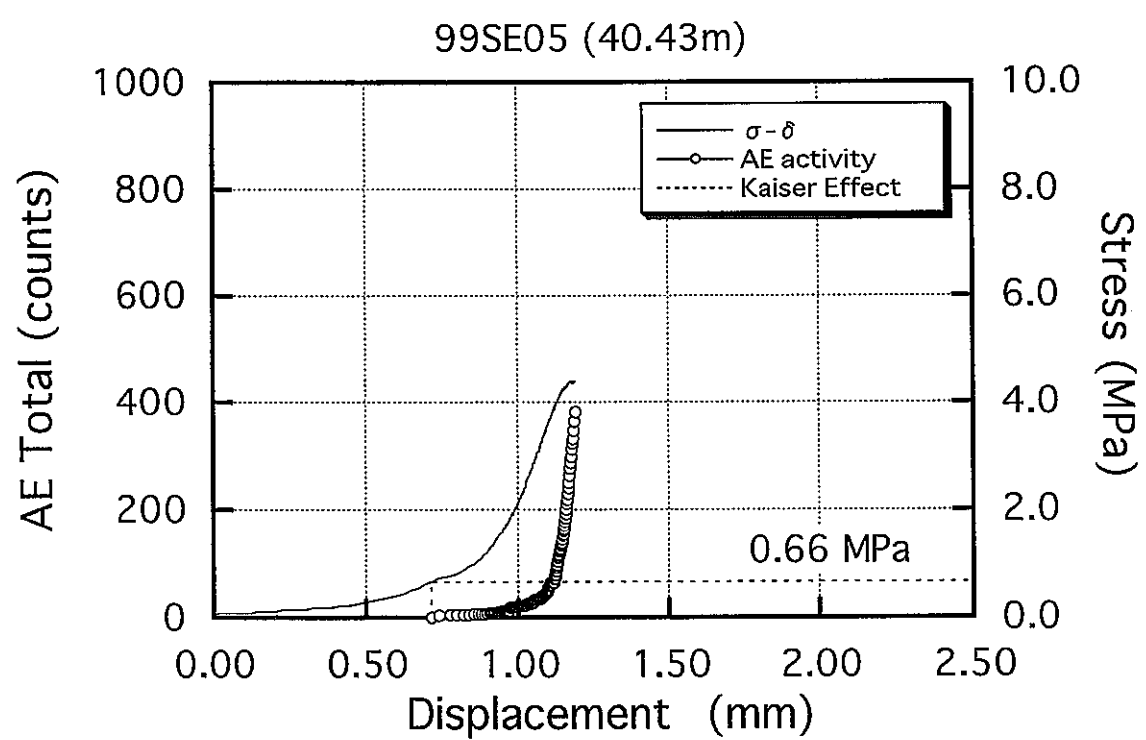
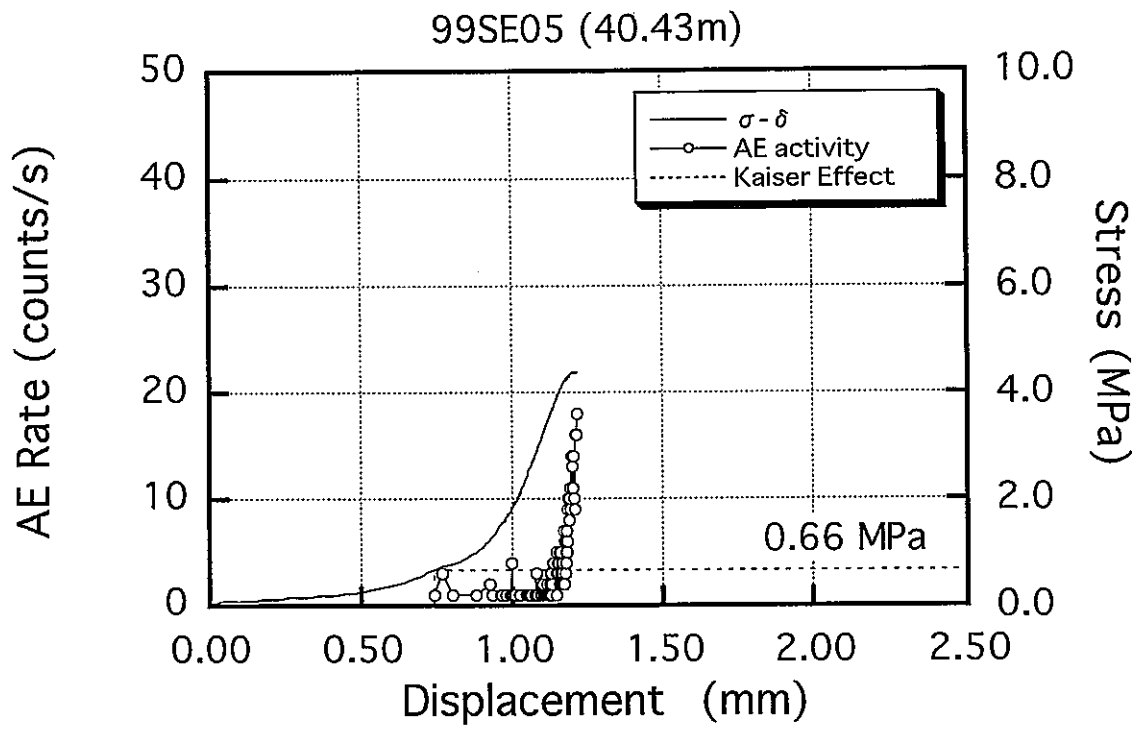
応力－ひずみ－AE累積数の関係

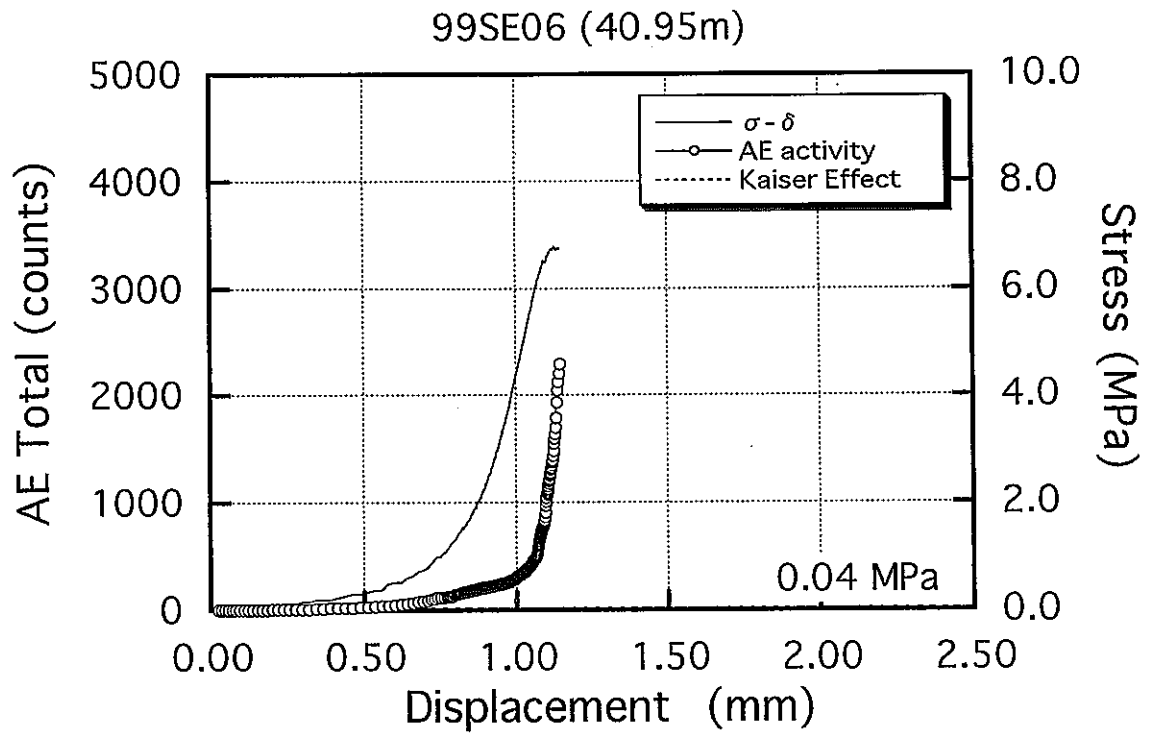
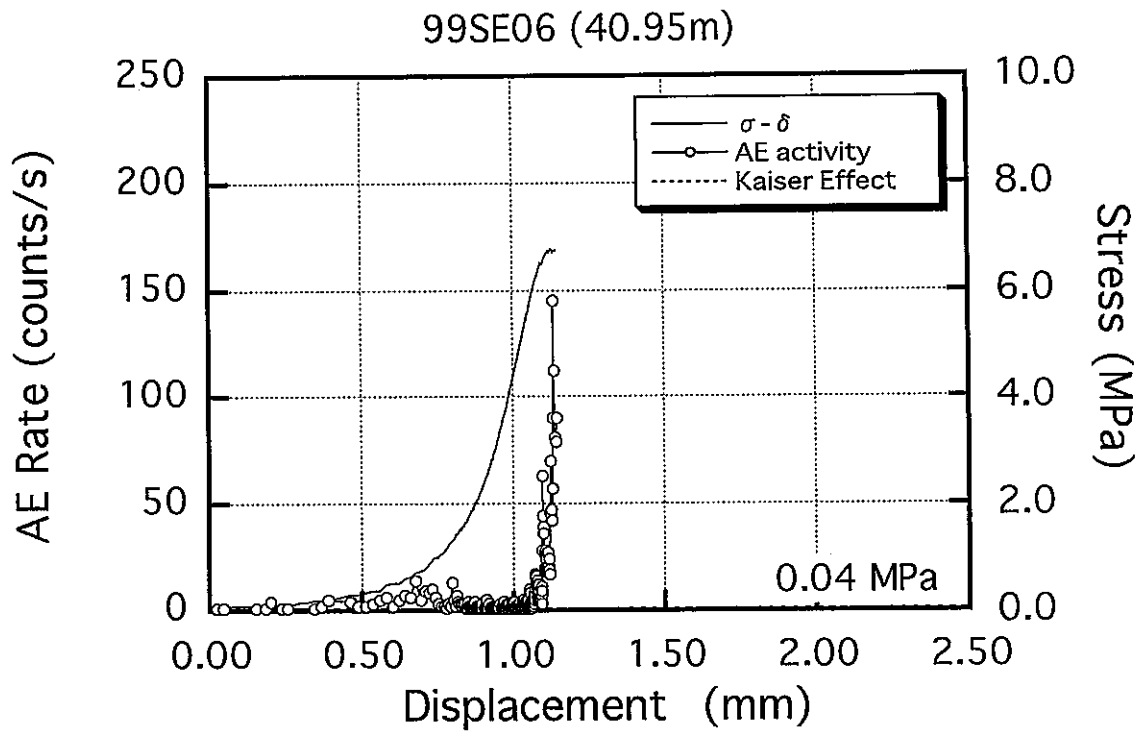


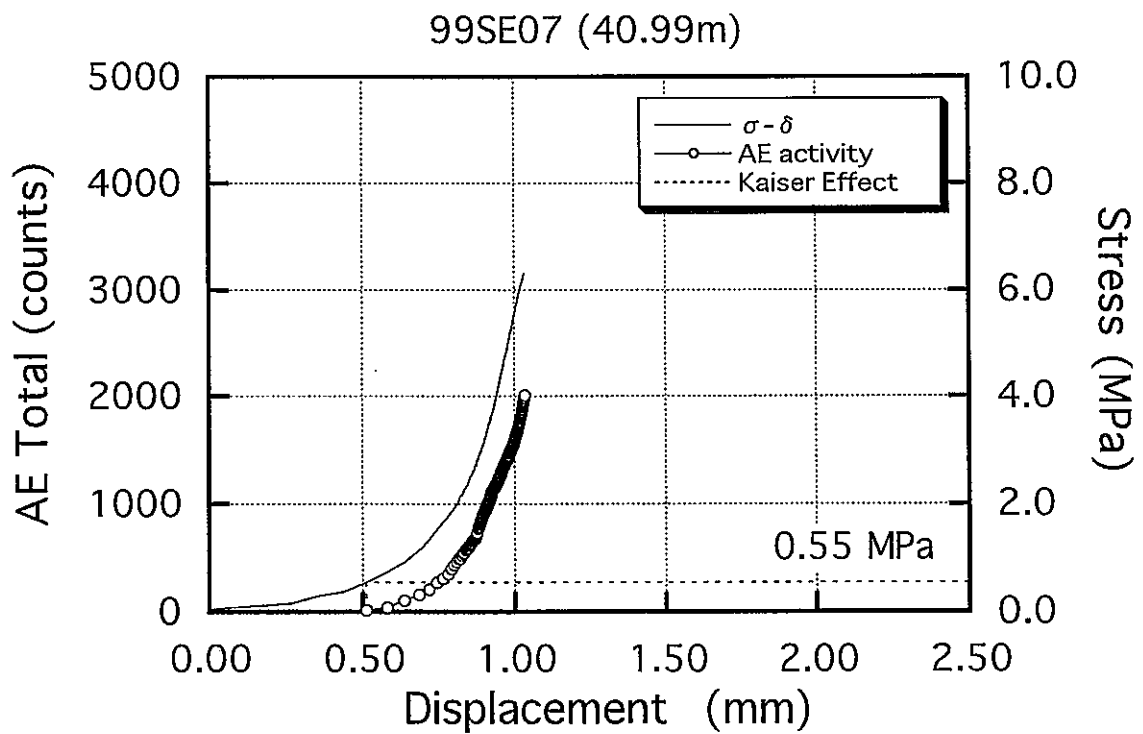
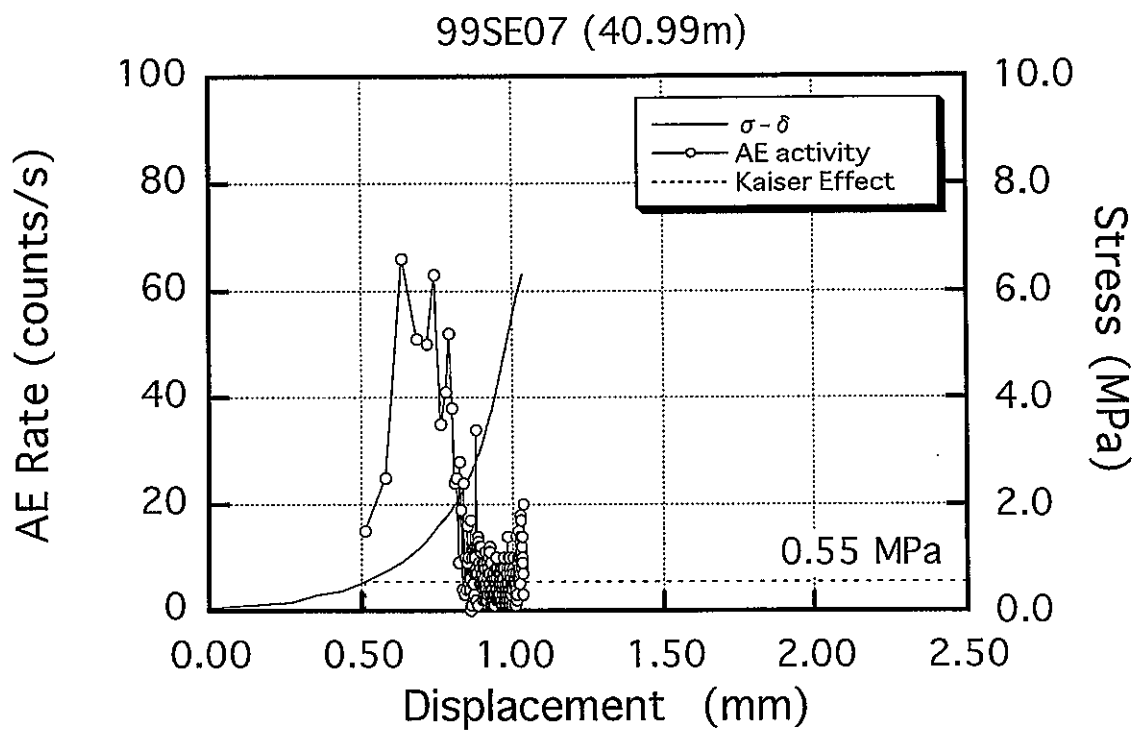


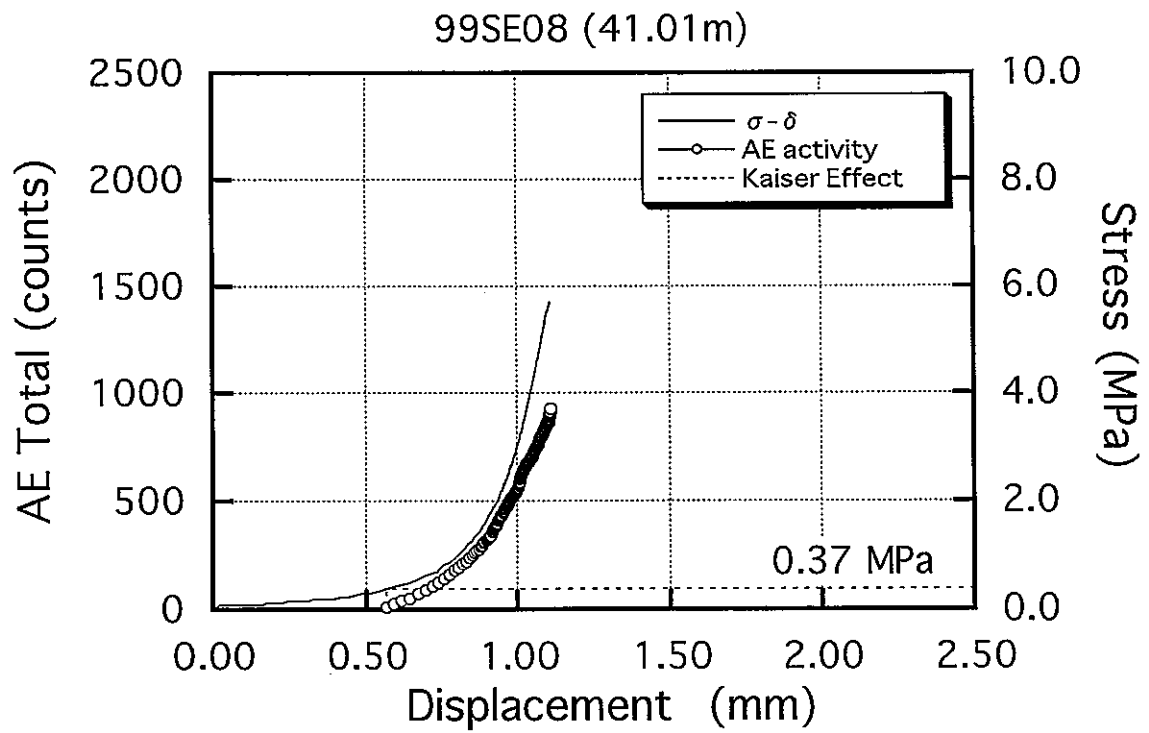
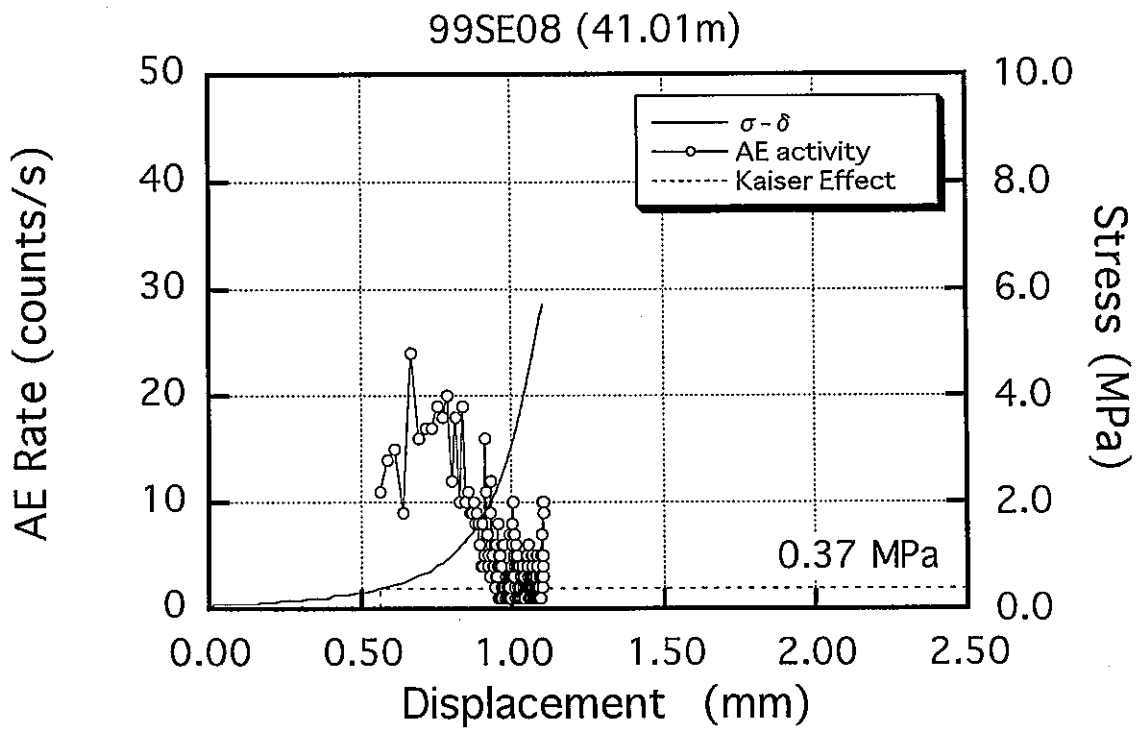


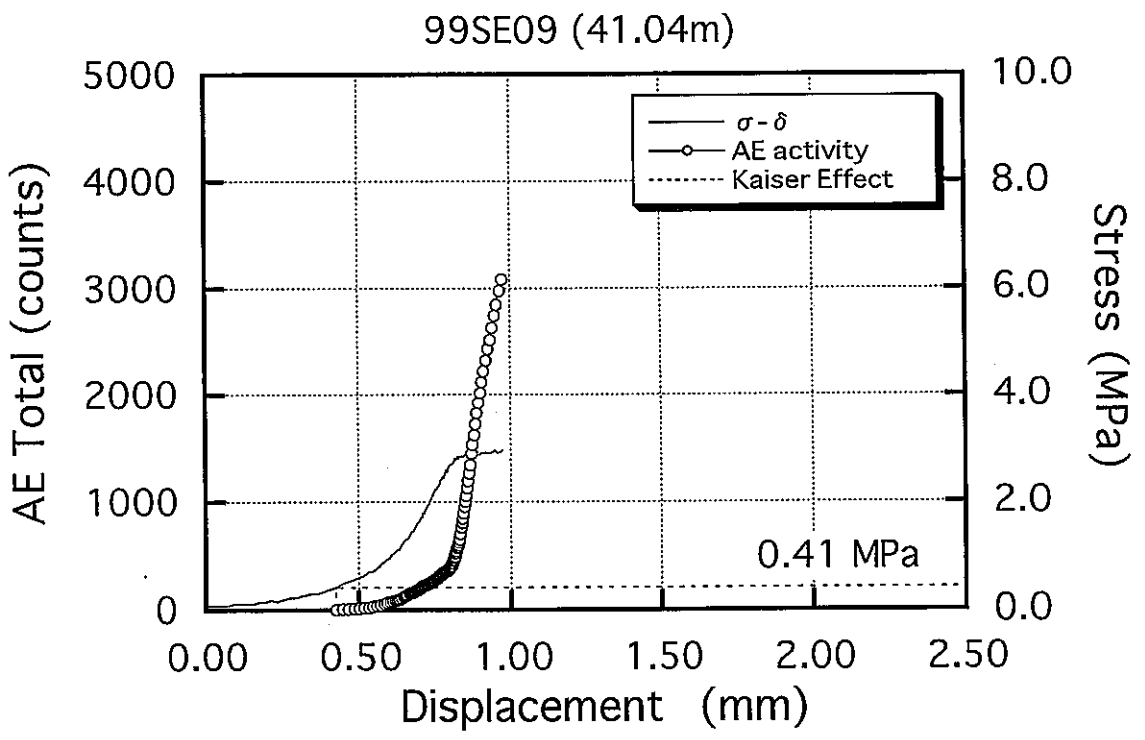
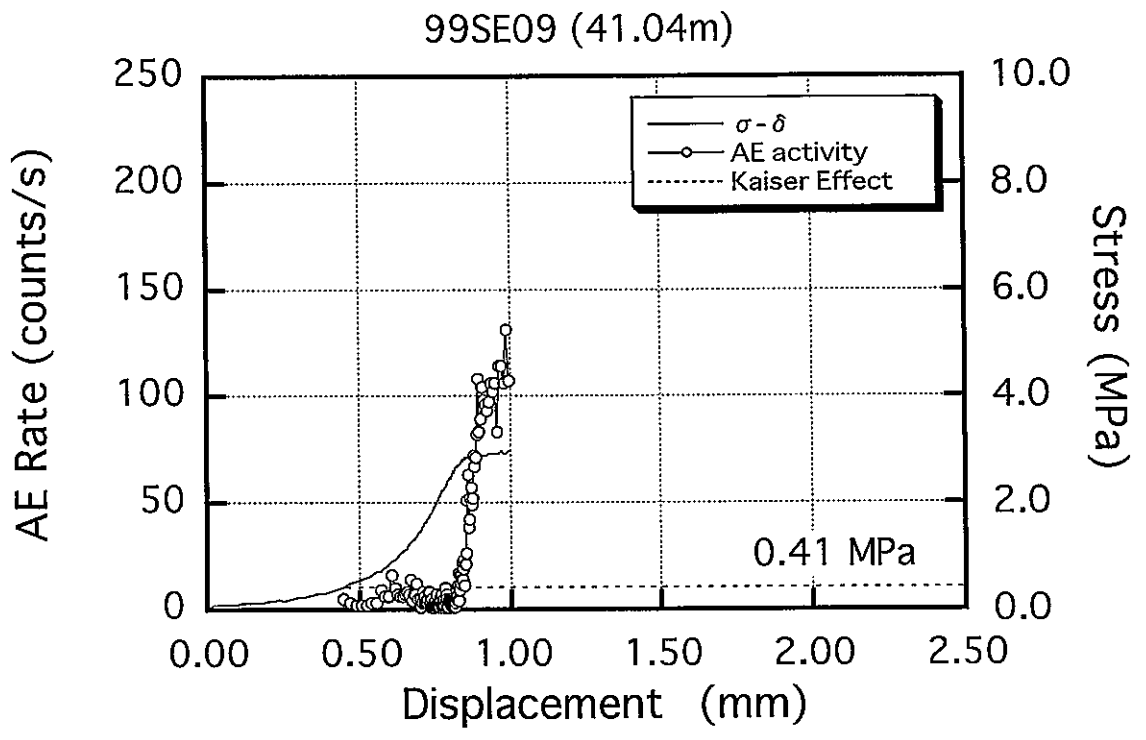


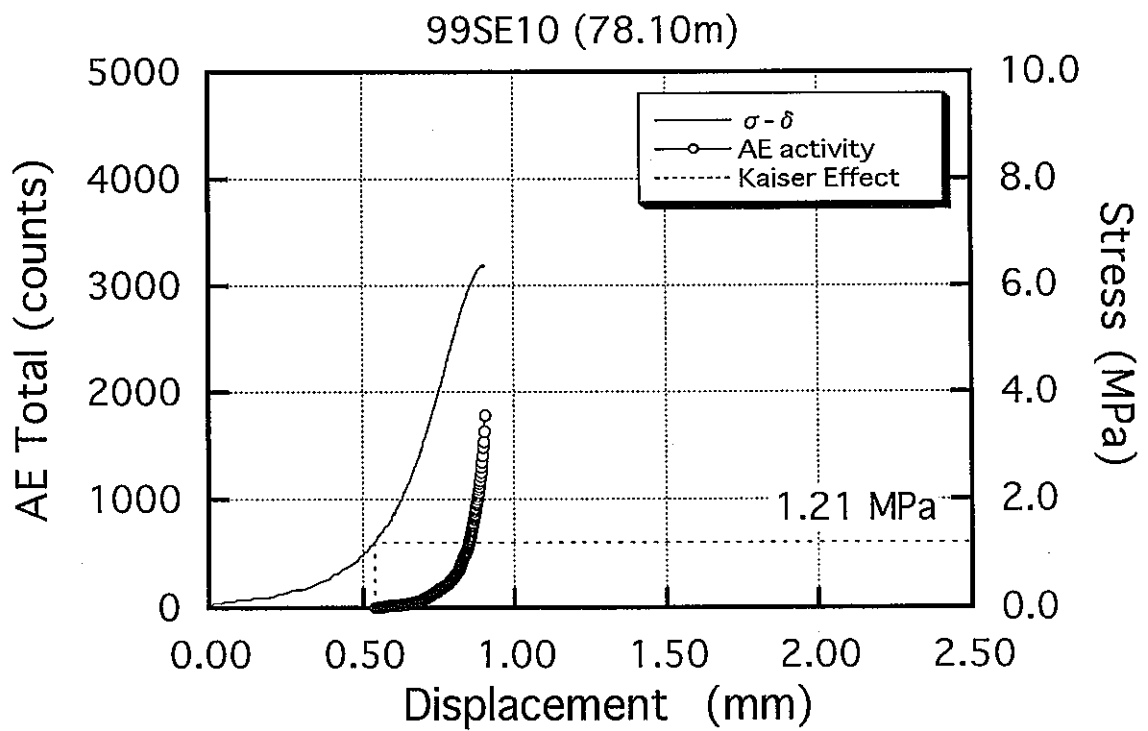
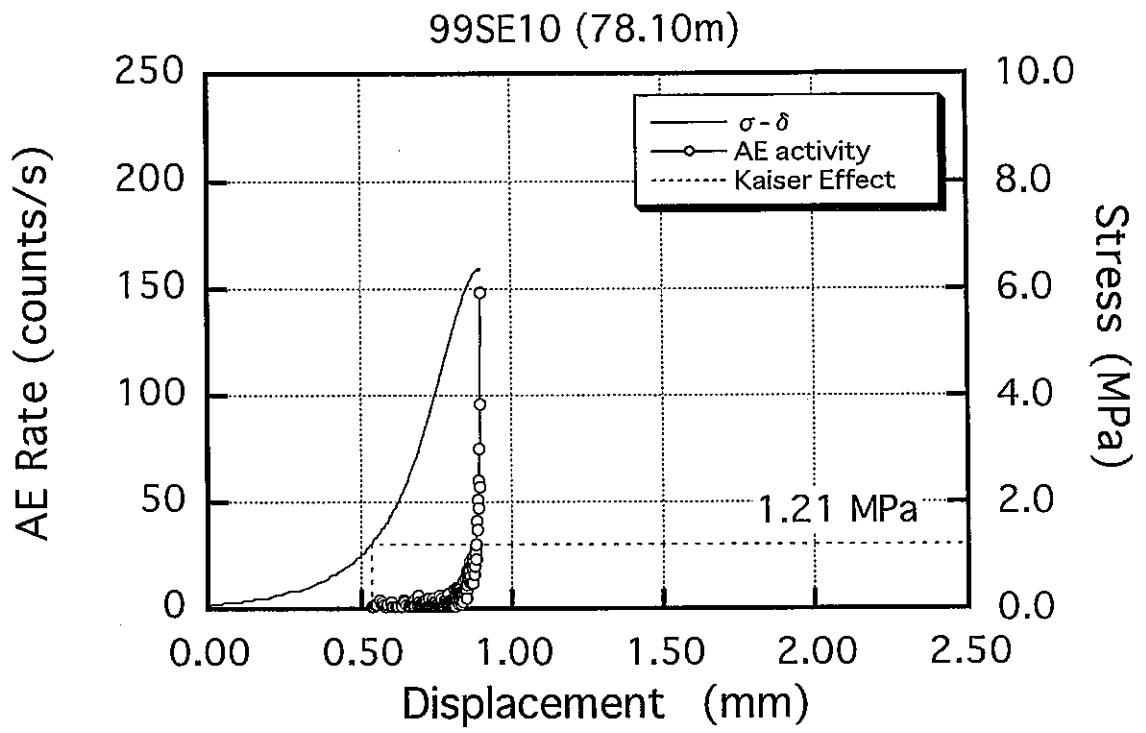


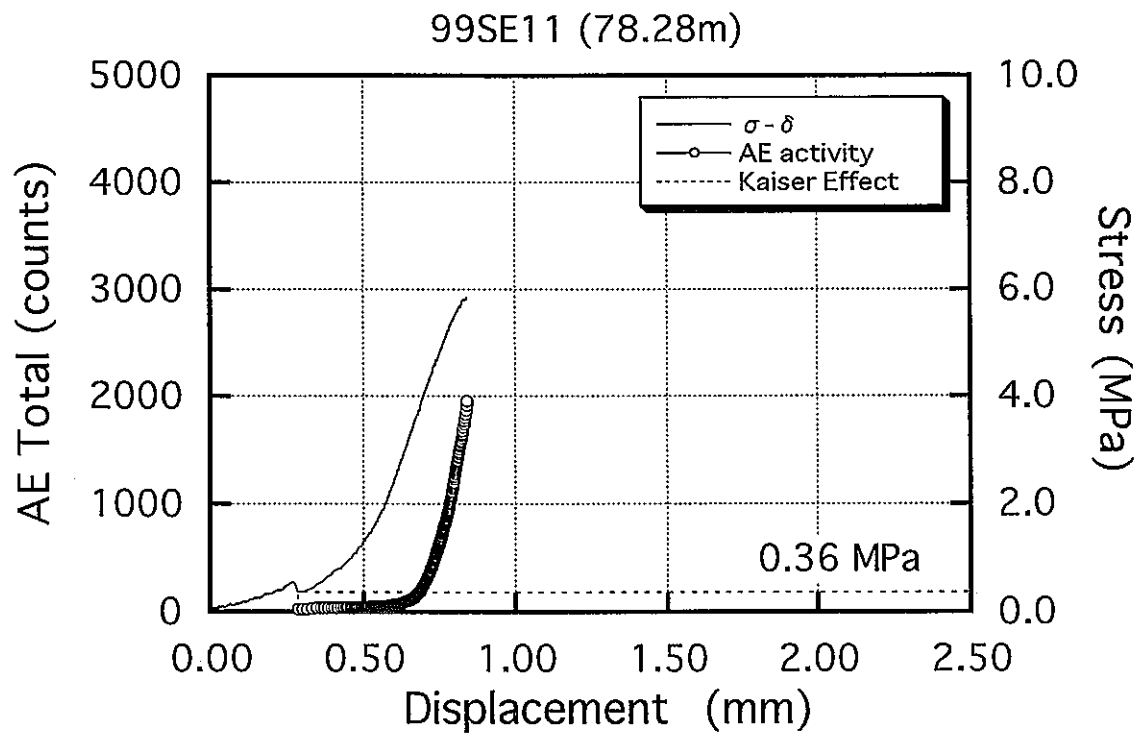
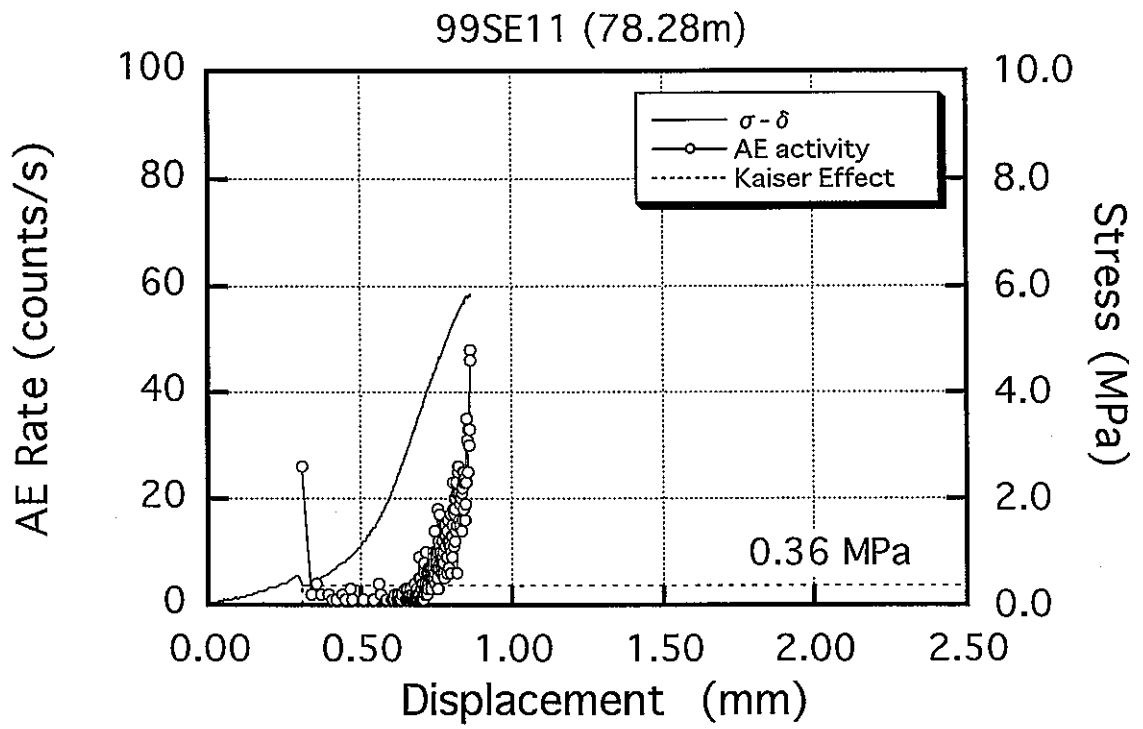


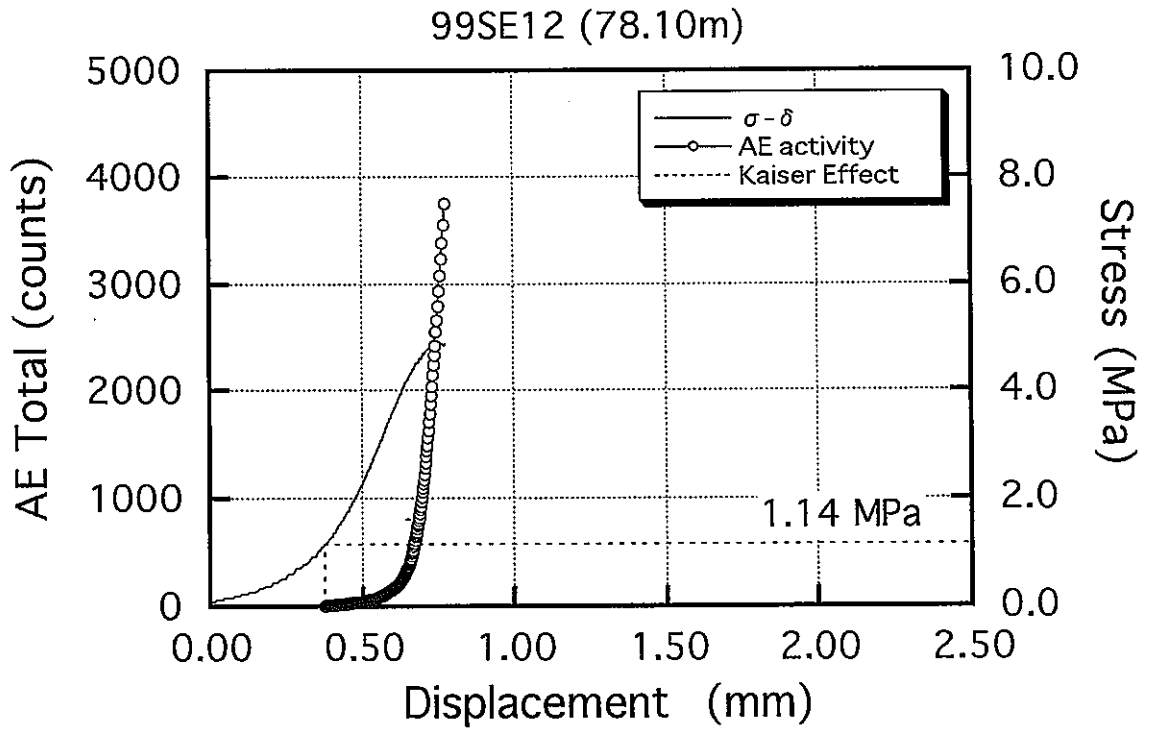
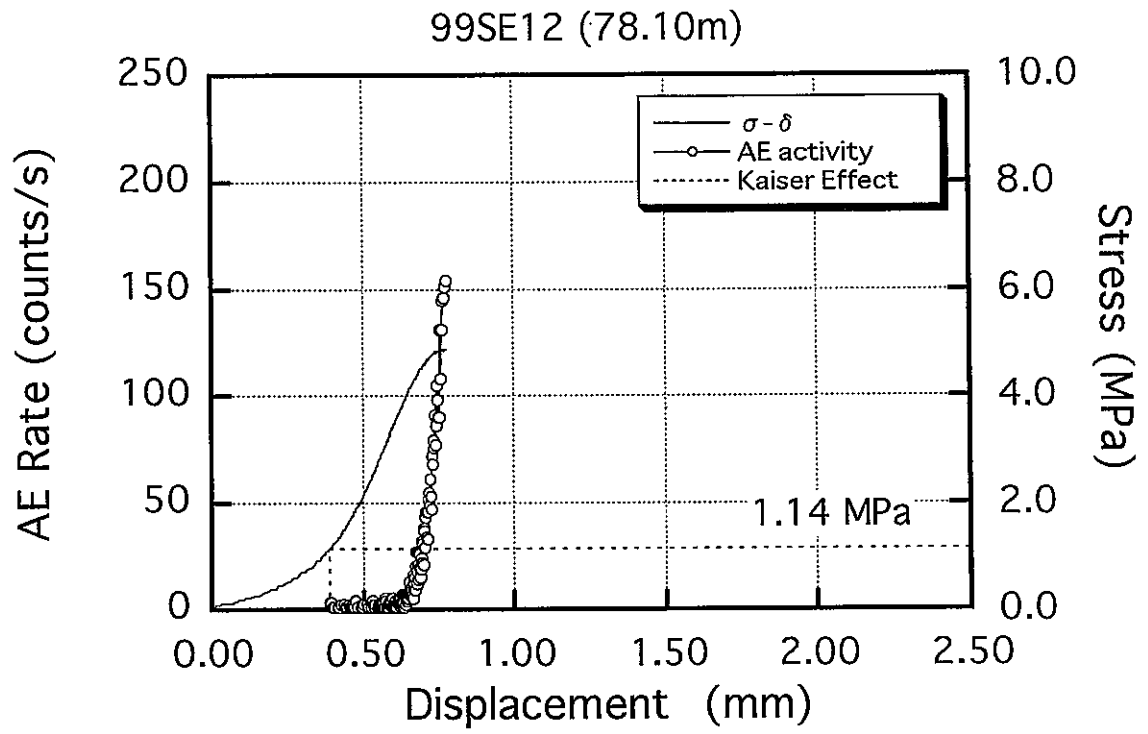


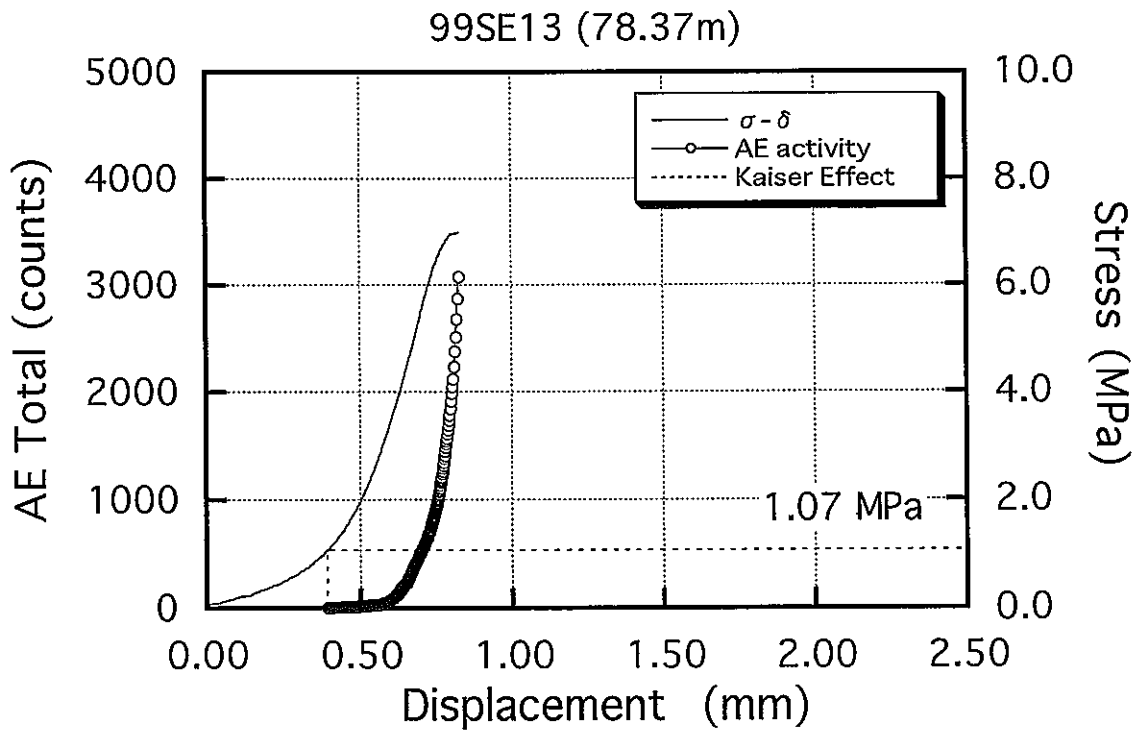
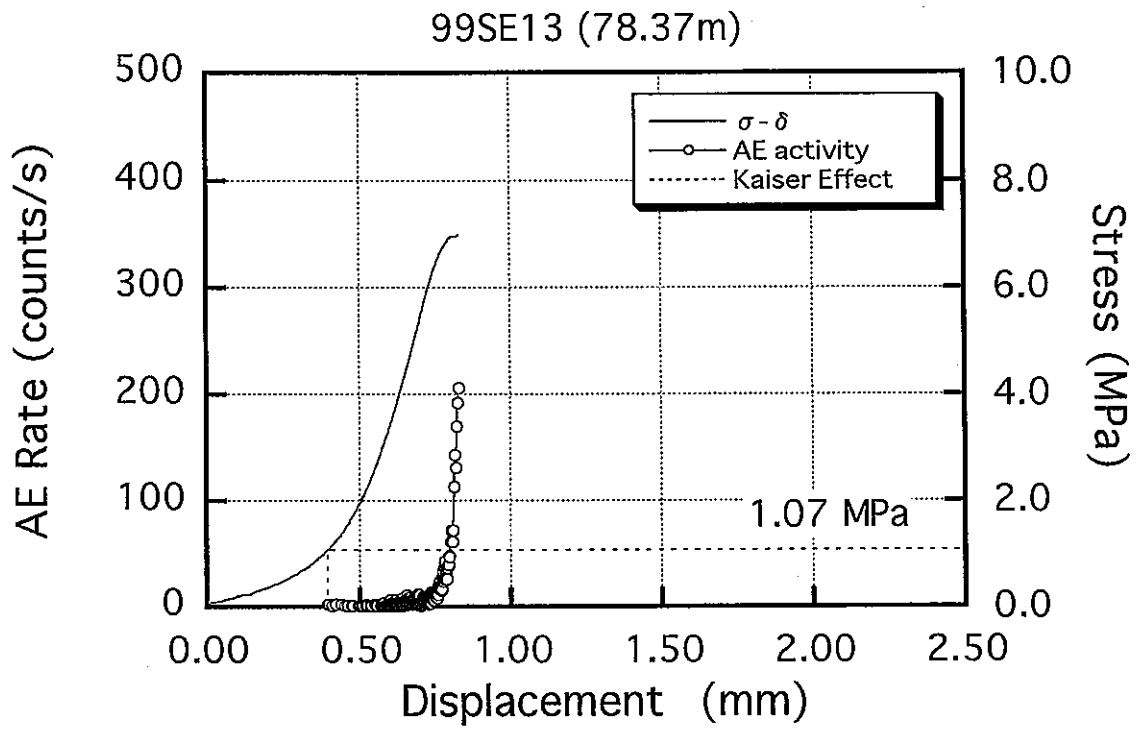


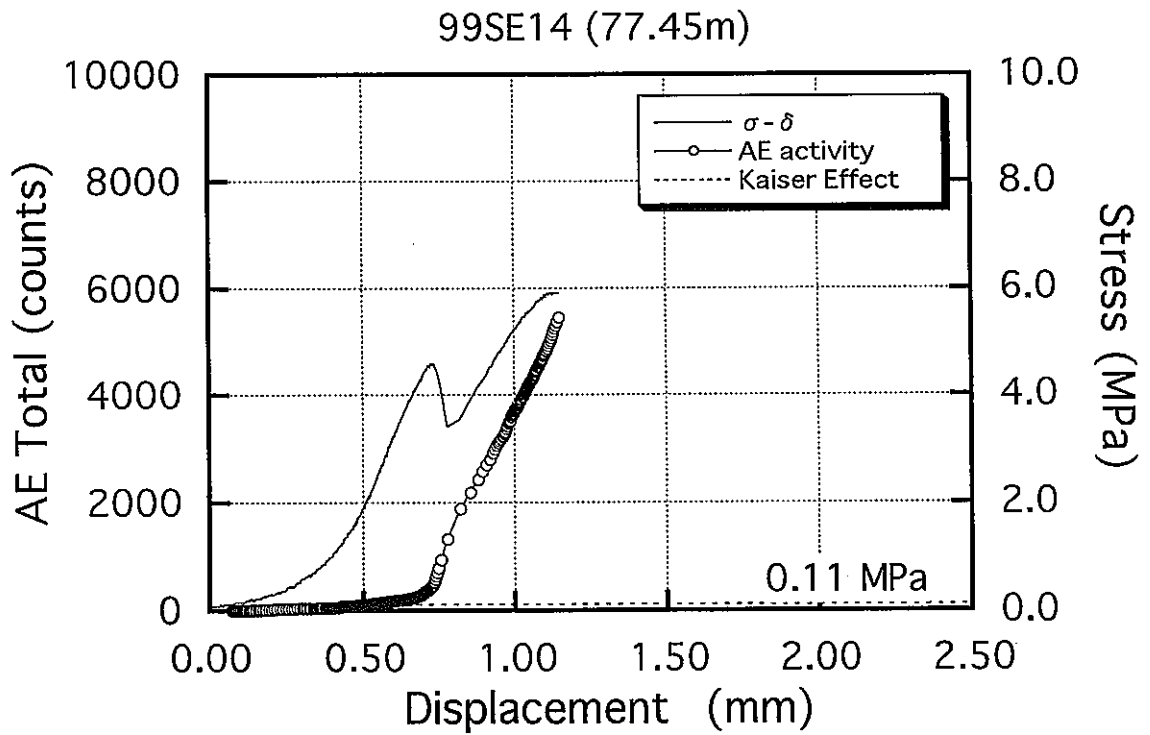
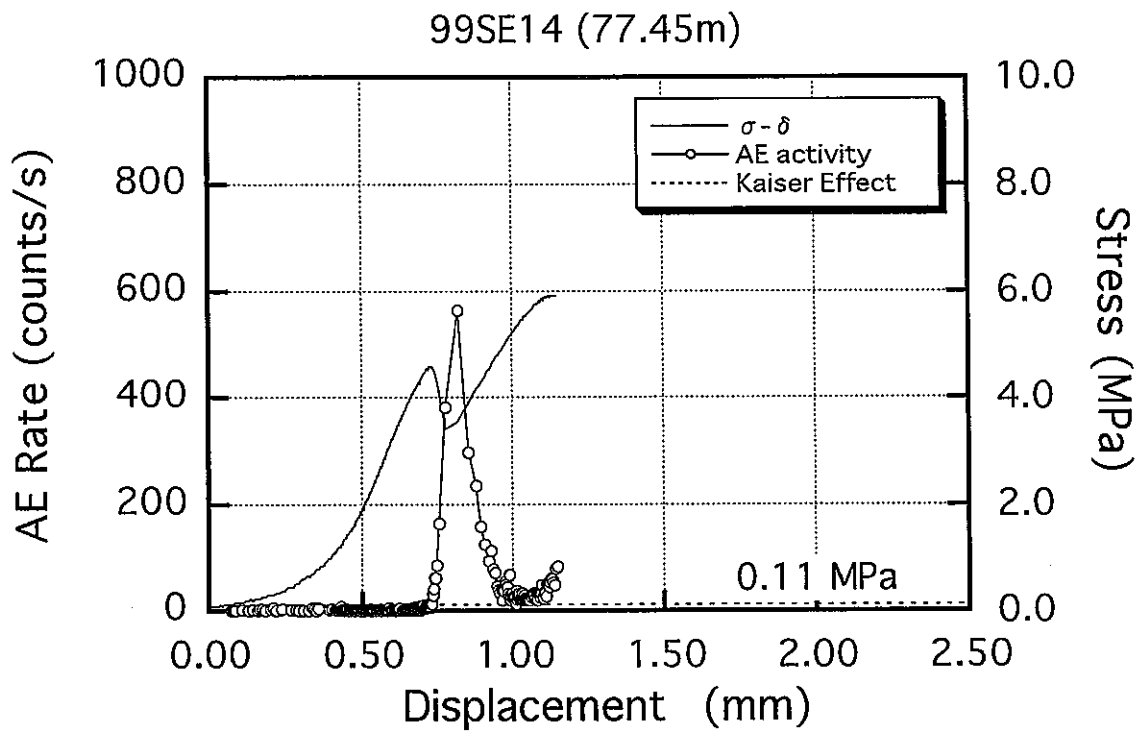


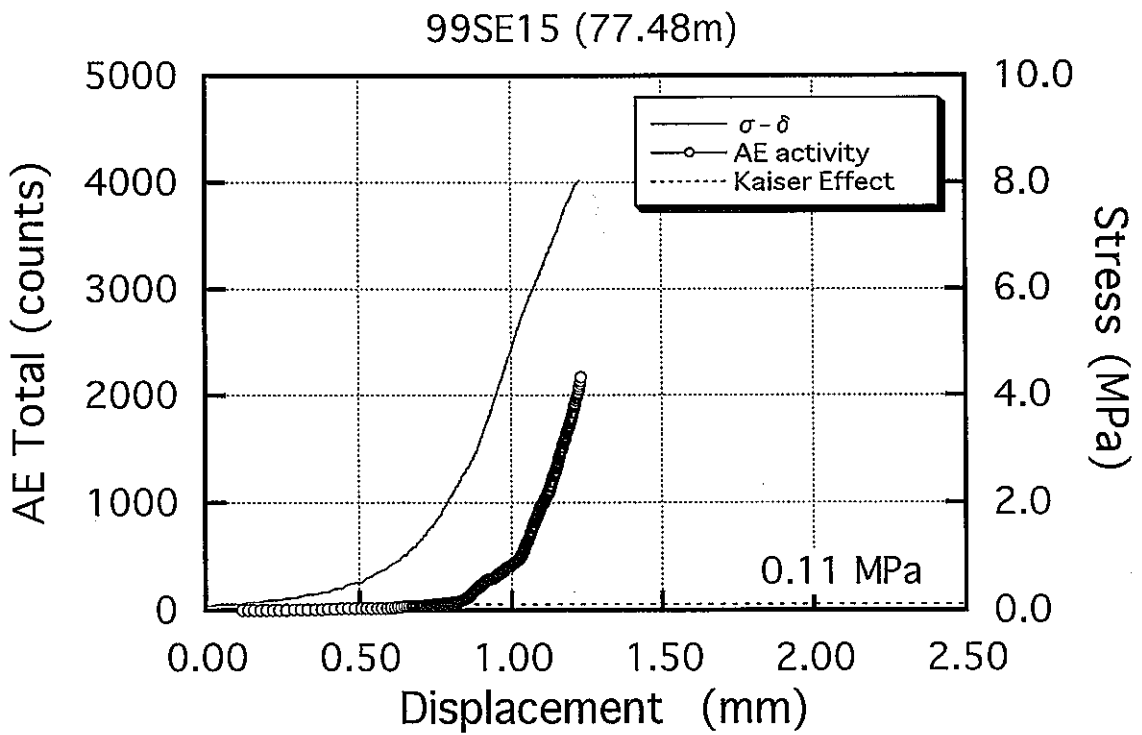
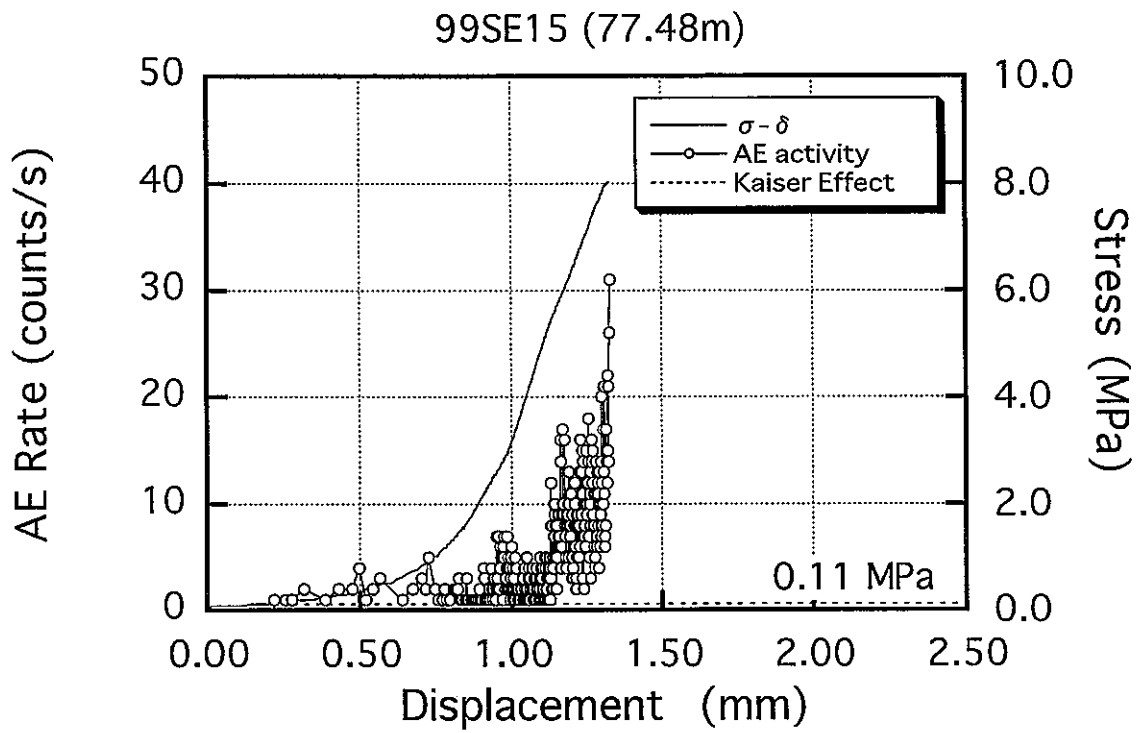


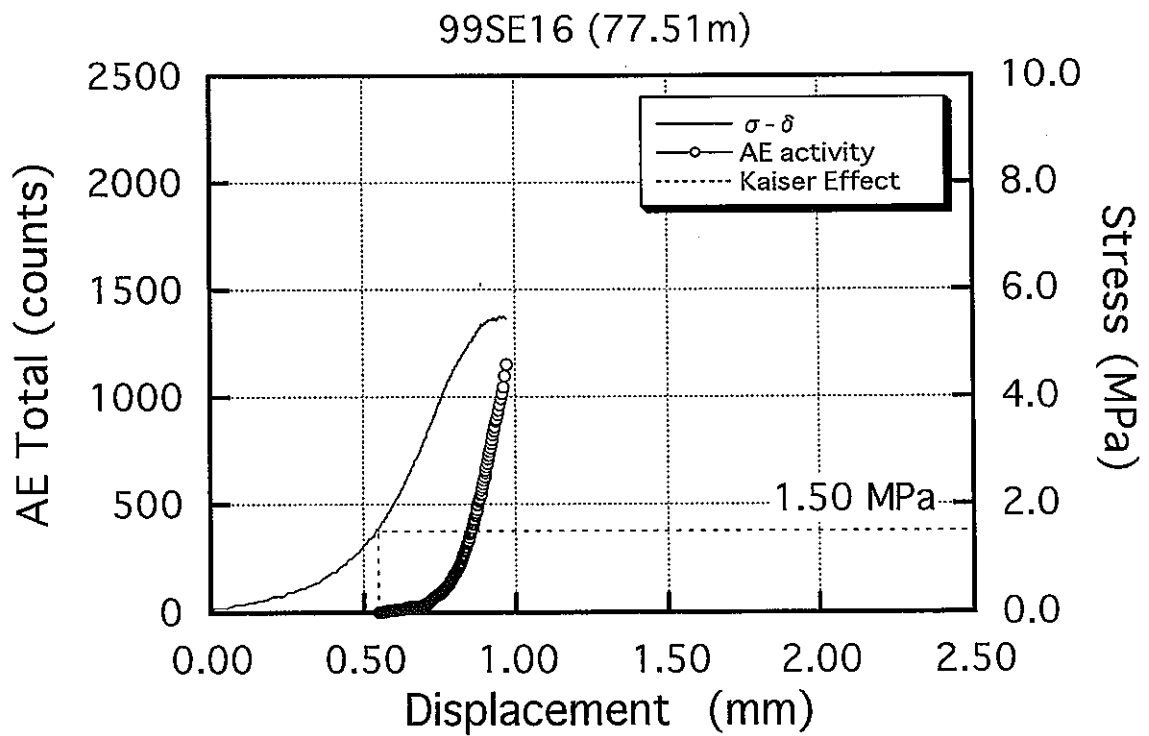
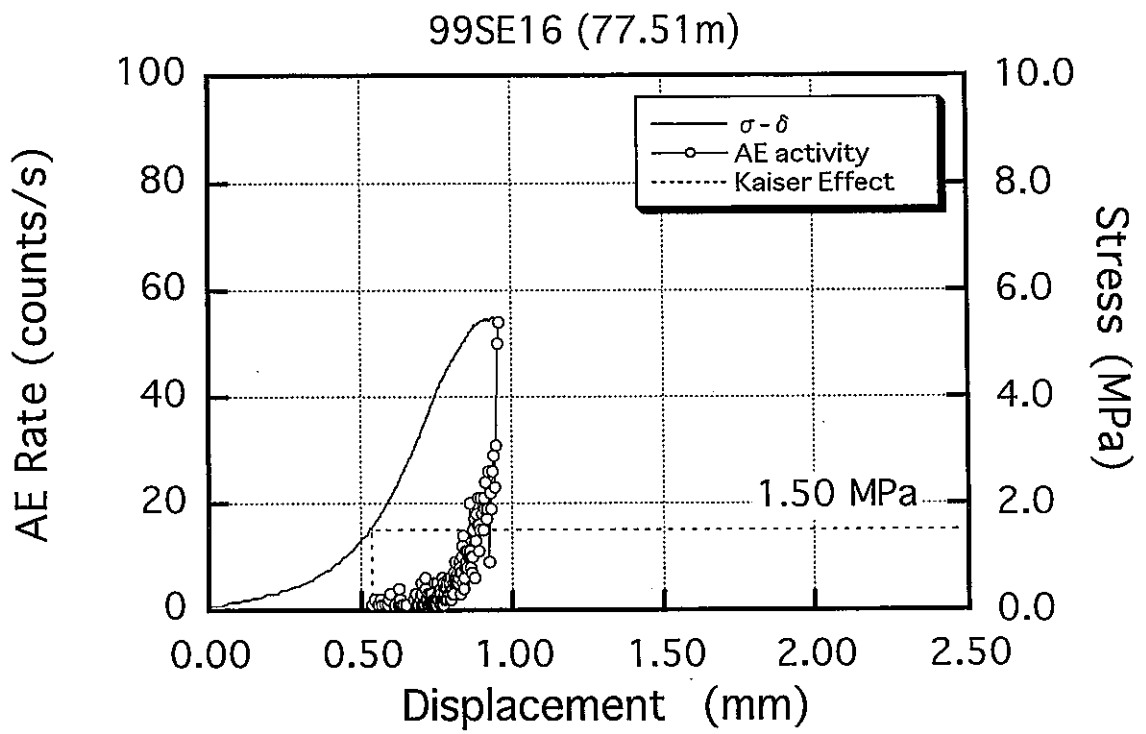


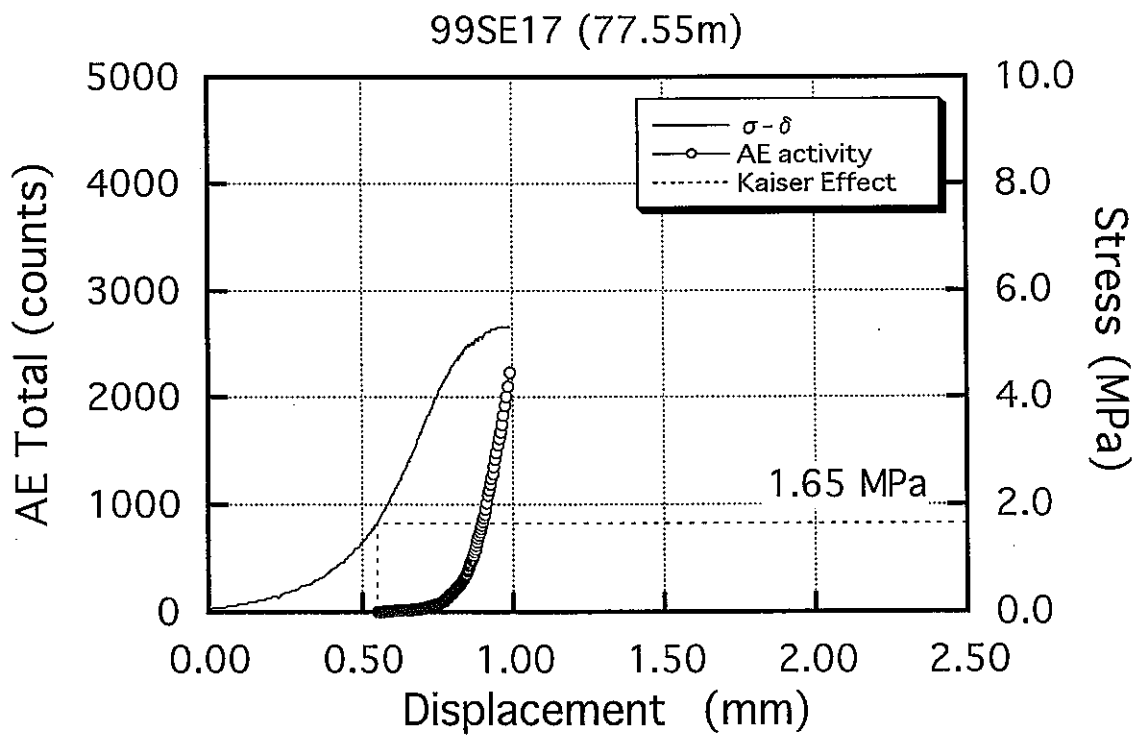
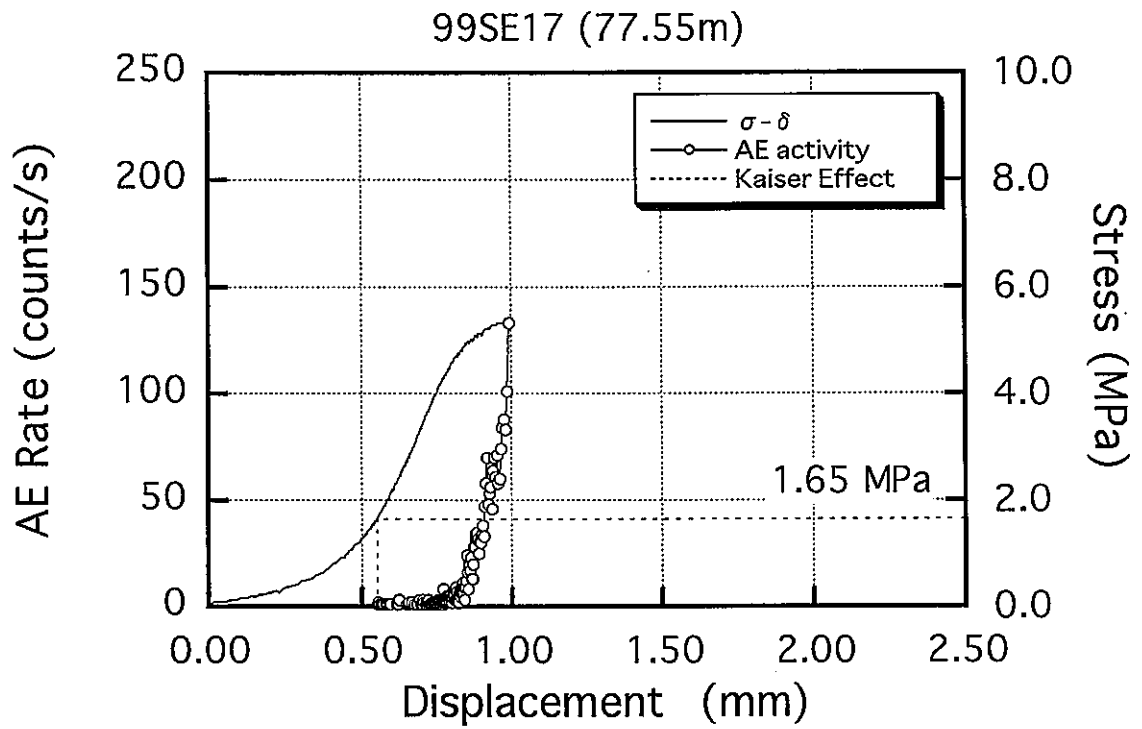


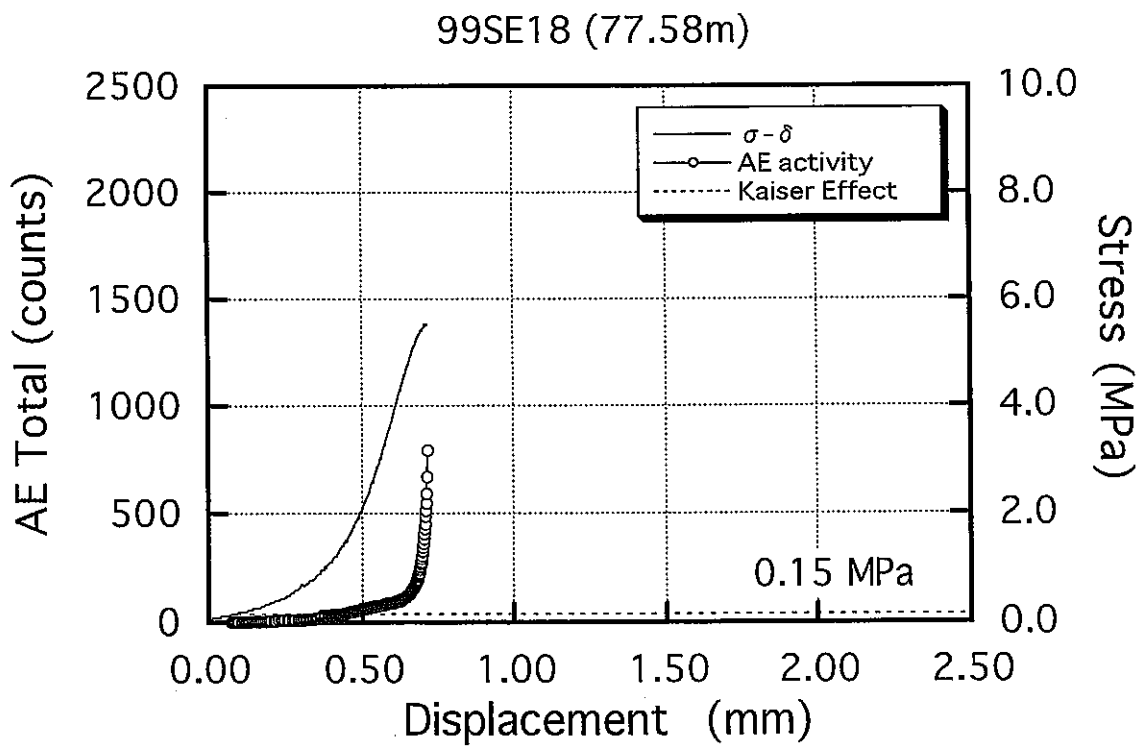
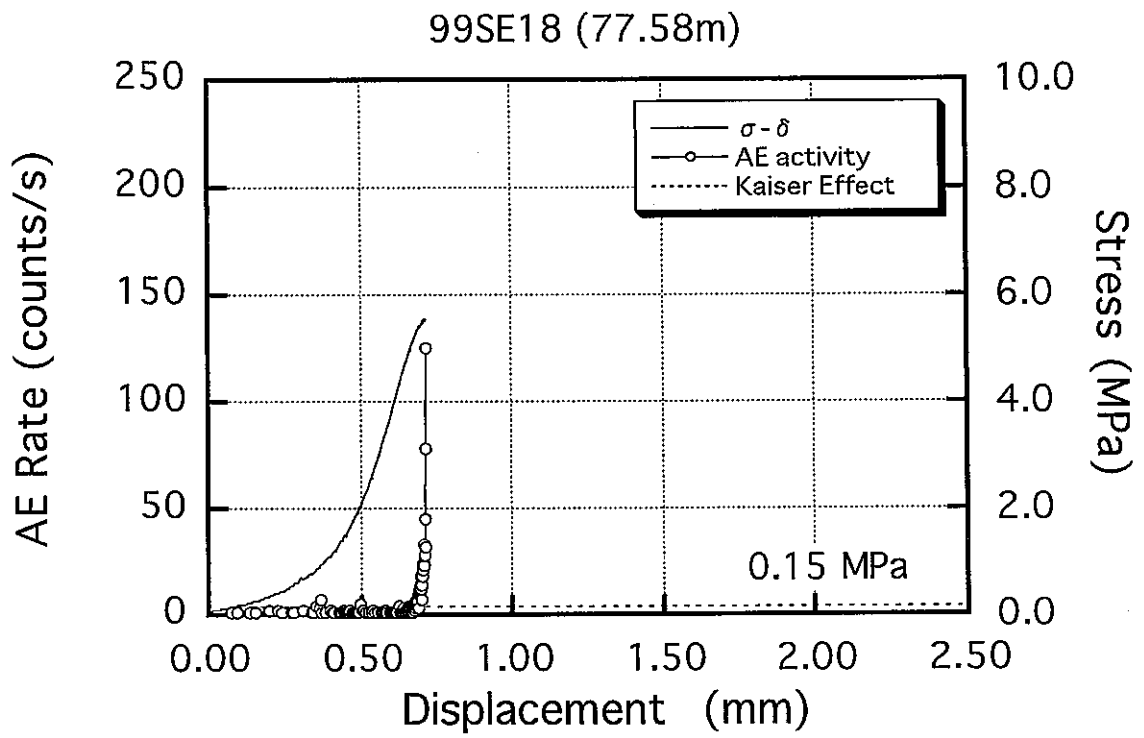


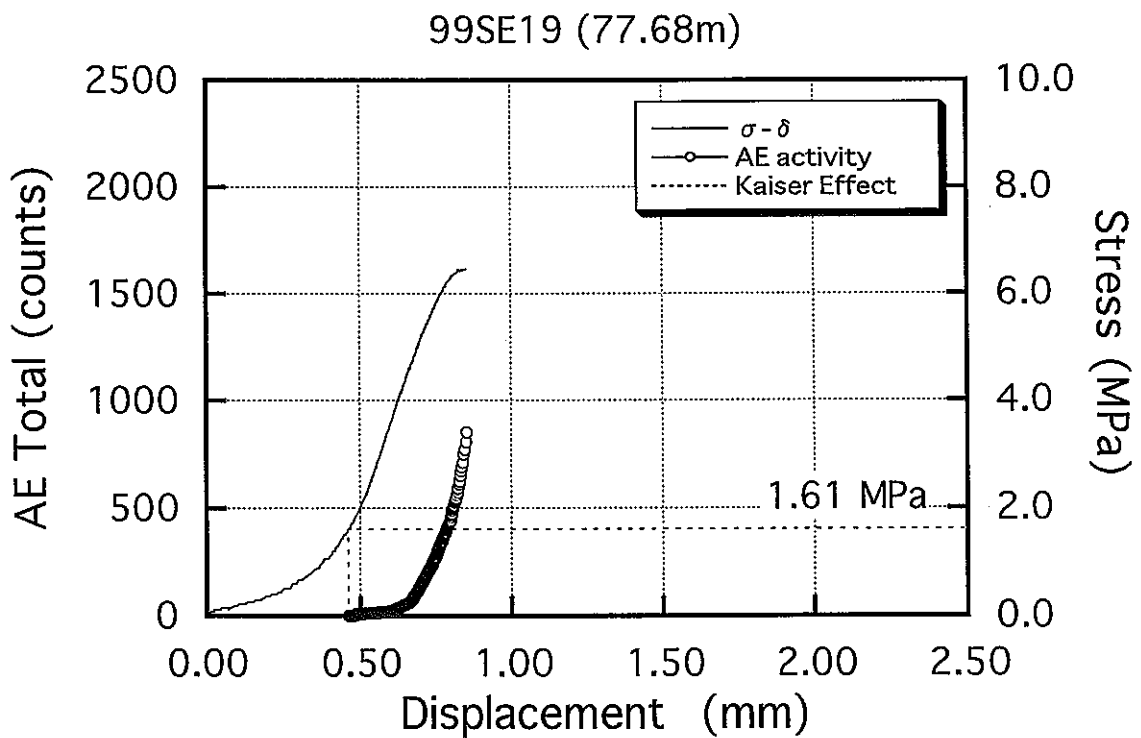
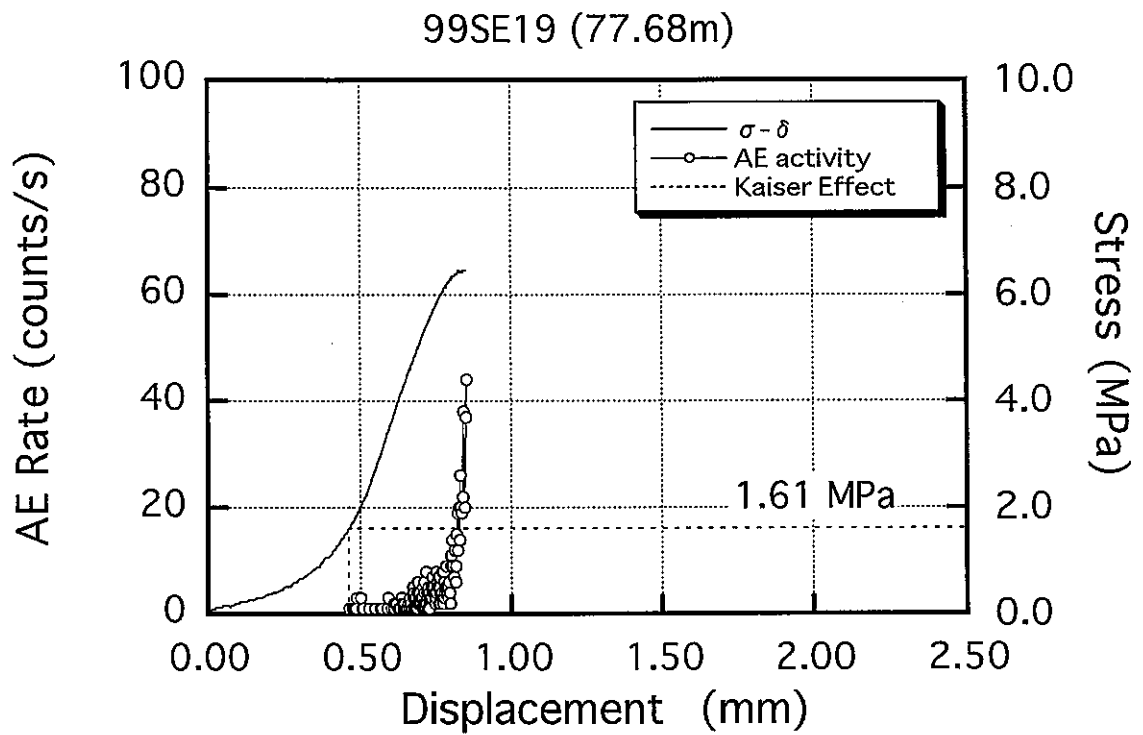


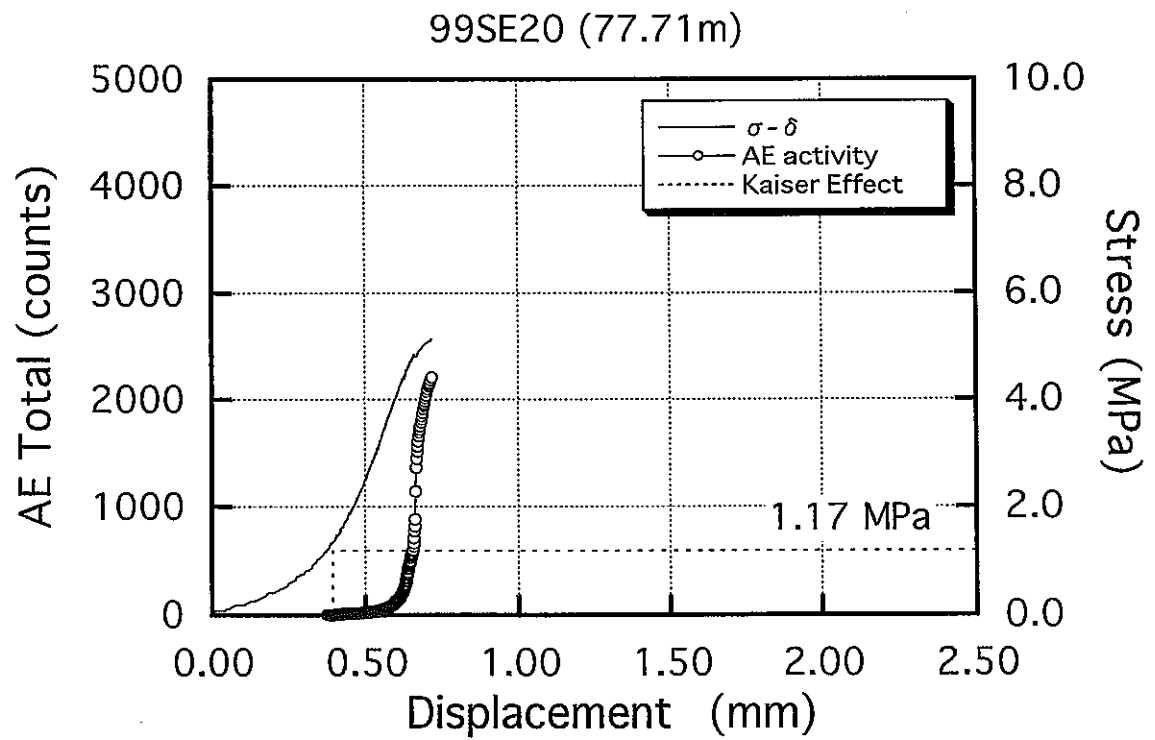
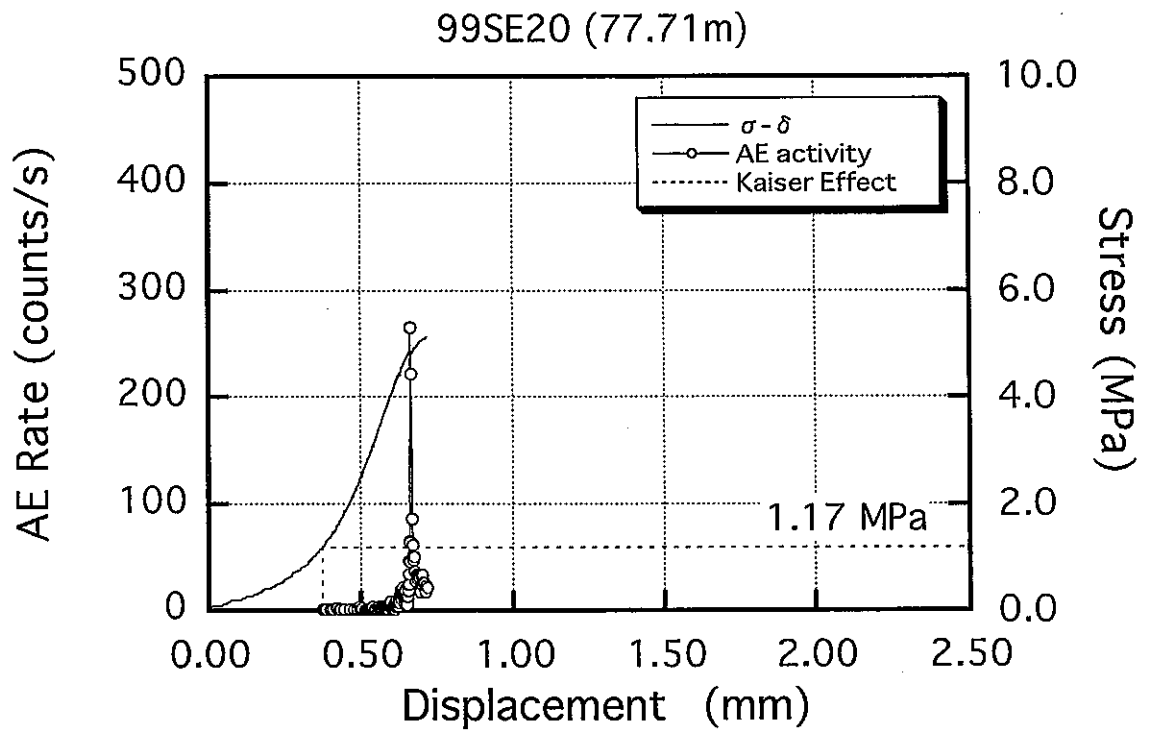


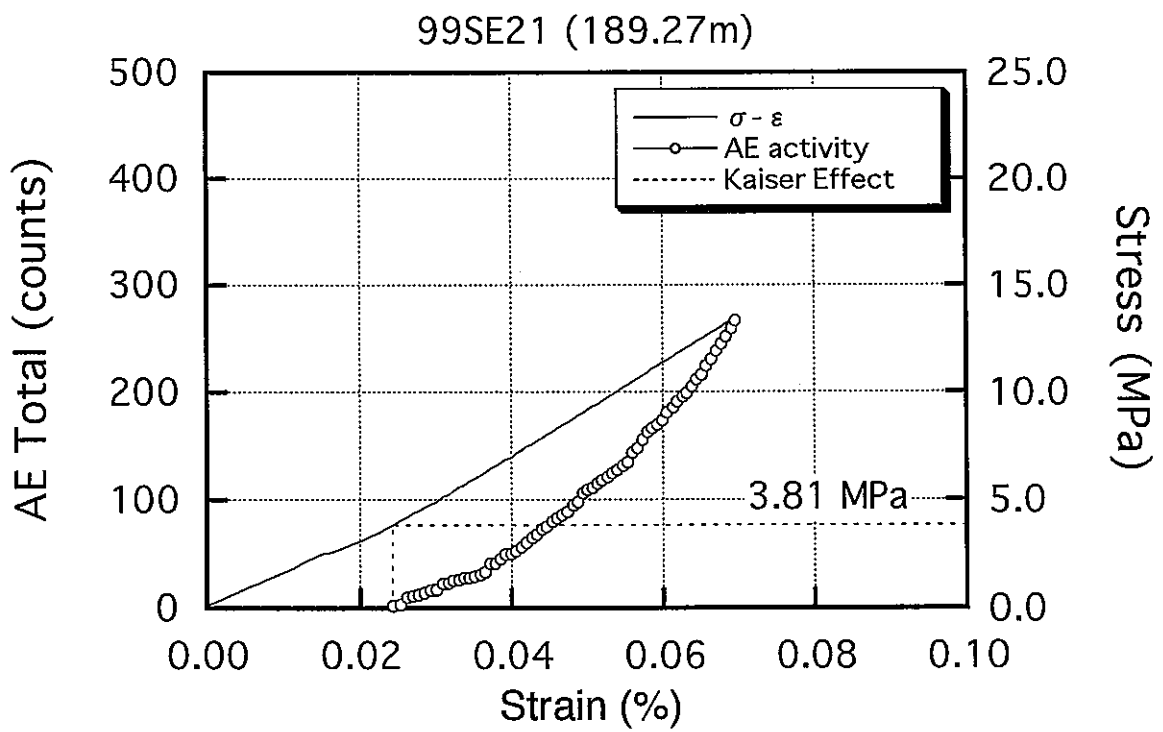
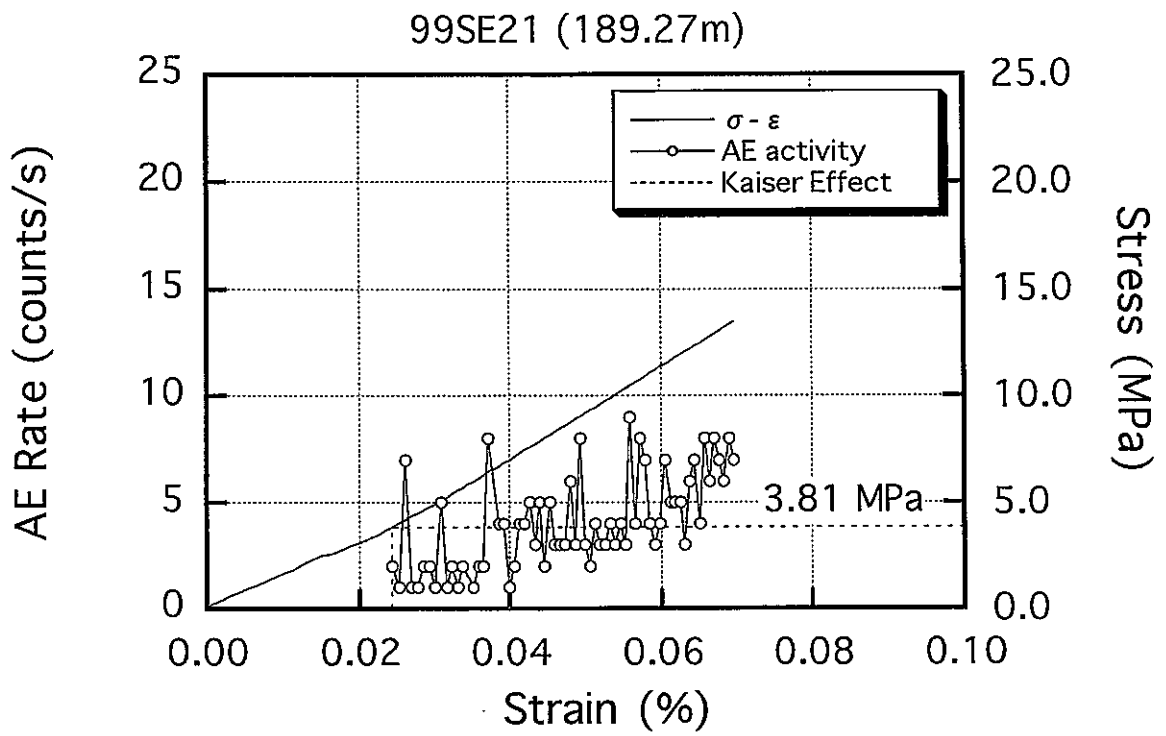


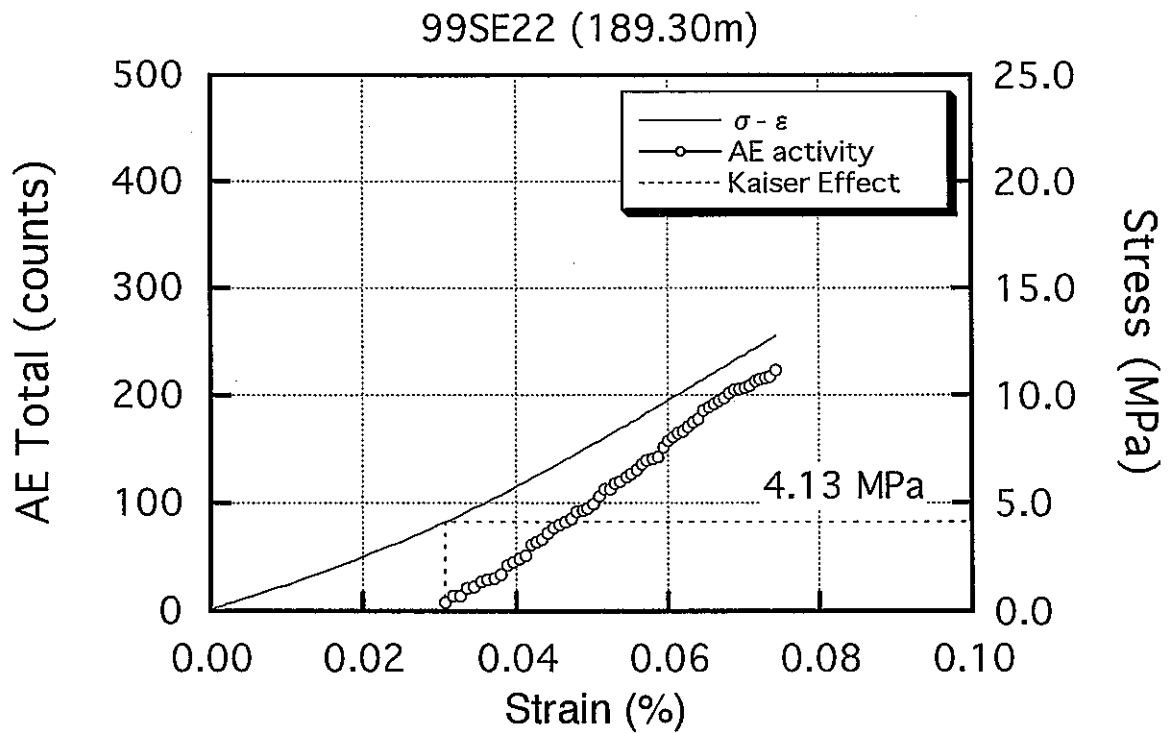
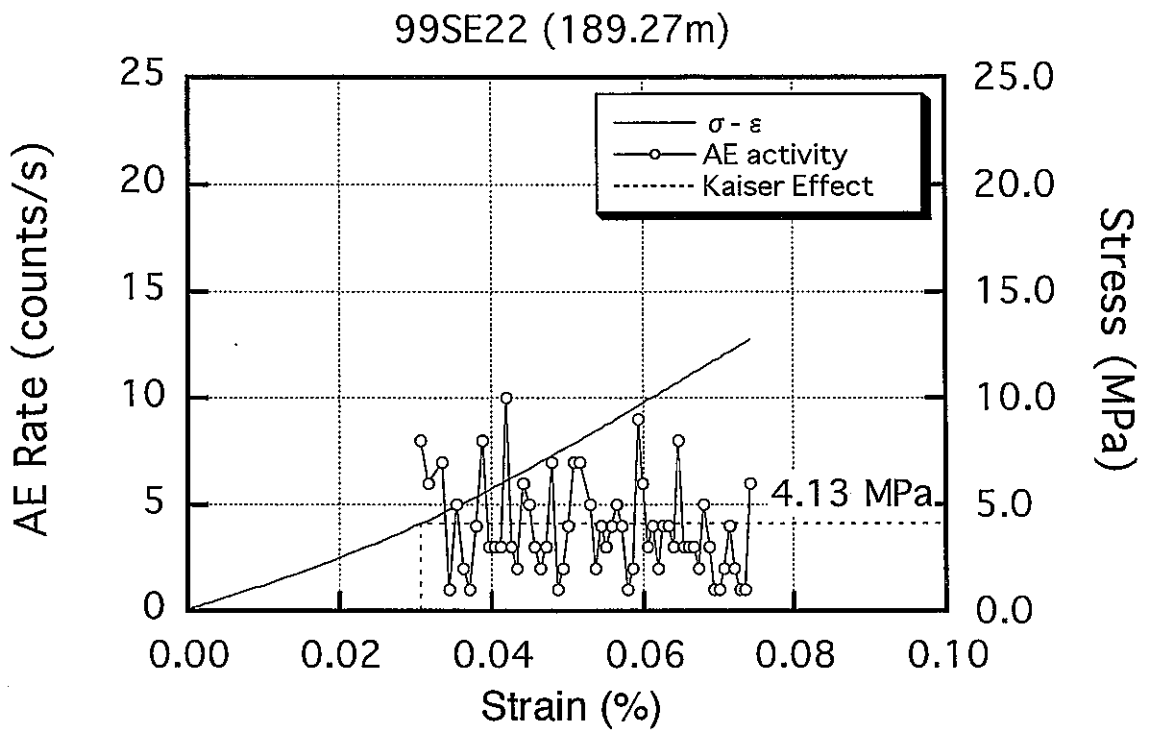


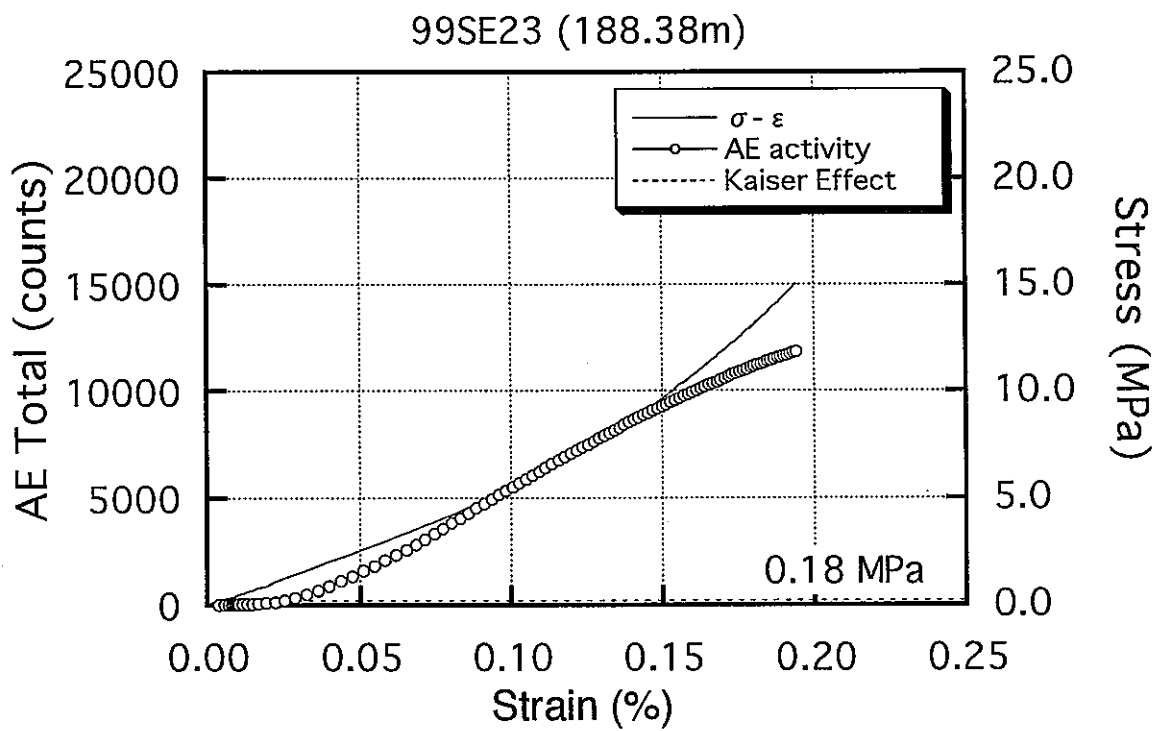
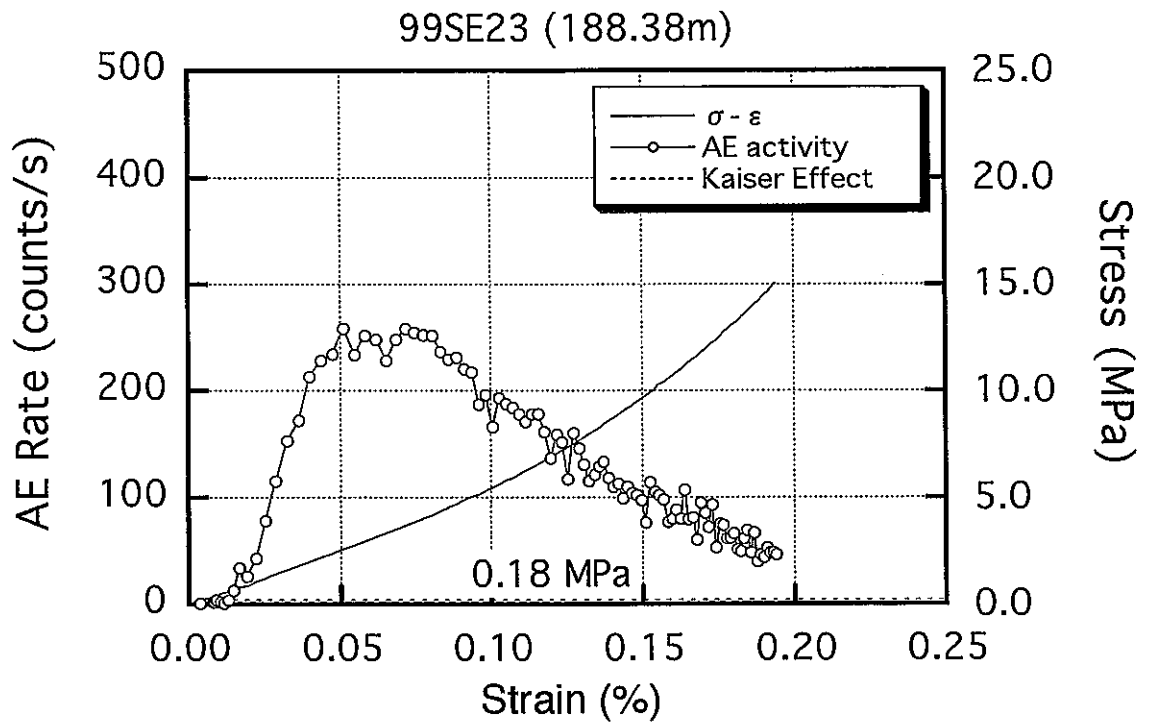


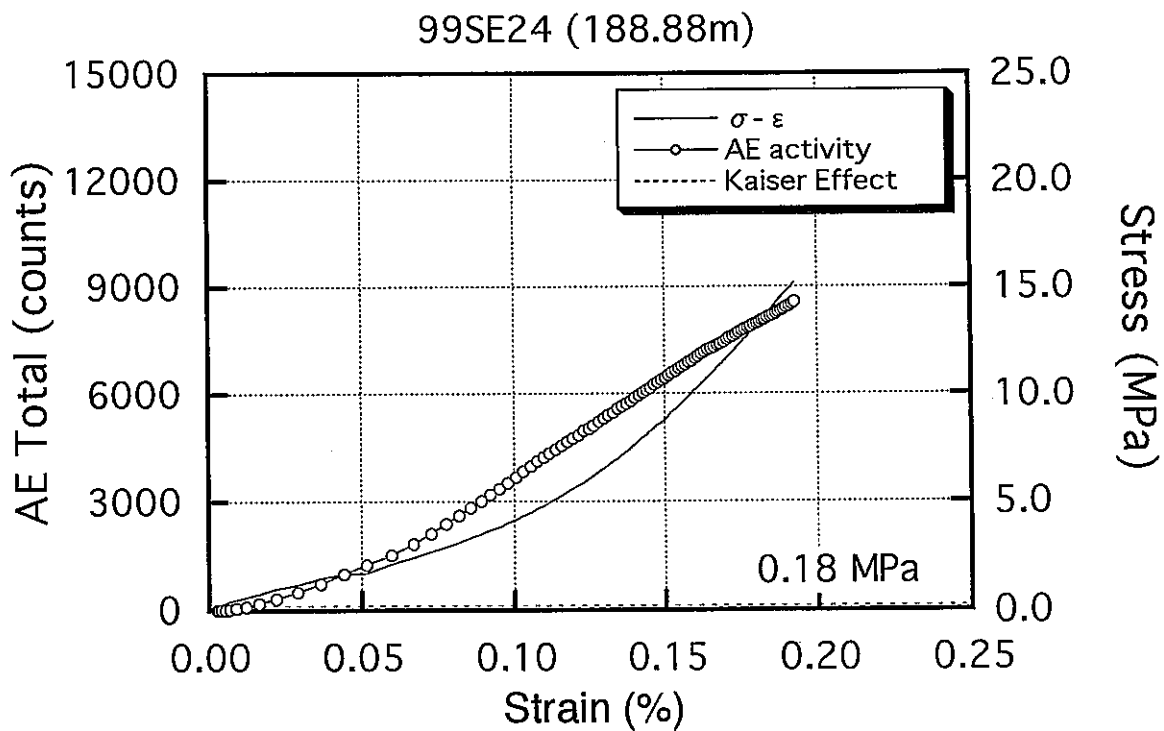
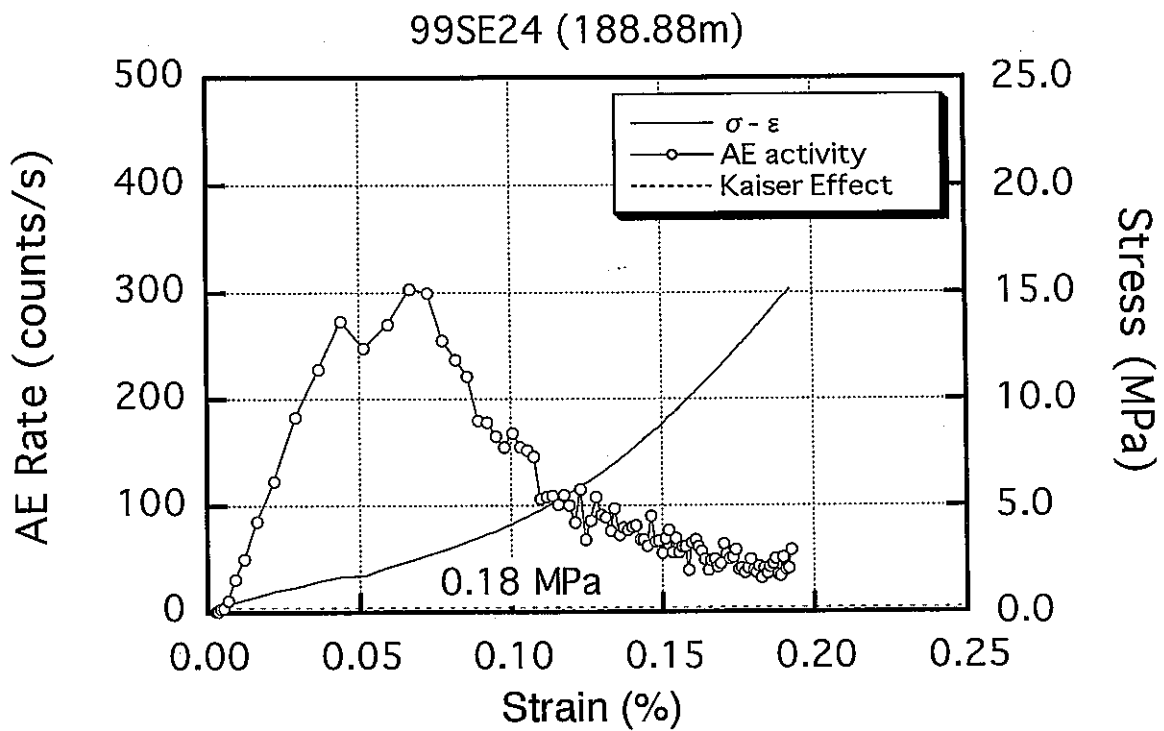


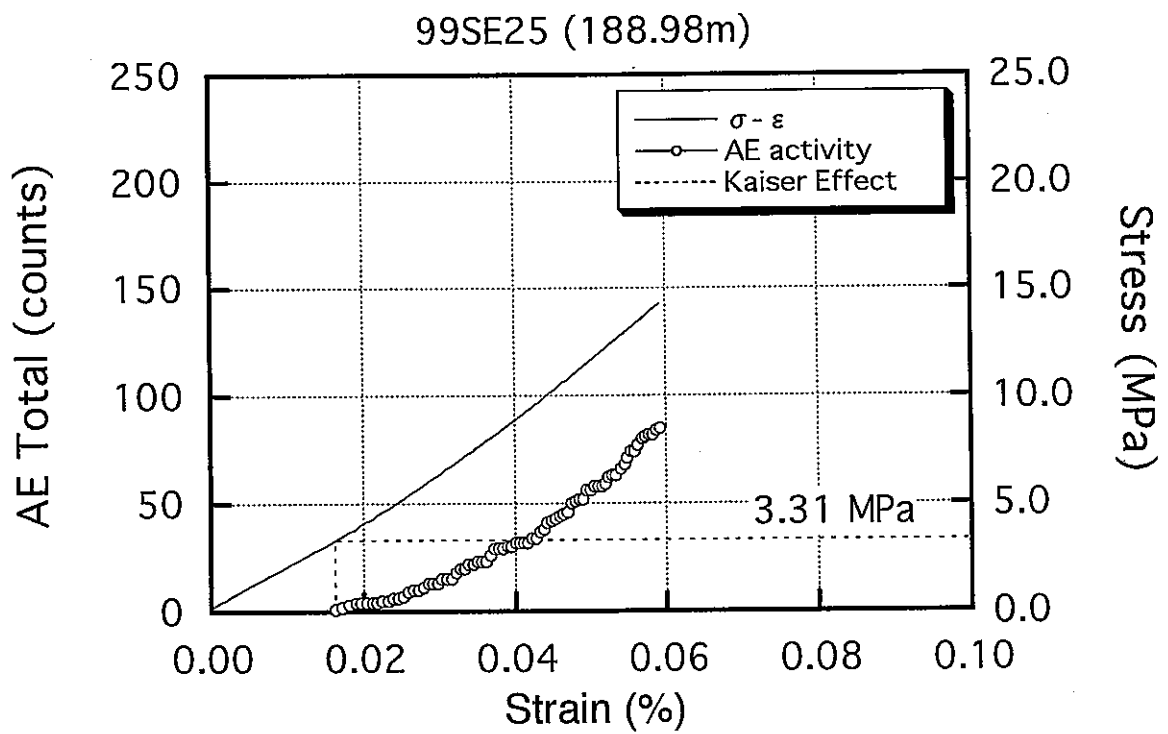
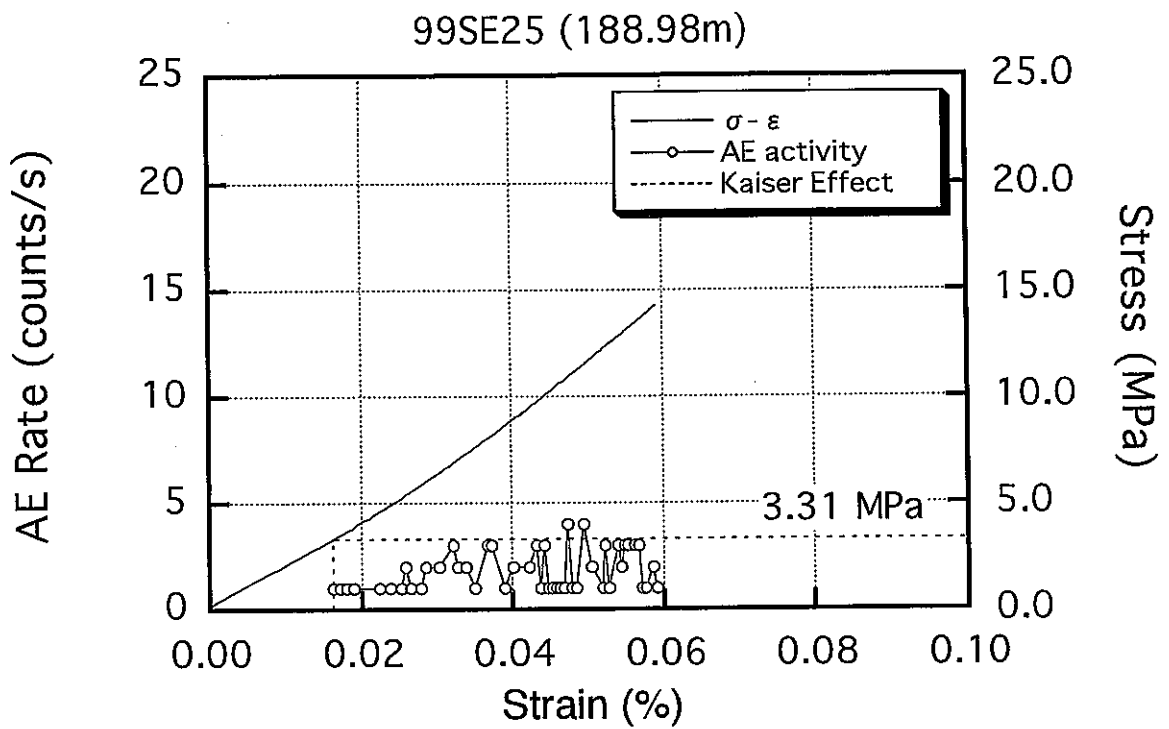


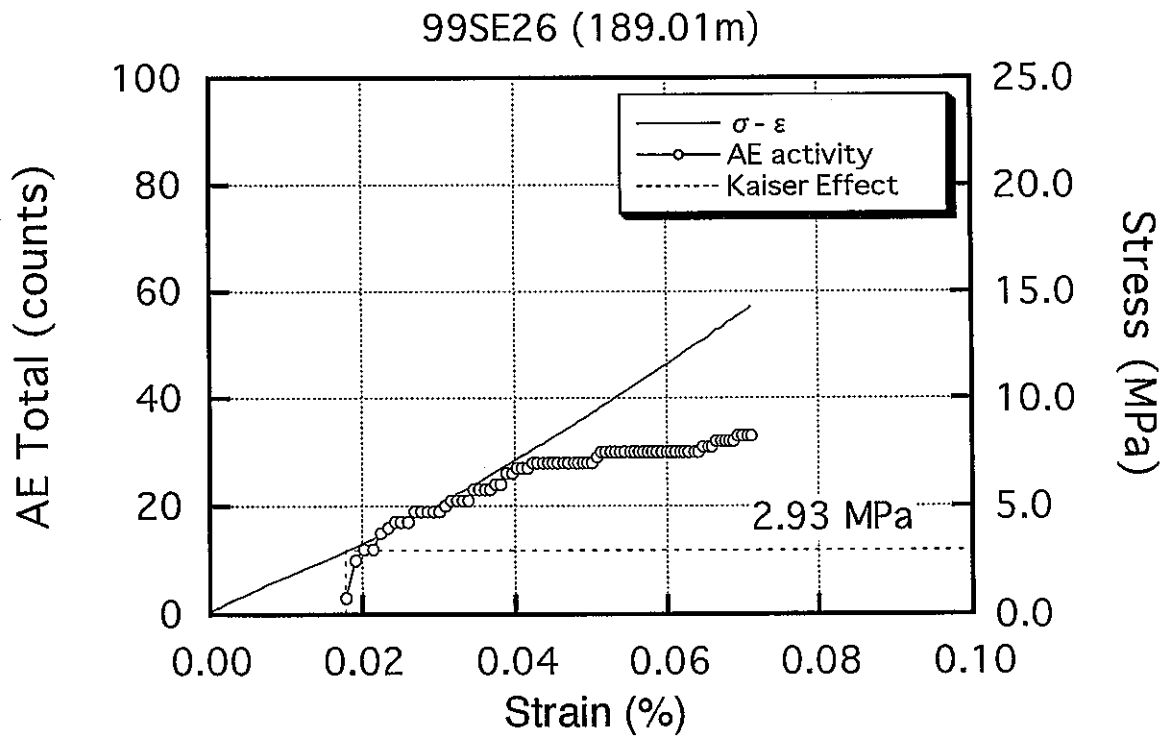
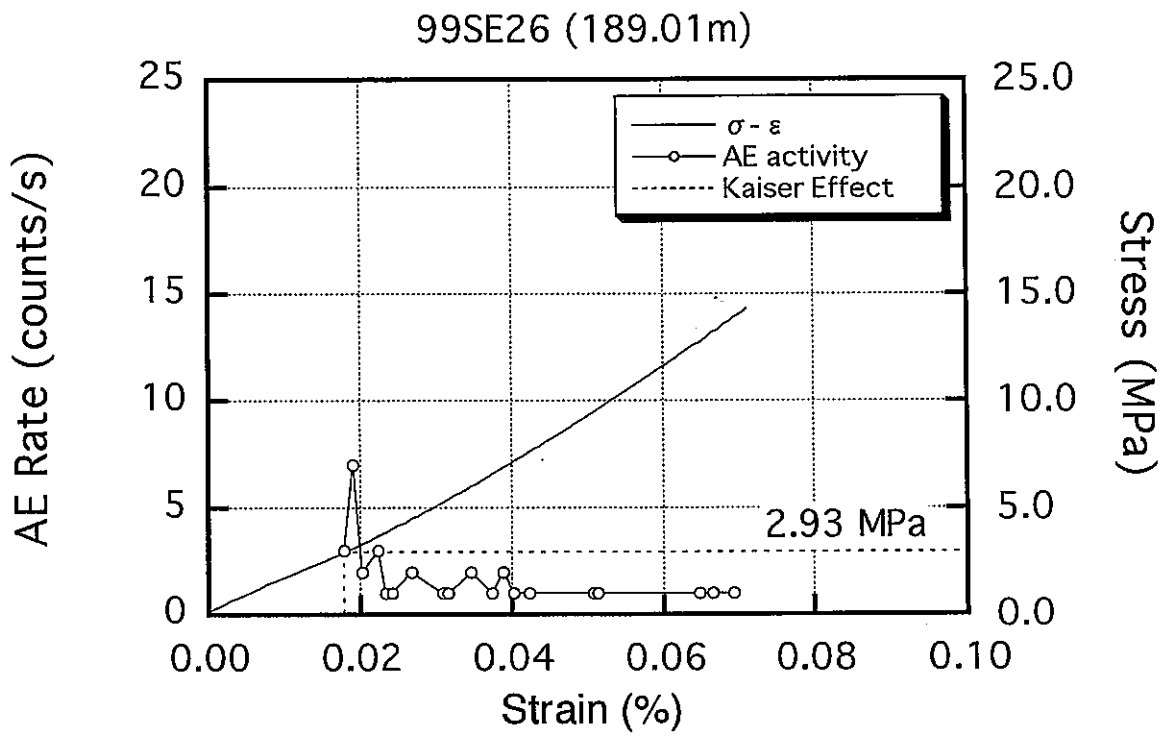


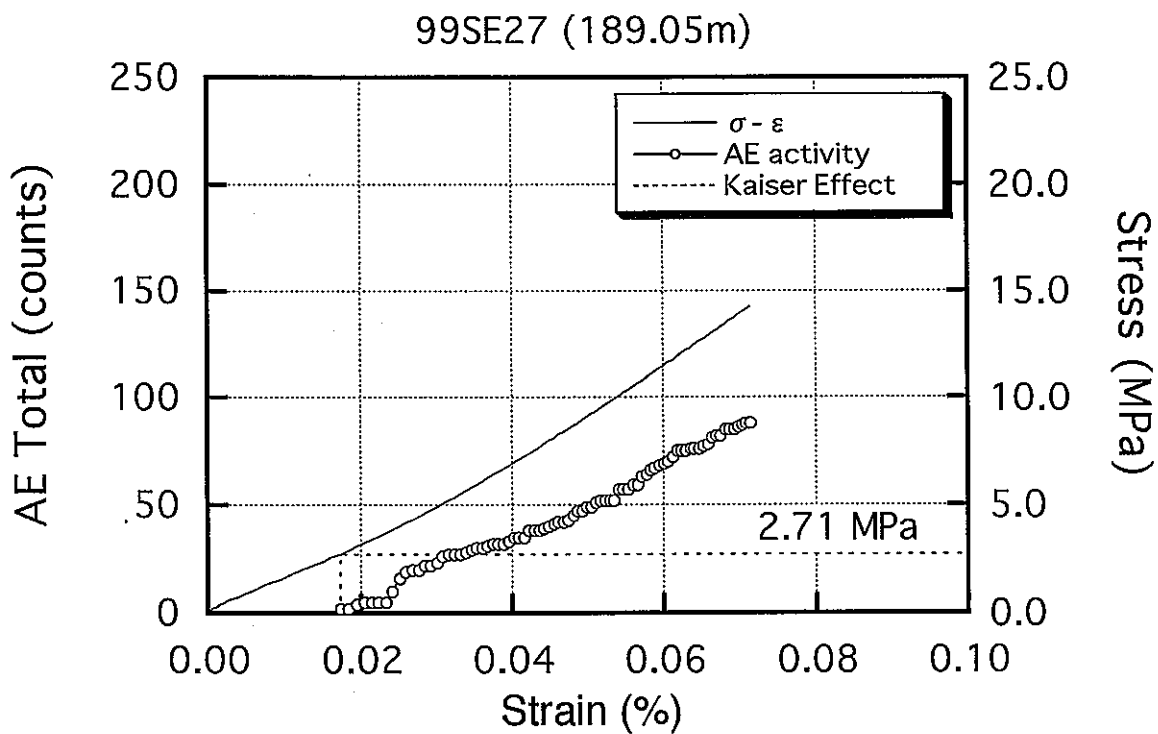
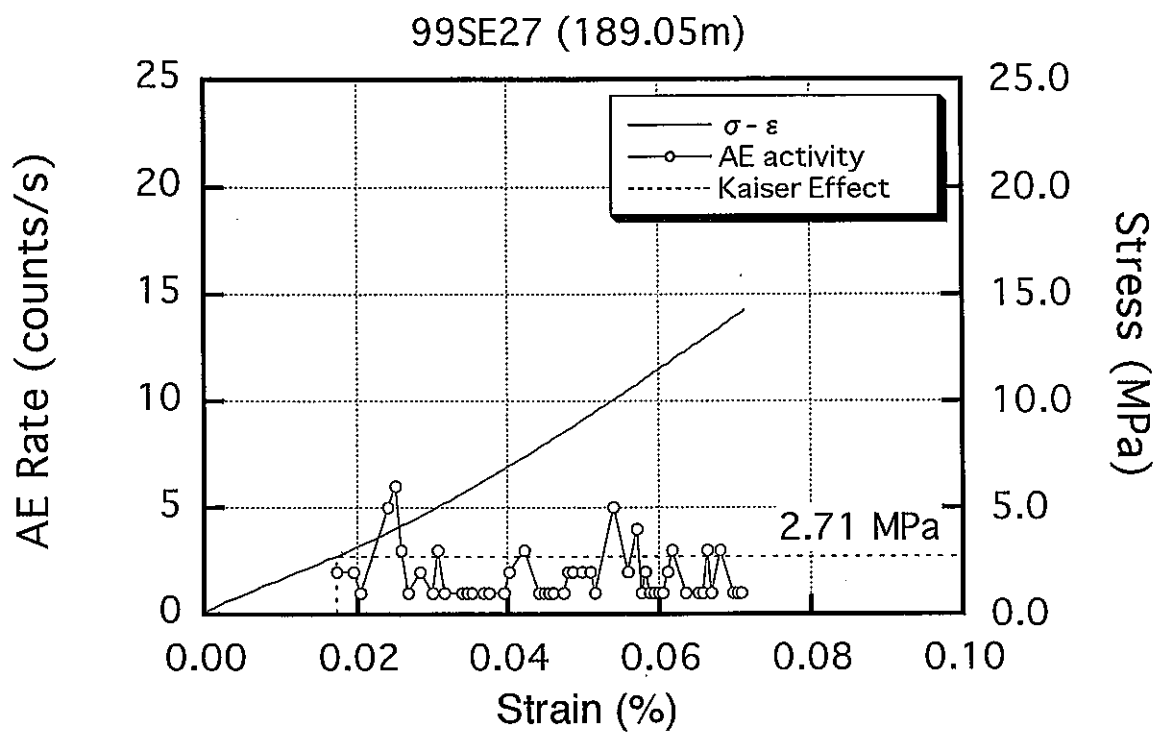


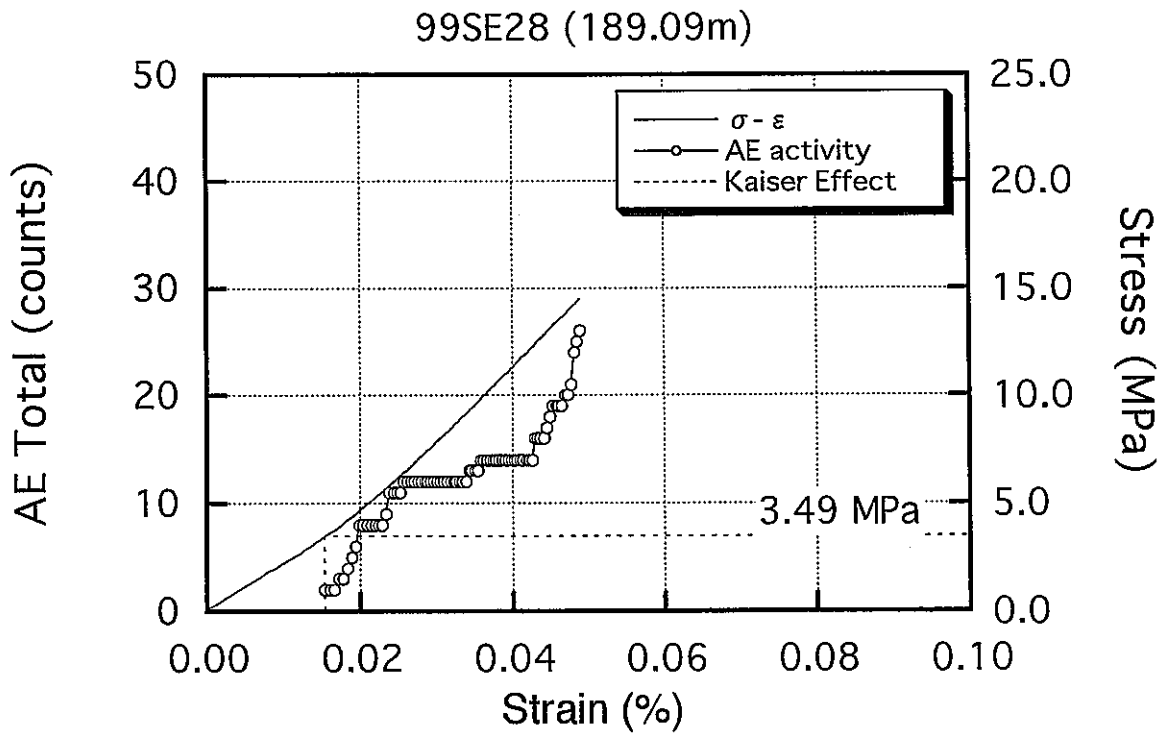
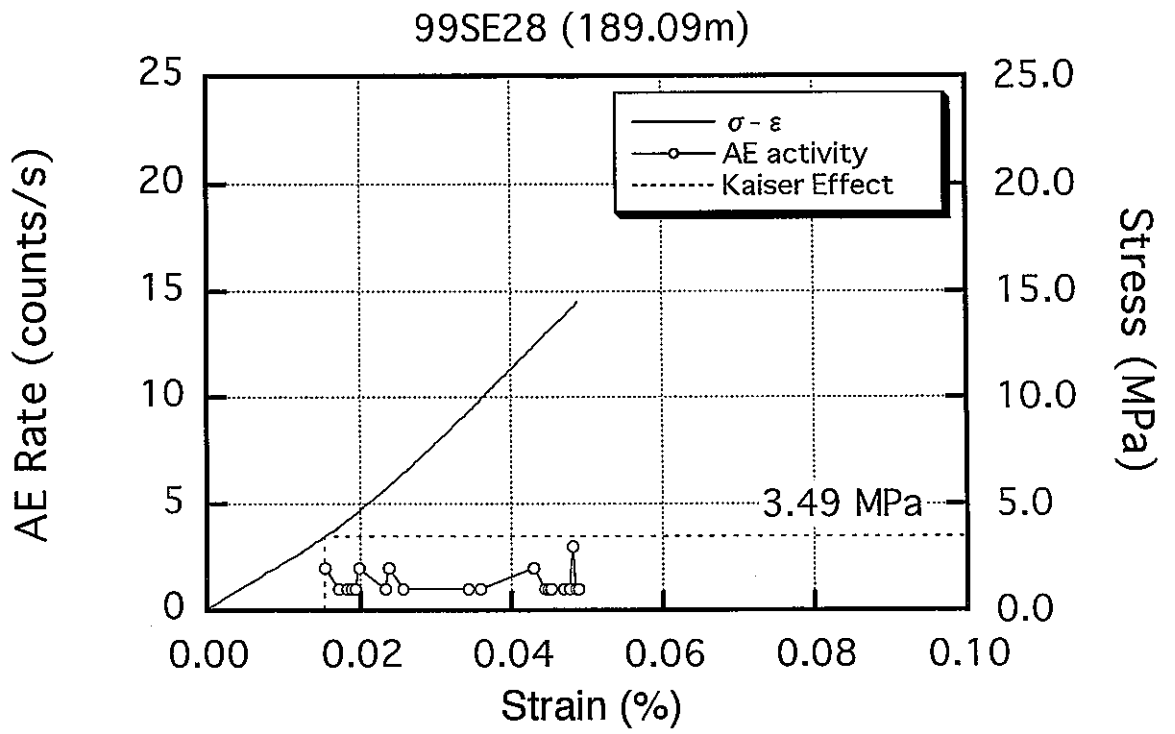


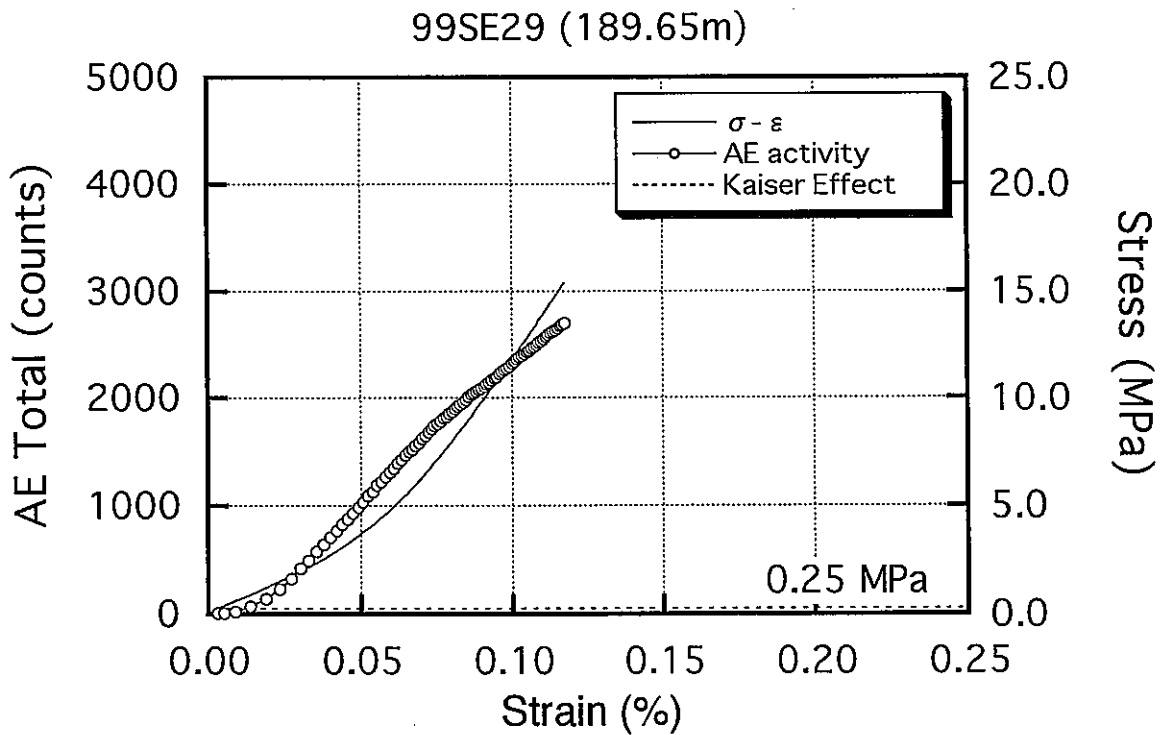
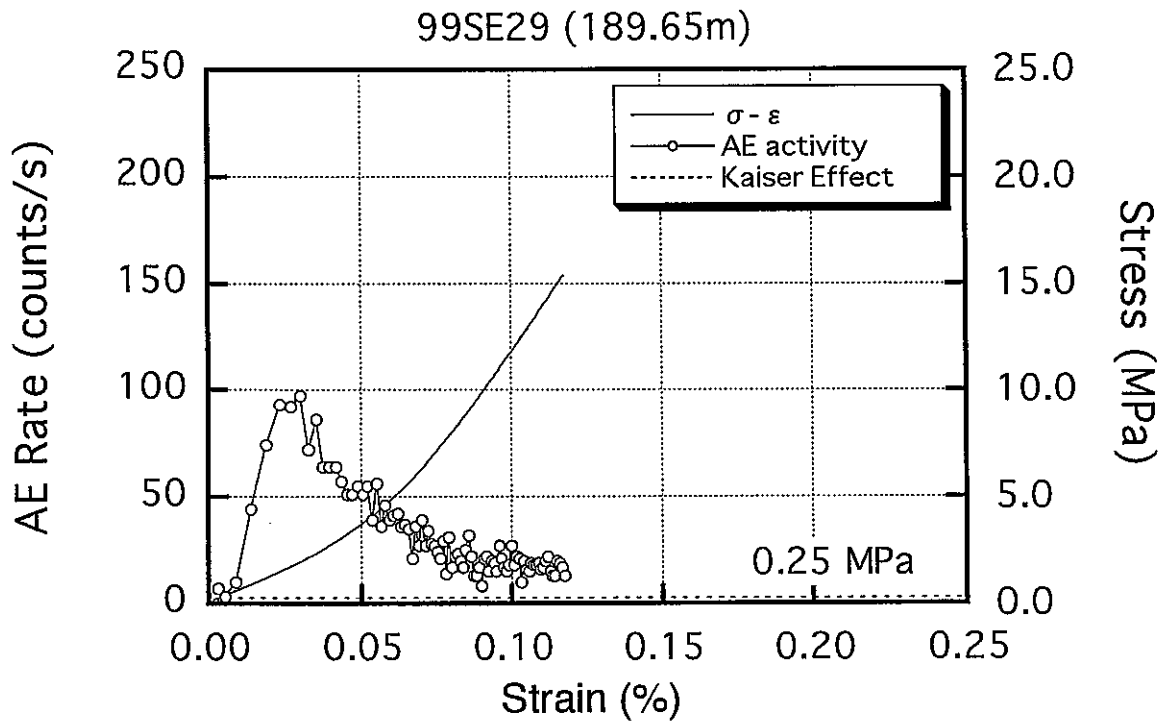


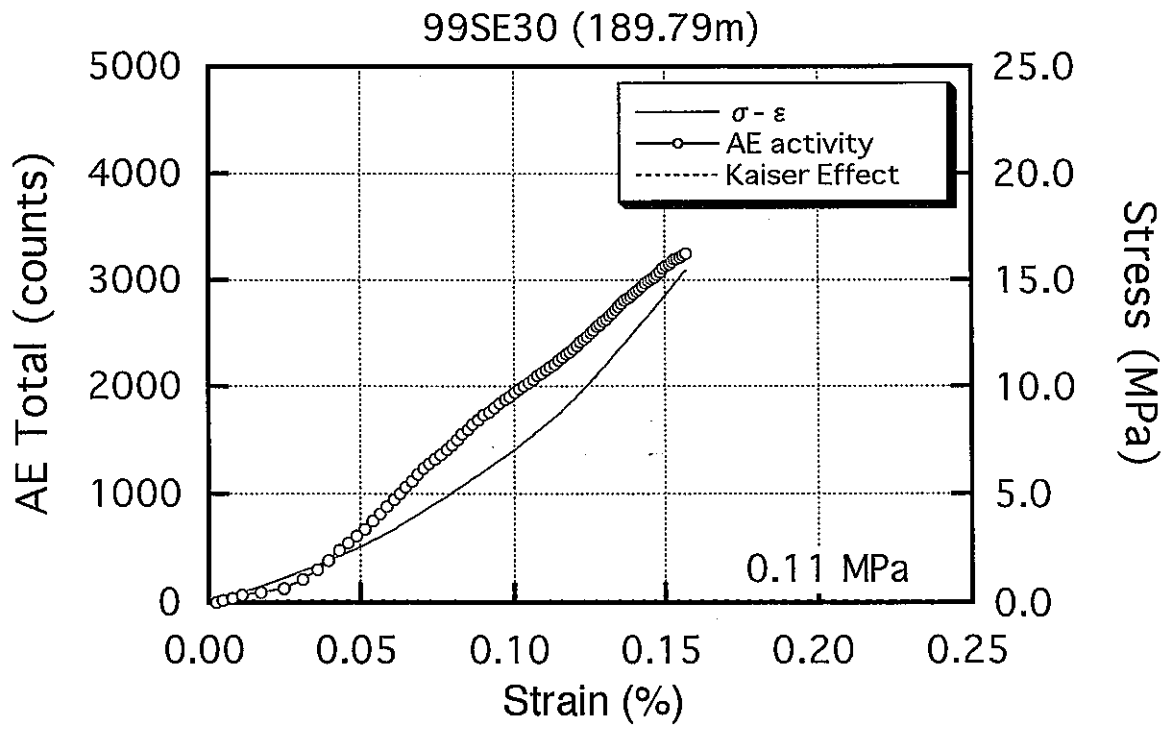
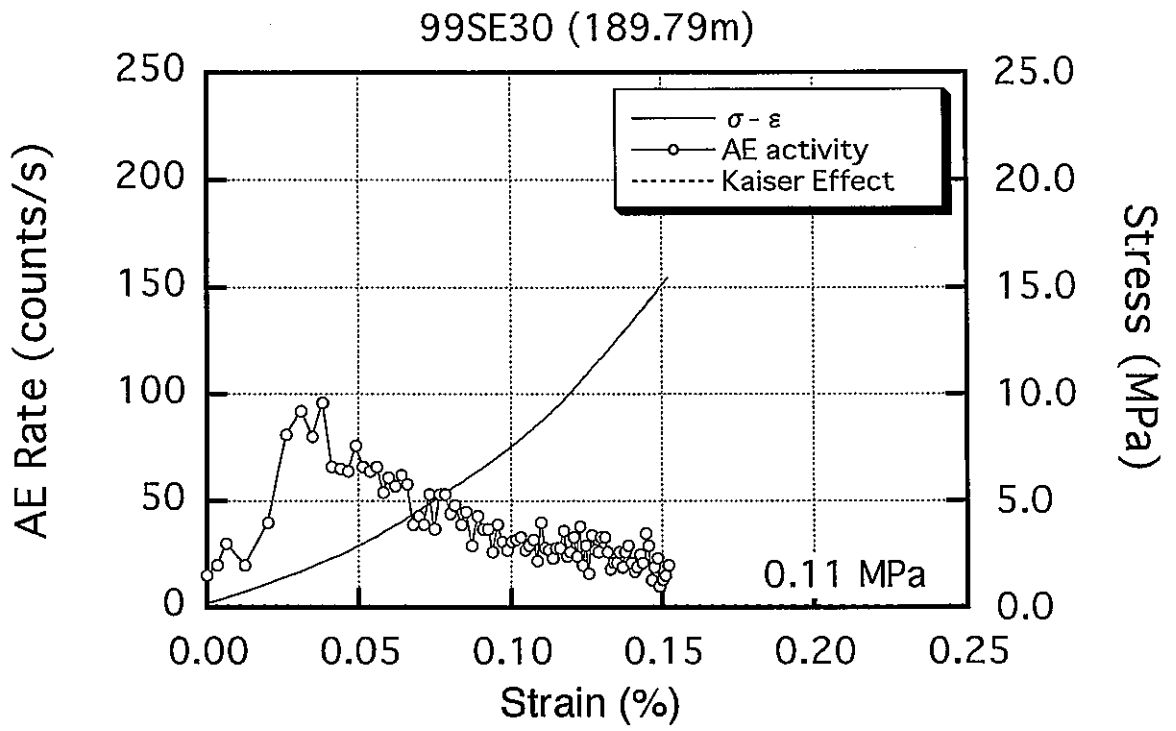


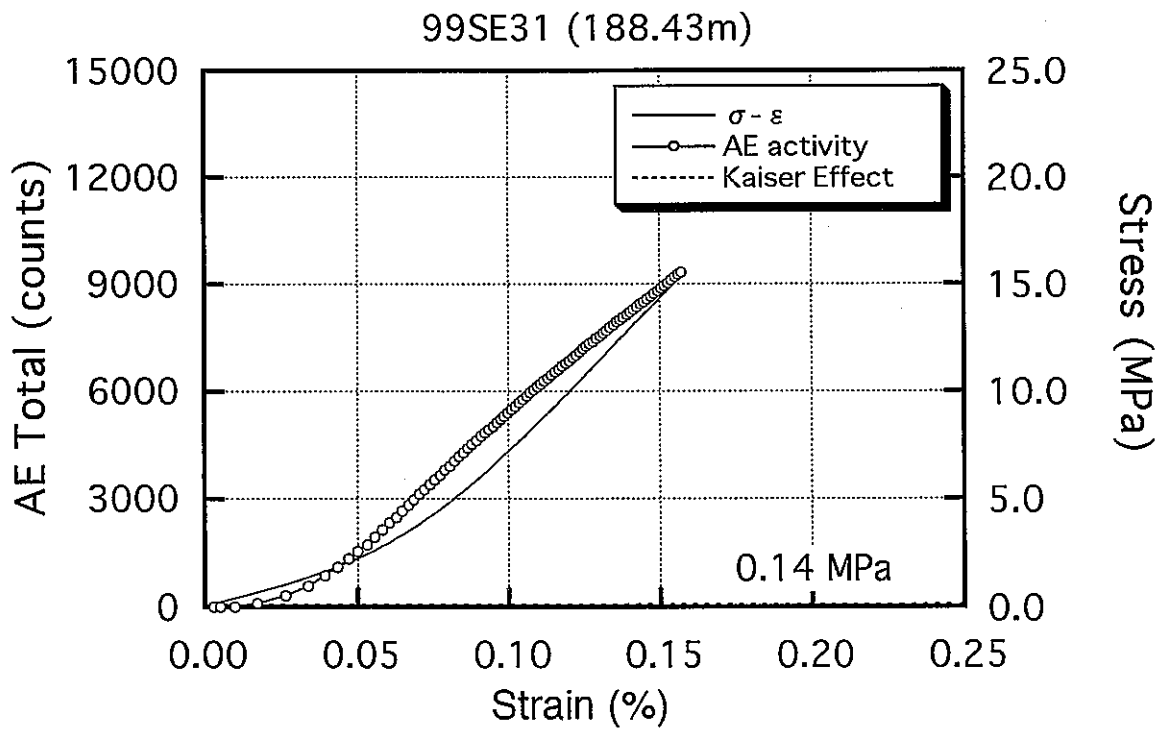
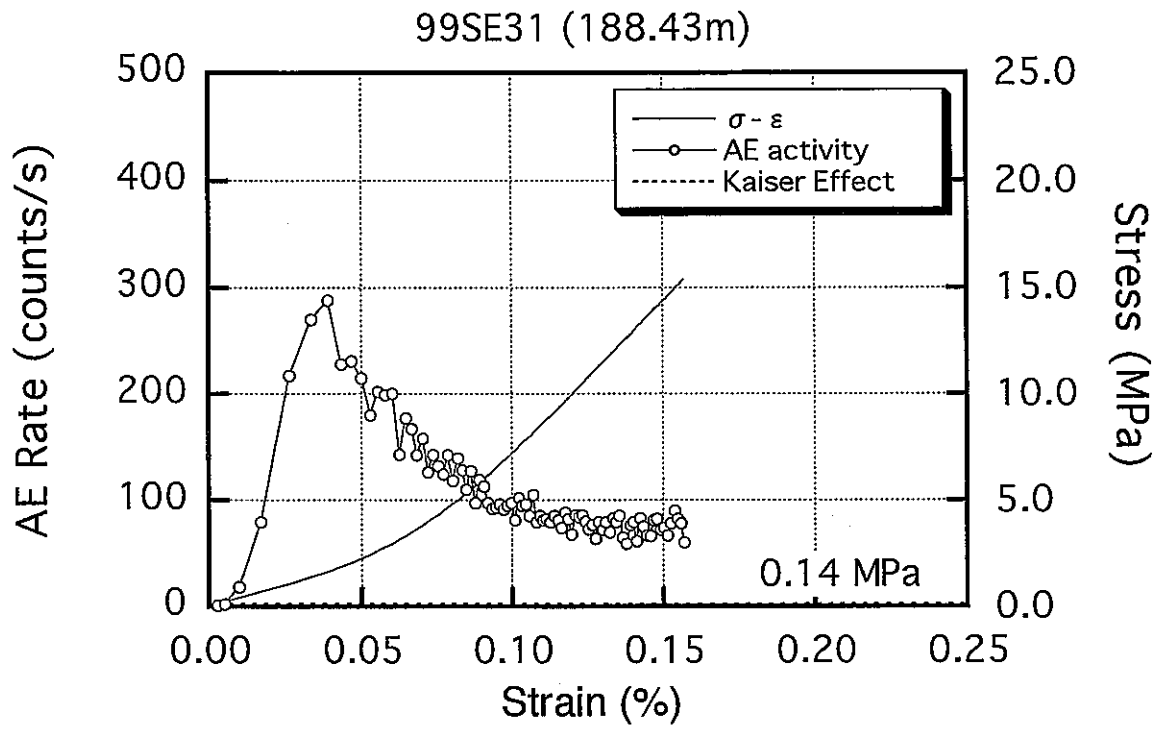


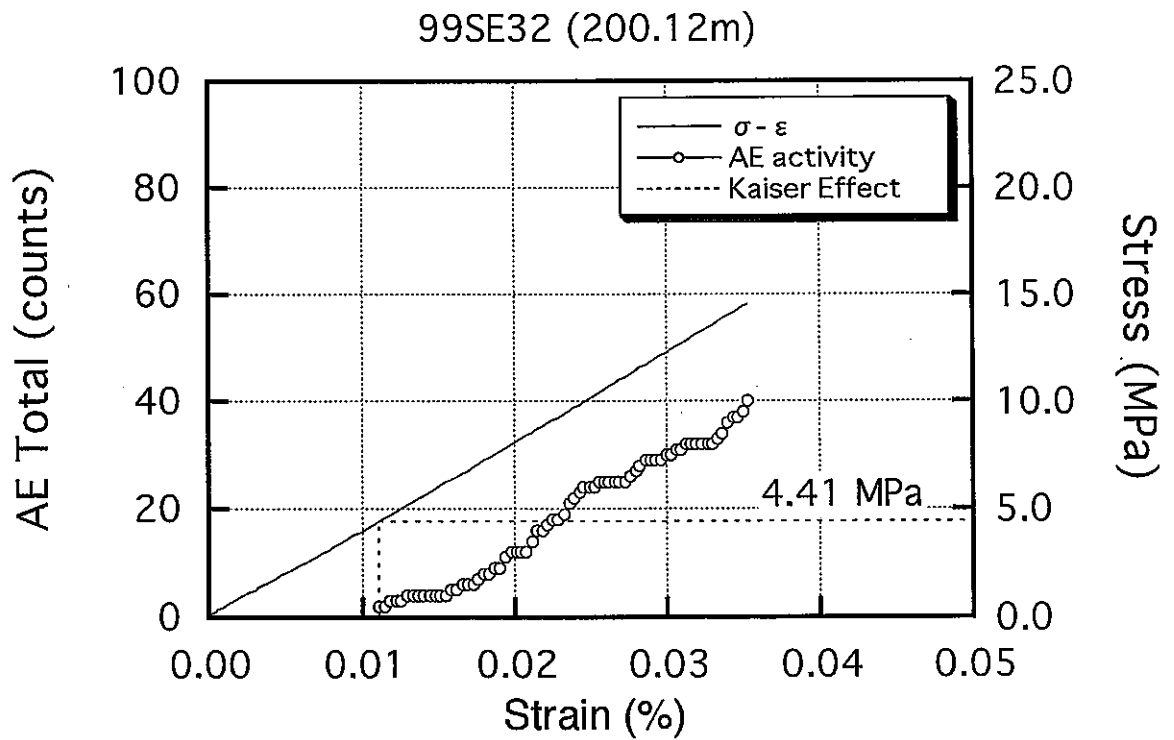
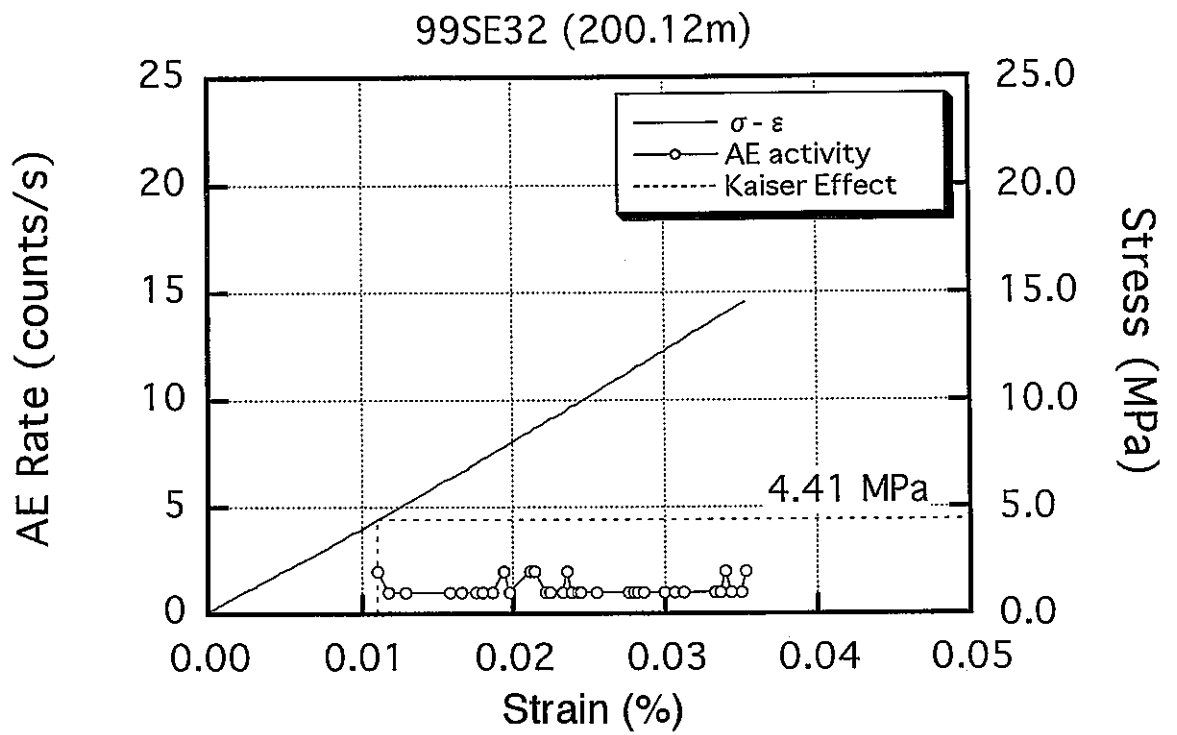


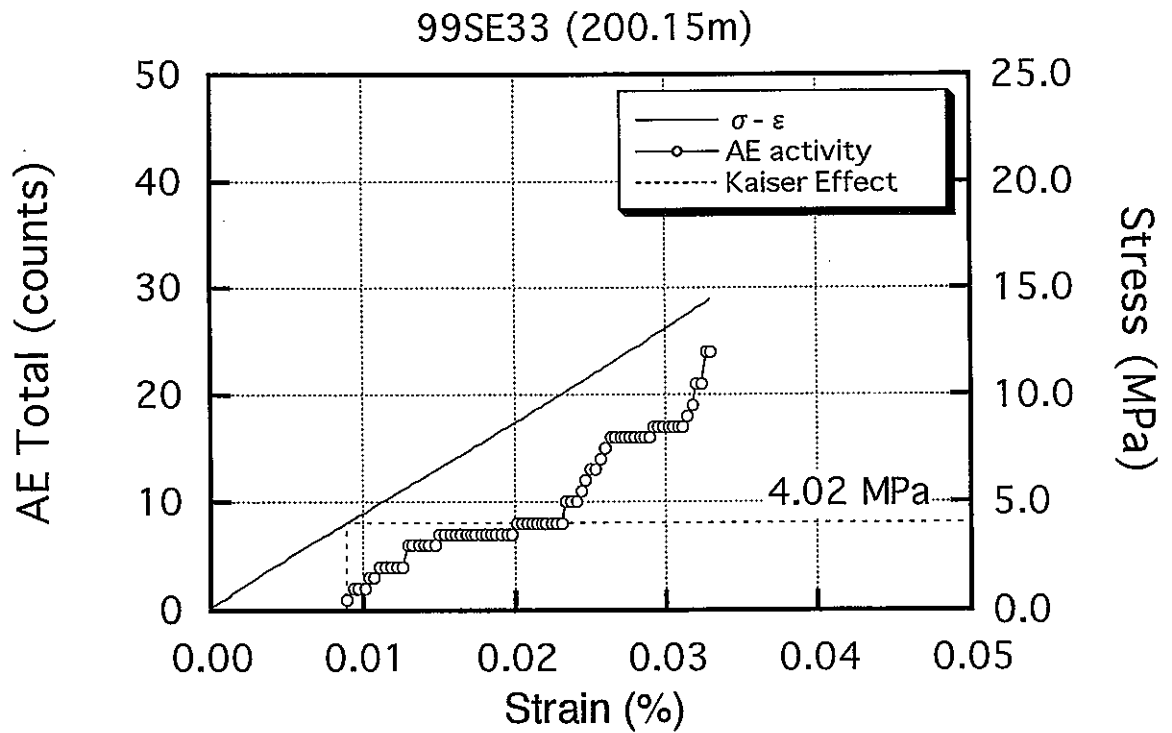
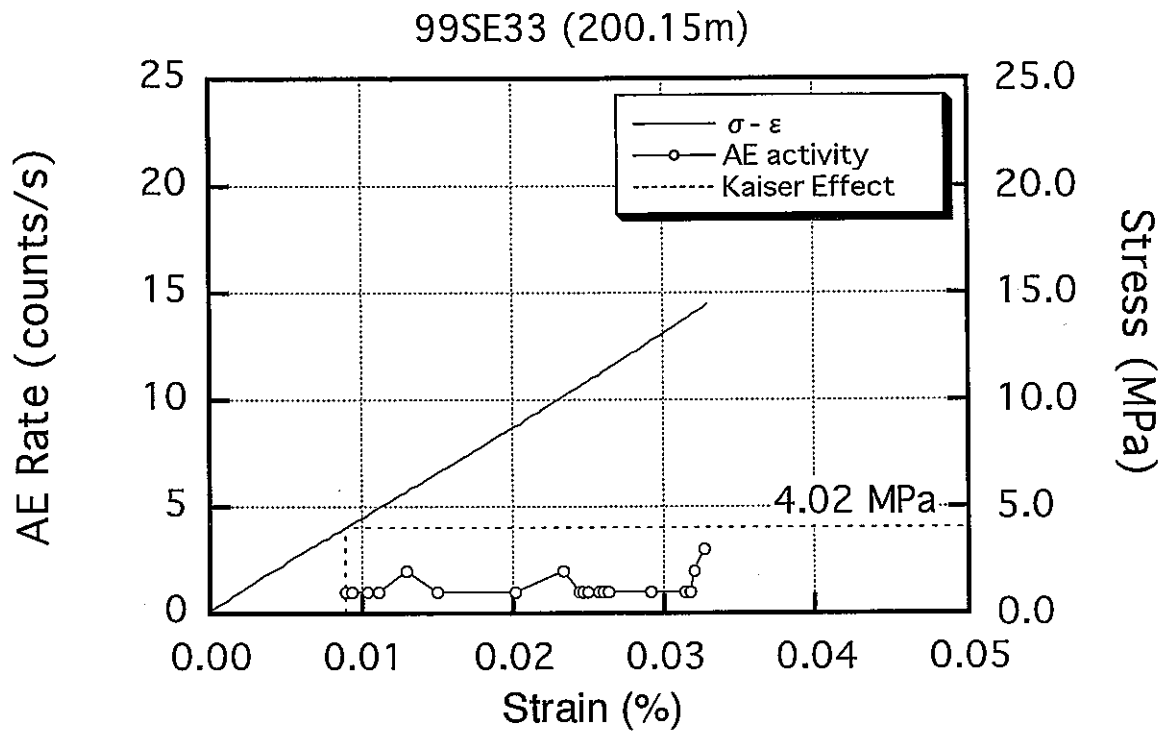


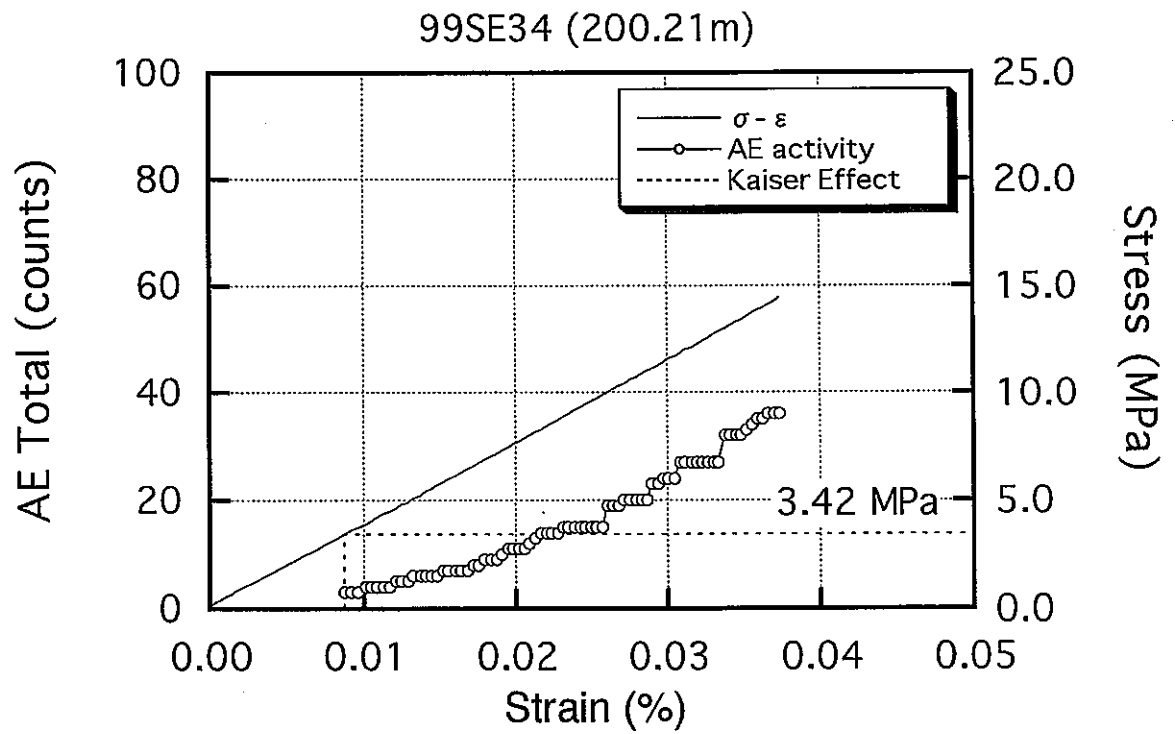
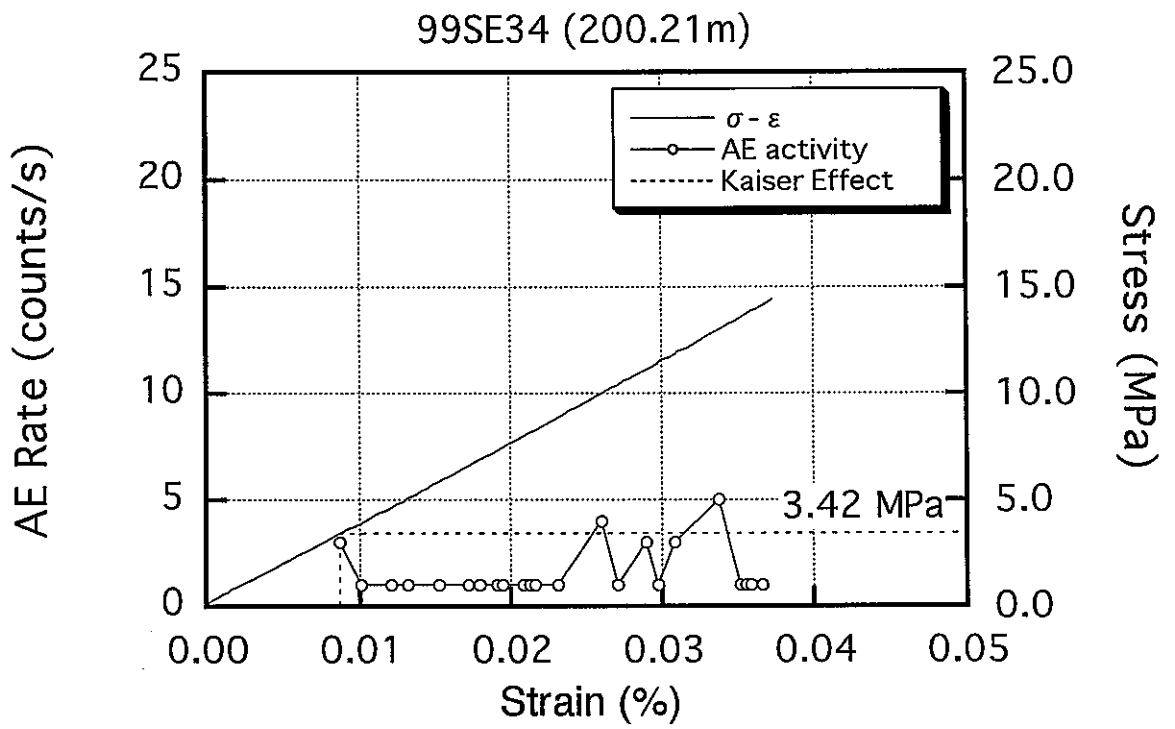


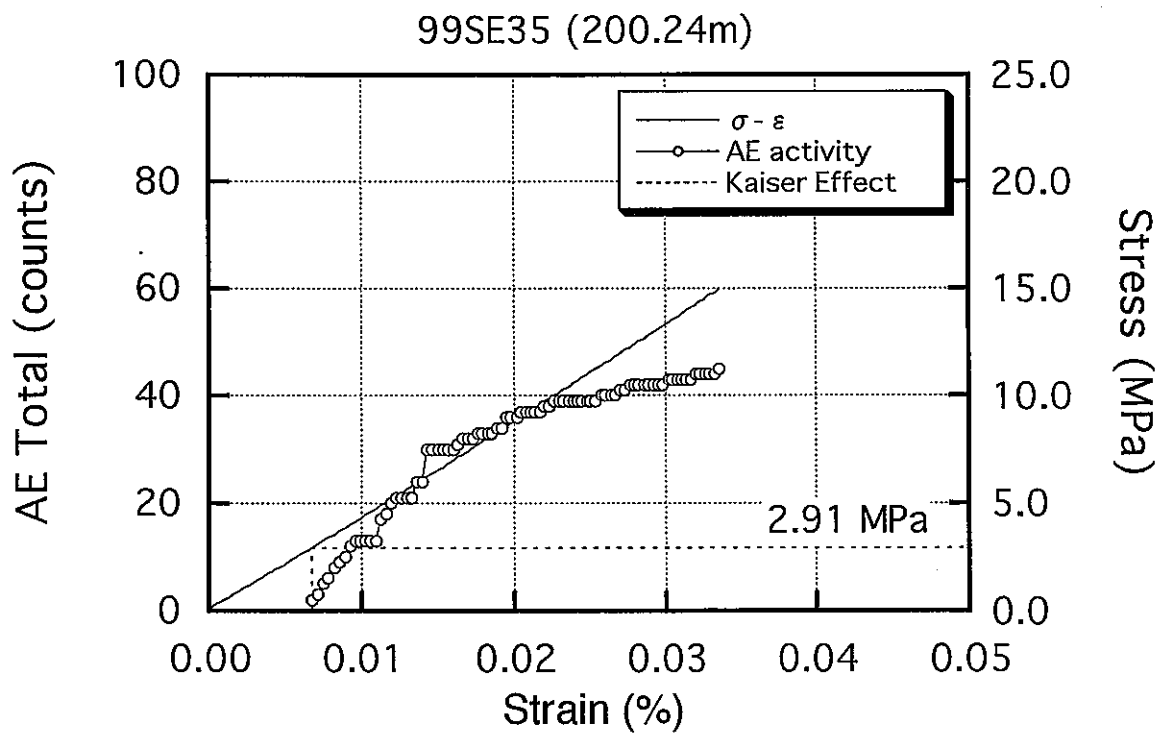
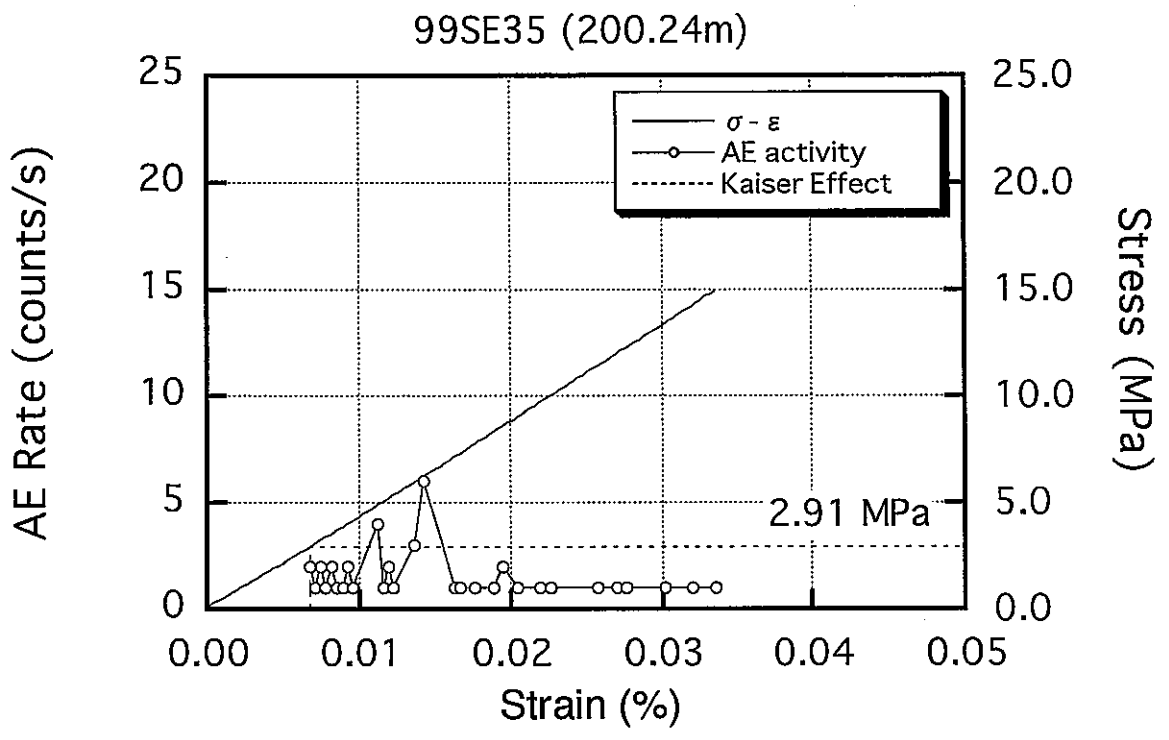


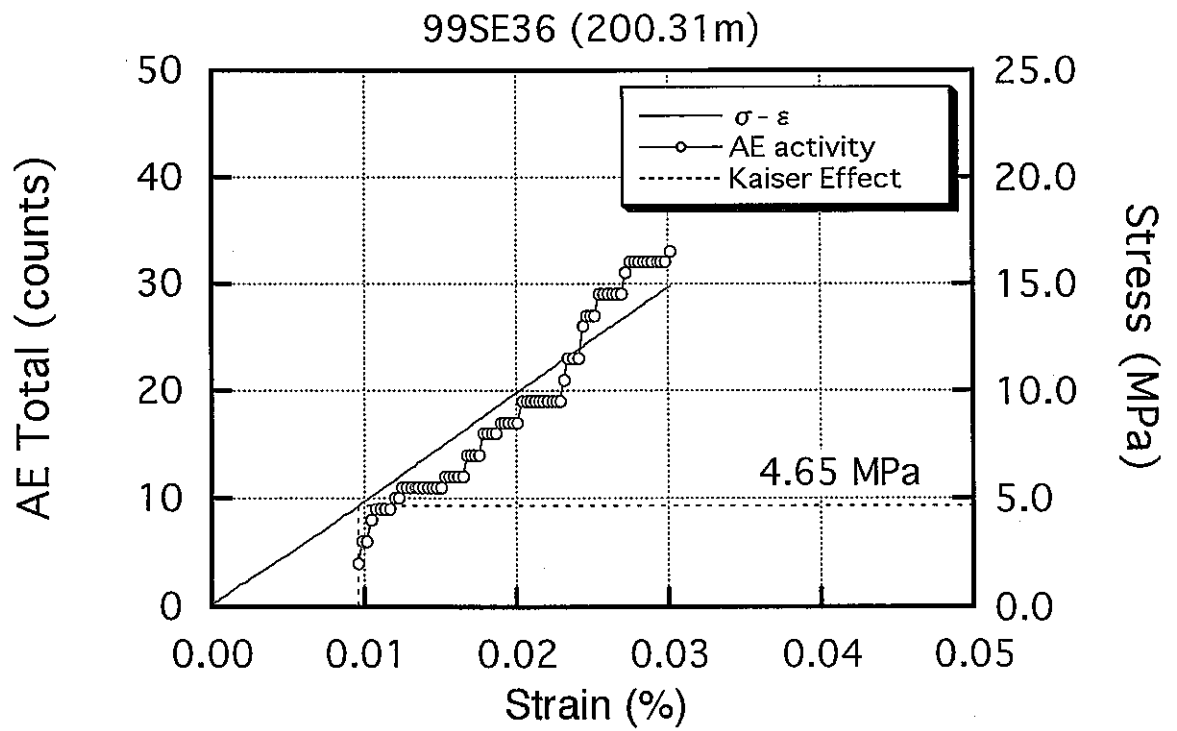
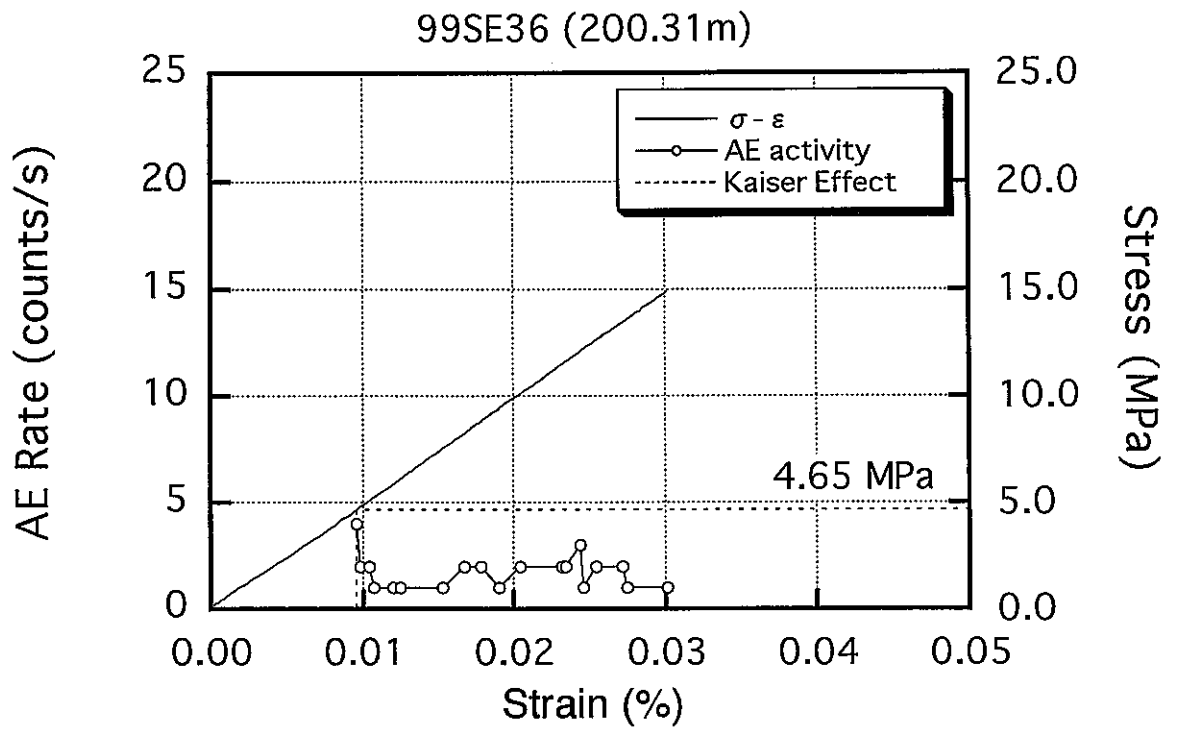


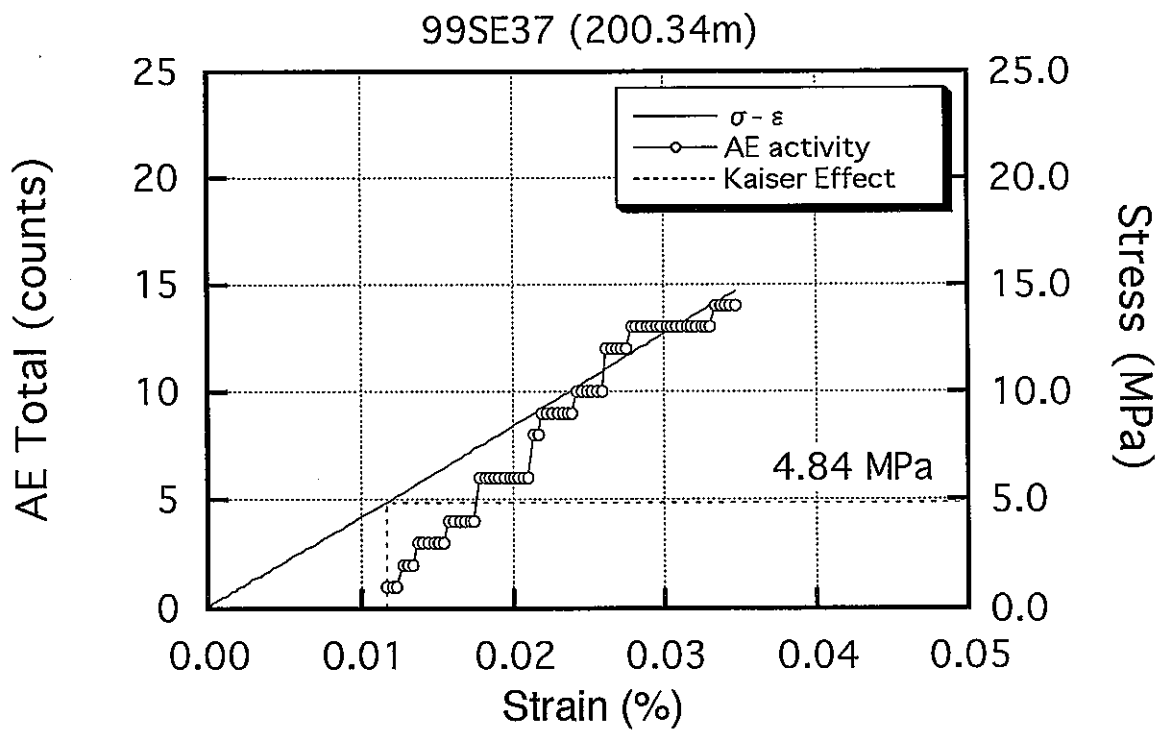
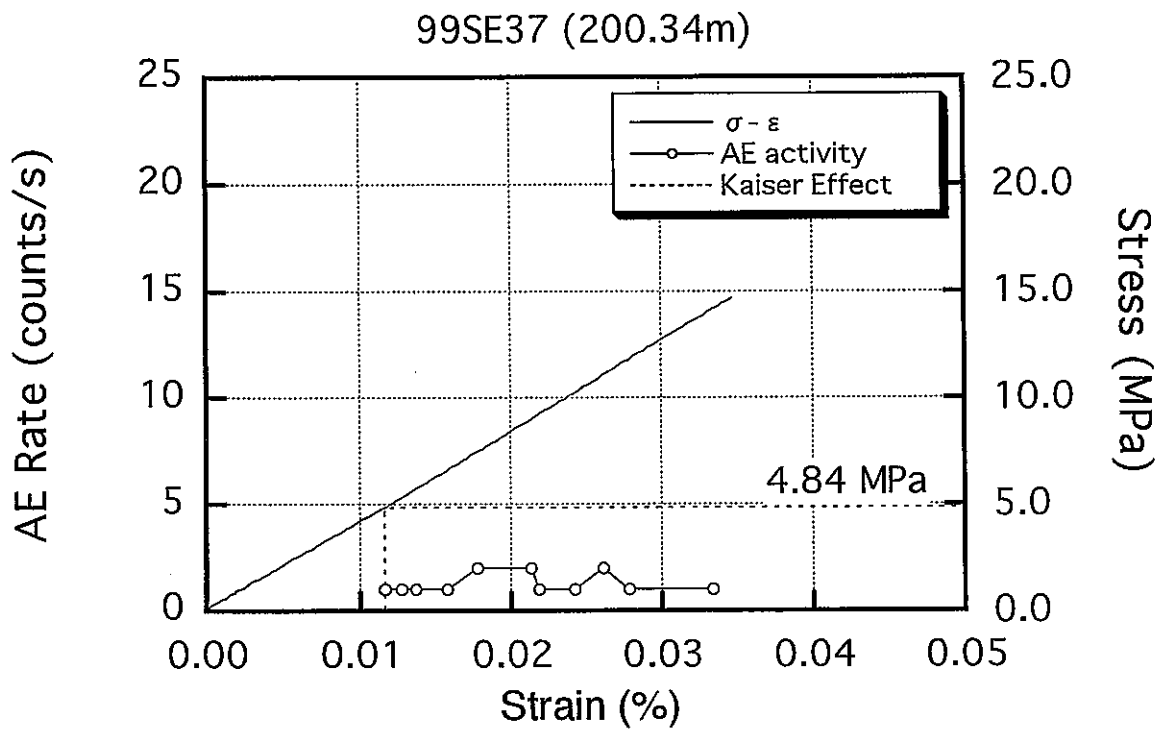


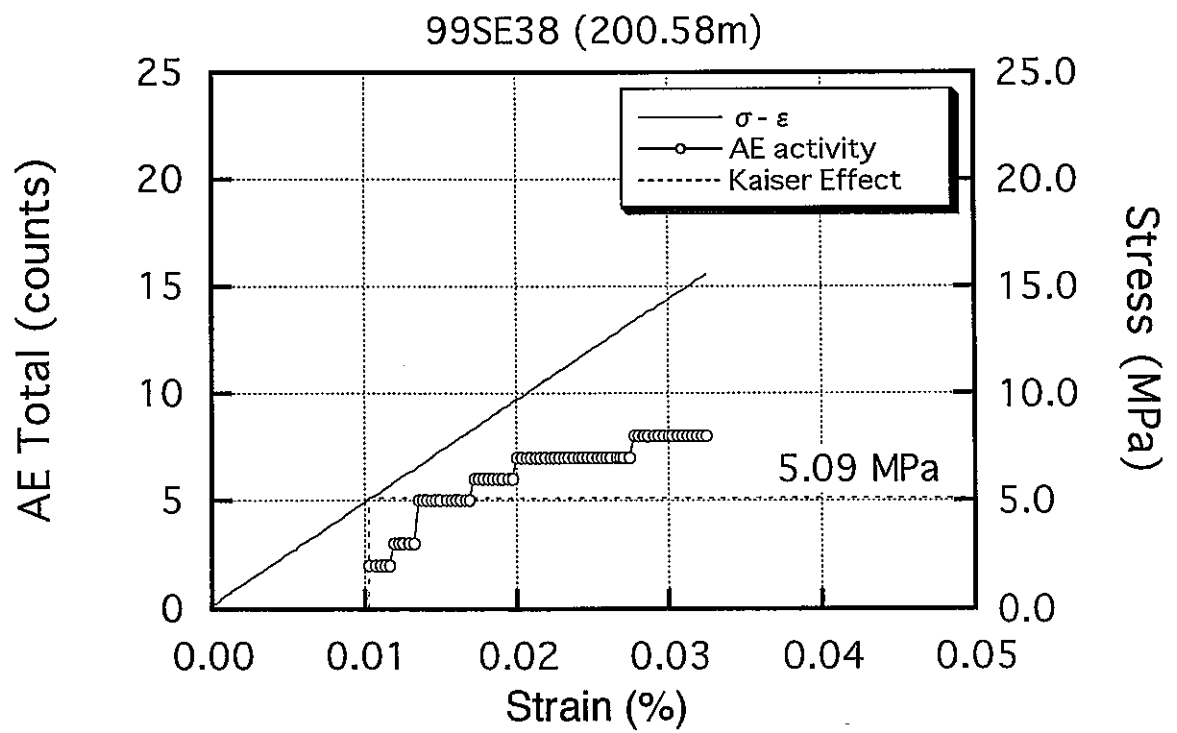
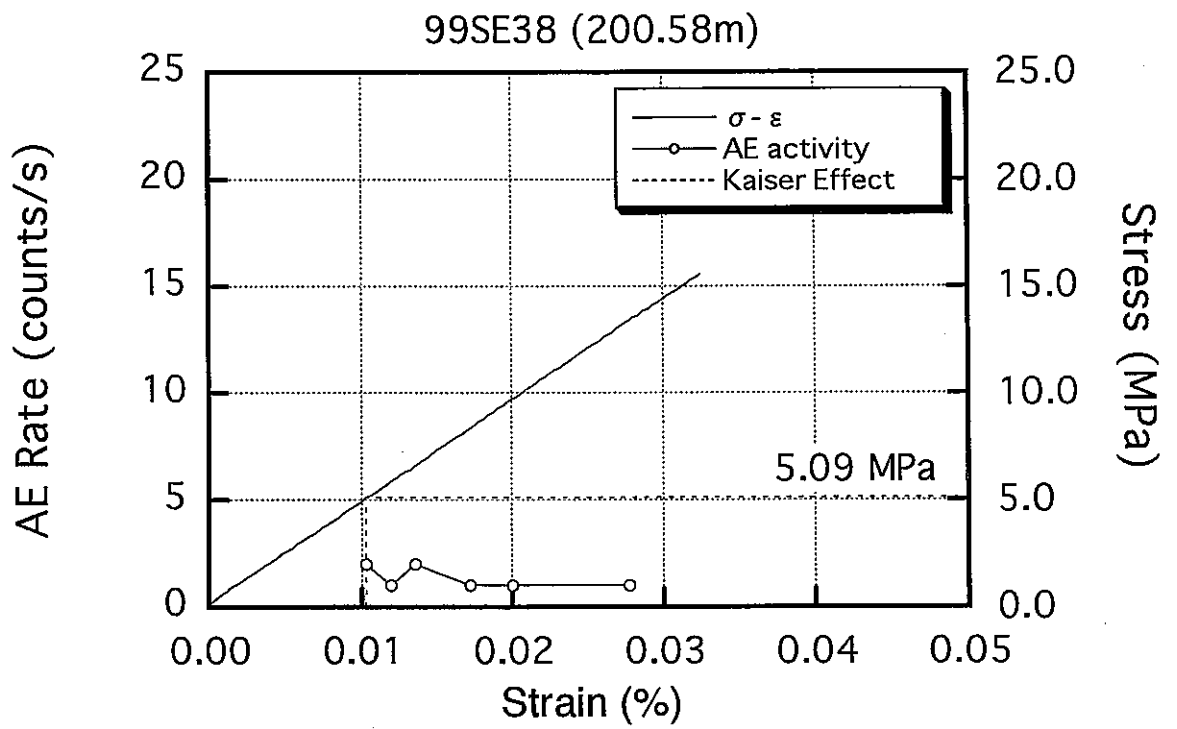


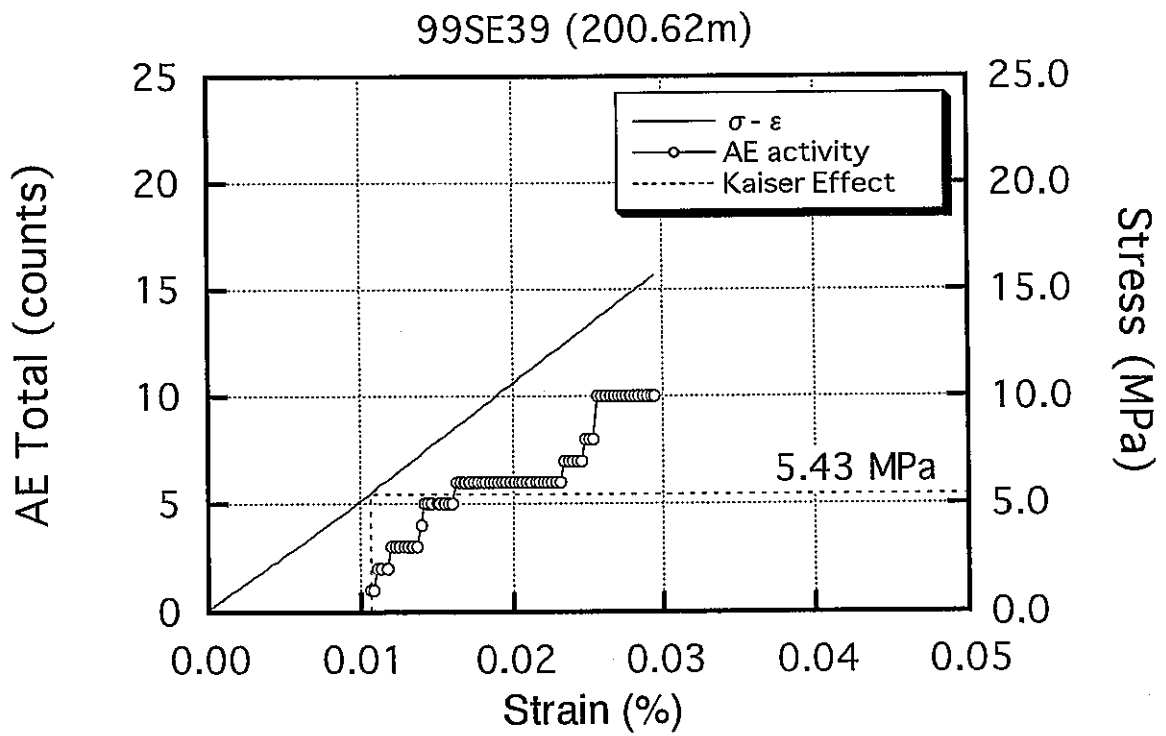
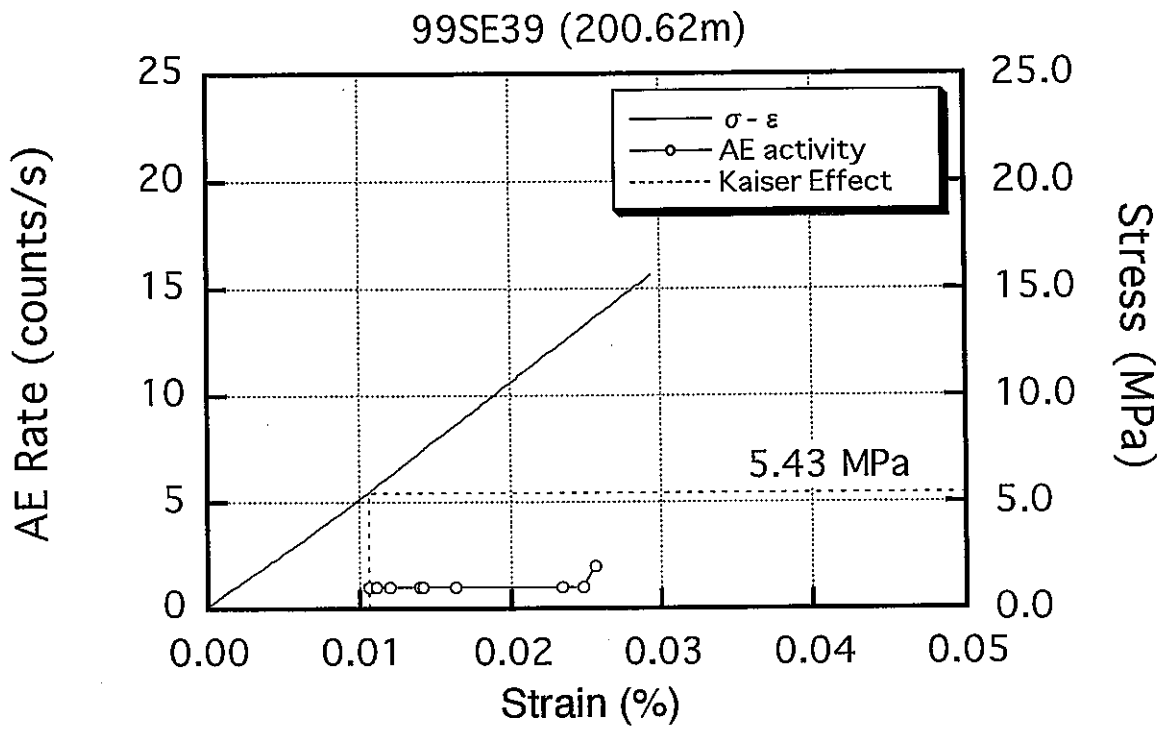


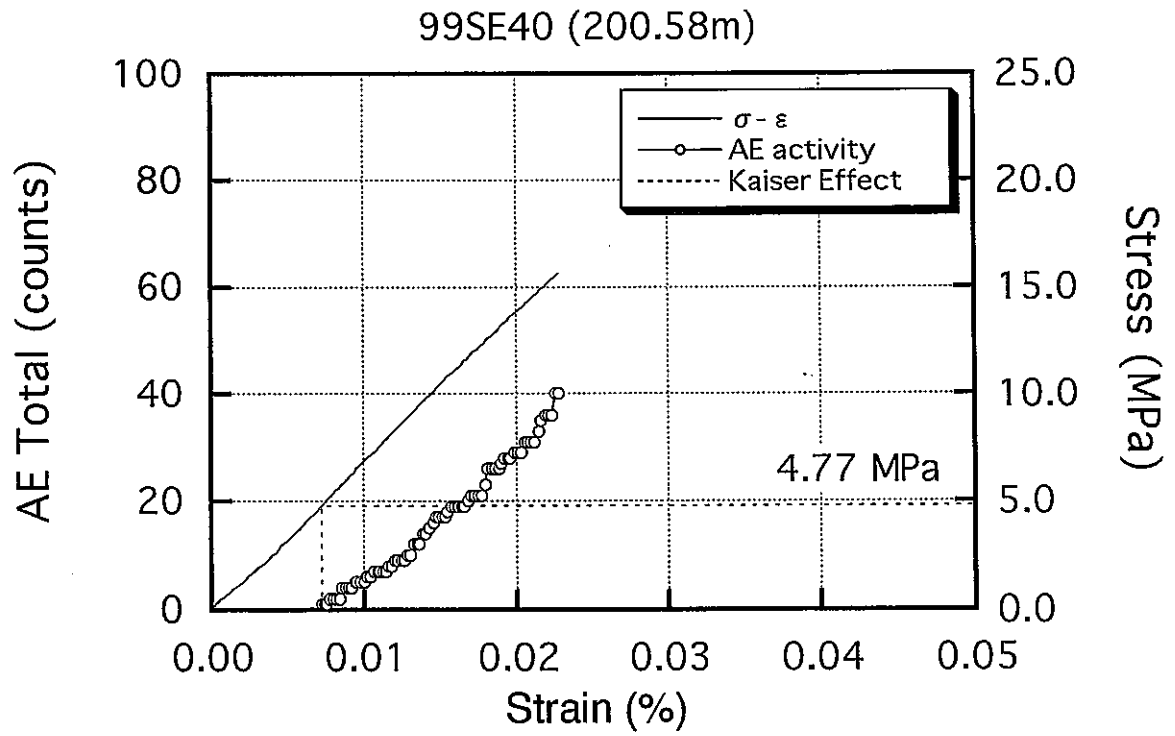
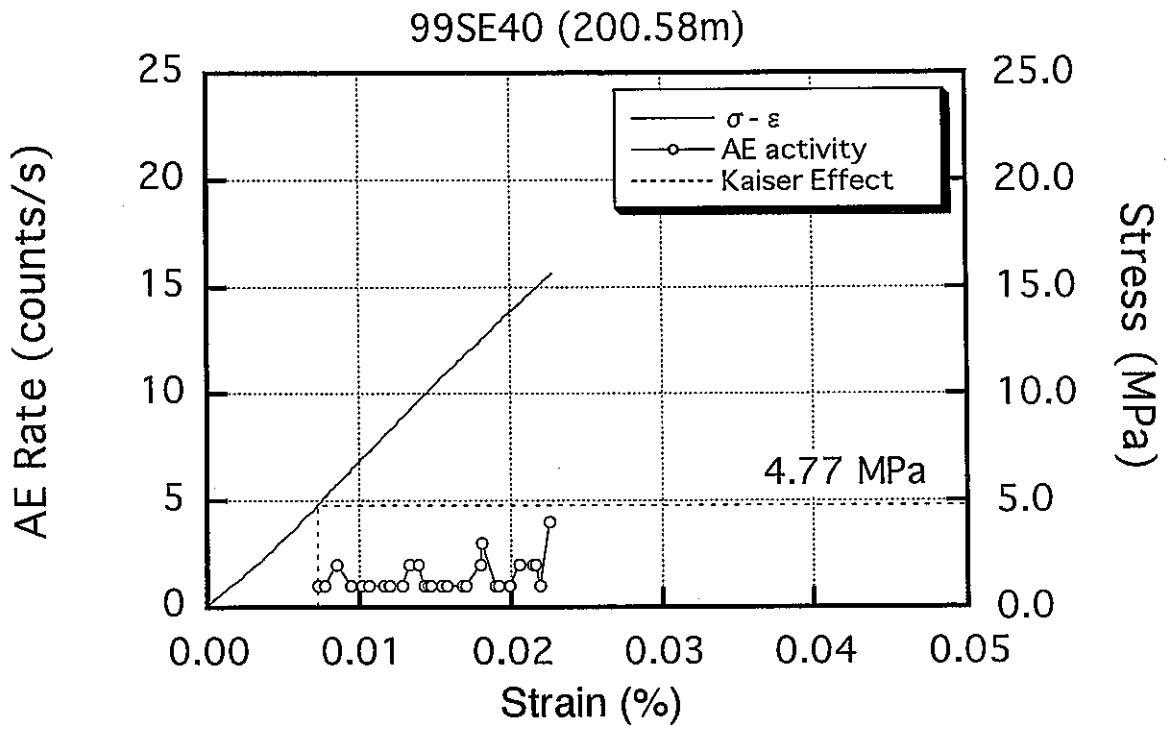


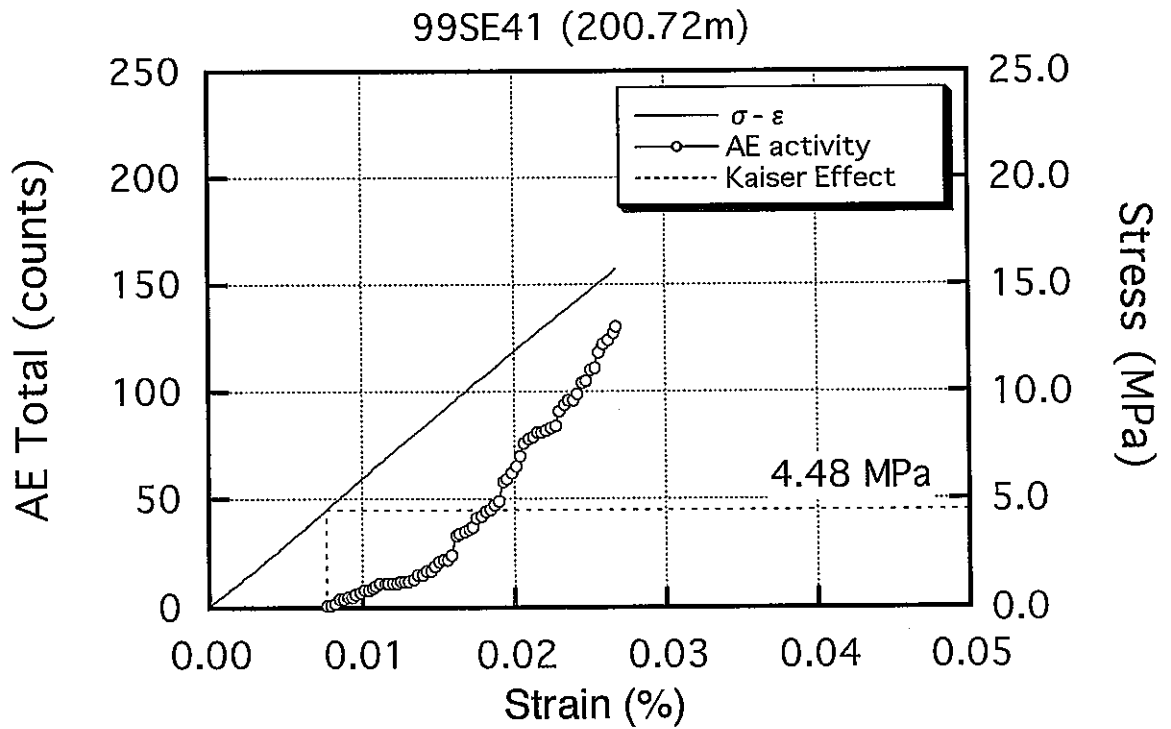
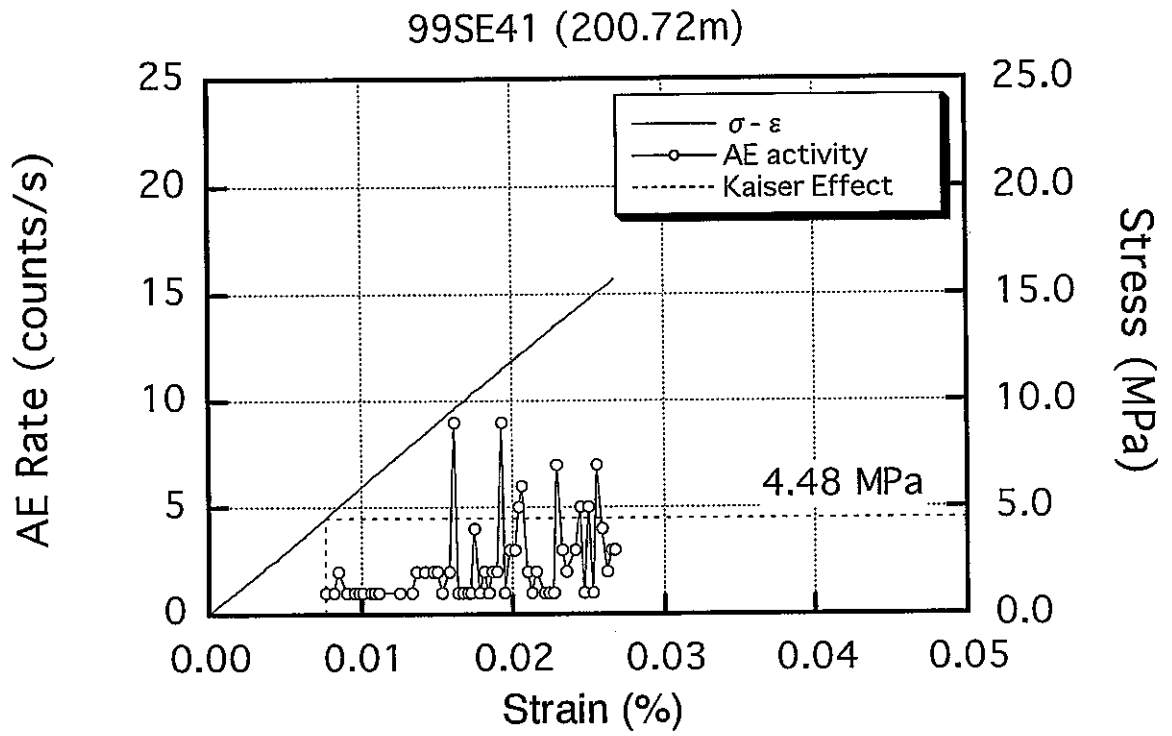


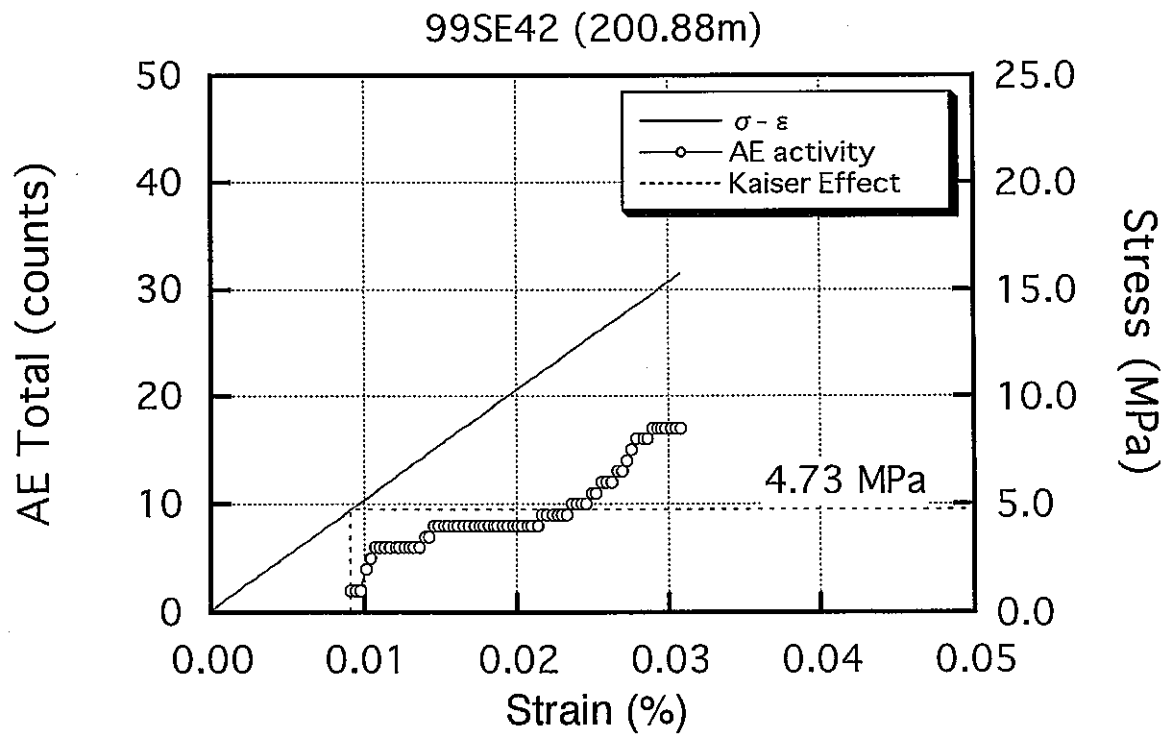
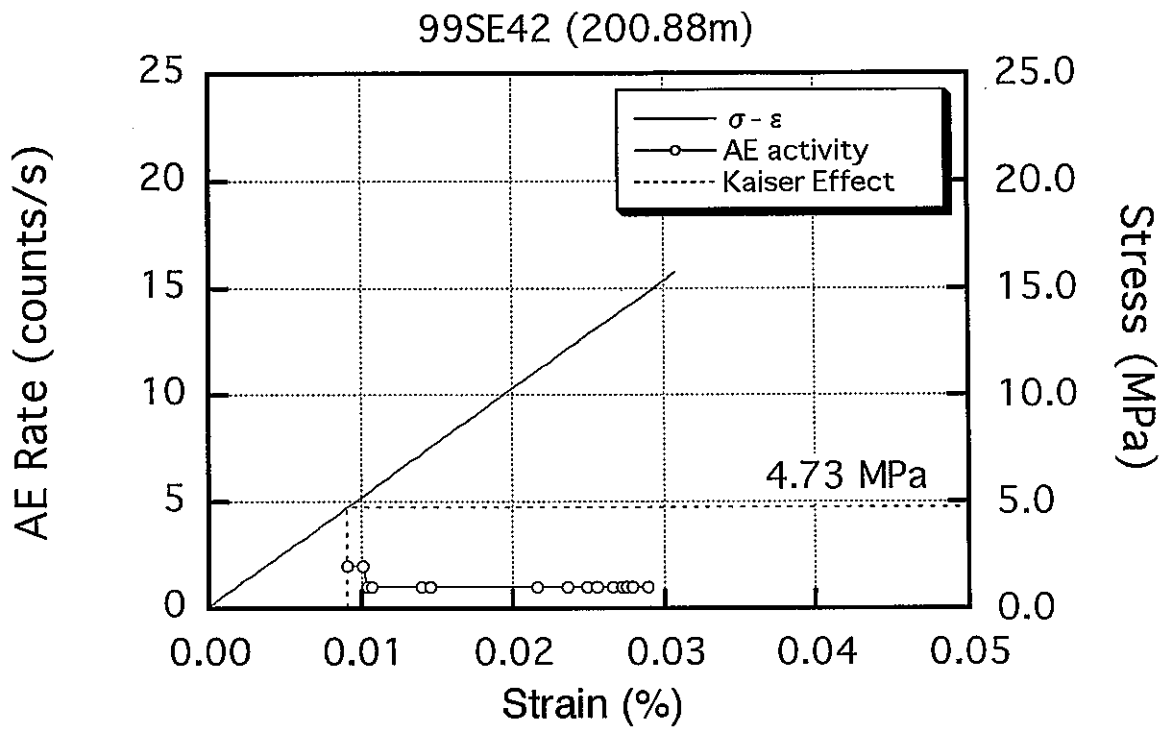


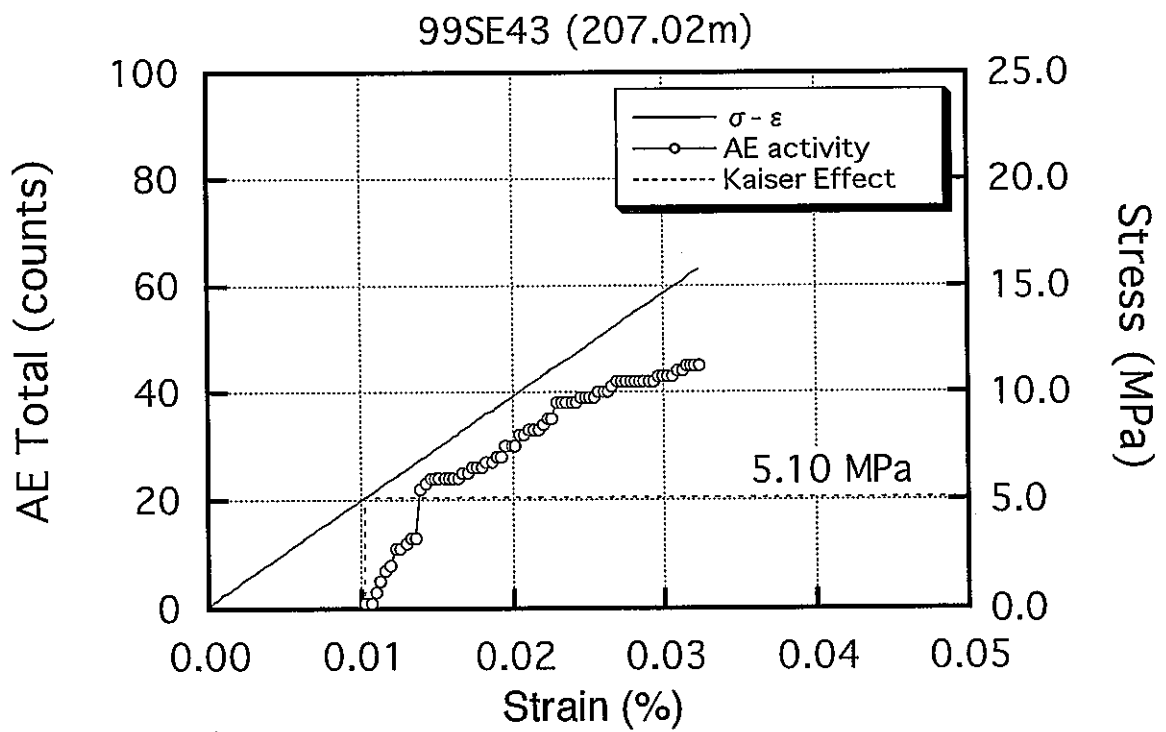
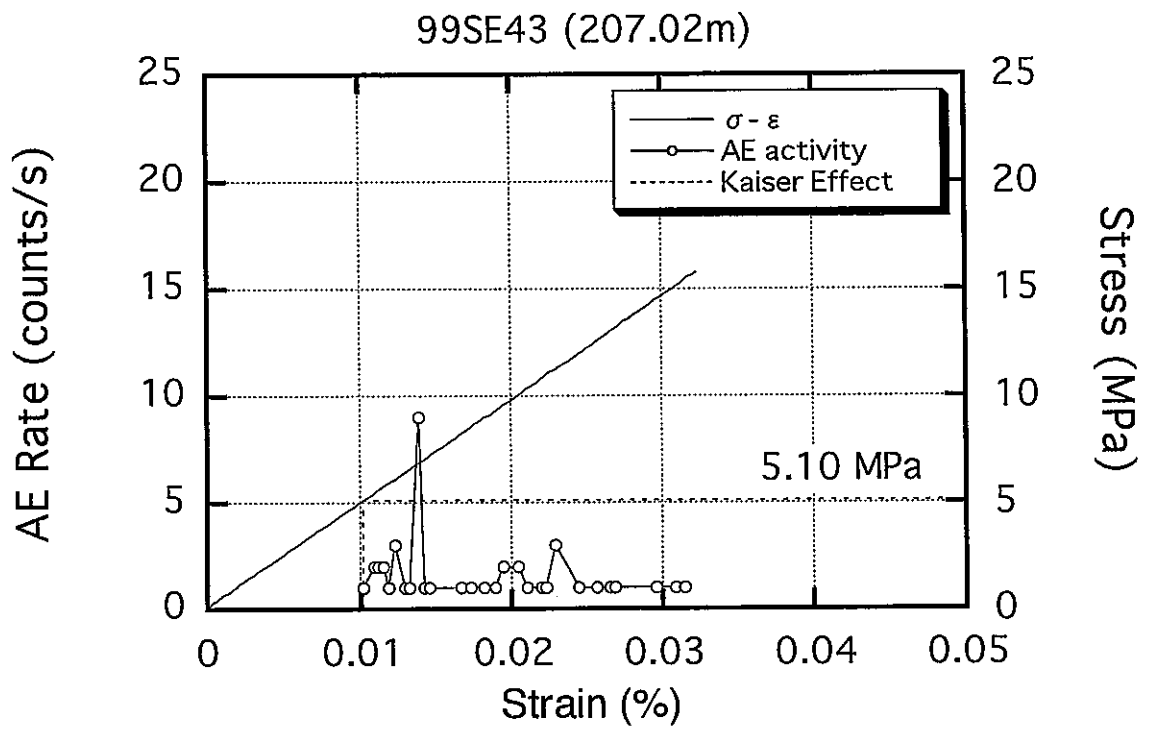


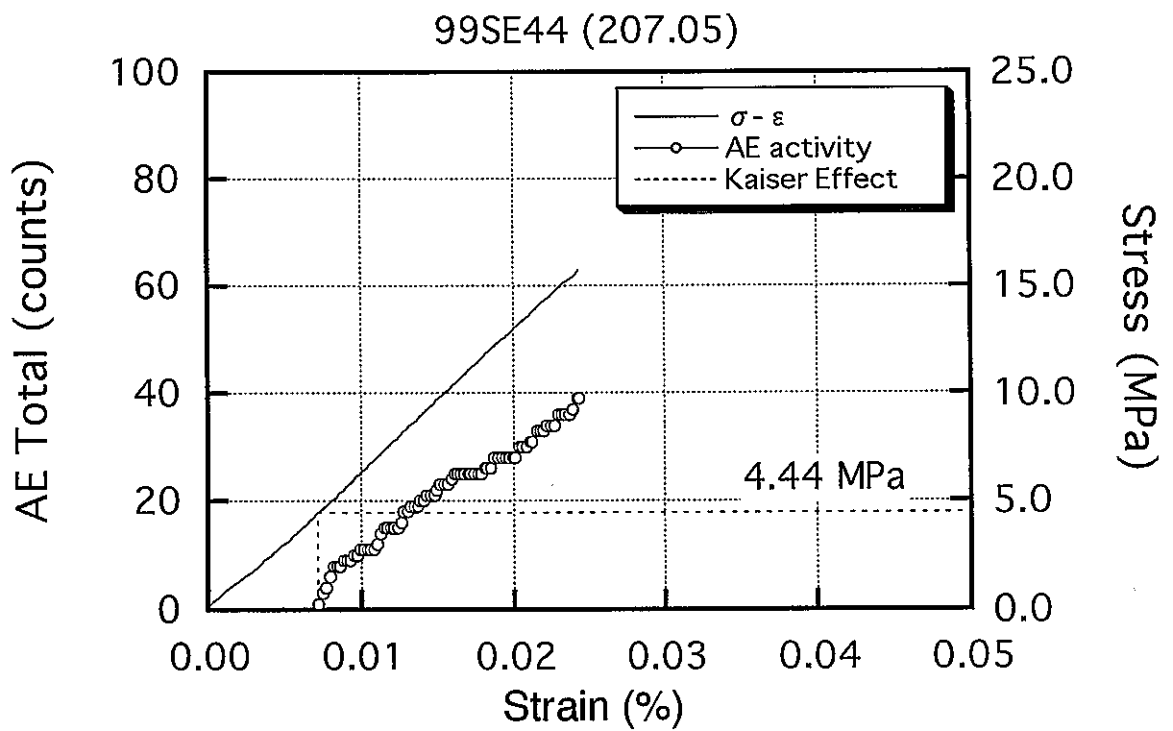
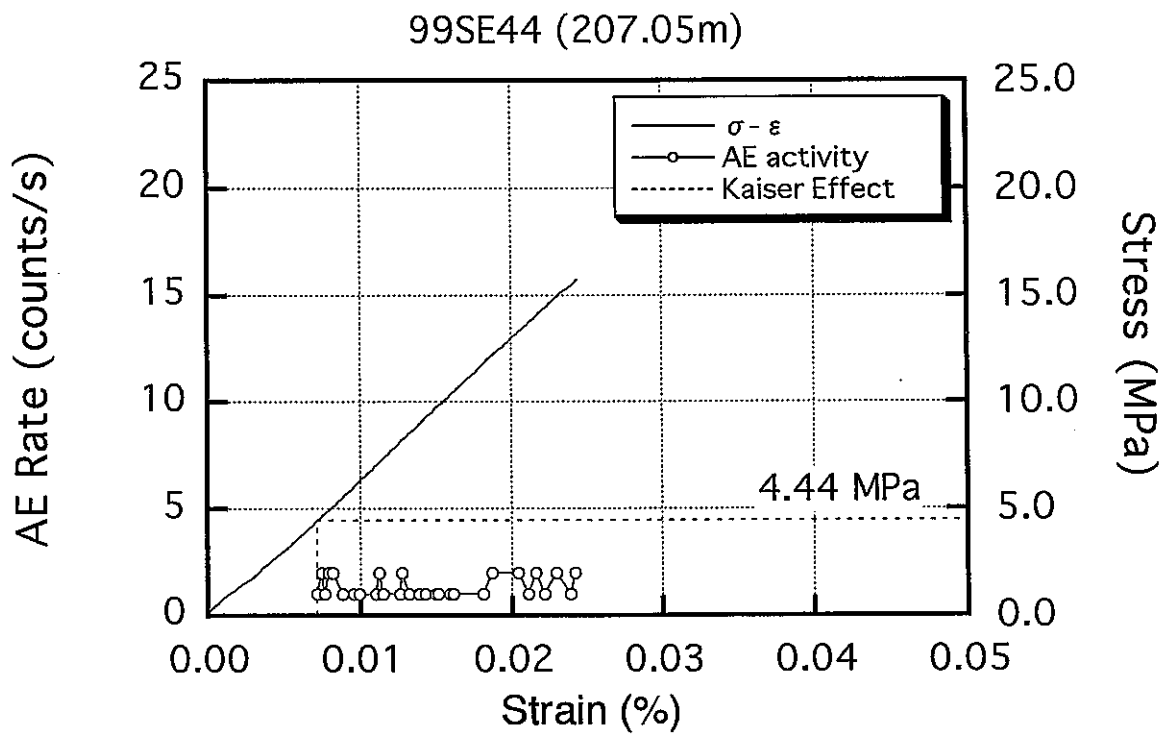


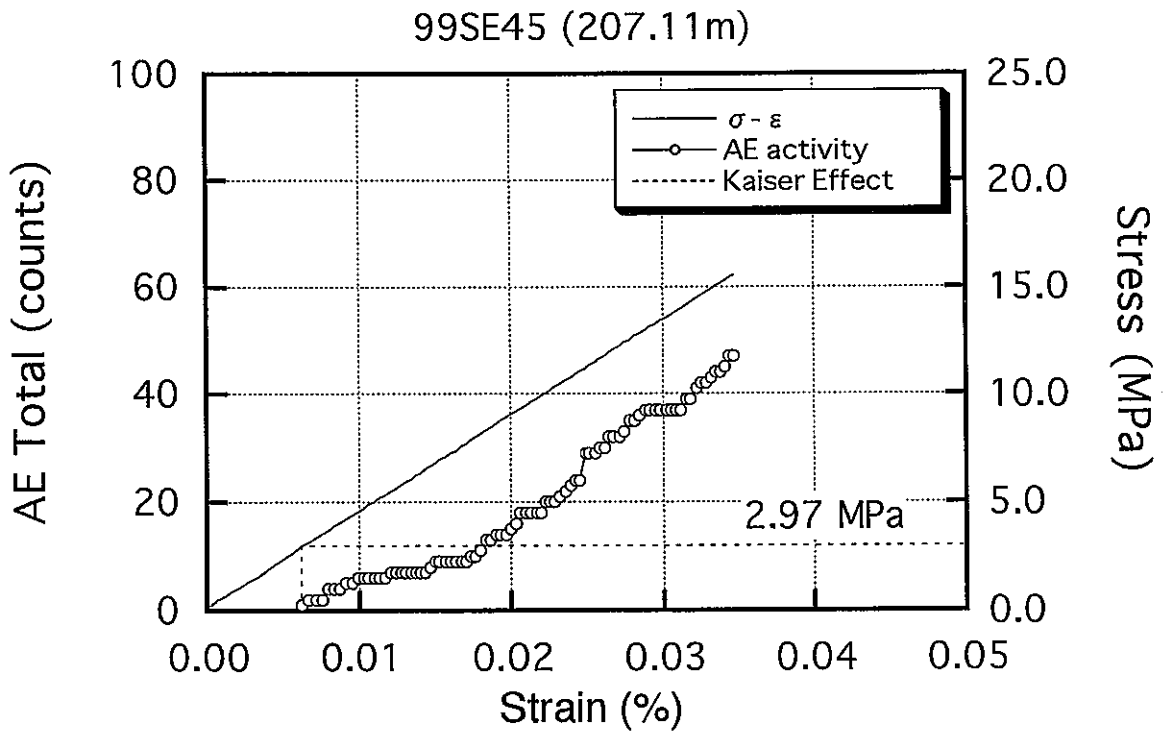
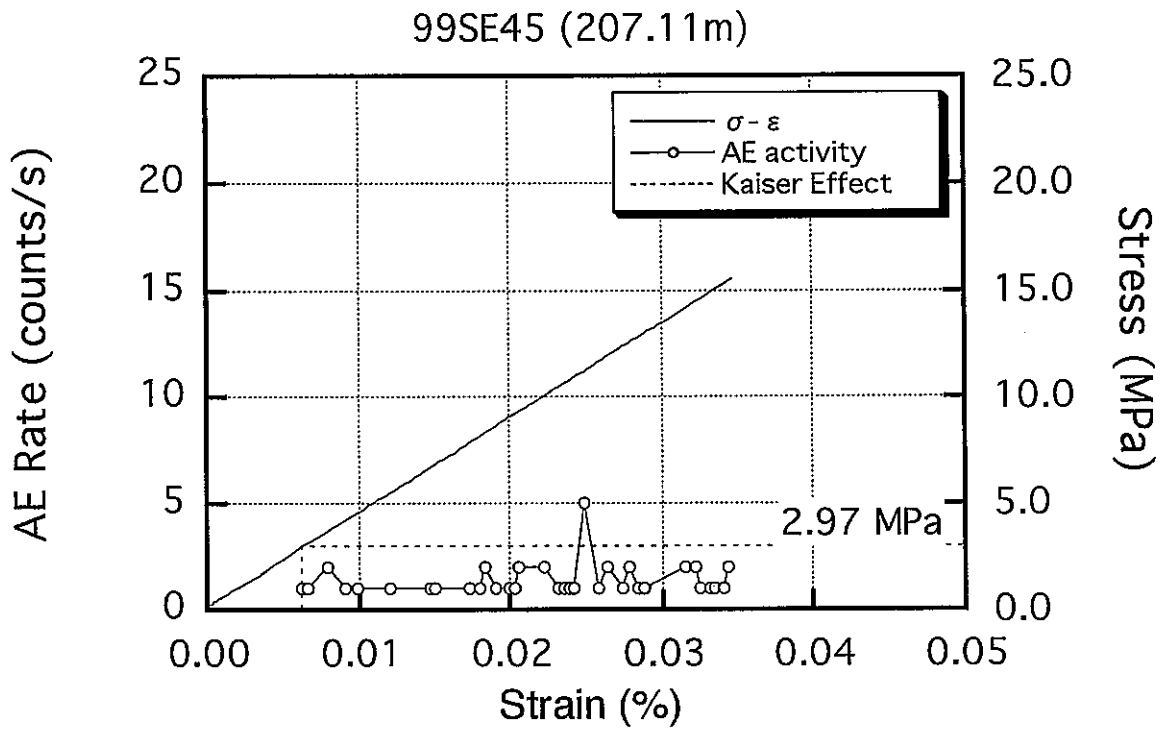


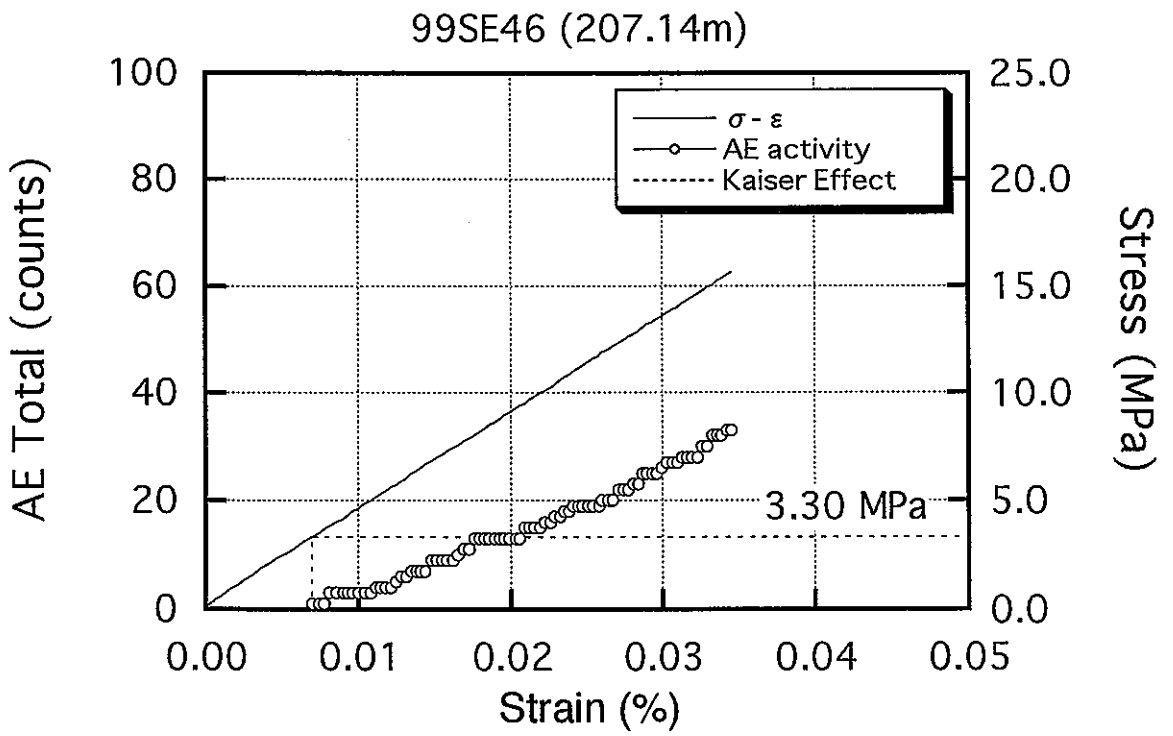
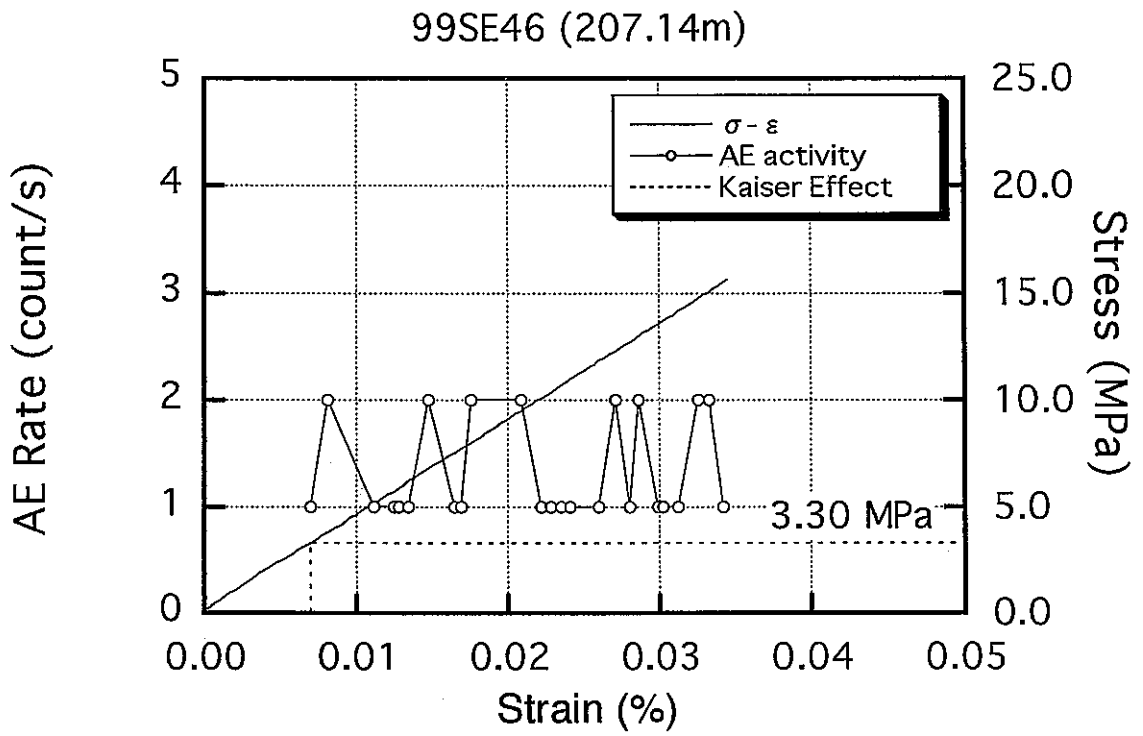


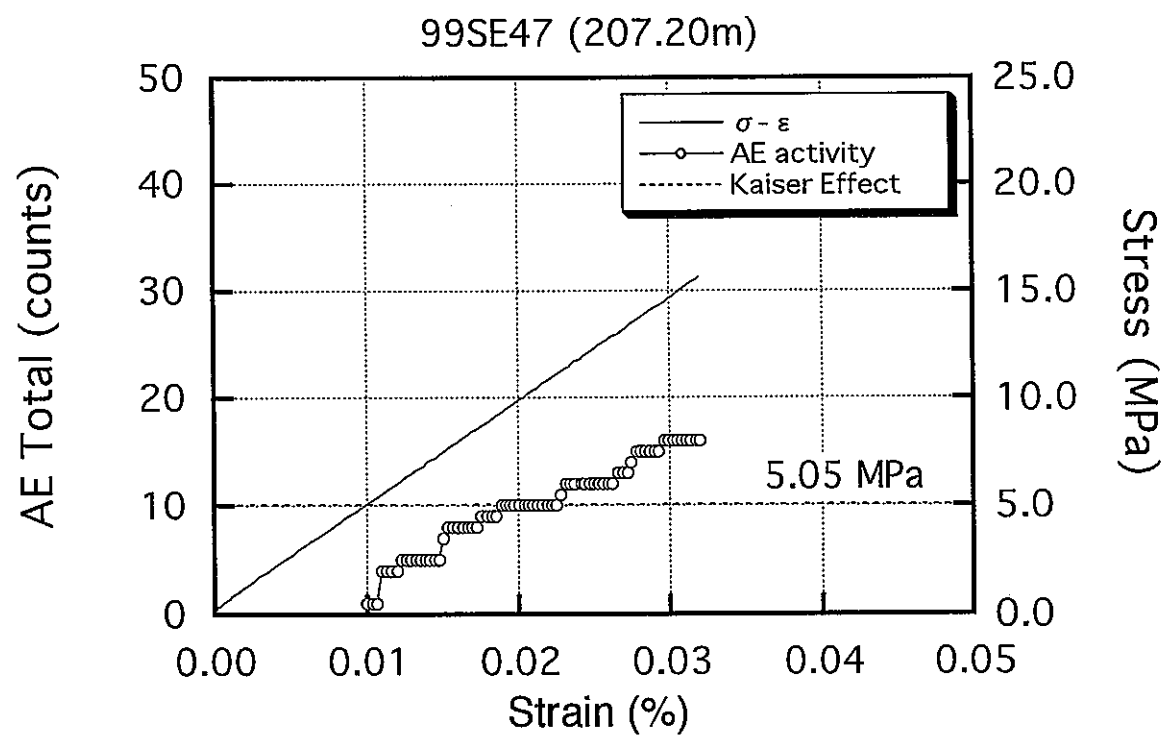
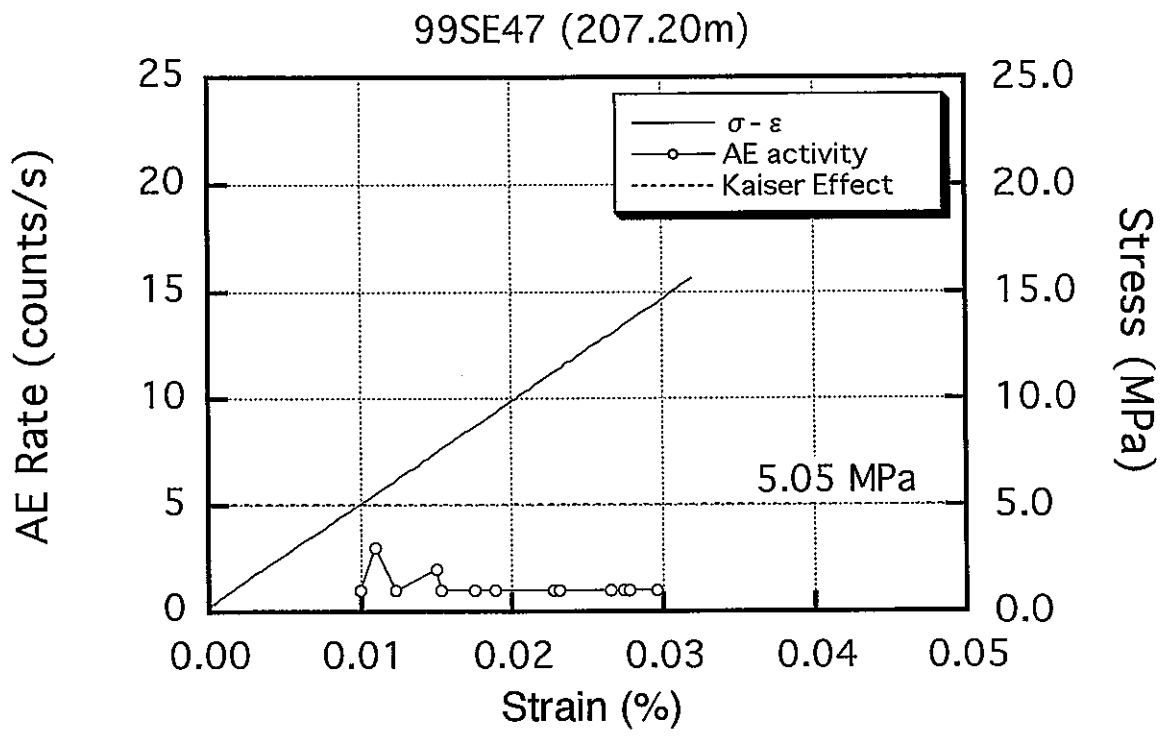


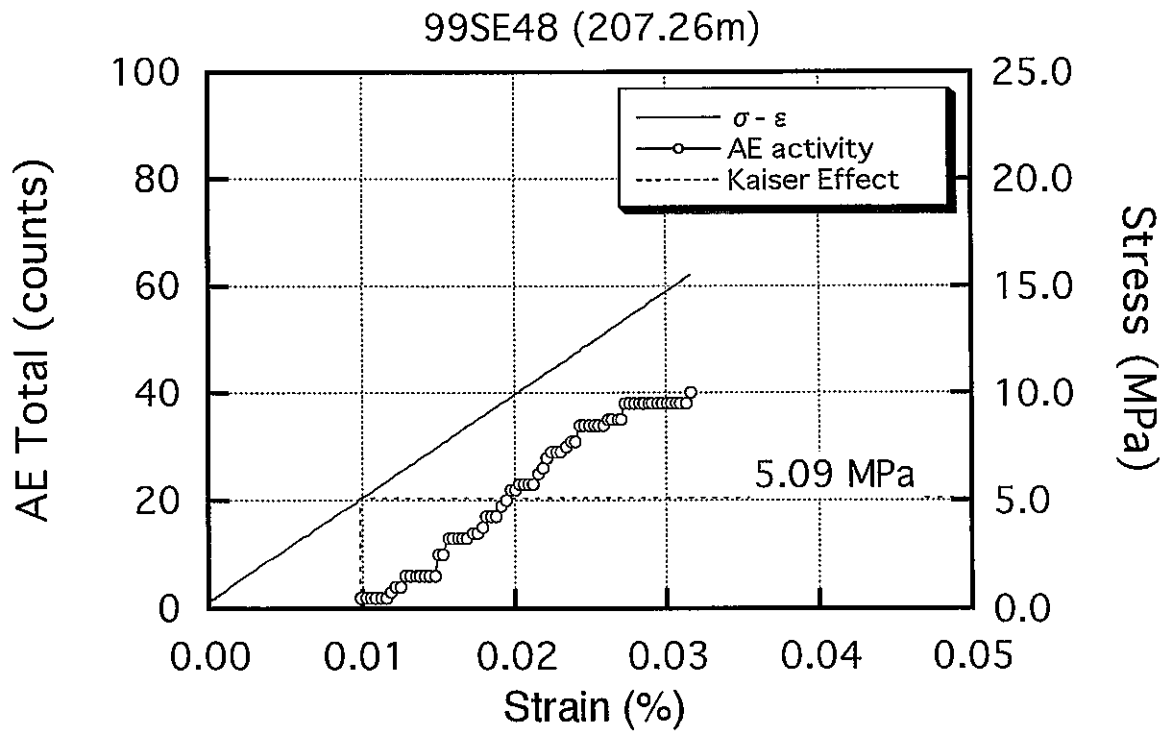
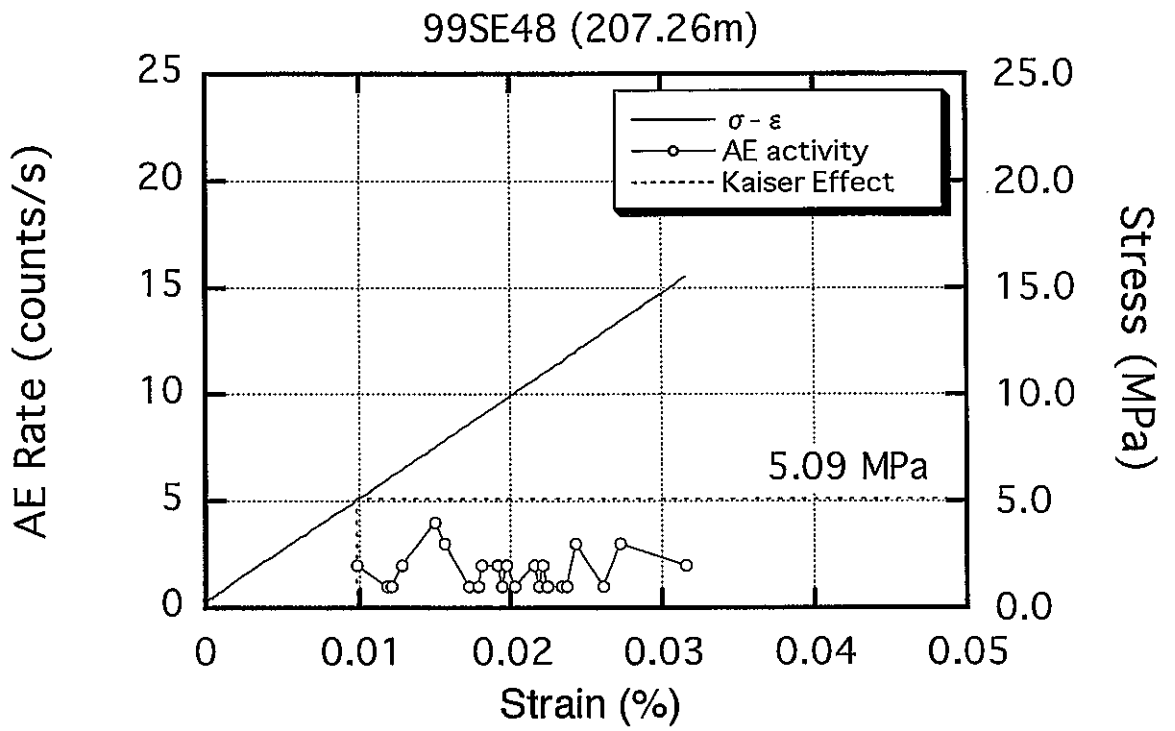


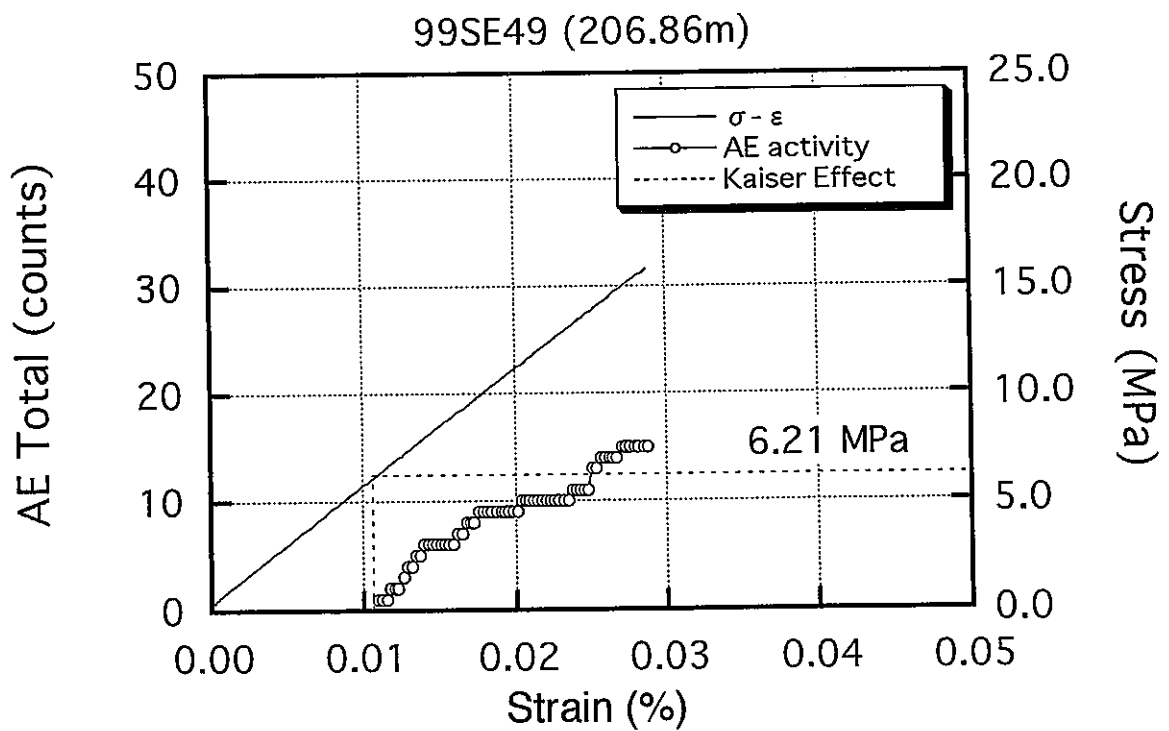
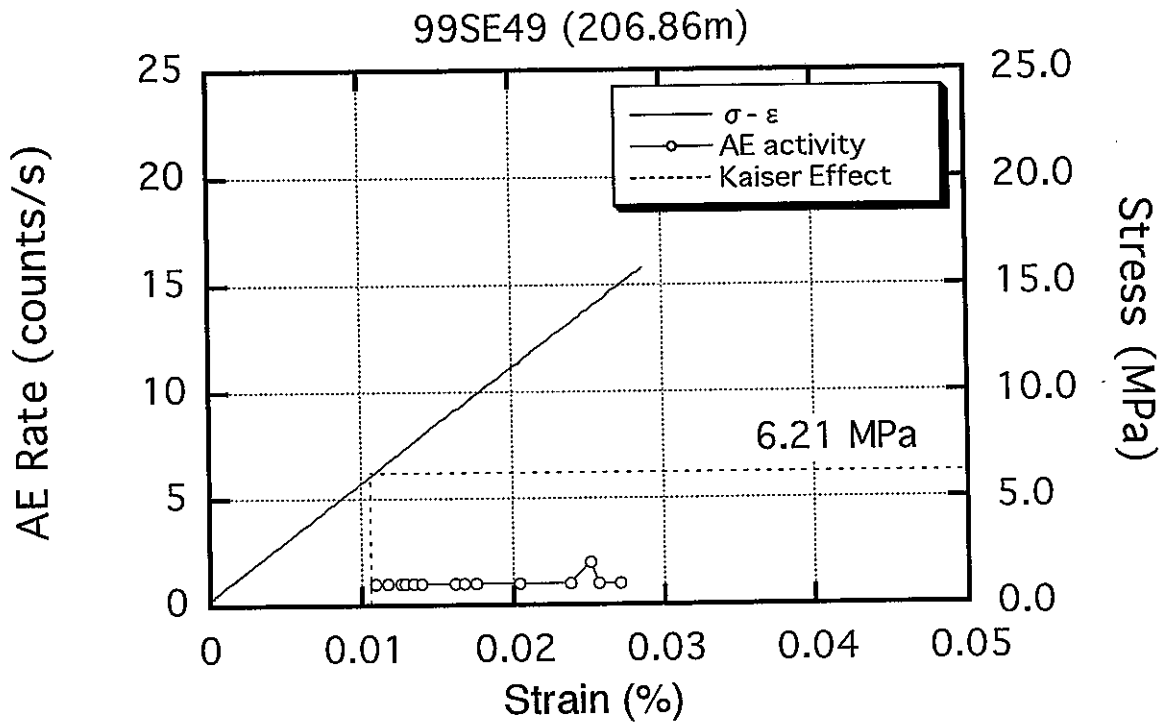


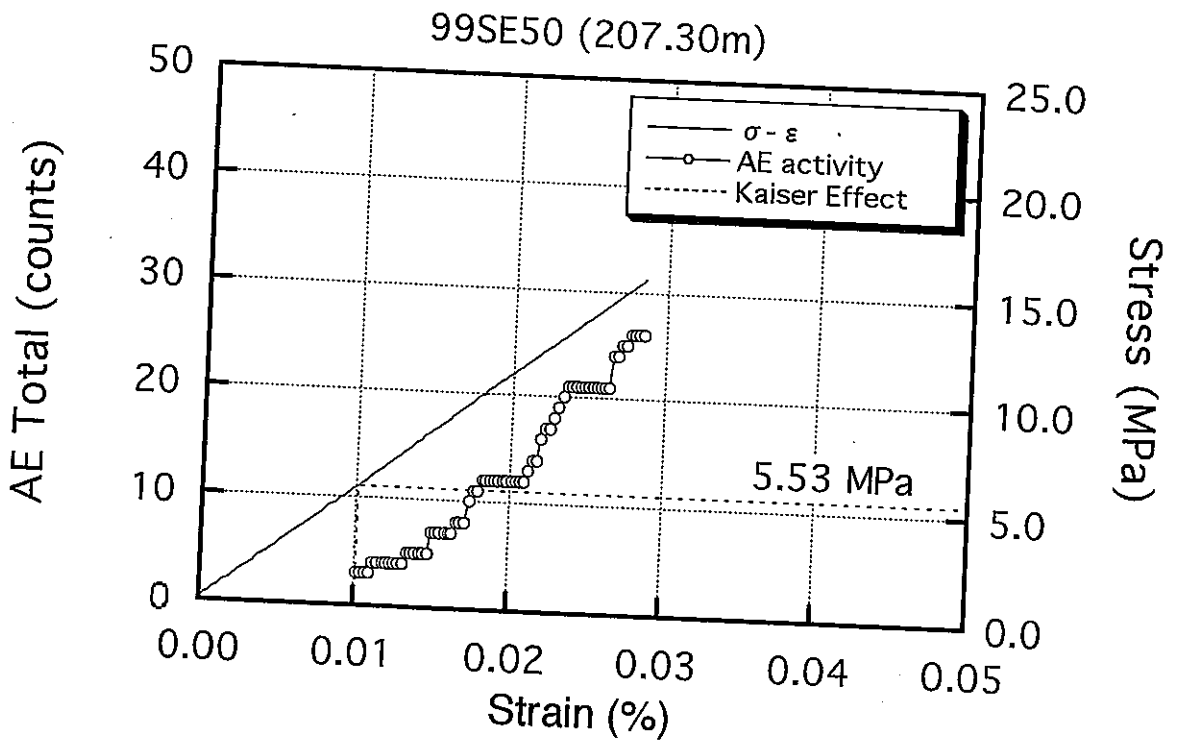
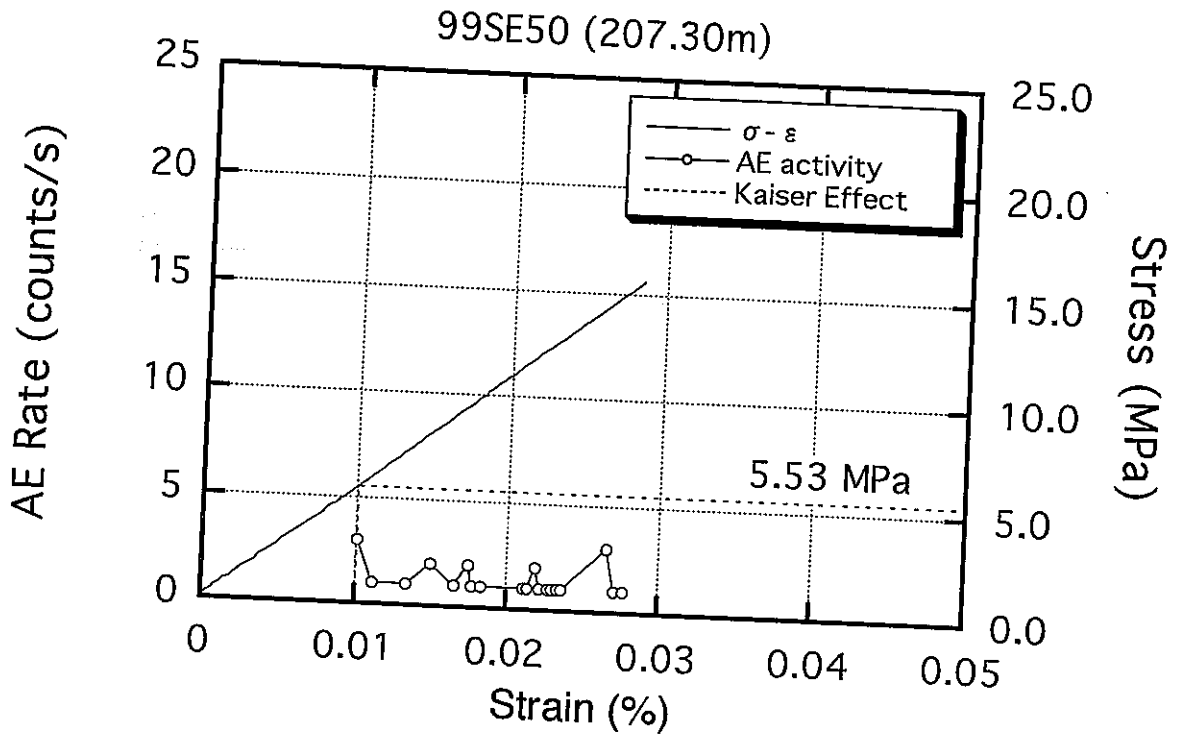


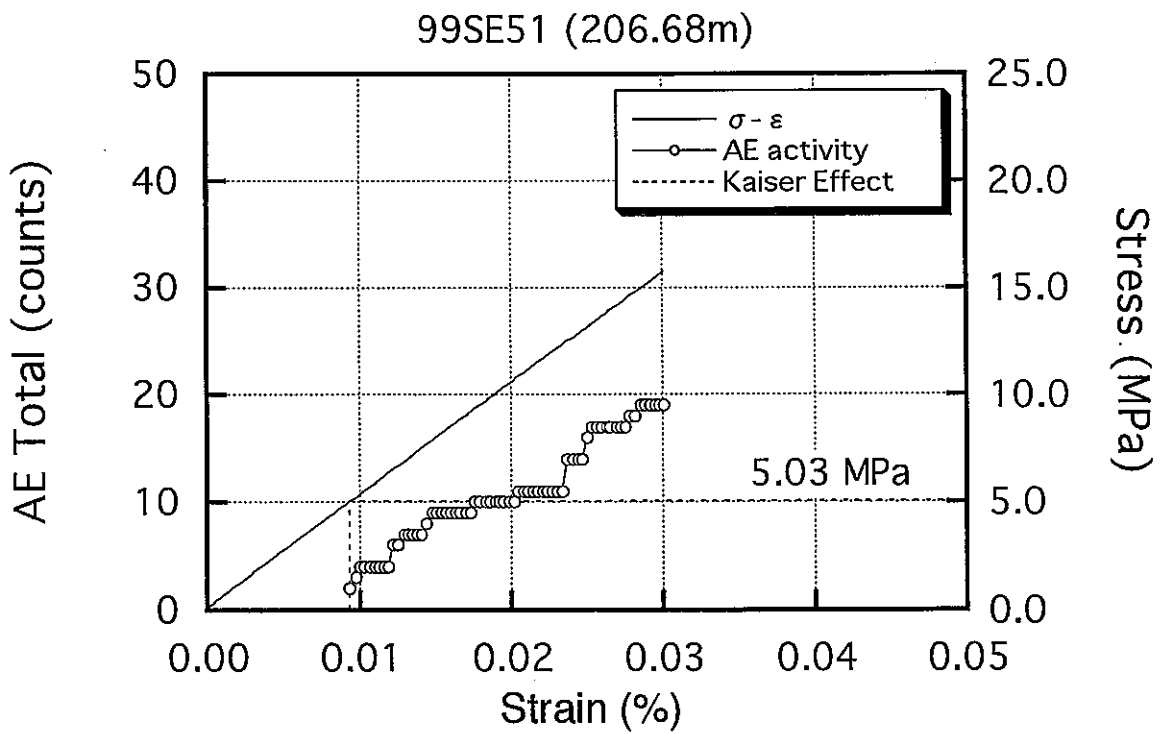
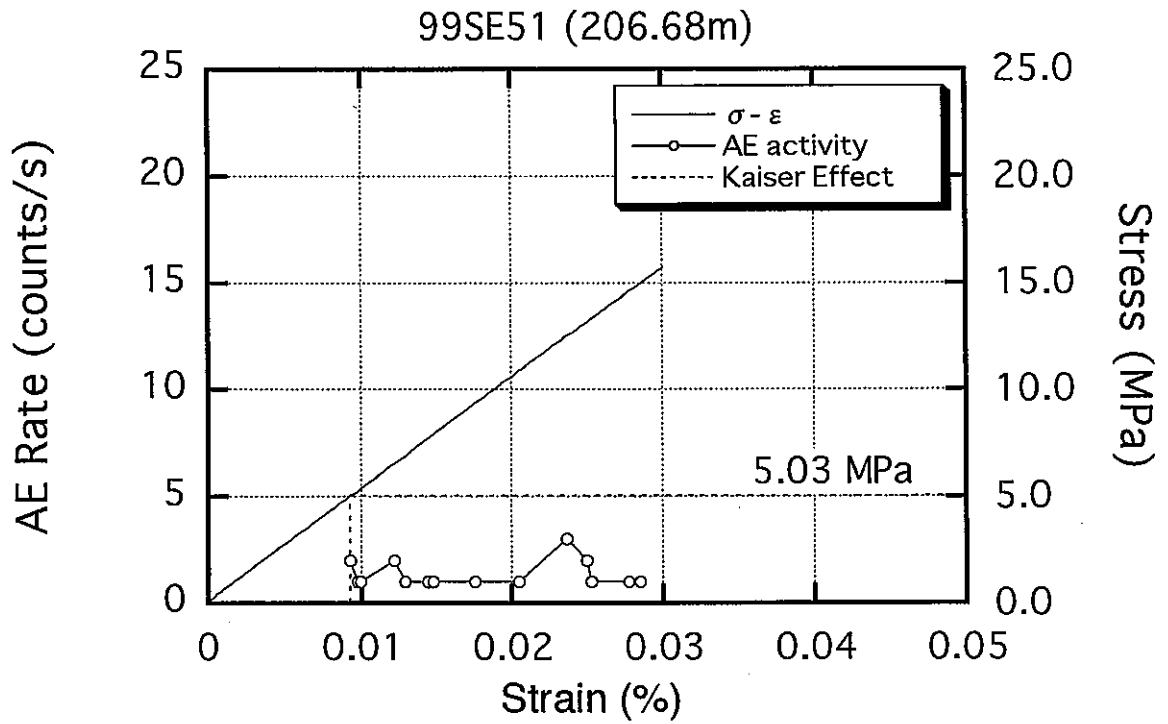


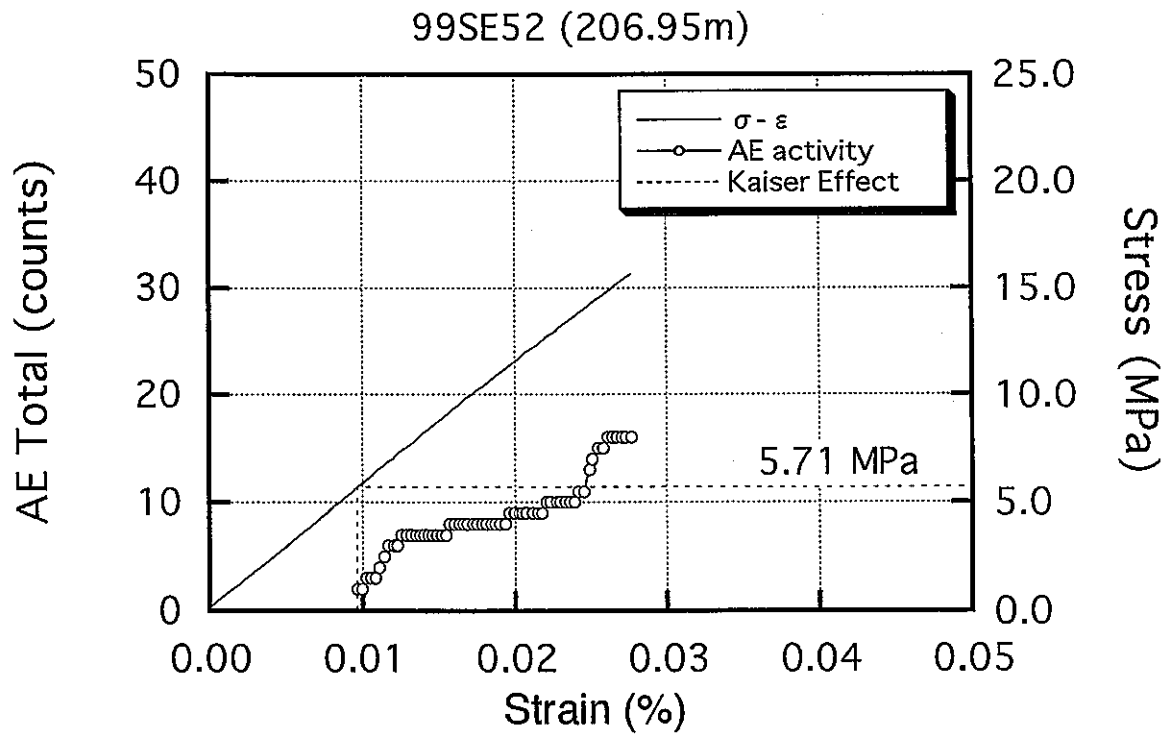
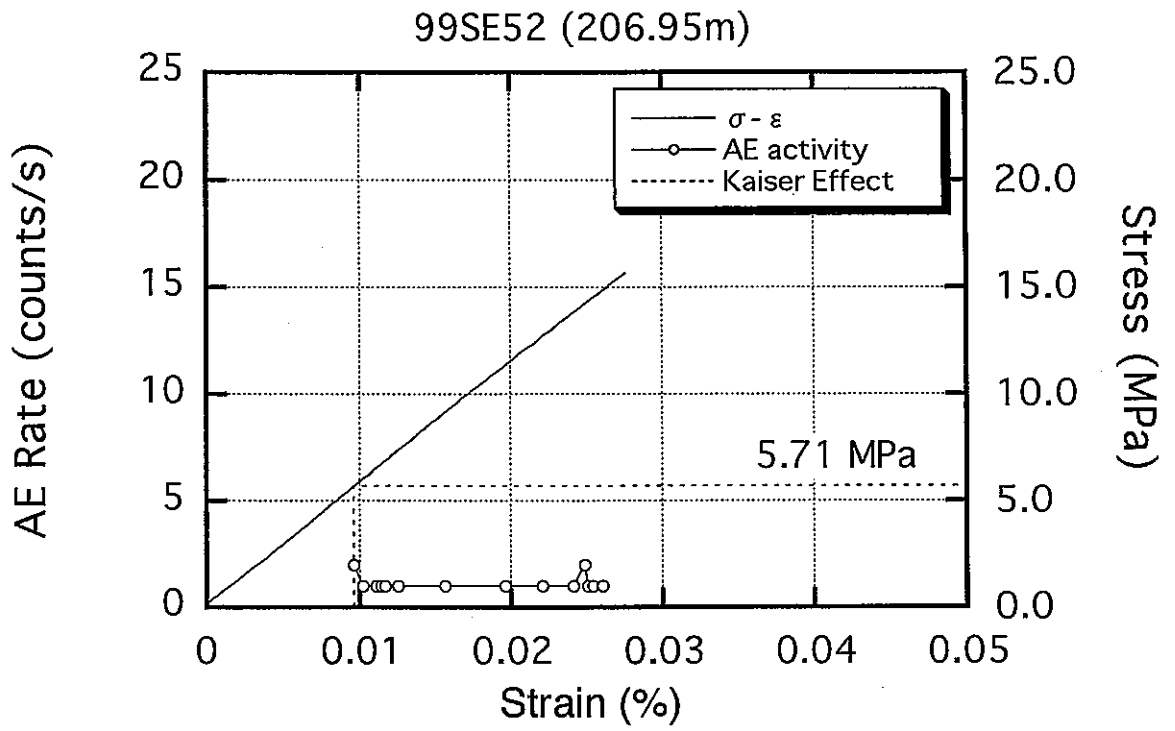




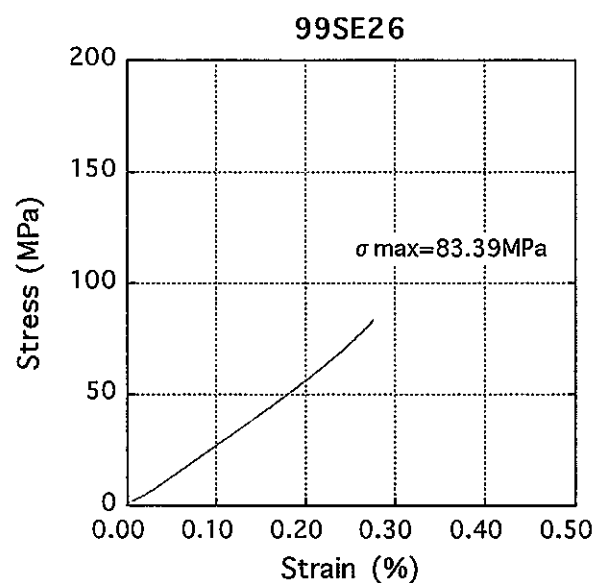
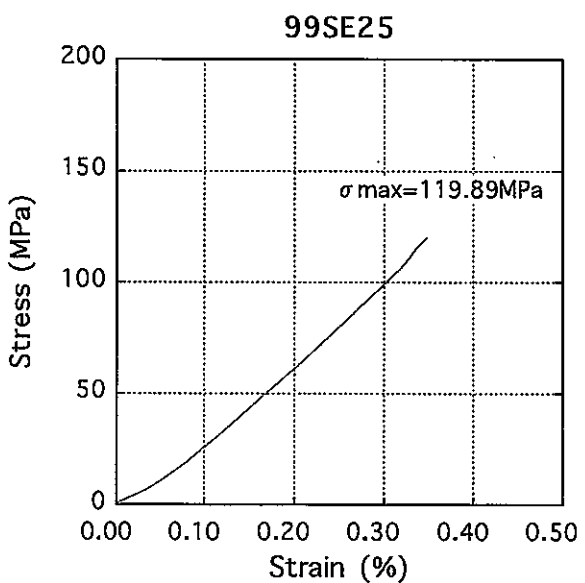
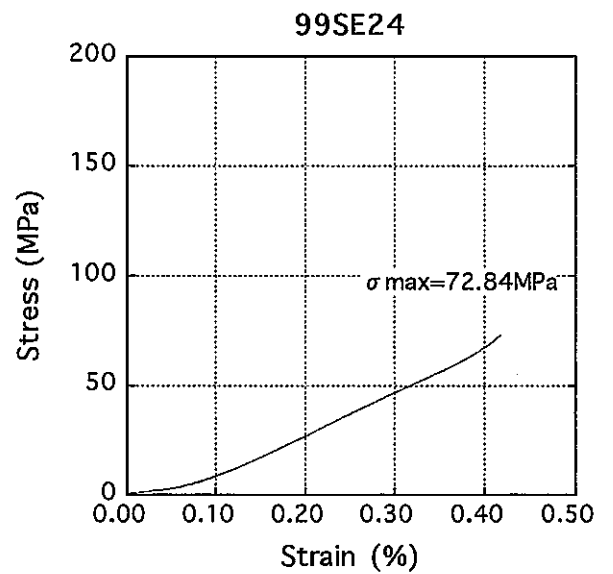
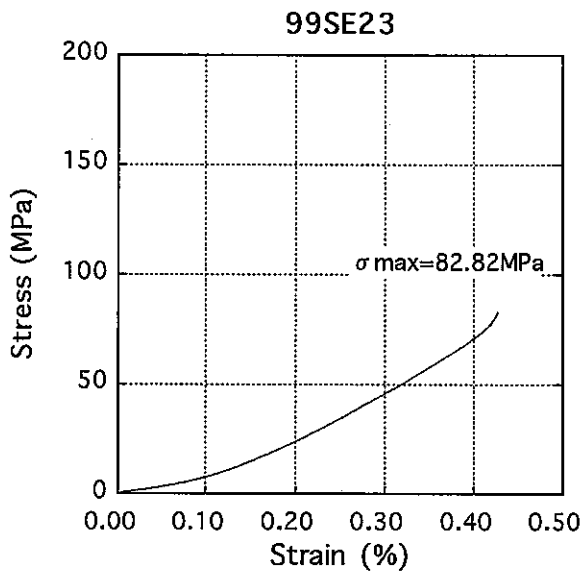
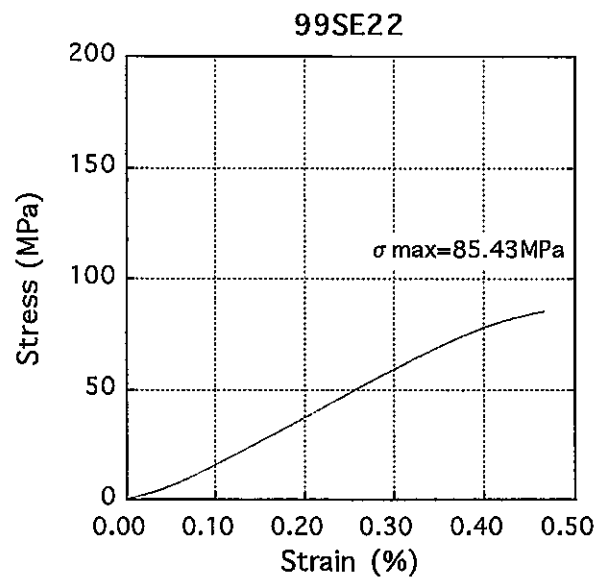
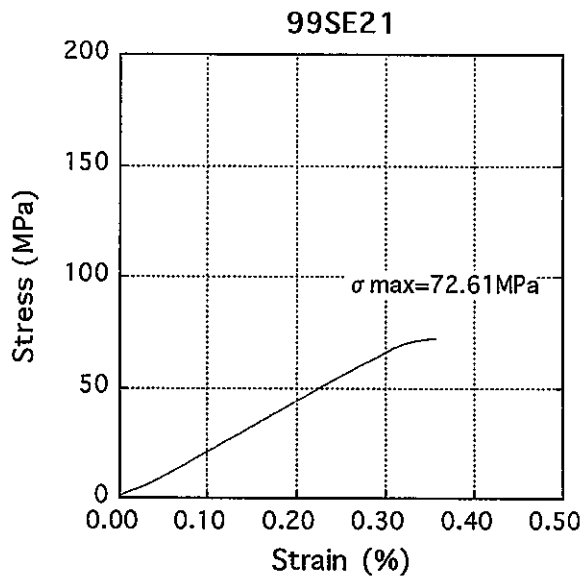


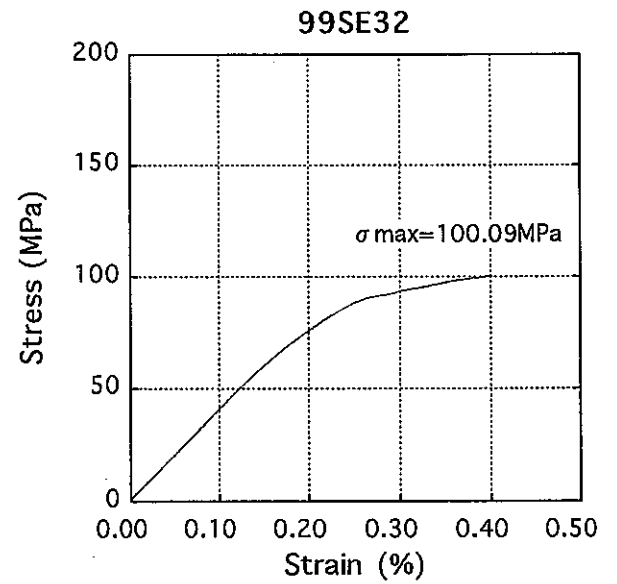
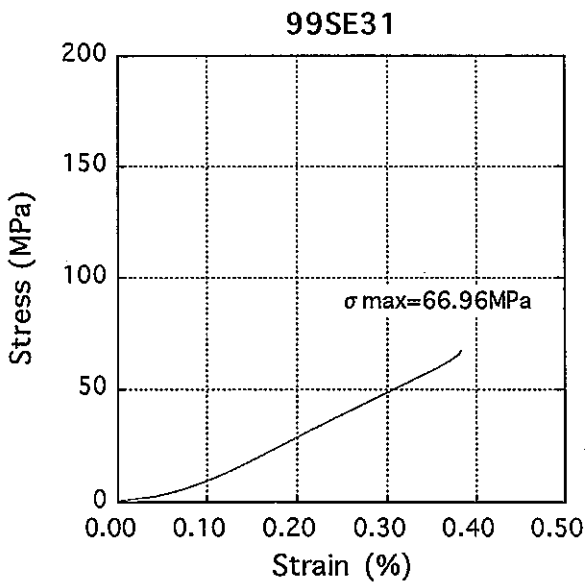
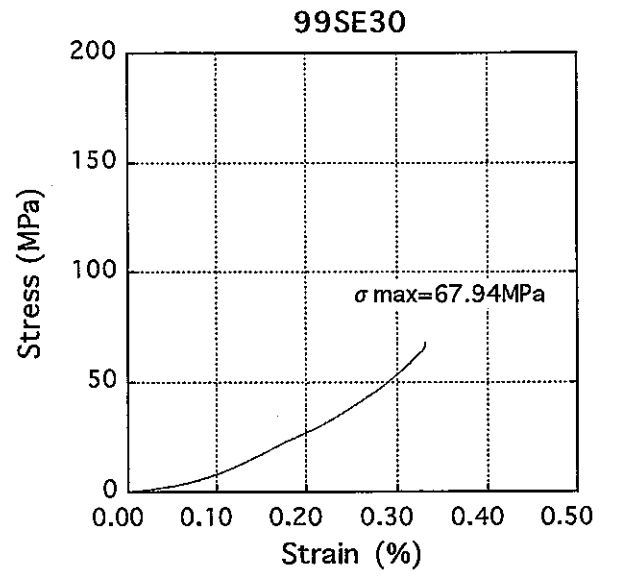
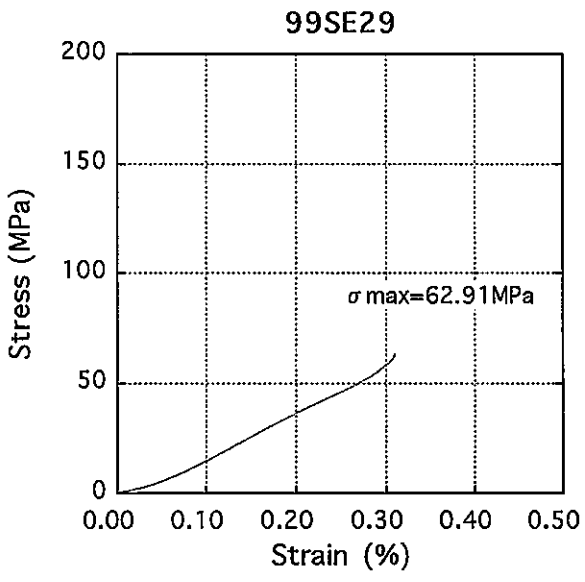
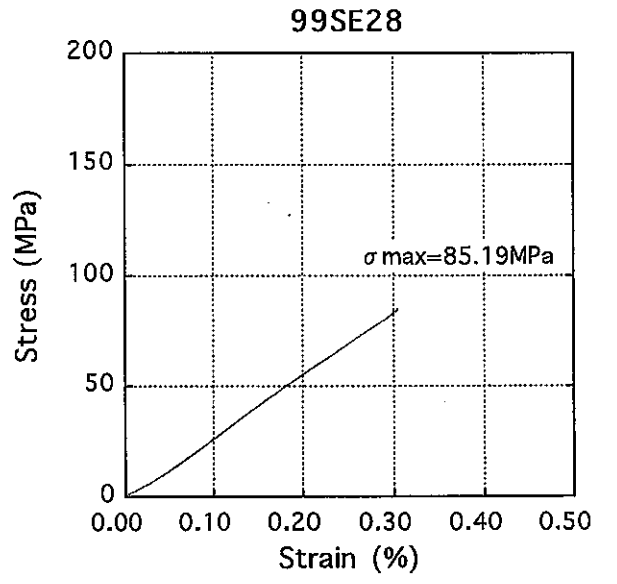
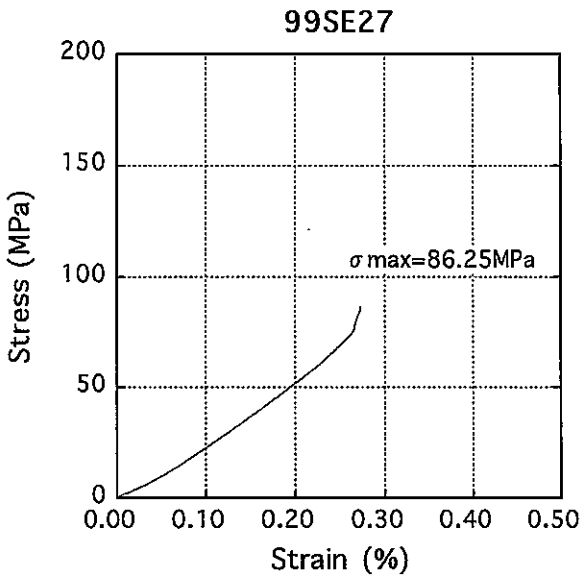


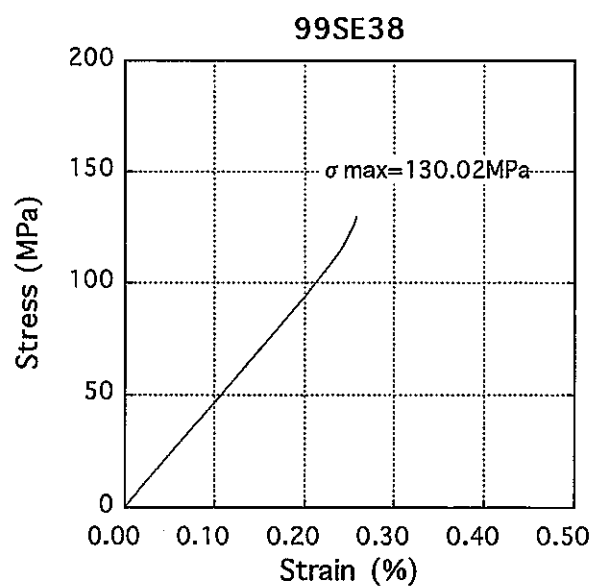
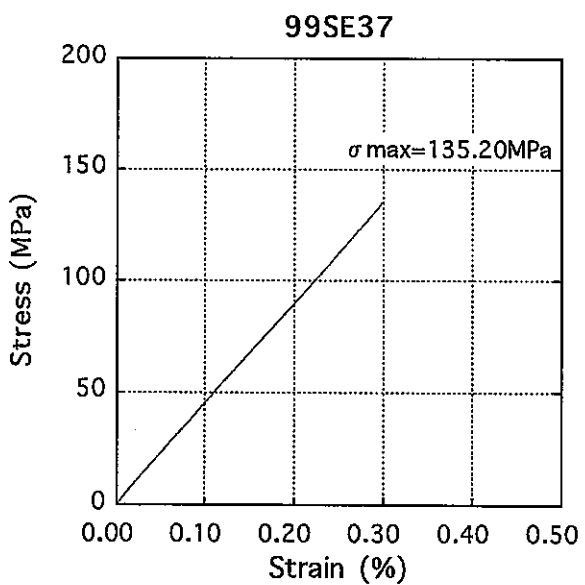
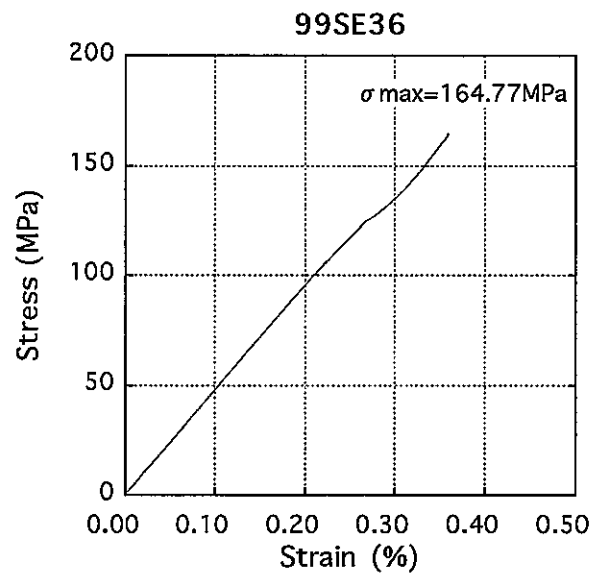
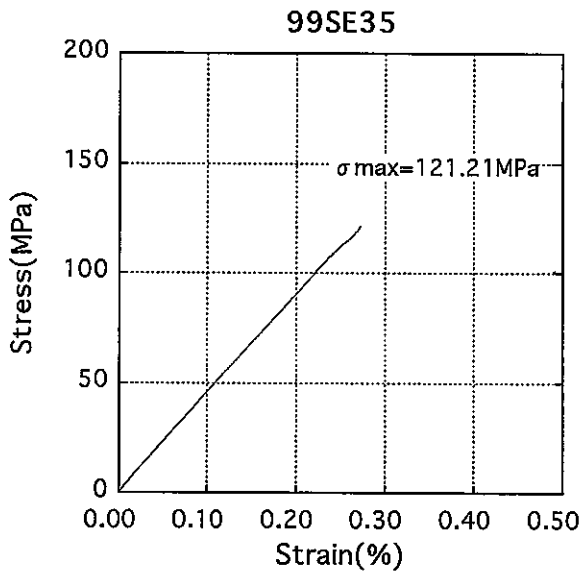
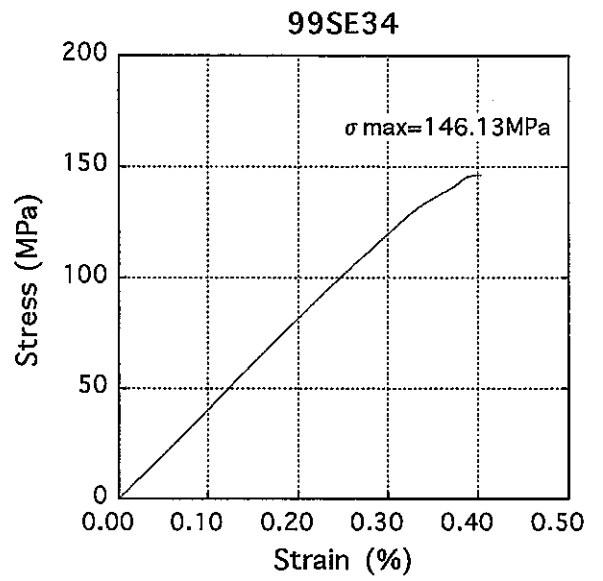
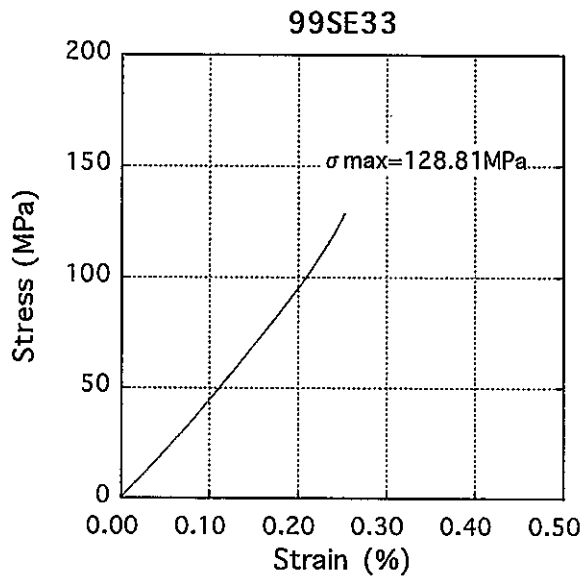


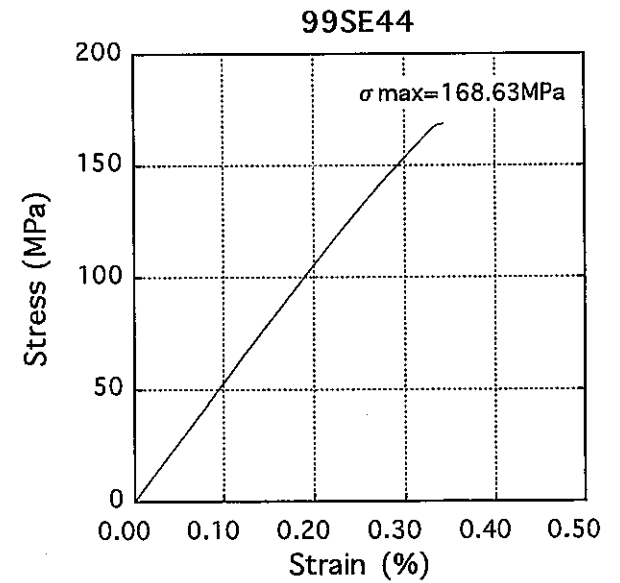
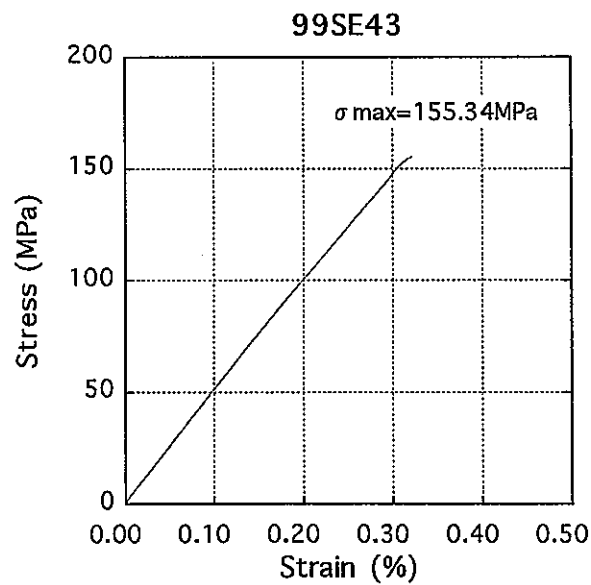
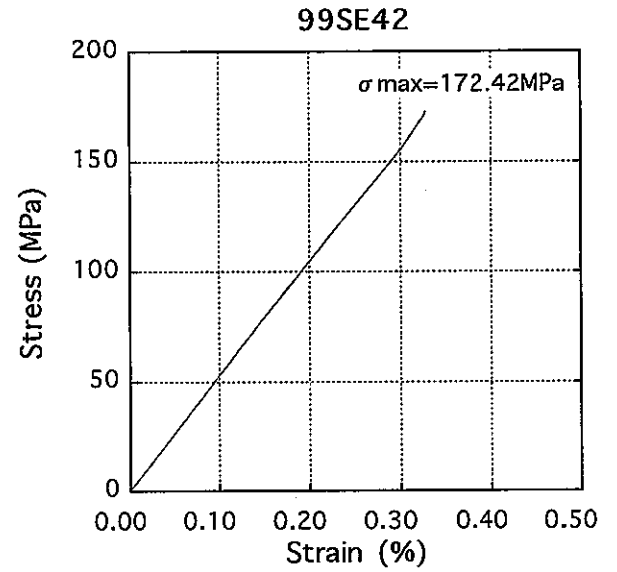
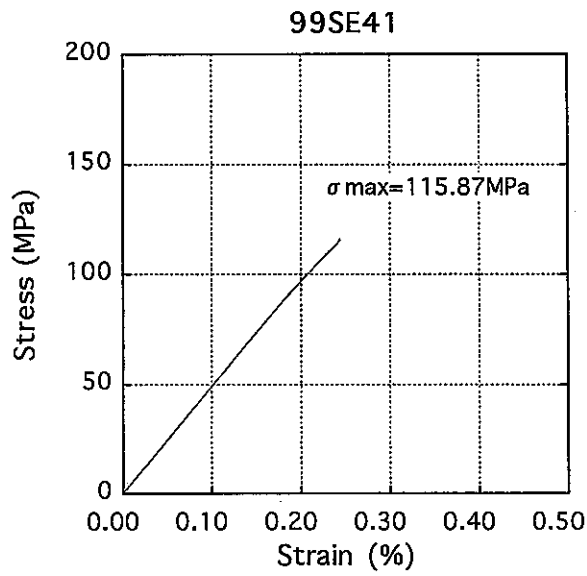
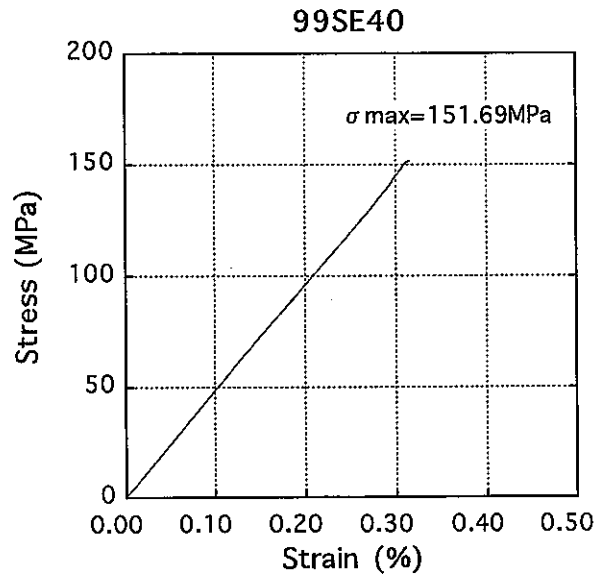
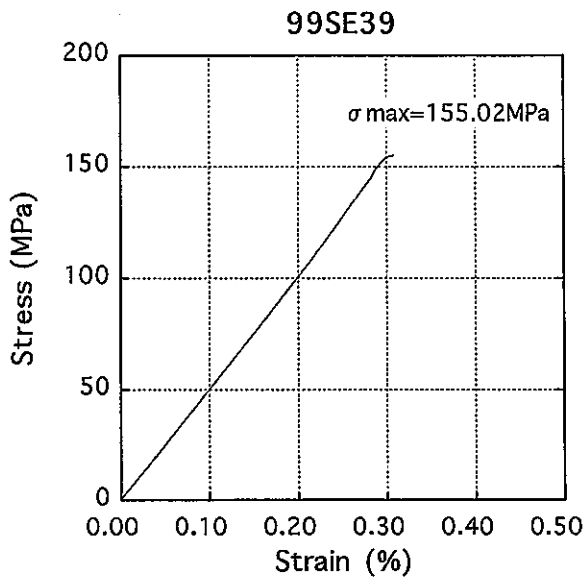


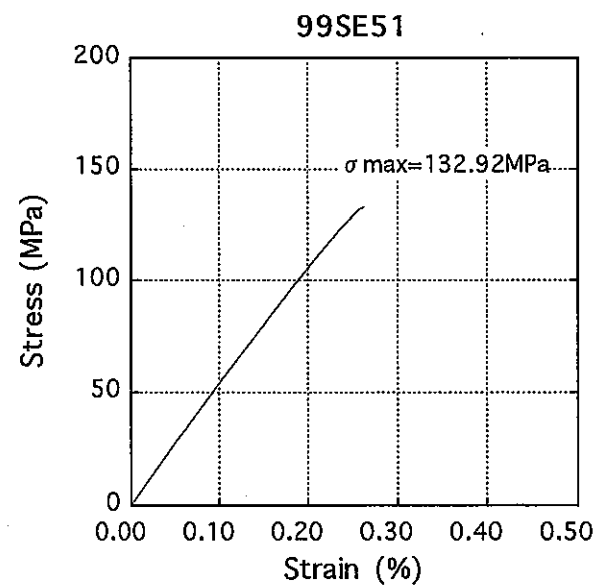
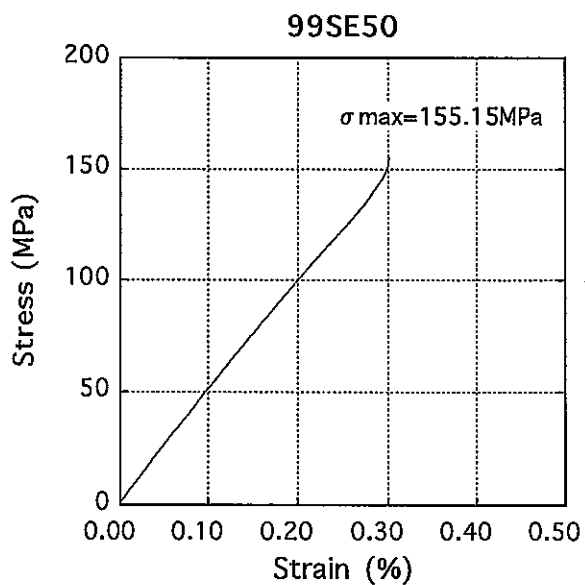
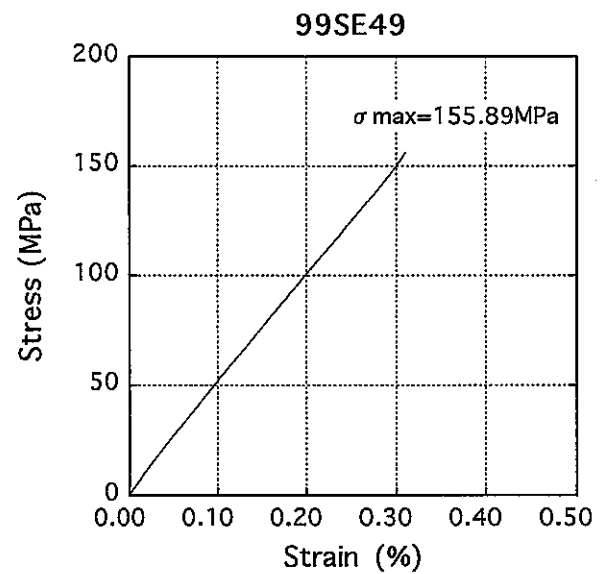
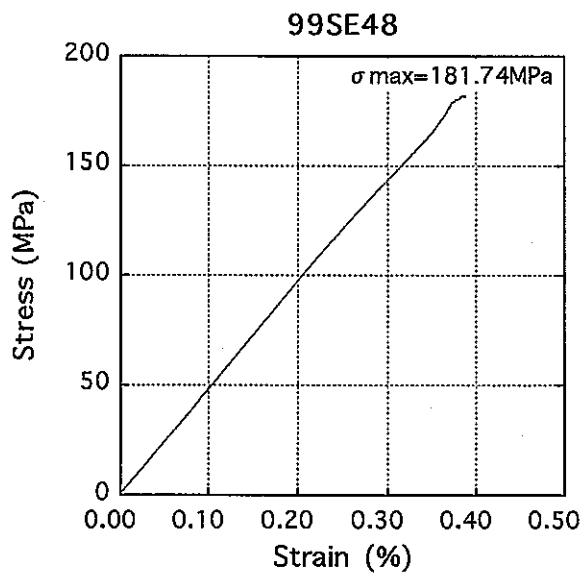
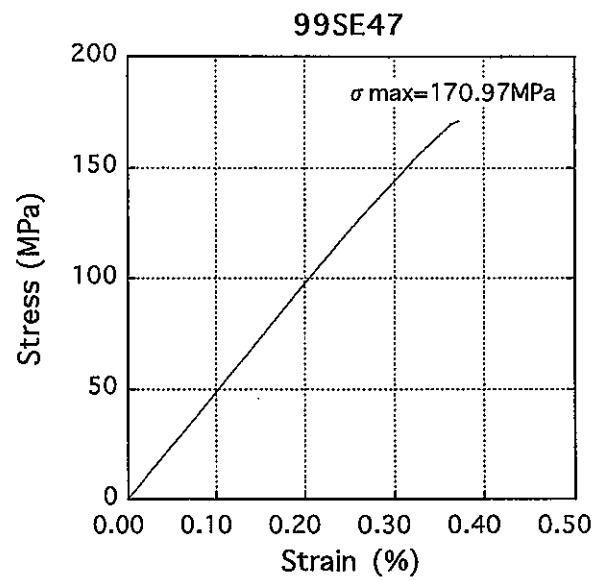
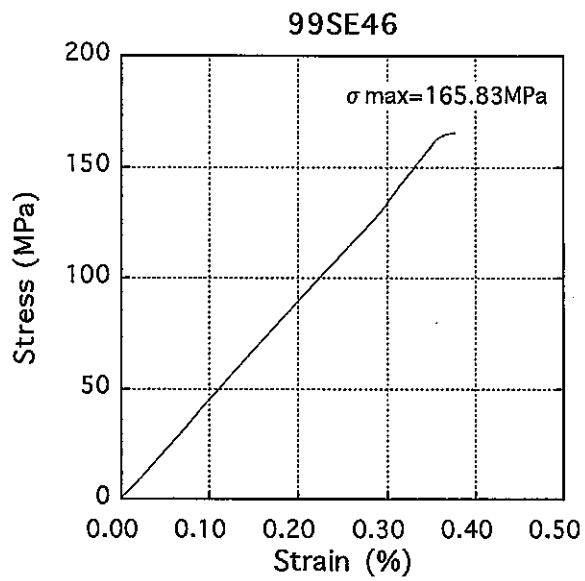
2.花崗岩一軸壓縮試驗結果

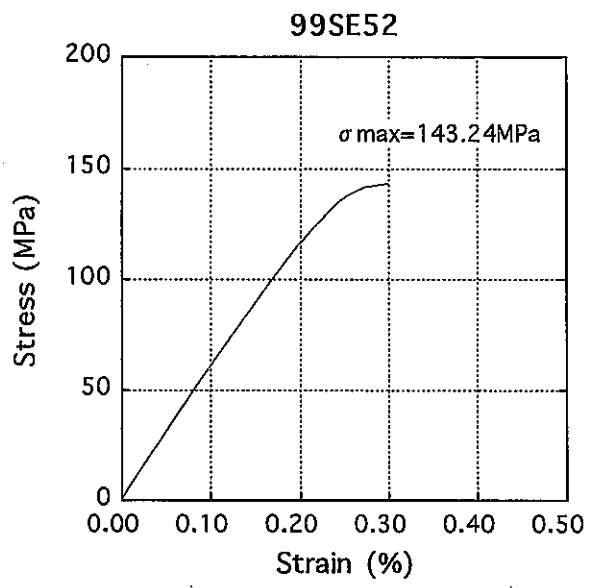




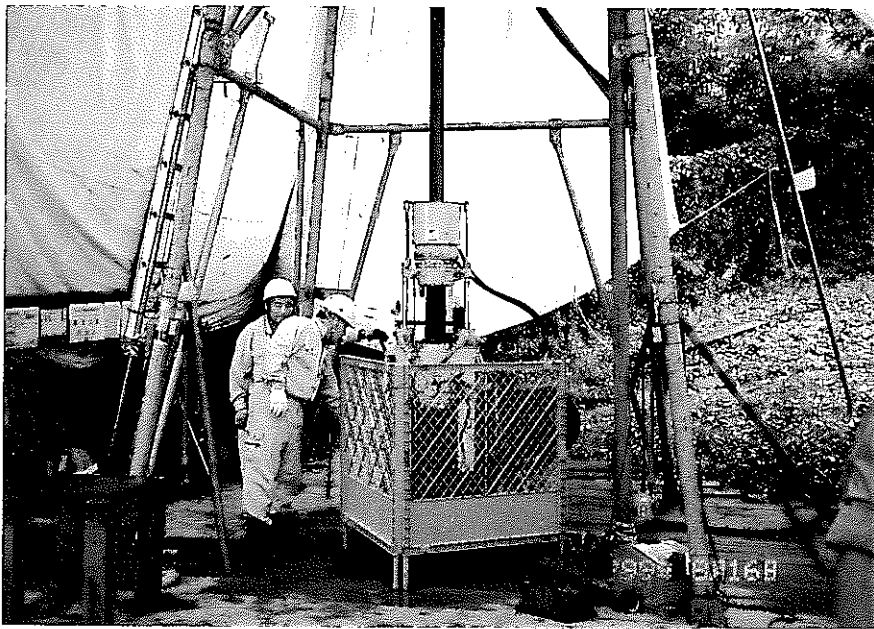








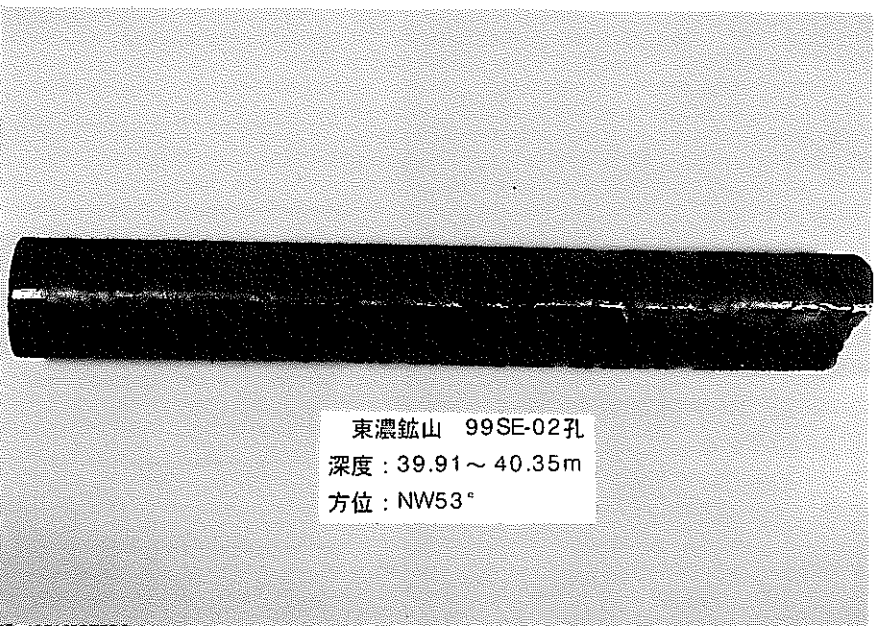
3.写真集



試錐状況



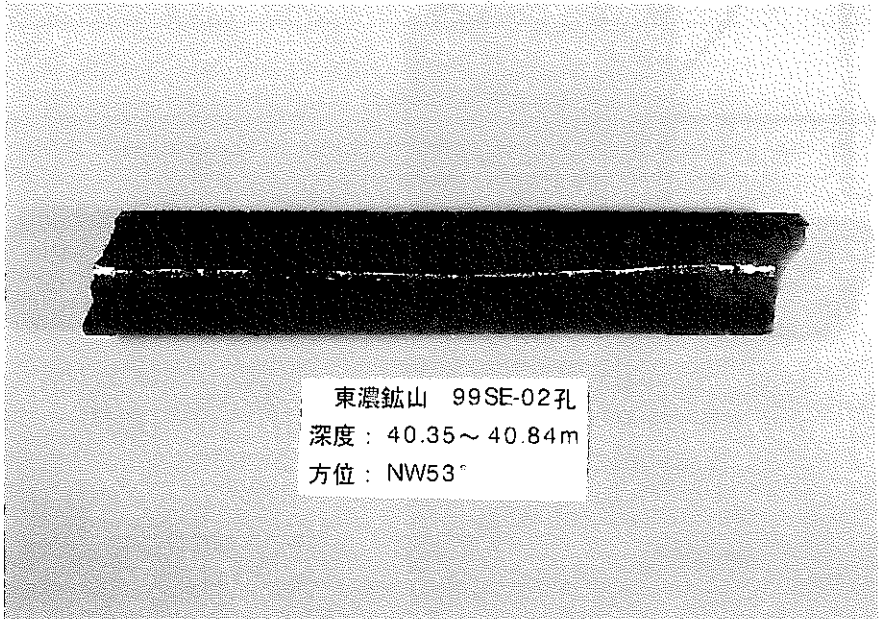
コア採取状況



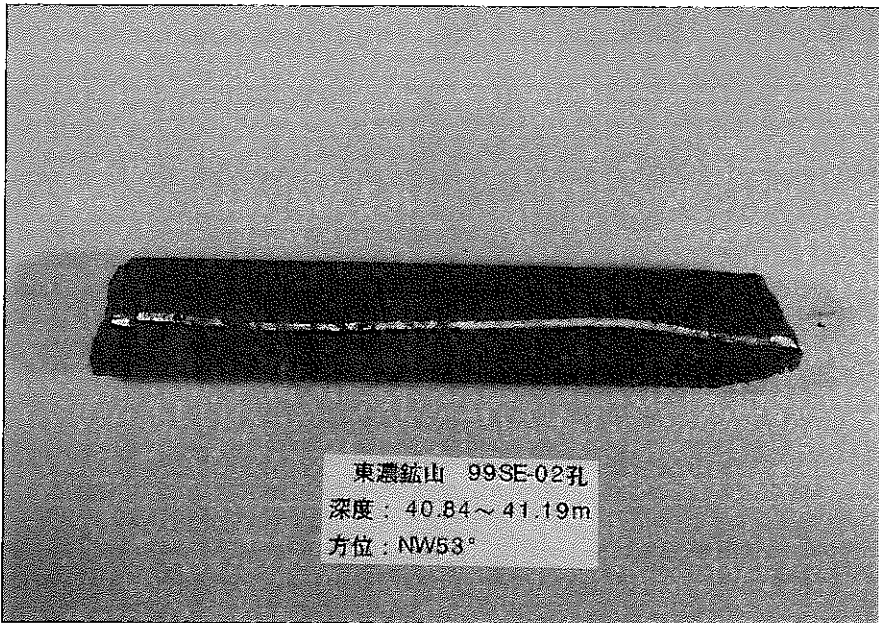
ボーリングコアと

整形供試体

東濃鉱山 99SE-02孔
深度 : 39.91 ~ 40.35m
方位 : NW53°



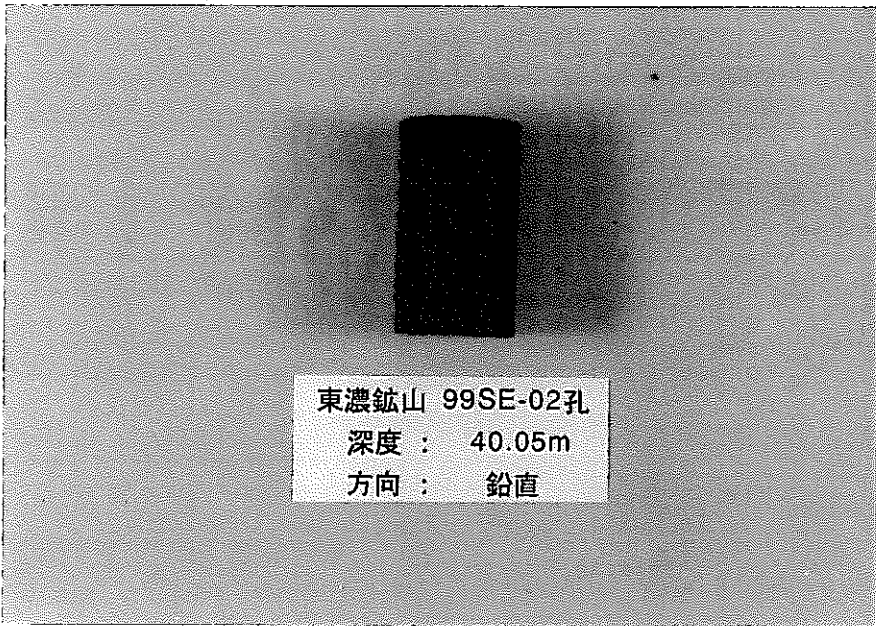
東濃鉾山 99SE-02孔
深度：40.35～40.84m
方位：NW53°



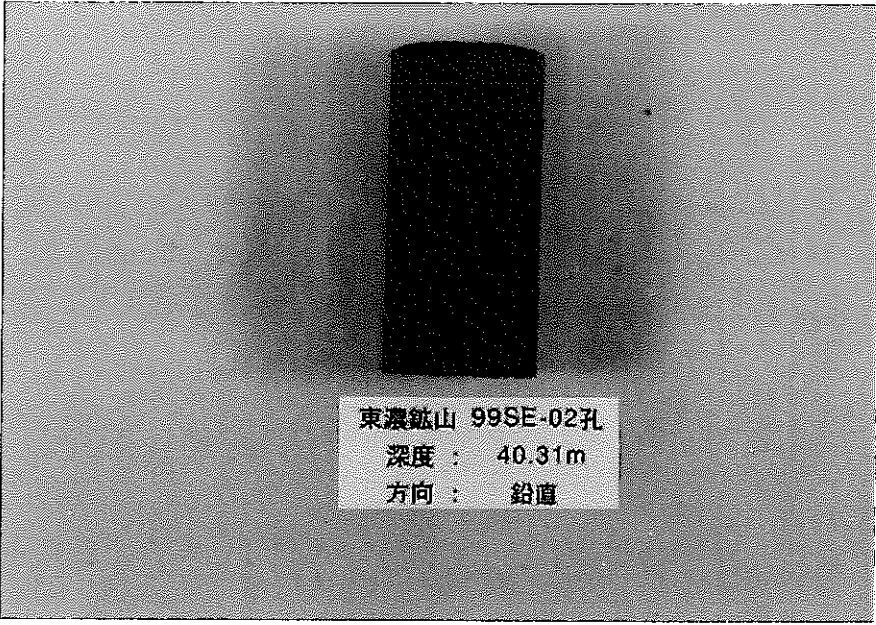
東濃鉾山 99SE-02孔
深度：40.84～41.19m
方位：NW53°



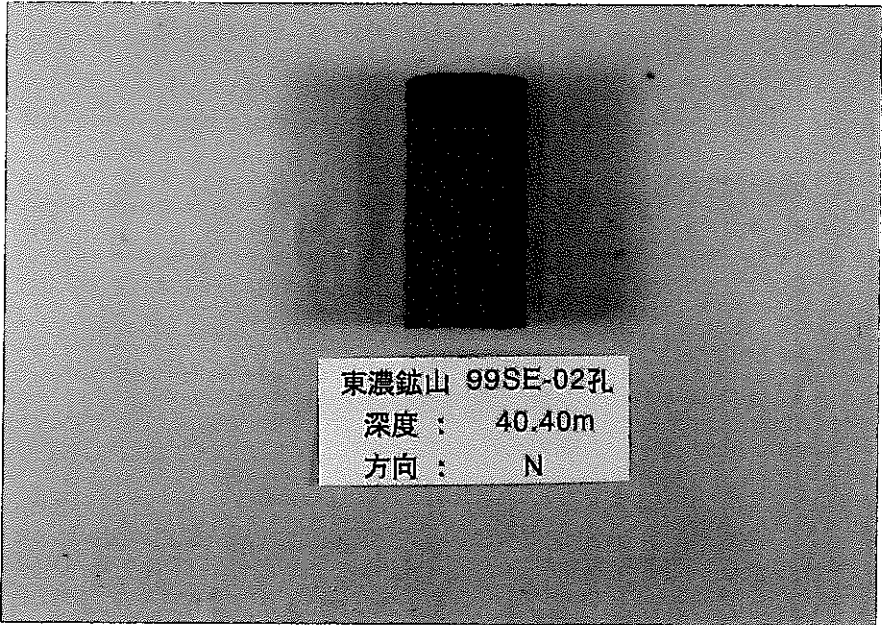
東濃鉾山 99SE-02孔
深度：40.00m
方向：鉛直



東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.05m
方向 : 鉛直



東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.31m
方向 : 鉛直



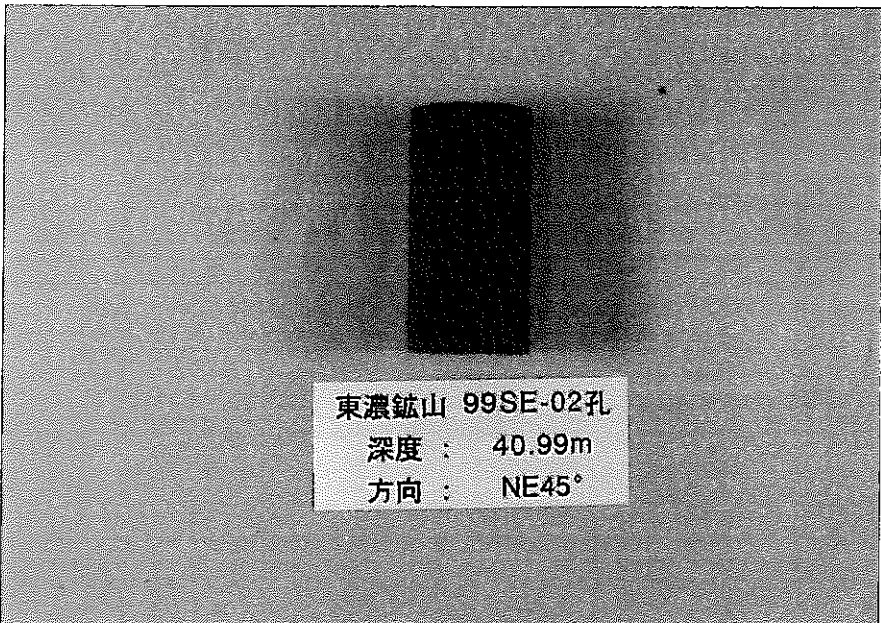
東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.40m
方向 : N



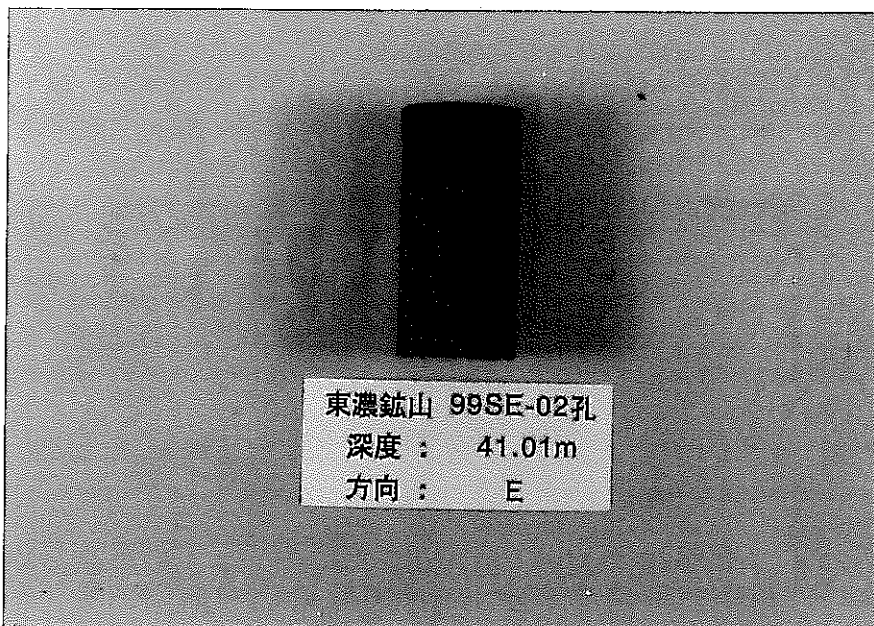
東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.43m
方向 : N

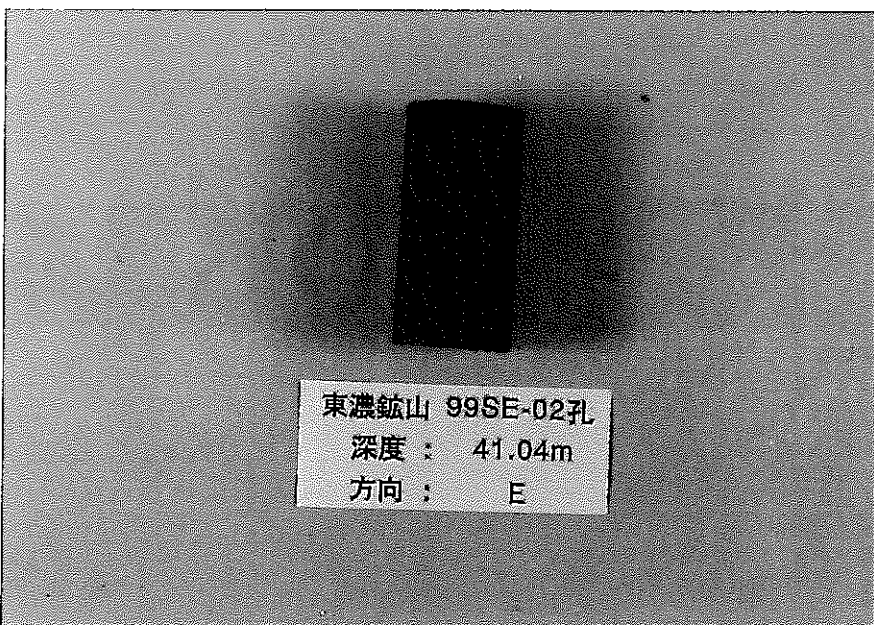


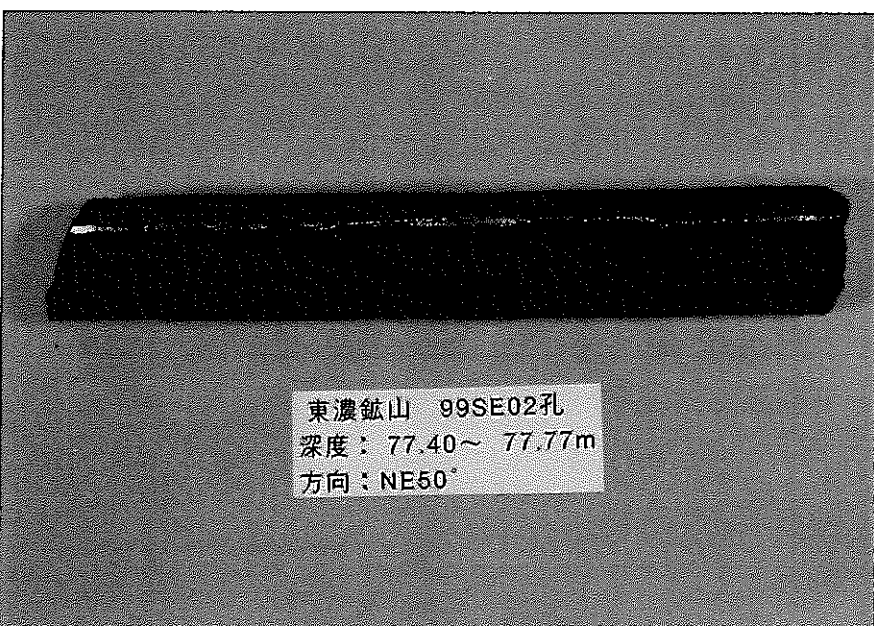
東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.95m
方向 : NE45°



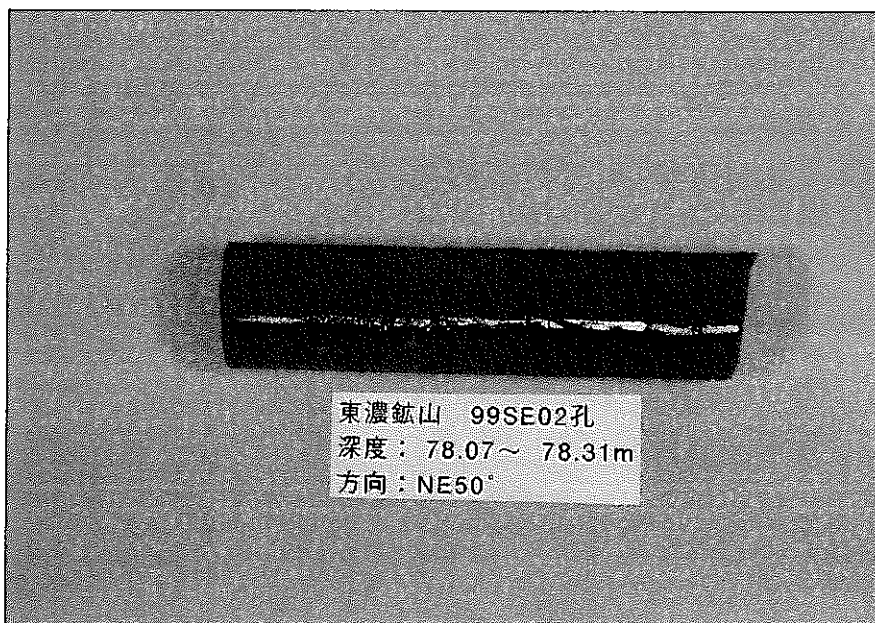
東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 40.99m
方向 : NE45°







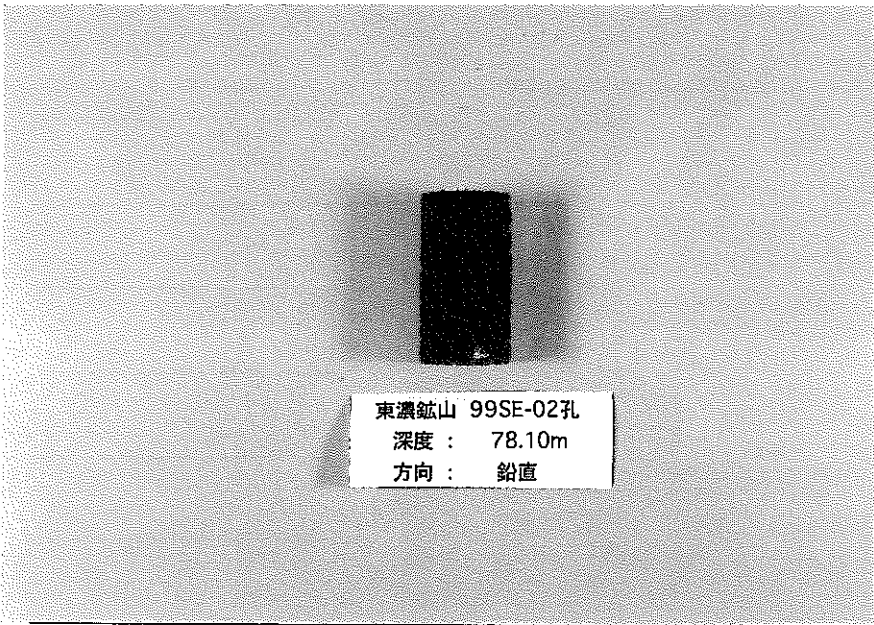
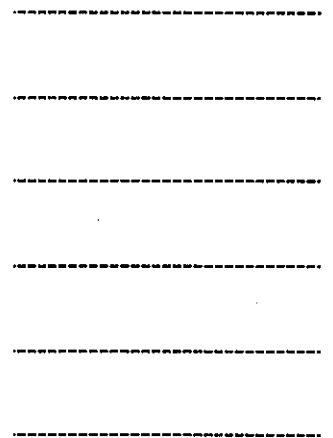




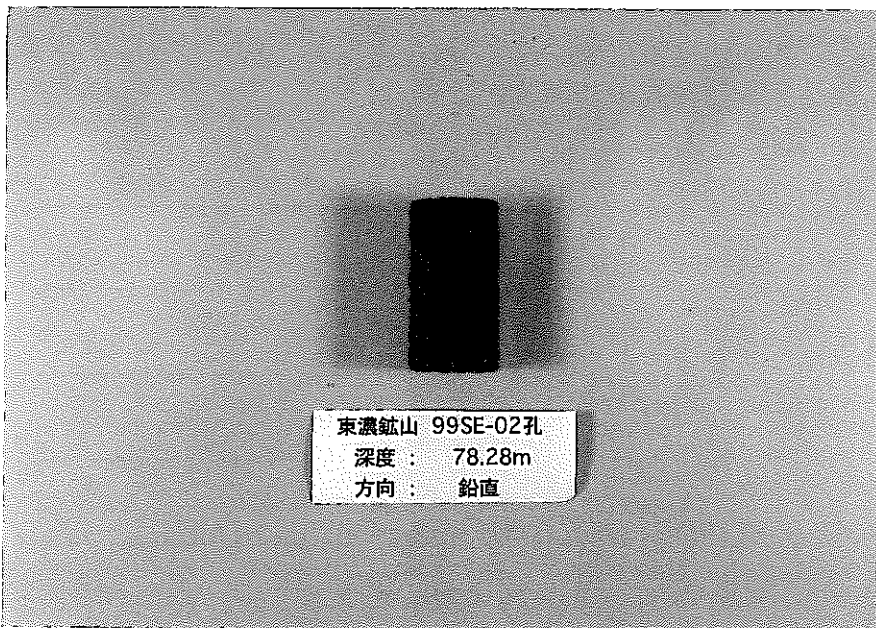
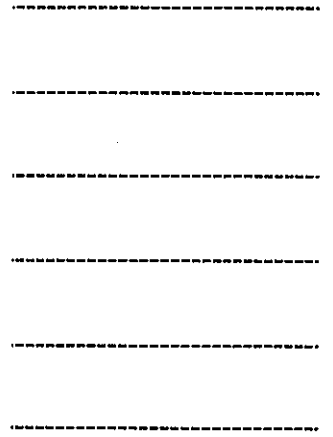




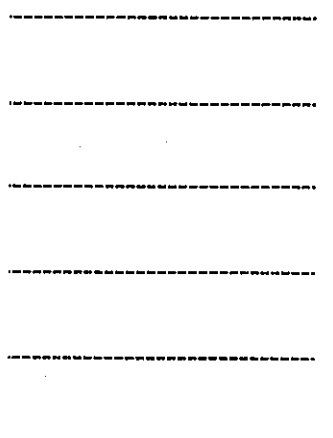
東濃鉾山 99SE02孔
深度：78.63～78.88m
方向：NE50°

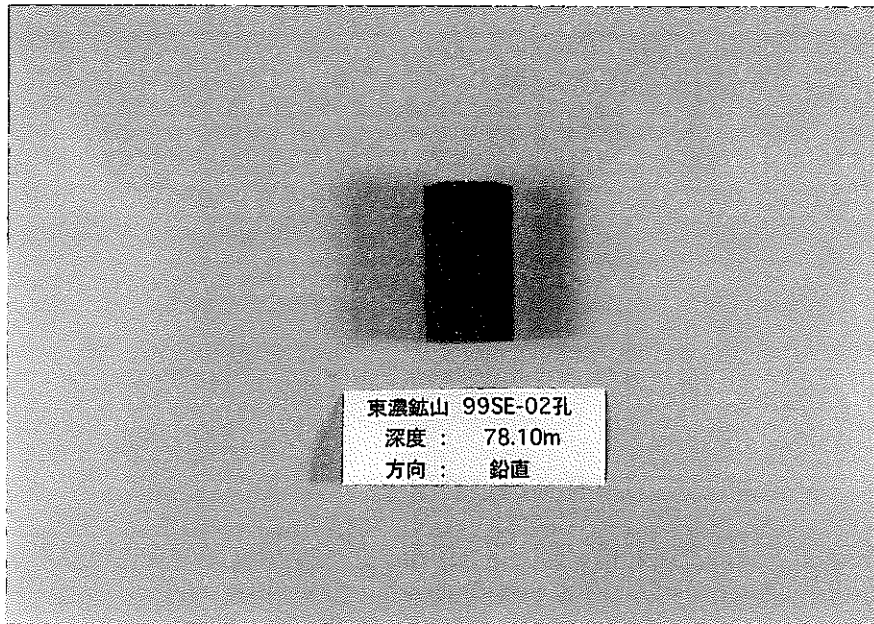


東濃鉾山 99SE-02孔
深度：78.10m
方向：鉛直

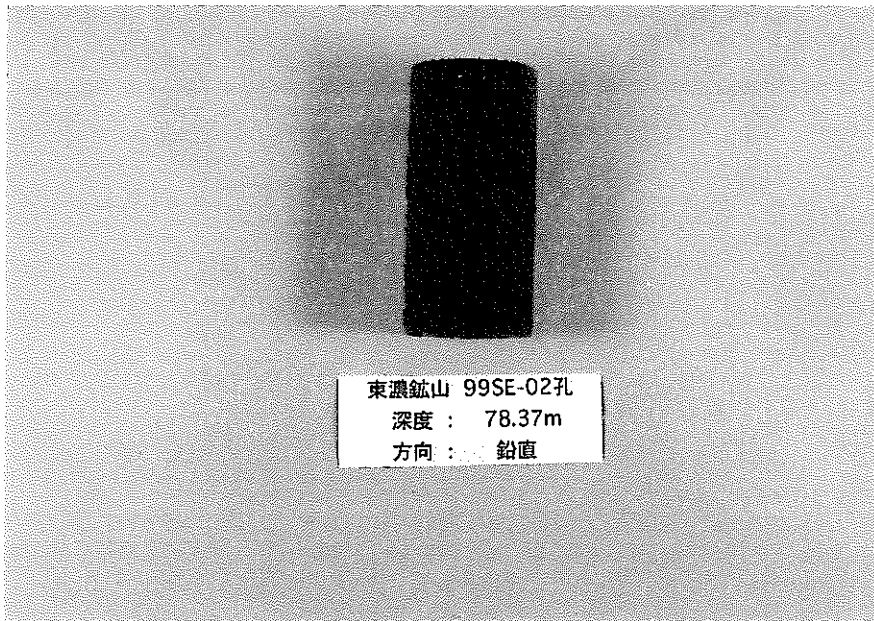


東濃鉾山 99SE-02孔
深度：78.28m
方向：鉛直

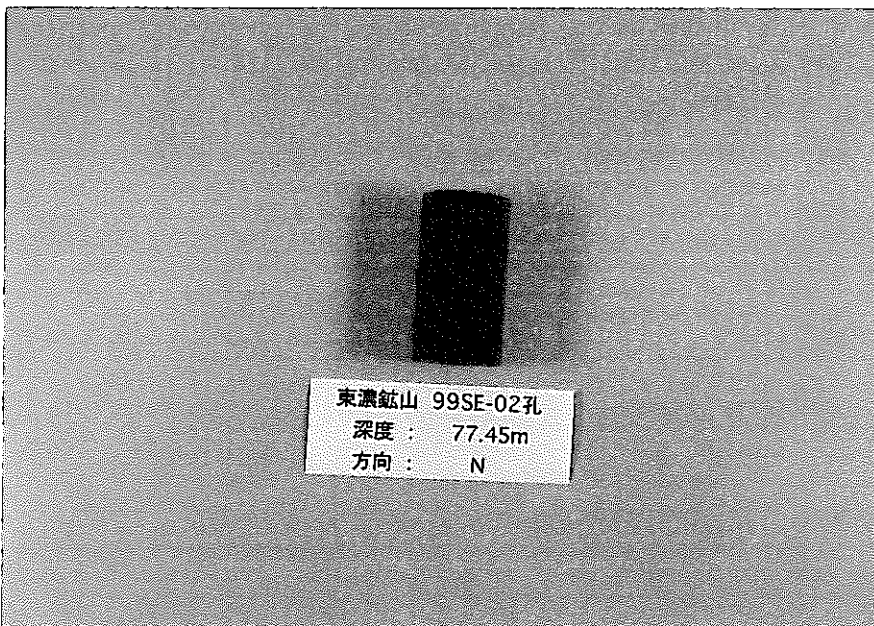




東濃鉦山 99SE-02孔
深度： 78.10m
方向： 鉛直

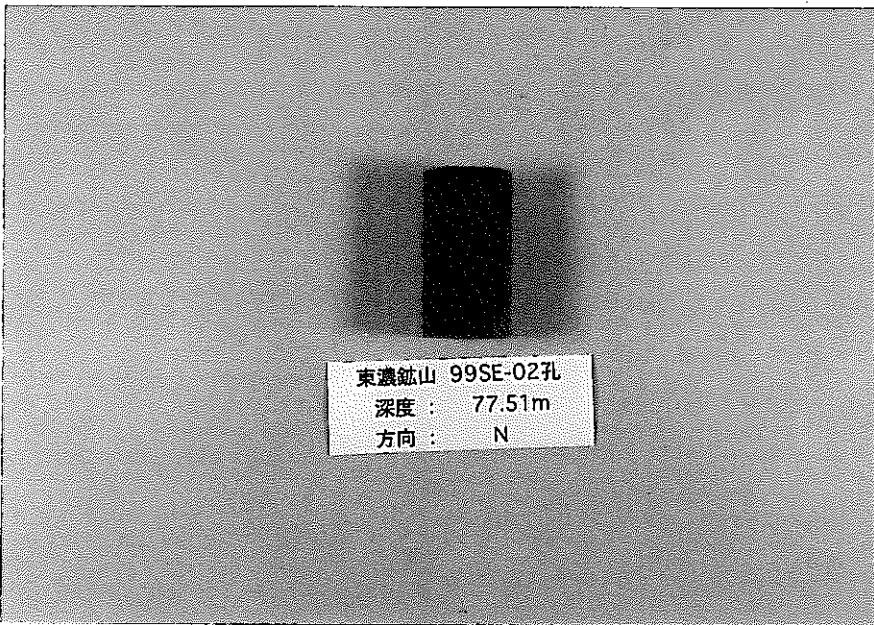


東濃鉦山 99SE-02孔
深度： 78.37m
方向： 鉛直

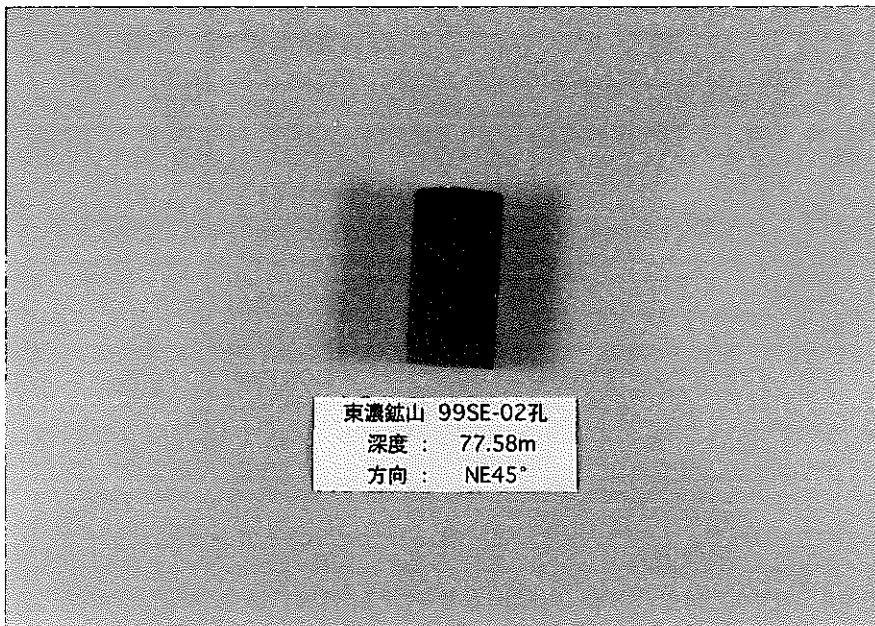


東濃鉦山 99SE-02孔
深度： 77.45m
方向： N

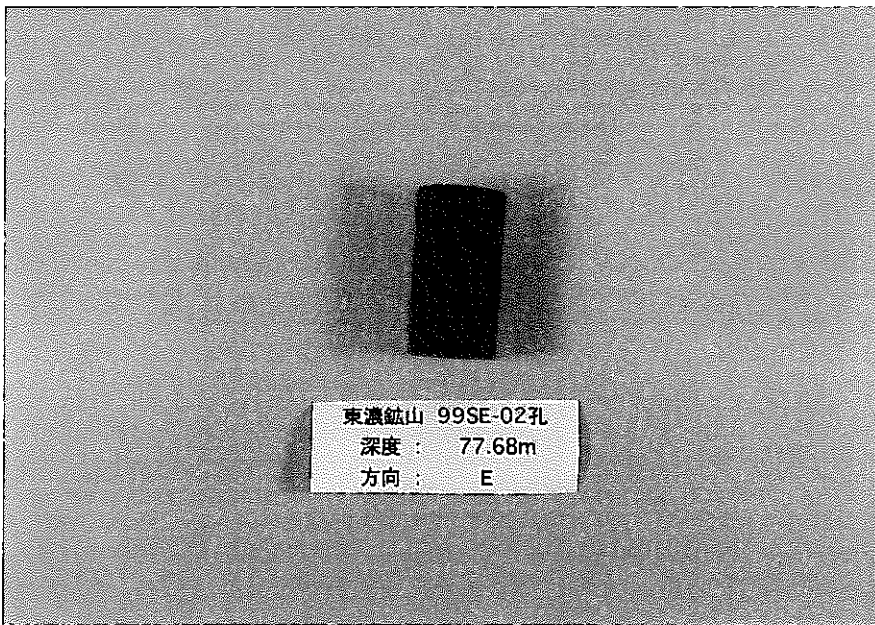




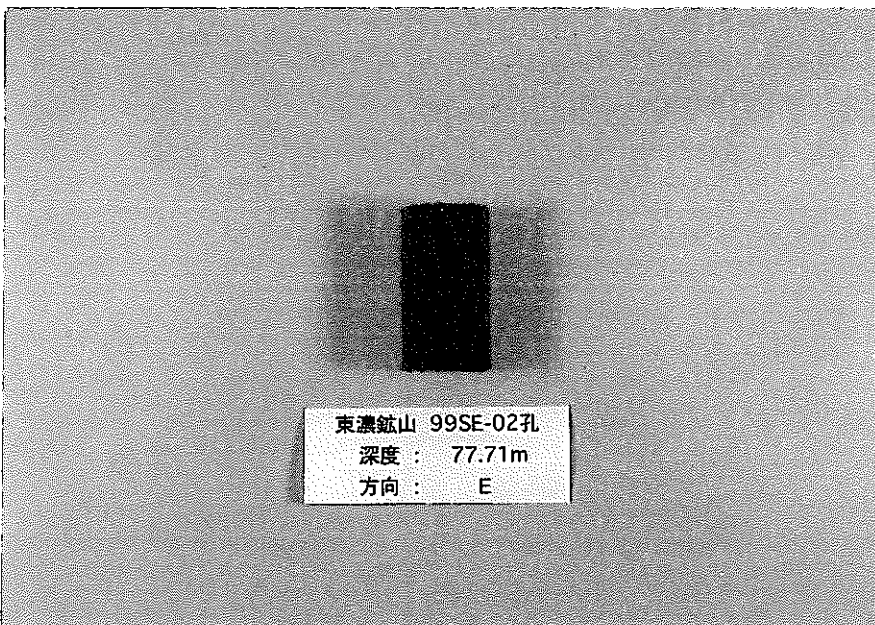




東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 77.58m
方向 : NE45°



東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 77.68m
方向 : E



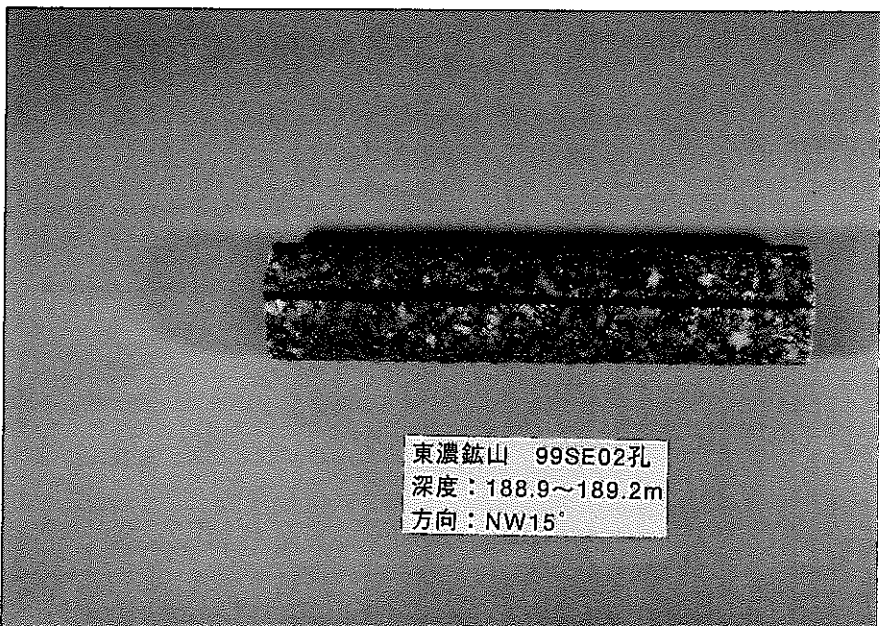
東濃鉾山 99SE-02孔
深度 : 77.71m
方向 : E



東濃鉦山 99SE02孔
深度：188.3~188.6m
方向：NW15°



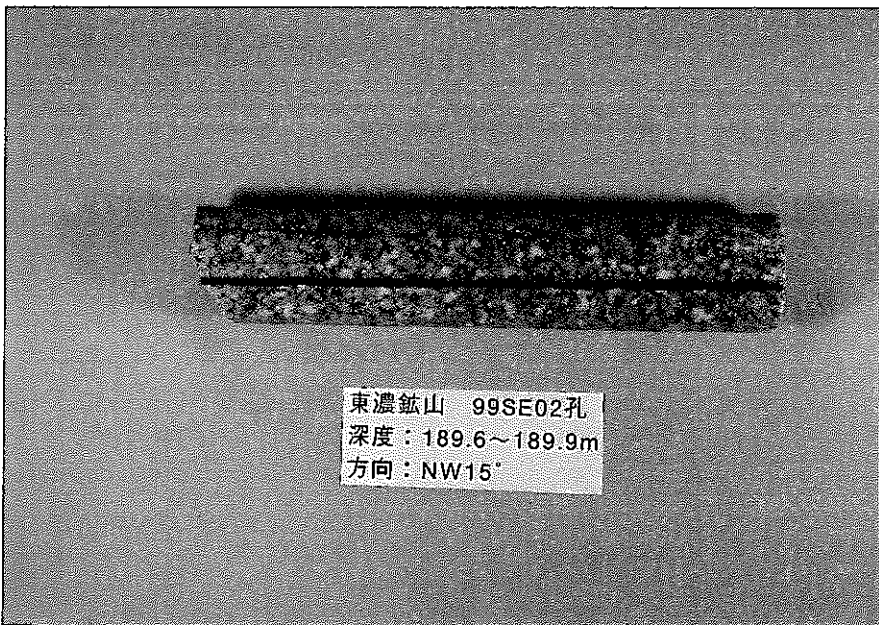
東濃鉦山 99SE02孔
深度：188.6~188.9m
方向：NW15°



東濃鉦山 99SE02孔
深度：188.9~189.2m
方向：NW15°



東濃鉾山 99SE02孔
深度：189.2~189.6m
方向：NW15°



東濃鉾山 99SE02孔
深度：189.6~189.9m
方向：NW15°



東濃鉾山 99SE-02孔
深度：189.27m
方向：E



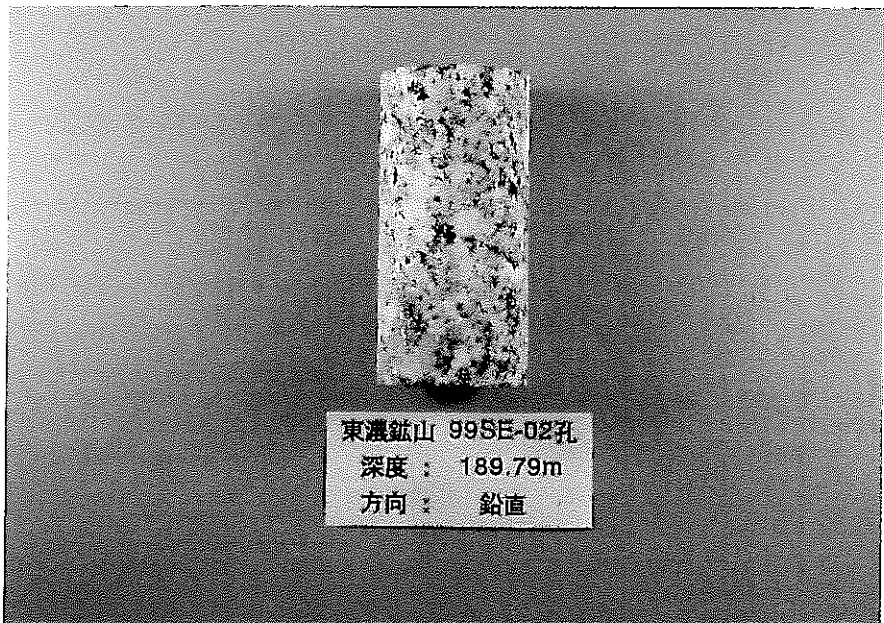
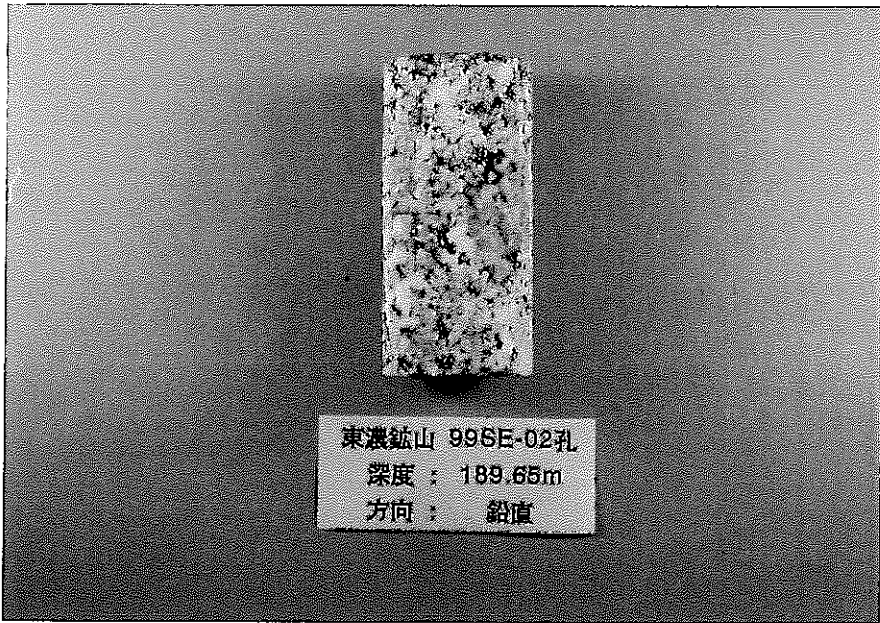


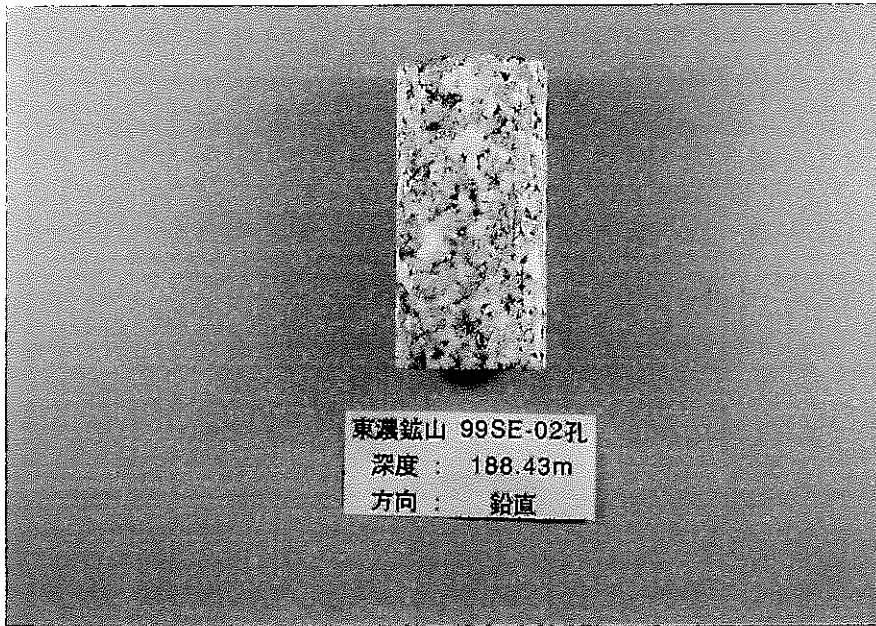




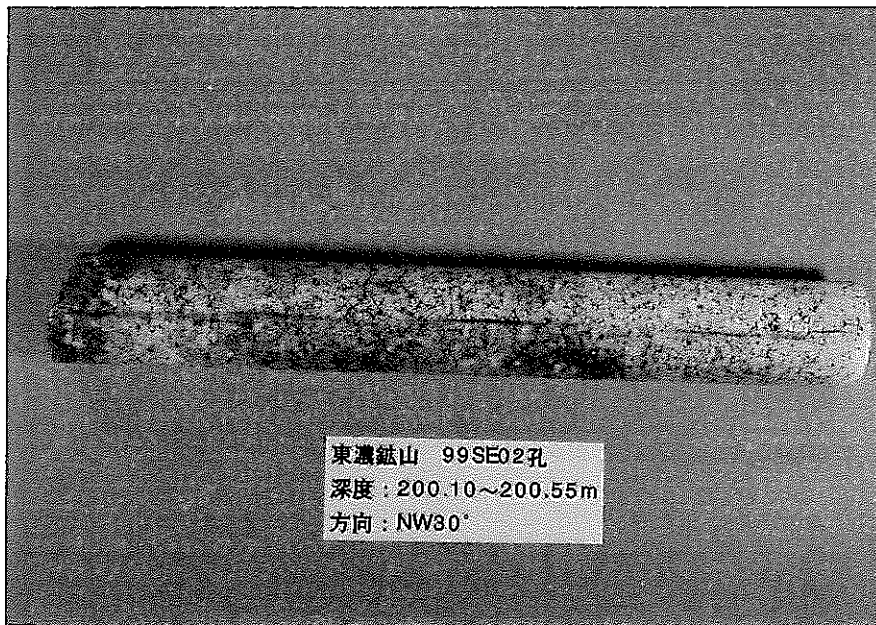




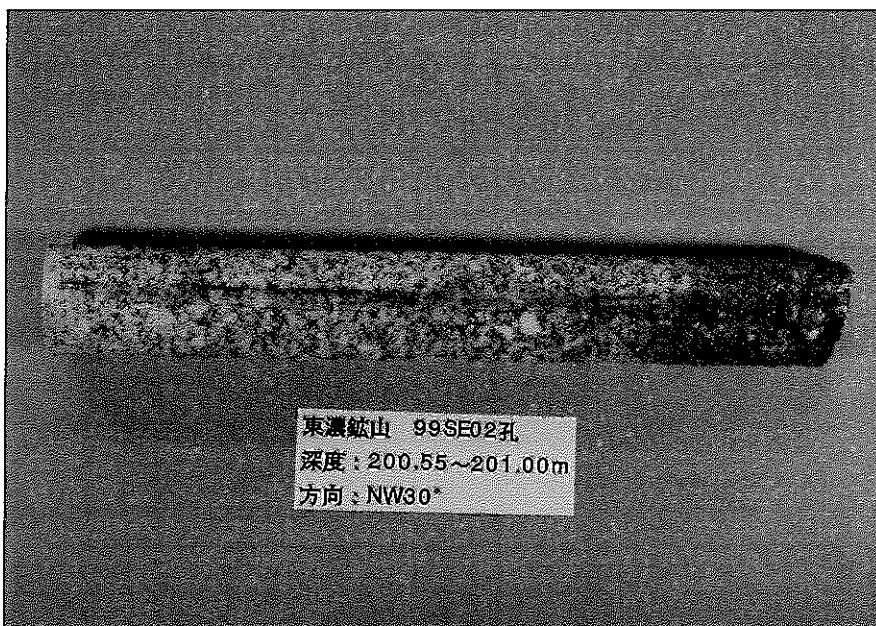




東濃鉱山 99SE-02孔
深度：188.43m
方向：鉛直



東濃鉱山 99SE02孔
深度：200.10~200.55m
方向：NW30°



東濃鉱山 99SE02孔
深度：200.55~201.00m
方向：NW30°



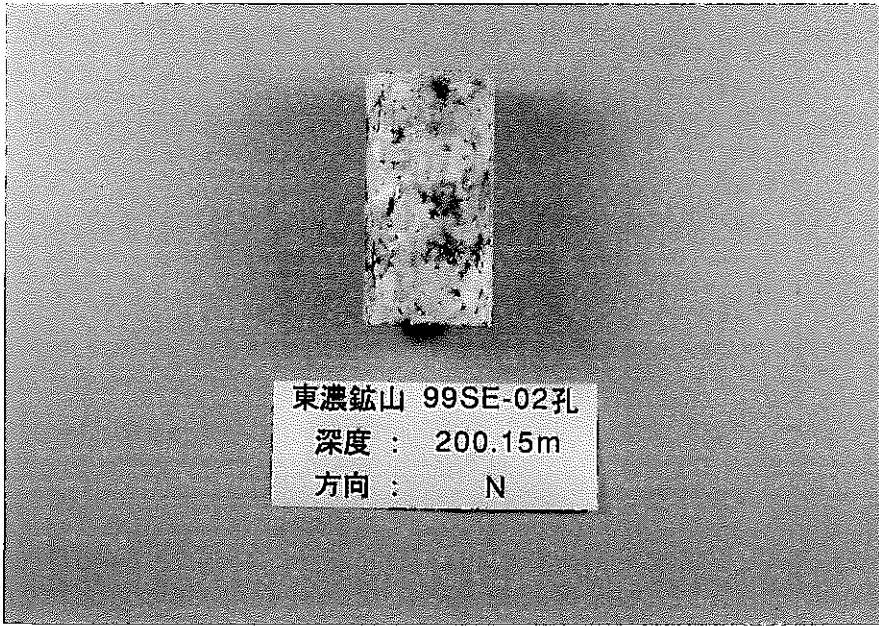
東濃鉦山 99SE02孔
深度：201.00~201.30m
方向：NW30°



東濃鉦山 99SE02孔
深度：201.40~201.60m
方向：NW30°



東濃鉦山 99SE-02孔
深度：200.12m
方向：N



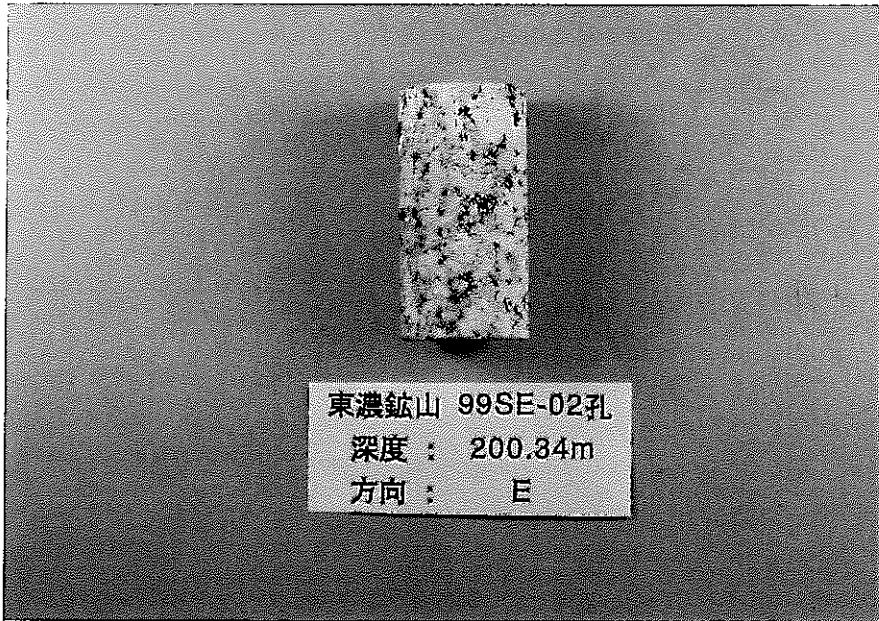
東濃鉦山 99SE-02孔
深度：200.15m
方向：N



東濃鉦山 99SE-02孔
深度：200.21m
方向：NE45°



東濃鉦山 99SE-02孔
深度：200.24m
方向：NE45°





東濃鉾山 99SE-02孔
深度：200.62m
方向：鉛直



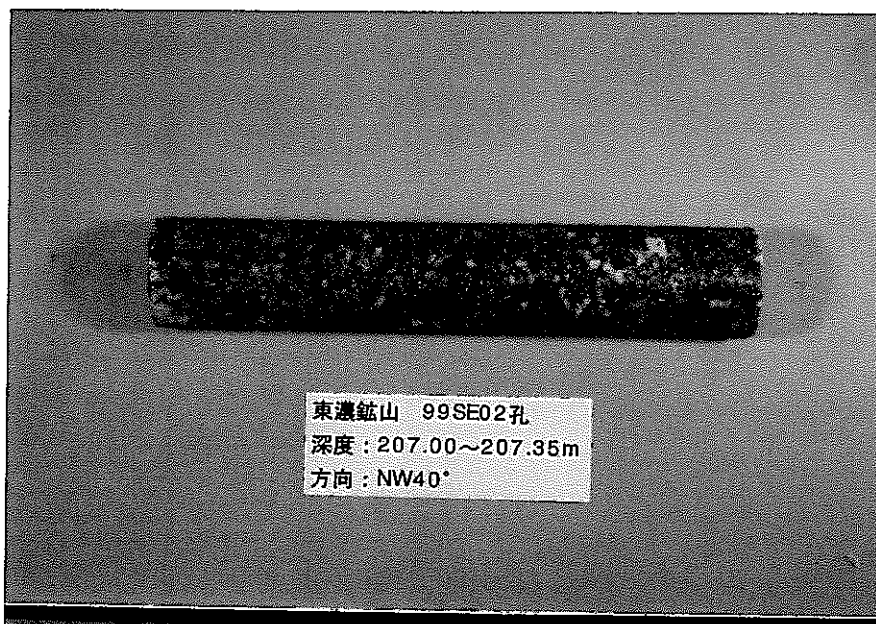
東濃鉾山 99SE-02孔
深度：200.58m
方向：鉛直

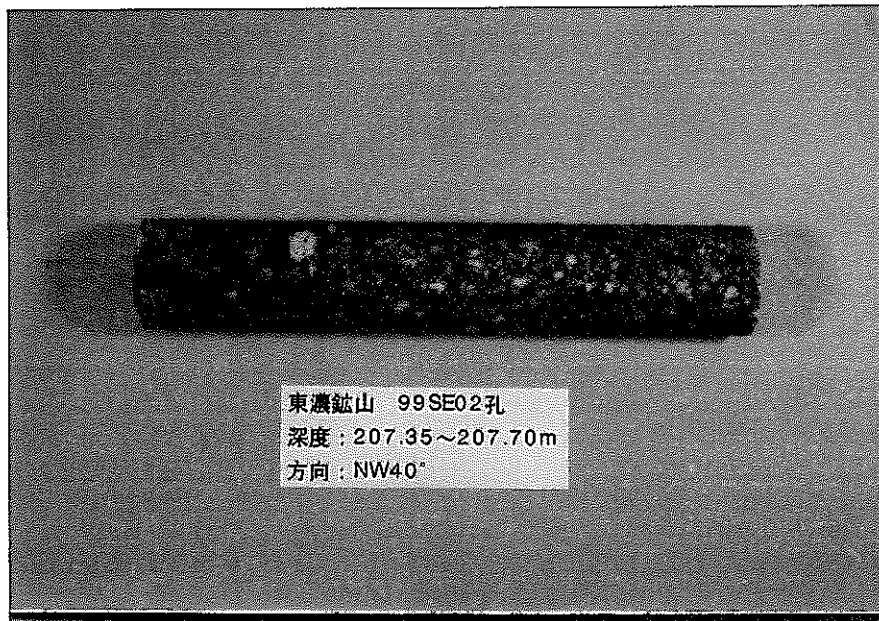


東濃鉾山 99SE-02孔
深度：200.72m
方向：鉛直

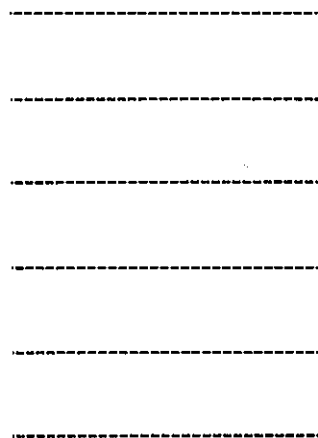




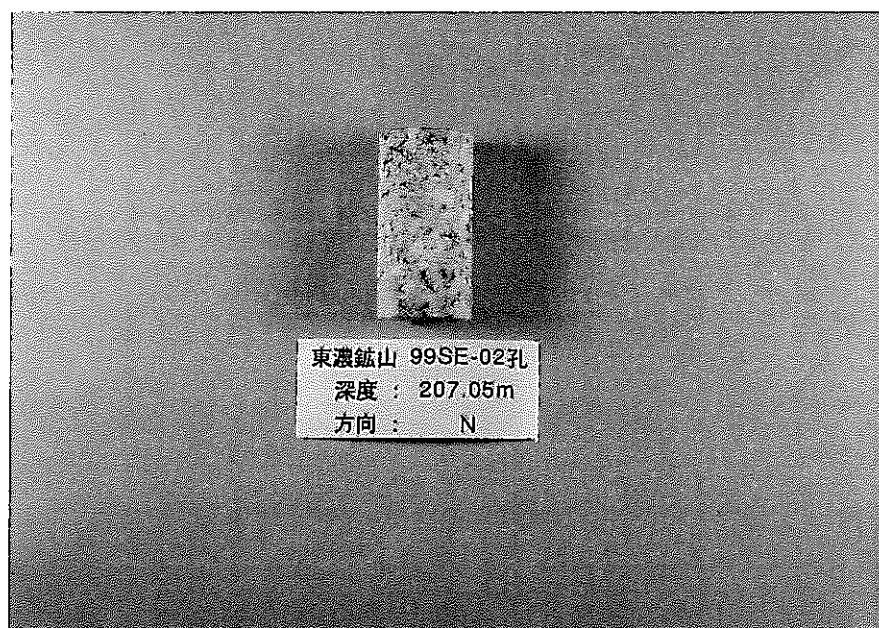
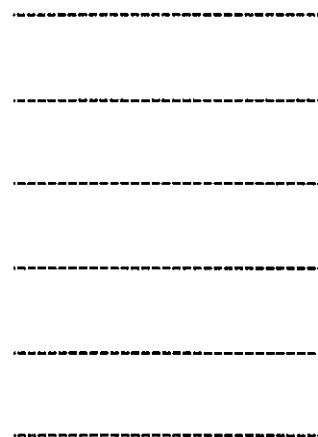




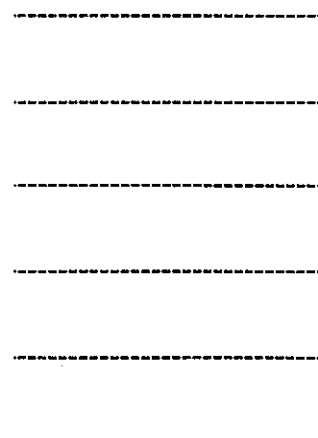
東濃鉱山 99SE02孔
深度：207.35~207.70m
方向：NW40°



東濃鉱山 99SE-02孔
深度：207.02m
方向：N



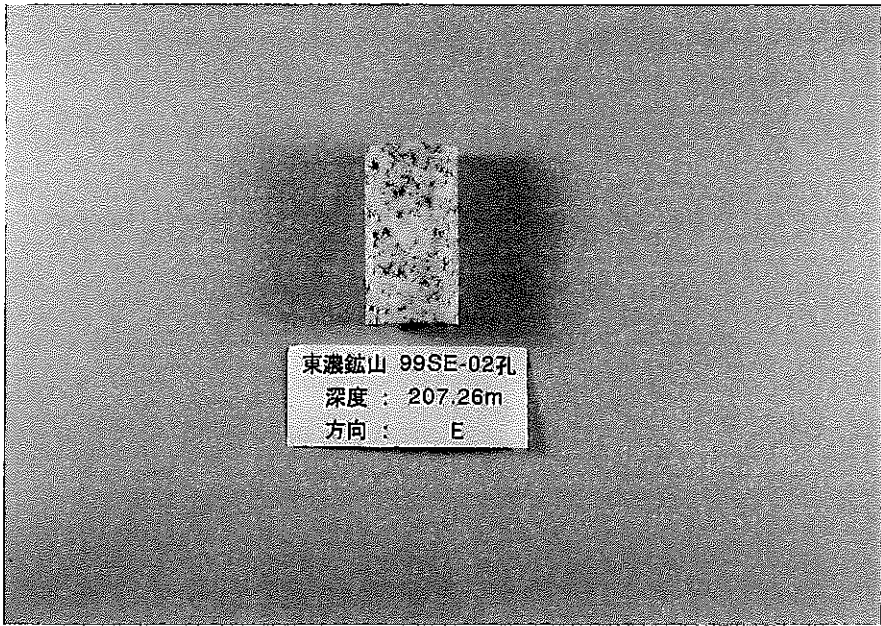
東濃鉱山 99SE-02孔
深度：207.05m
方向：N







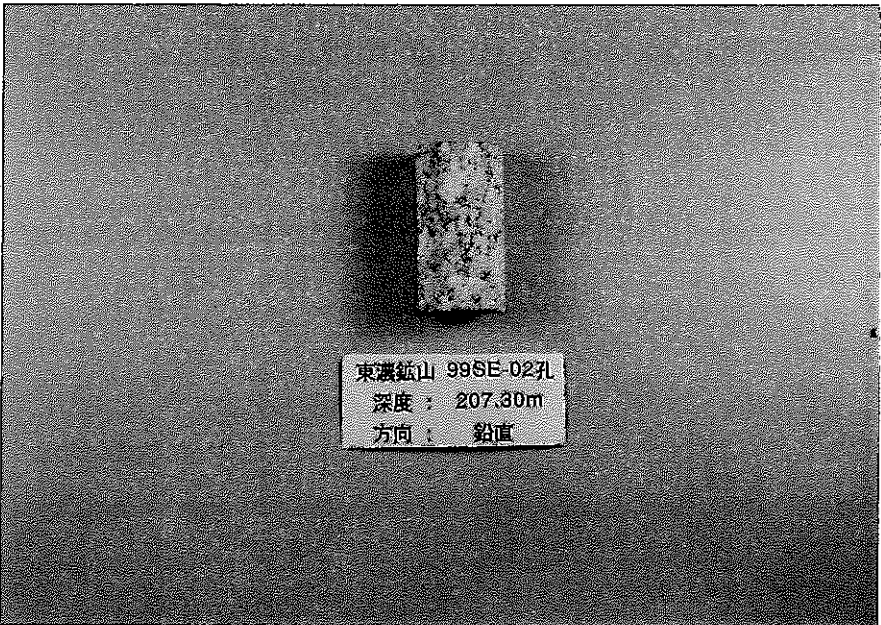




東濃鉾山 99SE-02孔
深度：207.26m
方向：E



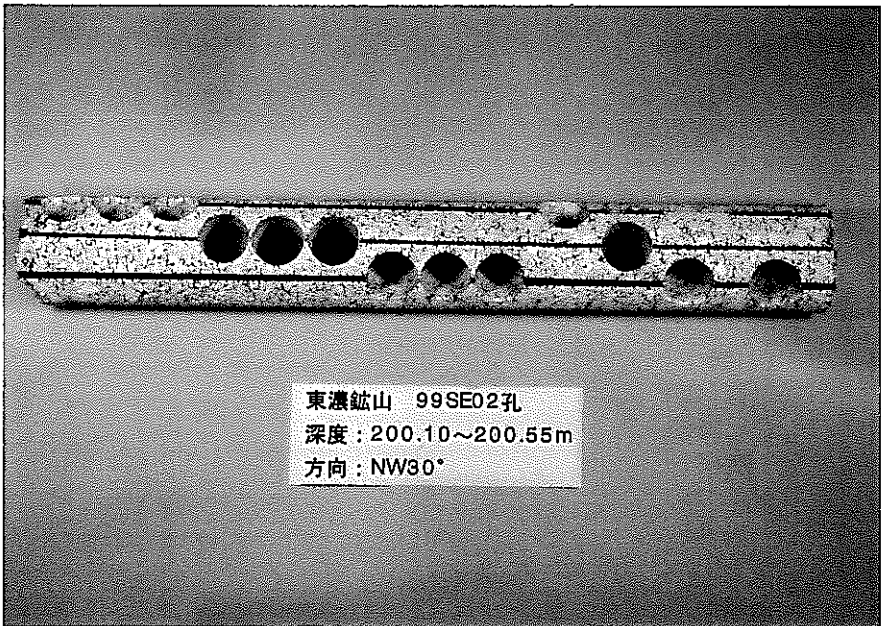
東濃鉾山 99SE-02孔
深度：206.86m
方向：鉛直



東濃鉾山 99SE-02孔
深度：207.30m
方向：鉛直



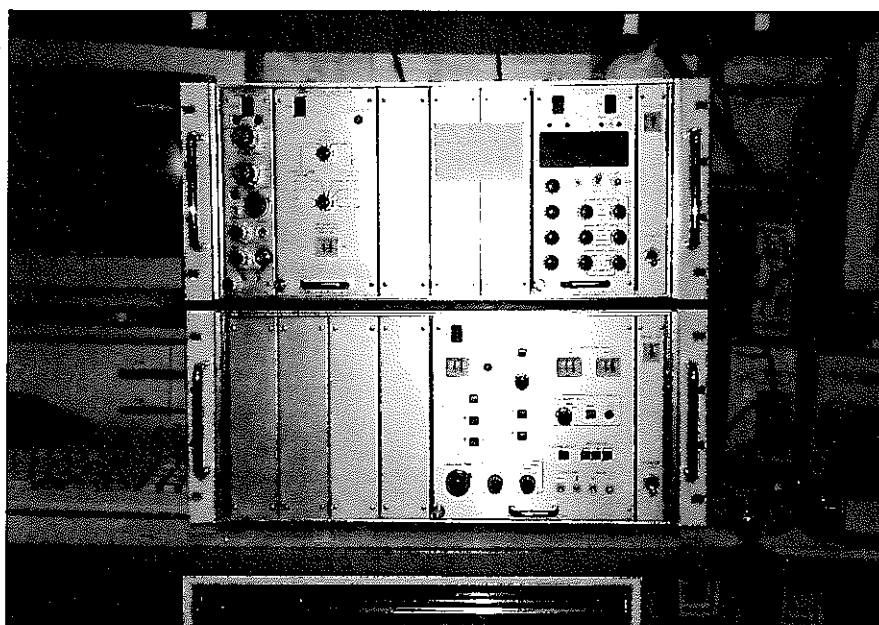




供試体整形方向

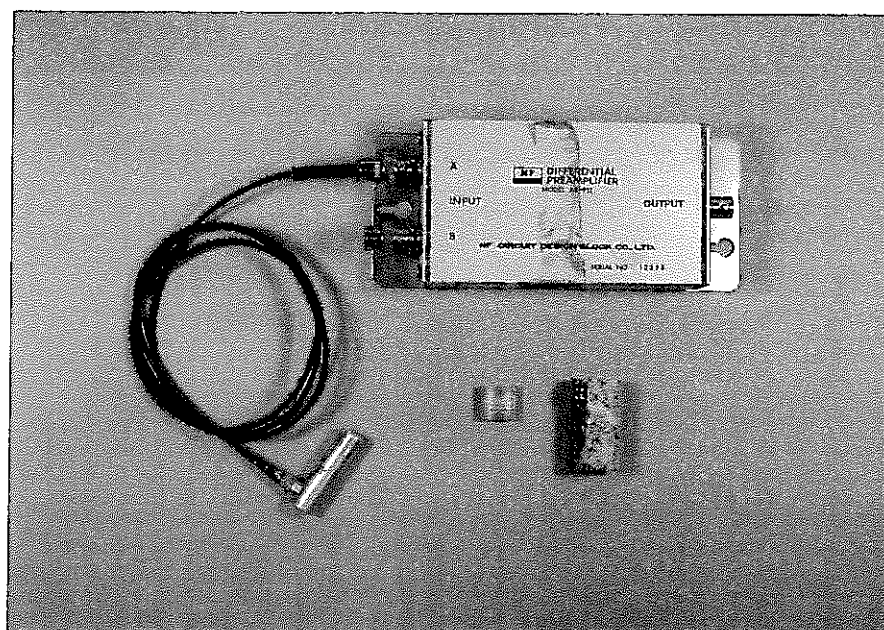


AE計測システム



ディスクリミネータ

カウンタ

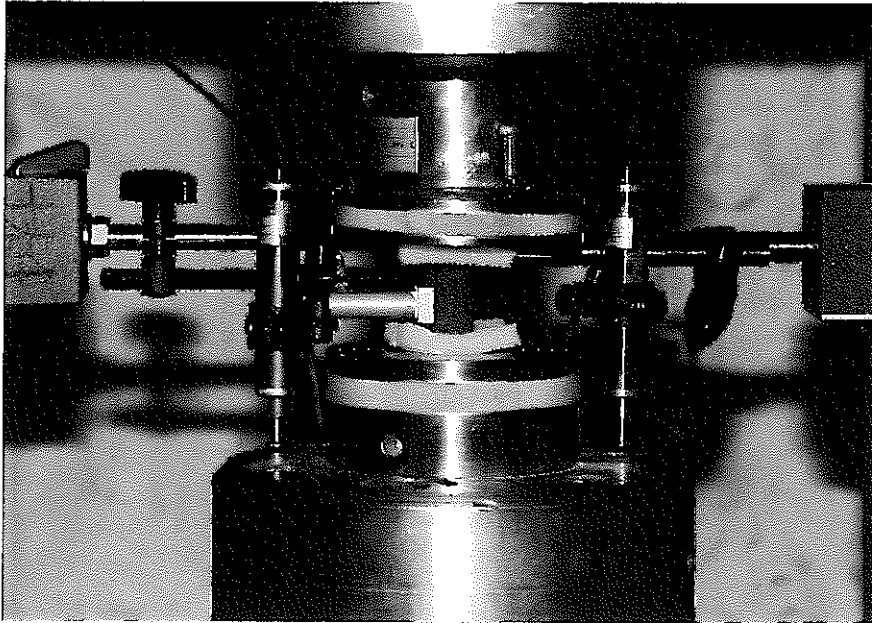


トランスデューサ

プリアンプ

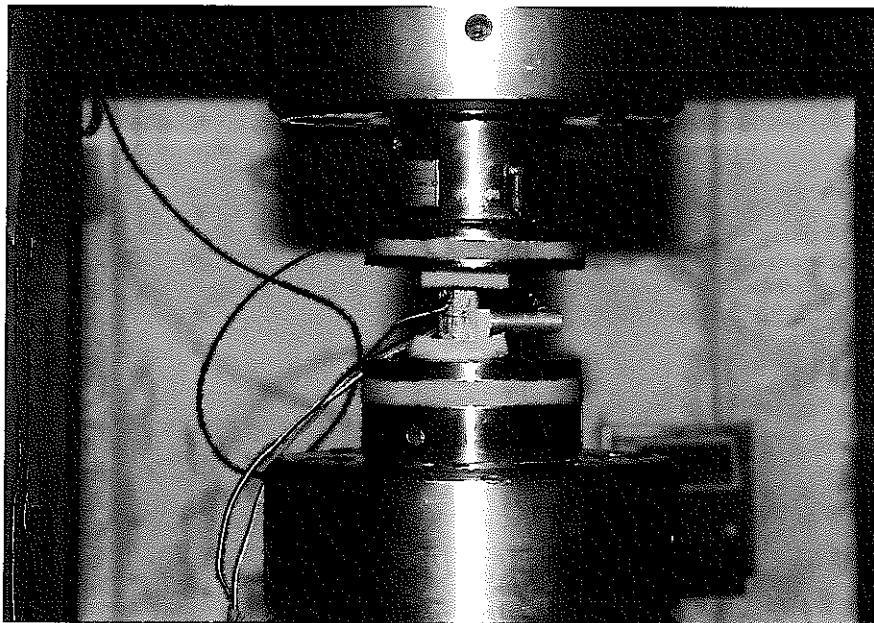
鋼製アタッチメント

供試体



初期応力測定状況

凝灰質砂岩



初期応力測定状況

花崗岩