

# 立坑掘削影響試験

—地中変位計測に基づく掘削影響評価—

佐藤稔紀  
松井裕哉  
杉原弘造  
吉岡尚也

1992年12月

動力炉・核燃料開発事業団

中部事業所

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。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31  
動力炉・核燃料開発事業団  
中部事業所 技術開発課

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1992

公開資料

PNC TN7410 92-051  
1992年12月

**立坑掘削影響試験**  
—地中変位計測に基づく掘削影響評価—

佐藤稔紀\* 松井裕哉\* 杉原弘造\* 吉岡尚也\*

要旨

岩盤に立坑や水平坑道等の空洞を掘削すると、周辺岩盤が力学的・水理学的に影響を受けると考えられる。これらの影響を定量的に評価し、その発生メカニズムを明らかにすることは、地下深部の空間を設計・建設し、安全性を確保する上で重要である。このような観点から、中部事業所の東濃鉱山において直径6 m、深さ150 mの立坑を掘削して、このような影響に関する研究を行っている（立坑掘削影響試験）。

立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形挙動を把握するために、立坑の4つの断面（GL-54.5m, 67.2m, 112.6m, 133.0m）で地中変位計測を行った。その結果、立坑掘削に伴う変位量は地質により異なることが分かった。また、き裂頻度が高い所や断層が存在する所では変位の発生量が増大することが分かった。

さらに、数値解析の結果、塑性域は発生していないことや、掘削に伴う変位の発生状況の表現が可能であることが分かった。

---

\* 環境地質課

公開資料

PNC TN7410 92-051  
1992年12月

Shaft Excavation Effects Project  
— Excavation Effects Evaluation by Extensometer Measurements—

Toshinori SATO,\* Hiroya MATSUI,\* Kozo SUGIHARA,\* and Hisaya YOSHIOKA\*

Abstract

Excavation of a shaft or a drift in rock mass influences the rock mass around a shaft or a drift mechanically and hydraulically. In Chubu Works, we excavated a shaft having a diameter of 6 m and a depth of 150 m at the Tono Mine, and studied the excavation effects. We call this study Shaft Excavation Effects Project (SEE Project).

Measurements with extensometers were carried out at four sections during the shaft excavation to understand the behavior of rock mass around the shaft. The displacement was locally occurred and it's amount depends on geology and presence of a fault and fractures.

Numerical analysis was performed to understand the observed phenomena and the excavation effects. It was suggested that the deformation of rock mass around the shaft was within elastic limit and the numerical simulations could describe time-dependent behavior of the measured displacement.

---

\* Waste Isolation Research Section

目次	ページ
1 序	1
2 調査の内容	1
2. 1 調査位置	
2. 2 計測器の設置方法	
2. 3 計測方法および計測頻度	
3 計測結果	2
3. 1 M1断面	
3. 2 M2断面	
3. 3 M3断面	
3. 4 M4断面	
4 考察	3
4. 1 地質状況	
4. 2 断層・き裂	
4. 3 覆工過程	
4. 4 深度	
4. 5 不動点の位置について	
5 数値解析	5
5. 1 掘削影響	
5. 2 収束状況	
6 結び	6
7 今後の課題	6
8 謝辞	7
9 参考文献	7
10 図表	

## 1 序

岩盤に立坑や水平坑道などの空洞を掘削すると、周辺岩盤が力学的、水理学的に影響を受けると考えられる。これらの影響を定量的に評価し、その発生メカニズムを明らかにすることは、地下深部の構造物を設計、建設し、安全性を確保する上で重要である。

このような観点から、中部事業所東濃鉦山（図-1）において、堆積岩盤中に直径6m深さ150mの立坑を掘削し、これにより引き起こされる力学的・水理学的な影響の発生メカニズムに関する研究を実施している<sup>1)</sup>。この研究は立坑掘削影響試験と名付けられ、1989年4月より事前調査を開始した。立坑掘削は1990年1月に開始し、1991年7月にその掘削を終了した。

このような立坑掘削に伴う影響を知るための試験は国内には例がなく、世界的にも花崗岩、岩塩、粘土等を対象とした試験はあるが、新第三系の堆積岩を対象とした例はない。

今回報告する地中変位計測は、立坑掘削影響試験の一部として実施した。研究の目的は立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形挙動を多点式地中変位計を用いて計測し、把握することである。

## 2 調査の内容

### 2.1 調査位置

調査地域の地質概要を図-2に示す。基盤は花崗岩で、その上に瑞浪層群、瀬戸層群が堆積している。瑞浪層群は新第三紀の堆積岩で、下位より土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層と呼ばれる。これらの地層はおもに凝灰岩質砂岩～泥岩で部分的に礫岩をはさみ、土岐夾炭累層には炭質物をはさまれる。瀬戸層群は礫を含む固結度の低い第三紀から第四紀の堆積層である。また、この地域には月吉断層と呼ばれる断層がある。この断層はほぼ東西の走行で60°南傾斜であり、約30m変位した逆断層である。

立坑掘削前の事前調査として、立坑中心部にボーリング孔を掘削し、コアを採取した。各岩相の基本的な物性を取得するために行ったコアの室内試験の結果を表-1に示す。

本地域には図-2のように、東濃鉦山の既存の調査坑道が展開している。立坑掘削影響試験のために掘削した第2立坑は、調査坑道の立坑から約80m北東に位置している。図-3に立坑断面と地中変位計を設置した計測断面（M1～M4）の位置を示す。掘削が岩盤挙動に影響を及ぼす要因には、地質、断層やき裂等の割れ目、覆工、深度の違いなどが考えられる。そこで、M1およびM2断面では、明世累層と土岐夾炭累層の層境の上下に設けて、地質の影響を検討する配置とした。M3断面では月吉断層の影響を検討する配置とした。M4断面では長さ6mの地中変位計の最深部のアンカーの動きについて検討するため、測定距離の長い12mの地中変位計を設置した。また、M4断面では無覆工の期間を設けて覆工の効果を検討した。

### 2.2 計測器の設置方法

立坑を各計測断面まで掘削した後、地中変位計を設置するためのボーリング孔を掘削し

た。ボーリング孔は水平で、立坑の半径方向に掘削した。ボーリング位置は立坑切羽面の上方約1 mである。図-4～6に各計測断面における地中変位計の配置とアンカーの位置を示す。これらのボーリング孔においてコア観察やボアホールスキャナーによる孔壁観察を行い、地質やき裂分布を調査した。その後、地中変位計を挿入し、アンカーを開き、モルタルを注入することで地中変位計を設置した。使用した地中変位計の仕様を表-2に示す。地中変位計の設置が完了するまでに要した日数は約7日である。

### 2. 3 計測方法および計測頻度

岩盤の変位は電気信号に変換され、スキャナーボックスを介してパーソナルコンピューターに自動的に取り込まれる。計測頻度は、1日に1, 2回である。なお、初期値は立坑の掘削を再開する直前に計測した値とした。

## 3 測定結果

測定結果のまとめ方について述べる。計測値は各アンカーと立坑壁面間の相対変位である。変位を立坑壁面に近いアンカーからそれぞれ $\Delta u_{0.75}$ ,  $\Delta u_1$ ,  $\Delta u_2$ ,  $\Delta u_3$ ,  $\Delta u_4$ ,  $\Delta u_6$ とすると、最深部の6 mのアンカーを不動点と仮定した場合、この点と各アンカー間で生じた変位は以下になる。これらを各測点における変位として図示した。

6～4 m間で生じた変位	$\Delta u_6 - \Delta u_4$
6～3 m	$\Delta u_6 - \Delta u_3$
6～2 m	$\Delta u_6 - \Delta u_2$
6～1 m	$\Delta u_6 - \Delta u_1$
6～0.75 m	$\Delta u_6 - \Delta u_{0.75}$
壁面変位	$\Delta u_6$

計測された変位は立坑切羽が停止している間はほとんど変化しなかった。従って、掘削に伴って生じる変位は計測断面と切羽との距離に依存していると考えられるため、掘削に伴う変位は切羽離れで整理した。また、立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形が立坑周辺にどの程度の拡がりをもっているかを把握するために変位の分布図を描いた。全ての断面で、立坑切羽が計測断面から立坑掘削径の3倍離れるまでに変位は収束したので、その時点での値を用いて分布図を描いた。

### 3. 1 M1断面

図-7～8にM1断面における各測線の地中変位計測結果を示す。横軸に切羽離れ、縦軸に変位をプロットした。プラス側の変位は立坑内空側への変化を示す。

いずれの測線も計測された変位は1 mm以下である。立坑切羽がM1断面から1 D (D = 立坑掘削径: 6 m) 離れるまでにほとんどの変位が生じている傾向がある。

図-9に変位の分布図を示す。立坑壁面から2～4 m離れた位置で変位が生じている。生じた変位は立坑壁面に近づくにつれて抑制される傾向があり、壁面ではほとんど変位は生じていない測線がほとんどである。

### 3. 2 M2断面

図-10～11にM2断面における各測線の計測結果を示す。EM1, 3, 6の壁面で1mm以上、EM5の壁面で3mm近くの変位が生じている。これらの測線の壁面以外の測点およびEM2, 4の変位は0.5mm以下である。比較的大きな変位が計測された壁面変位はM2断面から切羽が3D離れた時点ではほぼ収束している。それ以外の測点については切羽が1D離れるまでに収束している。

図-12に変位の分布図を示す。立坑壁面から3～4mの位置でわずかに変位が生じ、1～2mの位置で抑制されている。また、壁面近傍で大きな変位が生じている。

### 3. 3 M3断面

図-13～14にM3断面における各測線の計測結果を示す。断層に向けた測線であるEM1, 2, 3では1mm前後の変位が生じている。これらの変位は切羽がM3断面から1～2D離れるまでにほぼ収束している。EM4では切羽が1D離れるまでに0.6mmの変位が生じ、その後掘削に伴う変位は生じていない。EM5, 6ではほとんど変位は生じていない。

図-15に変位の分布図を示す。断層に向けたEM1, 2, 3の測線では断層の交差部分の近傍で変位が生じている。生じた変位は立坑壁面近傍で抑制される傾向がある。EM4は変位は小さいが、分布の傾向はEM1, 2, 3と類似している。

### 3. 4 M4断面

図-16～18にM4断面における各測線の計測結果を示す。EM4とEM8の立坑壁面と1m付近で1mm以上の変位が生じた。その他の測線では計測された変位は1mm以下である。立坑切羽がM4断面から1～2D離れるまでにすべての変位は収束している。

図-19に変位の分布図を示す。ほとんどの測線の立坑壁面近傍で変位が生じている。さらに、断層と交差しているEM4とEM8では断層との交差部分で変位が生じている。いずれの測線も立坑壁面に近づくにつれ変位が大きくなる傾向がある。

## 4 考察

M1～M4の各断面において計測された変位の大きさ、収束状況、分布に影響を及ぼす要因について各々検討する。

### 4. 1 地質状況

M1断面は明世累層、M2～4断面は土岐夾炭累層に位置する。ほぼ同じ深度で覆工過程も等しく、同じ測線配置であるM1断面とM2断面を比較することにより岩相の違いが掘削に伴う岩盤の変形挙動に及ぼす影響を知ることができる。計測の結果、M1断面ではほとんど変位は生じておらず、逆にM2断面では立坑壁面近傍に大きな変位が生じた。

同じ土岐夾炭累層内であるが、M2断面は凝灰質泥岩、M3, M4断面は凝灰質砂岩と岩質が異なる。M2断面と覆工過程が等しいM3断面の断層側と反対側の測線を比較する



と、生じた変位はM2断面の方が大きい。

このように、掘削に伴う変形性の違いは岩相により異なる。また、同じ岩相でも岩質が異なれば変形性は異なると言える。

#### 4. 2 断層・き裂

M3断面のEM1, 2, 3とM4断面のEM4, 8の測線は月吉断層と交差している。変位は断層との交差部分の近傍で生じており、大きさは他の測線より大きい。M3断面とM4断面では、地中変位計の設置前にボアホールスキャナーによる孔壁観察を行なった。図-20に孔壁の展開状況を、図-21にき裂記載の凡例を示す。図-22~24に観察結果を示す。M3断面では、き裂の頻度はEM1, 2, 3は1m当たり1~2本であり、EM4, 5, 6は1本未満である。このように、断層に向けた測線は他の測線よりき裂頻度が高い。同様に、M4断面でも断層と交差している測線は他の測線よりもき裂頻度が高い。従って、立坑掘削に伴って生じる変位の大きさは、断層の存在やき裂頻度の高さに依存していると言える。

ただし、M3断面のEM3の2~3mの範囲やM4断面のEM5の測線などは、ボアホールスキャナーによる孔壁観察ではき裂は観察されなかったが、比較的大きな変位が生じている。このことは、ボアホールスキャナーでは捉えられない0.1mm以下の開口幅のき裂や、立坑掘削に伴って新たに生じたき裂が変形挙動に関与している可能性があると言える。また、M3断面のEM2の3~6mの範囲のように不連続面が存在しているにもかかわらず、ほとんど変位が生じていない箇所もある。このように全てのき裂や不連続面が立坑掘削に伴う岩盤の変形挙動に関与しているとは限らない。

#### 4. 3 覆工過程

M4断面の上下約1Dは他の部分とは異なり、一时无覆工で掘削している。この箇所以外はショートステップで覆工を行なっている。M4断面とM3断面の変位の分布を比較することにより、覆工過程の影響の検討が可能である。M4断面では立坑壁面に近づくにつれて変位が大きくなっていく傾向が見られる。一方、M3断面では生じた変位が立坑壁面近傍で抑制されている。

M3断面とM4断面では覆工コンクリート内にコンクリート有効応力計を埋設して覆工応力を測定している。M4断面ではコンクリート覆工に作用する応力は0.5MPa以内と小さく、変位の発生がほとんど終了した後にコンクリートが覆工されたことを示している。一方、M3断面では2~4MPaと大きく、コンクリート覆工が立坑掘削に伴う変位の発生を抑制していることが考えられる。

#### 4. 4 深度

一般に、深度が大きくなるにつれて岩盤内の応力は増加すると考えられる<sup>2)</sup>。このために、掘削に伴う岩盤の変位は弾性係数が同程度であるなら深度に対応して大きくなることが予想される。しかし、M1~M4の各断面で比較的大きな変位が計測されたのはM2断面の立坑壁面近傍と、M3, M4断面の断層に向けた測線であり、深度との相関性は見られない。この結果は、岩質の違いや断層の存在あるいはき裂頻度の違いが原因と考えられ

る。これらの影響に隠れて、立坑掘削に伴う岩盤の変形挙動に及ぼす深度の影響は明確には捉えられなかったと考えられる。

#### 4. 5 不動点の位置について

M4断面では、長さ6mの地中変位計の最深部を不動点とすることの妥当性を検討するために、長さ12mの地中変位計を設置し計測した。また、長さ12mの地中変位計の最深部で変位が生じるかどうかを確認するために、東西と南北方向で内空変位を測定した。

EM8の計測結果から、6mの位置でも変位が生じていることが分かった。しかし、計測された変位は壁面変位と比較するとごく僅かである。

図-25に内空変位と地中変位の計測結果の比較を示す。内空変位計測開始後から立坑掘削開始までに、ほとんど変位は計測されていない。立坑掘削開始後は、内空変位と地中変位の変化の状況はほぼ一致している。変位の大きさは内空変位の方が若干大きく、立坑から12m離れた位置でも掘削に伴い岩盤が変位している可能性があるが、その差は小さく、立坑壁面近傍での掘削影響評価には影響しないと考えられる。

### 5 数値解析

#### 5. 1 掘削影響

立坑の掘削に伴い、立坑周辺の岩盤内に塑性域が発生しているかどうかを判断するために、流動要素法<sup>9)</sup>を用いて、実測した地中変位計の値を入力値とする逆解析を行った。表-3に示した入力定数は、変位計測を行った位置の周辺での原位置試験の結果や、周辺のボアホールから得られたコアを用いた室内試験で得られた結果を用いた。

解析で得られたせん断応力と室内試験で得られた内部摩擦角およびせん断強度から安全率を求めた。安全率はモール円と破壊包絡線の接近度から求めた。解析結果を図-26～29に示す。変位の与え方が局所的であったにもかかわらず、いずれの断面においても安全率1を下回る塑性域は発生していないことが分かった。

#### 5. 2 収束状況

立坑の掘削に伴う変位の収束状況を把握するために、有限要素法による軸対称弾塑性解析を行った。表-4に示す入力定数は立坑掘削の事前調査に基づいて決定した。

M3断面の深度における壁面変位の計算結果を図-30に示す。壁面変位は切羽が2～3D離れた時点ではほぼ収束している。計測結果では、全ての測点で切羽が3D離れるまでに収束しており、有限要素法による軸対称弾塑性解析結果と調和的であると言える。ただし、変位の大きさは実測値と合わなかった。これは、弾性係数が小さすぎたことと、覆工を考慮しなかったためと考えられる。

## 6 結び

立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形を地中変位計を用いて計測した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 掘削に伴う周辺岩盤の変形挙動は、地質によって異なる。
- (2) 断層が存在する所やき裂頻度が高い所では掘削に伴う変位が増大する。
- (3) 深度の影響は地質や断層・き裂の要因に隠れて明確に捉えられなかった。
- (4) コンクリート覆工には変位の発生を抑制する効果がある。
- (5) 立坑壁面から6～12m離れた所でも変位が発生しているが、その大きさは壁面変位に較べるとごく僅かである。

地中変位計で計測した岩盤の変形挙動を論理的に理解するため数値解析を行った。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 塑性域は発生していない。
- (2) 立坑掘削に伴う変位の収束状況は有限要素法軸対称解析で表現できる。

以上の結果をまとめると、き裂状況に応じたパラメーターを用いれば、立坑掘削に伴う周辺岩盤の変形挙動は弾塑性有限要素法解析でシミュレーションが可能であると言える。

## 7 今後の課題

地中変位計測の結果、掘削に伴う周辺岩盤の変位の発生は、き裂頻度の高いところや、断層が存在するところで増大することが分かった。しかし、ボアホールスキャナーでき裂が観察されなかった箇所でも変位が発生したり、き裂頻度の高い箇所にもかかわらず変位が発生しない箇所もあった。したがって、掘削に伴う変形挙動に影響を及ぼすき裂の把握や孔壁観察技術の向上や、断層および断層周辺の破碎帯の物性値の取得が今後の課題となるであろう。

また、変位発生の深度依存性が見られなかったことの検討のためや、数値解析の初期条件となる初期応力場の把握も今後の課題となるであろう。

以上のことから、今後の課題として以下のことが挙げられる。

- (1) 変形挙動に影響を及ぼすき裂の把握
- (2) 孔壁観察技術の向上
- (3) 断層および断層周辺の破碎帯の物性値の取得
- (4) 複数深度における初期応力の測定

## 8 謝辞

本研究は、大成建設，大林組，清水建設，鹿島建設に委託し実施した。関係者に御礼申し上げます。また、データの解析および評価に際しては、東京大学大久保教授，名古屋大学市川助教授，京都大学谷本助教授，鳥取大学木山教授，山口大学水田教授に御指導，御助言を賜った。末筆ながらここに記して感謝に意を表したい。

## 9 参考文献

- 1) 杉原他，新第三系堆積岩における立坑掘削影響試験の概要：土木学会「地下空間利用シンポジウム（1992）」
- 2) E. フック，E. T. ブラウン，岩盤地下空間の設計と施工：土木工学社（1985）
- 3) 木山他，連続体の大変形解析のための流動要素法（FLEM）の提案：  
土木学会論文集、No. 439，1991年12月号

## 図表

- 表-1 室内試験結果
  - 2 地中変位計の仕様
  - 3 F L E M解析入力定数
  - 4 F E M解析入力定数
  
- 図-1 東濃鉱山の位置
  - 2 東濃鉱山の地質概要図
  - 3 地中変位の計測位置
  - 4 M 1, M 2断面の計測デザイン
  - 5 M 3断面の計測デザイン
  - 6 M 4断面の計測デザイン
  - 7 地中変位の計測結果 (M 1断面 EM-1, EM-2, EM-3)
  - 8 地中変位の計測結果 (M 1断面 EM-4, EM-5, EM-6)
  - 9 M 1断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)
  - 10 地中変位の計測結果 (M 2断面 EM-1, EM-2, EM-3)
  - 11 地中変位の計測結果 (M 2断面 EM-4, EM-5, EM-6)
  - 12 M 2断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)
  - 13 地中変位の計測結果 (M 3断面 EM-1, EM-2, EM-3)
  - 14 地中変位の計測結果 (M 3断面 EM-4, EM-5, EM-6)
  - 15 M 3断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)
  - 16 地中変位の計測結果 (M 4断面 EM-1, EM-2, EM-3)
  - 17 地中変位の計測結果 (M 4断面 EM-4, EM-5, EM-6)
  - 18 地中変位の計測結果 (M 4断面 EM-7, EM-8)
  - 19 M 4断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)
  - 20 孔壁の展開状況
  - 21 き裂記載の凡例
  - 22 孔内観測図 (M 3断面)
  - 23 孔内観測図 (M 4断面)
  - 24 孔内観測図 (M 4断面)
  - 25 地中変位と内空変位の比較 (M 4断面)
  - 26 流動要素法解析結果 (M 1断面)
  - 27 流動要素法解析結果 (M 2断面)
  - 28 流動要素法解析結果 (M 3断面)
  - 29 流動要素法解析結果 (M 4断面)
  - 30 F E Mによる軸対称弾塑性解析結果

表-1 室内試験結果

地層名	岩石名	試験深度 m	単位体積 重量 kN/m <sup>3</sup>	含水比 %	飽和度 %	静弾性 係数 MPa	静ポア ソン比	一軸圧縮 強度 MPa	三軸圧縮強度		透水係数 cm/sec
									C (MPa)	φ (°)	
明世界層	砂岩	22-25	19.6	22.7	94.1	3010	0.31	7.35	2.01	16.6	9.59×10 <sup>-7</sup>
	泥岩	41-44	16.5	44.5	93.0	2120	0.29	5.45	2.21	16.7	7.91×10 <sup>-9</sup>
土岐夾炭累層	凝灰質 泥岩	68-73	18.0	35.7	92.4	530	0.37	2.97	0.74	31.5	4.05×10 <sup>-10</sup>
	含礫 砂岩	90-96	18.1	39.6	99.9	2030	0.27	6.31	1.90	24.0	1.01×10 <sup>-11</sup>
	砂岩	108-111	18.8	27.3	89.3	3460	0.33	8.26	0.67	39.4	1.24×10 <sup>-10</sup>
	砂岩	132-137	19.5	22.7	89.2	1470	0.30	7.28	4.00	12.9	1.76×10 <sup>-10</sup>

表-2 地中変位計の仕様

メーカー	株式会社東横エルメス
型式	ワイヤー式変位計PV-100-6
測定範囲	±50mm
出力電圧	±100 mV
精度	±0.05mm
使用温度範囲	-10° ~60°C
アンカー方式	機械式、モルタル
ボーリング孔径	66~86mm

表-3 FLEM解析入力定数

弾性係数	1050MPa(M1) 970MPa(M2) 1140MPa(M3) 1280MPa(M4)
せん断強度	0.15MPa
内部摩擦角	30°
初期地圧 = $k \gamma H$	
	$k = 1.0$
	$\gamma = 17.7 \text{ kN} / \text{m}^3$
	$H = 54.5\text{m (M1)}$
	67.5 (M2)
	112.6 (M3)
	133.0 (M4)

表-4 FEM 解析入力物性一覧

単位体積重量	15.7 kN / m <sup>3</sup>
側圧係数	1.0
弾性係数	107.8 MPa
ポアソン比	0.3
粘着力	0.25 MPa
内部摩擦角	30°



1:50,000

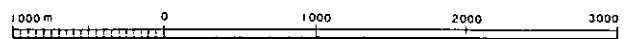


図-1 東濃鉦山の位置



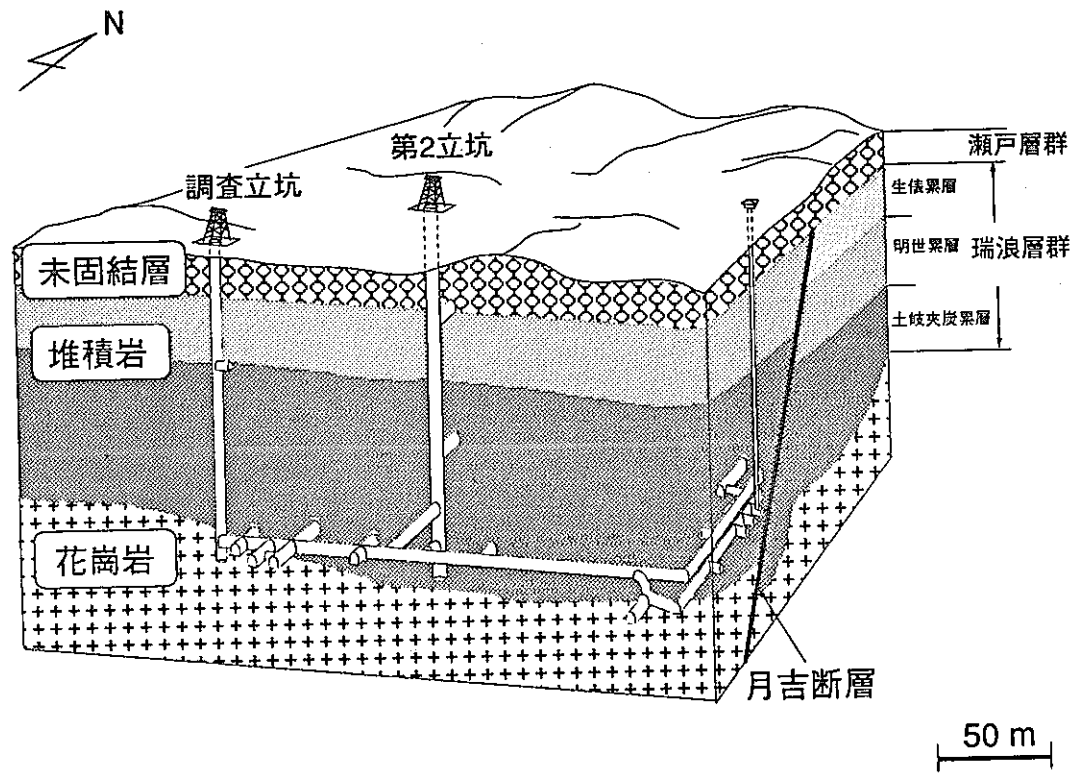


図-2 東濃鉱山の地質概要図

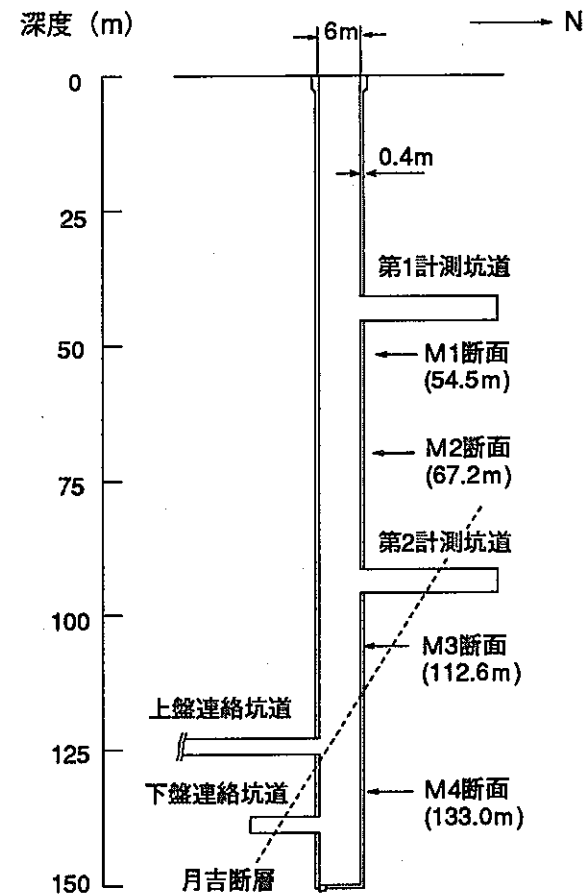


図-3 地中変位の計測位置

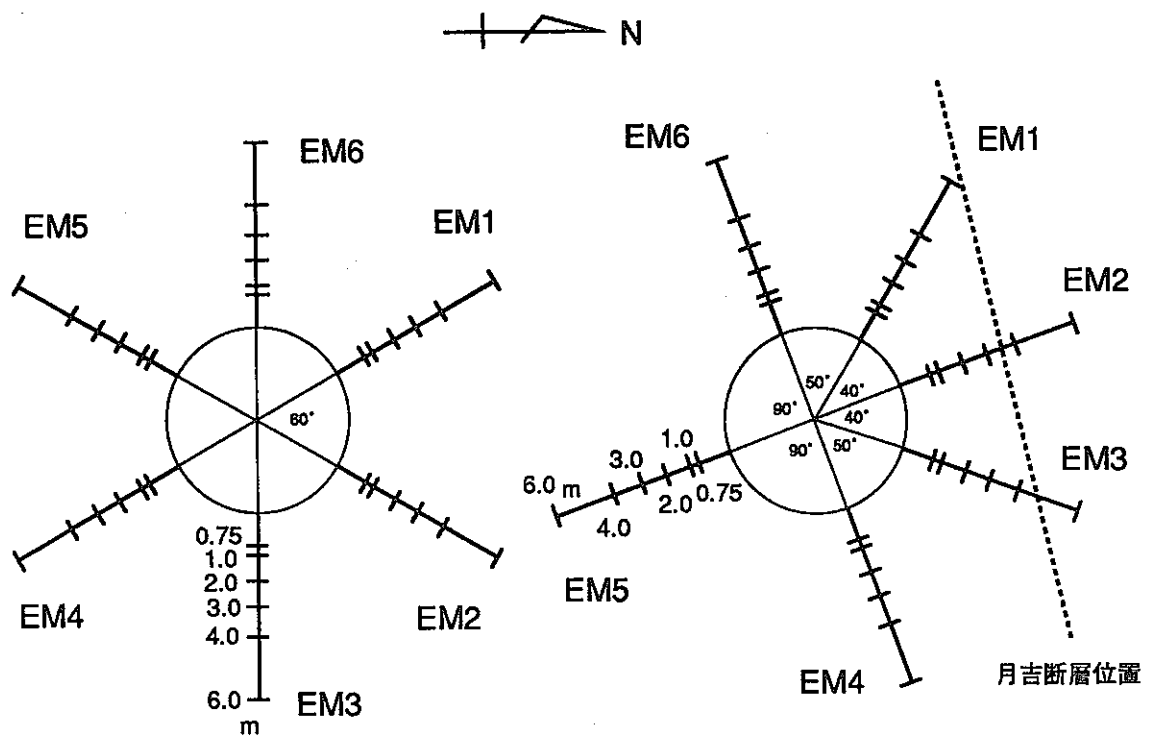


図-4 M1, M2断面の計測デザイン

図-5 M3断面の計測デザイン

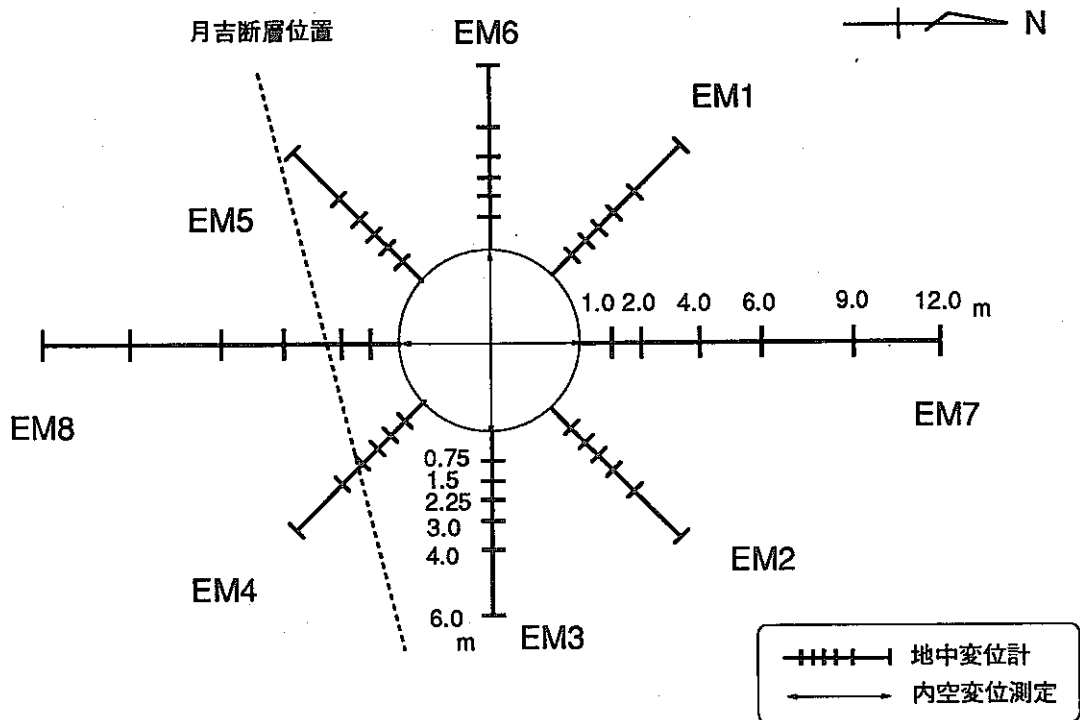
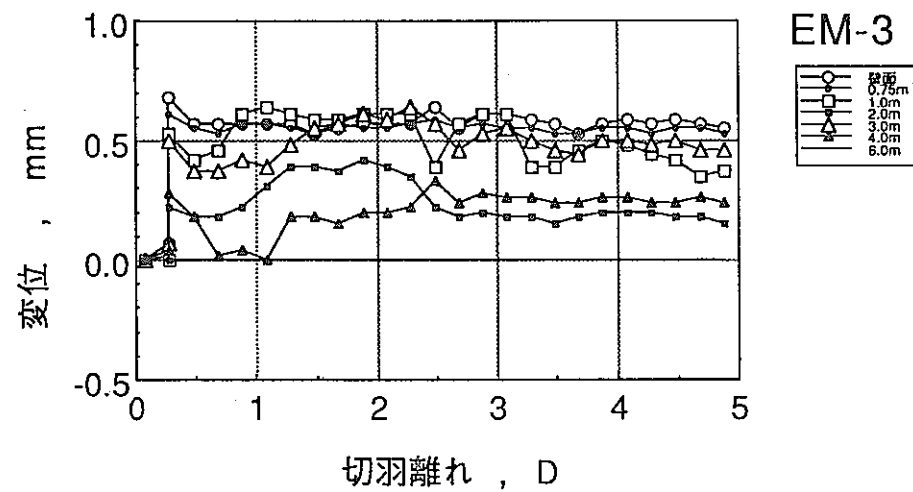
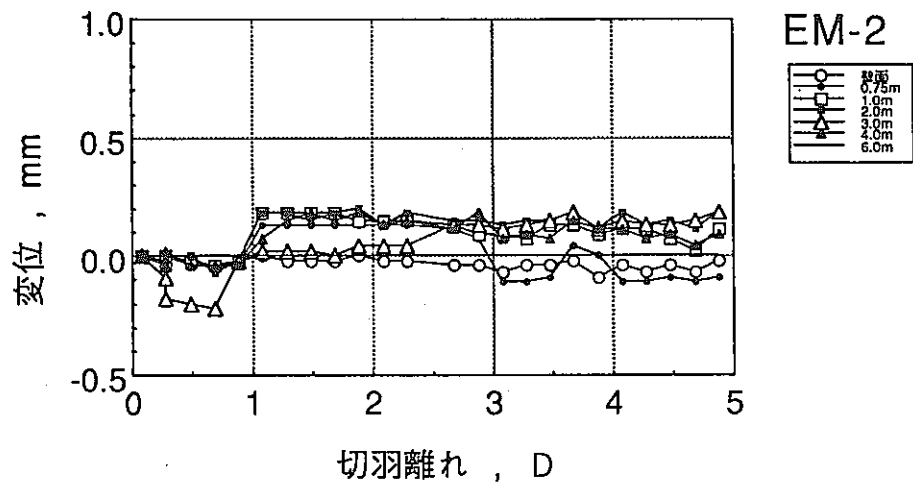
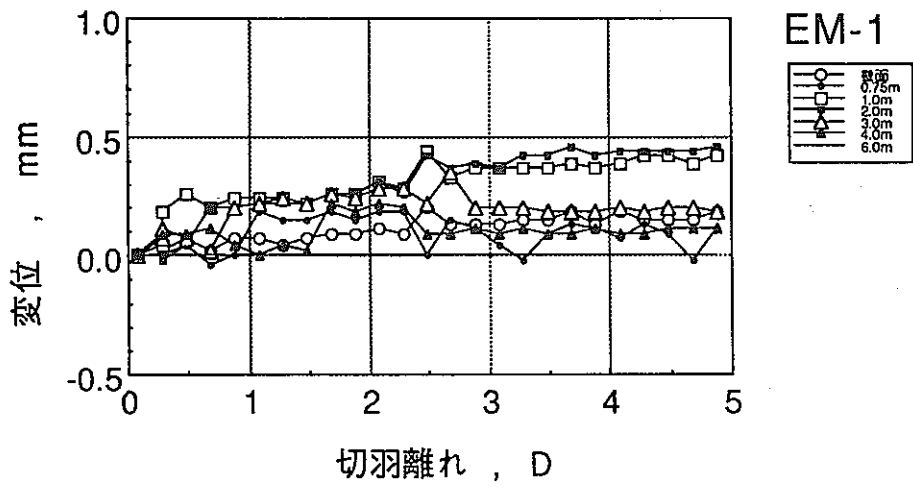


図-6 M4断面における計測デザイン



図一七 地中変位の計測結果 (M1断面 EM-1,EM-2,EM-3)

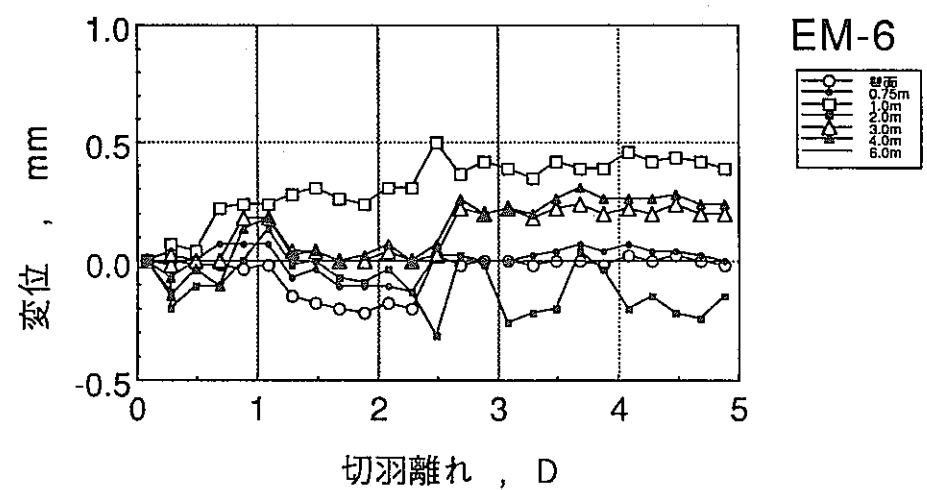
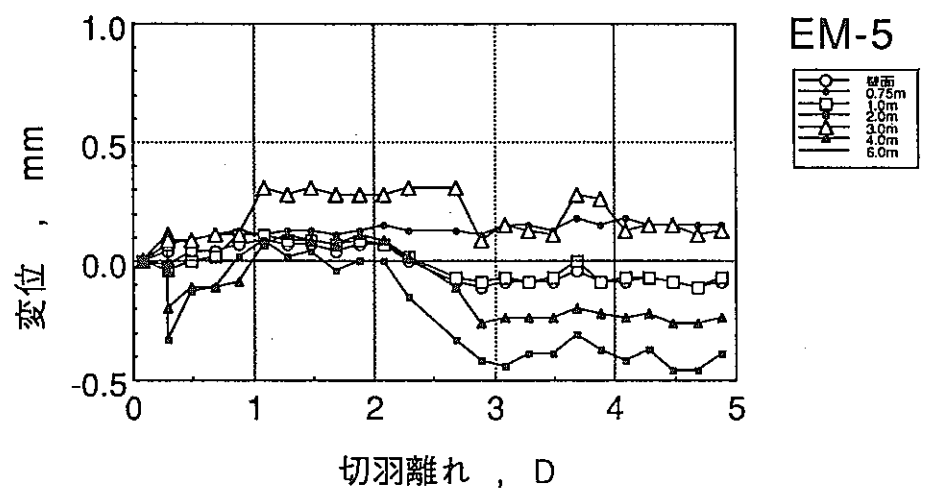
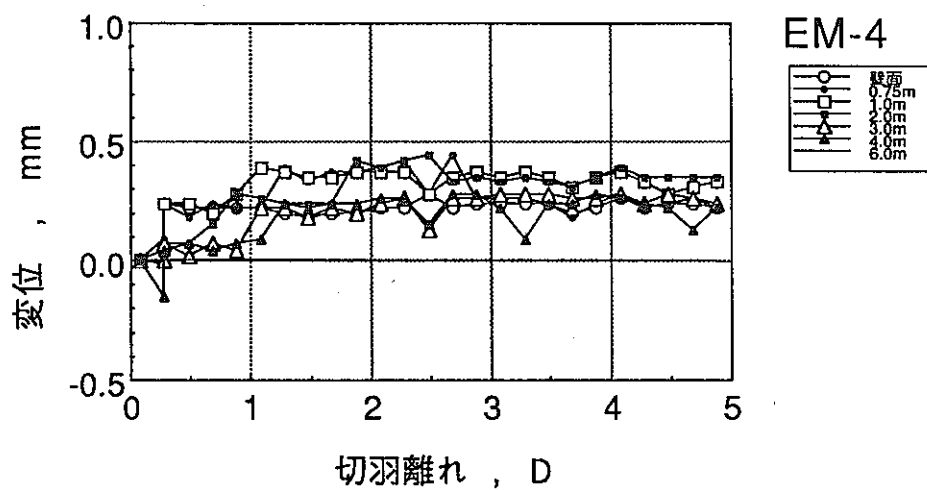


図-8 地中変位の計測結果 (M1断面 EM-4,EM-5,EM-6)

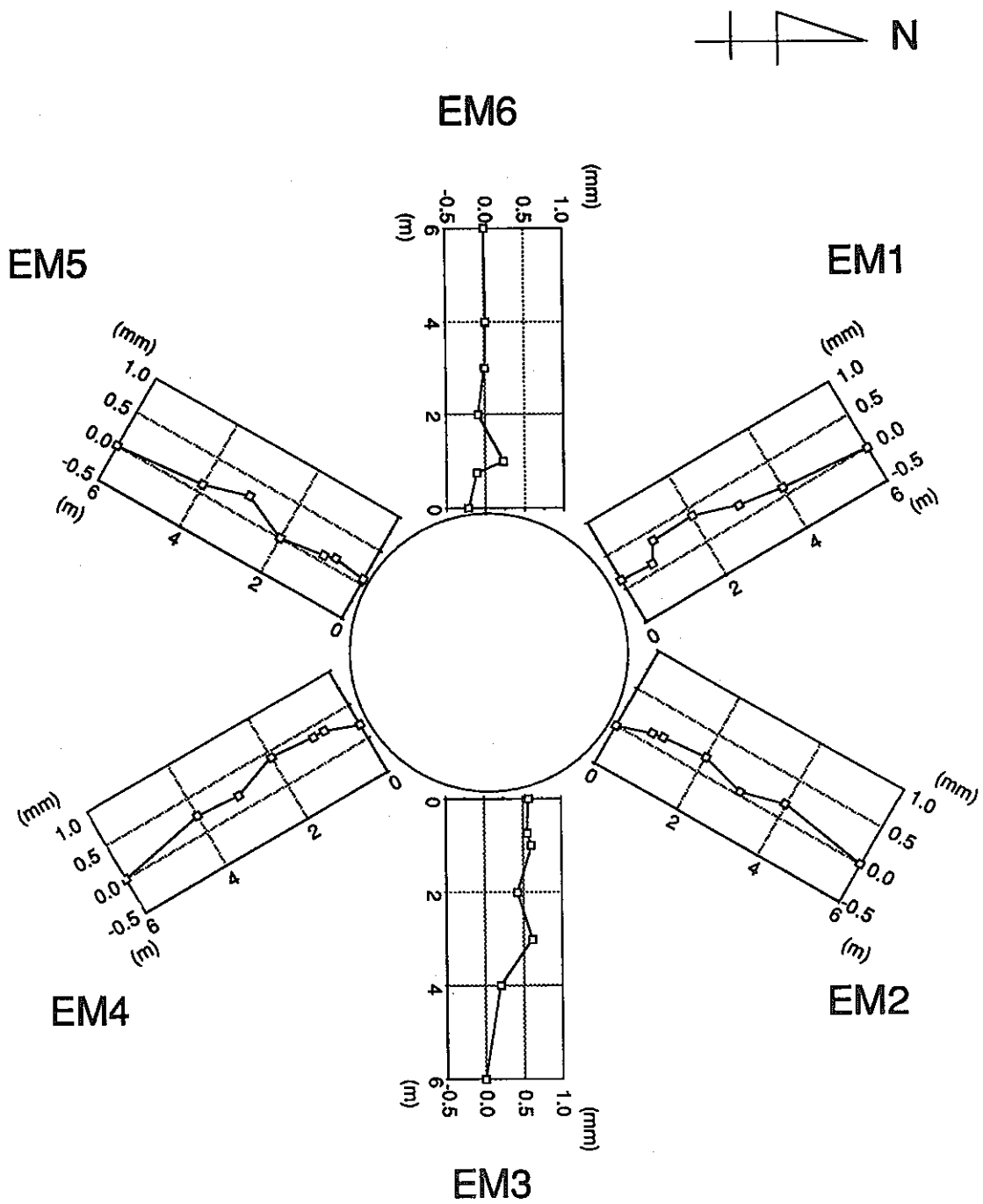


図-9 M1断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)

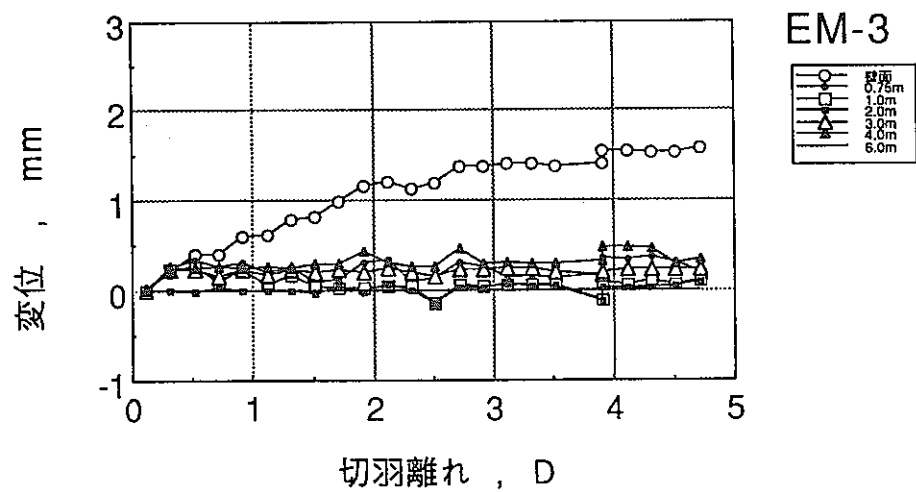
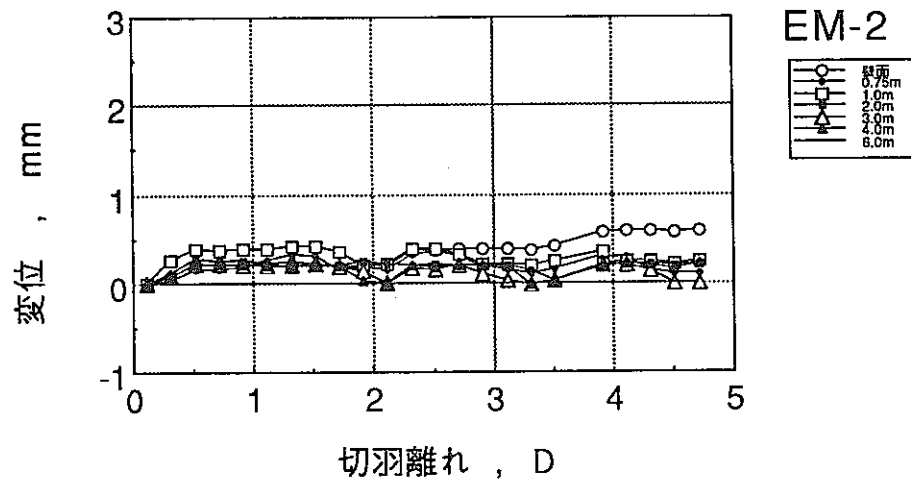
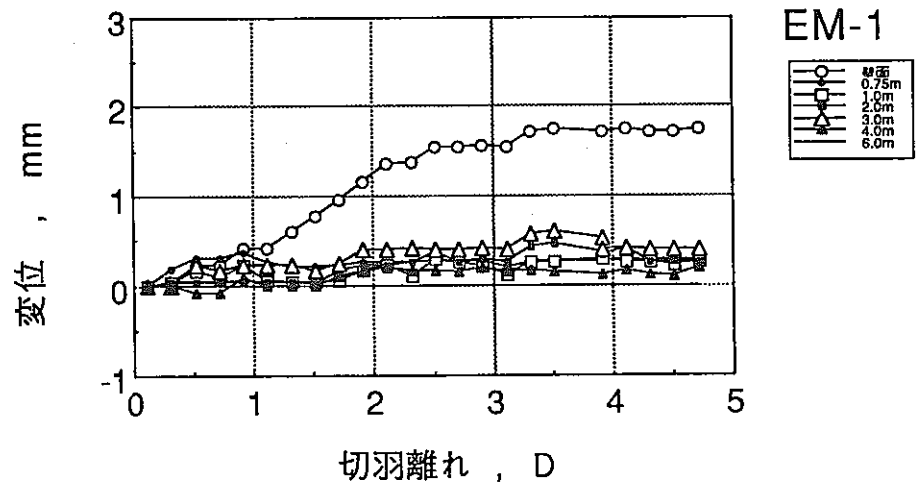


図-10 地中変位の計測結果 (M2断面 EM-1,EM-2,EM-3)

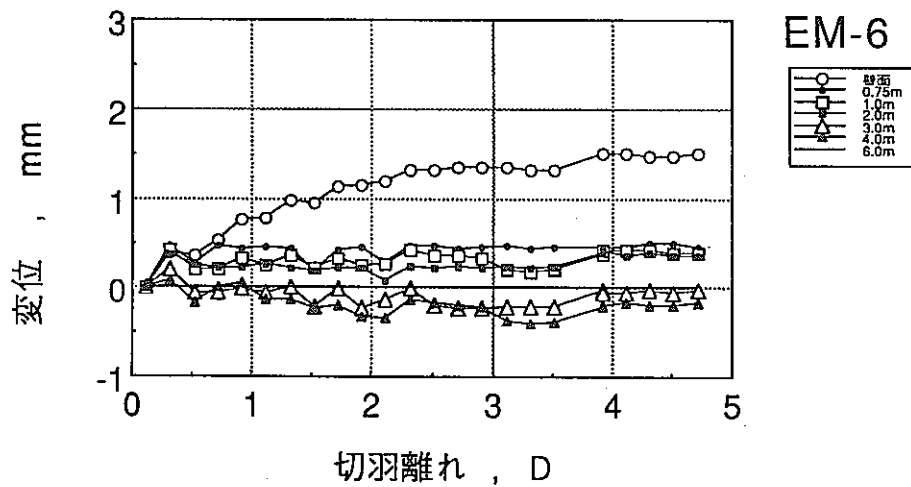
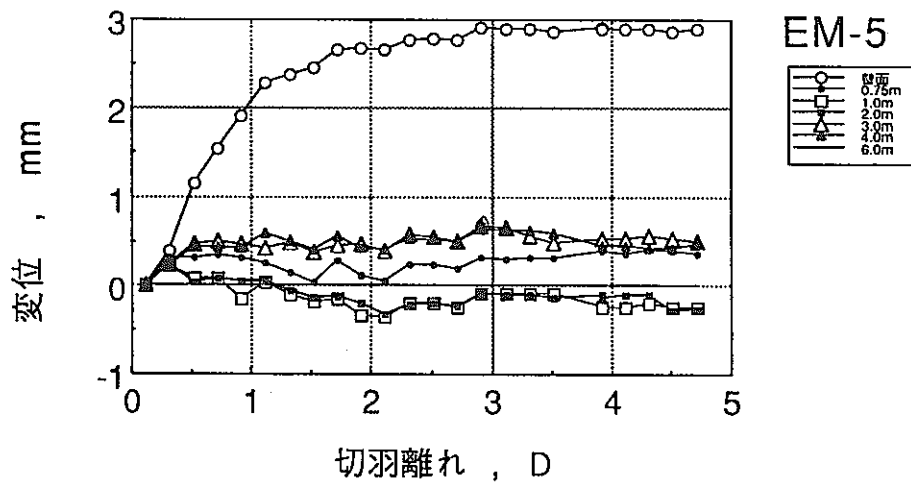
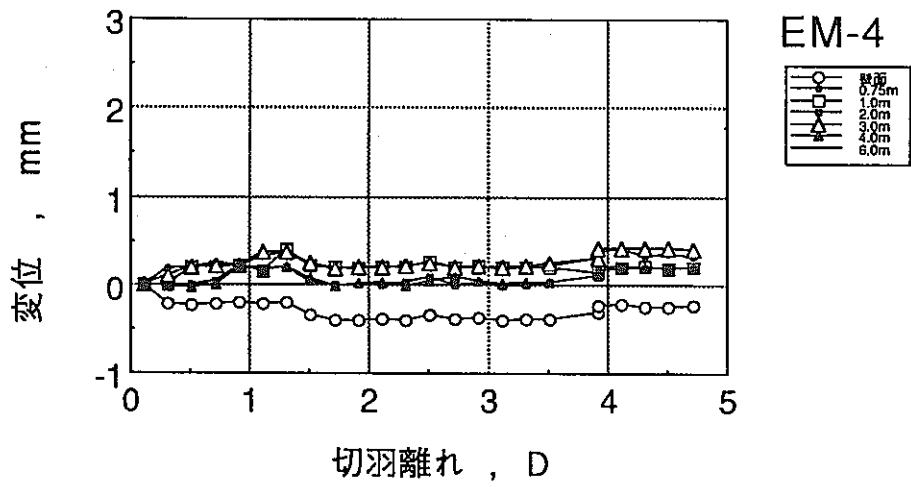
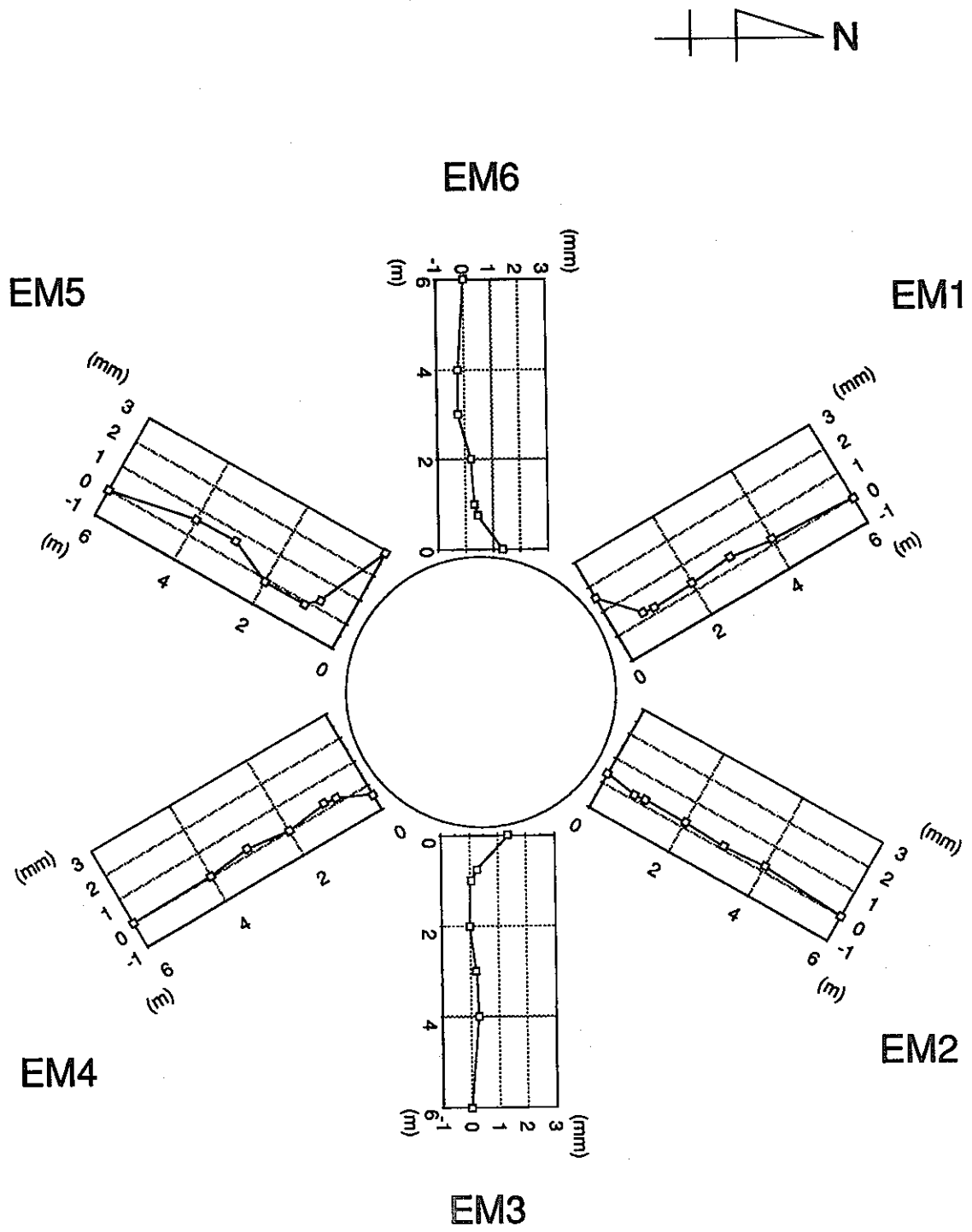
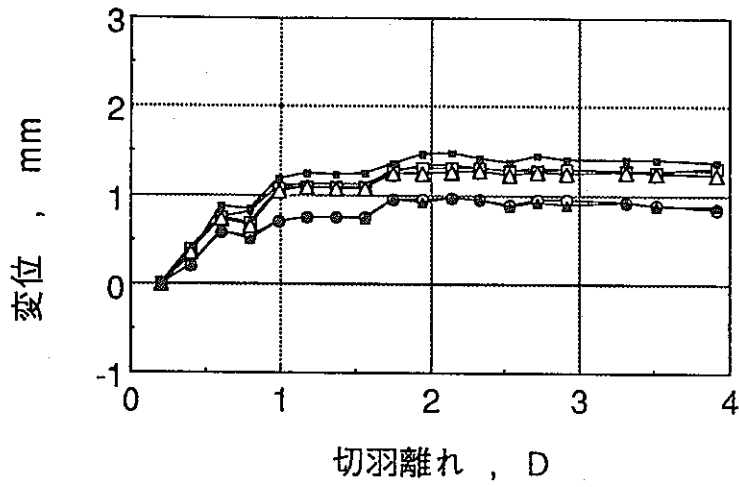


図-11 地中変位の計測結果 (M2断面 EM-4,EM-5,EM-6)

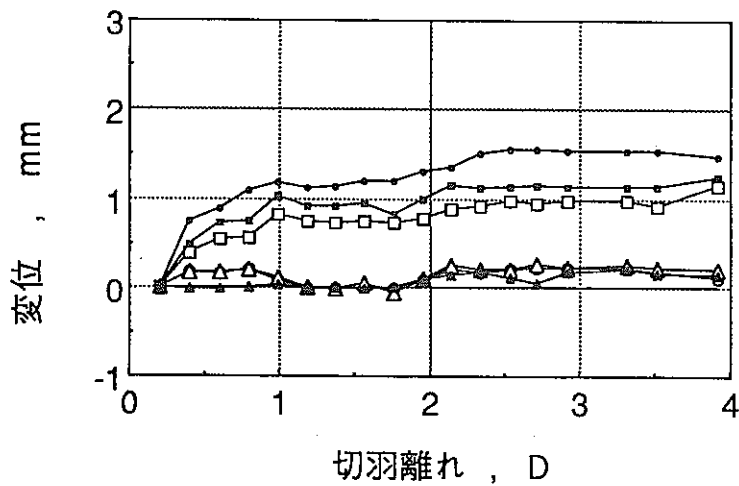
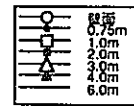


図一12 M2断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)

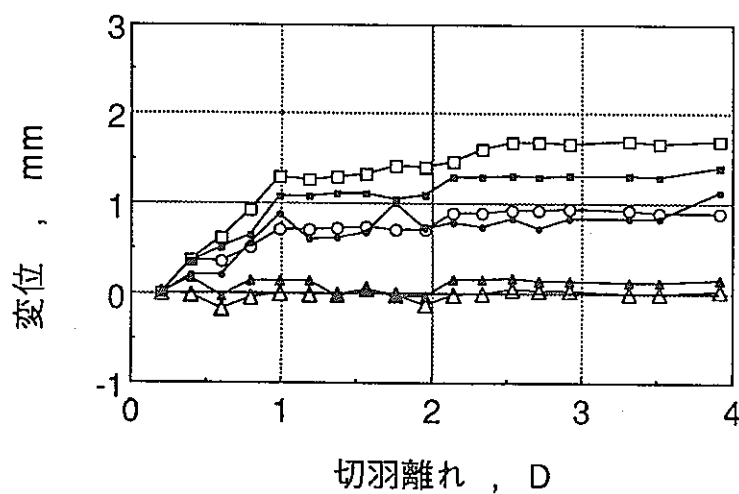
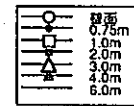




EM-1



EM-2



EM-3

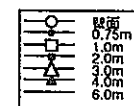


図-13 地中変位の計測結果 (M3断面 EM-1,EM-2,EM-3)

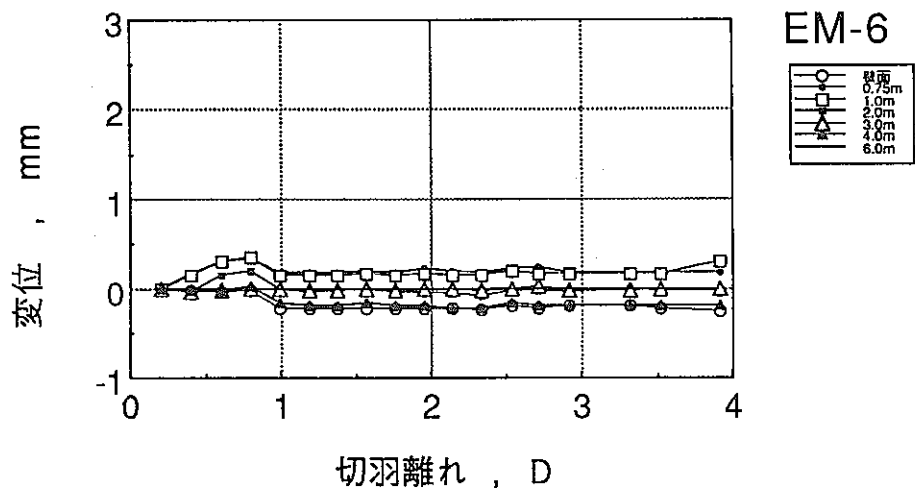
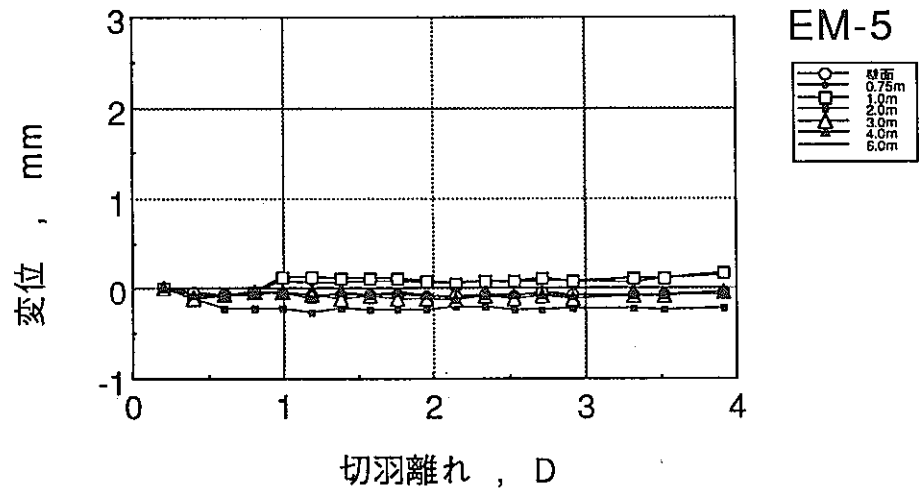
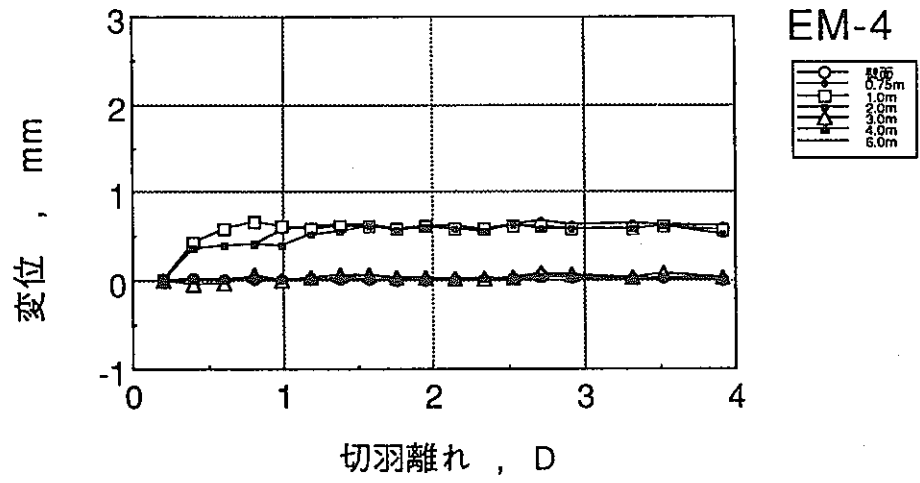
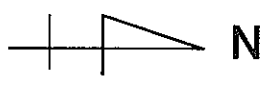


図-14 地中変位の計測結果 (M3断面 EM-4,EM-5,EM-6)



月吉断層位置

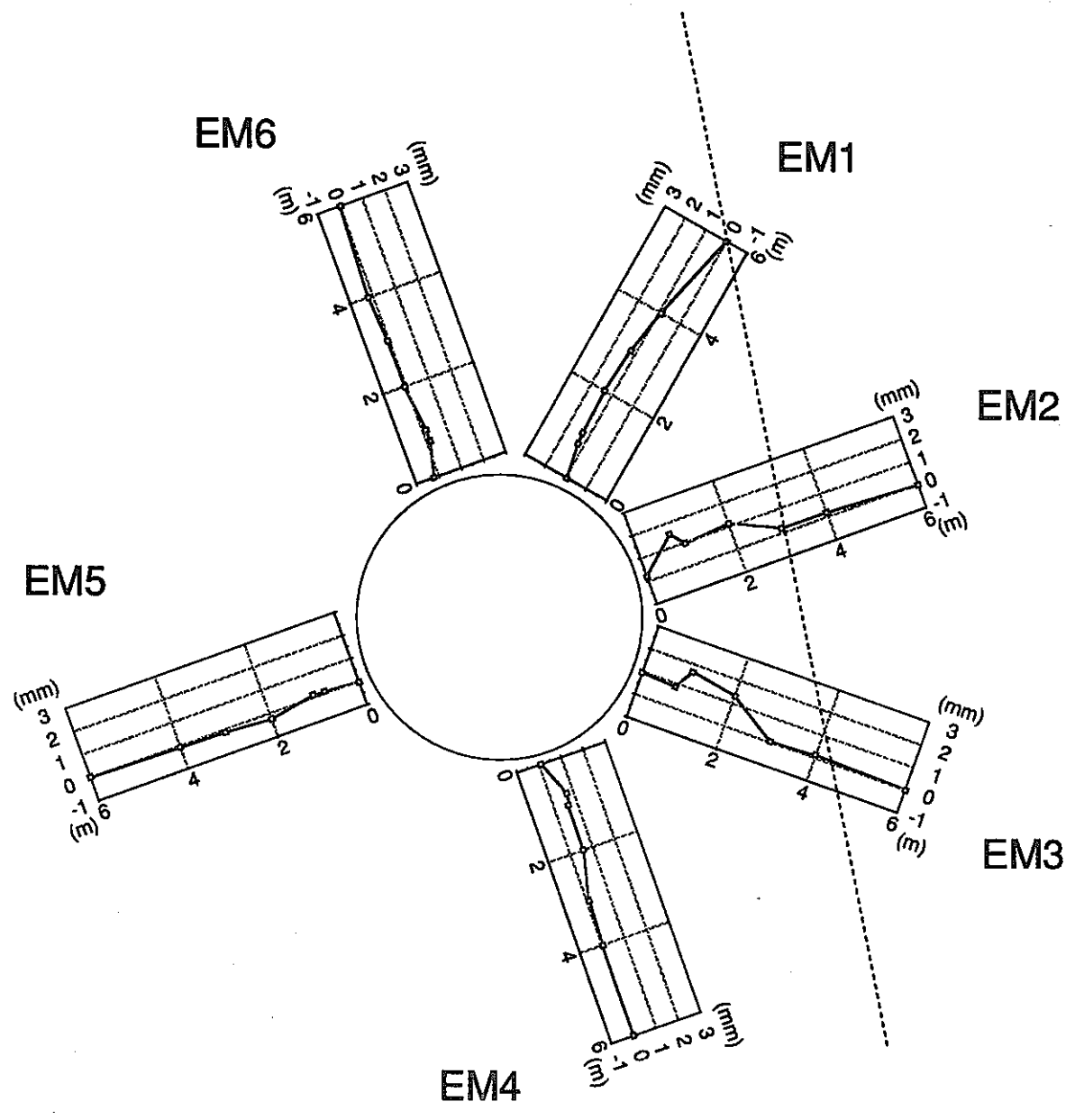


图-15 M3断面地中変位分布图 (切羽離れ 3D)

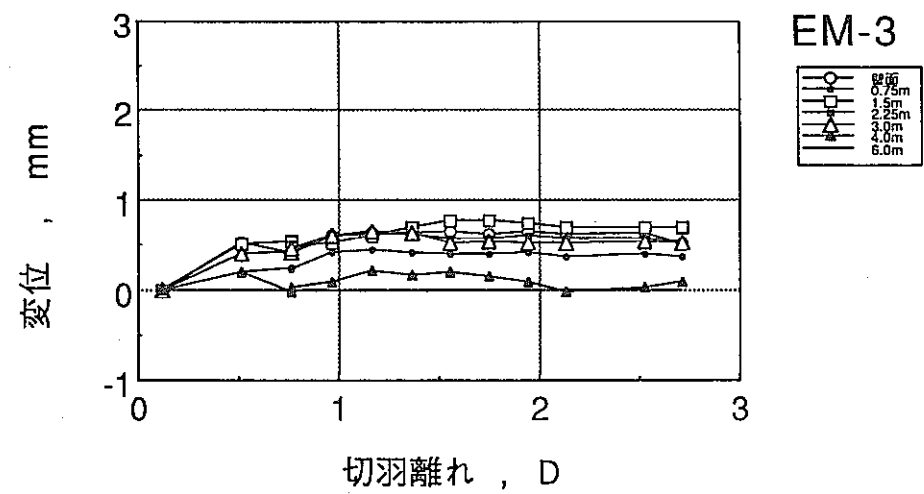
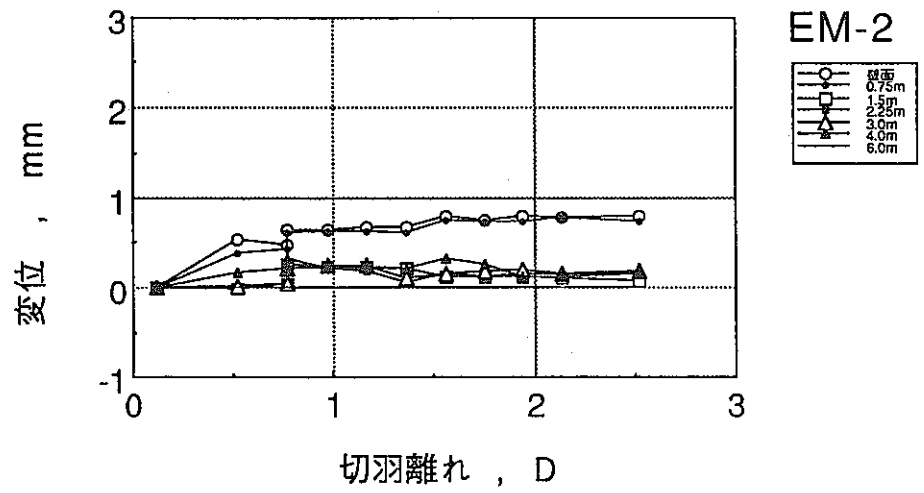
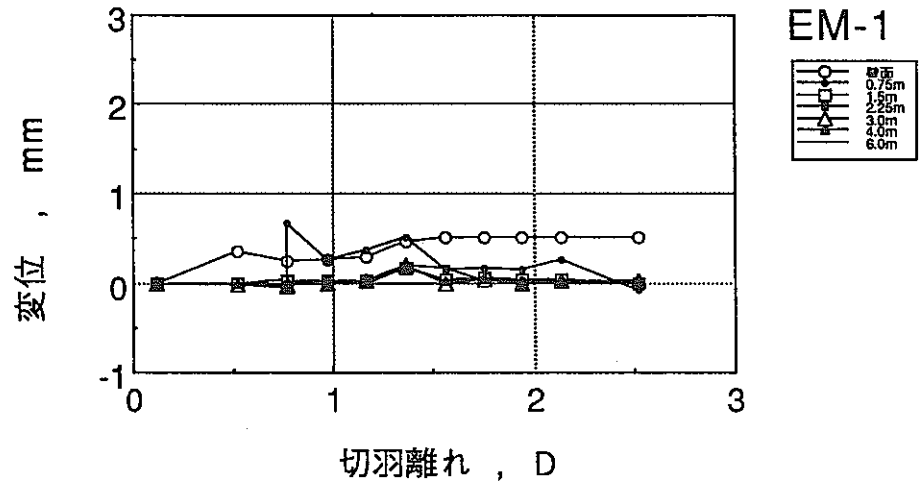


図-16 地中変位の計測結果 (M4断面 EM-1,EM-2,EM-3)

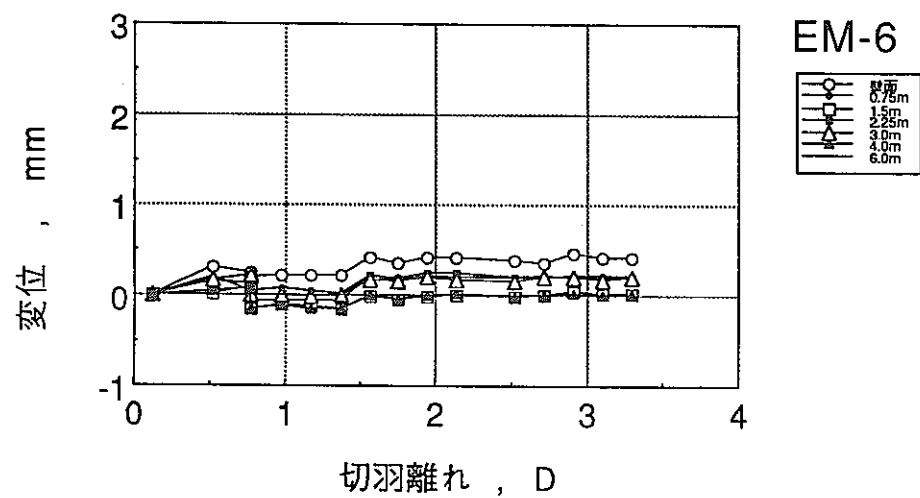
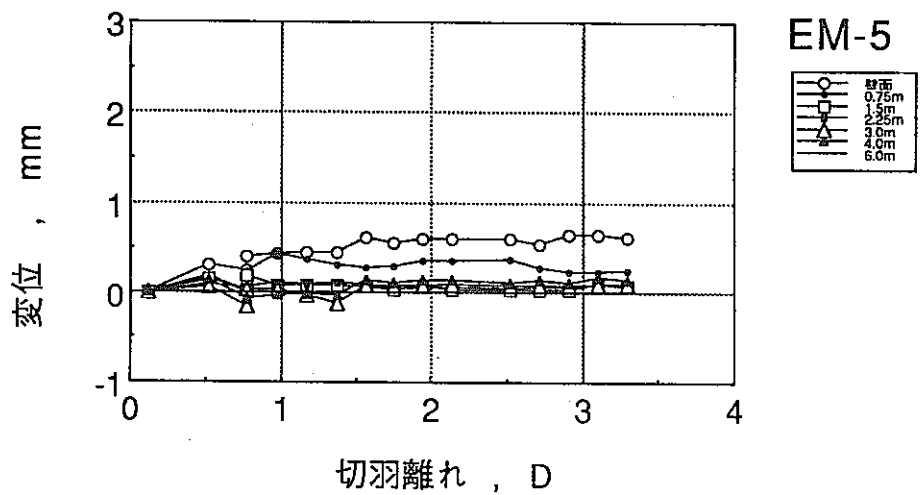
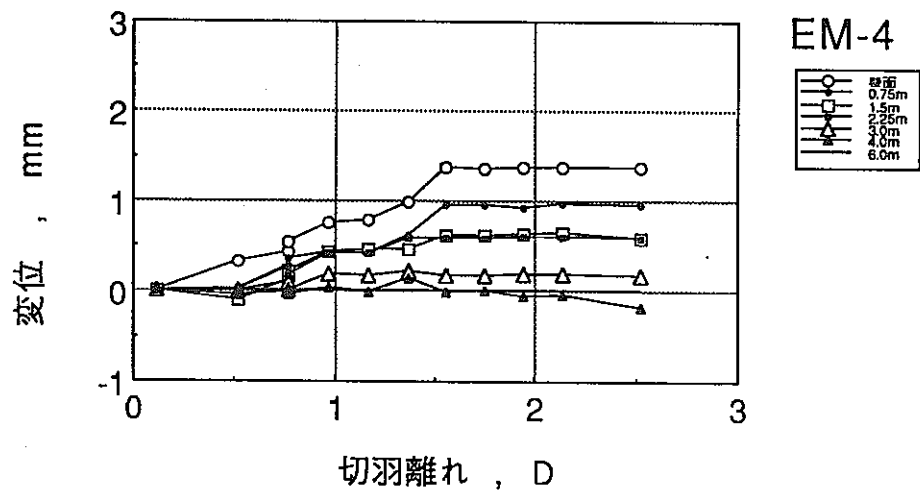


図-17 地中変位の計測結果 (M4断面 EM-4,EM-5,EM-6)

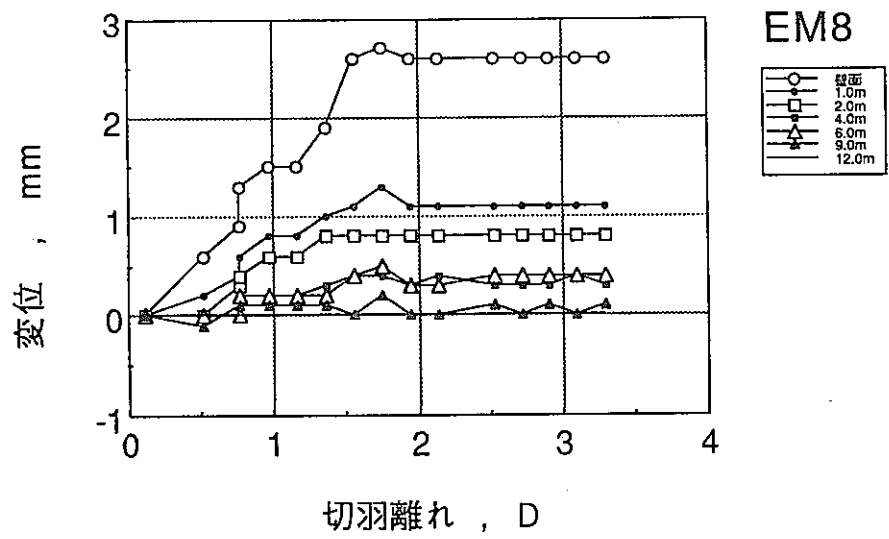
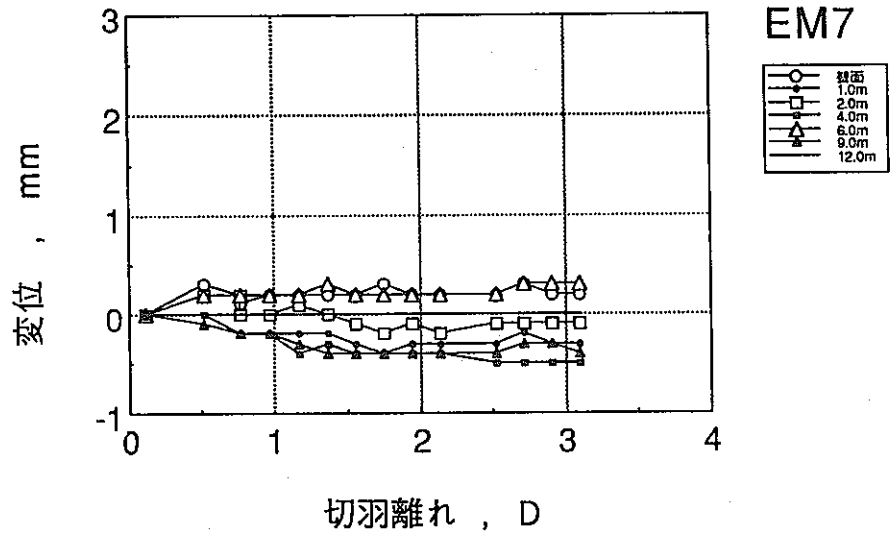
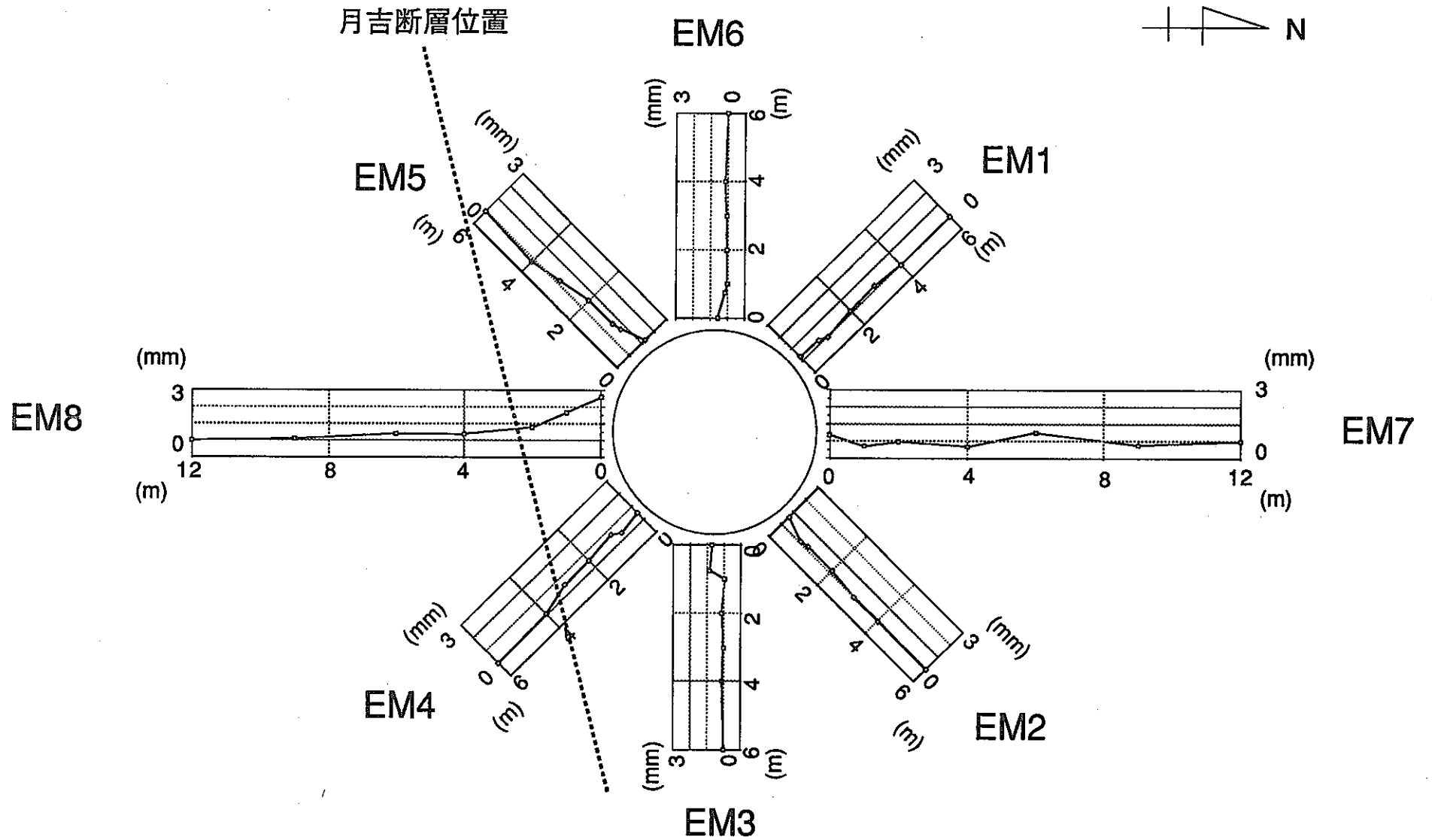


図-18 地中変位の計測結果 (M4断面 EM-7,EM-8)



図一19 M4断面地中変位分布図 (切羽離れ 3D)

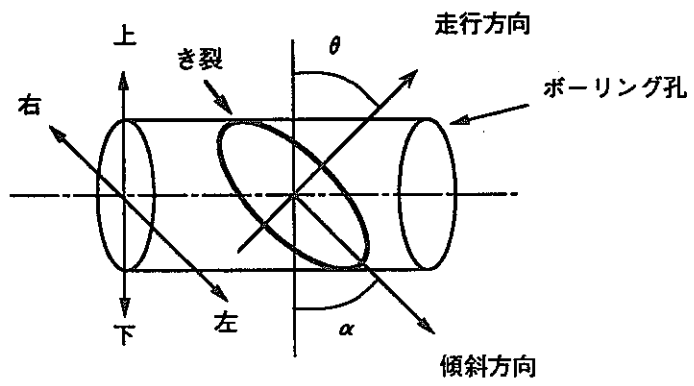






図-20 孔壁の展開状況



## 割れ目の型

記号	割れ目の型
Wo	開口した割れ目
Wc	密着した割れ目
Wf	剥離を伴う割れ目
Wb	破碎帯 (境界)
Jc	粘土を充填する割れ目
Jm	グラウトミルクを充填する割れ目
Vq	白色鉱物の細脈
Ve	有色鉱物の細脈
L	層理および地質境界

## 割れ目の形状






記号	割れ目の形状
 1	単独の割れ目
 2	派生する割れ目を伴うもの
 3	平行する数本の割れ目からなるもの
 4	規則性のない割れ目 断続的な割れ目

[例]

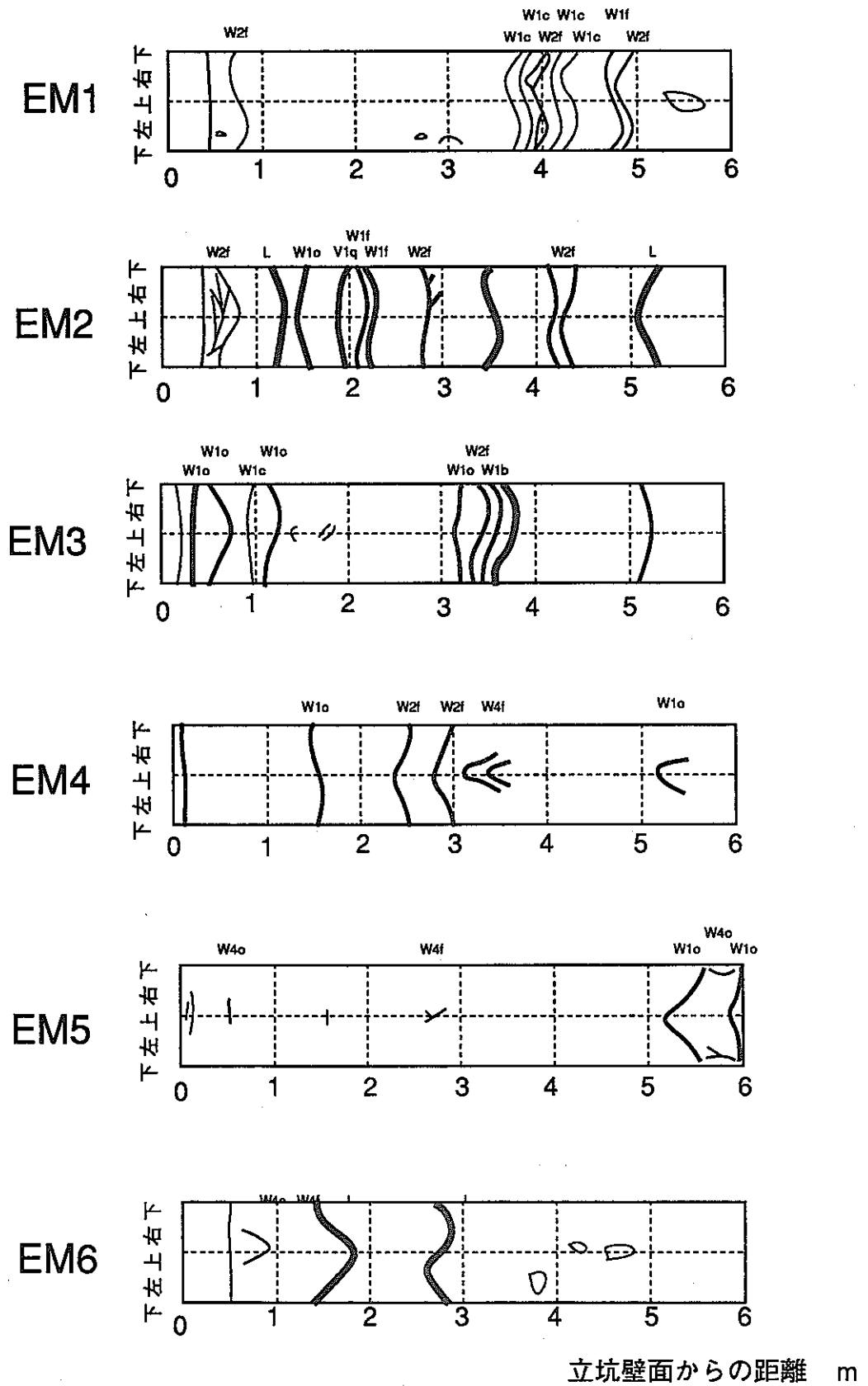
派生割れ目を伴う開口割れ目 W2o

不規則な白色鉱物の細脈 V4q

## 割れ目の開口幅

	0.1~0.3mm
	0.3~0.5mm
	0.5~1.0mm
	1.0~2.0mm
	2.0mm~

図一21 き裂記載の凡例



図一22 孔内観測図 (M3断面)

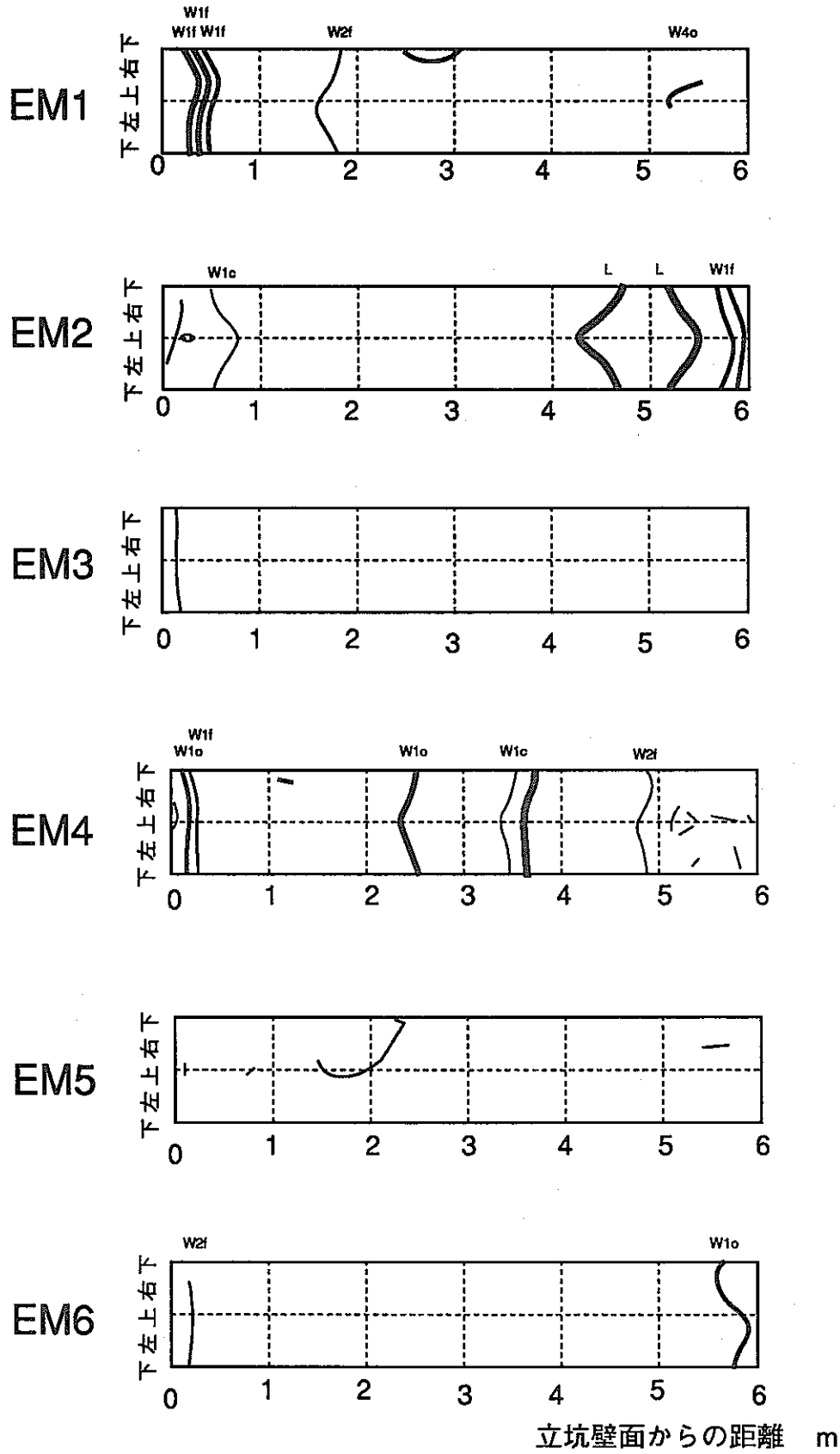
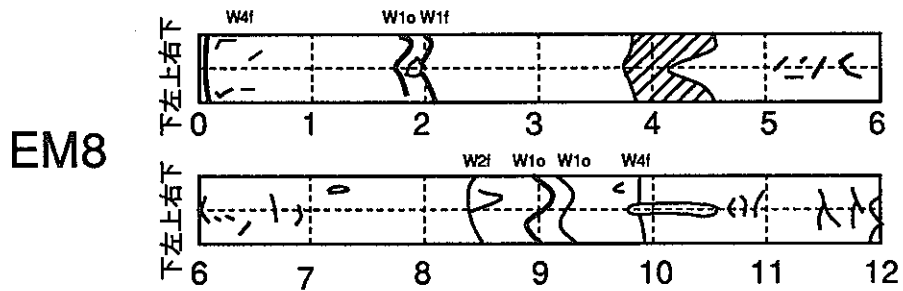
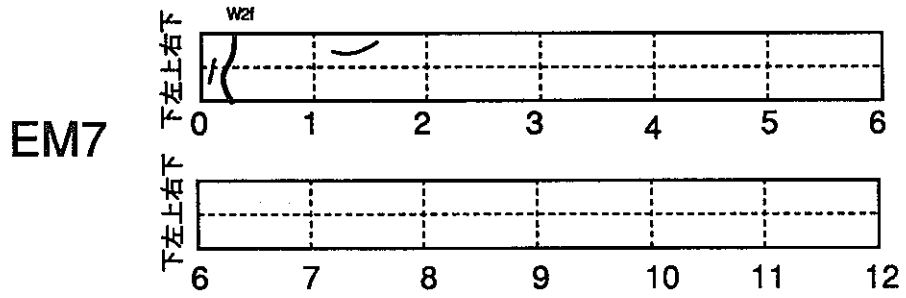


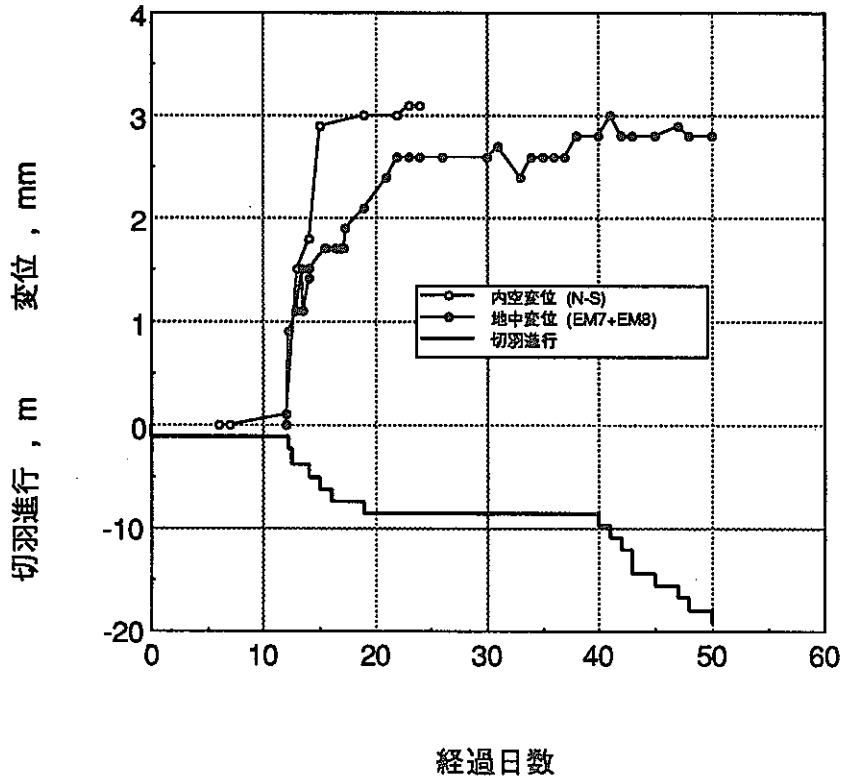
図-23 孔内観測図 (M4断面)



立坑壁面からの距離 m

図-24 孔内観測図 (M4断面)

M4断面 南北方向



M4断面 東西方向

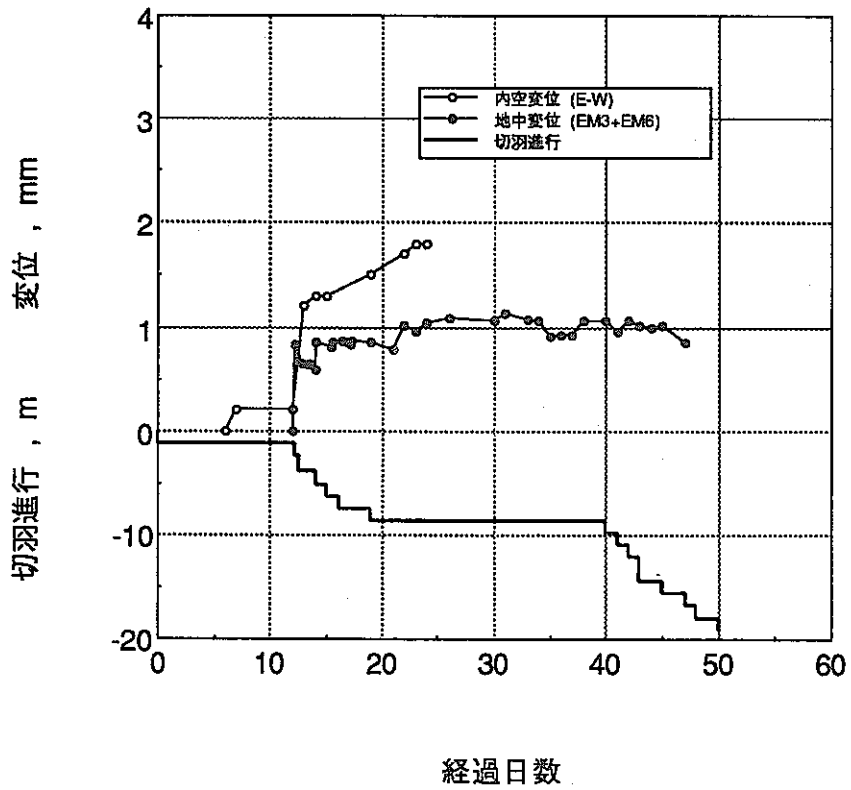
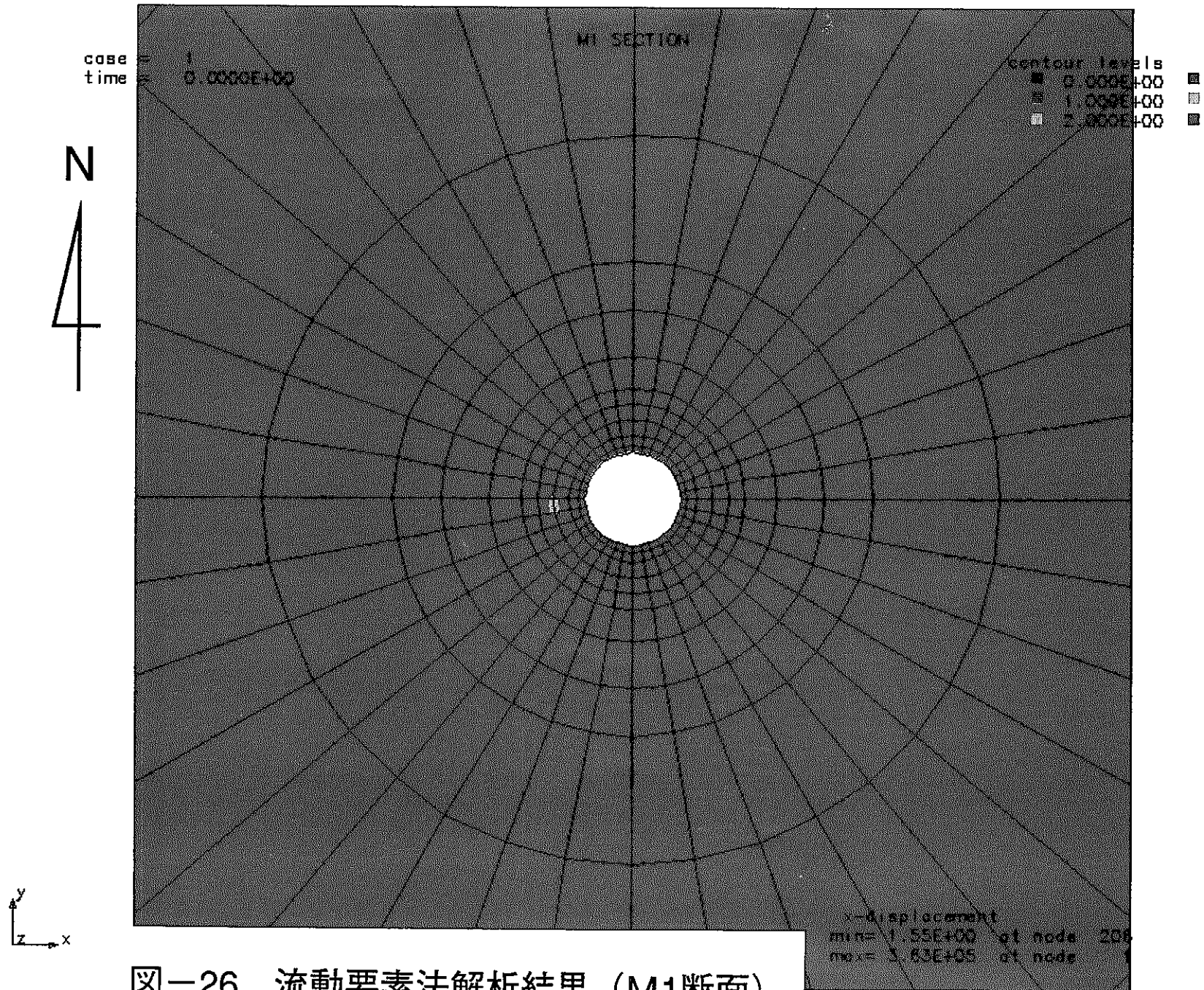


図-25 地中変位と内空変位の比較 (M4断面)



圖一26 流動要素法解析結果 (M1断面)

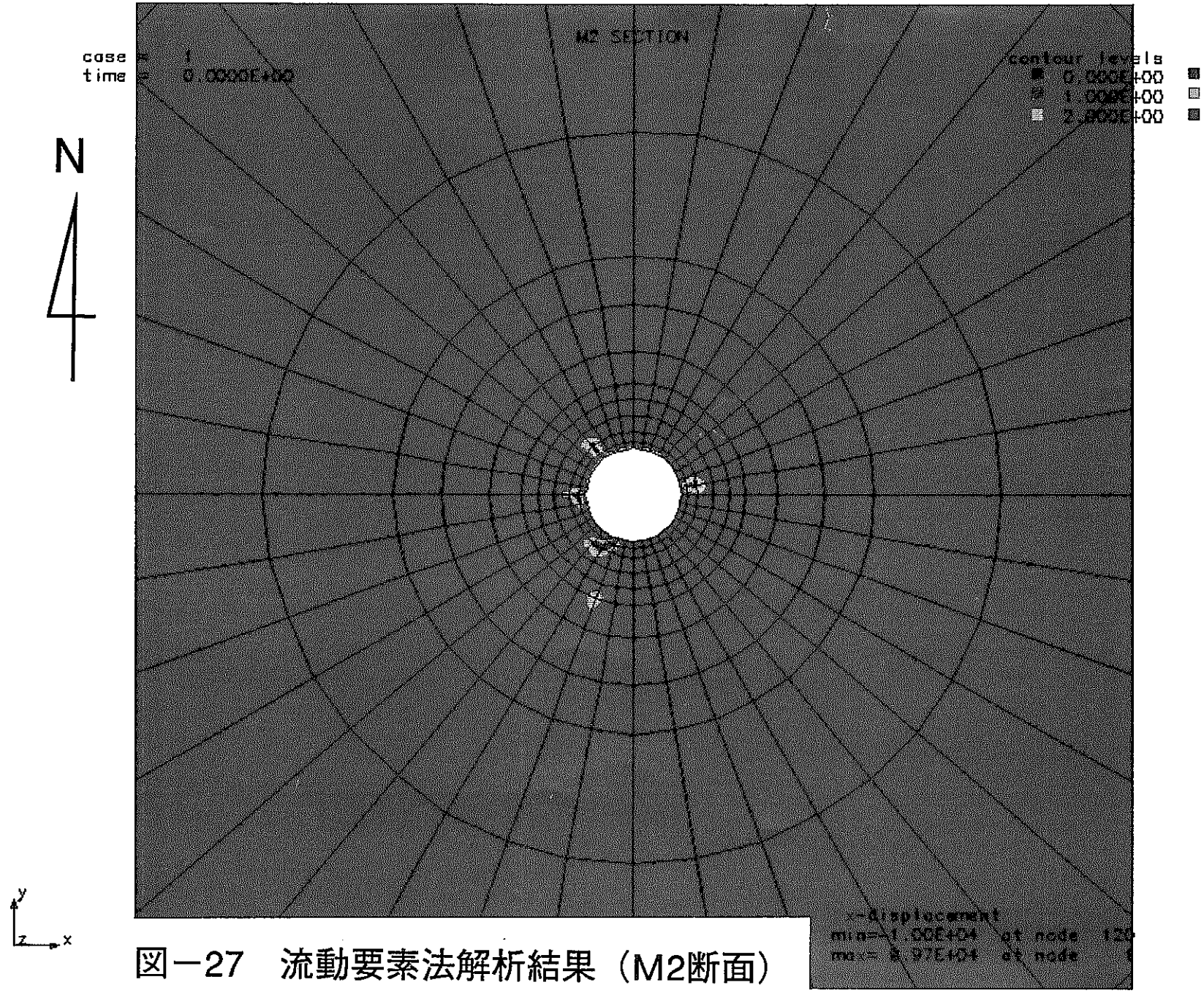
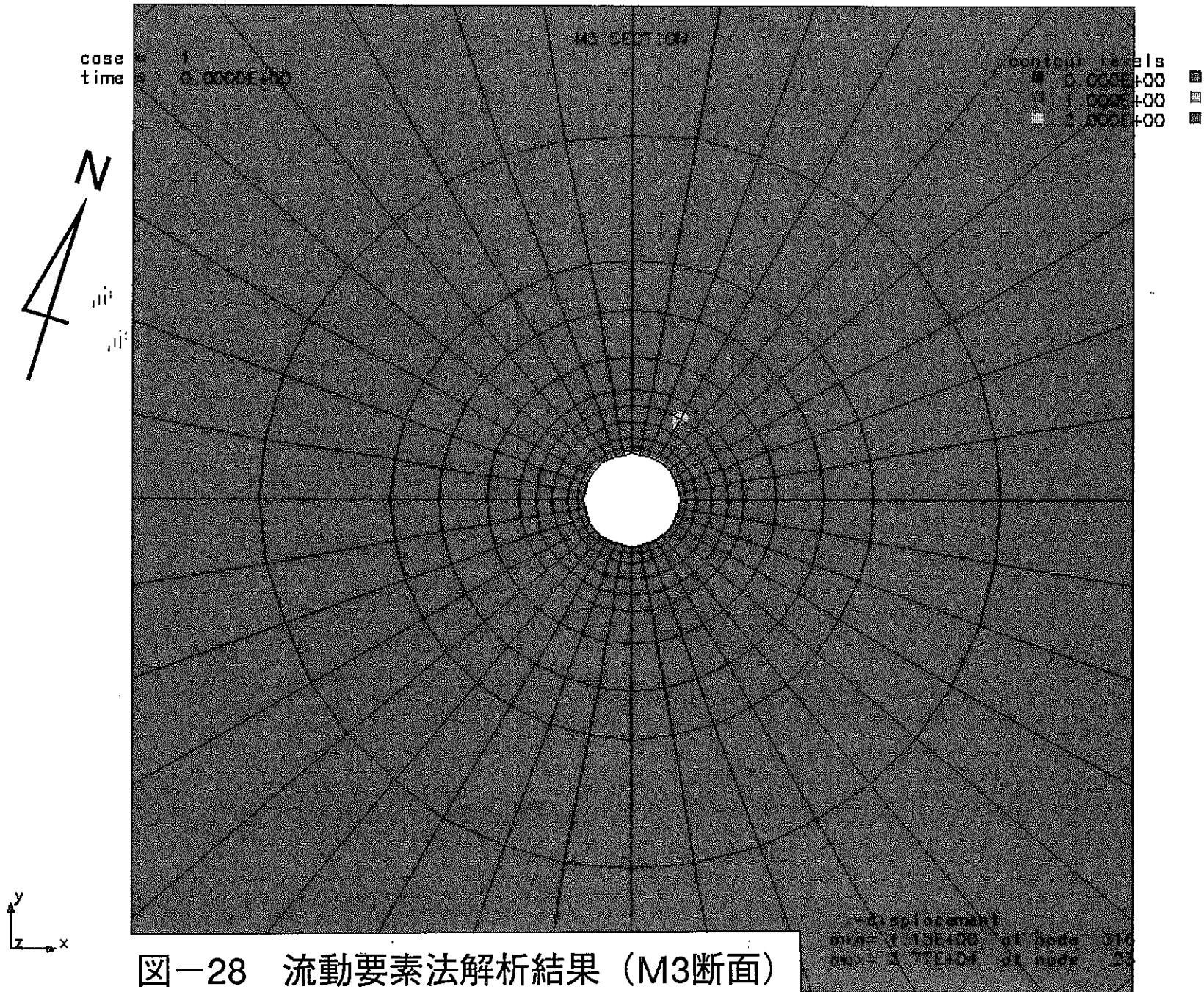
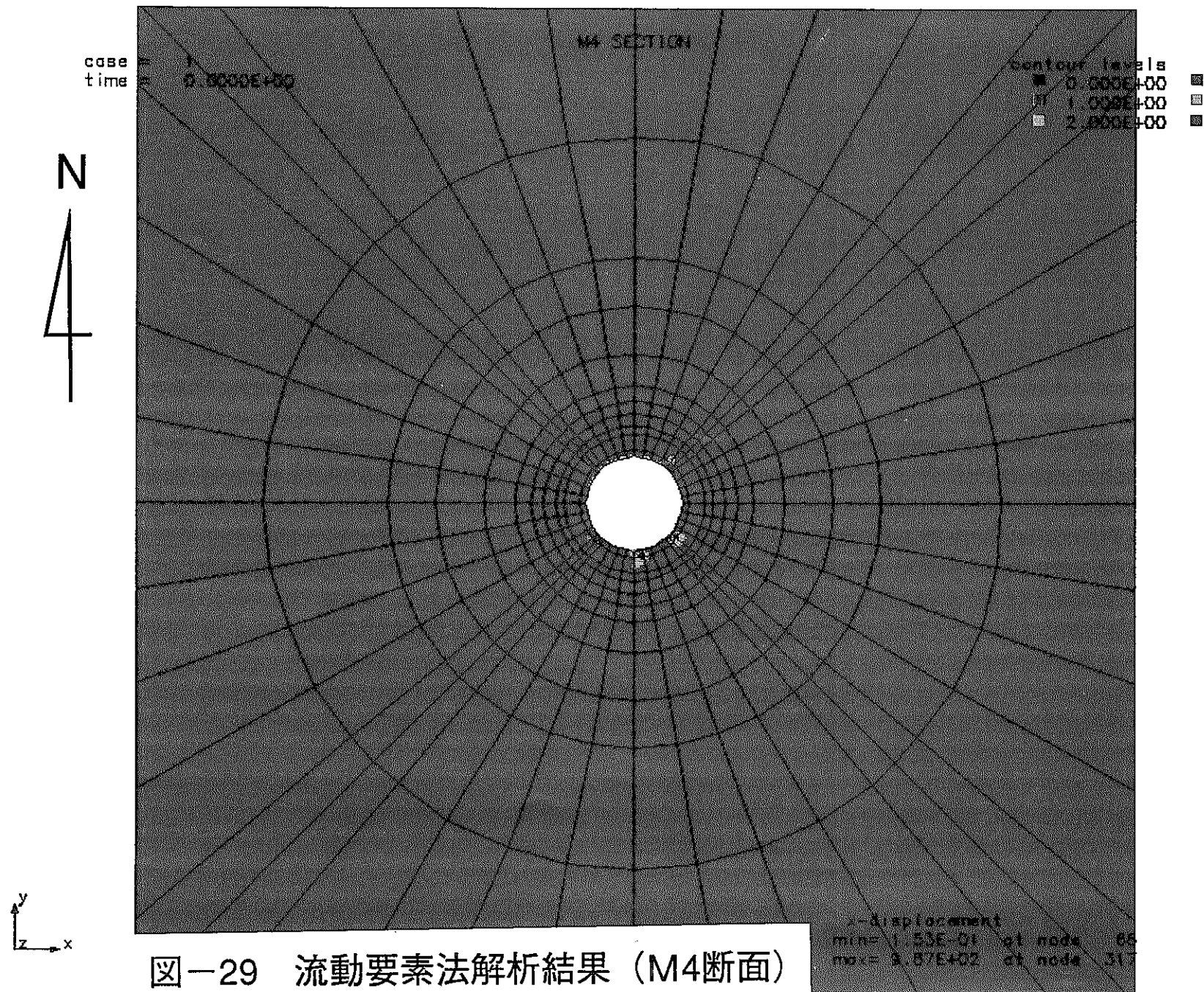


圖-27 流動要素法解析結果 (M2断面)

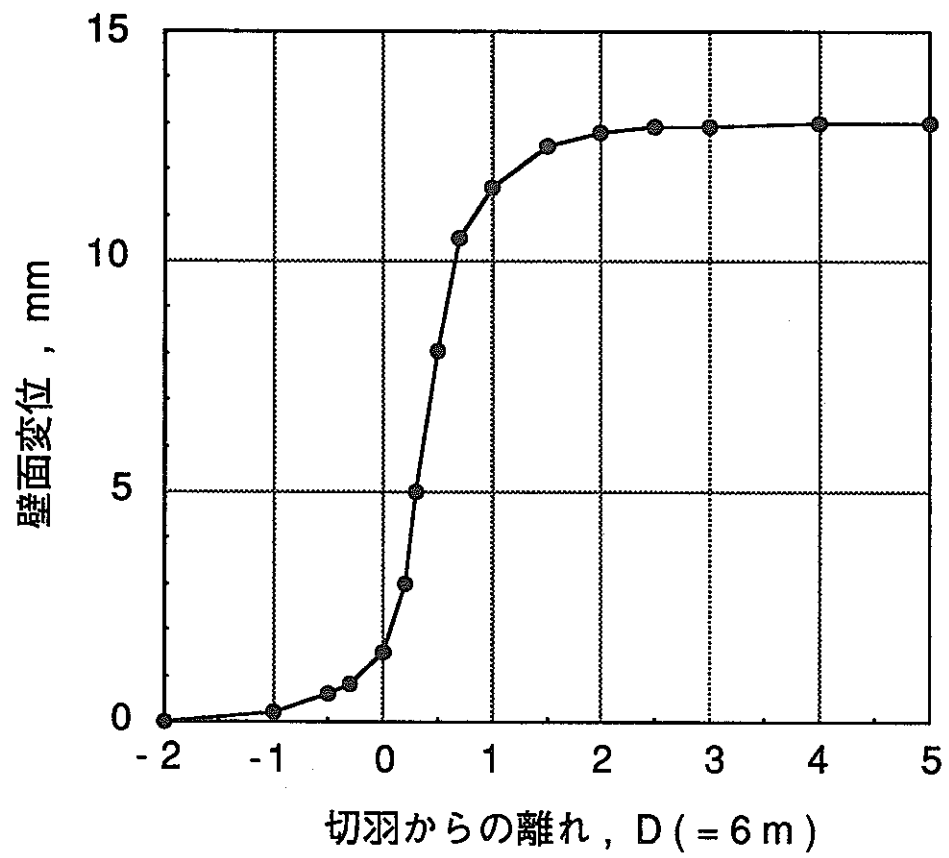


圖一28 流動要素法解析結果 (M3断面)





圖一29 流動要素法解析結果 (M4断面)



図一30 FEMによる軸対称弾塑性解析結果

— 技術レポートリスト —

- TR/GE 89-01 清水和彦：地質環境データベースシステムの開発研究（基本設計），  
PNC TN7410 89-029
- TR/GE 89-02 仙波毅・尾方伸久・坪田浩二：ボアホールレーダの我が国における花  
崗岩岩盤への適用試験，PNC TN7410 90-003
- TR/GE 89-03 武田精悦（訳）：国際ストリパプロジェクト，PNC TN7410 90-004
- TR/GE 89-04 尾方伸久・大澤英昭：地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(1)，  
PNC TN7410 90-005
- TR/GE 89-05 尾方伸久・大澤英昭：地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(2)，  
PNC TN7410 90-006
- TR/GE 89-06 大澤英昭・吉田英一：深部花崗岩中の割れ目解析－花崗岩岩盤におけ  
る割れ目特性およびその分布特性に関する研究－，  
PNC TN7410 90-007
- TR/GE 89-07 杉原弘造・二宮康郎：堆積岩盤中における掘削影響評価－掘削による  
緩み領域の計測・評価手法の研究開発－，  
PNC TN7410 90-009
- TR/GE 89-08 柳澤孝一：広域地下水流動調査の現状について，PNC TN7410 90-021
- TR/GE 89-09 吉田英一：粘土質岩中における核種移行試験・研究－ベルギー・モル  
原子力研究所との共同研究（その1）－，  
PNC TN7410 90-019
- TR/GE 90-01 今井久・柳澤孝一：3次元飽和不飽和浸透流解析プログラムTAGSACの  
概要，PNC TN7410 90-026

- TR/GE 90-02 野原壯・瀬尾俊弘・落合洋治：ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究（その1）－ウラン系列核種の放射非平衡について－，PNC TN7410 91-030
- TR/GE 90-03 吉田英一：粘土質岩中における核種移行試験研究－ベルギー・モル原子力研究所との共同研究（その2）－，PNC TN7410 91-017
- TR/GE 90-04 柳澤孝一・今井久・斎藤章・大澤英昭・中島誠：立坑掘削影響試験における地下水流動影響予測解析，PNC TN7410 91-013
- TR/GE 90-05 清水和彦：地質環境の長期的隔離能に係わる天然事象について(1)－気候変動と海面変動－，PNC TN7410 91-010
- TR/GE 91-01 Yoshida, H., M. Yui and T. Shibutani: A Study of Influence Factor on Uranium Fixation in the Tono Uranium Deposit, Japan, PNC TN7410 91-061
- TR/GE 91-02 中野勝志・斎藤章・花木達美：難透水性岩石を対象とした室内透水試験装置の開発，PNC TN7410 91-050
- TR/GE 91-03 尾方伸久・大澤英昭・仙波毅・柳澤孝一：多変量統計解析手法を用いた結晶質岩盤の割れ目解析，PNC TN7410 92-001
- TR/GE 91-04 石丸恒存・清水和彦：地質環境の長期的隔離性能に係わる天然事象について(2)－火山活動－，PNC TN7410 91-031
- TR/GE 91-05 仙波毅・尾方伸久・長谷川健・岩崎浩・渡辺邦夫：ボアホールレーダーによる結晶質岩盤中の割れ目帯調査－釜石鉱山原位置試験場における調査について－，PNC TN7410 92-005
- TR/GE 92-01 柳澤孝一，古屋和夫，大澤英昭，若松尚則，梅田浩司：我が国における地盤の透水性に関する調査・研究（その1），PNC TN7410 92-015

- TR/GE 92-02 佐藤稔紀・石丸恒存・杉原弘造・清水和彦：文献調査による我が国の  
岩石の物理的特性に関するデータの収集, PNC TN7410 92-018
- TR/GE 92-03 瀬尾俊弘, 清水和彦：我が国における地下水の水質に関するデータの  
収集・解析, PNC TN7410 92-017
- TR/GE 92-04 柳澤孝一, 今井久, 古屋和夫, 若松尚則, 梅田浩司：我が国を対象とした  
地下水流動解析－その1 中部日本を対象にした地下水流動解  
析－, PNC TN7410 92-019
- TR/GE 92-05 柳澤孝一, 若松尚則, 梅田浩司, 今井久, 古屋和夫：我が国における  
水理地質学的特性に関する調査・研究,  
PNC TN7410 92-012
- TR/GE 92-06 松井裕哉, 杉原弘造, 佐藤稔紀, 吉岡尚也：堆積岩地山における立坑  
周りの力学的・水理学的な特性変化, PNC TN7410 92-046