

PNC TN7410 93-007

断層を考慮した立坑掘削の数値解析

報告書

1993年3月

株式会社 大林組

PNC TN7410 93-007

断層を考慮した立坑掘削の数値解析

報告書

1993年3月

株式会社 大林組

断層を考慮した立坑掘削の数値解析

要 旨

深部岩盤中に空洞を掘削した場合には、岩盤中に存在する断層や掘削によって生じたき裂などの不連続面が、岩盤の挙動を支配する場合がある。従って、地下構造物の設計・施工を能率的かつ経済的に行うためには、その不連続面の影響を正確に把握すること重要なテーマとなる。

このため、動燃事業団では、東濃鉱山敷地内に直径6m、深さ150mの立坑を掘削し、立坑掘削に伴って生じる立坑周辺岩盤への力学的・水理学的影響に関する研究を実施した。この研究は、立坑掘削影響試験と呼ばれている。この研究で実施された原位置試験の一つである岩盤内変位測定の結果から、断層が岩盤の変形挙動に著しく影響を及ぼしていることが推定された。

これらの調査結果に対して、既存の3次元有限要素法を用いて断層を考慮した数値解析を実施し、既存手法の適用性を検討した。

解析では、以下の結果が得られた。

- 1) 今回の解析では、立坑壁面と断層の距離が少なくとも4D以上離れている場合は、断層が岩盤の変形挙動に与える影響はほとんどない。
- 2) 断層近傍では、断層の影響がない部分に比べ大きな応力集中や変位が生じる可能性がある。
- 3) 岩盤内変位測定の実測値との比較を行った結果、3次元的な断層の存在を考慮することにより有限要素法解析でも不連続面が存在する岩盤の変形挙動を表現できることがわかった。
- 4) 岩盤内変位に関して解析値と実測値を比較・検討した結果、岩盤は弾性的に挙動しているものと考えられる。

目 次

1. 概要	1
2. 目的	
3. 立坑掘削影響試験の概要	2
3.1 試験地域の概要	
3.2 岩盤物性	
3.3 変位計測	
4. 数値解析	7
4.1 数値解析の概要	
4.2 岩盤のモデル化	8
4.3 数値解析結果	12
4.3.1 応力分布	
4.3.2 変位分布	
4.3.3 岩盤内変位計測結果との比較	
5. まとめ	35
6. 謝辞	36
7. 参考文献	37

1. 概要

- (1) 件 名: 断層を考慮した立坑掘削の数値解析
- (2) 発注者: 動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所
- (3) 請負者: 大林組株式会社

- (4) 期 間: (自) 平成4年6月19日
(至) 平成5年3月19日

- (5) 目 的: 本解析では、以下の2項目を目的として概略的な数値解析を実施した。

- ①立坑が断層の変形挙動に及ぼす影響について解析的に検討する。
- ②既存の解析手法の適用性を検討する。

- (6) 内 容: ①岩盤の3次元モデルの作成
②有限要素法による数値解析の実施
③報告書の作成

2. 目的

地下に構造物を建設する場合、岩盤中に内在する断層等の大規模な不連続面が、空洞掘削時の岩盤の変形挙動に大きな影響を及ぼすことがある。この不連続面の影響を正確に把握することは、地下構造物の設計・施工を行う上で重要なテーマである。

動力炉・核燃料開発事業団中部事業所では、立坑掘削に伴う周辺岩盤への力学的・水理学的影響を把握・評価するために立坑掘削影響試験を実施した。この試験の一環として実施された岩盤内変位測定の結果では、断層付近で変位の急増する現象が観測され、岩盤の変形挙動に断層の影響が表れていることが推測された⁽¹⁾。

これらの計測結果を踏まえ、本解析では、

①岩盤の応力分布や変形挙動に及ぼす断層の影響を概略的に把握・評価する。

②今後岩盤挙動解析を実施していくために、解析手法の適用性の評価を行う。

ことを目的としている。

3. 立坑掘削影響試験の概要

3.1 試験地域の地質概要⁽²⁾

図-3.1 に解析対象となる第二立坑を含む東濃鉦山の地質概要を示す。本地区の地質は基盤に約7000万年前に形成された花崗岩、その上に約2000万年前に堆積した土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層、そして約500万年前に堆積した瀬戸層からなっている。土岐夾炭累層は、礫岩、凝灰質砂岩・泥岩、炭質物から成っている。明世累層は、凝灰質中粒～細粒砂岩からなる。瀬戸層は、未固結層であり、花崗岩及びチャートなどの礫を多く含んでいる。

また、この地点には、走向 N 80° E 傾斜 60° S の月吉断層がある。この断層は、南側の地層が北側の地層の上に衝上している逆断層であり、垂直落差は約30m という特徴を有している。断層の厚さは、場所により異なるが数cm～数十cmの範囲であると推定されている。

3.2 岩盤物性⁽²⁾

立坑掘削影響試験で実施されたコア観察、切羽観察、室内試験等から得られた地質区分と岩盤物性値を表-3.1 に示す。室内試験から得られた弾性係数は、明世累層が、10000～35000kgf/cm²、土岐夾炭累層では、10000～25000kgf/cm²程度の範囲に分布している。ポアソン比は、明世累層、土岐夾炭累層共に0.3前後の値であった。粘着力は、バラツキがあるものの、明世累層、土岐夾炭累層共に平均的には10kgf/cm²、内部摩擦角は22°程度の値が得られた。

3.3 変位計測⁽¹⁾

立坑掘削影響試験の一環として、坑道掘削に伴って生じる立坑及び水平坑道周辺岩盤の変形挙動を把握するために、岩盤内変位計測が実施された。図-3.2 に変位計測の測定断面位置を示す。なお、立坑掘削は、通常1.2m掘削し、1日後に1.2mコンクリート覆工を行うというサイクルで実施された。各計測断面は、以下の理由で設定された。

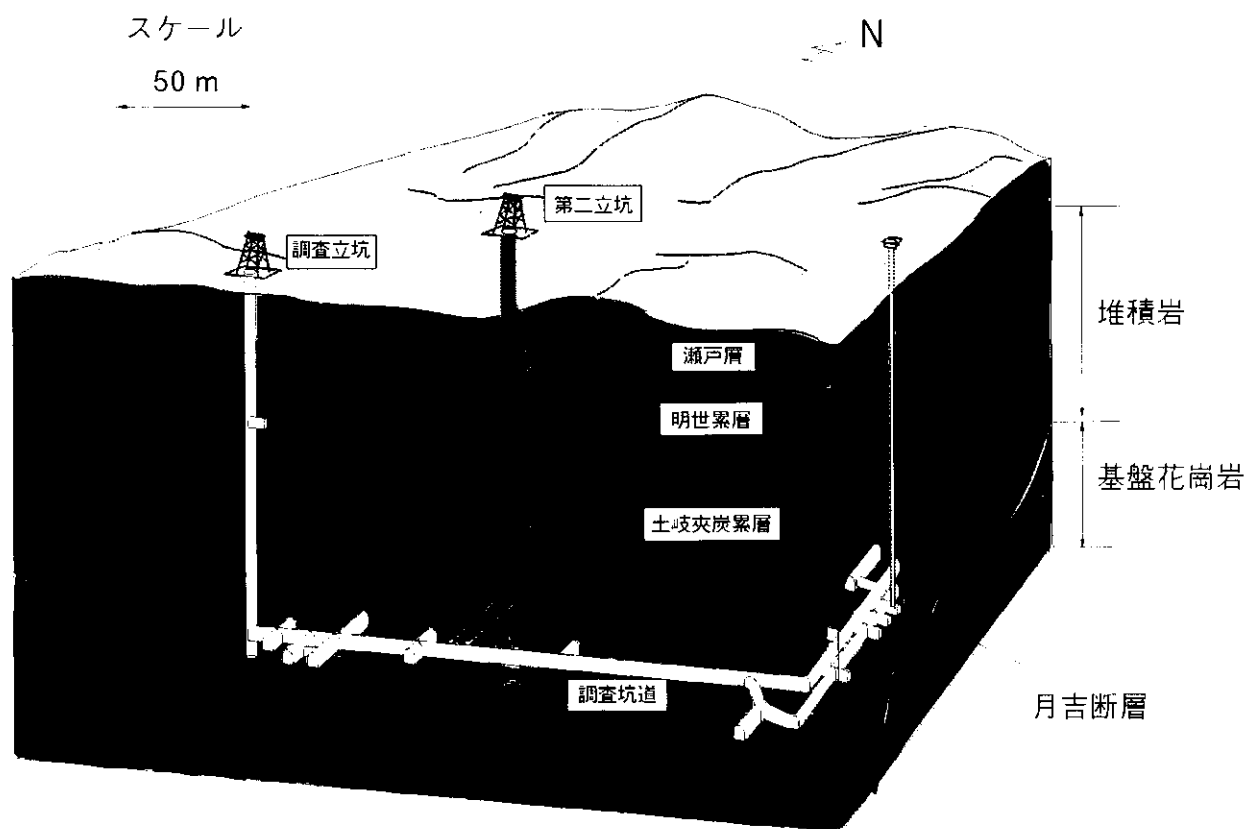


図-3-1 東濃鉦山地質概要図

表-3-1 岩相区分及び岩盤物性

深度 (m)	地層	岩種	RQD (%)	Jn	ブロックサイズ (cm)	E 50 (kg/cm ²)	E割線 (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	φ
16	沖積層	未固結層 礫岩	0	20	0.5 (名目上 RQDを10 とみなすため)	—			
45	明 世 累 層	細粒～ 中粒砂岩	90	1	90	22～25m 34700	—	20	18°
50		泥岩				41～44m 20900		15	24°
55		細粒砂岩	80	3	27			3.5	26°
60		中粒砂岩	100	4	25	—	10700	4.0	27°
68	土 岐 夾 炭 累 層	中粒砂岩	100	3	33				
70		凝灰質泥岩	70	4	18		9900	2.9	26°
73		礫岩質泥岩	85	3	28				
84		凝灰質中粒 ～細粒砂岩	75	6	12	—			
109		凝灰質中粒 ～細粒砂岩	85	3	28			1.6	12°
113		礫岩と細粒 砂岩の互層	85	1	85	26000	—	15～20	28°
120		礫岩	80	3	26		11600		
127		礫岩	40	4	10		11500		
134	礫岩と細粒 砂岩の互層	65	3	22		13300			
141	細粒砂岩	90	4	23					
144	礫岩	80	3	27					
150	礫岩	10	15	0.7					
		細粒砂岩	50	3	17				

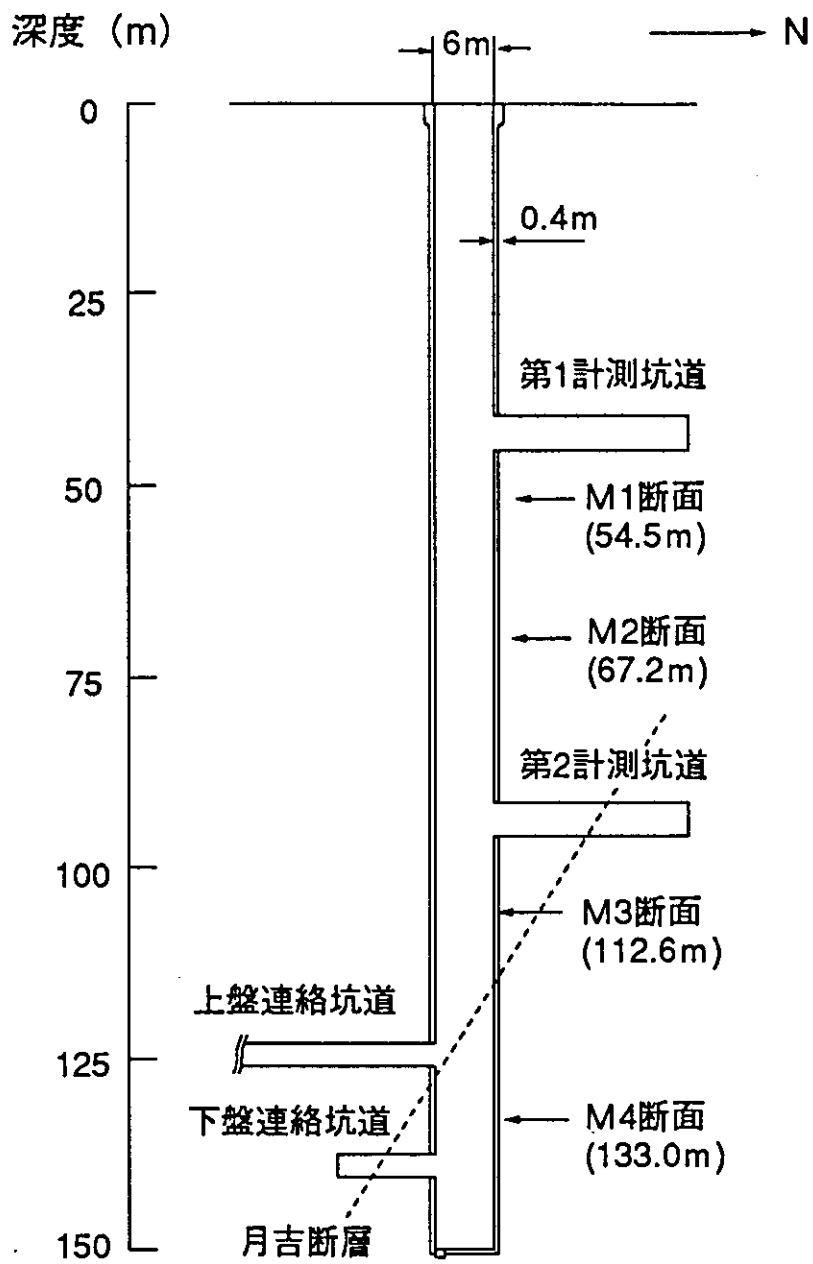


図-3-2 岩盤内変位測定位置

- M1, M2 断面 明世累層と土岐夾炭累層の層境の上下に計測断面を設けることにより地質の差による変形挙動の違いについて検討する。
- M3断面 断層と交差する測線を設け、掘削に伴って生じる岩盤の変形挙動に及ぼす断層の影響について検討する。
- M4断面 断層と交差する測線を設け、掘削に伴って生じる岩盤の変形挙動に及ぼす断層の影響について検討する。また、この断面では、無覆工期間を設け、変形挙動に対する覆工の効果についても検討する。

岩盤内変位計は、多点式の変位計（PV-100-6：東横エルメス製）を用いている。計測地点は、立坑壁面から6mの地点を不動点とし、壁面他4点での変位が計測されている。岩盤内変位計の配置例を図-3.3に示す。計測は、以下の手順で実施された。

- ①変位計設置深度まで掘削。
- ②変位計設置用のボーリング孔を掘削
- ③岩盤内変位計を設置し、初期値を設定
- ④計測

切羽が計測深度まで到達してから岩盤内変位計を設置し、計測を開始するまでに用いた日数は約7日である。

以上のような計測から得られた岩盤内変位測定結果を図-4.20～4.23に示す。計測された変位量は、通常の掘削サイクルで掘削・覆工されたM1断面では、変位量が1mm以下と小さく、壁面近傍で覆工により変形挙動が抑えられる傾向が見られる。M2断面では、変位量が1～2mm程度となり、M1断面に比べ大きい。また、M1断面と同様に壁面近傍で覆工により変形挙動が抑えられる傾向が見られる。M3, M4断面では、断層と交差する測線側に大きい変位が生じており、特に、推定された月吉断層との交差点から変位が急増する傾向が見られた。

4. 数値解析

変位計測の結果得られた断層の影響について、解析的に検討するため 3次元的に断層の配置を考慮した立坑掘削解析を実施した。

今回の解析は、詳細な立坑掘削解析の前段階として、断層が掘削に伴い生じる岩盤の変位や応力分布に及ぼす影響を概略的に把握するために実施するものである。予備解析では弾塑性解析も実施したが、計算時間が長く、また、変位分布を比較すると弾性解析の結果とほとんど変わらないことがわかった。このため解析手法は、3次元有限要素法による弾性解析とし、立坑掘削ステップも3段階としている。

また、立坑掘削影響試験の各種計測により把握されたゆるみ領域⁽²⁾や立坑の覆工過程はモデル化していない。

4.1 数値解析の概要

今回実施した解析の概要を以下に述べる。なお、本解析は、通常の3次元有限要素法による弾性解析であり、解析理論等については、例えば文献3), 4)などに述べられているためここでは割愛する。

(1) 解析手法

解析手法は、3次元有限要素法を用いた。使用した要素は、断層を含め全て6面体アイソパラメトリック要素(節点数:8)である。

(2) 解析対象範囲

解析対象領域は、立坑を中心とする180×180×200mの領域を設定した。なお、今回は、概略的な解析であるため、この領域内に含まれる既存の調査坑道や立坑に付随する水平坑道は考慮していない。

(3) 境界条件

変位の拘束条件は、解析対象領域の底面部は鉛直方向、側面部は各面に垂直な方向を固定境界とした。

初期応力については、①東濃鉱山周辺で深度方向に系統的に応力測定を実施した例がないこと、②逆断層が存在することから、断層周辺の応力場は単純に土被り圧に比例するような関係になっていない可能性があることなどの理由により、自重による初期応力解析を行い、設定した。

(4) 解析ステップ

解析は、以下に示す4段階で実施した。



なお、掘削解析では、初期応力解析の解析結果を初期条件として用いた。初期条件

では応力以外の項はすべて 0とし、次の掘削解析を実施している。

4.2 岩盤のモデル化

概略的な断層の影響を把握するという目的から、断層と立坑部分に重点を置いたモデル化を行った。断層は、傾斜が60°で厚さ50cmの層としてモデル化している。作成された解析メッシュを図-4.1, 4.2 に示す。

今回の解析では、本地域の地層構成を考慮して瀬戸層、明世累層、土岐夾炭累層、基盤花崗岩の4層に分けてモデル化した。本解析に用いた各層の入力パラメータを表-4.1 に示す。弾性係数は、明世累層、土岐夾炭累層の部分については、室内試験で得られた平均的な値を用いた。瀬戸層及び基盤花崗岩については、計測結果がないため、入力値を仮定している。断層、基盤花崗岩、瀬戸層については、室内試験等による測定値がないため入力パラメータは仮定した。花崗岩については、既往の文献等^{(5)・(6)}から 10^5 オーダーの弾性係数を仮定した。また、断層部は、健全部の岩盤の弾性係数より1 オーダー低い弾性係数を仮定している。ポアソン比については、室内試験結果を参考に断層部以外は0.3とした。

これらの条件に基づき構築したモデルを図-4.3 に示す。

表-4-1 入力パラメータ

	弾性係数(tf / m ²)	ポアソン比	単位体積重量 (tf / m ³)
瀬戸層	100000	0.3	1.8
明世累層	150000	0.3	1.8
土岐夾炭累層	240000	0.3	1.8
基盤花崗岩	1000000	0.3	2.6
断層部	10000	0.4	1.8

節点数 3150
要素数 2604

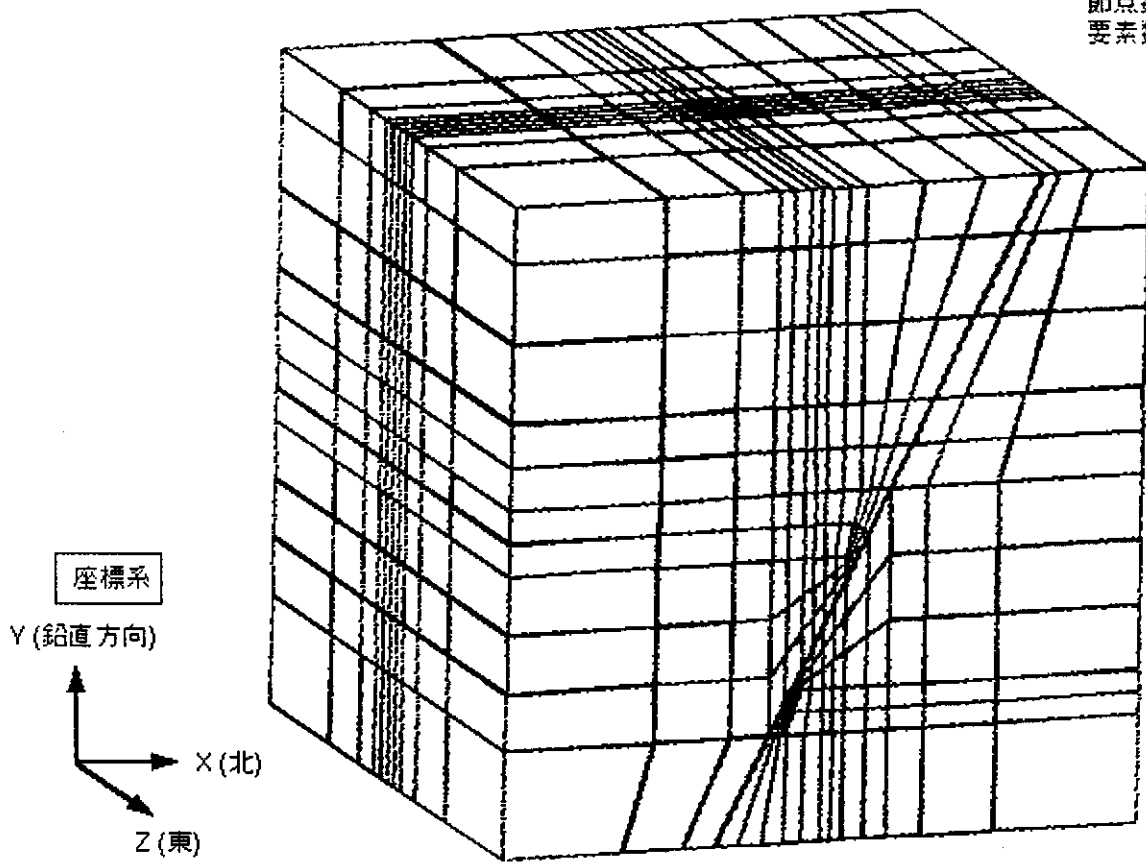


図-4- | 解析用メッシュ図

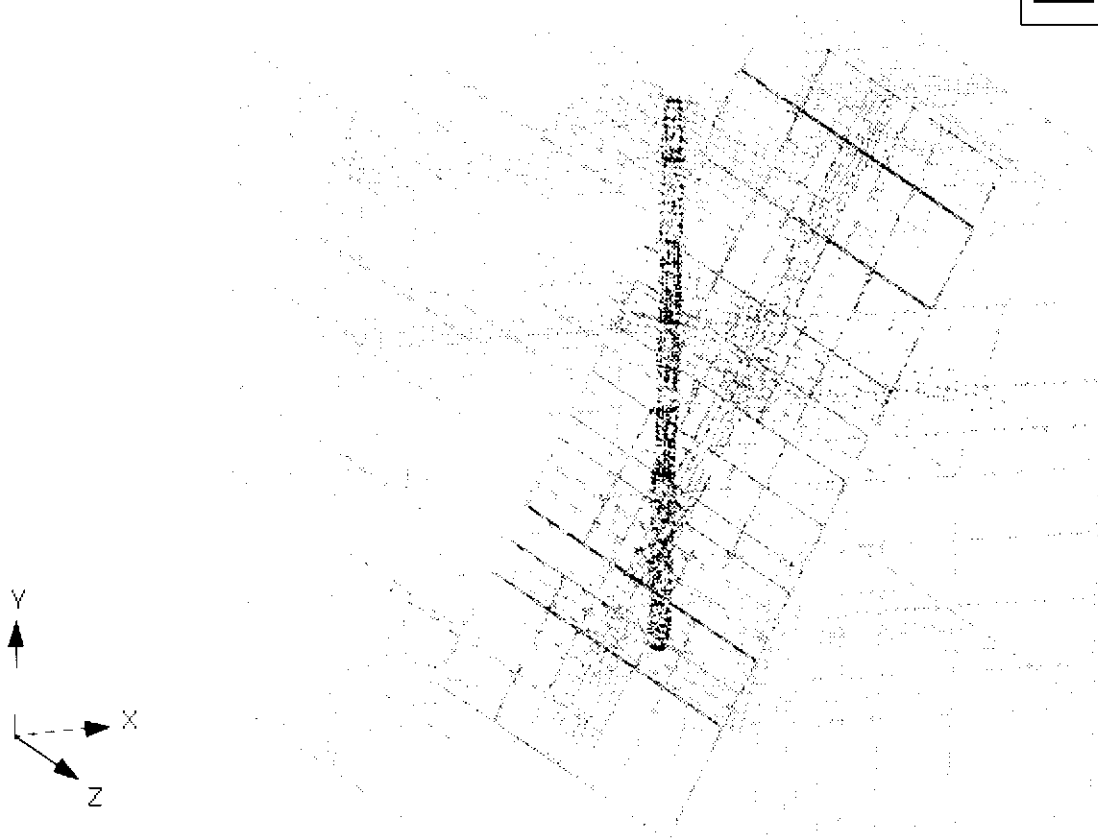
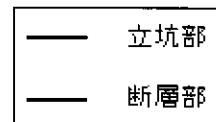


図-4-2 解析用メッシュ図（立坑と断層）

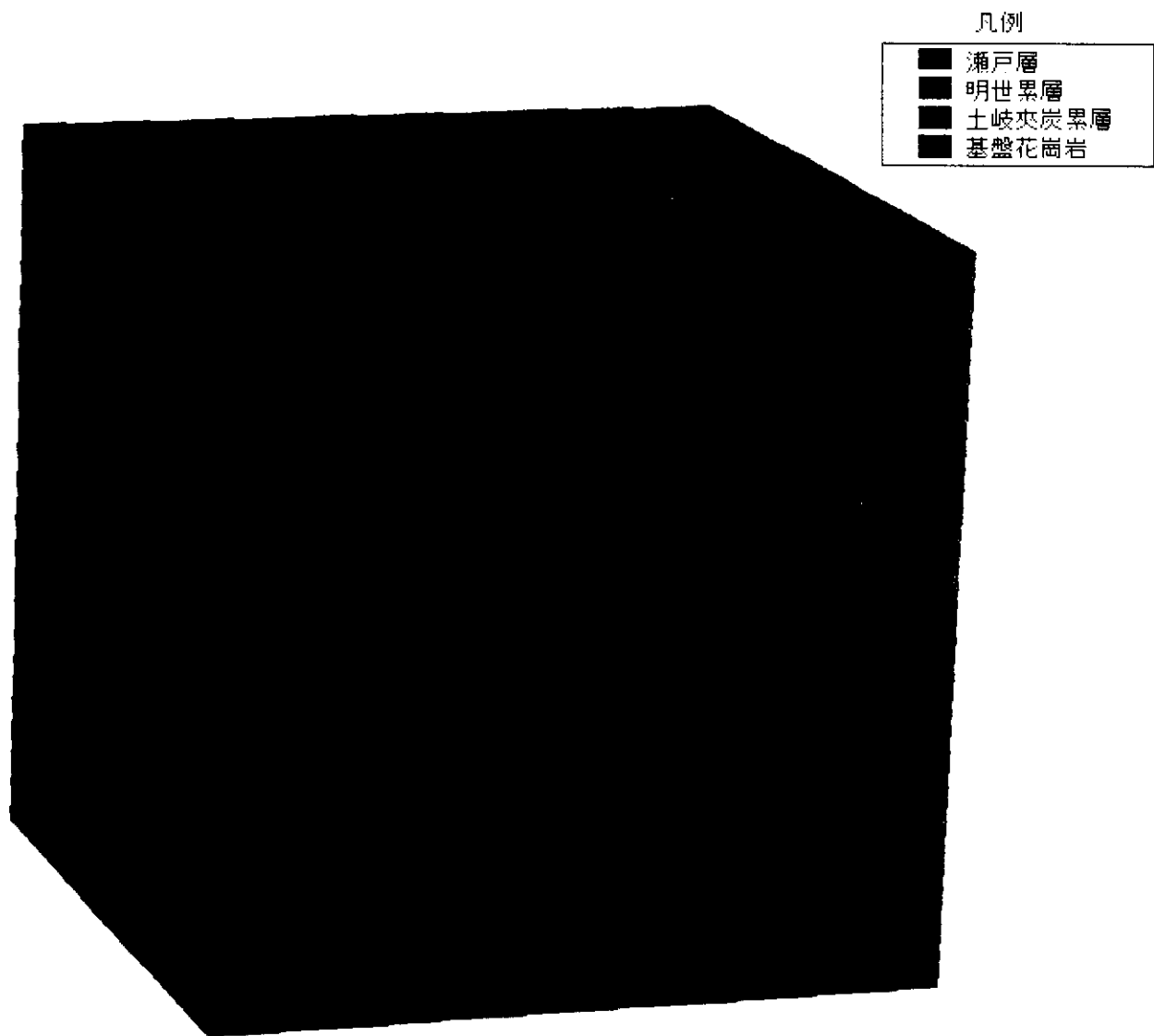


図-4-3 解析用メッシュ図（地層区分）

4.3 数値解析結果

以下に本解析により得られた結果を述べる。解析結果は、立坑中心を通る南北方向の断面(X-Y断面)、東西方向の断面(Y-Z断面)及び立坑に垂直な断面(X-Z断面)に分けて整理した。また、応力分布は、各要素ごとに平均した値を用いて計算結果を処理している。

4.3.1 応力分布

1) 初期応力解析結果

図-4.4 に初期応力解析で得られた最大主応力分布のコンターを示す。X-Y 断面のコンター図では、周辺の岩盤内に生じている応力と比較して断層付近の応力は低くなっている。これは、断層部分が変位することにより、自重によって生じた応力が解放されているためである。

2) 第一ステップ (深度60m まで掘削)

図-4.5 に示されるX-Y, Y-Z 断面のコンター図より、立坑周辺部に応力が増加した部分が認められるものの、断層の影響と思われる応力分布の変化は、この段階では見られない。また、X-Z 断面でのコンター図から、M1断面地点では立坑から約1D程度の範囲まで応力集中域が見られる。この時点では、断層と立坑の距離は、約5D(D: 坑道直径 = 6m)離れている (図-4.6)。

3) 第二ステップ (深度102mまで掘削)

X-Y, Y-Z 断面のコンター図を見ると、第一ステップと同様に立坑周辺部に応力が高くなっている部分が認められる (図-4.7)。しかし、立坑掘削断面が水平方向に1Dまで断層と接近した時点でも、断層は応力分布に顕著な影響をあたえていない。図-4.8 のX-Z 断面のコンターでは、M2断面の深度で立坑壁面から約4Dまで断層が接近しているが応力分布は、立坑周辺にはほぼ同心円の形状を示している。また、M1断面の位置での応力集中域は、約2Dの範囲まで拡大している。切羽面から立坑掘進方向に約2D離れたM3断面 (GL-112.6m) 地点では立坑掘削に伴う応力変化は生じていない。

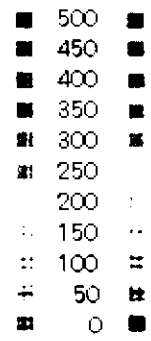
4) 第三ステップ (深度150mまで掘削)

X-Y, Y-Z 断面のコンター図から、立坑掘削により断層を貫いた断層上下に著しく応力が集中する領域が発生することがわかる (図-4.9)。実岩盤が連続体として挙動する場合は、断層部分に発生する著しい変形に伴い、このような応力集中域が生じる可能性があると考えられる。図-4.10のX-Z 断面のコンターでは、断層を挟んで立坑側には大きな応力集中が生じるものの断層を越えた部分では応力分布に変化が生じていない。これは掘削によって生じた再配分応力が断層の変形により解放されるためと考えられる。

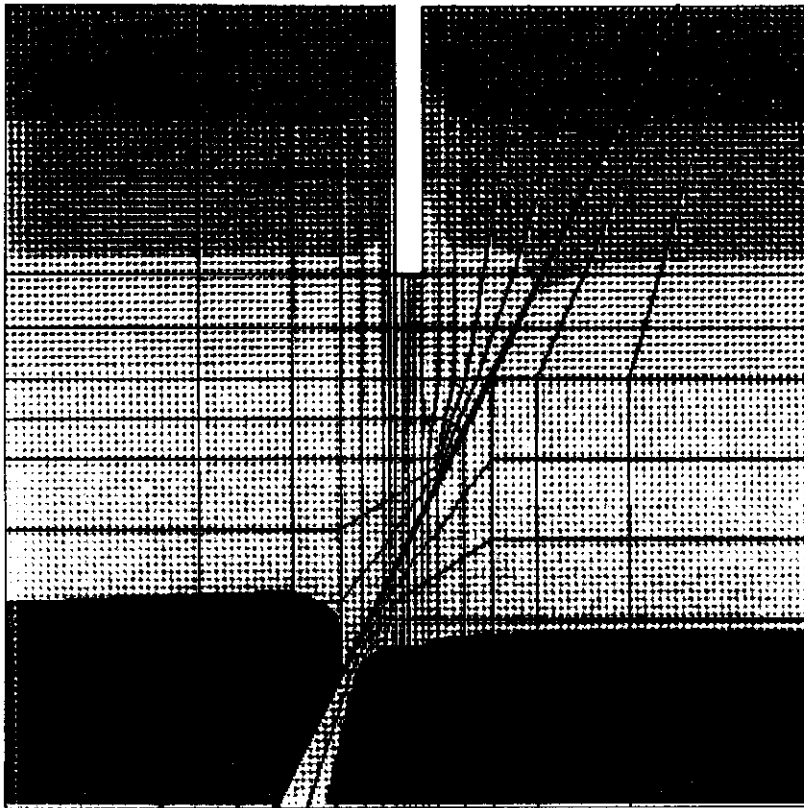
次に、初期応力状態からの150mまで掘削が終了した時点での応力変化の度合いを把握するために、掘削終了時 (第三ステップ) と初期状態での各要素内応力の比を計算してコンター図として示した (図-4.11, 4.12)。X-Y 断面のコンター図より、断層の影響がないM1, M2 断面では最大変化率は $1.5P$ (P: 初期応力) 程度であり、応力変化の範囲はほ

ば2D程度である。この結果は、Kirsh の解⁽⁷⁾ などの弾性理論解によって得られる結果と一致する。しかし、M3, M4 断面付近では、断層沿いに応力変化域が拡大する傾向が見られる。また断層近傍での応力変化率は最大2.0P程度であり、断層の影響がない部分に比べ相対的に大きな応力集中域が生じる可能性がある。X-Z 断面のコンター図を見ると断層付近では断層を挟んで立坑側に局部的に非常に大きな応力集中が生じる可能性があることがわかる。また、断層の存在により、断層を越えた部分に応力変化は生じていない。

圧縮: +



X-Y平面



Y-Z平面

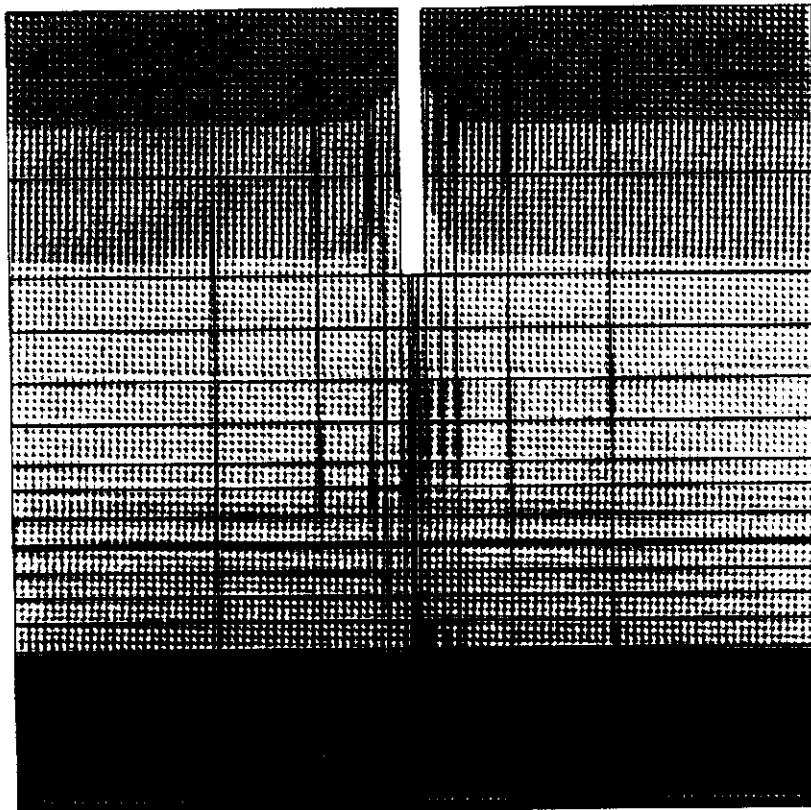


図-4-5 最大主応力コンター図 (第一ステップ)

X-Z平面

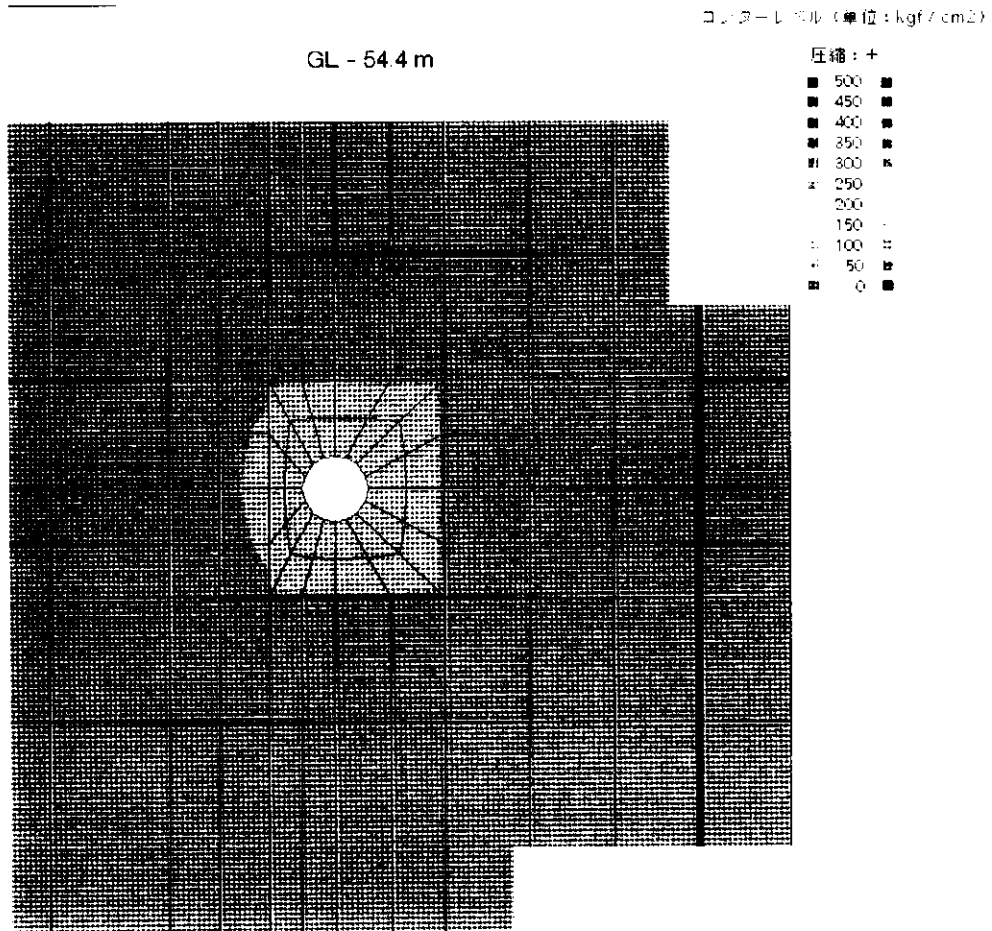
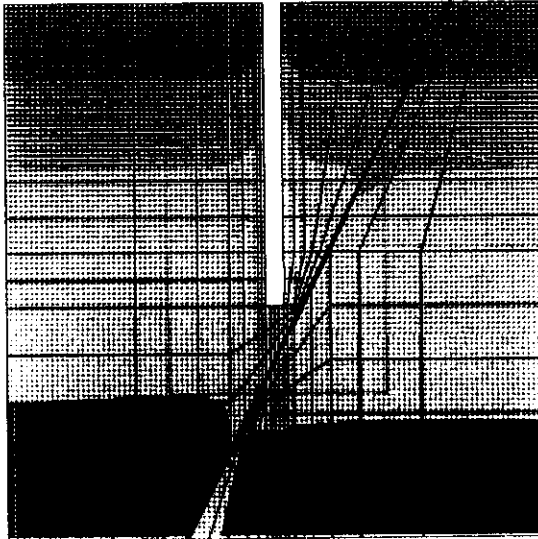


図-4-6 最大主応力コンター図 (第一ステップ)

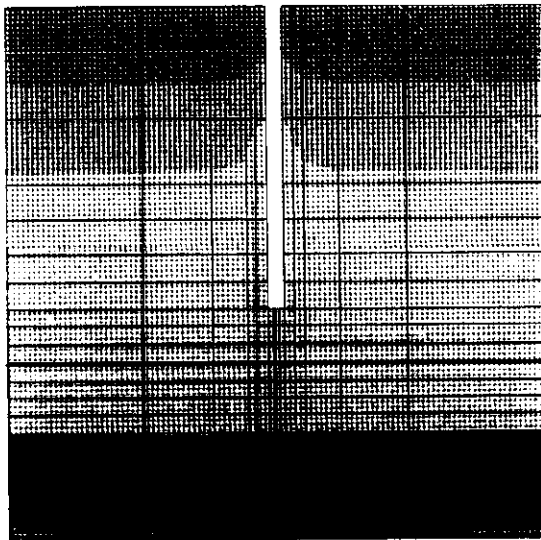
コンタクト圧力 (単位: kgf/cm²)

- 圧縮: +
- 500 ■
 - 450 ■
 - 400 ■
 - 350 ■
 - 300 ■
 - 250 ■
 - 200 ■
 - 150 ■
 - 100 ■
 - 50 ■
 - 0 ■

X-Y断面



Y-Z断面



拡大図

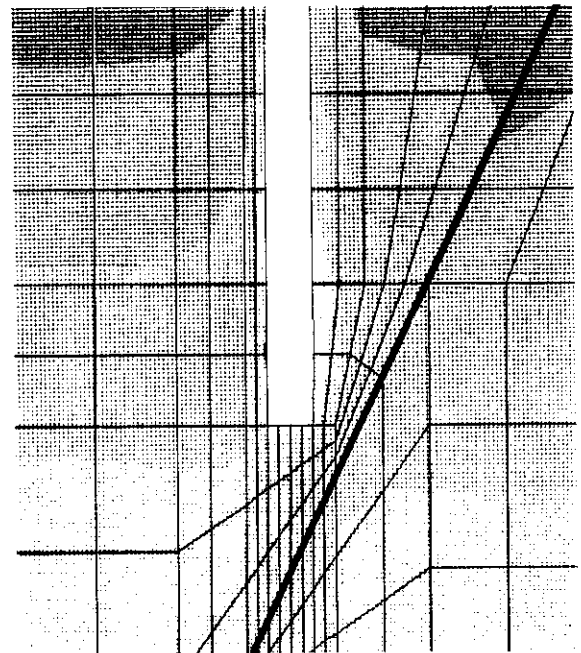
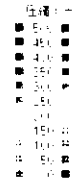
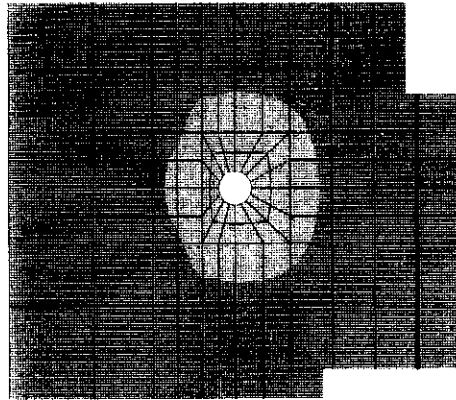


図-4.7 最大主応力コンター図 (第二ステップ)

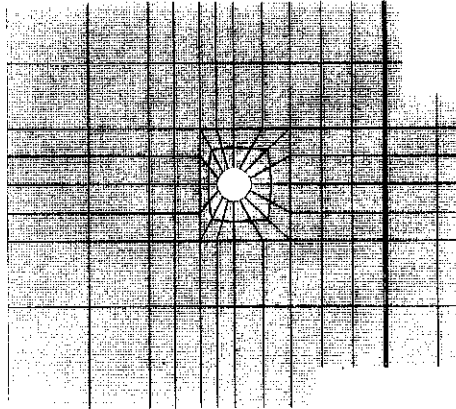
X-Z断面

GL - 54.4 m

コンターレベル (単位: kgf/cm²)



GL - 67.2 m



GL - 113.6 m

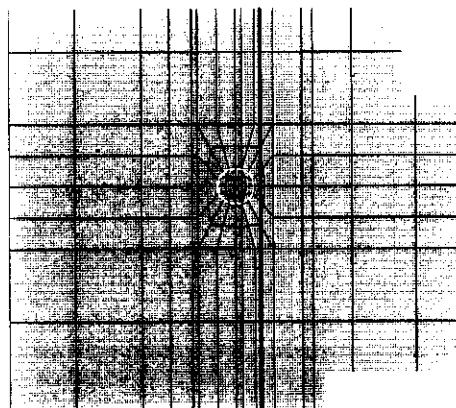


図-4-8 最大主応力コンター図 (第二ステップ)

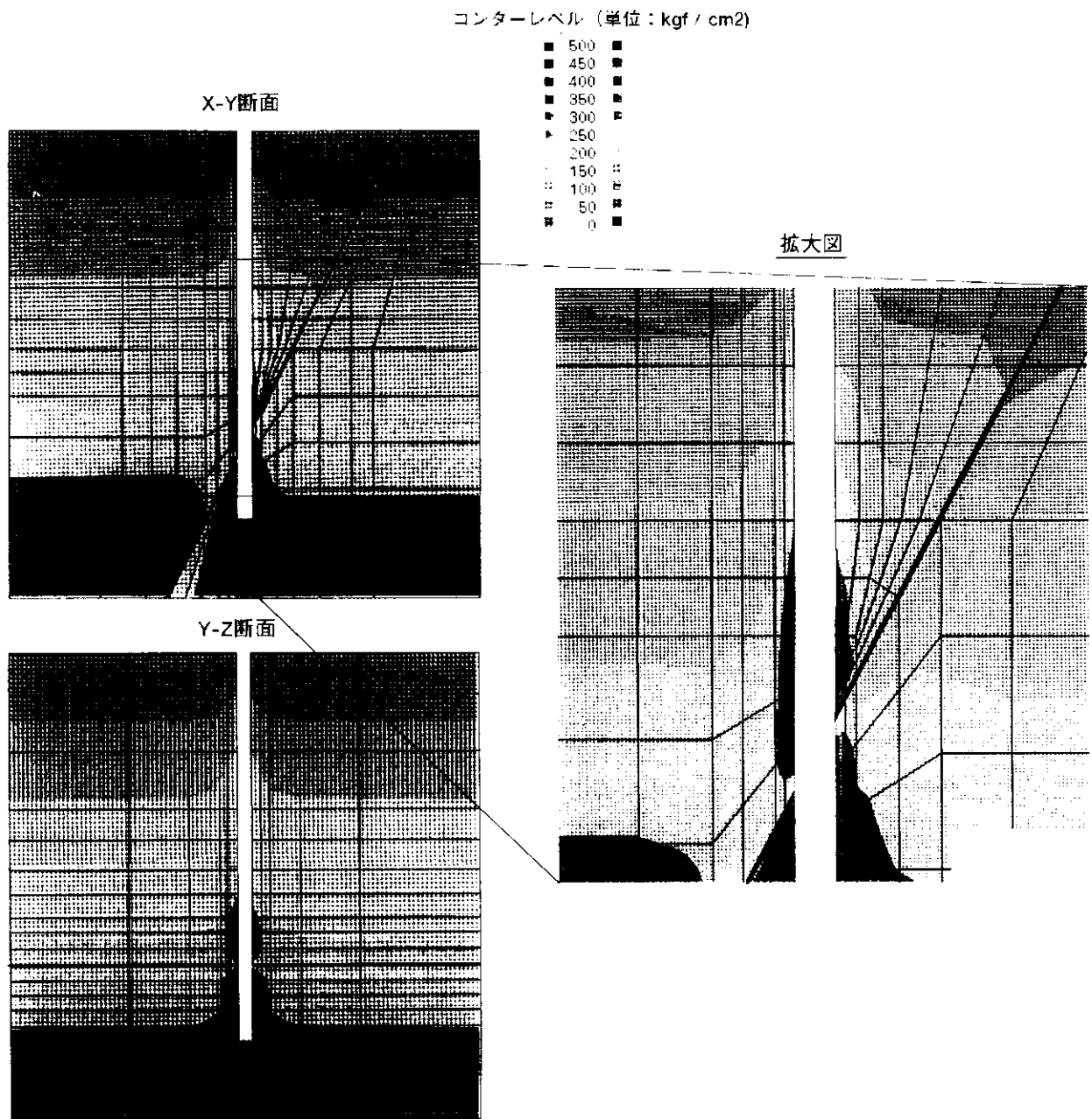


図-4-9 最大主応力コンター図 (第三ステップ)

X-Z断面

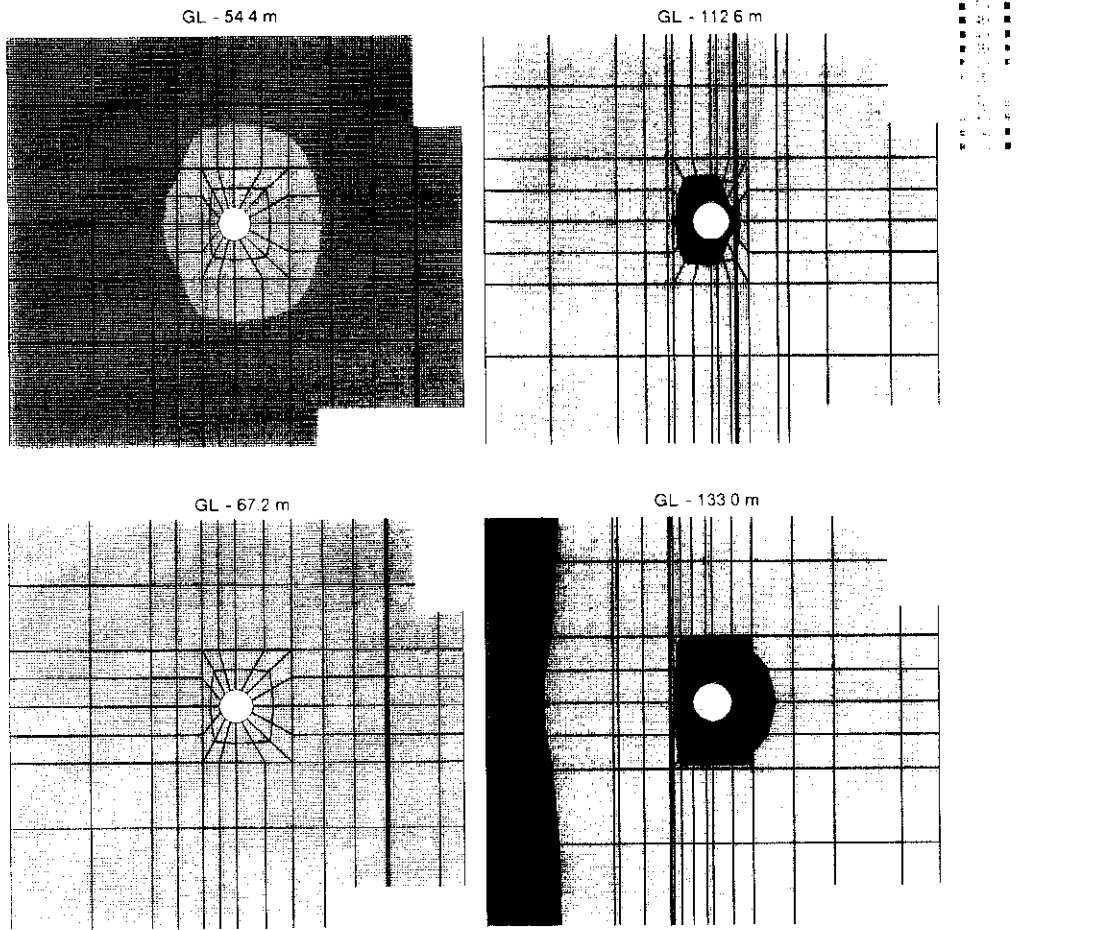
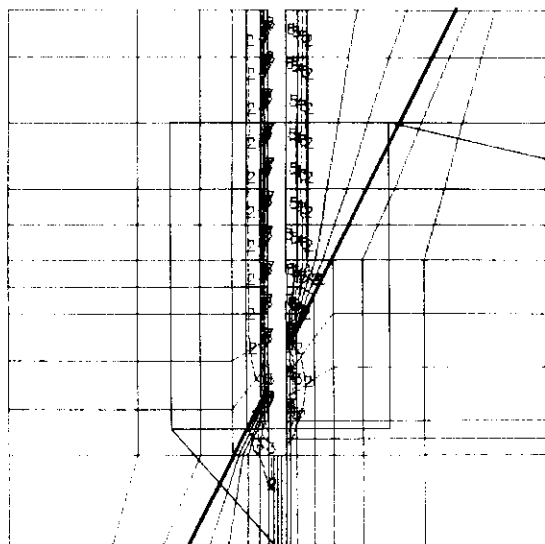


図-4-10 最大主応力コンター図 (第三ステップ)

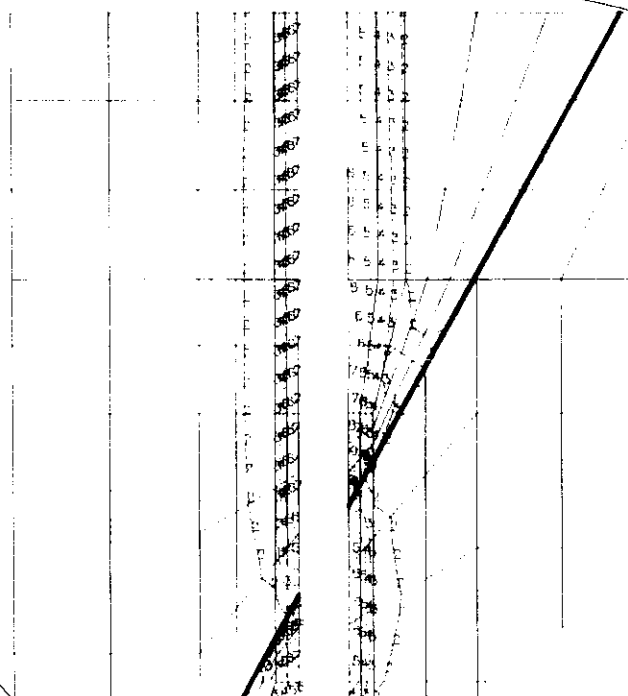
-Y断面

コンターレベル (単位: %)

- 1 0
- 2 10
- 3 20
- 4 30
- 5 40
- 6 50
- 7 60
- 8 70
- 9 80
- 10 90
- 11 100



拡大図 A



拡大図 B

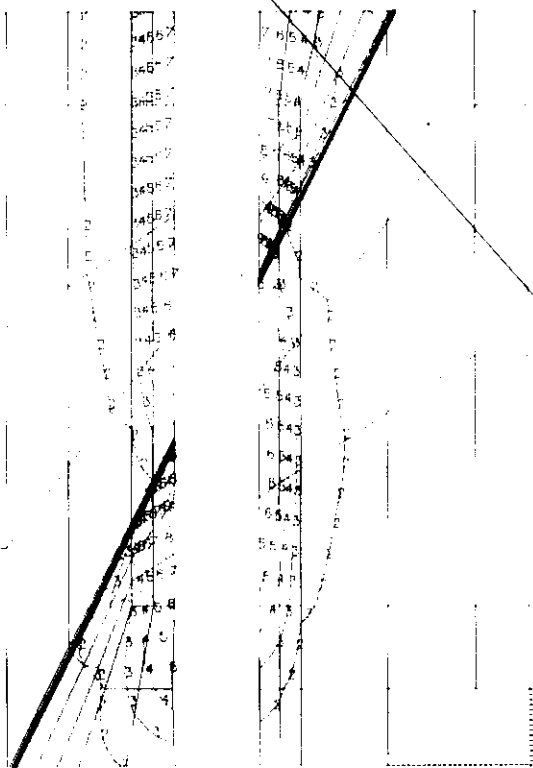


図-4-11 応力変化率コンター図 (第三ステップ)

X-Z断面

応力変化率 (単位: %)

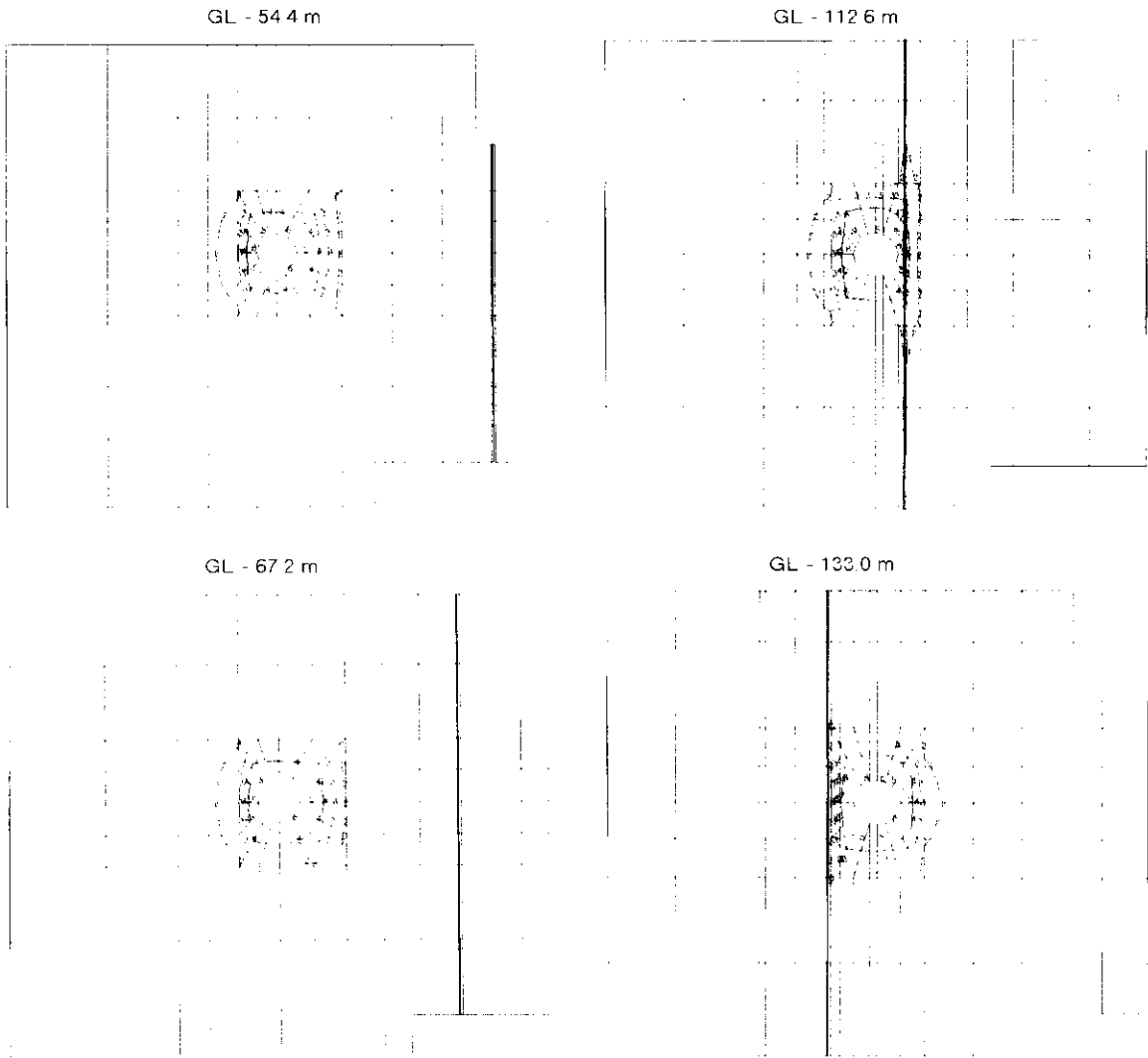


図-4.12 応力変化率コンター図 (第三ステップ)

4.3.2変位分布

1)第一ステップ（深度60m まで掘削）

図-4.13にX-Y, Y-Z 断面の変位コンターを示す。この時点で生じている変位量は、最大0.5mm 程度である。図-4.14のX-Z 断面のコンターでは、0.5～1mm 程度の変位が生じている範囲は、立坑周辺部でおよそ0.5D程度の範囲までである。M2断面(GL-67.2m)付近では変位はまったく生じていない。また、応力分布と同様に、岩盤の変形挙動には断層の影響は見られない。

2)第二ステップ（深度100mまで掘削）

図-4.15にX-Y, Y-Z 断面での変位コンター図を示す。断層と立坑を挟む広い領域で微小ながら変位が生じている。また、立坑周辺部での変位は、断層に近づくに従って増加し2～2.5mm 程度の変位が生じている。X-Z 断面のコンター図を見ると、M1, M2 断面付近の深度では、変位分布に断層の影響は見られない（図-4.16）。

3) 第三ステップ（深度150mまで掘削）

X-Y, Y-Z 断面での変位コンターを図-4.17に示す。この図では、断層上下の立坑周辺部で局部的に非常に大きな変位が発生している部分が見られる。また、図-4.18に示す変形図を見ると、断層付近の要素が立坑中心方向に向かって局部的に大きな変位を生じている。これらの結果から、応力分布と同様に、断層を含む岩盤が連続体として挙動した場合は、断層周辺部に大きな変位が生じる可能性があることがわかる。X-Z 断面の変位コンター図を見ると、M3, M4 断面の深度では、応力分布と同様に断層を境に変位の不連続が生じている。また、M1, M2 断面では、断層の影響は見られない（図-4.19）。

4.3.3 岩盤内変位計測結果との比較

図-4.20～図-4.23にM1～M4断面における岩盤内変位の実測値と解析結果（第三ステップ）の比較図を示す。解析によって得られた変位は、X, Z 方向の変位を合成し、岩盤内変位計の設置方向に生じる変位に変換して実測値と比較している。

M1, M2 断面での解析結果は、実測値に比べ大きな変位量であるが、覆工過程を考慮することにより実測変位量により近づくと考えられる。また、壁面近傍を除き、変位分布の傾向は解析結果と一致している。

M3, M4 断面の解析結果は、断層との交差部から変位が急増する傾向を良く表現している。また、無支保期間を設けたM4断面では、変位分布の定性的な傾向は解析結果と比較的一致している。

以上の結果から、断層のような大規模な不連続面の影響は、既存の有限要素法を用い不連続面の位置を3次元的に考慮することで、ある程度把握できることがわかった。

また、解析によって得られた変位分布を実測された岩盤内変位と比較・検討した結果

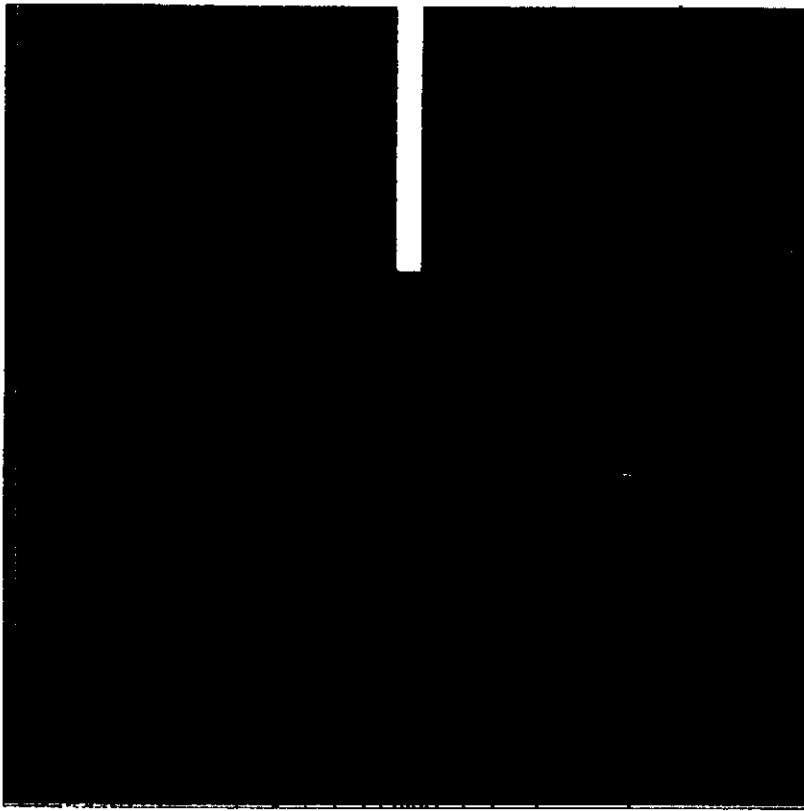
- ①各断面での変位分布の傾向は、立坑壁面近傍を除きほぼ一致している
- ②覆工過程を考慮することで、変位の絶対値に関しても解析結果の精度が上がる可能性がある。

ことから、立坑周辺の岩盤は全体的には弾性的な挙動をしており、ゆるみ領域が発生している場合でも、その存在範囲は立坑壁面近傍に限定されると推定される。

コンターレベル (単位: mm)

- | | | |
|---|-----|---|
| ■ | 0.0 | ■ |
| ■ | 0.5 | ■ |
| ■ | 1.0 | ■ |
| ■ | 1.5 | ■ |
| ■ | 2.0 | ■ |
| ■ | 2.5 | ■ |
| ■ | 3.0 | ■ |
| ■ | 3.5 | ■ |
| ■ | 4.0 | ■ |
| ■ | 4.5 | ■ |
| ■ | 5.0 | ■ |

X-Y断面



Y-Z断面

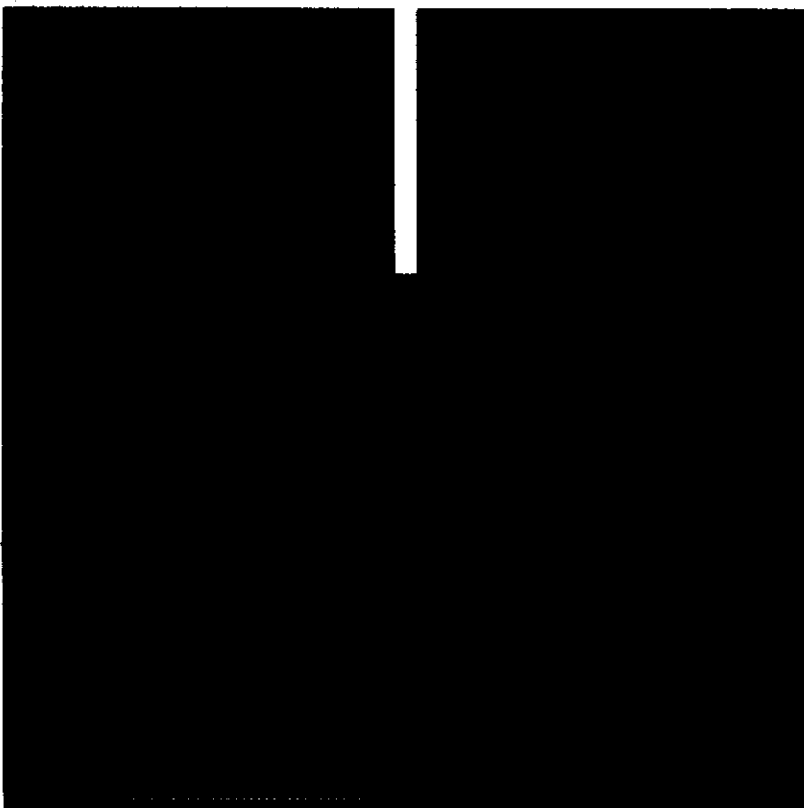
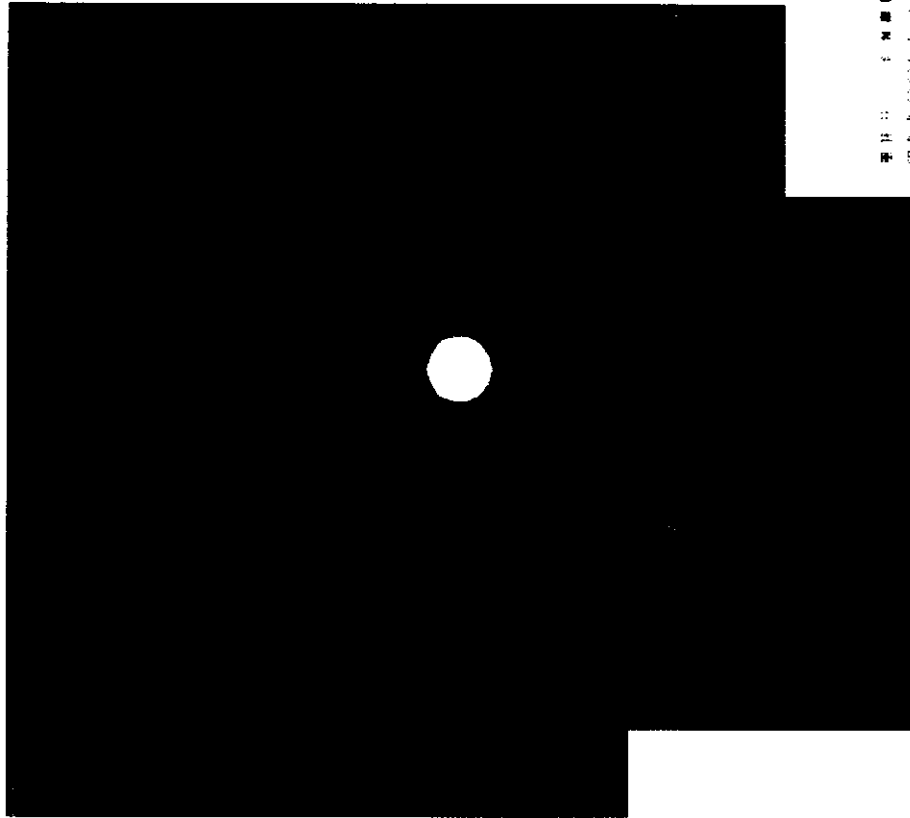


図-4-13 変位コンター図 (第一ステップ)

コンターレベル (単位: mm)

GL - 54.4 m

- 0.0 ■
- 0.5 ■
- 1.0 ■
- 1.5 ■
- 2.0 ■
- 2.5 ■
- 3.0 ■
- 3.5 ■
- 4.0 ■
- 4.5 ■
- 5.0 ■



GL - 67.2 m



図-4-14 変位コンター図 (第一ステップ)

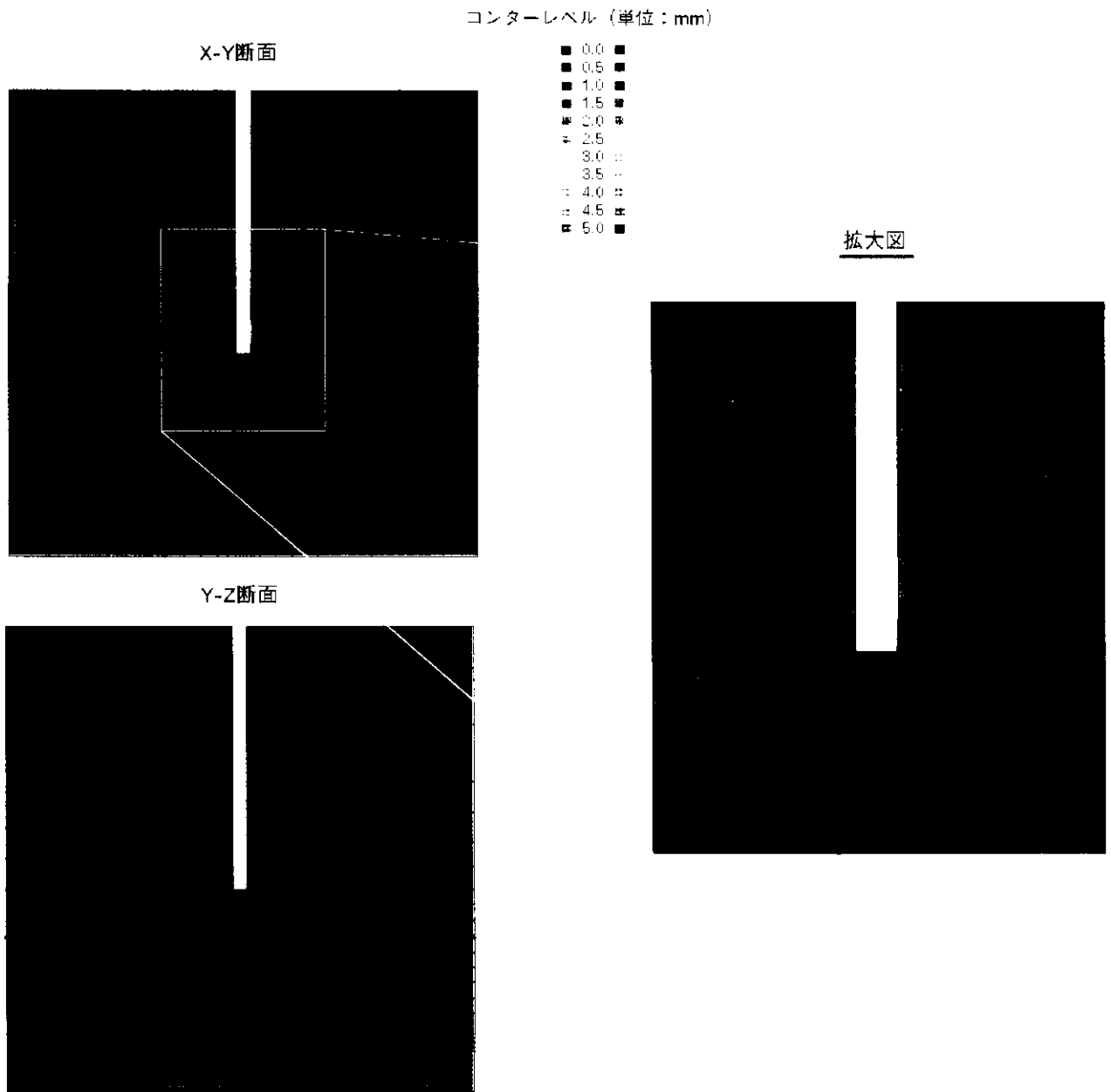


図-4.15変位コンター図 (第二ステップ)

X-Z断面

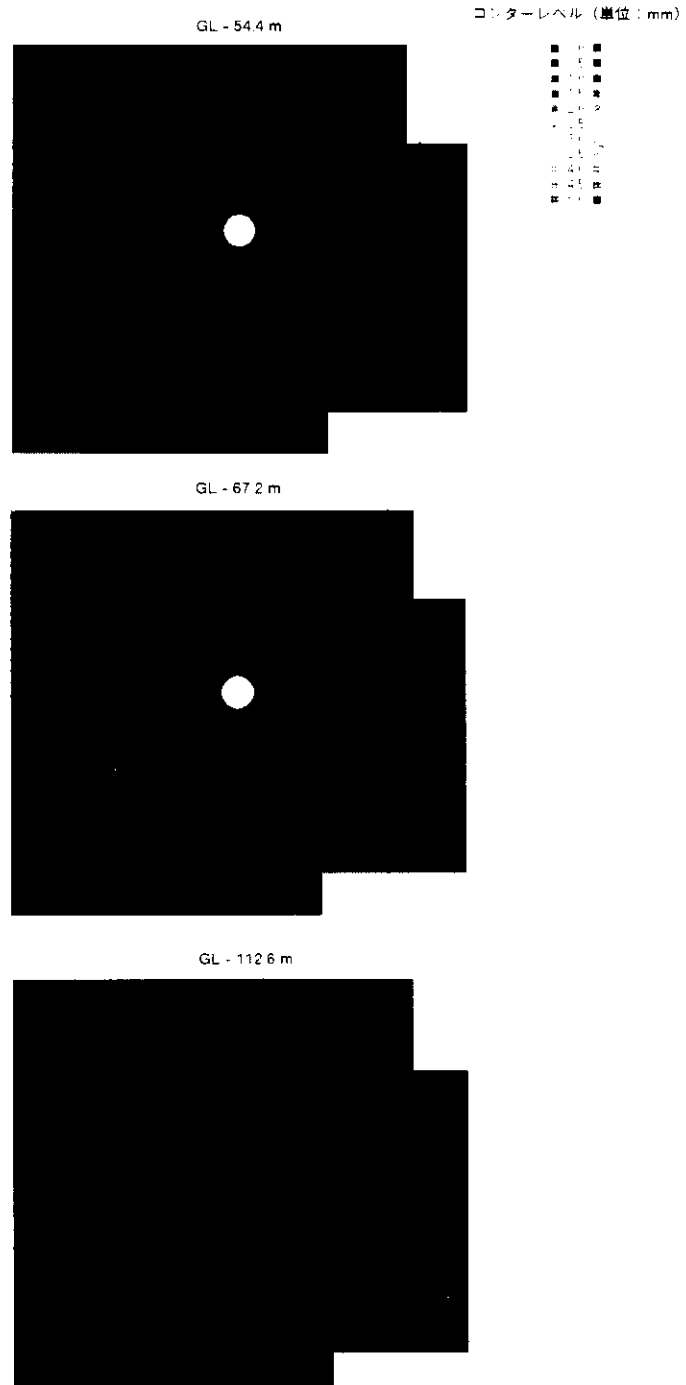
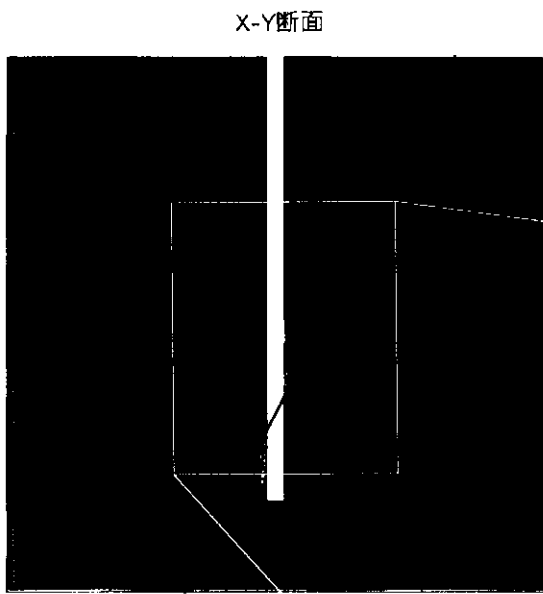


図-4.16 変位コンター図 (第二ステップ)

コンターレベル (単位: mm)



- 0.0 ■
- 0.5 ■
- 1.0 ■
- 1.5 ■
- 2.0 ■
- 2.5 ■
- 3.0 ■
- 3.5 ■
- 4.0 ■
- 4.5 ■
- 5.0 ■

拡大図

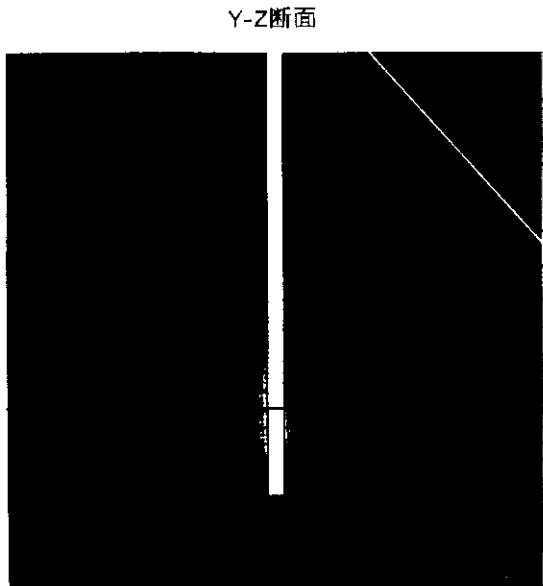
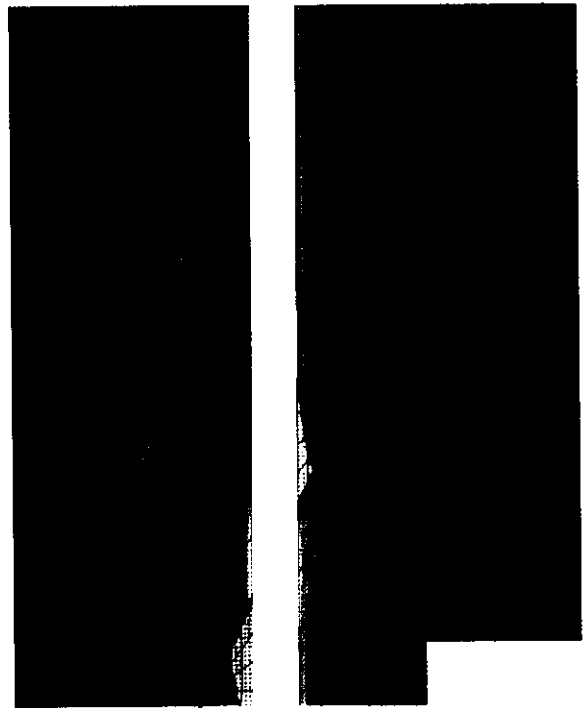
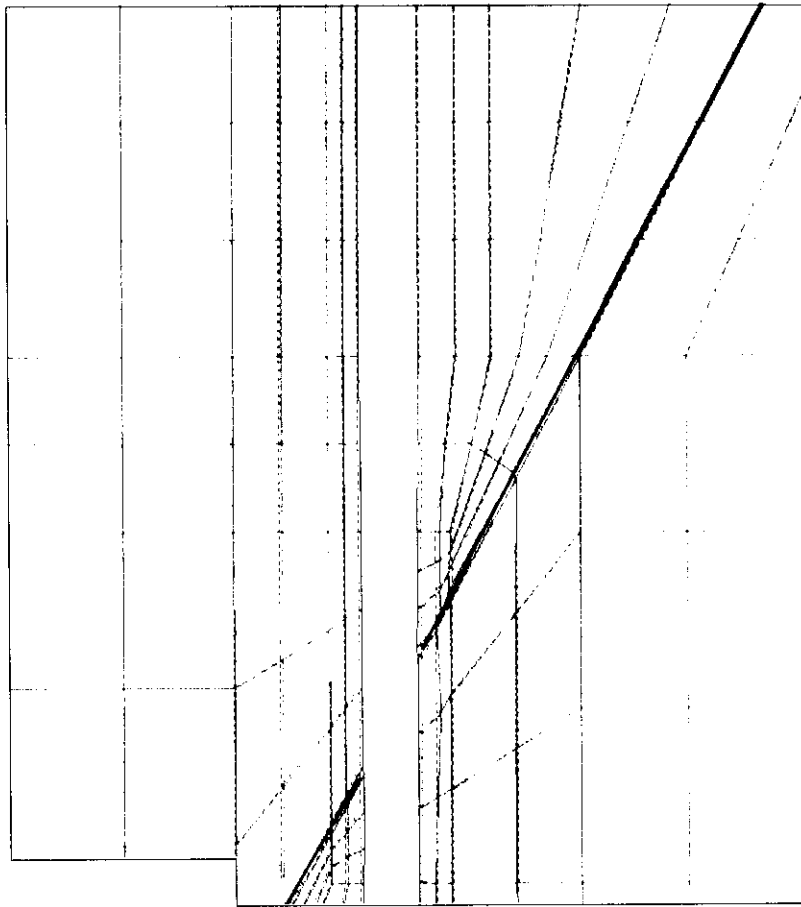


図-4-17 変位コンター図 (第三ステップ)

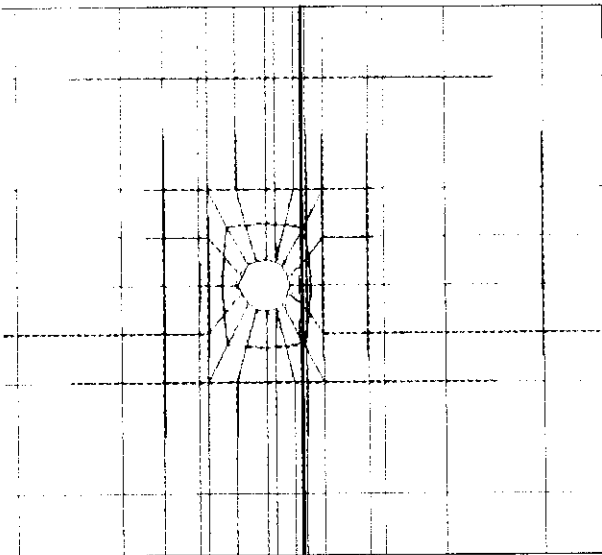
X-Y断面



----- 変形前
————— 変形後

X-Z断面

GL - 112.6 m



GL - 133.0 m

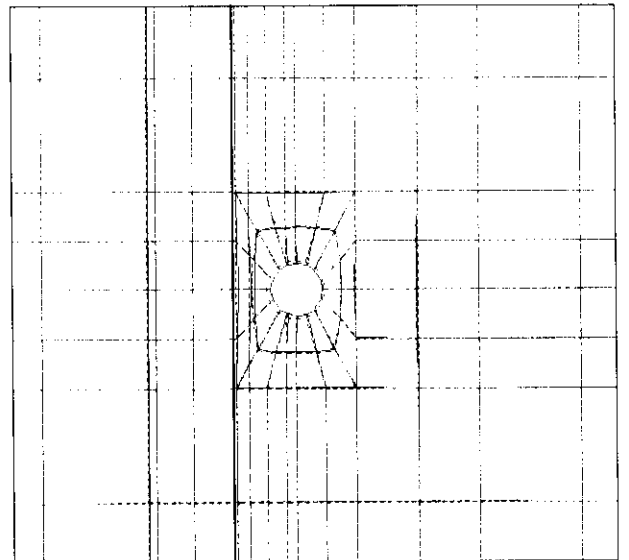


図-4-18 変形図 (第三ステップ)

X-Z断面

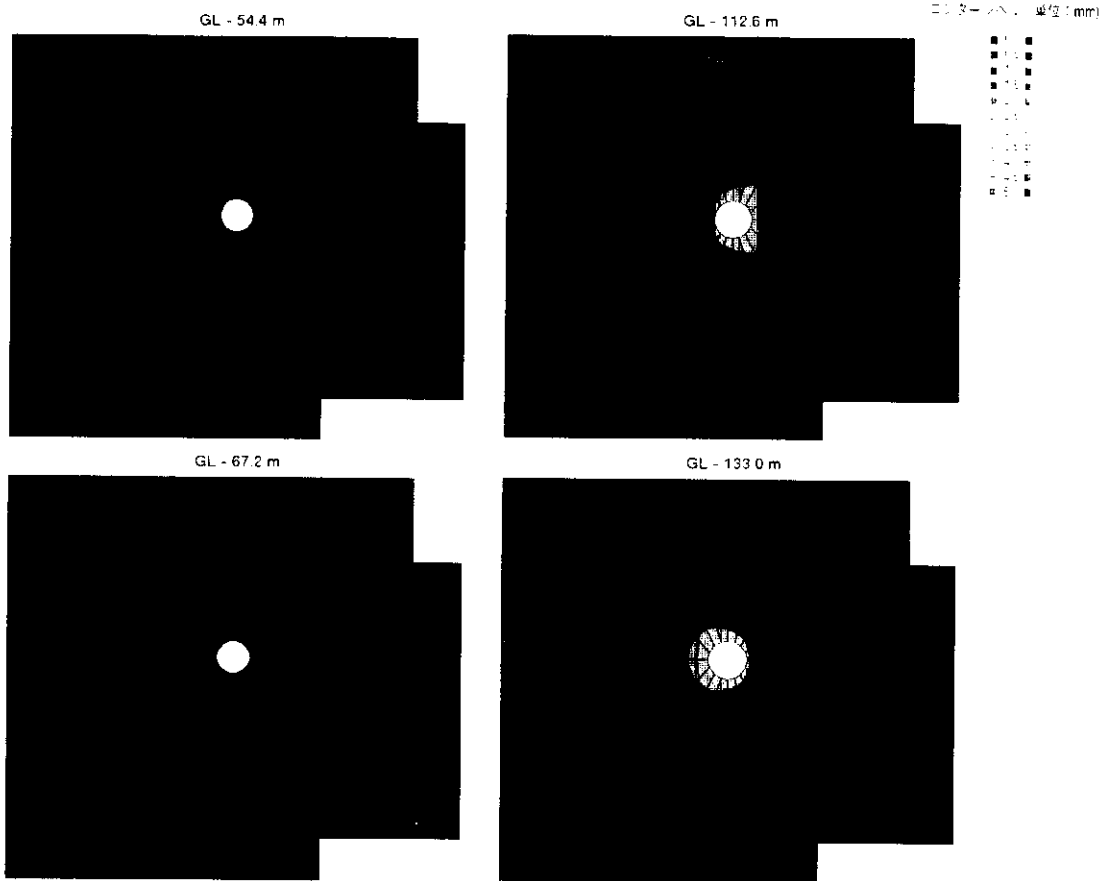


図-4-19変位コンター図 (第三ステップ)

M 1 断面の変位分布 (切羽離れ 3 D)

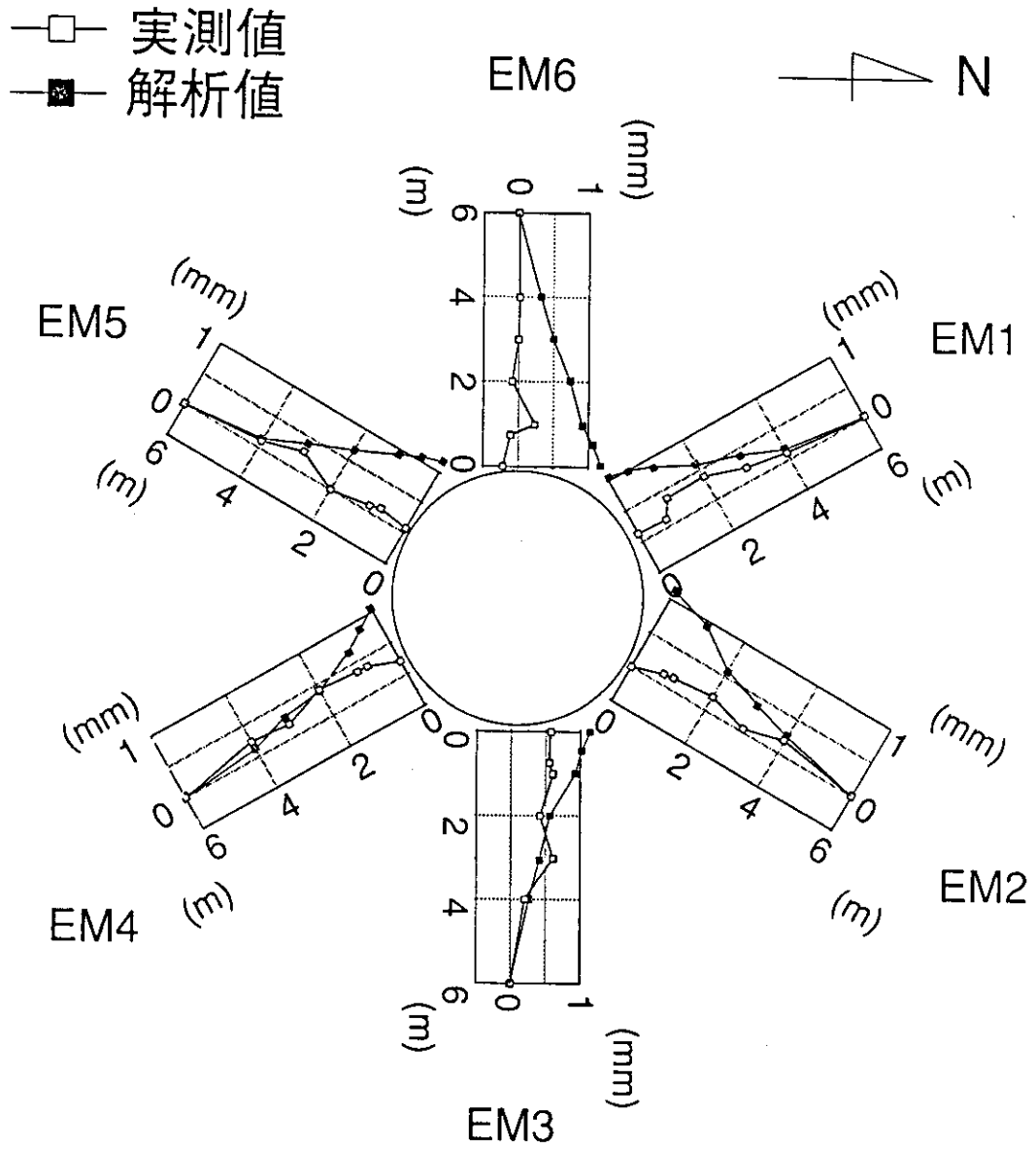


図-4.20 岩盤内変位分布 (M1断面)

M 2 断面の変位分布 (切羽離れ 3 D)

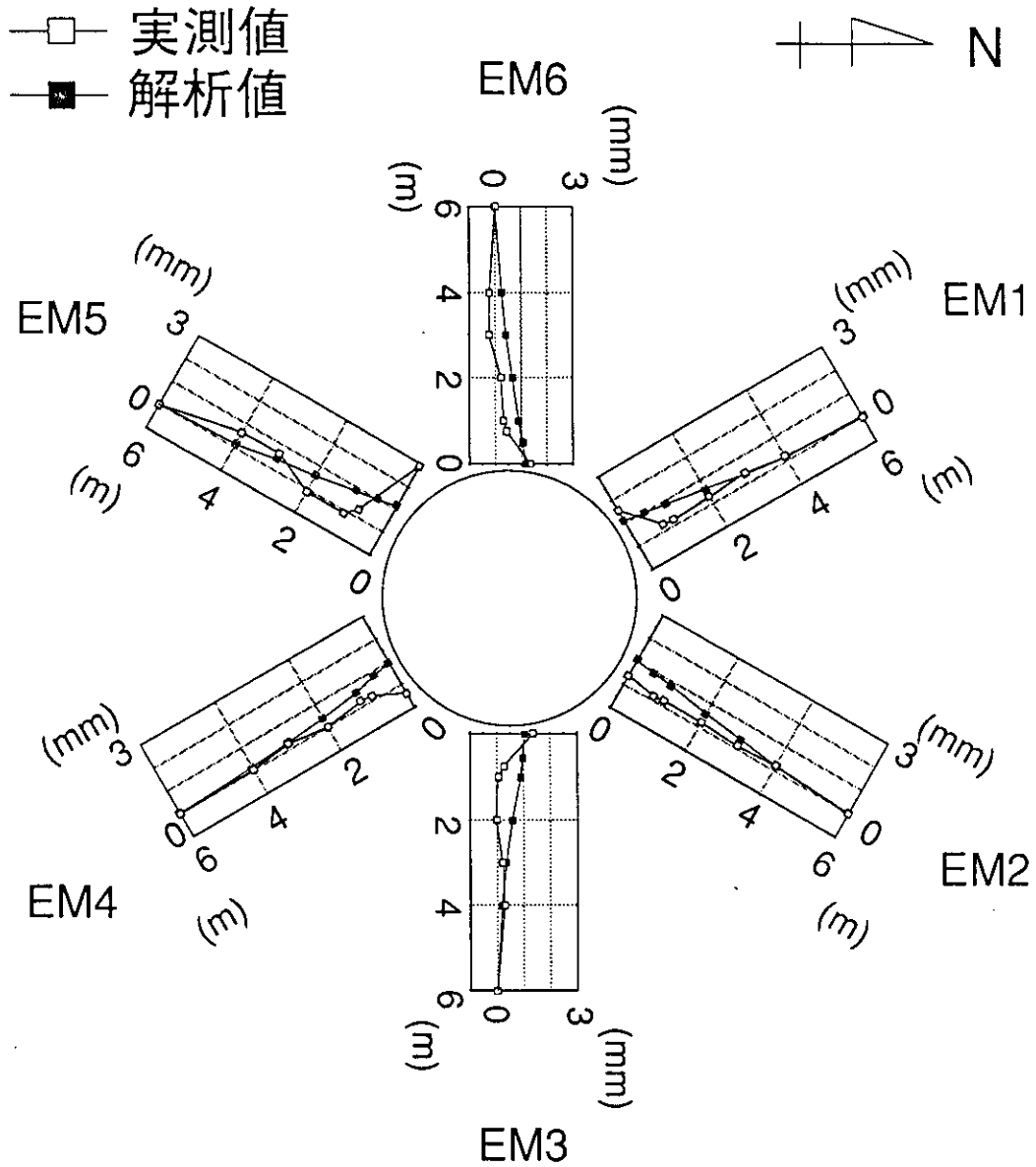


図-4-21 岩盤内変位分布 (M2断面)

M3断面の変位分布（切羽離れ3D）

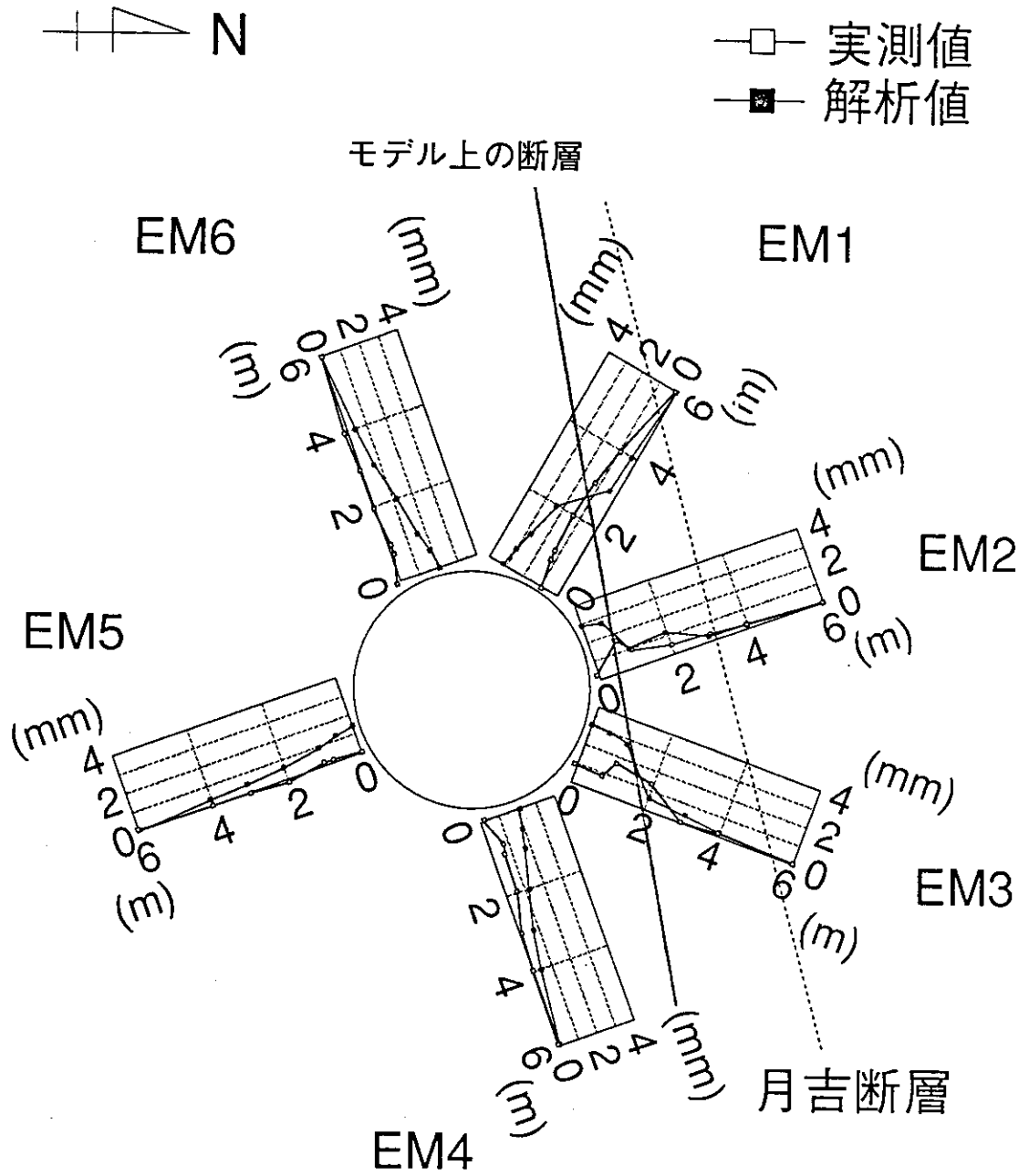


図-4-22 岩盤内変位分布（M3断面）

M4断面の変位分布（切羽離れ3D）

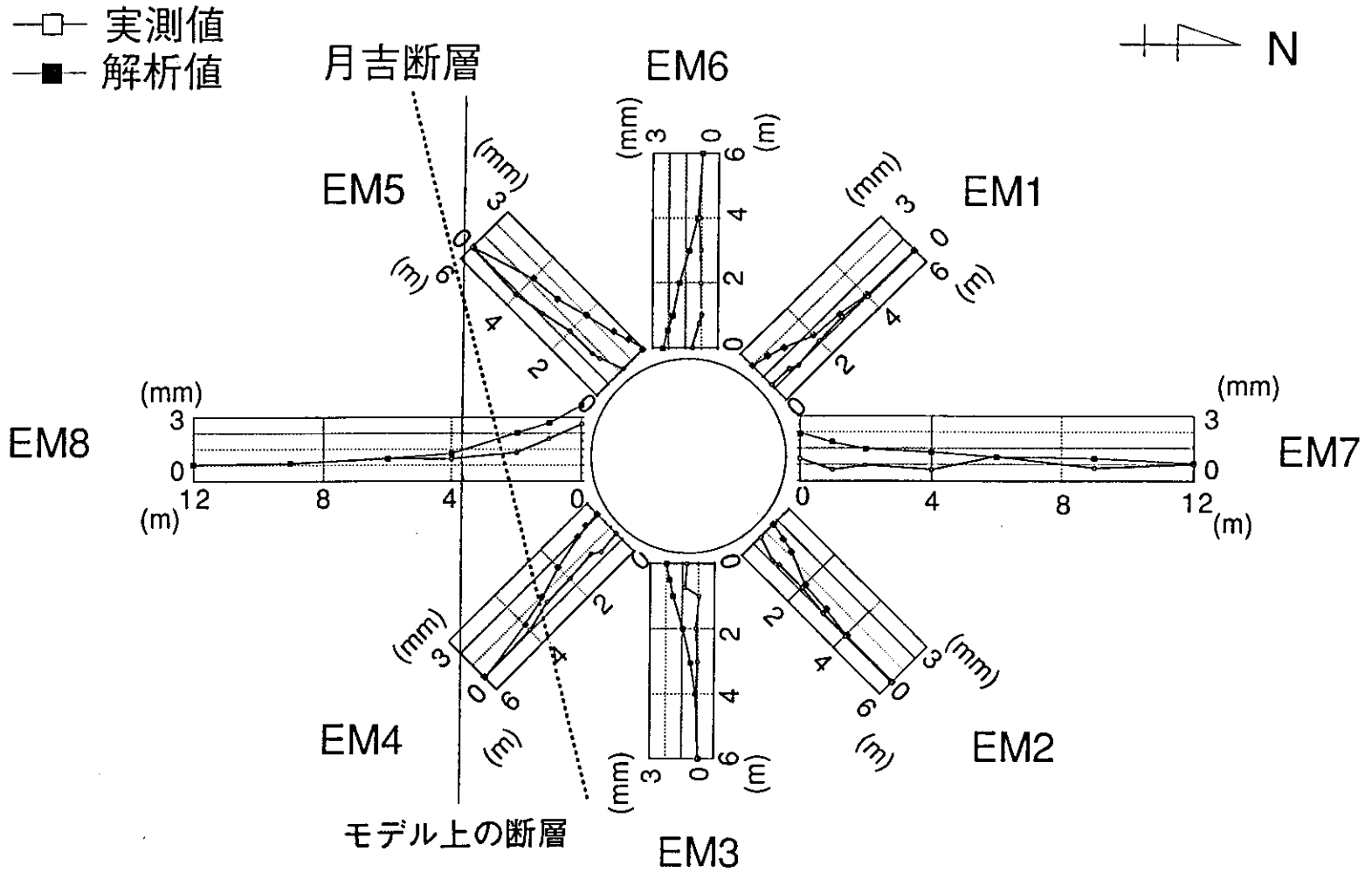


図-4-23 岩盤内変位分布（M4断面）

5. まとめ

本解析では、通常の有限要素法を用い、断層の 3 次元的な配置を考慮した概略的な数値解析を行い、断層が岩盤中の変位分布や応力分布に与える影響について検討した。

その結果、

- ①岩盤内の応力分布については、立坑掘削に伴い断層付近に相対的に大きな応力集中域が生じる可能性があることがわかった。また、その度合いは、最大で約2P(P: 初期応力) までと推定される。断層の影響がない場合は、水平方向での応力の変化領域は、ほぼ2D程度(D: 立坑の直径 =6m) 程度までと考えられ、最大1.5P程度までの応力集中が立坑周辺岩盤に生じる可能性がある。
- ②変位に関しては、立坑周辺部の岩盤が断層付近で著しく大きな変形を生じる可能性があることがわかった。
- ③岩盤内変位測定の実測値と解析値を比較・検討した結果、立坑周辺の岩盤は全体的には弾性的な挙動をしており、ゆるみ領域は立坑壁面のごく近傍以外には生じていないことが推定される。
- ④断層等の大規模な不連続面の影響は、不連続面の位置を3 次元的に考慮することにより通常の有限要素法解析である程度把握できることがわかった。

6. 謝辞

本解析を実施するに当たり、名古屋大学市川康明助教授、豊田高等専門学校伊藤講師には、解析プログラムを提供して頂くなど、解析全般にわたって多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 佐藤 他: 立坑掘削影響試験 -地中変位計測に基づく掘削影響評価-
 ,PNC TR/GE 92-07
- 2) 松井 他: 堆積岩地山における立坑周りの力学的・水理学的特性の変化
 ,PNC TR/GE 92-06
- 3) 市川康昭: 地盤力学における有限要素法
- 4) 鷲津 他: 有限要素法ハンドブック -基礎編-
- 5) 小野寺 他: 岩盤地下空洞の設計と施工 , pp. 191~199
- 6) 土質工学会 編: 岩の工学的性質と設計・施工 , 第 5章~第 7章
- 7) 谷本 ,大西 訳: わかりやすい岩盤力学 , 第 7章