

# 人工バリアシステム仕様設定に関する 解析検討

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

清水建設株式会社  
株式会社 大林組  
鹿島建設株式会社  
大成建設株式会社  
株式会社 間組

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
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, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

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

THIS DOCUMENT IS NOT INTENDED FOR DISSEMINATION TO THE PUBLIC.  
DISCLOSURE TO THE THIRD PARTY SHOULD BE MADE WITHOUT PRIOR WRITTEN CONSENT  
OF POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION.

本資料についての問合せは下記に願います。  
〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33  
動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所 技術管理室

## 人工バリアシステム仕様設定に関する解析検討\*

石井 卓<sup>1</sup> 栗原 雄二<sup>2</sup>  
沢内 至武<sup>3</sup> 杉原 豊<sup>4</sup>  
島邊賢一郎<sup>5</sup>

### 要 旨

動燃事業団がとりまとめ中の平成3年報告書の作成にあたり、性能評価解析の前提となる処分システムの仕様を設定するために、熱影響解析を実施し、処分形態、処分場規模、及び、処分場レイアウトについて考察するとともに、人工バリア中の廃棄体の沈下解析、容器腐食による体積膨張に関する影響の解析を実施し、長期挙動についての考察をおこなった。

ニアフィールドの熱影響解析の結果、処分坑道3m、坑道離間距離15mの場合の廃棄体埋設密度の目安として、堆積岩（処分深度は500m）の場合には廃棄体1体あたり80m<sup>2</sup>、結晶質岩（処分深度は1000m）の場合には100m<sup>2</sup>の専有面積が必要であることが判った。

ファーフィールドの解析を実施するに際して、地表の境界条件について調査した結果、地盤と大気との境界条件は熱伝達率で評価することが一般的であり、その値としては10～20kcal/m<sup>2</sup> h°Cを用いているのが現状であることが判った。保守的な計算条件として無風状態に相当する熱伝達率10kcal/m<sup>2</sup> h°Cの値を採用して解析を実施した結果、地表面の温度は初期温度の15°Cのまま変化はないという計算結果であった。なお、深度125mの地盤の温度は1000年後に約5°C上昇するという計算結果であった。

廃棄体の沈下をABAQUSおよびDACSARの2種類のコードで予測解析した。2次元解析において計算された沈下量はABAQUSによれば0.92mm、DACSARによれば2.70mmであり、問題となる程の沈下量ではない。なお、2種類のコードによる計算結果の違いについて若干の考察をおこなった。

オーバパックの腐食生成物の力学影響について予測解析した。オーバパックの体積が腐食によって2倍に膨張するものと仮定したときの、緩衝材による応力緩和効果を考慮して周囲の岩盤の応力について評価した。緩衝材の厚さが30cmである場合には岩盤壁面近傍には想定初期地圧（300kgf/cm<sup>2</sup>、深さ1000m）を上回る応力値が計算された。計算結果では、オーバパックの膨張に伴って緩衝材の密度がベントナイトの真比重に至るまで圧縮されることを示唆しており、緩衝材の圧縮性についての非線型性を考慮すると必ずしも応力緩和は期待できないと思われる。一方、緩衝材の厚さが100cmの場合には岩盤の応力値は30cmの場合に比べて約1/5程度であり、また緩衝材の圧縮量も問題とならないので、緩衝材はオーバパックの腐食膨張による影響を十分に緩衝し得ると思われる。

さらに、平成3年報告書をとりまとめるに際して、委託側および受託側の技術者による合同の会議（通称：設計会議）を7回開催し、処分システムの仕様を設定するための考え方および根拠について現状技術で可能な範囲で種々の討議課題について協議した。

\* 本報告書は、清水建設株式会社、株式会社大林組、鹿島建設株式会社、大成建設株式会社、株式会社間組が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。  
契約番号：030D0276

事業団担当部および担当社：東海事業所環境技術開発部地層処分開発室 佐々木憲明

<sup>1</sup> 清水建設株式会社 原子力本部

<sup>2</sup> 株式会社大林組 土木技術本部

<sup>3</sup> 鹿島建設株式会社 建設総事業本部土木設計本部

<sup>4</sup> 大成建設株式会社 エンジニアリング本部エネルギー部

<sup>5</sup> 株式会社間組 技術本部原子力部

## ANALYTICAL STUDY ON SPECIFICATION DESIGN OF ARTIFICIAL BARRIER SYSTEM

T. Ishii\* Y. Kurihara \*\*  
Y. Sawauchi \*\*\* Y. Sugihara \*\*\*\*  
K. Shimabe\*\*\*\*\*

A few analytical study were executed in oder to submit predicted answer which would be refferred in the PNC's "1992 report".

First, heat transfer analyses were done in addition to former studies. In case of sedimentary rock and the depth of GL-500m 80 m<sup>2</sup> area will be needed for the layout of each waste form, and in case of crystalline rock and the depth of 1000m 100 m<sup>2</sup> area will be needed.

Far field heat transfer analyses were executed under conservative condition of heat transfer coefficient of ground surface is 10 kcal / m<sup>2</sup> h°C. The temperature of ground surface will not get higher than initial temperature.

Secondly, analyses were done using "ABAQUS" and "DACSAR" in order to predict settlement of a waste form in buffer material. The predicted settlement by ABAQUS is 0.92mm and by DACSAR is 2.70mm. These displacement will be acceptable.

Additionally the influence of swelling of overpackage resulted from corrosion of steel was discussed. According to the preliminary analyses for predicting stress of rock around a waste form, 300mm thick buffer material will be not enough to relaxation of the stress but 1000mm thick buffer material will be enough.

Technical meetings were held 7 times in order to discuss these analytical results and design of repositories etc.

---

Work performed by Shimizu Corporation, Ohbayashi Corporation, Kajima Corporation, Taisei Corporation, and Hazama Corporation, under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

- \* Shimizu Corp., Nuclear Power Division
- \*\* Ohbayashi Corp., Civil Engineering Technical Department
- \*\*\* Kajima Corp., Civil Engineering Design Division
- \*\*\*\* Taisei Corp., Engineering Division
- \*\*\*\*\* HAZAMA Corp. Nuclear Power Department

## 人工バリアシステム仕様設定に関する解析検討 担当者一覧

会社名	清水建設	大林組	鹿島建設	大成建設	間組
実施責任者	飯塚友之助	村井 喜一	久保田 翼	金谷 聰	永末 千尋
実施担当者	石井 卓	栗原 雄二	沢内 至武	杉原 豊	島邊賢一郎
研究担当者	榎田 吉造 熊坂 博夫 桜井 英行 三谷 泰浩	上野 孝之 三上 哲司 杉江 茂彦 柴田 健司	清水 保明 石原 和夫 雨宮 研 右近 八郎	窪田 茂 古市 光昭	雨宮 清 中越 章雄
	永久 和正				

# 人工バリアシステム仕様に関する角率分析検討

## 全 体 目 次

1. はじめに .....	1-1
2. ニアフィールド熱影響解析 .....	2-1
2.1 解析目的 .....	2-1
2.1 解析ケース .....	2-1
2.3 解析条件 .....	2-2
2.3.1 モデル化範囲 .....	2-2
2.3.2 初期条件 .....	2-6
2.3.3 境界条件 .....	2-6
2.3.4 物性値 .....	2-6
2.3.5 ガラス固化体の発熱特性 .....	2-7
2.4 解析結果 .....	2-9
2.4.1 ニアフィールドの温度 .....	2-9
2.4.2 地表面の温度 .....	2-10
2.5 まとめ .....	2-27
3. ファーフィールド熱影響解析 .....	3-1
3.1 解析目的 .....	3-1
3.2 解析条件 .....	3-1
3.2.1 解析モデル .....	3-1
3.2.2 廃棄体の発熱特性 .....	3-5
3.2.3 物性値 .....	3-7
3.3 解析結果 .....	3-8
3.4 添付資料（地表面の温度境界設定に当たっての予備解析） .....	3-22

4. 廃棄体の沈下解析	4-1
4.1 概要	4-1
4.2 検討条件	4-1
4.2.1 解析モデル	4-1
4.2.2 解析条件	4-7
4.2.3 入力定数	4-9
4.3 解析ケース	4-11
4.4 解析結果	4-11
4.5 まとめと今後の課題	4-23
4.6 添付資料	4-24
参考文献	4-79
5. オーバーパックの腐食生成物の力学的影響解析	5-1
5.1 解析目的	5-1
5.2 解析方針	5-1
5.3 解析方法	5-2
5.3.1 腐食による体積膨張の扱い	5-2
5.3.2 解析概要	5-2
5.4 解析条件	5-4
5.4.1 解析モデル	5-4
5.4.2 解析用物性値	5-7
5.4.3 解析ケース	5-7
5.5 解析結果	5-8
5.6 まとめおよび今後の課題	5-17
5.7 添付資料	5-18
5.7.1 オーバーパックの腐食膨張による変形量	5-18
5.7.2 腐食膨張を表現する温度勾配と線膨張係数の設定	5-19
5.7.3 オーバーパックの換算変形係数の算出	5-20
5.7.4 クリープ定数の設定	5-21

6. 設計会議による検討	6-1
6.1 設計会議の目的と実施目標	6-1
6.2 設計会議の協議対象範囲	6-2
6.3 「処分技術サブレポート」の全体に関する協議内容	6-4
6.4 空洞の安定解析に関する協議内容	6-7
6.5 ニアフィールド熱影響解析に関する協議内容	6-14
6.6 ファーフィールド熱影響解析に関する協議内容	6-16
6.7 廃棄体の沈下解析に関する協議内容	6-19
6.8 オーバーパックの腐食生成物の力学的影響解析に関する協議内容	6-21

## 図 目 次

### 第2章

図-2.3.1 解析モデル図（全体イメージ）	2-3
図-2.3.2 解析モデル図（廃棄体近傍、エアギャップ無）	2-4
図-2.3.3 解析モデル図（廃棄体近傍、エアギャップ有）	2-4
図-2.3.4 ガラス固化体及びオーバーパックの形状、寸法	2-5
図-2.3.5 ガラス固化体の発熱特性	2-8
図-2.4.1 ニアフィールドの温度履歴（C1：堆積岩、40m <sup>3</sup> ）	2-11
図-2.4.2 ニアフィールドの温度履歴（C2：堆積岩、100m <sup>3</sup> ）	2-12
図-2.4.3 ニアフィールドの温度履歴（C3：堆積岩、160m <sup>3</sup> ）	2-13
図-2.4.4 ニアフィールドの温度履歴（C4：結晶質岩、40m <sup>3</sup> ）	2-14
図-2.4.5 ニアフィールドの温度履歴（C5：結晶質岩、100m <sup>3</sup> ）	2-15
図-2.4.6 ニアフィールドの温度履歴（C6：結晶質岩、160m <sup>3</sup> ）	2-16
図-2.4.7 ニアフィールドの温度履歴 (C7：結晶質岩、100m <sup>3</sup> 、エアギャップ有)	2-17
図-2.4.8 ニアフィールドの温度履歴 (C8：結晶質岩、100m <sup>3</sup> 、エアギャップ有)	2-18
図-2.4.9 ニアフィールドの温度履歴 (C9：結晶質岩、100m <sup>3</sup> 、緩衝材の物性を変更)	2-19
図-2.4.10 埋設密度検討用ノモグラム（堆積岩）	2-20
図-2.4.11 埋設密度検討用ノモグラム（結晶質岩）	2-21
図-2.4.12 ニアフィールドの温度分布図（C5）	2-22
図-2.4.13 ニアフィールドの温度分布図（C7）	2-23
図-2.4.14 ニアフィールドの温度分布図（C8）	2-24
図-2.4.15 ニアフィールドの温度分布図（C9）	2-25
図-2.4.16 地表面の温度履歴（C1～C9）	2-26

### 第3章

図3.2.1 解析モデル	3-1
図3.2.2 要素分割図(1)全体図	3-3
図3.2.3 要素分割図(2)処理場周辺拡大図	3-4
図3.2.4 廃棄体の発熱特性	3-6
図3.3.1 処理場の温度経時変化	3-9
図3.3.2 処理場周辺の温度経時変化	3-10
図3.3.3 温度分布全体図(1)	3-11
図3.3.4 温度分布全体図(2)	3-13
図3.3.5 温度分布処理場周辺拡大図(1)	3-15
図3.3.6 温度分布処理場周辺拡大図(2)	3-17
図3.3.7 深さ方向の温度変化図(中心軸)	3-19
図3.3.8 深さ方向の温度変化図(中心から、1009m 離れた地点)	3-20
図3.3.9 深さ方向の温度変化図(中心から、1457m 離れた地点)	3-21
図3.4.1 解析条件及びモデル	3-26
図3.4.2 温度分布図	3-28
図3.4.3 温度経時変化図	3-29
図3.4.4 温度経時変化図(地表面と深度-0.5mの地点)	3-30
図3.4.5 深度方向温度分布図(中心軸)	3-31

### 第4章

図4.2.1 廃棄体定置状況の想定図	4-1
図4.2.2 二次元解析FEMメッシュ図	4-3
図4.2.3 三次元解析FEMメッシュ図	4-5
図4.2.4 ABAQUSにおける境界条件	4-7
図4.2.5 DACSARにおける境界条件	4-8
図4.4.1 二次元圧密+クリープ解析・沈下曲線	4-14
図4.4.2 三次元圧密+クリープ解析・沈下曲線	4-15
図4.4.3 初期沈下曲線	4-16
図4.4.4 圧密・二次圧密解析・沈下曲線(予備ケース・変位拘束)	4-17

図-4.4.5	圧密・二次圧密解析・沈下曲線（上半分変位拘束解除）	4-18
図-4.4.6	二次元圧密+クリープ解析・沈下曲線（その2）	4-19
図-4.4.7	三次元圧密+クリープ解析・沈下曲線（その2）	4-20
図-4.4.8	圧密・二次圧密解析・沈下曲線（その2）（予備ケース・変位拘束）	4-17
図-4.4.9	圧密・二次圧密解析・沈下曲線（その2）（上半分変位拘束解除）	4-18
図-4.6.1	二次元圧密解析・緩衝材変位図	4-25
図-4.6.2	二次元圧密解析・緩衝材応力コンター（水平方向）	4-27
図-4.6.3	二次元圧密解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）	4-29
図-4.6.4	二次元圧密解析・オーバーパック応力コンター（水平方向）	4-31
図-4.6.5	二次元圧密解析・オーバーパック応力コンター（垂直方向）	4-33
図-4.6.6	二次元クリープ解析・緩衝材変位図	4-35
図-4.6.7	二次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（水平方向）	4-37
図-4.6.8	二次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）	4-39
図-4.6.9	二次元クリープ解析・オーバーパック応力コンター（水平方向）	4-41
図-4.6.10	二次元クリープ解析・オーバーパック応力コンター（垂直方向）	4-43
図-4.6.11	三次元圧密解析・緩衝材変位図	4-45
図-4.6.12	三次元圧密解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）	4-47
図-4.6.13	三次元圧密解析・オーバーパック応力コンター（垂直方向）	4-49
図-4.6.14	三次元クリープ解析・緩衝材変位図	4-51
図-4.6.15	三次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）	4-53
図-4.6.16	三次元クリープ解析・オーバーパック応力コンター（垂直方向）	4-55
図-4.6.17	粘性定数 ( $\alpha$ 、 $V_0$ ) の同定結果	4-57
図-4.6.18	粘性定数 $\alpha$ (二次圧密係数) の感度検証	4-58
図-4.6.19	粘性定数 $V_0$ (初期体積ひずみ速度) の感度検証	4-59
図-4.6.20	圧密・二次圧密解析・オーバーパックの応力増分 (予備ケース・変位拘束)	4-60
図-4.6.21	圧密・二次圧密解析・オーバーパックの応力増分 (上半分の変位拘束解除)	4-61
図-4.6.22	圧密・二次圧密解析・緩衝材変位図 (1000年後)	4-63
図-4.6.23	圧密・二次圧密解析・緩衝材水平変位コンター (1000年後)	4-65

図-4.6.24	圧密・二次圧密解析・緩衝材垂直変位コンター（1000年後）	4-67
図-4.6.25	圧密・二次圧密解析・緩衝材全水頭増分コンター（1000年後）	4-69
図-4.6.26	圧密・二次圧密解析・緩衝材水平有効応力コンター（1000年後）	4-71
図-4.6.27	圧密・二次圧密解析・緩衝材鉛直有効応力コンター（1000年後）	4-73
図-4.6.28	圧密・二次圧密解析・オーバーパック 水平応力増分コンター（1000年後）	4-75
図-4.6.29	圧密・二次圧密解析・オーバーパック 垂直応力増分コンター（1000年後）	4-77

## 第5章

図-5.4.1	解析モデル図	5-4
図-5.4.2	要素分割図（全体図）	5-5
図-5.4.3	要素分割図（中心部拡大図）	5-6
図-5.5.1	変位図（CASE 1, クリープ考慮前）	5-9
図-5.5.2	主応力図（CASE 1, クリープ考慮前）	5-10
図-5.5.3	変位図（CASE 1, クリープ考慮後）	5-11
図-5.5.4	主応力図（CASE 1, クリープ考慮後）	5-12
図-5.5.5	変位図（CASE 2, クリープ考慮前）	5-13
図-5.5.6	主応力図（CASE 2, クリープ考慮前）	5-14
図-5.5.7	変位図（CASE 2, クリープ考慮後）	5-15
図-5.5.8	主応力図（CASE 2, クリープ考慮後）	5-16
図-5.7.1	オーバーパックの基本仕様	5-18
図-5.7.2	換算変形係数換算法	5-20
図-5.7.3	$\log \dot{\epsilon} \sim t$ 図（弾性歪を求めるための屈折点となる時間の設定）	5-23

## 表 目 次

### 第 2 章

表-2.2.1 解析ケース	2-1
表-2.3.1 解析に用いる熱定数	2-2
表-2.3.2 エアギャップの物性	2-3
表-2.3.3 ガラス固化体の発熱特性	2-7

### 第 3 章

表-3.2.1 廃棄体の発熱特性	3-5
表-3.2.2 解析に用いる熱定数	3-7

### 第 4 章

表-4.2.1 解析に用いる入力定数	4-10
表-4.3.1 沈下解析ケース一覧	4-11
表-4.4.1 沈下解析結果	4-12

### 第 5 章

表-5.4.1 解析用物性値	5-7
表-5.4.2 解析ケース	5-7
表-5.5.1 解析結果一覧表	5-8

## 1. はじめに

動力炉・核燃料開発事業団（以下「動燃事業団」と略称）は処分技術研究の成果をまとめた一般向けレポート（通称：『平3レポート』）を1992年3月に発行する予定であり、そのための詳細レポートとして「処分技術サブレポート」をとりまとめている。

この報告書は、動燃事業団が上記のレポートを作成する際に必要となる追加の解析検討の結果、および、とりまとめたレポートに関する専門技術者の協議検討の結果を記述したものである。

## 2. ニアフィールド熱影響解析

### 2.1 解析目的

結晶質岩と堆積岩を対象に、廃棄体の埋設密度設定に資するデータを提供することを目的として、ニアフィールドの最高温度及び温度の経時変化を把握するための3次元熱伝導解析を実施する。また、結晶質岩モデルについては、廃棄体定置の際に生じると予想される充填隙間の温度場への影響を把握するために、エアギャップ（オーバーパックと緩衝材の隙間、緩衝材と岩盤の隙間の2層、厚さはそれぞれ1cm）を考慮した解析も実施する。

### 2.2 解析ケース

表-2.2.1に示す9ケースの解析を実施する。

表-2.2.1 解析ケース

解 析 ケ ース	岩 種	坑道離間 距 離	廃棄体1本 の専有面積	エアギャップ の有無	備 考 (エアギャップの取り扱い、その他)
1	堆 積 岩	15m	40m <sup>2</sup>	無	
2	堆 積 岩	15m	100m <sup>2</sup>	無	
3	堆 積 岩	15m	160m <sup>2</sup>	無	
4	結 晶 質 岩	15m	40m <sup>2</sup>	無	
5	結 晶 質 岩	15m	100m <sup>2</sup>	無	
6	結 晶 質 岩	15m	160m <sup>2</sup>	無	
7	結 晶 質 岩	15m	100m <sup>2</sup>	有	空気の物性を使用 注1)
8	結 晶 質 岩	15m	100m <sup>2</sup>	有	大型緩衝材試験の値を使用 注2)
9	結 晶 質 岩	15m	100m <sup>2</sup>	無	緩衝材の物性を変更 注3)

注1) エアギャップは熱伝導要素として扱うものとし、物性値は「伝熱工学資料：日本機械学会」を参照して設定する。この際に、内側のエアギャップの物性は温度が100°Cの場合を想定し、外側のエアギャップの物性は温度が60°Cの場合を想定して設定する。

注2) エアギャップは熱伝導要素として扱うものとし、物性値は動燃殿が大型緩衝材試験の解析に用いた値とする。この際に、外側のギャップについては、粉末ベントナイトを充填するものとする。

注3) ケース9は、ケース5と同一のモデル（エアギャップ無）を使用し、緩衝材の物性値に他の8ケースと違う値（飽和物性）を用いる。

## 2.3 解析条件

### 2.3.1 モデル化範囲

各ケースとも、平面的には熱伝導の対称性を考慮して、X方向については廃棄体中心から坑道間中心までとし、Y方向については廃棄体中心から廃棄体間中心までをモデル化する。また、鉛直方向（Z座標）については、結晶質岩モデルでは地表面からGL-1200m（廃棄体中心GL-1000m）、堆積岩モデルでは地表面からGL-700m（廃棄体中心GL-500m）までをモデル化する。図-2.3.1～図-2.3.3には解析モデル図を、図-2.3.4にはガラス固化体及びオーバーパックの形状、寸法を示す。

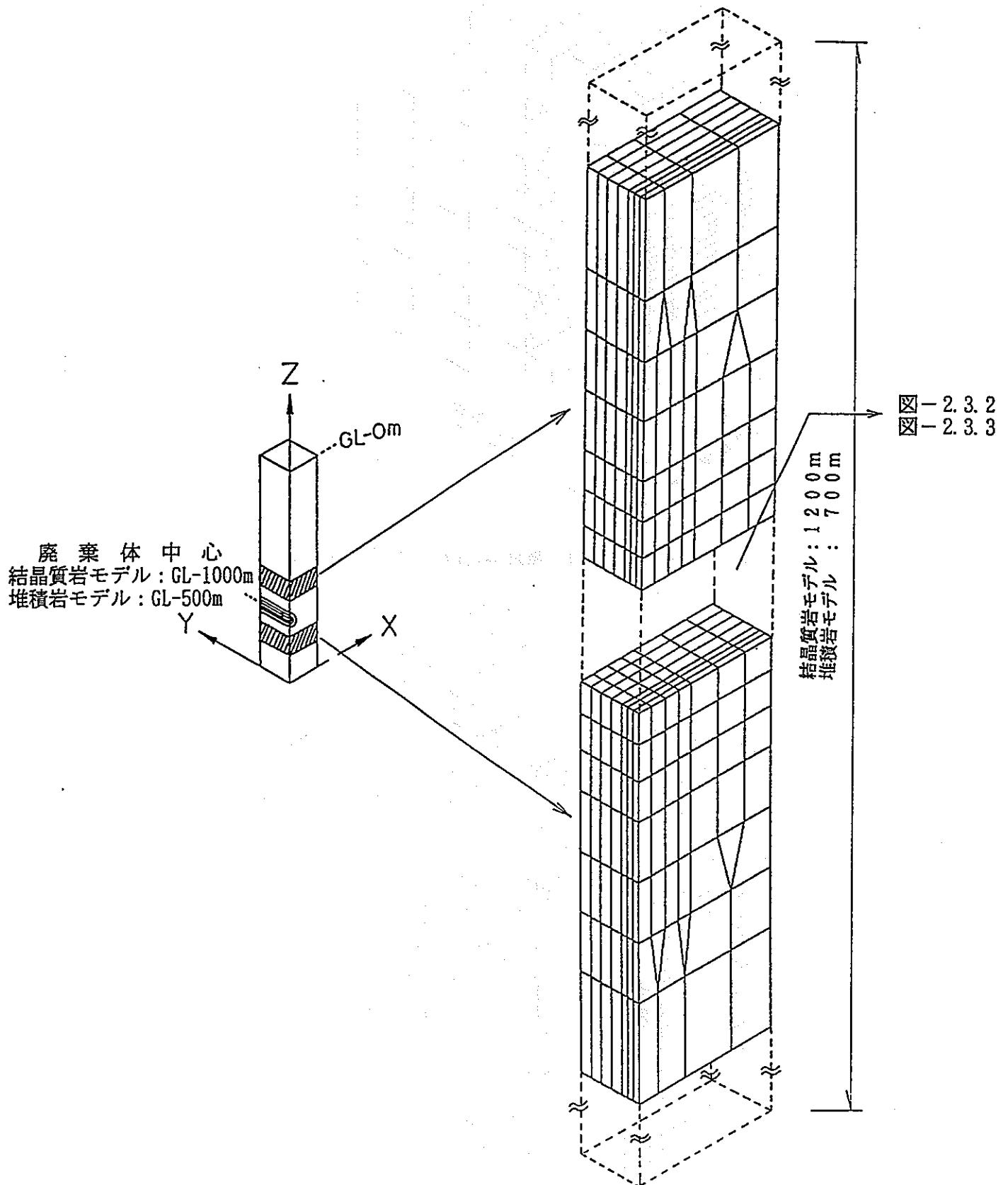


図-2.3.1 解析モデル図（全体イメージ）

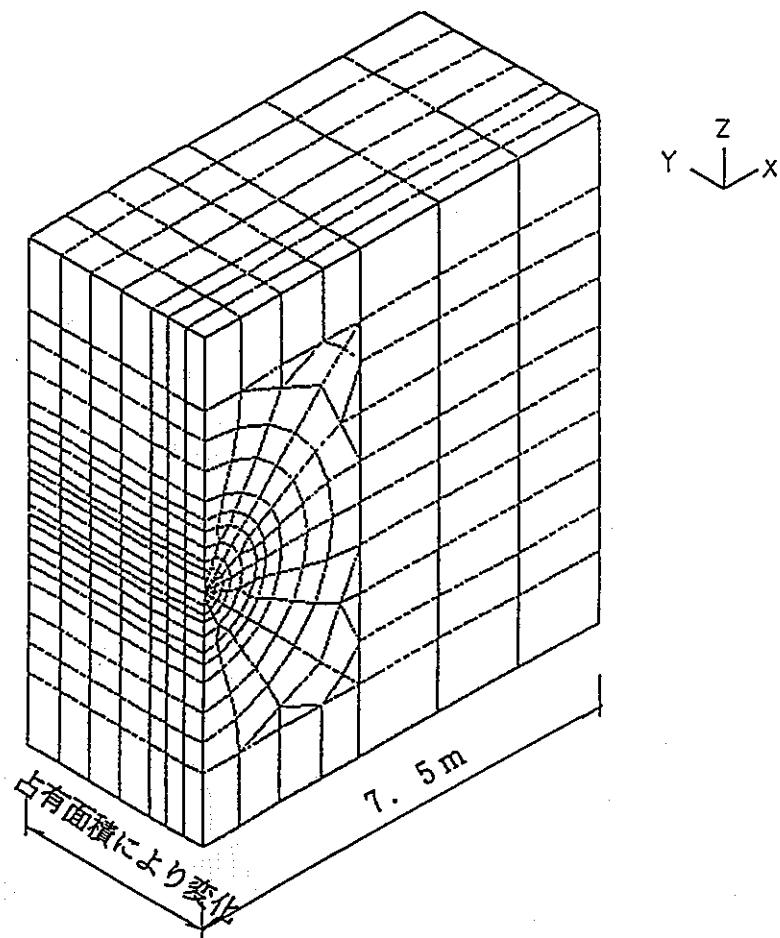


図-2.3.2 解析モデル図（廃棄体近傍、エアギャップ無）

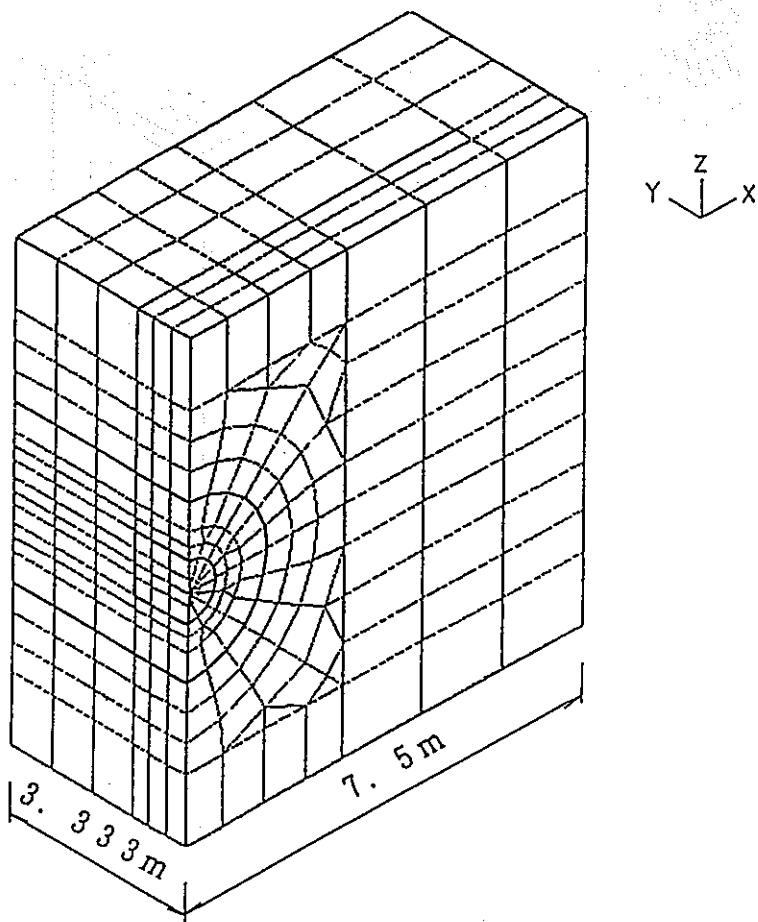
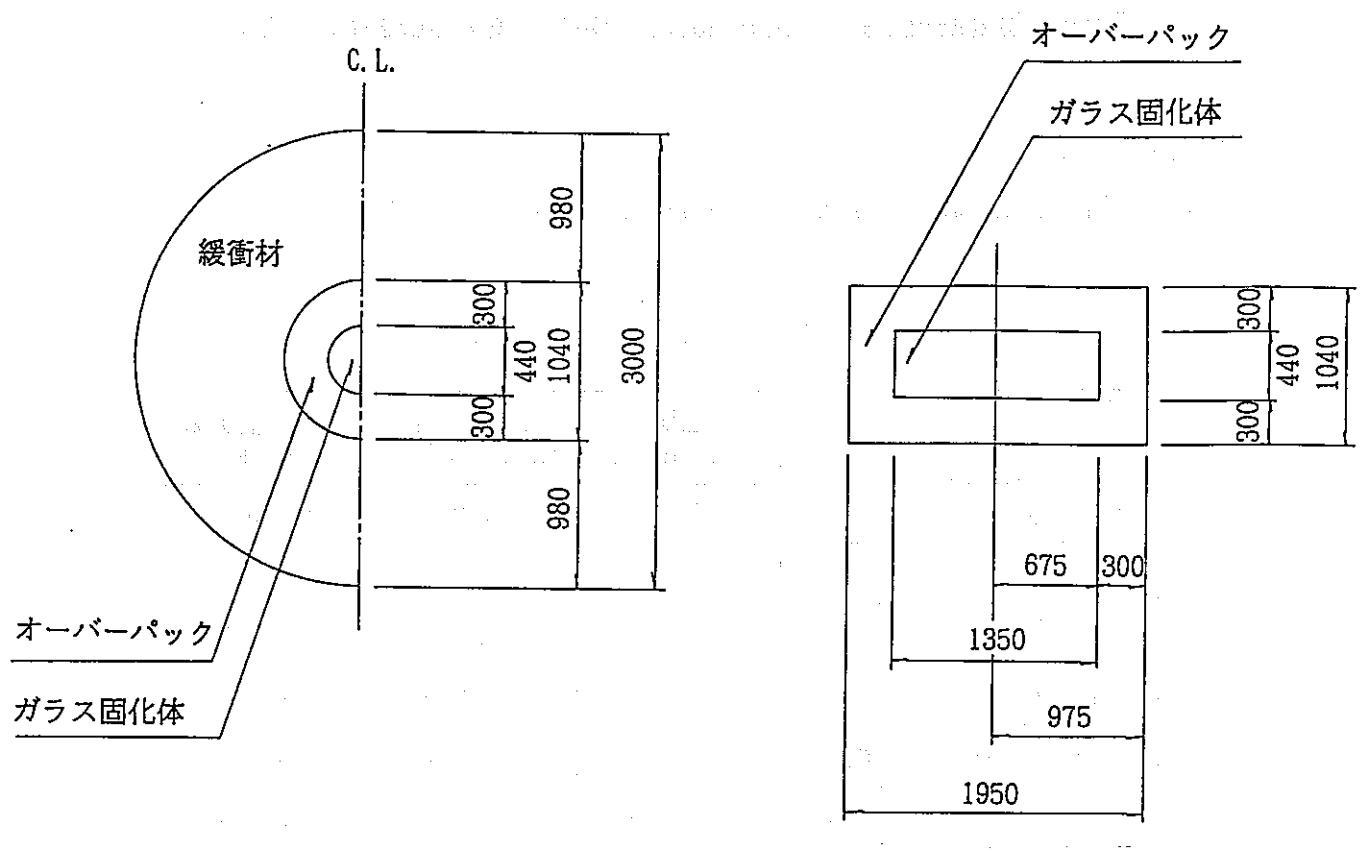


図-2.3.3 解析モデル図（廃棄体近傍、エアギャップ有）



(単位: mm)

図-2.3.4 ガラス固化体及びオーバーパックの形状、寸法

### 2.3.2 初期条件

地表面の温度を15°Cとし、深度方向に3°C/100mの温度勾配を考慮する。

### 2.3.3 境界条件

モデル側面は対称性を考慮して断熱境界とし、地表面及びモデル下面は熱伝達境界とする。この際、地表面の熱伝達率は15kcal/m<sup>2</sup>h°C（平成元年度基本設計条件）を使用し、下面の熱伝達率は、結晶質岩モデルの場合GL-2000mを温度75°C既知、堆積岩モデルの場合GL-1500mを温度60°C既知として等価な熱伝達率を与える。すなわち、岩盤の熱伝導率をモデル下面から温度既知点までの距離(800m)で除した値を熱伝達率とする。

### 2.3.4 物性値

解析に用いる熱定数は、表-2.3.1及び表-2.3.2に示す値を用いる。

表-2.3.1 解析に用いる熱定数

材 料	熱定数	熱伝導率 (kcal/mh°C)	比 熱 (kcal/kg°C)	単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )
岩	結 晶 質 岩	2.5	0.2	2700
盤	堆 積 岩	2.0	0.2	2000
	緩 衡 材 (C 1 ~ C 8)	0.8	0.28	1900
	緩 衡 材 (C 9)	1.4	0.36	2100
	オーバーパック (炭素鋼)	45.6	0.11	7830
	ガ ラ ス 固 化 体	1.05	0.23	2750

表-2.3.2 エアギャップの物性

エアギャップの位置	熱定数	熱伝導率 (kcal/mh°C)	比 熱 (kcal/kg°C)	単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )
C	オーバーパック-緩衝材間	0.0272	0.24	0.916
7	緩衝材-岩盤間	0.0247	0.24	1.026
C	オーバーパック-緩衝材間	0.061	0.24	0.916
8	緩衝材-岩盤間 注1)	0.489	0.22	1300

注1) ケース8における緩衝材と岩盤間のギャップには、粉末ベントナイトの物性を用いる。

### 2.3.5 ガラス固化体の発熱特性

ガラス固化体の発熱特性は、「地層処分システムの設計研究：1990.3」に示されている中間貯蔵期間30年の値を用いる。

表-2.3.3 ガラス固化体の発熱特性

処 分 開始後 (年)	30年貯蔵後の発熱量		処 分 開始後 (年)	30年貯蔵後の発熱量	
	(w/本)	(Kcal/h/本)		(w/本)	(Kcal/h/本)
0	670	576	40	274	236
1	654	562	50	222	191
2	639	550	60	181	156
3	624	537	70	148	237
4	610	525	80	123	106
5	596	513	90	102	87.7
6	582	501	100	86.1	74.0
7	569	489	200	28.7	24.7
8	556	478	500	14.5	12.5
9	543	467	1000	7.03	6.05
10	531	457	2000	2.17	1.87
20	424	365	5000	0.802	0.690
30	340	292	10000	0.582	0.501

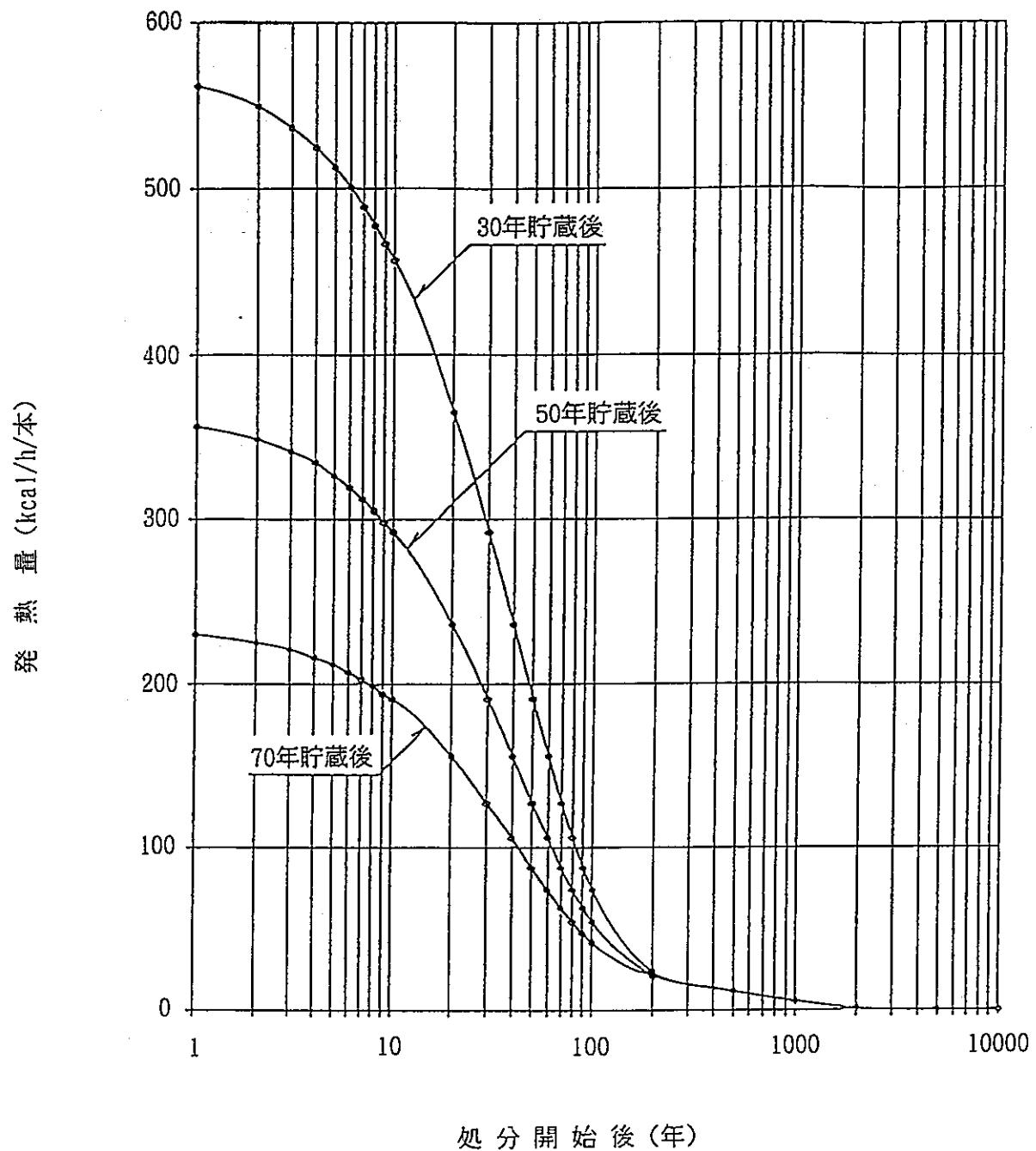


図-2.3.5 ガラス固化体の発熱特性

## 2.4 解析結果

### 2.4.1 ニアフィールドの温度

#### (1) 温度の経時変化

ここでは、各ケース毎のニアフィールドの温度履歴を示す（図-2.4.1～図-2.4.9）。尚、オーバーパックと緩衝材の境界部については、坑道横断方向と軸方向の内、最高温度が高い方の点についてのみ温度履歴を示すものとする（ケース1～ケース6及びケース9）。エアギャップを考慮した解析（ケース7及びケース8）における内側のエアギャップのオーバーパック側（内側）と緩衝材側（外側）については、坑道横断方向と軸方向の内、最高温度が高い方の点についてのみ温度履歴を示すものとする。

これらの図より、以下のことが言える。

- ・廃棄体1本当たりの占有面積が小さい程、ニアフィールドの温度上昇が大きく、かつピークの現れる時期が遅くなる。
- ・ニアフィールドの温度は、処分開始後1000年程度ではほぼ一様になる。
- ・ニアフィールドの温度は、処分開始後10000年付近で初期温度に近づき、この傾向は廃棄体1本当たりの占有面積が大きい程顕著である。
- ・岩種及び廃棄体1本当たりの占有面積が等しく、緩衝材の熱物性を変えたケース5とケース9を比較すると、ガラス固化体や緩衝材の最高温度は、緩衝材の熱伝導率が大きいケース9の方が15°C弱低くなっている。
- ・エアギャップを考慮したモデル（C7とC8）では、内側のエアギャップの中、すなわちガラス固化体とオーバーパックの最高温度が、エアギャップ無しのモデル（C5）と比べてかなり高くなっている。また、ピークの現れる時期が早くなっている。
- ・処分開始後数十年程度までは、エアギャップの内側と外側の温度差がかなりあり、この傾向は発熱体に近いエアギャップ程、また、空気の熱伝導率が小さい程顕著である。

#### (2) 廃棄体の埋設密度

ケース1～ケース3の結果に基づいて堆積岩モデルにおける廃棄体埋設密度検討用ノモグラムを作成し、図-2.4.10に示す。また、ケース4～ケース6の結果に基づいて結晶質岩モデルにおける廃棄体埋設密度検討用ノモグラムを作成し、図-2.4.11に示す。

これらの図より、処分坑道径3m、坑道離間距離15mの場合、廃棄体埋設密度の目安として、堆積岩（処分深度：500m）で80m<sup>3</sup>、結晶質岩（処分深度：1000m）で100m<sup>3</sup>という値が得られる。

### (3) 温度分布（エアギャップの影響、緩衝材の物性の影響）

結晶質岩モデルでは、廃棄体 1 本当たりの占有面積が 100m<sup>2</sup> のものについて、異なる条件の下で 4 種類の解析（C5、C7、C8、C9）を実施した。そこで、エアギャップの影響や緩衝材の物性の影響を評価するために、図-2.4.12～図-2.4.15にはこれら 4 種類の解析結果として、坑道横断方向の温度分布図を示す。

これらの図より、以下のことが言える。

- ・エアギャップを境に温度がかなり変化しており、この傾向は発熱体に近い内側のエアギャップの方が大きく、また、空気の熱伝導率が小さい程大きくなっている。
- ・エアギャップを境とした温度変化は、時間の経過とともに小さくなる。
- ・ケース 7 とケース 8 の比較として、ガラス固化体及びオーバーパックの温度に着目すると、空気の熱伝導率が小さいケース 7 の方が温度が高くなっている、断熱効果が顕著であることが認められる。
- ・緩衝材の物性の影響としてケース 5 とケース 9 を比較すると、緩衝材の熱伝導率が小さいケース 5 の方がガラス固化体及びオーバーパックの温度が高く、また、緩衝材中における温度変化が大きくなっている。

## 2.4.2 地表面の温度

地表面の温度履歴を図-2.4.16に示す。これより、各ケースとも地表面の温度は、初期温度の 15°C から変化しないことがわかる。本解析では、側方境界を全て断熱条件としているため、ファーフィールドの温度分布を把握する上では保守的な評価をしていることになる。それにもかかわらず地表面温度が上昇しないのは、地表面で設定した大気への熱伝達率の値にも依存するが、減衰する発熱源が地中深くに存在する場合は、発熱源が地表の温度に及ぼす影響はないと考えるのが妥当であると考えられる。

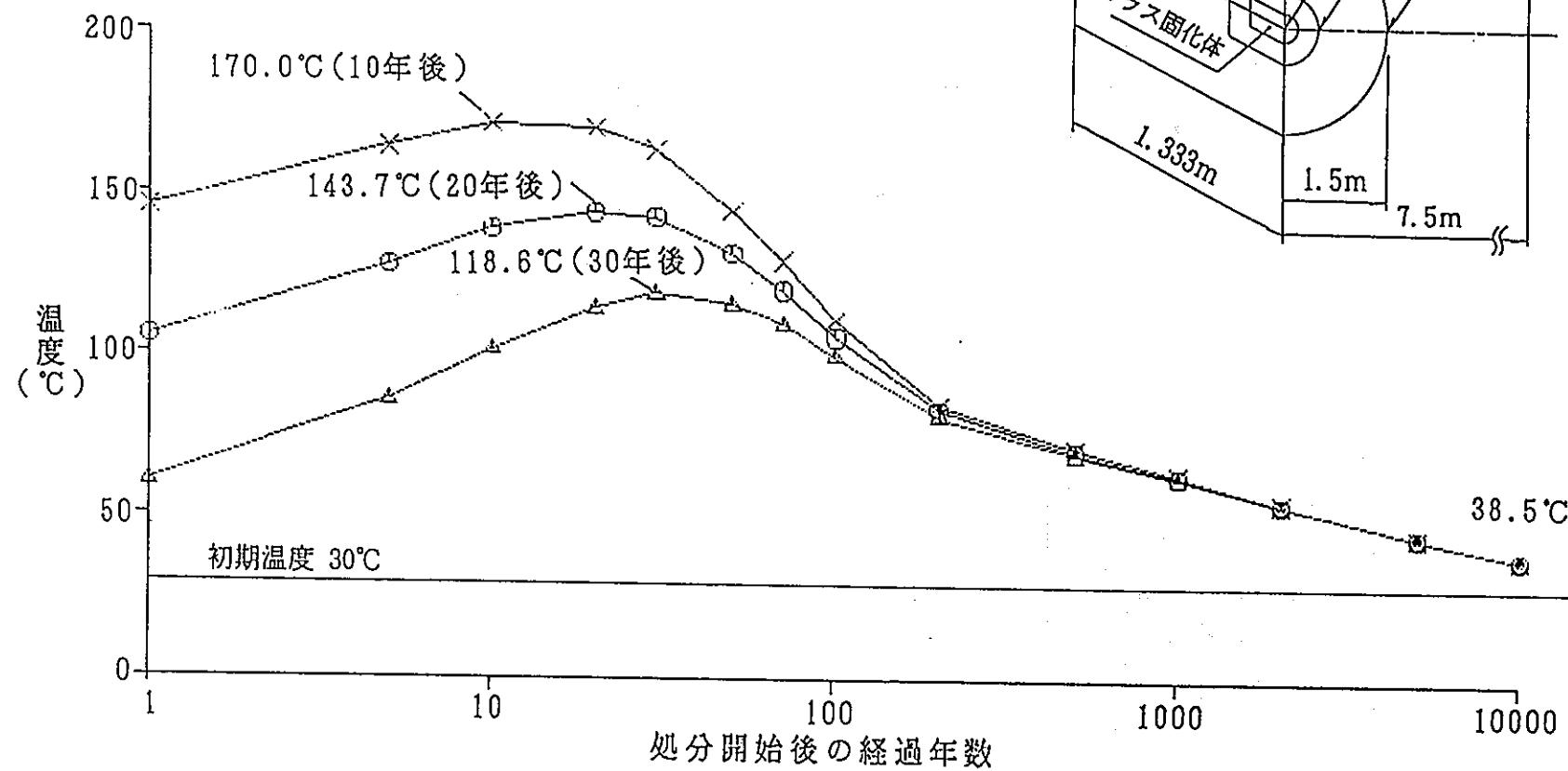
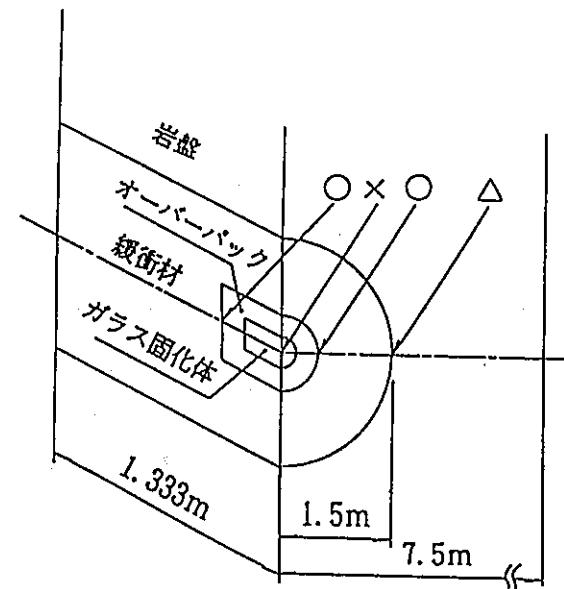


図-2.4.1 ニアフィールドの温度履歴 (C1 : 堆積岩、40m<sup>3</sup>)



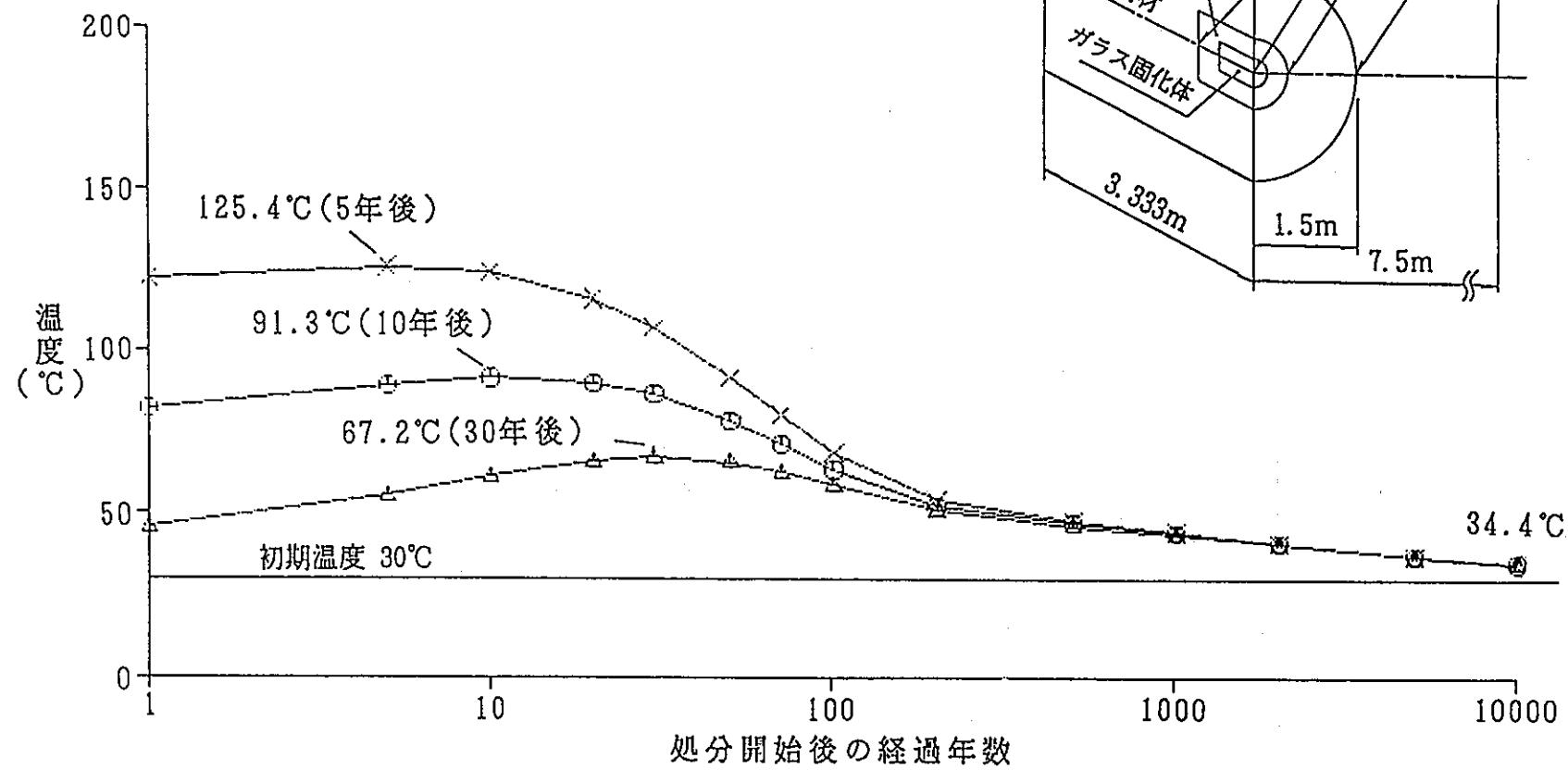


図-2.4.2 ニアフィールドの温度履歴 (C2: 堆積岩、100m<sup>2</sup>)

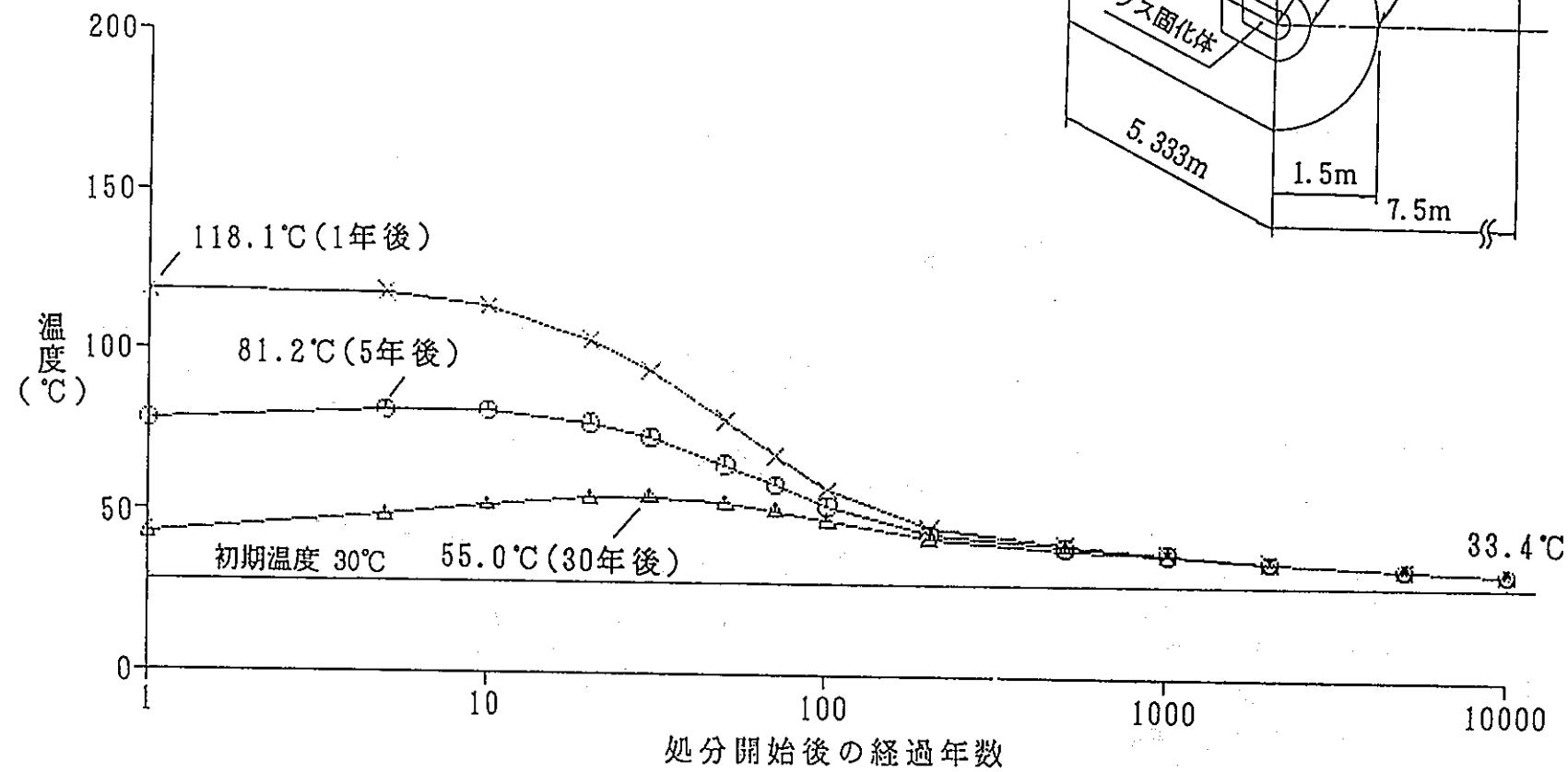


図-2.4.3 ニアフィールドの温度履歴 (C 3 : 堆積岩、 $160\text{ m}^2$ )

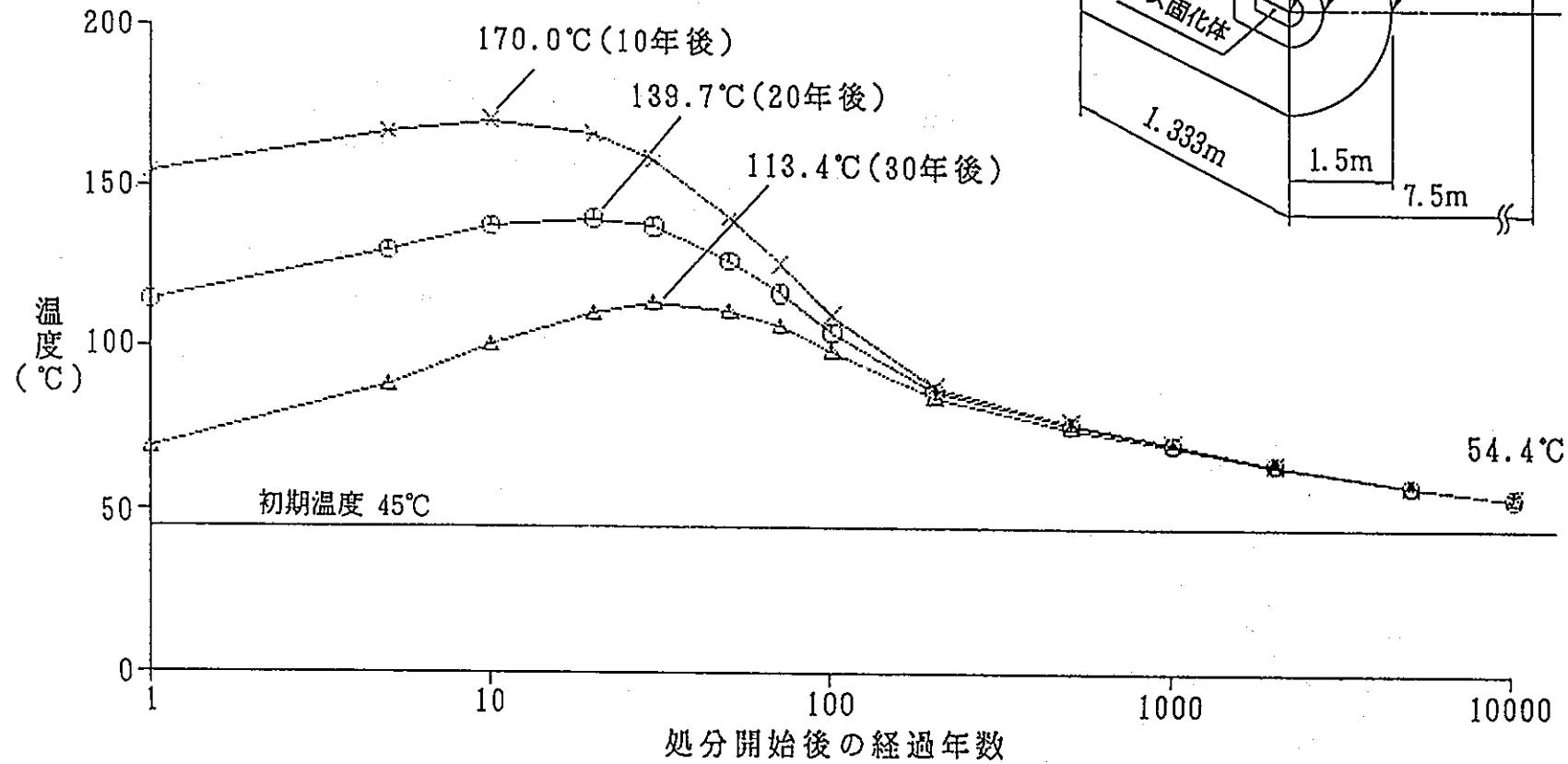


図-2.4.4 ニアフィールドの温度履歴 (C4 : 結晶質岩、40m<sup>3</sup>)

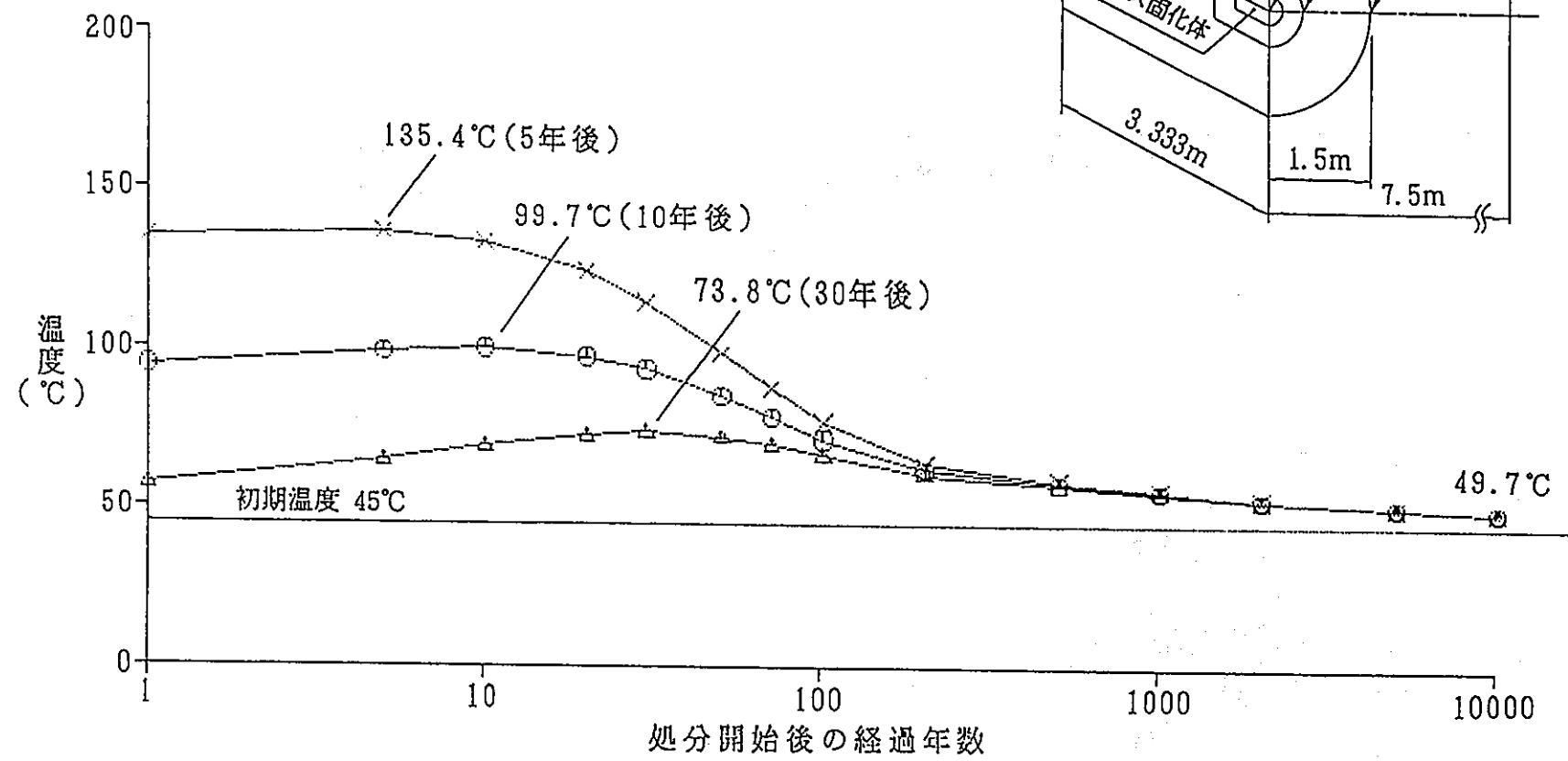
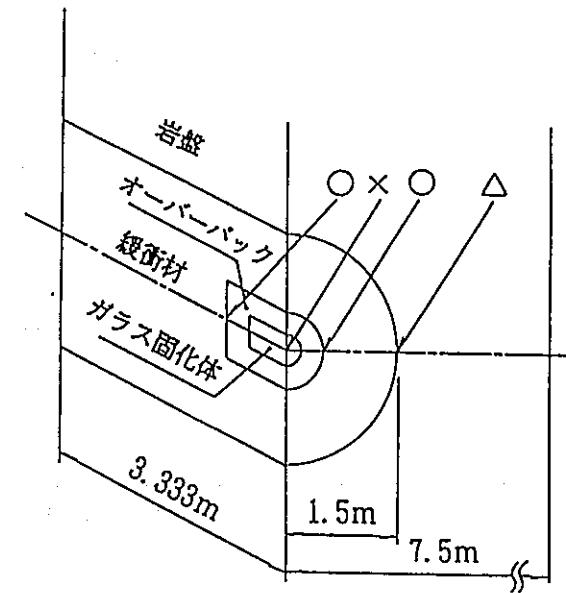


図-2.4.5 ニアフィールドの温度履歴 (C5 : 結晶質岩、100m<sup>3</sup>)



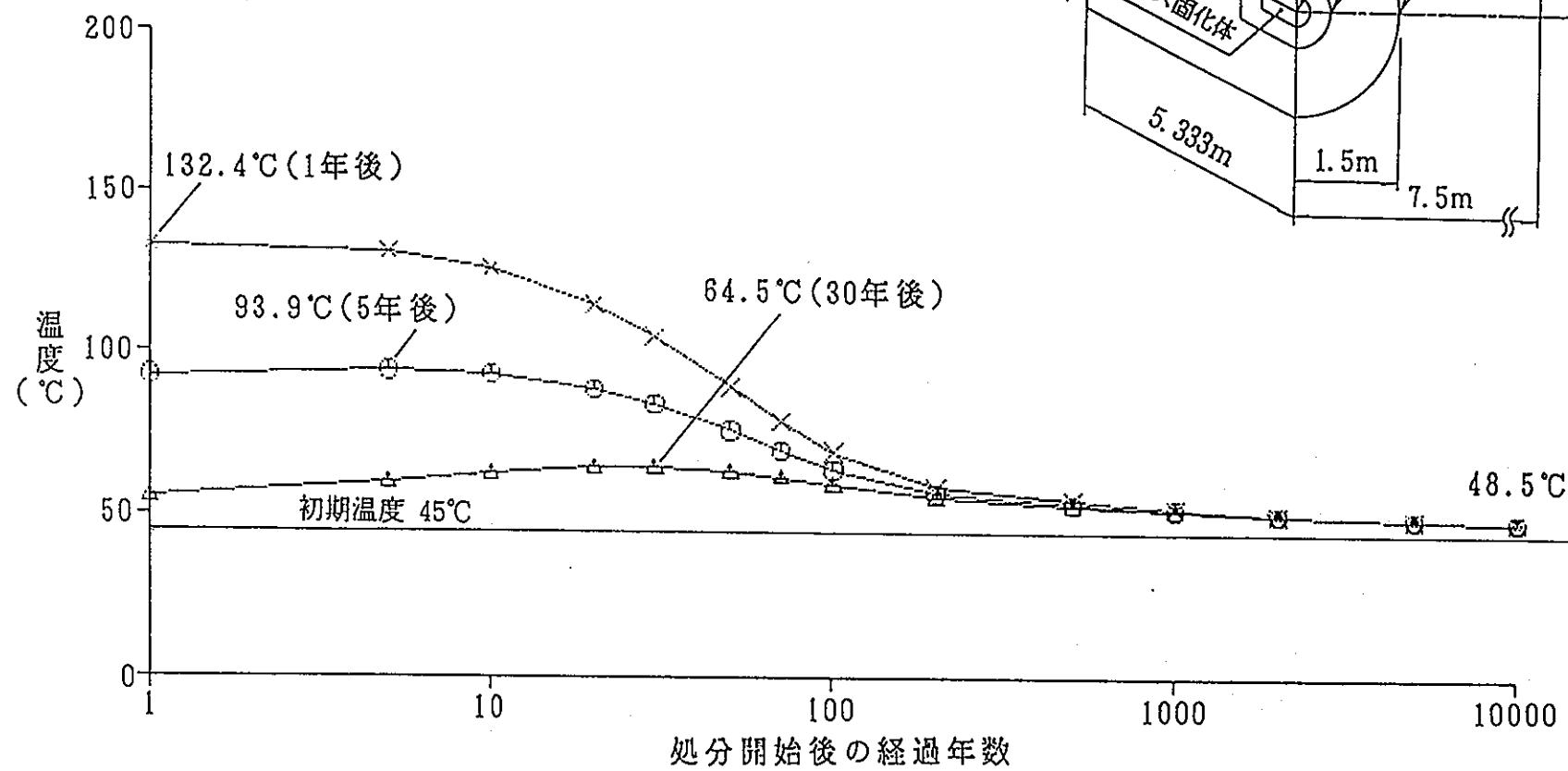


図-2.4.6 ニアフィールドの温度履歴 (C 6 : 結晶質岩、160m<sup>3</sup>)

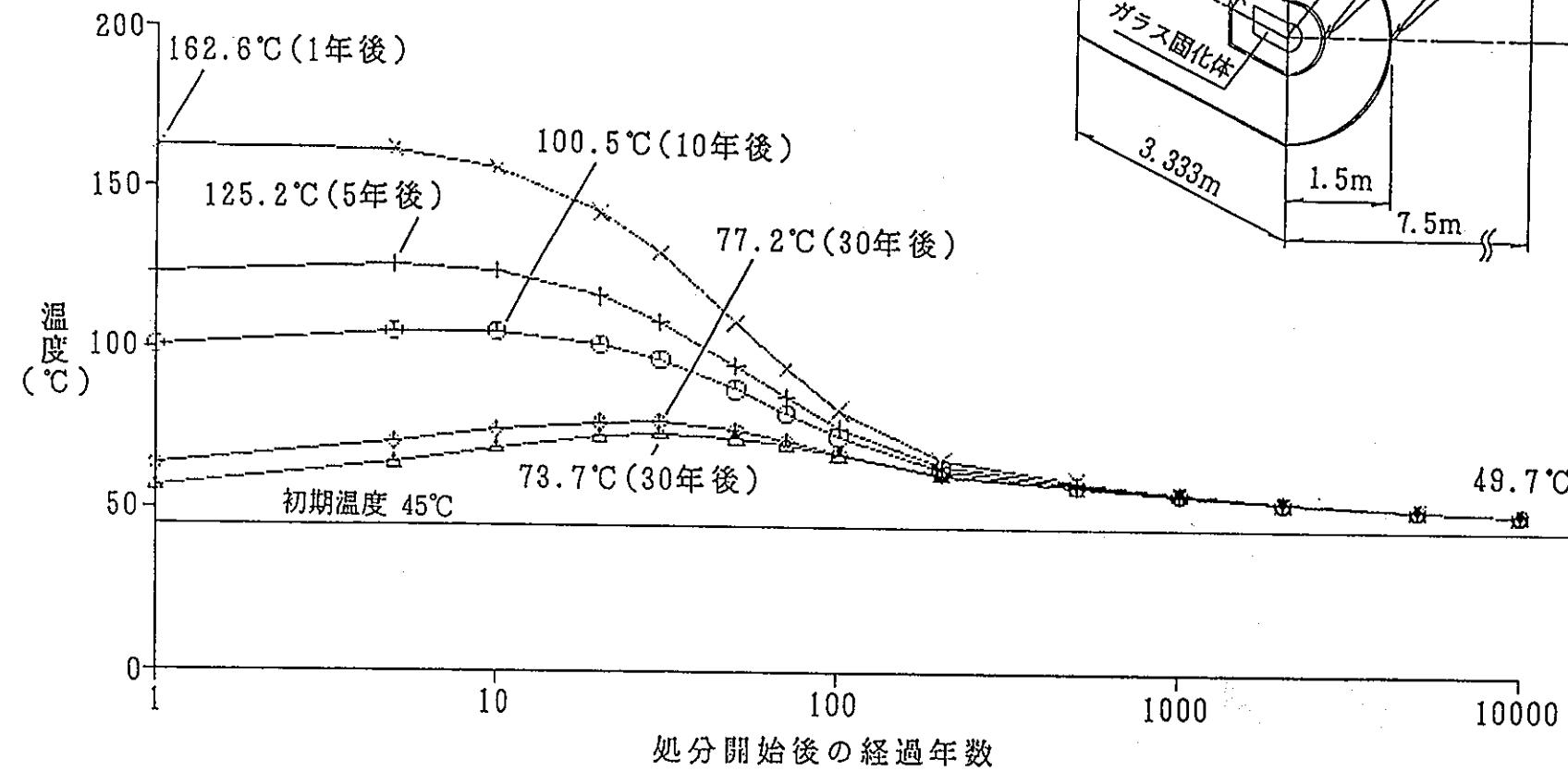
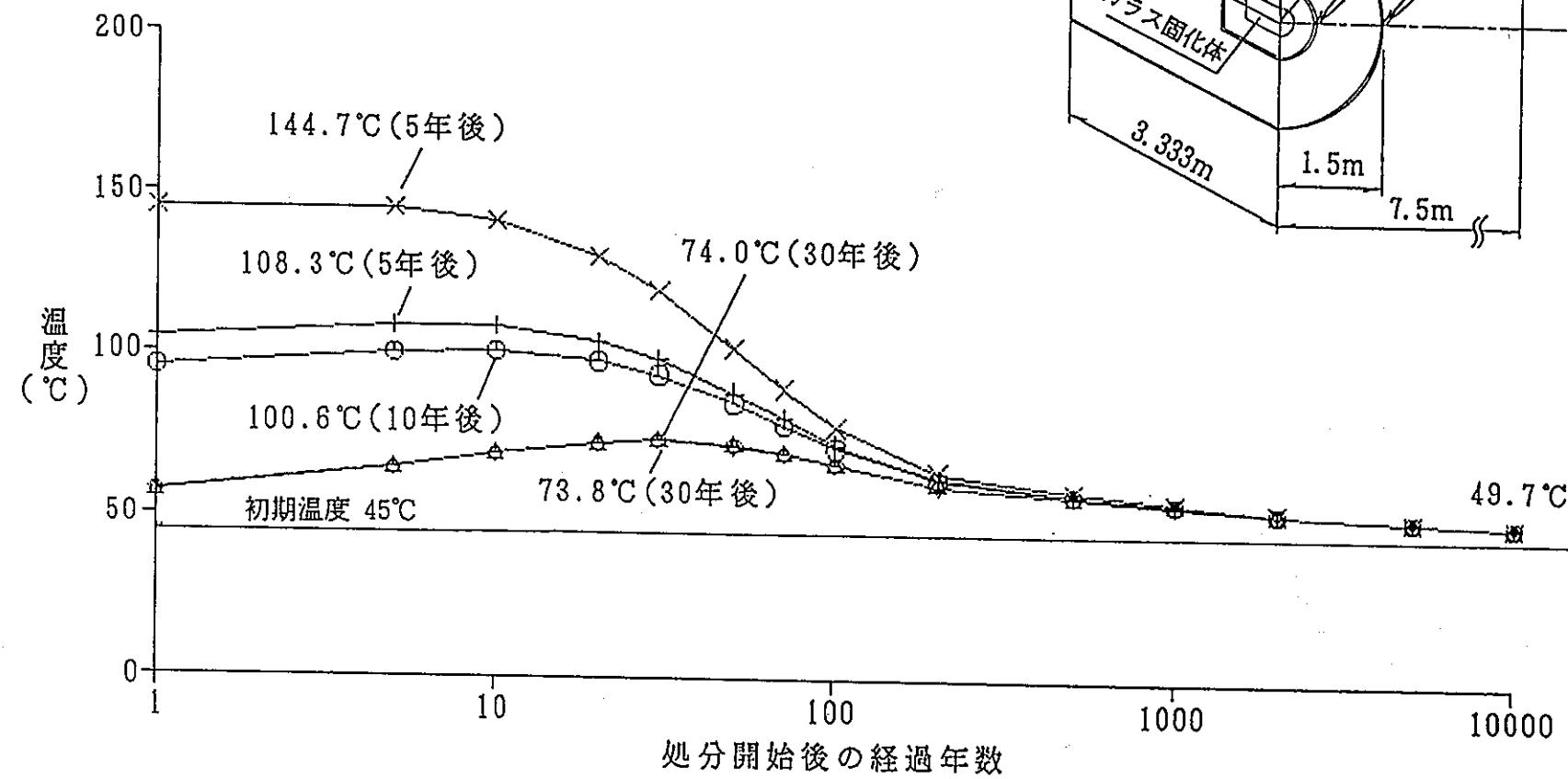


図-2.4.7 ニアフィールドの温度履歴 (C7 : 結晶質岩、100m<sup>3</sup>、エアギャップ有)



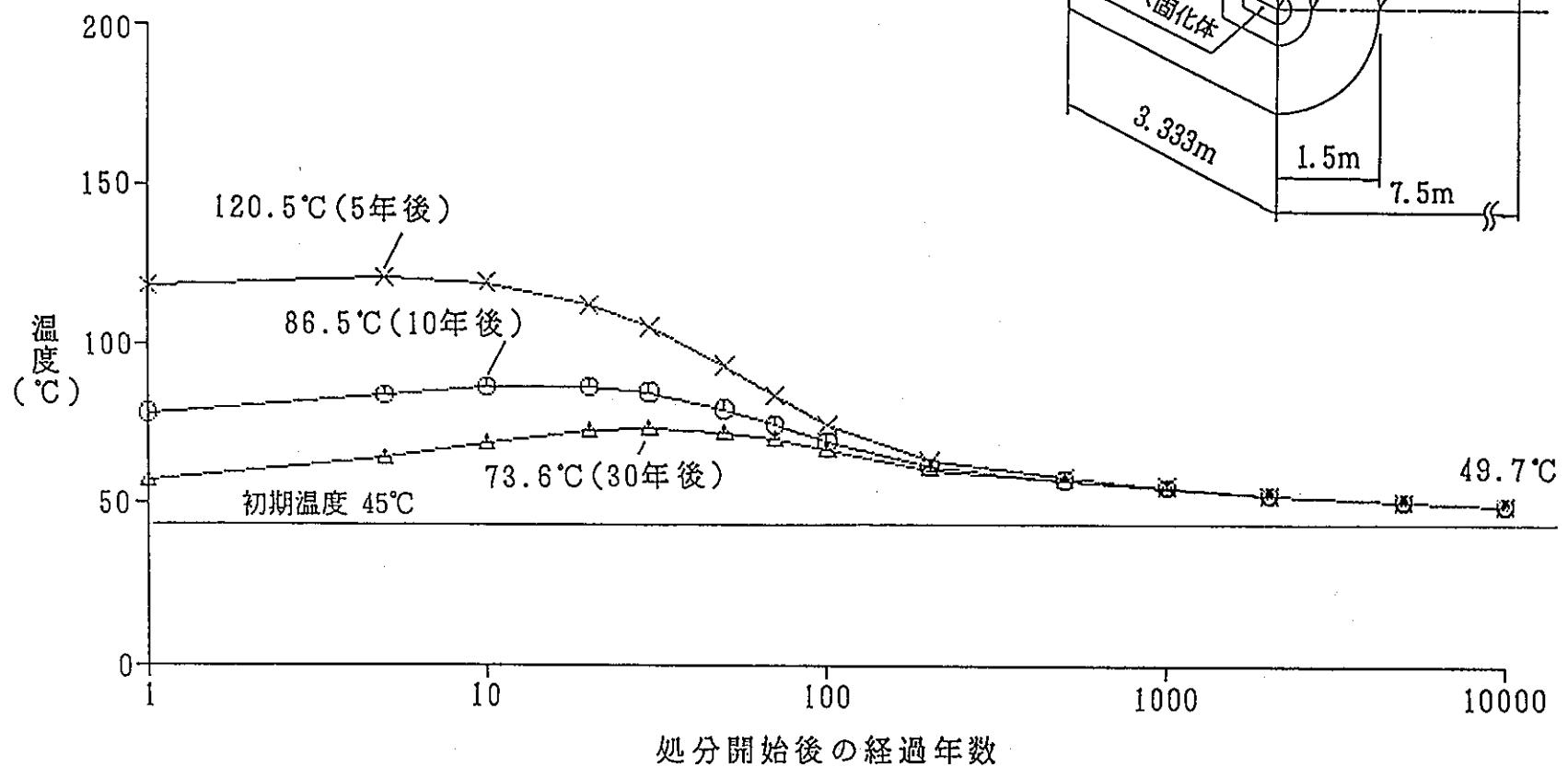


図-2.4.9 ニアフィールドの温度履歴 (C 9 : 結晶質岩、100 m<sup>3</sup>、緩衝材の物性を変更)

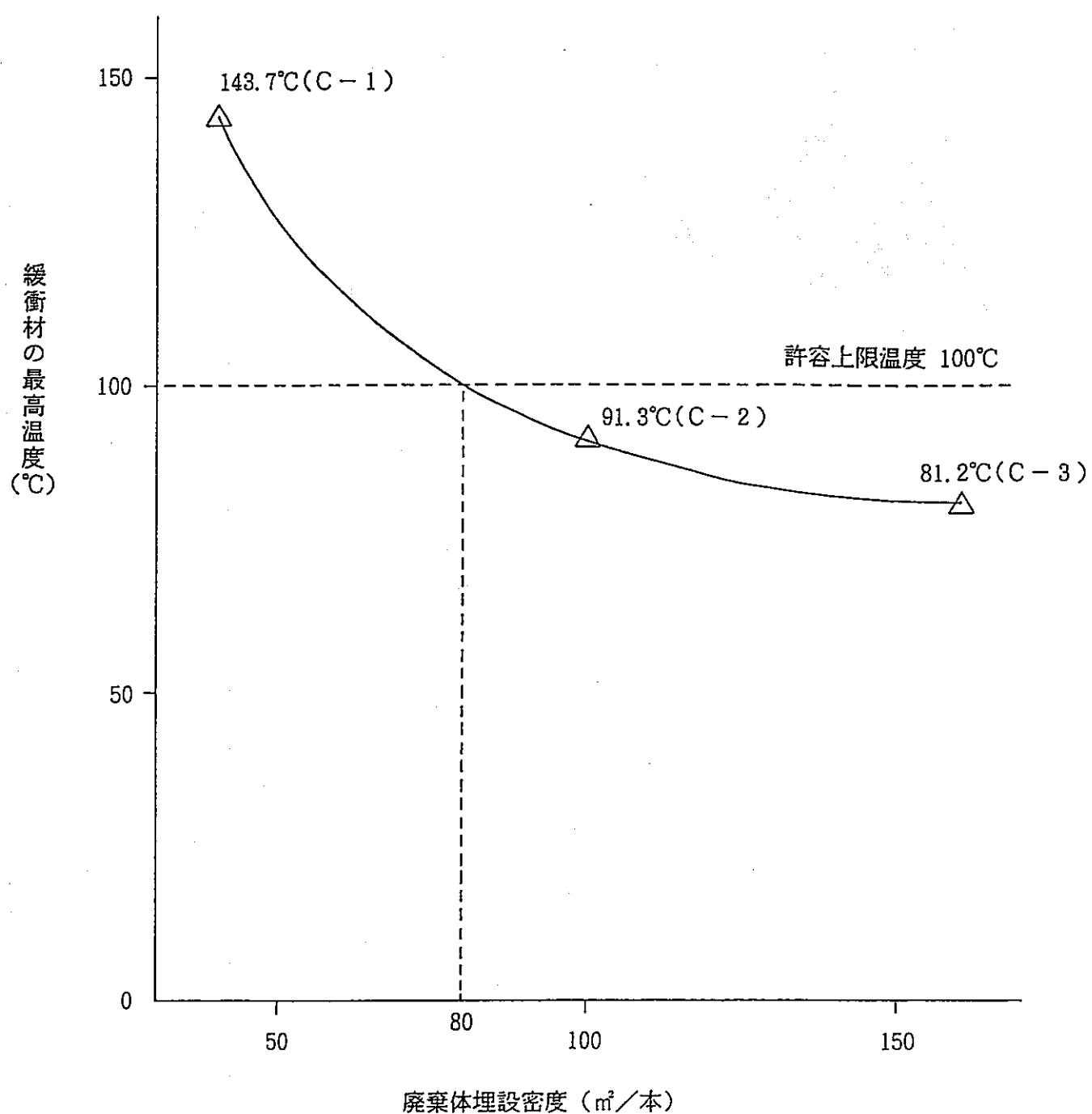


図-2.4.10 埋設密度検討用ノモグラム（堆積岩）

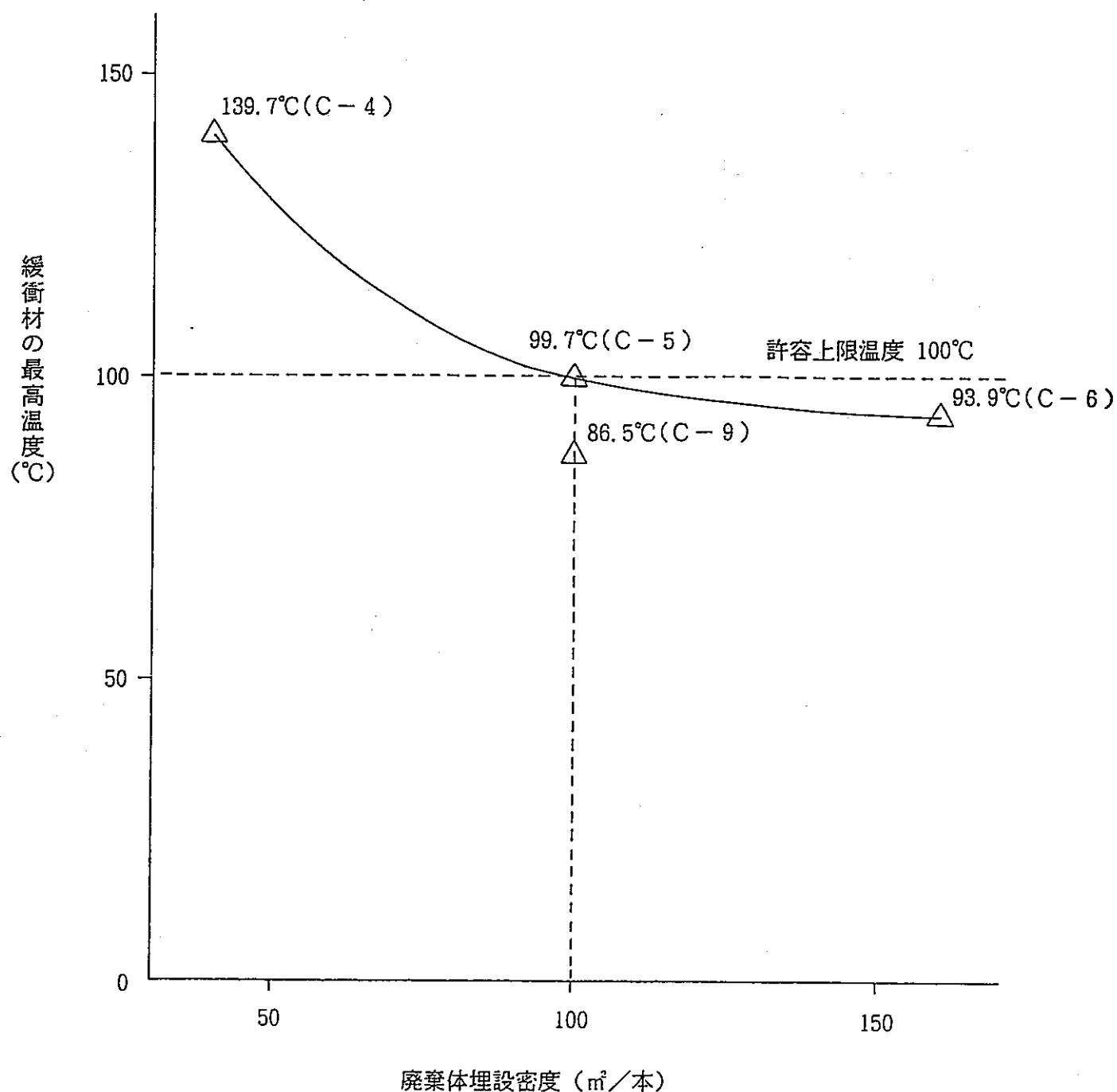


図-2.4.11 埋設密度検討用ノモグラム（結晶質岩）

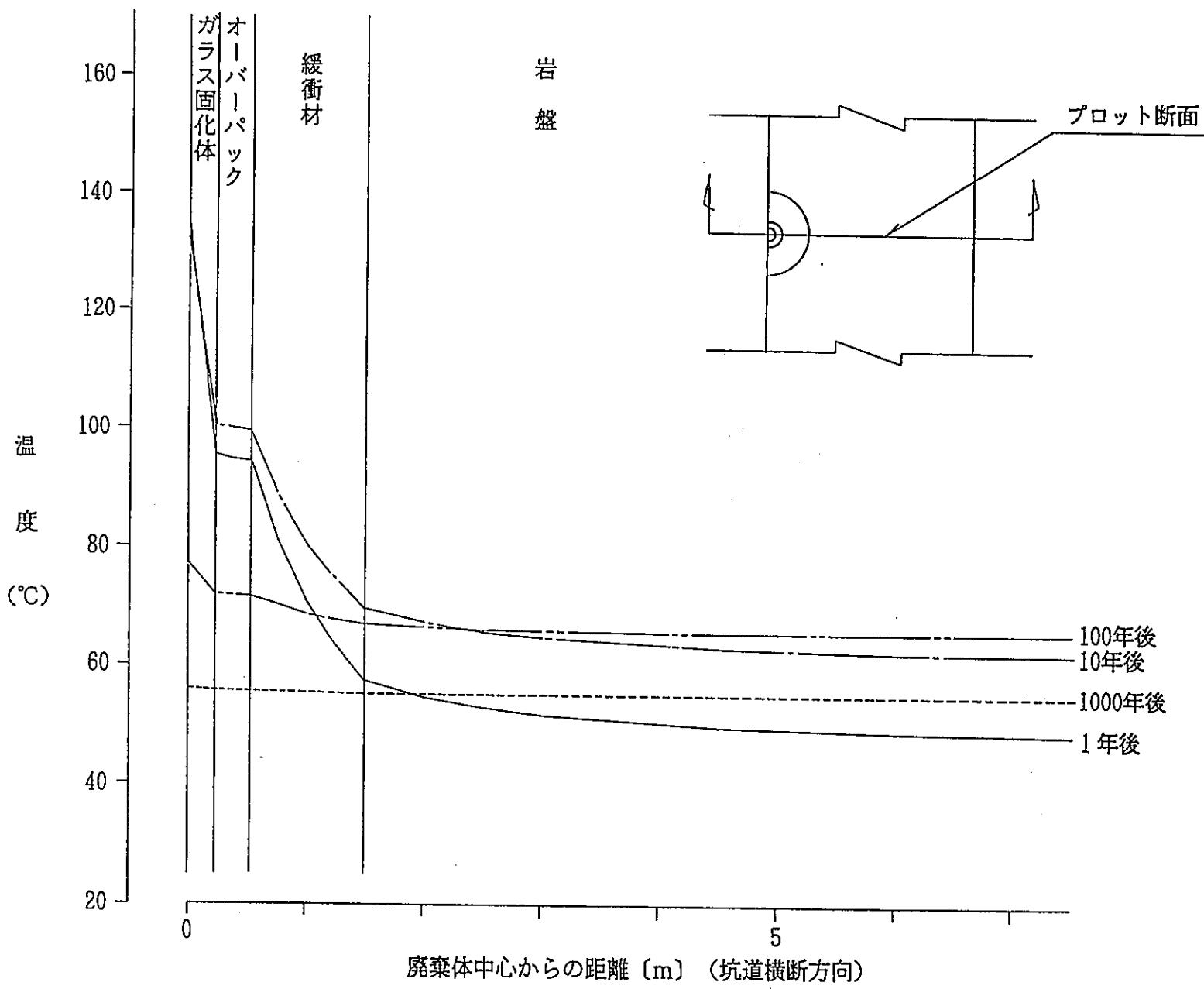


図-2.4.12 ニアフィールドの温度分布図 (C 5)

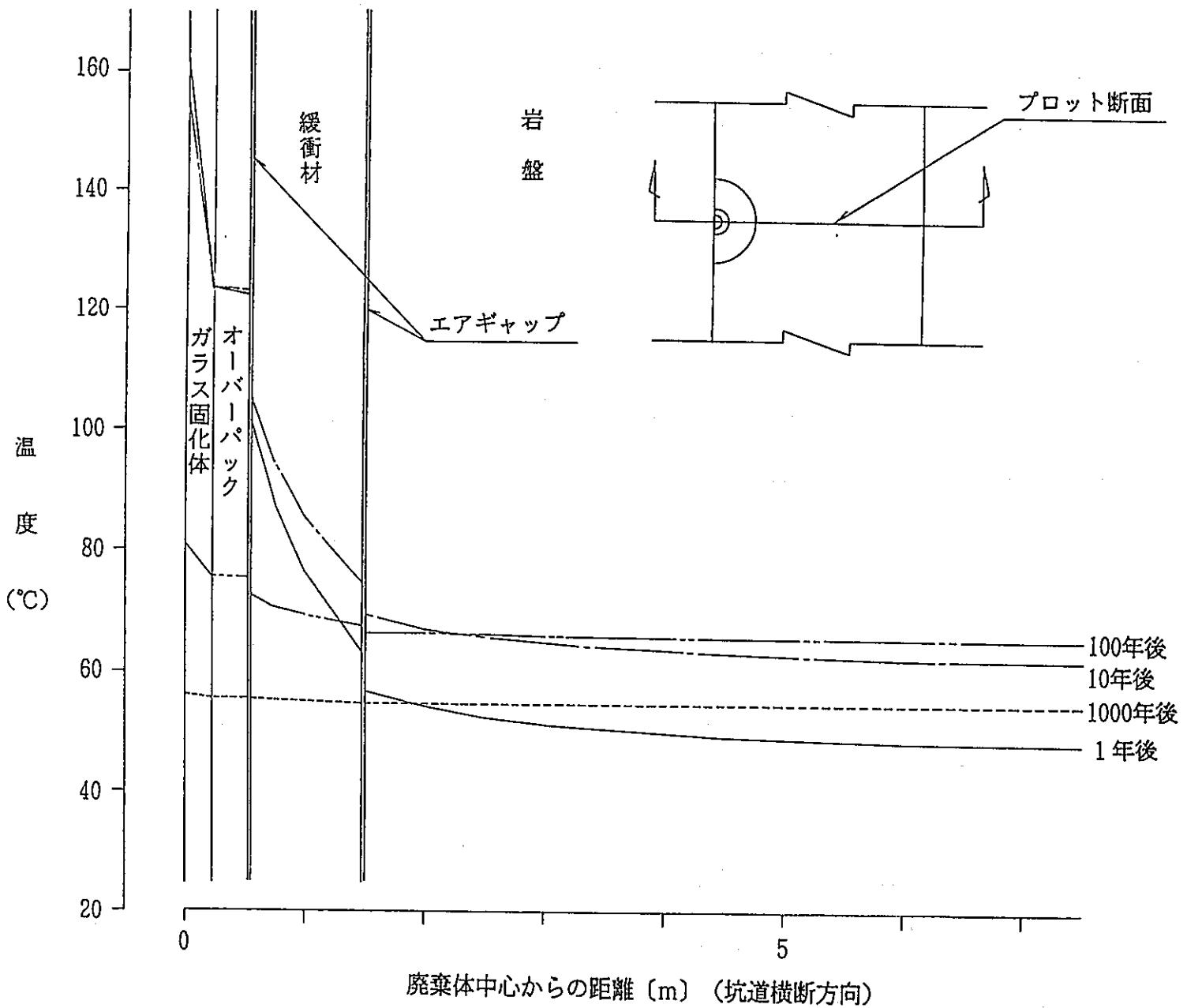


図-2.4.13 ニアフィールドの温度分布図 (C7)

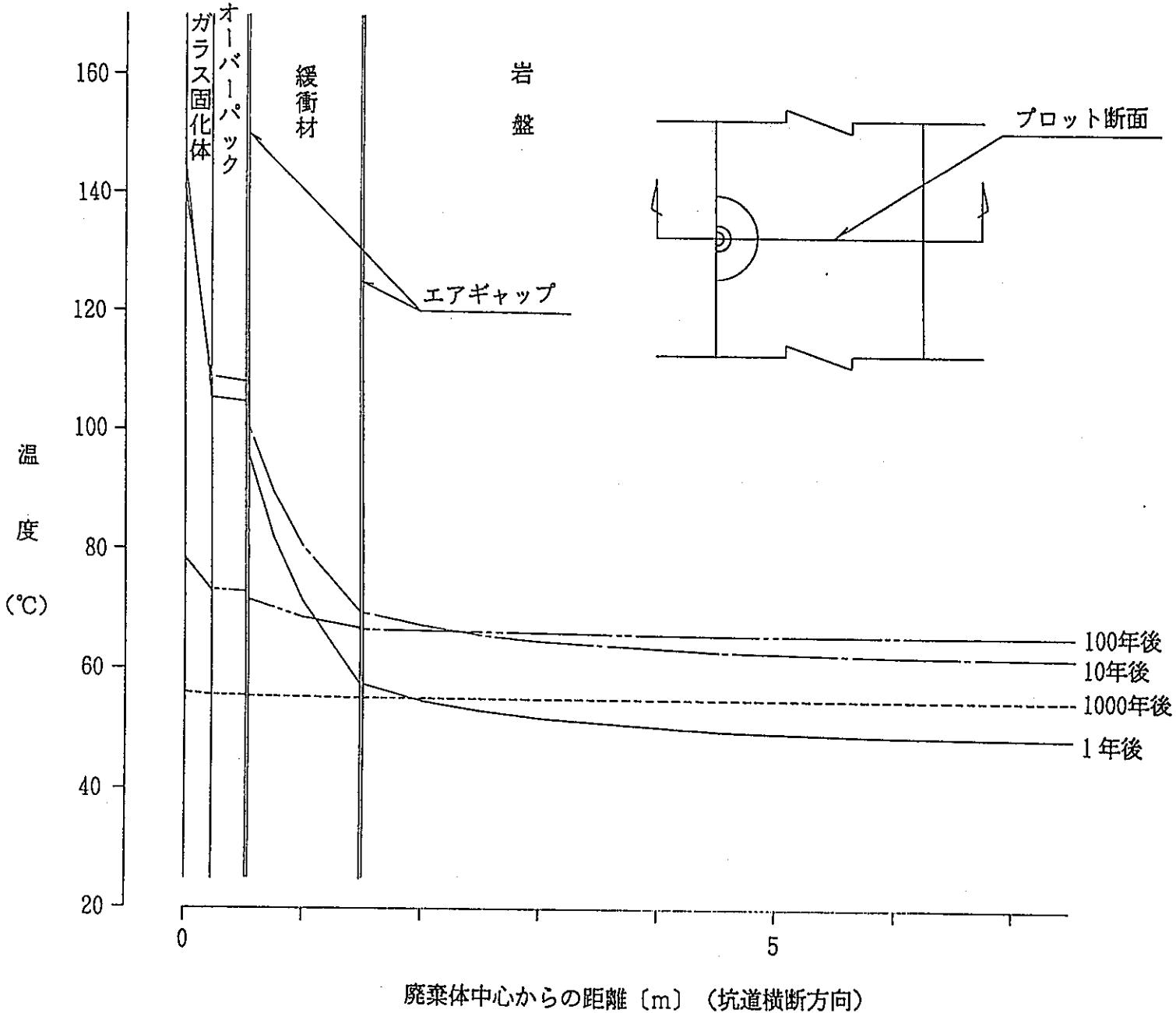


図-2.4.14 ニアフィールドの温度分布図 (C 8)

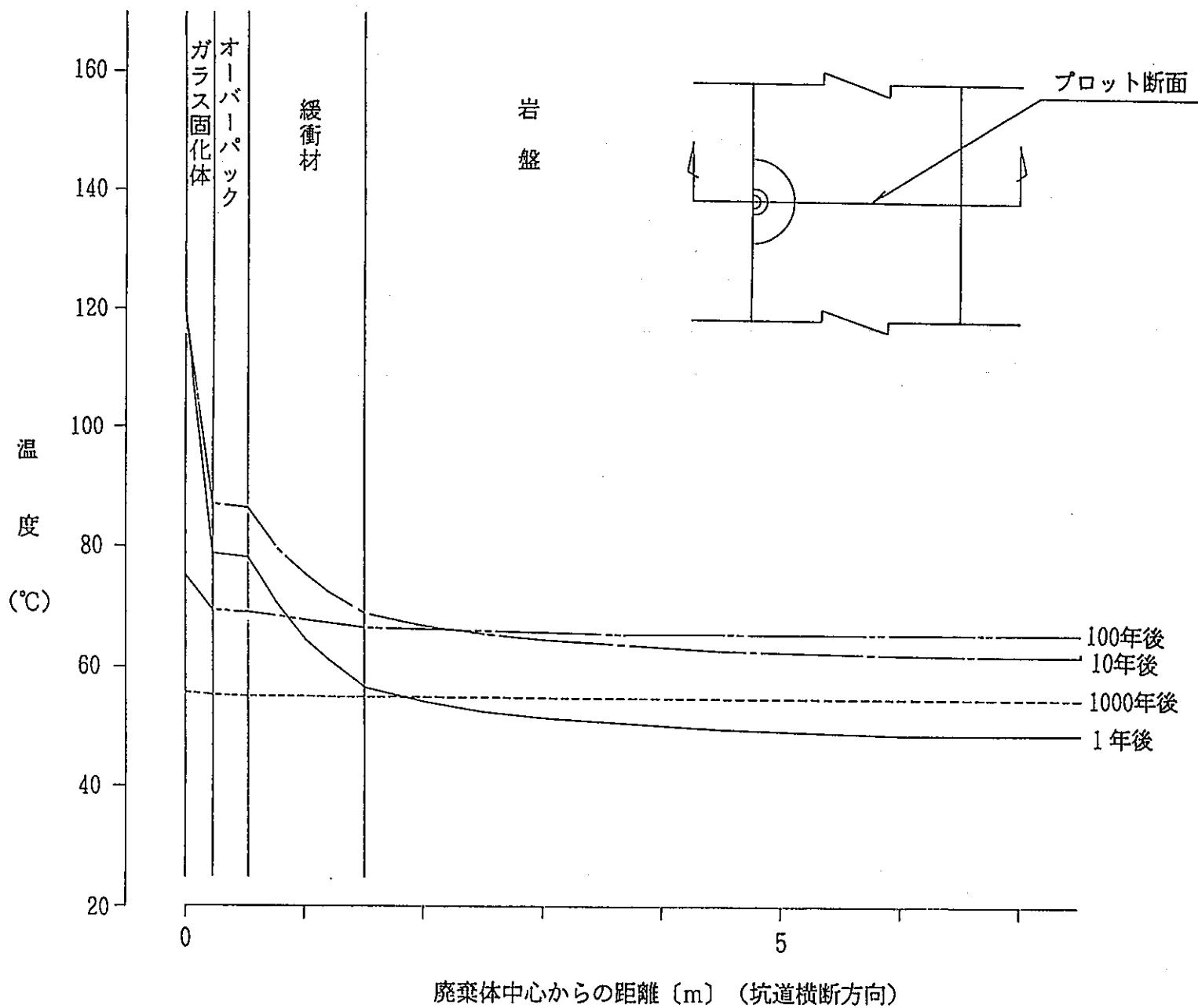


図-2.4.15 ニアフィールドの温度分布図 (C 9)

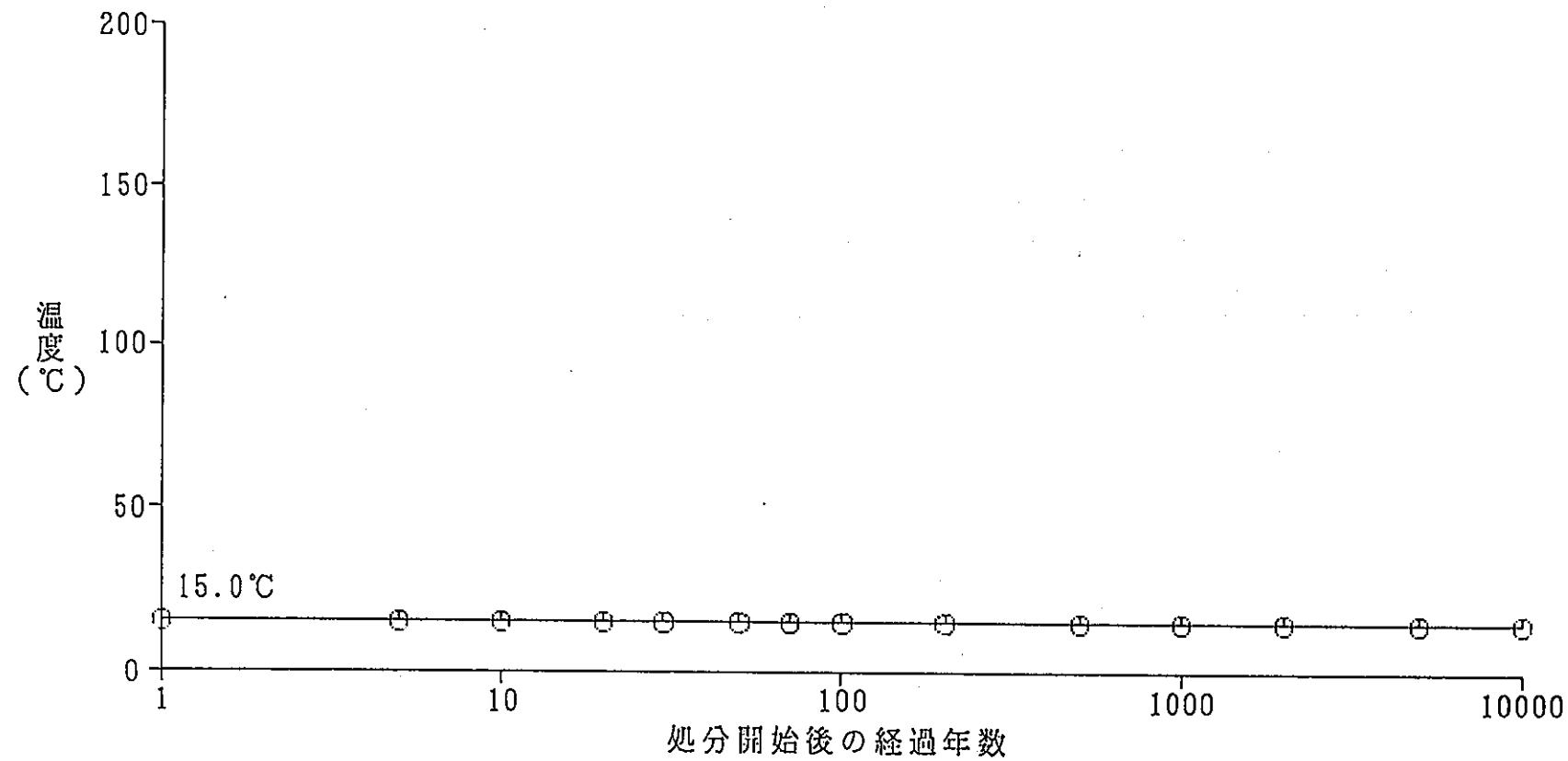


図-2.4.16 地表面の温度履歴 (C1 ~ C9)

## 2.5まとめ

目的で述べたように、本解析は①廃棄体の埋設密度を把握するとともに、②エアギャップの温度場への影響を把握するために実施したものである。以下に、これら2点に着目したまとめを示す。

①について・・・処分坑道径3m、坑道離間距離15mの場合の廃棄体埋設密度の目安

堆積岩：80m<sup>3</sup>（処分深度は500m）

結晶質岩：100m<sup>3</sup>（処分深度は1000m）

②について・・・エアギャップの断熱効果は、ガラス固化体やオーバーパックに対しては効いてくるものの、緩衝材に対してはほとんど効いてこない（エアギャップを考慮した場合、緩衝材の最高温度は考慮しない場合に比べて1度°C弱上昇する）。

### 3. ファーフィールド熱影響解析

#### 3.1 解析目的

堆積岩を対象として、ニアフィールド熱影響解析結果から得られた廃棄体1本当りの専有面積(80m<sup>2</sup>/本)を用いた場合について、ファーフィールドの温度分布とその時系列変化を求ることを目的とし、熱伝導解析を実施する。

#### 3.2 解析条件

##### 3.2.1 解析モデル

下記に示す軸対称モデルにより解析を実施する。なお、処分場の深さは500mとし、形状は一面状に廃棄体を設置するものとする。

要素分割図を図-3.2.2～図-3.2.3に示す。

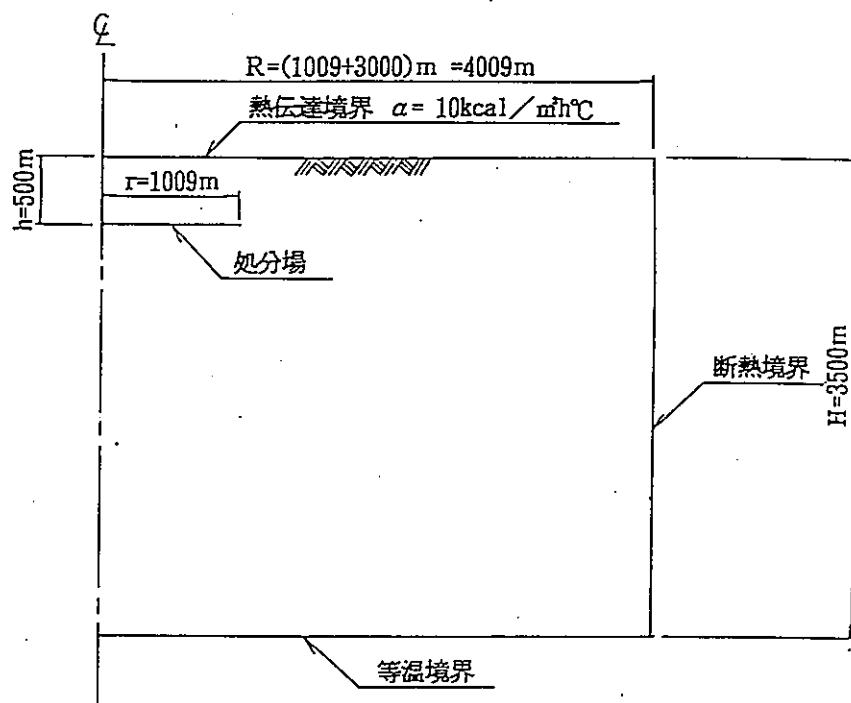


図-3.2.1 解析モデル

#### 諸条件

##### ① 初期温度分布

ニアフィールドモデルと同様に、地表面温度を15°C、地中温度勾配を3°C/100mとする。

## ②温度境界条件

側方境界は断熱境界、下方境界は温度固定の等温境界とする。また、地表面は熱伝達境界とし、大気との熱伝達率 ( $\alpha = 10 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ ) を考慮する。

## ③処分場半径

廃棄体の処分本数を 4万本、廃棄体 1 本当りの専有面積を  $80 \text{ m}^2/\text{本}$  とした時の処分場の規模（円盤の半径  $r$ ）を以下のように想定する。

$$r (\text{m}) = \sqrt{40,000 \text{ 本} \times 80 (\text{m}^2/\text{本}) / \pi} = 1009 \text{ m}$$

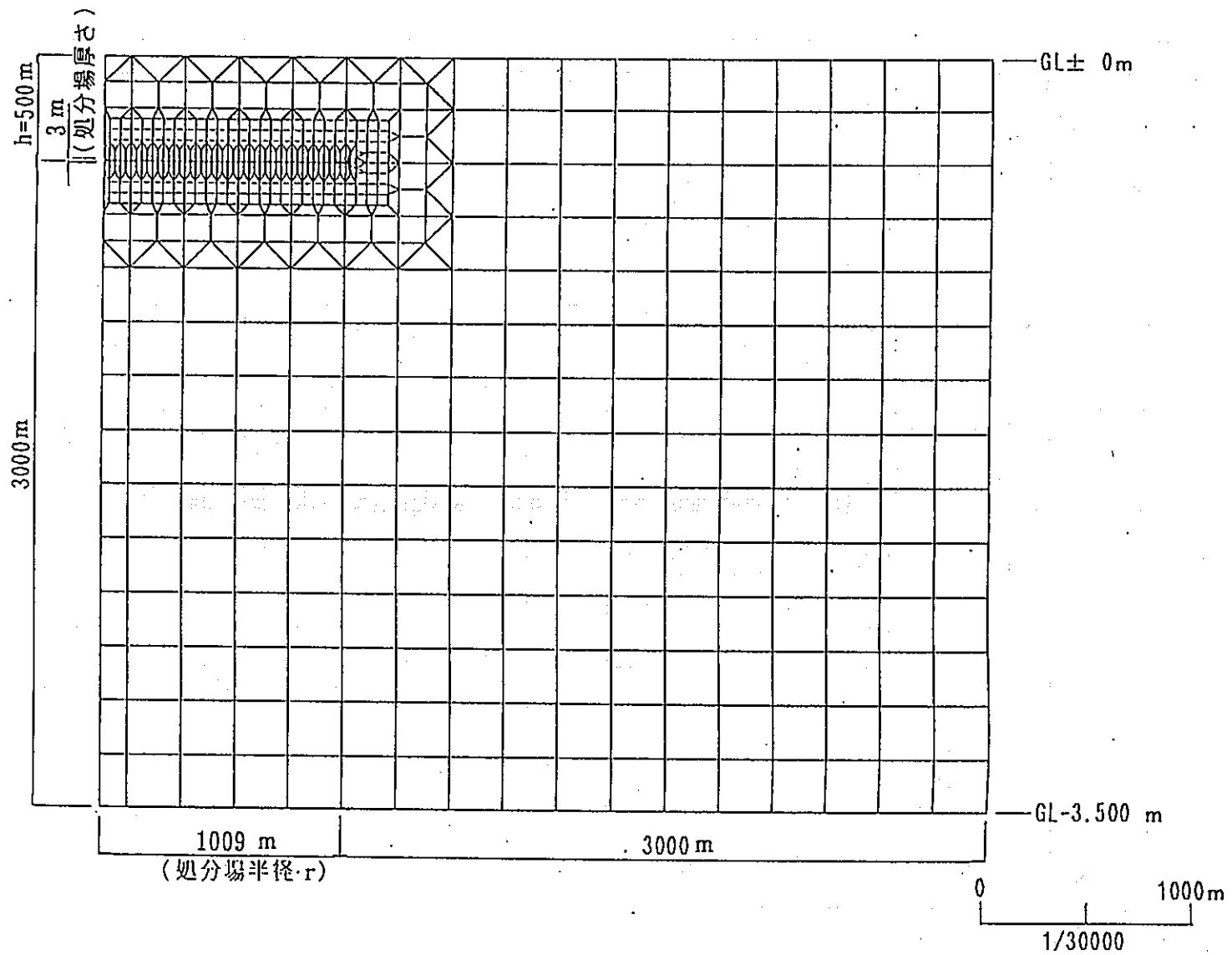


図-3.2.2 要素分割図(1) 全体図

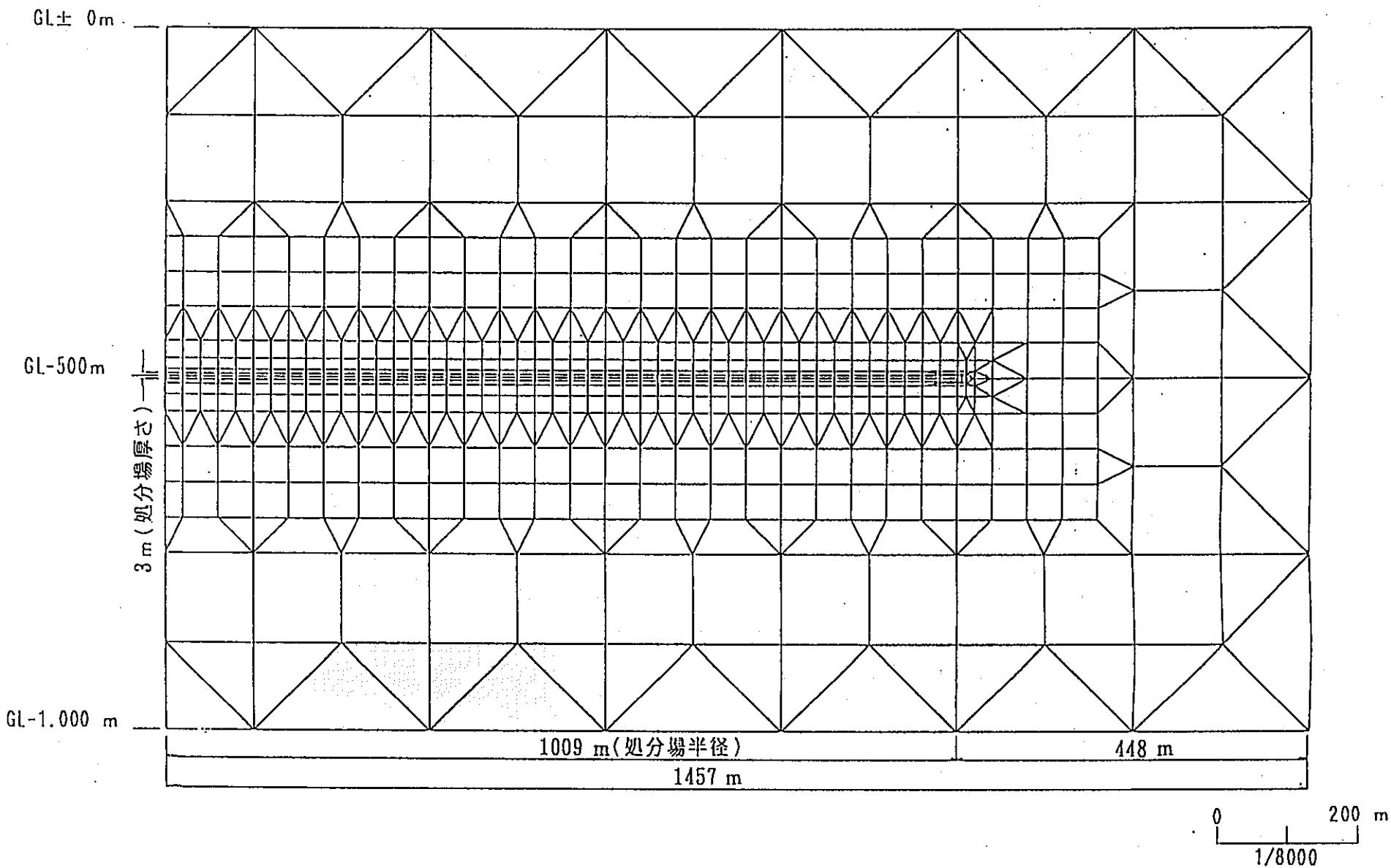


図-3.2.3 要素分割図(2) 処理場周辺拡大図

### 3.2.2 廃棄体の発熱特性

廃棄体から発せられる発熱の特性は、以下による。今回は中間貯蔵期間30年とし、30年貯蔵後の発熱量を採用する。

表-3.2.1 廃棄体の発熱特性

処分開始後 (年)	30年貯蔵後の発熱量		50年貯蔵後の発熱量		70年貯蔵後の発熱量	
	(w/本)	(Kcal/h/本)	(w/本)	(Kcal/h/本)	(w/本)	(Kcal/h/本)
0	670	576	424	365	274	232
1	654	562	414	356	268	230
2	639	550	405	348	262	225
3	624	537	396	341	257	221
4	610	525	388	334	251	216
5	596	513	379	326	246	212
6	582	501	371	319	241	207
7	569	489	363	312	236	203
8	556	478	355	305	231	199
9	543	467	347	298	226	194
10	531	457	340	292	222	191
20	424	365	274	236	181	156
30	340	292	222	191	148	127
40	274	236	181	156	123	106
50	222	191	148	127	102	87.7
60	181	156	123	106	86.1	74.0
70	148	127	102	87.7	73.3	63.0
80	123	106	86.1	74.0	63.1	54.3
90	102	87.7	73.3	63.0	55.0	47.3
100	86.1	74.0	63.1	54.3	48.5	41.7
200	28.7	24.7	25.9	22.3	23.9	20.6
500	14.5	12.5	14.1	12.1	13.7	11.8
1000	7.03	6.05	6.84	5.88	6.65	5.72
2000	2.17	1.87	2.13	1.83	2.10	1.81
5000	0.802	0.690	0.800	0.688	0.799	0.687
10000	0.582	0.501	0.581	0.500	0.580	0.499

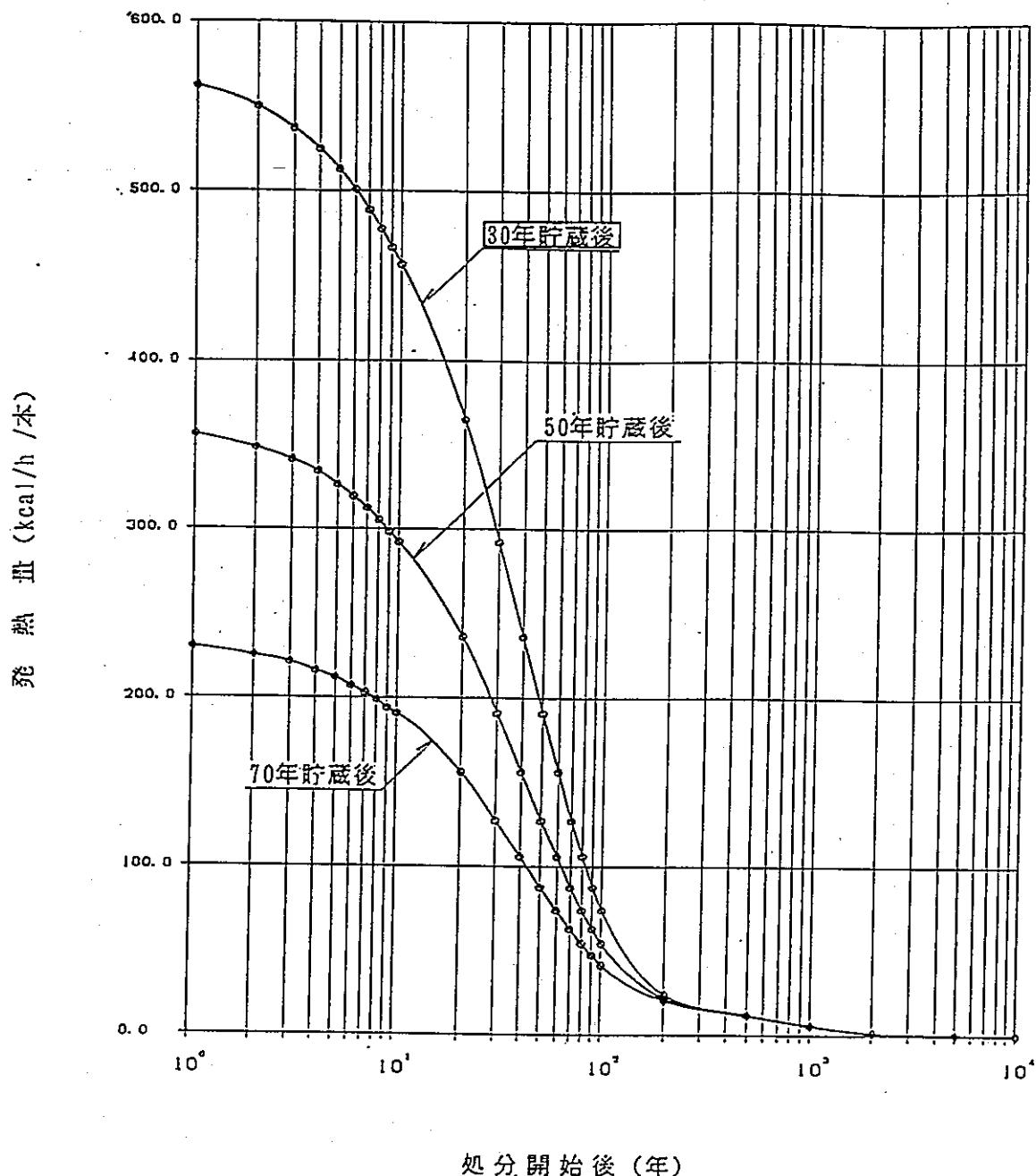


図-3.2.4 廃棄体の発熱特性

### 3.2.3 物性値

解析に用いる熱定数は、表-3.2.2 の値を用いる。

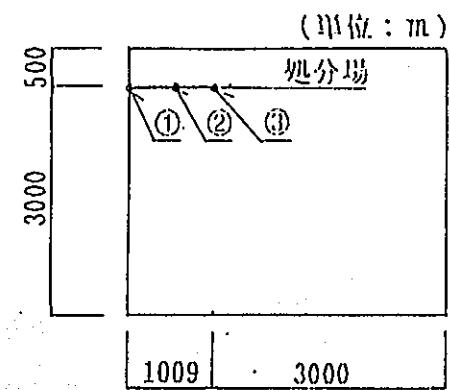
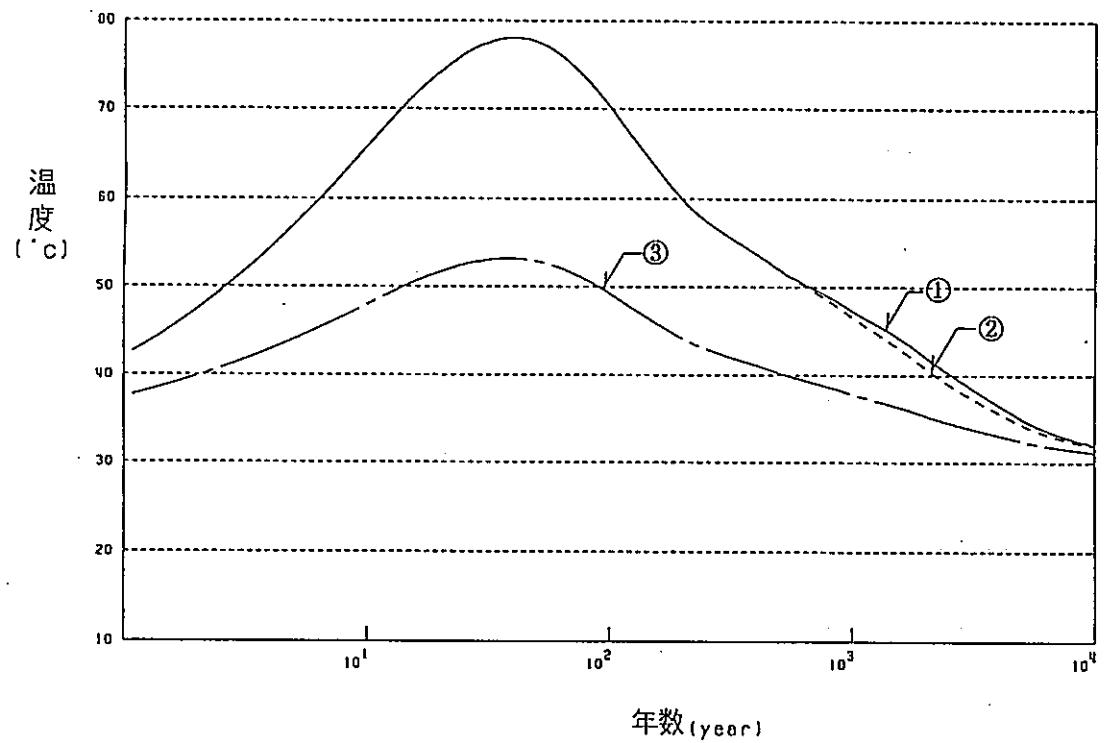
表-3.2.2 解析に用いる熱定数

材料 熱定数	熱伝導率 (kcal/mh°C)	比 热 (kcal/kg°C)	単位体積重量 (kg/m³)
堆 積 岩	2.0	0.2	2000
埋戻し材	0.8	0.28	1900

### 3.3 解析結果

次頁以降に、熱伝導解析結果として処分場の温度経時変化図、温度分布図、深さ方向の温度変化図を示す。

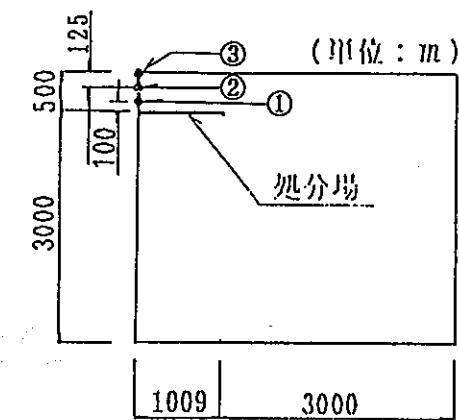
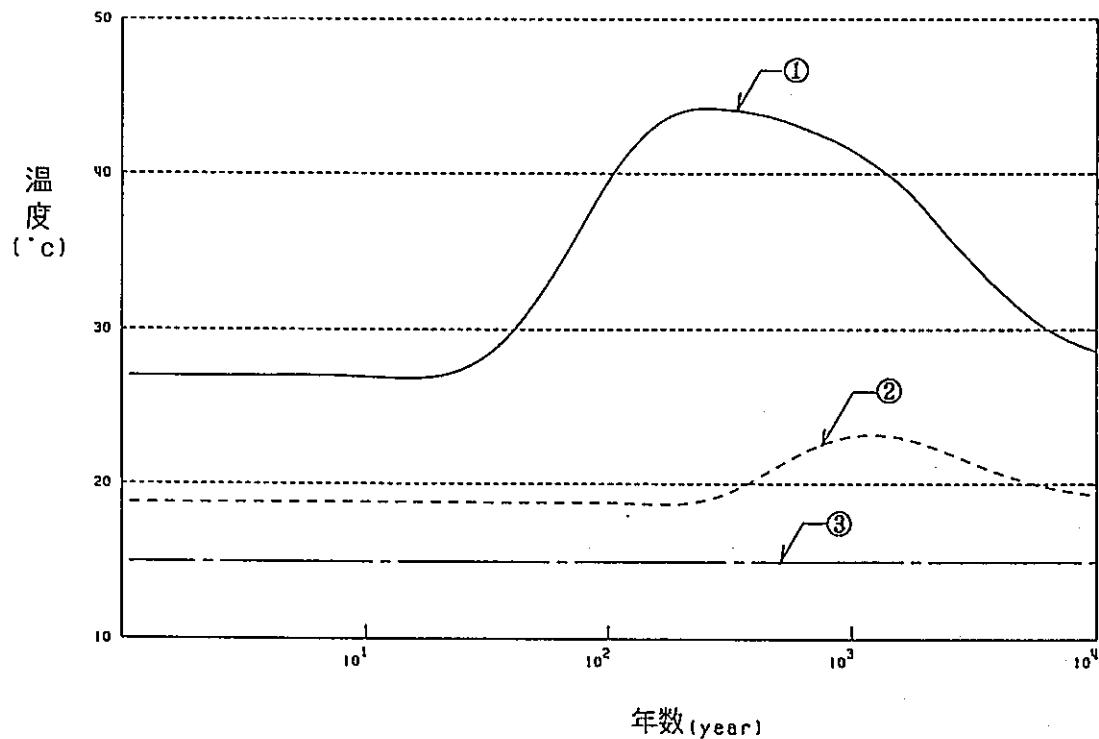
これらの解析結果によると、地表面自体の温度は処分場の発熱による影響を受けておらず初期温度15°Cのまま変化はない。なお、図-3.3.2に示すように、地表面から深さ125mの位置における温度の経時変化はほぼ1000年後に最高温度約23°Cに達しており、約4°Cの温度上昇を示している。これを基に、参考までに地表面付近の温度として地表面下10mでの温度上昇を直線補完により求めると約0.3°Cとなる。なお、地表面付近の温度はそこでの気象条件（風雨や気温の季節変動等）による影響の方が処分場からの発熱による影響よりも顕著であろうと思われる。



#### 解析条件

廃棄体 1ヶ所当たり  
が占める面積 :  $A = 80 \text{ (m}^2\text{ /ヶ所)}$   
貯蔵期間 :  $t = 30 \text{ (年)}$   
キャニスター本数 :  $n = 1 \text{ (本/ヶ所)}$   
熱伝導率 :  $\lambda = 2.0 \text{ (kcal/mh°C)}$   
熱容量 :  $C\rho = 400 \text{ (kcal/m}^3\text{°C)}$

図-3.3.1 処理場の温度経時変化



#### 解析条件

廃棄体1ヶ所当たり  
が占める面積 :  $A = 80 \text{ (m}^2\text{ /ヶ所)}$   
貯蔵期間 :  $t = 30 \text{ (年)}$   
キャニスター本数 :  $n = 1 \text{ (本/ヶ所)}$   
熱伝導率 :  $\lambda = 2.0 \text{ (kcal/mh°C)}$   
熱容量 :  $C_p = 400 \text{ (kcal/m}^3\text{°C)}$

図-3.3.2 処理場周辺の温度経時変化

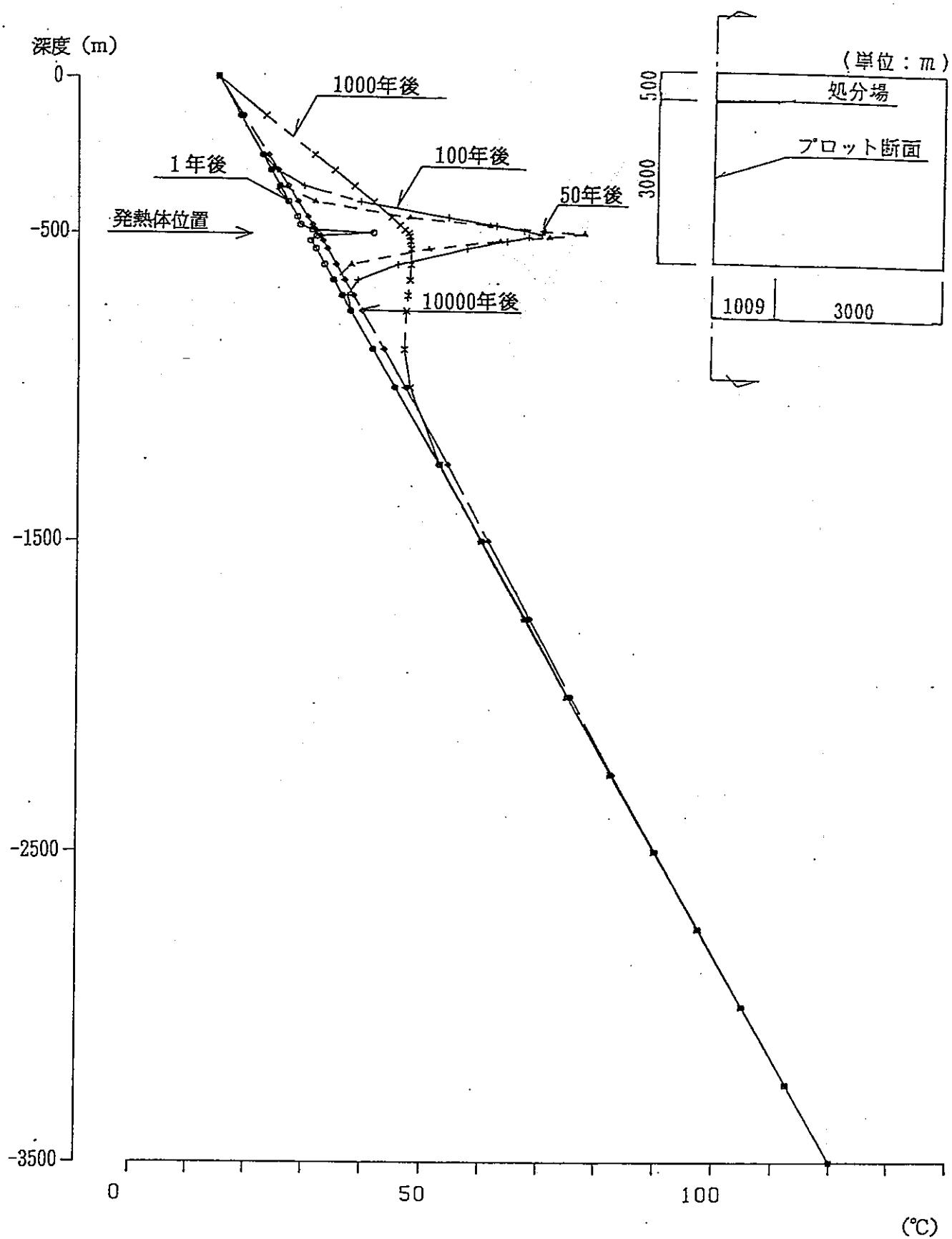


図-3.3.7　深さ方向の温度変化図（中心軸）

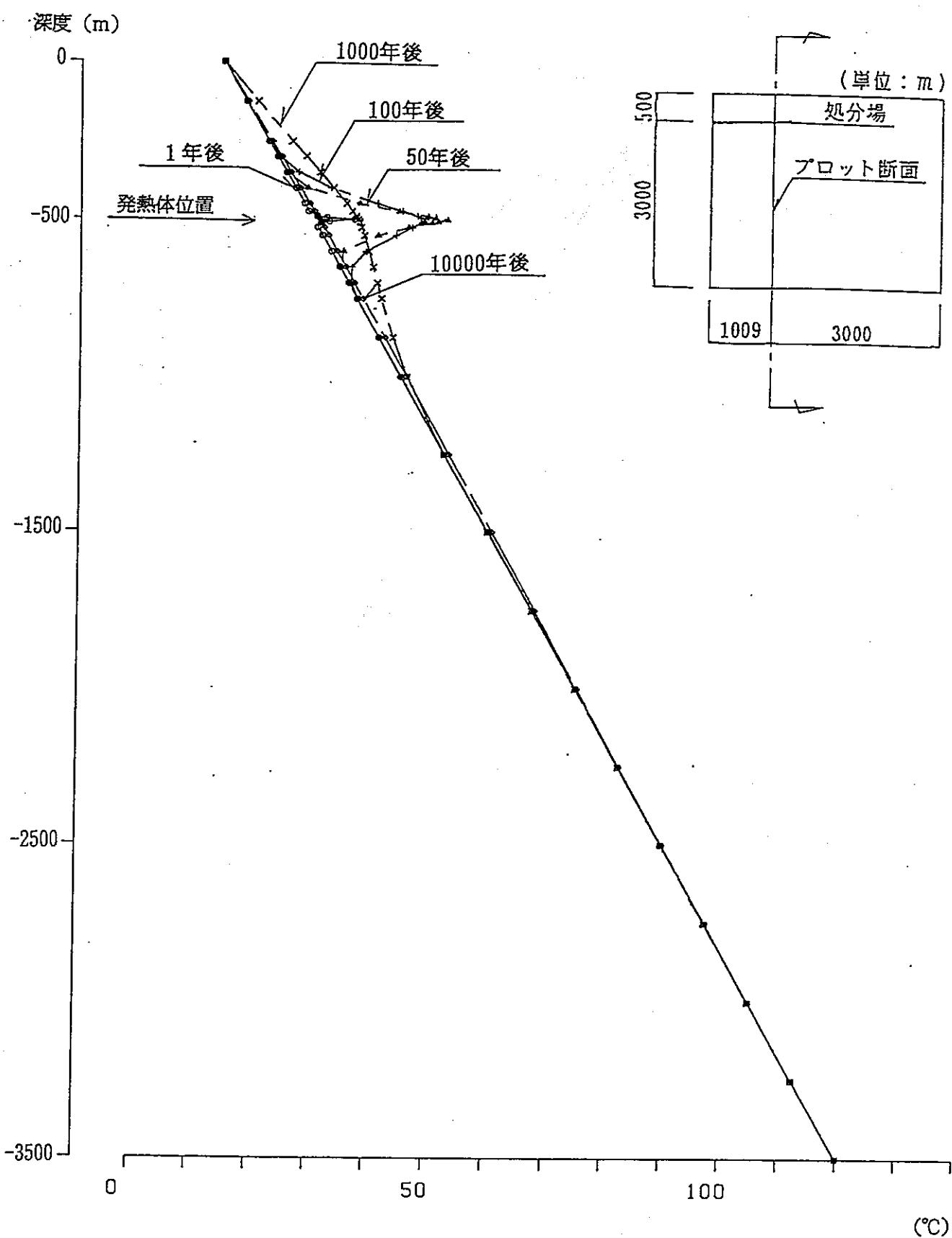


図-3.3.8 深さ方向の温度変化図（中心から、1009m離れた地点）

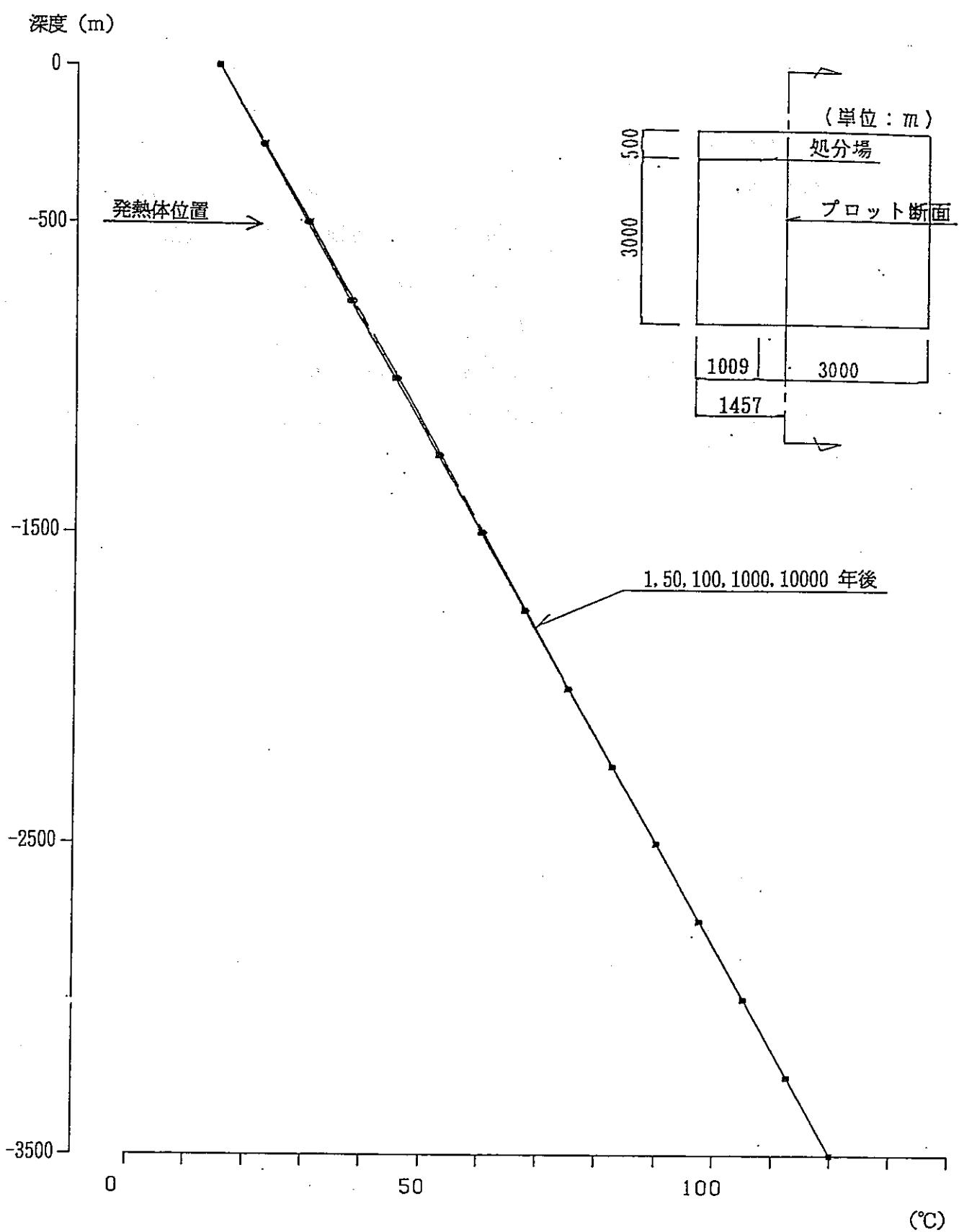


図-3.3.9 深さ方向の温度変化図（中心から、1457m離れた地点）

### 3.4 添付資料（地表面の温度境界設定に当たっての予備解析）

#### 1. 热伝達率について

热伝達率は、資料-①に示す関係式における比例定数である。この値は、資料-③に示すように材料や風速などにより変化するが、各種材料について総合的にみると無風状態では  $\alpha = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  程度であり、我国の平均風速とみられる  $v = 2 \sim 4 \text{ m/s}$  (資料-④) では  $20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  程度である。

一方、地盤と大気との境界条件は資料-②に示すように一般的には熱伝達率で評価し、その値は気象条件により変動するが  $10 \sim 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  を用いているのが現状である。

資料-① LNG地下式貯槽(土木設備)設計指針(昭和53年10月);電気事業連合会より  
抜粋

(5) 热伝達率 固体表面とそれに接する流体との間の热伝達量Qは、ニュートンの冷却則を用いて次式のように表わされる。

$$Q = a \cdot (T_s - T_a) \cdot A \quad (\text{kcal}/\text{h}) \quad (\text{式6.3})$$

ここに、  $T_s$  : 固体表面温度(°C)

$T_a$  : 流体表面温度(°C)

A : 表面積(m<sup>2</sup>)

比例定数a(kcal/m<sup>2</sup>·h·°C)は熱伝達率と称され、固体表面の形状、寸法、流体の特性や状態によって変化する量である。

固体表面と周囲流体との熱伝達は、熱伝導と対流とが複雑に関連していて、その両現象を個々に取り扱うことができない。こういう伝熱を対流熱伝達と称しており、さらに、対流熱伝達は、自然対流熱伝達と強制対流熱伝達とに分けられる。その他に、固体と流体間には対流熱伝達によるものとはまったく異なる性質の放射熱伝達がある。熱伝達率は、このような対流熱伝達率と放射熱伝達率との和として与えられる。

資料-② LNG地下式貯槽指針(昭和56年12月);日本瓦斯協会より抜粋

### 3.2.3 热 解 析

#### (1) 地盤の温度分布解析

地盤の経時的温度分布は、適切な解析手法により求めること。この場合、地中温度、大気温度及び地盤と大気との境界条件は年間を通した平均的な値を用いてよい。<sup>\*[1]</sup>

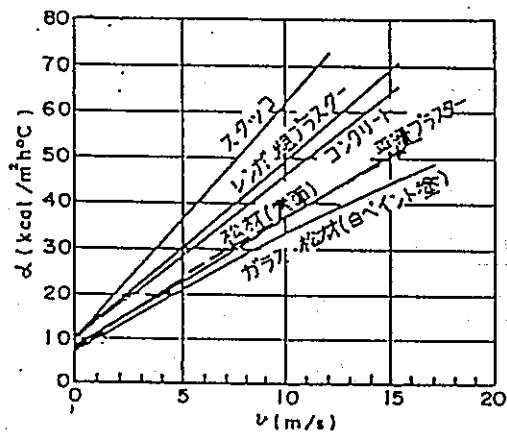
#### (解説)

(1) 地盤の温度分布解析は長期的な温度分布の把握を目的としており、地中温度及び大気温度はその地域での平均値を用いて実用上差支えない。また地盤と大気との境界条件は、気温、日射、放熱、降雨、降雪、蒸発又は風等により変動するが、一般的には境界条件を熱伝達率で評価し、その値として10~20 kcal/m<sup>2</sup>·h·°Cを用いている。

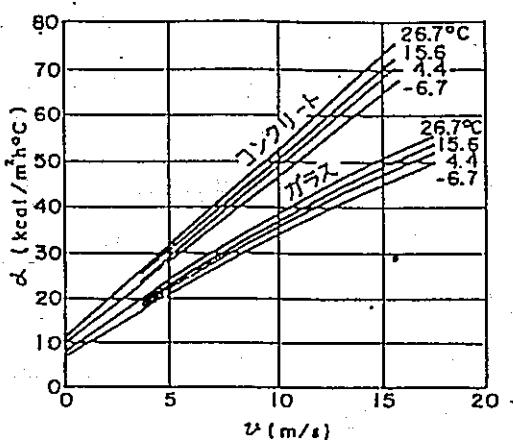
資料-③ LNG地下式貯槽（土木設備）設計指針（昭和53年10月）；電気事業連合会より抜粋

(3) 热伝達率 大気と地表面との熱伝達率に関する実験データは、あまり得られていないようである。付録 図-6.2, 6.3 に、ガラス、コンクリート、木材、プラスチック等の材料について、熱伝達率が風速によって、どのように変化するかを測定した実験結果を示す。

また 付録 表-6.2 に建築関係で用いられている熱伝達率の一例を示す。



付録 図-6.2 風速と $\alpha$  (気温と表面温度の平均値  $20^{\circ}\text{F} = -6.7^{\circ}\text{C}$  のとき) (Rowley, Algren)



付録 図-6.3 風速と $\alpha$  (温度は表面温度の平均値) (Rowley, Algren)

3) 渡辺 要 編；建築計画原論

資料-④ 建築の熱設計 小原俊平著；鹿島出版会より抜粋

## 2.1 気温、水蒸気圧、降水量、風向風速の平年値

表-2.1.1は、各地の測候所で観測された気温、水蒸気圧、降水量、風向風速の過去30年間の月日別平滑平年値のうちから、代表的な都市について各月15日（2月のみ14日）の値を抽出したものである。表中の水蒸気圧の欄で括弧を施された数字は、元の資料中に相対湿度のみ記載され、水蒸気圧が欠落しているため、日平均気温と相対湿度から水蒸気圧を逆算して補綴したものである。また風向は各月の最多風向についての統計資料を用いた。

表-2.1.1 日本各地の気温、水蒸気圧、降水量、風向風速平均値

地方	地名	気候項目	月											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
北 海 道	旭川	日最高気温(°C)	-4.4	-3.2	1.7	10.1	17.3	22.2	26.5	27.3	22.0	15.3	4.9	-1.3
		日最低気温(°C)	-13.6	-13.7	-8.8	-0.8	4.8	10.6	15.9	17.4	11.1	4.1	-2.7	-9.3
		日平均気温(°C)	-8.9	-8.2	-3.3	4.0	10.7	15.9	20.3	21.3	15.5	8.8	1.1	-4.9
		水蒸気圧(mb)	2.8	2.9	3.8	5.8	8.8	13.4	18.8	20.6	14.4	9.2	5.6	3.7
		日降水量(mm)	2.5	2.3	2.0	2.2	2.7	2.4	3.4	5.1	4.1	3.4	4.0	3.3
		最多風向 風速(m/s)	S	N	W	W	W	W	W	W	W	S	W	
	札幌	日最高気温(°C)	-1.4	-0.6	3.1	11.3	17.1	20.9	25.2	27.3	22.5	16.5	7.4	1.6
		日最低気温(°C)	-9.7	-9.6	-5.2	10.0	5.8	10.8	16.1	18.3	12.4	5.8	-0.8	-6.4

(以下中略)

## 22 第I部 基礎編

地方	地名	気候項目	月											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
宇 都 宮	宇都宮	日最高気温(°C)	7.9	8.5	11.7	17.2	20.9	24.2	27.7	29.9	25.7	20.7	15.0	10.6
		日最低気温(°C)	-4.9	-4.3	-0.8	5.1	10.4	15.8	20.2	21.7	18.0	10.7	3.1	-2.3
		日平均気温(°C)	0.9	1.6	5.0	10.8	15.5	19.6	23.4	25.1	21.3	15.1	8.5	3.5
		水蒸気圧(mb)	4.5	4.7	6.1	9.3	13.6	18.3	24.4	26.2	21.2	13.8	8.6	5.8
		日降水量(mm)	1.1	1.6	2.4	3.7	4.6	6.2	6.7	6.2	8.2	4.8	1.7	1.1
		最多風向 風速(m/s)	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
	前 橋	日最高気温(°C)	8.4	8.9	11.9	17.6	21.6	25.2	29.5	30.2	25.9	21.0	15.6	11.3
		日最低気温(°C)	-1.8	-1.6	1.4	6.0	11.4	16.4	20.7	22.1	18.4	11.6	5.4	0.8
四 國 谷	四國谷	日平均気温(°C)	2.2	2.8	5.9	11.5	16.3	20.3	24.2	25.4	21.5	15.5	9.8	5.1
		水蒸気圧(mb)	4.1	4.2	5.5	8.5	12.8	17.9	24.1	25.9	21.0	13.3	8.1	5.4
		日降水量(mm)	0.7	1.0	1.4	2.4	3.5	5.3	6.7	5.5	6.8	3.9	1.3	0.7
		最多風向 風速(m/s)	N	N	N	N	ESE	ESE	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW
	高 知	日最高気温(°C)	9.0	9.8	12.7	18.4	22.1	25.3	29.0	31.1	26.6	21.3	15.9	11.7
		日最低気温(°C)	-2.5	-1.7	1.4	6.7	11.6	16.7	21.1	22.4	18.9	11.8	5.1	-0.1
		日平均気温(°C)	2.4	3.2	6.2	11.8	16.3	20.5	24.5	25.8	21.9	15.8	9.9	5.0
		水蒸気圧(mb)	(4.5)	(4.7)	(6.0)	(9.3)	(14.3)	(19.1)	(22.7)	(27.9)	(22.3)	(14.4)	(8.9)	(6.0)
東 北 地方	東北地方	日降水量(mm)	0.9	1.3	1.7	2.7	3.8	5.4	5.8	4.8	6.9	5.2	1.9	0.8
		最多風向 風速(m/s)	NW	NW	NW	NW	NW	SE	SE	ESE	NW	NW	NW	NW
	福 島	日最高気温(°C)	9.9	9.9	12.4	16.2	19.3	22.1	25.7	28.2	25.6	20.9	16.3	12.7
		日最低気温(°C)	1.6	2.2	5.3	9.9	13.7	17.1	20.1	22.9	21.1	15.9	10.1	4.2
		日平均気温(°C)	5.5	5.9	8.5	12.8	16.4	19.4	22.8	25.0	23.0	18.2	13.3	8.4
		水蒸気圧(mb)	5.9	6.2	8.0	11.3	15.3	19.6	24.8	27.4	24.0	16.4	11.4	7.7
		日降水量(mm)	2.6	3.8	4.0	4.7	5.1	5.8	4.3	3.4	7.4	7.5	4.7	2.8
	青 森	最多風向 風速(m/s)	NW	NW	NNE	SSW	SSW	NNE	SSW	SSW	NNE	NNE	NNE	NW
東 京 管 域	東京管域	日最高気温(°C)	9.3	9.8	12.8	18.2	22.1	25.1	29.0	31.3	27.4	21.5	16.0	11.9
		日最低気温(°C)	-0.7	0.1	3.3	8.7	13.3	17.7	21.8	23.3	20.3	13.4	7.2	1.7
		日平均気温(°C)	3.5	4.3	7.5	13.0	17.4	21.0	24.9	26.6	23.0	16.9	11.2	6.2
		水蒸気圧(mb)	4.8	5.0	6.7	10.1	14.4	19.2	24.9	25.7	22.4	14.6	9.3	6.2
		日降水量(mm)	1.4	2.3	3.2	4.2	4.9	5.7	4.9	4.0	7.2	6.6	3.1	1.9
		最多風向 風速(m/s)	NNW	NNW	NNW	N	S	S	S	N	NNW	NNW	NNW	NNW
	神 奈 川	日最高気温(°C)	3.4	3.7	4.4	4.3	4.0	3.6	3.6	3.9	3.4	3.8	3.1	2.8
		日最低気温(°C)	-0.2	0.5	3.4	8.8	13.2	17.4	21.5	23.0	20.1	13.5	7.6	2.4
新 潟	新潟	日平均気温(°C)	3.9	4.4	7.4	12.7	16.9	20.4	24.3	26.0	22.7	16.6	11.3	6.8
		水蒸気圧(mb)	5.1	5.4	7.1	10.6	14.8	19.5	25.0	26.9	22.8	15.1	9.7	6.6
		日降水量(mm)	1.6	2.4	3.7	4.5	5.4	6.7	5.1	4.5	8.5	6.6	3.2	2.0
		最多風向 風速(m/s)	N	N	N	N	NNW	SSW	S	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW
		日最高気温(°C)	4.9	5.4	5.7	5.6	4.9	4.5	4.5	4.7	4.5	5.4	4.8	4.3
		日最低気温(°C)	-0.2	0.5	3.4	8.8	13.2	17.4	21.5	23.0	20.1	13.5	7.6	2.4
		日平均気温(°C)	3.9	4.4	7.4	12.7	16.9	20.4	24.3	26.0	22.7	16.6	11.3	6.8
		水蒸気圧(mb)	5.1	5.4	7.1	10.6	14.8	19.5	25.0	26.9	22.8	15.1	9.7	6.6

(以下略)

## 2. 予備解析

地表面における熱伝達境界が、地表面温度を固定させるものでないことを示すために、簡易なモデルにより予備解析を行なった。

### (1) 解析条件

下記の条件・モデルにより、非定常の軸対称熱伝導解析を行う。（解析期間1万年）

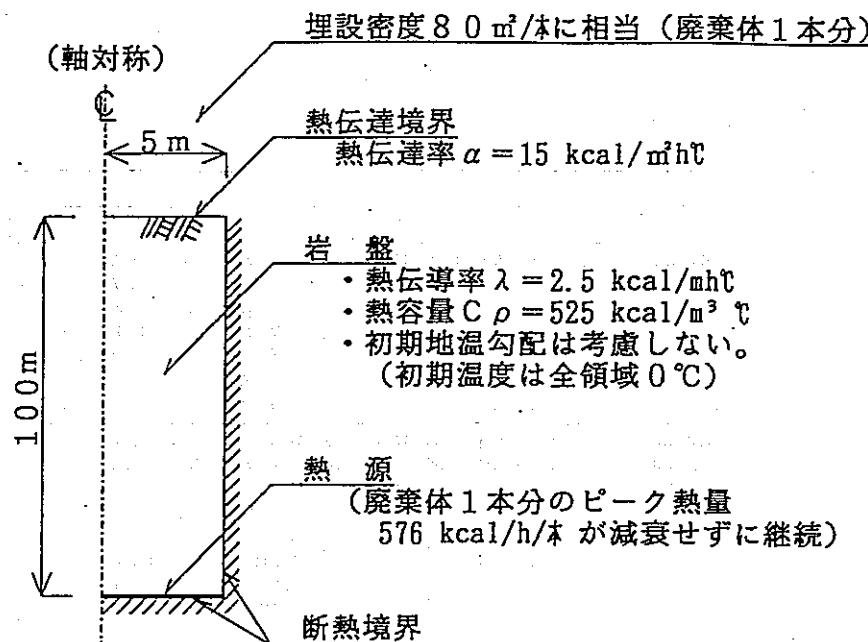


図-3.4.1 解析条件及びモデル

## (2) 解析結果

次頁以降に解析結果図を示す。これらによると、地表面の温度は固定されているわけではなく、今回の場合約 0.4°C 上昇している。

ここで、定常状態に至ったと判断される 1,000年後以降に着目すると、熱源からの発熱量がそのまま地表面に伝わるとみることができる。そこで、1. で述べた資料-①の式 6.3によると地表面温度は次のようになり、解析結果とほぼ一致する。

$$T_s = \frac{Q}{\alpha A} + T_a$$
$$= \frac{576 \text{ (kcal/h)}}{15(\text{kcal/m}^2\text{h}) \times 5^2 \pi (\text{m}^2)} + 0 = \underline{\underline{0.49^\circ\text{C}}}$$

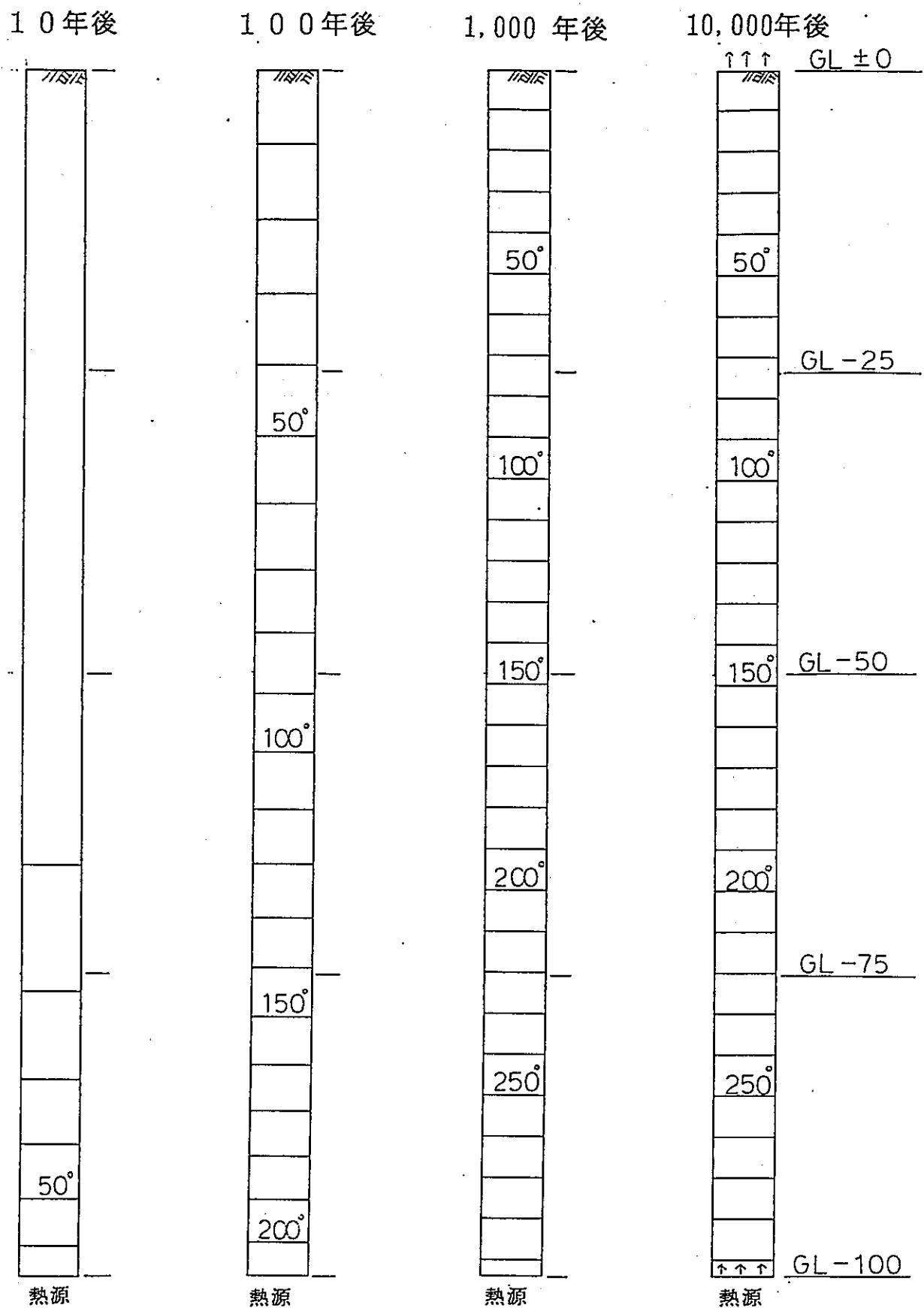


図-3.4.2 温度分布図

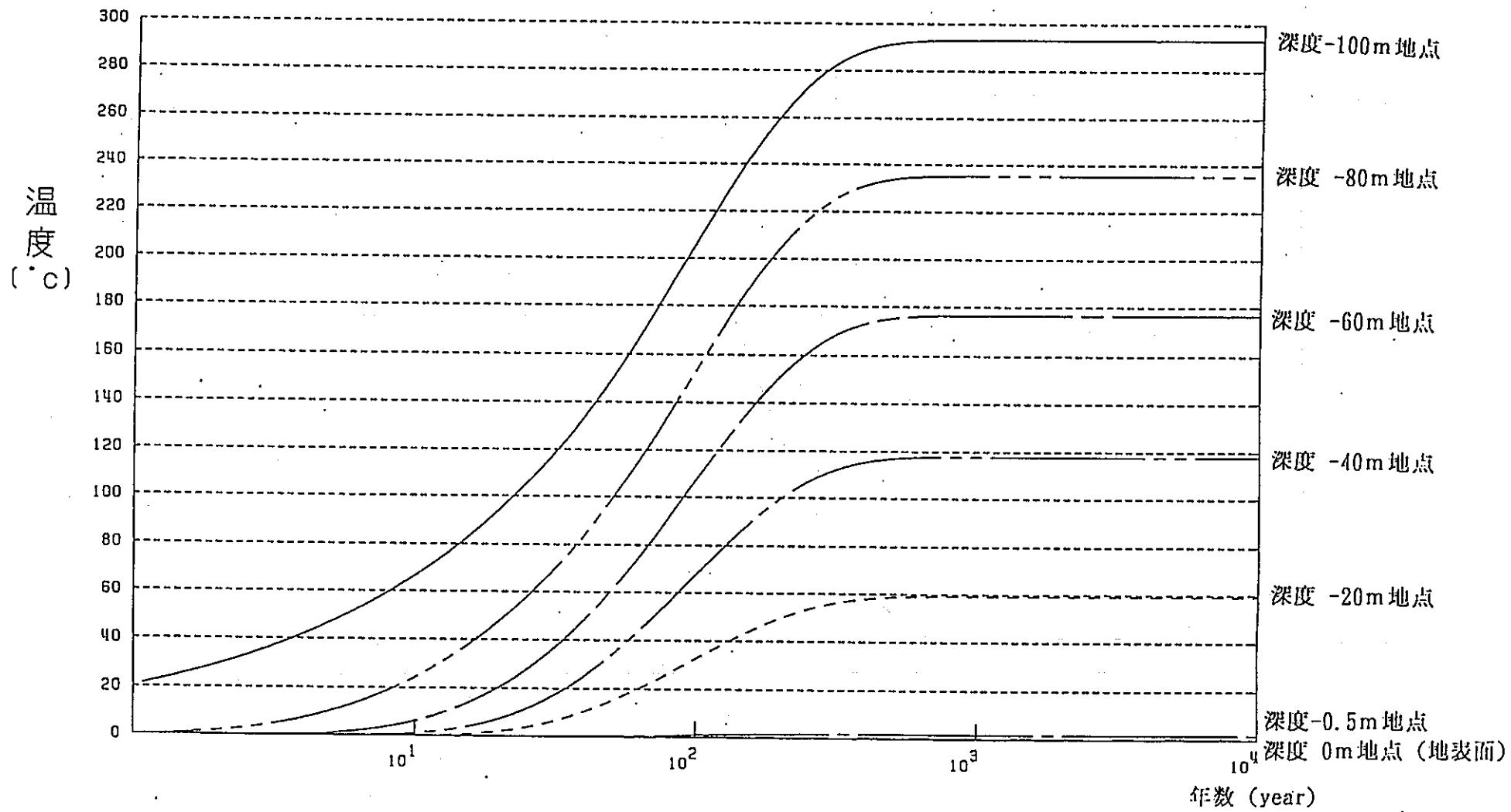


図-3.4.3 溫度経時変化図

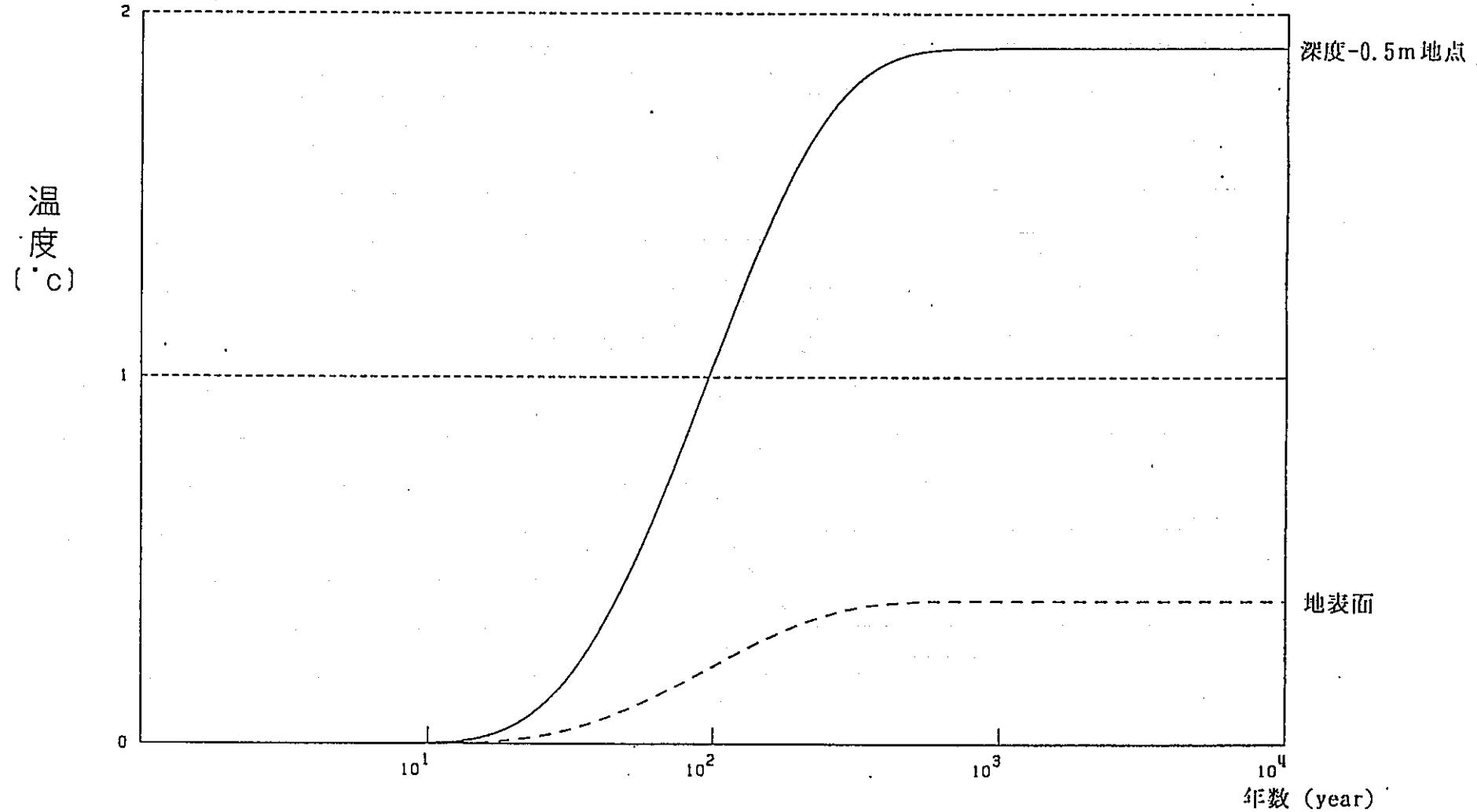


図-3.4.4 溫度経時変化図（地表面と深度-0.5m地点）

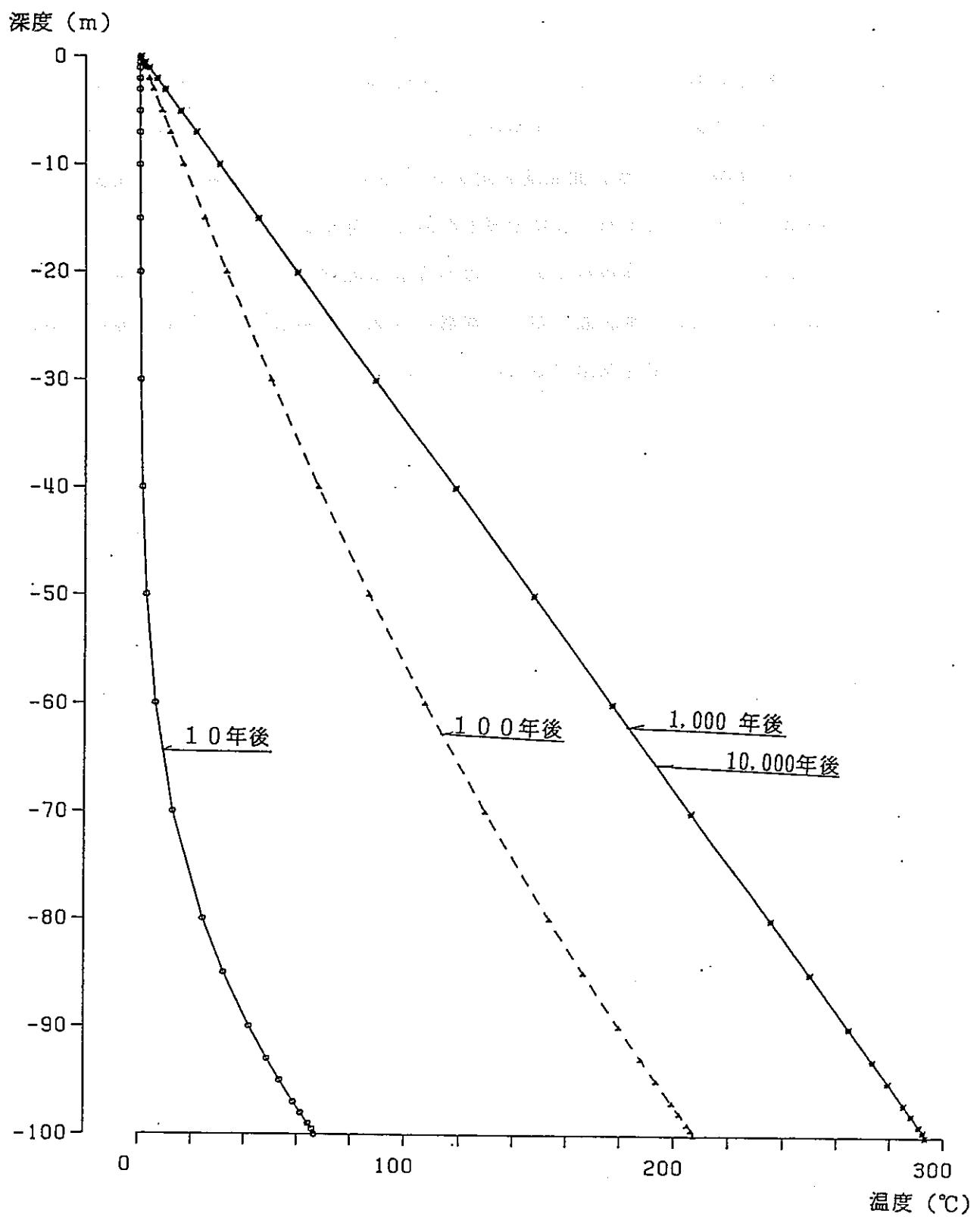


図-3.4.5 深度方向温度分布図（中心軸）

### 3. まとめ

今回の予備的検討により、以下のことが判明した。

- ① 一般的に地盤と大気との境界条件は熱伝達率で評価し、その値として  $10 \sim 20$   $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  を用いているのが現状である。
- ② 热伝達境界は、地表面温度を固定させるものではなく、熱源から地表面に伝わる熱量が大きければそれなりに地表面温度は上昇する。

以上の結果をふまえ、本解析においては地表面の温度上昇を処分場の発熱に対して安全側に評価することとし、地表面における地盤と大気との熱伝達率として、無風状態に相当する値  $\alpha = 10 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  を採用することとした。

## 4. 廃棄体の沈下解析

### 4.1 概 要

緩衝材中に定置された廃棄体の挙動の内、ここでは自重による沈下現象に着目し、その予測解析を行う。解析に当って沈下現象は、緩衝材の圧密現象としてとらえるものとする。圧密現象は、間隙水の移動（排水を伴う）一次圧密と、土骨格のクリープ変形による二次圧密現象に分けて考える事ができる。この両者の現象に対応可能な解析コードとしては、スウェーデンでも用いられた“ABAQUS”と共に“DACSAR”があり、ここでは両方のコードを使用する。

ABAQUSによる解析では、弾塑性モデル（Cam-Clayモデル）の圧密解析と、粘弾性モデルにおけるクリープ解析を別々に行う事となるのに対し、DACSARでは弾／粘塑性モデル（関口－太田モデル）において一次圧密と共に二次圧密によるひずみ項が付加されているため、その必要はない。

### 4.2 検討条件

#### 4.2.1 解析モデル

廃棄体は図-4.2.1に示すような、坑道横置方式を想定しこれをモデル化する。

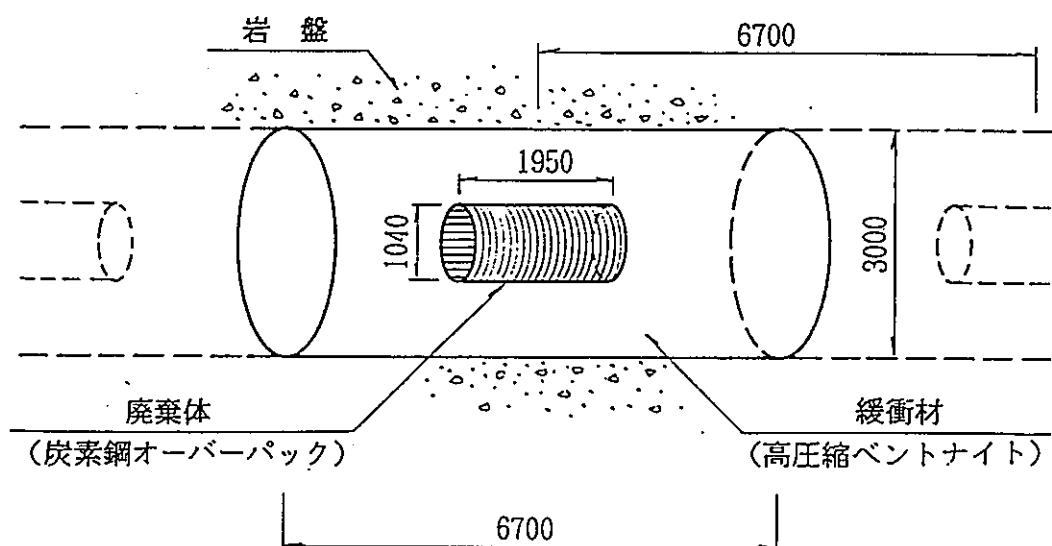


図-4.2.1 廃棄体定置状況の想定図

図-4.2.1を基にモデル化したメッシュ図を図-4.2.2～3に示す。

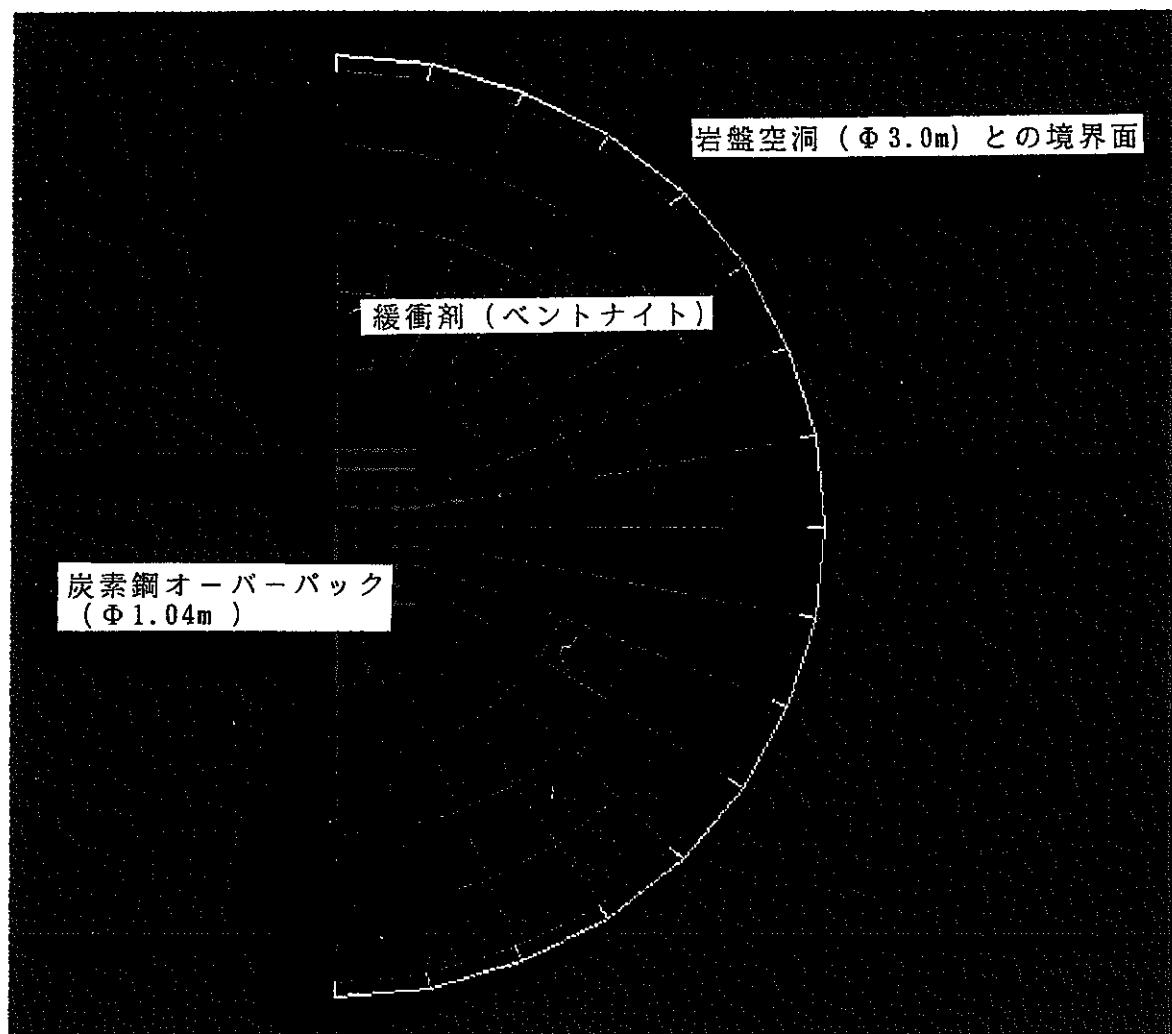


図-4.2.2 二次元解析 FEM メッシュ図

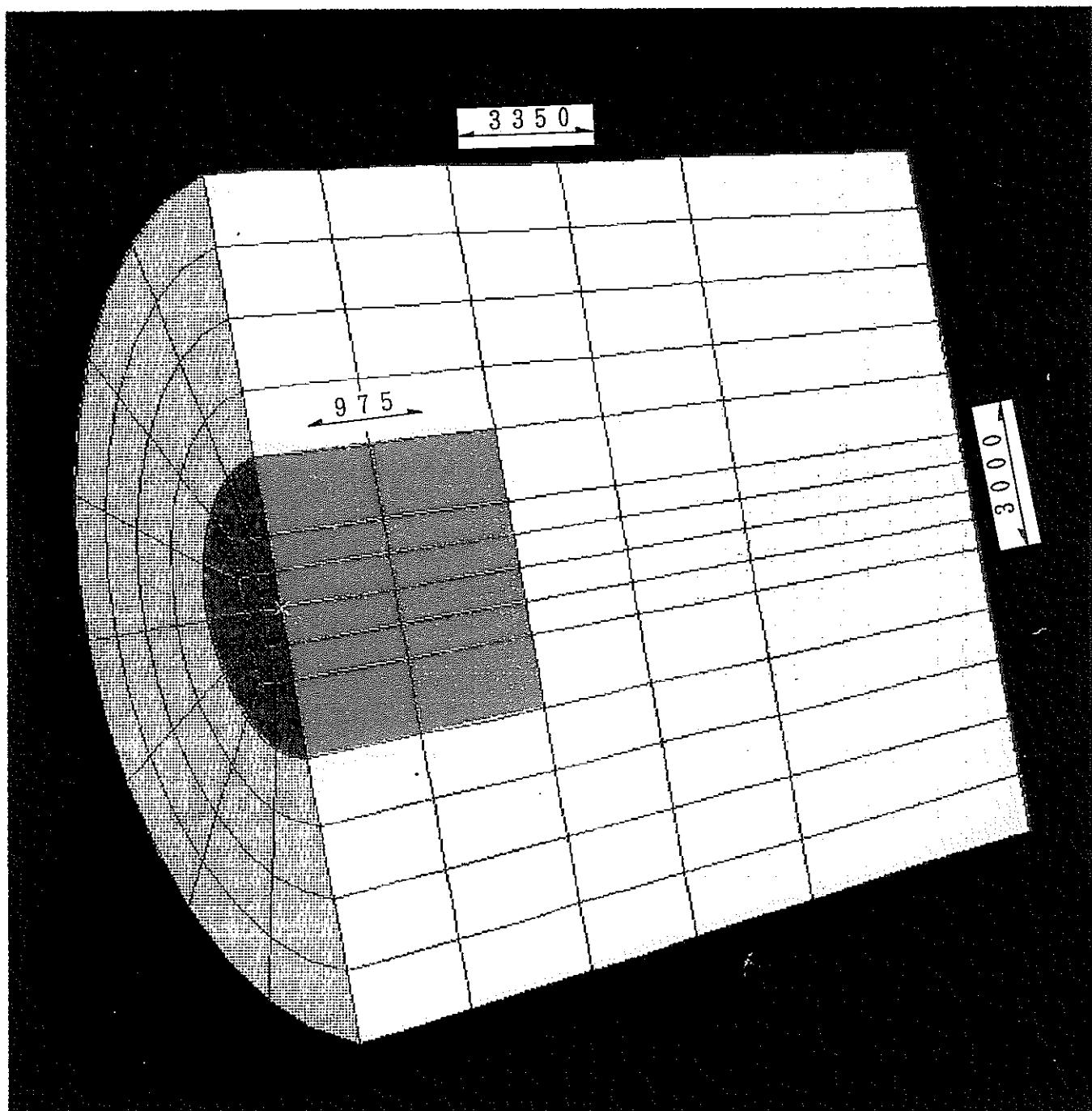


図-4.2.3 三次元解析FEMメッシュ図

#### 4.2.2 解析条件

##### (1) ABAQUS

廃棄体は弾性体とし、緩衝材と岩盤の境界部分には剥離を許すギャップ要素を設ける。初期状態としては、

○緩衝材：等方応力状態（正規圧密状態）で、過剰間隙水圧  $U = 0$

○ギャップ要素：初期の間隙  $\Delta h = 0$

を設定し、解析対象期間は1000年間とする。また、境界条件としては、

○緩衝材外周の変位を拘束  $U_x = U_y = 0$

○対称軸のX方向変位を拘束  $U_x = 0$

とする。

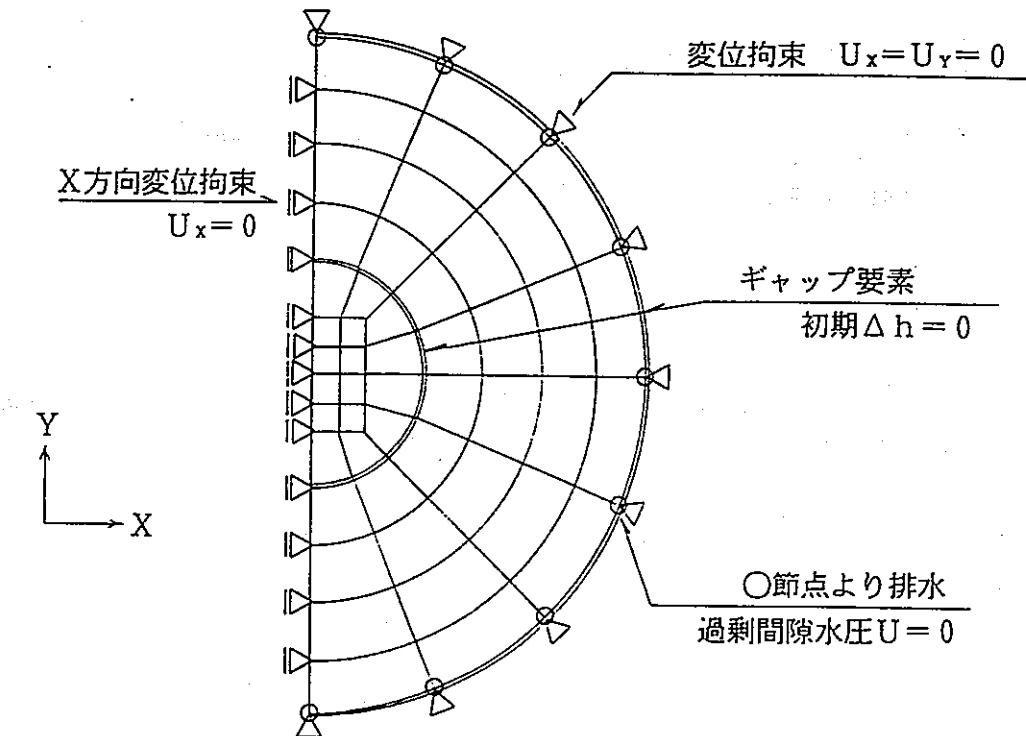


図-4.2.4 ABAQUSにおける境界条件

また、クリープひずみ式は以下に示す軸クリープひずみ速度式で与えるものとする。

$$\varepsilon = \beta \cdot T \cdot D \cdot \ell n t$$

ここに  $\beta$  : 定数

$T$  : 絶対温度 (K)

$D$  : 軸差応力 (Kpa)

$t$  : 負荷を与えてからの時間 (sec)

この式はスウェーデンのSKBテクニカルレポート(TR 83-47)<sup>1)</sup>の中に示されているもので、そこにおいて実験結果から

$$\beta = 3.6 \times 10^{-9}$$

を設定している。本解析においてもこの値を用いるものとする。この値は、密度1.9～2.0の飽和Naベントナイトに対応するものである。

なお、ABAQUSによる三次元の解析においても、基本的に前述の二次元の場合と同様であるが、緩衝材と岩盤の境界にギャップ要素は設けていない。これは解析コード上の制約によるものである。結果的には2次元の解析でギャップ要素の間隙は0のままであった事から、3次元モデルにおいてギャップ要素を設けなくても問題はないと考えられる。

## (2) D A C S A R

初期条件はABAQUSの場合と同様であるが、境界条件については、

- 境界部の剥離に対しては、モデルの上半分の変位拘束を解除する。
- この剥離の影響を見るために、予備ケースとして変位拘束する解析も行う。

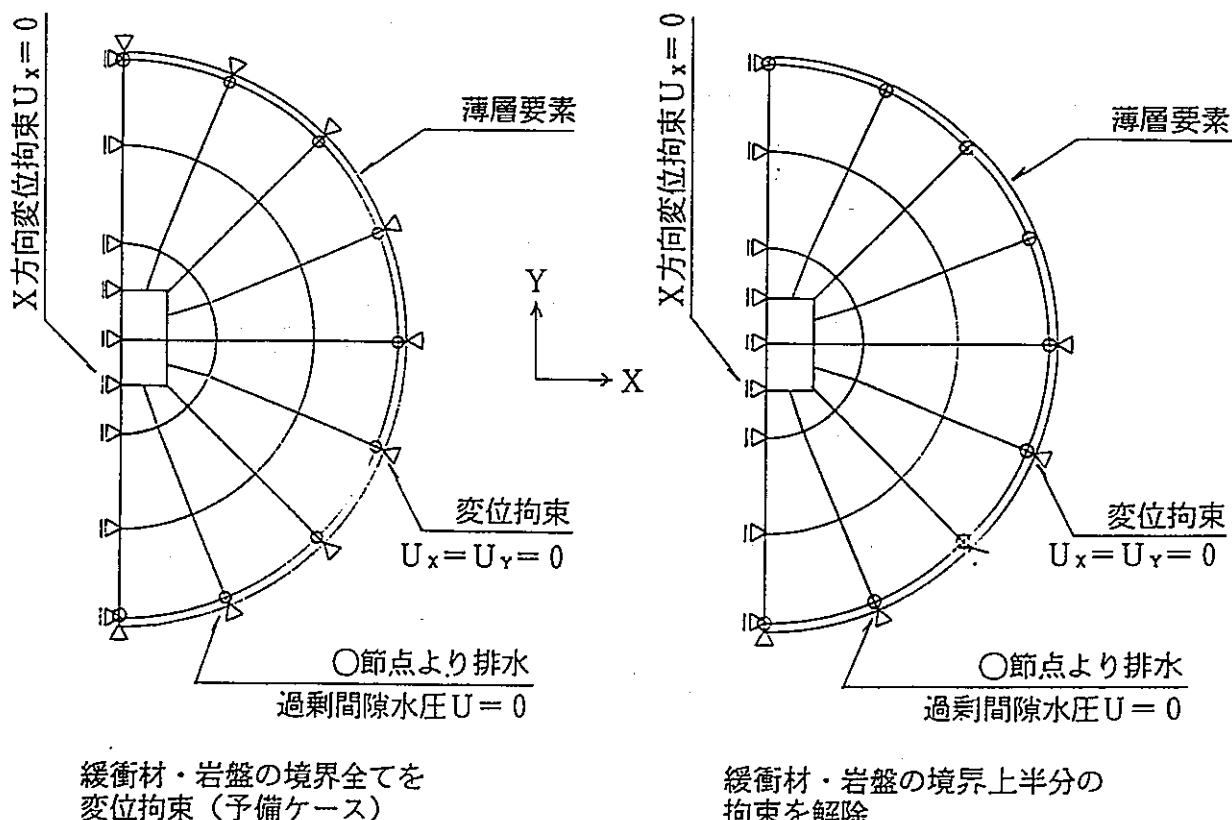


図-4.2.5 D A C S A Rにおける境界条件

#### 4.2.3 入力定数

表-4.2.3に本解析に用いる入力定数の値を示す。表の内、出典等の欄にあるA～Fは、それぞれ以下の通りである。

- A : SKBテクニカルレポート (TR 90-45)<sup>2)</sup>において類似の解析に用いられた値である。これらの値に相当する緩衝材の種類や密度等の値は確認できなかった。
- B : SKBテクニカルレポート (TR 83-47) に示されている、密度2.0のベントナイトのクリープ試験から求めた平均値。
- C : 関係式  $(\lambda - \kappa) / M (1 + e_0)$  による計算値。
- D : 理科年表より一般の炭素鋼の値として設定した。
- E : オーバーパックの外形  $\phi 1.04m \times l 1.95m$  と重量11.5tより換算した値。
- F : 軸クリープひずみ速度式の実験値  $\varepsilon = 3.6 \times 10^{-9} \cdot T \cdot D \cdot l_{nt}$  を基準にして同定した値。（添付資料参照）

0.091

表-4.2.1 解析に用いる入力定数

分類		項目	値	出典等	使用する解析		
					ABAQUS 圧密	ABAQUS クリープ	DACSAR 圧密二次圧密
オーバーパック	E。弾性係数	$2.1 \times 10^8$ (kpa)		D	○	○	○
	ν。ポアソン比	0.3		D	○	○	○
	γ。単位体積重量	6.94 (tf/m³)		E	○	○	○
緩衝材	λ。圧縮指數	0.1		A	○		○
	κ。膨潤指數	-0.91		A	○		○
	D。ダイラタンシー係数	0.0162		C	✗		○
	M。限界状態応力比	0.36		A	○		○
	e。初期間隙比	0.54		A	○		○
	ν。ポアソン比	0.2		A	○	○	○
	E。弾性係数	$3.4 \times 10^5$ (kpa)		B		○	
	K。先行の静止土圧係数	1.0		A	○	○	○
	K。現在の静止土圧係数	1.0		A	○	○	○
	α。二次圧密定数	$2.6 \times 10^{-4}$		F			○
粘性定数	V。初期体積ひずみ速度	$3.1 \times 10^{-12}$ (1/sec)		F			○
	P。初期有効応力	$4.5 \times 10^3$ (kpa)		A	○	✗	○
	K。透水係数	$2 \times 10^{-14}$ (m/sec)		A	○		○
間隙水	γ。水の密度	1.0 (t/m³)		A	○		○
	H。初期全水頭	0		—	○		○
ABAQUS 特有の入力定数	β	0.04		A	○		
	a。	4327 (kpa)		A	○		

### 4.3 解析ケース

解析は、表-4.3.1に示す7ケース行うが、廃棄体の沈下の予測値としては、以下の3ケースとなる。

- ① 二次元圧密+クリープ (ABAQUS) : No.2+No.3の値
- ② 三次元圧密+クリープ (ABAQUS) : No.4+No.5の値
- ③ 二次元圧密・二次圧密 (DACSAR) : No.7の値

表-4.3.1 沈下解析ケース一覧

ケース	解析コード	解析次元	種類	構成モデル	境界条件等
No.1	ABAQUS	2次元	圧密定常	弾塑性	排水
No.2			圧密非定常	弾塑性	排水
No.3			クリープ	粘弾性	非排水、弾性変形含む
No.4		3次元	圧密非定常	弾塑性	排水
No.5			クリープ	粘弾性	非排水、弾性変形含む
No.6	DACSAR	2次元	圧密・二次圧密	弾／粘塑性	全周囲変位拘束(予備)
No.7					上半分変位拘束解除

### 4.4 解析結果

各ケースにおける解析結果を表-4.4.1に示す。1000年後の沈下予測値は以下の値となる。

- ① 二次元圧密+クリープ: 0.92mm (No.2+No.3)
- ② 三次元圧密+クリープ: 0.35mm (No.4+No.5)
- ③ 二次元圧密・二次圧密: 2.70mm (No.7)

表-4.4.1 沈下解析結果

ケース	次元	種類	沈下量 (mm)				
			瞬時沈下	1年後	10年後	100年後	1000年後
N o.1	2	圧密定常		0.14			
N o.2	2	圧密非定常	—	0.098	0.104	0.129	0.143
N o.3	2	クリープ	0.0629	0.591	0.654	0.717	0.780
N o.4	3	圧密非定常	—	0.030	0.040	0.059	0.071
N o.5	3	クリープ	0.025	0.215	0.238	0.259	0.279
N o.6	2	圧密・二次圧密	0.020	0.146	0.437	0.649	0.671
N o.7	2	圧密・二次圧密	0.026	0.184	0.684	1.745	2.696

図-4.4.1～2に二次元および三次元の圧密+クリープ（ABAQUS）の沈下曲線を示す。沈下量は二次元の方が約2.5倍大きいが、沈下の傾向は両者であり差はない。

二次元、三次元共圧密沈下量は、間隙水の移動による純粋な圧密量であるのに対し、クリープ沈下量は弾性変形に相当する瞬時沈下量を含んだ値である。この内クリープに関して初期の沈下量（グラフ左端）が大きいという印象を与えるが、これは解析の基となるひずみの与え方  $\varepsilon = 3.6 \times 10^{-9} \cdot T \cdot D \cdot l_{nt}$  により説明される。すなわち、この式を時間で微分すると、

$$\dot{\varepsilon} = 3.6 \times 10^{-9} \cdot T \cdot D \cdot 1/t$$

となり、時間  $t$  (sec) が小さい（初期）程、ひずみの変化  $\dot{\varepsilon}$  は大きな値となり、結果として初期の沈下量は大きくなる。この状況を見るため、図-4.4.3に初期のクリープ沈下曲線（三次元）を示す。（図-4.4.1～2の左端の位置は、この期間に対応する圧密の値がないことによる。）

なおひずみ速度の実験式を引用したSKBレポート（TR83-47）においてもクリープによる沈下解析を行っている。その結果1000年後の沈下量としてスリップケース（岩盤～緩衝材～廃棄体相互の境界部でのスリップを許すケース）で

1.07 mm

を予測しており、これは対応するケースN o.3（二次元・クリープ）の0.78mmより幾分大きめの値となっている。ただし、SKBレポートでは廃棄体の仕様と定置方式が異なる

ため、緩衝材への荷重状態は異なるものとなり、また解析は境界要素法（BEM）によっているため単純な比較はできない。

図-4.4. 4～5に予備ケースを含め圧密・二次圧密（DACSAR）の沈下曲線を示す。変位の拘束条件の差は、沈下量と共に沈下の傾向にも差をもたらし、上半分拘束解除の場合は、1000年後においても依然二次圧密的な沈下の過程にある。しかし、沈下速度の勾配からすると、100万年後において沈下量は5mm程度にとどまるものと予測される。

また、沈下傾向の把握のため、時間軸を対数目盛りとせず通常の目盛りとした沈下曲線を図-4.4. 6～9に示す。

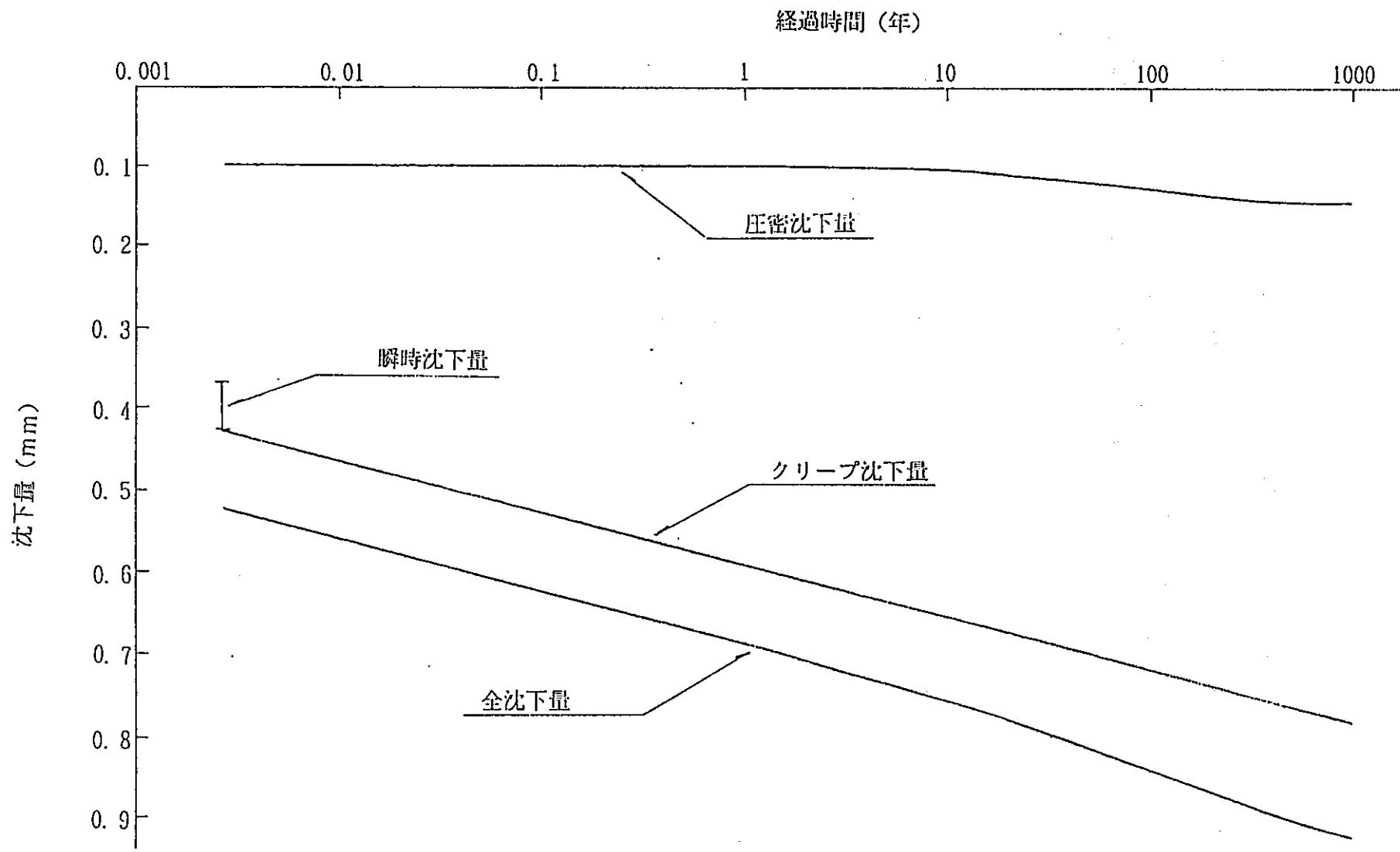


図-4.4.1 二次元圧密+クリープ解析・沈下曲線

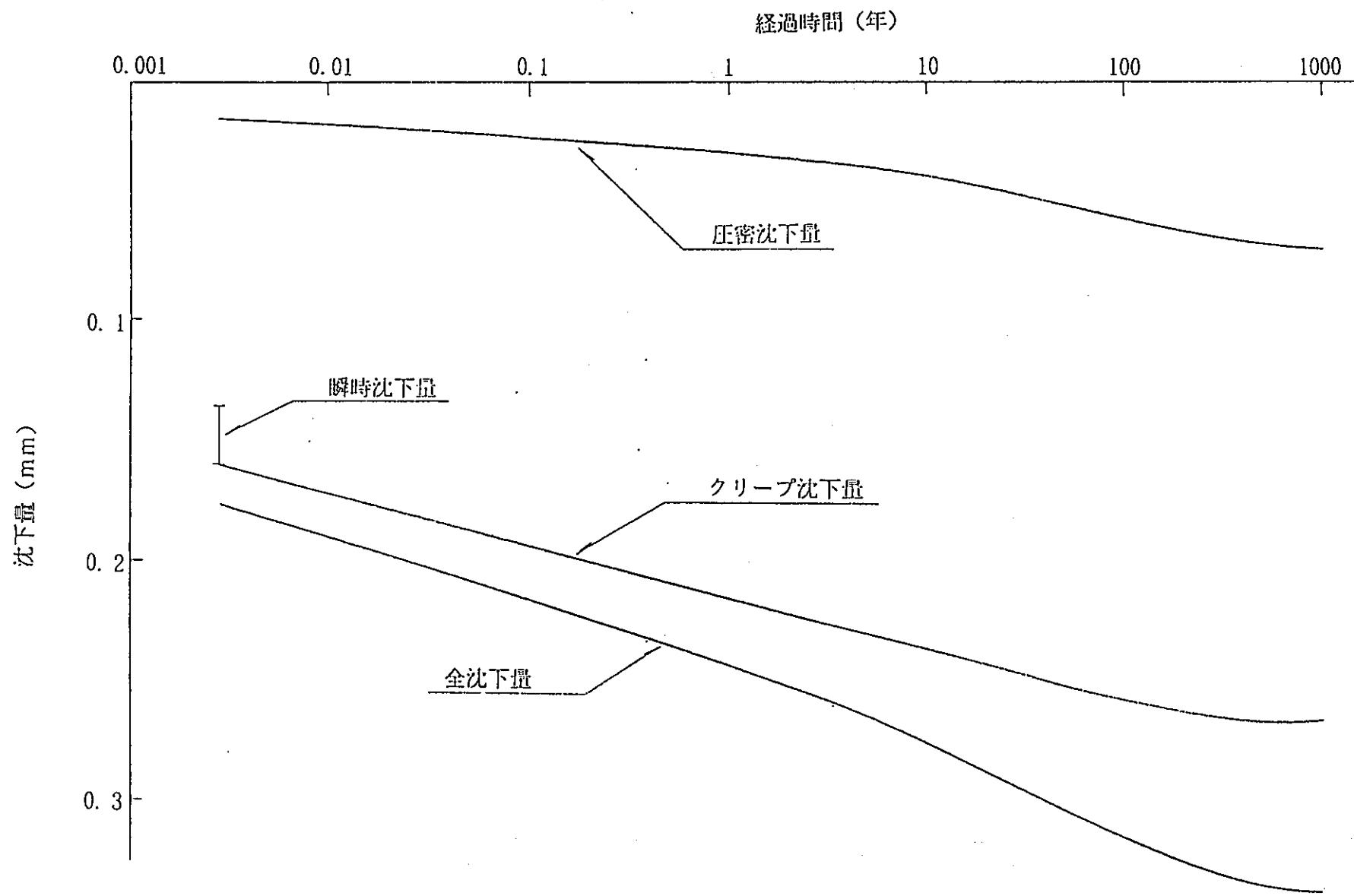


図-4.4.2 三次元圧密+クリープ解析・沈下曲線

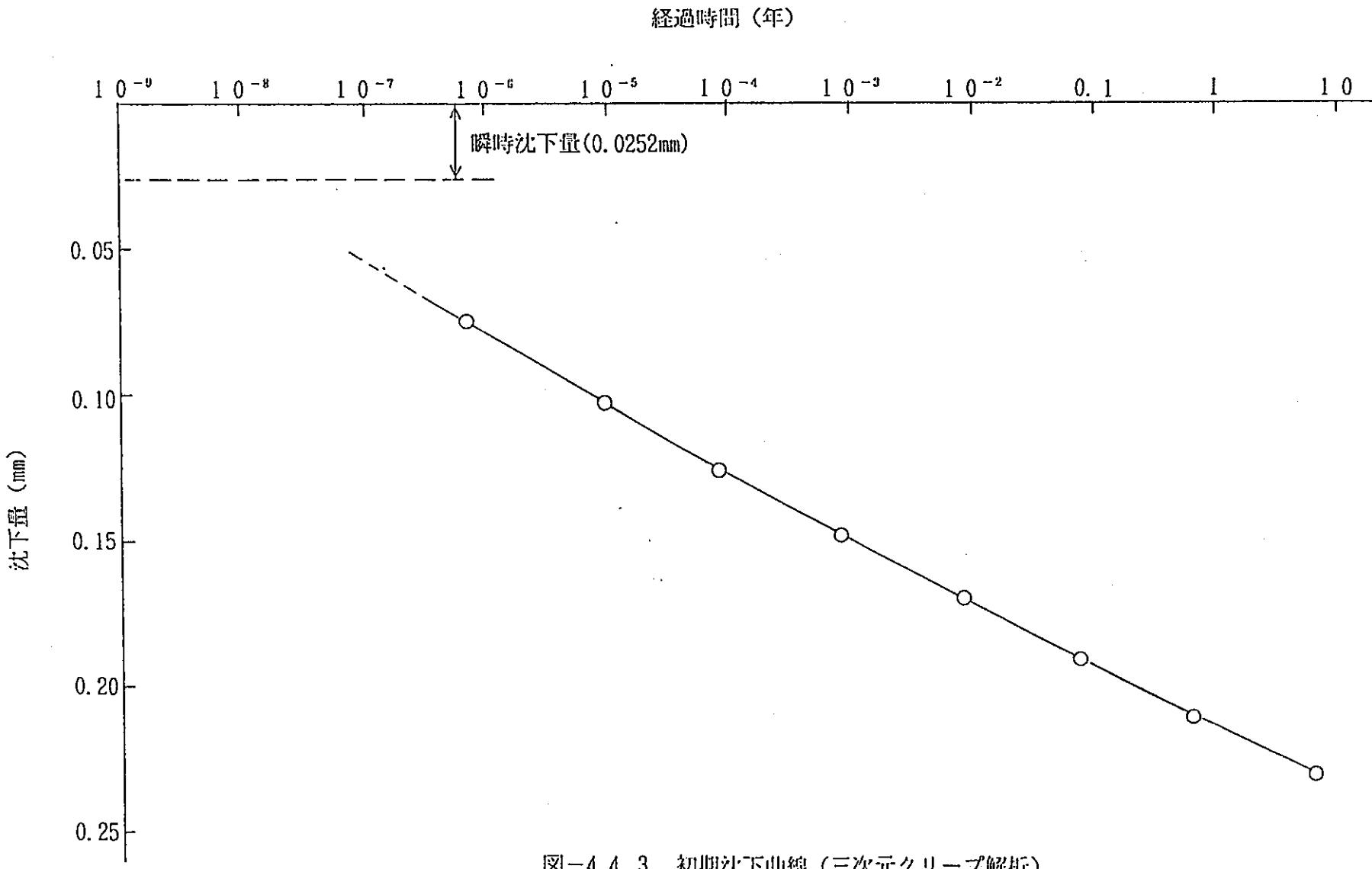


図-4.4.3 初期沈下曲線（三次元クリープ解析）

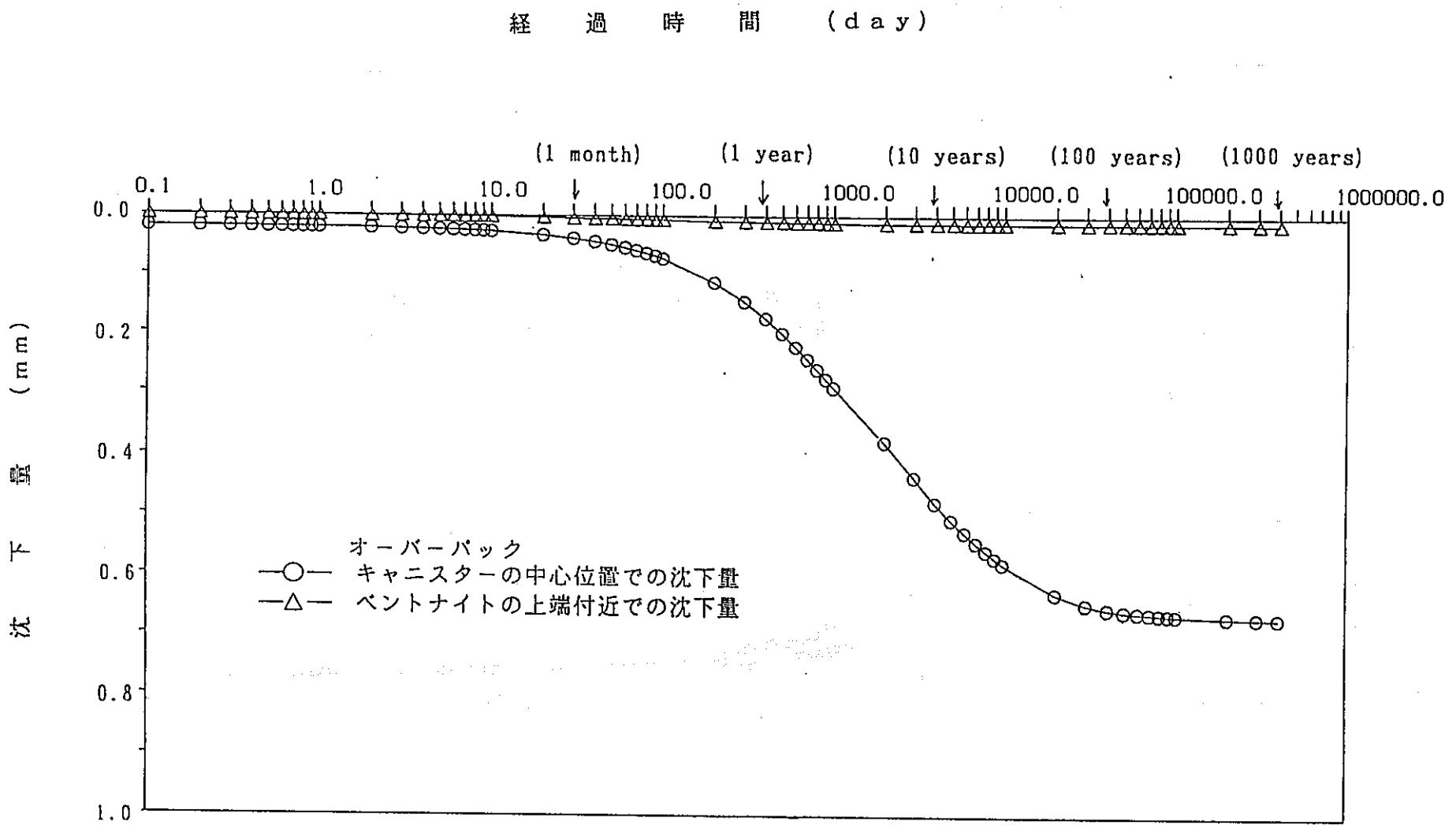


図-4.4.4 圧密・二次圧密解析・沈下曲線（予備ケース・変位拘束）

経過時間 (day)

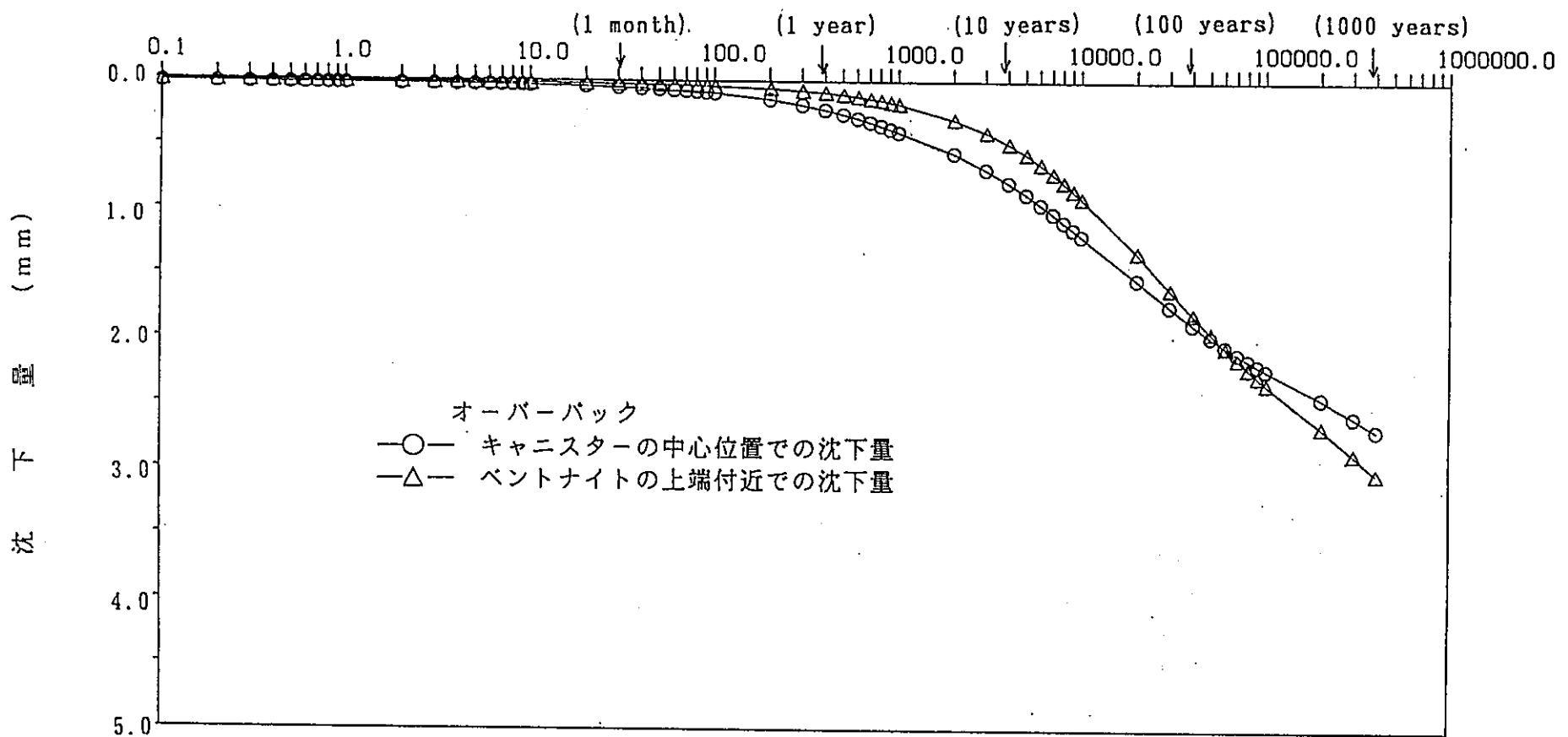


図-4.4.5 圧密・二次圧密解析・沈下曲線（上半分変位拘束解除）

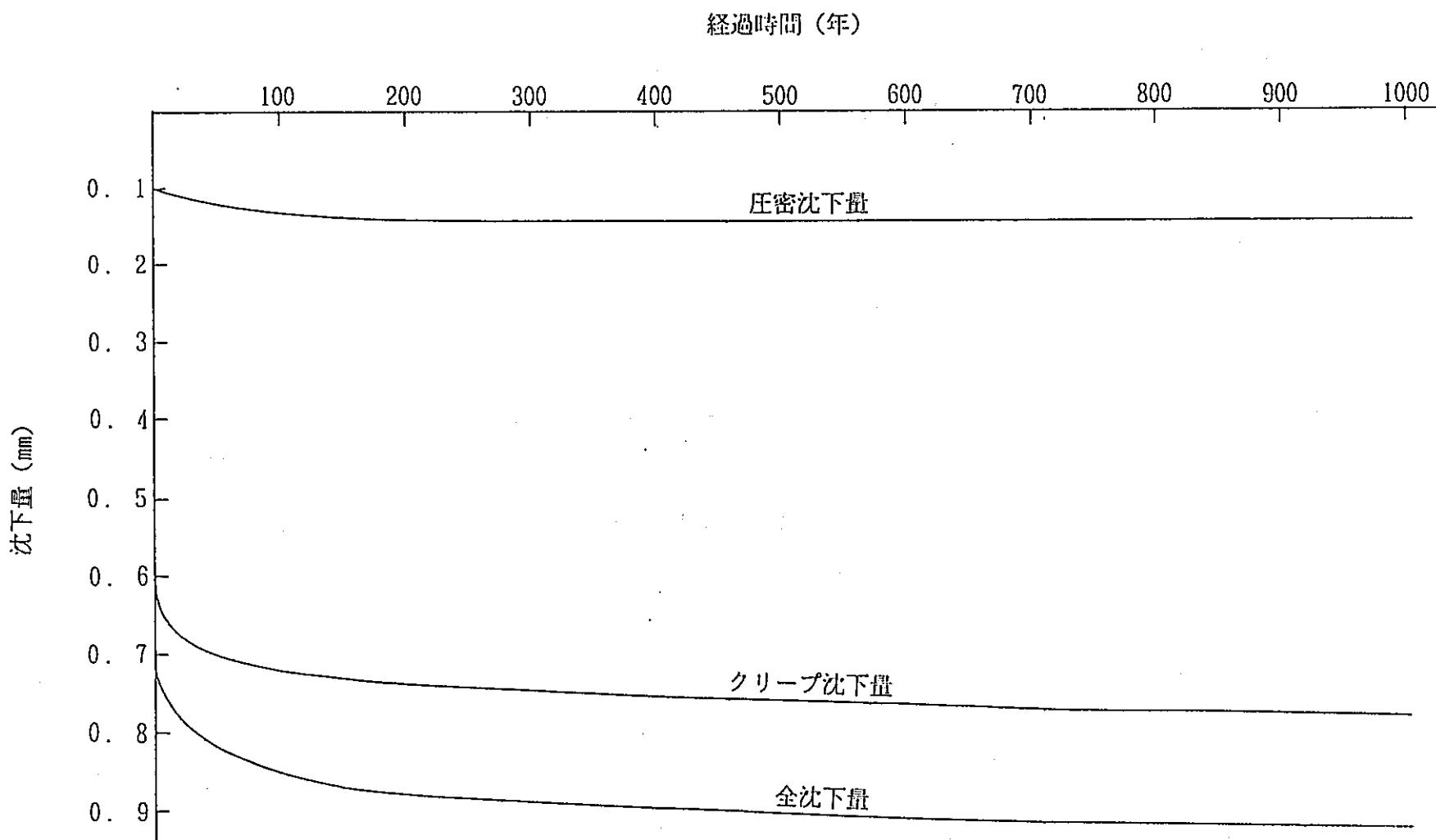


図-4.4.6 二次元圧密+クリープ解析・沈下曲線(その2)

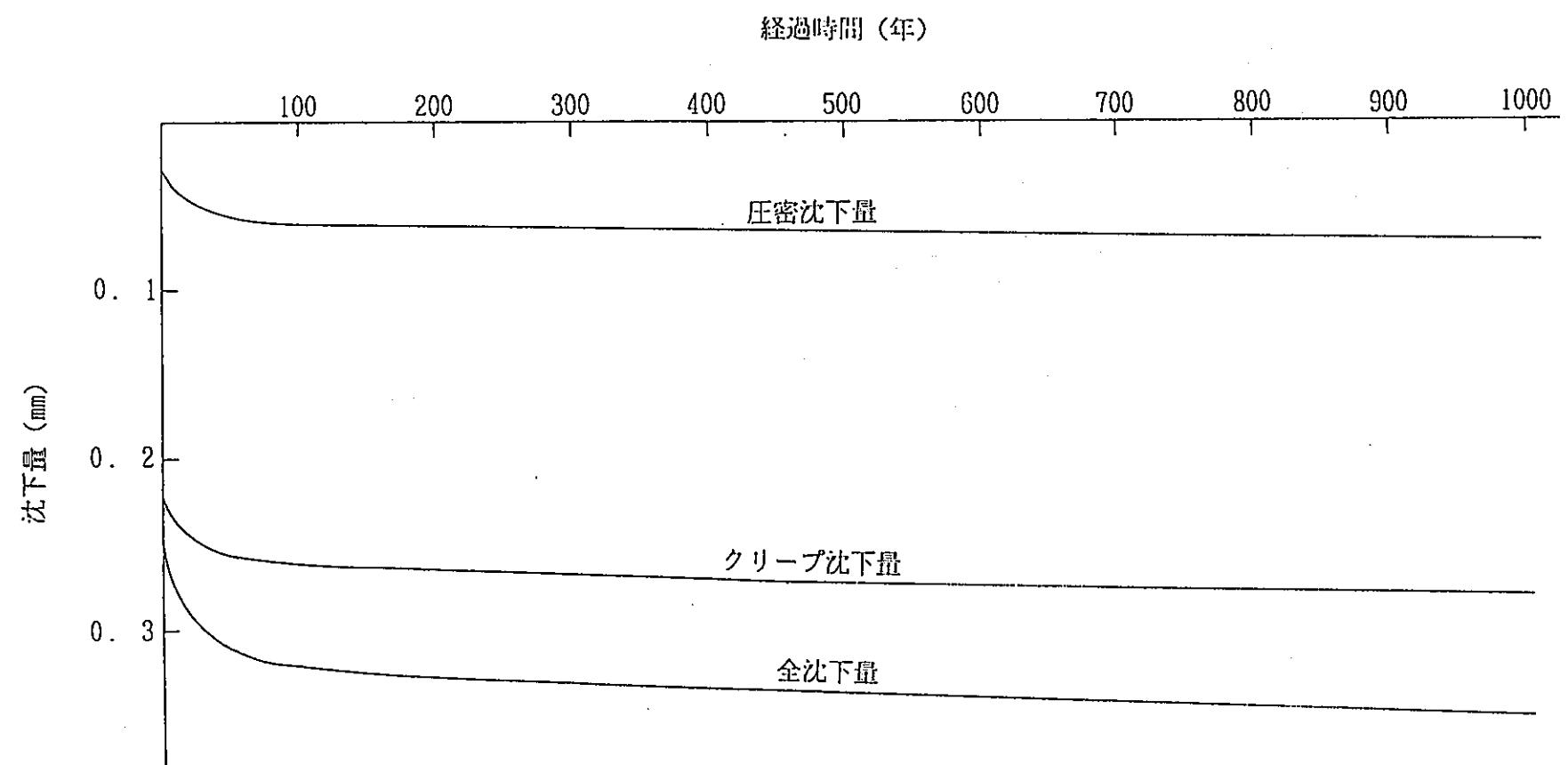


図-4.4.7 三次元圧密+クリープ解析・沈下曲線(その2)

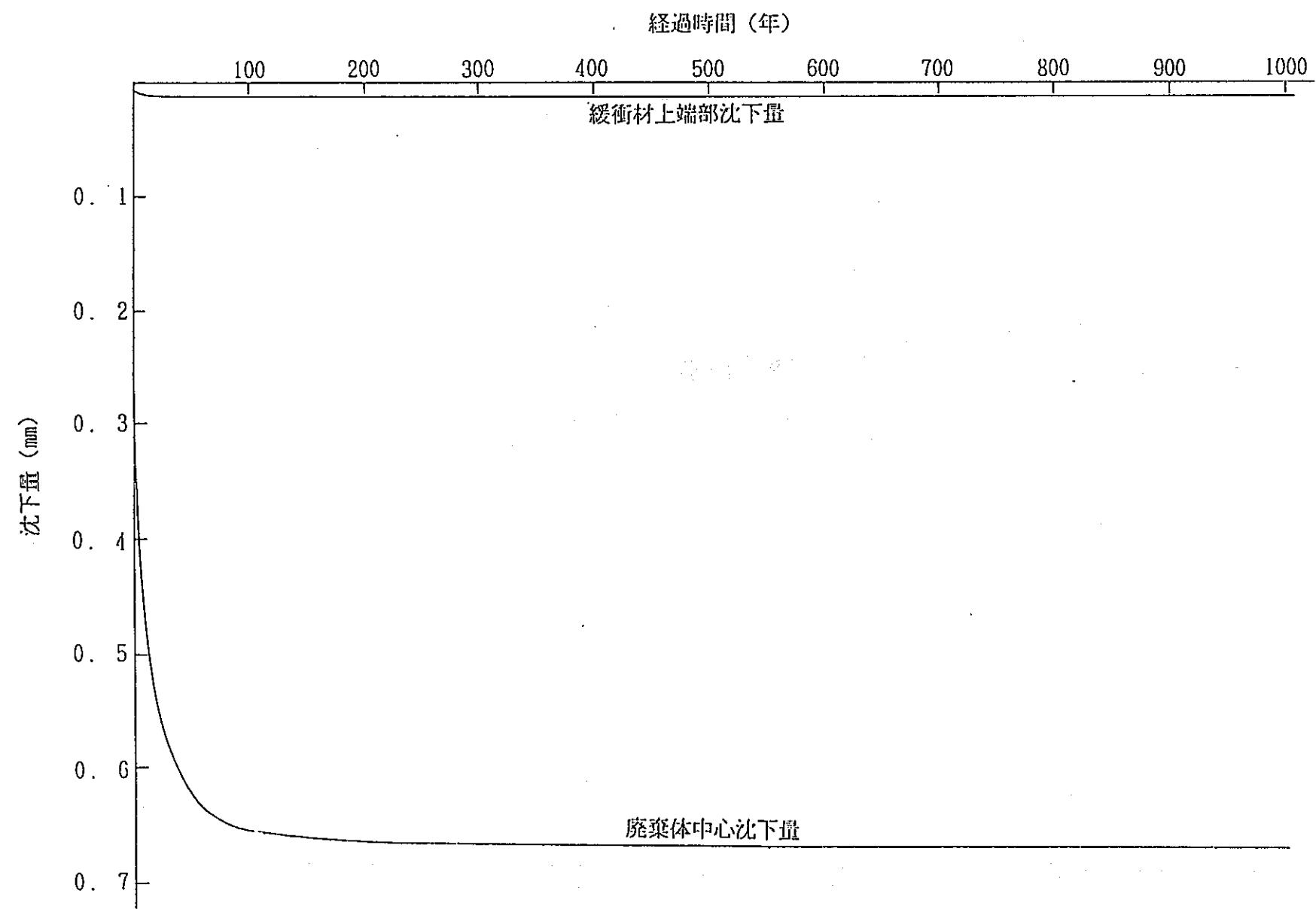


図-4.4.8 圧密・二次圧密解析・沈下曲線（その2）（予備ケース・変位拘束）

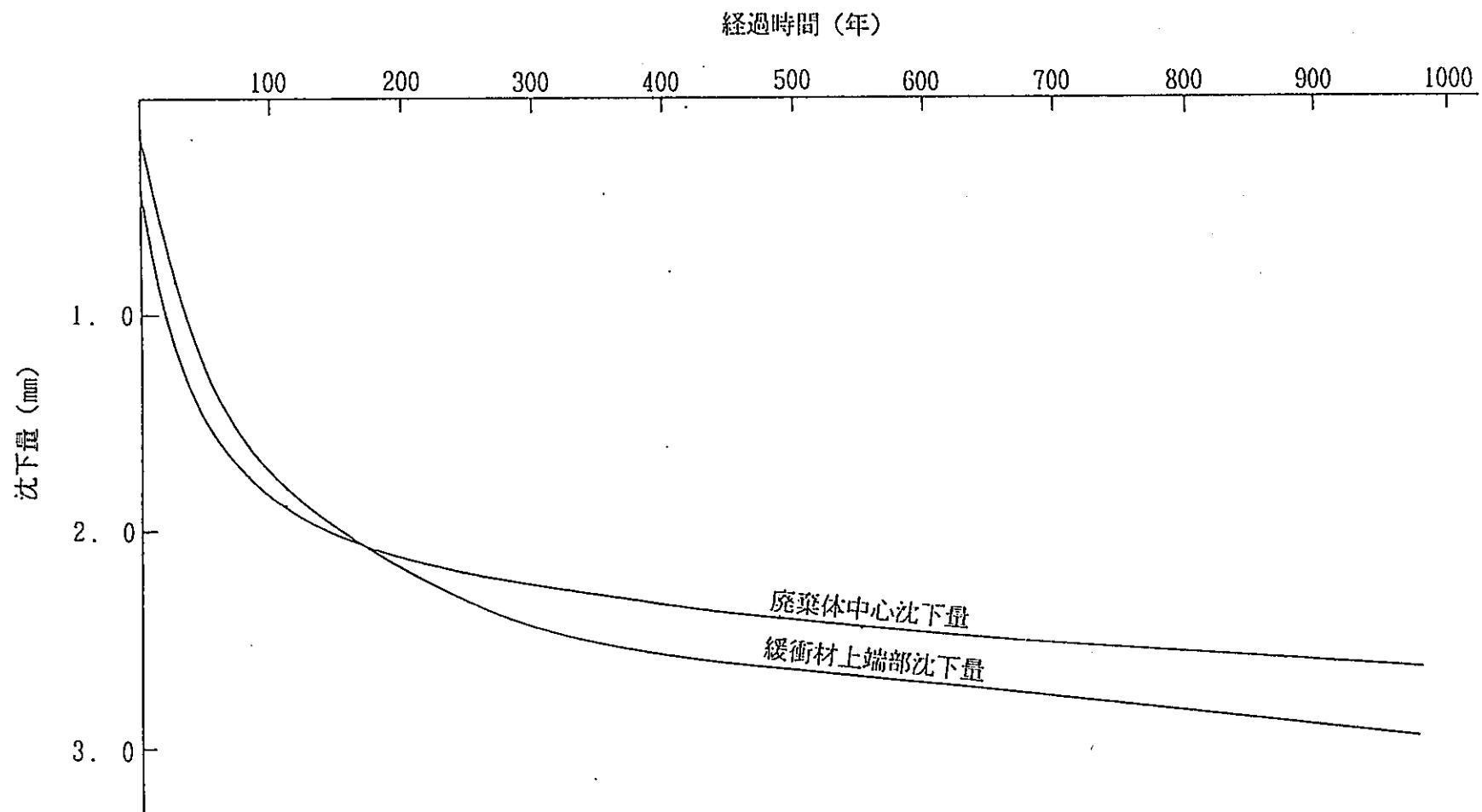


図-4.4.9 圧密・二次圧密解析・沈下曲線（その2）（上半分変位拘束解除）

#### 4.5 まとめと今後の課題

二次元解析における沈下量は、ABAQUSで0.92mm、DACSARでは2.70mmとなつた。数mmという沈下量そのものは、実施工における掘削精度、緩衝材の定置精度を考えれば大きな値とは言えない。しかし両者の間には約3倍の差があり、沈下の傾向もやや異なっている。よって解析が現象をどれだけとらえているかという意味で、両者の違いに検討を加える必要があるものと考える。違いの原因として考えられる事項には、

- ① ABAQUSは一次圧密とクリープを別々に解析して結果を足し合わせているのに対し、DACSARでは一次圧密とクリープに相当する二次圧密を同時に解析している事。
- ② ABAQUSでは軸クリープひずみ速度式によるクリープ解析（粘弾性モデル）をDACSARでは二次圧密（粘性項）として扱っている事。
- ③ ABAQUSでは緩衝材の変形に対して、岩盤との境界にギャップ要素を設けているのに対し、DACSARでは岩盤との境界の上半分の変位拘束を解除して対応している事。

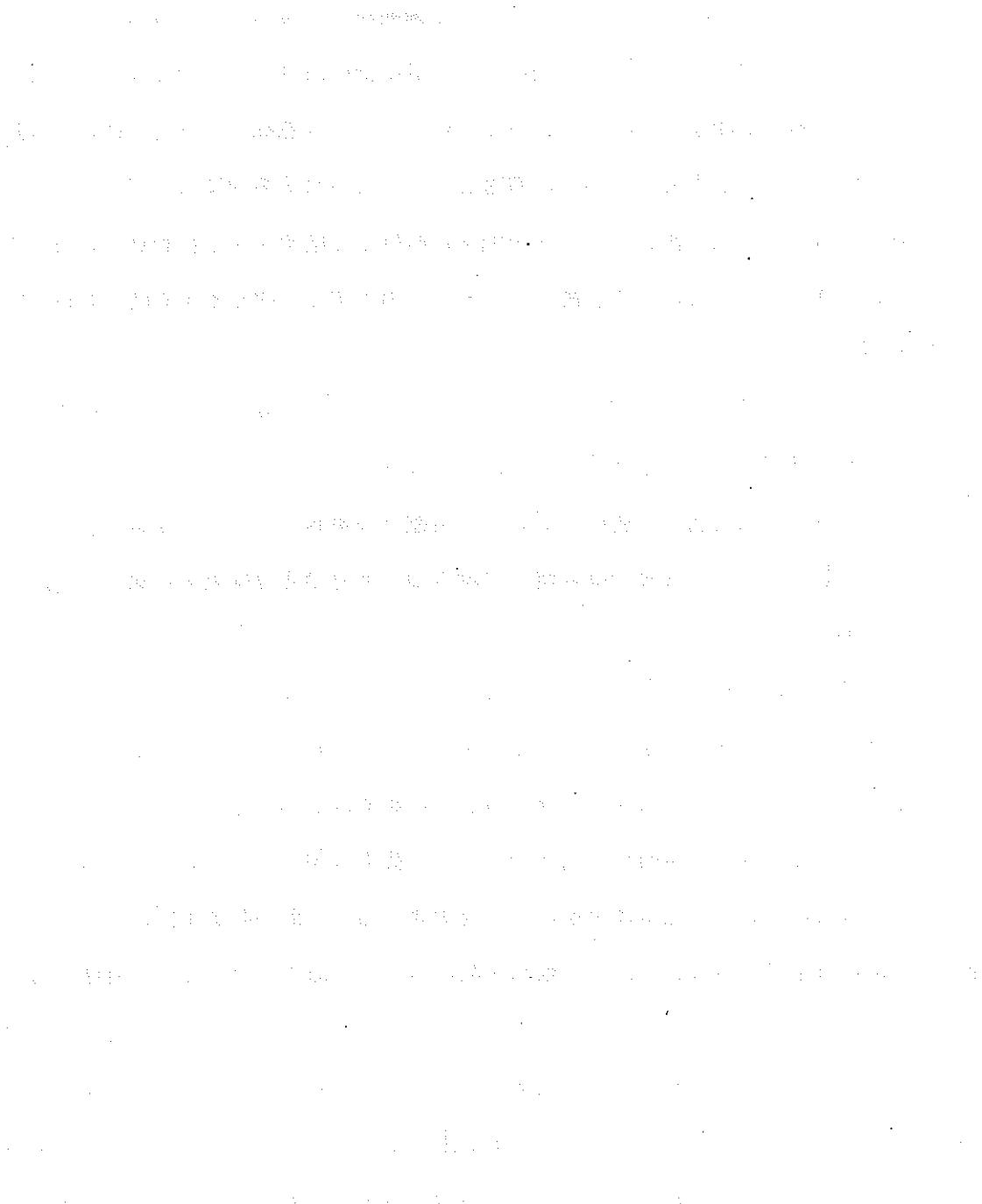
があるが、この内①はそれ程大きな差を生じるものではなく、②についても粘性定数 $\alpha$ 、 $V_0$ の値をクリープ速度式に同定させている（図-4.6.17参照）。よって考えられるのは①の境界条件になる。DACSARでは廃棄体と共に緩衝材上端部も約3mm沈下しているのに対し、ABAQUSでは緩衝材上端部のギャップ要素は開いていない。この事は、ABAQUSの解析において、廃棄体重量により廃棄体上部と下部の間隙水圧に差を生じ、間隙水が外部に排水される代わりにこの動水勾配に沿って上部へ回り込んだ可能性が考えられる。

一方、DACSARにおける上端部の緩衝材の沈下についても、緩衝材の膨潤特性を考えると、実現象として岩盤と緩衝材の間に空隙が生ずるとは考えにくい。従って、廃棄体の沈下現象を緩衝材の圧密現象としてとらえる事の妥当性、緩衝材の膨潤特性の考慮方法等、なお検討が必要と考えられる。

この他、ABAQUSにおいてクリープ則をせん断ひずみ速度式とした場合の予測沈下量、この場合のユーザーサブルーチン作成などが課題としてあげられよう。

#### 4.6 添付資料（出力図）

以降に緩衝材変位や応力コンター等、解析結果の出力図を示す。



図一盤 6. 1 二次元圧密解析・緩衝材変位図

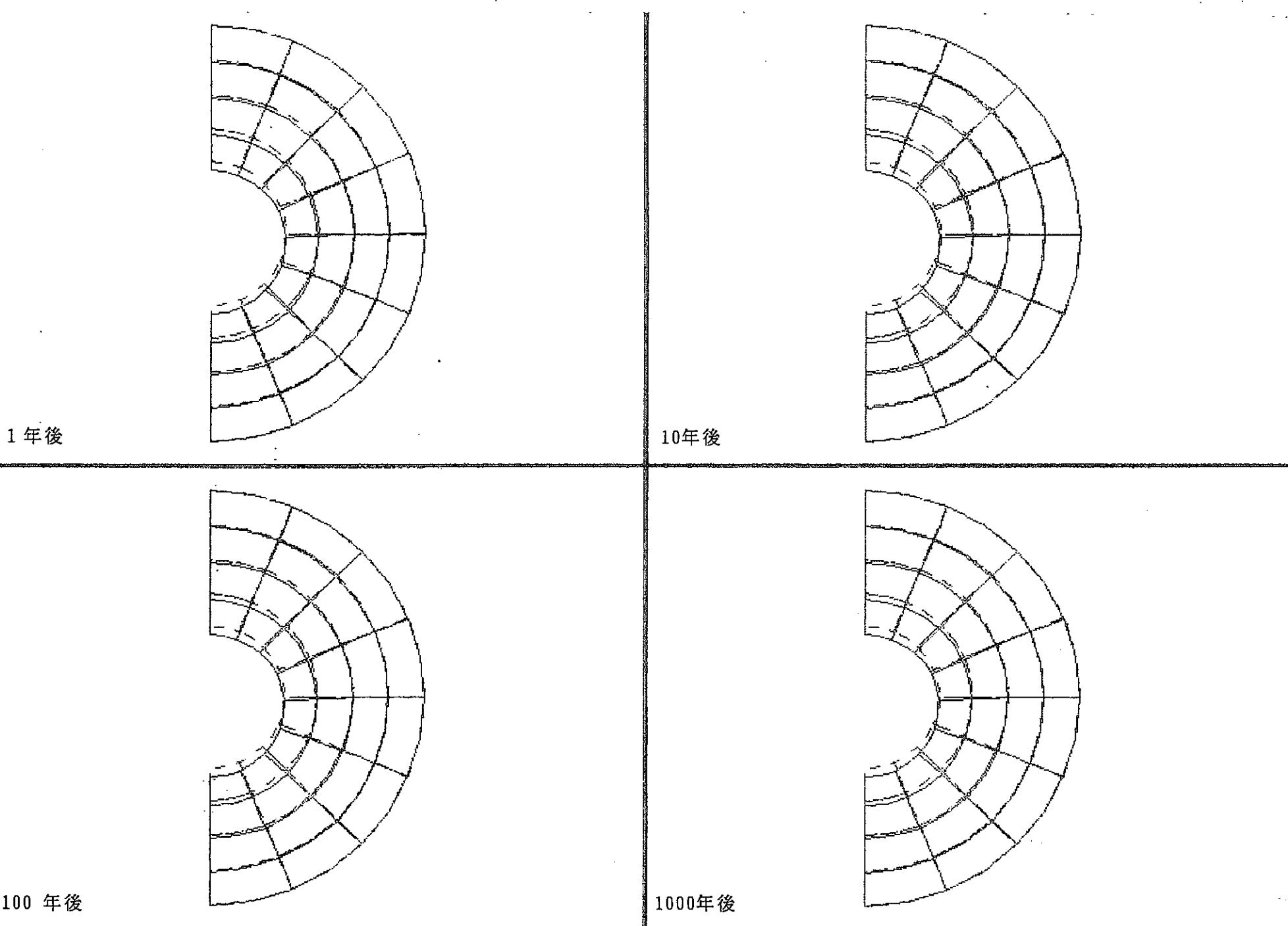


図-4.6.2 二次元圧密解析・緩衝材応力コンター(水平方向)

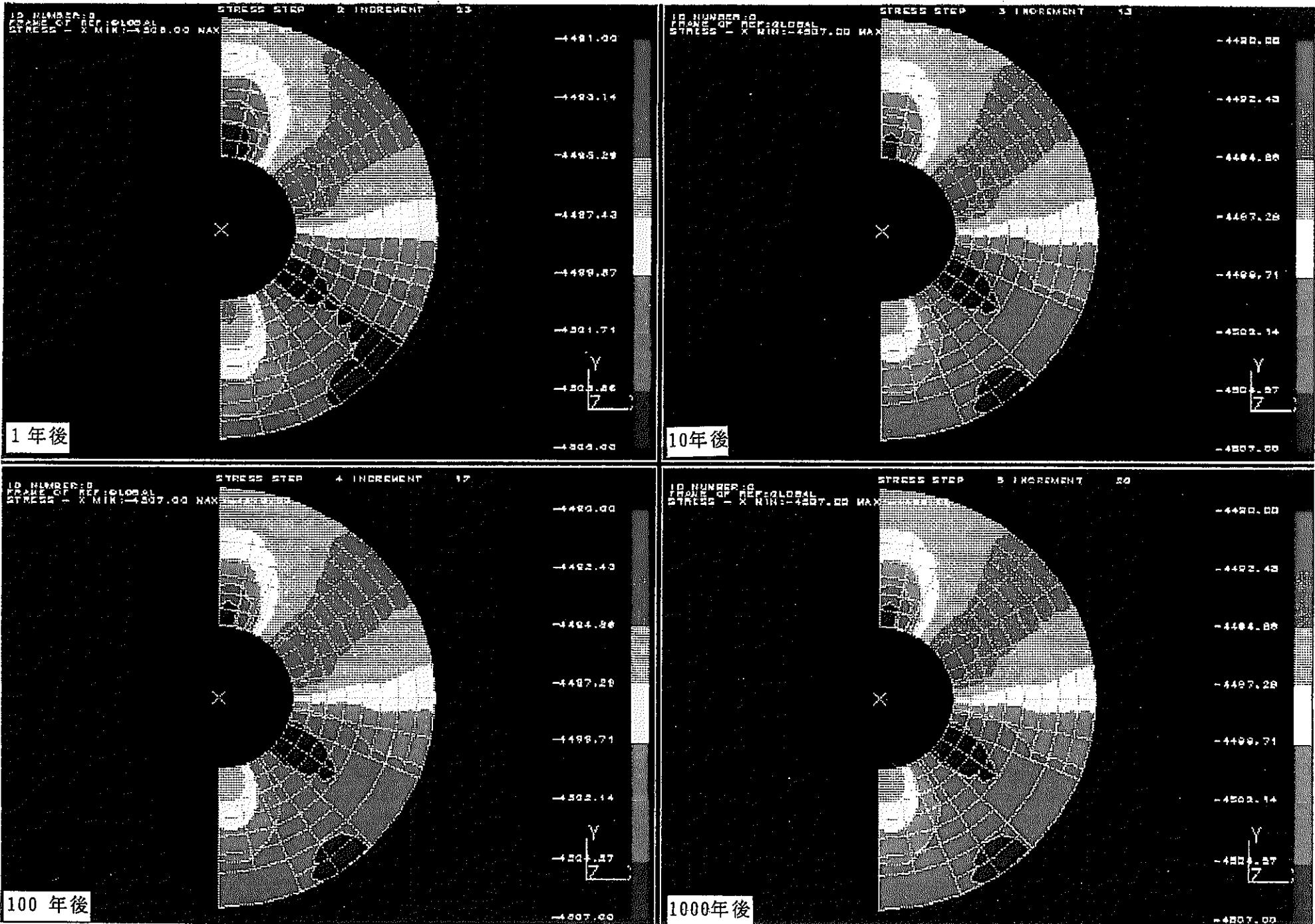


図-4.6.3 二次元圧密解析・緩衝材応力センター（垂直方向）

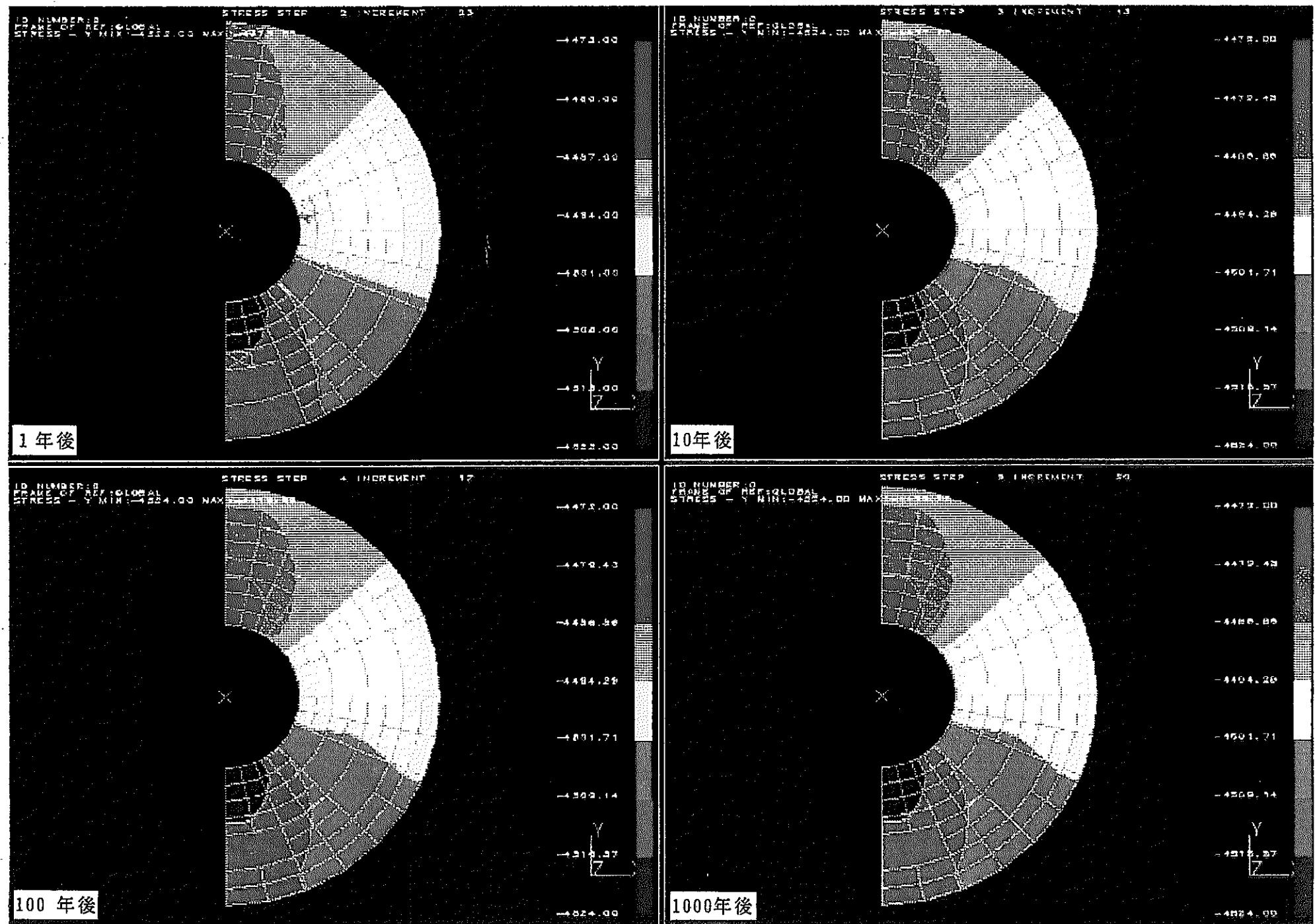


図-4-6. 4 二次元圧密解析・オーバーパック応力センター(水平方向)

-4-31-

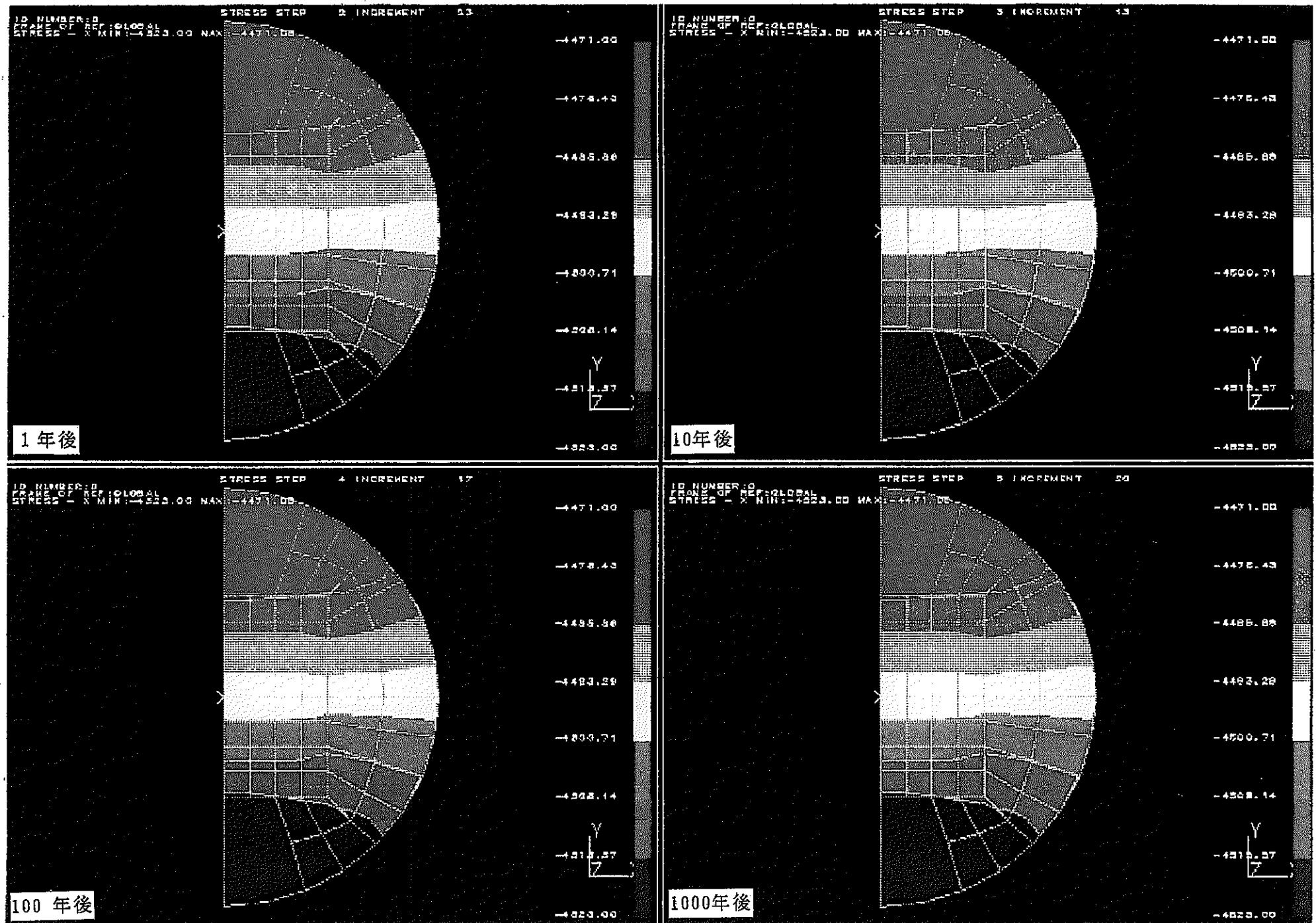
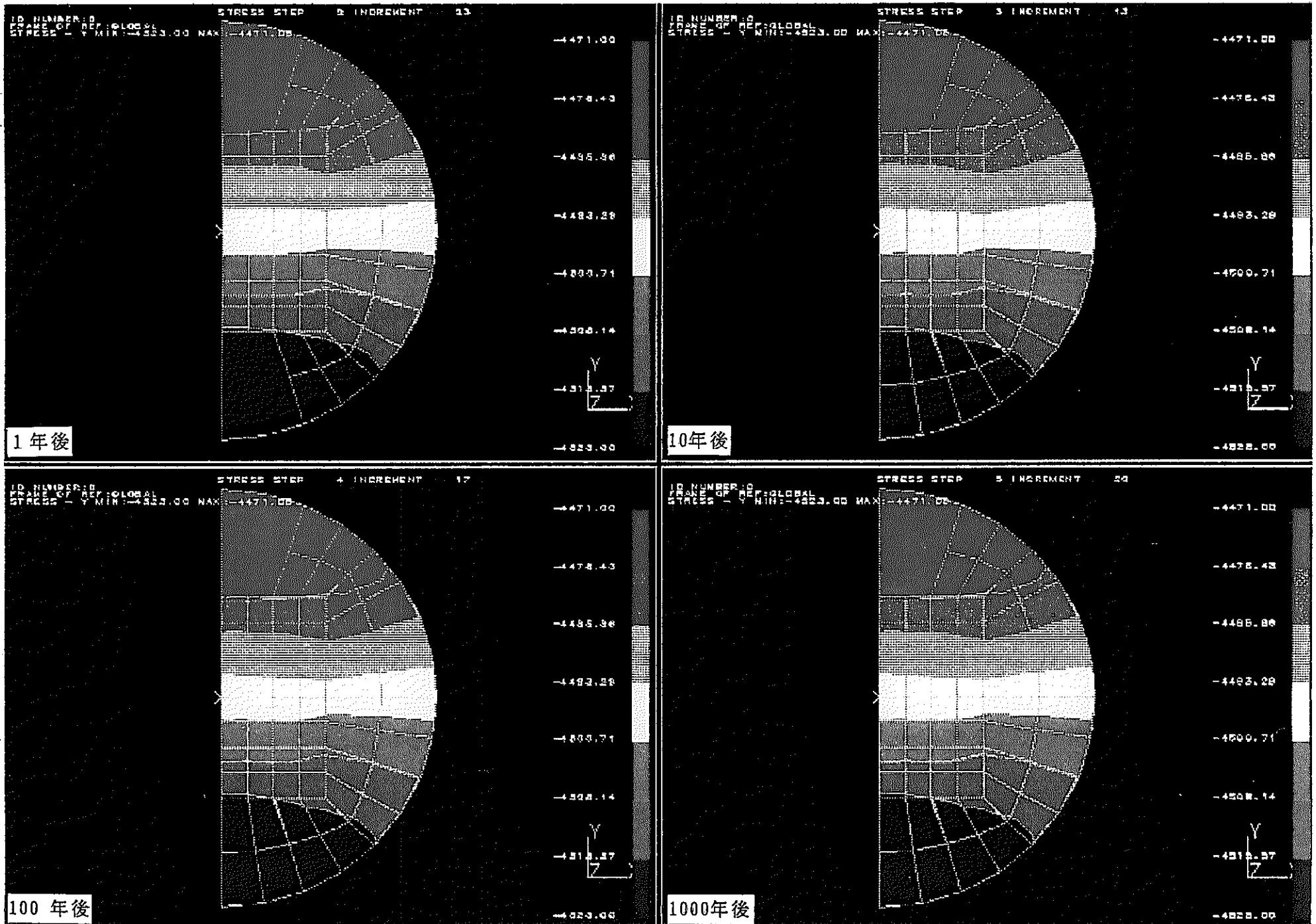


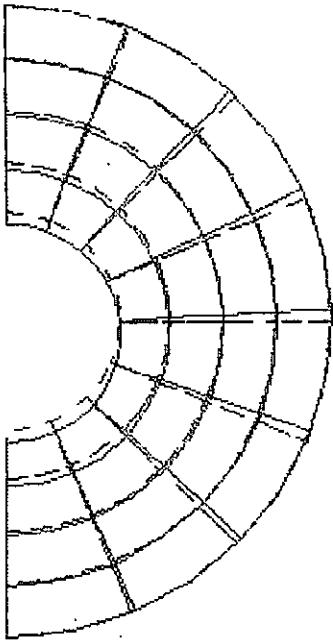
図-4.6.5 二次元圧密解析・オーバーパック応力コントローラー(垂直方向)



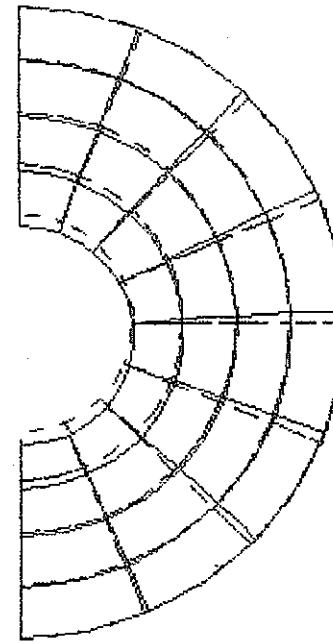
図一覧6.6 二次元クリープ解析・緩衝材変位図

-4-35-

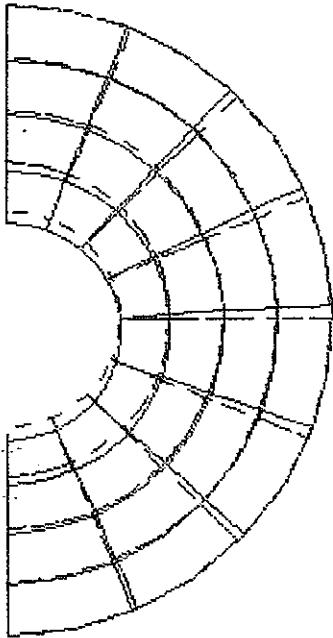
1年後



10年後



100年後



1000年後

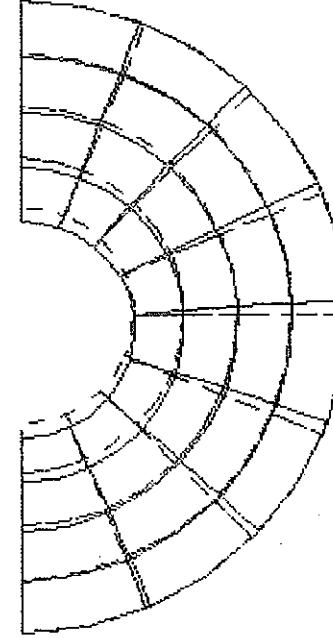


図-4.6.7 二次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（水平方向）

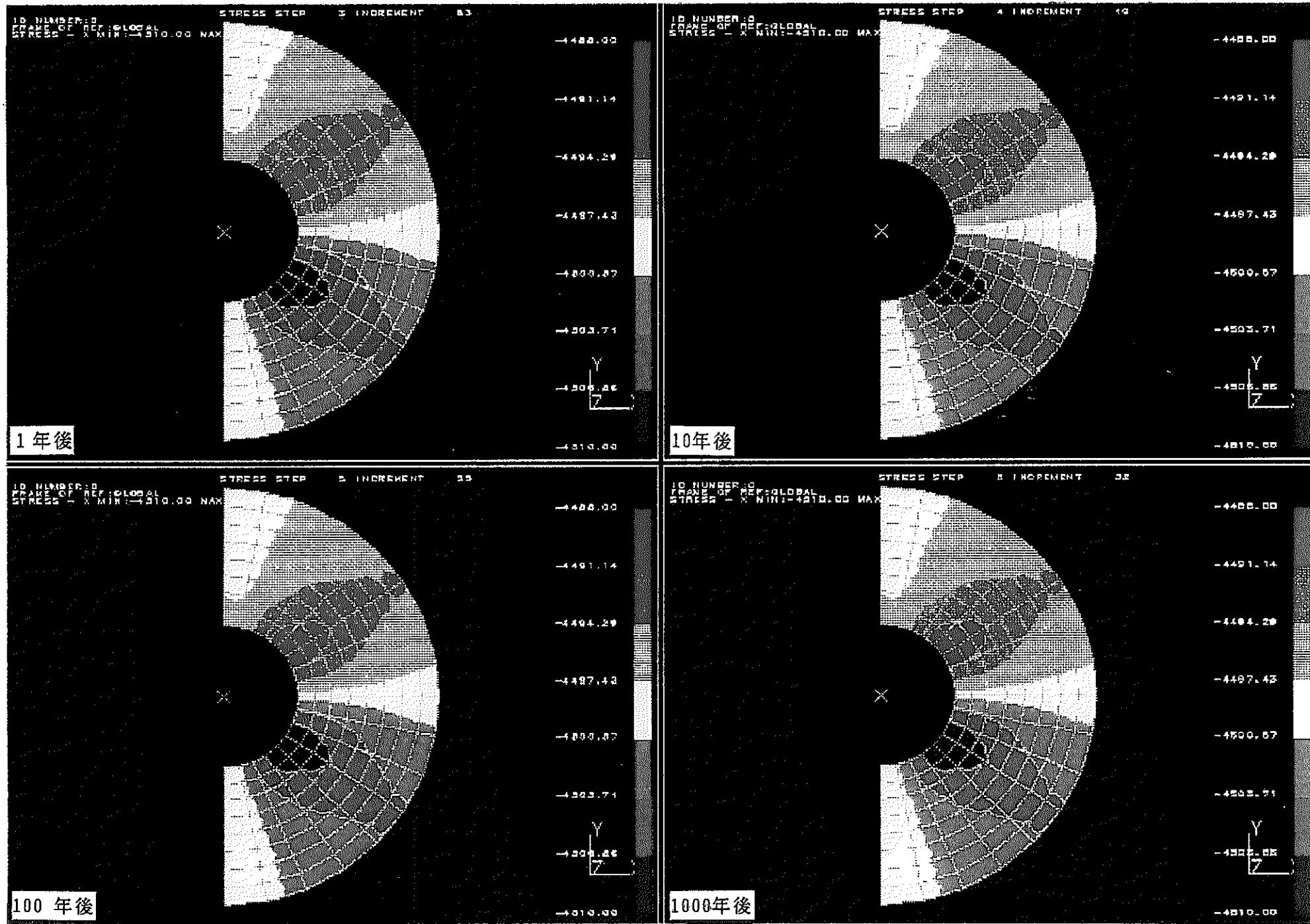
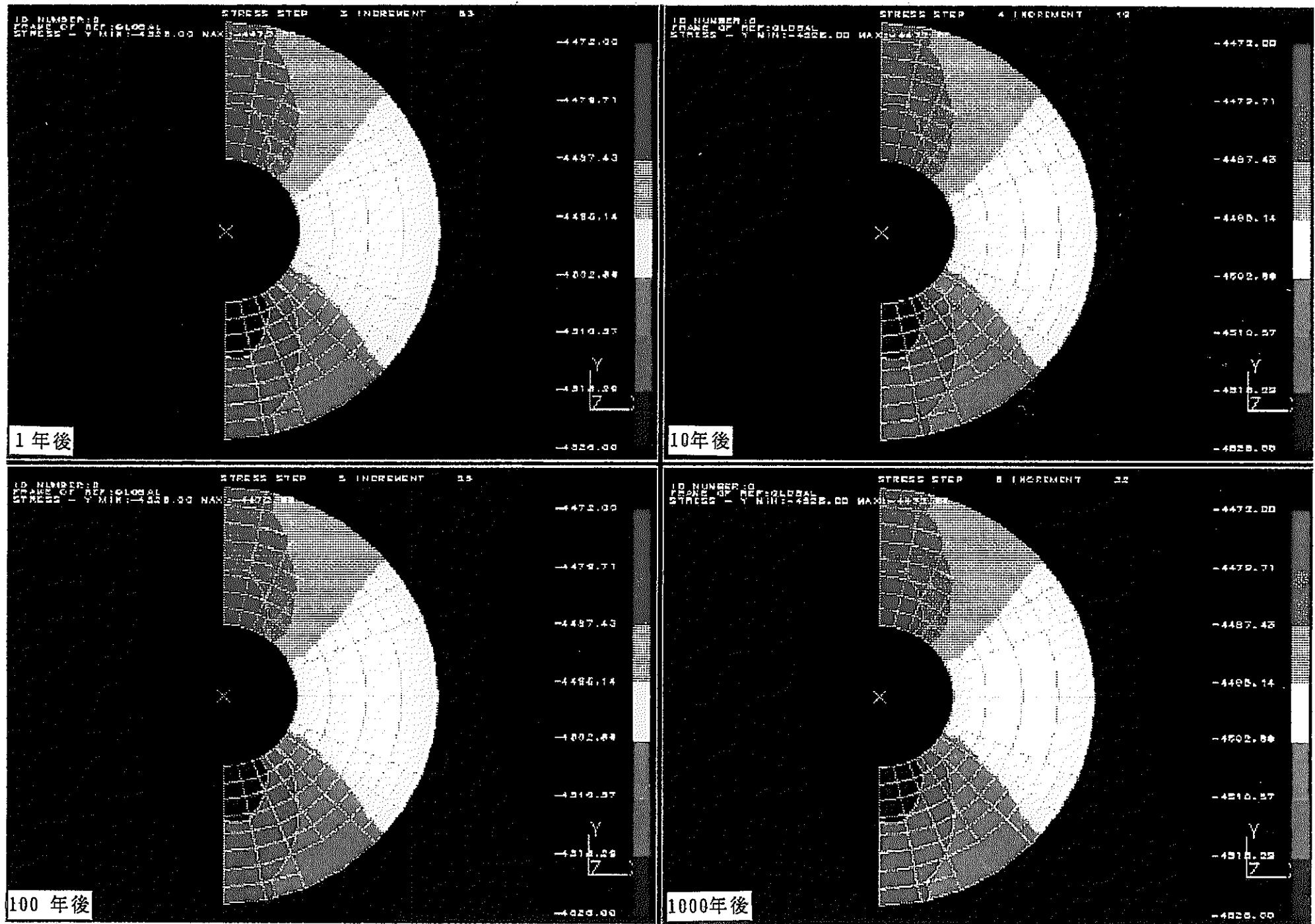
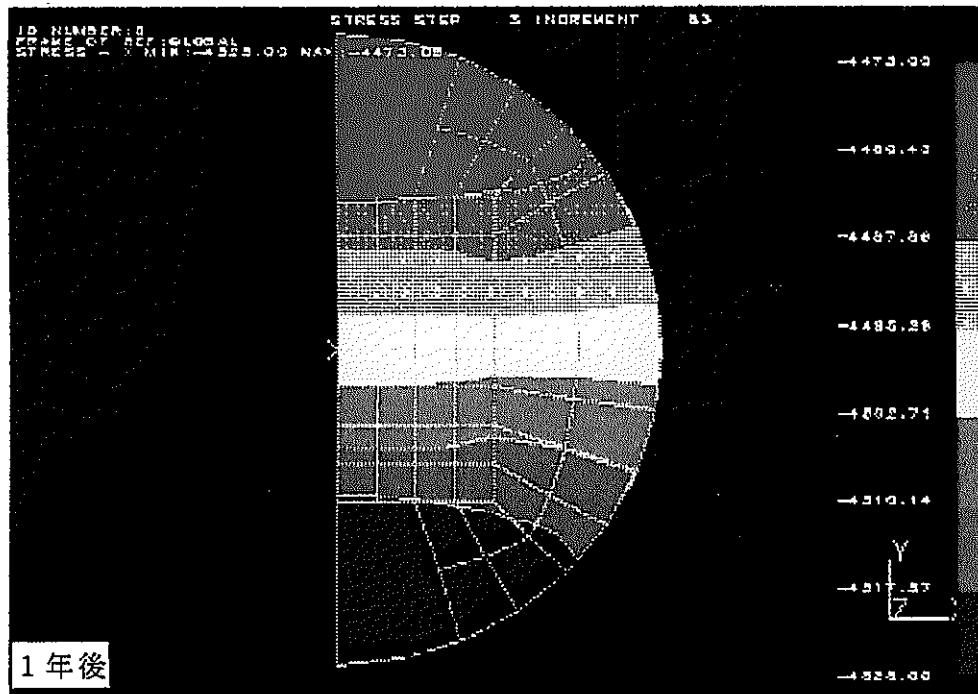


図-4.6.8 二次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）

-4-39-





1年後



10年後



100年後



1000年後

図-4-6.10 二次元クリーフ解析・オーバーパック応力コンター（垂直方向）

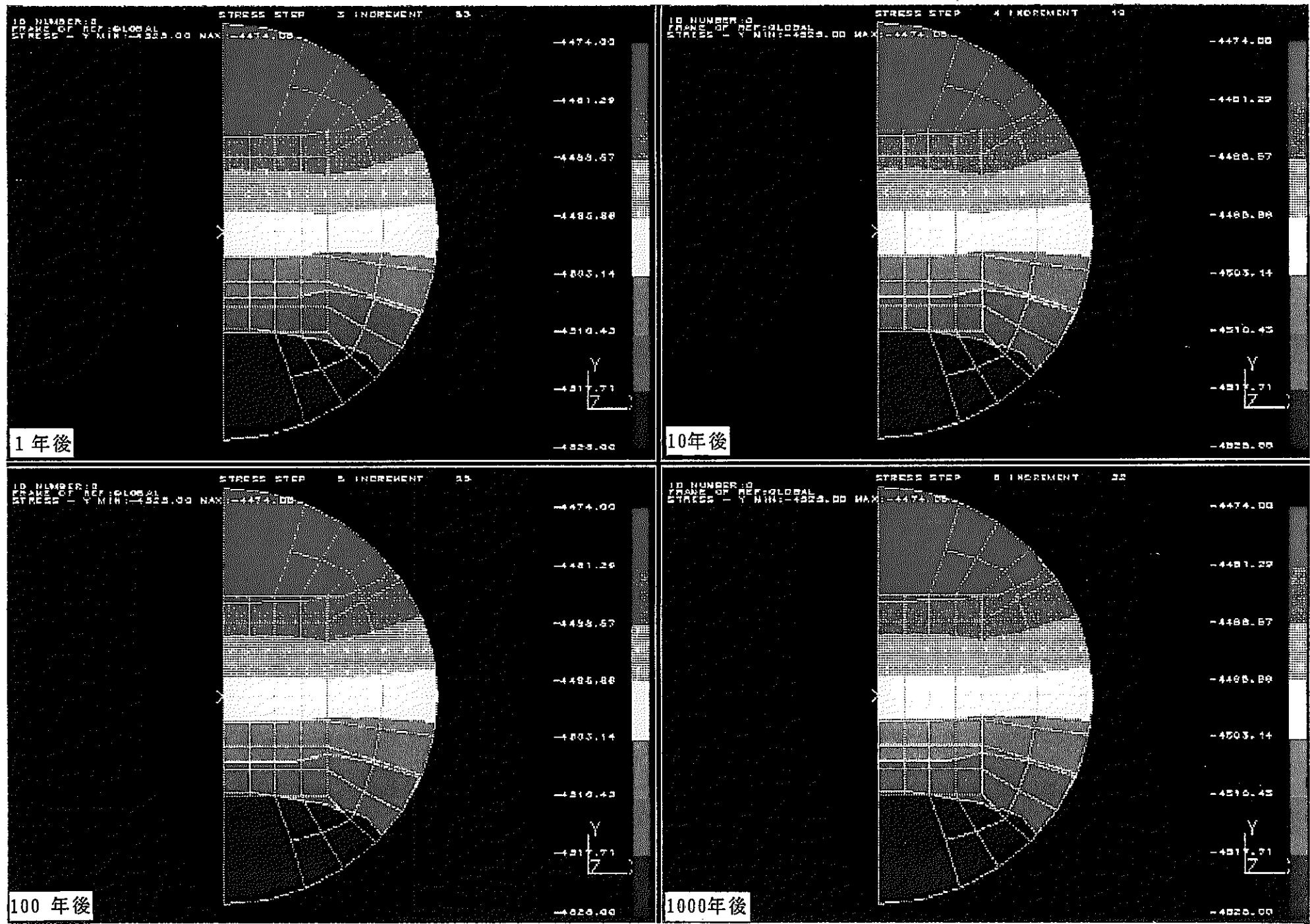


図-4-6-11 三次元ひび割れ・緩衝材変位図

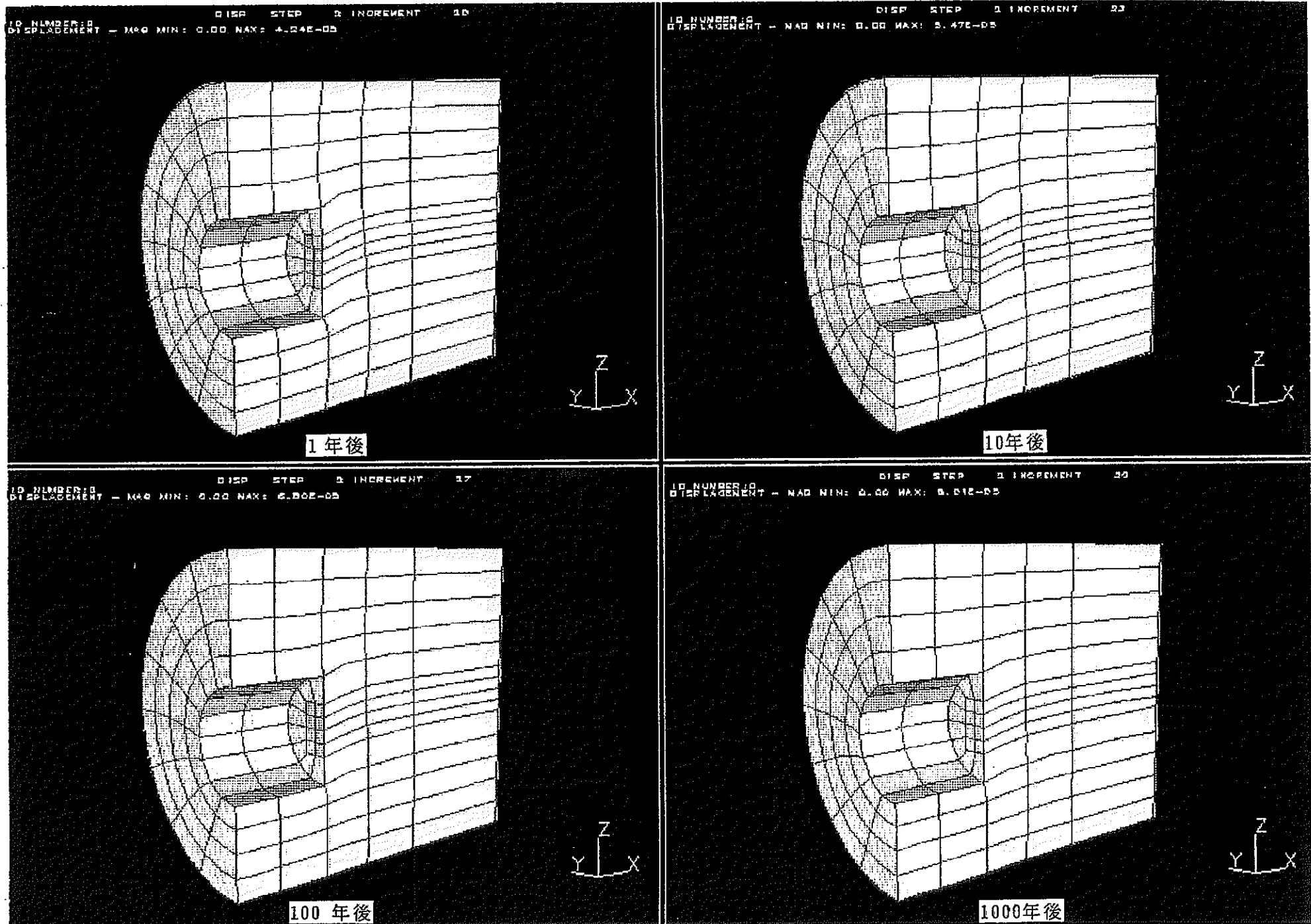
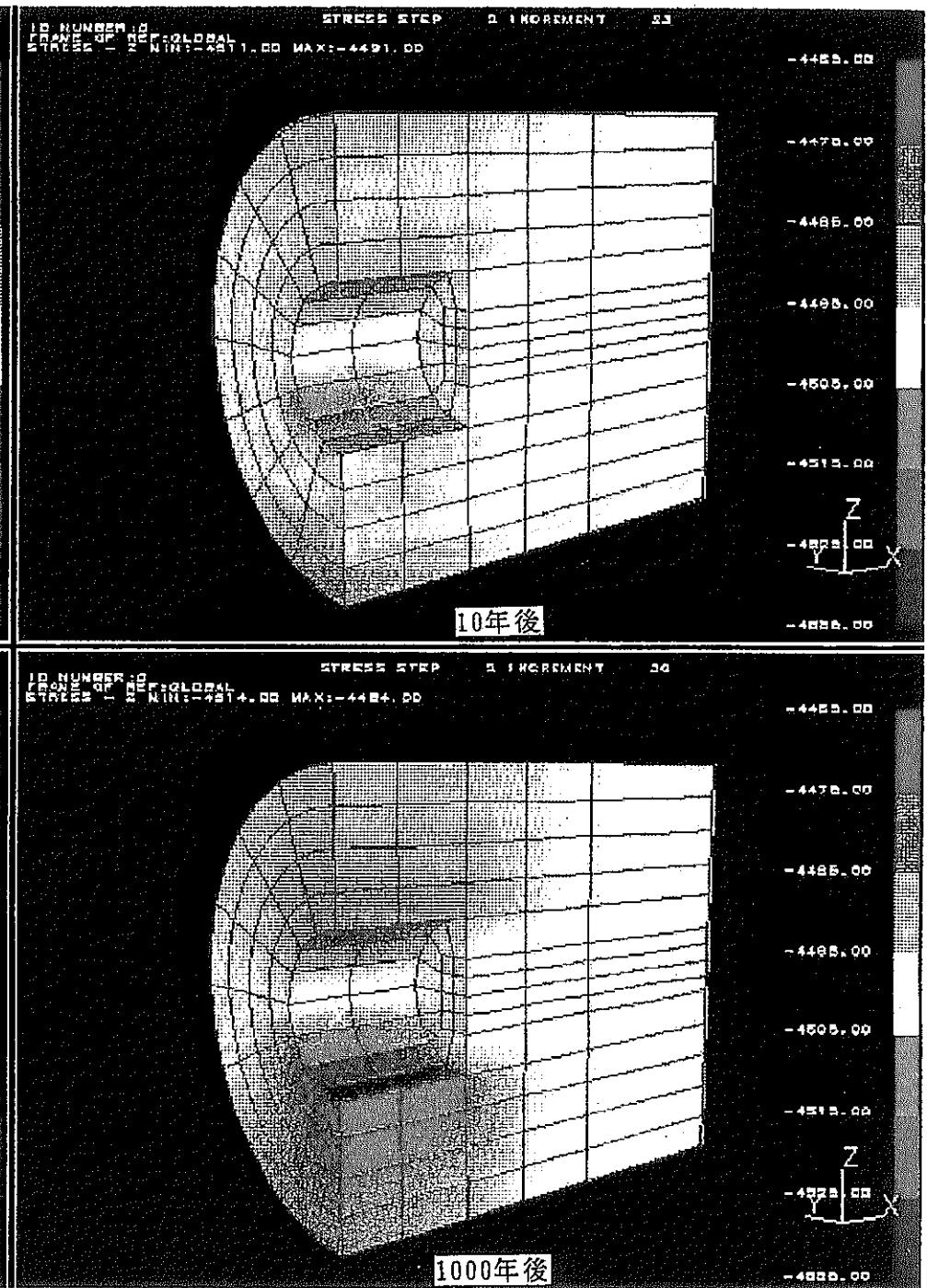
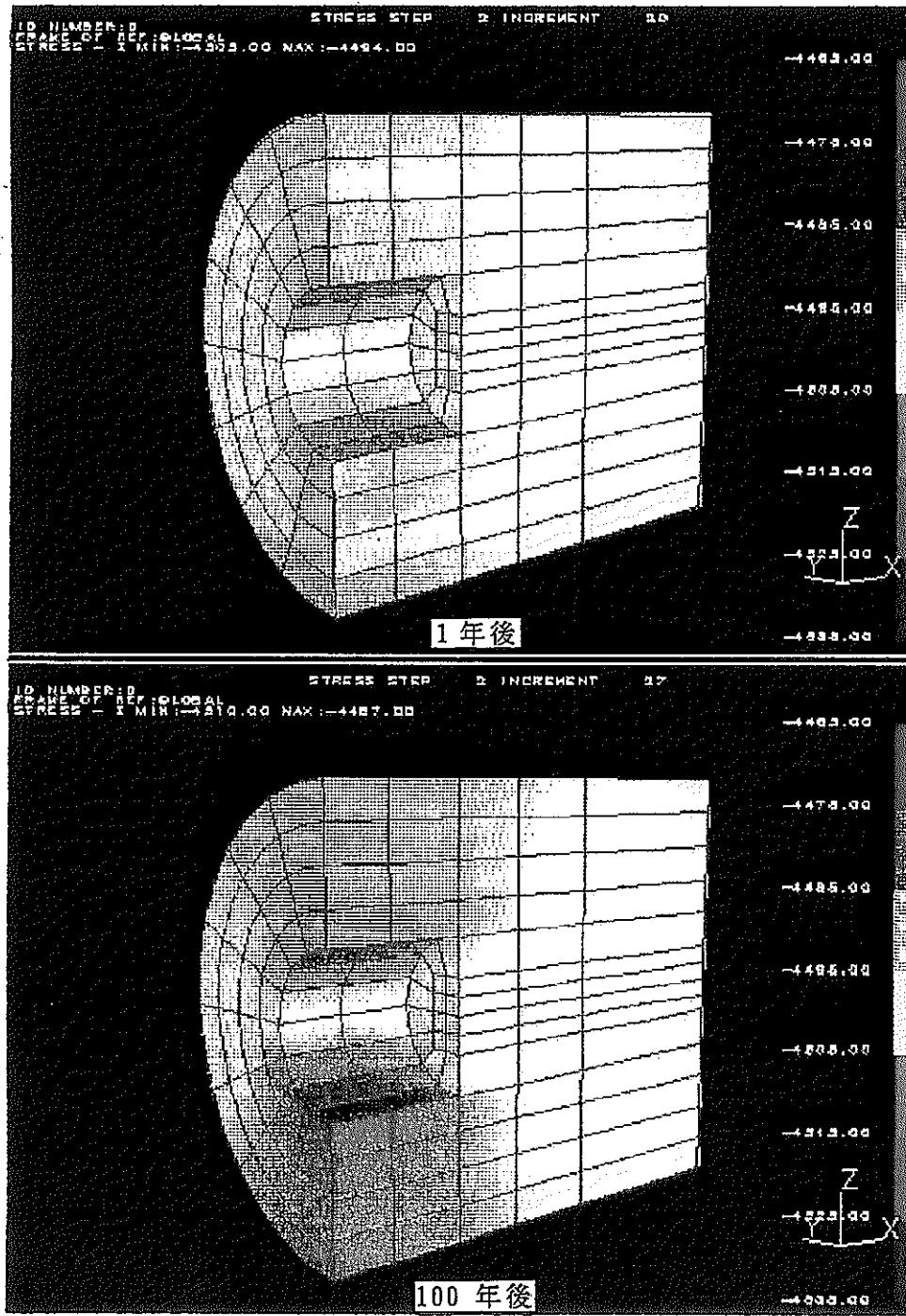
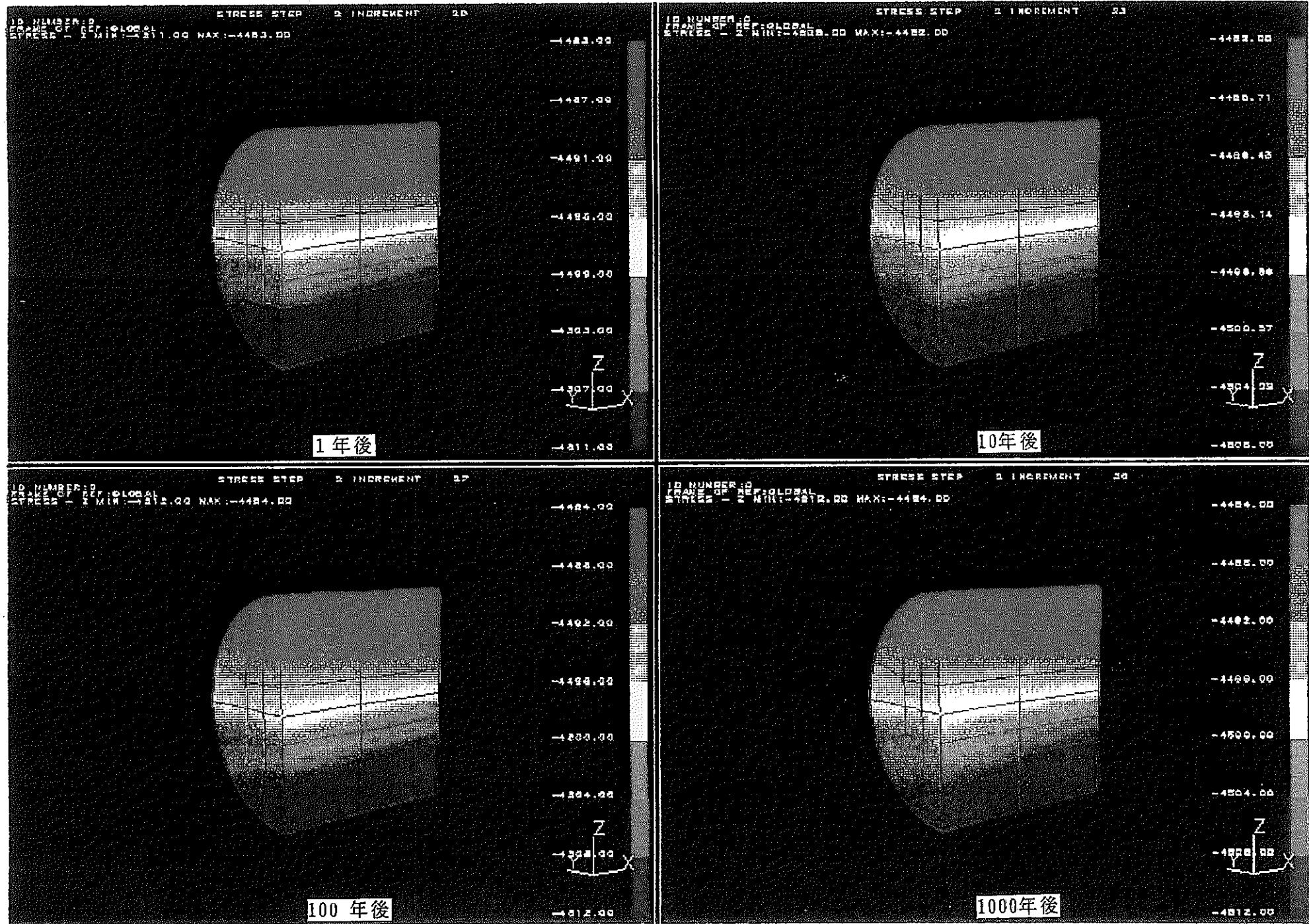


図-4.6.12 三次元圧密解析・緩衝材応力センター（垂直方向）



図一-46.13 三次元圧密解析・オーバーパック応力センター(垂直方向)



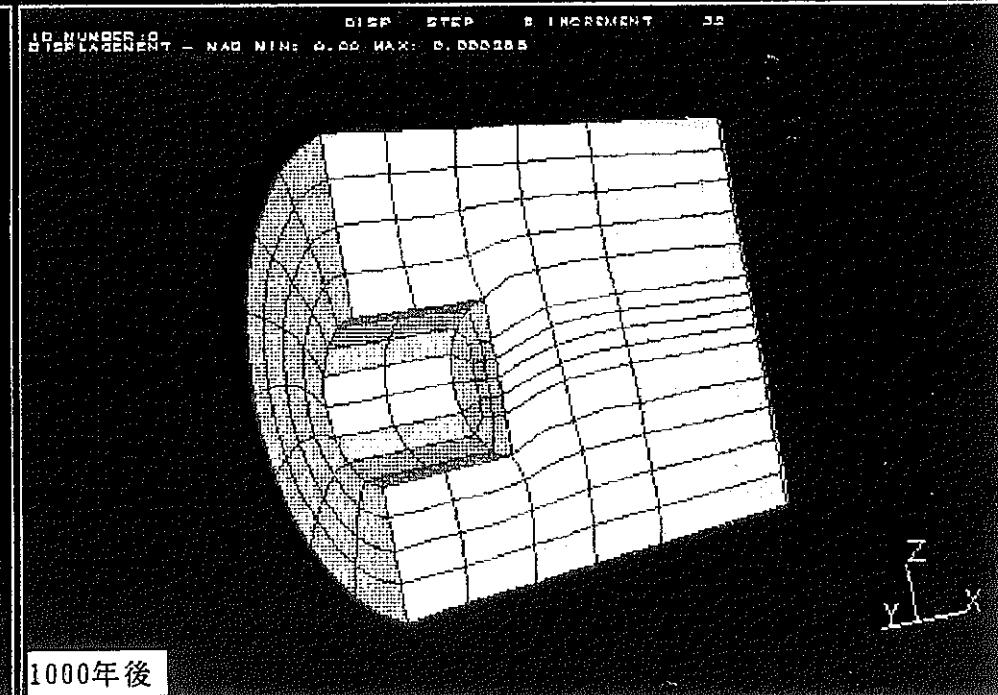
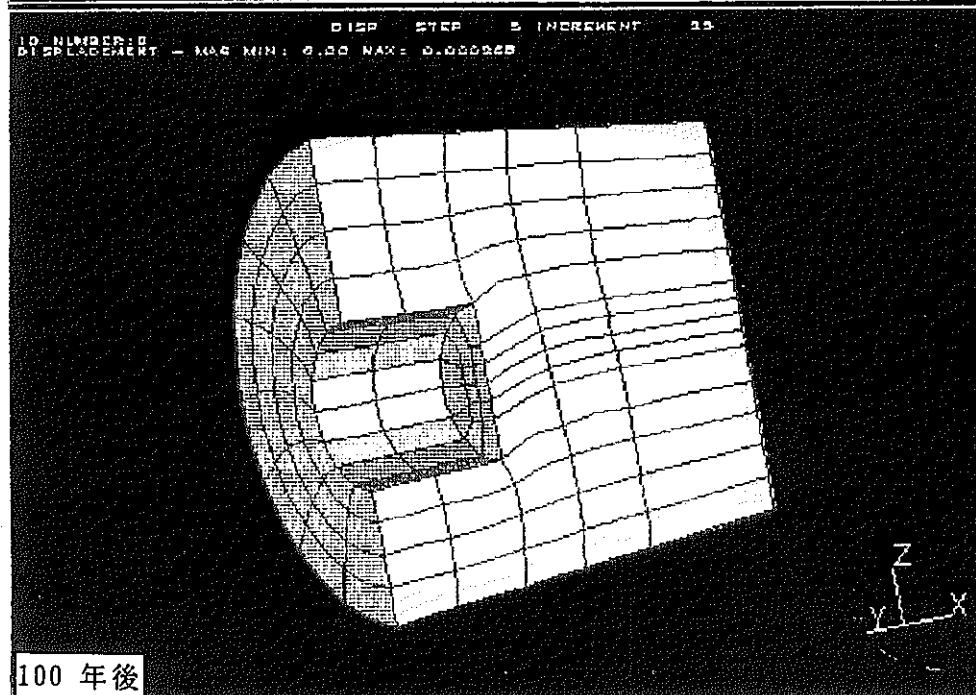
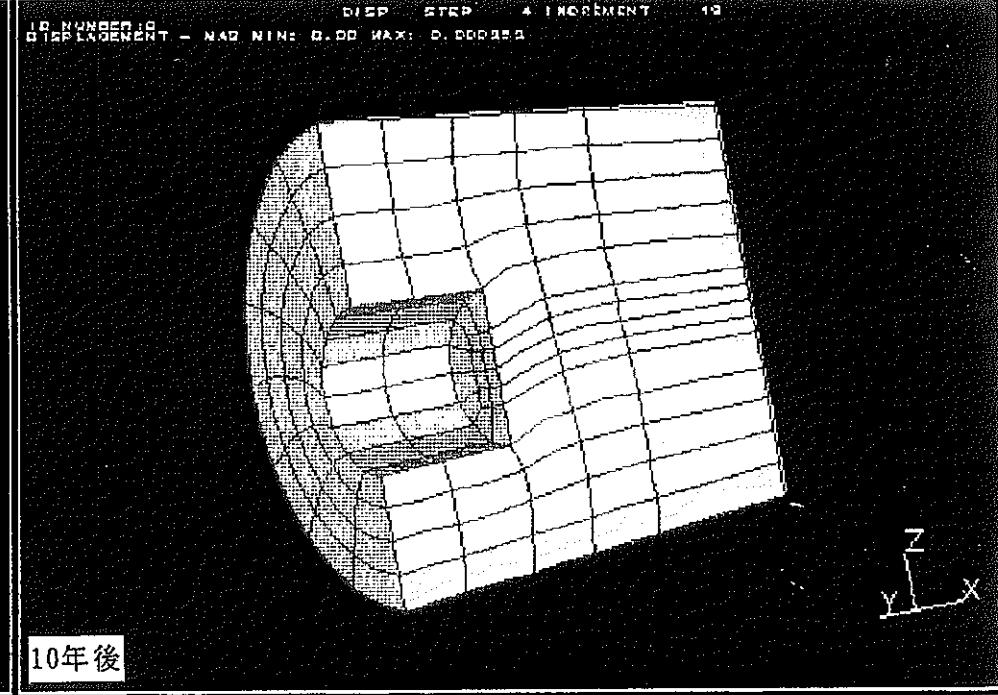
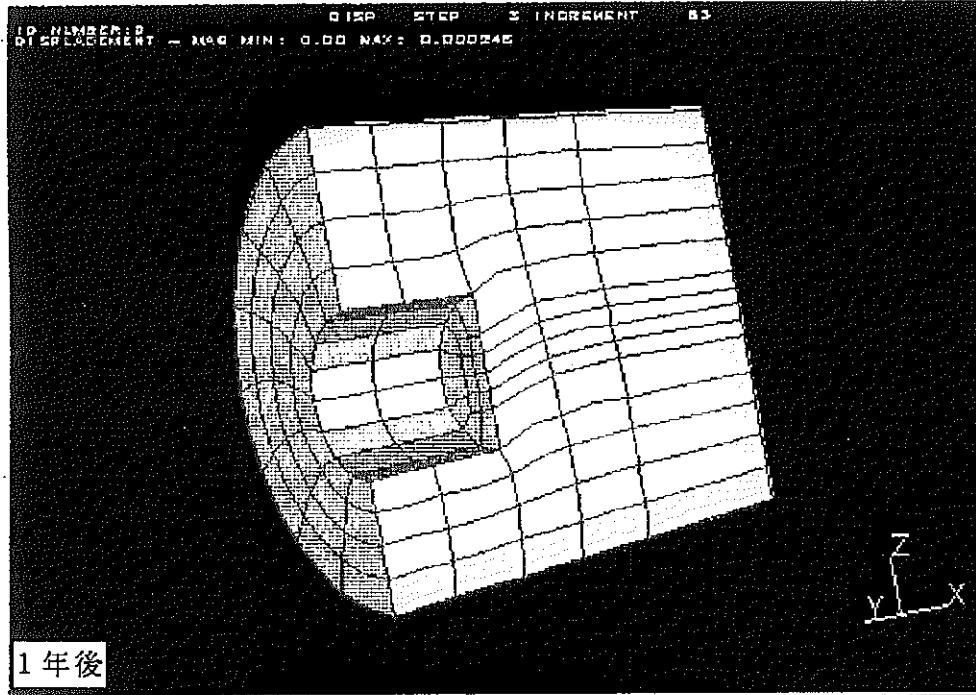


図-4-6.14 三次元クリープ解析・緩衝材変位図

図-4-6.15 三次元クリープ解析・緩衝材応力コンター（垂直方向）

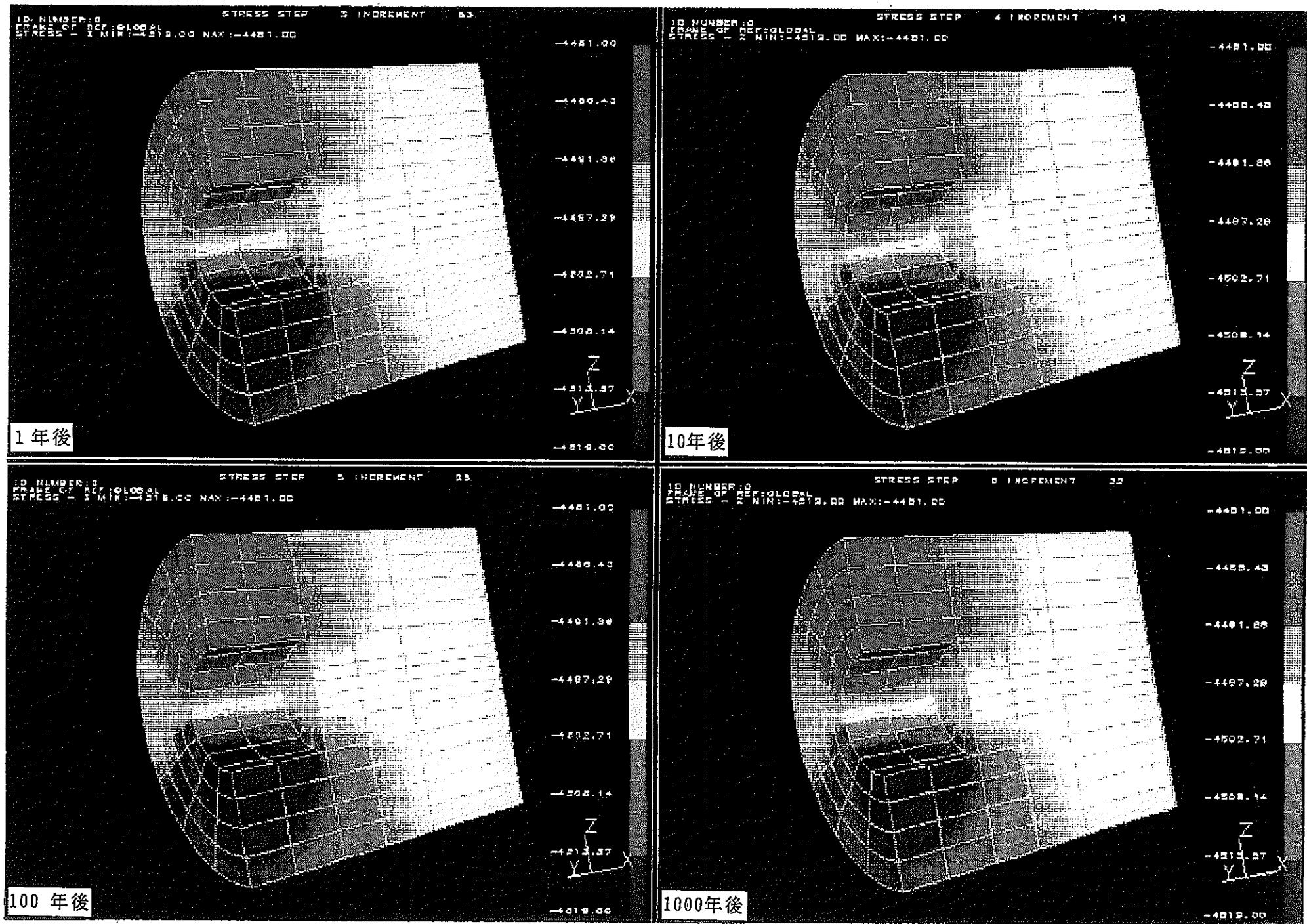
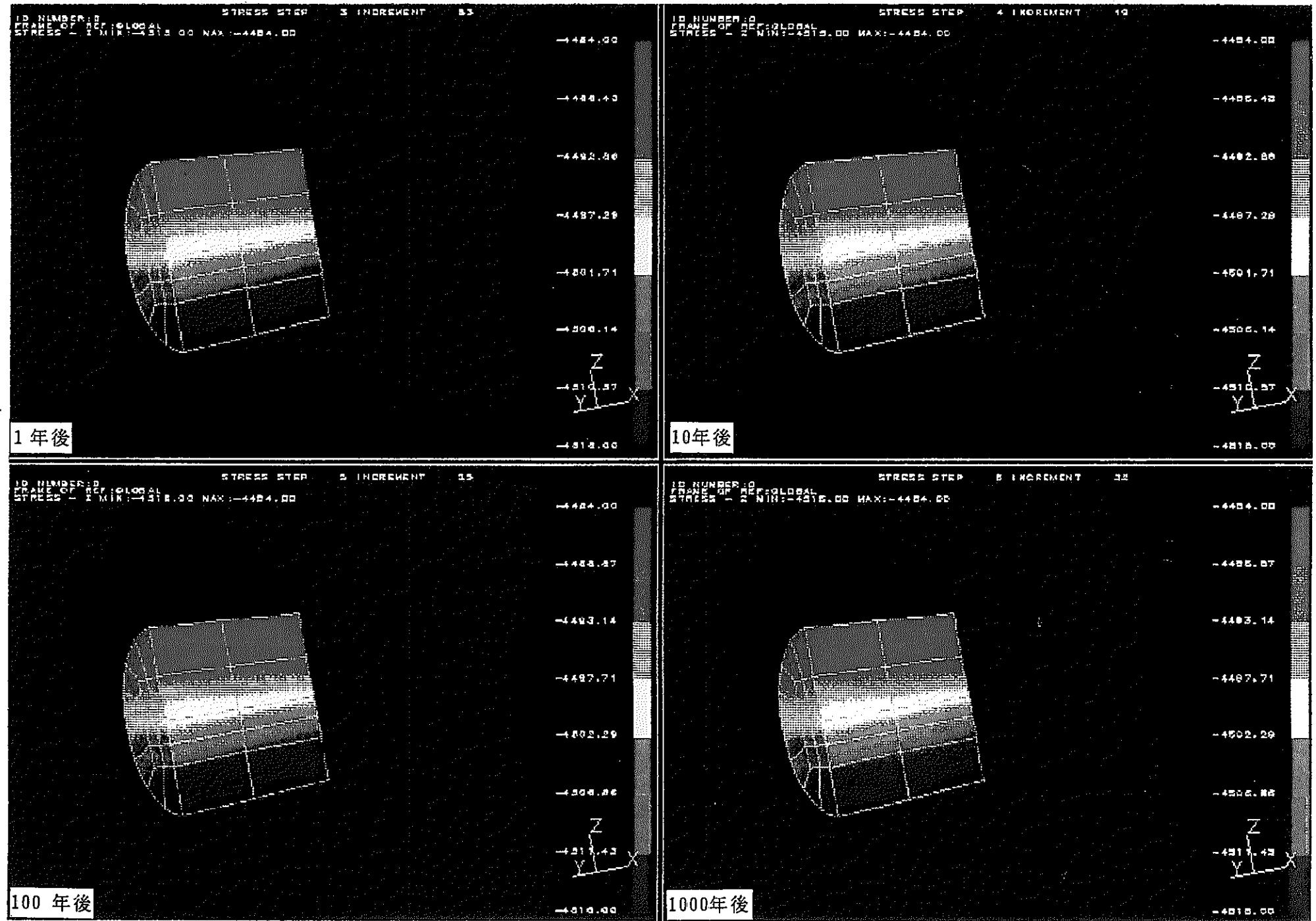


図-4:6-16 三次元クリープ解析。オーバーパック応力センター（垂直方向）



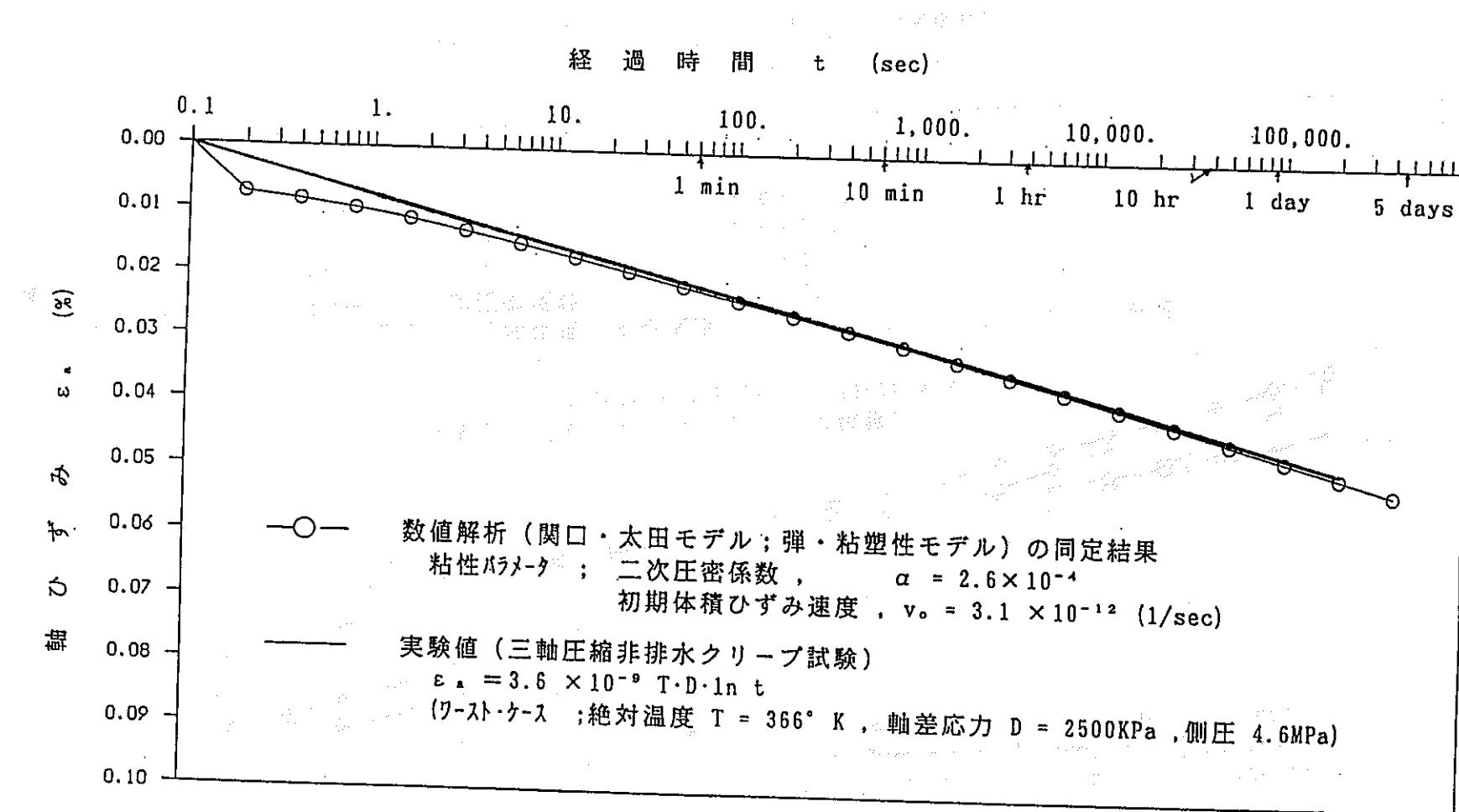


図-4.6.17 粘性定数 ( $\alpha$ 、 $V_0$ ) の同定結果

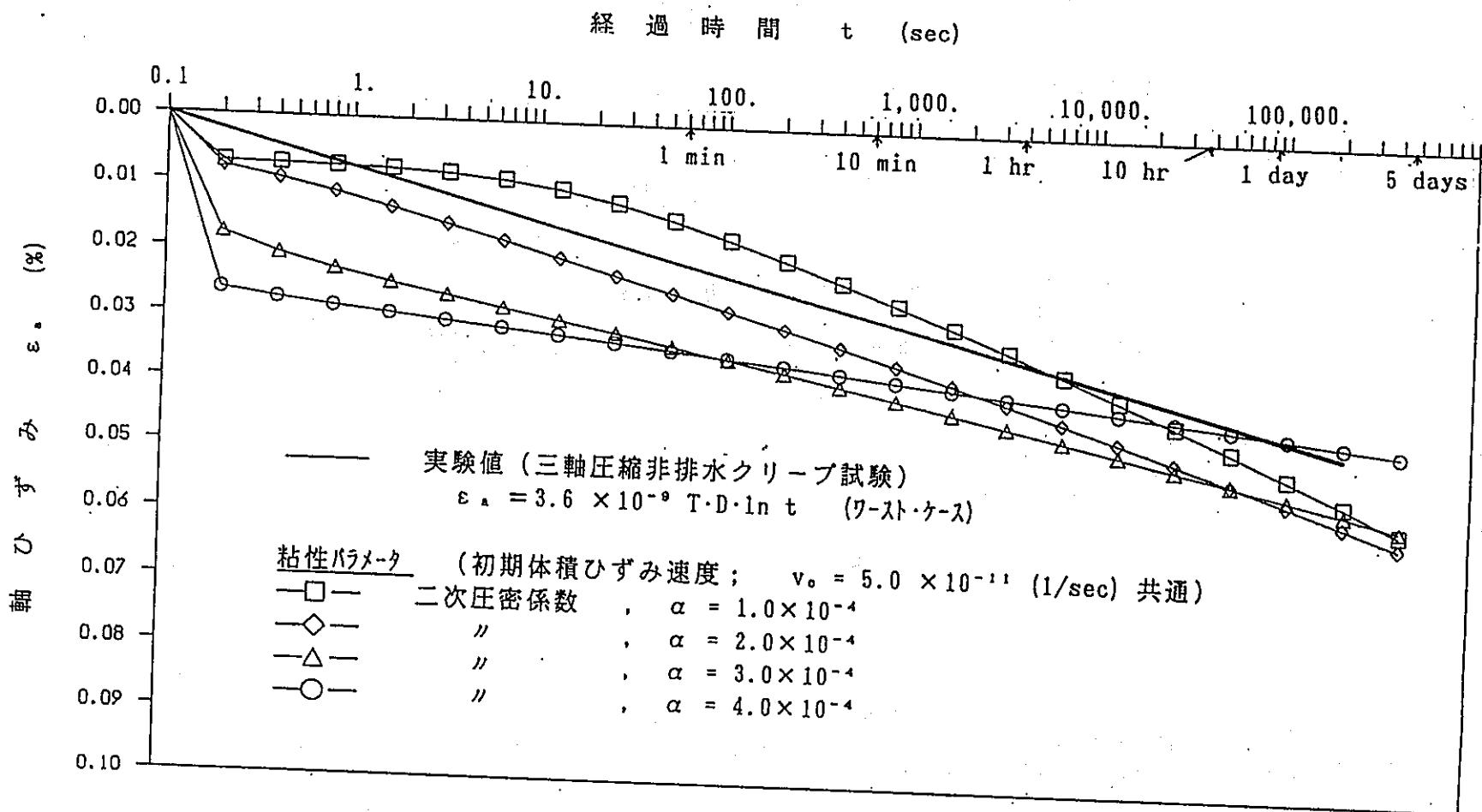


図-4.6.18 粘性定数  $\alpha$  (二次圧密係数) の感度検証

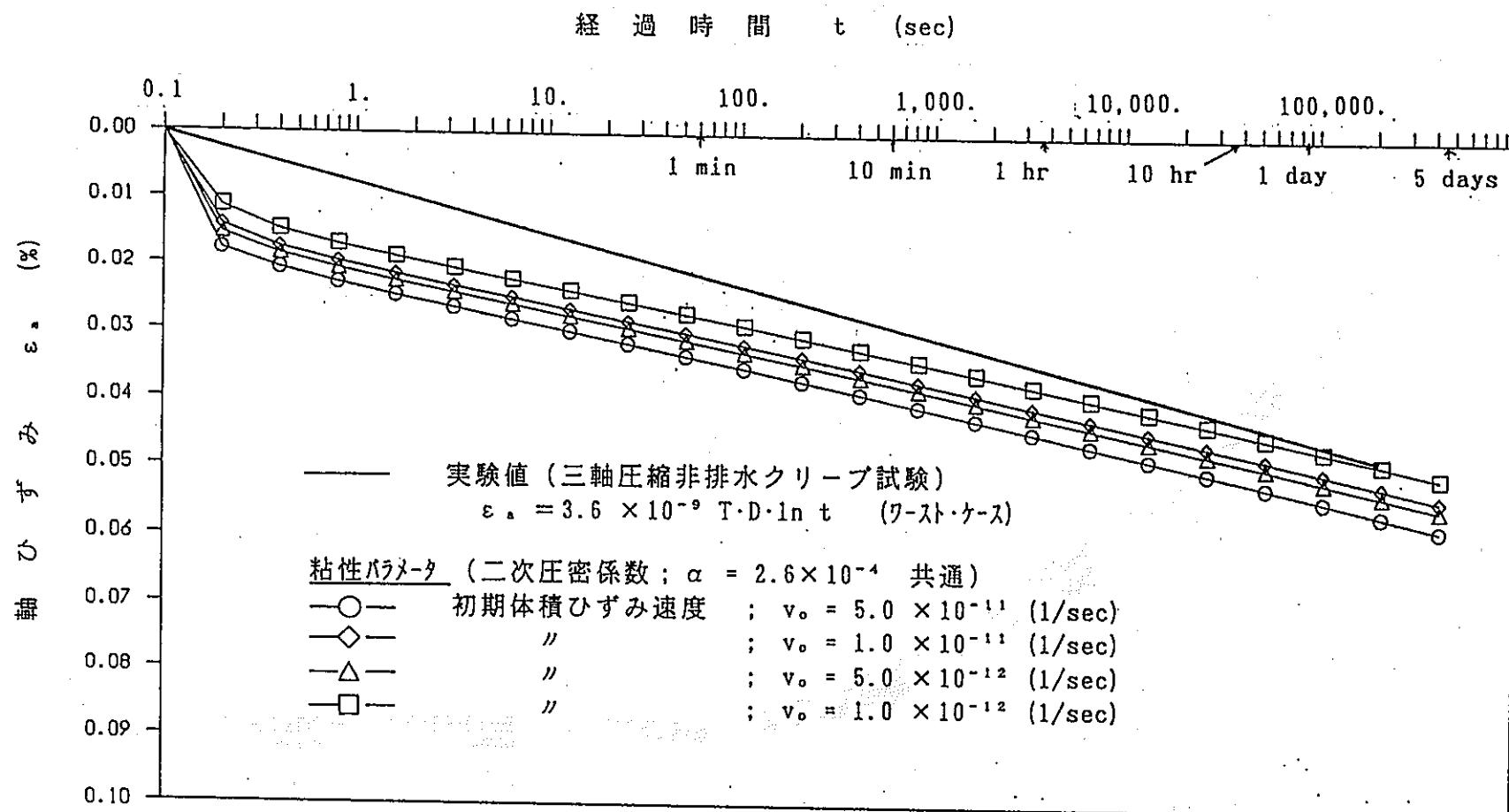


図-4.6.19 粘性定数  $V_0$  (初期体積ひずみ速度) の感度検証

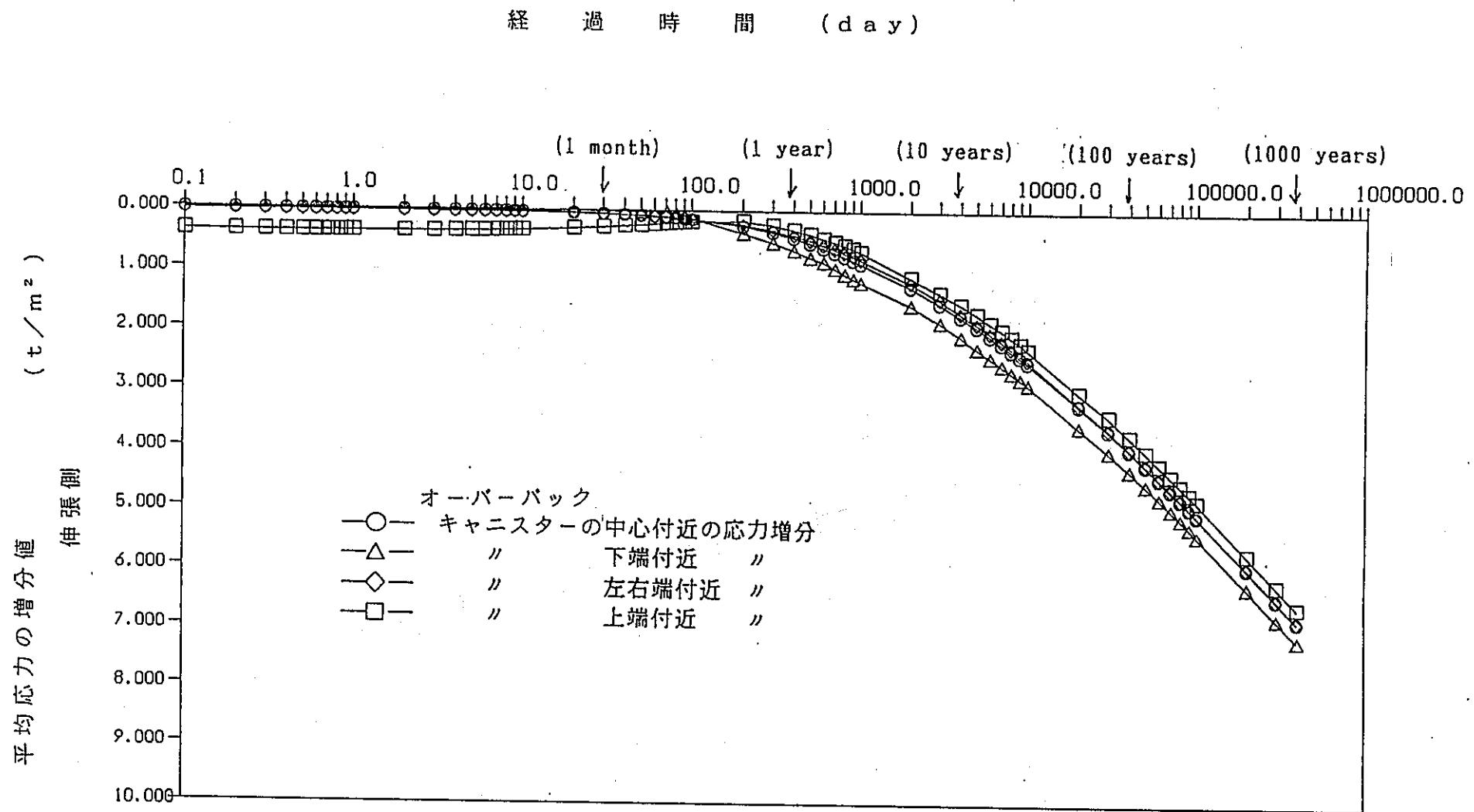


図-4.6.20 圧密・二次圧密解析・オーバーパックの応力増分（予備ケース・変位拘束）

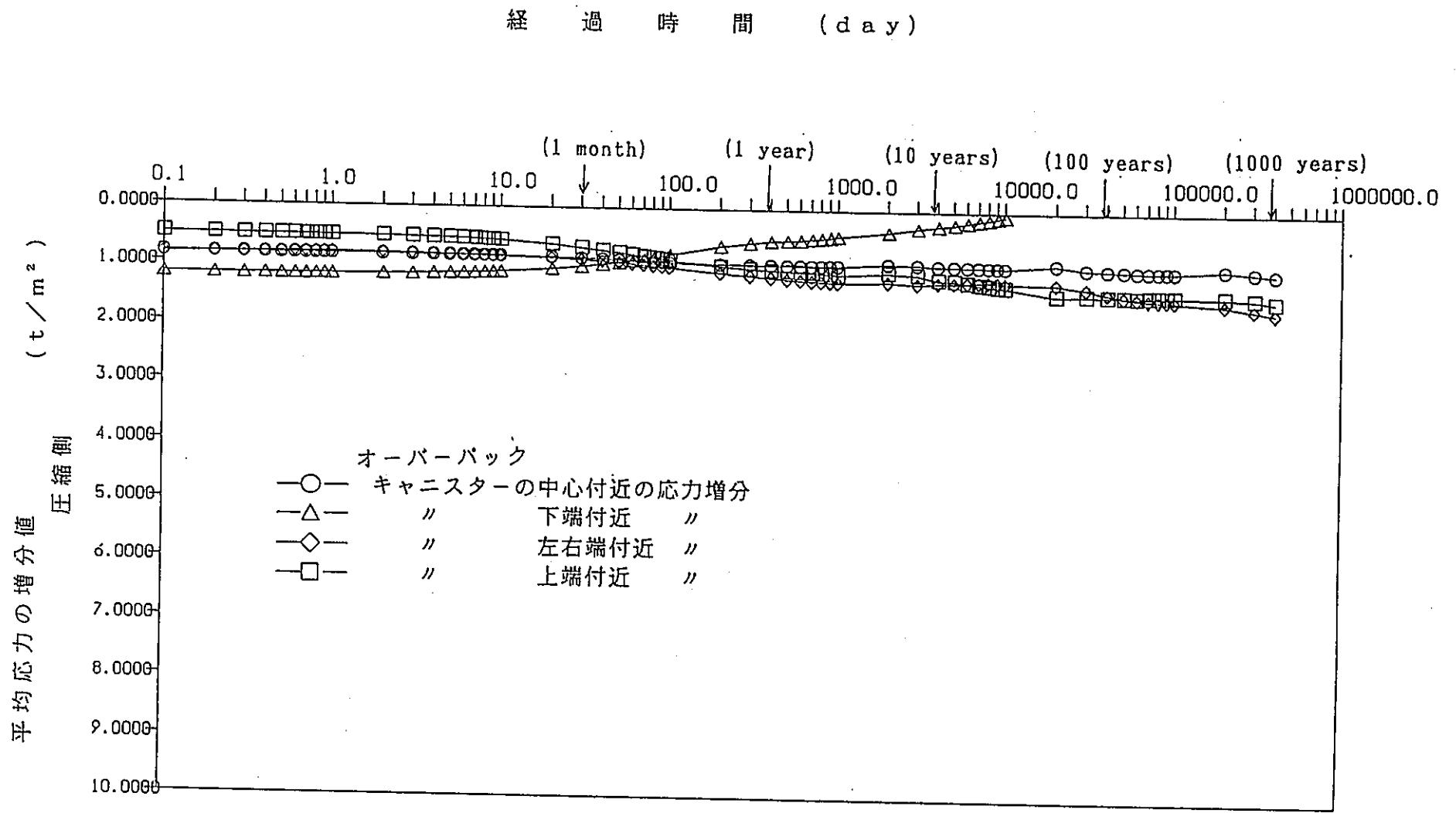


図-4.6.21 圧密・二次圧密解析・オーバーパックの応力増分（上半分の変位拘束解除）

LOADCASE:59

DISPLACEMENT - MAG MIN: 0.00 MAX: 0.003038

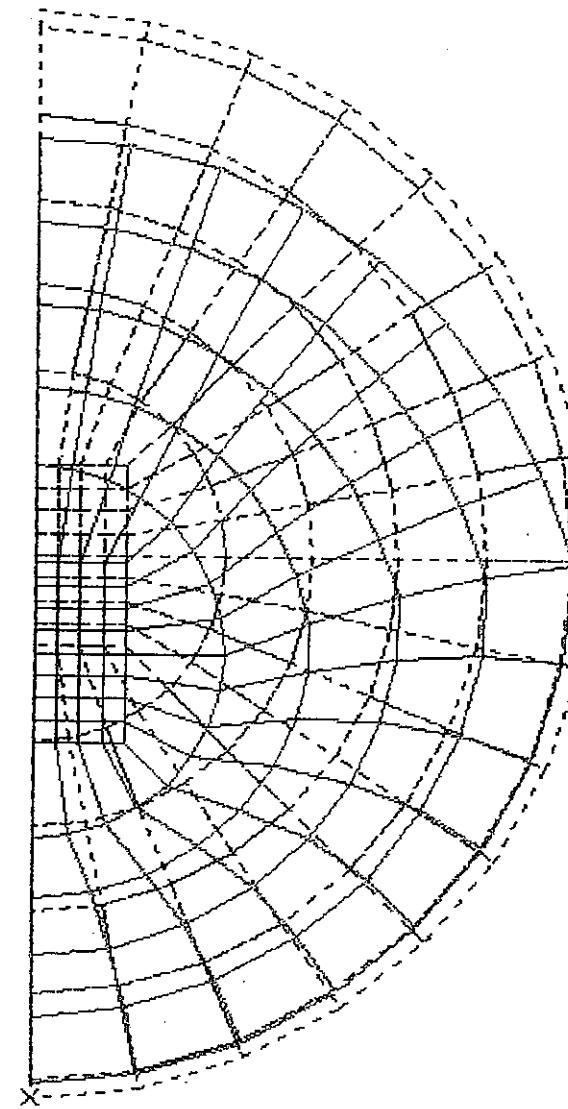
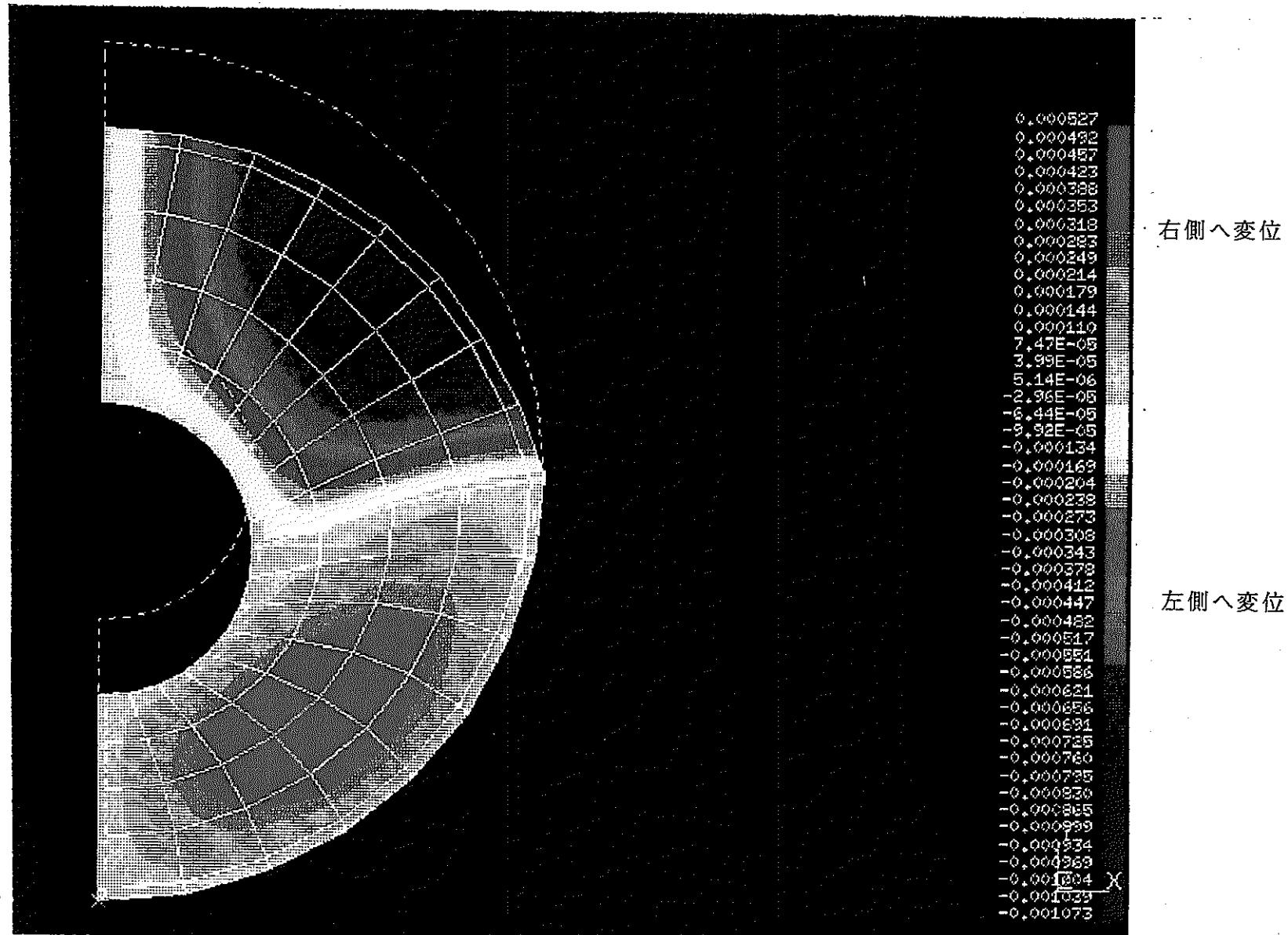


図-4.6.22 圧密・二次圧密解析・緩衝材変位図（1000年後）



図一覧6.23 圧密・二次圧密解析・緩衝材水平変位センター（1000年後）

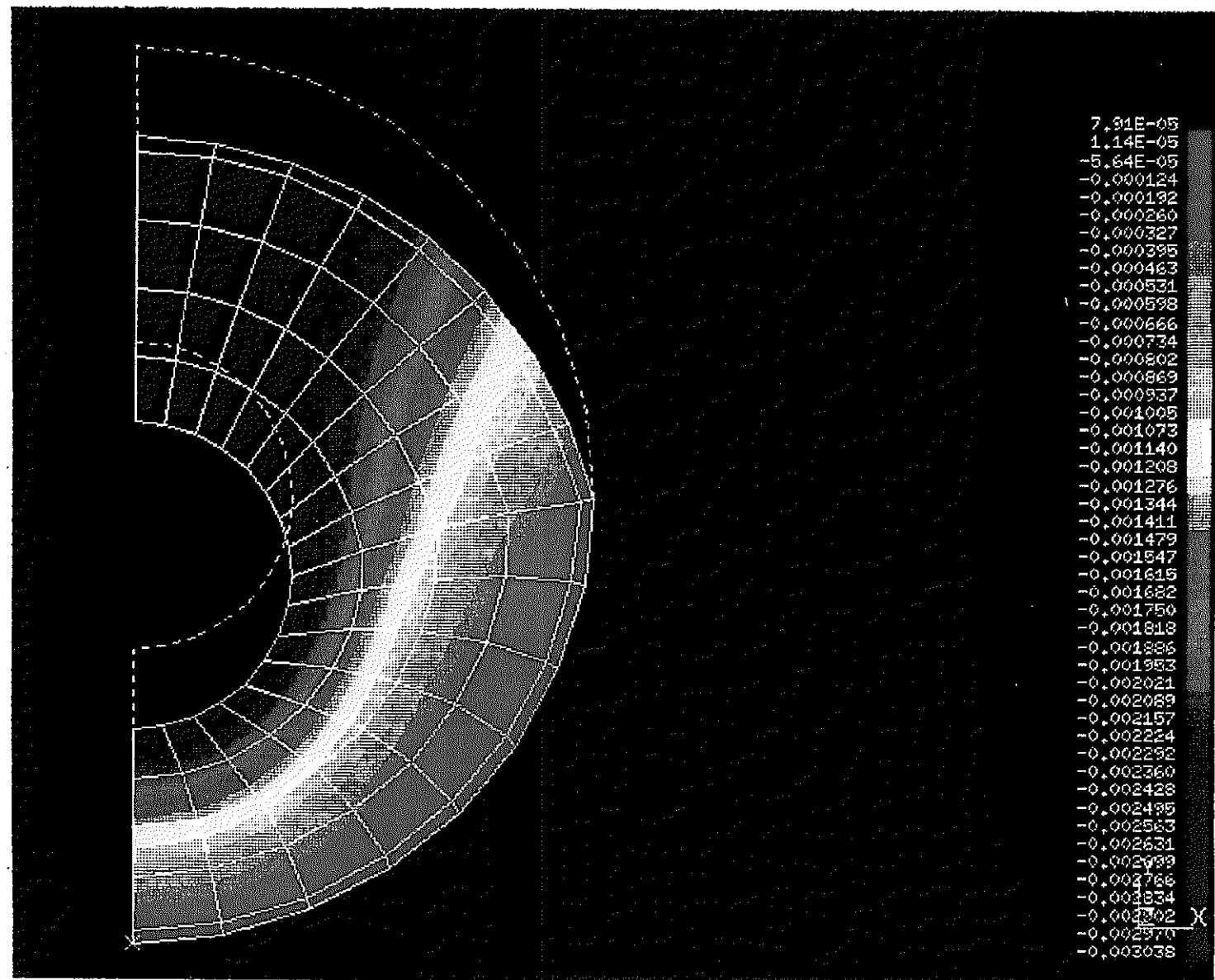
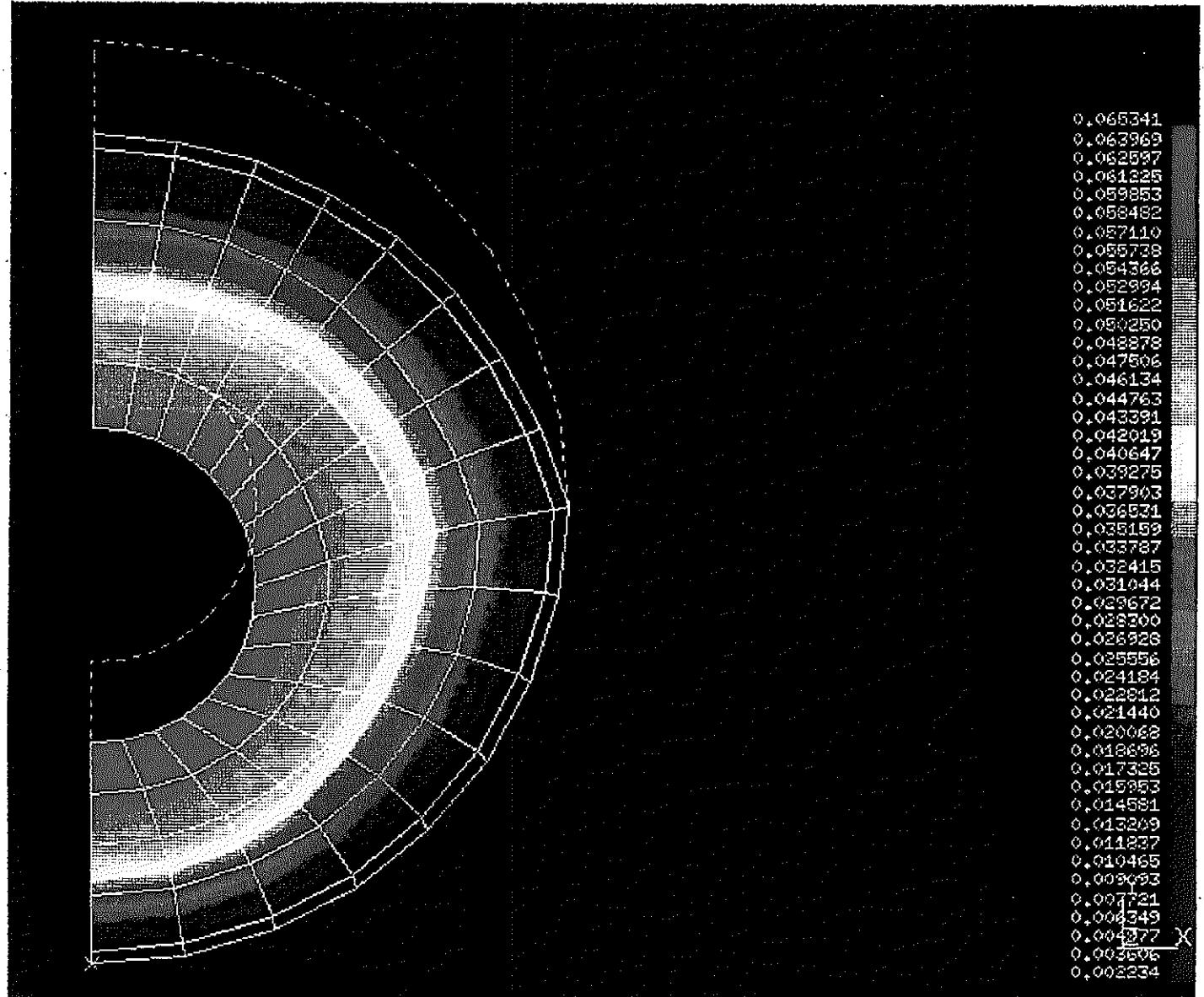


図-4.6.24 圧密・二次圧密解析・緩衝材垂直変位コンター（1000年後）



図一束6.25 圧密・二次圧密解析・緩衝材全水頭増分コンター（1000年後）

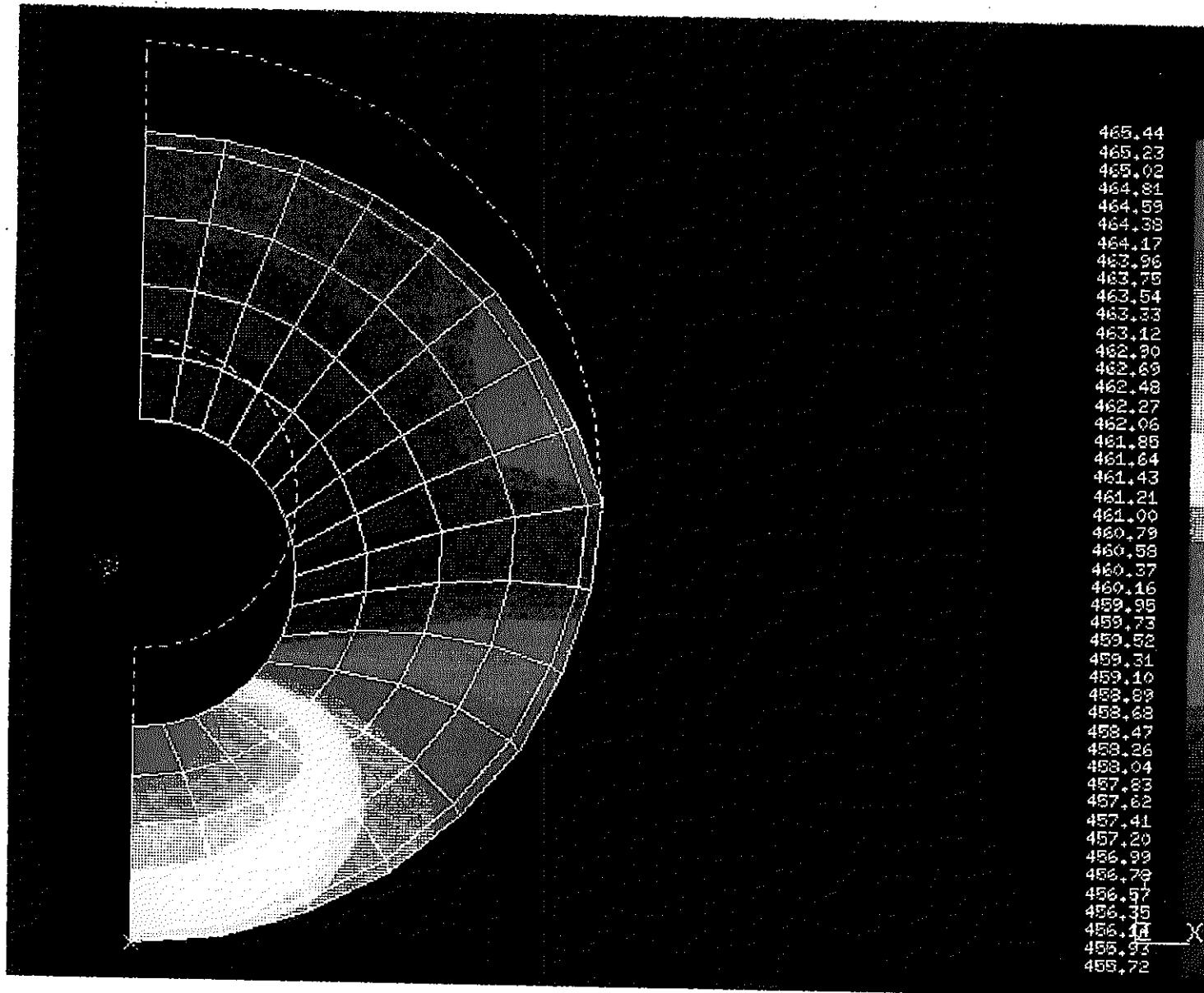


図-4:6.26 圧密・二次圧密解析・緩衝材水平有効応力コンター（1000年後）

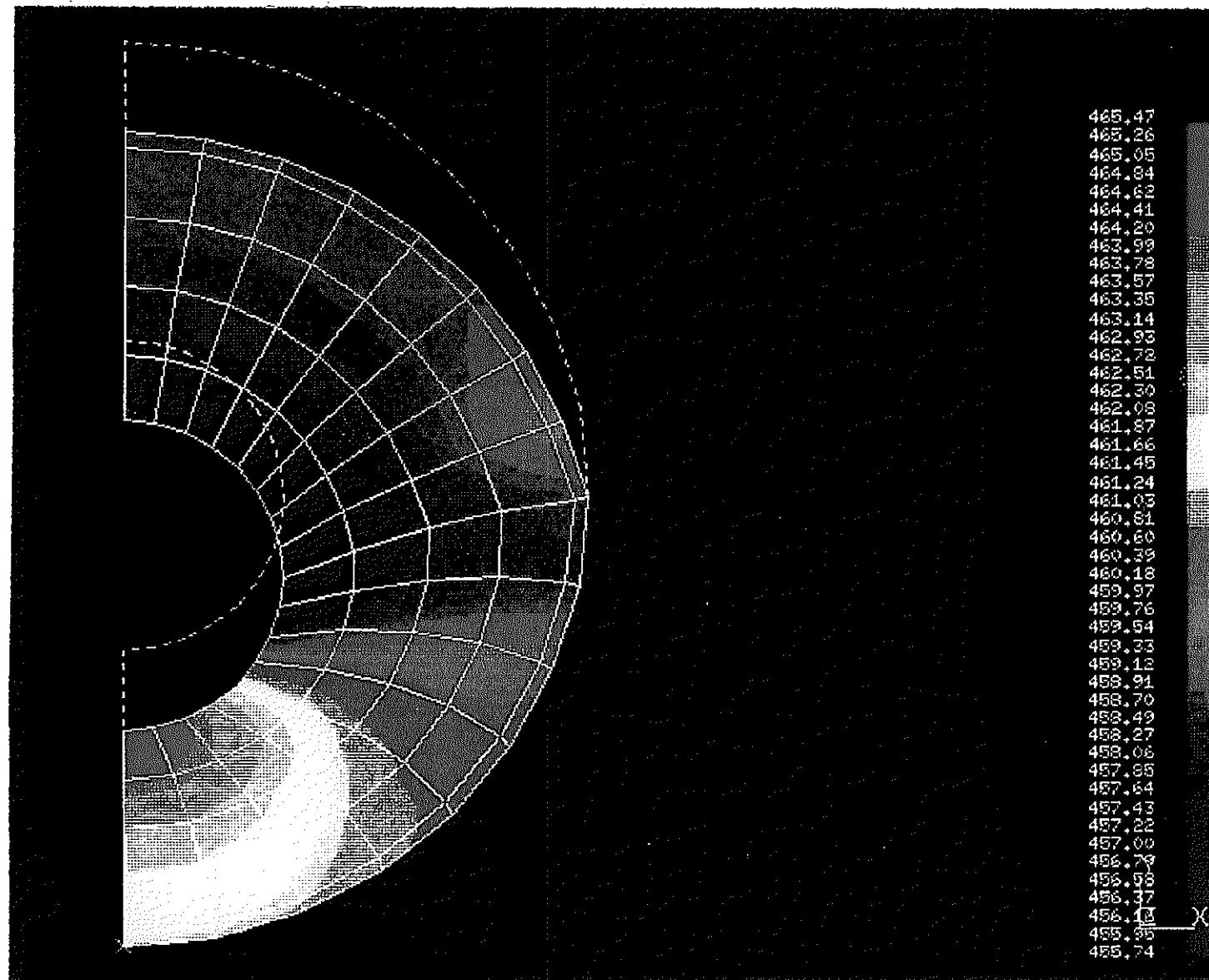


図-4.6.27 圧密・二次圧密解析・緩衝材鉛直有効応力コンター（1000年後）

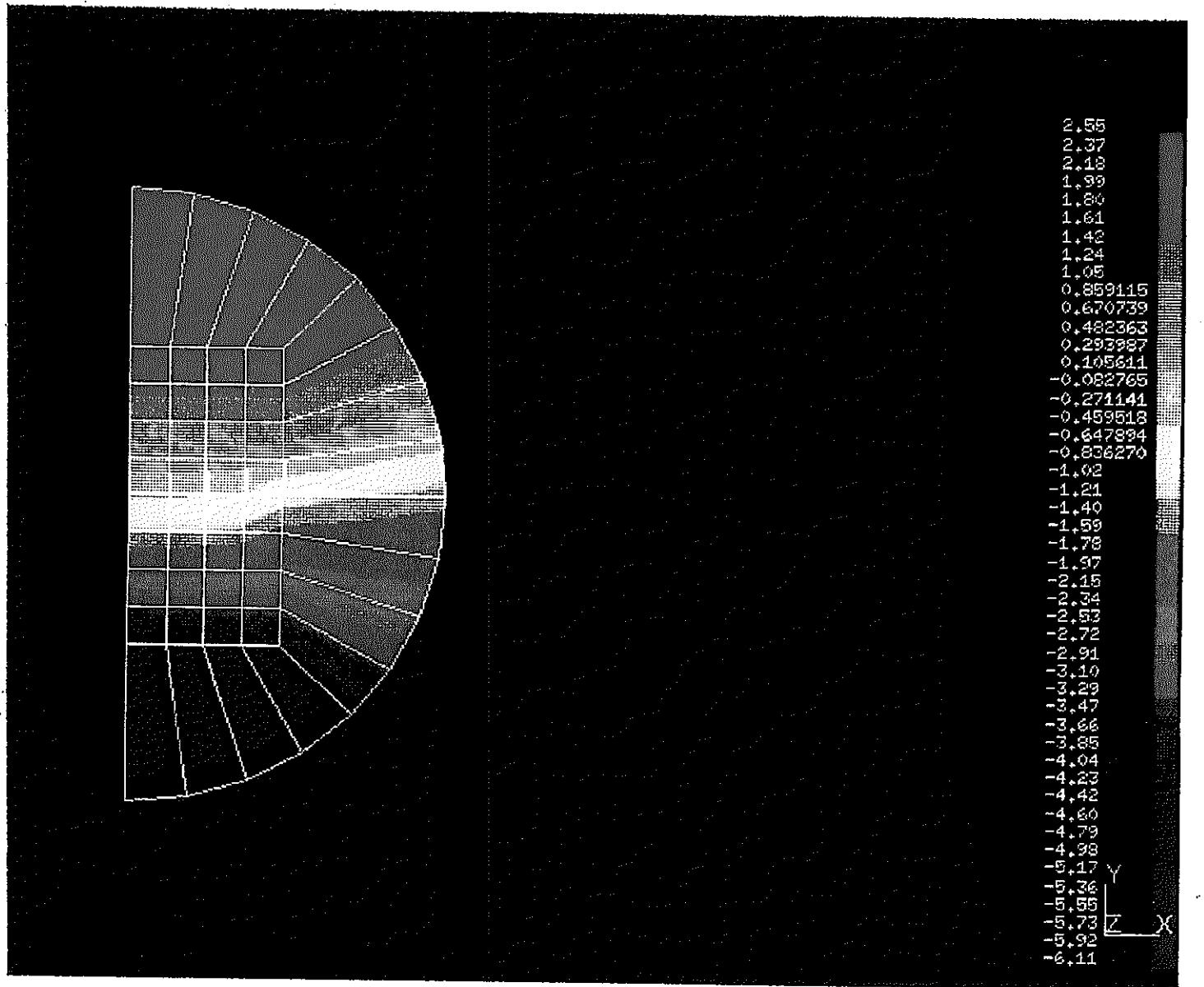


図-4.6.28 圧密・二次圧密解析。オーバーパック水平応力増分コンター（1000年後）

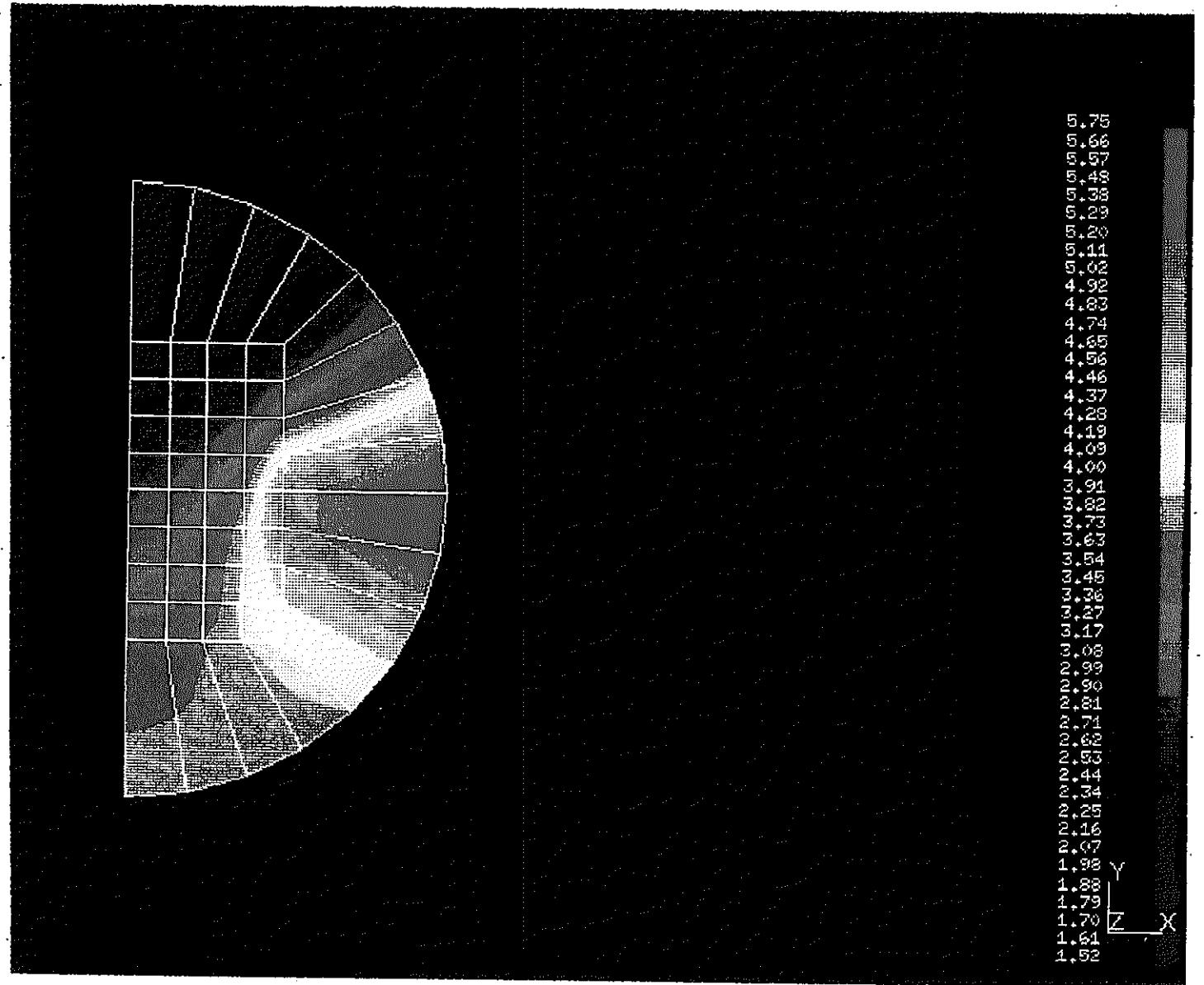


図-4.6.29 圧密・二次圧密解析・オーバーパック垂直応力増分コンター（1000年後）

## 参考文献

- 1) Roeland Pucsh, Stress/strain/time properties of highly compacted bentonite:  
SKB TR83-47 (1983)
- 2) Lennart Borgesson, Interim report on the laboratory and theoretical work in modeling the drained and undrained behavior of buffer materials: SKB TR90-45  
(1990)

## 5. オーバーパックの腐食生成物の力学的影響予測解析

### 5.1 解析目的

オーバーパックは、長期にわたる腐食により体積が膨張することが予想される。そこで、この膨張がオーバーパック周辺の緩衝材及び人工バリア周辺の岩盤に与える影響を予測することを目的として、緩衝材及び岩盤のクリープ挙動を考慮した解析を実施する。

### 5.2 解析方針

オーバーパックの腐食に伴う体積膨張のみに着目し、これがオーバーパック周辺の緩衝材及び人工バリア周辺の岩盤に与える力学的影響を粘弾性解析により検討する。

このとき、緩衝材の厚さはパラメータとして扱い、緩衝材と岩盤のクリープ挙動は Voigt モデルにより考慮するが、以下に示す因子については今回は考慮しない。

#### ①廃棄体が及ぼす熱的影響

#### ②オーバーパックの圧密現象による変形

#### ③緩衝材の非線形特性

#### ④緩衝材の吸水膨張

#### ⑤緩衝材の塑性流動

#### ⑥岩盤の非線形特性

なお、解析コードは NASTRAN を用いる。

### 5.3 解析方法

#### 5.3.1 腐食による体積膨張の扱い

オーバーパック（炭素鋼）は、腐食することにより元の比重のほぼ1/2であるマグナタイト等の腐食生成物に化学的に変化する。したがって、無拘束状態におけるオーバーパックの腐食による体積膨張量は元の体積の2倍と設定する。また、その腐食速度は年間0.02mmとし、30mmの厚さのオーバーパックが両側から均等に腐食すると考えて、腐食が完了するまでに要する期間を7500年とする。

ここでは、オーバーパックの腐食にともなう緩慢な体積膨張を、熱膨張現象として表現する。すなわち、線膨張率 $\beta$ と膨張温度Tの関係を与えることにより、オーバーパックが無拘束状態において体積が2倍となる現象を表現する。(5.7添付資料5.7.1, 5.7.2 参照)。

#### 5.3.2 解析概要

解析の都合上、膨張温度Tを解析の初期（時刻t=0）に全て与え、まず全腐食膨張量に対する弾性解析を実施する。その後、クリープを考慮した解析を行い、クリープ終了時（時刻t=7500年以降）における定常状態を求めることとする。なお、このようにして求まる定常解と、各時刻毎の膨張量に対してその都度クリープを考慮した場合の最終的な結果は等しい。

以下に、クリープを考慮した応力の算定方法について示す。

温度による応力すなわち腐食膨張による応力 $\Delta\sigma_c^T$ は次式による。

$$\Delta\sigma_c^T = D \cdot (\varepsilon^T - \varepsilon_0^T)$$

ここに、 D : 変形係数

$\varepsilon^T$  : 拘束を考慮した弾性解による歪 (D· $\varepsilon_0^T$  作用時)

$\varepsilon_0^T$  : 無拘束状態での温度歪

温度(腐食膨張)とクリープによる応力 $\Delta\sigma$ は次式による。

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_e^T + D \cdot (\varepsilon^c - \varepsilon_o^c)$$

ここに、 $\varepsilon^c$  : 拘束を考慮した弾性解による歪(D・ $\varepsilon_o^c$  作用時)

$\varepsilon_o^c$  : 無拘束状態でのクリープ歪

なお、クリープ歪はVoigt モデルによる。

$$\varepsilon_o^c = \alpha \cdot \varepsilon_o^e \cdot (1 - e^{-\beta t})$$

ここに、 $\varepsilon_o^c$  : クリープ歪

$\varepsilon_o^e$  : 弹性歪( $= \varepsilon_o^T$ )

t : 時間(day)

$\alpha$  : クリープ率

$\beta$  : 遅延係数(1/day)

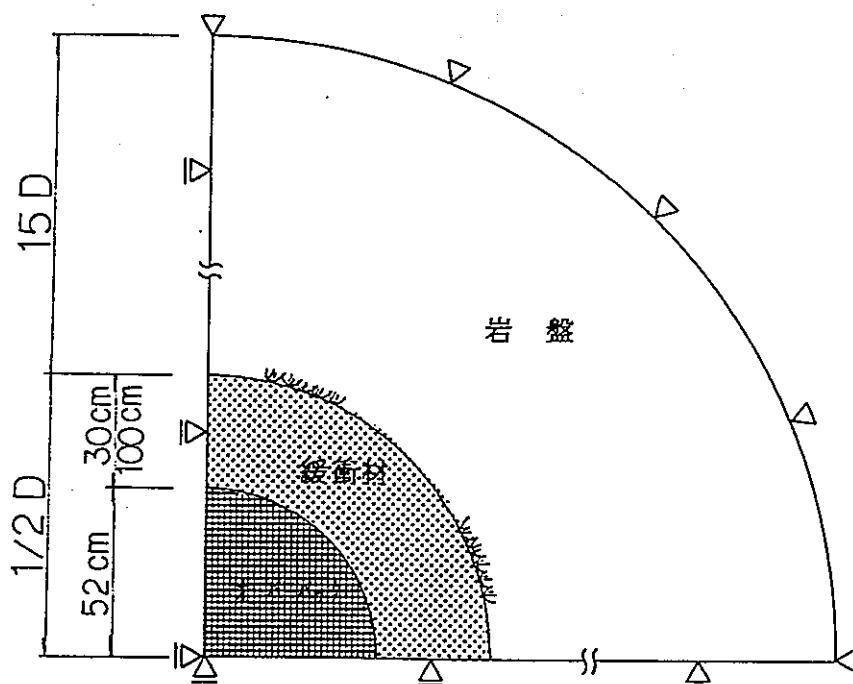
## 5.4 解析条件

### 5.4.1 解析モデル

下図に示す2次元平面歪モデルにより解析を実施する。

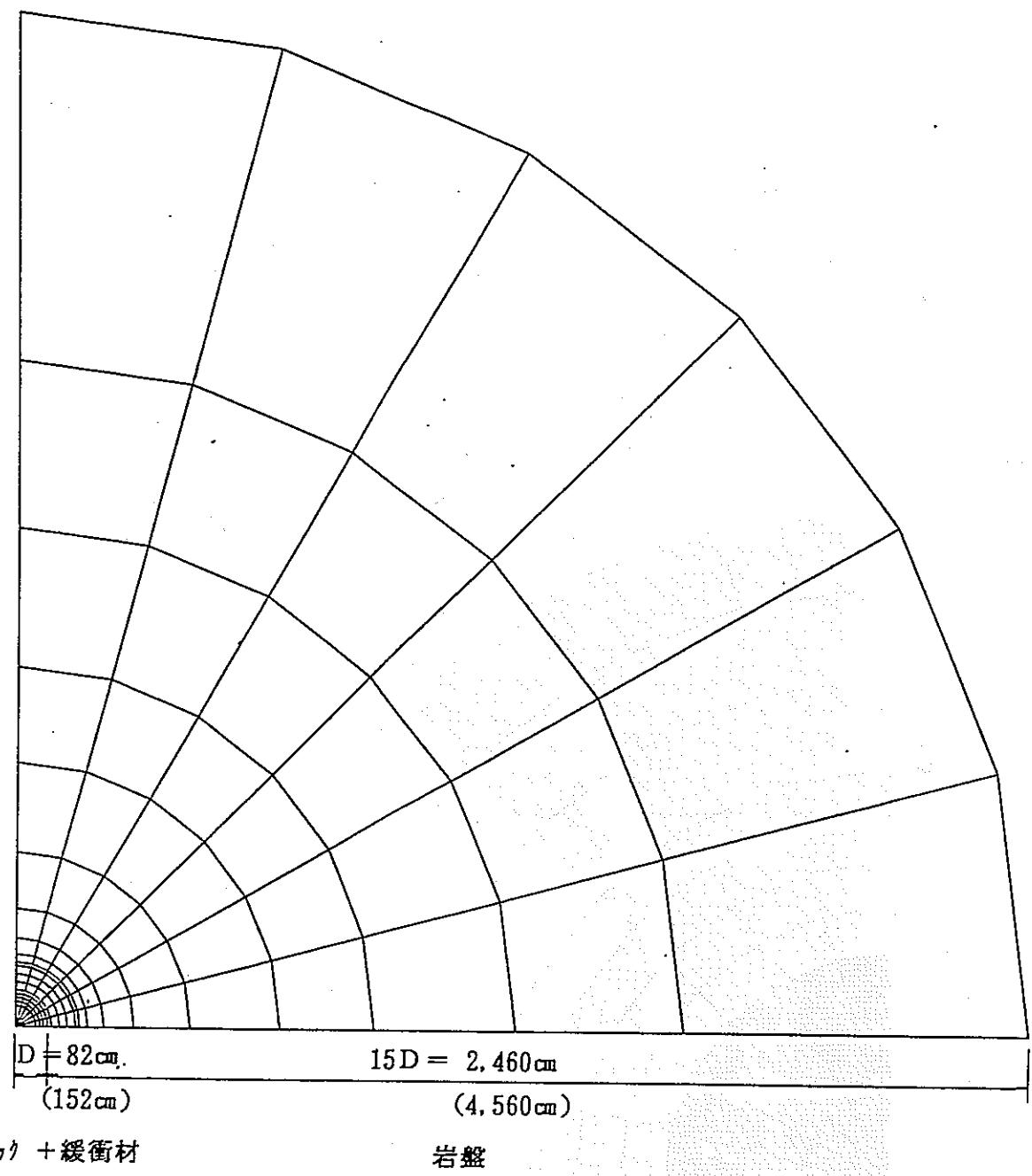
なお、解析領域としては岩盤の掘削壁面近傍の要素応力が領域のとり方により影響を受けない十分な距離をとることとし、掘削径Dに対し掘削壁面より $15D$ までを対象とした。また、今回の解析ではオーバーパックの腐食膨張による影響のみに着目しているので、初期条件として解析領域内の各要素は無応力状態にあるとする。

要素分割図を次頁以降に示す。



注) 緩衝材の厚さは30cmの場合と100cmの場合の2通りを設定する。

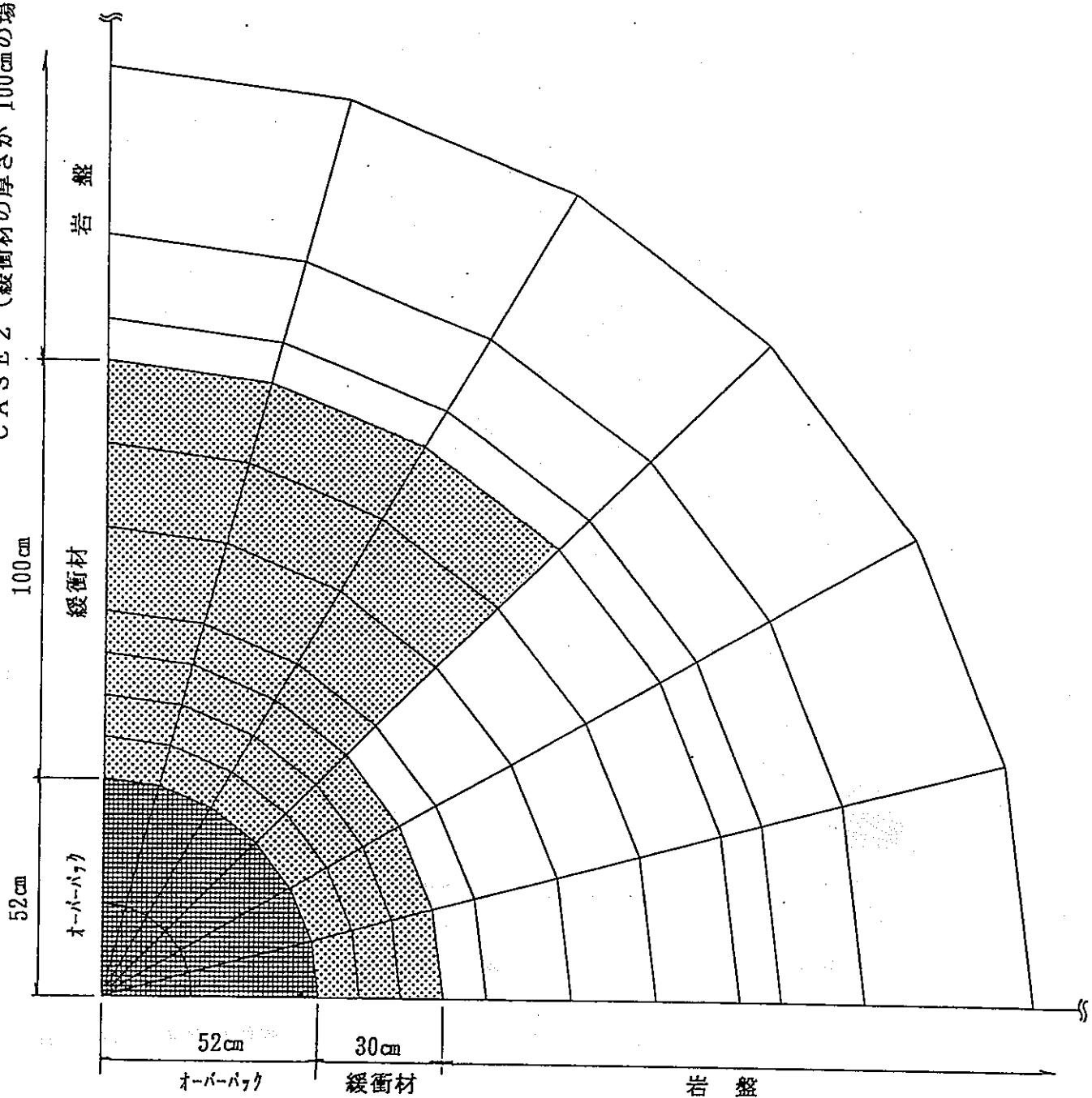
図-5.4.1 解析モデル図



注) ( ) 内は緩衝材厚が 100cm の場合

図-5.4.2 要素分割図（全体図）

CASE 2 (緩衝材の厚さが 100cm の場合)



CASE 1 (緩衝材の厚さが30cmの場合)

図-5.4.3 要素分割図（中心部拡大図）

### 5.4.2 解析用物性値

解析に用いる物性を下表に記す。

表-5.4.1 解析用物性値

	オーバーパック	緩衝材	岩盤
変形係数 D (kgf/cm <sup>2</sup> )	$1.7 \times 10^6$ <sup>*1</sup>	$1.2 \times 10^3$	$3.0 \times 10^5$
ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.2
粘着力 c (kgf/cm <sup>2</sup> )	—	—	(75)
内部摩擦角 (度)	—	—	(35)
クリープ係数 α	—	4.0 <sup>*2</sup>	0.35
" β (1/day)	—	$4.2 \times 10^{-5}$ <sup>*2</sup>	0.7

\*1 5.7添付資料 5.7.3 参照

\*2 5.7添付資料 5.7.4 参照

### 5.4.3 解析ケース

緩衝材の厚さをパラメータとして2ケースの解析を実施する。

表-5.4.2 解析ケース

CASE	緩衝材の厚さ		備 考
	30cm	100cm	
CASE 1	○		
CASE 2		○	

## 5.5 解析結果

次頁以降にオーバーパックの腐食膨張による影響として、クリープ考慮前とクリープ考慮後について、それぞれ変形図と主応力図を示す。また、下表にその解析結果を一覧表にして示す。

表-5.5.1 解析結果一覧表

			クリープ考慮前 (弾性解析時)	クリープ考慮後
CASE 1 緩衝材厚 30cm	変位	オーバーパック～ 緩衝材境界	9.337 cm	9.345 cm
		緩衝材～ 岩盤境界	0.121 cm	0.022 cm
	応力	掘削壁面近傍 岩盤	$\sigma_o = 324.8 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_r = -328.6 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_o = 41.9 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_r = -41.8 \text{ kgf/cm}^2$
CASE 2 緩衝材厚 100cm	変位	オーバーパック～ 緩衝材境界	9.342 cm	9.345 cm
		緩衝材～ 岩盤境界	0.044 cm	0.010 cm
	応力	掘削壁面近傍 岩盤	$\sigma_o = 67.3 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_r = -68.8 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_o = 10.9 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_r = -10.6 \text{ kgf/cm}^2$

注1) 変位：中心より外側に向う方向が⊕

注2) 応力：⊕引張， ⊖圧縮

$\sigma_o$  : 円周方向応力,  $\sigma_r$  : 半径方向応力

0.0 1.5 3.0 X10! CM

[凡例]

オーバーパック :

緩衝材 :

岩盤 :

解析前

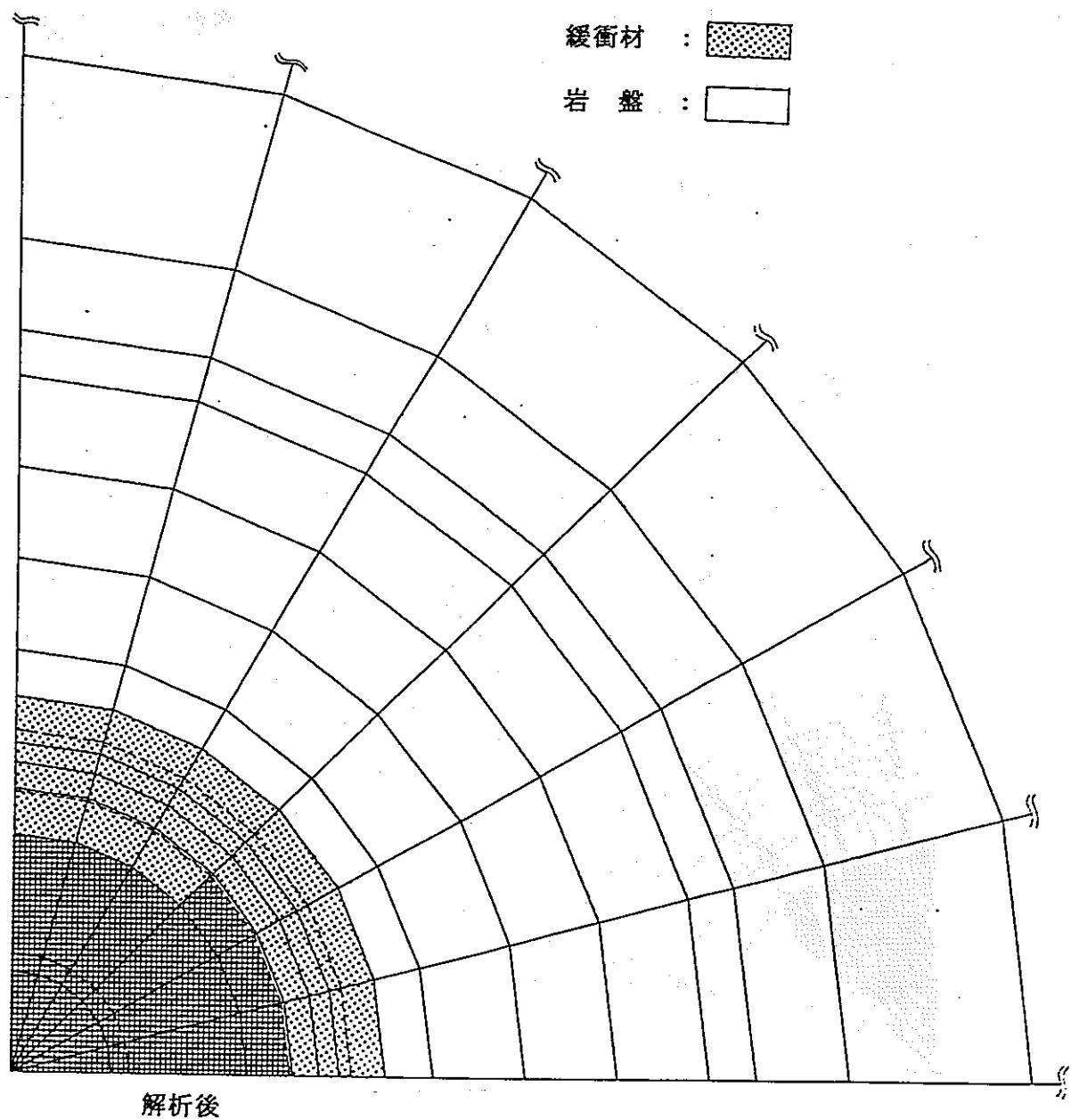


図-5.5.1 変位図 (CASE 1, クリープ考慮前)

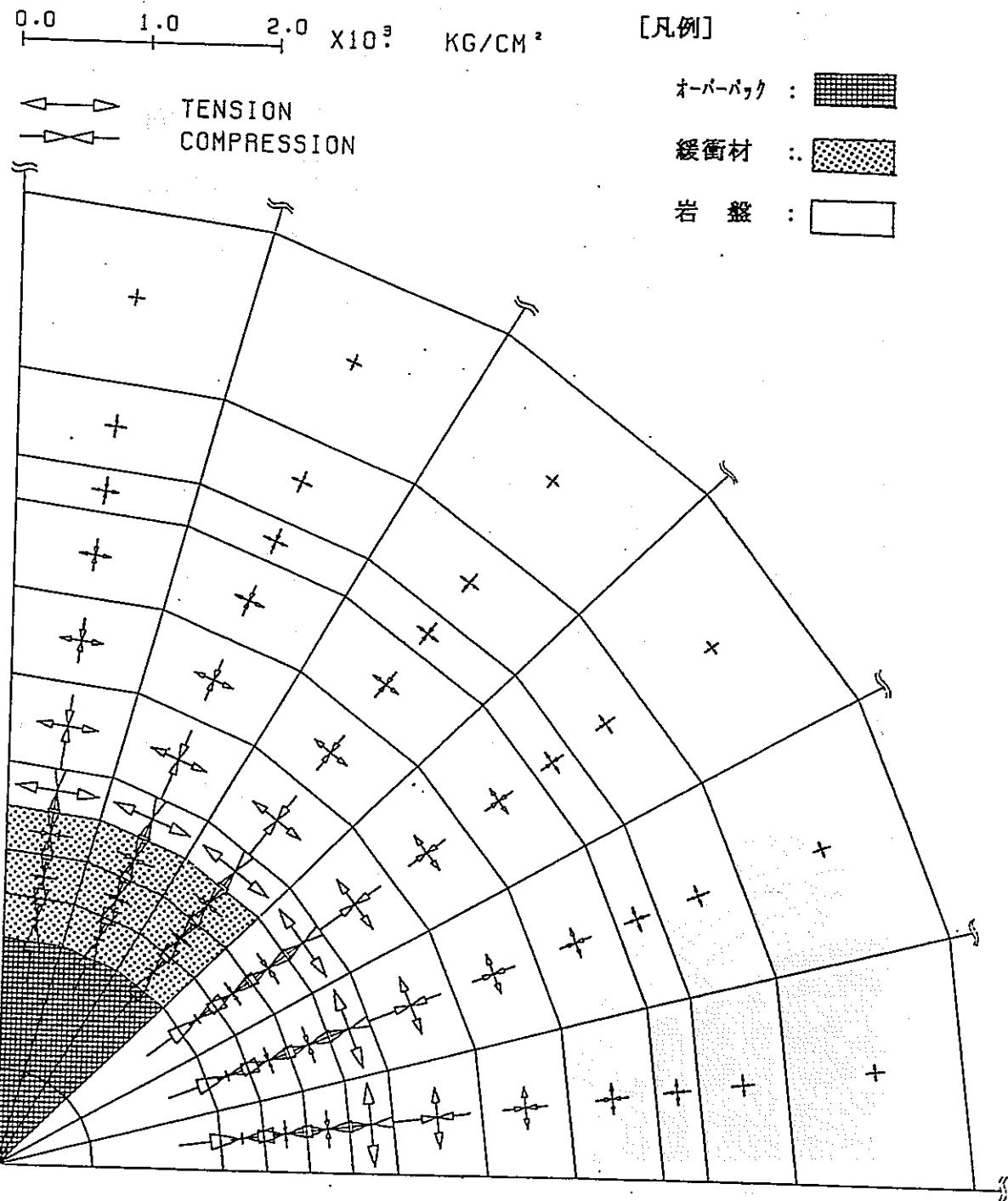


図-5.5.2 主応力図 (CASE 1, クリープ考慮前)

0.0 1.5 3.0 X10! CM

[凡例]

オーバーパック :

緩衝材 :

岩盤 :

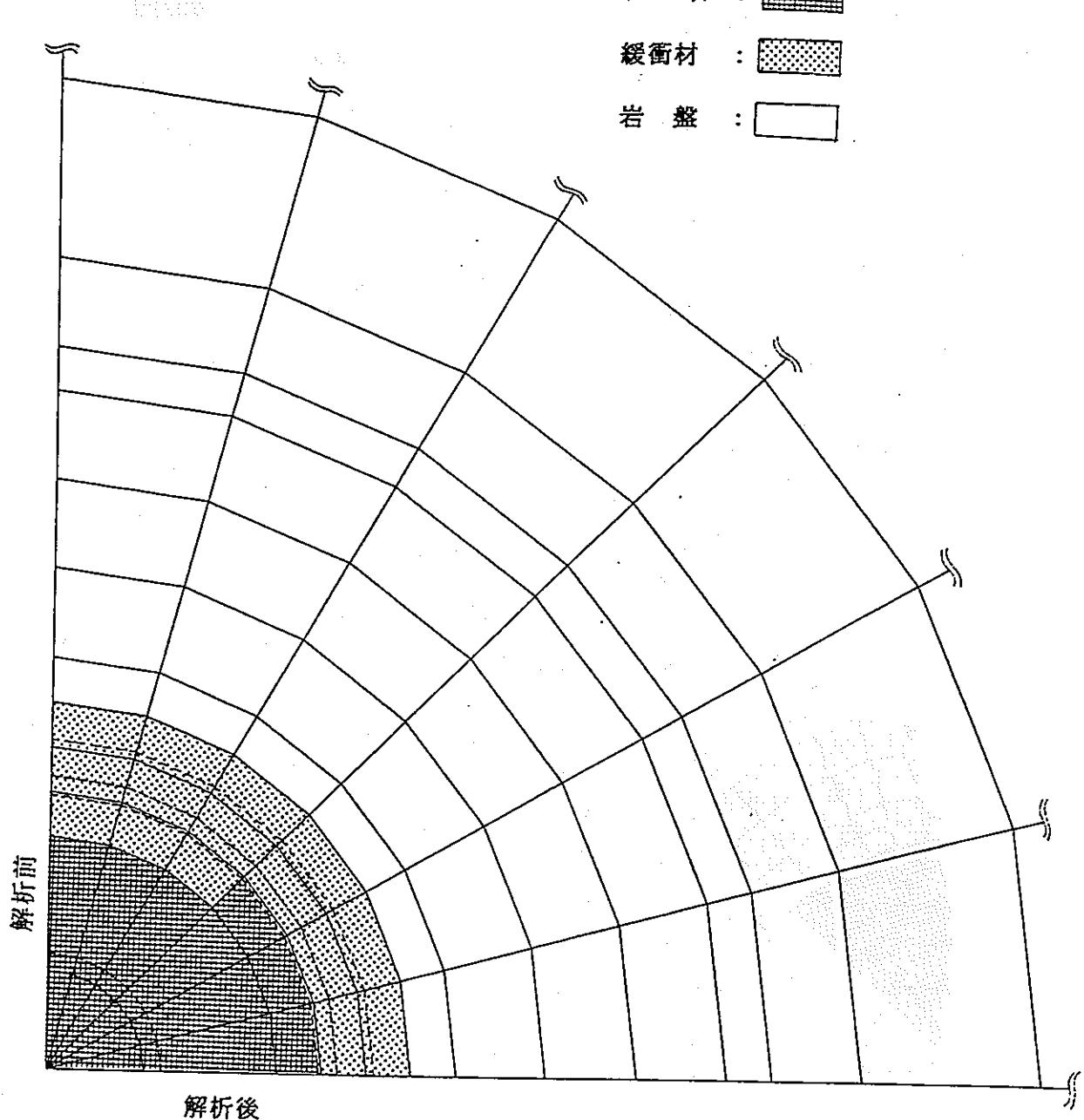


図-5.5.3 変位図 (CASE 1, クリープ考慮後)

0.0 1.5 3.0  $\times 10^3$  KG/CM<sup>2</sup>

[凡例]

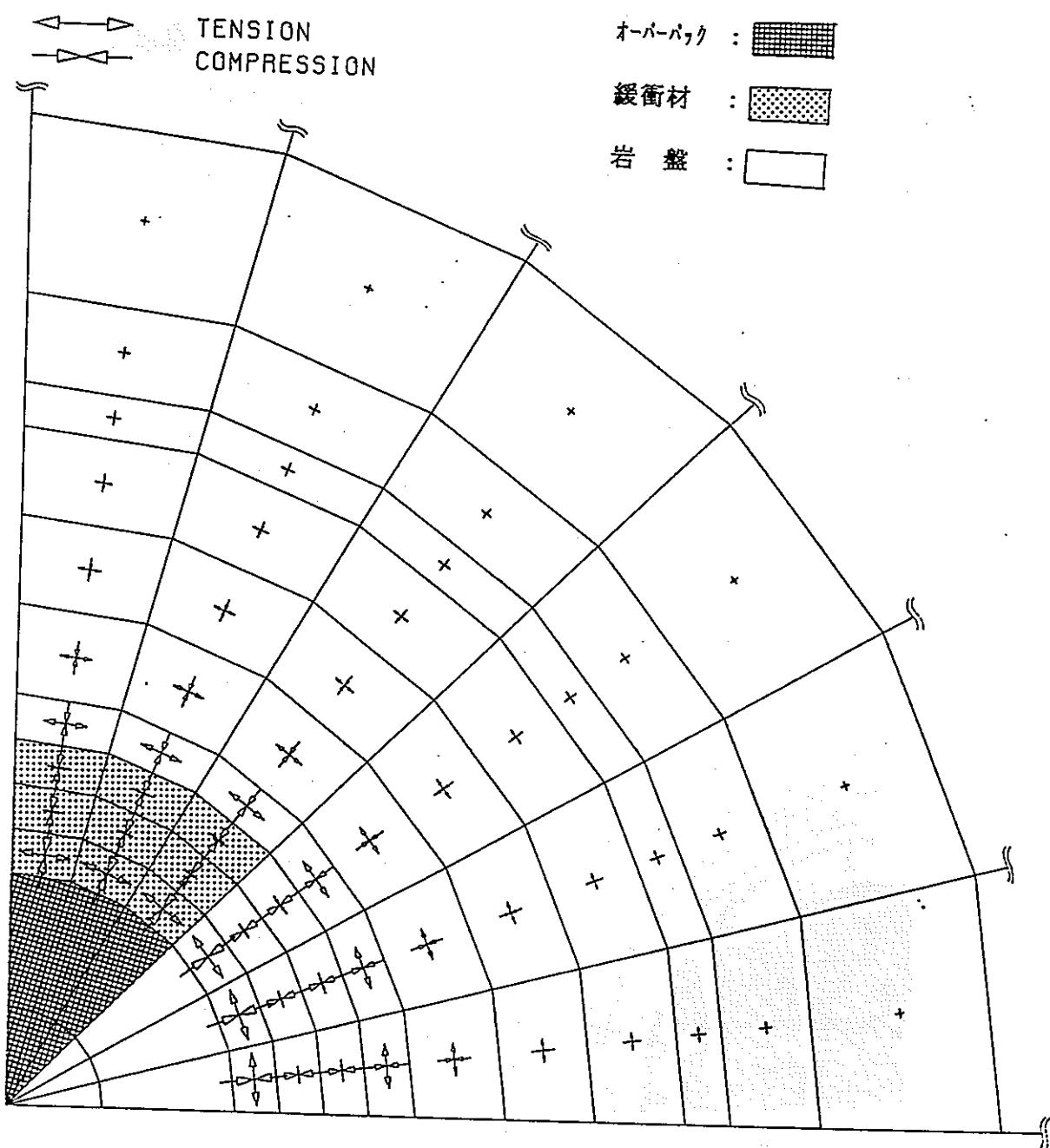


図-5.5.4 主応力図 (CASE 1, クリープ考慮後)

0.0 1.5 3.0 X10! CM

[凡例]

オーバーパック :

緩衝材 :

岩盤 :

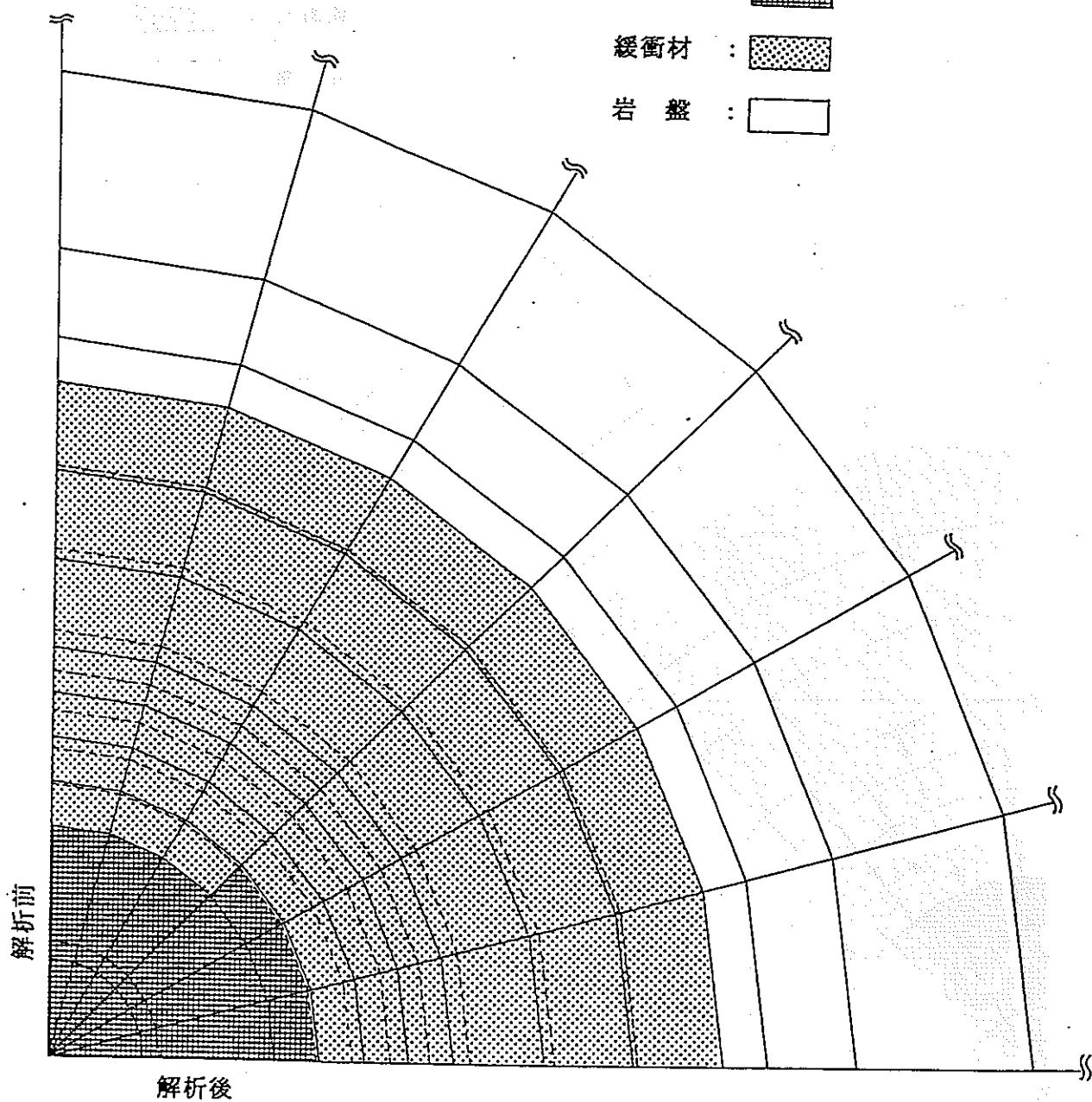
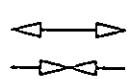


図-5.5.5 変位図 (CASE 2, クリープ考慮前)

0.0      1.0      2.0       $\times 10^3$       KG/CM<sup>2</sup>

[凡例]



TENSION  
COMPRESSION

オーバーパック :

緩衝材 :

岩盤 :

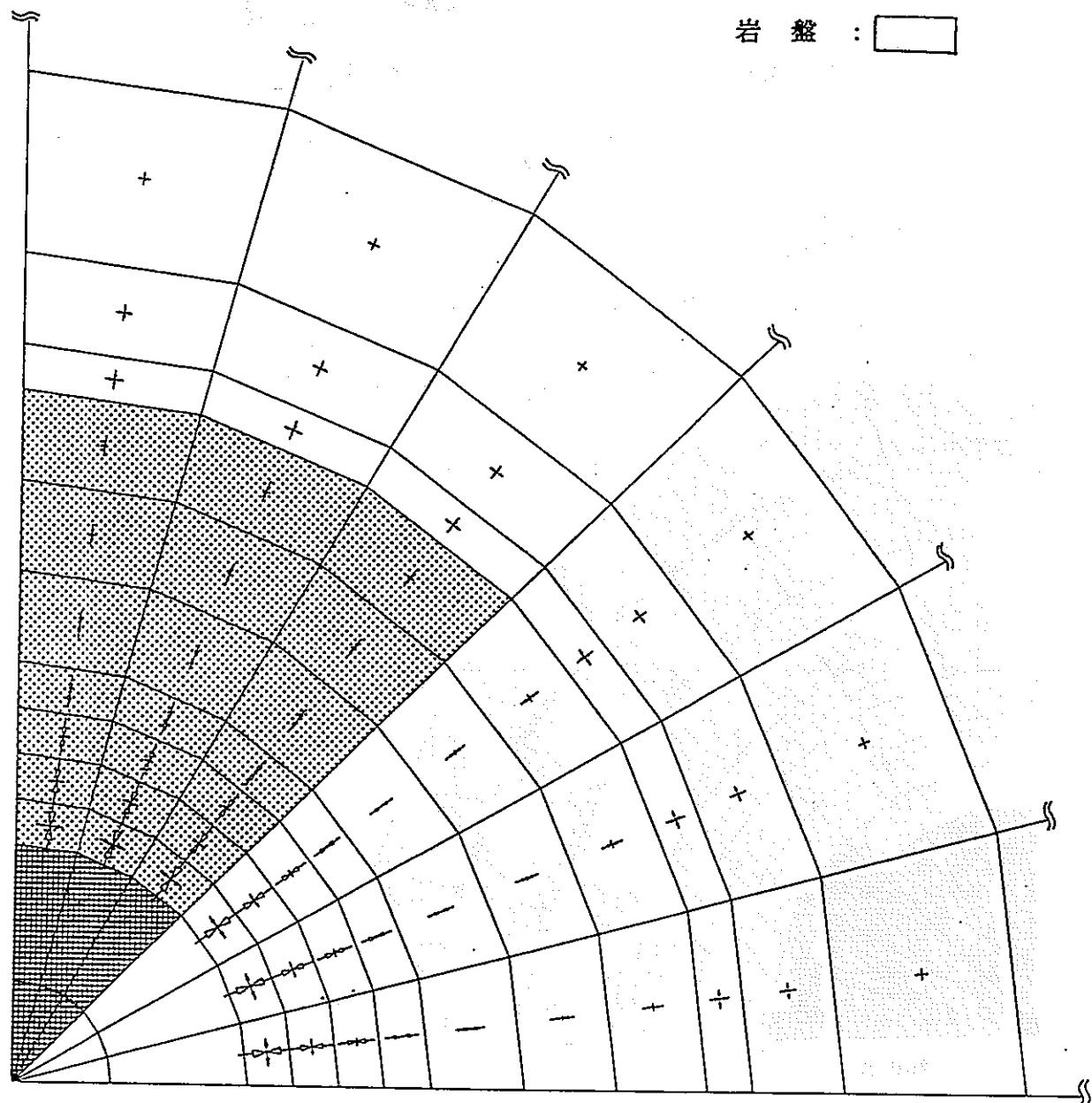


図-5.5.6 主応力図 (CASE 2, クリープ考慮前)

0.0 1.5 3.0 X10<sup>1</sup> CM

[凡例]

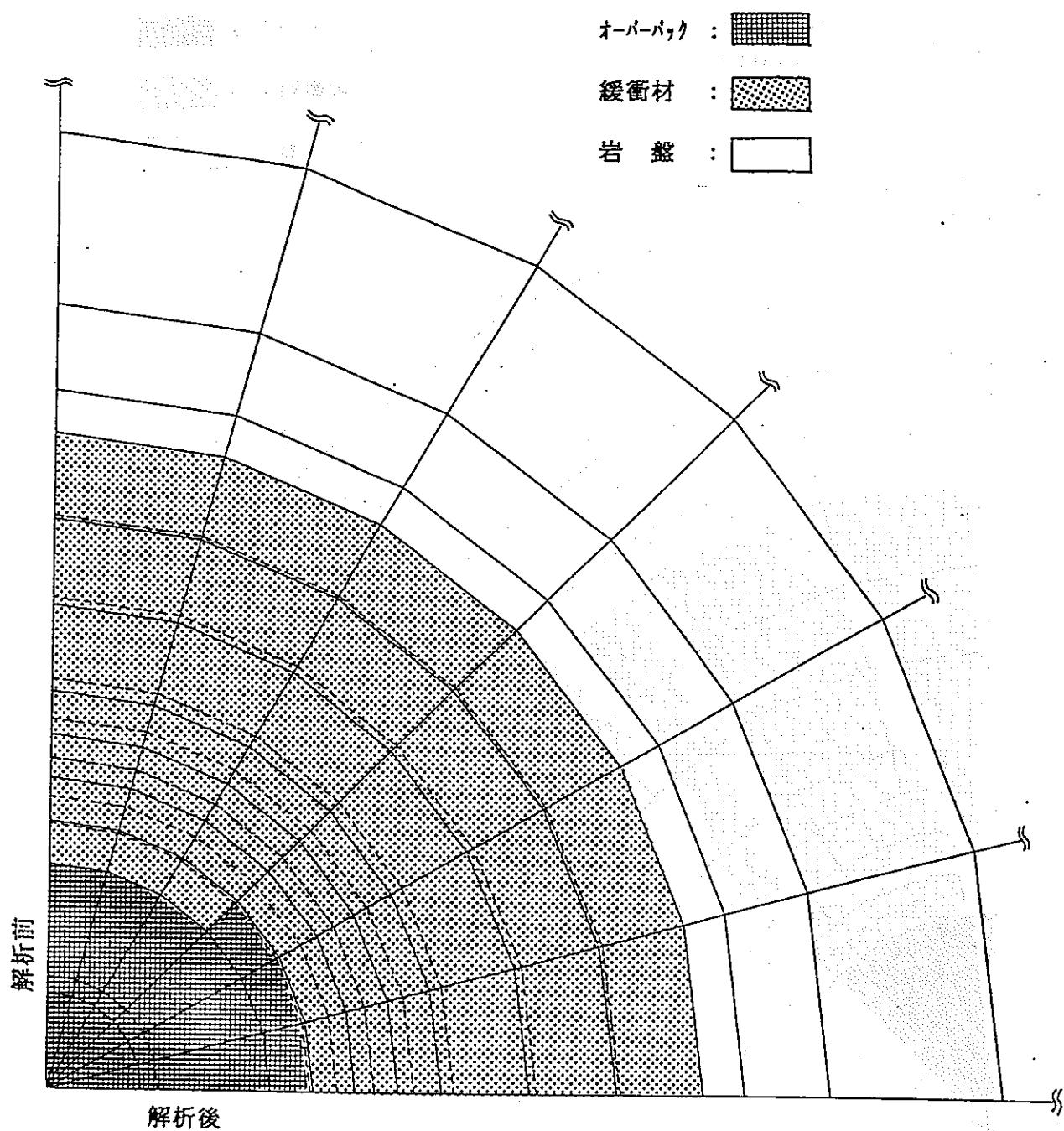
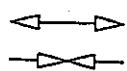


図-5.5.7 変位図 (CASE 2, クリープ考慮後)

0.0 1.5 3.0  $\times 10^3$  KG/CM<sup>2</sup>

[凡例]



TENSION  
COMPRESSION



オーバーパック :

緩衝材 :

岩盤 :

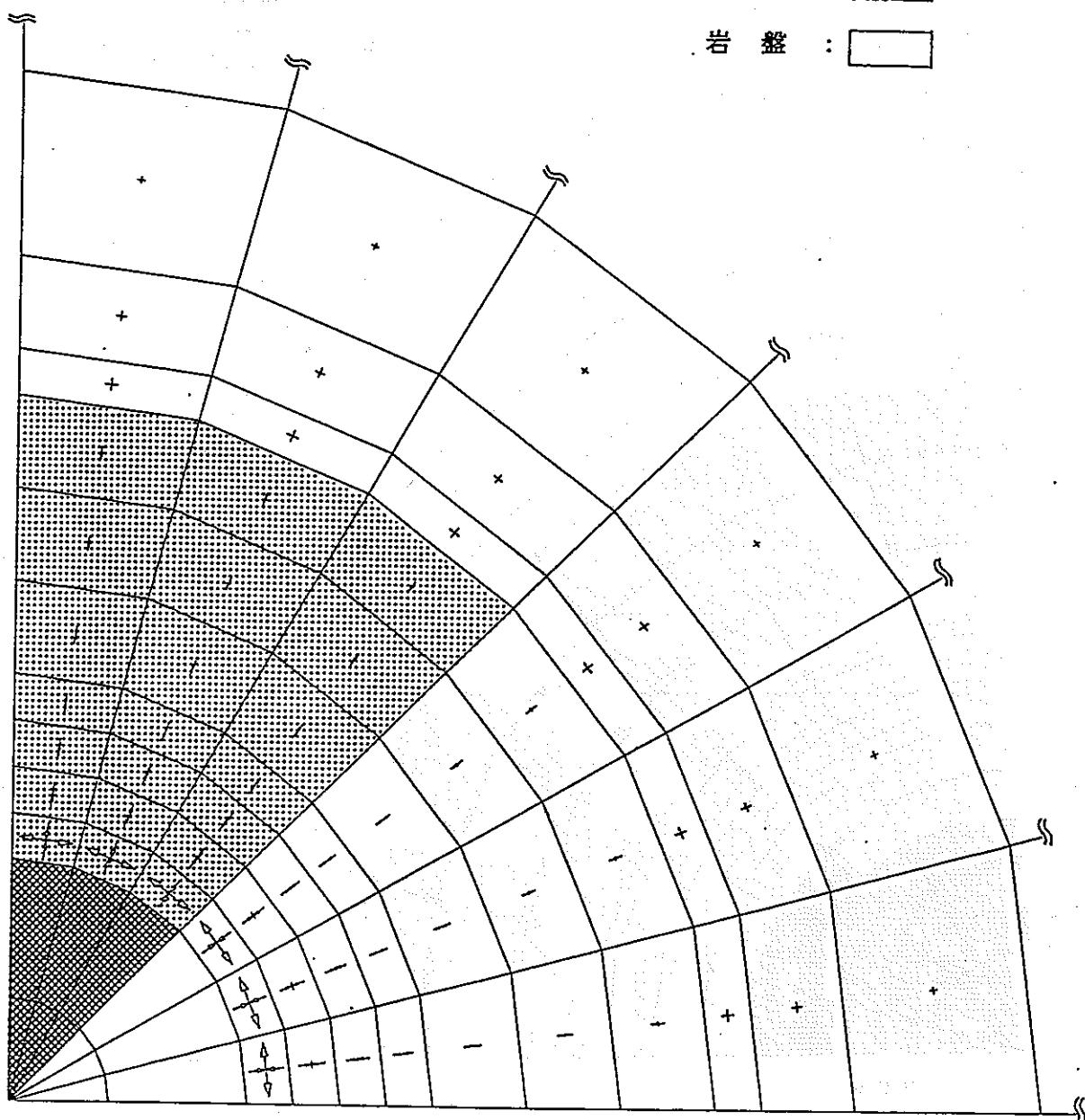


図-5.5.8 主応力図 (CASE 2, クリープ考慮後)

## 5.6まとめおよび今後の課題

解析結果によると、緩衝材の厚さが30cm(CASE1)の場合、オーバーパックの腐食膨張によって岩盤壁面の近傍では想定初期地圧(300kgf/cm<sup>2</sup>, 深さ1000m)を上回る応力が弾性解析時に生じている。この応力はクリープを考慮することによって緩和されるものの、オーバーパックの膨張変位量(約9.3cm)は、例えば緩衝材の充填密度を2.0tf/m<sup>3</sup>としたとき、その材質であるベントナイトの真比重2.7tf/m<sup>3</sup>に至るまで体積を圧縮させている。したがって、緩衝材の圧縮に伴う変形係数およびクリープ特性の非線形性を本来は考慮すべきであり、これを考慮することにより弾性解での岩盤応力はかなり大きくなるものと予想されるとともに、クリープによる応力緩和の度合も減少すると思われる。

一方、緩衝材の厚さが100cm(CASE2)の場合には、オーバーパックの腐食膨張による弾性解析時の岩盤壁面近傍の応力はCASE1に比べ約1/5程度となっており、緩衝材の圧縮に伴う密度変化もごくわずか(例えば、緩衝材の充填密度を2.0tf/m<sup>3</sup>としたとき、体積圧縮後の平均密度は2.1tf/m<sup>3</sup>)である。したがって、この場合には緩衝材の非線形性を考慮したとしても、緩衝材は周辺地盤に及ぼすオーバーパックの腐食膨張による影響を十分に緩衝し得ると思われる。

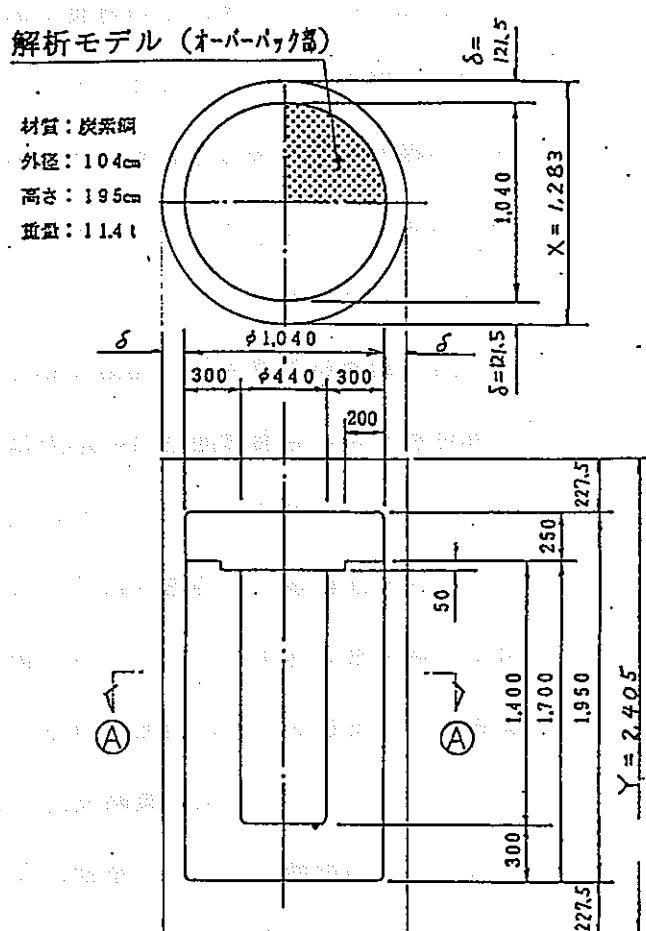
以上のことから、今回の概略検討を通じ、オーバーパックの腐食膨張がその周辺に及ぼす力学的影響はクリープ挙動により応力緩和されること、および緩衝材の厚さが100cmあれば周辺岩盤に有意な性能評価上の悪影響は生じないであろうことが予測される。

また、今後より詳細な検討を行っていくためには、解析方針で述べたように今回の解析には考慮していない種々の因子、特に緩衝材の吸水膨張や体積圧縮に伴う変形特性およびクリープ特性等の非線形性を考慮することが重要である。そのためには、緩衝材に対する実験的挙動の解明が不可欠であり、かつそれを解析モデルにいかに取り込むかが今後の大きな課題といえる。

## 5.7 添付資料

### 5.7.1 オーバーパックの腐食膨張による変形量

無拘束状態において、オーバーパックの体積が腐食により2倍になるとしたとき、  
A-A断面におけるオーバーパックの膨張変形量 $\delta$ を求める。このとき、腐食膨張後の  
の形状は元の形と相似形であるとする。したがって、膨張後の外径をXとすると、高  
さYは $Y = 1.950 / 1.040 X$ となる。



### (3) 膨張後の外径と高さ

図-5.7.1 オーバーパックの基本仕様

(2) の1), 2)を連立して解くと、膨張後の外径Xと高さYは以下の値となる。

$$X = 1.283 \text{ m}$$

$$Y = 2,405 \text{ m}$$

(4) オーバーパックの変形量

以上より、無拘束状態でのオーバーパックの腐食膨張による変形量 $\delta$ は  
12.15mmとなる。

### 5.7.2 腐食膨張を表現する温度と線膨張係数の設定

本解析においては、オーバーパックの腐食に伴う緩慢な体積膨張を熱膨張現象として表現し解析を実施する。そのため、オーバーパックの体積が無拘束状態において2倍となる膨張温度Tと線膨張率を与える必要がある。

いま、線膨張率をオーバーパック（炭素鋼）の物性値より  $10.7 \times 10^{-6}$  (1/°C) とすると、資料-5.1 に示した  $\delta = 12.15\text{cm}$ だけオーバーパックを膨張させるために必要な温度Tは次式により求まる。

$$T = \frac{\text{膨張後の変形量 } \delta}{(1 + \nu) \times \text{線膨張率} \times \text{膨張前の半径}}$$
$$= \frac{12.15}{(1+0.3) \times 10.7 \times 10^{-6} \times 52}$$
$$= 16,797.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 5.7.3 オーバーパックの換算変形係数の算出

廃棄体は、ガラス固化体部とオーバーパック部（炭素鋼）からなる。各々の変形係数を以下に示す。

$$\text{ガラス固化体部 } D_g = 7.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \quad \cdots \text{ガラスの平均的な } D$$

$$\text{オーバーパック部 } D_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad \cdots \text{（理科年表より）}$$

腐食膨張解析を行うにあたって、廃棄体全体を一つの物性として表現するためにオーバーパックの等価な換算変形係数を求める。

求め方の手順を以下に示す。

- (1) 断面①に任意の単位分布荷重  $P$  を与え変位  $\delta$  を求める。
- (2) 断面②に変形係数  $D'$  を仮定し、(1)と同じ  $P$  を与えたときの変位  $\delta'$  を求める。
- (3)  $\delta = \delta'$  となるような換算変形係数  $D'$  を求める。

以上の方針から求めた換算変形係数  $D'$  は  $1.7 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$  である。

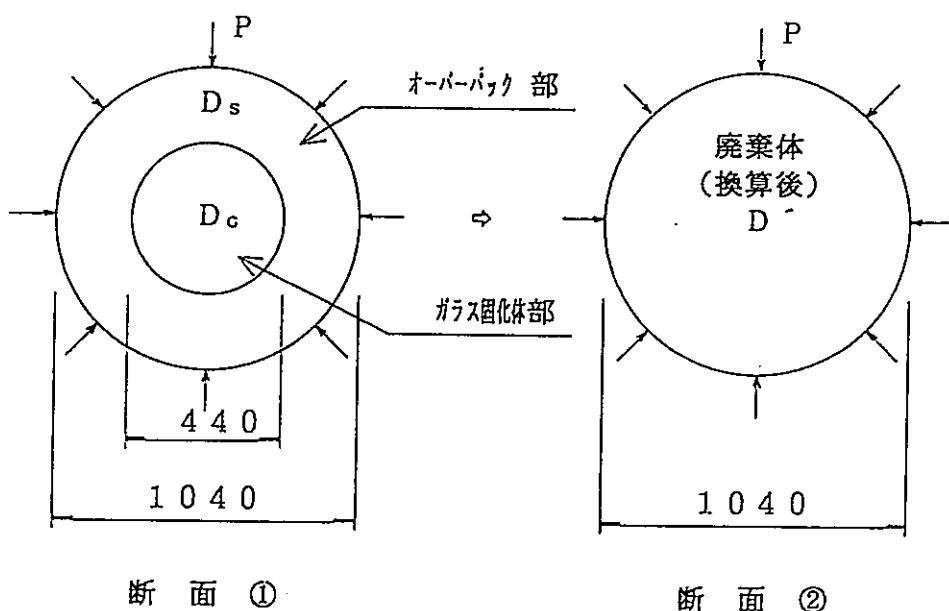


図-5.7.2 換算変形係数の算出方法

#### 5.7.4 クリープ定数の設定

##### 1. 設定方法

- (1) 歪式、歪速度式を設定する。
- (2) 歪速度式より  $\log \dot{\varepsilon} \sim t$  図を作成し、屈折点となる時間  $t_1$  を求める。
- (3)  $t_1$  時の歪を弾性歪、 $t_\infty$  時の歪を最終歪とし、歪式よりクリープ定数  $\alpha$  の算定を行う。
- (4) 歪式に比較的良く合致するクリープ定数  $\beta$  を求める。

##### 2. 歪式および歪速度式

歪式は、文献<sup>\*1</sup>より次式をベースに考える。

$$\varepsilon = \beta' \cdot T \cdot D \cdot \ln t$$

ここに、 $\varepsilon$  : 歪

$\beta'$  : 定数 [ $K^{-1} \cdot kPa^{-1}$ ]

オーバーパックの沈下解析と同様とする。

$$\beta' = 3.6 \times 10^{-9} K^{-1} \cdot kPa^{-1}$$

T : 絶対温度 [K]

平均的な温度として  $T = 60^\circ C = 333 K$

D : 軸差応力 [kpa]

地圧相当応力として  $D = 300 \text{kgf/cm}^2 = 30,000 \text{kpa}$  とする。

t : 負荷を与えてからの時間 [sec]

したがって、歪式は次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \beta' \cdot T \cdot D \cdot \ln t \\ &= 3.6 \times 10^{-9} \times 333 \times 30,000 \times \ln t \\ &= 0.036 \ln t\end{aligned}\quad \text{----- (1)}$$

また、歪速度式としては(1)式を時間で微分することにより②式が得られる。

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = 0.036 \cdot \frac{1}{t} \quad \text{-----} \quad ②$$

\* 1 Pusch; Settlement of Clay-Enveloped Radioactive Canisters, Applied Clay Science, 1986, pp. 353 ~365

### 3. クリープ係数 $\alpha$ の算定

②式を図示し屈折点となる時間  $t_1$  を求めると  $t_1 = 200\text{sec}$  が得られる。この時の歪を①式より求め弾性歪  $\varepsilon_e$  とする。

$$\varepsilon_e = 0.036 \times \ln 200 = 0.191$$

また、 $t = 10,000\text{年}$ における歪量を最終歪  $\varepsilon_\infty$  と仮定する。

$$\begin{aligned} \varepsilon_\infty &= 0.036 \times \ln (10,000 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \\ &= 0.953 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_e}{\varepsilon_e} = \frac{0.953 - 0.191}{0.191} = 4.0$$

### 4. 遅延係数 $\beta$ の算定

①式を比較的良く表現できる  $\beta$  として、 $t = 100\text{年}$ に着目して  $\beta$  を算定する。

$$\begin{aligned} \beta &= - [\ln(1 - \frac{\varepsilon_c}{\alpha \cdot \varepsilon_e})] / t \\ &= - [\ln(1 - \frac{0.787 - 0.191}{4.0 \times 0.191})] / (100 \times 365) \\ &= 4.2 \times 10^{-5} \quad (\text{1/day}) \end{aligned}$$

なお今回の解析の場合、クリープ終了時における定常状態に着目しているので、 $\beta$  の値が解析結果に及ぼす影響はない。

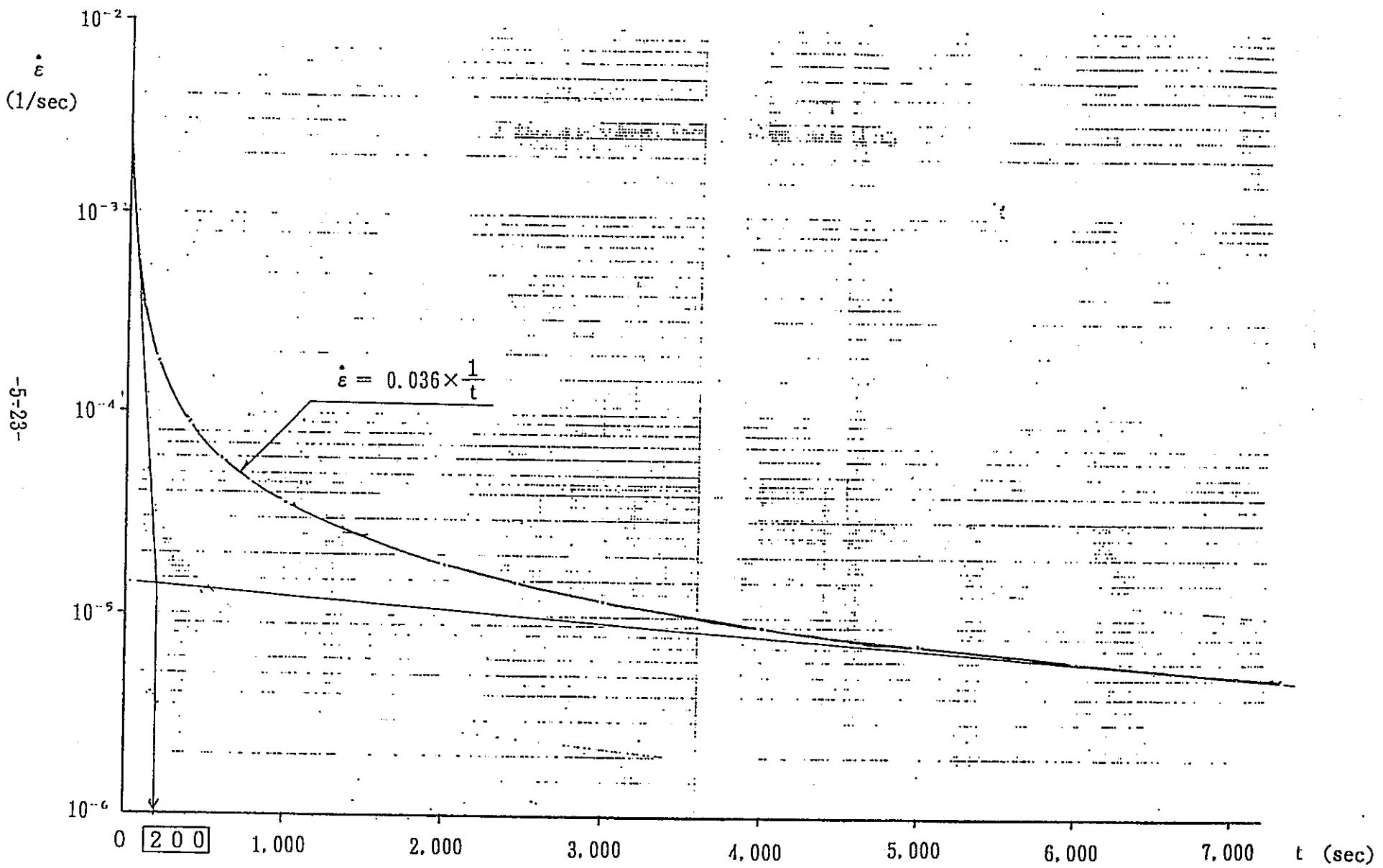


図-5.7.3  $\log \dot{\varepsilon} \sim t$  図（弾性歪を求めるための屈折点となる時間の設定）

## 6. 設計会議による検討

動燃事業団が『平3レポート』をとりまとめるに際して、委託者側と受託者側の技術者による合同の会議（通称「設計会議」）を開催し、本受託研究において実施した解析検討の結果および今までの研究成果等に基づいて、処分システムの仕様を設定するための考え方および根拠について現状技術で可能な範囲で種々の討議課題について協議した。以下にその協議の内容を記述する。

### 6.1 設計会議の目的と実施目標

〔1991年10月 4日〕

動燃・東海では、岩盤工学に関する学識経験者（東大・小島教授、北大・石島教授、名大・市川助教授、京大・谷本助教授、京大・大西助教授）による委員会の指導等を受けつつ、平3レポートのとりまとめ中である。その平3レポート作成のための追加解析検討を依頼したい。また、より良い平3レポートを作成するために、動燃から設計研究に関する受託研究を実施してきた建設会社の担当技術者と動燃担当者とによる各種協議の場として『設計会議』を逐次開催したいと動燃は期待している。

この『設計会議』は、動燃が平成3年度の末に高レベル放射性廃棄物地層処分に関する第2段階前半の総括報告書（平3レポート）を発行するにあたり、性能評価解析の前提となる処分システムの仕様を設定するための各種検討事項について、より良い内容のレポートとなるよう専門技術者によって協議することを目的とする。

〔1991年11月 7日〕

動燃では、平3レポートを発行する際に次のような資料の準備と委員会審議を予定している。

一般向け平3レポート=今までの動燃の研究成果を包括的にまとめたレポートであり、

各専門分野ごとに発行されるサブレポート群から、一般向けに明記できる内容のみを要約して記述したもの。

サブレポート=各専門分野ごとにまとめられる技術的色彩の濃いレポート。

「処分技術サブレポート」は仕上がり約200ページを予定し

ている。

このレポートには、空洞の安定解析、処分場の熱解析、人工バリアの力学的安定解析、処分場の概念設計検討、処分場の建設・操業・閉鎖、等について、技術的な検討成果を記述する。

委員会とのやりとりの予定は以下のとおり

- ① 平成3年8月～10月にかけて、委員会の先生5名に別々に出向いて、「処分技術サブレポート」の概要（各2ページ程度×7課題）を説明し、意見を口述していただいた。
- ② 各委員からの意見・指導を反映して、「処分技術サブレポート」のドラフト版を11月中旬に作成し、その後、この『設計会議』において協議・修正して、委員の方へ提示し、意見・指導を仰ぐ。

## 6.2 設計会議の協議対象範囲

〔1991年10月4日〕

(1) 設計会議において協議する話題は、平成2年度まで大林組、鹿島建設、清水建設、大成建設、間組が受託実施してきた処分施設設計研究関連の成果および、平成3年度に別途受託実施中の「ニアフィールド応力評価手法の開発」の検討実施中の成果の範囲とする。

(2) 協議項目は主として下記の5項目である。

- ① 施設の安定設計
- ② ニアフィールド熱影響解析
- ③ ファーフィールド熱影響解析
- ④ 廃棄体の沈下解析
- ⑤ オーバーパックの腐食生成物の力学的影响解析

(3) 設計会議に伴う受託業務はあくまでも協議・意見交換・情報提供の範囲とする。

H3レポートをとりまとめるに際して、専門技術者と動燃担当技術者との合同の設計会議を複数回（原則として毎月1回程度）開催し、種々の討議課題について協議して、処分システムの仕様を設定するための考え方および根拠について現状技術で可能な範囲で明らかにする。

設計会議に必要な技術情報については双方で必要に応じて準備するが、既存の公開技術資料の探索入手、あるいは、今までの受託研究成果の抜粋、要約にとどまる範囲の作業量で対応可能な技術情報の呈示までとする。

設計会議では、委託者側・受託者側の立場にこだわらずに、今後の処分システム研究の進展に役立つように意識して、技術的良心に沿った討議を実施する。

(1991年11月 7日)

- (1) 委員会の各先生に「処分技術サブレポート」の概要（各2ページ程度×7課題）を説明し、意見を口述していただいたコメント集が『設計会議』において配付された。このコメント集から、ほぼ各委員の技術的指摘事項は判明した。
- (2) 今後の『設計会議』において、これらの各委員からの指摘事項にたいする返答、サブレポートの修正・加筆の要否、別途実施される追加解析の条件等について、技術的および時間的・資金的制限の範囲におけるもっとも妥当な方針を協議する。

### 6.3 「処分技術サブレポート」の全体に関する協議内容

[1991年 9月20日]

動燃事業団より「処分技術サブレポート」の概要について下記のように説明があった。

(配付資料=「処分技術サブレポート 概要」平成3年9月18日)

#### 1. 報告書の目的

本報告書は（中略）工学的な見地から最先端の研究をとりまとめ、処分システムの技術的な実現可能性について考察するもので、（中略）人工バリアを含む処分場の仕様を明示するものである。

#### 2. 技術的実現可能性を考察するための前提条件

- ① 現状の技術で対処可能であること
- ② 結晶質岩系と堆積岩系の代表的な地質環境を対象とする
- ③ 回収可能性については設計を進める上では考慮しない
- ④ コスト最適化については現段階では目指さない

#### 3. 検討の範囲

- ① 処分システムの概念構築
- ② 人工バリアの仕様
- ③ 処分場の仕様
- ④ 処分場の建設
- ⑤ 処分場の操業
- ⑥ 処分場の閉鎖
- ⑦ 品質管理と閉鎖前の安全性
- ⑧ 全体のスケジュール
- ⑨ 技術的実現可能性の総合評価

[1991年11月 7日]

- (1) 『設計会議』では、原則として、「処分技術サブレポート」の全体に関する協議は行わない。このとりまとめ、論述方針は動燃のマターである。
- (2) 石島先生の指導にあったが、幌延深地層試験場の堆積岩の物性では深度 500m 以深への施設建設が不可能となるような結論が読み取れる記述は気になる。

↓

サブレポートの中では、施設の寸法や安定性についての定量的な記述については、「ある地層物性条件を想定して試設計を 2 例やってみたら、このような設計例ができた」という位置づけで記述する。

処分深度についての、「結晶質岩では無支保 800m 程度、堆積岩では支保を前提に 500m 程度」という今までの研究の結論に対する各委員のコンセンサスは得られていいが、最終的な『平3 レポート』には記述できないかもしれない。

小島先生=堆積岩の場合は深度 300m、地山強度比 2 程度の岩盤における立地を代表的な例にした方がよい。

石島先生=結晶質岩では無支保で深度 800m、堆積岩では支保ありで深度 500m 程度の値はそんなにおかしくない。

市川先生=コメントなし

谷本先生=コメントなし

大西先生=コメントなし

[1991年12月 6日]

(1) 動燃事業団より、「処分技術サブレポート」の第2ドラフトが配付され、その内容について協議した。

- ① 今後の検討、計算結果を反映して1月末までに約500ページのサブレポートをとりまとめる予定。
- ② このサブレポートを約1/3に要約して、『平3レポート』に反映させる予定。
- ③ さらに詳細な検討内容の「テクニカルレポート」を必要に応じて作成し刊行するこも考えている。

(2) 「サブレポート」の内容についての協議は次回会議以降もできるので、各社でよく目を通してほしい。とくに、下記の点についての指摘を期待している。との要望が動燃事業団よりあった。

- ① 8章、9章において安全性に関する検討項目を示しているが、見落としあるか？
- ② 各章において数次等のおかしいところがあれば指摘してほしい。
- ③ 「サブレポート」は技術的エキスパートにのみ配付するという方針で現在は考えている。

[1992年 1月 9日]

前回配付された「処分技術サブレポート」の第2ドラフトについて、各社から気づいた点を指摘し、協議した。

## 6.4 空洞の安定解析に関する協議内容

[1991年10月4日] (会議記録)

- (1) 市川先生から、実際の工事実績例の中から、軟質堆積岩等の物性データを収集するよう指導されたとのことであるが？

↓

地下LNGタンクや秋田石油備蓄の物性データについては既に各社から個別に提供してもらったので、終了している。

- (2) 深部岩盤空洞の設計思想について

9月20日の会議において、動燃殿より、処分場の安定設計に関する設計思想について協議したいとの要望があるので、受託者側から下記のメモを提示して、討議を実施した。

### 深部岩盤空洞の設計思想

—特に高レベル放射性廃棄物地層処分を対象として—

高レベル放射性廃棄物地層処分のような深部岩盤空洞の安定設計を考える場合、従来の地下構造物といかなる点が異なるかを、まず念頭に置く必要がある。

地層処分の一般的な概念を基に列記すると、以下のようになる。

- ① 従来の地下構造物の建設深度に比べ、はるかに深い地下数百～千メートルの深地層が対象である。
- ② 放射性核種の生物圏への漏出が主に地下水によってもたらされるため、処分場とその周囲の地下水流動に留意する必要がある。
- ③ 廃棄体処分後数十～百年の間、放射性核種崩壊に伴う発熱による影響を考慮する必要がある。
- ④ 処分場閉鎖後の長期に及ぶ岩盤挙動も評価対象となる。
- ⑤ 処分場は総延長が数十キロメートル以上に及ぶ坑道群で構成される。
- ⑥ 原子力関連施設であるため高い品質が要求される。

一方、岩盤空洞の設計の考え方は、Fenner-Pachar のカーブで表現される最も支保に

作用する荷重が小さい点 ( $P_{min}$ ) を基準に大別されると思われる。この点を越えると、岩盤はいわゆる緩み状態となる。したがって、 $P_{min}$  に至る前の岩盤状態は十分な強度を持っており、柔な支保を用いて地山の強度を十分発揮させるように設計あるいは施工をすることが合理的となる。また、 $P_{min}$  を過ぎた場合の岩盤は緩み状態にあり、変形が進むとその分地山の強度が下がるので、できるだけ変形を抑えることが必要であり、剛な支保が用いられる。場合によっては、切羽前方にフォアパイリングや斜めロックボルト等の補強を行う必要も出てくる。このように、 $P_{min}$  を境に設計思想が全く異なることがわかる。

地層処分の場合、深地層中に空洞を設けるため、岩盤を緩ませると強大な地圧が生じるものと考えられる。また、地下水流動への影響や長期の安定性および高い要求品質を考慮すると、 $P_{min}$  に至る前に岩盤状態を維持し、地山の強度を十分発揮させることができないと考えられる。さらに、できるだけ深く処分場を設けたいとの安全評価上の要求も加味すると地山強度を最大限発揮させ、支保も可能な限り強固なものとすることが必要となる。つまり、 $P_{min}$  の状態が地層処分における岩盤の許容条件と定義される。

では  $P_{min}$  とはいかなるものであろうか。Fenner-Pachar のカーブは施工の過程で観られた現象を表した概念であり、一対一に対応した理論はない。一方、施工管理の面で最近良く用いられている限界ひずみは、施工過程で生じた内空変位を対象に設けられた規準である。両者は実際の施工現場で生まれた考え方であるため良く似た点があり、そのため  $P_{min}$  に相当する岩盤ひずみと限界ひずみを対応させた設計思想が思いつく。

以上述べた考え方が、地層処分における深部岩盤空洞の設計思想である。

---

以上の設計思想に対して、次のような問題提示があった。

- ① 空洞安定性の設計を、従来の電中研式岩盤解析モデルで評価することには問題がある、との委員会の指摘がある。これらの解析モデルは地下発のような良質の岩盤に適用してきた手法であり、軟質な岩盤の場合にはダメだと指摘を受けている。
- ② 軟質な岩盤に対しては他の設計思想（設計手法？）を提案すべきではないか？
- ③ 堆積岩の場合には地下 500 mまで掘削可能としているが、幌延では地下 800 mまで掘削可能であるとの国会答弁がされており、矛盾する。
- ④ 「 $P_{min}$  に相当する岩盤ひずみと限界ひずみを対応させた設計思想」は一般的な評

価手法といえるのか？

- ⑤ 理論上では掘削不可能と評価されるような条件であっても、実際には掘削できた事例があるのではないか？

これらの問題については、十分な討議ができなかったので、次回以降に討議することとした。

〔1991年11月 7日〕は、(改めて)各委員の意見を述べた後、討論が行われた。

委員会の5人の各先生に「処分技術サブレポート」の概要（各2ページ程度×7課題）を説明し、意見を口述していただいたコメント集が動燃事業団より、『設計会議』において配付された。

〔配付資料=「H 3 報告書 処分技術に会するレビュー 第一回」平成3年10月15日〕

このコメント集から、ほぼ各委員の技術的指摘事項は判明したので、安定設計について協議した。

#### (1) FEM解析を使用せずに、理論解で検討した結果を示すことについて

- ① 資源系の先生はFEM解析に対して肯定的であるのに対して、土木系の先生はFEM解析に対して批判的である、との解釈案が出たが、下記の理由により、必ずしもFEM解析に対して批判的なコメントであるとは解釈できないことが大勢であった。

- ・土木学会等では、標準設計に基づいて設計しても不安の少ない一般的な条件のトンネルの場合には過去の実績例等を参考にして設計して良いとされている。特殊な条件のトンネルである場合には、まずは理論解により検討し、さらに心配な場合にはFEM等の数値解析手法で検討する、というのが一般的なプロセスである。したがって、FEM解析が妥当でないという趣旨ではないと判断すべき。
- ・実際に設計されたトンネルの200事例を調べた結果、理論解を使用したものは8件、FEM解析を使用したものは約50件であった。
- ・先生の指摘は、一般的な立地可能性を議論するだけで済ませる段階のレポートであるならば、理論解で十分だ、という意味ではないか？

市川先生はストレスパスを考慮するよう提案しておられる。FEM解析例がバ

イリニア弾塑性モデルだったことを批判したものと解釈すべきである。大西先生の指摘も、完全弾塑性モデルの適用に関する批判である。

② 動燃事業団側の見解として、下記の理由により理論解を使用した検討レポートをまとめたいとの方針が示された。

- F E M解析を伴う設計検討の場合には、物性条件や空洞形状等がすっかり決定されているという印象を与える。『平3レポート』では、理論解程度の簡単な検討による設計例として提示することとし（、詳細の議論を避け）たい。

(2) 理論解による検討ではどの手法を使うか？

\* 谷本先生が推薦したフック＆ブラウンの提案する理論解を使った予備解析例を動燃事業団が提示し、その結果をたたき台にして協議した。

① 理論解を使用した場合には、空洞形状を円形と見立てている。この結果を円形ではない水平坑道にどのように適用するべきか？

↓

- 横置きタイプの処分坑道は円形断面なので、この設計をメインにおく場合には適用できる。主要坑道は3心円形状なので、若干ちがうことになるが、
- あくまでも概略の検討を実施したという立場でレポートには記述する。

② 理論解では側圧係数が1.0の場合しか検討できないがよいのか？

↓

- 委託研究を実施した段階では、側圧係数1.5の条件を与えたが、必ずしも根拠があった訳ではない（すなわち、側圧係数1.0の場合のみでも良い）。いろいろな岩盤条件での検討結果を知りたかったからである。
- その点では、与えた設計条件が厳しすぎたために安定性検討作業に苦労させてしまったといえる。そのようなためにかえって一般的でない評価手法となつたので（先生の指摘した問題点がでてきたので）はないか？

③ より一般論として記述できる理論解を使ってレポートをとりまとめるについて意見の一一致を見たが、果してフック＆ブラウンの提案する理論解は一般的な手法であるといえるのか？（フック＆ブラウンはベストか？）

↓

- ・理論解には、フック＆ブラウンの他に、エッガーの式、岡の式、がある。この中では、フック＆ブラウンが普及しているとは言えない。
- ・フック＆ブラウンの提案する方法では強度定数m, s を海外の試験データに基づいて設定しており、多数の事例の計測結果を集大成した結果である。したがって、この式をそのまま適用することは我が国の立地条件を検討する際には問題となる。
- ・谷本先生は他の方法がダメなのでフック＆ブラウンの式を使うように提案したのではなく、このような方法も使ってみてはどうかという意味であろう。

多面的な検討をすべきであるという意見は理解できる。しかし、だからといって全く新規にフック＆ブラウンの式で安定設計を構築しなおすというのは、時間的に見ても苦しいのではないか？

過去にこれらの理論解の比較検討が行われているのであれば、「他の手法による検討も実施してあるが、ほぼ同様の結論でした」という説明をすれば納得していただけるのではないか？

⇨

- ・昭和63年度の受託研究成果の中にフック＆ブラウンの式とエッガーの式との比較検討結果がある。これによると、初期地圧 $250\text{kg/cm}^2$ 、変形係数  $3 \times 10^5\text{kg/cm}^2$  の条件で、ひずみは1.7%（電研式）と 1.9%（Q値）の差となっており、放物型の破壊基準の方が少し大きなひずみとなっていることがわかる。

つまり、フックとブラウンが提案するm, s 値からQ値等を既往の研究（谷本先生の研究）により導き、岩盤定数を設定して計算すると、大きな意味ではさほど差がないのではないかと思われる。（但し、岩盤の状態が悪いと差が広がると思われる。）

- ・動燃側で委託研究の成果報告書を再度読んでみる。

⇨

- ・谷本先生からは、電研方式のみではなく、フック＆ブラウンの理論解を広く押し進めたい、との発言があった。
- ・強度定数m, s を今後、動燃が多数データ取得して新しい安定性評価手法として確立していくという方針であれば、フック＆ブラウンの理論解を採用していくことも意味がある。ただし、10年単位の取り組みが必要となる。
- ・先生の指摘事項には、『平3レポート』の設計のまとめ方に関する指摘と今後研究を進める場合の方向としての指摘とが混在している。われわれとしては、この2つ

を識別して解釈し、対応すべきである。

どの理論解を使用するのかについては、慎重に決めるべきであろう。

[1991年12月 6日]

(1) 岩盤の物性値の設定について、結晶質岩の物性は釜石の岩盤を参考にして動燃・東海が設定した値は下記のとおりであるとの提示があった。

変形係数 :  $3 \times 10^4$  MPa

ポアソン比 : 0.2

一軸圧縮強度 : 150 MPa

岩盤のRMR値は79点であり、分類IIに相当するので、せん断強度定数は：

$$C = 0.2 \text{ MPa}$$

$$\phi = 40^\circ$$

(2) この岩盤物性の設定値（特にCの値が）が従来の硬質岩盤の物性値とかけ離れているので、どのような物性値に設定すべきであるのかについて協議した。

① 動燃側が納得できる物性値設定のストーリーは委員の先生から指摘されており、次の条件を満たす必要があると動燃側は考えている。

a 従来のダム基礎岩盤等で取得したせん断試験データは拘束圧が小さいときの特性であり、地層処分のような深部条件におけるせん断特性値としてそのまま使用することは保守的とはならない。したがって、深度1000mに相当する拘束圧力におけるせん断特性データが取得できているものがあれば参考になるが、従来の既存取得データでは参考にすべきではない。

b 同上の理由から、従来の既存取得データをとりまとめたものとして電中研が提案している岩盤分類に基づく物性値を採用することは妥当ではない。

② 岩石の三軸圧縮試験データがあればその値を参考にして設定できるが、動燃としてはデータを保有していないので、当面の対策として釜石の岩盤観察結果からRMR値を算出して岩盤分類に基づく物性値設定を実施することにした。

上記のC,  $\phi$ は、フック＆ブラウンの理論解による安定性検討の際の強度定数m, sの値と平仄はほぼ合っている。との今回の物性値設定のいきさつについて動燃側より説明があった。

③ 受託社側からは次のような提案があった。

- a 至急、釜石において原位置岩盤試験を実施して、そのデータを使用するのが一番良い方法である（少なくとも将来はデータが必要である）。
- b 上記①のような不十分さがあることを承知の上で電中研が分類した岩盤物性値を採用することは当面の次善の策として妥当ではないか？（今までの蓄積した岩盤データを全く使わないので新たにデータ取得しなおすような時間的余裕はない。採用した岩盤物性値が保守的でない可能性があることを明記すれば間違いではない。）
- ④ 受託社側からの上記③の提案に対して、動燃側が合意しなかったので、今年度の解折検討業務においては動燃側が提示した上記(1)の物性値を使用することになった。

[1992年 1月 9日]

岩盤の物性値の設定について、「ニアフィールドの応力評価手法の開発」を担当する受託者と動燃との協議の結果、下記のような物性値を設定することになった。ただし、設定根拠についての記述は困難であることが確認された。

	対象深度 (m)	弾性係数 E (MPa)	ボルツ比 ν	一軸圧縮 強度 $q_u$ (MPa)	粘着力 C (MPa)	内部摩擦 角 $\phi$ (°)
結晶質岩	1000	30000	0.2	150	7.5	35
堆積岩 A	500	4000	0.3	20	4.0	30
堆積岩 B	300	1000	0.4	5	1.0	25

## 6.5 ニアフィールド熱影響解析に関する協議内容

(1991年10月 4日)

(1) ニアフィールド熱影響解析は平3レポートのストーリーにマッチした条件で解析計算を実施してもらうことが目標である。スイスのレポートでは空気層の存在していることを考慮して熱影響を評価しているので、『平3レポート』では、空気層の存在を考慮したい。

- ・空気層は2層存在するものとして計算してほしい。
  - ①オーバパックと緩衝材との境界
  - ②緩衝材と岩盤との境界
- ・N A G R Aでは空気層を放射熱媒体としてモデル化している。実施できないか？

↓

境界面における両媒体の温度を想定すれば、輻射熱を等価な熱伝導率に換算することはできる。このような簡便法であれば計算可能なので次回までに検討してくる。

(2) 空気層を有限要素法の要素としてモデル化し、空気層の熱伝達率を等価な熱伝導率に換算して入力し、計算することにする。〔受託者側〕

↓

単純に空気層の物性値を入力したのでは温度が高めの結果となってしまう。この計算条件以外に下記の条件を含めて3ケースの計算を実施してほしい。〔委託者側〕

- ① 空気層の熱伝達率を等価な熱伝導率に換算して計算。
- ② ビッグベンの実験データから採用した空気層の物性値（動燃から提示する）を使用して計算。
- ③ 空気層の熱伝達率に輻射による伝熱効果を評価して計算。

(1991年11月 7日)

ニアフィールド熱影響解析に関する計算条件の説明が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「ニアフィールドの3次元熱伝導解析」1991.11.07〕

- ・空気層の熱伝達率に輻射による伝熱効果を評価して計算する場合には、ほとんど効果がないことがわかったので、この条件による計算実行はキャンセルする。

(境界面における温度差をより大きいと仮定した場合であっても輻射による伝熱効果は微量である。例えば、オーバパック外側境界面で $50^{\circ}$ 、緩衝材外側境界面で $20^{\circ}$ の場合)

- ・代案として、空気層における自然熱対流が生じている場合の等価な熱伝導率を入力して計算を実行することに変更する。この場合の等価な熱伝導率はケース①とケース②の中間の値となるであろう。
- ・計算作業のスケジュールとしては下記のとおり。
  - 11月末までにファーフィールド熱影響解析に必要な出力作業を終了する。
  - 12月中旬までにすべての解析を終了する。

〔1991年12月 6日〕

ニアフィールド熱影響解析に関する解析結果の経過報告が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「ニアフィールドの3次元熱伝導解析 ケース1～3, ケース4～6  
解析結果速報」〕

詳細のコメント等については後日とし、会議の席上での協議は省略した。

〔1992年 1月 9日〕

前回報告してなかった残りのケースNo.7～9についての計算結果について報告された。

空気層の影響はそれほど大きくなことが示された。

〔1992年 2月 6日〕

ニアフィールド熱影響解析に関する解析結果の最終報告が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「ニアフィールド熱影響解析 中間報告会資料」〕

報告書に対して、①温度変化を示すグラフ中に初期温度を明記して欲しい。②エアギャップに対する評価は、岩盤に対する影響ではなく、緩衝材に対する影響として評価して欲しいとの要望が委託者側よりなされた。これに対しては、最終報告書までに対応することとなった。

## 6.6 ファーフィールド熱影響解析に関する協議内容

(1991年11月 7日)

- (1) 委員会の先生に提示した検討結果では、深度1000mに処分した場合の熱解釈結果を読み直して、深度 500m の場合には、地表温度は + 2 ° C 上昇する、と記述してあった。

↓

- ・このような記述では、地表温度の上昇が大きすぎるとの指摘ができるのは避けられない
- ・ 500 m 深度の場合の熱影響評価を計算実行すれば、問題ないと結論ができるであろう。

- (2) 実際の地表温度はどのような温度上昇なのだろうか？ 热伝達率境界による計算では保守的な検討とはならないのではないか？ 地表に空気層が存在していることをモデル化してはどうか？

↓

- ・高温地熱地帯のように膨大な熱源が持続して発熱しているならば、地表温度の上昇は存在する。しかし、地熱地帯の探査の場合でも地表では明確な温度上昇を測定できないので、地下 0. 5 m 程度の地温を測定している。基本的には、処分施設のような少量の熱源で、しかも、減衰する熱源の場合には、地表温度はほとんど上昇しないと考えてよいのではないか？
- ・まずは、熱伝達率境界でファーフィールド熱影響解析を実施し、その結果に対して、「このような地表の熱放出量は風速 1 m / s 程度の風で十分に冷却できる程度の熱量である」と記述すれば一般的の納得は得られるのではないか？
- ・念のため、地表付近の地中温度（例えば地下 0. 5 m）の計算出力も行うこととする。式の上からは、直線勾配の分布となるはずであるが、

(1991年12月 6日)

- (1) 前回までの議論の対象となっていた課題についての予備的な検討結果を受託者側から資料を提示しておこなった。

〔説明資料=「ファーフィールド熱影響解析——熱影響解析における地表面の温度について——」〕

結論として次のように言えるとの説明がされた。

- ① 地盤と大気との境界は熱伝達率で評価し、その値として  $10 \sim 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  を用いているのが一般的である。
- ② 热伝達率は、地表温度を固定させる境界条件ではない。熱源からちひょうめに伝わる熱量が大きければそれなりに地表面温度は上昇する。
- ③ 実際の処分場を対象とした解析で地表面温度が上昇しないのは、地表面に伝わる熱量が非常に小さいからである。
- ④ 地表面に伝わる熱量が小さければ、熱伝達率の値は解析結果の大勢に影響を及ぼさない。

- (2) 以上の説明に対して地表面温度が上昇しないのは、実質的に温度固定境界と同じではないかとの指摘があったが、ニアフィールド熱影響解析における計算例ではゼロではなく小数点以下数桁の非常に小さい温度上昇が出力として算出されていることが説明され、固定境界ではないことが確認された。
- (3) 地表付近の浅い領域の温度分布を知りたいとの要望があったが、予備解析に示したように直線補間できる計算結果であったので、細かく出力させるためのメッシュ追加作業は実行しなくてよいのではないか？との投げかけが受託者側からあり、後日動燃側から返答することとした。

↓

〔1991年12月11日〕

\* 動燃側より電話にて解析条件についての返答があった。

- ① 地表面の境界条件は熱伝達率で与えてよい。  
熱伝達率は保守的な無風状態の値とし、 $10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$  とする。
- ② 地表付近の浅い領域の温度分布を出力させるためのメッシュ追加作業は実行しなくてよい。

〔1992年 1月 9日〕

ニアフィールド熱影響解析の結果から得られた廃棄体1本あたりの専有面積( $80\text{m}^2/\text{本}$ )の場合における解析結果について報告された。

地表面の温度は無視し得る程に小さい上昇温度(解析計算の誤差程度の値)であった。

(1992年 2月 6日)

ファーフィールド熱影響解析に関する解析結果の最終報告が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「ファーフィールド熱影響解析」〕

報告書に対して、地表面付近の温度変化について整理して欲しいとの要望が、委託者側よりなされた。これに対しては、最終報告書までに対応することとなった。

## 6.7 廃棄体の沈下解析に関する協議内容

[1991年10月 4日]

(1) 廃棄体の沈下予測解析については、動燃東海は縦置きモデルについて解析をやってみたが、横置きモデルについては対応できるプログラムがない。

弾性変形、圧密沈下現象、および非排水せん断クリープによる沈下を考慮して、横置方式の場合の解析検討をしてほしい。

(2) 現状技術で短期間に検討するという制約のある中では、クリープ（2次圧密）を考慮した検討は難しい。

また、ギャップ要素を採用することによる、岩盤と緩衝材との分離を評価することも難しい。

次回までに前向きに検討して協議する。

[1991年11月 7日]

(1) 受託者側から、オーバパックの沈下解析に関する実施方針説明書を提示して協議した  
〔説明資料=「オーバパックの沈下解析について」1991.11.7〕

(2) 技術的に適用が可能なコードはABAQUS（粘弾性クリープ解析）およびDACSAR（弾粘塑性圧密解析）である。

前者は米国の輸出管理令による使用制限について打診中である。各々のコードには一長一短がある。工期および予算的な面から、どちらかのコードで計算を試みる予定である。

(3) 『平3レポート』において、このような複雑な現象を予測解析する必要があるのだろうか？

・処分場の安定設計では、非常に簡便な理論解による検討に落ちつかせることになったが、オーバパックの沈下については複雑な現象を急に解析実行を行うよりも、より単純な検討（例えば、緩衝材の試験データを使って1次元変形問題として予測評価する検討）を実行しておく方が今後の研究にとっても役立つのではないか？

・関口・太田モデルは入力するパラメータの種類が多い。計算結果は出るだろうが、どのパラメータが寄与しているのか、あるいは、長期変形はどの程度なのか、といった基本的な評価をすることが、現状技術ではできない。

(4) 非常に高度な解析であり、短期間に結論を出すテーマではない。しかし、どのような解析を実行するのかについては、検討実施担当者が判断して、次回に再度協議する。

(1992年 1月 9日)

(1) A B A Q U S による解析では 2 次元に追加して 3 次元解析も実施できたことが報告された。後者の方が前者よりも沈下量が小さかった。圧密解析による沈下量の予測値は 1000 年で 0.14 mm であった。また、クリープ解析による沈下量の予測値は 100 年で 0.74 mm (2 次元条件) であった。

(2) 委託者側より、クリープひずみ速度式の出典を知りたいとの要望があった。また、ここで使用した材料定数は必ずしも KBS TR 83-47 とは一致していないので、材料定数の条件を整理明記してほしいとの要望があった。次回までに対応することになった。

(1992年 2月 6日)

廃棄体の沈下解析に関する解析結果の最終報告が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「廃棄体の沈下解析」〕

報告書に対して、沈下グラフ中の時間の表示は、対数軸ではなく、普通軸で整理して欲しいとの要望が、委託者側よりなされた。また、グラフ中の瞬時沈下量に関する質問もあり、これらに対しては、最終報告書までに対応することになった。

## 6.8 オーバーパックの腐食生成物の力学的影響解析に関する協議内容

(1991年10月 4日)

- (1) オーバーパックが腐食によって2倍に体積膨張すると言うシナリオに基づいて、緩衝材厚さ1mとする根拠を作ったが、より高度な解析を実施してほしい。
- ・緩衝材の塑性流動を考慮することが望ましい。
  - ・緩衝材と岩盤のクリープ挙動を考慮できて、緩慢なオーバーパックの体積膨張の影響を評価できることが望ましい。
- (2) 現状技術で短期間に検討するという制約のある中では、クリープを考慮した検討は難しい。単純にフォークトモデルによるクリープを考慮すればよいというのであれば、実施できる（しかし、技術的な整合性のない解析になってしまふ）。

↓

- ・オーバーパックの体積膨張を強制変位として設定し、緩衝材に作用させる。
- ・軸対称3次元モデル、あるいは、水平2次元断面の平面歪モデルで解析する。
- ・処分孔、処分坑道の掘削による周辺岩盤の応力状態の変化をも考慮する。
- ・強制変位は段階的に与えるものとし、緩衝材の密度変化に伴う変形係数の非線型性を考慮する。
- ・その結果としての周辺岩盤の応力状態を評価する。

以上の前提でならば、（実行できる解析ケース数は限度があるが）解析検討は可能である。

- (3) 動燃事業団の要望を持ちかえり、次回までに検討して協議する。

(1991年11月 7日)

- (1) 委員会の先生からの指摘にあるように、緩衝材の塑性流動を考慮できるプログラムが望ましい。また、圧密解析ができること、岩盤の非線型モデルをも扱えることが望ましい。〔委託者側〕
- (2) 動燃事業団では、弾塑性解析による評価は実施した。このモデルでは、あまりに保守的な結果となってしまう。緩衝材の厚さが1m必要であるとの結論であった。この結果よりもより現実的な結果がほしい。そのためには、塑性流動やクリープ挙動や岩盤の非

線型性について考慮する必要がある。〔委託者側〕

↓

(3) 基本的に既存のコードとしては、オーバパックの沈下解析で示した2つのプログラムがある。しかし、オーソドックスな解析を実行するだけでも、工学的な判断能力の面で困難なのが現状の技術レベルである。

現時点では、工学的な評価の判断がつかない手法を適用して、その結果を『平3レポート』に反映することには無理がある。

今回の解析実行では、よりシンプルな解析コードを使用して、下記の着目点についての緩衝材厚さへの影響度合いを検討することとしたい。

① 従来の解析では、オーバパックが必ず2倍に体積膨張するという前提でのシナリオを採用しているが、オーバパックも弾性体であることを考慮してオーバパックと緩衝材と岩盤との相互作用として評価してみる。

(内部ひずみ・内部応力として初期条件を与えて解析する方法)

② 緩衝材の吸水膨張を評価する方法の試行解析はできないか？まずは独立した現象として実行したい。（今回の解析で緩衝材の吸水膨張は考慮しない。）

これらの個別検討結果は、今後の平8レポートにいたるR&Dの計画立案にやくだてるることはできる。『平3レポート』への反映を意識した解析を取り合えずとにかく答えだけを出す目的で実行するのではなく、実際には、どの現象がどのように作用するのかについて目安をつけるための解析を目的にしてはどうか？

↓

(4) 次回までに、上記(3)の路線での解析実行計画を受託者側から提案し、継続協議する。

〔1991年12月 6日〕

(1) 解析実行計画について受託者側から説明した。

〔説明資料=「オーバパックの腐食生成物の力学影響解析——解析計画——」19

91. 12. 6〕

(2) オーバパックの体積膨張量については、体積が2倍になることに等価な断面積の増加量を強制変位として与えるという計算条件が動燃側より提示された。

(3) 動燃側より、非定常解析を実施してほしいとの要望があったが、クリープ現象による

緩和ヒズミ量を考慮する定常解析とすることで合意した。

- (4) 緩衝材の厚さが30cmの場合のケースについても解析を実施してほしいとの動燃側からの要望があり、実行することで合意した。
- (5) 岩盤の物性値をどのような値とするのかについて協議した。動燃側から提示した物性値について議論があった。（この議論については5章参照）

〔1992年1月9日〕

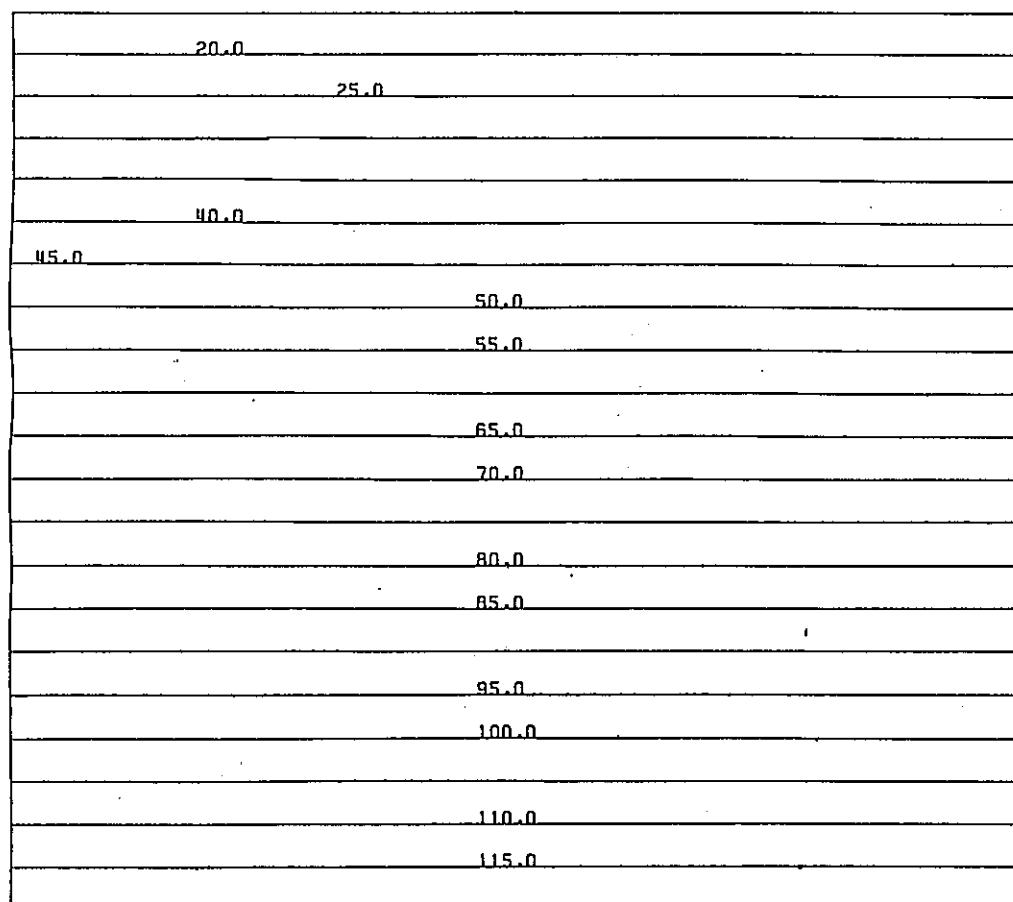
- (1) 解析のための各種物性値の設定について、実施担当者から案が提示され、その提示案の条件で計算することで了承された。
- (2) クリープ係数の設定値については、「廃棄体の沈下解析」で用いたクリープひずみ式を直接評価してクリープ係数を設定できるのではないかとの提案がなされたが、構成式に含まれる軸差応力を正確に設定できないのでクリープ係数を評価することが困難であることが確認された。  
(なお、今回の計算では時刻暦の計算は実施しないので、クリープ定数 $\beta$ は計算結果に影響しない。)

〔1992年2月6日〕

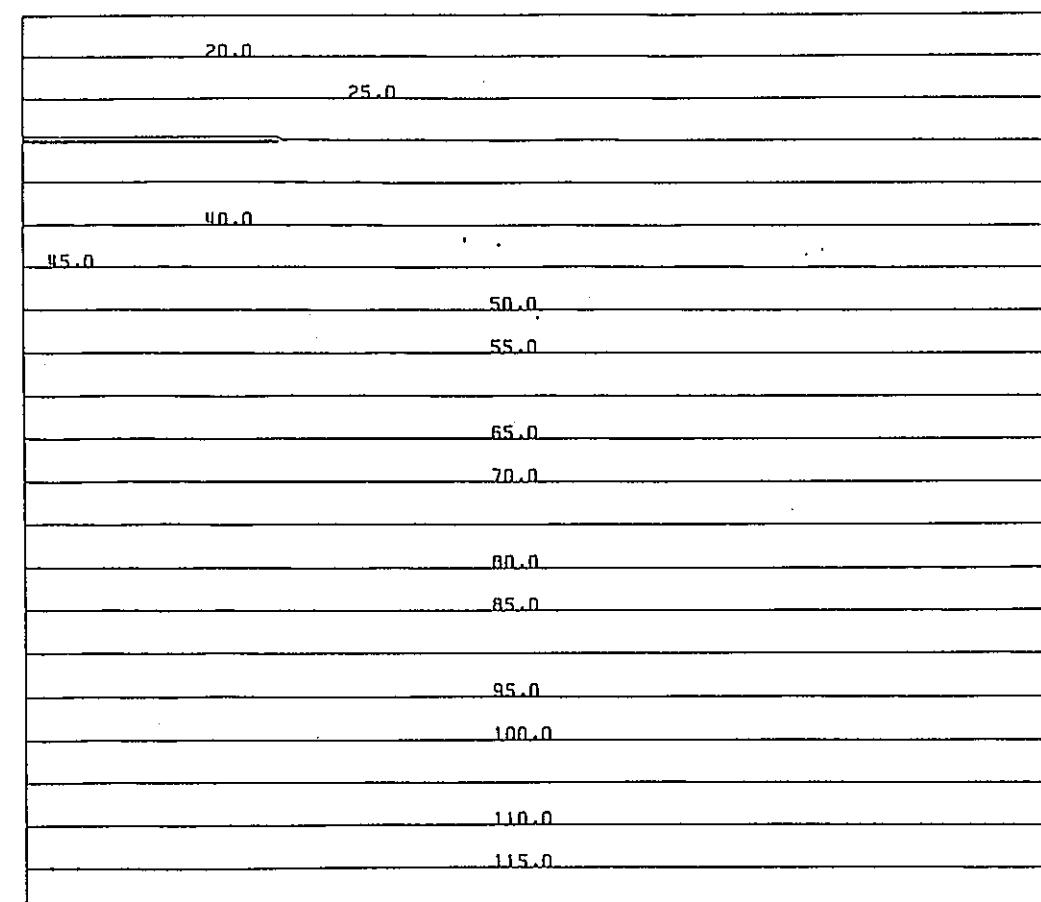
オーバーパックの腐食生成物の力学的影響解析に関する解析結果の最終報告が受託者側よりなされた。

〔説明資料=「オーバーパックの腐食生成物の力学的影響解析」〕  
報告書に対して、特にコメントはなかった。

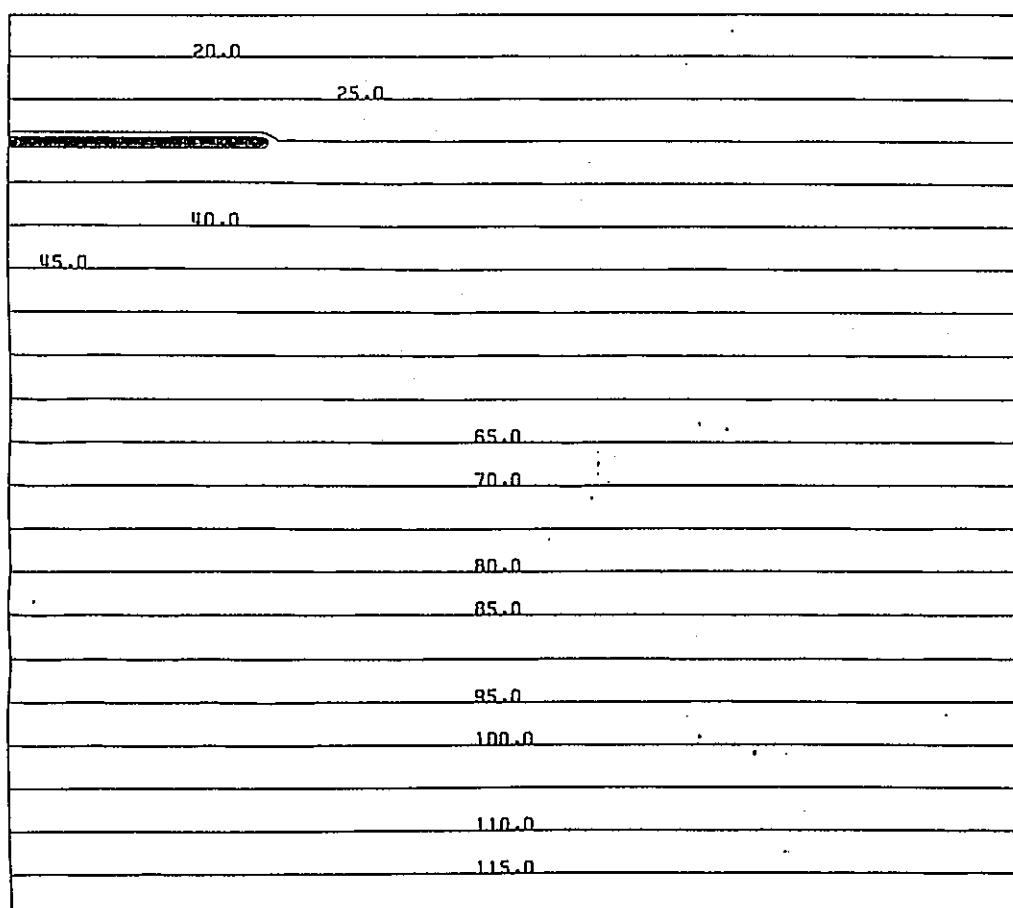
(単位 : ℃)



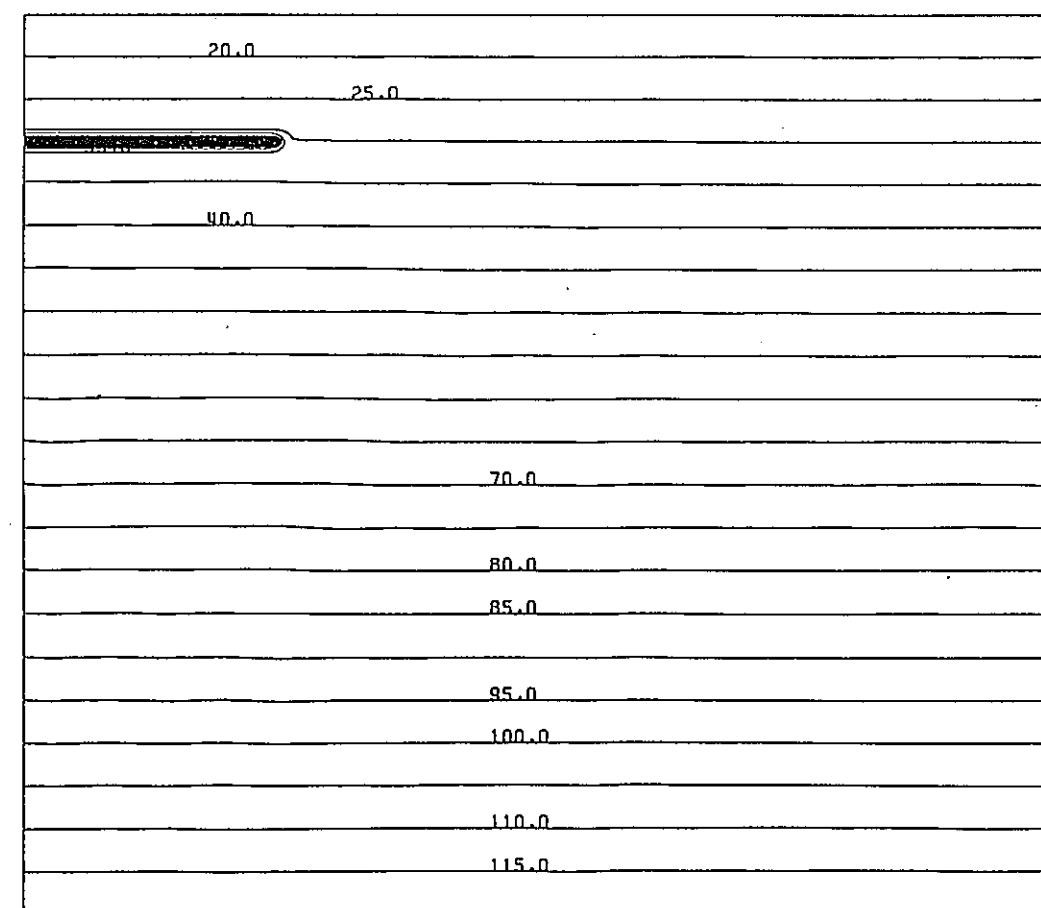
初期状態



1年後



5年後

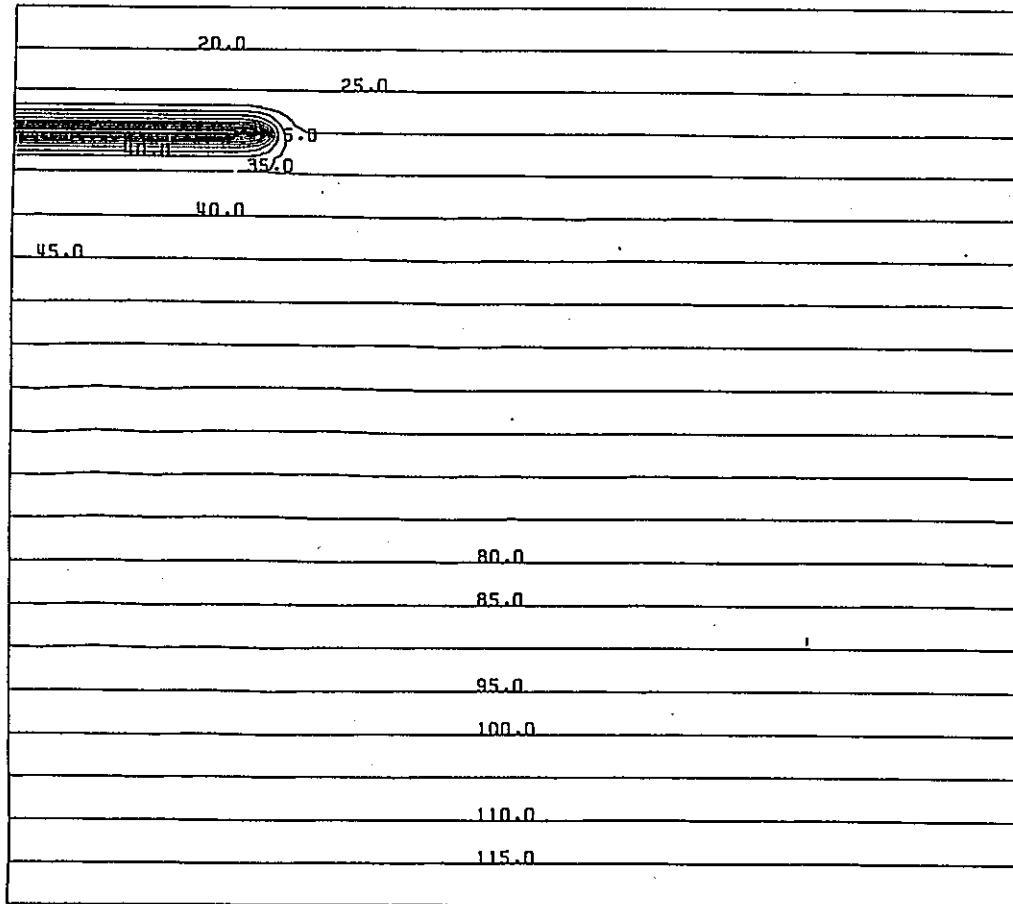


10年後

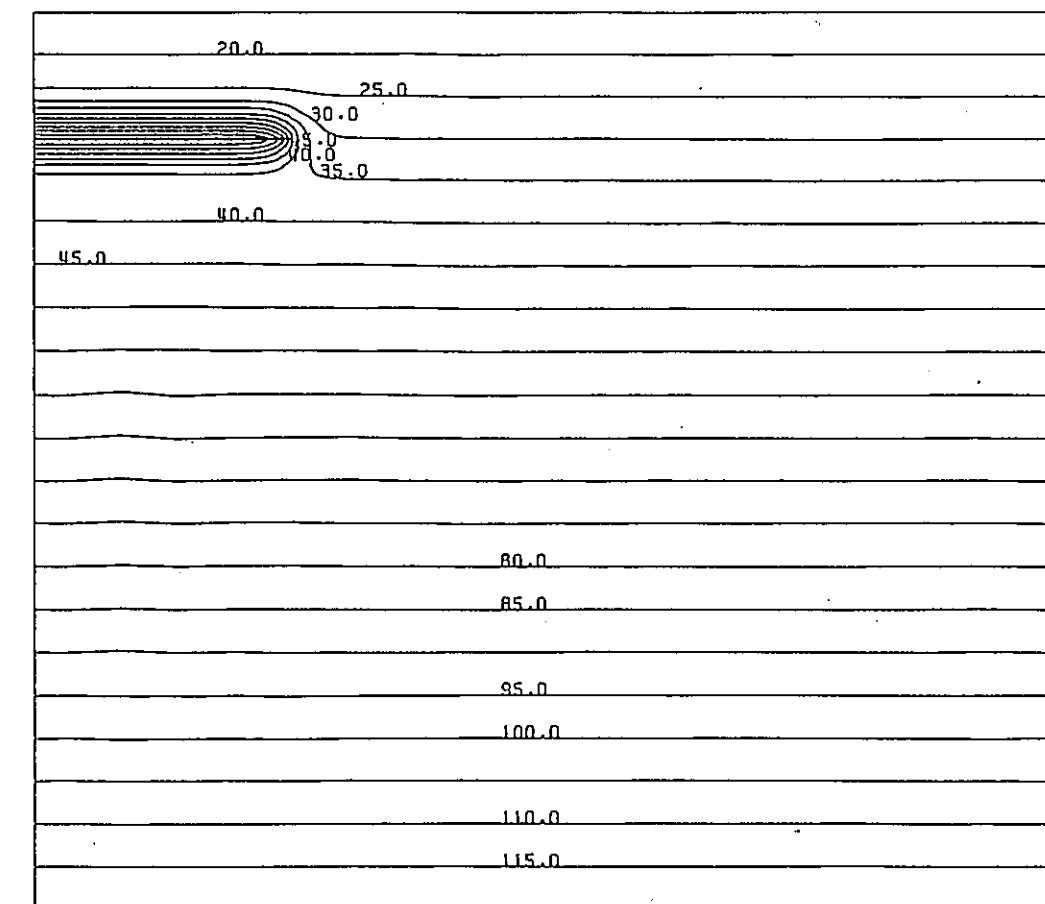
0 500m  
S=1/30000

図-3.3.3 溫度分布全体図(1)

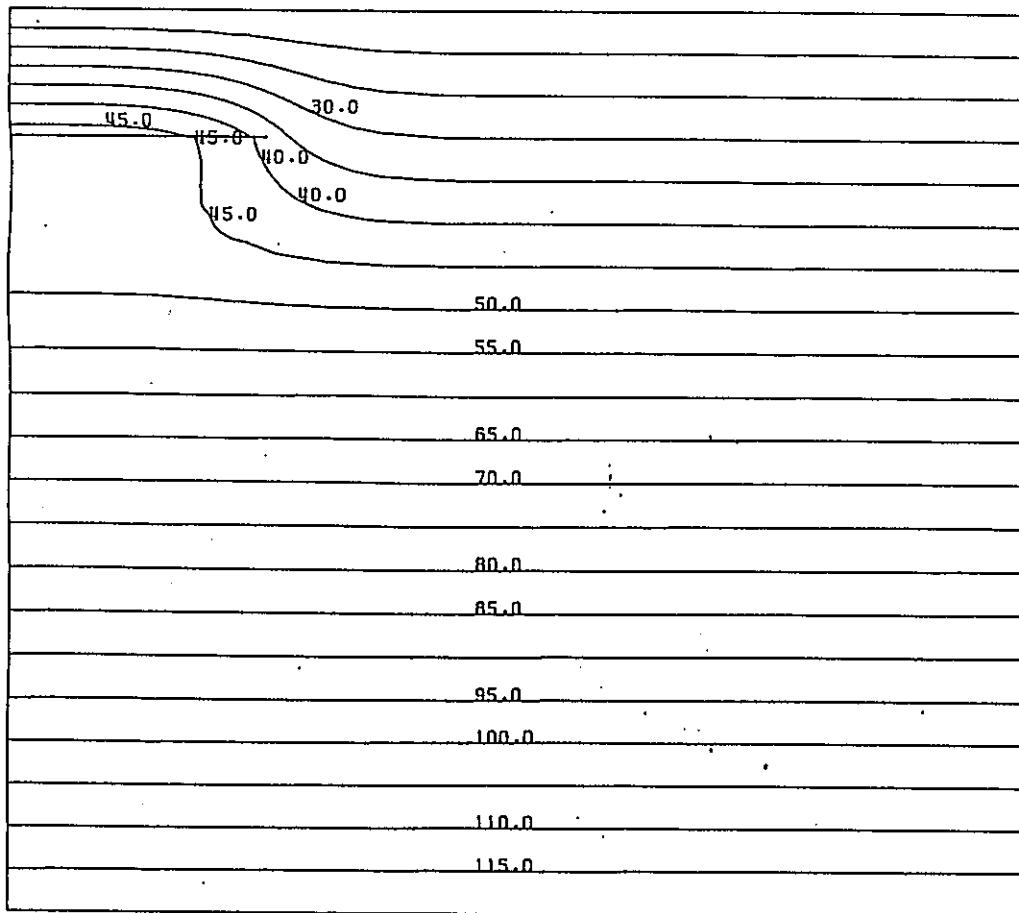
(単位 : °C)



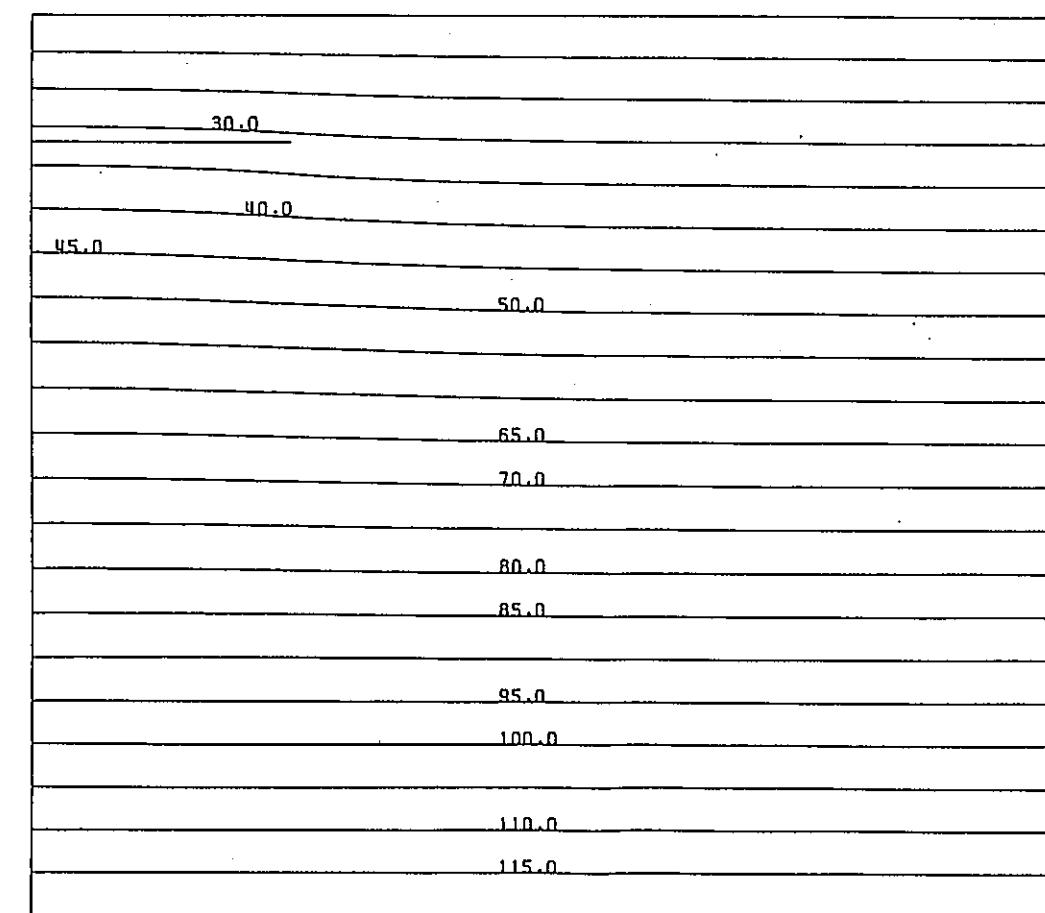
50年後



100年後



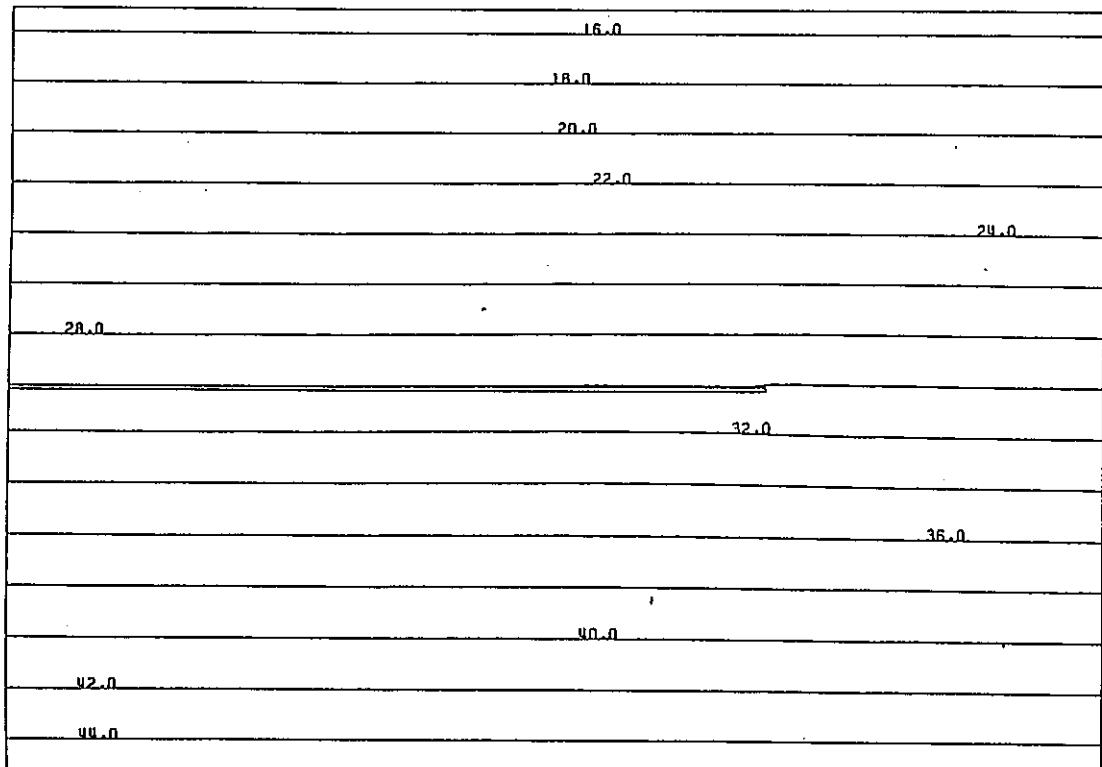
1000年後



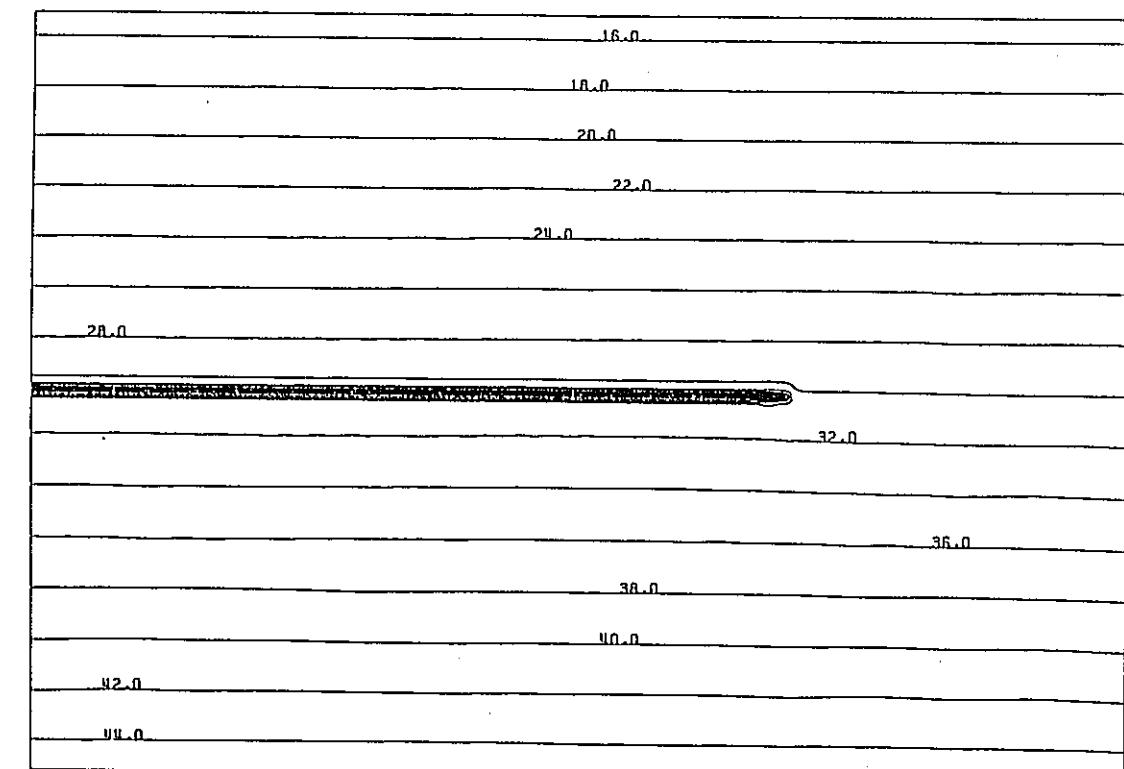
10000年後

図-3.3.4 溫度分布全体図(2)

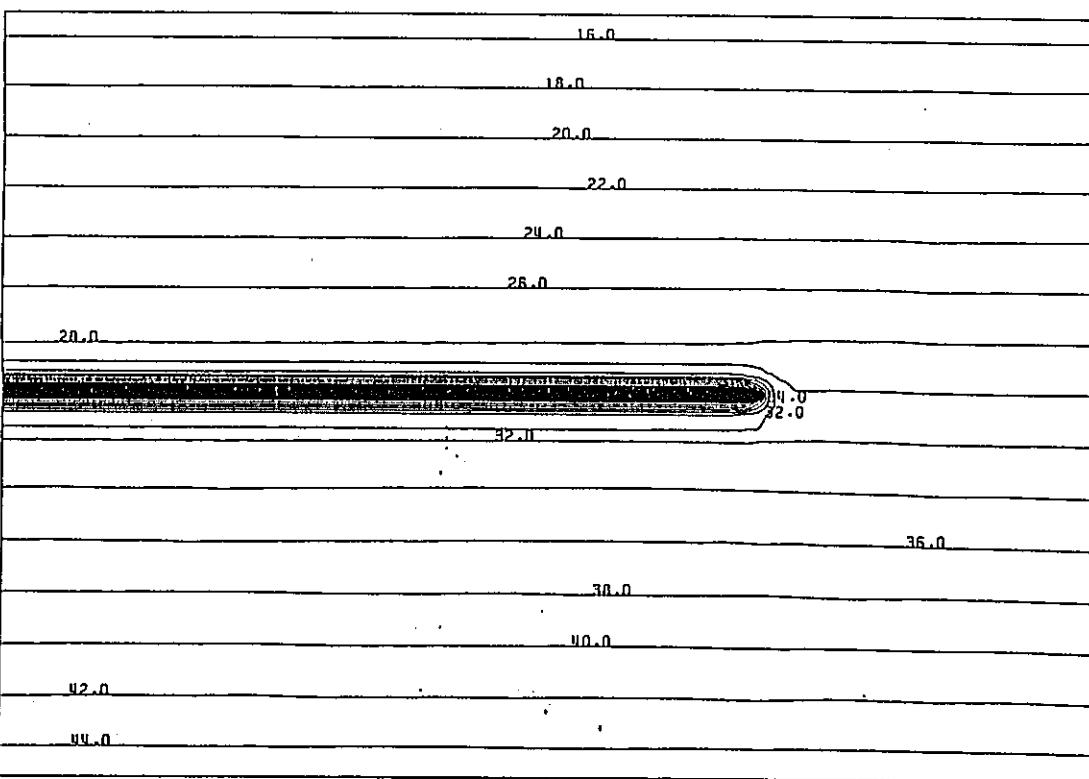
(単位: °C)



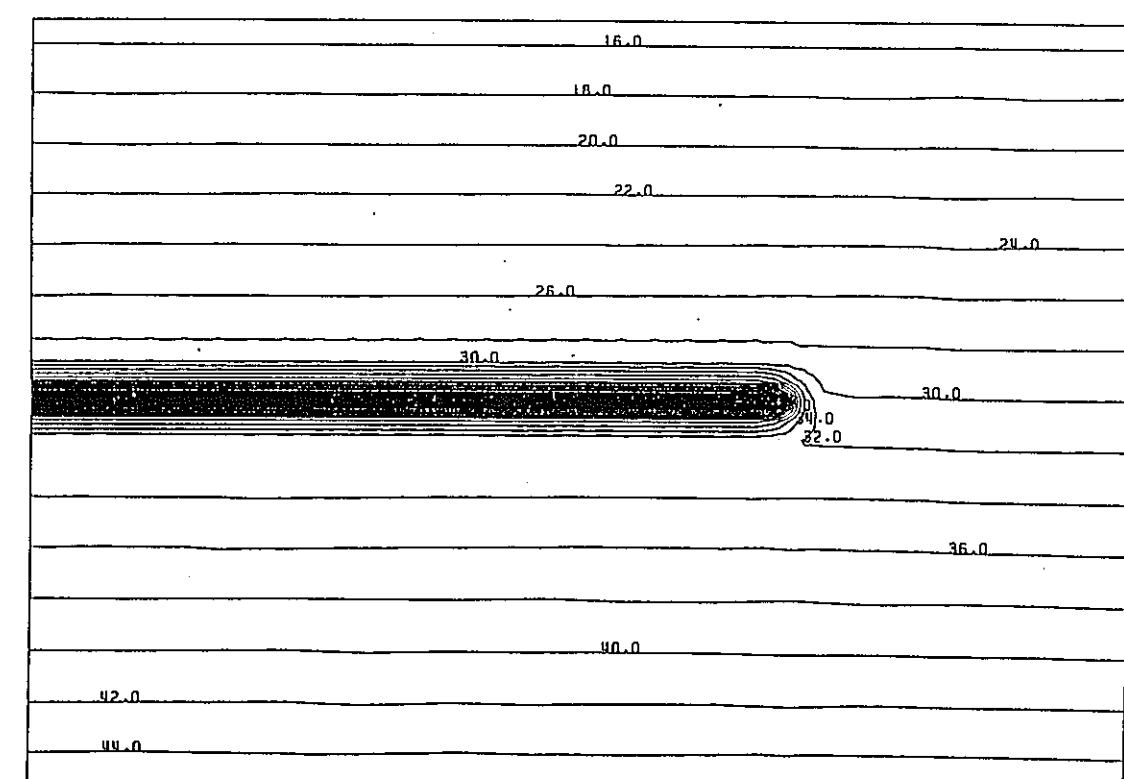
初期状態



1年後



5年後

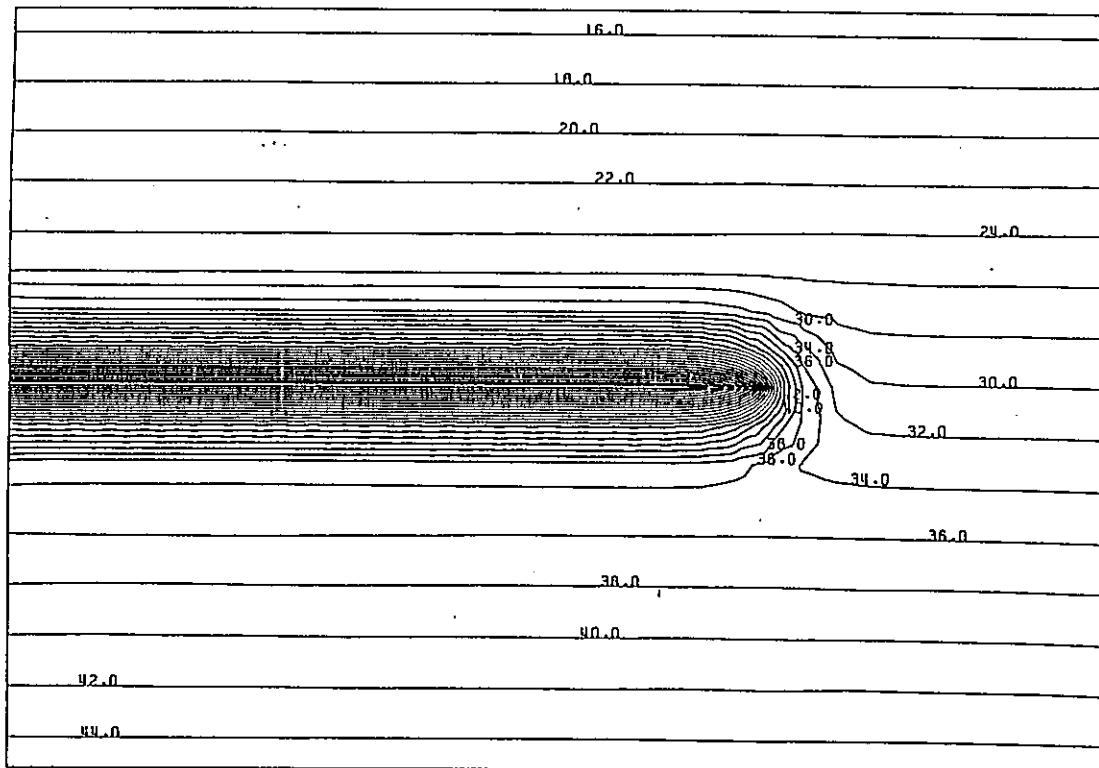


10年後

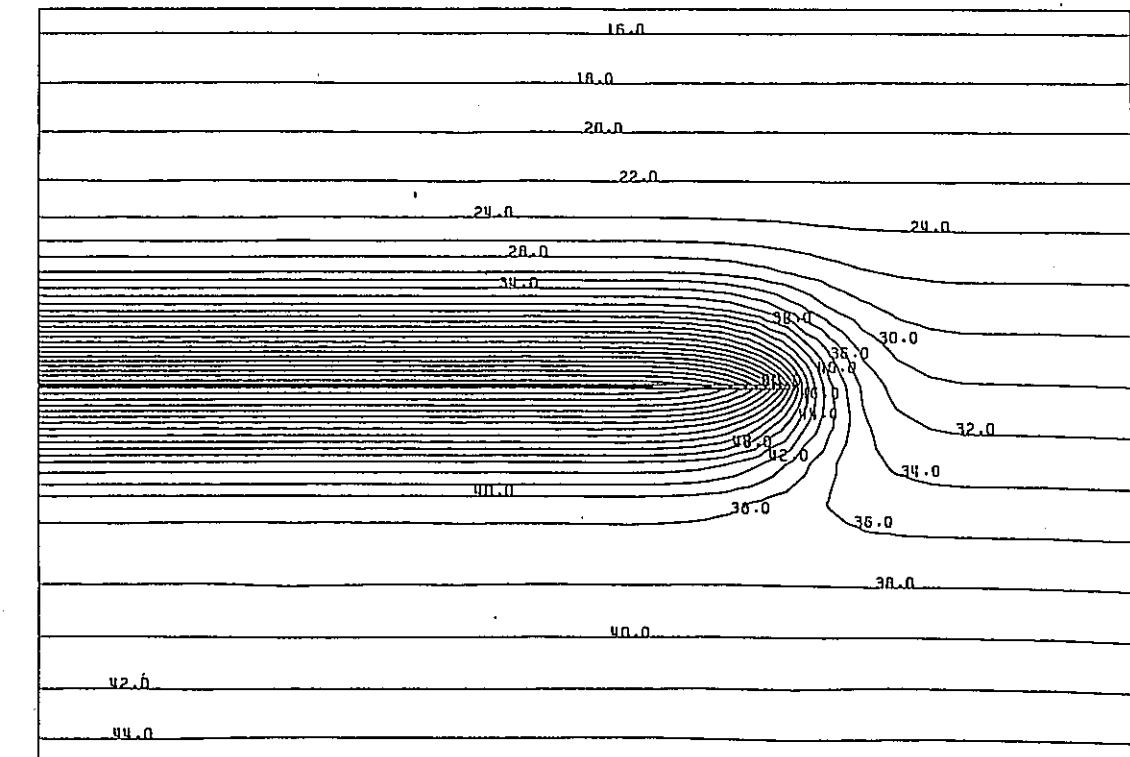
0 100 200m  
S=1/10000

図-3.3.5 溫度分布処理場周辺拡大図(1)

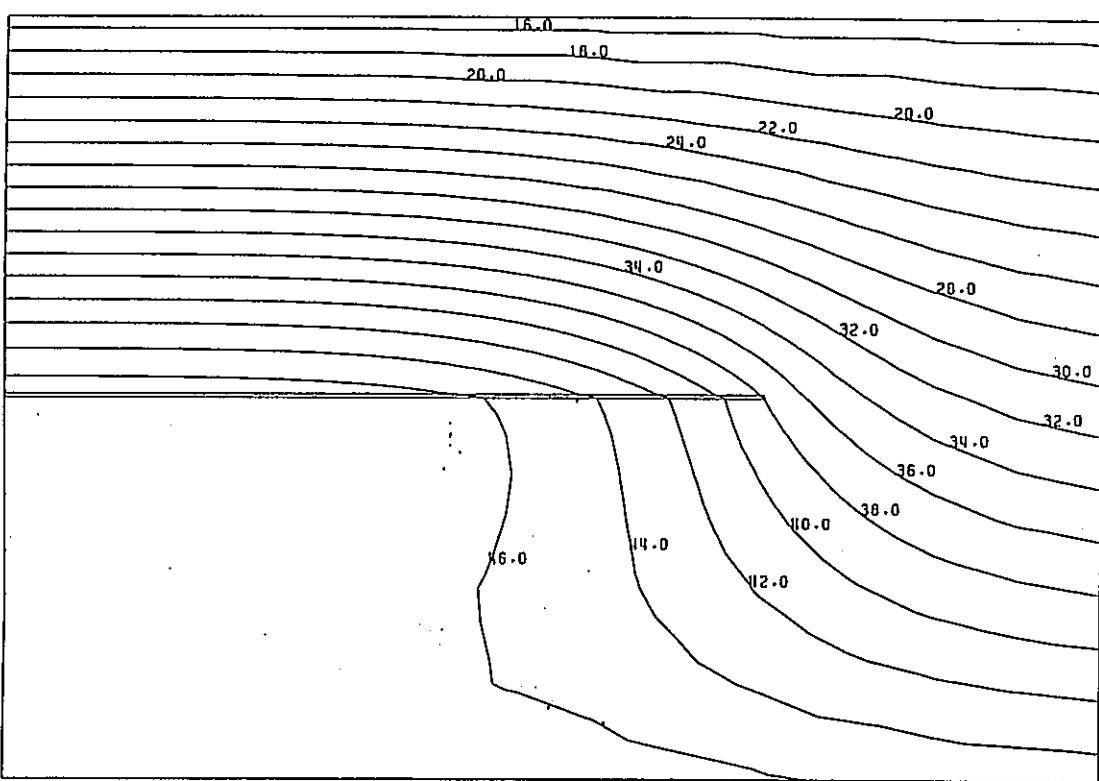
(単位 : °C)



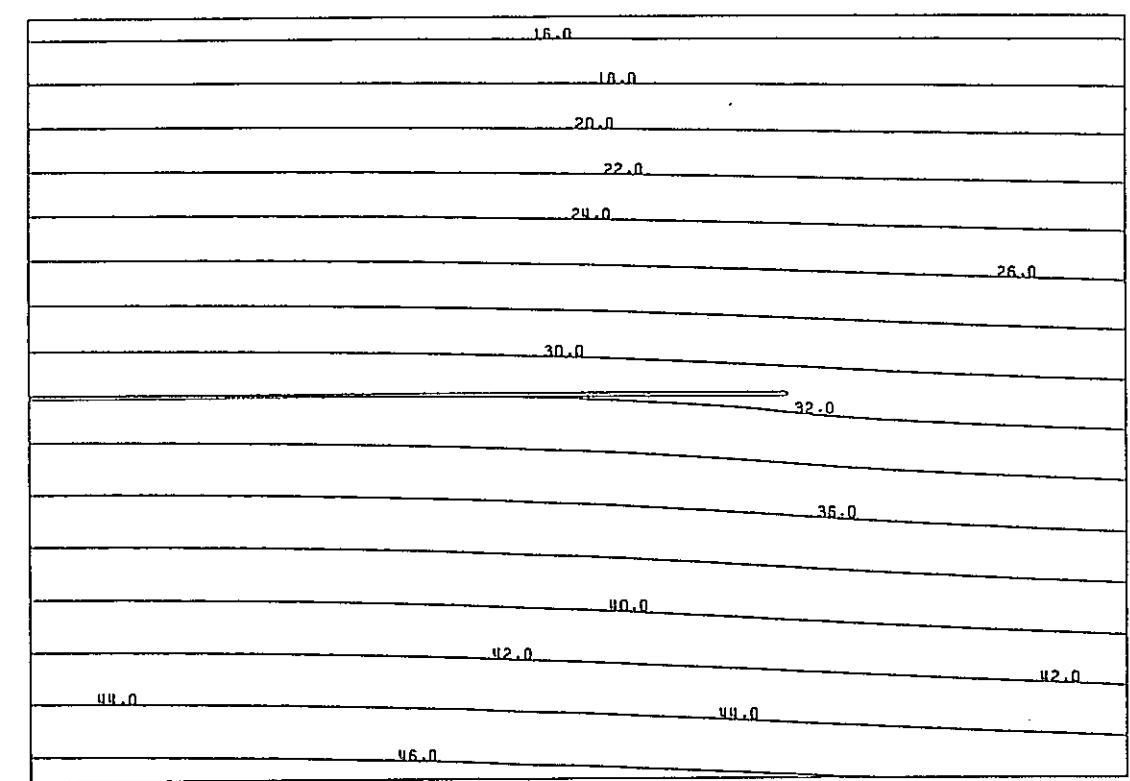
50年後



100年後



1000年後



10000年後

0 100 200m  
S=1/10000

図-3.3.6 溫度分布処理場周辺拡大図(2)