

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。
2001. 6. 6

[技術情報室]

処分場立坑のシーリングシステムに関する検討 —立坑周辺の地下水・核種移行解析—

1992年10月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

こ
で
よ

の
とい
い。

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

〒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)
2001

限 定 資 料

PNC T N8410 92-332

1992年10月



処分場立坑のシーリングシステムに関する検討

—立坑周辺の地下水・核種移行解析—

報告者 岡本 二郎*，五月女 敦，原 啓二

要 旨

処分場立坑は、廃棄体の定置後、埋戻し材、プラグ、グラウト等によって地層が本来有している性能に影響を及ぼさないようにシーリングしなければならない。

本報告書は、プラグ長、プラグ個数、グラウト長等をパラメータとして有限要素法を用いた立坑周辺の地下水流動解析と核種移行解析を実施し、シーリングシステムに関する検討を行ったものである。

検討の結果、主に以下のようなことが分かった。

- ① 立坑を埋戻し材のみによりシーリングする場合、周辺岩盤の緩み域の特性によっては立坑周辺が核種の移行経路となる可能性があるため、緩み域に対する止水性を確保するためプラグ等を併用する必要がある。
- ② 地下水流動解析の結果、プラグ長による止水性の効果はあまり期待できない。
- ③ 立坑内に数個のプラグを設置することにより緩み領域、埋戻し部の地下水流速を低減することができる。
- ④ シーリングシステムとしてプラグ、グラウト、埋戻し材を適切に組み合わせることにより核種移行の遅延効果、低減効果が期待できる。

目 次

1. はじめに	1
2. 解析モデル	2
2. 1 解析方法	2
2. 2 解析用断面の設定	3
2. 2. 1 解析領域	3
2. 2. 2 境界条件	4
3. 解析用物性値	6
3. 1 透水係数	6
3. 2 間隙率	7
3. 3 核 種	7
4. 解析ケース	9
4. 1 プラグ長の比較検討	9
4. 2 プラグ個数, グラウトの有無の比較検討	10
5. 結果と考察	12
5. 1 プラグ長に関する結果と考察	12
5. 1. 1 解析結果	12
5. 1. 2 プラグ長の地下水流动への影響	13
5. 2 プラグ個数, グラウト長に関する結果と考察	15
5. 2. 1 地下水流動	15
5. 2. 2 核種移行挙動	19
6. まとめ	29
7. 今後の課題	30
8. 参考文献	31
添付資料	33

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分場は地下数百メートル以深に建設される計画であるため、地上から地下へ連絡するための空洞（以下、アクセス坑道と呼ぶ）が必要となる。このアクセス坑道は廃棄物の処分後、埋戻し、プラグ、グラウトなどによりシーリングすることによって閉鎖し、地層が本来有する性能に影響を及ぼさないようにしなければならない。また、アクセス坑道の掘削に伴なって生じると考えられる周辺の緩み領域についてもプラグ等によってシーリングを行い、核種移行のクリティカルパスとならないようにする必要がある。

本報告書は、アクセス坑道を立坑と考え、その周辺に立坑半径の幅の緩みが生じたと仮定した場合の閉鎖方法について、プラグ長、プラグの設置個数、グラウトの有無、地下水の動水勾配等をパラメータとして地下水流动・核種移行解析を実施し、シーリングシステムに関する検討を行った結果をまとめたものである。

2. 解析モデル

2.1 解析方法

解析は有限要素法による3次元熱・水理・核種移行解析コードFEMCOUP/MIGRATIONを用いて実施した。以下に解析モデルの概要を示す。

温度勾配下の飽和浸透流に関する支配方程式は下式で与えられる。

$$S \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \cdot (\kappa \cdot \nabla H) + Q - \kappa \beta \partial_z T \quad (2.1)$$

ここで、地下水の実流速は以下となる。

$$u = -(\kappa \cdot \nabla) H / \theta + \kappa \beta (T - T^\infty) / \theta \quad (2.2)$$

各変数の意味は次の通りである。

S	: 貯留係数	[1/L]
H	: 全水頭	[L]
κ	: 透水係数	[L/t]
Q	: 溢水及び給水割合	[L ³ /L ³ t]
u	: 地下水流速	[L/t]
θ	: 間隙率	[—]
β	: 熱膨張係数	[1/°C]
T	: 温度	[°C]
T^∞	: 基準温度	[°C]

一方、核種移行の支配方程式は、移流分散、吸着、核種の崩壊減衰、親核種からの崩壊生成、浸出率を考慮すると以下のような方程式となる。

$$\begin{aligned} & \theta R_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta (U \cdot \nabla) C_m \\ &= \theta \nabla \cdot (D \nabla C_m) - \theta R_m \lambda_m C_m + \theta R_{m-1} \lambda_{m-1} C_{m-1} + F_m \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$R_m = 1 + K_{dm} \rho (1 - \theta) / \theta \quad (2.4)$$

ここで、

R_m	: 遅延係数	[-]
K_{dm}	: 分配係数	[L^3/M]
C_m	: 第m番目の核種濃度	[M/L^3]
D	: 分散係数	[L^2/t]
λ_m	: 第m核種の崩壊定数	[$1/t$]
F_m	: 核種放出率	[$M/L^3 t$]
m	: 核種番号($m=1, 2, 3, 4, 5$)	[-]
ρ	: 単位体積重量	[M/L^3]

以上の水理に関する支配法的式と核種移行に関する支配方程式を有限要素法を用いて解析し、地下水流と核種濃度分布を求めるものである。なお、今回の解析では温度一定とし、熱対流項は無視した。

2.2 解析用断面の設定

2.2.1 解析領域

地層処分場立坑のシーリングシステムの仕様および性能を検討する目的で、立坑とその周辺岩盤をモデル化し、プラグ長、プラグおよびグラウトの個数等をパラメータとした有限要素法による地下水流動・核種移行解析を実施した。

立坑の直径については、文献[1]及び動燃中部事業所において実施されている立坑掘削影響試験を参考にして 6 m に設定することとした。

立坑掘削によって生じると考えられる緩み域に関しては、掘削方法、岩盤物性等により異なるため一概には決められない。動燃中部事業所において実施されている立坑掘削影響試験では立坑周辺 1 m 程度は透水係数が大きくなっていることが確認されてはいるが、岩盤の塑性領域と水理的な緩み域の関係は明確になっていない。したがって、ここでは空洞安定解析の結果から求められる塑性領域を水理的な緩み域と仮定し、立坑周辺の緩み域を立坑半径程度と考えることとし、幅 3 m を設定することとした。

立坑のシーリングはプラグ、埋戻し、グラウトを組み合わせることが考えられている。本検討では図-2.1 に示すように解析モデルを1/2対象の二次元モデルとし、単位当たりの奥行き幅を考え、プラグの長さをパラメータとした解析用（モデル1）とプラグの設置個数及びグラウト長パラメータとした解析用（モデル2）の2種類の解析領域を設定した。

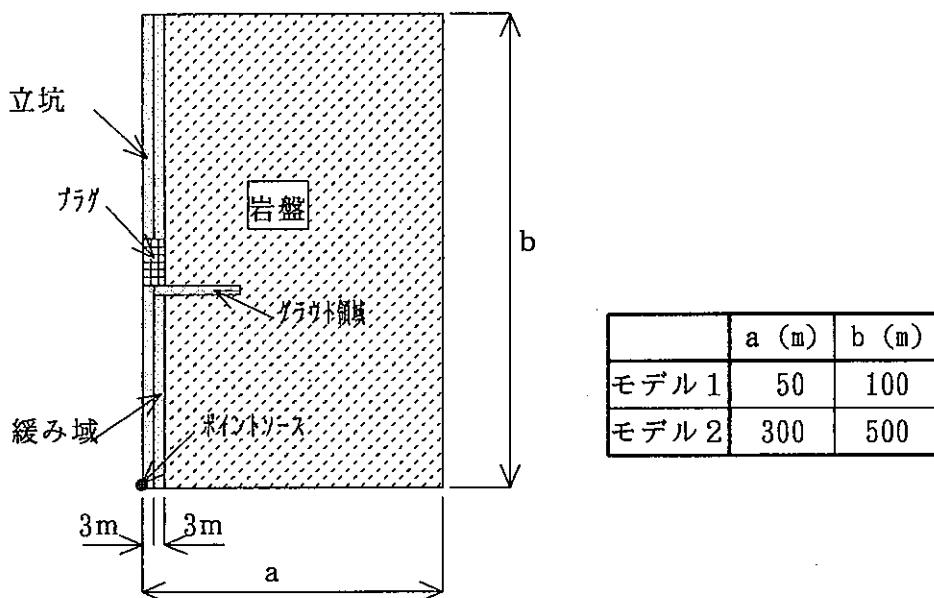


図-2.1 解析領域

なお、プラグ1個を設置する場合は立坑上部から $1/2b$ の距離に緩み域をすべて取り除くように設置することとし、他の場合はモデル領域に対してプラグ間隔ができるだけ均等になるように設置することとした。

2.2.2 境界条件

(1) 水理解析に関する境界条件

立坑は、地下水によって核種が地表まで運ばれる経路、つまりクリティカクパスとなることのないように閉鎖しなければならない。このシーリング性能を評価するに当っては、地形勾配等を考慮する必要があるが、今回の解析では保守的な条件として、モデル境界上部を全水頭0m、モデル下部境界を全水頭一定、側方境界を不透水と設定して、地下水が立坑下部から上部に向かって鉛直上向きの地下水流动を与えることとした。

下部境界の全水頭の値は、文献[2]の熱・地下水連成解析から熱対流による動水勾配を参考に設定することとした。この解析では、熱対流による動水勾配が最も大きくなると考えられる緩み域で約1/500~1/5000程度、岩盤部では1/10000以下となっており、この熱対流は処分後数万年でほとんどなくなっている。ここではこれらの値を参考に、

- ① 動水勾配1/5000になる場合 : $b * 1/5000$ (m)
- ② 動水勾配1/1000になる場合 : $b * 1/1000$ (m)

b : 解析領域の鉛直距離 (図-2.1参照)

の2ケースを設定し、地下水流动はこれらの動水勾配で鉛直上向きに定常流として生じるものとした。

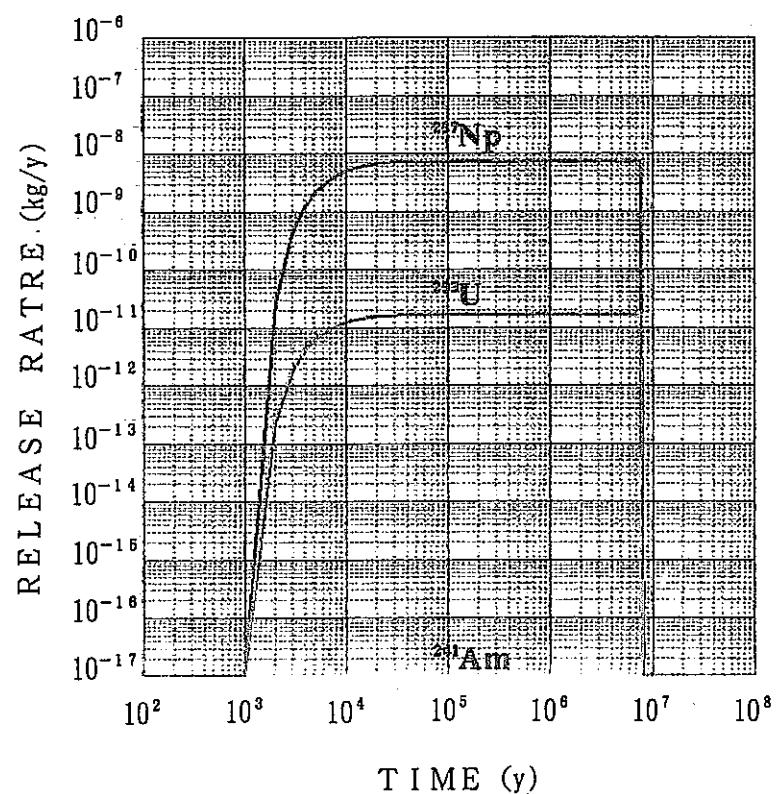


図-2.2 緩衝材外側からの核種放出率の時間変化（ガラス固化体1本分）

3. 解析用物性値

3.1 透水係数

表-3.1に解析に用いた透水係数を示す。

我が国における代表的な岩盤としては、花崗岩のような結晶質系の岩盤および、凝灰岩、泥岩のような堆積系の岩盤がある。ここでは、岩盤の透水係数として結晶質系岩盤の代表的な値である $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ を用いることとした〔1〕。

立坑を掘削した場合に生じると考えられる立坑周辺の緩み域に関しては、対象岩盤、掘削条件等の様々な要因により、その幅、物性値が変化すると考えられるため、一概に決定することは困難である。動燃事業団中部事業所において実施された立坑掘削影響試験では、立坑周囲約1mの範囲の透水係数が約1オーダ上昇する結果となっているが、ここでは、緩み域の透水係数を保守的に周囲岩盤より2オーダ大きくすることとした。

立坑内の埋戻し部については、現在埋戻し材料の候補材として有力視されているベンナイトと現地掘削ずりの混合材を使用するものとして、その透水係数は文献〔4〕を参考とし、周辺岩盤と緩み域に用いる物性値の中間値を設定した。

プラグについては、ベントナイトブロックを使用するものとし、プラグの施工範囲は立坑掘削により生じた緩み域までとした。また、ベントナイトの透水係数は、クニゲルV1の乾燥密度 1.8 g/cm^3 の値を用いることとした。

グラウトに関しては、セメント系、粘土系等様々な候補材料がある。ここでは、粘土系材料を用いると考えて、グラウト部の透水係数はプラグと同等の値を仮定することとした。

表-3.1 透水係数 (cm/sec)

	水平方向	鉛直方向
岩盤	$1.0E-6$	$1.0E-6$
緩み域	$1.0E-4$	$1.0E-4$
立坑(埋戻し部)	$1.0E-5$	$1.0E-5$
プラグ	$1.0E-13$	$1.0E-13$
グラウト	$1.0E-13$	$1.0E-13$

3.2 間隙率

岩盤及び緩み域に関しては透水係数の設定と同様な理由から文献[1]に示されている結晶質岩系岩盤の代表値を採用することとした。

・ プラグの間隙率は、本解析で設定したクニゲルV1の乾燥密度 1.8g/cm^3 の値を用いることとした。

立坑の埋戻し材料の間隙率については文献[2]と同様に、文献[4]に示されている埋戻し材の物性値を参考に、実際の施工面を考慮して 20cm ごとに 60kg 振動ダンパーを用いて、5～15回転圧した場合の埋戻し材の含水率(20～25%)及び、湿潤密度から算出した値を設定した。

グラウトに関しては、実際に岩盤にグラウトを施工し、その間隙率を測定した例がほとんど無く、グラウト施工による間隙率の変化を把握することができない。ここでは粘土系グラウトを想定して、プラグの値と同程度と考えることとした。

表-3.2に解析に用いた間隙率を示す。

表-3.2 各材料の間隙率

	間隙率 (%)
岩盤	1
緩み域	5
立坑(埋戻し部)	33
プラグ	34
グラウト	34

3.3 核種

本解析に用いる核種 $\text{Np}-237$ の岩盤中及びプラグに用いるベンナイト中の拡散係数、分配係数は文献[3]に示されている値を用いることとした。

立坑埋戻し部及びグラウト部に関しては、透水係数等他の条件と同様に現時点ではデータがほとんど無いため、ここでは暫定的にベントナイトと同じ値を用いることとした。

緩み域に関しては、上述したように、現時点ではデータがほとんど無いため、ここでは岩盤部と同程度になると仮定した。

表-3.3に解析に用いた $\text{Np}-237$ の諸条件を示す。

表-3.3 Np-237核種の諸条件

	拡 散 係 数 (m ² /S)	分 配 係 数 (m ³ /S)
岩 盤	1.0E-9	7.6E-4
緩み域	1.0E-9	7.6E-4
立坑(埋戻し部)	8.8E-11	1.2E-1
プラグ	8.8E-11	1.2E-1
グラウト	8.8E-11	1.2E-1
半減期(年)	2,140,000	

また、遅延係数は、式(2.4)を用いて算出し、分散係数に関しては核種移行解析を実施する前に、地下水流动解析を行い、各媒体(岩盤、立坑埋戻し部、緩み域、プラグ、グラウト)ごとに最大流速を求めて以下に示す式から算出することとした。

$$D_x = a_T \times V_x + (a_L - a_T) \times V_x^2 / V + D_{mi} \quad (2.5)$$

$$D_z = a_T \times V_z + (a_L - a_T) \times V_z^2 / V + D_{mi} \quad (2.6)$$

ここで、

D_x : 水平方向の分散係数 [L²/T]

D_z : 鉛直方向の分散係数 [L²/T]

a_T : 横方向分散度 [L]

(地下水の主流動方向と直行する方向への核種の分散長)

a_L : 縦方向分散度 [L]

(地下水の主流動方向への核種の分散長)

V_x : 水平方向の地下水流速 [L/T]

V_z : 鉛直方向の地下水流速 [L/T]

V : $(V_x^2 + V_z^2)^{1/2}$ [L/T]

D_{mi} : 拡散係数 [L²/T]

なお、横方向分散度及び縦方向分散度は、文献[3]でも採用された以下に示す値を用いることとした。

$$a_L = 2,000 \text{ (m)}$$

$$a_T = 0.0775 \times a_L \text{ (m)}$$

4. 解析ケース

表-4.1の解析ケース一覧表に示すように、モデル領域、プラグ長、プラグ個数、グラウト領域等をパラメータとして合計16ケースの解析を実施した。以下に各解析ケースの概要を示す。

4.1 プラグ長の比較検討

CASE 1～CASE 6までは、プラグ長をパラメータとして、立坑内及び緩み域を通過する地下水流がプラグ長の相違によって、どの程度影響を与えるかを検討する目的で実施した。プラグ長は図-4.1に示すようにそれぞれ2m, 5m, 10m, 15m, 20mを設定し、プラグを設置しない場合も解析した。また、動水勾配は前述した2ケースのうち、大きい方である1/1000の場合を用いて実施し、地下水流动挙動の影響を見ることとした。

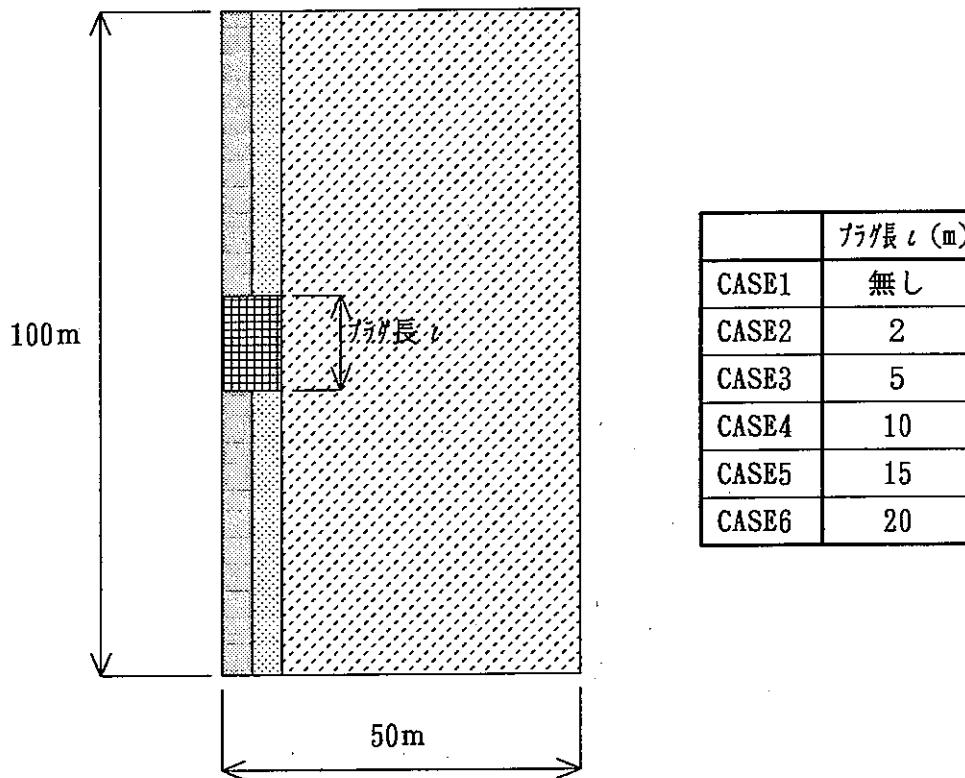


図-4.1 プラグ長の検討ケース

4.2 プラグ個数、グラウト有無の比較検討

4.1で検討した結果からプラグ長を暫定的に決定した後、図-4.2に示すように、その長さを持ったプラグを用いて領域を $300 \times 500\text{m}$ に拡大したモデルでプラグ個数、グラウト長及び動水勾配をパラメータとした地下水流动解析及び核種移行解析を実施した。

なお、シーリング性能を評価するために、立坑を完全に掘削前の岩盤条件に戻すことができたとした場合についても解析し、他のケースと比較検討することとした。

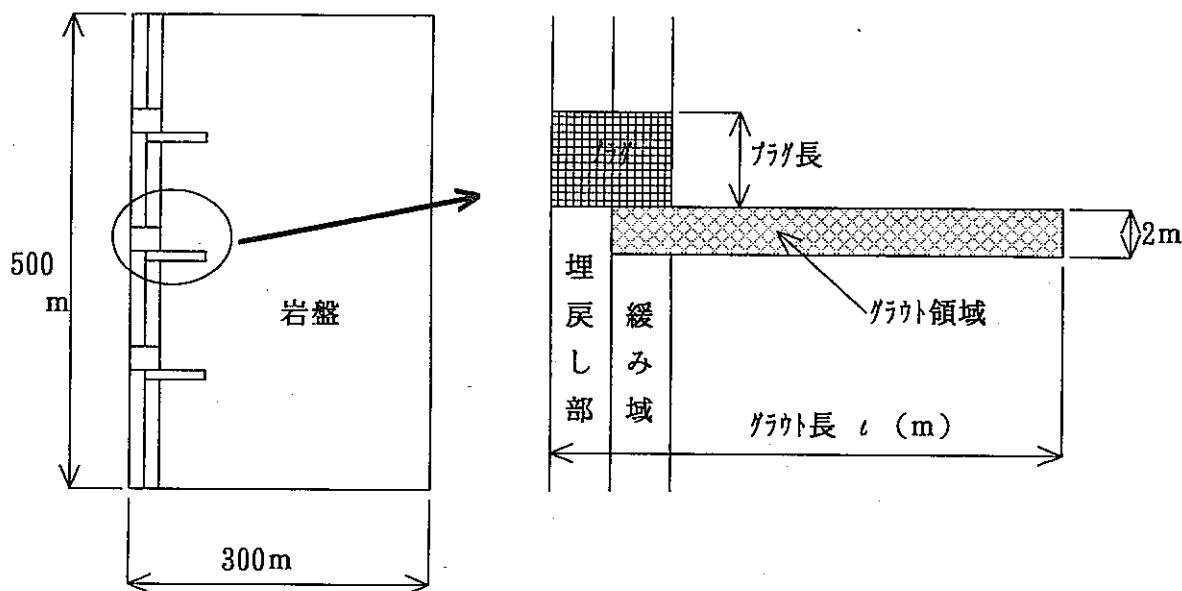


図-4.2 プラグ個数、グラウトの有無の検討ケース

表-4.1 解析ケース一覧表

項目 ケース	モデル領域 $a \times b$ (m)	プラグ長 ℓ (m)	プラグ個数 (個)	グリット領域 $a \times b$ (m)	動水勾配	岩盤の透水 係数(cm/s)	緩み域の透水 係数(cm/s)	埋戻し部の透水 係数(cm/s)	ブリッジの透水 係数(cm/s)	グリットの透水 係数(cm/s)	核種移行 解析の有無
ケース1	50×100	無し	無し	無し	1/1000	1.0E-6	1.0E-4	1.0E-5	無し	無し	無し
ケース2	"	2	1	"	"	"	"	"	1.0E-13	"	"
ケース3	"	5	"	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース4	"	10	"	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース5	"	15	"	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース6	"	20	"	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース7	300×500	無し	無し	"	"	"	無し	無し	無し	無し	有り
ケース8	"	"	"	"	"	"	1.0E-4	1.0E-5	"	"	"
ケース9	"	5	1	"	"	"	"	"	1.0E-13	"	"
ケース10	"	"	3	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース11	"	"	4	"	"	"	"	"	"	"	"
ケース12	"	"	3	"	1/5000	"	"	"	"	"	"
ケース13	"	"	"	2×16	1/1000	"	"	"	"	1.0E-13	"
ケース14	"	"	"	2×32	"	"	"	"	"	"	"
ケース15	"	"	"	2×16	1/5000	"	"	"	"	"	"
ケース16	"	"	"	2×32	"	"	"	"	"	"	"

5. 結果と考察

5.1 プラグ長に関する結果と考察

5.1.1 解析結果

プラグ長に関する地下水流动解析をCASE 1～CASE 6まで実施した。図-5.1に一例としてCASE 3のプラグ長を5mとした場合の地下水の実流速ベクトルと等ポテンシャル図を示す。なお、すべてのケースの実流速ベクトルと等ポテンシャル図は添付資料に示す。

プラグを設置しない場合、地下水は上下方向の動水勾配条件から当然の結果として各媒体（立坑埋戻し部、緩み域、岩盤）とも鉛直上向きの流动を示しているが、緩み域を通過する地下水流动が卓越している。プラグを設置すると立坑内の埋戻し部及び緩み域を通過していた地下水がプラグによって、その進行を妨げられ岩盤部の方に周り込むような流动を示しており、それに伴って岩盤中の地下水もプラグを中心に周り込むような流动となっている。また、プラグを設置したことにより、プラグに沿って岩盤中を流れる地下水の流速は遠方の岩盤中の地下水より大きくなっている。

一方、ポテンシャルに関しては、プラグを設置しない場合、媒体（立坑埋戻し部、緩み域、岩盤）に関係なく水平方向に同じ値を示すが、プラグを設置することによって、立坑、緩み域及び緩み域に近い岩盤部のポテンシャルがプラグ方向に近付いてきており、プラグ周辺の等ポテンシャル線が密になっている。このことは、地下水の動水勾配がプラグ付近で大きくなることを意味し、その結果、地下水流动がその周辺で大きくなることを示している。また、上部境界付近のポテンシャル線もプラグ設置によってプラグ方向に移動しており、上部までプラグの影響が現れていることを示している。

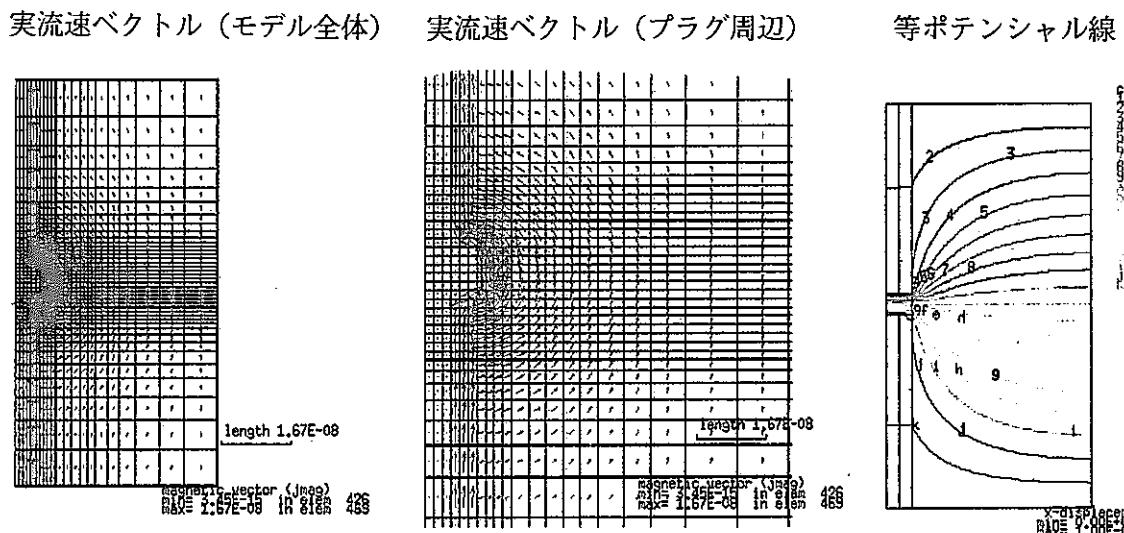


図-5.1 実流速ベクトルと等ポテンシャル(CASE3：プラグ長 5 m)

5.1.2 プラグ長の地下水流动への影響

CASE 1～CASE 6までの解析結果から、プラグ長の地下水流动への影響を評価するために、図-5.2に示すように立坑、緩み域、プラグ及び岩盤の上部境界の地下水流速を比較した。図-5.3に上部境界での地下水実験流速分布を示す。

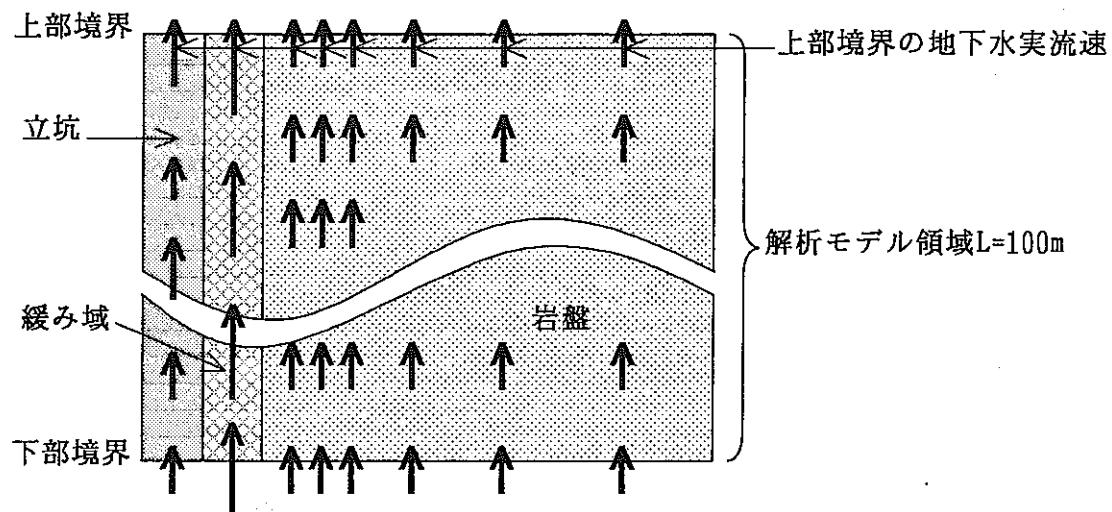


図-5.2 各境界での地下水流动概念

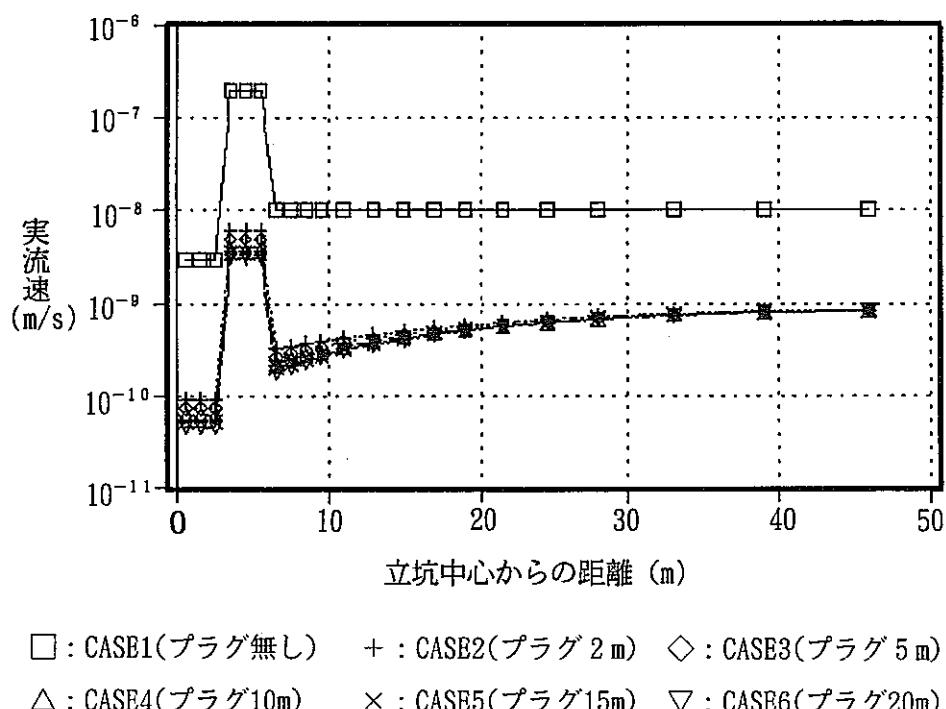


図-5.3 プラグ長での相違による上部境界での実流速比較図

立坑部を埋戻し材のみよって閉鎖した場合、それぞれの実流速は、

- ・立坑埋戻し部で約 5×10^{-9} m/s
- ・緩み域で 約 4×10^{-7} m/s
- ・岩盤中で 約 1×10^{-8} m/s

であったものが、プラグを設置することにより各々、

- ・立坑埋戻し部で約 $6 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-10}$ m/s
- ・緩み域で 約 $5 \times 10^{-9} \sim 8 \times 10^{-9}$ m/s
- ・岩盤中で 約 $3 \times 10^{-10} \sim 9 \times 10^{-10}$ m/s

となり、プラグを設置することよって、それぞれ約1オーダ地下水流速が小さくなっている。特に、岩盤中の地下水は、緩み域との境界部に近いほど地下水流速が小さくなってしまっており、境界部から遠ざかるにしたがって徐々に地下水流速が大きくなっている。これは、図-5.1の等ポテンシャル分布の変化から分かるように、プラグを設置したためにポテンシャルがプラグ方向に引き寄せられ、上部境界付近のポテンシャルの低下が生じたために、動水勾配が小さくなつて地下水流速が小さくなつたと考えられる。

一方、プラグ長の効果について見ると、プラグ長を2mから20mと長くしても、上部境界付近の地下水流速は多少変化するだけであり、プラグを長くしてもあまり効果が現れない結果となつた。

以上の結果から言えることは、立坑を閉鎖する場合にはプラグを併用するとプラグによる止水効果は大きくなる。しかし、設置するプラグを長くしても地下水流速の低減効果はあまりない。したがつて、プラグ長は長期的な安定性等の他の要因から決定されるものと考えられる。

5.2 プラグ個数、グラウト長に関する結果と考察

5.2.1 地下水流動

(1) 解析結果

図-5.4にプラグ長を3個、グラウト無し、動水勾配を1/1000として実施したCASE10の地下水の実流速ベクトル及び等ポテンシャルを一例として示す。なお、添付資料に全ケースの地下水の実流速ベクトル及び等ポテンシャルを示す。

実流速に関してはプラグを設置することにより、地下水がプラグを中心に周り込む現象が見られ、グラウトを設置した場合でもグラウト周囲を地下水が周り込む現象が見られる。

ポテンシャルに関してはプラグ及びグラウトを設置することにより、CASE 1～CASE 6までの解析と同様にプラグ及びグラウト周辺に等ポテンシャル線が近付いてきており、その結果プラグ周りの流速が大きくなっているが、立坑及び緩み域から離れるにしたがってポテンシャル線がプラグ及びグラウト設置前の状態に戻っている。

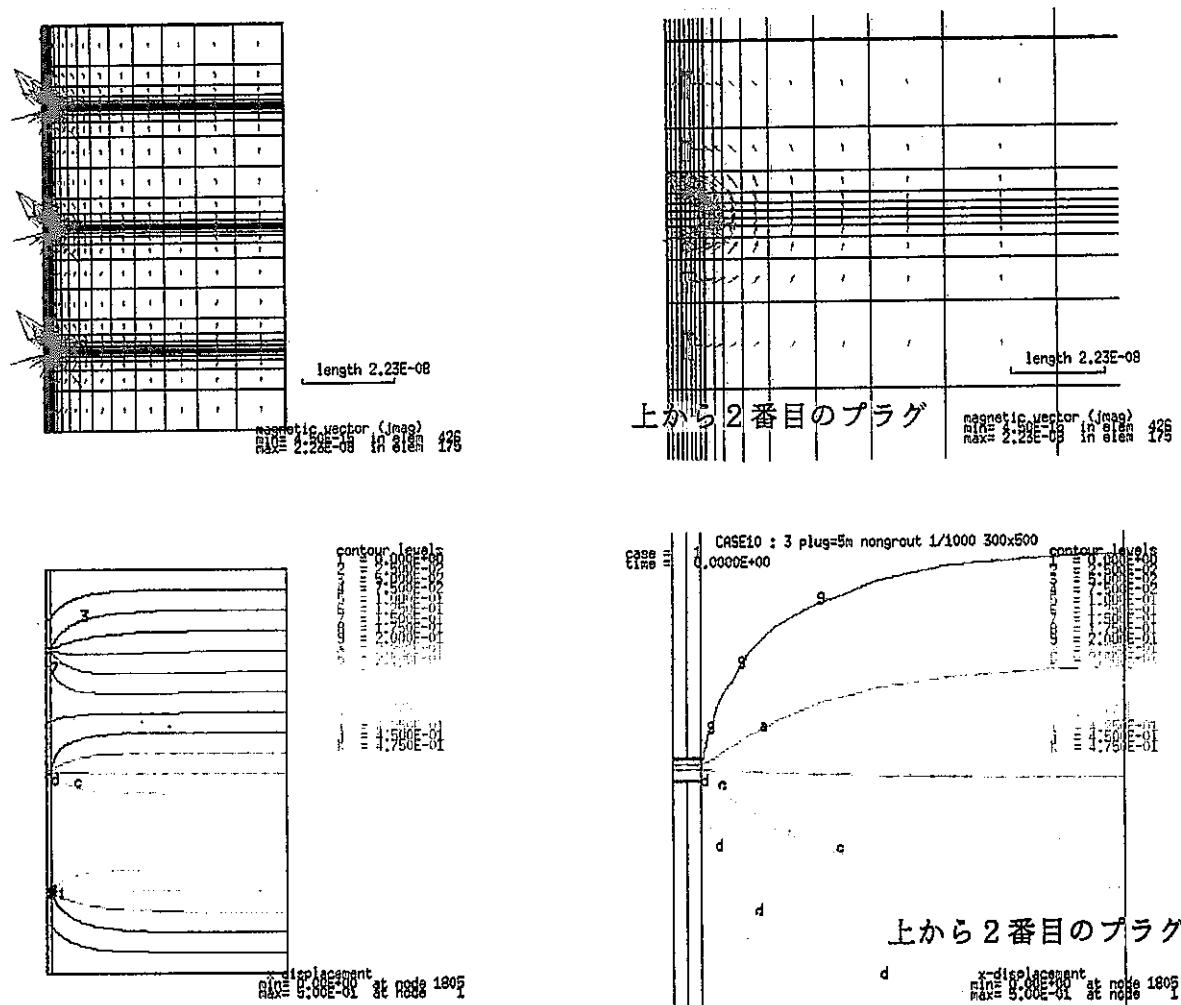
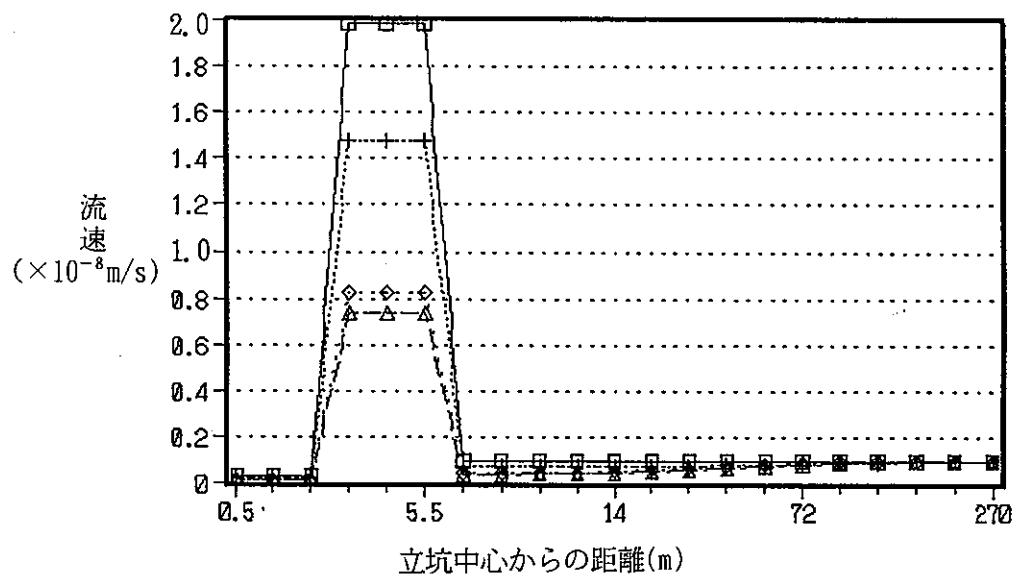


図-5.4 実流速ベクトルと等ポテンシャル線

(CASE10：プラグ3個、グラウト無し、動水勾配1/1000)

(2) プラグ個数、グラウト長が地下水流动に及ぼす影響

図-5.5にプラグ無し、プラグ1個設置、プラグ3個設置、プラグ4個設置した場合(CASE8～CASE11)の上部境界での地下水の流速分布を示す。なお、本図は立坑及び緩み域の部分が分かるように水平方向をノンスケールで示してある。



□：CASE8(プラグ無し) +：CASE9(プラグ1個) ◇：CASE10(プラグ3個) △：CASE11(プラグ4個)

図-5.5 プラグ個数の相違による上部境界での実流分布図

この図より、緩み域の地下水流速の大きさは各々、

- ・ プラグ無し(埋戻しのみ)の場合、約 2.0×10^{-8} m/s
- ・ プラグ1個設置した場合、 約 1.5×10^{-8} m/s
- ・ プラグ3個設置した場合、 約 0.8×10^{-8} m/s
- ・ プラグ4個設置した場合、 約 0.7×10^{-8} m/s

となり、プラグの設置個数を多くするにしたがって、緩み域での地下水流速が低下していることがわかる。しかし、プラグ個数が3個と4個では、他の場合に比べて地下水流速の低下の度合いが小さくなっている。したがって、地下水流动に関しては、本解析モデル領域500m程度にプラグを3個設置することが最も効率的であると考えられる。

次に岩盤中の地下水流速を見るために、縦軸を対数表示にして示したものを見図-5.6に示す。

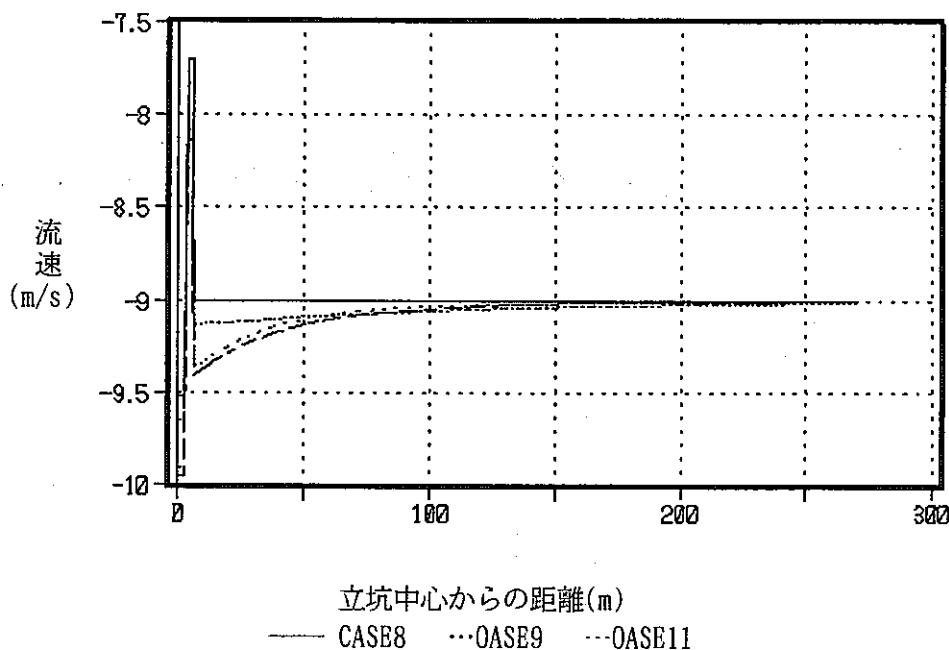


図-5.6 プラグ個数の相違による上部境界での実流速分布図（対数表示）

これより、岩盤部については、5.1でも述べたように緩み域との境界に近づくにつれて地下水流速の低下が見られ、緩み域から遠ざかるにしたがって地下水流速はプラグを設置しない場合まで回復する傾向が見られる。これは、5.1と同様にプラグの設置に伴って立坑及び緩み域付近のポテンシャル低下が起こるためであると考えられる。

次に、図-5.7はカーテングラウトをプラグと共に用いた場合についての効果を見るために、図-5.5にCASE13, CASE14の結果を付加して示したものである。

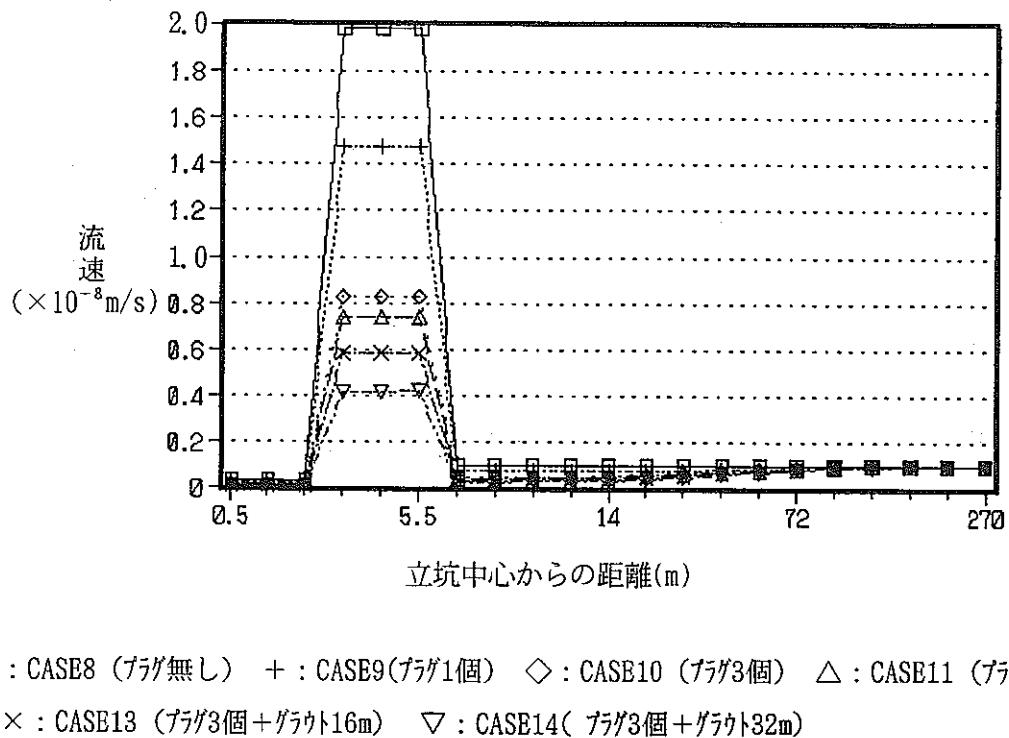


図-5.7 グラウトの有無、長さの相違による上部境界での実流速分布図

この図より、緩み域の地下水流速はグラウトを設置した場合、

- ・プラグ3個&グラウト16m併用の場合、約 0.6×10^{-8} m/s
- ・プラグ3個&グラウト32m併用の場合、約 0.4×10^{-8} m/s

となる。これは、プラグを3個から4個に増やして設置した場合より緩み域の流速を低減していることを示している。したがって、地下水流动解析からはプラグとグラウトの併用によって地下水流速をさらに低減することができると言える。

以上の解析結果より、解析領域500m程度の場合、プラグは3個設置し、それと同時にグラウトを併用うし行うと地下水流速の低減効果が期待できると考えられる。

5.2.2 核種移行挙動

(1) 解析結果

CASE7～CASE16までの3,000,000年後の核種濃度分布を図-5.8に示す。なお、他の経過年での濃度分布図は添付資料に示す。また、これらの図は水平方向のスケールを鉛直方向の2倍にして示している。この図より以下のようなことが分かる。

CASE7の立坑掘削前の岩盤中に核種を設置した場合では、地下深部に設置された核種は、地下水の流動方向である鉛直方向のみに広がって行くだけでなく、水平方向にも広がっている。

CASE8の立坑掘削後、埋戻し材によってのみ閉鎖した場合では、核種は水平方向に広がるよりも立坑及び緩み域内を通過して、上部境界まで到達する結果となっている。

CASE9の立坑の閉鎖に埋戻しとモデル中央部に長さ5mのプラグを緩み域を取り除くように1個設置した場合では、CASE8の埋戻し材のみによる閉鎖よりも核種が岩盤部に分散し、プラグ付近では核種が上部に移行するのを妨げているような濃度分布になっている。また、プラグを設置することにより、濃度の分布状況がCASE7の掘削前の濃度分布状況に近い状態になっていることが分かる。

CASE10の立坑の閉鎖にプラグ3個を併用した場合では、CASE9の場合と同様にプラグによって核種が上方に移流分散していくのを抑制されていることが分かる。また特に、核種を設置した場所に近いプラグの下側では核種の濃度が大きくなっていることからも上方への核種の移行を防いでいる様子が分かる。

CASE11の立坑の閉鎖にプラグ4個を併用した場合では、CASE10の場合とほぼ同様な核種移行挙動を示していることが分かる。しかし、核種設置付近の濃度がCASE10の場合より小さくなっていることが分かる。

CASE12の立坑の閉鎖にプラグ3個を併用した場合では、地下水の動水勾配はCASE10の場合の1/1000を1/5000にしたことによって、動水勾配を小さくしてもプラグの設置による効果があることが分かる。また、CASE10の濃度変化に比べ、地下水流速が小さくなつたため、核種の移行速度が遅くなり核種を設置した場所に近い所での濃度が高くなっている。

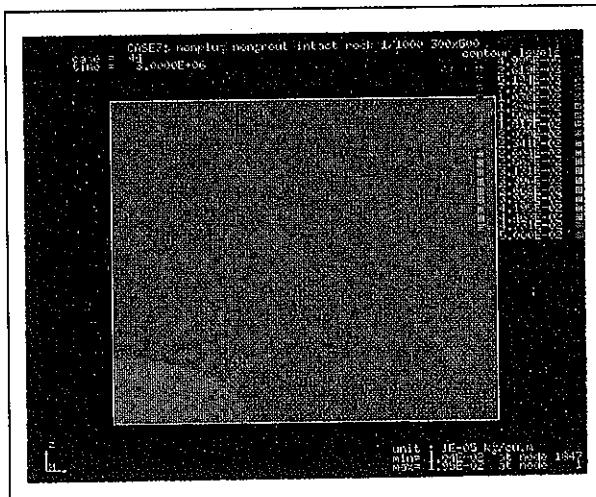
CASE13はCASE12のプラグ3個に加えて、各プラグの下部に高さ2m、長さ16mのグラウト領域を併用したケースであるが、核種はプラグと共にグラウトにもその移行を防げられ、上部に分散する場合に核種は岩盤中を通過する結果となっている。

CASE14はCASE13の場合のグラウト長が32mと2倍にしたケースである。この図からも、CASE13の場合と同様にグラウトによる核種の移行時間を遅らせる遅延効果が確認できる。また、グラウト長が2倍になったことによりその効果もCASE13に比べ、より効果的になっていることが確認できる。

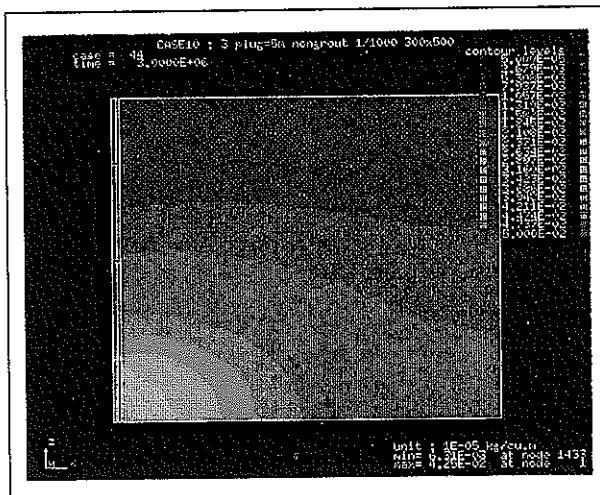
CASE15及びCASE16は動水勾配が1/5000になった場合のグラウト長の効果を見るために実

施した解析結果である。これらの図から、動水勾配が小さくなり、地下水流速が小さくなってもプラグ及びグラウトによる核種の遅延効果を確認できる。

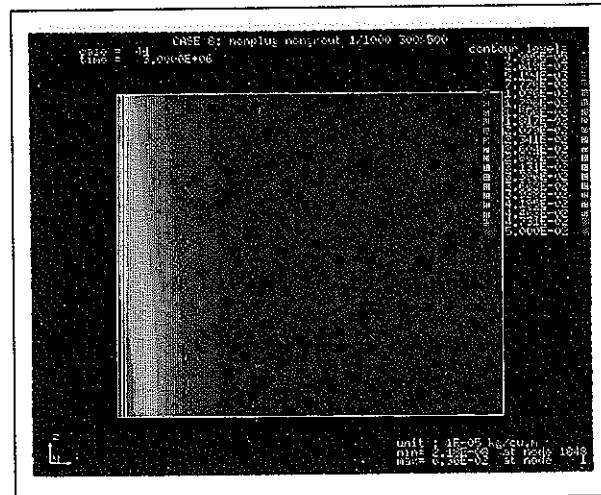
case 7



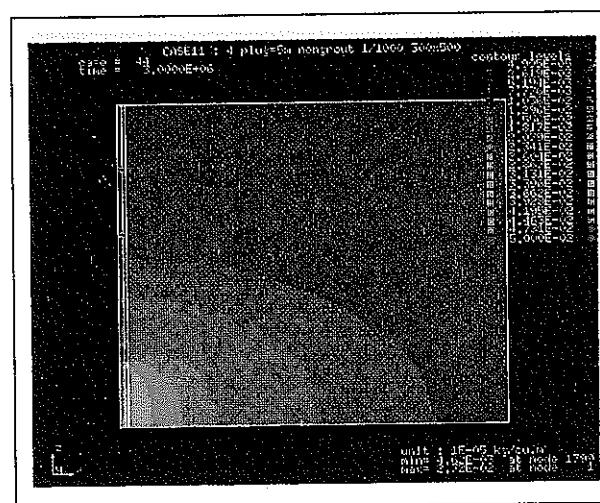
case10



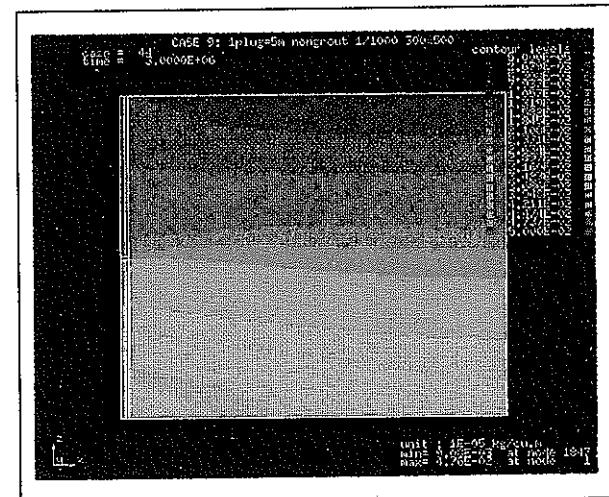
case 8



casell



case 9



case12

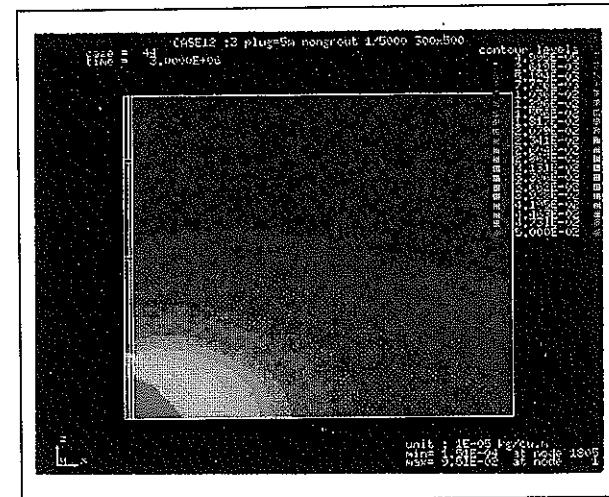
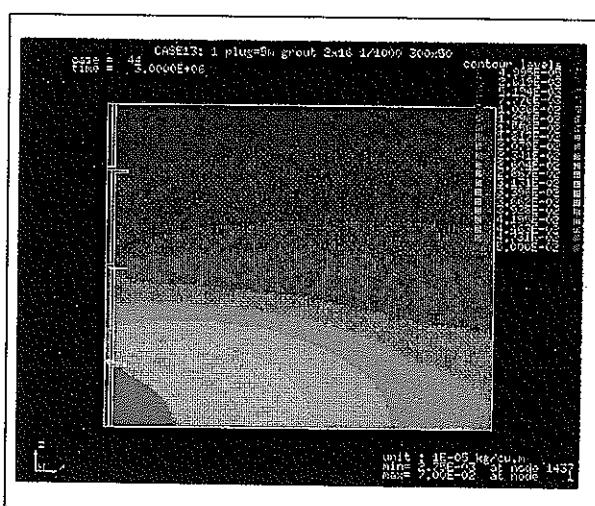
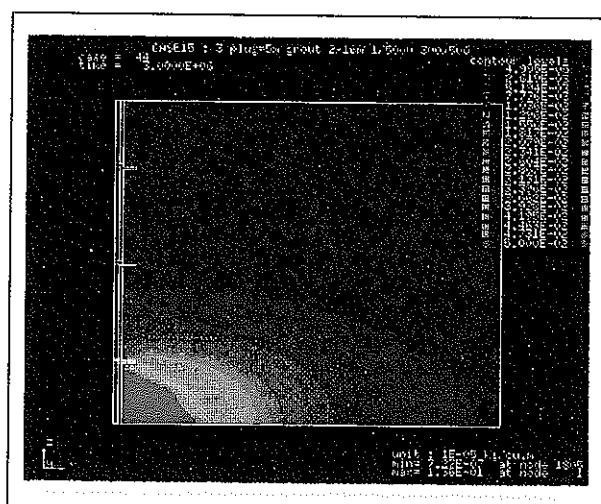


図-5.8 (a)300万年後の核種濃度分布図 (300×500mモデル)

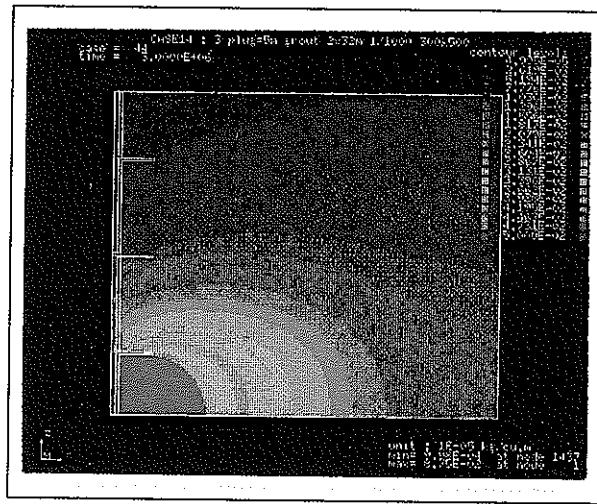
case13



case15



case14



case16

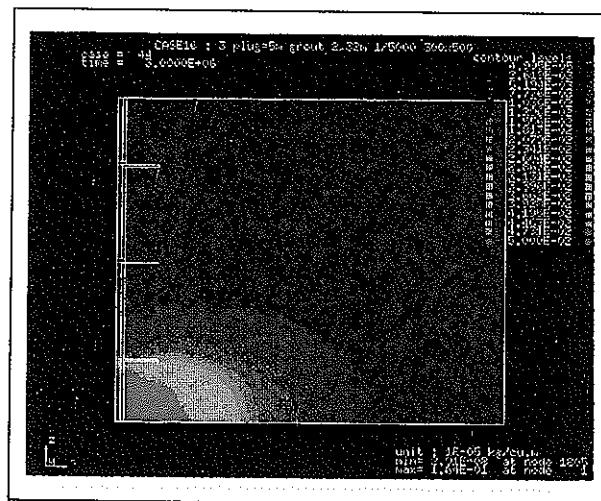


図- 5. 8 (b)300万年後の核種濃度分布図 (300×500mモデル)

(2) 考 察

CASE 7～CASE16までの解析結果から、プラグ個数、グラウト長及び動水勾配の相違による核種の移行挙動を比較するために、図-5.9に示す3点における核種濃度の経時変化を見ることとした。なお、ここでは、核種の地上への到達時間の指標として、埋戻し部、緩み域部に岩盤の物性を用いたCASE 7における地上に到達する最大核種濃度を基準濃度1とし、地上での核種濃度が 10^{-10} となる時間を基準到達時間と定義した。

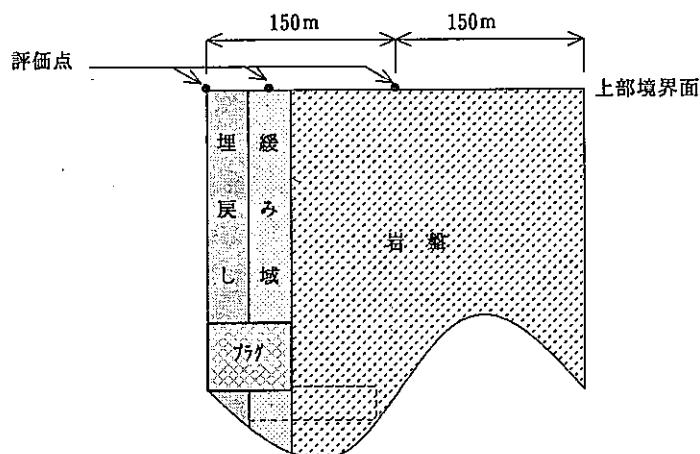


図-5.9 濃度分布評価点

1) 掘削前の岩盤状態での核種移行挙動

図-5.10にCASE 7の掘削前の岩盤状態での核種濃度変化を示す。この図より以下のことが言える。

- ・上部境界の3つの評価点での濃度プロファイルに相違は無い。
- ・約100,000年後からは濃度の増加の割合が小さくなる。
- ・核種の濃度が 10^{-10} となる基準到達時間は約9,000年となる。
- ・濃度の最大は約6,500,000年後に出現し、その後濃度は減少している。

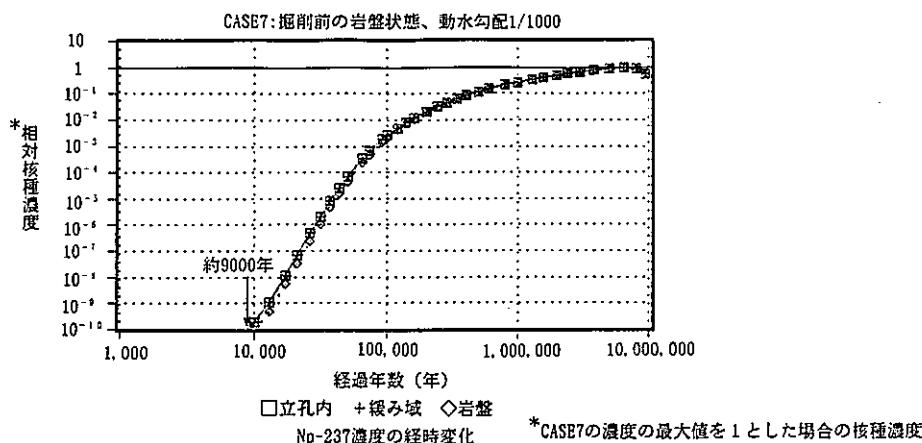


図-5.10 掘削前の岩盤状態での核種濃度の経時変化(CASE7)

2) 埋戻しによる核種移行挙動への影響

図-5.11にCASE 8の立坑を埋戻しによってのみシーリングした場合の核種濃度経時変化を示す。この図より以下のことが言える。

- ・3つの評価点のうち、立坑部と緩み域の濃度プロファイルに相違は無いが、岩盤部の核種はかなり遅延して現れている。このことは、立坑下部に設置した核種が水理的にフローパスとなっている立坑及び緩み域内を移行し、岩盤中にあまり分散していないことを示している。つまり、立坑部及び緩み域が核種の移行経路になっていると考えられる。
- ・立坑部及び緩み域での濃度プロファイルに関して、CASE7と比較すると約1,000,000年後まではCASE 8の方が小さい値を示しているが、その後はCASE 7より大きくなり、濃度の最大値はCASE 7の約3.5倍になっている。これより、埋戻し材のみによる立坑のシーリングでは、核種移行を遅延させることができるが、立坑及び緩み域が核種の移行経路となるために、核種濃度の最大値がCASE 7より大きくなると考えられる。このため、濃度の最大を抑制するには、埋戻しの他、プラグ、グラウトといった方法と共に用い、核種が岩盤中を移行するようにするか、あるいは核種が上方へ移行するのを防げるようとする必要があると考えられる。
- ・核種の基準到達時間は約40,000年となり、CASE 7に比べて30,000年程度遅延していることから、立坑を埋戻し材によって閉鎖しても核種移行の遅延効果をある程度期待することができると考えられる。

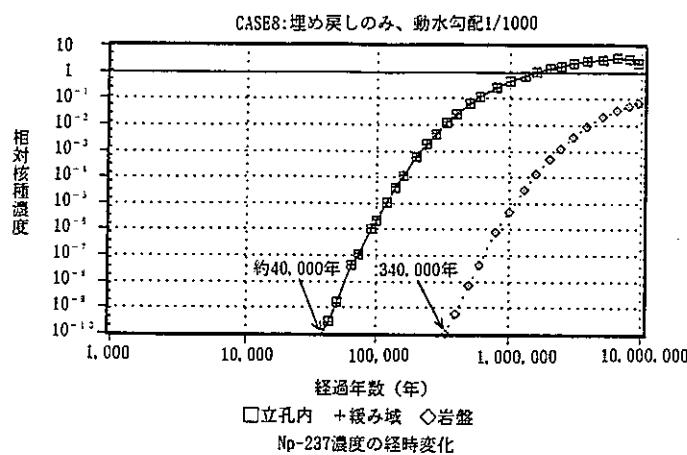


図-5.11 埋戻しによる状態での核種濃度の経時変化(CASE8)

3) プラグ個数による核種移行挙動への影響

図-5.12に立坑を埋戻しと共にプラグを1個、3個、4個用いてシーリングした場合の核種濃度の経時変化を示す。この図より以下のことが言える

- ・プラグを設置することによって、立坑部及び緩み域での濃度プロファイルと岩盤部の濃度プロファイルがCASE 7の場合と同じように差が無くなっている。
- ・プラグ個数の違いによる濃度プロファイルの相違はあまり無い。しかしながら、濃度のピーク経過年、濃度の最大値の出現箇所を見ると、

プラグ個数	ピーク経過年	出現箇所
プラグ1個	約8,000,000年後	緩み域
プラグ3個	約8,000,000年後	岩盤部
プラグ4個	約8,000,000年後	岩盤部

となっており、プラグ1個の場合は、最大濃度が緩み域内で現れていることから、緩み域が核種の移行経路となっていると考えられる。それに対して、プラグを3個以上設置すると、濃度の最大値は岩盤部で現れるようになり、立坑及び緩み域が移行経路にならなくなっていることが分かる。また、プラグを増加させることにより、濃度の最大値は、ほぼ反比例に減少していることが分かる。したがって、理想的には立坑及び緩み域をすべてプラグ材によりシーリングすることが望ましいと考えられるが、施工性及び経済性を考慮すると非現実的であることから、水理的な挙動の面から考慮すると、プラグは立坑鉛直距離500mで3個程度設置するのが良いと考えられる。

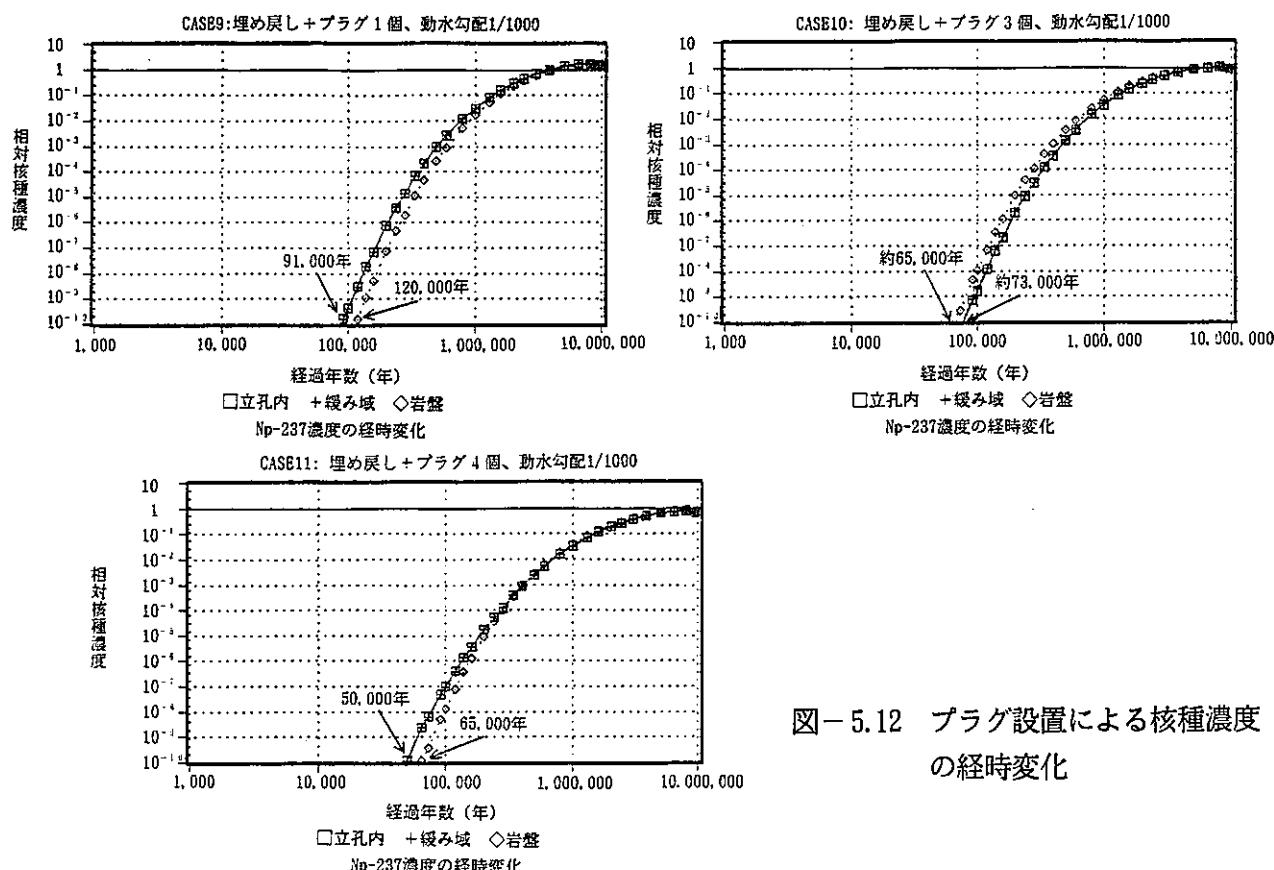


図-5.12 プラグ設置による核種濃度の経時変化

4) カーテングラウトによる核種移行挙動への影響

図-5.13にプラグ3個とともに、各プラグ直下にカーテングラウトを施した場合の核種濃度の経時変化を示す。

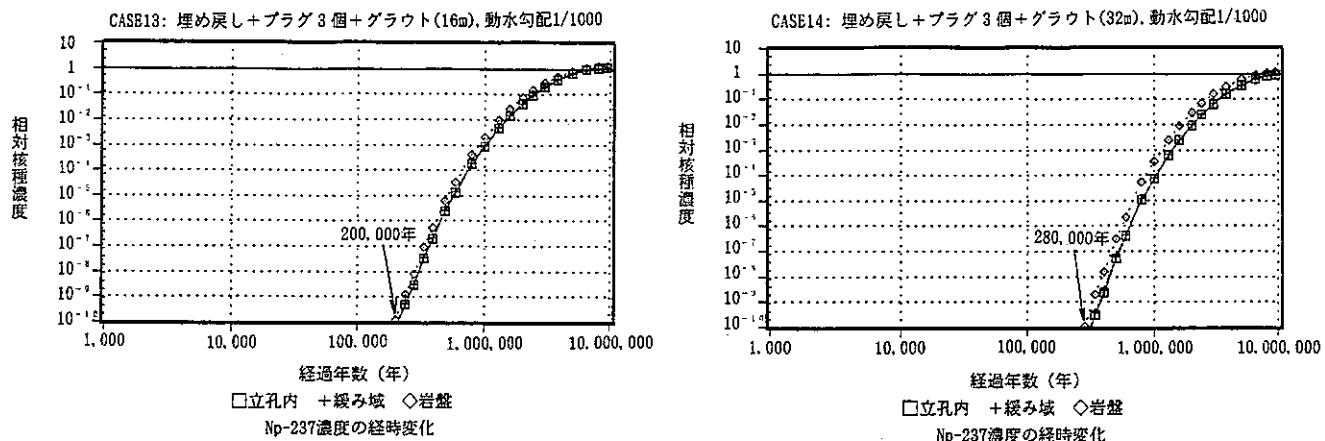


図-5.13 グラウト併用による核種濃度の経時変化

- ・グラウト長が16mの場合、立坑内部、緩み域及び、岩盤部の濃度プロファイルはほぼ同じであり、核種到達時間は約200,000年となるが、グラウト長が32mの場合では約280,000年となっている。また、CASE10のプラグ3個のみの場合と比較すると、グラウトを用いると核種移行の遅延効果がさらに大きくなることが分る。
- ・各媒体での核種濃度のピーク経過年、濃度の最大値を見ると、

ケース	媒 体	グラウト長	ピーク経過年	最大値kg/m ³
CASE13	立坑内	16m	約9,500,000年後	約 1.7×10^7
	緩み域	"	約9,500,000年後	約 1.7×10^7
	岩盤部	"	約8,000,000年後	約 1.9×10^7
CASE14	立坑内	32m	約9,500,000年後	約 1.3×10^7
	緩み域	"	約9,500,000年後	約 1.3×10^7
	岩盤部	"	約9,500,000年後	約 1.7×10^7

となっており、立坑、緩み域よりも岩盤部の濃度が大きくなっていることから、グラウトを併用すると立坑下部中心に設置した核種が岩盤部を移流していることが分る。また、グラウトを併用しないでプラグのみの場合と比較すると、グラウト長が16mの場合は最大濃度が大きくなっているが、32mの場合はほぼ同じ値であることが分る。したがって、グラウトを併用すると、プラグのみの場合よりさらに核種移行の遅延効果を高めることができると考えられる。

5) 動水勾配の変化による核種移行挙動への影響

図-5.10～図5.13は地下水の動水勾配が1/1000と比較的大きい場合であり、ここでは動水勾配が1/5000と約1/5倍になった場合について示す。

図-5.14にプラグ3個のみ、プラグ3個+グラウト16m、プラグ3個+グラウト32mの場合の核種の経時変化を示す。

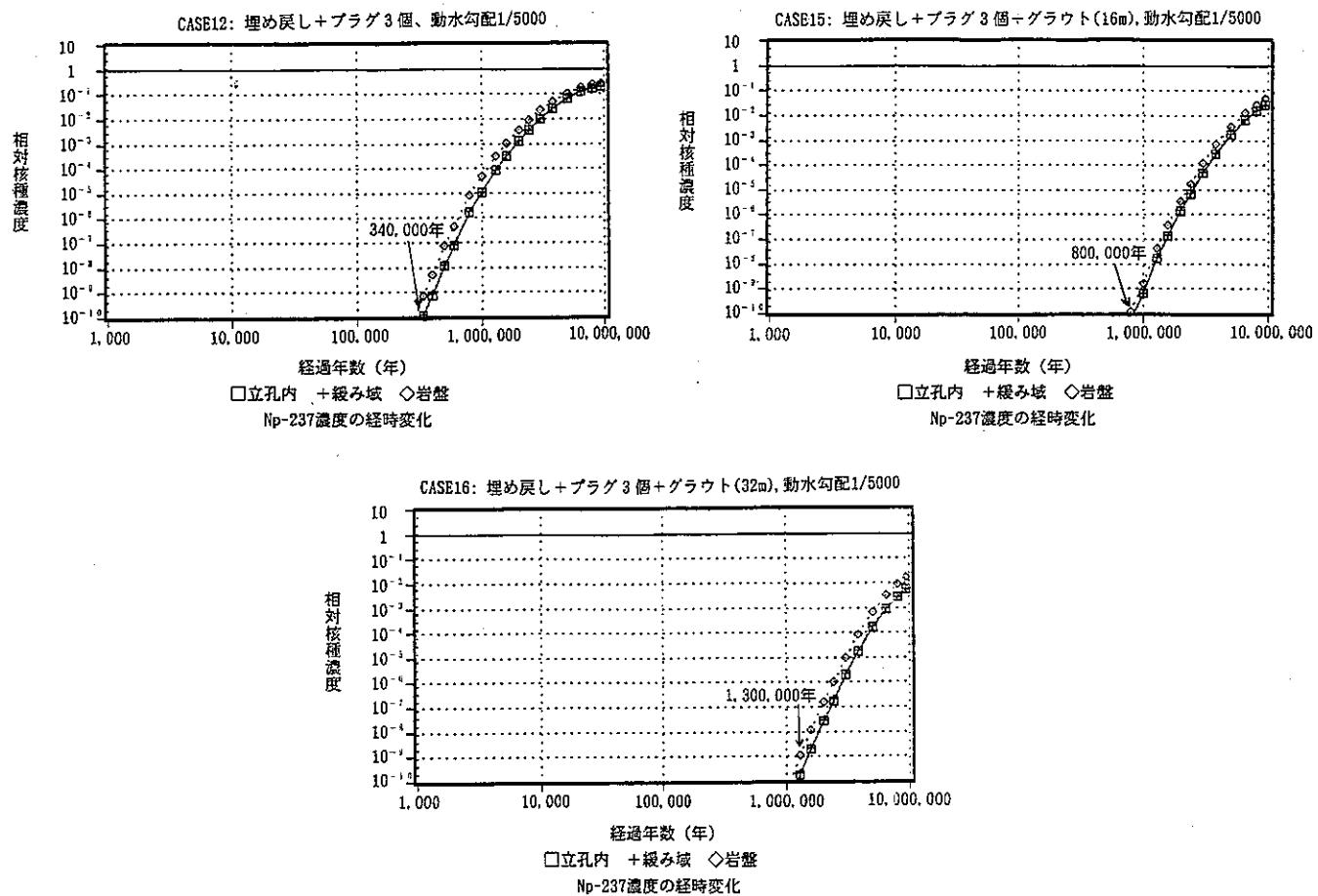


図-5.14 動水勾配が1/5000の時の核種濃度の経時変化

この図より以下のことが言える。

- ・動水勾配が小さくなつたため、いずれの場合も核種到達時間は、

CASE12：プラグ3個のみ … 約340,000年後

CASE15：プラグ3個+グラウト16mのみ … 約800,000年後

CASE16：プラグ3個+グラウト32mのみ … 約1,300,000年後

と動水勾配が1/1000の場合よりかなり遅延して出現している。

- ・動水勾配が小さくなっていても、プラグを設置することにより、立坑及び緩み域が核種移行の移行経路にならないようになっている。
- ・解析計算時間内で、核種濃度のピーク値が現れていないが、9,500,000年後の各々の核種濃度は、

CASE12：プラグ3個のみ … 約 3.1×10^{-8} kg/m³ (立坑内)

 … 約 3.1×10^{-8} kg/m³ (緩み域)

 … 約 3.9×10^{-8} kg/m³ (岩盤部)

CASE15：プラグ3個+グラウト16m … 約 4.0×10^{-9} kg/m³ (立坑内)

 … 約 4.1×10^{-9} kg/m³ (緩み域)

 … 約 7.0×10^{-9} kg/m³ (岩盤部)

CASE16：プラグ3個+グラウト32m … 約 8.4×10^{-10} kg/m³ (立坑内)

 … 約 8.8×10^{-10} kg/m³ (緩み域)

 … 約 2.5×10^{-9} kg/m³ (岩盤部)

となっており、動水勾配が大きい場合よりグラウトによる最大濃度の低減効果が大きくなっている。したがって、グラウトは動水勾配が大きい場合には、核種移行の遅延効果があり、動水勾配が小さくなると遅延効果と共に、地表面に現れてくる核種の濃度の低減効果もあると考えられる。

6. ま　と　め

本報告書ではシーリング仕様を検討するために地下水の動水勾配、プラグ長、プラグ個数、グラウト長をパラメータとして合計16ケースの解析検討を実施した。これらの解析からシーリング仕様に関して得られた結果を以下のようにまとめることができる。

- ① 立坑は埋戻しだけではなく、プラグを併用することにより止水性能を大きくできる。
- ② プラグを用いたシーリングを行うことにより、立坑部及び緩み域の地下水流速を低減することができ、地表面に浸出する核種を遅延させることができる。
- ③ プラグは2m～20mの長さで検討したが、地下水流動解析からではプラグ長に関して差があまり現れず、プラグ仕様を決定するには、プラグの長期安定性等の他の要因から検討する必要がある。
- ④ 鉛直距離500mの解析領域ではプラグを3個設置することが地下水流動の側面からは効率的であると考えられる。
- ⑤ プラグ3個にグラウトを併用すると、プラグを4個用いた場合より地下水の流速をより小さくすることができる。
- ⑥ 鉛直距離500mでプラグ3個を用いた場合、核種の最大濃度が、立坑掘削前の岩盤状態で核種を設置した場合とほぼ等しい値となり、また、立坑及び緩み域が核種の移行経路にならない。
- ⑦ グラウトを併用すると、動水勾配1/1000の場合、核種移行を遅延させることができる。また、動水勾配が1/5000の場合では遅延とともに、上部境界での核種濃度を低減することができる。

7. 今後の課題

今回実施した解析では主に以下に示すような仮定に基づいている。

① 解析モデルに関して

- ・解析は鉛直2次元断面を用いて実施している。
- ・境界条件として断面上端と下端に水頭境界を与え、地下水が鉛直上向きに流れるように設定している。
- ・一核種($\text{Np}-237$)、ガラス固化体1本分のみについて解析を実施した。
- ・立坑下部にポイントソースとして核種を与えた。
- ・緩み域の範囲を立坑半径分とした。
- ・プラグは緩み域をすべて取り除くように設置するものとした。

② 物性値に関して

- ・グラウトの透水係数をプラグに用いた圧縮ベントナイトと同じ値を用いた。
- ・緩み域の透水係数を岩盤部より2オーダ大きい値とした。
- ・埋戻し部の透水係数を岩盤部より1オーダ大きい値とした。
- ・埋戻し部、グラウト部の拡散係数、分配係数をプラグに用いた圧縮ベントナイトと同様の値とした。
- ・緩み域の拡散係数、分配係数を岩盤部と同様の値とした。
- ・分散係数は各媒質(埋戻し、プラグ、緩み域、グラウト、岩盤)ごとに地下水の最大流速を算出し、それに基づいて各媒質ごとに一定とした。

以上のような仮定に基づき今回はシーリング仕様に関する解析的検討を実施した。今後はこれらの仮定を解消し、より現実的な解析を行うため主に以下のような項目を実施していく必要がある。

① 解析モデルに関して

- ・三次元モデルによる解析を行う。
- ・地形勾配を考慮したより広域な範囲について解析し、その結果を境界条件に用いる。
- ・計算対象核種を $\text{Np}-237$ 以外についても実施する。
- ・緩み域の範囲、特性に関する研究を実施し、現実的なモデルとする。

② 物性値に関して

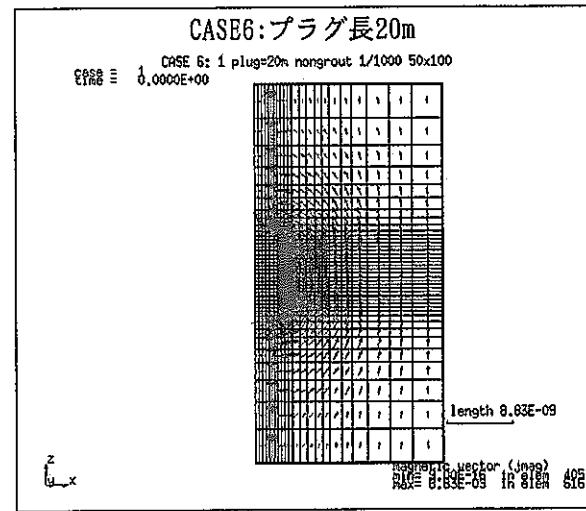
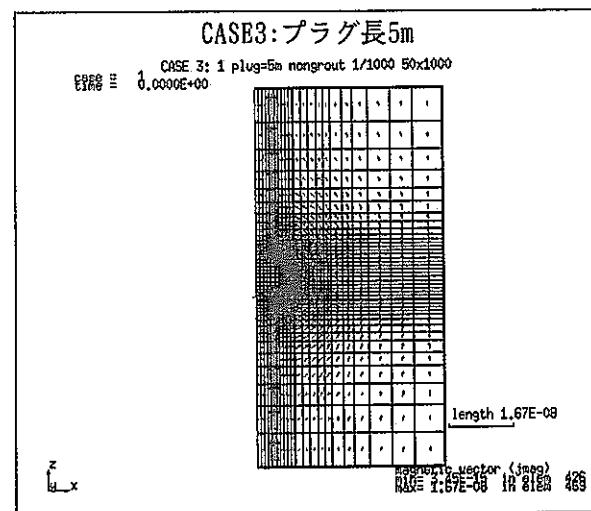
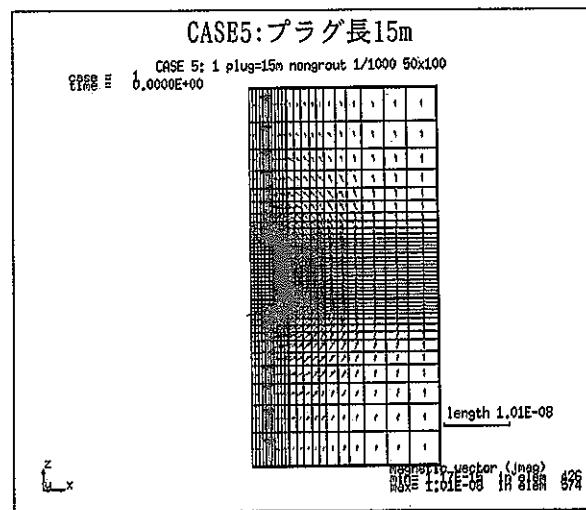
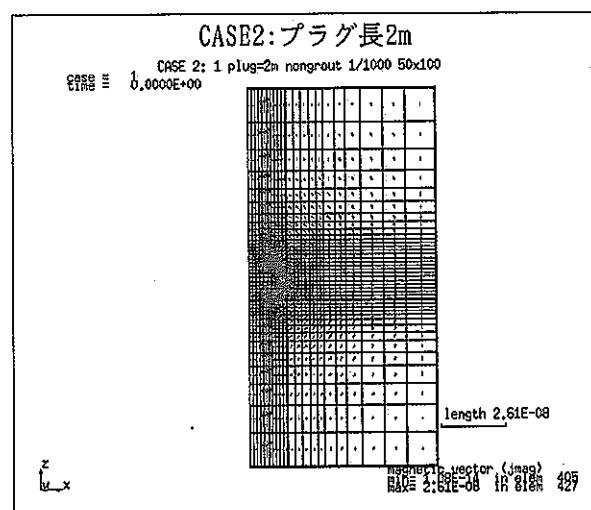
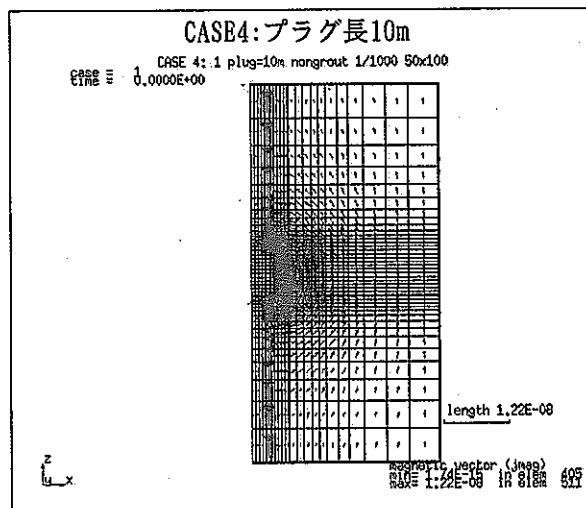
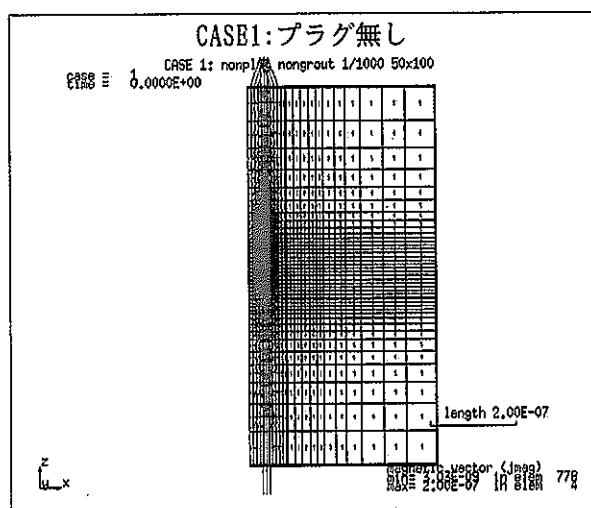
- ・粘土系グラウト材料の拡散係数、分配係数を室内試験等で取得する。
- ・埋戻し材料の物性値を取得する。
- ・グラウトによる効果を原位置試験等を実施して確認する。

8. 参考文献

- [1] 鹿島, 大成, 大林, 清水, 間: 地層処分システムの設計研究
PNC SJ 4449 90-002 (1990)
- [2] J. Okamoto, K. Ishihara et al.: COUPLED THERMO-HYDRAULIC BEHAVIOR AROUND ACCESS
SHAFT SEALED WITH BACKFILL MATERIAL, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 212.
pp. 483 to 489, 1991 Fall Meeting
- [3] 畑中, 梅木他: ニアフィールドおよびファーフィールドにおける水理・核種移行評価モデ
ルの統合化, 日本原子力学会放射性廃棄物研究連絡会報, pp112-144, 1990
- [4] 原子力安全研究協会: ストリバ計画に関する調査研究 (IV)
PNC SJ 4533 87-001

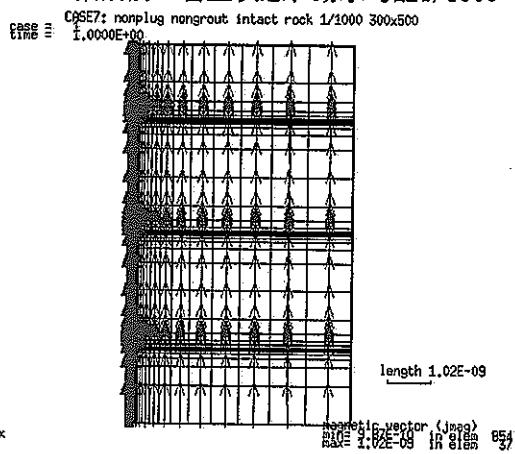
添付資料

実流速ベクトル等ポテンシャル図

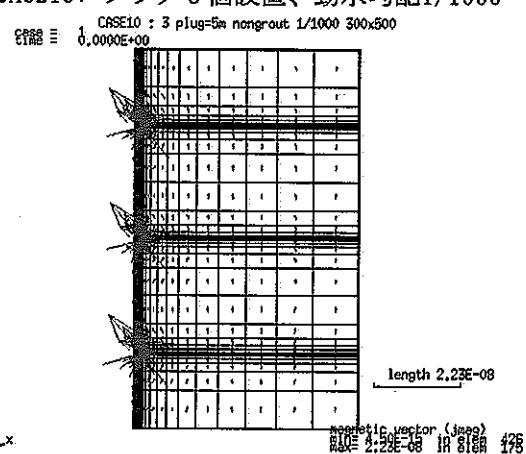


プラグ長の相違による実流速ベクトル全体図 (50×100mモデル、動水勾配1/1000)

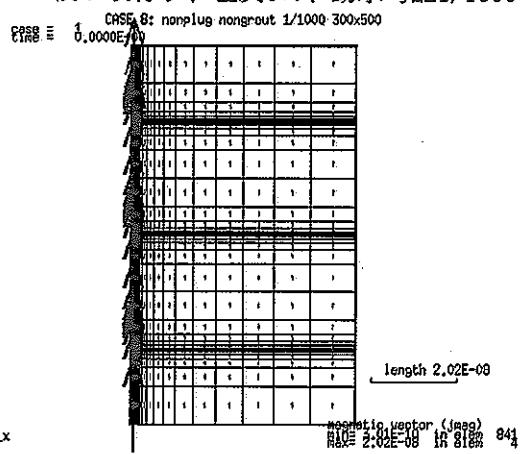
CASE7:掘削前の岩盤状態、動水勾配1/1000



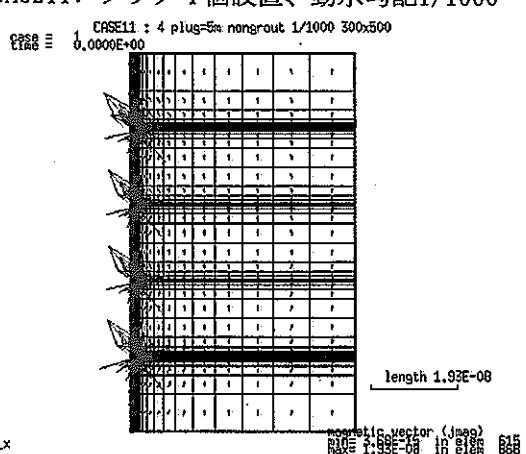
CASE10: プラグ3個設置、動水勾配1/1000



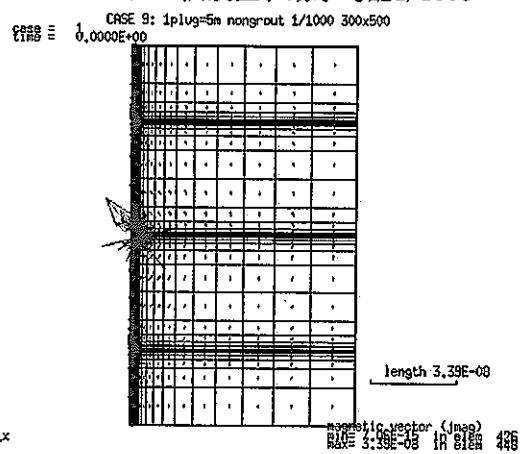
CASE8:緩み域有り、埋戻しのみ、動水勾配1/1000



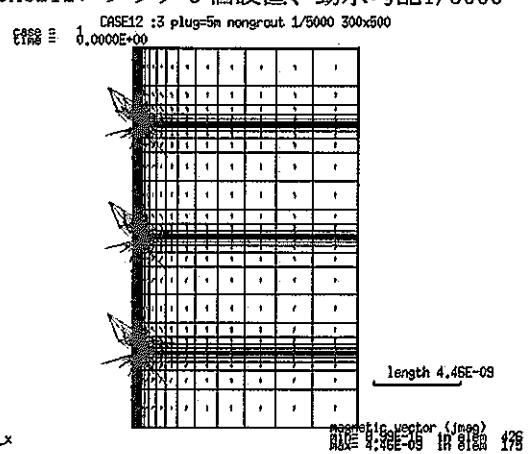
CASE11: プラグ4個設置、動水勾配1/1000



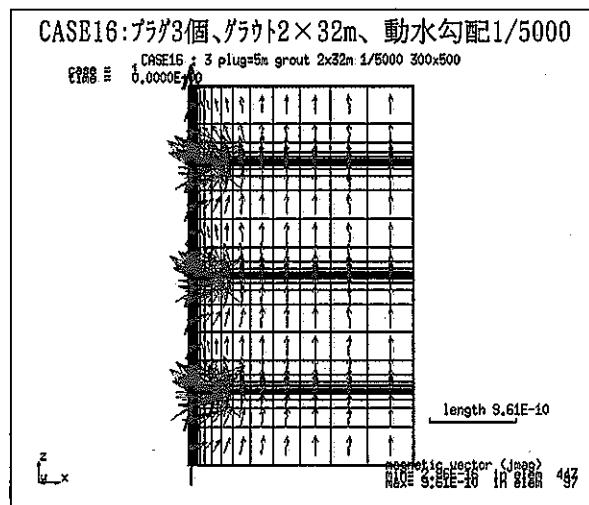
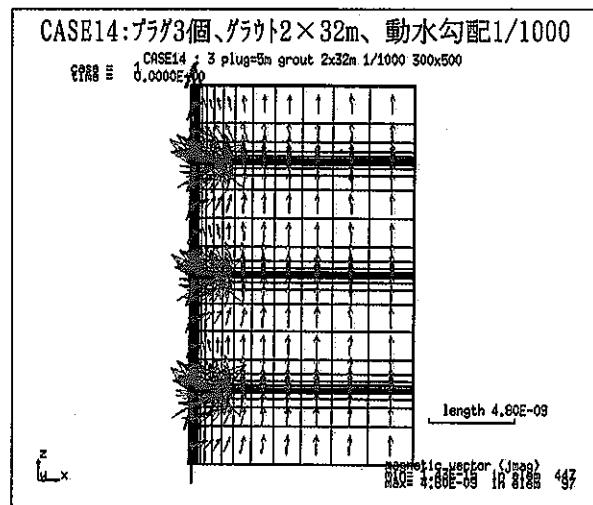
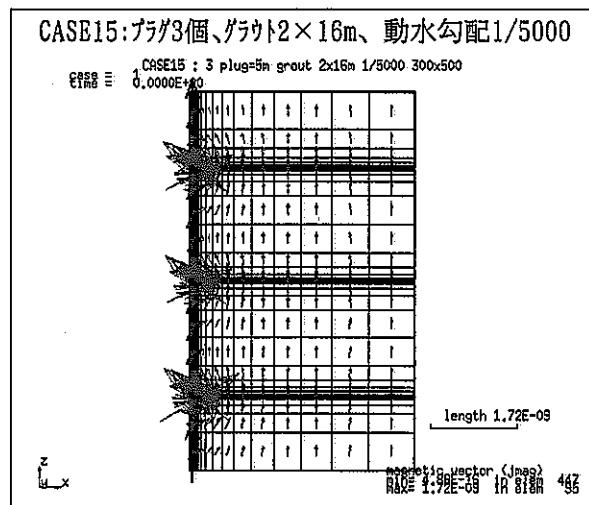
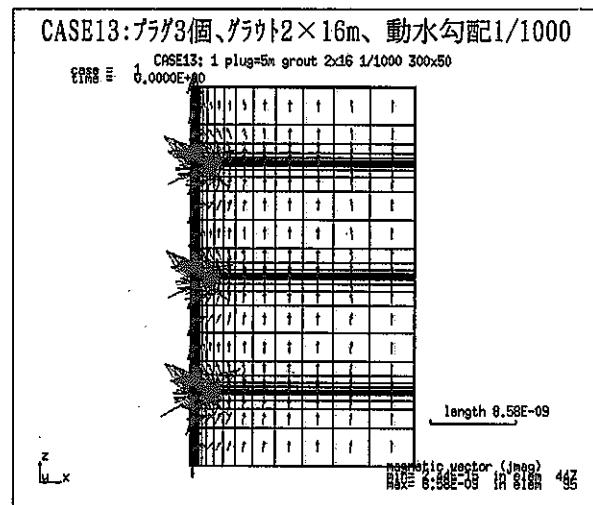
CASE9: プラグ1個設置、動水勾配1/1000



CASE12: プラグ3個設置、動水勾配1/5000

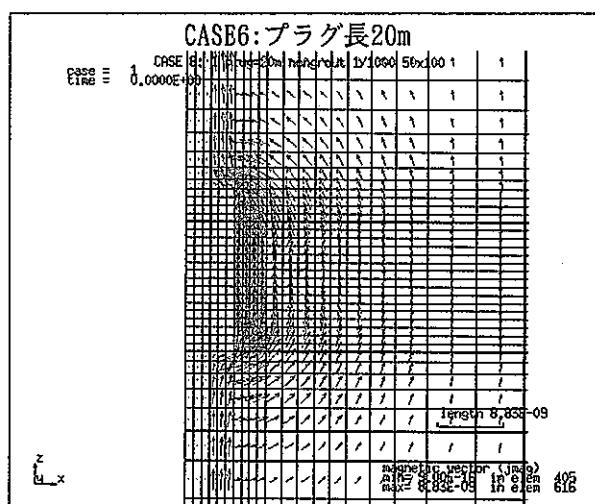
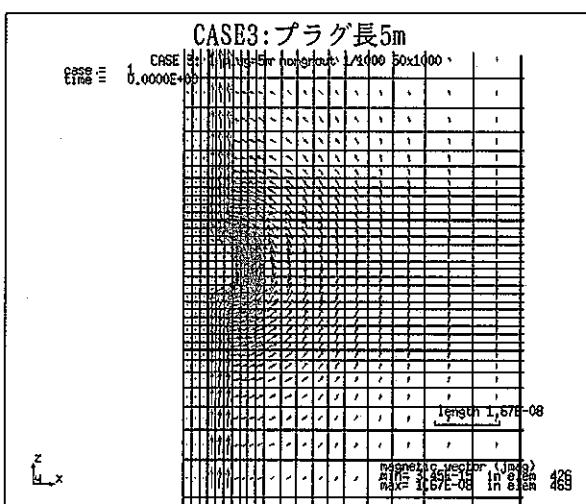
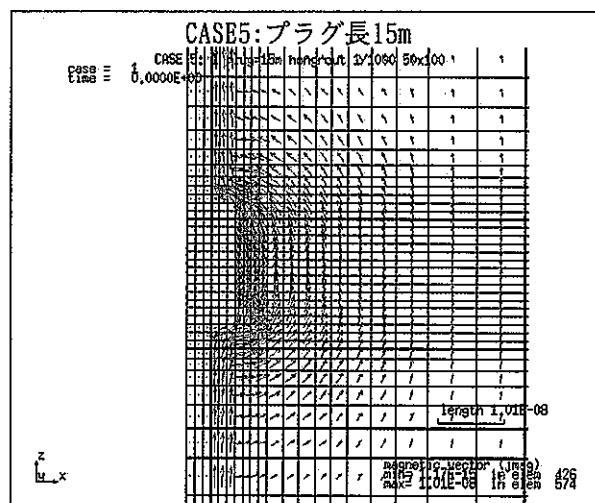
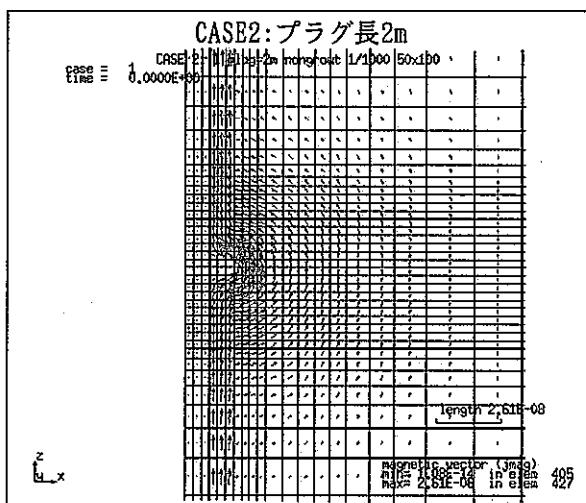
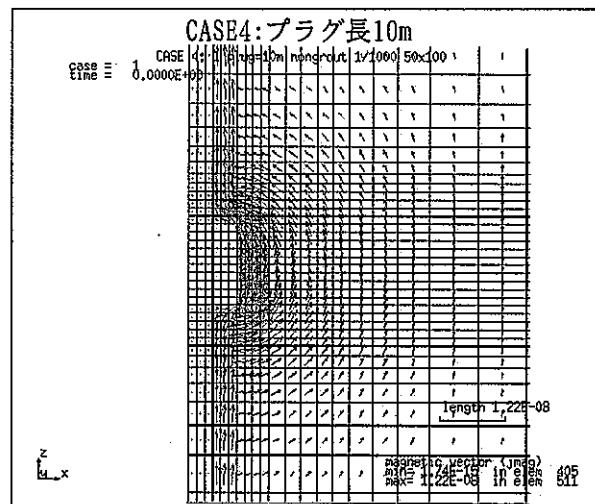
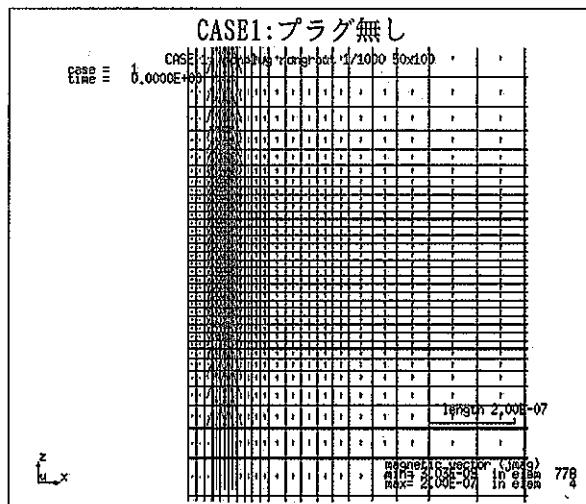


300×500mモデルでの実流速ベクトル全体図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)

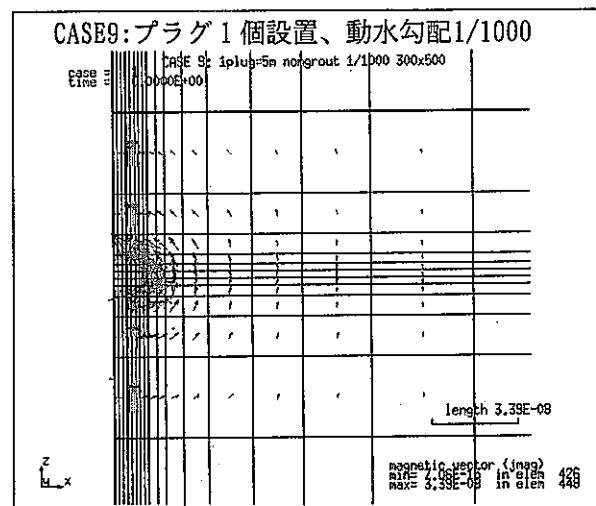
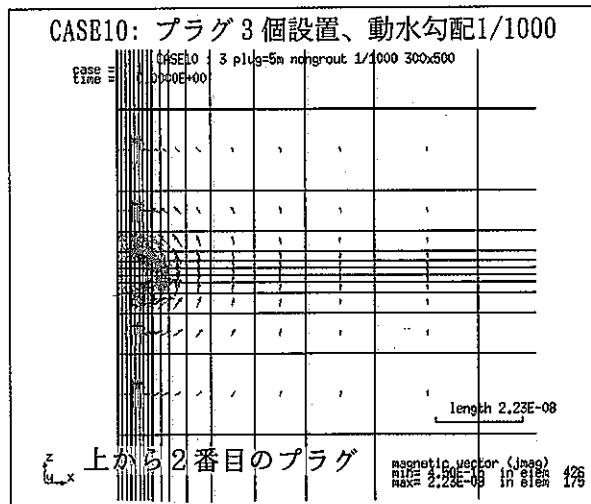
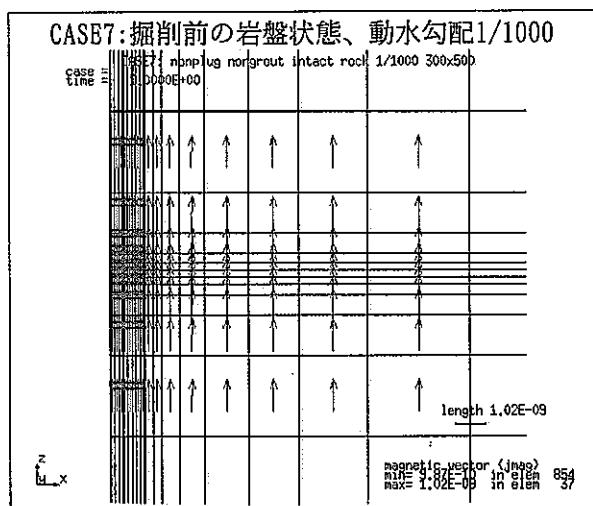


300×500mモデルでの実流速ベクトル全体図

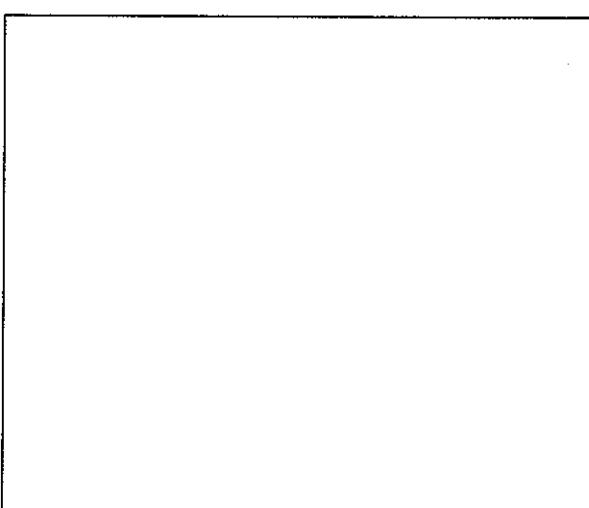
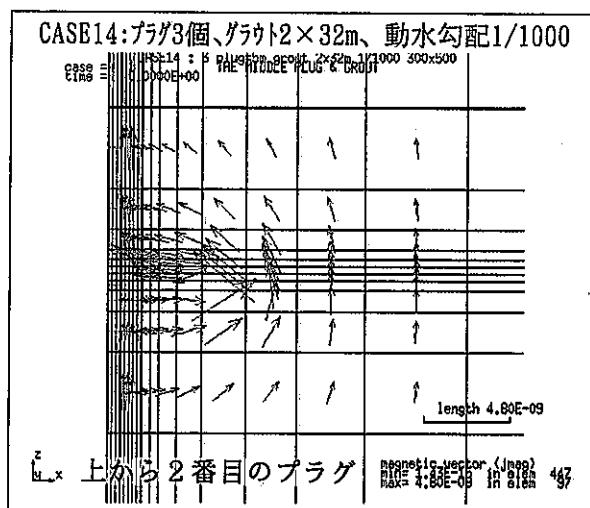
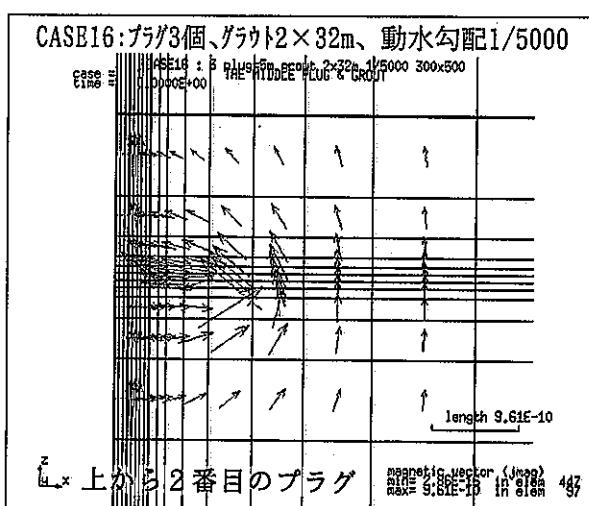
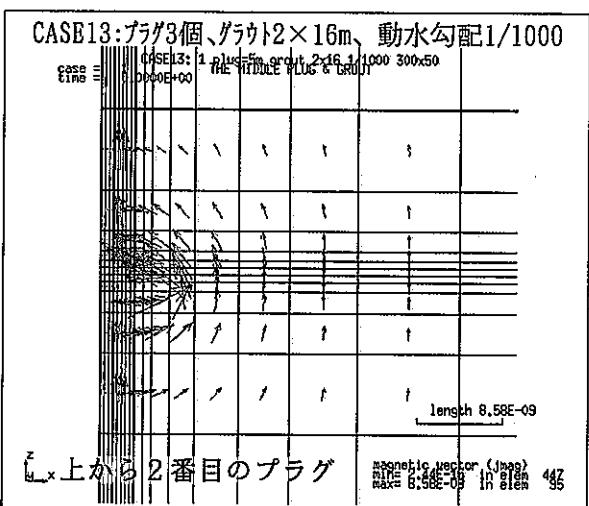
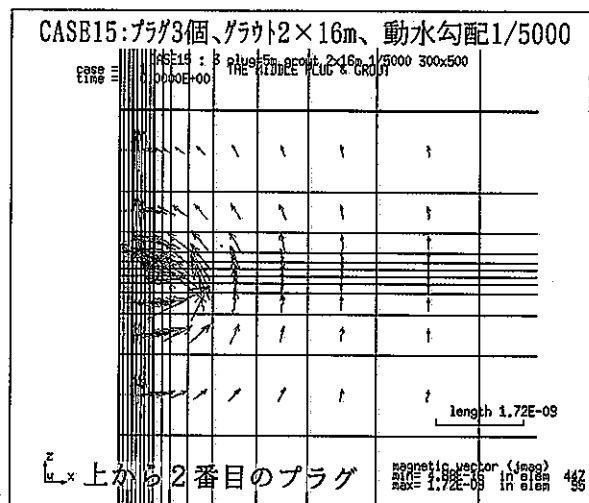
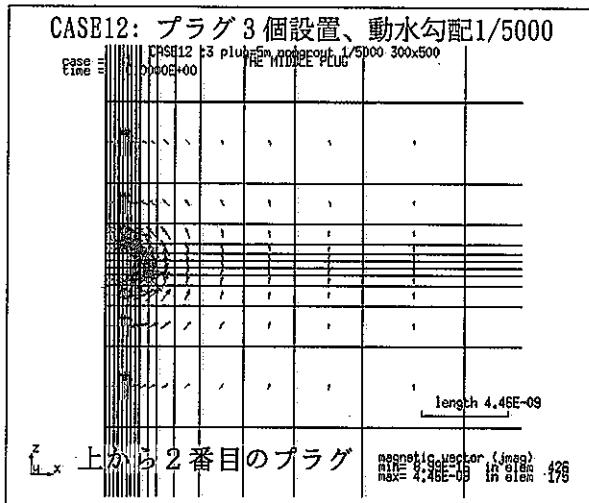
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



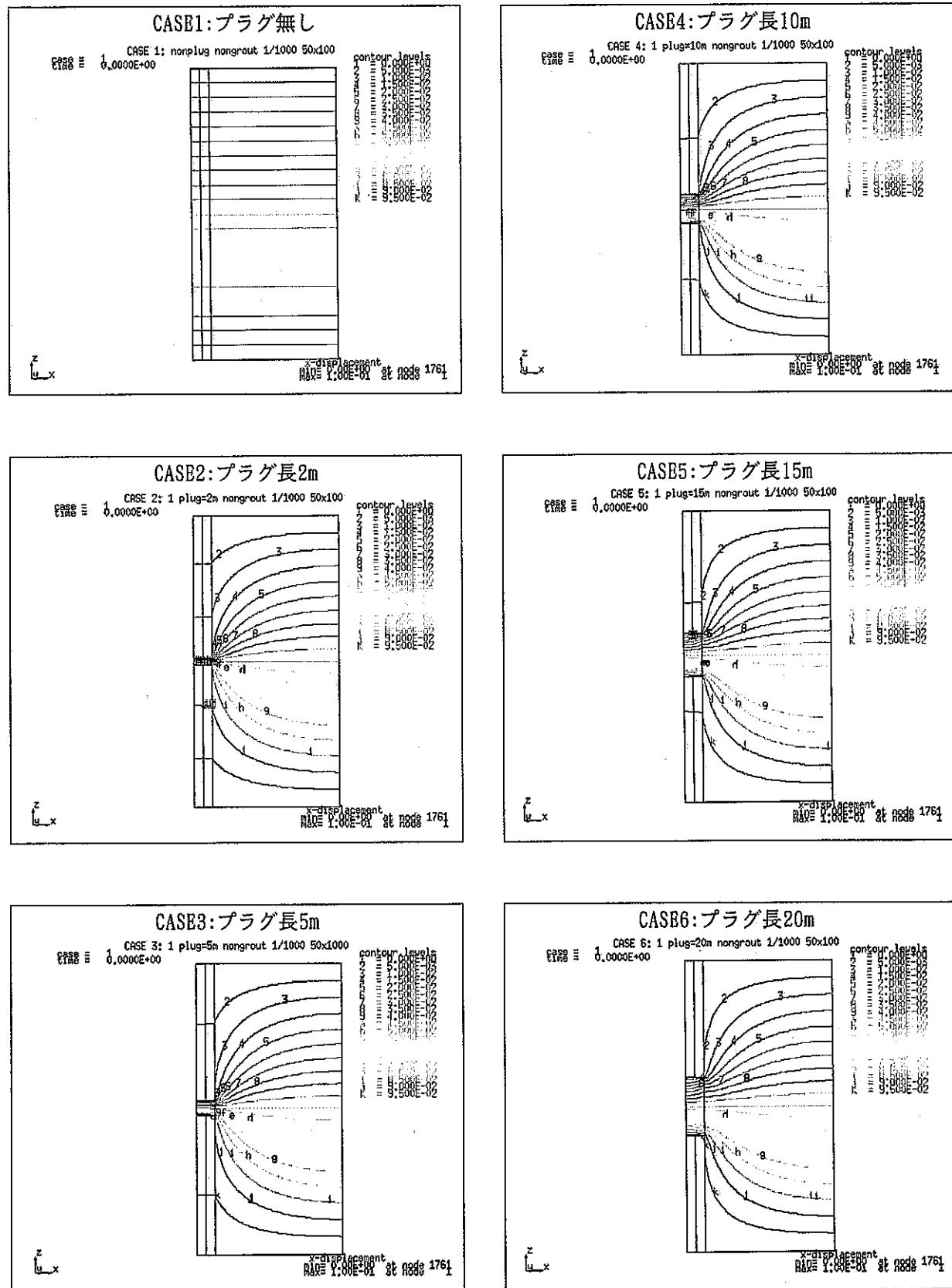
プラグ長の相違による実流速ベクトルプラグ周辺拡大図
(50×100mモデル、動水勾配1/1000)



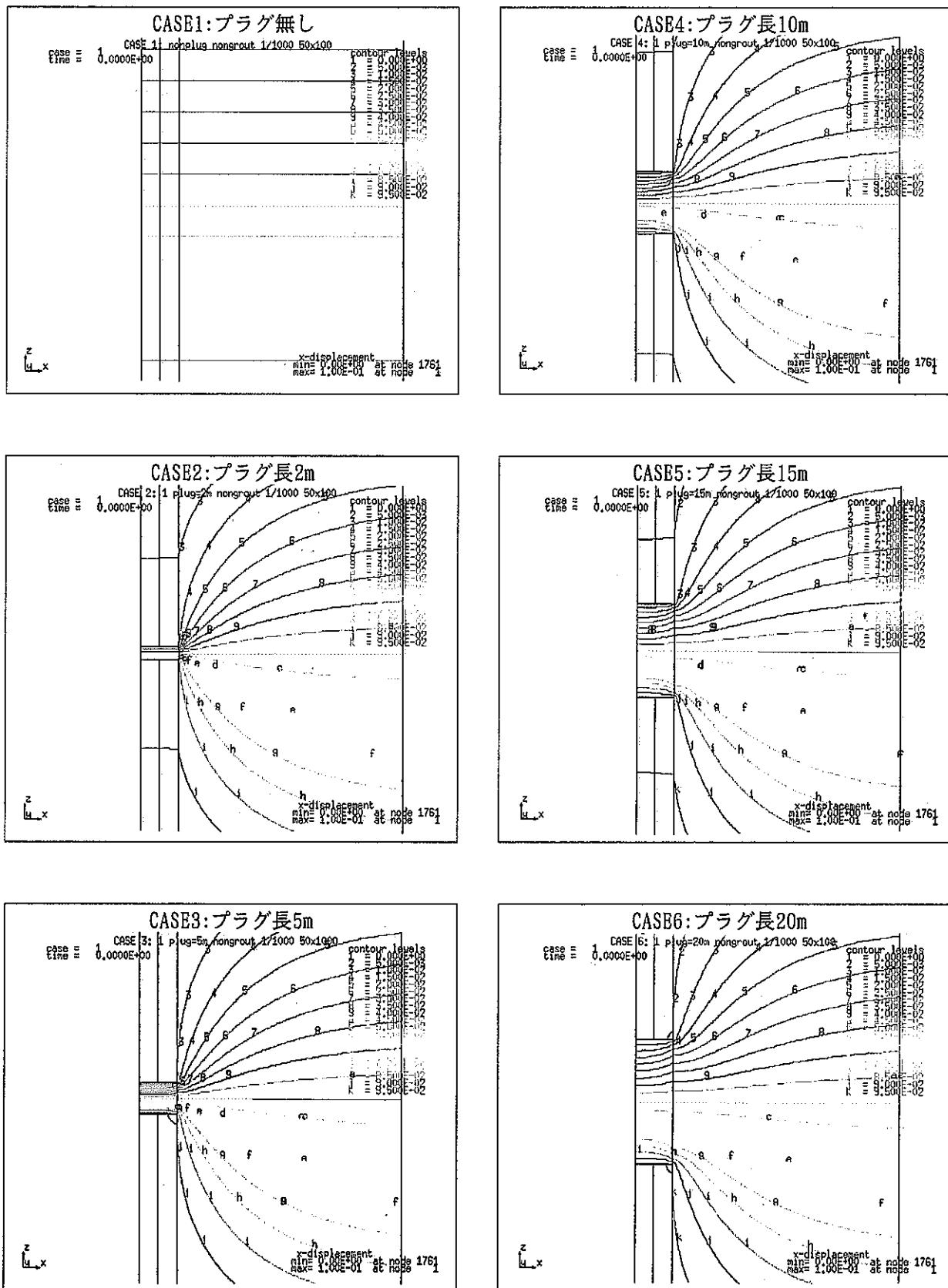
300×500mモデルでの実流速ベクトルプラグ周辺拡大図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



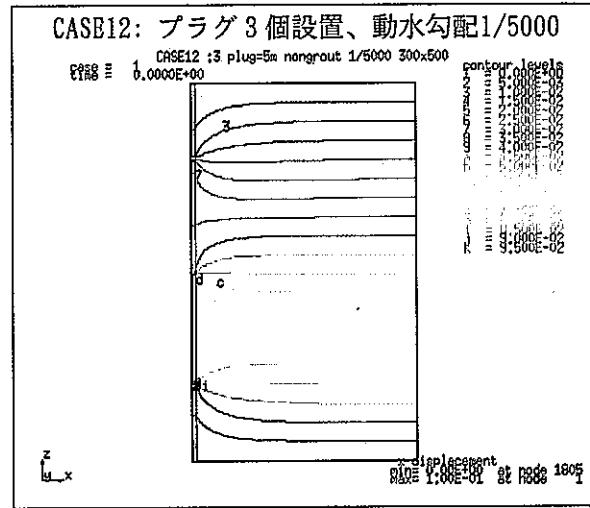
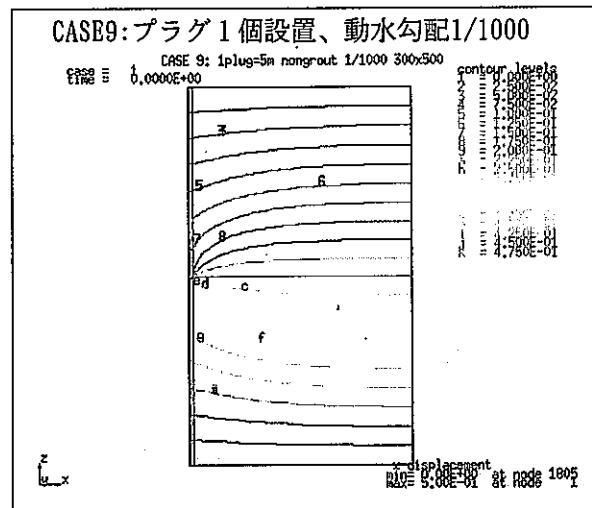
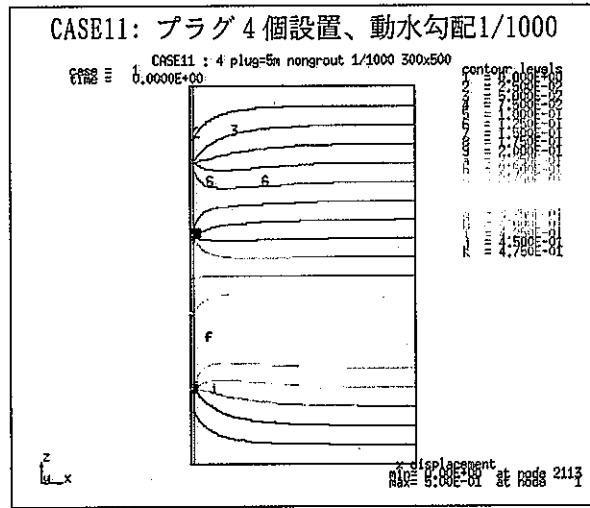
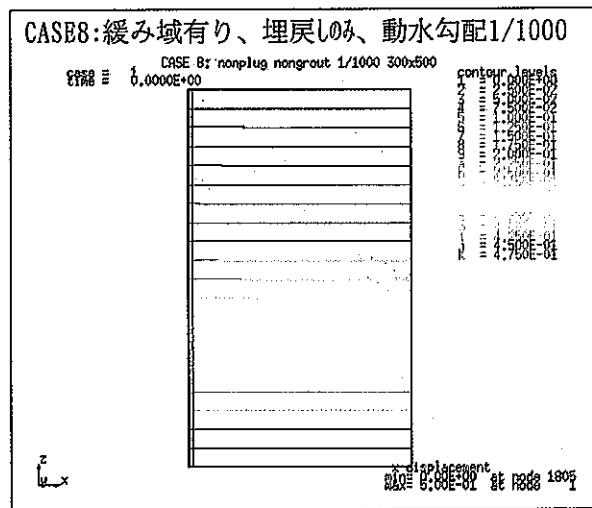
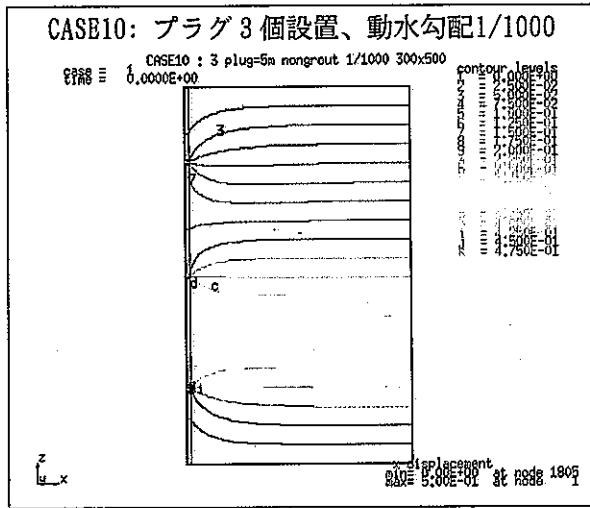
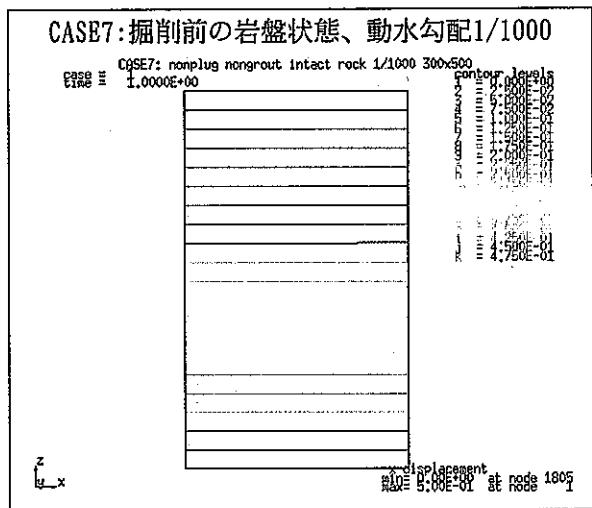
300×500mモデルでの実流速ベクトルプラグ周辺拡大図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



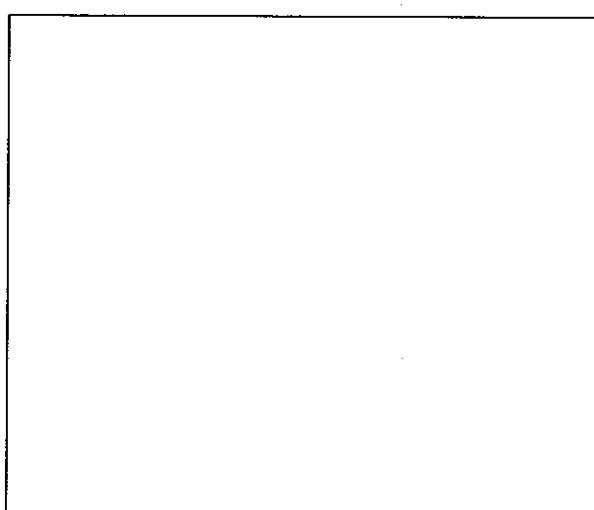
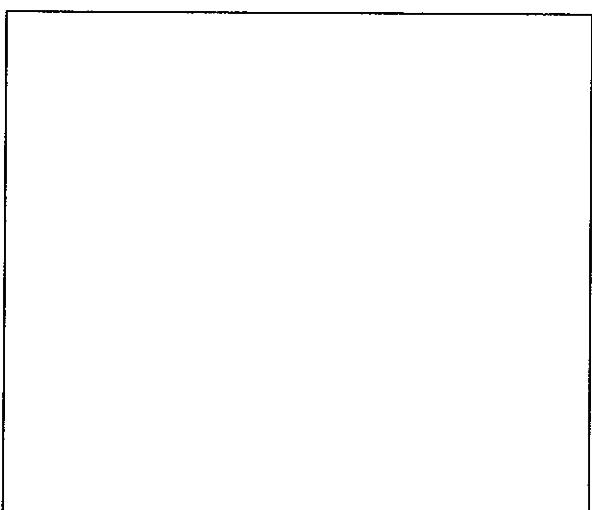
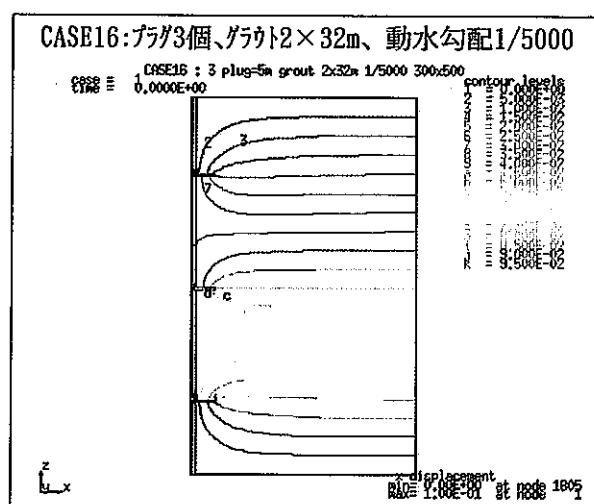
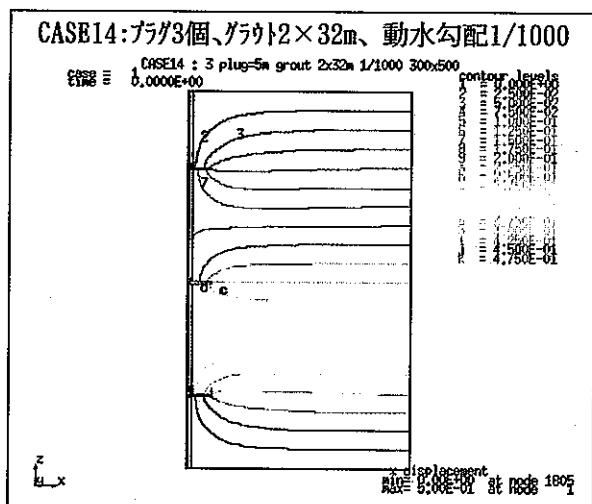
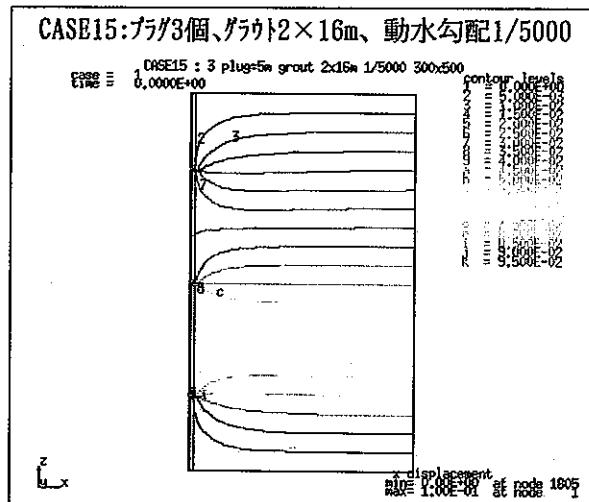
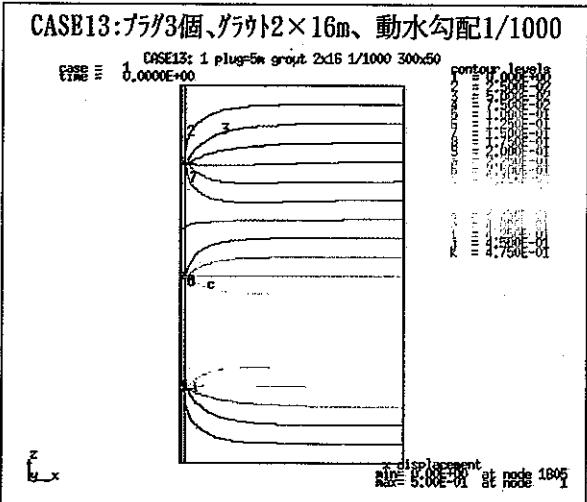
Plug長の相違による等ポテンシャル分布全体図 (50×100mモデル、動水勾配1/1000)



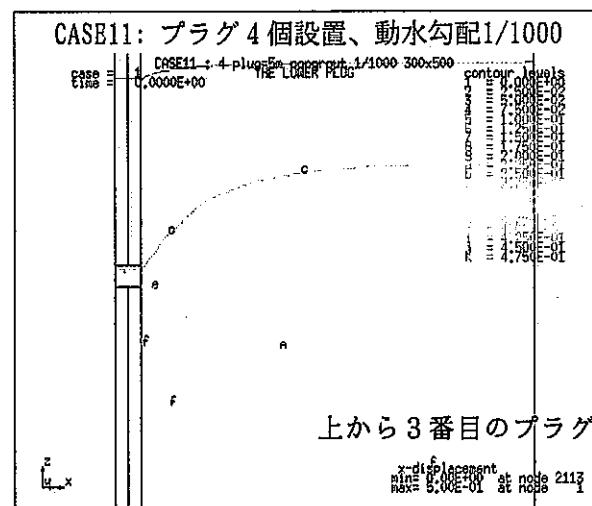
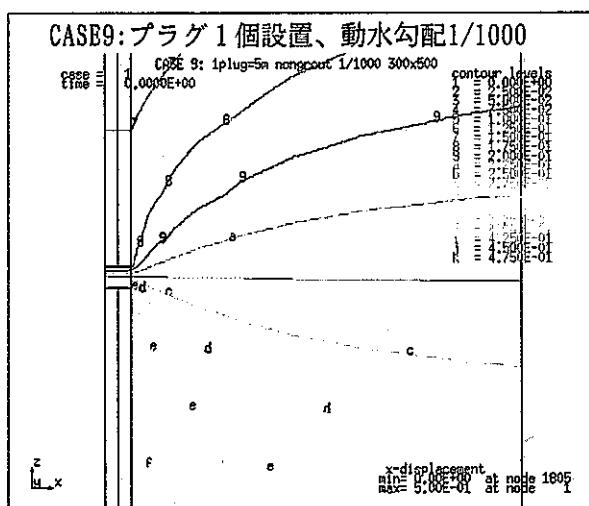
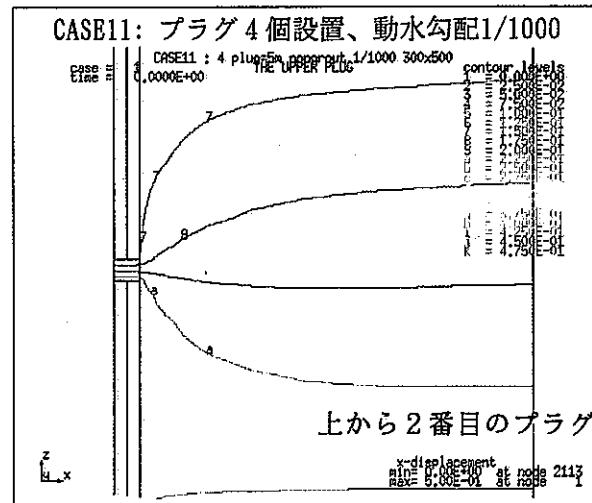
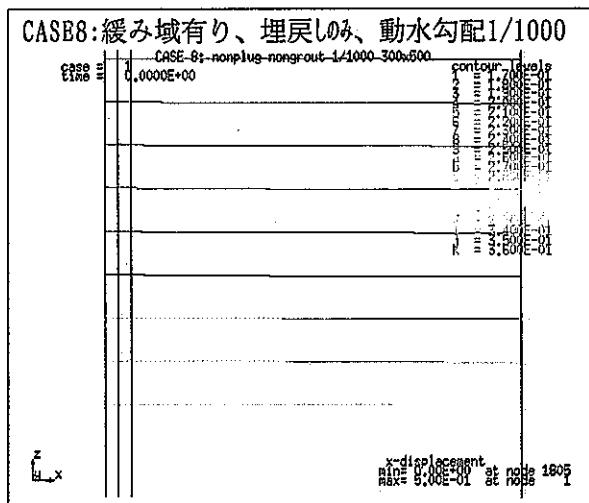
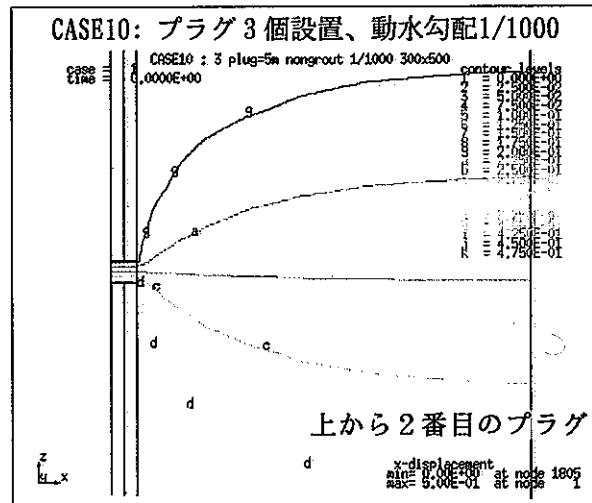
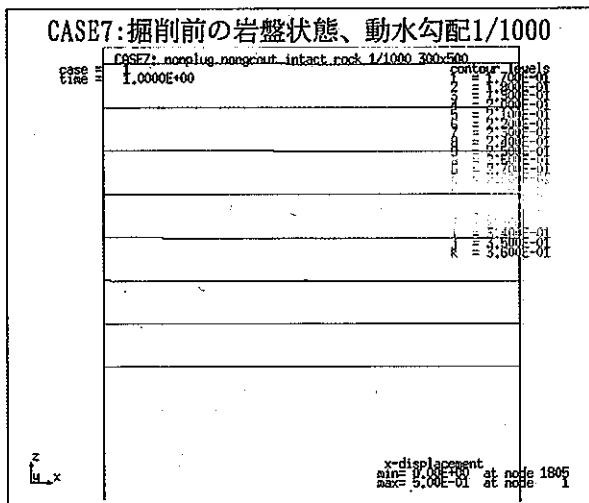
プラグ長の相違による等ポテンシャル分布プラグ周辺拡大図
(50×100mモデル、動水勾配1/1000)



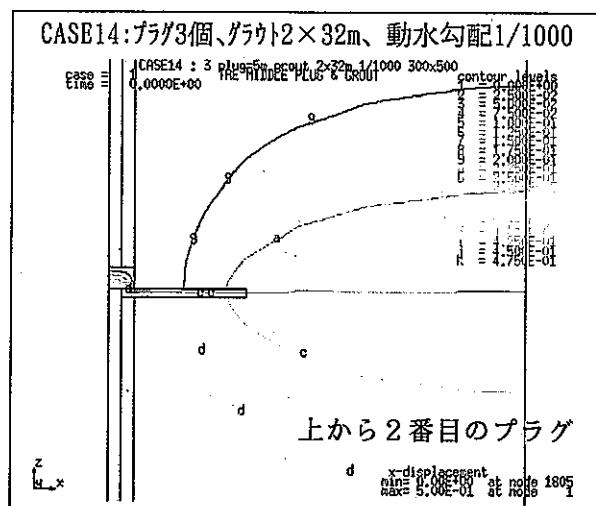
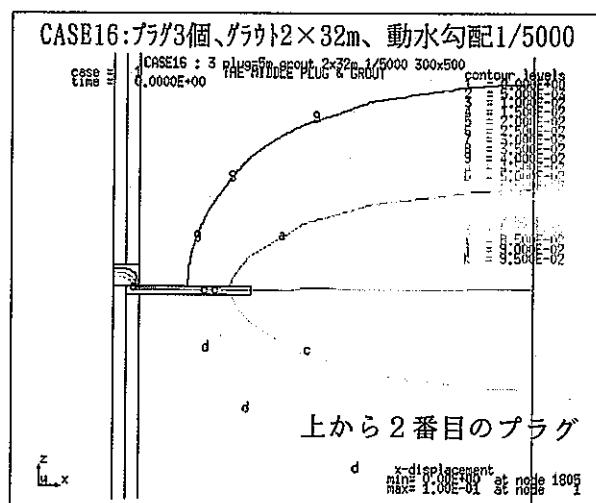
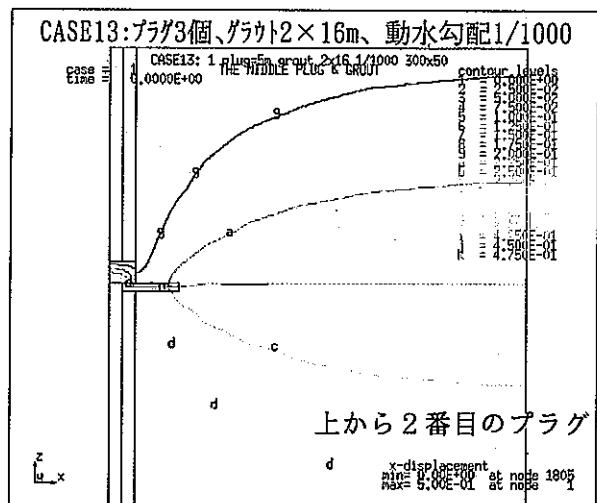
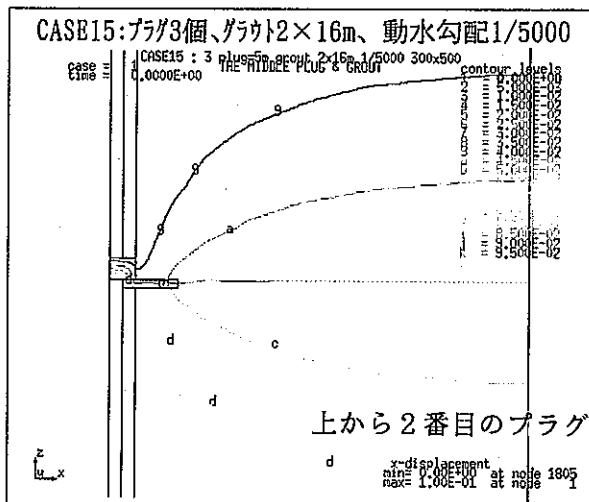
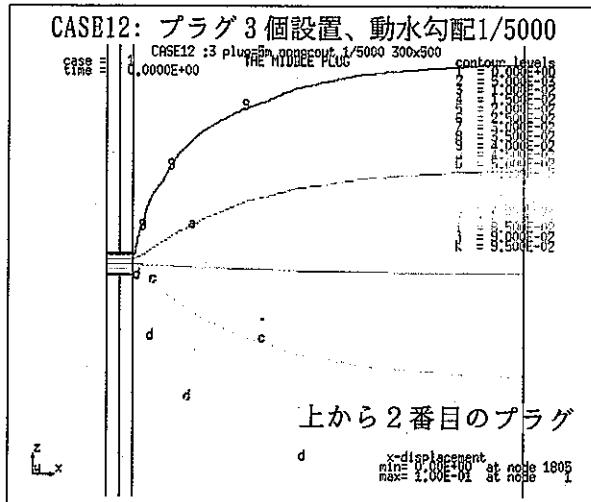
300×500mモデルでの等ポテンシャル分布全体図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



300×500mモデルでの等ポテンシャル分布全体図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



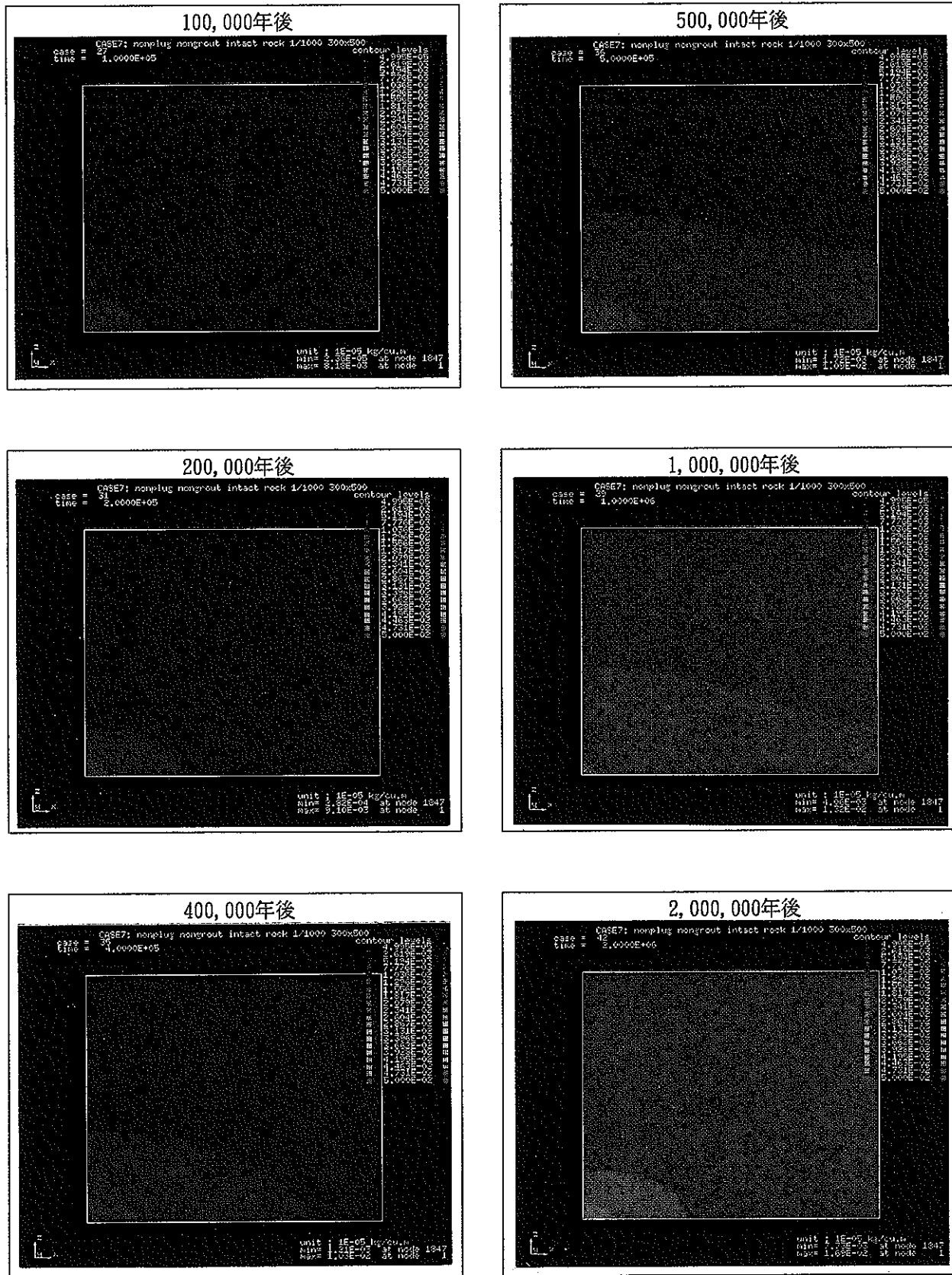
300×500mモデルでの等ポテンシャル分布プラグ周辺拡大図
(掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)



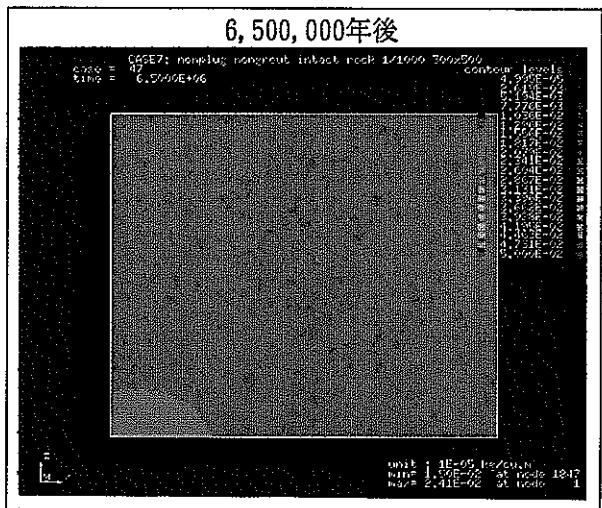
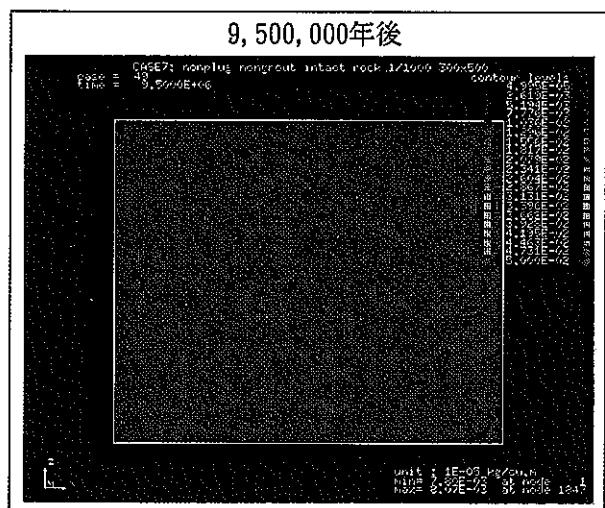
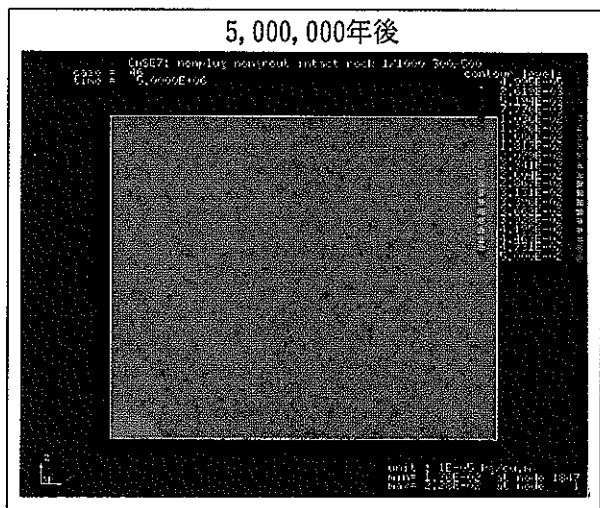
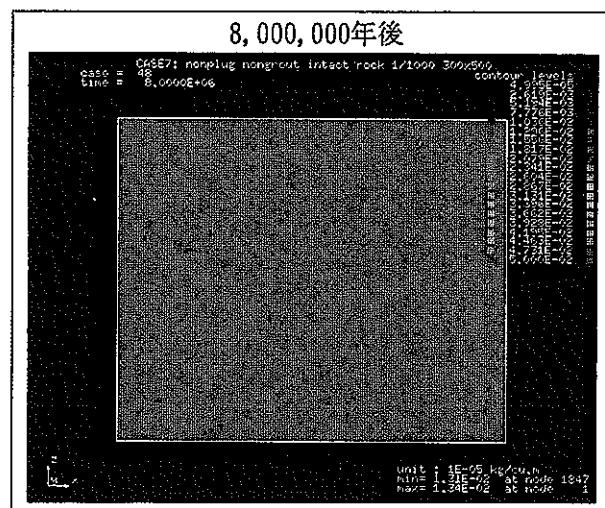
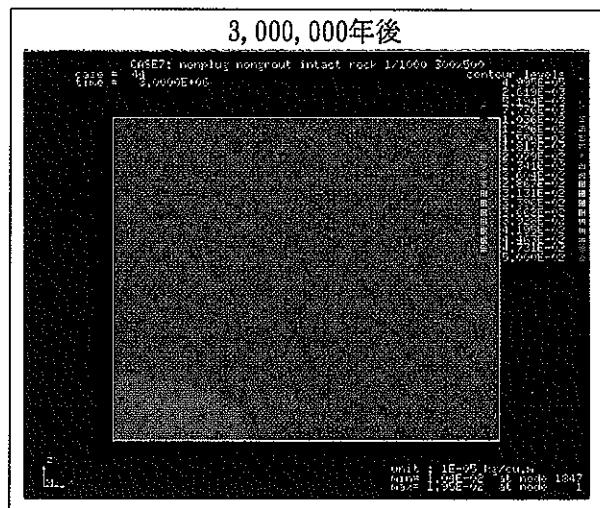
300×500mモデルでの等ポテンシャル分布プラグ周辺拡大図 (掘削前、埋戻しのみ、プラグ個数、グラウト併用による相違)

添付資料

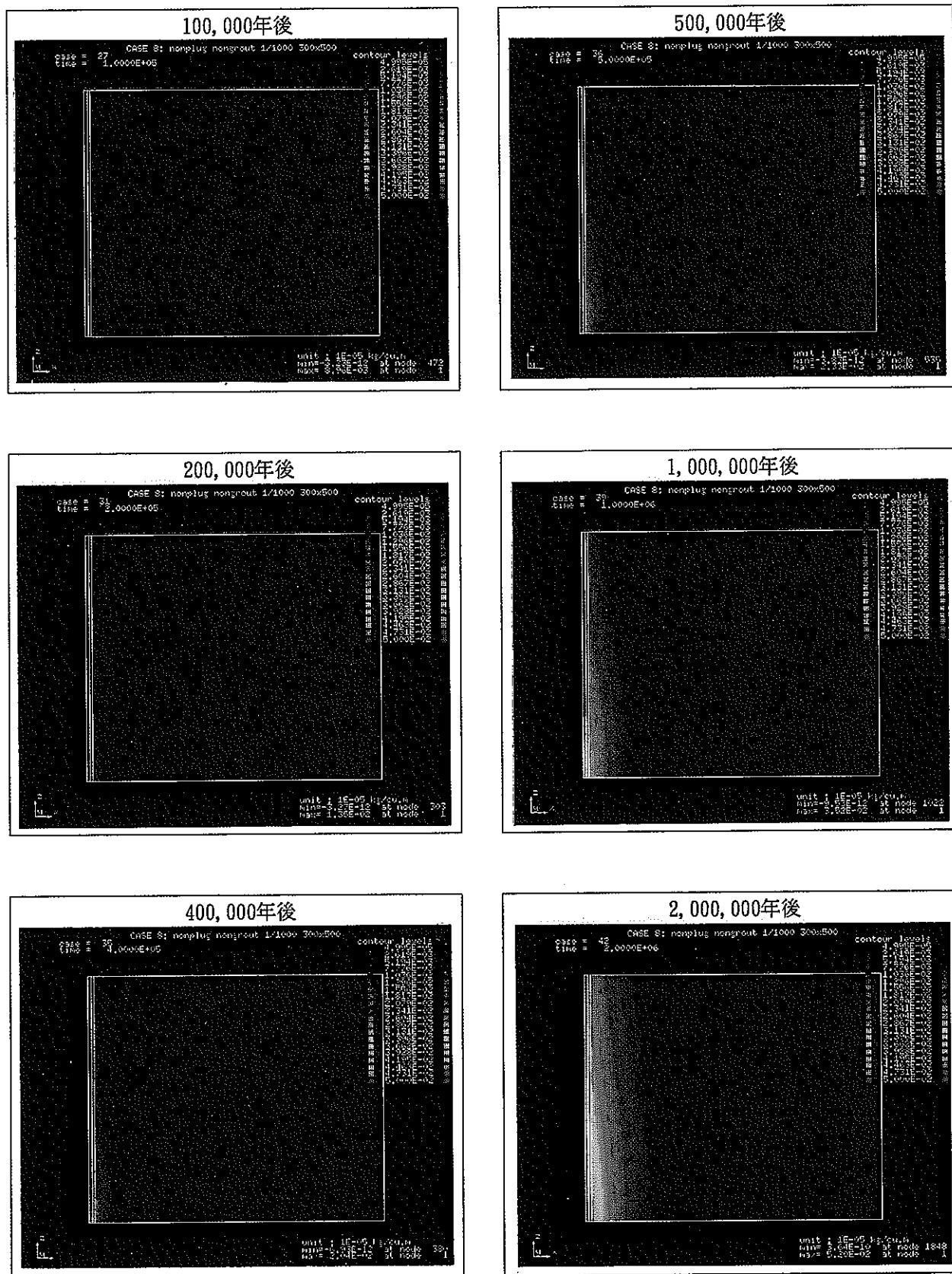
核種濃度の経時変化図



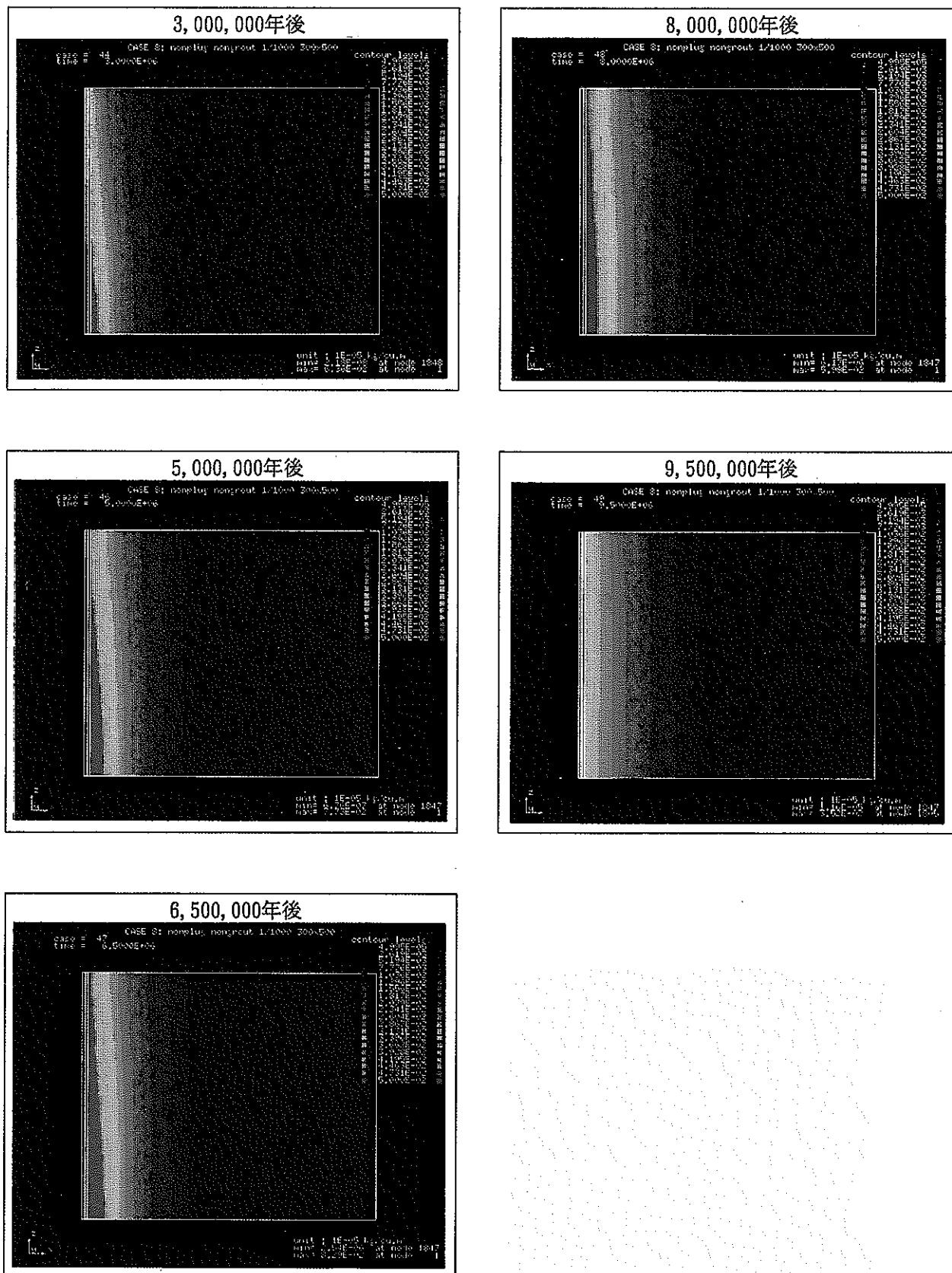
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 7 : 掘削前の岩盤状態、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



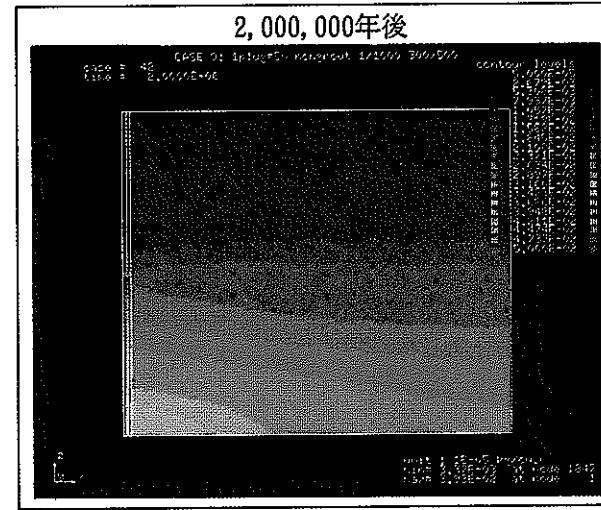
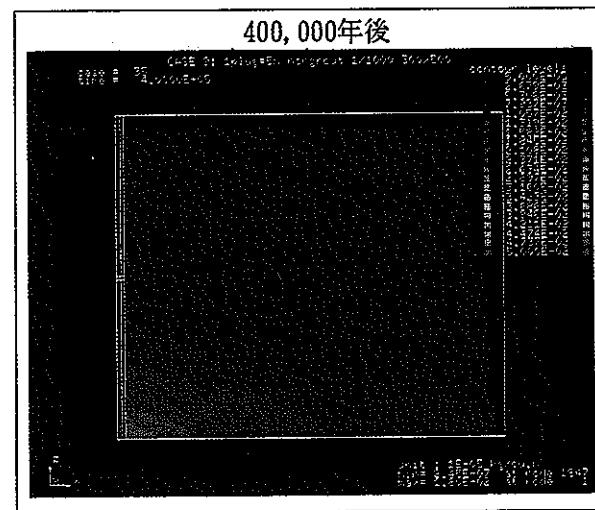
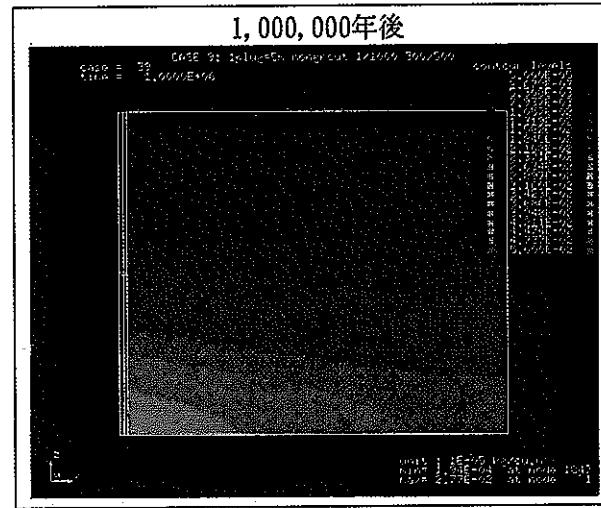
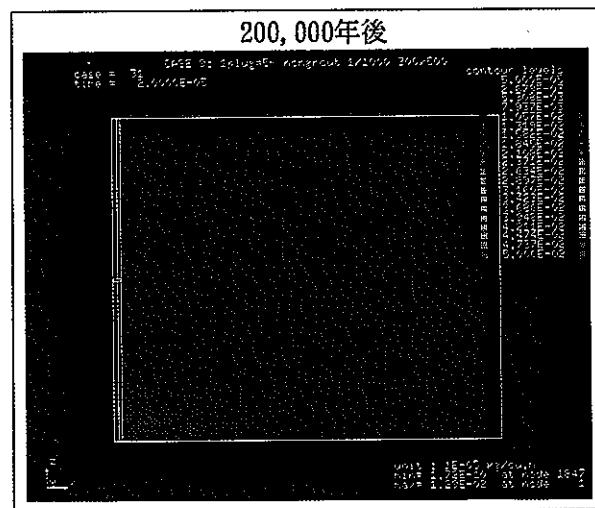
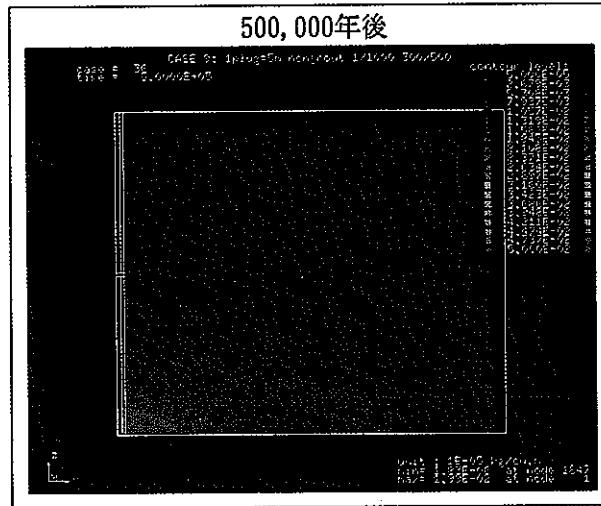
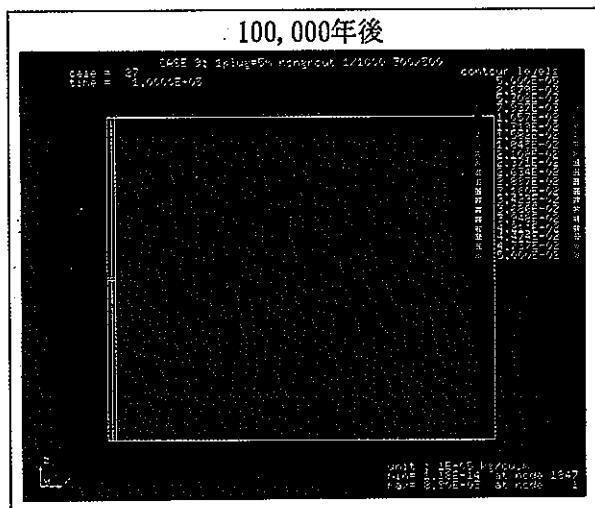
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 7 : 掘削前の岩盤状態、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



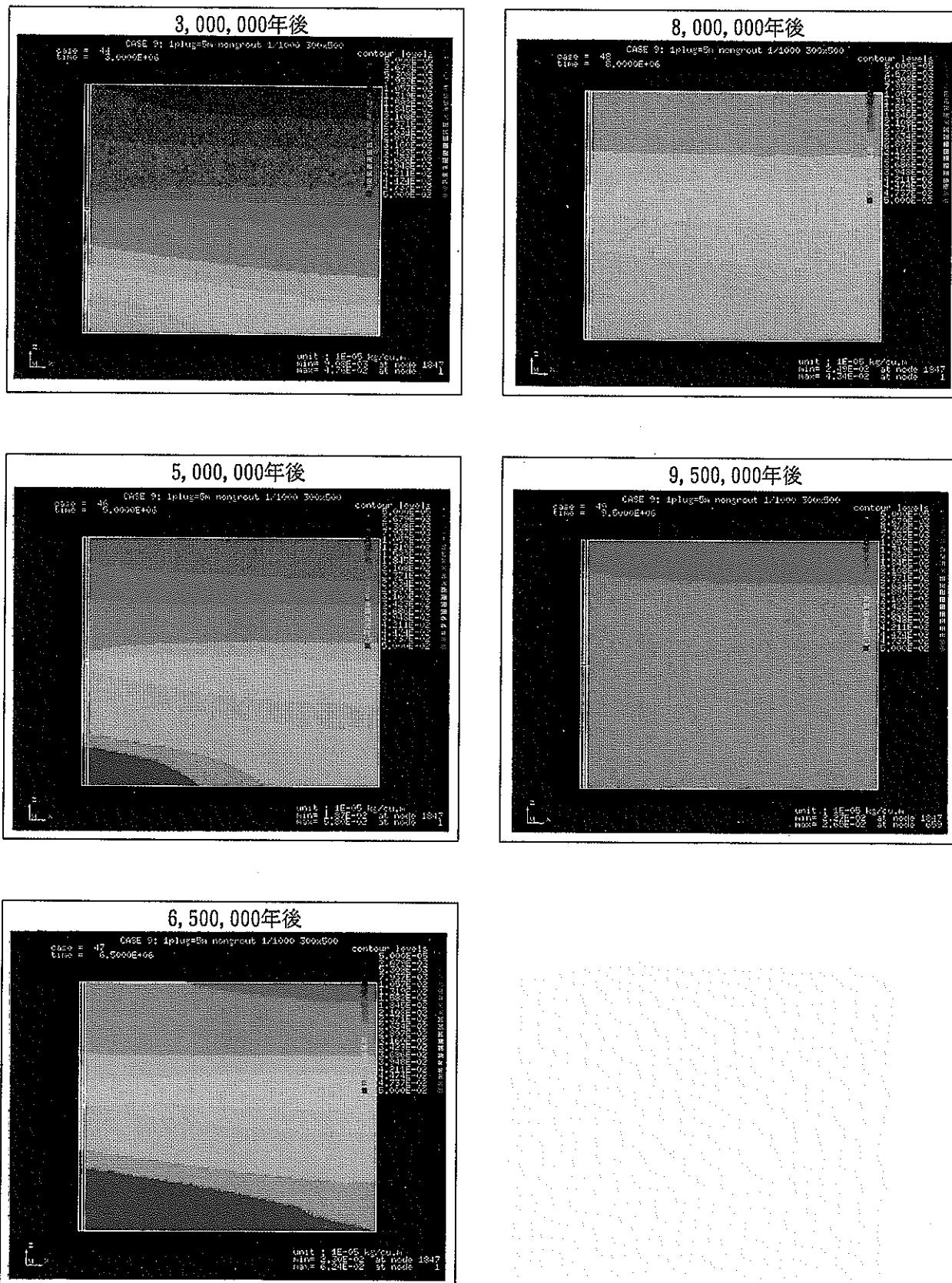
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 8 : 埋戻しのみ、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



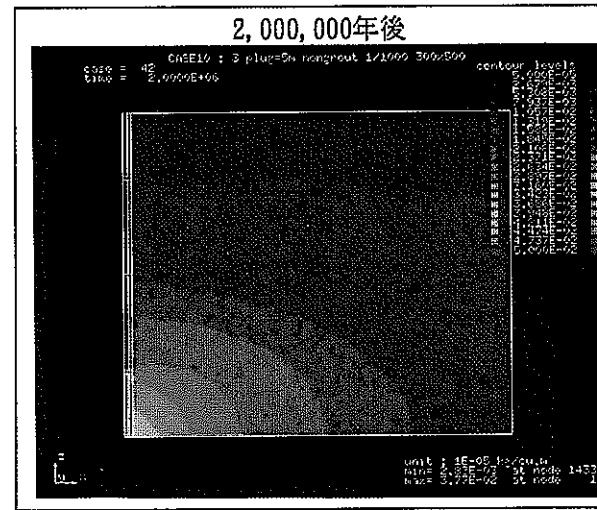
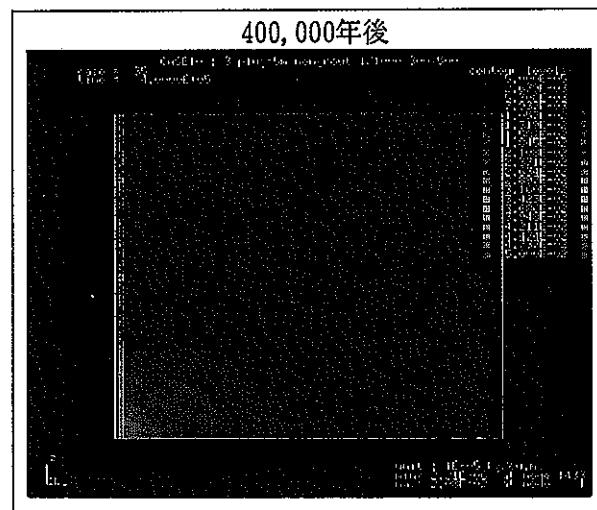
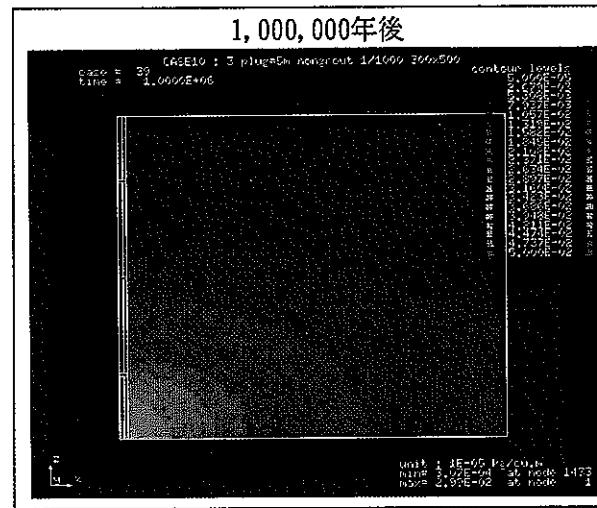
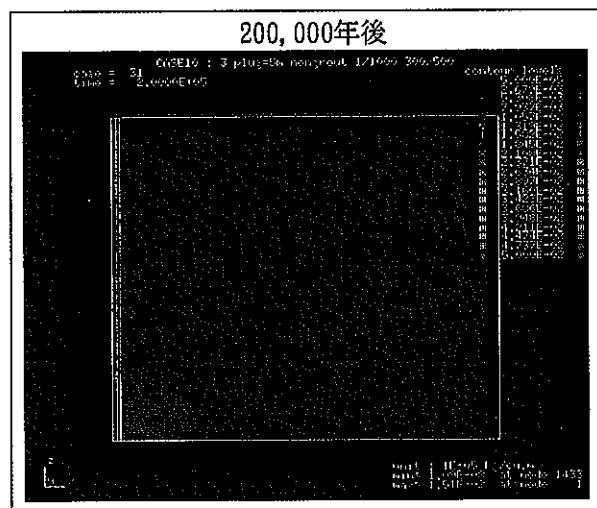
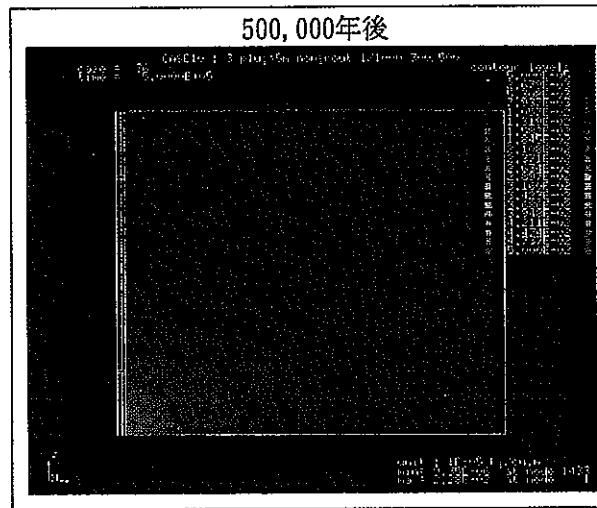
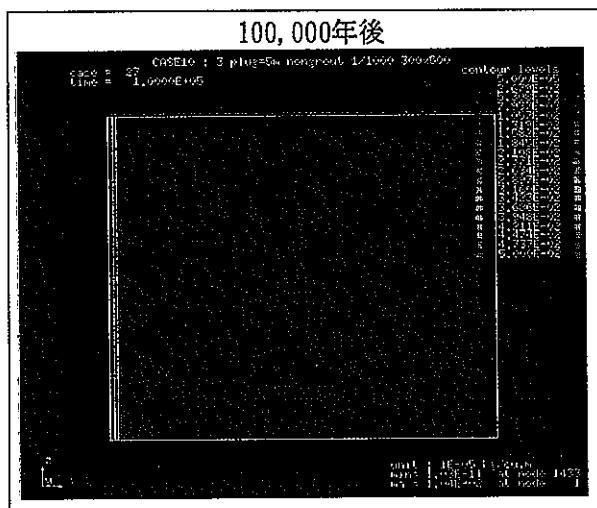
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 8 : 埋戻しのみ、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



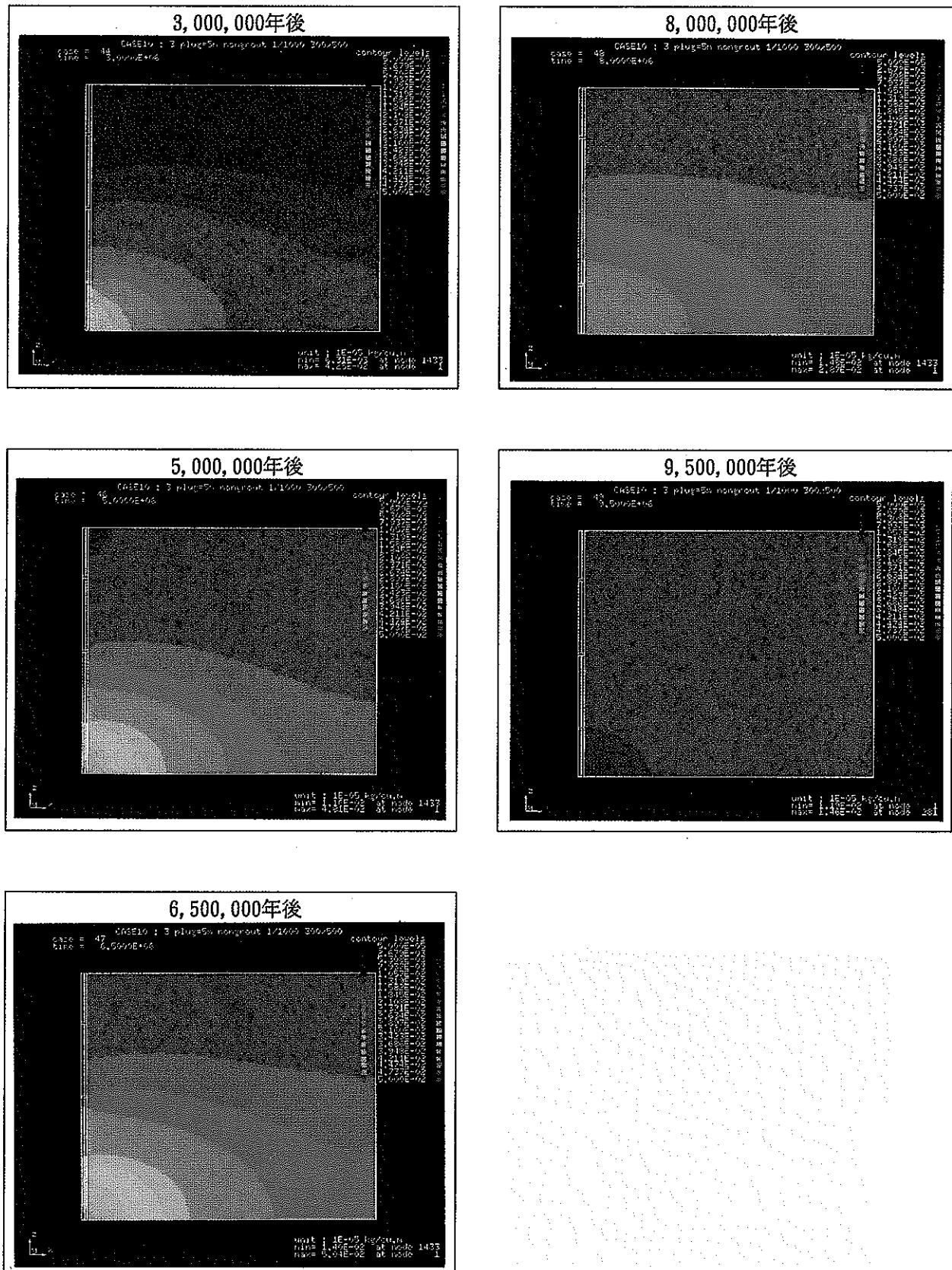
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 9 : 埋戻し+プラグ1個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



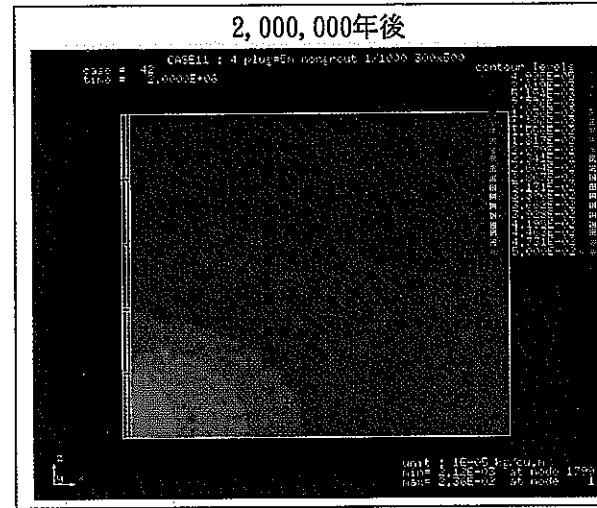
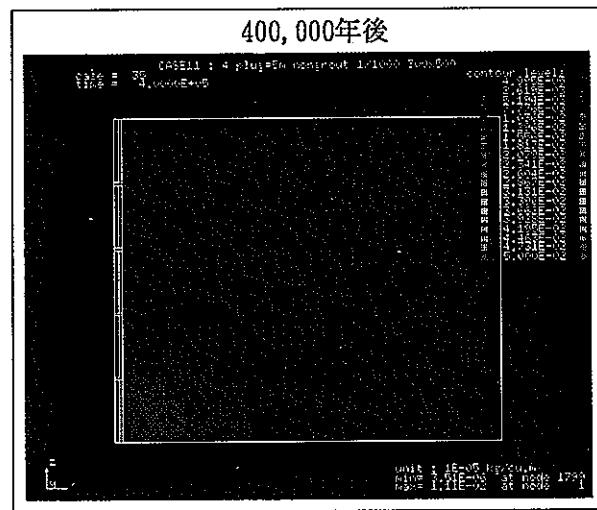
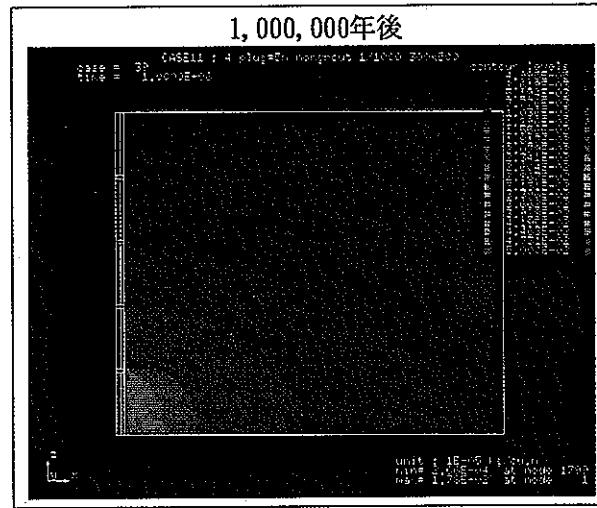
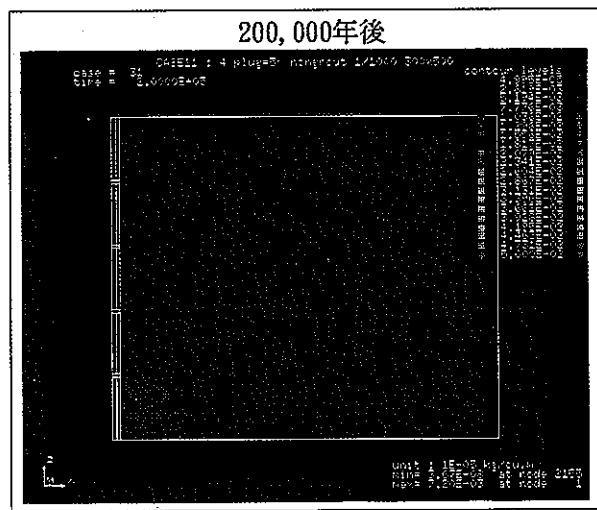
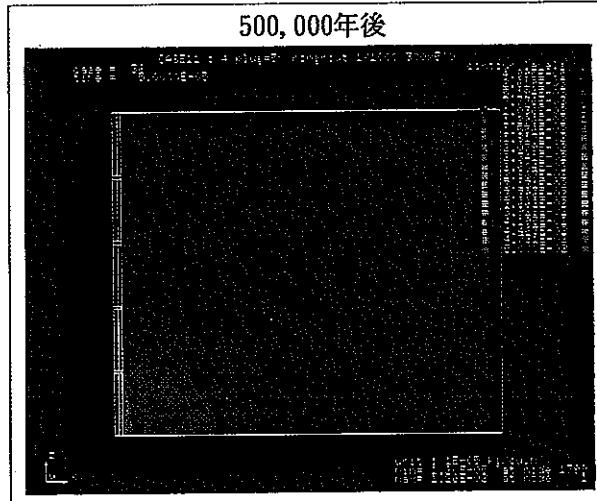
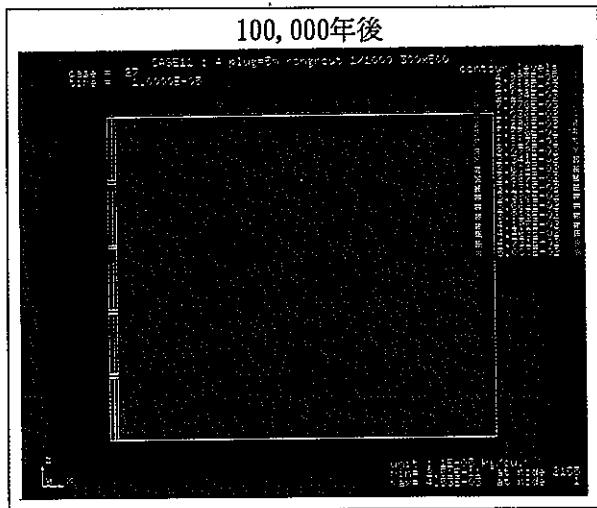
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE 9 : 埋戻し+プラグ1個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



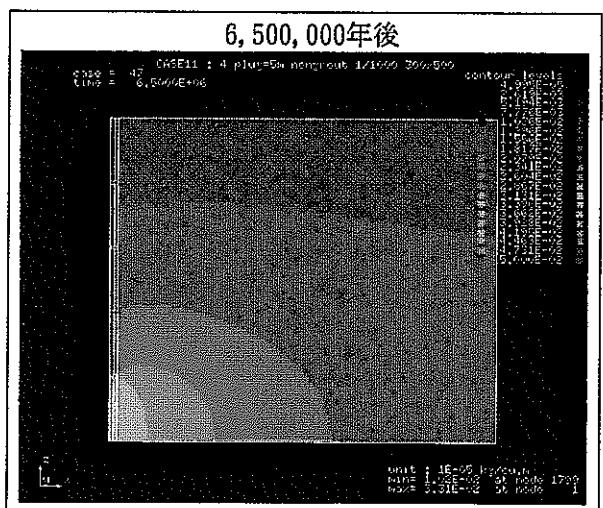
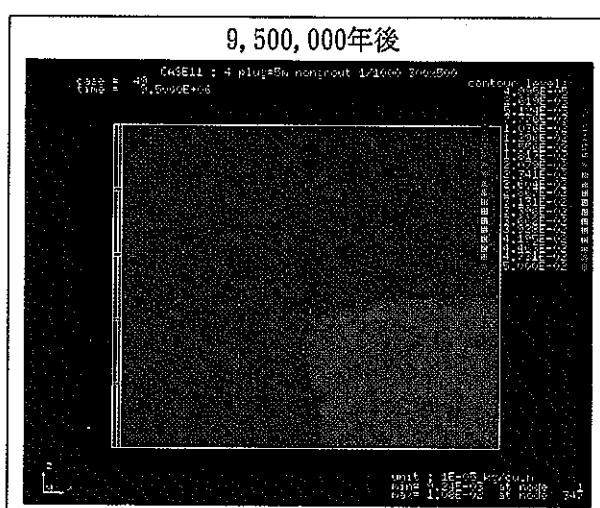
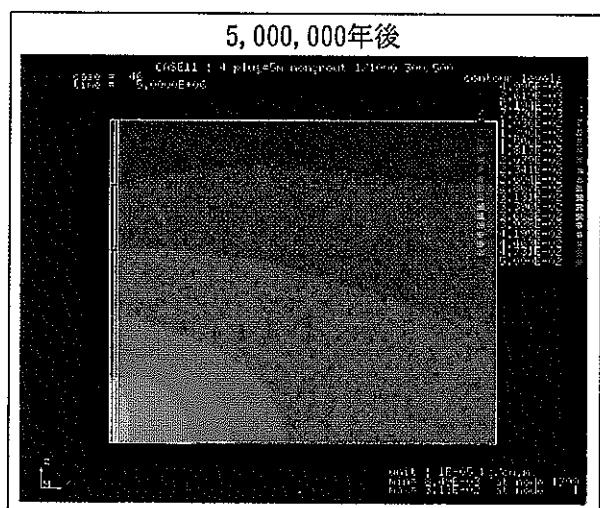
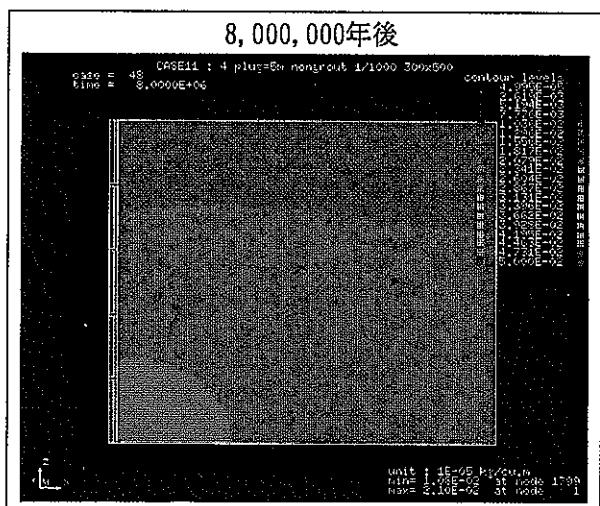
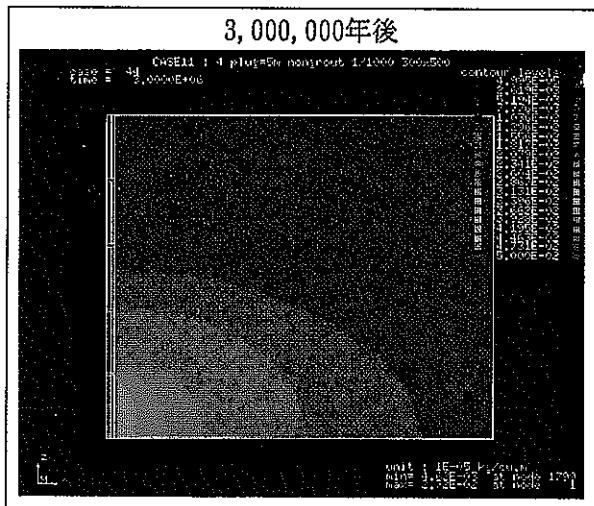
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE10 : 埋戻し+プラグ3個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



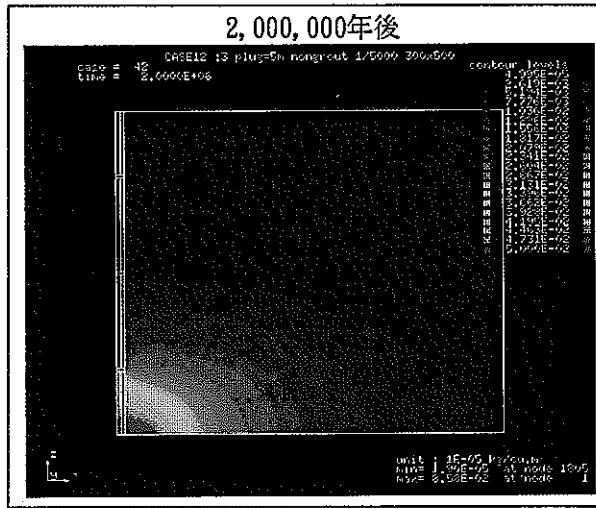
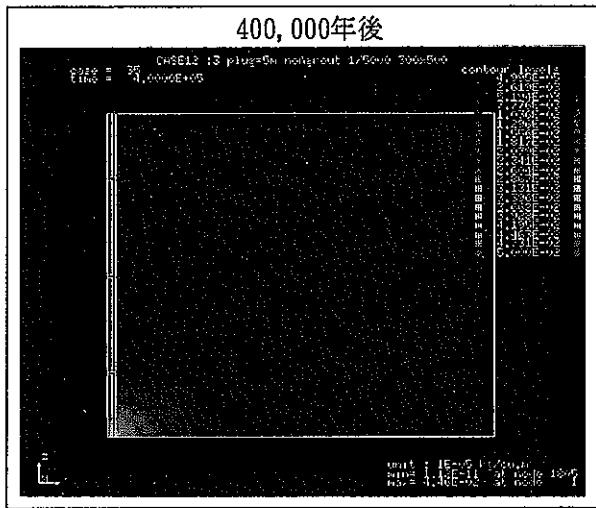
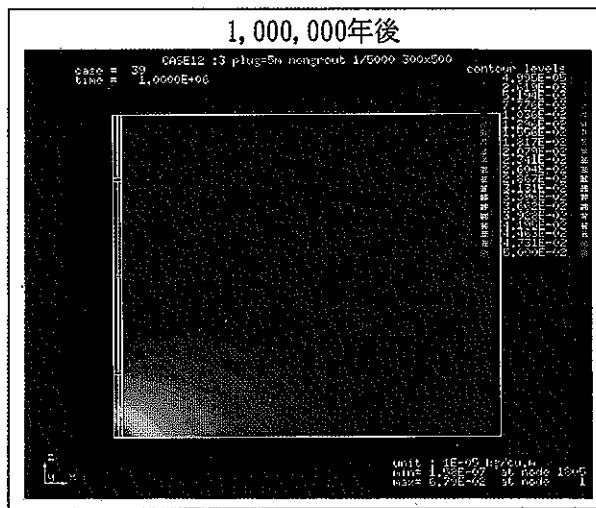
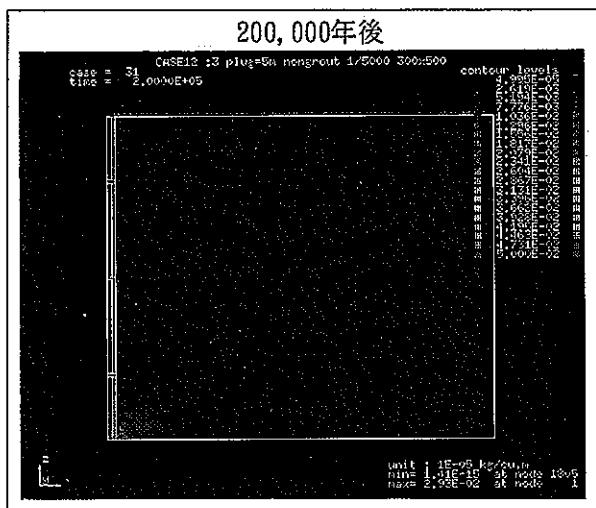
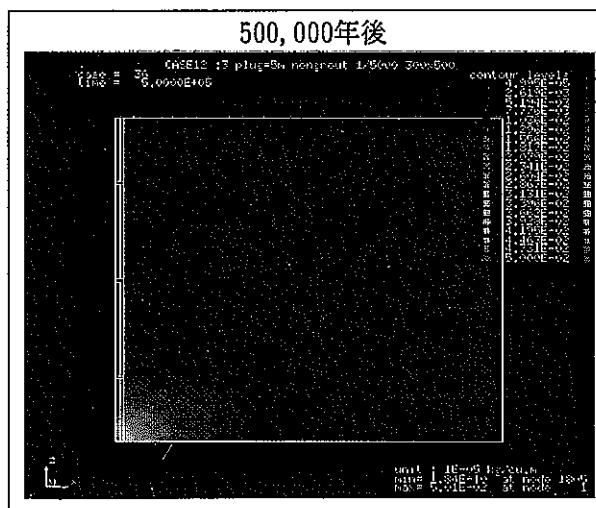
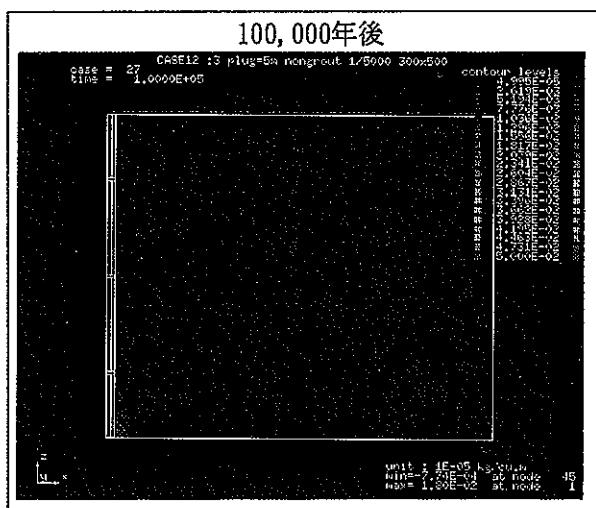
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE10 : 埋戻し+プラグ3個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



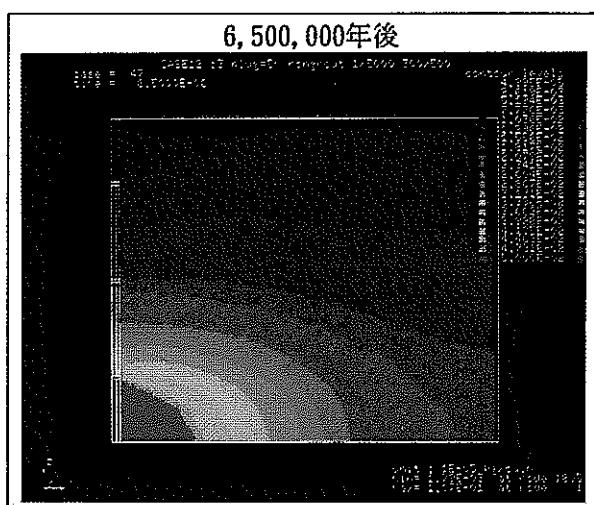
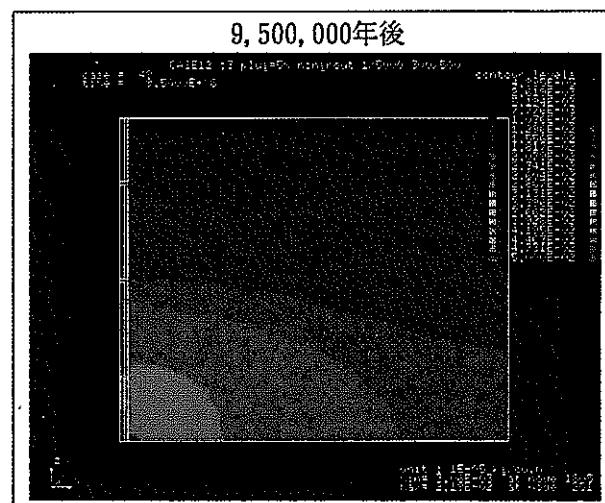
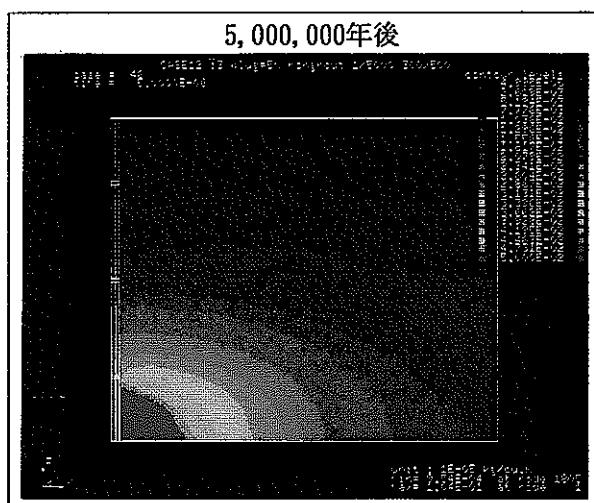
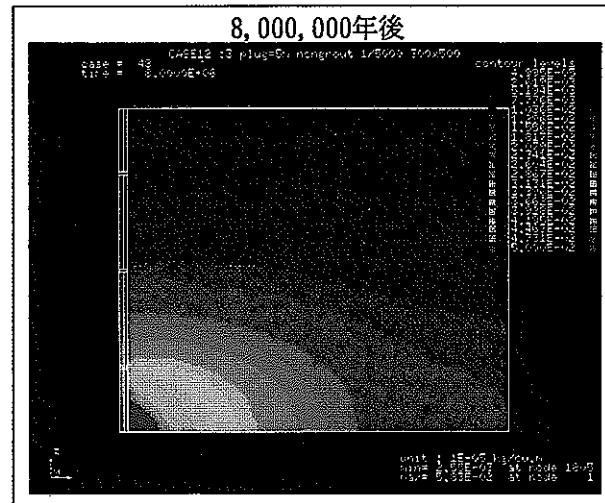
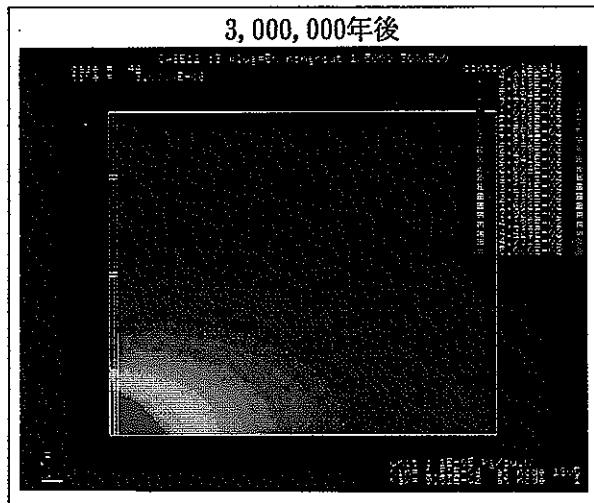
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE11 : 埋戻し+プラグ4個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



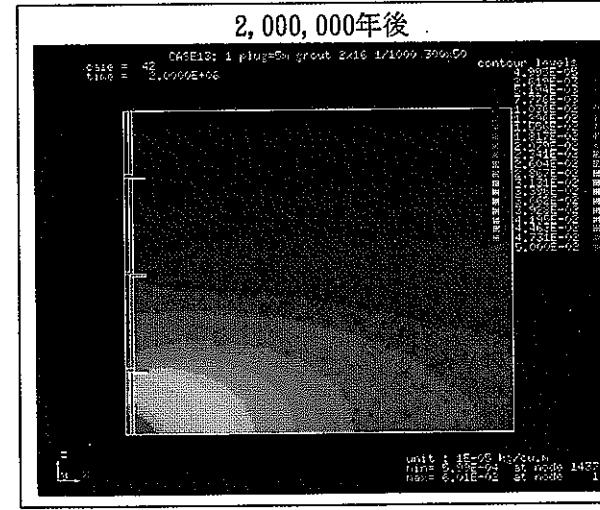
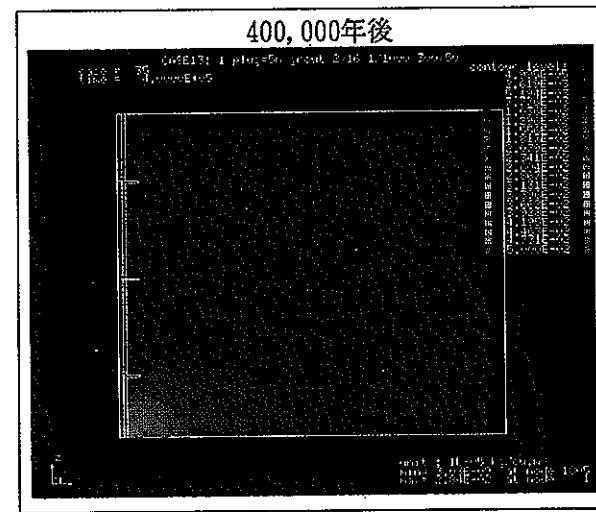
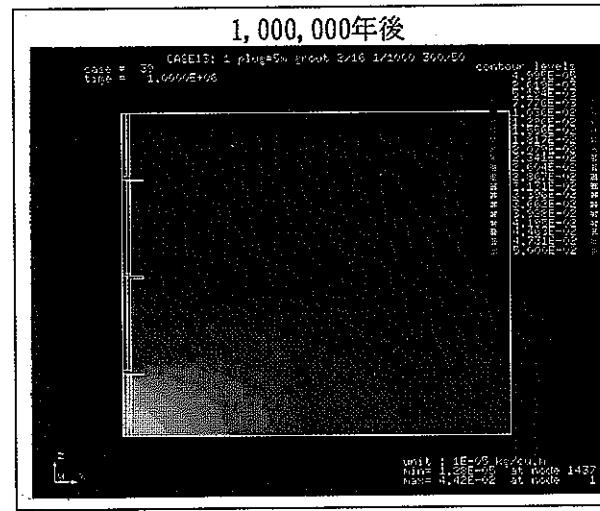
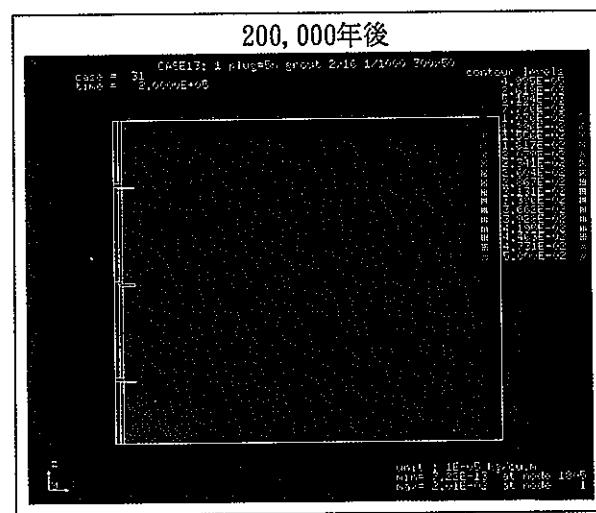
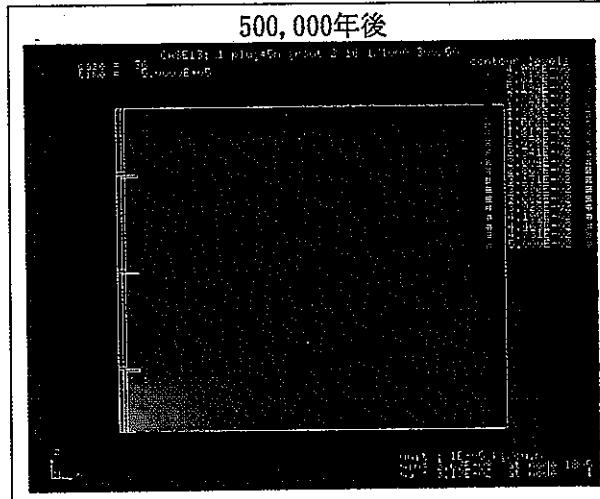
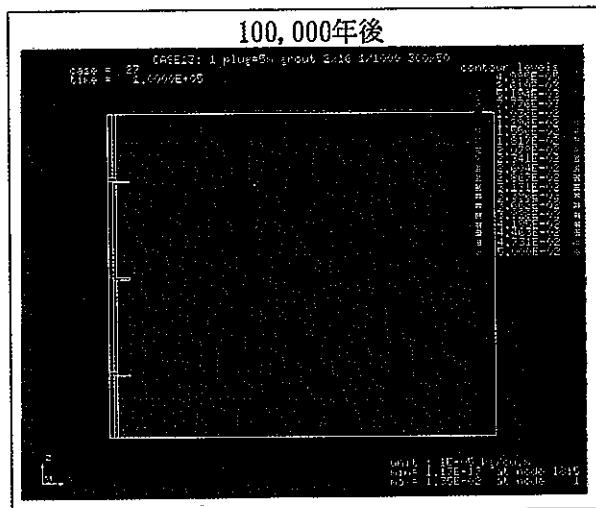
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE11: 埋戻し+プラグ4個、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



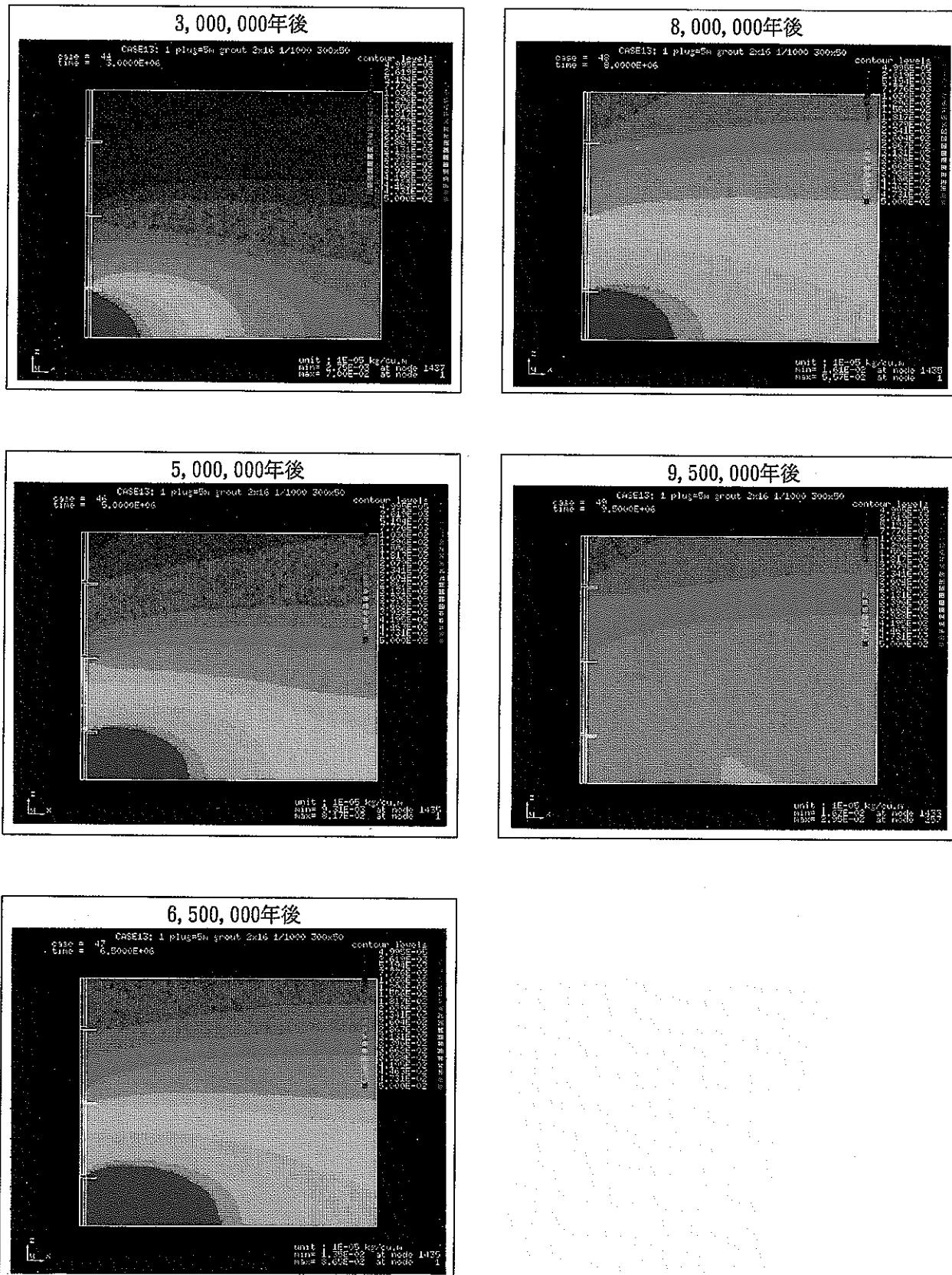
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE12: 埋戻し+プラグ3個、動水勾配1/5000、300×500mモデル)



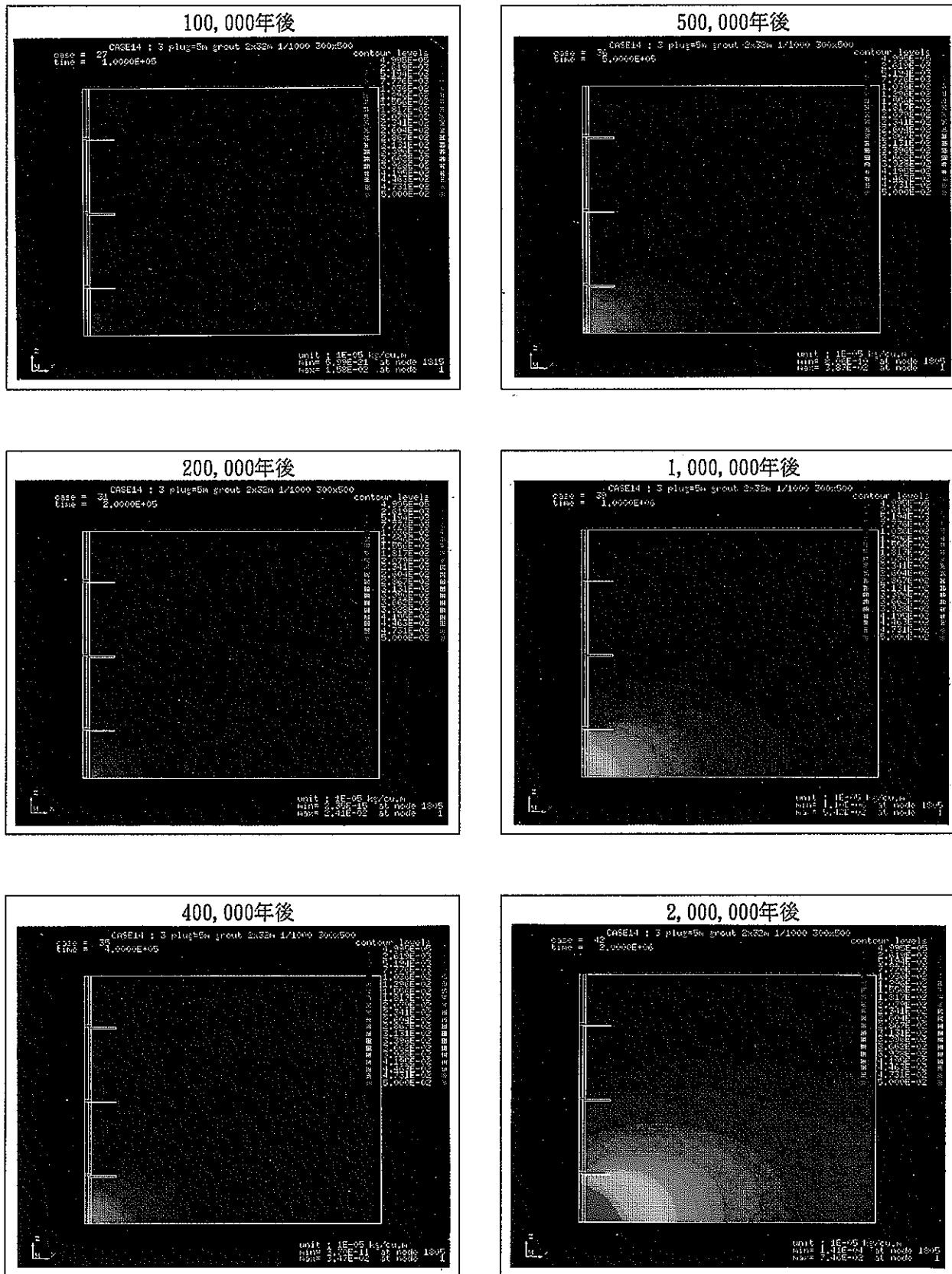
Np-237核種濃度の経時変化 (CASE12 : 埋戻し+プラグ3個、動水勾配1/5000、300×500mモデル)



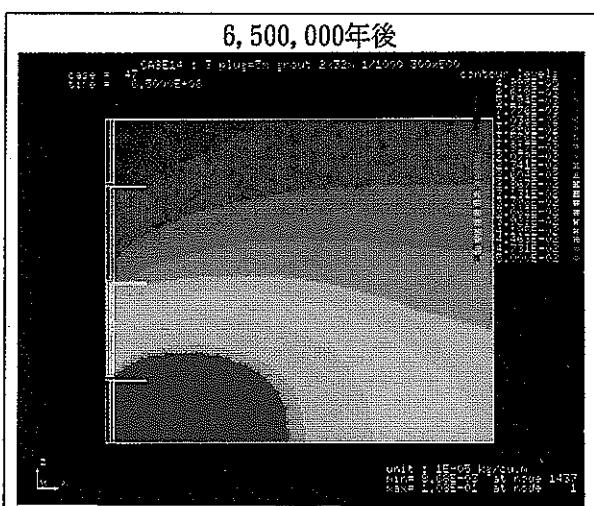
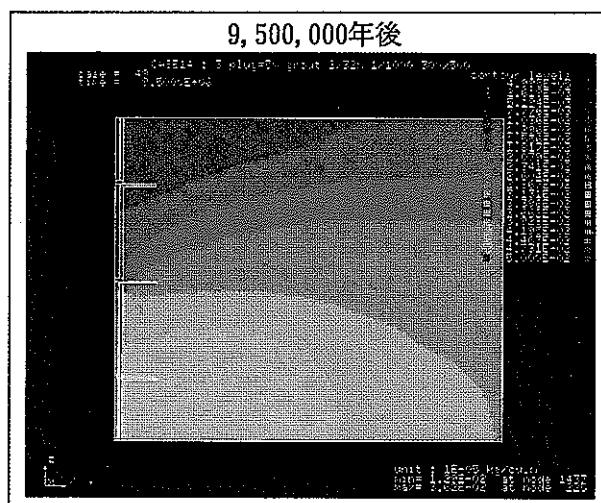
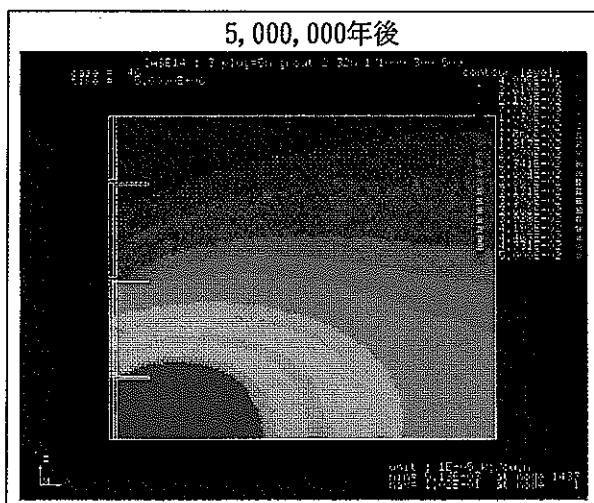
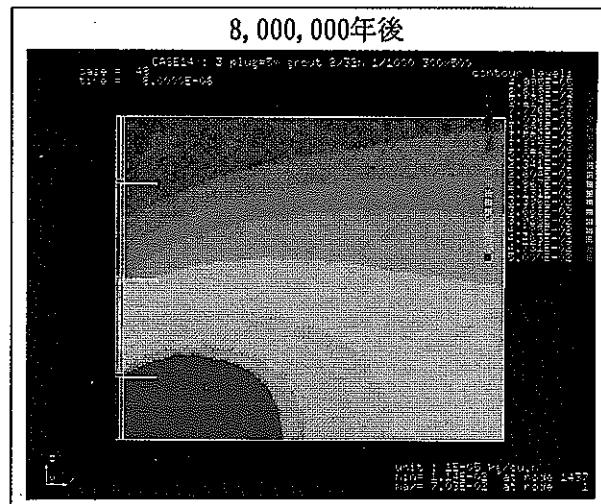
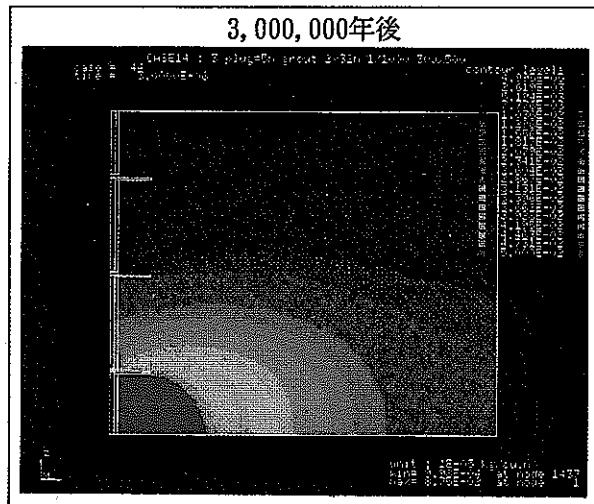
Np-237核種濃度の経時変化(CASE13：埋戻し + ブラグ3個 + グラウト(16m)、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



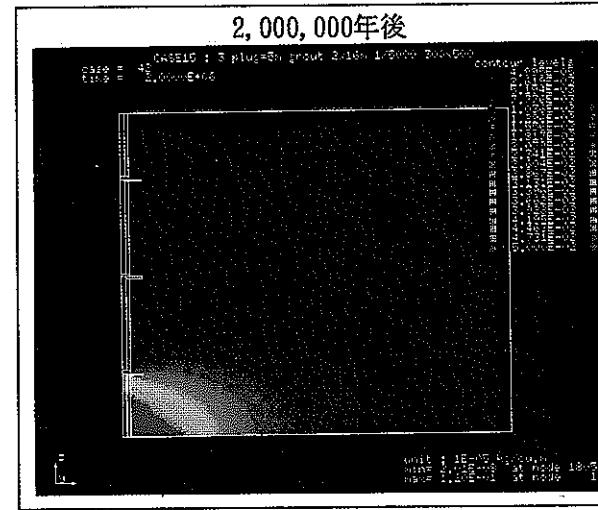
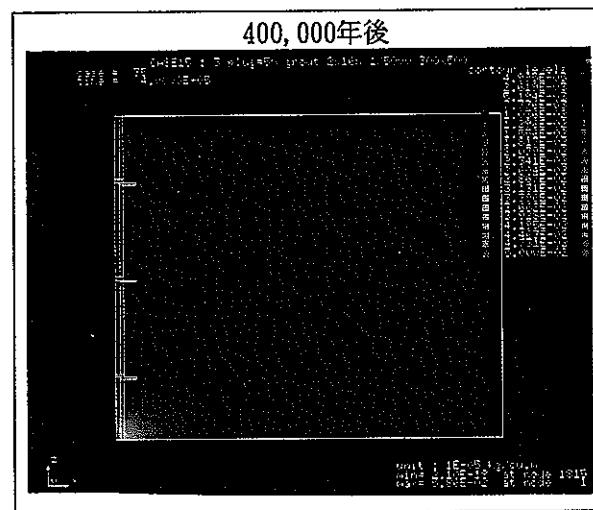
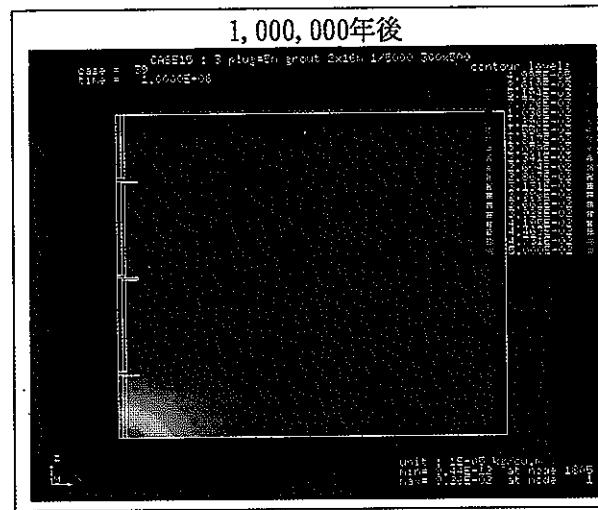
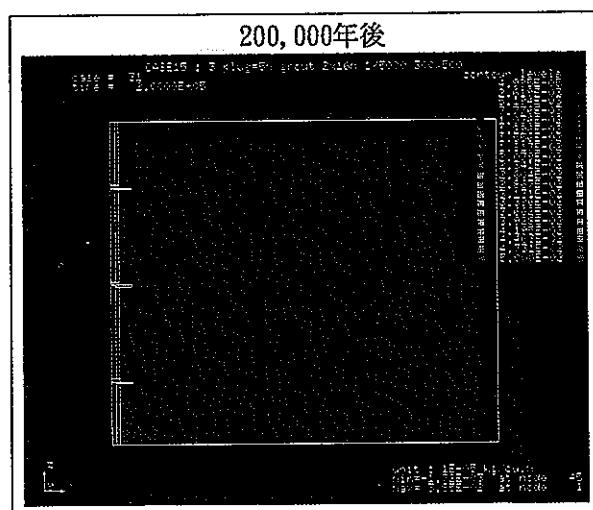
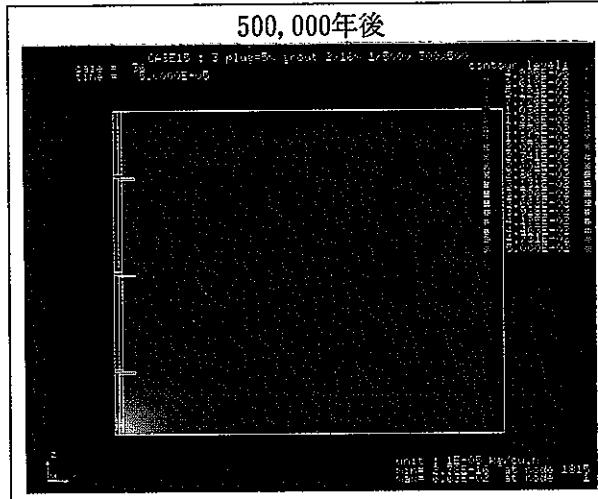
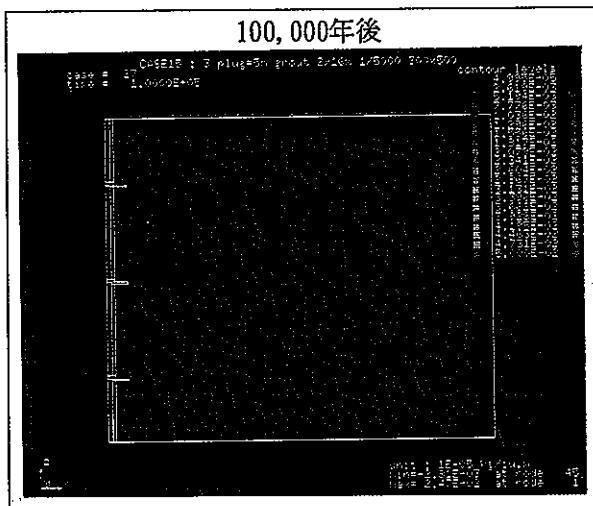
Np-237核種濃度の経時変化(CASE13：埋戻し + プラグ3個 + グラウト(16m)、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



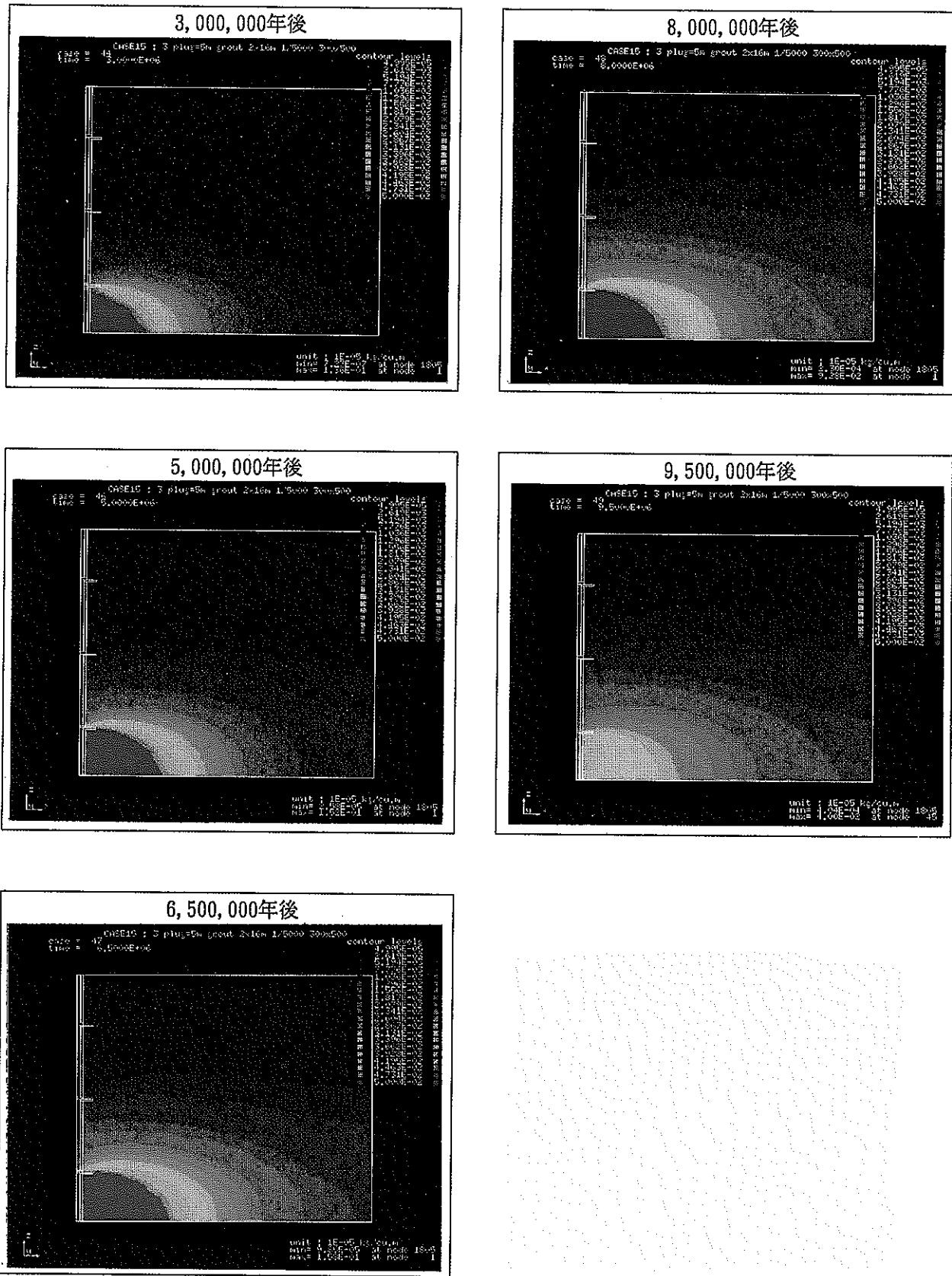
Np-237核種濃度の経時変化(CASE14：埋戻し+プラグ3個+グラウト(32m)、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



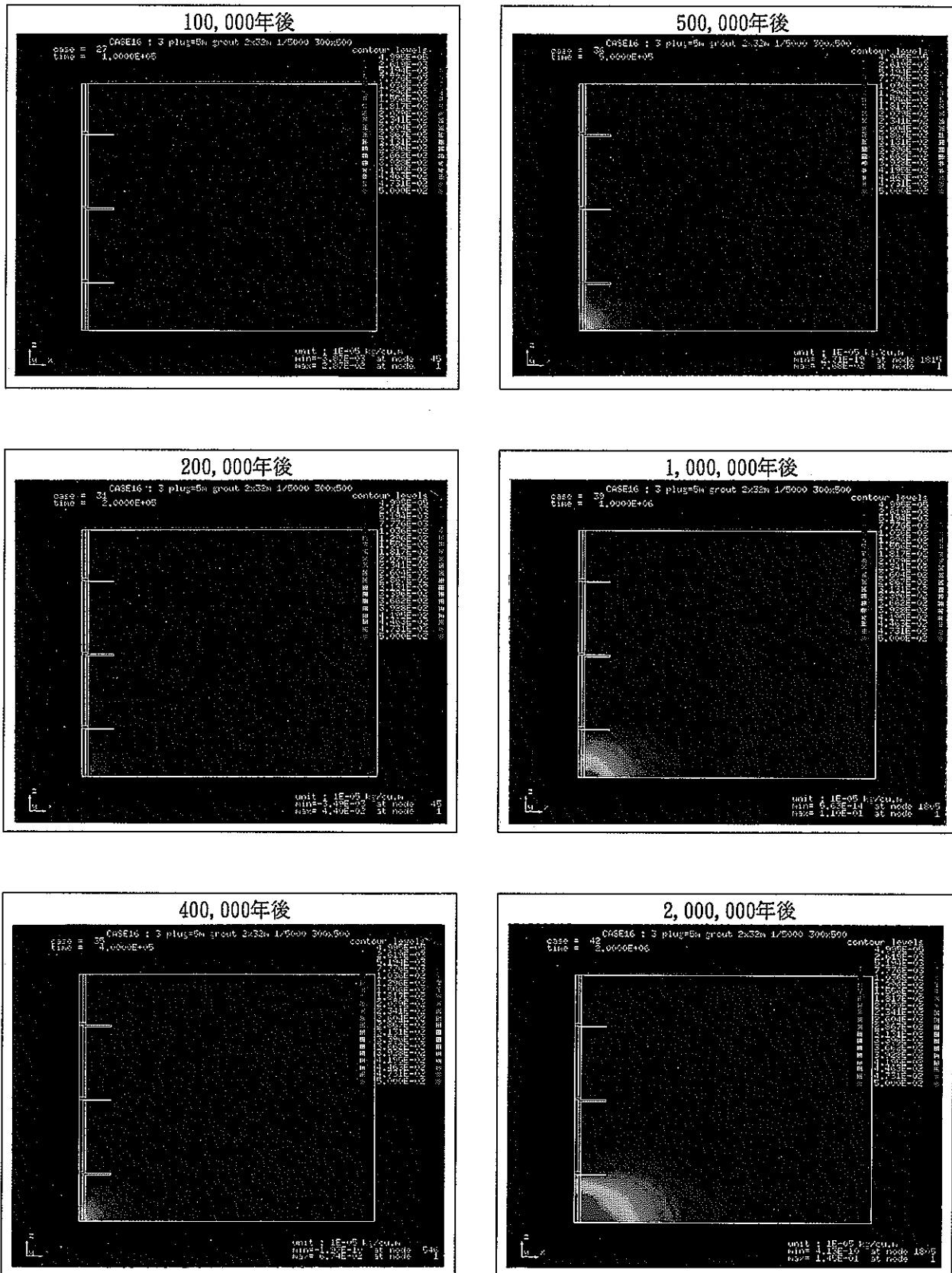
Np-237核種濃度の経時変化(CASE14：埋戻し + ブラグ3個 + グラウト(32m)、動水勾配1/1000、300×500mモデル)



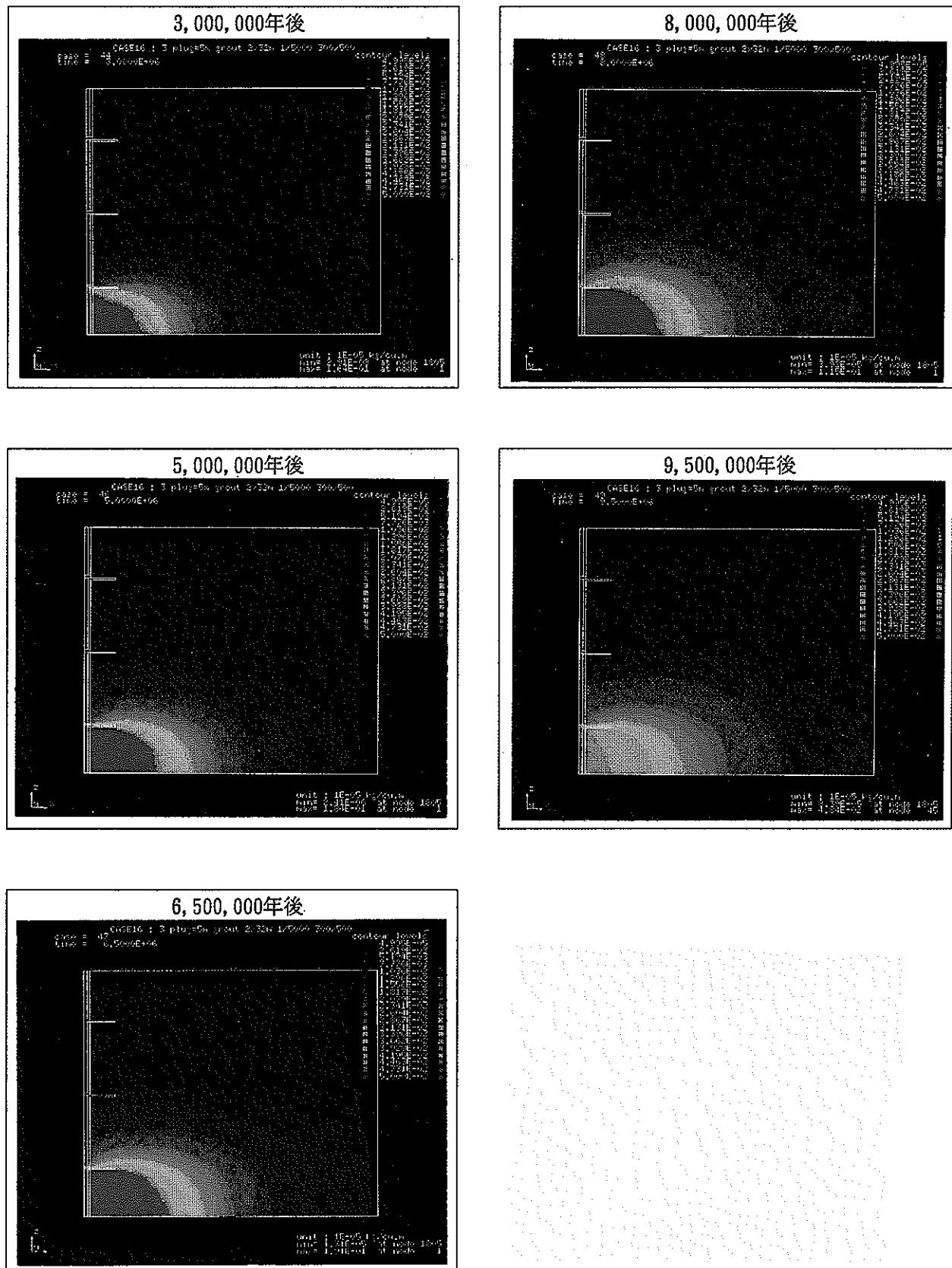
Np-237核種濃度の経時変化(CASE15：埋戻し+プラグ3個+グラウト(16m)、動水勾配1/5000、300×500mモデル)



Np-237核種濃度の経時変化(CASE15：埋戻し+プラグ3個+グラウト(16m)、動水勾配1/5000、300×500mモデル)



Np-237核種濃度の経時変化(CASE16：埋戻し + ブラグ3個 + ガウト(32m)、動水勾配1/5000、300×500mモデル)



Np-237核種濃度の経時変化(CASE16：埋戻し + ブラグ3個 + グラウト(32m)、動水勾配1/5000、300×500mモデル)