JNC TJ8400 99-079

04

人工バリアシステムの耐震性評価手法の開発Ⅱ

－ 概要書 －

（核燃料サイクル開発機構　研究委託内容報告書）

1999年2月

コンピュータソフト開発株式会社

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4－49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquires 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)
1999

資　料　種　別
JNC TJ8400 99-079
1999年 2月

人工バリアシステムの耐震性評価手法の開発Ⅱ

森　康二*1　根山敦史*1
白川俊彦*1

要　旨

本研究は、高レベル放射性廃棄物の地層処分システムに於けるニアフィールドの耐震安定性の評価を目的として、以下の検討を実施したものである。

(1)　JNC 殿で整備中の地質環境モデルならびに表層観測地震波に基づき、処分深度-1000m（硬岩系）、-500m（軟岩系）における地中地震波の推定を行った。これより、本検討で対象とした地質環境モデルでは、加速度振幅比で60%（硬岩系）ないし20%（軟岩系）の低減効果があることを確認した。

(2)　本研究で開発中の3次元地震応答解析コードでは、これまでに材料非線形モデル、粘性境界要素ならびにジョイント要素など、ニアフィールドの耐震性評価を行う上で必要となる諸機能を段階的に整備してきた。本年度は、これらの手法・モデルを用いて地質環境モデルを考慮とした感度解析を行い、ニアフィールド耐震性評価を行う上での具体的な解析手法を設定した。

また、これらの検討結果に基づき、実処分環境下における処分場ニアフィールドの耐震性評価を行った。処分概念としては、硬岩系処分坑道横置き（-1000m）および軟岩系処分孔竪置き（-500m）の2種類を対象とした。本評価により、地震の発生に伴い緩衝材内に発生するせん断応力は、人工バリアが常時受けている土被り圧に比較して十分小さく、地震による人工バリアの力学的安定性が確保できる見通しを得た。

本報告書は、コンピュータソフト開発株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究内容である。
契約番号：100D0226
機構担当部課室及び担当者：東海事業所 環境・保全研究開発センター 処分技術部
処分バリア性能研究グループ
油井　三和

＊1　環境工学グループ

Document
JNC TJ8400 99-079
February, 1999

Development of the Evaluation Methodology for Earthquake Resistance of the Engineered Barrier System(Ⅱ)

Koji Mori*1, Atsushi Neyama *1, and Toshihiko Shirakawa*1

Abstract

In this study, the following several tasks have been performed in order to evaluate the stability of earthquake resistance for the engineered barrier system of High Level Waste(HLW) geological isolation system.

(1) Based on the wave propagation theory for one-dimensional multi-layer system, we have estimated the underground seismic wave that propagates in the HLW repository site. This analysis was based upon the JNC Virtual Geological Model and we used the El-Centro earthquake data as the surface observed wave. Through this inversion analysis, we have found that this interest geological model has the about 60%(G.L.-1000m) and 20%(G.L.-500m) decreasing ratio of the acceleration to the surface observed acceleration level.

(2) Since 1992 we have developed the three dimensional seismic response analysis code for the engineered barrier system, which based on Finite Element Methodology. This analysis code has various function to take into consideration the realistic repository system(e.g. material nonlinear models, joint crack element and infinite viscous boundary element). We have made the study of the concrete analysis method designed to the near field seismic response analysis, through the sensitivity analysis using above various function.

Based on these studies, we have evaluated the earthquake resistance stability for the near-field repository system. Two types of disposal concept were considered as the reference case associated with the JNC second progress report. Through this study, we have concluded that the shear stress due to earthquake in the buffer material is very small relative to that due to the earth load and the earthquake resistance stability will be maintained.

This work was performed by Computer Software Development Co., Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Agency.

JNC Liaison : Barrier Performance Group Waste Isolation Research Division
Waste Management and Fuel Cycle Research Center TOKAI WORKS
Project, Mikazu Yui

*1 Environmental Engineering

人工バリアシステムの耐震性評価手法の開発Ⅱ

項

1．まえがき

1．1 研究目的 …… 1－1

1．2 研究内容 …… 1－1

2．地質モデルにおける処分深度での地中地震波の作成および入力地震波の検討

2．1 はじめに …… 2－1

2．2 処分深度における地中地震波の作成 …… 2－1

2．2．1 地質環境モデル …… 2－1

2．2．2 表層観測波 …… 2－1

2．2．3 解析結果と考察 …… 2－1

3．実処分場を想定したニアフィールドパラメータ解析

3．1 はじめに …… 3－1

3．2 解析ケース …… 3－1

3．3 評価手順 …… 3－2

3．4 ニアフィールド地震応答解析 …… 3－2

3．4．1 入力地震動 …… 3－2

3．4．2 解析モデル …… 3－3

3．4．3 材料物性値 …… 3－3

3．4．4 初期条件 …… 3－3

3．4．5 解析結果と考察 …… 3－3

4．結言 …… 4－1

5．謝辞 …… 5－1

6．参考文献 …… 6－1

表目次

項

表３．２－１　解析ケース …… ３－６
表３．４．３－１　材料物性値（SI 単位系） …… ３－７

図目次

項

図２．２．３－１　処分震度 1000m における地中地震波（硬岩系）・・・・・・・・・・ ２－６
図２．２．３－２　処分震度 500m における地中地震波（軟岩系）・・・・・・・・・・・ ２－７
図３．４．２－１　解析メッシュ図（処分坑道横置き）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－８
図３．４．２－２　解析メッシュ図（処分孔竪置きモデル）・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－９
図３．４．５－１　応答波形（ケース１－１）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－10
図３．４．５－２　せん断応力コンター（ケース１－１）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－11
図３．４．５－３　せん断ひずみコンター（ケース１－１）・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－12
図３．４．５－４　応答波形（ケース１－２）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－13
図３．４．５－５　せん断応力コンター（ケース１－２）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－14
図３．４．５－６　せん断ひずみコンター（ケース１－２）・・・・・・・・・・・・・・・・・ ３－15

１．まえがき

１．１ 研究目的

ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材から構成される人工バリアシステムは、長期にわたってガラス固化体と地下水の接触や核種の溶出移行の抑制等、様々な物理的・化学的バリア性能が要求される。これらバリア性能を確保するための前提条件としては、人工バリアシステムが健全な状態で存在することが必要である。したがって、我が国のように地震の多い地質環境条件下における地層処分においては、人工バリアシステムの健全性を確保するために、人工バリアシステムを中心としたニアフィールドの耐震性評価が重要かつ必要である。

本研究は、開発中の人工バリアの地震応答解析モデル／コードならびに昨年度までに検討してきたニアフィールドの耐震性評価手法を用い、解析による処分場の耐震性評価を行うとともに、その手法を体系的にまとめ、今年度を目処に JNC 殿が取りまとめる２０００年レポートドラフト版に資することを目的とする。

１．２ 研究内容

（１）地質モデルにおける処分深度での地中地震波の検討

これまでに、深部地下の地震波に関する調査検討を行ってきており、地表面で観測された地震波から地下深部における地震波の推定が可能である見通しを得るとともに、例題的に地中地震波の作成を行ってきた。

本年度は、2000 年レポートドラフト版における処分場仕様および地質環境モデルの下で、処分深度-1000m（硬岩系）、-500m（軟岩系）における地中地震波の推定を行った。硬岩系に関しては、前年度と同一の均質な結晶質岩を対象とした。また、軟岩系については、砂岩と泥岩の互層地盤を対象とした。表層観測波としては、本研究でこれまで利用してきたエルセントロ波、宮城沖波、八戸波より、波形の有するエネルギーが最も大きいものを保守的に採用した。ここで検討した深部地中地震波は、ニアフィールドを対象とした地震応答解析の入力地震波として利用する。

（２）ニアフィールド耐震性評価

これまでに開発したモデル／コードにより、緩衝材の材料非線形性、緩衝材中の間隙水圧の上昇・消散および緩衝材－岩盤間の材料不連続面など、実際の処分環境を考慮したより現実的なモデルを用いた解析・評価を行っており、耐震安定性評価を行う上での重要因子の摘出やモデル化上の制約等に関する知見が蓄積されつつある。

本年度は、２０００年レポートドラフト版における最新版の人工バリア仕様ならびに地質モデルに基づき、処分場閉鎖後のニアフィールド耐震性評価を行うとともに、これまでに検討した様々な手法、モデルを用いた感度解析を行い、処分場の耐震性安定性評価を進める上で着目すべきものを改めて整理した。

2．地質モデルにおける処分深度での地中地震波の作成および入力地震波の検討

2．1 はじめに

JNC 殿で整備中の地質環境モデルに基づき、処分深度-1000m（硬岩系）、-500m（軟岩系）における地中地震波の推定を行う。硬岩系に関しては、前年度と同一の地質環境モデルに基づいている。表層観測波としては、本研究でこれまで利用してきたエルセントロ波を用いることとする。

2．2 処分深度における地中地震波の作成

2．2．1 地質環境モデル

JNC 殿より提示された地質環境モデルでは、硬岩系を結晶質岩からなる均質地盤、軟岩系を砂岩・泥岩からなる水平互層地盤と定めている。両地盤とも、岩盤物性の深度依存性を考慮したものであり、深度の増加に伴いせん断剛性が増加している。減衰定数は一律 2.0%と定めている。これらの地質環境モデルに基づき、重複反射理論による地中地震波の推定を行った。処分深度は硬岩系 G.L-1000m，軟岩系 G.L –500m と定め、解析には一次元地震応答解析コード SHAKE を用いた。

2．2．2 表層観測波

SHAKE コードへの入力条件となる表層観測波は、これまでに使用してきた著名地震波の１つとしてエルセントロ波（16.384 秒、16384 点）を用いた。最大加速度は観測開始から 3.877 秒後に約 1026gal を観測しており、卓越周波数は 5Hz 前後となっている。この特性は、本来エルセントロ波を観測したサイトにより特徴づけられるものであり、実際に地震波が伝搬した地質媒体の諸特性（弾性波速度、剛性、単位体積重量など）を反映した結果として解釈できるものである。従って、上記の地質環境モデルとは無関係であり、その地質環境モデルの表層観測波と仮定すること自体に少なからず矛盾がある。しかしながら、処分サイトを特定しない現段階では、これ以上の現実性を詰めていくには限界がある。本研究では、これらの課題を踏まえつつも、処分深度に応じた観測地震波の加速度低減効果等を概算できる等の利点を生かし、上記エルセントロ波を表層観測波として用いることとする。

2．2．3 解析結果と考察

図２．２．３－１に硬岩系 G.L-1000m における解析結果を示す。最大加速度は 400gal 前後にまで低減されている。一方、図２．２．３－２に示した軟岩系 G.L-500 の解析結果からは、最大加速度は約 800gal と硬岩系ほどの低減効果は認められない。これは両サイトで想定した処分深度ならびに岩盤物性値の相違によるものである。

以上の結果を、後述するニアフィールド地震応答解析における入力地震動として使用するこことする。

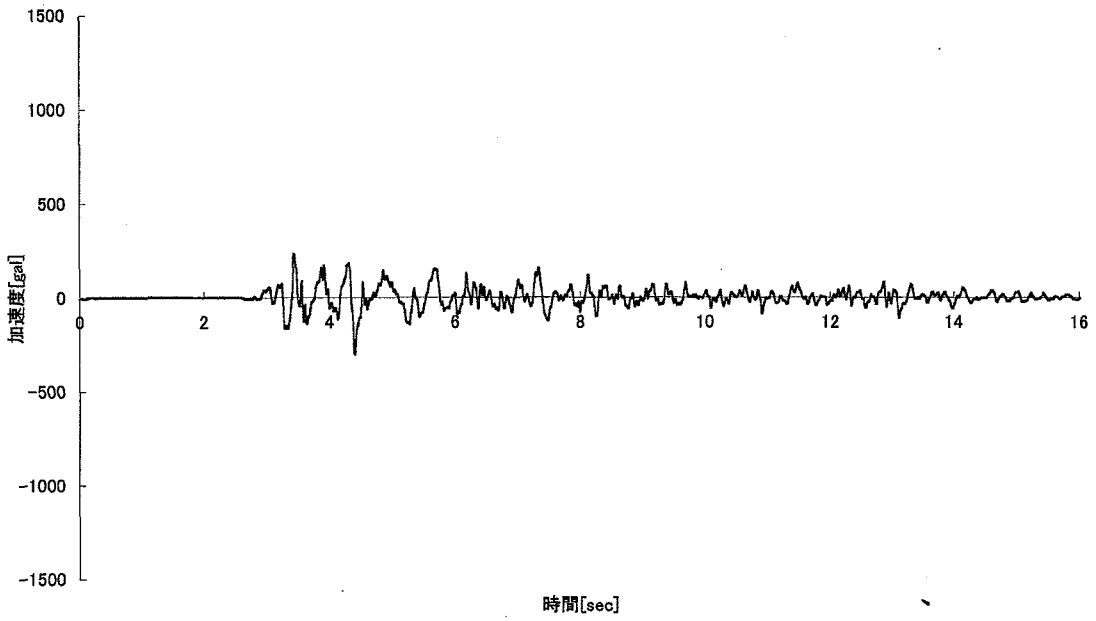


図２．２．３－１ 処分震度 1000mにおける地中地震波（硬岩系）

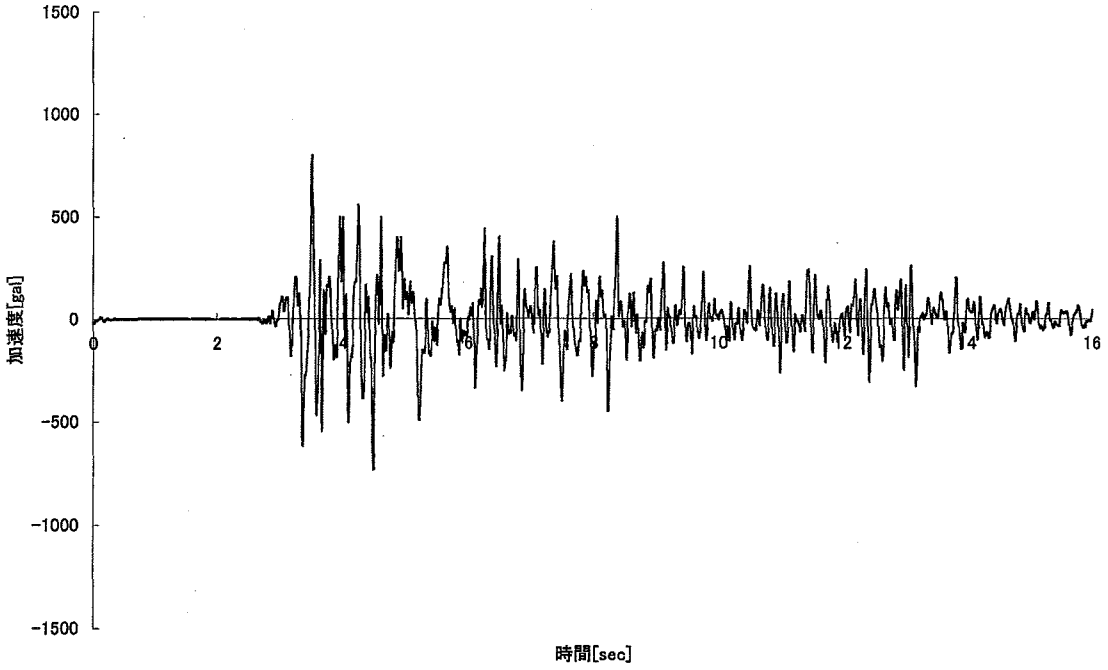


図２．２．３－２ 処分震度 500mにおける地中地震波（軟岩系）

3．実処分場を想定したニアフィールドパラメータ解析

3．1 はじめに

2000 年レポートドラフト版における処分概念ならびに地質環境条件に基づき、処分場閉鎖後のニアフィールド耐震性評価を実施した。対象とする人工バリア仕様は、2000 年レポートに向けた最新版のものであり、昨年度に実施した処分坑道横置きケースに対して坑道離間距離などが大幅に改訂されている。処分孔竪置きについても人工バリアの仕様が改めて設定されている。ここでは、これらの新しい仕様と JNC 殿で整備中の地質環境モデルからの諸情報に基づき、処分場閉鎖後のニアフィールドを対象とした三次元地震応答解析を行い、人工バリアシステムの耐震安定性について検討した。

3．2 解析ケース

(1) 解析ケース設定の考え方

人工バリアシステムの耐震安定性を示すには、これまでに検討されている人工バリア地質環境および主なバリエーションを考慮し、代表ケースとして考えられる幾つかの典型的な人工バリアシステムに対して解析・評価を行い、地震時の力学的健全性ならびに処分場バリア性能の確保に関する見通しを得ることが重要と考えた。そこで本検討では、人工バリアシステムの代表的なケースとして、H３レポート以来検討が進められている処分坑道横置きおよび処分孔竪置きの両定置方式を設定し、それぞれの定置方式に対応する岩種、処分深度を以下のとおり定めることとした。

・処分坑道横置き　；硬岩系、地下 1000m

・処分孔竪置き　　；軟岩系、地下 500m

入力地震動には、処分深度に応じた二種類の波を想定する（第２章参照）。また、地震発生時の人工バリアの状態としては、処分場閉鎖後の比較的早い時期における緩衝材が乾燥している状態と、時間の経過に従い緩衝材内が地下水で飽和された状態とが想定されるため、上記の２つの定置方式に対して緩衝材の乾燥状態と飽和状態とをそれぞれ想定する。

(2) 解析ケース

本検討で対象とする解析ケースを表３．２－１に示すとおり定めた（全８ケース）。ケース１－１およびケース１－２では硬岩系サイトの処分坑道横置き（深度-1000m）を想定し、それぞれ緩衝材が乾燥状態にある場合と地下水の浸潤により飽和状態に達した場合とを想定するものである。緩衝材が乾燥状態にあるケース１－１では、初期条件としてオーバーパックの自重により発生する緩衝材内部の不均一な応力分布を考慮する。また、飽和状態のケース１－２では緩衝材の膨潤圧および静水圧による一様な応力分布を考慮する。この場合、オーバーパックの自重による初期応力は、膨潤圧ならびに静水

圧による応力レベルに比較し十分小さく無視できるものと仮定した。ケース２－１およびケース２－２では、軟岩系サイトの処分孔竪置き（深度-500m）を想定し、同じく緩衝材が乾燥状態にある場合と飽和状態にある場合とを設定した。初期状態の考え方は処分坑道横置きの場合と同様である。以上のケースでは、地圧により発生する周辺岩盤の不均一応力場を初期条件として併せて考慮するとともに、緩衝材を１相系材料として仮定（空隙内の地下水を考慮しない）した全応力解析を行い、本評価におけるレファレンスケースとして位置づけることとする。なお、処分坑道横置きケースについては、緩衝材－岩盤間や緩衝材－オーバーパック間の不連続面のモデル化を考慮しないケースを設け、不連続面をモデル化した場合の解析結果との比較を行う。

ケース１－３およびケース１－４では、硬岩系サイトの処分坑道横置きのみを想定し、いづれも緩衝材は飽和状態にあるものと仮定する。ただし、これらのケースでは緩衝材内に存在する間隙水の挙動を考慮した２相系解析を行い、地震による周期的外力の発生に伴う過剰間隙水圧の蓄積ならびに消散を逐次追跡するものとする。ケース１－３では、緩衝材内の初期状態は土骨格側と水側とを分けてに指定する。ケース１－４では、さらにオーバーパックの腐食膨張により発生する緩衝材内のせん断応力および腐食膨張圧を土骨格側および水側でそれぞれ考慮する。なお、これらの条件は JNC 殿で実施されたオーバーパックの腐食膨張解析結果を利用することとする。

３．３ 評価手順

ニアフィールドの地震応答解析を実施するためには、入力地震動、初期応力の設定等に関して、幾つかのプレ解析が必要となる。入力地震動の設定に関しては、第２章で記載したとおり重複反射理論に基づき推定した処分深度の地中地震波を使用する。これらの地中地震波は、JNC 殿より提示された仮想地質モデルに基づき、硬岩系並びに軟岩系のそれぞれについて設定したものである。また、地震発生時点におけるニアフィールド系内の応力状態を設定するためには、２種類の初期応力解析を必要とするものと考えた。一方は地圧による岩盤内の初期応力解析であり、他方は緩衝材内に定置されているオーバーパック自重による初期応力解析である。両解析に関する詳細は次節以降で後述する。さらに、人工バリアの固有値解析を通じて、オーバーパックならびに岩盤のレーリー減衰係数を設定する。なお、前述のとおりケース１－４に関してはオーバーパックの腐食膨張解析の結果を参照する。

３．４　ニアフィールド地震応答解析

３．４．１ 入力地震動

本地震応答解析では、第２章で推定した処分深度に応じた地中地震波を使用する。ただし、解析に要する計算メモリや解析時間の制約等を踏まえ、最大加速度が発生する時間点を含む 3.0 秒間（時間ステップ 0.001 秒、時間点 3000 点）の加速度波形を入力地

震動として定めた。

3．4．2 解析モデル

(1) 処分坑道横置きケース

処分坑道横置きケースのニアフィールド解析領域の地震応答解析モデル（処分坑道横置き）を図3．4．2－1に示す。岩盤部のモデル化範囲は、これまでに得られた知見に基づき、後述の粘性境界要素により反射波を十分吸収できる距離を設定したものである（PNC ZJ 1458 97-003，1997）。

境界条件としては、隣接するガラス固化体を考慮するため、側面を構成する周辺境界自由度を多点拘束条件として設定した。すなわち、二組の側面（±X 断面、±Y 断面）の各組合わせに関して、ガラス固化体中心に対して鏡面対称の関係にある節点が同一運動を行うよう多点拘束条件として指定した。また、モデル上面、底面には地震波の入射と散逸を考慮するため粘性境界を設けており、さらに緩衝材－岩盤間、オーバーパック－緩衝材間には材料不連続特性を考慮するジョイント要素を設けた。

(2) 処分孔竪置きケース

処分孔竪置きケースのニアフィールド解析領域の地震応答解析モデル（処分孔竪置き）を図3．4．2－2に示す。処分坑道横置きケースと同様に、岩盤部のモデル化範囲は、解析領域内部からの反射波を十分吸収できる距離を設定した。境界条件についても、処分坑道横置きと同様の方針で設定した。

3．4．3 材料物性値

表3．4．3－1にニアフィールド構成材料に関する材料物性値を本検討で実施する解析ケース毎に整理した。

3．4．4 初期条件

3．3節で述べた初期応力解析の結果を利用する。周辺岩盤内では、いずれの解析ケースも土被りによる応力分布を初期状態として設定する。また、乾燥状態の緩衝材（ケース1－1，ケース2－1）には自重解析の結果のみを初期状態として設定し、飽和状態の緩衝材（ケース1－2，ケース2－2）には緩衝材の膨潤圧と処分深度に応じた静水圧を初期状態として設定する。

3．4．5 解析結果と考察

解析結果は、各ケースにつき入力地震波が最大加速度となる時間断面付近における変形モード、加速度モード、せん断応力およびせん断ひずみのコンター図として整理した。また、前述の全ての評価点における応答変位および応答加速度の経時変化を示し、さら

に入力地震動と応答加速度との周波数特性の差異を相対的に把握するため、各評価点における加速度フーリエスペクトルを示した。

ここでは、レファレンスケースとして設定した硬岩系処分坑道横置きケース１－１（緩衝材乾燥状態）およびケース１－２（緩衝材飽和状態）の解析結果を例に取り、人工バリアシステムの地震時応答挙動ならびに耐震安定性について考察する。

処分後の比較的早い時期を想定したケース１－１では、地震波が処分場を通過する際の応答変位および応答加速度は極めて小さく、人工バリア内部に設けた全ての評価点で応答量が発生しない結果となった（図３．４．５－１）。ジョイント要素上の評価点 Aout の応答加速度については、入力地震動とほぼ同様の波形となっており、入力波に対する顕著な応答増幅ならびに位相遅れ等は認められない。これは、人工バリアが周辺岩盤と接する緩衝材外周に粘着力やせん断剛性をゼロとしたジョイント要素を設けたために、人工バリア内にエネルギーが伝搬しないことによるものである。すなわち、ジョイント要素を設けた不連続面に沿った外力に対して抵抗しないためである。解析領域全体としての応答性状は、処分坑道内の人工バリアは静止状態にあり、周辺岩盤のみが地震波の伝搬に伴い運動している状態にある。一方、地下水の浸潤より緩衝材が飽和に達したケース１－２では、人工バリア内部に設けた幾つかの評価点で入力地震波に対して短い周期の応答成分が発生する結果となった（図３．４．５－４）。このケースでは、不連続面に設けたジョイント要素に緩衝材の膨潤圧相当の初期拘束圧を与えており、さらに一面せん断試験より得られたせん断剛性 4.41MPa を考慮しているため、外力に対する抵抗をもつことになる。加速度波形に認められた短周期の応答成分は、緩衝材内部のせん断剛性（約 10^8Pa）に比較して低い剛性のジョイント面の存在により、人工バリア全体としての固有周波数が変化したためと考えられる。すなわち、人工バリアの応答性状は緩衝材－岩盤間の不連続面の影響を受け、全体としての実質的な等価剛性により定まる固有周波数と固有モードに支配されるものと考えることができる。

図３．４．５－２および図３．４．５－４に解析領域全体ならびに緩衝材部全体と坑道断面におけるせん断応力の分布を示す。周辺岩盤ではたモデル底部の拘束境界による局所的な応力集中を除いて、乾燥状態、飽和状態ともに 0.1MPa オーダの均一なせん断応力となっている。これは、土被り圧による初期応力場を表しており、地震により発生する岩盤中の動的せん断応力は極めて小さいことを意味している。また、緩衝材内のせん断応力は、オーバーパックの自重により発生する初期せん断応力を考慮した乾燥状態（ケース１－１）で 10^{-3}MPa 以下となっており、また初期せん断応力を考慮しない飽和状態（ケース１－２）でも概ね同等の結果となっている。ただし、ケース１－２ではジョイント要素を設けた緩衝材－岩盤間の不連続面での弾性変形があるため、ケース１－１に比較して若干高い応力値が緩衝材内で発生している。

同様にして、図３．４．５－３および図３．４．５－６に解析領域全体ならびに緩衝

材部全体と坑道断面におけるせん断ひずみの分布を示す。両ケースとも緩衝材内で発生するひずみレベルは 10^{-5} 以下にある。ケース１－２では、弾性変形を許容したジョイント要素の影響により、緩衝材内のひずみレベルが若干大きくなっているが、いずれのケースも発生するひずみレベルは小さく、緩衝材の非線形性は顕著にならないものと判断できる。

以上より、処分場を通過する地震波により発生する緩衝材内のせん断応力は、土被り圧により発生する岩盤中の応力やオーバーパック自重により発生する応力に比較して十分小さく、緩衝材のせん断破壊には至らないものと判断する。

表３．２－１ 解析ケース

	ケース	岩種	定置方式	処分深度	緩衝材の状態	初期条件	
						緩衝材	岩盤
1相系（全応力）解析 レファレンスケース	1－1	硬岩	横置き	1000m	乾燥	O.P 自重 (1)	土被り圧 (7)
	1－1a (8)	↑	↑	↑			
	2－1	軟岩	竪置き	500m			
	1－2	硬岩	横置き	1000m	飽和	膨潤圧＋静水圧 10.5MPa (2)	
	1－2a (8)	↑	↑	↑		↑	
	2－2	軟岩	竪置き	500m		膨潤圧＋静水圧 10.5MPa (3)	
2相系解析 オプション	1－3	硬岩	横置き	1000m		土骨格；膨潤圧 (4) 間隙水；静水圧 (5)	
	1－4	硬岩	横置き	1000m		土骨格；膨潤圧 (6) 間隙水；水圧 (6)	

（1） 廃棄体＋オーバーパック＋緩衝材系の初期応力解析に基づく。
（2） 膨潤圧 0.5MPa＋静水圧 10MPa
（3） 膨潤圧 0.5MPa＋静水圧 5MPa
（4） 緩衝材土骨格に有効応力として膨潤圧 0.5MPa を考慮。
（5） 緩衝材間隙水に静水圧 10MPa を考慮。
（6） JNC 殿所有の O.P 腐食膨張解析結果（２次元軸対象モデル）に基づく。初期水圧は静水圧＋腐食膨張圧として考慮。
（7） 全系の初期応力解析に基づく。ただし、処分坑道および処分孔は自立するものと仮定。
（8） ジョイント要素を考慮しないケース

表３．４．３－１　材料物性値（SI 単位系）

		単位	解析ケース					
			１－１	２－１	１－２	２－２	１－３	１－４
廃棄体	ヤング率	Pa	8.036×10^{10} (1)	←	←	←	←	←
	ポアソン比	－	0.250 (2)	←	←	←	←	←
	密度	N/m^3	2.156×10^{4} (3)	←	←	←	←	←
	減衰定数	－	－	←	←	←	←	←
オーバパック	ヤング率	Pa	2.058×10^{10} (3)	←	←	←	←	←
	ポアソン比	－	0.300 (3)	←	←	←	←	←
	密度	N/m^3	7.624×10^{4} (3)	←	←	←	←	←
	減衰定数	－	0.005 (4)	←	←	←	←	←
緩衝材	ヤング率	Pa	2.388×10^{8} (5)	←	1.176×10^{8} (5)	←	←	←
	ポアソン比	－	0.2000 (5)	←	0.50 (0.49) (5)	←	←	←
	密度	N/m^3	1.568×10^{4}	←	1.960×10^{4} (6)	←	←	←
	減衰定数	－	0.00 (7)	←	←	←	←	←
	RO；α	－	2.02 (5)	←	1.51 (5)	←	←	←
	RO；β	－	1.92 (5)	←	1.92 (5)	←	←	←
	基準ひずみ	－	1.300×10^{-3} (5)	←	4.300×10^{-3} (5)	←	←	←
岩盤	ヤング率	Pa	4.713×10^{10} (8)	7.60×10^{9} (8)	4.713×10^{10} (8)	7.60×10^{9} (8)	4.713×10^{10} (8)	←
	ポアソン比	－	0.315 (8)	0.369 (8)	0.315 (8)	0.369 (8)	0.315 (8)	←
	密度	N/m^3	2.597×10^{4} (8)	2.156×10^{4} (8)	2.597×10^{4} (8)	2.156×10^{4} (8)	2.597×10^{4} (8)	←
	減衰定数	－	0.020 (4)	0.020 (4)	0.020 (4)	0.020 (4)	0.020 (4)	←
境界a	粘着力	Pa	0.0 (4)	←	1.46×10^{5} (4)	←	←	←
	内部摩擦角	deg	0.0 (4)	←	0.0 (4)	←	←	←
	せん断剛性	N/m	0.0 (4)	←	4.41×10^{6} (11)	←	←	←
	鉛直剛性	N/m	1.612×10^{8} (10)	←	7.938×10^{7} (10)	←	←	←
境界b	粘着力	Pa	0.0 (4)	←	1.46×10^{5} (4)	←	←	←
	内部摩擦角	Deg	0.0 (4)	←	0.0 (4)	←	←	←
	せん断剛性	N/m	0.0 (4)	←	4.410×10^{6} (11)	←	←	←
	鉛直剛性	N/m	3.181×10^{10} (10)	←	3.181×10^{10} (10)	←	←	←

（１）「地層処分研究情報交換報告書 INTEGRATE'96」動力炉・核燃料開発事業団より、「緩衝材大型試験における熱－水－応力連成解析（pp261-466）」のガラスビーズの値を採用
（２）機械工学便覧より、ほう珪酸ガラスの値を採用
（３）Ｈ３レポートより引用
（４）JNC 殿提示データに基づく。
（５）JNC 殿所有の動的３軸試験データに基づく。
（６）ベントナイトの真密度 $2.7gf/cm^2$ より換算。
（７）RO モデルに従う履歴減衰として考慮。
（８）JNC 殿所有の地質環境モデル情報に基づく。
（９）境界ａ；緩衝材内側境界のジョイント要素、境界ｂ；緩衝材外側境界のジョイント要素
（10）岩盤、緩衝材のヤング率を境界ａ，ｂに位置するジョイント要素長さで補正した値。
（11）JNC 殿所有の緩衝材－岩盤の一面せん断試験結果（拘束圧 0.4MPa）に基づく。

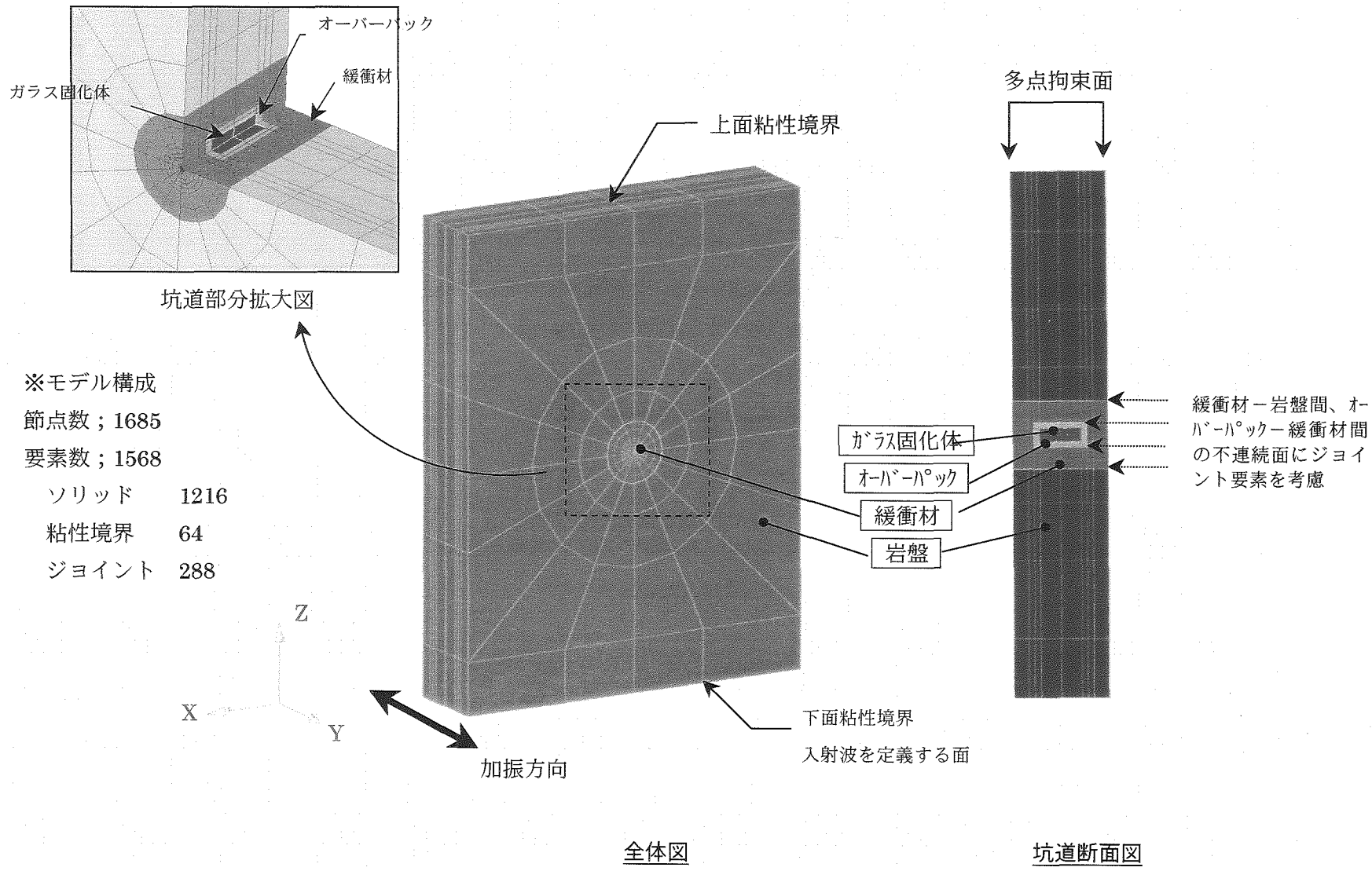


図３．４．２－１　解析メッシュ図（処分坑道横置き）

※モデル構成
節点数；3750
要素数；3696
ソリッド　2960
粘性境界　224
ジョイント　512

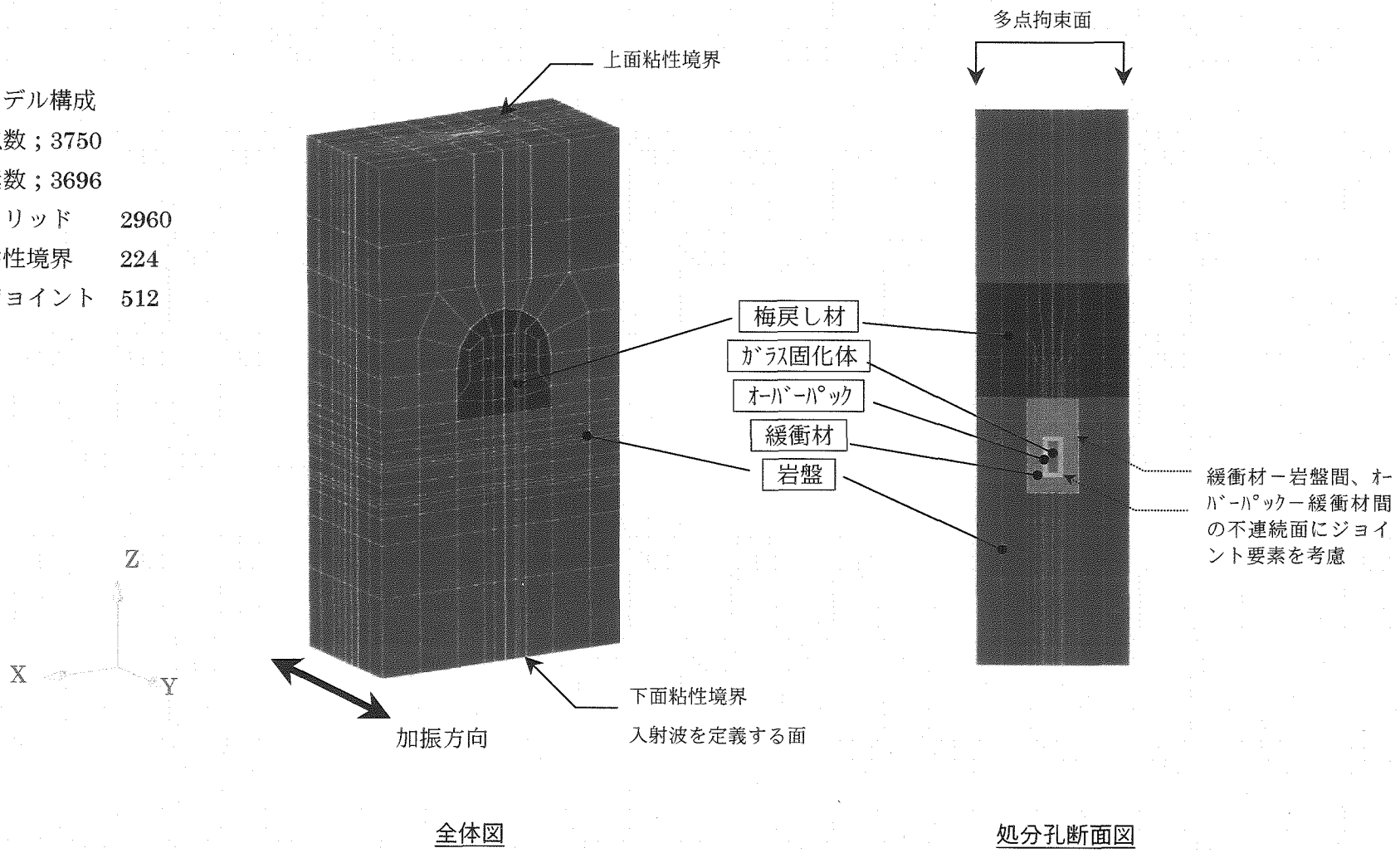
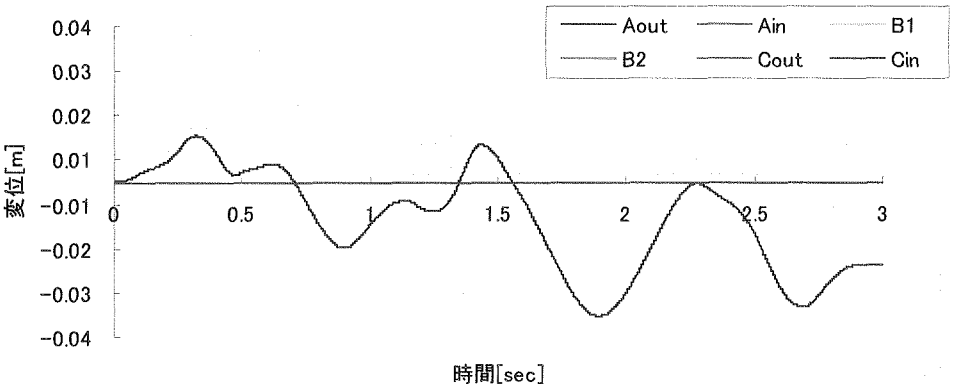
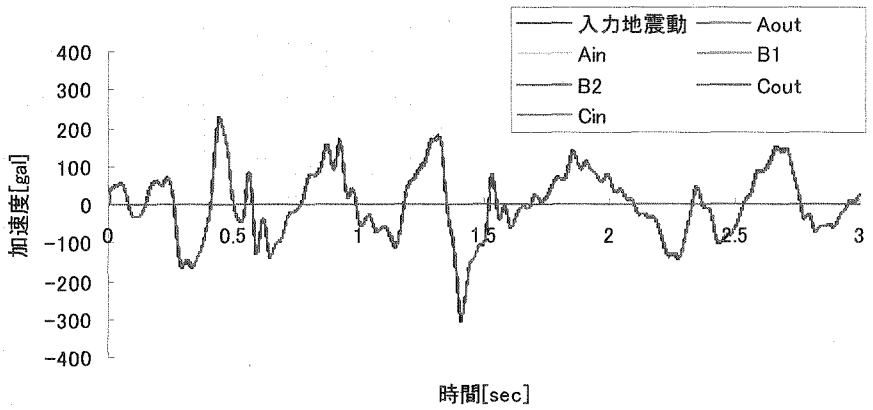


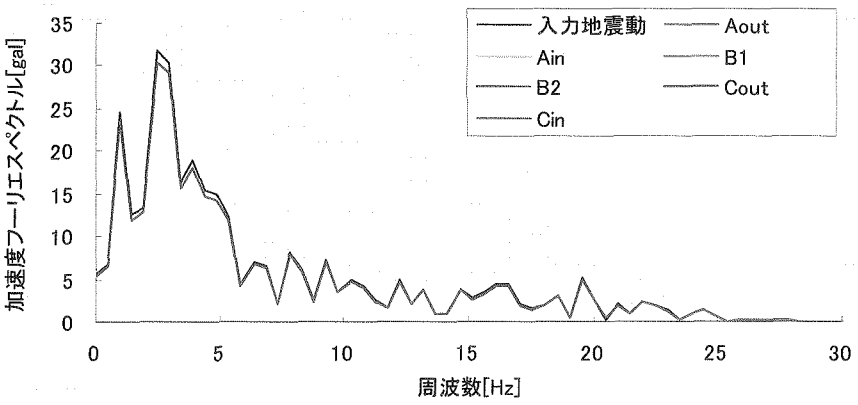
図３．４．２－２　解析メッシュ図（処分孔竪置きモデル）



絶対変位応答波形



絶対加速度応答波形



絶対加速度フーリエスペクトル

図３．４．５－１　応答波形（ケース１－１；処分坑道横置き、乾燥状態、ジョイント要素有）

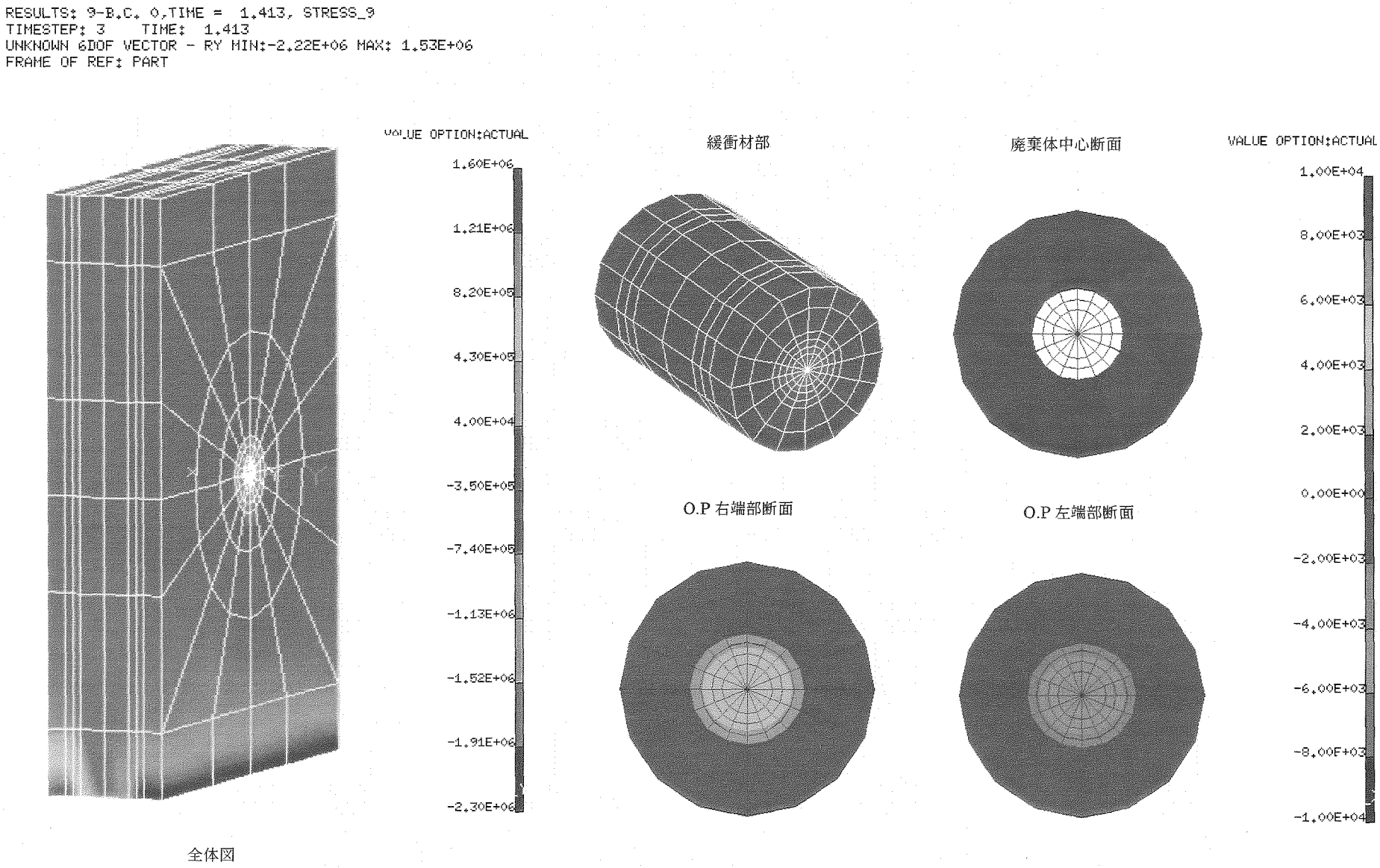


図３．４．５－２　せん断応力コンター（ケース１－１；処分坑道横置き、乾燥状態、ジョイント要素有，単位 Pa）

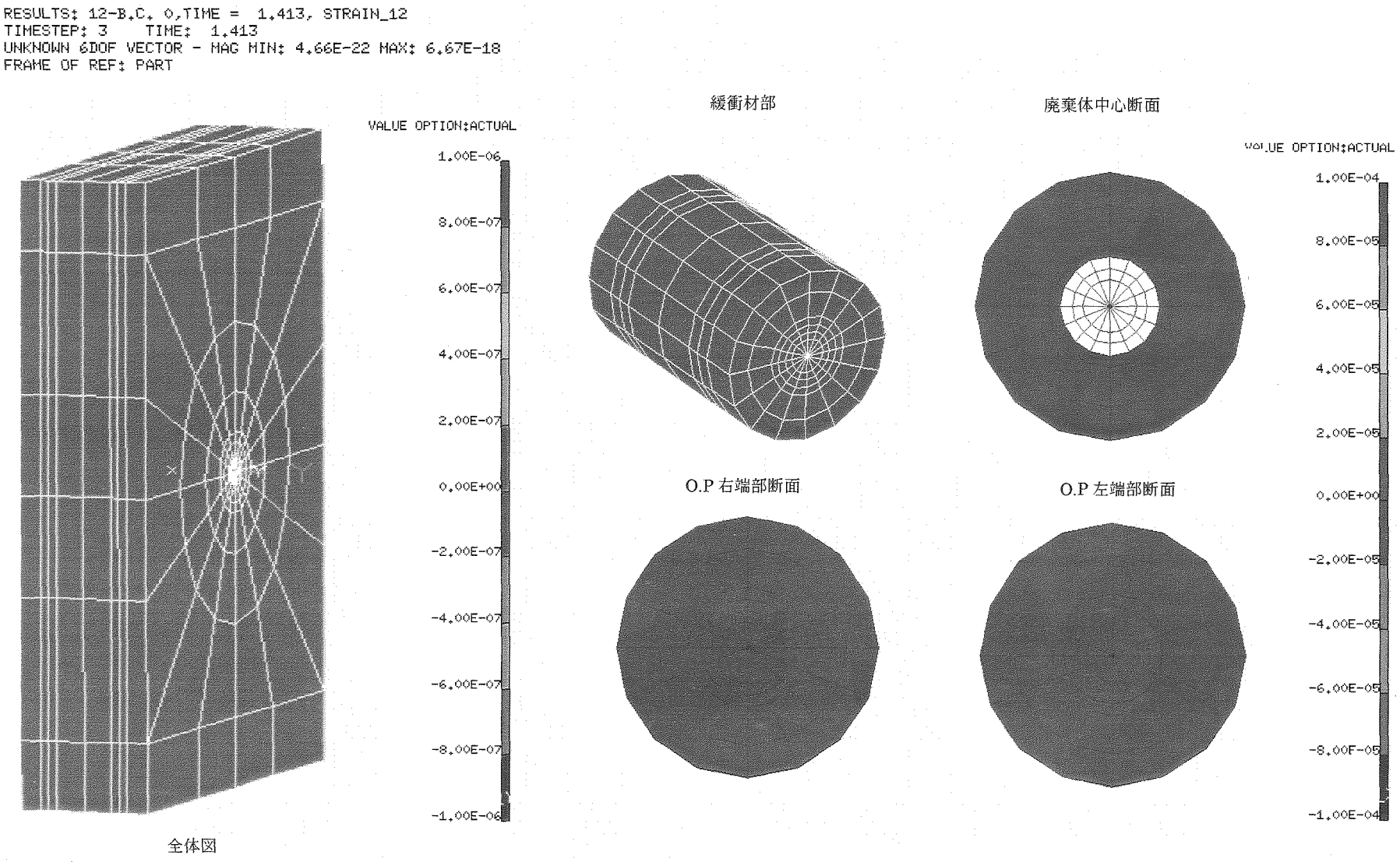
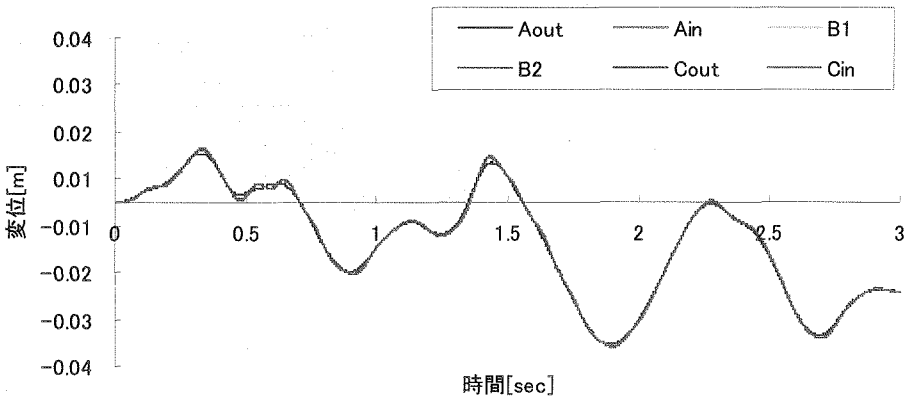
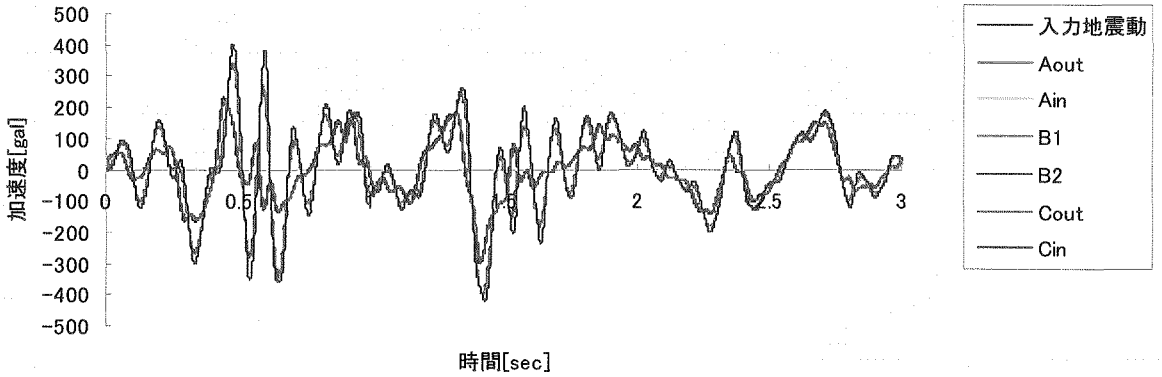


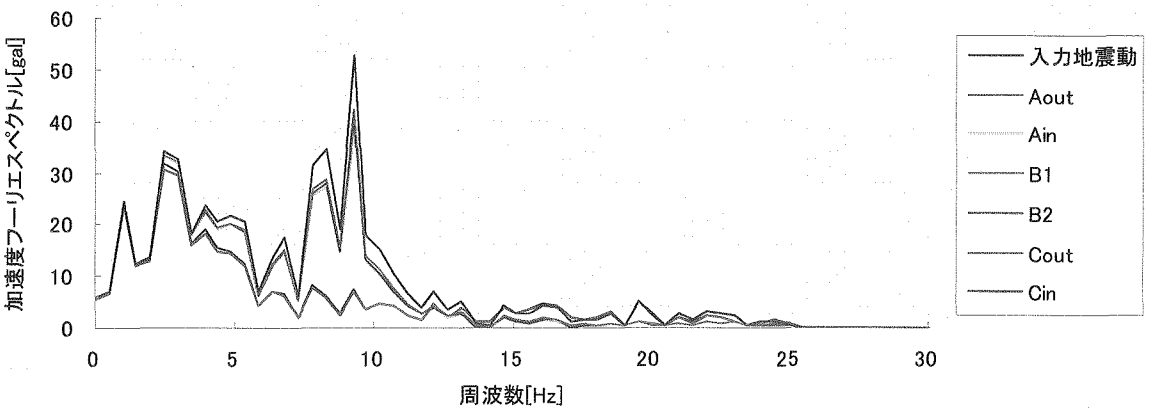
図３．４．５－３　せん断ひずみコンター（ケース１－１；処分坑道横置き、乾燥状態、ジョイント要素有、単位；－）



絶対変位応答波形



絶対加速度応答波形



絶対加速度フーリエスペクトル

図３．４．５－４　応答波形（ケース１－２；処分坑道横置き、飽和状態、ジョイント要素有）

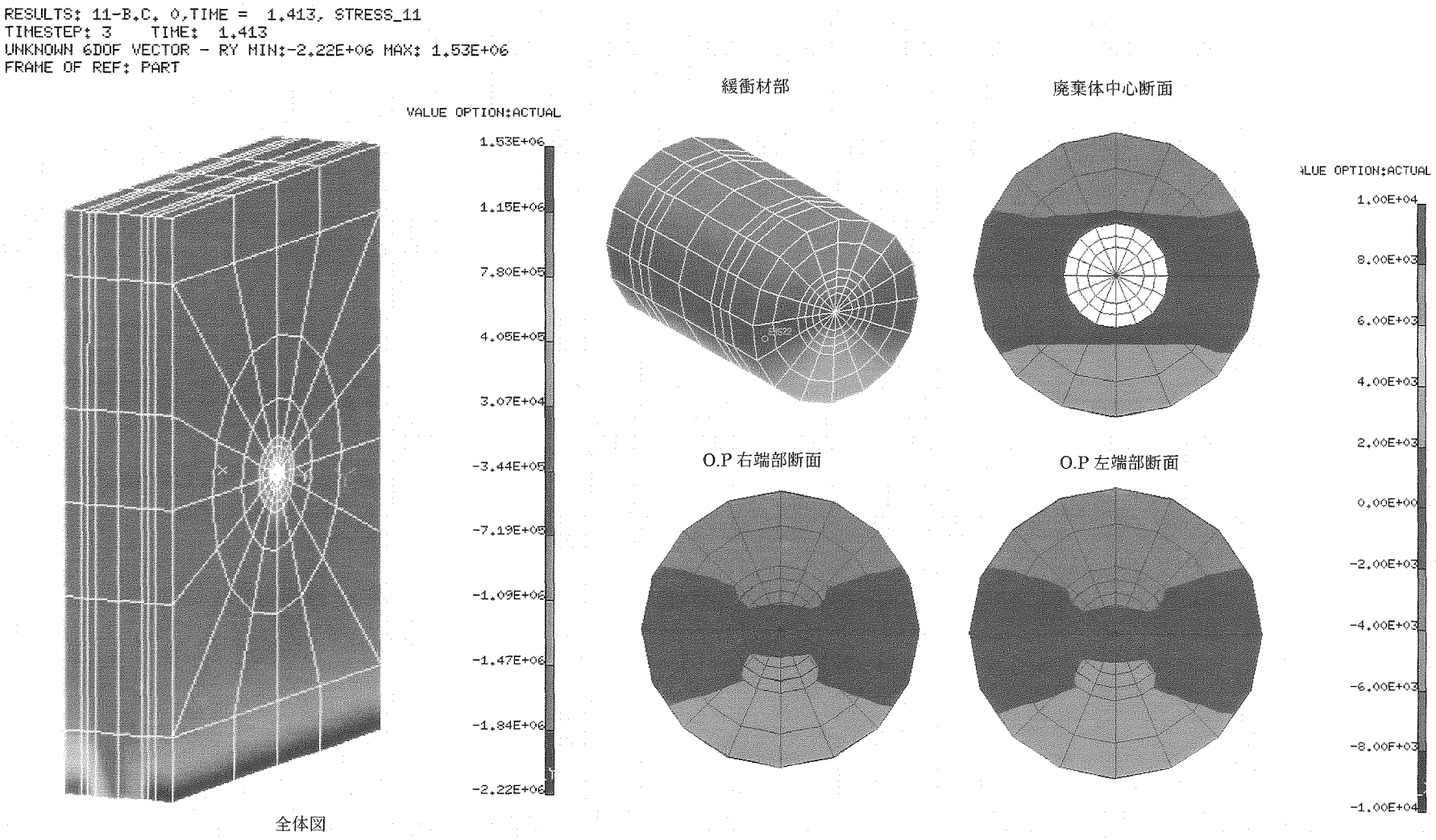


図３．４．５－５　せん断応力コンター（ケース１－２；処分坑道横置き、飽和状態、ジョイント要素有、単位 Pa）

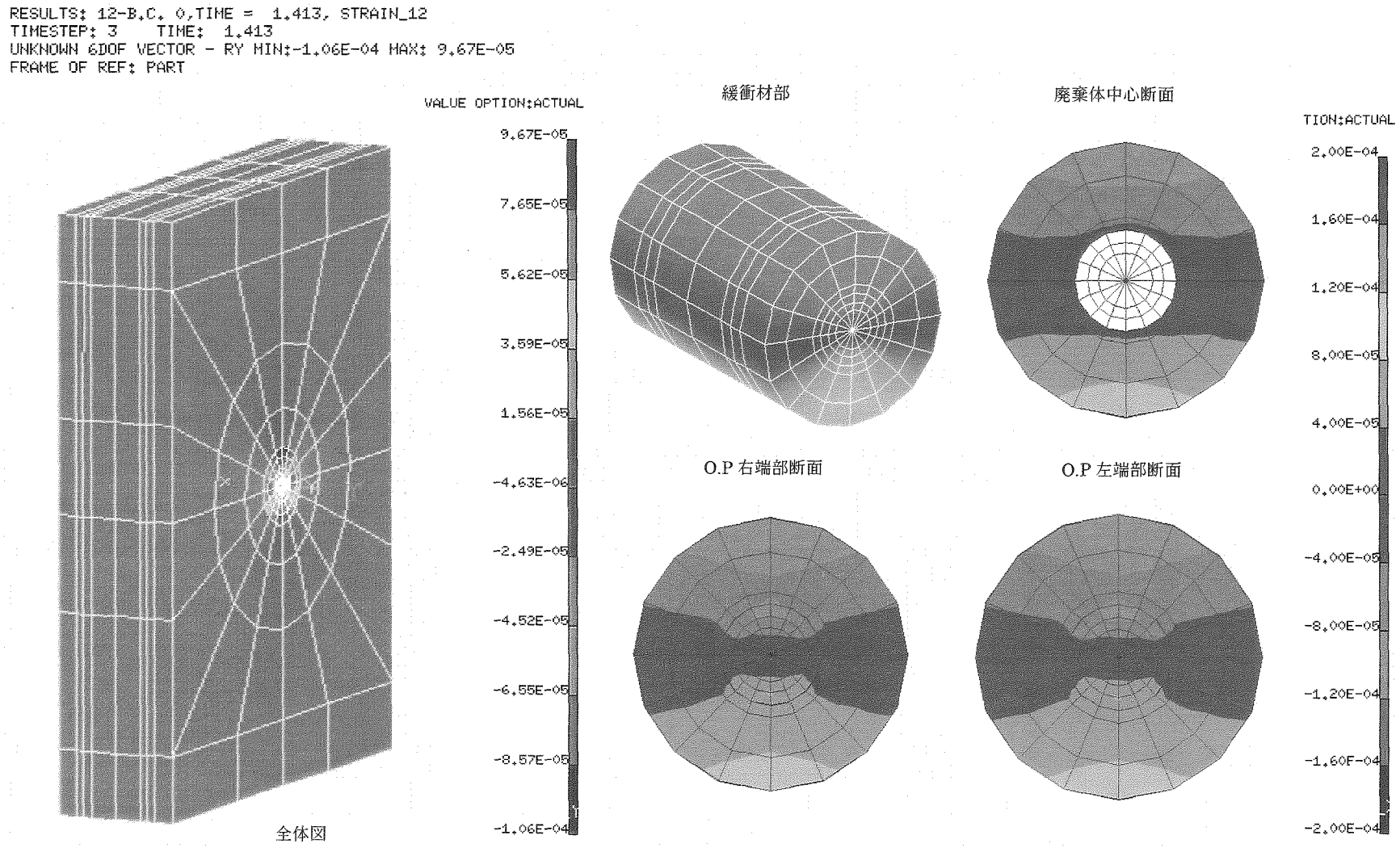


図３．４．５－６　せん断ひずみコンター（ケース１－２；処分坑道横置き、飽和状態、ジョイント要素有、単位；－

4．結言

これまで段階的に開発してきた人工バリアの地震応答解析モデル／コードを用い、処分場ニアフィールドの耐震性評価手法を検討するとともに、実際の処分環境を想定したニアフィールド地震応答解析を行い、耐震安定性の確保に関する見通しを得ることができた。今後、実施主体の設立等により処分事業が具体化する状況下では、処分場の実現に向けた中長期的な将来像を見据えた諸課題をクリアにしていくとともに、異分野の専門家や国民からの理解を得ることが重要になる。

兵庫県南部地震（1995 年）を契機に地震災害に対する国民の関心は高まっているものの、現段階では解析・評価の結果を必ずしも分かり易く提示できていない。また、解析の結果得られるデータ量も膨大であり、評価を行う上でのデータハンドリングには非常に多くの労力を要している。今後は、解析の結果を３次元アニメーション等により容易に可視化することができ、解析・評価を行う側の理解促進はもとより、幅広い情報普及活動を支援できる環境整備が必要と考える。

5．謝辞

本研究を実施にあたり、核燃料サイクル開発機構の関係各位に多大の御指導、ご教示を頂きました。ここに記して感謝致します。

6．参考文献

－ 動力炉・核燃料開発事業団「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書」－PNC TN 1410 92-081－、1992

－ 動力炉・核燃料開発事業団「地層処分研究開発第２次取りまとめ第１ドラフト －PNC TN 1412 98-013－」1998