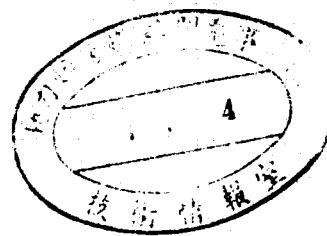


## 地震に関する調査研究(II)

1986年3月



社団法人 日本鉱業会

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical  
Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

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

昭和61年3月

## 地震に関する調査研究(Ⅱ)

社団法人 日本鉱業会

### 要 旨

日本鉱業会では、59年度に動力炉・核燃料開発事業団からの委託により、委員会を設置して「地震に関する調査研究」を行った。委員会では、地下深部と地表部における地震の影響の大小を比較するための地震計の設置箇所として、宮城県・細倉鉱山を選定すると共に、地震観測システムの設計を行った。

60年度は、この研究が電力中央研究所と動力炉・核燃料開発事業団との共同研究となつたため、日本鉱業会としては、以下の業務のみを分担した。

- (1) 観測システムの設置のための工事
- (2) 観測地調査計画の作成
- (3) 地層の隔離性能に及ぼす地震の影響評価手法の検討

(1)項の工事は細倉鉱山の感天立坑を中心とした坑内外に於ける現地工事のため、同鉱山に委託して実施した。地震計設置点は工事に先立ち現地委員会を開催して決定した。

本報告書では第1章のまえがきに続き、第2章では細倉鉱山近傍における過去の地震発生状況を述べた。

第3章では、細倉鉱山における観測小屋の建設や地震計基礎コンクリート工事などの、現地工事の内容および、鉱山における地震観測態勢、点検保守方法を示した。

第4章では地震観測システムについて述べ、第5章以下では、得られた地震観測データを解析するのに必要な地域特性の測定方法、測定計画について述べたが、これらは何れも次年度以降に実施される調査である。

まず第5章では、細倉鉱山における調査内容として、地質・坑内構造の調査から、岩盤諸特性の調査計画について述べた。

第6章では、地層の隔離性能に及ぼす地震の影響評価手法として、岩盤挙動と地下水挙動の観測をとりあげ、これらの観測方法の具体例などについて述べた。

第7章では観測データの解析計画にも言及して、データ解析と耐震安定性の検討手法および、地域特性の強い観測データを一般化するための手法について述べてある。

第8章のあとがきでは、次年度以降に行う現地調査に関する趣旨を述べて結びとした。

---

本報告書は、社団法人日本鉱業会が動力炉・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。

March 1986

## **Survey and Research on Earthquake (II)**

**The Mining and Metallurgical Institute of Japan**

### **Synopsis**

Entrusted by the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, the Mining and Metallurgical Institute of Japan set up a committee and conducted an "Survey and Research on Earthquake" in 1984. The committee selected Hosokura Mine in Miyagi Prefecture as the site for the installation of seismographs in order to carry out a comparative study of the influence of earthquakes at deep underground and surface locations. The committee also endeavored to design seismic observation systems.

As this study developed in 1985 into a cooperative effort between the Central Research Institute of the Electric Power Industry, and the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, only the following tasks were assigned to the Mining and Metallurgical Institute of Japan:

- (1) Civil work for the set-up of observation systems
- (2) Planning of a survey on the observation site
- (3) Investigation of methods of studying the influence of earthquakes on the performance of geological barriers.

Because the work in (1) was civil work in the mine with Kanten Shaft of Hosokura Mine as the center, the work was carried out in contract with that mine. Prior to the civil work, meetings in the mine were held to select seismograph installation points.

After the introduction in Chapter One, this report describes in Chapter Two past earthquake occurrence in the vicinity of Hosokura Mine.

Chapter Three explains the extent of civil work performed in the mine, such as the construction of observation cottage in Hosokura Mine, the concrete

base work for seismographs, the earthquake observation system, and maintenance methods.

Chapter Four explains the earthquake observation system.

The latter section of this report - encompassing Chapters Five through Eight - describes the method of studies on the local characteristics (which is required for the analysis of earthquake observation data) and the overall plan of the study. These studies will be conducted in the next fiscal year and beyond.

Chapter Five - the first in this section - describes the geological survey plan, and a testing methods to get various rock characteristics in-situ, as the contents of a survey in Hosokura Mine.

Chapter Six takes up the observation of rock mass behavior and underground water behavior as a means of studying the influence of earthquakes on the performance of geological barriers. Actual examples of observation methods are included.

Chapter Seven also refers to the analysis of observation data, and describes methods of analysis of seismic stability and other data, and the method of generalizing observation data deeply influenced by local characteristics.

Chapter Eight yields conclusions and recommendations regarding the next fiscal year's mine survey.

---

\* Work performed by the Mining and Metallurgical Institute of Japan under contract, with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

## 1. まえがき

60年度は、地震および地下水研究の専門委員を増員すると共に、細倉鉱山感天立坑周辺に設置する地震計の配置についての再検討から始めた。その結果、59年度で計画した上1番坑から下10番坑までの7ヶ所の垂直配置に若干の修正を加えて、平面配置を一部取り入れたものとした。すなわち下10番坑に1辺500m程度の3角形を形成するような3点を選定すると共に、下5番坑の観測点を省略して、全体で8ヶ所の観測地点とした。

細倉鉱山に施ける現地工事は、61年2月末までに完了し、3月に入って動力炉・核燃料開発事業団によって地震計の据付および坑外観測小屋内の観測システムの据付、調整が行われた。引き続き、細倉鉱山に委託して行う次年度以降の地震観測業務の教育を担当者に施して、観測態勢は確立された。

本年度は研究期間が3ヶ月と短期間であったため、委員会の研究活動としては、次年度以降に実施する調査研究の計画を立案する段階で終了とした。

60年度の研究委員の構成は次頁の通りであり、委員会活動としては、細倉鉱山に於ける現地委員会を含め合計5回開催して検討を重ねた。

地震観測地となった細倉鉱山には、現地委員会の開催や本文第3章に述べてある一連の現地工事の施工を全面的に引受けて戴いた。多大なる御協力に対し、ここに深甚なる謝意を申し述べる。

地震に関する調査研究委員会委員一覧表

	氏 名	所 属
委 員 長	佐々 宏 一	京都大学工学部資源工学科
委 員	山 口 梅 太 郎	東京大学工学部資源開発工学科
"	川 本 眇 万 雄	名古屋大学工学部土木工学科
"	高 木 章 雄	東北大学地震予知観測センター
"	小 林 芳 正	京都大学理学部地球物理学教室
"	松 木 浩	東北大学工学部資源工学科
"	渡 边 邦 夫	埼玉大学工学部地盤水理実験施設
"	佐 藤 一 彦	室蘭工業大学開発工学科
"	沢 田 義 博	財電力中央研究所耐震研究室
"	駒 田 広 也	財電力中央研究所土質基礎研究室
"	小 出 仁 伸	地質調査所環境地質部地震物性課
"	小 楠 瀬 勤 一 郎	地質調査所環境地質部地震物性課
"	堀 田 光 明	建設企画コンサルタント㈱
"	柏 木 高 明	三菱金属㈱那珂原子力開発センター
"	桜 井 栄	細倉鉱業㈱鉱山部
"	井 上 勝 義	同和鉱業㈱鉱山部
"	小 島 康 司	日本鉱業㈱鉱物資源調査部
"	小 川 敬 三	日鉄鉱業㈱資源開発部
"	田 代 淳	石灰石鉱業協会技術部
"	横 山 威 生	住友金属鉱山㈱資源開発部
"	西 尾 政 義	三井金属鉱業㈱資源部

計 21名

研 究 員	井 上 瑞 城	日本鉱業会
"	萩 本 正 博	日本鉱業会

## 2. 細倉鉱山近傍の地震発生状況

### 2.1 東北地方の過去の地震活動

東北地方の大地震の活動度の空間分布は、有史以来ほとんど同じパターンを示しており、数十年ないし数百年の繰り返し時間ではほとんど同じ地域に発生している。地震活動の最も活発なのは青森県東方沖から福島県沖に至る海岸線にはば並行した地震区で、M 7.5 前後の地震が多数発生しているが、その震源位置は深い。内陸及び日本海沿岸の地震区域は太平洋海底の地震区域と比喩すると、活動度はかなり低く、最大マグニチュードも7.0程度であるが、震源が浅く、いわゆる直下型である。

### 2.2 宮城県周辺の被害地震

1978年に金華山沖約60 km の海底でM 7.4の地震が発生し、仙台、大船渡、石巻、福島、新庄では震度 V を記録した。1936年にも、ほぼ同じ地域でM 7.7の地震が発生している。過去に発生した地震記録より、震度 V 以上が期待される再来年数を調べた結果によると、仙台、石巻とも約10年となっている。しかし、震度 V の地震が規則的に約10年に1回発生しているのではなく、活動期に集中している様相が認められる。

### 2.3 東北地方の微小地震活動

東北地方の微小地震活動の空間分布は、過去の大地震の震央分布の特徴とはほぼ一致しており、太平洋海底下、内陸の脊梁山脈沿い、及び日本海沿岸の各地震区域で活動が顕著に現われている。東北地方内陸部の脊梁山脈付近には非常に活発な微小地震活動域がほぼ南北に連っており、北上山地の西縁に沿って分布しているように見える。この地震活動域は岩手県西北端から宮城県北部にまで及んでいる。また、1983年の日本海中部地震の余震活動はいまだに活発に続いている。

### 2.4 宮城県周辺の微小地震活動

1962年に宮城県北部でM 6.5の逆断層形地震が発生している。1970年には、秋田県南東部でM 6.2の地震が、1976年には宮城県鳴子町鬼首でM 4.7の地震が発生している。さらに、1985年3月には宮城県鳴子町でM 4.7の地震が、引きつづいて同年6月には宮城県北部でM 4.5の地震が発生している。このように、細倉鉱山周辺には微小地震活動の活発な地域が存在している。

### 3. 地震観測システム設置のための工事

#### 3.1 工事計画

地震に関する調査研究委員会では、第1回委員会と細倉鉱山における現地委員会で地震計設置点を次のように決定した。地震計は測点1から8までの8箇所に設置することとし、その範囲は水平方向には東西800m、南北500m、鉛直方向には、上1番坑から下10番坑までの間で4レベルを利用し、最深点は深度350mである。なお、これらの測点は水平方向と鉛直方向のトリバタイトアレイ観測網を形成している。

上1番坑坑口に観測小屋を建設するが、その内部に設置する機器は温度変化、湿度に弱いために、冷暖房兼用空調機を備え、室内温度及び湿度を一定に保つようにした。

#### 3.2 設置工事

信号ケーブルの重量は425g/mであり、立坑内の350m間を布設すると、重量は150kg程度となる。したがって、立坑横枠にIV線を用いて2.0～6.0m間隔で固定した。水平配線は、メッセンジャーワイヤを張り、それに固定した。地震計据付台は、坑道床面を約1m四方の範囲で掘り下げて地山岩石を露出させた後50cm立方のコンクリートを打設し、その上面に地震計固定用ボルトを埋め込んだ。観測小屋は床面積18m<sup>2</sup>のフレハブ構造で、断熱処理が施されている。電源は坑内スライム充填設備用配電盤から分岐させ、安定化電源装置を介して計測機器に供給するようにした。

## 4. 地震観測システム

### 4.1 装置の構成

観測装置は大別すると検出器と地震計測装置とから構成されている。検出器は速度帰還形加速度計で、3成分6台、1成分2台である。地震計測装置の主要部は増幅器、A/D変換器、遅延装置、処理装置、デジタルデータレコーダ、D/A変換器、アナログレコーダ、刻時信号発生器等から成っており、任意に設定したスタートレベル以上の地震動を検出したときに、その振動をデジタルデータレコーダに収録するとともに、地震動の最大値をプリンターで印字する。また必要に応じて、ペンレコーダにより波形を出力することもできるようになっている。

### 4.2 装置の仕様と外観

主な装置の総合仕様は下記の通りである。

加速度測定範囲： $\pm 1000 \text{ Gal}$

周波数範囲： $0.05 \sim 30 \text{ Hz} \pm 10\%$

A/D変数：16 bit

サンプリング周波数： $100 \text{ Hz}$  または  $200 \text{ Hz}$

ダイナミックレンジ： $86 \text{ dB}$  以上

起動回路：レベル判定、任意設定3ch and/or

信号遅延時間：10.24秒または5.12秒

筐体の大きさは、

幅 :  $113 \text{ cm}$

厚さ :  $68 \text{ cm}$

高さ :  $165 \text{ cm}$

であり、制御スイッチ類はすべて前面パネルに、入出力端子は背面パネルに集められている。

### 4.3 記録フォーマット

記録動作タイムチャート、磁気テープ記録チャネル表、アナログ記録フォーマット、プリント印字フォーマット、表示フォーマット及びMT記録フォーマットが例示され、説明されている。

#### 4.4 検査成績結果

総合性能及び各部性能についての検査結果が示されており、すべて判定は良である。さらに、地震計及び增幅器の周波数特性、起動周波数特性、検出器感度及び可視記録感度一覧表が示されている。

#### 4.5 地震観測態勢

現地での観測は細倉鉱山に委託し、通常の点検、地震発生時の処置は当鉱山の係員が行う。点検は、地震計及びケーブルは2回／月、観測機器は2回／週実施し、点検項目をチェックした点検記録を定期的に電力中央研究所に送る。地震発生時には、①デジタルデータレコーダの磁気テープを回収し、予備の磁気テープを組み込む。②デジタルプリンタ用紙を回収する。③モニター用ペンレコーダ用紙を回収する。の3項目の作業を行い、それらを点検記録とともに電力中央研究所へ送る。なお、故障発生の場合は、直ちに日本鉱業会に連絡し、日本鉱業会より動力炉核燃料開発事業団及び電力中央研究所に連絡し、修理を行う。

#### 4.6 工事写真

ケーブル布設状況、観測小屋、地震計設置状況、地震観測装置などの写真が示されている。

## 5. 観測地点の調査計画

### 5.1 地質・坑内構造調査計画

地震計が設置されている各レベルおよび感天立坑を中心とした半径約300mの地域の調査を行い、縮尺が1/1000～1/3000の詳細地質図、及び感天立坑を中心とし、4方向の地質断面図を作成する。なお、採掘跡の位置・大きさ等もできるだけ正確に調査し、明記する。さらに坑道配置図を作成し、必要に応じて断層・亀裂等の分布図を作成する。

### 5.2 弹性波伝播特性調査計画

感天立坑周辺岩盤は比較的複雑な構造をしているため、岩盤の不均一性が地震波の伝播に及ぼす影響を明らかにすることが必要不可欠である。そこで弹性波伝播特性に関する調査計画について検討したが、これはまだ概念的なものであり、実施に際しては方法、時期効果などを再検討して計画を具体化する必要がある。

弹性波速度分布調査は、地表弹性波調査、坑道内弹性波調査、坑道間弹性波調査、その他の調査に分けて計画した。まず、地表弹性波探査は表土層の厚さや地表付近の速度構造を把握するために実施するものであって、震源としてP波の場合は発破を、S波の場合は板たたきを採用し、1km程度の測線を計画している。坑道内弹性波調査は坑道に沿った方向のP波及びS波速度を調査するとともに、坑道周辺に発生しているであろうと考えられる緩み領域の調査にも利用する。この調査はとくに岩種に応じたP波及びS波速度の調査と速度分布調査を利用する。坑道間弹性波調査は、上記の坑道内調査のみでは全体の構造を適確に知ることは困難なため、坑道間の速度測定を行い、測線数が多くなればジオトモグラフィーの手法を用いて全体構造を把握するために行うものである。その他の調査としては、採掘跡充填物のP波及びS波速度測定、及び弹性波の伝播にともなう減衰特性調査がある。採掘跡充填物の速度測定は、採掘跡を横切る測線を設定して行うか、それとも採掘跡充填物の表面に短い測線を設定して行う。減衰特性は感天立坑を利用して行う。

### 5.3 原位置岩盤特性調査計画

任意の地点の地下深部の地震の影響を検討するためには、その地点でまずボーリングを実施し、そのボーリング孔を有効に利用してその地域の岩盤状況を判定せねばならない。したがって、細倉鉱山においても長さが40m～200mのボーリングを行い、それを用いて各種の物理検査、コア観察、ボーリング孔内試験、ボーリング孔内透水試験を実施する計画について検討した結果を示した。

#### 5.4 岩石試験計画

各地震観測点付近から8個所、割れ目の少ない代表的岩石5個所以上、昭光断層等の断層破碎帯5個所以上、採掘跡充填物3個所以上から岩石試料を採取し、15項目の室内試験を実施する計画を示した。

### 6. 地層の隔離性能に及ぼす地層の影響評価手法の検討

#### 6.1 岩盤挙動観測法

地震によって発生する可能性がある岩盤の静的相対変位、とくに伸縮・傾斜の測定は地層の隔離性能を検討するためには重要な事項である。現在よく用いられている伸縮測定法は水平坑道に設置する棒形式の伸縮計とボアホール内に体積ひずみ計を埋設する方法である。棒の材料としては、溶融水晶またはスパーインバー合金が用いられ、変位検出には差動トランジスタが用いられる。測定限界は長さ10mの棒を用いた場合 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ のひずみ変化が検出できる。一方体積ひずみ計はシリコン油を封入したステンレス容器をボーリング孔内に膨張セメントを用いて埋め込む形式であり、測定限界は $3 \times 10^{-11}$ である。

傾斜観測には水管傾斜計が用いられる。これは坑道の2点に水を満たした容器を置き、両者を連通管で結んだものである。したがって、岩盤が傾斜すると容器内の水位が変化する。この傾斜計の測定限界は $10^{-9} \sim 10^{-10}$  radである。

さらに、ひずみ及び傾斜観測におけるノイズ源について説明するとともに、東北大学で実施した地殻変動観測によって得られた主な成果が示してある。

#### 6.2 地下水挙動観測計画

岩盤中の物質輸送は地下水の流れに乗って移動する。したがって、地震に対する地下深部貯蔵所の安全性について検討する場合には、空洞周辺の地下水水流の状態がどのように変るかを調べることに重点をおかねばならない。地下水流れの変化をとらえる方法として最も基本的なものは、空洞内への湧水量と水質を測定することである。岩盤内の地下水流れは割れ目系に影響され、水みち的流れが形成される。したがって、地震によって割れ目系が変形するとそれに伴って湧水量も変化する。この割れ目系の変形は一様では無く、場所的にかなり異なる。したがってある割れ目からの湧水をたんねんに連続測定することが重要である。湧水量とともに、水質も重要な因子である。水質に関する調査項目としては、電導度、pH、濁度など水質の全体を表わすものと、メジャーイオン濃度等がある。これらの水質に関する調査

項目を各湧水測定点ごとに明らかにしておく必要がある。

## 7. 観測データの解析計画

### 7.1 データ解析計画

#### 1) 地震諸元の確認

観測された地震について、発震時刻、震央位置、震源深さ、マグニチュード、各地の震度を確認する。

#### 2) 観測記録の整理

地震波記録を以下の項目で整理、編集する。地震記録の再生、ノイズ除去処理、最大加速度分布。

#### 3) 周波数解析

観測された地震記録の内良好な波形について、フーリエスペクトル解析、パワースペクトル解析、応答スペクトル解析、自己相関・相互相関解析、振動特性解析を行うとともに、積分を行なって速度、変位を求める。これらの解析結果を用いて地震動特性を把握する。

#### 4) 地震動伝播特性

波動種別毎の分離、地震波の入射角、方位等の検討を行い、地中地震動の特性を把握する。

#### 5) 最適地盤構造の同定

採掘跡、破碎帯、及び地形が観測地震波に及ぼしている影響について検討する。

#### 6) 地下深部構造物の耐震安定性の検討

観測により得られた地震動と観測地点付近の地盤特性との関連性を把握し、地下深部構造物の耐震安定性を検討する。

### 7.2 観測データの一般化

観測された地震動データにその地域の地域特性の影響がどの程度含まれているかについて検討し、必要であればその影響を除外してデータを一般化しなければ、観測データを他の現場の地震影響評価に利用したときに、かなりの誤差が含まれてしまう。そこで、観測データに含まれている地域特性の影響を検討するための電子計算機シミュレーションの方法について検討する計画を示した。

## 8. あとがき

高レベル放射性廃棄物を地層処分する地下深部空洞、及びその周辺岩盤の長期耐震性を検討する目的で昨年度より調査研究を開始し、多くの有益な成果が得られた。本年度は昨年度に引きつき、(1)地震観測地点の決定、(2)地震観測システムの設置、(3)観測地近傍の地震発生状況調査、(4)観測地調査計画の作成、(5)地層の隔離性能に及ぼす地震の影響評価手法の検討、(6)観測データの解析計画、の各項について調査研究を行った。得られた主な成果は下記の通りである。

### (1) 地震観測地点の決定

昨年度の調査・研究の成果を踏まえ、細倉鉱山の感天立坑周辺を地震観測区域と決定し、その区域内の上1番坑の坑口に1測点（3成分）と坑内に1測点（3成分）、下3番坑に2測点（3成分）、下7番坑に1測点（3成分）、下10番坑に3成分測点1個所と上下動1成分測点を2個所、合計8個所の地震観測測点を決定した。なお、これらの測点は、3次元ドリバタイトアレー観測が可能となるように配置されている。

### (2) 地震観測システムの設置

上記の各測点に地震計据付台を建設し、その上に地震計をボルトを用いて固定するとともに、各地震計からの信号ケーブルを立坑内を経由して上1番坑坑口まで配線した。上1番坑には地震観測集録装置を設置するための観測小屋を建設し、その内部に観測装置一式を格納するとともに地震計と観測集録装置とを接続し、地震観測が実施しうるよう調整し、観測態勢が完成した。

### (3) 観測地近傍の地震発生状況調査

昨年度は観測地を選定するために、日本列島近辺の地震発生状況の調査を行ったが、本年度は観測地が決定したので、細倉鉱山近傍の地震発生状況の調査を行い、将来どの程度の地震が発生する可能性があるかを検討する資料が得られた。

### (4) 観測地調査計画の作成

観測データを汎用化するためには、観測データに含まれている地域特性の影響について検討し、地域特性を除去してデータを一般化する必要がある。そのためには地域特性を十分に把握しなければならない。そこで、観測地域の坑内構造、地質特性、速度構造を求めるための調査計画を作成するとともに、地震波の增幅、応答解析に大きな影響を及ぼす地盤の減衰特性の調査計画についても述べた。

さらに原位置岩盤の特性調査計画として、坑内ボーリングを利用して、物理検査などを行う計画および岩石試料の実験室におけるテスト計画についても立案した。

以上に述べた種々の調査計画は、概念的なものであり、調査を実施する場合は、より詳細かつ具体的な実施計画を作成する必要がある。

(5) 地層の隔離性能に及ぼす地震の影響評価手法の検討

地層処分における岩盤の隔離性能を評価するには、地震による岩盤の静的相対変位やそれに伴う岩盤の微細なクラックや弱層の変化等の所謂岩盤挙動を観測することや、深部処分空洞周辺の物質輸送を司る地下水流の変化すなわち地下水挙動の観測が重要である。そこでこれらの観測方法・観測計画について検討した。

(6) 観測データの解析計画

観測データの処理・解析法について検討するとともに、観測データを汎用化するため的一般化手法について検討し、解析計画を作成した。

以上に今年度の研究成果を示したが、これらの成果を踏まえ、次年度以降には以下に示す研究業務を行うことを提案する。

- 1) 地震観測データの集積。
- 2) 地震観測データの処理と解析
- 3) 観測地域の地質特性、坑内構造調査
- 4) 観測地域の速度構造調査
- 5) 地層の隔離性能に及ぼす地震の影響評価を行うための調査地点の選定及び調査方法の具体案の作成。
- 6) 観測データの一般化手法の検討。

なお、岩石特性試験等は、予算を勘案して第4年度から開始する計画であるが、上記各種の調査についての優先順位、具体的な実施計画等については、61年度に開催する委員会の冒頭で検討する計画である。