

近畿圏における大大特プロジェクト の地下構造調査

伊藤 潔・佐藤比呂志*・梅田康弘・松村一男・澁谷拓郎・廣瀬一聖・上野友岳・
森下可奈子・伊藤谷生**・平田 直*・川中 卓***・黒田 徹***, 阿部 進***・
須田茂幸***, 斎藤秀雄***・井川 猛***

*東京大学地震研究所

**千葉大学理学部

*** (株)地球科学総合研究所

要 旨

近畿地方の南北縦断測線(新宮 舞鶴測線)において,制御震源を用いた大規模な広角反射法・屈折法地震探査による大深度弾性波探査を行った。この結果,フィリピン海プレートの構造と地殻全体の速度構造が求められた。プレートの沈み込みは,近畿北部まで達しており,地域によってプレート面からの反射率が変化することがわかった。紀伊半島の南部で反射率が弱くなる場所があるが,これはプレート境界面のアスペリティ構造に関連する可能性がある。さらに,低周波地震発生域付近では反射波が部分的に見えなくなる。また,有馬高槻構造線を横断する測線で反射法探査を実施し,断層に沿ってグラベン(溝)構造があることが明らかになった。震源断層が 2 重になることは強震動の予測に取り入れる情報として有用だと思われる。

キーワード: 地下構造, 地殻構造, 制御震源, 活断層, フィリピン海プレート, 強震予測

1. はじめに

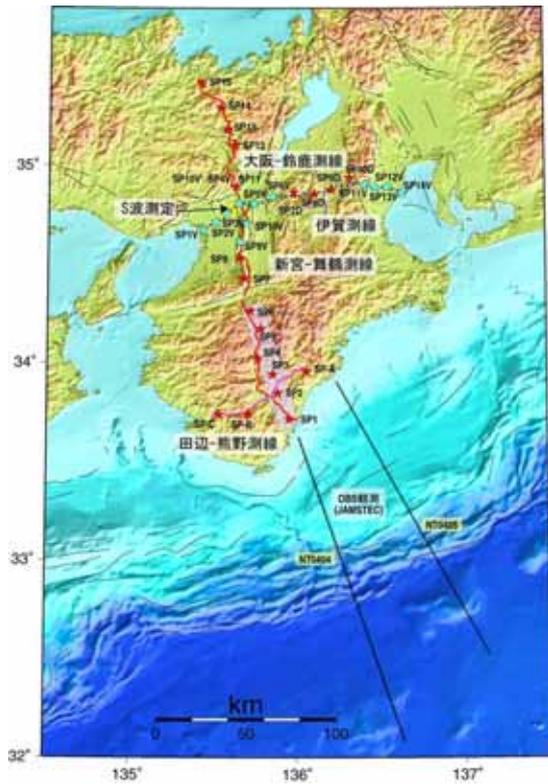
大大特 (大都市大震災軽減化特別プロジェクト)のもとに実施されている都市圏における地下構造調査は,計画 3 年目の 2004 年度には近畿圏において実施された。調査の目的は大都市圏に大きな被害をもたらすと予想される大地震の揺れの予測を高度化するため,震源断層深部構造と波動の伝播経路を調査することである。地下構造調査は制御震源地殻構造探査運営委員会のもとに,東京大学地震研究所と共同で実施されている。本報告では,2004 年度に実施された調査のうち,京都大学防災研究所が担当した新宮 - 舞鶴の概要について述べる。

2. 調査の概要

2004 年度の測線は Fig.1 に示すように,近畿地方を

横断する大阪 - 鈴鹿測線,約 160km と縦断する新宮 - 舞鶴測線,約 220km で,9 月から 11 月にかけて実施された。前者は,反射法と低重合反射法を主体とする調査により,主な活断層である,鈴鹿山地東縁および西縁・奈良盆地東縁,生駒,上町,木津川および頓宮断層などの深部形状の把握を目的としている。また,新宮 - 舞鶴測線は,広角反射法と屈折法を主体とした調査により,より深部のフィリピン海プレートの形状,有馬-高槻構造線・中央構造線の断層深部および近くの速度構造の調査を目的としている。これらの調査により,震源断層面の形状や性質を調査し,強震動予測高度化のための基礎資料の取得を行った。

Fig.1 の海域における測線は海洋研究開発機構(JAMSTEC)による海域の東南海・南海地震域の調査である。この測線の一つは新宮 - 舞鶴測線の延長上に当たり,海陸境界域の調査に最適になるように調査を共同で実施した。すなわち,それぞれの調査日程を調整



して、海域のエアガンによる振動を陸で観測するとともに、陸における発破の信号を海底地震計で取得し、これらのデータの統合解析を目指している。

さらに Fig.2は調査測線のより詳しい分布であるが、紀伊半島における東西測線は、東京大学地震研究所、防災科学技術研究所および京都大学などの共同研究として、同時に実施された。

3. 調査方法

Fig.2には測線を示してあるが、大阪鈴鹿測線は南北方向の活断層を串刺しにする形で選定されている。新宮-舞鶴測線はほぼフィリピン海プレートの沈み込み方向にとられ、中央構造線(MTL)および有馬高槻構造線(ATL)など東西方向の断層に直交する方向である。また、新宮沖からはさらに南南東に200km以上にわたり、JAMSTEC(海洋開発研究機構)によって、海域での調査が実施され、陸上の調査と共同で観測が実施され、東南海・南海地震の調査にも寄与している。

新宮-舞鶴測線における調査は主に3種類の調査が実施された。屈折法及び広角反射法、反射法生駒高槻測線および反射法高槻亀岡低重合バイブレータ測線である。発震にはバイブレータ、発破が用いられ、データの取得には有線テレメトリー方式の受振システムおよび独立型データ収録装置が用いられた。また、エアガンの記録収録にはDAT記録装置が用いられた。調査の日程は Fig. 4 に、得られたデータの一覧は Table 1 に示す。

3.1 調査測線

調査測線は、Fig.2に示すように、和歌山県新宮市と三重県紀和町の境界から奈良県に入り、金剛山地、生駒山地沿いに北上し、大阪府に入る。枚方市と高槻市の境界で淀川を横断し、京都府亀岡市を経て、綾部市と舞鶴市の境界に至る全長約220km(直線投影距離193km)の測線である。この全区間の受振点において、屈折法及び広角反射法のデータが取得された。また、生駒高槻測線(奈良県生駒市~大阪府高槻市、約22.5km)、高槻亀岡低重合測線(大阪府高槻~京都府亀岡市、約28km)の2区間においてバイブレータ反射法データが取得された。

また、生駒-高槻測線およびその南方延長部(約28km)の区間では、有線テレメトリー方式の受振システムが用いられた。この区間を除く全ての受振点では、独立型データ収録装置(JGI MS2000D, 1台6ch)計285台が使用された。



Fig.2 The profile line in the Bouguere gravity anomaly. Shot points and observation lines are plotted in the figure.

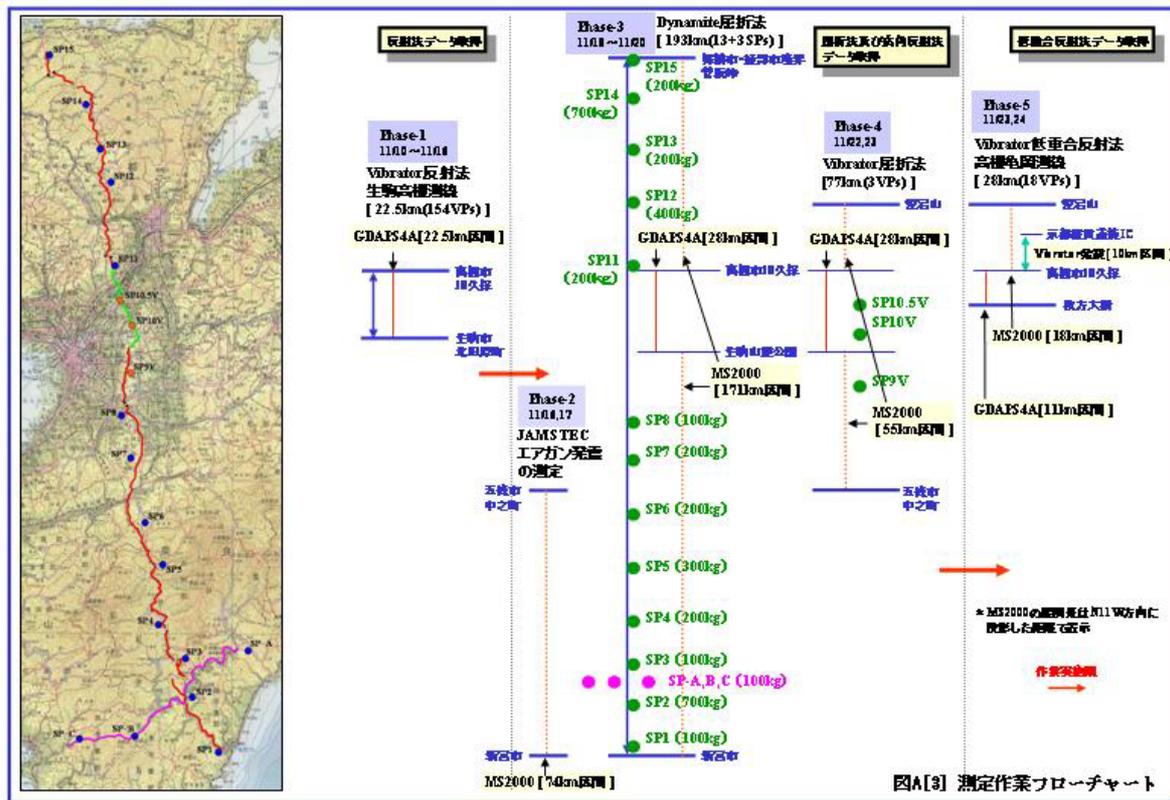


Fig.3 Schedule of the operations of the surveys.

3.2 調査概要

本調査では、屈折法・広角反射法、2区間の反射法のデータ取得作業が、2004年11月5日から同年12月1日の間に実施された。その種別は、時間順にならべると次のようになる。Fig.3に本調査の測定作業フローチャートを示した。

Phase 1 JAMSTEC エアガン発震作業のデータ取得（紀和町 - 五條市）

Phase 2 屈折法・広角反射法（ダイナマイト）のデータ取得（全区間）

Phase 3 反射法生駒高槻測線のデータ取得（生駒市 - 高槻市）

Phase 4 屈折法・広角反射法（パイプロサイズ集中発震）のデータ取得（五條市 - 亀岡市愛宕山）

Phase 5 低重合反射法高槻亀岡測線のデータ取得（高槻市 - 亀岡市）

なお、実際には Phase 4 のパイプロサイズ集中発震は、Phase 3 の期間中に実施された。

3.3 データ取得作業

(1) 受振器設置作業

(a) 有線テレメトリー-G-DAPS4 システム設置

屈折法及び広角反射法データ取得における全測線

(測線長 220km)内で、有線テレメトリーシステムの設置区間の測線長は 28km であり約 13%を占めている。この区間の受振点は、主として道路の路肩および河川敷内に設置された。受振器、データ伝送装置(RSU)、バッテリーユニット及び本線ケーブルは、調査測線に沿って 50m 間隔で設置された木杭を目印にして敷設された。反射法生駒高槻測線において、淀川を横断する部分では本線ケーブルを接続せず、淀川を挟む2区間それぞれに G-DAPS4A 観測車を配置し、同期しながら観測する手法を取った。各受振点では 1 点につき 3 個組の受振器（ジオフォン）を設置した。

データ伝送装置(RSU)では、6 受振点毎のデータに対して A/D 変換、相互相関、ノイズエディットを伴う垂直重合処理が実施され、観測車に伝送された。

(b) 独立型受振システム設置(MS2000)

屈折法及び広角反射法データ取得における全測線(測線長約 220km)内で、独立型受振システム設置区間の測線長は合計約 192km であり約 87%を占めている。独立型受振システム MS-2000D は、従来の有線テレメトリー記録装置と比較して可搬性に優れ、交通量の多い幹線道路、河川、標高差を伴う地形変化、ノイズレベル等の測線状況を考慮して、自由度の高い受振点位置の設定が可能である。本システムは伝送ケーブル敷設に伴う制約を受けないため、本調査のような長大測

Table 1 List of shot parameters. Coordinate system is on GRS80.

| St | Chg kg | depth m | TOC m | LOC m | Date yyyy/mm/dd | Time hh:mm:ss.sss | Lon dddmmss.0 | Lat ddmmss.0 | Hgt (m) |
|-------|-----------|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------|------------|
| SP-1 | 100 | 35.12 | 25.67 | 9.45 | 2004/11/19 | 03:02:11.917 | 1355701.8 | 334325.0 | 75 |
| SP-2 | 700 | 61.00 61.57 | 27.65 28.70 | 33.35 32.87 | 2004/11/19 | 00:12:12.390 | 1355252.7 | 335106.0 | 115 |
| SP-3 | 100 | 45.80 | 35.80 | 10.00 | 2004/11/20 | 01:02:11.619 | 1355107.0 | 335656.2 | 411 |
| SP-4 | 200 | 46.02 | 27.02 | 19.00 | 2004/11/20 | 00:02:11.710 | 1354556.3 | 340138.0 | 324 |
| SP-5 | 300 | 55.65 | 27.15 | 28.50 | 2004/11/20 | 03:02:12.639 | 1354645.0 | 341042.4 | 623 |
| SP-6 | 200 | 46.30 | 28.13 | 18.17 | 2004/11/20 | 03:32:12.445 | 1354301.4 | 341608.1 | 431 |
| SP-7 | 200 | 45.54 | 26.10 | 19.44 | 2004/11/20 | 00:32:11.929 | 1354052.3 | 342610.1 | 596 |
| SP-8 | 100 | 35.84 | 26.33 | 9.51 | 2004/11/20 | 01:32:12.125 | 1353904.0 | 343221.1 | 142 |
| SP-11 | 200 | 45.46 | 27.86 | 17.60 | 2004/11/19 | 03:32:12.676 | 1353749.4 | 345402.8 | 208 |
| SP-12 | 400 | 65.54 | 27.65 | 37.89 | 2004/11/19 | 00:32:11.624 | 1353724.3 | 350635.0 | 425 |
| SP-13 | 200 | 45.63 | 26.70 | 18.93 | 2004/11/19 | 01:32:11.990 | 1353450.0 | 351120.3 | 420 |
| SP-14 | 700 | 60.71 60.36 | 27.53 26.64 | 33.18 33.72 | 2004/11/18 | 01:32:12.385 | 1353209.1 | 351751.2 | 320 |
| SP-15 | 200 | 45.34 | 26.27 | 19.07 | 2004/11/18 | 00:32:11.426 | 1352511.7 | 352518.7 | 262 |
| SP-A | 100 | 35.55 | 25.60 | 9.95 | 2004/11/19 | 01:02:11.844 | 1360315.0 | 335743.4 | 276 |
| SP-B | 100 | 35.70 | 25.52 | 10.18 | 2004/11/18 | 00:12:10.751 | 1354208.2 | 334452.8 | 389 |
| SP-C | 100 | 35.47 | 25.54 | 9.93 | 2004/11/18 | 01:02:11.525 | 1353139.3 | 334442.6 | 212 |

線を効率よく展開することが可能である。

独立型受振システム及び受振器の設置は、以下の手順によって実施された。

- 1) あらかじめ、地形図上に投影測線（N11°W 方向の直線）を設定し、600m 間隔の MS-2000AD ユニット設置箇所を決定するためのメッシュを入れる。
- 2) 踏査結果に基づき、上記メッシュの中で受振システム設置に最適と思われる位置にマークを入れる。
- 3) 上記マークをした位置を目安に、現地において受振器設置可能な連続した 250m 区間を選定し、同区間に 50m 間隔で受振器設置の目印となる測量木杭を設置する。ただし、効率的かつ安全な作業実施を図るため、道路が屈曲している場合でも、受振点は原則として道路沿いに 50m 間隔で設定する。従って、局所的には投影測線上の受振点間隔は保証されていない。木杭を打つ数は原則として 6 本とし、必要な場合は予備の杭を追加設置する。
- 4) MS-2000 ユニットの設置及び各ユニットの入力となる受振器 6 点分の展開を行う。7 点以上木杭が設定されている場合は、現場の住宅・交通状況等の周辺環境を考慮して最適な 6 点を選択する。
- 5) 調査期間中の各種反射法及び屈折法の測定時間に応じた記録開始及び終了時間を予め設定し、GPS 受信の確認及び受振器設置状況の確認をした。
- 6) 各測定日毎に GPS 受信状況及び受振器設置状況を

確認し、発震作業開始時刻までにこれを完了する。設置が長期間に及ぶ区間については、適宜データ収録ユニットの回収及び交換を行う。

- 7) Phase2(ダイナマイト屈折法・広角反射法)終了後、データ収録ユニットを回収し、起震時間及び記録長を用いて編集し、現地で編集作業を実施する。Phase 4(パイロサイズ集中発震)、Phase 5(低重合反射法測線)終了後、データ収録ユニットを回収し、相互相関、ノイズエディットを伴う垂直重合処理を外部で行う。

(c) 独立型受振システム設置作業 (DAT)

上記 MS2000D による受振測線と並行して、紀伊半島南部の約 40km の区間では、より長時間の記録が可能な Clovertch 社製 DAT 記録装置による受振点が 32 点設置された。これにより、本調査と同時期に実施された海洋研究開発機構による海上のエアガン発震の全データが記録された。DAT 受振点においては、本調査の全期間にわたって連続観測がおこなわれ、エアガン記録のみではなく、ダイナマイト発震および同期間中に発生した自然地震記録もあわせて収録された。DAT 記録装置の設置箇所は、全体的な配置は上記 MS2000D による受振測線に沿うように選点されたが、個々の設置点では主要道路を離れてなるべく交通等のノイズの少ない地点に設置した。受振点設置間隔は投影測線上約 1km 間隔であり、受振器には 3 成分速度型を使用した。

(2) 発震作業

(a) ダイナマイト発震

Phase 2 における屈折法及び広角反射法ダイナマイト発震は、以下に示す様に和歌山県内 1 点、三重県内 1 点、奈良県内 5 点、大阪府内 2 点、京都府内 4 点の計 13 点で実施された。発震時、場所等を Table 1 に示す。

使用したダイナマイトは径 90mm の海底発破用(親ダイ径 80mm)である。発破作業では、観測車及び発破点がそれぞれ独立にデータ収録と発破を実施する時刻発破が採用された。観測車側には高精度の GPS 時計を用いた衛星同期システム(Satellite Synchronizer Communication System(SSCS))が採用され、予定された記録開始時刻(発破開始時刻より 15 秒前)になると SSCS から M/S コントローラに開始信号が送られ、さらに M/S コントローラから探鉱機に Clock TB 信号が送られる。一方、発破点側では観測車と同型の SSCS から開始信号が発破同期装置 SSS-202 に送られ、プスターに発破信号が転送される。観測車及び発破点ともバックアップ用の刻時装置(LS-10K)が接続され、時刻確認を行った。また、発破点には CAP 信号、アップホール信号及び表層速度測定用の地表受振器記録が独立型記録装置 MS2000D によって収録された。ラインアップ受震器は、井戸元から 50m 離れた点に第一受振点を、その点から約 25m 間隔で三受振点が設置された。発破時には京都大学防災研究所において自然地震のモニターを行い、観測車と通信しながら発破時刻を調整し自然地震によるノイズの排除に努めた。

(b) パイプレータ発震

本調査におけるパイプレータ発震は、探査対象及び測線毎に標準発震仕様が設定された。パイプレータの発信仕様を、Table 1 に示す。

1) 反射法生駒高槻測線

反射法生駒高槻パイプレータ測線(発震点数 176 点)では、パイプロサイズ 4 台を震源として約 100m 間隔に発震点を選点した。各発震点において、ホールドダウンウェイトに対する制御出力を 90%として 12 回のスイープを行うことを標準仕様とした。ただし、一部の区間(測線北端付近の大阪府道 79 号線、名神高速側道、淀川右岸河川敷内、および測線南端付近国道 168 号線)では、基盤以深の反射波を捉えることを目的として、36 回のスイープを上限として約 500m 間隔で高 S/N 比のデータを取得した。これに伴い、周辺の他の発震点では、作業進捗状況に合わせてスイープ数の調整を適宜おこなった。ただし、スイープ数の調整は総スイープ回数が標準仕様を下回らない範囲でおこなった。また、淀川右岸河川敷を北側に抜けて、新幹線、国道 171 号線、近鉄線、JR 京都線および名神高速を横

断して大阪府道 79 号線に至るまでの区間、および淀川左岸の枚方市中心部付近から南下し国道一号線を横断して交野市市街地に至る区間では、住宅・商業施設の密集、交通渋滞等の周辺環境による制約から、標準仕様で発震することは極めて困難な状況であった。これらの区間の大半で発震台数の調整(1 台または 2 台)、制御出力の調整(30%~70%)、スイープ回数の調整をおこなった。また、特に条件の悪い区間および道幅の狭い区間ではミニパイプレータによる発震で代替した。スイープ周波数(6-40Hz)およびスイープ長(20 秒)は、30Hz 以下の低周波数帯域における実効エネルギーの確保を目的として設定した。また、パイプレータのアレイパターンについては、100m の範囲内で適宜移動を行った。

2) 反射法高槻岡岡低重合パイプレータ測線

淀川右岸枚方大橋付近から岡岡市北部愛宕山付近までの約 28km の受振測線区間のうち、高槻市川久保から北側約 10km の区間で発震をおこなった。この測線は広域屈折法及び広角反射法によっては解像度が期待できない深度 10km 程度までの上部地殻の構造把握を目的として設定され、パイプロサイズ 4 台を震源として約 500m 間隔に配置された発震点において、ホールドダウンウェイトに対する制御出力を 90%として 20 回のスイープ回数を標準仕様とした。ただし、上部地殻内の微弱な反射波をより確実に捉えることを期待して、40 回を上限として可能な限りスイープ回数の増加に努めた。結果的には総発震点数 17 点のうち 12 点で 40 回のスイープをおこなった。

3) 屈折法及び広角反射法

大阪平野北部区間では人家が密集しており、ダイナマイト発震作業が不可能と判断された。そこで、ノイズレベルの低い夜間において、パイプロサイズ車 4 台を 100 スイープ程度発震させることにより、ダイナマイト発震点が抜ける区間を補うこととした。この作業は、より遠距離まで到達する屈折波を調べることに主眼を置いているため、スイープ周波数は透過力の強い低周波数側に寄せ、6 ~ 30Hz のスイープとした。11 月 22 日から 23 日にかけての夜間に作業を実施したのは、以下の 3 点である。

SP-9V, 奈良県生駒郡平群町榛原(広域農道上), スイープ回数, 200 回。

SP-10V, 阪府交野市星田(府民の森ほしだ園駐車場), スイープ回数, 100 回。

SP-10V, 大阪府枚方市新町二丁目(淀川河川敷), スイープ回数, 60 回。

(3) 測量

生駒高槻反射法測線については、多角測量および間接水準測量をおこない、受振点発震点位置を求めた。

その他の受振点位置および発震点（パイロサイスおよびダイナマイト）については、公共地図（都市計画図、森林管理図等）による図上読み取りによって位置座標および標高を求めた。

以下に生駒高槻反射法測線における測量作業の概要を記述する。

- 1) 測線測量: 実施計画書に基づき予定測線上に 50m 毎に杭打ちを実施し, 受振及び発震点(パイプレータ及びダイナマイト)を木杭で表示した。
- 2) 多角測量: 国家三角点, 公共基準点で設置した基準点を与点として, 測線付近に多角測量及び細部測量を実施した。
- 3) 水準測量: 各多角点を与点として, 間接水準測量により受振点・発震点の平面直角座標値及び標高値を決定した。
- 4) 使用基準点
本作業で使用した国家三角点及び基準点(四等三角点)は安満(5万分の1地形図京都西南部)ドチト, 南田原(5万分の1地形図大阪東北部)である。各点の状況は測定作業期間を通じて良好であった。
- 5) 測量データ処理
発震点及び受振点位置を示す測線図の作成には以下の測地システムを用い, 国土地理院の地形図[1:25,000, 1:50,000]に対応させた。

| | |
|------------------|-------------------|
| SPHEROID | : GRS80 |
| SEMI MAJOR AXIS | : 6378137.00000m |
| SEMI MINOR AXIS | : 6356752.31400m |
| PROJECTION | : U.T.M. |
| ZONE NUMBER | : 53 |
| ORIGIN LATITUDE | : 00-00-00.000 N |
| ORIGIN LONGITUDE | : 135-00-00.000 E |
| SCALE FACTOR | : 0.9996 |
| FALSE NORTH | : 0.0m |
| FALSE EAST | : 500000.0m |

(4) フィールドテスト

スイープ周波数の上限確定および有効重合回数の把握を目的として, 発震作業開始に先立ち, パイプレータ発震パラメータテストを実施した。

本調査測線における有効周波数帯域, 表面波, 屈折多重反射波等のコヒーレントノイズの強度を把握することを目的として, End 周波数を 30, 40, 50Hz に設定したテストを実施した。Start 周波数は 6Hz に固定した。これは深部への透過力の強い 10Hz 前後の低周波数帯域の実効エネルギーを確保するためである。

スイープ回数の増加に伴う S/N 比改善の度合いを確認し, 最適な垂直重合回数の設定を目的として, 4 ~ 16 回まで計 4 種類の垂直重合テストを逐次加算法によって実施した。スイープ回数の増加に伴い浅部の

S/N 比向上が確認できるものの, 上述のように深部に明瞭な反射イベントが認められないため, 深部への影響を評価することはできなかった。本観測のスイープ回数は実施計画書に基づき 12 回を標準とし, 発震作業中に適宜テストおよび変更をおこなうこととした。

3.4 記録

(1) 屈折法, 広角反射法ダイナマイト及びパイプレータ測線

Fig.4 に本調査で実施した 13 点の発破のうち, SP2 および SP14 について, 往復走時 40 秒までの, 全受振展開による発震記録を示した。屈折初動は大阪平野および周辺の高ノイズレベル区間では不明瞭になるものの, 展開の全域で追跡することが可能である。SP2 (Fig.4a) の反射イベントについて見ると, 往復走時 9 秒前後に北傾斜を示す極めて明瞭な反射イベントが認められる。紀伊半島下で北側にもぐり込むフィリピン海プレート上面に対応することが推定される。また, 往復走時 6 秒前後にはほぼ水平な面からと思われる反射イベントが認められ, 紀伊半島南部では地殻内部にも強いコントラストが存在することがわかる。SP14 (Fig.4b) についてみると, SP2 ほど明瞭ではないものの, 往復走時約 5 秒前後および 10 秒前後の顕著な反射イベントが認められる。少なくとも下部地殻の最深部

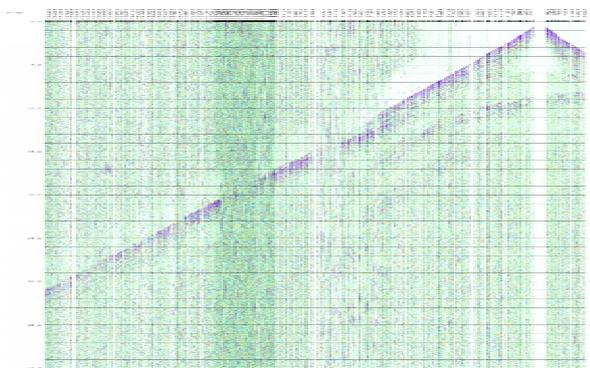


Fig.4a Record section for Sp2 of 700kg dynamite in the southern Kii Peninsula.

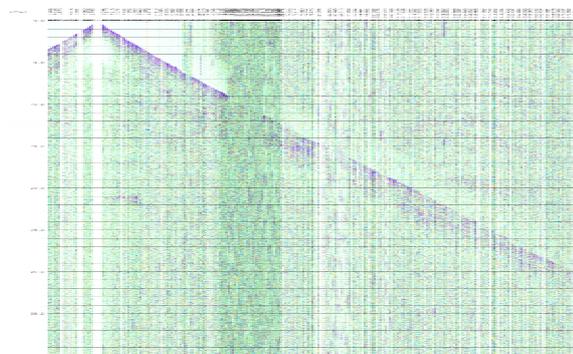


Fig.4b Record section for Sp14 of 700kg dynamite in the northern Kinki district.

付近までについては十分な品質の反射波が記録されていることがわかる。Fig.4 に示した2点はいずれも今回の調査で最大薬量(700kg)の点であるが、他の発破点(薬量100kg~400kg)でも記録は良好である。特に、SP1~SP6では発震記録上でフィリピン海プレート上面と思われる北傾斜の反射イベントが連続して認められる点が特筆される。反射イベント以外では、SP1, SP3~SP6, および SP14の各発震点では変換S波による屈折波が認められる点に興味深い。みかけ速度はおおよそ2.8~3.3km/sである。これらのS波イベントは反射処理においてはノイズ要因となるが、上部地殻のS波速度を直接的に示すものとして意義あるものと思われる。

SP10Vにおけるパイブレータ集中発震記録では、屈折初動は、発震点より北側の展開では展開の端(オフセット距離約33km)まで、発震点より南側はオフセット距離約20kmまで、それぞれ追跡可能である。パイブレータによる屈折記録としては十分な品質の記録が得られた。一方、反射波についてみると、15km前後のFar Offset領域に往復走時6秒程度の反射波を推定させるイベントが認められるものの、地殻内の反射イベントとして直ちに判別可能なものは認め難い。

(2) 反射法生駒高槻パイブレータ測線

反射法生駒高槻パイブレータ測線が位置する大阪平野横断区間は、測線の両端付近を除くと、バックグラウンドノイズレベルが非常に高く、かつ調査測線近傍の状況から、発震エネルギーを低減せざるを得ない区間が多いため、地殻内深部反射面に関する高S/N比の記録は期待できない。ただし、当地域の基盤は最大約1km程度と浅く、基盤および基盤以浅については十分な記録が得られることが期待された。実際、淀川右岸河川敷内の記録では、枚方撓曲に伴う基盤の落ち込みにより、反射イベントが発震の両側で明らかに不連続となっている様子が捉えられている。また片野断層地表面位置近傍南側の発震では発震点の両側で屈折波のみかけ速度が明らかに異なり、展開の北側で北傾斜を示すイベントが認められるなど堆積層縁辺部の構造を捉えている。

(3) 反射法高槻岡低重合パイブレータ測線

受振器展開の中心よりやや南側で発震した記録では、屈折初動は北端の受振点(オフセット距離約15km)まで明瞭に認められ、発震の効き自体は良好である。受振展開がすだれ状のため、みかけ上連続した波形が多数存在し、反射イベントの同定は難しいが、往復走時約2.5秒、同約3.8秒の波形は連続性が強く、反射イベントである可能性は高いと思われる。また、この付近は中生代の堆積岩類が露出しているが、屈折初動のみかけ速度は約4.0km/sと約5.5km/sに明瞭に分かれて

おり、風化部分が比較的厚いものと推定される。

(4) 海洋研究開発機構によるエアガン発震

海洋研究開発機構によるエアガン発震を広角反射・屈折測線で受振した記録のうち、データ収録期間内の発震点のうち、最も陸に近い発震点によるものでは、約6.5km/sを示す屈折初動が展開の北端近くまで到達している。また、観測期間中に自然地震が多数発生しており、広角反射・屈折測線で記録された801点の発震のうち、自然地震が混入した点は81点であった。これらの記録の利用も考えられる。

(5) DATレコーダによる連続観測

32台のDATレコーダにより、全調査期間中の連側観測記録が得られた。これらの観測点は主要道路から離れてノイズの少ない点に設置されているため、S/N比は良好である。エアガン共通受振点記録では、オフセット距離約65kmまでの範囲で明瞭な反射波が認められる。'Near Vertical'の記録が欠落しているため、傾斜等の情報を読み取ることは困難であるが、ダイナマイト広角反射記録と統合することにより、海陸境界部および紀伊半島沖の深部地殻構造が明らかになることが期待される。

3.5 解析

得られたデータに対して、広角反射法解析、屈折法解析、生駒高槻測線反射法解析、高槻岡測線低重合反射法解析を行っている。

(1) 広角反射法解析

新宮-舞鶴測線におけるダイナマイト発震およびパイロサイズ多重発震による広角反射法解析について以下処理詳細を記す。

(a) データ編集(Format Conversion and Data Compilation)

有線テレメトリーシステムG-DAPS4A展開区間及び独立型受振システムMS-2000Dの展開区間で取得されたデータを編集、結合し、各発震記録を構築した。MS-2000Dで取得されたデータについては具体的に、以下のコンパイル作業を順次行った。

- ・有線テレメトリーシステムの記録装置でデータ収録時に取得したGPS刻時装置による記録開始時間と記録長をもとにデータ抽出を行う。

- ・パイブレータ集中発震記録に関しては、ノイズエディットを伴う'Diversity Edit'及び垂直重合処理を実施する。この際のノイズエディットパラメータは、ウィンドー長=20.0秒、乗乗係数=3.0である。重合数は実際のスイープ回数に応じて60~200回である。但し、'Diversity Edit'は相互相関後のデータについて適用した。

(b) トレースヘッダーへの測線情報の入力
(Geometry Application)

用いた解析ソフト SuperX トレースヘッダー(JGI Internal Format)に関して、発震点及び受振点のインデックス、座標、標高値、オフセット距離等の測線情報を入力した。座標系は GRS80 楕円体に準拠した座標値を UTM53 系に投影した値を用いた。ただし、局所原点を(X,Y)=(580000m, 3830000m)に設定した。データ解析における基準標高面は平均海水面に設定した。

(c) 初動ミュート(First-break Mute)

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で、テーパー長 800 ms(屈折初動近傍)の初動抑制処理を実施した。

(d) S 波屈折波抑制(Shear Wave Suppression by Surgical Mute)

一部の発震記録では、変換S波による強振幅の屈折波が認められる。これを抑制する目的で、変換S波が顕著な記録に対してサージカルミュートを適用した。以下のパラメータを用いた。

ゼロオフセットにおけるミュート開始点、300 ~ 1050 ms (発震点により可変); スライディング速度、2800 ~ 3300 m/s (発震点により可変); ミュート幅、200 ~ 400 ms (発震点により可変); テーパー長、20 ms。

(e) 振幅補償(Gain Recovery)

弾性波の震源からの伝播に伴う幾何減衰、多層構造内を透過、多重反射することによる伝播損失及び非弾性効果による減衰、さらには受振点、発震点毎のカップリングの相異に起因する振幅特性の変化を補償することを目的として、以下の振幅補償処理を行った。時間関数による補償、往復走時の 1.2 乗; Instantaneous AGC, ウィンドー長 12000ms。

(f) デコンボリューション(Deconvolution)

デコンボリューション処理では、次式で示される 1 次元コンボリューションモデルが前提とされている。

$$F(t)=W(t)*R(t)+N(t)$$

ここに F(t)は地震波トレース、W(t)は基本波形、R(t)はランダム定常な反射係数列、N(t)はランダムノイズである。このモデルにおいて基本波形を構成する要素としては、以下の項目を挙げることができる。

- ・震源波形: エアガン震源波形、スウィープ波形、震源カップリング効果、ゴースト効果

- ・地層効果: 多重反射、非弾性による吸収

- ・記録系: 受振器特性及び設置効果、OBC に関するゴースト効果、探鉱機の応答特性

こうした要素の集積としての基本波形を地震トレースから推定・除去し、記録の分解能向上を図るためにデコンボリューションを適用した。比較重合テストを通じて、以下のパラメータを採用した。

- ・ゼロオフセットにおけるオペレータ設計ゲート開始

時刻、3200ms [Time-Variant]

- ・ゲート長、8000ms

- ・オフセットトレースに対するゲートスライディング速度、5500m/s

- ・オペレータ長、600ms

- ・ホワイトニング・ノイズ、0.5%

- ・予測距離、32ms

なお、本調査のパイプレータ震源による記録は、GDAPS4A 探鉱器によるデータ取得時および MS2000D 独立型レコーダ記録のデータ編集時において、零位相処理がなされている。これらの記録に対しては、デコンボリューション適用に先立ち最小位相変換処理を適用した。

(g) 共通反射点編集(Common Midpoint Sorting)

重合測線位置は重合測線に対する受振点位置分布の分散が最小となる位置に設定し、N11°W 方向の直線状の重合測線を採用した。CMP 標高は、各 CMP 内でオフセット距離 50km 以下のトレースの平均標高をスムージングしたものを使用した。スムージングには移動平均(CMP 方向に前後計 61 ポイント)を用いた。CMP 間隔、200m; CMP 総数、973 (全長 194.4km); 重合数、平均 30、最大 95。

(h) 浮動基準面に対する静補正(Static Corrections to FDP)

浮動基準面に対する静補正を実施した。静補正については、下式で定義される標高補正量及び表層補正量の和として各発震点、受振点について与えられる。

[A] 標高補正 T_e : 観測面を一定基準面へ補正する。

$$T_e = - (H_e - H_b) / V_{sw}$$

[B] 表層補正 T_w : 低速度の表層構造変化による影響を除去する。

$$T_w = S_d * (-1/V_w + 1/V_{sw}),$$

ここに、 H_e は発震点あるいは受振点標高(m)、 H_b は基準面 [平均海水面 0.0m]、 S_d は表層厚(m)である。

表層補正値は、生駒高槻反射法測線および高槻岡岡低重合反射法測線の受振点については、反射法解析におけるタイムターム値から計算し、それ以外の受振点および発震点(全点)についてはゼロとした。基準面(Datum)は平均海水面に設定されたが、絶対値の大きい標高補正値の適用を回避するため浮動基準面(FDP: 'Floating Datum Plane')を用いた。FDP は g) で定義した CMP 標高とした。この FDP から基準面までの基準面補正量 T_d は下記のように定義される。

$$T_d = -2.0 * (H_f - H_b) / V_c,$$

ここに、 H_f は浮動基準面(FDP)、 V_c は基準面補正速度(4200ms)である。

(i) NMO 補正(Normal Moveout Corrections)

広角反射法データでは重合数が不足しているため、

反射法データ解析で通常実施されている定速度重合法による速度解析は困難である。しかしながら、CMP 投影測線上で速度スキャンを行うことで、隣接する発震点で確認できる顕著な反射面の走時及び形状の相関が最も高い速度を最適重合速度としてピックアップすることが可能である。この速度スキャンによって求められた重合速度-時間の関数を時間-空間方向に内挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。なお、NMO 補正では下記のストレッチミュート、2.1 が適用された。

(j) 共通反射点重合 (CMP Stack)

共通反射点アンサンブルに関して、以下の有効オフセット距離 50-100,000m に関して水平重合処理を実施した。

(k) 周波数 空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

周波数-空間領域に於いて複素型予測フィルターを設計・適用して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる以下の F-X 予測フィルター処理を実施した。オペレータ長、9 CDPs；空間ウィンドー長、50 CDPs；時間ウィンドー長、1000 ms である。

(l) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

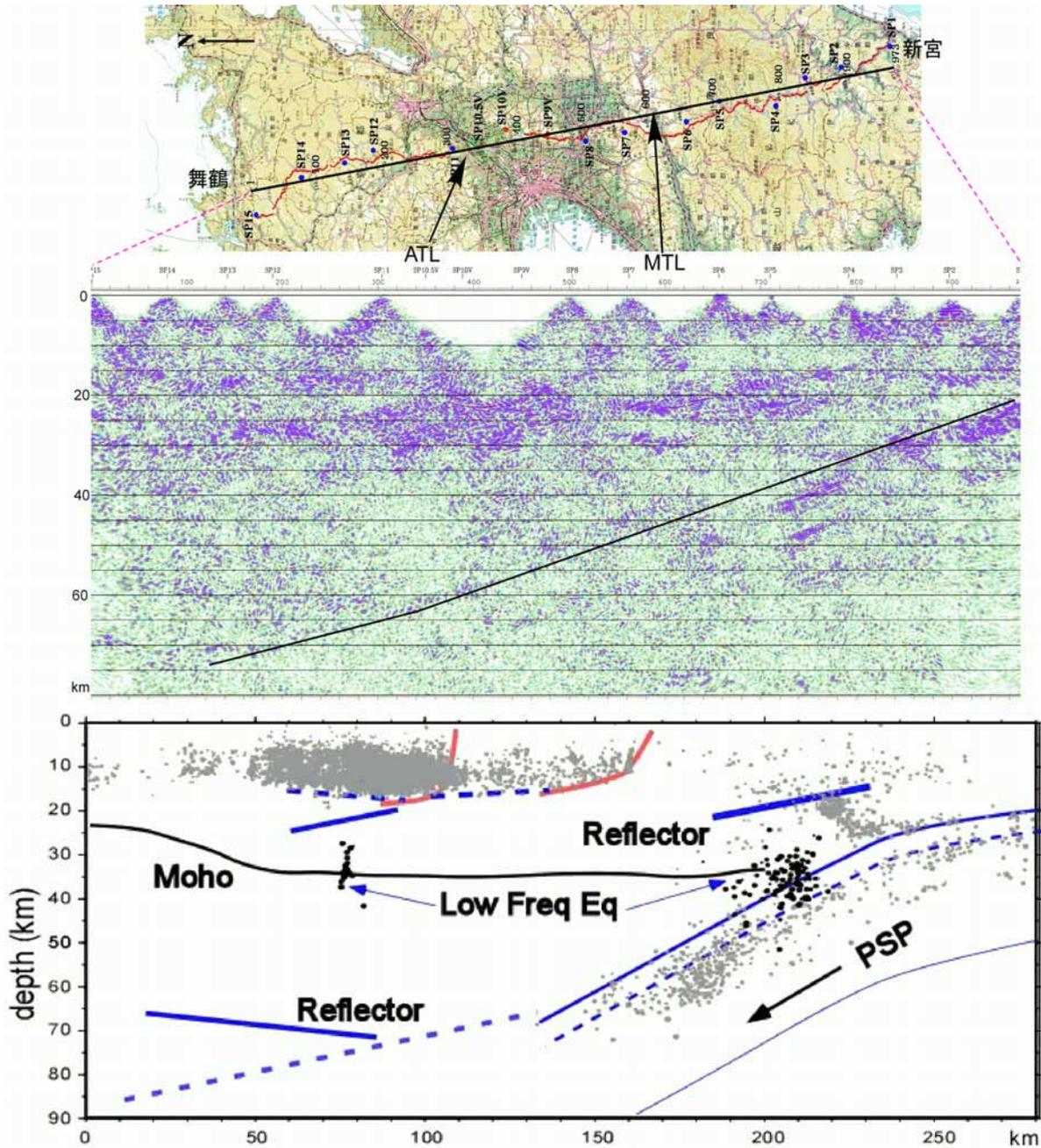


Fig.5 Depth section of wide-angle reflection surveys (upper figures) and schematic section along the Shingu-Maiduru line. Hypocenters are taken from the JMA unified hypocenters.

反射波の有効周波数帯域が周波数成分解析により決定されオペレータ長が 400 ms、周波数通過帯域 0.5/1 - 12/15Hz の零位相帯域通過フィルターを採用した。

(m) 基準面補正(Datum Corrections)

浮動基準面から基準面への 時間補正が適用された。

(n) キルヒホッフ型時間マイグレーション (Geometry-oriented Kirchhoff Time Migration)

時間断面上の反射点位置を実際の位置に移動させ、回折波を回折点に復元することを目的として、キルヒホッフ型時間マイグレーションを適用した。この手法では、重合測線に沿った標高変化と測線の屈曲への対応が可能である。適用パラメータは、最大アパチャー距離、40km；最大傾斜角度、45 度である。

(o) 深度変換(Depth Conversion)

上記の速度スキャン結果及び屈折法によって得られた速度構造を用いて、時間及び空間方向に平滑化した平均速度プロファイルを構築し、'Vertical Stretch'法による深度変換を実施した。以上の処理ステップを逐次経ることによって、広角反射法重合記録、広角反射法時間マイグレーション断面図、広角反射法深度断面図 (Fig.5) が得られた。

(2) 屈折法解析

和歌山県新宮市から京都府綾部市に至る測線全域を対象とした、ダイナマイト発震およびパイロサイズ多重発震による屈折法解析を実施した。改良型タイムターム法及び波線追跡法によって解析を行った。

(a) データ編集 (Format Conversion and Data Compilation)

(b) トレースヘッダーへの測線情報の入力 (Geometry Application)

(c) 屈折初動の読み取り(First Break Picking)

初動の読み取りをおこなった。発破記録については、長大オフセット領域の S/N 比向上を目的として記録に予め最小位相型のバンドパスフィルター(6-15Hz)を適用した。

初動の読み取り位置はダイナマイト発震は立ち下がり、パイロサイズ発震は正のピークとした。ただし、ダイナマイト発震記録のうち、立ち下がりの明瞭でない長大オフセット領域については、最初の正のピーク位置を読み取った後、一定値を減算することにより初動時刻とした。ここでは、S/N 比の高い SP2 による記録について立ち下がり時刻と正のピーク時刻とを比較した結果から、ピーク時刻から減じる値を 58ms とした。この値はオフセット距離による時刻差の変化が小さい部分 (オフセット距離 10km 以上) についての平均値である。

(d) 改良型タイムターム法による屈折波解析 (Refraction Analysis based on Modified Time-term

Method)

計 14 点の屈折波データについて改良型タイムターム法による解析を行い、受振点及び発震点タイムターム値と屈折面速度を算出した。この手法では解析対象とする屈折面が 2 次元ブロックに分割され、各ブロックに対して屈折面速度が定義される。このモデルは以下の関係式で記述される。

$$T_{ij} - \sum_k s_{k,0} \Delta_{ijk} = a_i + b_j + \sum_k \delta s_k \Delta_{ijk}$$

ここに、 T_{ij} は屈折初動走時、 a_i, b_j は発震点及び受

振点タイムターム、 $s_{k,0}, \delta s_k, \Delta_{ijk}$ は各ブロックにおけるスローネス初期値、スローネスの初期値からの偏倚量及び屈折波線長である。この受振点及び発震点タイムターム値と表層基底層速度はインバージョン ('Generalized Linear Inverse Method') によって算出される。長大展開データに対してタイムターム法を適用する場合、屈折面の傾斜による見掛け速度の変化については考慮されていない。また、解析結果として得られる屈折面形状は受振点直下にマッピングされるため、マイグレーション処理を適用する必要がある。従って、タイムターム法で得られる構造モデルは、大局的な構造変化を反映したものと考える必要がある。なお、この改良型タイムターム法解析には、オフセット距離として、第 2 層は 10.0 - 35.0km、また、第 3 層は 45.0 - 150.0km とした。また、屈折層速度を求める際のブロック区分は、第 2 層は 20km、第 3 層は 40km とした。なお、第 1 層の速度は、生駒高槻反射法処理および広角反射法処理で得られた速度解析結果を用いた。ただし、広角反射法における浅部の速度解析精度および空間方向分解能は高くないため、近畿北部 (有馬高槻断層帯付近以北) は 4.2km/s、大阪平野内 (交野断層帯と有馬高槻断層帯の間) は 2.2km/s、近畿中部および紀伊半島 (交野断層帯付近以南) は 4.2km/s と 3 ブロックに単純化した。

(e) 直線測線への投影 (Projection of Shots and Receivers to Straight Line)

本来、発震点-受振点間の可逆性を前提とした屈折法解析では直線測線を前提としている。従って、波線追跡による屈折初動解析を実施する前に、受振点位置および発震点位置を仮想直線に投影した。ここでは、仮想直線として広角反射法の重合測線を用いた。

オフセット距離の短い領域の走時については、仮想直線上の距離と実際のオフセット距離との差による影響が無視できないため走時補正を適用した。ここでは屈折面の速度および傾斜が一定であることを仮定して、オフセット距離 50km 未満の記録について、下式に従

って補正をおこなった。

$$T_{md} = T_{ic} + (T - T_{ic}) \cos \theta$$

ここに、 T_{md} 、 T_{ic} 、 T 、 θ はそれぞれ、投影処理後の屈折波走時、屈折波のインターセプト時間、読み取り屈折波走時、及び受振点-発震点方向と投影測線間の角度である。なお、オフセット距離 50km 以上の領域については、投影直線に対する受振点発震点分布の分散は測線全体のスケールに比して無視できる範囲と考えられるので、走時補正は適用していない。

(f) 波線追跡法による屈折波解析(Refraction Analysis based on Ray Tracing)

タイムタム解析結果に基づく深度構造をモデルとして、波線計算をおこなった。

(g) 深部構造を仮定したモデルによる屈折波解析(Refraction Analysis based on Ray Tracing)

タイムタム解析結果に基づく深度構造に対して、広角反射法解析結果に基づいて単純化した以下の深部境界面を設定した。深度 18km ~ 33km は区間速度 6.4km/s、深度 33km 以深は区間速度 7.4km/s (モデル北端) および区間速度 7.7km/s (モデル南端)。

(3) 生駒高槻測線反射法解析

大阪平野の高槻市から生駒市に至る区間で実施されたバイプロサイズを震源とする反射法探査について、データ解析内容および結果を記述する。データ処理の流れは 3.5.1 とほぼ同じである。

(a) フォーマット変換及びデータ編集(Format Conversion and Trace Edit)

方法は同じであるが、S/N 比が著しく低く、初動が判別できないトレースを処理対象から除外した。

(b) トレースヘッダーへの測線情報の入力(Geometry Application)

(c) 屈折波初動解析(Refraction Analysis)

上述の改良型タイムタム法による屈折初動解析を行い、受振点及び発震点タイムタム値と表層基底層速度を算出した。使用した表層基底速度を求める際のブロック区分は Loc.1 ~ Loc.234 は 1250m、Loc.246 ~ Loc.486 は 1500m、屈折波インバージョンに用いるオフセット距離範囲は Loc.1 ~ Loc.234、200-800m、Loc.246 ~ Loc.486 は 200-1000m とした。表層速度として受振点側及び発震点側共に 800ms を採用した。この値は表層速度を変化させた重合スキャンによって確定した。

(d) 初動ミュート(First-break Mute)

テーパー長、100 ms(屈折初動近傍)のパラメータによる初動抑制処理を実施した。

(e) 振幅補償(Gain Recovery)

時間関数による補償については、往復走時の 1.2 乗、また、Instantaneous AGC はウィンドー長 2000ms の振幅補償処理を行った。

(f) デコンボリューション(Deconvolution)

比較重合テストを通じて決定した、以下のパラメータを用いてデコンボリューションを適用した。

・ゼロオフセットにおけるオペレータ設計ゲート開始時刻：300ms

・ゲート長：4000ms

・オフセットトレースに対するゲートスライディング速度：2200m/s

・オペレータ長：400ms

・ホワイトニング・ノイズ：0.5%

・予測距離：4ms

(g) 共通反射点編集(Common Midpoint Sorting)

設定した重合測線にしたがって CMP 編集を行った。CMP 標高は各 CMP 内のトレースの平均標高とした。ただし平均値の算出にはオフセット距離 1000m 以内のトレースのみを用いた。CMP 間隔、25m；CMP 総数、818；および重合数平均 96、最大 255 である。

(h) 浮動基準面に対する静補正(Static Corrections to FDP)

浮動基準面に対する静補正を実施した。

(i) コヒーレントノイズ抑制処理(Suppression of Coherent Noise by Inner Mute)

今回取得されたデータでは、淀川河川敷区間およびその周辺で顕著なレイリー波が確認された。これを抑制するために、以下のインナーミュートを適用した。

・適用範囲：CDP700 ~ CDP1250

・ゼロオフセットにおけるミュート時間：0 ms

・スライディング速度：460 m/s

・テーパー長：8 ms

(j) 速度解析(Velocity Analysis)

解析点間隔を 1250m (=50CMP) とした定速度重合法による速度解析を実施した。なお、残差静補正後に再解析がなされている。

(k) NMO 補正(Normal Moveout Corrections)

速度解析によって求められた重合速度-時間の関数を時間-空間方向に内挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。同時に、ファクター 2.5 でストレッチミュートを実施した。

(l) クロスディップ補正(Cross-dip Correction)

発震及び受振測線が屈曲している場合、地下の反射点は重合測線上に収束せず、空間的な広がりを持つ。この反射点の重合測線からの偏倚が大きい場合、同一 CMP 内で反射面走時が重合測線と直交する方向への構造傾斜を反映する誤差が系統的に含まれる。クロスディップ補正は、各トレースの発震点-受振点の midpoint と

重合測線との距離 $X(m)$ に対する時間補正量を $X(m) \times a(ms/m)$ として、重合スキャンによって各 CMP 位置及び時間ウィンドーにおいて重合効果が向上する見掛け時間傾斜量を決定する解析手法である。

本測線では、淀川河川敷およびその周辺の CDP700 ~ 1000 の範囲において測線の屈曲が大きい。この範囲でクロスディップスキャンを適用した結果、CDP880 ~ 930 の範囲では 9ms/100m の西落ち傾斜を仮定した場合に反射面の連続性が向上した。CDP930 ~ 970 の区間では、基盤上面に相当する、往復走時 0.5 秒 ~ 0.6 秒の反射面に明らかな食い違いがみられるが、これはクロスディップ補正によっても解消しない。この区間は、受振測線が淀川の両岸で分断されている部分に相当し、両岸の受振測線の間には東西方向に大きなギャップがある。したがって、クロスディップスキャン結果に基づいて西落ちの傾斜を仮定すれば、この区間では受振測線直下の基盤深度は実際に異なっているはずである。事実、重合断面上では、より西側に位置する Low 側の基盤面が High より深くなっており、西落ち傾斜の仮定に整合する。

(m) 残差静補正 (2D Residual Static Corrections)

NMO 補正後の CMP アンサンブルを入力として、基準トレースとの相互相関関数から得られる最大ラグ値を用いて 'Surface-consistent' な発震点、受振点残差静補正量を LTI (Linear Travel- time Inversion) によって統計的に計算し、これを適用した。時間シフトの最大許容値は 12ms、時間ウィンドーは 100-800ms とした。

(n) 共通反射点重合 (CMP Stack)

共通反射点アンサンブルに関して、50 - 5,000m の有

効オフセット距離に関して水平重合処理を実施した。

(o) 周波数 空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

周波数-空間領域に於いて複素型予測フィルターを設計、適用して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる以下の F-X 予測フィルター処理を実施した。オペレータ長、3 CDPs；空間ウィンドー長、30 CDPs；時間ウィンドー長、1000 ms とした。

(p) 帯域通過フィルター (Band-pass Filter)

反射波の有効周波数帯域を周波数成分解析によって決定し、オペレータ長、400 ms、周波数通過帯域、6/8 - 25/30Hz の零位相帯域通過フィルターを採用した。

(q) 基準面補正 (Datum Corrections)

浮動基準面から基準面への、時間補正を適用した。

(r) 周波数-空間領域差分時間マイグレーション (F-X FD Time Migration)

最大周波数、30Hz；下方外挿時間ステップ、8 ms とした。

(s) 深度変換 (Depth Conversion)

重合速度プロファイルから、時間及び空間方向に平滑化した平均速度分布を用いて、'Vertical Stretch' 法による深度変換を実施した。

以上の処理ステップを逐次経ることによって、重合処理断面図、時間マイグレーション断面図、および深度変換断面図 (Fig. 6) が得られた。

(4) 高槻亀岡測線低重合反射法解析

高槻市から亀岡市へ至る区間で実施されたパイプロサイズを震源とする低重合反射法探査について、データ解析内容を記述する。解析の流れは前述の反射法と

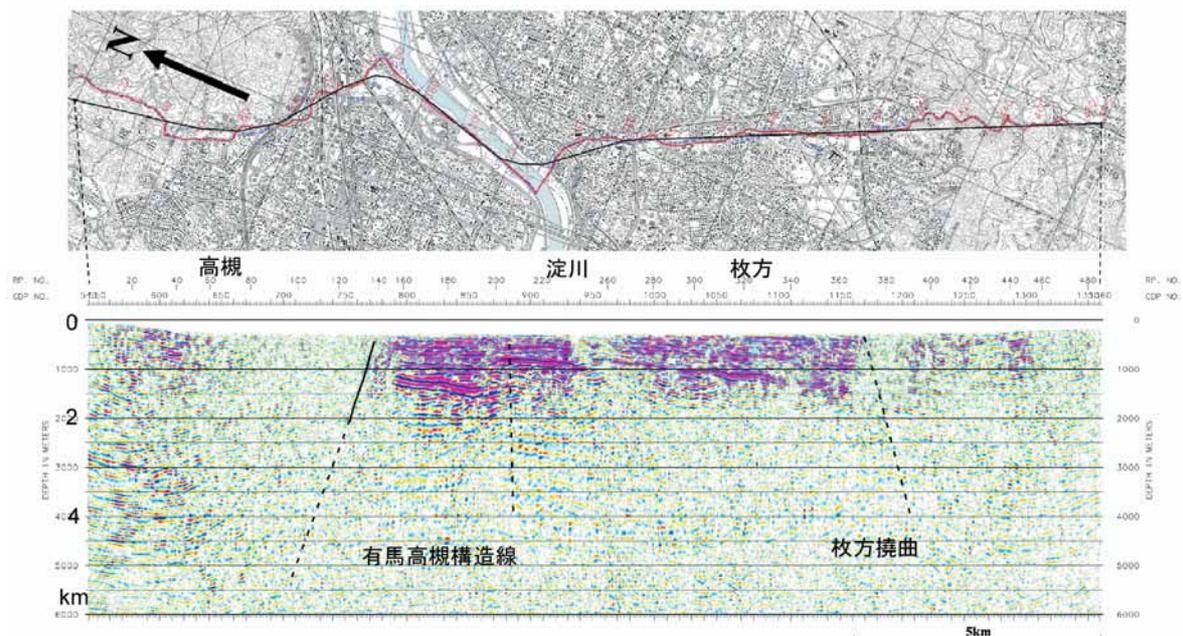


Fig. 6 Depth section of reflection survey across the Arima-Takatsuki Tectonic Line (ATL). A graben-structure is obtained at ATL.

同じである。重合速度には、反射法測線速度解析結果、広角反射法速度スキャン結果を用いた。以下の手順で解析を行ったが、記載がない項目は前述の解析と同じである。

(a) データ編集 (Format Conversion and Data Compilation)

(b) トレースヘッダーへの測線情報の入力 (Geometry Application)

(c) 屈折波初動解析 (Refraction Analysis)

改良型タイムタム法による屈折初動解析を行い、受振点及び発震点タイムタム値と表層基底層速度を算出した。表層基底速度を求める際のブロック区分は5km、屈折波インバージョンに用いるオフセット距離範囲は500-3000mとした。

(d) 重合測線の設定 (Definition of CMP Stacking Line)

重合測線を重複する生駒高槻反射法測線になめらかに接続するように設定された。CMP 標高についても同様に、生駒高槻反射法測線の CMP 標高に連続的に接続するように設定した。CMP 間隔は25m、CMP 総数は711、重合数は平均8、最大23である。

(e) 浮動基準面に対する静補正 (Static Corrections to FDP)

(f) 初動ミュート (First-break Mute)

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で、テーパ長200ms、ミュート位置のスライディング速度3.8km/sのパラメータによる初動抑制処理を実施した。

(g) 振幅補償 (Gain Recovery)

幾何減衰補償は球面発散補償とし、Instantaneous AGCはウィンドー長4sとした。

(h) デコンボリューション (Deconvolution)

比較重合テストを通じて、以下のパラメータが採用された。

- ・ゼロオフセットにおけるオペレータ設計ゲート開始時刻：2000ms [Time-Variant]

- ・ゲート長：5000ms

- ・オフセットトレースに対するゲートスライディング速度：4.2km/s

- ・オペレータ長：400ms

- ・ホワイトニング・ノイズ：0.5%

- ・予測距離：32ms

(i) CMP 重合側線への投影 (Projection of Shot Records onto CMP Stacking Line)

ショット毎に CMP 重合側線に投影した。

(j) NMO 補正 (Normal Moveout Corrections)

ファクター、2.1のストレッチミュートを適用した。

(k) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

オペレータ長は400ms、周波数通過帯域は1/2 - 15/20Hzの零位相帯域通過フィルターを適用した。

(l) 周波数 空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

オペレータ長、9CDPs、空間ウィンドー長、30CDPs、時間ウィンドー長は1000msのF-X予測フィルター処理を実施した。

(m) トレースミキシング (Trace Mixing)

反射イベントの連続性を上げるため、5Trace Mixing、weight = {1, 1, 1, 1, 1}のトレースミキシングを適用した。

(n) 共通反射点編集 (Common Midpoint Sorting)

上記(m)までが各共通発震記録毎に別個に処理をおこなった過程である。以降で重合処理をおこなうため、既にCMP測線に投影されている各共通発震記録を結合し、再度CMP編集を行った。

(o) 共通反射点重合 (CMP Stack)

共通反射点アンサンブルに関して、重合オフセット距離範囲、50 - 10,000mの有効オフセット距離に関して水平重合処理を実施した。

(p) 周波数 空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

オペレータ長、9CDPs、空間ウィンドー長、30CDPs、時間ウィンドー長、1000msのF-X予測フィルター処理を実施した。

(q) 基準面補正 (Datum Corrections)

(r) キルヒホッフ型時間マイグレーション (Geometry-oriented Kirchhoff Time Migration)

最大アパチャー距離、6km、最大傾斜角度、60度のキルヒホッフ型時間マイグレーションを適用した。

(s) 深度変換 (Depth Conversion)

NMO補正処理に用いた速度を平均速度に変換し、これを用いて 'Vertical Stretch' 法による深度変換を実施した。

以上の処理ステップを逐次経ることによって、重合処理断面図、時間マイグレーション断面図、および深度変換断面図が得られた。

4. 結論ならびに今後の課題

近畿圏において近畿地方を縦断する測線に大規模地下構造調査を実施した。本報告では、調査実施の詳細を主に記述した。結果に対する考察は別に報告するよていであるが、いかに主な結果を記す。ただし、解析結果は序報的なものであって、今後さらに詳細な解析が必用である。とくに、屈折法の解析は基礎的なところにとどまっております、より進んだ解析により、地震波速度モデルの詳細な決定が可能である。

以下簡単に結果と今後の課題について述べる。これまでの解析結果により、フィリピン海プレートが近畿

北部まで潜り込んでいることが明らかになった。このことは近畿圏の大地震発生に対する応力減としてのプレート運動の枠組みとして重要である。また、地域によってプレートからの反射波の振幅、連続性が異なり、プレートの性質の相違が検出された。紀伊半島南部の東南海地震の震源域では、反射波が強く、ヒンジラインより北ではやや弱くなる。プレート内の地震活動が見られない近畿中北部では、反射波は弱く、プレートの沈み込みの角度も異なっているようである。さらに、低周波地震発生域では部分的にプレート上面からの反射波が見られない。このように、詳細な調査によって、プレートのカップリングに関する情報が得られる可能性が十分にある。さらに広域に調査を行えば、プレート間地震についての面的な変化が明らかになると思われる。また、地殻全体の構造が得られたので、強震予測には特に長周期地震動に対する計算に有効な情報となる。

一方、近畿北部ではマントル内の 50-70km 付近に北から南に傾斜する反射面が見られる。これは鳥取県西部地域で初めて見いだされたものに酷似しており、プレートとの関係が注目される。この反射面は上部地殻で発生する内陸大地震と一見無関係に見えるが、プレートの影響は広範囲に及び、地殻上部へも影響すると考えられるので、この面は重要な意味を持つ可能性がある。プレートから放出された熱水がこれらの反射面を構成し、ここから放出される流体やガスが上部地殻の破壊による大地震につながると考えられるからである。このような上部マントルを含めた結果が、被害地震の発生機構の解明をもたらす、その結果としての挙振動の予測に役立つと考えられる。

今回の調査で、地殻の下部には S 波の反射面として知られている反射面が広範囲にあることがわかった。この面は 25-30km の深さにあって、15-20km の地殻内地震発生の下限とは一致しない。この面は平らか緩やかに北に向かって傾斜しているが、これは中央構造線や有馬高槻構造線など大断層の形成に影響していると考えられる。活断層が地震の発生しない下部地殻に連続しており、温度が高いその深さですべりが地殻上部の大地震を引き起こす可能性がある。この場合はプレスリップが観測される可能性がある。さらに、すべ裏面が広範囲に及び地震が単発では収まらず、強震動の予測も単独の断層ではなく、断層群を考えて実施すべきであろう。

浅い部分については、有馬高槻構造線付近の反射法探査によって、この地域はグラベン構造をしていることがわかった。基盤までの深さは 1km 程度である。このような構造が面的にどの程度継続するかは重要であり、既存の資料などによると、大阪の北部まで断続

的に続いているようである。このグラベンの南側の断層が活断層であるかどうかの検証も重要になる。この南側の断層は住宅密集地の中に存在する場所が多く、活動するとすれば、それによる被害は大きいと思われる。強震動の予測にこのような構造と断層を考慮する必要があるであろう。

さらに、2004 年度は東京大学地震研究所によって、東西測線(大阪 - 鈴鹿測線, Fig.1)でも調査が行われ、南北に走る断層を串刺しにするような構造が得られている。これらのことを考慮して、近畿圏における全体の応力場と活断層の関係の解明が望まれる。また、海洋開発研究機構が実施した海域のデータとの併合処理によって、海陸境界で発生する巨大地震について、前述のように反射強度からカップリングの推定などが可能かもしれない。

海洋開発研究機構とは共同で調査を実施した。両者の調査は別計画であるが、地震災害の軽減化を目的としている点では一致している。実施に当たっては、海陸を結ぶ調査であるため、日程など困難な面もあったが、共通の目的をもって、良好な記録の取得に努めた。その結果、海陸境界領域の構造調査に有用なデータが得られている。今後、これらの解析によって巨大地震発生域の構造が明らかになると期待される。

また、本計画では自然地震の観測による構造調査が進行中であり、実施内容は別稿で報告される。2006 年度には近畿圏において、さらに制御震源による調査が予定されている。この調査は 2004 年度の調査の継続であり、いくつかの活断層の深部調査として実施される予定である。

謝辞

調査の実施に当たり、大阪府総務府危機管理室、京都府総務部防災室、奈良県総務部消防防災課、和歌山県総務部危機管理局、三重県地域振興部および国土交通省淀川河川事務所など多くの機関の担当者の方々に大変お世話になりました。また、関係市町村の担当者の方々にもお世話になりました。記して感謝の意を表します。海洋開発研究機構とは共同観測を実施するに当たり、調査計画の調整を行った。また、実施の際には、緊密な連絡が必要であった。関係者にお礼申し上げます。

この計画は大大特 の大都市圏地殻構造調査研究運営委員会とその中の制御震源地殻構造探査運営委員会のもとで実施されている。

Seismic Surveys of Structure in the Kinki District, Japan, Under the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas (DAIDAITOKU) I

Kiyoshi ITO, Hiroshi SATO*, Yasuhiro UMEDA, Kazuo MATSUMURA, Takuo SHIBUTANI, Issei HIROSE, Tomotake UENO, Kanako MORISHITA, Tanio ITO**, Naoshi HIRATA*, Taku KAWANAKA***, Toru KURODA, Susumu ABE***, Shigeyuki SUDA***, Hideo SAITO***, Takeshi IKAWA***

*Earthquake Research Institute, University of Tokyo

**Faculty of Science, Chiba University

***JGI, Inc

Synopsis

A program was started by the Headquarters for Earthquake Research Promotion Japan in 2002 for the purpose of the reduction of seismic hazard in the metropolitan areas. As a part of this program, deep seismic profiling was begun in order to reveal the regional characterization of metropolitan areas, from 2002 as a five-year project. The final goal of the project is to produce a map of more reliable estimation of strong ground motions in the Kanto and Kinki areas. The surveys required for this project are accurate determinations of a source, a propagation path and a site response for earthquakes. More specifically, purposes of the surveys are to determine the accurate positions and geometry of source faults, subducting plates and mega-thrust faults, crustal structure, seismogenic zone, sedimentary basins, and 3D velocity structures. Reconstructions of source fault and velocity models leads to more realistic 3D estimation of strong motion seismic waves. The surveys were conducted in the fiscal year of 2002-2003, in the Kanto area. Deep seismic profiling was extensively carried out along the 4 lines. In the fiscal year of 2004, the survey area was shifted to the Kinki area. Surveys along two measure lines, Osaka-Suzuka (E-W) and Shingu-Maiduru (N-S) lines were conducted by ERI, Univ. of Tokyo and DPRI, Kyoto Univ. This is a very preliminary report for the Shingu-Maiduru (N-S) line of about 240km, including technical procedure of the survey. In the profile, 13 shots (100-700kg) of dynamite and 3 multivibrator (a few hundreds of sweeps) with 4 vibroseis trucks were used for refraction and wide-angle reflection surveys. More than 2000 seismometer stations were set at intervals of 50-100m all along the line. Clear first arrivals and reflections from the Philippine Sea plate and reflectors in the crust were obtained at almost of the stations. The reflections from the Philippine Sea plate are very clear beneath Kii Peninsula and are still visible under the northern Kinki district at depth of about 50-70km. A reflection survey was also carried out across the Arima-Takatuki Tectonic Line. The survey line is about 30km long and a graben-like structure of the fault was clearly revealed.

Keywords: underground velocity structure, crustal structure, controlled source seismology, active fault, Philippine Sera plate, strong motion evaluation