

c) データ取得内容

i) 有線テレメトリーG-DAPS4 システム設置作業 (図 7)

広域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 135km)内で、Phase-1 から Phase-3 までの全期間において有線テレメトリーシステムが設置された区間は大阪測線の 53km である。前述の様に、伊勢平野における鈴鹿測線の 26km 区間については、広域屈折法及び広角反射法データ取得においては独立型受振システムが、パイプレータ反射法及びパイプレータ屈折法のデータ取得においては有線テレメトリーシステムが設置された。有線テレメトリーシステムによる受振区間では、主として路肩及び河川の河川敷及び堤防道路に沿って設置された。大阪測線における天野川、木津川、鈴鹿測線における安楽川及び鈴鹿といった河川幅が広い箇所での横断に際しては、測線に近接する橋梁に有線延長ケーブルが敷設された。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。各受振点では原則として 9 個の受振器(ジオフォン)が約 2m 間隔で設置され、25m の線型アレイが構築された。受振器からの信号が集約されるデータ伝送装置(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。但し、大阪測線の枚方市天野川周辺、交野-長尾丘陵の枚方市藤阪線、田辺丘陵の国道 307 号線周辺の一部において、アルミスタンドを用いた 3 個直列接続の受振器が併用された。また、甲賀測線においては、京都府宇治田原町銘城台-三重県伊賀市阿山町槇山間の約 25km の区間では、3 個直列接続の受振器がバンチング設置された。

大阪測線の受振器設置作業は平成 16 年 9 月 14 日に開始されたが、屈折法大阪パイプレータ測線と広域屈折法ダイナマイト測線のデータ取得終了まで 24 日間に及ぶ長期間の展開を前提として、側溝及び用水路路肩への有線ケーブル埋設作業、受振測線が幹線県道及び国道を横断する際の信号柱等を用いたケーブル敷設及び鉄道横断に関わるケーブル敷設作業が、所轄関係機関の承認を経て実施された。また、淀川河川敷及び国営河川公園の約 31km の区間では、国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所から保安に関わる要請を受け、受振器のバンチング設置、調査内容を表示したラベルの機材への添付、粘着テープを用いた有線テレメトリーケーブルの固定等の措置を実施した。伊勢平野の受振器設置作業は平成 16 年 10 月 1 日に開始され、広域屈折法及び広角反射波データ取得の時点では独立型受振システム、屈折法及び反射法鈴鹿測線データ取得の時点では有線テレメトリーシステムに接続された。尚、10 月 20 日の台風 23 号の通過に伴って、鈴鹿川右岸河川敷区間が冠水して展開資機材に一部被害が生じた。

前述の様に、反射法大阪パイプレータ測線の調査測線基点は、大阪市此花区舞洲に位置する(独)防災科学技術研究所の高感度地震観測網'Hi-Net'の此花観測井近傍であり、先新第三系基盤岩深度は 1565m である。本調査の大阪平野における坑井及び既存の地震探査データを参照し、先新第三系基盤面を、反射法及び屈折法で明確にイメージングするためには、最大オフセット 9~10km が必要であると判断した。その結果、反射法データを用いた屈折トモグラフィ処理も念頭に置いて、南側 9.0km、北側 9.0km の対称中点展開(各展開のチャンネル数は 360 点)を標準展開として採用した。また、同様に伊勢平野においても既存の地震探査データを参照し、南側 8.0km、北側 8.0km の対称中点展開

(各展開のチャンネル数は 320 点)を標準展開として採用した。尚、反射法甲賀バイブレータ測線モニター区間(測線長 3km)及び反射法伊賀測線(測線長 13km)では、いずれも固定展開によってデータが取得された。



図 7 RP.457 守口市佐太西地区 淀川河川敷。淀川右岸河川敷の約 29.5km の区間においては、保安上の制約から、受振器は原則として 9 個組をバンチング設置した。



図 8 RP.5238 三重県鈴鹿市小田町地区 安楽川右岸堤防道路。ダイナマイト発振作業において設置された独立型レコーダ MS2000 データ収録装置。

ii)独立型受振システム設置作業（図 8）

広域ダイナマイト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 135km)内で、独立型受振システムの設置区間の測線長は 82km であり約 61%を占めている。今回採用された(株)地球科学総合研究所の独立型受振システム MS-2000D は、A/D 変換ユニット、受振器からの信号を入力するアナログケーブル、コンパクトフラッシュメモリーを内蔵したデータ収録ユニット、GPS システム及びリチウムバッテリーユニットから構成されている。このシステム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、非常に自由度の高い受振点位置の設定が可能である。但し、このシステムは震源時間とは同期しない連続観測を行うために、発振時の品質管理が困難である。従って、本調査では前述の様に、反射法甲賀低重合バイブレータ測線データ取得時には、滋賀県甲賀市甲南町上馬杉地区 3.0km の有線テレメトリーシステムによるデータが重複して取得されると共に、大阪測線及び鈴鹿測線との接続部分では、それぞれ 10.5km 及び 8.0km の区間で有線テレメトリーシステムによるデータ取得が実施された。

iii)S 波観測機材設置作業

Phase-1 の反射法大阪バイブレータ測線の取得データから大阪平野の先新第三系基盤までの堆積構造を詳細に把握し、併せて地震波速度モデルを構築することは、強震動予測の観点から非常に重要な課題である。P 波速度構造については鉛直動受振器によって取得された反射法及び屈折法データによって推定することが可能であるが、S 波速度構造に関しては水平動受振器によるデータが不可欠である。本調査では Phase-3 のデータ取得期間において、反射法大阪バイブレータ受振測線と重複する、大阪府守口市大日、佐太西、仁和寺地区、同寝屋川市太閤地区、同枚方市三矢地区、枚方河川公園[RP.420-594 の 8.75km]の区間で、独立型データ記録装置である LS8200SD によって P 波バイブレータ及び S 波ミニバイブレータによるデータ取得を行った。S 波観測受振点は 50m 間隔で計 175 点設定され、LS8200SD(4.5Hz 一成分水平動受振器 GS-11D)が展開設置された。GS-11D の震動方向は南北に設定された。

S 波ミニバイブレータの発振点は VP.425,507,594 の計三点であり、スイープ周波数は 6-40Hz(Linear-up)、スイープ長は 16 秒、スイープ回数は 100-300 回である。尚、S 波データ取得時には、有線テレメトリーシステムによって鉛直動成分(SM-7,10Hz)のデータも併せて収録された。

d) ダイナマイト発振作業

Phase-3 における屈折法及び広角反射法ダイナマイト発振データは、滋賀県内の計 4 点で取得された。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を採用した。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、発破点側では観測者と同型の SSCS から開始信号が発破同期装置 SSS-202 に送られ、ブラ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MS2000によって、データ収録が行われた。

e) バイブレータ発振作業

本調査におけるバイブレータ発振は、探査対象及び測線毎に標準発振仕様が設定された。以下に、各測線別に発振作業の内容を記述する。

i) 反射法大阪バイブレータ測線

反射法大阪バイブレータ測線(発振点数 345 点)では、バイブレータ 4 台を震源として約 100m 間隔に発振点を選点した。各発振点において、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が、調査測線近傍の建造物、構築物、路面強度及び埋設管設置状況についての保安上の配慮から、標準発振エネルギーを確保できた発振点は約 52% に過ぎなかった。スイープ周波数(6-40Hz)及びスイープ長(20 秒)については、35Hz 以下の低周波数帯域におけるエネルギー確保を目的として設定された。また、バイブ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。図 9 に今回の測定作業で採用された発振パターンの模式図を示す。

前述の様に、大阪平野においては大阪市此花区舞洲緑地から枚方市新町天野川河口までの約 31km の区間では淀川沿いに発振点が設定されたが、下記の区間においてはオフセット発振区間及びミニバイブレータによる表層補正用補完発振点が設定された。(新十三大橋-長柄橋間)この区間では淀川左岸の河川敷に十分な幅が無く、大型車両の進入が不可能であるため、右岸側の緊急避難道路に 14 点のオフセット発振点を設定した(図 10)。

但し、表層補正用のデータを取得するため、左岸堤防上において小型バイブレータによる発振点を 4 点確保した。

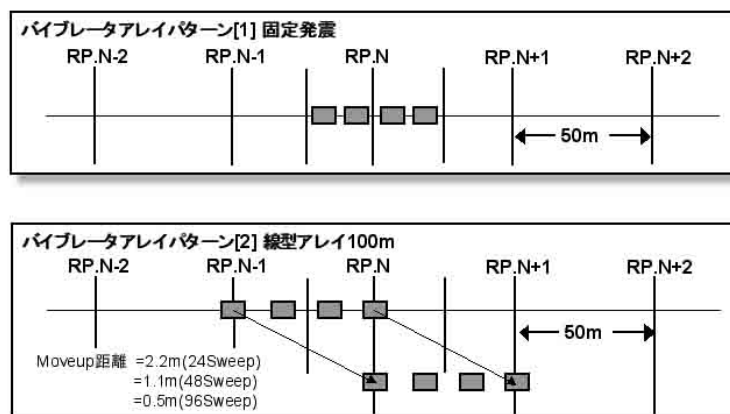


図 9 バイブレータ発振アレイパターン

(枚方緑地公園区間)この区間では堤防側の緊急避難道路あるいは草地における発振が困難であるため、河川側の緑地公園内においてバイブレータ 2 台による低出力発振を実施

した。

尚、寝屋川市点野野草地区、太閤緑地地区、枚方市三矢緑地地区及び枚方河川公園(Loc.505-621)の地域では、バイブレータ震動が広範囲に亘って表層にトラップされると共に大きく増幅され、発振エネルギーの低減を約 90%の区間において行わざるを得なかった。また、通行車両が顕著な区間である国道 1 号線枚方バイパス(VP.666-715)及び国道 307 号線京都府京田辺市及び城陽市地域(VP.854-1061)では昼間の交通規制が困難であったため、それぞれ、深夜作業及び 19 時以降の準夜間作業を実施し、円滑な発振作業の実施を図った。



図 10 VP.10240 淀川右岸河川敷。新十三大橋-長柄橋の約 2.8km の区間においてオフセット発振作業を実施した。写真正面は大阪駅周辺地域である。

ii) 屈折法大阪バイブレータ測線

大阪平野、交野丘陵及び長尾丘陵内の屈折法バイブレータ発振点は 6 点である。屈折法データ取得時には、有線テレメトリー受振点区間 53km に加えて、独立型受振システムを京都府宇治田原町銘城台から滋賀県甲賀市信楽町神山まで 28km の区間に設置し、最大約 91km の展開を確保した。

屈折法発振においては、反射法発振よりもさらに 30Hz 以下の低周波数帯域におけるエネルギー確保を目的として、スイープ周波数 6-30Hz 及びスイープ長 24 秒が採用された。大阪平野における淀川河川敷における集中発振点 SP-1V, SP-2V, SP-3V 及び SP-4V で 19 時以降の準夜間に発振作業が実施され、国道 307 号線沿いの集中発振点 SP-5V 及び SP-6V では午前 0 時以降の深夜に発振作業が実施された。図 11 は、大阪府大阪市此花区舞洲緑地-京都府城陽市奈島間でのバックグラウンドノイズの時間及び空間変化を示したものである。大阪市、守口市、寝屋川市及び枚方市の人口密集地である測線東部の区間では、19 時-3 時までの夜間の平均ノイズレベルは、9 時-17 時の昼間と比較して 12~20dB 平均値が低いことから、準夜間及び深夜の発振作業は有効であったことが示唆される。

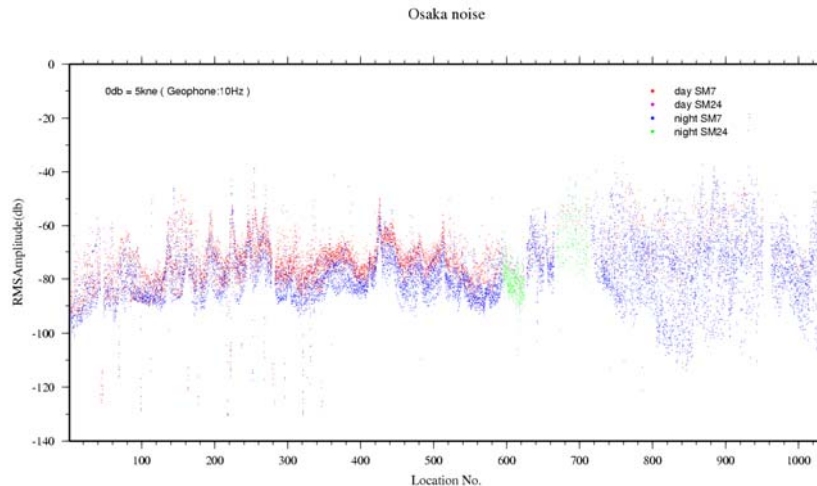


図 11 バックグラウンドノイズの時間及び空間変化
(大阪府大阪市此花区-京都府城陽市区間)

iii) 反射法甲賀低重合バイブレータ測線

甲賀低重合測線区間では、古琵琶湖層群、丹波層群砂岩頁岩互層、柳生-信楽花崗岩類及び鈴鹿花崗岩類がパッチ状に地表面を被覆し、沖積層の存在箇所はごく一部の地域に限定されていることから、堆積層内における発振エネルギーの減衰は小さく、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 17km 程度までの上部地殻の構造把握が調査目的とされた。バイブレータ 4 台を震源として約 500-750m 間隔に配置された発振点において、ホールダウンウェイトに対する制御出力を 90% として 40 回のスイープ回数を標準仕様とした。また、スイープ周波数及びスイープ長は屈折法大阪測線と同様の仕様が採用された。また、頓宮断層の存在が推定されている滋賀県甲賀市甲賀町東部の 2.1km の区間では、浅部断層面の抽出を目的として発振点間隔 50m の稠密発振データ(36 点)を取得した。

受振測線には独立型受振システムが配置され、前述の様に、滋賀県甲賀市甲南町上馬杉地区において約 3.0km 区間の品質管理用有線テレメトリーモニター測線が追加して設定された。全般的にこの地域の基底ノイズレベルは図 12 に示される様に低く、大阪平野主要部と比較すると少なく見積もっても 20-24dB (1/10) 程度の低いバックグラウンドノイズが確認された。

この甲賀低重合測線においては、家屋密集地は京都府宇治田原町市街地、滋賀県甲賀市甲賀町櫟野地区、同甲賀市土山町笹路地区等に限定され、全測線の 93% の区間では発振エネルギーを低減させることなく 40 スイープ以上の発振回数を確保することが可能であった。

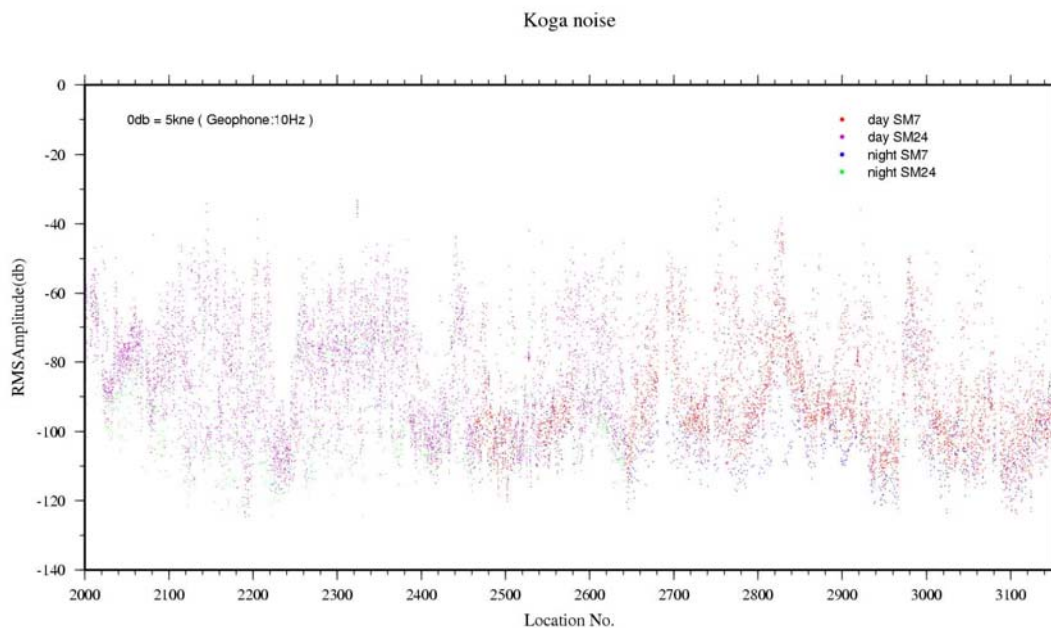


図 12 バックグラウンドノイズの時間及び空間変化
京都府宇治田原町-滋賀県甲賀市区間

iv) 屈折法鈴鹿バイブレータ測線

鈴鹿山地-伊勢平野の屈折法バイブレータ発振点は下記の 4 点である。この屈折法データ取得時には、有線テレメトリー受振点区間[Loc.5001-5537]の 26km に加えて、独立型受振システムが滋賀県甲賀市甲南町上馬杉から三重県亀山市安坂山町安楽川源流まで 19km の区間に設置され、最大約 45km の展開が確保された。SP 11V から SP 14V の発振回数は、それぞれ 200 回、125 回、100 回、175 回であった。

これらの屈折法発振においては、大阪測線における Phase-2 の屈折法発振と同じ発振仕様が採用された。図 13 は、伊勢平野区間におけるバックグラウンドノイズの時間及び空間変化を示したものである。鈴鹿山地側の鈴鹿測線西端部 5.0km と鈴鹿川南部の水田地帯に相当する鈴鹿測線東端部 5.5km では比較的ノイズレベルは滋賀県甲賀地域と同レベルまで低いものの、鈴鹿測線中央部の約 15km の区間においては大阪平野とほぼ同等のノイズレベルを示し、しかも昼夜のノイズレベルの有意な差異は見出されなかった。これは、測線周辺で 24 時間操業する工場群の振動がノイズレベルを規定しているためである。従って、伊勢平野における屈折法発振作業では、SP-11V において深夜作業を実施したもの、SP-12V 及び SP-13V については反射法データ取得終了直後の 17 時以降に発振作業を実施した。尚、SP-14V については台風 23 号の到来を考慮して、昼間作業とした。

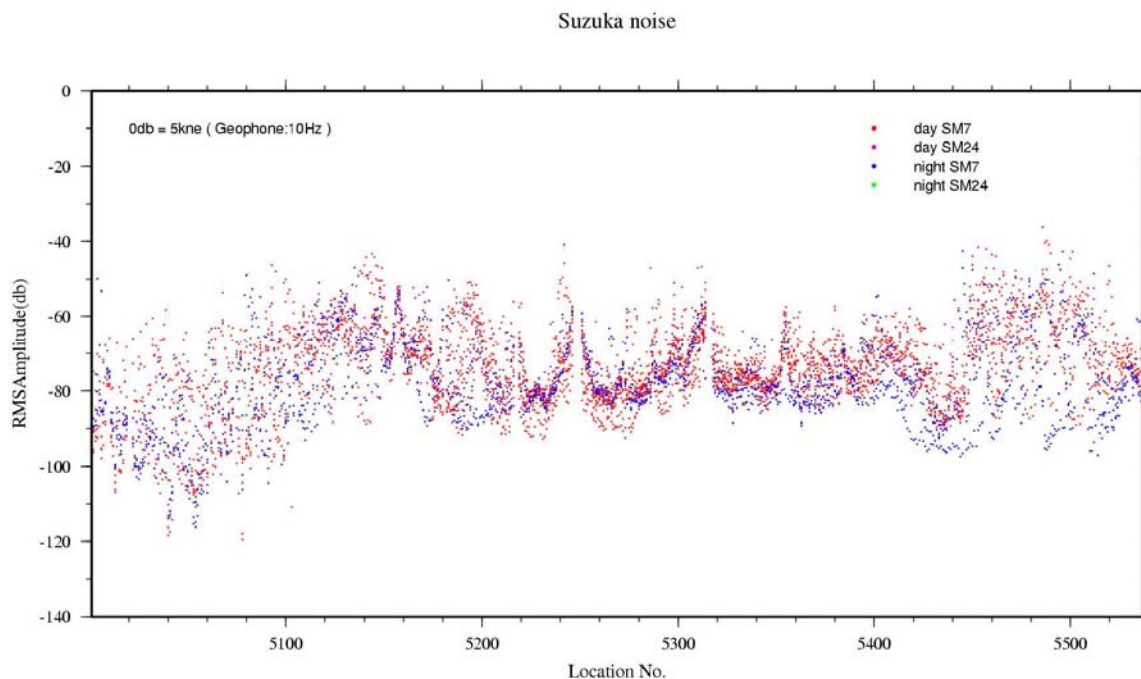


図 13 バックグラウンドノイズの時間及び空間変化
三重県亀山市-同鈴鹿市区間

v)反射法鈴鹿バイブレータ測線

反射法鈴鹿バイブレータ測線(発振点数 172 点)では、大阪測線と同様にバイブレータ 4 台を震源として約 100m 間隔に発振点を選点した。各発振点において、ホールドダウンウェイトに対する制御出力を 90%として 16 回のスイープを行うことを標準仕様としたが、調査測線近傍の建造物、構築物、路面強度及び埋設管設置状況についての保安上の配慮から、こうした箇所では標準発振エネルギーを低減させた。但し、測線が設定された県道 302 号亀山停車場石水溪線、安楽川及び鈴鹿川周辺の堤防道路及び河川敷の発振条件は良好であり、全測線の 83%の区間では発振エネルギーを低減させることなく 16 スイープ以上の発振回数を確保することが可能であった。尚、測線西端である鈴鹿山地から東へ 6.5km の区間では、南北走向の鈴鹿東縁断層系列に属する断層群が測線を南北に横断している。本調査では、この断層帯の深部形状の把握を目的として、準多重発振点を計 8 点が設定された。スイープ周波数及びスイープ長については屈折法と同様の仕様が採用された。

vi)反射法伊賀バイブレータ測線

伊賀測線は柘植川の北側を西南西-東北東方向の走向で存在する木津川断層系の深部延長の把握を目的として設定された(発振点数 89 点)。各発振点において、ホールドダウンウェイトに対する制御出力を 90%として 6-12 回のスイープを行うことを標準仕様としたが、名阪国道以北では、阿山町田中、馬田及び玉瀧の各地区では測線沿いに家屋密集地が点在し、調査測線全体で見ると標準出力が可能な発振点は全体の 64%であった。また、測線北部の約 4.0km は古琵琶湖層群下部の露頭が確認されている区間であるが、発振点近傍の表土あるいは盛土にトラップされたエネルギーのレベルが高く、発振出力を低減せざるを得なかった。

3) 調査仕様

表1 反射法、低重合反射法、屈折法/広角反射法データ取得仕様一覧

調査項目/測定諸元	反射法地層探査			低重合反射法地層探査			屈折法及び広角反射法地層探査		
	大坂測線 Phase-1	伊賀測線 Phase-5	納波測線 Phase-7	甲賀低重合測線 Phase-4	屈折法大坂測線 Phase-2	屈折法納波測線 Phase-6	屈折法ダイナマイト測線 Phase-3		
測線長	53.0km(道路沿い)	13.5km(道路沿い)	26.0km(道路沿い)	56.0km(投影測線)	約79.0km	約44.0km	約135.0km		
調査測線位置概要	淀川河口南の大坂市此区舞洲線地から淀川沿いの市道及び河川敷を用いて枚方市天野川河口まで測線を設定。枚方市以東は、天野川堤防国道1号線、舞谷川沿いの枚方市新道、国道17号線、国道307号線を経て、城陽市巾地区に至る。	滋賀県甲府町下町杉地区南の三浦川沿いの市道及び河川敷を用いて、伊賀市東部具家東で川敷及び河川敷の間に約200mの測線を設定。測線西端は302号線沿い、亀山石水沢に至る。	船橋港を測線東端の基点とし、船橋川沿いの約5.0kmの区間を伊勢平野水田地帯に、以西は伊勢平野水田地帯、以東は河川敷及び河川敷の間に約200mの測線を設定。測線西端は302号線沿い、亀山石水沢に至る。	京都府宇治市原町東部の口地区を測線東端の基点とし、国道307号線沿いに東進し、滋賀県との県境である黒白峠を越えて伊賀市に入る。さらに、鞍馬山を越えて伊賀市に入る。伊賀市東部の水田地帯を経て、土山町山女原地区から船橋山地区を越える。	バイプレータ反射法大坂測線、バイプレータ反射法甲賀低重合測線(京都府宇治市原町東部の口-滋賀県伊賀市原町東部の山女原地区から船橋山地区を越える)	バイプレータ反射法甲賀低重合測線(滋賀県伊賀市原町東部の山女原地区から船橋山地区を越える)	全区間バイプレータ反射法大坂測線、バイプレータ反射法甲賀低重合測線、バイプレータ反射法大坂測線、バイプレータ反射法甲賀低重合測線		
発震系パワーマータ	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	バイプレータ(含HEMI)	ダイナマイト(純底発震用) 100kg(SP-7D,8D,9D) 200kg(SP-10D)	
ダイナマイト発震量	-	-	-	-	-	-	-		
バイプレータ台数	4台	4台	4台	4台	4台	4台	4台		
標準発震点間隔	100m	100m	100m	750m	-	-	-		
発震区間	約50km(道路沿い)	約20km(道路沿い)	約24km(道路沿い)	約48km(道路沿い)	6点	4点	4点		
スイープ長	20 sec	20 sec	20 sec	24 sec	24 sec	24 sec	-		
ダイナマイト発震孔深度	-	-	-	-	-	-	-	35.0-45.0m	
標準発震回数/発震点	12回	6回	16回	40回	500回(SP-1V,6V) 1000回(SP-2V,3V,4V,5V)	200回(SP-1V,14V) 1000回(SP-12V,13V)	-		
スイープ周波数	6~40Hz	6~50Hz	6~40Hz	6~30Hz	6~30Hz	6~30Hz	-		
バイプレータレイ長	B-B	B-B	B-B	B-B	B-B	B-B	-		
測線長に対する発震点設定割合	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	90.0%	90.0%	-		
総発震点数	345点	88点	169点	68点	6点	4点	4点		
受振系パワーマータ	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	50m(原則)	
受振器種別	SM-7 10Hz	SM-7 10Hz	SM-7/SM-34-3S 10Hz	SM-7/SM-34-3S 10Hz	SM-7/SM-34-3S 10Hz	SM-7/SM-34-3S 10Hz	SM-7/SM-34-3S 10Hz		
受振器数/受振点	3-9個組	3-9個組	3個組	3個組	3個組	3-9個組	3-9個組		
展開パターン	対称中点展開	対称中点展開	対称中点展開	対称中点展開	対称中点展開	対称中点展開	固定展開	固定展開	
展開長	10.0km-10.0km	13.5km	7.0km-7.0km	56.0km	79.0km	44.0km	135.0km	135.0km	
受振測線長(GDAPS-4A)	53.0km	13.5km	26.0km	11.0km	53.0km	26.0km	53.0km	53.0km	
受振点数(GDAPS-4A)	1060点	270点	520点	220点	1060点	520点	1060点	1060点	
受振測線長(MS2000D)	12.0km	7.0km	7.0km	64.0km	26.0km	18.0km	82.0km	82.0km	
受振点数(MS2000D)	240点	-	140点	1280点	200点	360点	1640点	1640点	
受振点数(S波観測)	-	-	-	-	200点	-	-	-	
総受振点数	1300点	270点	660点	1500点	1780点	880点	2700点	2700点	
展開設定に関する特記事項	MS2000は測線東端の甲賀低重合測線との接合部で使用	南端は京都大学が1986年に実施した86-1測線との交点を持つ	MS2000は測線西端の甲賀低重合測線との接合部で使用	一部発震区間においてモニター用有線システムでデータ収集を実施	-	伊勢平野区間では有線システムを用いる	伊勢平野区間では独立型受振システム(MS2000)を用いる		
記録系パワーマータ	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)	GDAPS-4A(有線テレメトリシステム)		
サンプリングレート	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	
チャンネル数	400(標準)	270(標準)	280(標準)	60(標準)	1060(高定)	520(高定)	1060(高定)	1060(高定)	
Diversity Edit パラメータ	W=36.0sec, α=3.0	W=36.0sec, α=3.0	W=36.0sec, α=3.0	W=40.0sec, α=3.0	W=44.0sec, α=3.0	W=44.0sec, α=3.0	W=44.0sec, α=3.0	W=44.0sec, α=3.0	
相互相関	CAS	CAS	CAS	CAS	CAS	CAS	CAS	CAS	
記録長	16sec	16sec	16sec	16sec	16sec	20sec	54sec	54sec	
独立型記録システム	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	サンプリングレート	
記録長	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	4msec	
	連続観測(データ取得後に編集作業を実施)								