

反射法および VSP 法探査による首都圏の深部地下構造

浅野 周三 若松 邦夫 奥田 暁
桑原 徹 安井 譲 平間 邦興

A Deep Underground Structure in the Tokyo Metropolitan Area Obtained from Seismic Reflection Profiling and Vertical Seismic Profiling

Shuzo Asano Kunio Wakamatsu Satoshi Okuda
Tohru Kuwahara Yuzuru Yasui Kunioki Hirama

Abstract

This paper presents the first feasibility study of a detailed underground structure to the depth of the seismic basement, about 2 km, with the seismic reflection method and vertical seismic profiling in the Tokyo Metropolitan Area. Clear reflecting horizons were identified at depths of 1000 m, 1600 m and 2000 m, which were confirmed satisfactorily through data from both vertical seismic profiling and boring. Therefore, the results presented will be referred to for interpretation of data being obtained from the seismic reflection survey to be carried out in the Tokyo Metropolitan Area.

概要

この報告は、東京都府中市において実施された反射法探査および VSP 法探査(科学技術庁防災科学技術研究所所有の深層地殻活動観測井(深度2,781m)を使用)から得られた首都圏における詳細な深部地下構造について示したものである。反射法探査の結果、深度1,000m, 1,600m および2,000m 付近に明瞭な反射面が認められた。それらの反射面は、測線近傍で実施した VSP 法探査結果および深層ボーリングによる実際の地質試料、検層データと極めて良く対応することが認められた。これらのことから反射法探査による深部地下構造評価の有効性が示されたと共に、今回の総合的な探査が首都圏における反射法地下構造調査の有効なレファレンスポイントとなり得ることを確認した。

1. はじめに

ジオフロント等の地下空間開発から強震動予測等の地震防災に至るまで、地盤に関する諸問題を対象とする場合、表層のみならず地震基盤を含めた大深度までの面的な地盤特性・地下構造特性を迅速かつ精度良く把握することが、工学的見地から極めて重要である。特に人口・都市機能の集中する首都圏において、これは緊急な課題となっている。

土木建築分野の地下構造調査は、削孔による直接的調査や発破による屈折法探査が一般的であるが、これらはコストの面あるいは都市部での爆薬の使用等に関して制約が多い。他方資源調査の分野では、反射法探査がデータの取得および処理に関してほぼ確立された技術となっている。同手法は、地表面に展開する測線長・調査期間ともに比較的短く、かつ優れた非爆薬震源が開発されている等の利点があるが、過去に土木建築分野で深い地下構造の調査へ適用した例は少ない。さらに同一地域における反射法探査と VSP 法探査の併用は、ボーリングコア採取による地質試料や検層資料との直接対比によって、探査結果にいつそうの信頼性を増すことができる。

このような背景から、東京都府中市において反射法探

査および VSP 法探査を実施し^{1)~3)}、首都圏における地下構造調査のレファレンスポイントの構築を図ると共に、工学的観点から本手法の有用性について検討した。

2. 調査場所

調査は、東京都西部に位置する府中市で実施した(図-1)。同図に示すように、VSP 法探査は科学技術庁防災科学技術研究所・府中地殻活動観測施設内にある深度2,781 m の地震観測井(以後、府中観測井と呼ぶ)を用いた。また反射法探査は府中観測井の南側にあたる多摩川左岸河川敷沿い約 5 km の測線上で行った。

3. 探査方法

3.1 VSP 法探査 (Vertical Seismic Profiling)

VSP 法探査は一般に、坑井内のある深度に固定した受振器により、坑井近傍の地表面に置いた震源からの直接波(下方進行波)および音響インピーダンスが異なる地層境界面からの反射波(上方進行波)を観測するものである(図-2(a))。音響インピーダンスは、媒質の密度と弾性波速度の積である。通常、速度検層が直接波の初動走時のみに着目するのに対し、VSP 法探査は後続の反射波にも注目し、反射面を抽出してその深度を直接読み

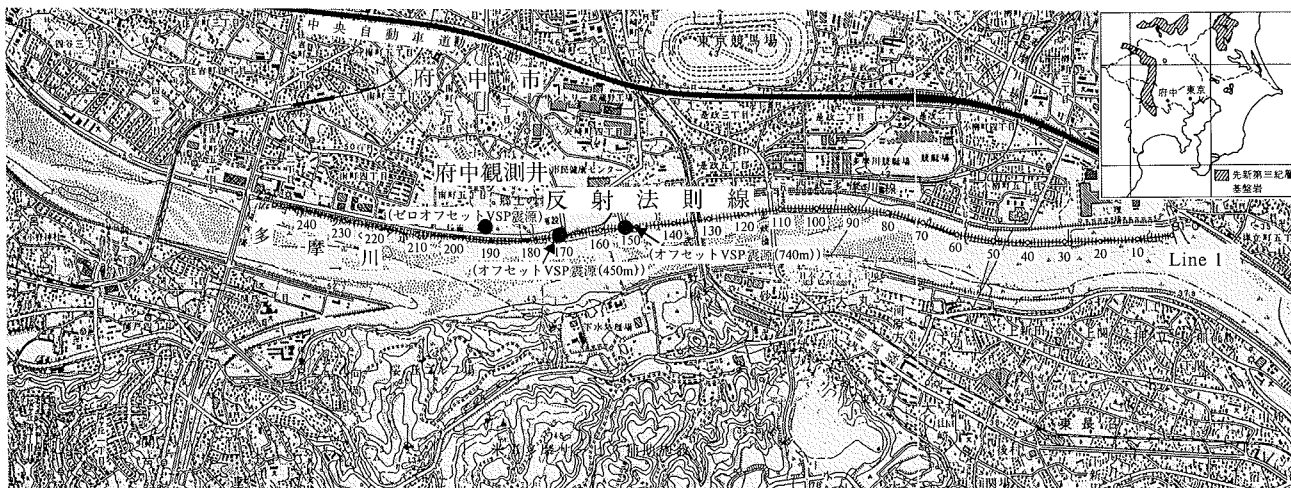


図-1 調査位置

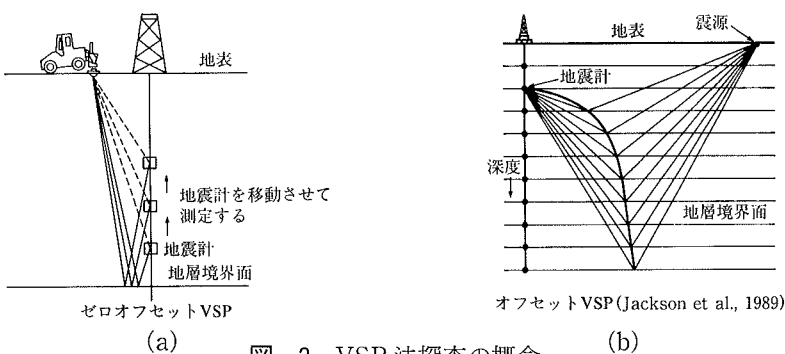


図-2 VSP 法探査の概念

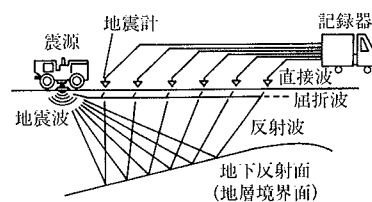


図-3 反射法探査の概念

取るところに特徴がある。さらにオフセット VSP 法探査では、震源を坑井から離すことにより、坑井から震源方向への地層境界面の二次元的な広がりを確認することができる (図-2 (b))。

3.2 反射法探査 (Seismic Reflection Profiling)

反射法探査は、地表面の震源に対する地層境界面からの反射波を地表面に展開した受振器で観測することにより、反射面の反射強度と連続性を調べるものである (図-3)。震源および受振器を広域に展開するか、あるいは震源と受振器の組合せを移動させながら観測することにより、地下構造の平面的な広がりを調べることが可能である。今回の探査では、高密度に配置した受振器による同時観測としたことで S/N 比を向上させた。

4. 震源および探査条件

4.1 震源

VSP 法探査の震源として、インパクトおよびパイプレータ各 1 台を独立に、また反射法ではパイプレータ 2 台を同期させて使用した。両者とも、車体荷重をかけて振動板を地表面に圧着させ、油圧装置により弾性波を発震する自走式の車両である。インパクトはパルス状の衝撃波を発震 (図-4) し、パイプレータは振動数が連続変化するスイープ波を発震 (図-5 (A)) する。

インパクトは、打撃装置の角度を斜めに変えることで SH 波の発震が可能である。斜め加振の場合、P 波と SH

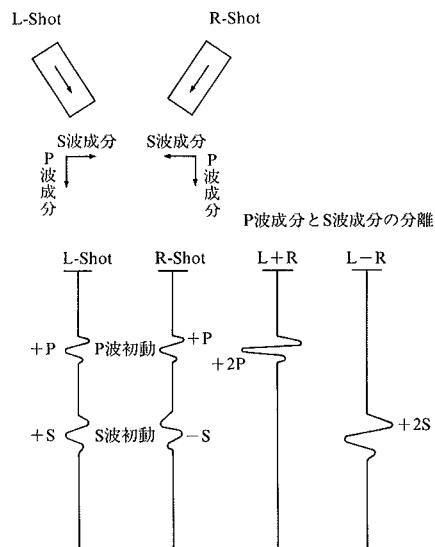


図-4 発震波と波形処理の概念 (インパクト)

波を発震する (図-4 の L-Shot と R-Shot) が、両者で SH 波のみ位相が反転する性質を使い、双方の記録波形を加算・減算することで P 波成分あるいは SH 波成分だけを強調することができる。

パイプレータは、鉛直加振により P 波を優勢に発震し、発震波はインパクトより強力である。図-5 において、発震したスイープ波 (A) に対する各反射面からの反射波 (C) ~ (G) の重ね合せとして、地表面では波形 (H)

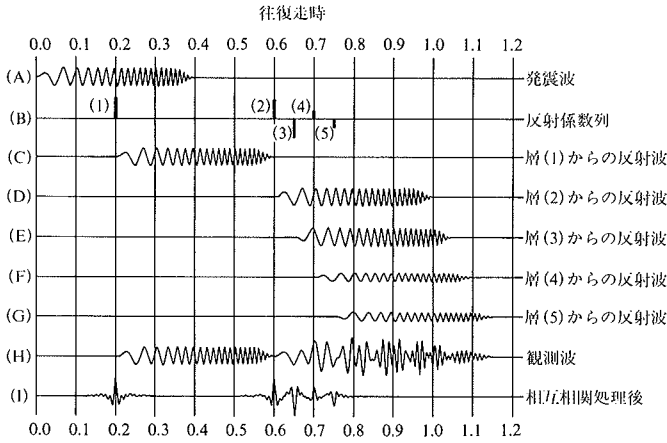


図-5 発震波と波形処理の概念 (バイブレータ)

が観測される。ここで、発震波 (A) と観測波 (H) の相互相関を計算することにより、パルス状の波 (I) が得られる。すなわち、ある瞬間にパルスを発震した時に得られるレスポンス (B) と同等なものを評価することができる。

4.2 VSP 法の探査条件

VSP 法探査の測定パラメータを表-1 に示した。今回実施した VSP 法探査は、震源の種類と、坑井の深度に対比した震源と観測点の位置関係により、①インパクトを用いたゼロオフセット VSP、②バイブレータを用いたゼロオフセット VSP、③バイブレータを用いたオフセット VSP の 3 種類に分類される。ゼロオフセット VSP は震源を坑口から北へ水平距離で 49.7 m の位置に設置し、オフセット VSP は震源を東へ水平距離 450 m ないし 740 m 離れたものである。オフセット震源の設置位置を前掲の図-1 の中に併せて示した。また、直接波の振幅による減衰特性を評価するため、坑井近傍の地表面においても同時観測を実施した。

4.3 反射法の探査条件

反射法探査の測定・解析パラメータを表-2 に示した。受振点は、上下動成分受振器を延長 5 km の測線上に 20 m 間隔、251点を展開した。発震は、バイブレータを受振点の29番から189番の間、40 m 間隔に移動しながら行った。測線の西寄り189番の発震点が観測井の間近にあたる。一つの受振点は、測線方向 2 m 間隔に配置した 9 個の受振器から構成される。これらを直列につなぐことで S/N 比を向上させるとともに、測線方向に伝播する表面波を記録上打ち消す効果がある。このほかに、S 波を観測する目的で測線の中央部に 3 成分受振器 ($f_0=4.5$ Hz) 10 点を展開した。

5. 原記録およびデータ解析

5.1 ゼロオフセット VSP

インパクト震源については、各測定深度毎に、重合後の R-Shot と L-Shot の加算結果の上下動成分を P 波の原記録、また減算結果の水平動 2 成分を S 波の原記録とした。バイブレータ震源に関しては、発震スイープ波と観測記録の相互相関を計算したものを原記録とし、ここ

表-1 VSP 法探査の測定パラメータ

発震系	震源	バイブレータ 1 台			油圧インパクト 1 台	
	発震モード	P 波			P 波	SH 波
発震系	オフセット距離	49.7m	450m	740m	49.7m	
	スイープ周波数	8~60Hz			—	
	スイープ長	16秒			—	
	スタック数	3~7回/レベル			1~15回/レベル	
受振系	受振器	坑井用 3 成分受振器 ($f_0=10$ Hz) 1 台				
	レベル間隔	深度 500m~2,700 m : 40m 一定	深度 10~ 500m : 10m 500~1,500m : 20m 1,500~2,700m : 40m			
記録系	チャンネル数	96ch				
	サンプル間隔	2 ミリ秒				
	記録長	21秒		5 秒		
	フィルター	8~128Hz バンドパス				

表-2 反射法探査の測定・解析パラメータ

発震系	震源	バイブレータ 2 台	
	発震モード	P 波	
	測線長	5 km	
	発震点数	81点	
	発震点間隔	40 m	
	スイープ周波数	10~60 Hz	
	スイープ長	16秒	
受振系	スイープ数	20回/点	
	受振器	上下動 ($f_0=8$ Hz)	
	受振点数	251点	
	受振点間隔	20 m	
記録系	受振器構成	9 個/点	
	受振器パターン	2 m 間隔 直列配置	
	チャンネル数	294 ch	
	サンプル間隔	4 ミリ秒	
処理系	記録長	21秒	
	フィルター	5~80 Hz バンドパス	
	チャンネル数	251 ch	
	処理長	5 秒	
処理系	CDP 数	409	
	CDP 間隔	10 m	
	最大重合数	92	

では 3 成分の記録のうち上下動成分のみを解析の対象とした。

ゼロオフセット VSP におけるインパクトによる P 波記録を図-6 に示した。P 波は、深度 2,700 m まで明瞭に認められる。この傾向はバイブレータ震源についても同様であった。同じくインパクトによる、後述する主成分解析後の S 波記録を図-7 に示した。S 波は、深度 1,500 m 付近までは明瞭にその初動をとらえることができる。すなわち、初動付近の波形がそろっており、区間速度を高精度に決定できた。1,500 m 以深では、2,000 m 付近までがほぼ同一速度、それ以深 2,700 m の坑底までは速度が速くなっている様子が、走時の傾きから読み取れる。

データ解析の流れを図-8 に示した。水平動 2 成分に

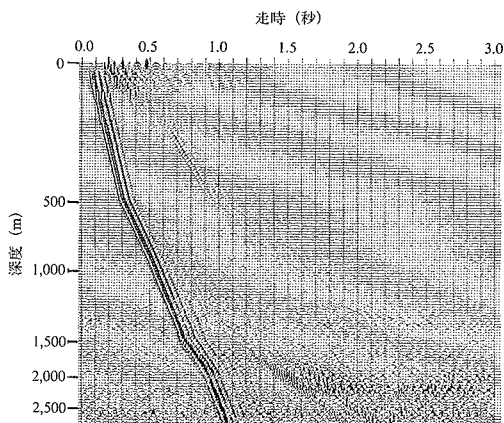


図-6 インパクトによる P 波成分原記録(ゼロオフセット VSP)

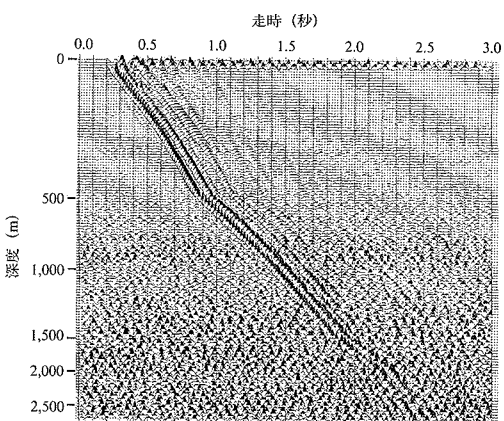


図-7 インパクトによる S 波成分原記録(ゼロオフセット VSP)

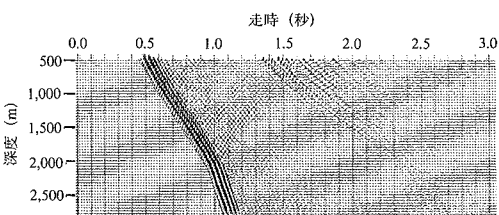


図-9 740 m オフセット VSP に おける原記録 (上下動成分)

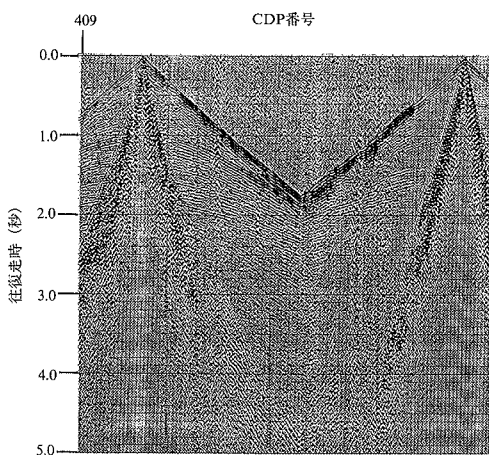


図-10 反射法探査における原記録(発震点両端のものを編集)

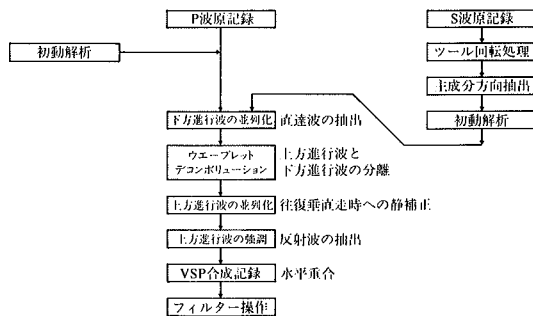


図-8 データ解析の流れ (VSP 法探査)

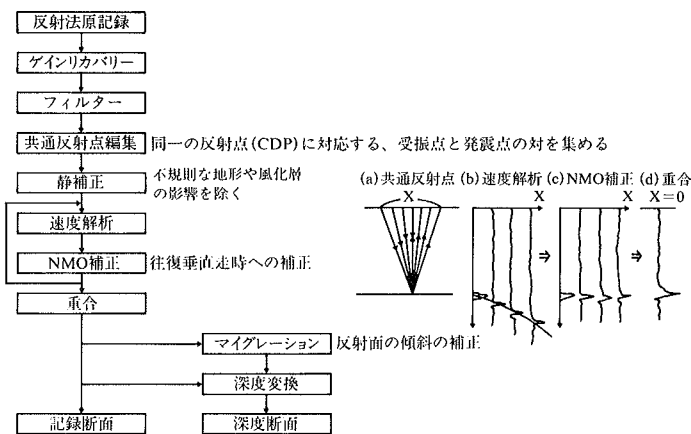


図-11 データ解析の流れ (反射法探査)

については初動解析, 上下動成分については初動解析および VSP データ解析の結果を報告する。両解析の基本的な内容は、以下の通りである。

初動解析とは、隣り合う記録の初動部分を対象とし、その相互相関を取ることで区間速度を求めるものである。なお、水平動成分については、坑井内を移動する際に各深度における受振器の方位が不定であるため、あらかじめ水平動 2 成分の初動付近の粒子軌道の主成分分析を行い、主成分方向へ座標変換した後、区間速度を計算した。

VSP データ解析とは、下方進行波を除去し上方進行波を強調することが目的である。図-8 に示した処理により、各反射面からの反射波のみが抽出される。こうして得られた反射時系列は VSP 反射合成記録と呼ばれ、反射面の深さが時間軸上に往復走時で表現されており、初動解析による速度構造を用いて深度軸に変換する。

5.2 オフセット VSP

オフセット震源に対する坑井内 3 成分記録の内、上下動成分をオフセット VSP データ解析の原記録とした。オフセット距離 740 m における原記録を図-9 に示した。同図によると、P 波の他に後続の下方進行波が認められるが、走時と粒子軌道の解析から、これは震源近傍での P 波から SV 波への変換波であると考えられる。オフセット震源からの波動は坑井内受振器へ斜め入射するため、上下動成分記録にも S 波が現れたものである。

前述のゼロオフセット VSP と同様の処理により、記録から上方進行波のみを抽出し各測定深度での反射時系

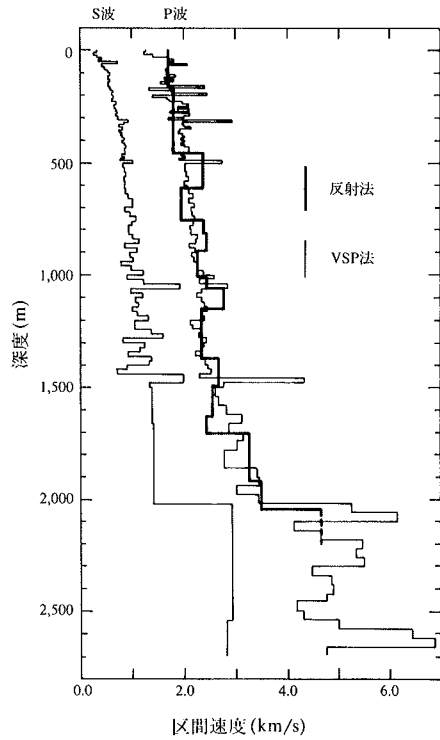


図-12 VSP 法および反射法探査による速度構造

列が作成される。得られた反射時系列は、ゼロオフセット VSP において求めた速度構造が水平方向に広がるとの仮定のもとに、反射伝播経路を前述の図-2 (b) のように推定し、二次元に連なる反射点列へ直接引き戻される。この方法は Reflector Mapping (Depth Scale) と呼ばれ、各測定深度で観測された反射面の水平方向への広がりを深度スケールで直接的に把握できる利点がある。

5.3 反射法

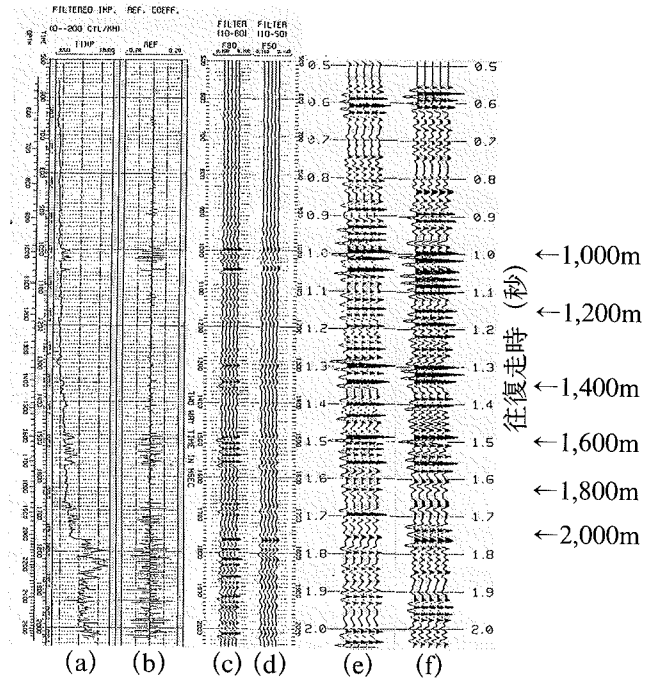
発震点両端での上下動成分受振器による原記録を編集し、図-10に示した。同図より、すでに原記録においても良好な反射波が確認できる。屈折波初動および震源近傍の連続性の良い反射波によって、往復走時にして2秒までの地下構造は比較的平坦な水平成層構造であることが推定できる。一方、基盤内に相当すると思われる往復走時2秒以深には、明瞭な反射面が認められず、深度に対して速度が異常に遅いことから堆積層内での多重反射であると思われる曲率の大きな波が若干認められる程度である。

処理フローを図-11に示した。まず、500 m 間隔に5CDP (共通反射点) を用いた P 波速度解析の結果を使って記録から反射波のみを抽出し、往復走時による測線全体の重合断面図を作成した。解析パラメータは前述の表-2の通りである。次に、マイグレーション処理により反射面の位置を補正し、続いて速度解析結果を基に時間記録断面から深度記録断面を作成した。

6. 結果および考察

6.1 P 波および S 波の速度構造

初動解析の結果得られた深さ 2,700 m までの P 波お



(a) : 音響インピーダンス
(b) : 反射係数列
(c) : (b)による反射合成記録(10~80Hz)
(d) : (b)による反射合成記録(10~50Hz)
(e) : VSP反射合成記録(インパクト)
(f) : VSP反射合成記録(パイブレータ)

図-13 坑井資料および VSP 法探査による反射合成記録の比較

および S 波の区間速度構造を図-12に示した。同図から、堆積層内の P 波および S 波速度は、深度とともに漸増する傾向を示すものの、いくつかの深度で速度境界を認めることができる。基盤は深さ 2,020 m に認められ、基盤内の P 波速度は約 5 km/秒、S 波速度は約 3 km/秒の値が得られた。

反射法探査で得られた府中観測井の近傍における速度解析の結果を VSP 初動解析結果と比較して、図-12に示した。同図より P 波速度構造はおおむね、表層より深度 500 m 付近までが 2 km/秒弱、深度 1,500 m 程度までが平均して約 2.5 km/秒、それより深度が増すに従い漸増し、深度 2,000 m 強で地震基盤と考えられる境界面に達する。これらの結果は VSP 法探査による精査結果と極めて良く対応しており、速度解析の妥当性が示された。なお、基盤中には明確な反射面は認められない。

6.2 反射断面と坑井柱状図⁴⁾の比較

ゼロオフセット VSP におけるインパクト震源ならびパイブレータ震源の記録を用いて P 波に対する VSP 反射合成記録を作成し、既存の検層資料⁴⁾ [密度検層 (P_i) および速度検層 (D_i)] から得られる反射合成記録との対応を検討した。検層資料による反射合成記録は、時間軸に変換した音響インピーダンス ($Z_i = P_i \cdot D_i$) を用いて反射係数列 [$R_i = (Z_{i+1} - Z_i) / (Z_{i+1} + Z_i)$] を計算し、それにフィルタ操作を行い作成した。各反射合成記録を音響インピーダンスおよび反射係数列のデータとともに、図

—13に示した。同図より、今回得られた VSP 反射合成記録は、検層資料から作成した反射合成記録と極めて良く対応しているのがわかる。これは、地層境界に対応して反射波が生成されていることを示している。

オフセット VSP におけるオフセット距離 450 m と 740 m での P 波反射断面と、ゼロオフセット VSP による反射合成記録ならびに坑井柱状図の比較を図—14に示した。これらの図より、深さ 2,020 m の基盤の上面のほか、それぞれ深さ 1,900 m, 1,700 m, 1,600 m 付近の礫層境界に対応して、顕著な反射面が現れている。相対的に深さ 1,000 m 付近の礫層は、ゼロオフセット VSP において強い反射がみられたが、オフセット VSP においては反射面として不明瞭である。坑井近傍の地下構造はゼロオフセット VSP により鉛直方向に精査されたが、オフセット VSP により反射面の水平方向への連続性はよく、いずれも東へ緩やかに傾き下がっていることが確認された。

反射法探査による深度断面図を測線平面図ならびに坑井試料による柱状図・地質層序と共に、図—15に示した。深度断面図の中の府中観測井(測線から北へ約 100 m)の真南の位置に、ゼロオフセット VSP による反射合成記録を挟み込んである。同図にみられるように、反射法探査による反射面は VSP 反射合成記録と極めてよく一致し連続している。観測井の検層資料と VSP 反射合成記録とが良好な対応を示したことから、地質に関する坑井試料と得られた深度断面図とは、詳しい対比が可能となる。

以上、得られた地下構造の特徴および反射面の坑井地質試料⁴⁾に基づく評価は、次のようにまとめられる。

- ① 全体的に比較的平坦な成層構造を示しており、西部から東部へ緩やかに傾斜する。
- ② 深度 1,000 m 付近の反射面は上総層群中部と同下部の境界に対応する。この境界付近には厚さ 100 m 程度の礫層が確認されており、この礫層による強振幅の反射波と考えられる。この反射波は、西端から CDP150 付近までは明瞭に認められるがそれ以東では弱くなること、また波の特徴が水平方向へかなり変化していることから、礫層の分布が一様でないことが推定される。
- ③ 深度 1,200 m 付近に、測線全体にわたり連続性の良い反射面が確認できる。この反射面を境に、浅部はほぼ単傾斜の成層構造をなすが、深部は構造変化が若干大きい。
- ④ 深度 1,300 ~ 1,400 m の上総層群下部層内に境界が認められる。
- ⑤ 深度 1,600 m 付近の反射面は上総層群下部と三浦層群の境界に存在する層厚 100 m 程度の礫層に対応する。
- ⑥ 深度 2,000 m 付近には、地震基盤と考えられる先第三紀層の境界が明瞭に認められ、5°程度東方へ傾斜する。先第三紀層の中には顕著な反射面は認められない。
- ⑦ CDP220~260 の深度 1,500 m 付近に、反射面の乱れが認められる。反射法探査では、厚い堆積層に覆われ

た平野部においても潜在断層の検出が可能であるが、この場合、乱れが深度 2,000 m 付近の先第三紀層上面では顕著でないで、これが大規模な断層である可能性は低い。

6.3 減衰特性

震源から距離 Z の位置における実体波の振幅 $A(z)$ は、 A_0 : 震源における振幅、 $G(z)$: 幾何学的な減衰、 f : 周波数、 Q : 非弾性による減衰特性を表す無次元量、 V : 位相速度とすると、P 波・S 波を問わず、

$$A(z) = A_0 \cdot G(z) \cdot \exp[-(\pi f/QV) \cdot Z]$$

と表現できる。

ここで、 $G(z)$ を単純に球面発散のみからなるとして $G(z) \propto Z^{-1}$ と仮定し、 $Z \cdot A(z)$ の対数をとることで、

$$\ln(Z \cdot A(z)) = \ln A_0 - (\pi f/QV) \cdot Z$$

を得る。

よって、ゼロオフセット VSP 原記録の初動付近の最大振幅を用いて、これを深さ Z に対する $A(z)$ と考えれば、 Z と $\ln(Z \cdot A(z))$ のグラフを作成することにより Q を推定することができる。すなわち、グラフを直線近似すれば、その直線の傾き b は上式より、

$$b = -\pi f/QV$$

となり、速度 V と周波数 f を与えれば Q 値が得られることになる。

以上の評価法に基づき、インパクト震源による P 波ならびに S 波の初動振幅を用いて Q 値の検討を行った(図—16、図—17)。振幅の評価には、震源の特性を考慮し 10 ~ 30 Hz のバンドパスフィルタを施した。P 波の場合(図—16)、深度 400 ~ 1,200 m の範囲で比較的よく直線に近似でき、 $f=20$ Hz、 $V_p=2,000$ m/秒として Q_p は約 80 となる。また S 波の場合(図—17)、深度 1,000 m 以深についてはばらつきが大きい、深度 300 ~ 600 m の範囲において $f=20$ Hz、 $V_s=800$ m/秒とすると Q_s は約 50 となる。この値は、府中観測井の地震記録から得られた結果⁵⁾に比較的近い。減衰に関しては、スペクトルによる評価も含めて今後詳細に検討したい。

6.4 ポアソン比分布

VSP 法探査で得られた P 波・S 波の区間速度と両者から求めたポアソン比(図—18)の特徴、およびこれらと坑井資料、反射合成記録との対応関係は、次のようにまとめられる。

- ① P 波速度は浅部では変化が大きく、深度 450 ~ 2,000 m ではほぼ一様に漸増する。
- ② S 波速度は浅部では一様に増加するが、深度 700 ~ 2,000 m では変化が著しく、P 波と様相が異なる。
- ③ SH 波速度と SV 波速度は、表層部分を除きほぼ同様な結果であった。
- ④ コア試料による P 波・S 波速度の測定結果は、VSP 法探査による深度毎の速度変化傾向と一致する。
- ⑤ ポアソン比の変化は、ほぼ S 波速度の変化に対応しており、深度とともに漸減し、深度 1,000 m ~ 1,500 m で最小となり、その後再び漸増傾向に変化する。また深度 0 m ~ 600 m および 1,900 m 以深ではポアソン比の変

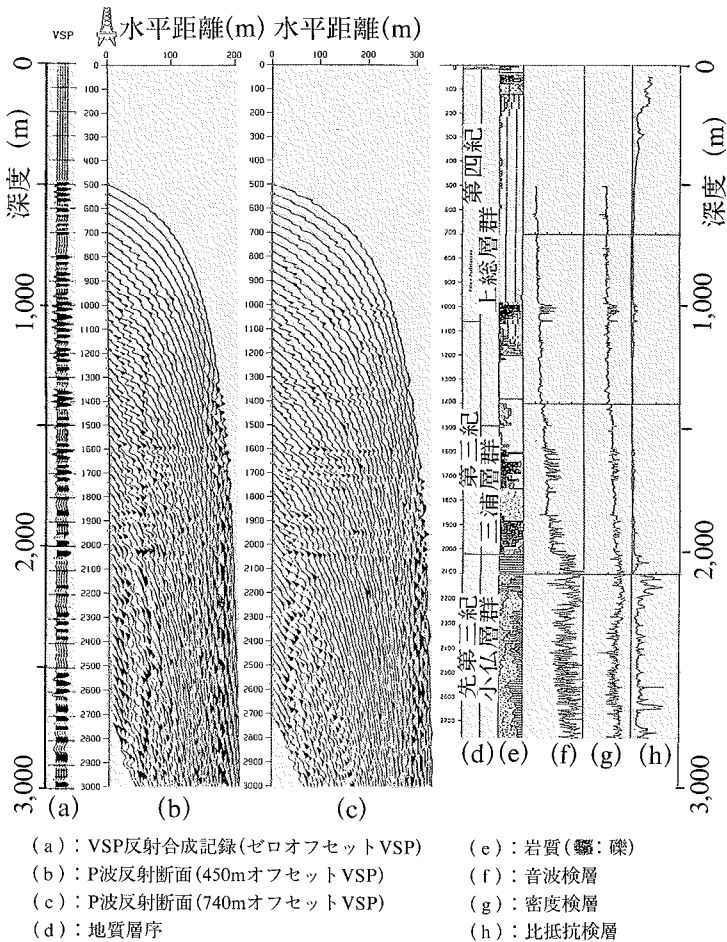


図-14 P波反射断面(オフセットVSP), 反射合成記録(ゼロオフセットVSP), 坑井検層資料の対比

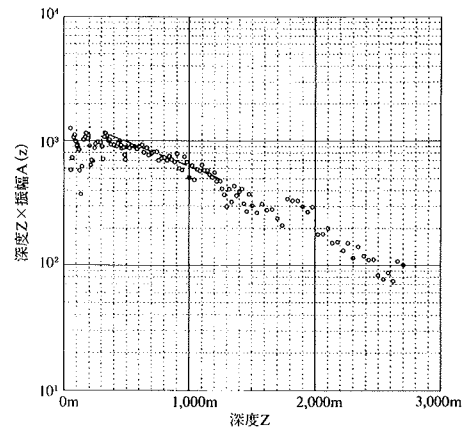


図-16 P波振幅の減衰(インパクト)

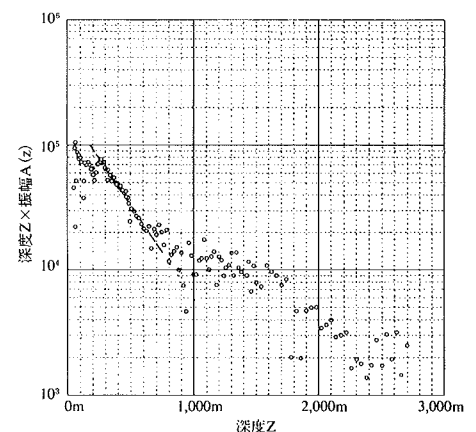


図-17 S波振幅の減衰(インパクト)

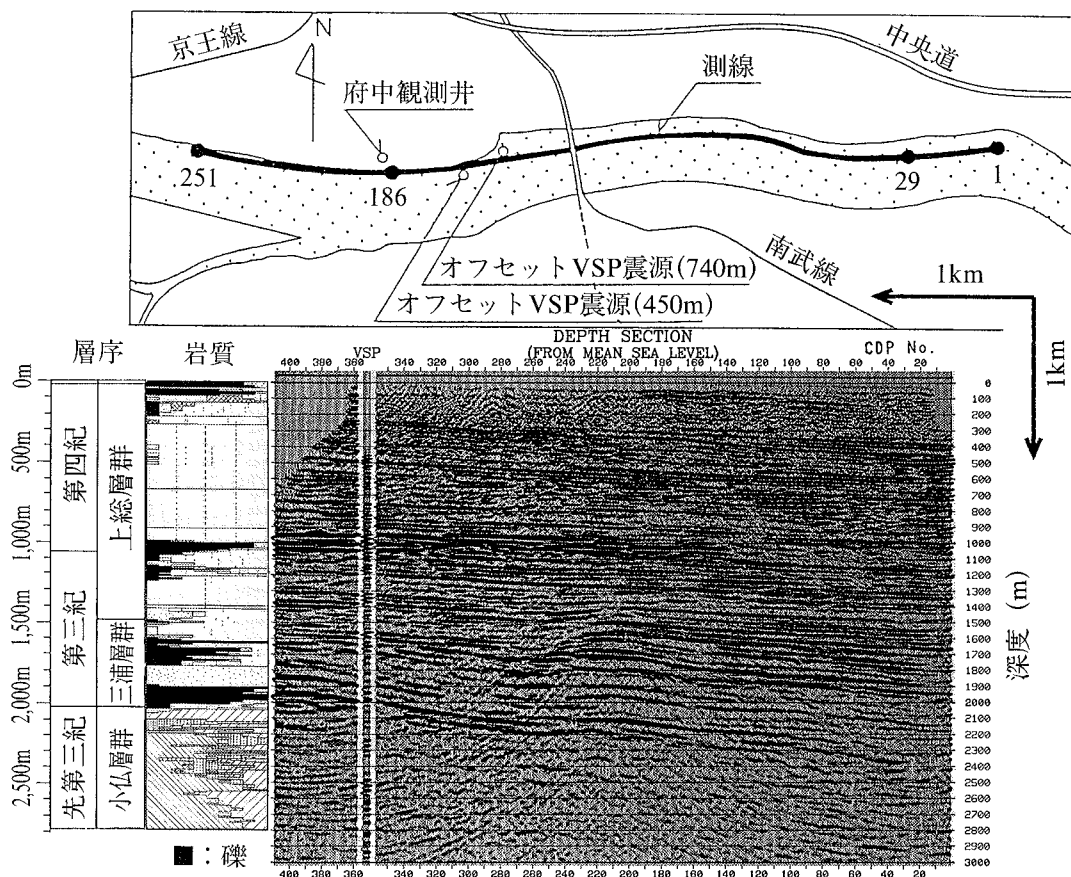
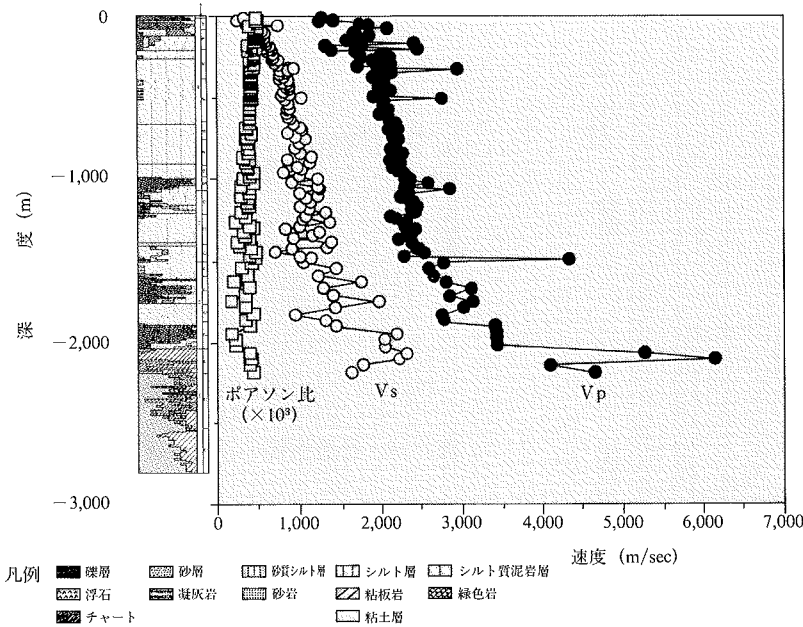
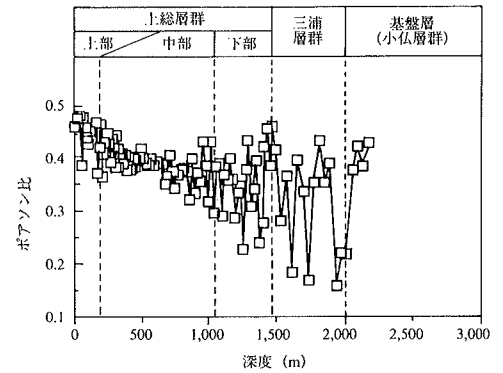


図-15 反射法深度断面図と坑井地質の対比



図一18 区間速度とポアソン比、坑井地質の対比



図一19 ポアソン比の深度変化

動は少なく、深度 700 m~1900 m 付近では変動が著しい (図一19)。

⑥ P 波速度の変動は、上総層群中の礫層 (小仏層群の礫からなる) 境界と対応する部分がある。

⑦ S 波速度およびポアソン比の変動は、上総層群の中部から下部および三浦層群中の、③小仏層群の砂岩・粘板岩・チャートからなる礫層、④地層の堆積面方向のばらつきが大きく (乱堆積)、強度的に弱くスレーキング現象を生じるような泥岩層、の深度分布におおむね対応している。

⑧ 反射合成記録によると、S 波は P 波よりも多数の反射面を生じており、P 波・S 波速度における変動の大小関係とも対応している。このような S 波の反射面の出現と速度の乱れは、地質特性によるものと考えられる。

⑨ 以上の結果から、VSP 法探査の解析結果ならびにポアソン比の分布は、地下構造の不均質さや異方性の指標となり、S 波の方が P 波より地下構造の変化に対して敏感であると考えられる。

7. まとめ

東京都府中市において反射法探査および VSP 法探査を実施し、表層から基盤までを含む深部地下構造を把握した。反射法探査から極めて良好な深度断面が得られ、その反射面の位置は VSP 法探査から求まる深度と良い一致を示した。さらに、VSP 法探査結果は、深層ボーリングによるコア地質試料および検層資料とも極めて良い対応を示した。これらのことは、地表面における反射法探査により、数 km にもおよぶ厚い堆積層に覆われた首都圏の地下構造を精度良く把握できること、したがって首都圏における地震動予測の精密化に貢献できることを示している。なお、探査断面において明瞭な潜在断層は

確認できなかった。

以上の結果、浅部から地震基盤までの地下構造を考える時、反射法探査は有効な調査方法であり、かつ今回の総合的な探査は、首都圏における地下構造調査の有効なリファレンスポイントとなりうる事が確認できた。今後さらに、反射法による深部地下構造のデータが増加し、地震危険度評価の精度向上に資することを期待したい。

謝 辞

本研究の VSP 法探査は、科学技術庁防災科学技術研究所および株式会社地球科学総合研究所との共同研究である。関係各位に深謝いたします。また、本研究を進めるにあたり、数値解析研究室金田義行研究員との議論が有益でした。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山水史生, 他: 首都圏における反射法地下構造調査 1. 府中地殻活動観測井における VSP, 地震学会講演予稿集 1991年度秋季大会, P. 149, (1991)
- 2) 浅野周三, 他: 首都圏における反射法地下構造調査 2. 府中 VSP 調査による速度・減衰構造, 地震学会講演予稿集 1991年度秋季大会, P. 150, (1991)
- 3) 浅野周三, 他: 首都圏における反射法地下構造調査 3. 府中市におけるパイロサイス反射法, 地震学会講演予稿集 1991年度秋季大会, P. 151, (1991)
- 4) 国立防災科学技術センター: 府中地殻活動観測井の作井と坑井地質, 国立防災科学技術センター研究速報, 第64号, (1985)
- 5) 木下繁夫: 深層井観測により推定された厚い堆積層の地震応答特性, 国立防災科学技術センター研究報告, No. 38, (1986)