

研究紹介

平野部の深部地下構造に関する研究

伊藤久男¹ 横倉隆伸² 加野直巳² 山口和雄² 駒澤正夫²
杉山雄一¹ 今西和俊¹ 木口 努² 纈纈一起³ 久田嘉章⁴

Hisao ITO, Takanobu YOKOKURA, Naomi KANO, Kazuo YAMAGUCHI, Masao KOMAZAWA, Yuichi SUGIYAMA, Kazutoshi IMANISHI, Tsutomu KIGUCHI, Kazuki KOKETSU and Yoshiaki HISADA (2000) Studies on the deep subsurface structure of the plains for strong motion estimation. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51(9), p. 471-475, 5 figs.

Abstract: In order to obtain the deep subsurface structure of the plains for strong motion estimation, we have started a new 5-year research project since FY1999. Although the three-dimensional structure is really necessary for strong motion estimation in urban plains, few systematic efforts have been made to establish an optimal method to study the three-dimensional structure, including S-wave velocity structure. Although S-wave velocity structure is one of the most important parameters for strong motion estimation, it is still difficult to obtain deep S wave velocity structure. We started a study on P-S converted waves, and the preliminary results show the P-S converted wave is useful for the estimation of S-wave velocity structure. We also studied the gravity structure in several areas to deduce the three-dimensional structure of the plains. We also plan to make strong motion estimation using the obtained structure, and study the optimum methods to estimate a three-dimensional structure. It is also necessary to study the source-receiver effect for high frequency strong motion generation.

要 旨

標記の工業技術院特別研究は、地震防災を視点とした強震動予測の基礎資料として、平野部の構造探査を行うことを目的として、平成11年度より新たに5ヶ年計画で開始された。探査は、地震工学においてそれ以深は均質と考えられる深さ(概ね $V_s=3.0\text{km/s}$ に達する深さ)までとし、その深さまでのS波の速度構造を明らかにする。地下構造調査にあたっては、P波反射法、S波反射法、重力探査、P-S変換波によるS波速度構造探査等を組み合わせ、地域性を考慮して、合理的・効率的な探査手法を開発することを目的とする。技術開発のテストフィールドを選定し、S波速度構造推定についての試験探査を実施する。また、科学技術庁で交付金による調査との整合性を考慮し、地質学・地震学・地震工学的に重要とされている地域を対象とした速度構造・重力構造調査を行う。

1. はじめに

本稿は平成11年度より新たに5ヶ年計画で開始された標記の工業技術院特別研究の概要について紹介する。兵庫県南部地震以降、従来の直前予知に加えて、地震被害予測の重要性が強く指摘されるようになった。特に、いくつかの想定されている地震に対して、人口密集地域において強震動予測を行うことが期待されている。これを行うための基礎資料として基盤までの深部3次元構造が重要であることがわかってきた。平野部について表層あるいは平野部の一部分の調査はあるものの、強震動予測に必要な地震基盤までの平野部全体の3次元調査は行われて来なかった。また平野部全体の3次元調査のための、地域性を考慮した合理的・効率的な探査手法の組み合わせに関する研究はほとんど行われて来なかった。

S波が地震動の主要な成分であることから、地下構造のうち特に地震基盤 ($V_s=3\text{ km/s}$) までのS波速度構造が重要であると考えられている。本研究では、先ずS波速度構造推定のための技術開発、平野部全体の3次元基盤構造を求めるための重力調査について重点的に研

¹ 地質調査所地震地質部 (Earthquake Research Department, GSJ)

² 地質調査所地殻物理部 (Geophysics Research Department, GSJ)

³ 東京大学地震研究所 (Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

⁴ 工学院大学 (Kogakuin University)

Keywords: strong motion, converted wave, gravity survey, reflection survey, velocity structure, S wave velocity

究を行い、順次求めた構造を用いての強震動予測への適用、地質学的観点から重要とされる平野部の調査研究、技術的に困難な地域での調査研究、特に断層面の形状等の強震動生成への効果等を検討して行きたい。

2. 研究の概要

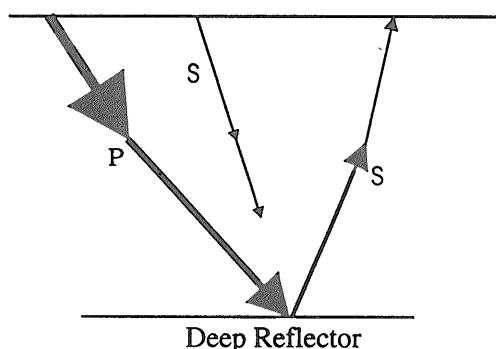
2.1 S波構造推定の技術開発

S波速度構造を求めるためにはS波震源を用いて反射法探査、屈折法探査を行うことが考えられる。S波震源としては、板叩き(人力、メカニカル、リニアモータなど)、S波バイブレータ、オムニパルス、S波インパクトなどがこれまでに考案されている。しかしながら、S波震源では発生可能な振動強度が地表強度に制限されておりP波震源より弱い振動しか発生できないこと、S波はP波に比べて波長が短いこともあり減衰が大きいことなどのため、S波による深部構造の探査はP波による探査に比べて難しいものとなっている。とくに沖積平野、洪積台地では極浅部での低速度層での減衰が大きい場所が多く、S波反射法による深部構造探査はきわめて困難である。

これを克服し、深部のS波速度構造を求める方法としてP-S変換波を利用した反射法が考えられる(第1図)。P-S変換波を利用した反射法では、互いに直交する3方向(上下、測線に直交;トランスバース、測線に平行;ラジアル)で発震、受震しデータを取得する。

我々は多少のノイズには強いと思われるP-S変換波を利用した反射法によりS波速度構造を求めることを目標に研究をはじめた(加野・他, 1999; Kano *et al.*, 2000, 加野・他, 2000)。

平成11年度は、基礎実験を茨城県伊奈町で行った。測線は牛久沼の西の沖積平野の水田地帯の未舗装の農道である。この付近では筑波山から続く基盤の深度は800m程度、わずかに南に傾いているものと考えられており、実験の対象として適当であると判断した。P-S変換波の



第1図 P-S変換波発生時の模式図。
Fig.1 A schematic diagram showing the P-S converted waves.

データだけでなくS震源(トランスバース、ラジアルの両方)のデータも取得することでS波の反射断面、P波の反射断面、P-S変換波の反射断面を作成し、比較検討することを目的とした。

第2図にSH波反射法の処理結果、第3図にP-S変換波反射法の処理結果、第4図にP波反射法の処理結果を示す(Kano *et al.*, 2000)。いずれも時間断面図である。比較のため距離方向は3つとも同じにし、時間方向はおおよその速度で換算し、反射面の位置が一致するようにした。

P波反射法結果ではほぼ水平な堆積層の下にやや変形を受けた基盤が認められる。SH波反射法結果では浅部の構造はよくイメージできているようであるが、基盤の反射波ははっきりしない。P-S変換波反射法結果では浅部の構造はP波の反射波がノイズとなっているため、余り良くないが、基盤の反射波はSH波反射法結果よりS/Nがよい。オリジナルのショット記録でははっきりしていなかったが、重合の効果が上がっていると考えられる。

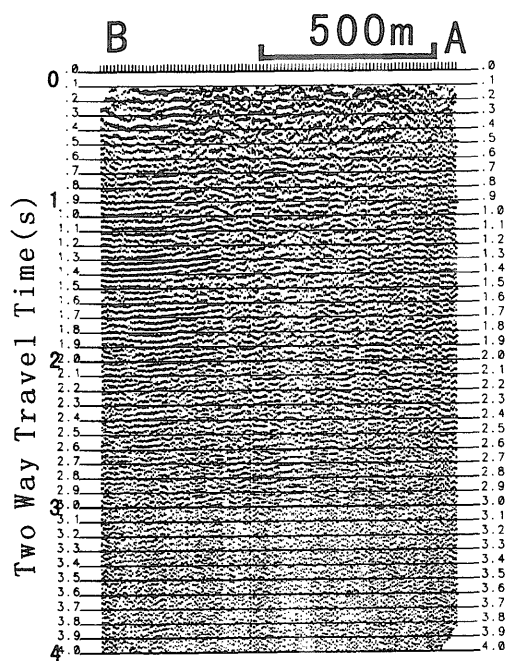
基盤までのS波構造を求めるため、P-S変換波反射法とSH波反射法を平行して行い、深部のイメージングにはP-S変換波を用いた方がよいことを示した。今回の実験でもP波の発震はSH波探査の仕様に比べ垂直重合回数が少ないなど、まだまだS/Nを向上させる余地がある。今回の実験では地下構造がほぼ水平で、反射点のマッピングの誤差の影響は余り大きくなかったと考えられる。今後は複雑な地下構造での反射点のマッピングが課題である。

2.2 重力基盤構造

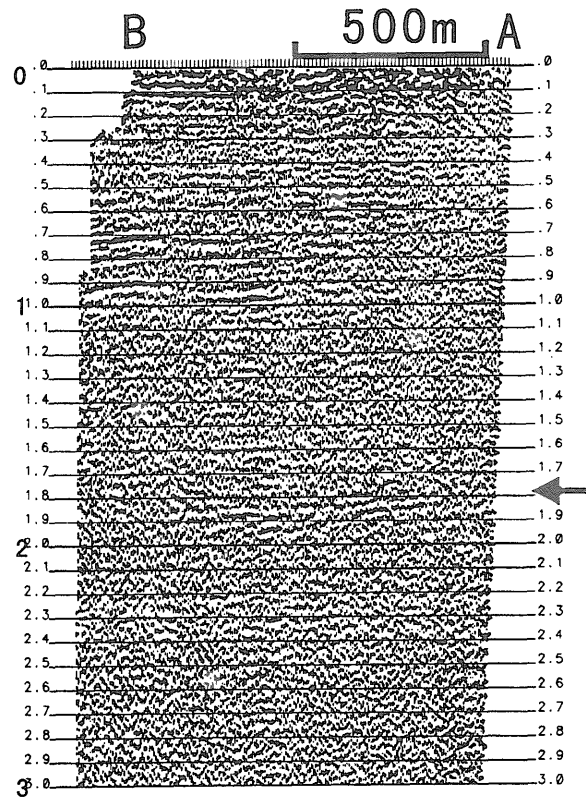
従来より断層調査に重力探査は有効に活用されてきたが、断層の構造や位置の把握にとどまってきたのが現状であり、3次元的な基盤構造が得られているケースも多くない。本研究では、3次元的な密度構造の精度を高め、重力構造と震度の関係、マイクロゾーニングとの相関などを検証することを目的とする。

平成11年度は、深谷周辺の断層系の検出をねらった測点間隔200m程度の精密重力測定を実施した。測点間隔を小さく取れたので水平微分や鉛直微分の計算も充分精度をもつものが得られた。微分解析から、櫛挽断層、平井断層、今市一菅谷断層については密度の不連続が明瞭になった。一方、深谷断層については微分量の変化が小さく明瞭ではないが、不連続性が検出され、その伸びが南東方向に見られ比企丘陵の北東縁部に達する(第5図)。この連続性について、今後関連データとの比較検討を行って行きたい。

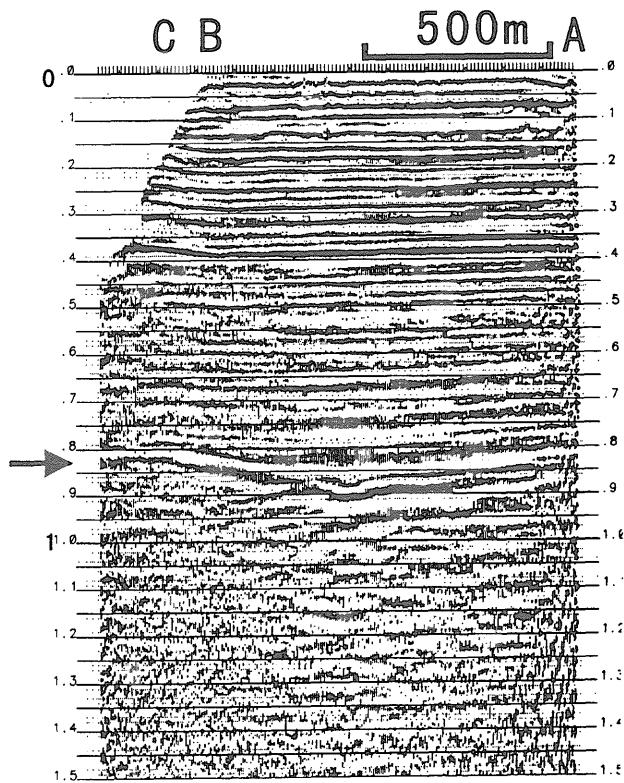
また、福井地震に関連する断層構造の検出のため予備的な精密重力調査を実施した。結果として測点が充分でないため平野部に明瞭な断層構造を検出するに至っていないが、基盤の深さは数100m程度と推定され浅いこと



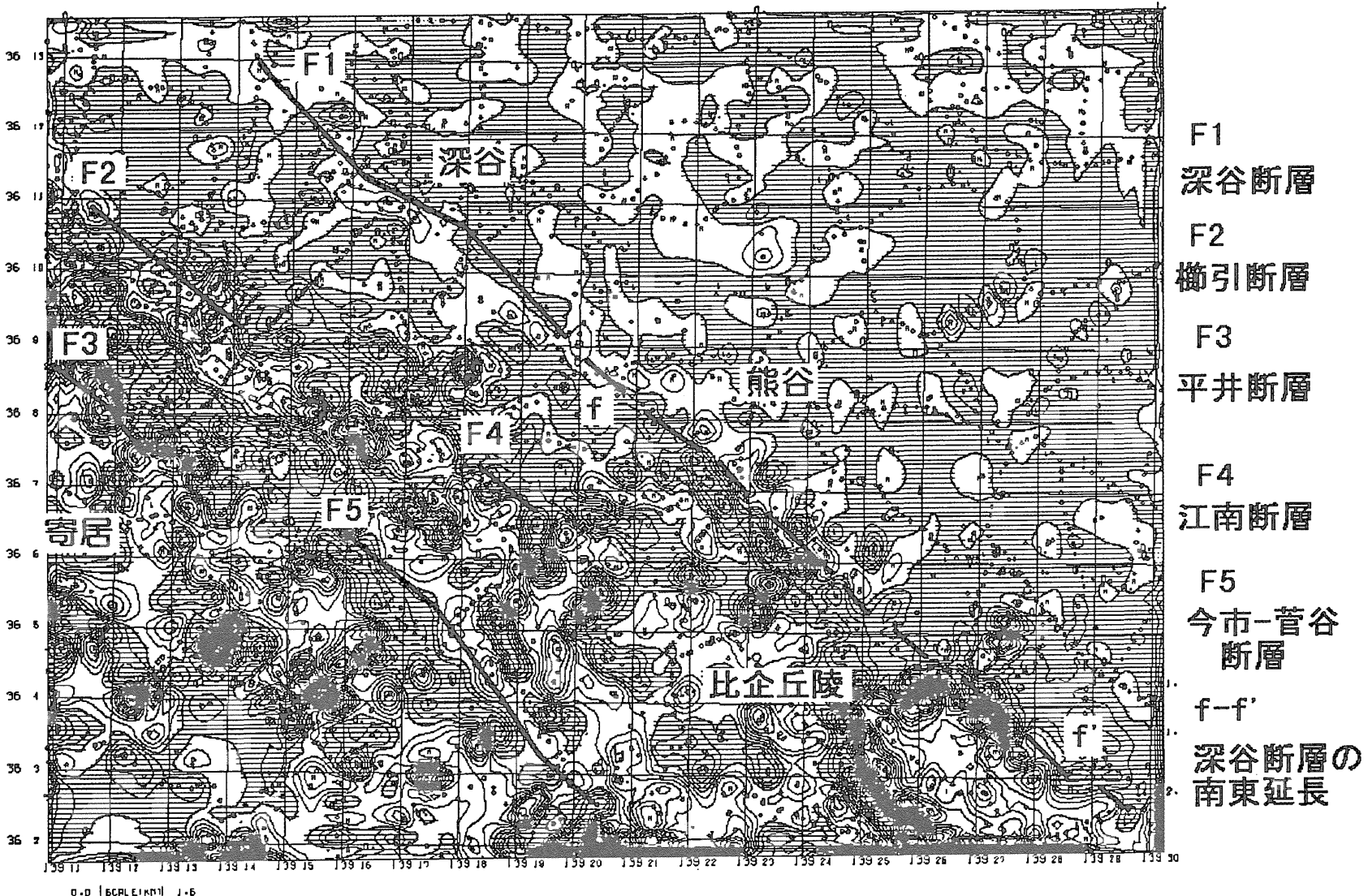
第2図 SH波時間断面図。
Fig. 2 SH-wave time section.



第3図 P-S変換波時間断面図。
Fig. 3 P-S converted wave time section.



第4図 P波時間断面図。
Fig. 4 P-wave time section.



鉛直1次微分, コンター間隔: $0.25 \mu \text{Gal/m}$
 負値には横縞の陰を付けて表示, ゼロラインに断層状構造が想定できる

第5図 深谷断層周辺の重力調査結果.
 Fig. 5 An example of the gravity structure around the Fukaya fault.

が判った。

今後の計画は、

①地震探査のフィールドと同じ場所での調査を、速度構造との対比という意味で実施することを考えたい。

②地震探査とは別個に、平野部の密度構造での構造の仕分けをする。

例えば、堆積層の層厚の違いによる構造と重力異常の関係 (関東平野と福井平野) 一どの程度の深度までの構造把握が意味あるか。

山際で確認されている活断層と平行して平野側にも伏在断層が想定できるので、そういう場所での調査を行いたい (深谷断層がその例) 一新潟平野, 大阪平野, 京都盆地などが考えられる。

③地震被害と構造との関係を重力基盤解析から評価する。

④微動観測のデータがあることが必要だが、マイクロゾーニングと重力残差との関係を評価する。

4. おわりに

平成11年度の研究成果を踏まえ、今後は以下のように研究を進めて行きたい。

P-S 変換波に関する探査手法の研究として、P-S 変換波を効率良く捉える探査形態の把握、P-S 変換波により求めた S 波速度と他の方法による比較、さらに深い深度への探査の拡張、さらに複雑な構造での探査等を行って行きたい。

重力調査としては、1次元データ (ボーリング・微動探査など)、2次元データ (反射法・屈折法など) から3次元構造を得るための研究、深部の高精度解析手法の研究、データ不足地域の補充調査等を行って行きたい。

さらに得られた結果をもとに P 波反射法、S 波反射法、重力探査、P-S 変換波による S 波速度構造探査等を組み合わせ、地域性を考慮して、合理的・効率的な探査手法を検討して行く必要がある。また、科学技術庁で交

付金による調査との整合性を考慮し、地質学・地震学・地震工学的に重要とされている地域を対象とした速度構造・重力構造調査も必要にあると考えられる。また得られた構造をもとに強震動予測を行うことも必要になる。

また、強震動の生成は、地下構造の不均質や震源過程の複雑さの観点からこれまで多くの研究がなされてきている。しかし、高周波地震動に着目した場合、破壊進展の加速・減速 (停止) する方向と観測点の方向がある位置関係になったときに、その観測点に強い高周波パルスが放射されることが理論的に示されている (Spudich and Frazer, 1984)。この震源と観測点の位置関係に依存した効果についても検討を進める必要がある。

文 献

- 加野直巳, 横倉隆伸, 山口和雄, 木口 努 (1999)
P-S 変換波を利用した反射法の基礎実験, 物理探査学会 第101回 (平成11年度秋季) 学術講演会, p. 1-5.
- Kano, N., Yokokura, T., Yamaguchi, K. and Kiguchi, T. (2000) P-S converted waves: Towards estimation of strong ground motion, 第3回日-EU 地震リスクワークショップ.
- 加野直巳, 横倉隆伸, 山口和雄, 木口 努 (1999)
P-S 変換波を利用した反射法の基礎実験—その2—, 物理探査学会第102回 (平成12年度春季) 学術講演会, p. 71-75.
- Spudich, P., and L.N. Frazer, Use of ray theory to calculate high-frequency radiation from earthquake sources having spatially variable rupture velocity and stress drop, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **74**, 2061-2082, 1984.

(受付: 2000年5月22日; 受理: 2000年7月26日)