

大都市市街地における伏在断層の GPRイメージング法

苦瓜 泰秀¹⁾・宮田 隆夫²⁾

1. はじめに

日本列島には、数多くの活断層が分布しており、そのうち特に調査すべき活断層として、1997年に策定された「地震に関する基盤的調査観測計画」(地震調査研究推進本部, 1997)では、98の断層帯が抽出されている(以下、主要98断層帯)。断層帯(群)の選定基準は、長さ20km以上とされている。その後2005年に公表された、「今後の重点的調査観測について」(地震調査研究推進本部, 2005)では、詳細な変位地形の抽出や浅い地下構造の調査の結果、断層の選定基準を満たすようになった断層が、主要98断層帯の他にも存在することが明らかとなり、それらの断層の評価を行なうために、必要なデータを得るための調査に着手する必要があるとされている。

一方で、近年発生した被害地震のなかには、主要98断層帯以外で発生しているものが複数ある。平成19年(2007年)新潟県中越沖地震もその一つである。本論文は、地中レーダ(GPR)を用いた大都市市街地の地下に埋没している断層変位地形の抽出と解釈を、既往の活断層調査手法と組み合わせて考察を行ったものである。

2. 研究地域

研究地域は、1995年兵庫県南部地震で被害を受けた、六甲山地の南側に広がる神戸の市街地である。六甲山地は白亜紀の花崗岩が隆起して形成された山地であり、市街地は山地から流れ出た堆積物が厚く堆積し、扇状地や天井川を形成している。活断層は、須磨断層、諏訪山断層、五助橋断層、芦屋断層、甲陽断層など北東-南西方向の走向をもつものが数多く知られ

ている。兵庫県南部地震の余震域は、このような断層に沿う方向に分布している。一方で大阪湾には反射法地震探査・音波探査により大阪湾断層が確認されており(例えば、七山ほか, 2000)、陸域にある活断層との関係を明らかにすることは今後の課題となっている。

3. 住吉川に沿うGPR調査

3.1 測線の設定とGPRシステム

住吉川測線は住吉川左岸の高水敷に沿って設定した。住吉川は天井川であるが、河道は5m程度掘り込まれており低い位置にあるため、地盤構造を知るためのGPR調査には適している。測線の総延長は2,730mであり、平野部の山側から海側までがほぼ入るように設定している。

八幡谷測線は、天上川に沿って南北に分布する花崗斑岩の岩脈の南端部を横切る位置に設定した。測線長は80mである。

GPRシステムはGSSI社のSIR2を用いた。アンテナは周波数100MHzのものを使用し、測定レンジを150nsと250nsの二種類の記録を取得することにより、再現性を確認している。表層の電磁波速度をワイドアングル測定により計算し、時間断面を深度断面に変換している。データ処理ソフトはRADAN4を使用した。

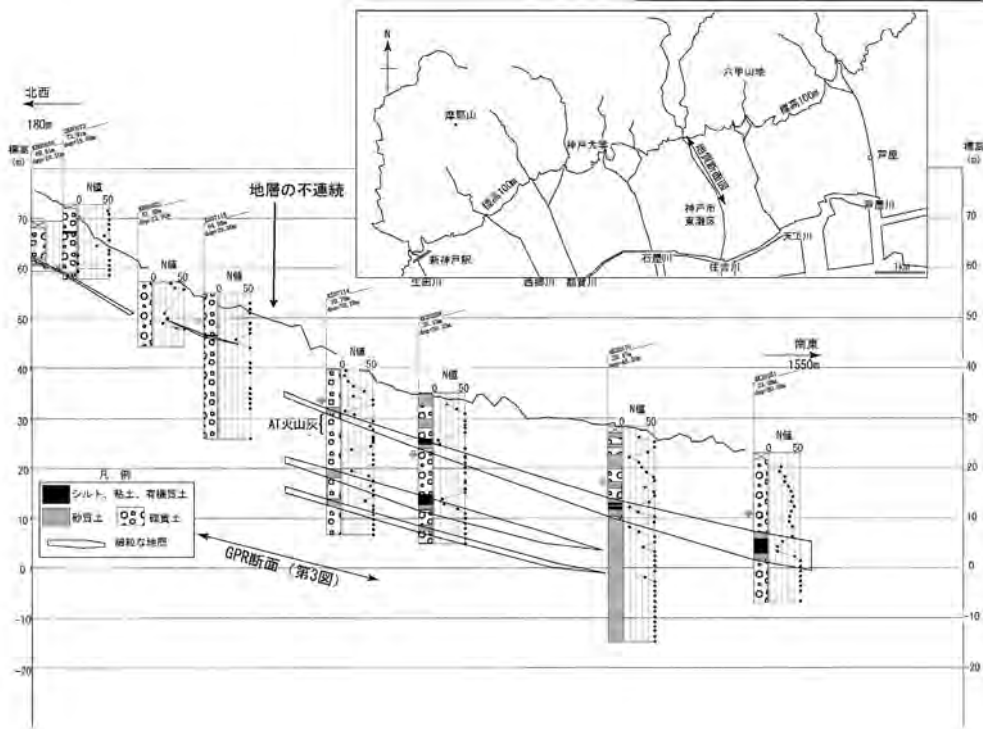
3.2 地盤状況と活断層

六甲山地南側に広がる神戸の市街地は、扇状地や天井川を構成する砂層や礫層が主体である。探査測線に沿う地質断面は、ボーリングデータベース神戸JIBANKUN(神戸市・財団法人建設工学研究所, 1999)を用いて描いた。第1図は都市部を流れる住吉川のうち、上流側を示したものである。表層から深さ

1) 神戸大学 大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻、
株式会社エイトコンサルタント

2) 神戸大学 大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻

キーワード: GPR, 大都市, 活断層



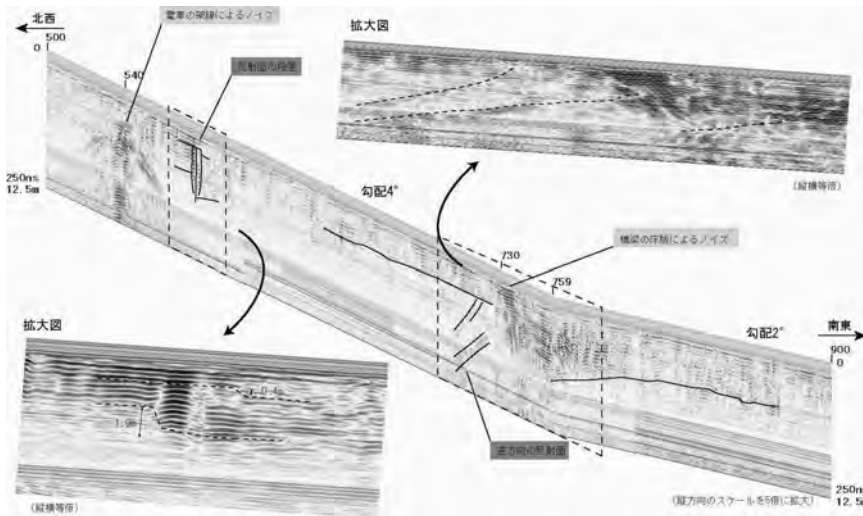
第1図 住吉川に沿う地層断面図(ボーリング柱状図はデータベース, 神戸JIBANKUNより抽出). 柱状図の右側に示す折れ線グラフはN値を示しており, 小さいほど軟らかい地層, 大きいほど締まった地層となる. 細粒な地層の部分ではN値が小さくなっている.

40mは, 砂や礫を主体とした地盤であるが, 薄くシルト・粘土層や有機質土層が挟まれている. このような細粒な地層は現在の地形に沿って追跡できるので, 堆積活動が穏やかな時期の地表面であったと考えられる. 最上位の地層の下位にはAT火山灰層の記載があるので, その地層の年代は28,000年前頃と推定できる. 第1図では同時代に形成されたと考えられる細粒な地層を結んでおり, 上流から600~700m付近に不連続が認められる. もしこの不連続が断層の運動により形成されたとすると, 地層の年代からこの断層は活断層であるということになる.

第2図に神戸市東部の地質図(大阪湾周辺地域数値地質図編さんグループ, 1997)を示す. 六甲山地には, 北東-南西の走向をもつ複数の断層が知られており, 主なものに, 諏訪山断層, 五助橋断層, 芦屋断層, 甲陽断層がある. 平野部に, 今回行ったGPRの測線(住吉川GPR測線と八幡谷GPR測線)と, 関西地盤情報活用協議会(1998)が行なった反射法地震探査の測線(都賀川測線, 石屋川測線, 十二間道路測線)を示している.



第2図 神戸市東部の地質図と断層及び伏在断層(地質図は大阪湾周辺地域数値地質図編さんグループ, 1997).



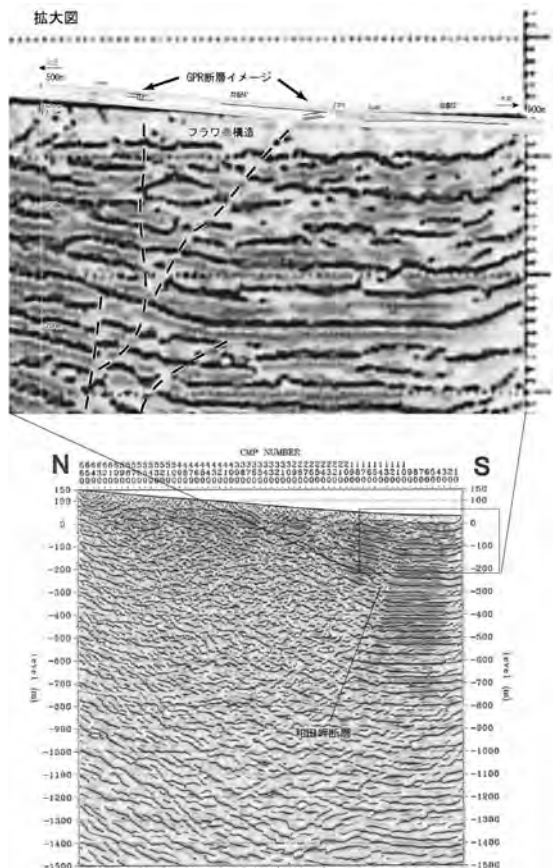
第3図 住吉川GPR測線のうち地層の不連続が認められた部分のGPR断面図。

反射法地震探査では、地下1~2kmに存在する、基盤岩と未固結堆積物の境界が断層により階段状にずれているのが描かれている(第4図下)。未固結堆積物は大阪湾を中心に広く分布する大阪層群である。大阪層群は新生代第三紀鮮新世~第四紀更新世の地層であり、そのうち当時の海底面に堆積した粘土層は連続性がよく追跡できる。基盤岩に形成された断層の上では、粘土層が曲げられて変形しているのが描かれている。和田岬断層は都賀川測線や石屋川測線で確認され、市街地の地下に延びている。一方で、八幡谷断層(宮田ほか, 2006)は花崗斑岩の岩脈の末端部(八幡谷GPR測線)から十二間道路測線の北端を通り、住吉川GPR測線を横切っている可能性がある(第2図)。

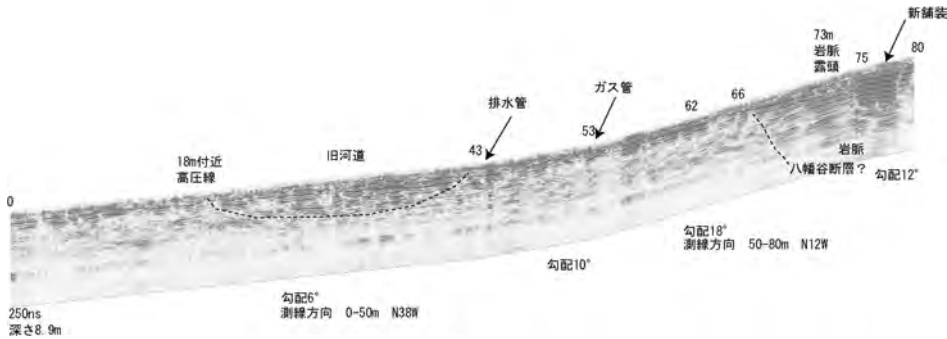
3.3 GPRによる断層のイメージ

住吉川沿いにおいて八幡谷断層が延びてくると考えられる部分のGPR断面を第3図に示す。特徴的な反射面は測線距離500~600mにある強い反射面の段差である。北側が隆起し、南側が沈降しているように見える。層の下限の段差は1.9m、上限の段差は0.4mと換算できる。もう一つは測線距離700~800mであり、地形の傾斜とは逆方向に傾く反射面が形成されている。このような地層の傾きは、一般的な扇状地の堆積過程では説明が難しく、断層による変形の効果が現れているのかもしれない。

反射法地震探査においては、地下200~300m付近まで、断層が解釈されている。それより上位では地



第4図 住吉川沿いのGPR断面図と石屋川沿いの反射法地震探査断面の重ね合わせ図(反射法地震探査は、関西地盤情報活用協議会(1998)による)。



第5図 八幡谷測線のGPR断面図。

層の変形（撓曲）が現れている。しかし、表層部の100mは解像度が低く、断層による変形は認めることが難しい。第4図はGPR記録と反射法地震探査を等倍で重ね合わせている。断層による地層の変形は表層部になるにつれ枝分かれして、フラワー構造を形成しているというのが現時点での解釈である。

第5図は八幡谷測線の断面図である。この測線は山地に近く、地形や露頭の状況から堆積物の分布が推定しやすい。測線距離66～80mは深い位置まで反射面が認められ減衰が少なく、露頭の位置からも花崗斑岩の岩脈と考えられる。八幡谷断層は岩脈が切れる測線距離66m辺りを通るものと推定できる。測線距離0～66mは反射面がやや波打っており、崖錐性堆積物や河川性の堆積物と解釈した。旧河道を埋めた堆積物は強い反射で現れている。

4. 結論と今後の課題

GPRによる断層イメージングの結論は以下の通りである。

1. 地層断面図により、断層が想定される範囲において、地層の変形が捉えられ、活断層の運動の痕跡を示している可能性がある。
2. 1の変形は200m程度の範囲に及んでおり、反射法地震探査結果に投影すると、フラワー構造の上端を捉えていると解釈できる。
3. 岩盤と土砂層のように明らかに物性の異なる地質が接している場合、境界（断層）は比較的明瞭に現れる。

今後の課題として、

1. 断層の活動時期を明らかにするため、地層のサン

プリング等により、変形した地層の性状や年代を解明する。

2. 平行する複数の測線にて探査を実施し、地層の変形が平面的に連続することを確認する。
3. 浅層反射法などにより中間深度のデータを充実させ、GPRと反射法地震探査との対比の精度を向上させる。

以上が挙げられ、探査事例の増加と機器および解析技術の向上により、断層調査においてもGPRの活用が進むことが期待される。

文献リスト

- 地震調査研究推進本部 (1997) : 地震に関する基盤的調査観測計画, 地震調査研究推進本部平成9年8月29日, 38p.
- 地震調査研究推進本部 (2005) : 今後の重点的調査観測について(—活断層で発生する地震及び海溝型地震を対象とした重点的調査観測、活断層の今後の基盤的調査観測の進め方—), 地震調査研究推進本部 平成17年8月30日, 32p.
- 関西地盤情報活用協議会 (1998) : 新関西地盤—神戸及び阪神間—, 関西地盤活用協議会, 270p.
- 神戸市・財団法人建設工学研究所 (1999) : 阪神・淡路大震災と神戸の地盤—神戸JIBANKUNの構築ならびに地盤と被害の分析—, 神戸市・財団法人建設工学研究所, 178p.
- 宮田隆夫・田中健一・石橋克彦 (2006) : 神戸市東灘区十二間道路下の伏在活断層のGPR探査(予報)—六甲山地の活断層と大阪湾の活断層との関係、神戸大学都市安全研究センター研究報告, 10, 252-262.
- 七山 太・杉山雄一・北田奈緒子・竹村恵二・岩淵 洋 (2000) : 大阪湾断層及び和田岬断層の完新世活動性調査. 地質調査所速報, no.EQ/00/2 (平成11年度活断層古地震研究調査概要報告書), 179-193.
- 大阪湾周辺地域数値地質図編さんグループ (1997) : 大阪湾周辺地域数値地質図について, 地調月報, 48, 3-4.

NIGAUURI Yasuhide and MIYATA Takao (2008) : GPR imaging of hidden faults in the urban area of mega-city.

<受付: 2007年11月30日>