



神戸市東灘区十二間道路下の伏在断層の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

宮田, 隆夫
田中, 健一
石橋, 克彦

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 10:255-262

(Issue Date)

2006-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00518499>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00518499>



神戸市東灘区十二間道路下の伏在断層の 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—

Preliminary report of the GPR survey for a newly-found hidden fault beneath the Juniken road,
Higashinada-ku, Kobe

—Connection of the active faults in between the Rokko Mountains and the Osaka Bay—

宮田隆夫¹⁾

Takao Miyata

田中健一²⁾

Ken-ichi Tanaka

石橋克彦³⁾

Katsuhiko Ishibashi

概要: 1995 年兵庫県南部地震のあと行なわれた反射法地震探査の結果によると, 神戸市東灘区十二間道路北端部の地下に伏在断層が存在する. この伏在断層の直上を地中レーダで探査すると, 撓曲状構造が見つかった. さらに西方域の6サイトにおいても同様の撓曲状構造や不連続面(断層)の分布が判明した. また六甲山地と市街地(平野部)の地形・地質調査を行なった結果, その伏在断層の北東方向の八幡谷で N54°E の走向を示す八幡谷断層(仮称)の露頭を発見した. 以上の新知見にもとづくと, 八幡谷断層は六甲山地から市街地にのび, 伏在断層として, 十二間道路北端部を通り, 住吉川以西までのびていると推定される. また兵庫県南部地震ではその伏在断層に沿って著しい地盤変状が見られた.

キーワード: 地中レーダ探査, 伏在断層, 断層露頭, 1995 年兵庫県南部地震, 神戸市街地

1. はじめに

六甲山地に多くの活断層が存在することはよく知られている(例えば, 活断層研究会編, 1991; 藤田・笠間, 1983; Lin *et al.*, 1998). 一方, 1995 年兵庫県南部地震のあと多くの反射法地震探査(例えば, 兵庫県, 1996; 横倉ほか, 1999)によって, 神戸・阪神地域と大阪湾北部にも多数の伏在活断層が発見された(藤田・佐野, 1997; 横倉ほか, 1999). さらに, 地中レーダ探査によって, 六甲山地の活断層の一部, 渦ヶ森断層(五助橋断層の本体)が南西方向に延びて, 反射法地震探査で見つかった王子断層(伏在断層)とつながることがわかった(宮田, 1999, 2003, 2005). しかし, 六甲山地の活断層と大阪湾地域の伏在活断層がどう神戸・阪神市街下でつながるのかはまだよくわかっていない(図-1).

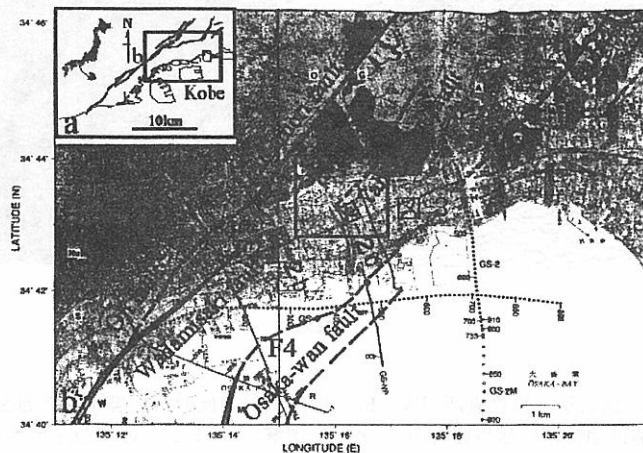


図-1 (a)位置図, (b)六甲山地と大阪湾北部の断層分布図(横倉ほか, 1999 に加筆). 点線は地中レーダ探査でわかった断層. 四角形は図-3 の位置を示す. F1, F2, F4; 図-2a の伏在断層. 六甲山地の断層の一部を大阪湾の断層と対応させるために太い線で示した.

そこで、本研究プロジェクトでは、さらに神戸市東灘区の十二間道路に沿う反射法地震探査で見つかった伏在断層と和田岬断層との関係を検討した。

2. 研究の背景

1995 年兵庫県南部地震 ($M_{JMA} 7.3$) は六甲・淡路断層帯を構成する活断層の一部が動いて引き起こされた。藤田・笠間 (1983) によると、六甲山地には西から東へ見ると、須磨断層、会下山断層、諏訪山断層、大月断層、五助橋断層、渦ヶ森断層、芦屋断層、甲陽断層などの活断層が発達している。一方、大阪湾西部には大阪湾断層などが知られている (岩崎ほか, 1990)。大阪湾断層はさらに北方で分岐し、和田岬断層につながる。和田岬断層は神戸市中央区和田岬から神戸港第四突堤を横切り、北東方向へのびて、さらに分岐しその一部は北西側の伏在断層の“王子断層”とつながる。その後、地中レーダを用いた探査で王子断層は渦ヶ森断層につながるということがわかった (宮田, 2003, 2005)。一方、和田岬断層はこの分岐より東方において、伏在断層の地表への投影の違いも含め、兵庫県 (1996)、神戸市 (1996)、横田ほか (1997)、横倉ほか (1999) でも断層分布に違いがあり、まだその実態についてはよくわかっていない。

六甲山地東部地域には、六甲花崗岩や布引花崗閃緑岩などの花崗岩類の他に、ルーフペンダント状に中・古生層が、また黒五谷から、打越山、七兵衛山を経て、八幡谷まで流紋岩質凝灰岩類 (有馬層群)、花崗斑岩 (岩脈) などが分布している。八幡谷に沿って幅が 100m 以上ある岩脈 (花崗斑岩) の分布が示されているが、これは八幡谷入口付近で突然途切れている。一方、神戸市東部の平野部の地質は、鮮新-更新世の大阪層群や更新世の段丘層、沖積層から構成されることが知られている (藤田・笠間, 1983 など)。

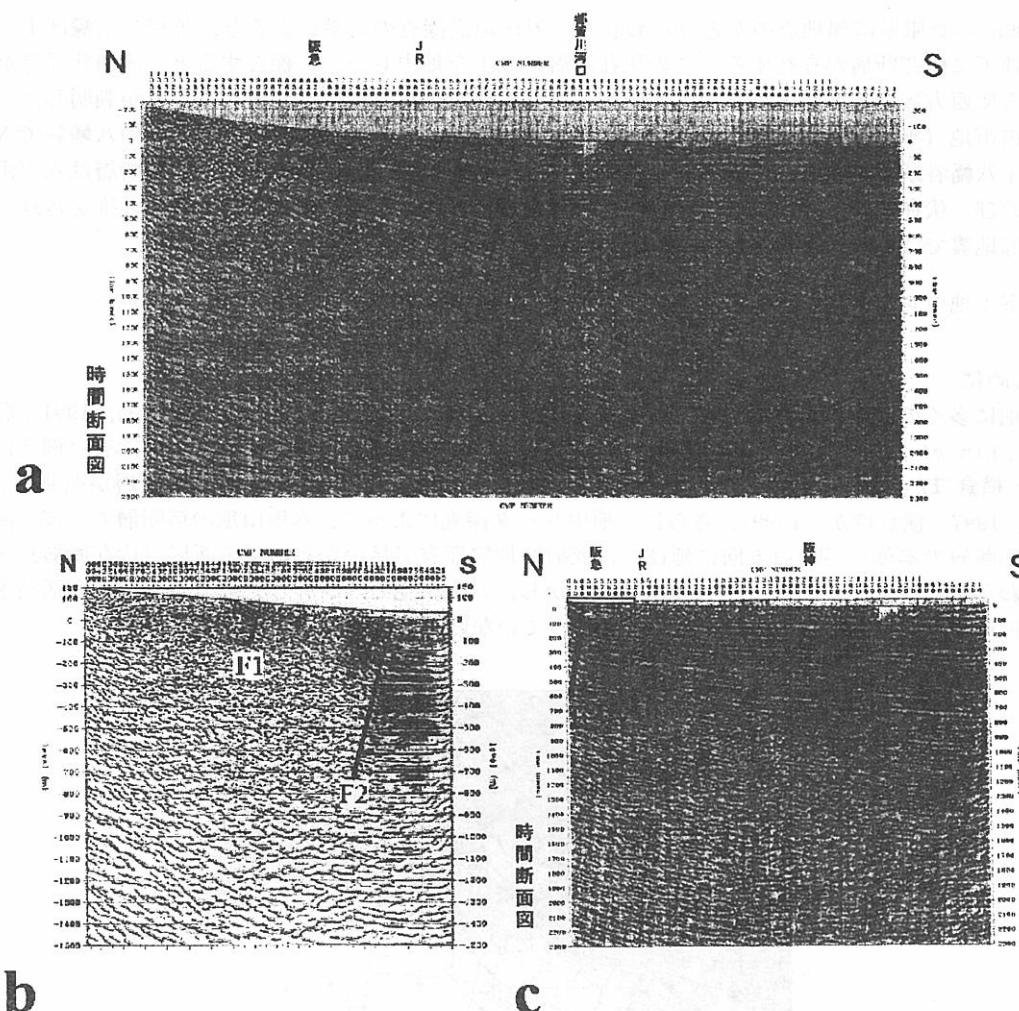


図-2 a) 都賀川測線 (HG-4-1) の反射法地震探査断面図, b) 石屋川測線の反射法地震探査断面図, c) 岡本測線 (HG-5) の反射法地震探査断面図 (関西地盤情報活用協議会, 1998 に加筆)。はしご状の部分; 反射面のより傾斜した部分, C の四角形; レーダ探査の範囲, F1; 渦ヶ森断層-王子断層, F2; 和田岬断層 (撓曲) - 御影撓曲, F4; 摩耶撓曲。

3. 反射法地震断面に見られる撓曲状構造

神戸地域の反射プロファイルに見られる撓曲状の構造を検討した。ここでは紙面の関係で都賀川測線 (HG-4-1) と石屋川測線、岡本測線 (HG-5) のそれを取り上げる。

都賀川測線 (図-2a, HG-4-1) :

この反射プロファイルでは少なくとも4箇所では堆積物中に撓曲状構造が認められる。その中の2つは明瞭で、和田岬撓曲(F2)と摩耶撓曲(F4)としてすでに報告されている (関西地盤情報活用協議会, 1998)。これらに比べるとあまり明瞭ではないが、他の2つ、F1とF3も撓曲状構造にみえる。関西地盤情報活用協議会 (1998) は図-2のF1~F3の撓曲状構造の場所にそれぞれ伏在断層 (番号は本論と逆) を推定している。

石屋川測線 (図-2b)

このプロファイルには少なくとも2つの撓曲状構造が見られる。関西地盤情報活用協議会 (1998) では、その1つは渦ヶ森断層(F1に相当)とされ、他の1つは御影撓曲(F2に相当)と呼ばれ、和田岬断層の延長と考えられた。

岡本測線 (図-2c, HG-5)

この反射プロファイルの左端に撓曲状構造が見られ、伏在断層が推定された (関西地盤情報活用協議会, 1998)。この伏在断層は兵庫県南部地震後の地質図 (兵庫県, 1996) に断層 F2 の延長として示された。この伏在断層に沿って基盤 (花崗岩) と堆積層との間の不整合面が 700m の落差をもつ。断層の南側は 300~800m 地下に推定された不整合面が南に傾斜している。この不整合面より上の堆積物がほとんど連続しているので、その間に断層は存在しないと考えられた。

表-1 神戸市東灘区の地中レーダ探査測線

サイト	場所	測線の長さ	測線の方向	レンジ
JND	十二間道路	400 m	N10°W	100 ns, 250 ns
KDE	光明寺東方	280 m	N10°W	150 ns, 250 ns
KDW	甲南大学西方	173m, 350 m	N10°W	150 ns, 250 ns
OKM	岡本9丁目	150 m	N10°W	150 ns, 250 ns
NPW	野崎公園西方	150 m	N30°W	150 ns, 250 ns
SMG	住吉川河川敷東側	200 m, 300 m	N25°W	100 ns, 150 ns, 250 ns
KSW	甲南小学校西方	300 m	N25°W	100 ns, 150 ns, 250 ns

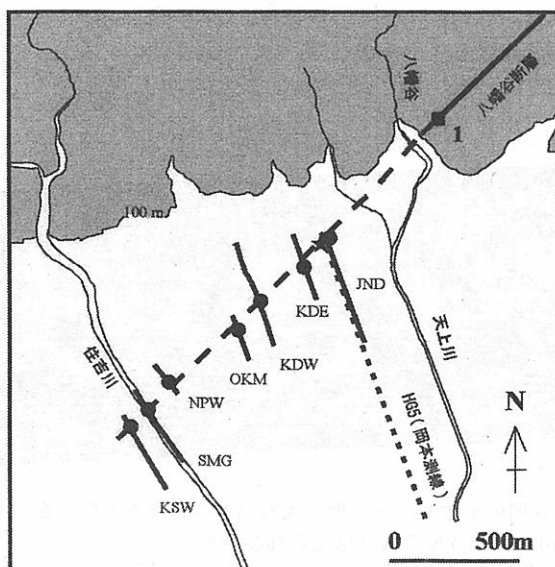


図-3 六甲山地の八幡谷断層 (仮称) の断層露頭と地中レーダ測線。1; 断層露頭の位置, 点線; 反射法地震探査測線, 実線: 地中レーダ測線, 黒丸; 地中レーダで見つかった変形構造の位置, 星印; 反射法地震探査で見つかった伏在断層の位置 (断層の傾斜を考慮して地表に投影した)。

4. 地中レーダ探査

地中レーダ探査は地中に送信された電磁波の反射をとらえ、反射物体の形状を直接計測する方法である（例えば、物理探査学会編，1998）。本探査は、SIR-2 システム（GSSI 社）を使用した。人工改変が及んでいないと考えられる深さ 10 数 m までの地下構造を見るために、100MHz のアンテナを用い、周波数、レンジを変えて複数回行なった。測定は送信・受信一体型のアンテナを路面に沿って低速度で動かし、時間断面図を得た。得られた地中レーダデータは解析ソフト（RADAN6）を用いて、水平方向にスケール補正を行ない、さらにノイズを除去するハイパスフィルター、ローパスフィルター処理を行なった。必要に応じて、マイグレーション処理も行なった。ワイドアングル法を用いて、得られた時間断面図を深度断面図に直した。

地中レーダ探査は神戸市東灘区岡本～住吉地域の 7 測線で行なった（表-1）。その中の 1 測線は反射法地震探査の岡本測線（図-2c，HG5）の一部に当たる。本報告書では、例として測線 JND と測線 KDE，測線 SMG のプロフィールを示す。

測線 JND：

反射法地震探査測線 HG-5（岡本測線）の一部に沿って十二間道路の北端部で行なった地中レーダ探査（測線：400m）の結果の一部を図-4 に示す。測線の 64m～75m では反射パターンの傾斜が大きくなり、撓曲状構造を形成しているように見える。また 64m 付近で反射強度が異なり、明瞭な不連続面が存在する。測線の 3m 付近にあるボーリング結果（神戸地盤の会，1999）から反射強度の強い層が砂層に対応し、それは南へ緩く傾斜している。撓曲状構造の両側で反射境界面の出現深度が異なり、1m ほどの垂直変位が推定される。この異常箇所は十二間道路の北端部で見つかった伏在断層を傾斜を考慮して地表部に投影した位置とよく一致しているので、この撓曲状構造は伏在断層の活動に伴って形成されたと考えられる。

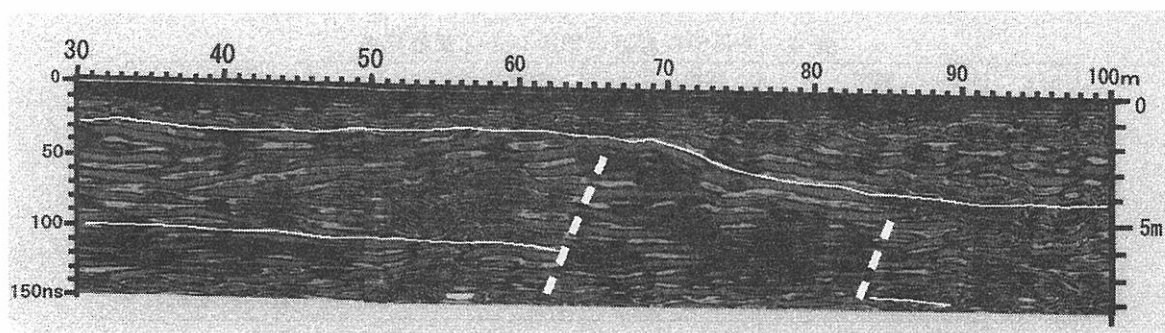


図-4 測線（JND）の 30～100m 区間の地中レーダ画像。用いた地中レーダアンテナは 100MHz。この地中レーダ探査は反射法地震探査岡本測線（HG-5）に沿って行なわれた。

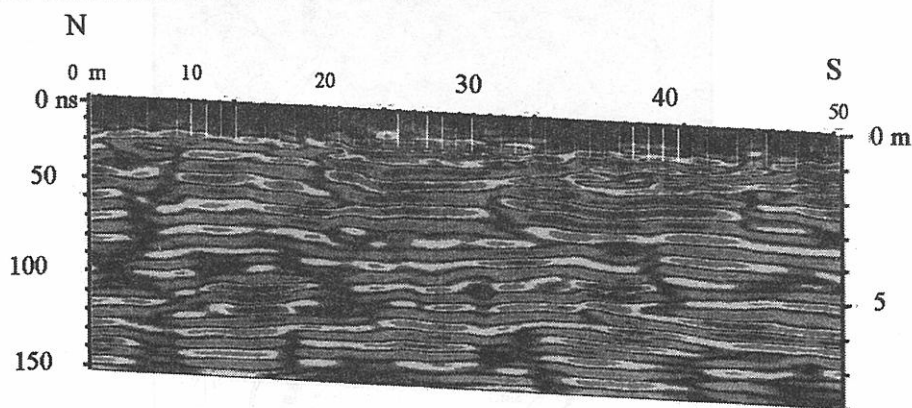


図-5 測線 KDE の 0～50 m 区間の地中レーダ画像。反射パターンは水平構造を示し、東西方向の断層（例えば、岡本断層（神戸市，1996））に伴う変形構造は見られない。

測線 KDE：

この地中レーダ測線は 280m である。測線に沿う 0～50m では、反射パターンの乱れは認められず、地表付近の堆積物は変形しておらず、ほとんど水平な地層が分布すると考えられる（図-5）。この区間に東西方向に

推定された岡本断層は地中レーダでは確認できなかった。90～150mの区間で、反射パターンに撓曲状構造が認められる。75nsの反射面をたどると、撓曲状構造の両側でその出現深度が1.5m異なっている。残りの150～280mの区間においては反射パターンがほとんど水平に分布しており、地層の変形は認められない。

測線 KDW :

北から南へ長さ350mの測線をとって、東西方向に延長される岡本断層を検討した。この測線では100～180mまで、水平な反射パターンが見られ、180～210mに撓曲状構造が現れ、その南250～300mには測線KDEと同様に反射強度の弱い層が見られる。90ns付近の反射層の出現深度を見ると、撓曲状構造両側で1.5mほど差が認められる。

測線 OKM :

この測線は鉄道の高架下(63～74m)を横切るために強いノイズが現れた。このノイズを消すための補正を行ない、時間プロファイルを作成した。110ns付近の反射面を見ると、30～50mの間で傾斜が変わり、撓曲状構造が認められる。この反射面の出現深度の差は約1mある。また、この測線に沿うボーリングデータ(神戸地盤の会, 1999)と比較すると、0～3.8mの反射強度の強い層は砂礫層と、3.8～5.6mの部分は粘土質砂礫層と、5.6～8mの部分はまた砂礫層とみなせる。

測線 NPW :

この測線の10～25mに傾斜部が現れ、撓曲状構造を形成する。ボーリングデータ(神戸地盤の会, 1999)と合わせて検討すると、砂層と砂礫層との境界面の出現深度の差は約1mある。この撓曲状構造の両側はほとんど水平な構造を示す。

測線 SMG :

住吉川河川敷には兵庫県南部地震時に亀裂が現れ、他の測線の高度より2mほど低い位置にあるので、河川敷に沿う測線(300m)は伏在断層の調査に重要な場所である。東岸に沿う地中レーダプロファイル(図-6)には測線の130m地点の5m地下から北へ傾斜する不連続面(断層)が認められる。

この測線に近い位置にあるボーリング結果(神戸地盤の会, 1999)によると、100ns付近までは砂礫層で、100～150nsまでが粘土質砂層で、150nsより下は砂礫、粘土質砂礫からおもに構成されている。

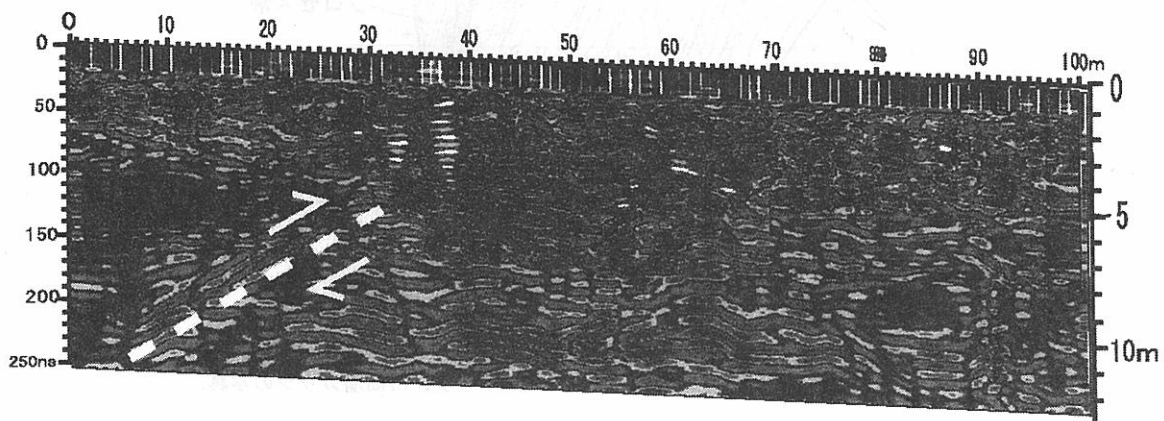


図-6 住吉川河川敷に沿う測線(SMG)の一部区間の地中レーダ画像。破線は不連続面(断層)を示す。低角度の断層面は、地表付近の堆積物が未固結なので、重力の作用によって生じたと解釈される。

測線 KSW :

この測線に沿って、25～50mの区間に反射パターンが南へ傾斜する撓曲状構造が見られる。この両側の区間はほとんど水平な構造を示す。この撓曲帯の変位は約1mと試算される。

5. 断層露頭の観察

地点1: 八幡谷

八幡の北東方向の谷において、南北走向の岩脈(花崗斑岩)の分布が途切れる(藤田・笠間, 1983)。この付近の布引花崗閃緑岩中に断層露頭(図-7)が見つかり、便宜上この断層を八幡谷断層と仮称する。この露

頭は北西—南東方向で、幅 8 m、高さ約 3 m の崖をなしている。スケッチは 50 cm 間隔のメッシュをかけて行った。断層面の走向と傾斜は $N54^{\circ}E, 84^{\circ}S$ である。断層に沿って断層ガウジが見られ、またその断層面に沿って赤褐色～茶褐色を呈した未固結の断層ガウジが発達する。その幅は 15 cm である。その両側には白色から灰色を呈する、幅 50 cm 程度の断層角礫帯が見られる。さらに、その外側には幅 3 m の節理が集中するプロセス帯が分布する。プロセス帯における節理の密度は断層近傍で約 150 本/ m^2 、そこから離れていくと減少し、断層面より 2～3 m 離れた場所では約 80 本/ m^2 と減少している。その外側には塊状で堅固な花崗閃緑岩が分布している。断層面に残る条線は南東に低角度～中角度であり、横ずれ成分が卓越している。この断層によって花崗斑岩の岩脈が切られて、変位していると推定される。この断層は六甲山地の他の場所においても確認されるので別報する予定である。

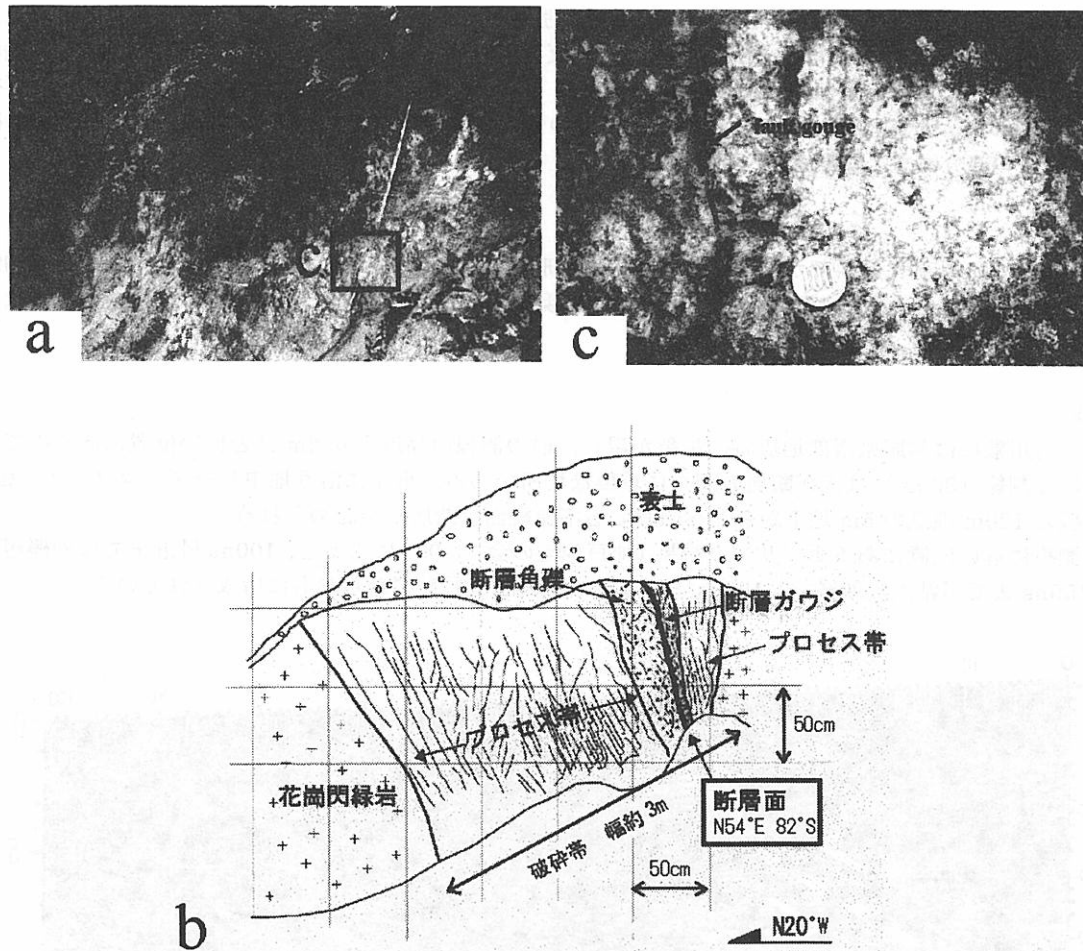


図-7 a) 八幡谷断層（仮称）の写真, b) そのスケッチ, c) 断層ガウジの写真。

6. まとめ

- (1) 神戸市東灘区十二間道路周辺において地中レーダ探査を行ない、地下極浅部に著しい変形構造（撓曲状構造や断層）を見つけた。とくに、十二間道路に沿う地中レーダ測線（JND）の撓曲状構造の位置は反射法地震探査の岡本測線（HG-5）で見つかった伏在断層の直上に当たり、この断層と密接に関係して形成されたと考えられる。
- (2) 十二間道路以外の 6 つの地中レーダ測線でも撓曲状構造や断層が見つかり、これらの変形箇所を結んだ線（図-3 の破線）は東西方向ではなく、北東—南西方向である。この方向は兵庫県南部地震の著しい地盤変位の分布（宮田・前田，1998）ともよく調和している。
- (3) 六甲山地八幡谷において幅 3 m の破碎帯をもつ断層（本論文では八幡谷断層と仮称する）を見つけた。この断層の走向・傾斜（ $N54^{\circ}E, 82^{\circ}E$ ）にもとづくと、八幡谷断層は六甲山地八幡谷から市街地の十二間道路下を通り、住吉川付近まで南西方向にのびて、さらに都賀川測線（HG-4-1）の反射法地震探査断面図の撓

曲状構造 F3 (図-2a) につながると推定される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、神戸大学自然科学研究科 近藤大輔氏 (現在、日本アイビーエム(株)) には地中レーダ探査を手伝っていただいた。また、本研究の一部は神戸大学都市安全研究センターの研究助成を受けて行なった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 物理探査学会編, 1998, 物理探査ハンドブック, 手法編, 第 5-7 章. 物理探査学会, 239-429.
- 藤田和夫・笠間太郎, 1983, 神戸地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 1-115.
- 藤田和夫・佐野正人, 1997, 阪神・淡路第震災と六甲変動震災の帯をもたらした埋没大地形, 科学, v. 66, 793-805.
- 兵庫県, 1996, 兵庫県地質図 (南部). 10 万分の 1, 兵庫県.
- 岩崎好規・澤田純男・香川敬生・松山紀香・大志万和也・井川猛, 1990, 大阪湾における反射法地震探査. 物理探査学会講演論文集, 54-57.
- 関西地盤情報活用協議会, 1998, 新関西地盤—神戸および阪神間—, 関西地盤情報活用協議会, 270p.
- 活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層—分布と資料—. 東京大学出版会, 437p.
- 神戸地盤の会, 1999, 神戸の地盤データベース「神戸 JIBANKUN」. 神戸市.
- 神戸市, 1996, 阪神・淡路大震災と神戸の活断層. 神戸市.
- Lin, A., Maruyama, T. and Miyata, T., 1998, Paleoseismic events and the 1596 Keicho-Fushimi large earthquake in the Gosukebashi fault in the eastern Rokko Mountains. *The Island Arc*, v. 7, 621-636.
- 宮田隆夫, 1999, 地中レーダによる神戸市街の埋もれた活断層の調査. 地質ニュース GPR 特集号, n.538, 12-18.
- 宮田隆夫, 2003, 神戸市東部, 渦ヶ森断層 (活断層) の地中レーダ探査. *Proceedings of the 13th Symposium on Geo-Environments and Geo-Tecnics*, 407-412.
- 宮田隆夫, 2005, 地中レーダで市街地の伏在活断層をさぐる. 神戸大学阪神・淡路大震災 10 周年学術シンポジウム, 6-13.
- 宮田隆夫・前田保夫, 1998, 1995 年兵庫県南部地震による神戸市街地の地盤変状. 地質学論集, n. 51, 89-101.
- 横倉隆伸・山口和雄・加野直巳・宮崎光旗・井川 猛・太田陽一・川中 卓・阿部 進, 1999, 神戸・芦屋周辺における反射法深部構造探査. 地質調査所月報, v. 50, 245-267.
- 横田 裕・井川 猛・佐野正人・竹村恵二, 1997, 第 2 章 大阪湾から六甲にかけての反射法地震探査. 兵庫県立人と自然の博物館編集, 阪神・淡路大震災と六甲変動—兵庫県南部地震域の活構造調査報告—, 兵庫県, 57-89.

筆者: 1) 宮田隆夫, 神戸大学理学部, 教授; 2) 田中健一, 神戸大学自然科学研究科院生 (現在: (株)アイ・エイチ・アイ・アムテック); 3) 石橋克己, 神戸大学都市安全研究センター, 教授

Preliminary report of the GPR survey for a newly-found hidden fault beneath the Juniken road, Higashinada-ku, Kobe

—Connection of the active faults in between the Rokko Mountains and the Osaka Bay—

Takao Miyata
Ken-ichi Tanaka
Katsuhiko Ishibashi

ABSTRACT

A hidden fault was newly found beneath the Juniken road, Higashinada-ku, Kobe by using a seismic reflection method after the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. We surveyed at seven selected sites for subsurface structures and the extension of its fault using a GSSI ground-penetrating radar (GPR) and 100 MHz frequency antenna. The GPR data were processed to accentuate geologic features by high pass filtering, low pass filtering and migration. We made the following observations based on our GPR imagery: (1) An anomalous zone of reflectors was found in all seven sites. This anomaly is characterized by deformation of multiple sub-horizontal reflectors with either a reflector-bending-mode or a reflector-break-mode. (2) The anomaly is located above the hidden fault and along its the southwestward extension. On the other hand, we could find an outcrop of NE-striking fault, named as the Yahatadani fault, along the northeastward extension of the hidden fault at Yahatadani in the Rokko Mountains. Judging from these facts, the Yahatadani fault in the mountains is thought to extend to the southwest beneath the urban area of Kobe.