

III-A 360 野島地震断層における地表層の変形構造の調査（地下レーダー探査法の適用）

（財）電力中央研究所 正会員 ○谷 和夫、阿部信太郎
川崎地質（株） 林 泰幸

1. はじめに： 1995年兵庫県南部地震では、淡路島北部西岸の野島断層に沿って斜め右横ずれの地震断層が出現した。筆者等は、基盤の断層運動によって、固結度が低い表層地盤に形成される変形構造を調べることを目的として、代表的な地域で調査を行っている。地震直後（1995年1月）に野島江崎、里、梨本の3地域で実施した地表踏査、サウンディング等では、主に地表面の変形構造を対象とした^{1, 2)}。本報告では、その後（1995年11月）、地盤内部の変形構造を対象として実施した地下レーダー法探査について記す³⁾。

2. 調査の概要： 調査は野島江崎①～③地点と梨本①地点の4ヶ所で実施した²⁾。探査測線と地震直後に記録した地表変形構造の位置関係を図1に例示する。測線は、リーデルせん断による地割れ、あるいは断層の走向に直交する方向とした。野島江崎地区は地震後の変状がそのまま保存されていたが、梨本地区は田圃が既に平坦に改修されていた。

パルス波（PW）レーダー法と、周波数変調を行う連続波（FM-CW）レーダー法の2種類の手法による地下レーダー法探査を試みた。PWレーダー法による可探深度は高々数mであるが、高い分解能を有するため、地表面近傍の微細な構造を調べるのに適している。最適な周波数帯域は地盤の電気特性に応じて異なるため、計測する中心周波数が80MHz、150MHz および1GHzの3種類のアンテナを用いた。一方、周波数が段階的に変化（スイープ）する連続波を利用するステップ式FM-CWレーダー法は、PWレーダー法による高分解能を保持し、かつ探査可能な深度を数倍に大きくすることができる⁴⁾。しかし2m以浅については、地表面における強い反射波フェーズの影響を受けて分解能がやや低下するため、PWレーダー法探査の結果と合わせて全体の地盤構造を解釈することとした。

3. 調査結果： 得られた電磁波反射記録の解析断面図の例を図2に示す。PWレーダー法では3種類の中心周波数、FM-CWレーダー法ではニア・トレース（シングル・チャンネル）とCDP重合（マルチ・チャンネル）の解析断面図が得られている³⁾。主な知見を以下に示す。

（1）断層変形問題で対象となる低固結度の地盤では、80MHzと150MHzのアンテナを用いたPWレーダー法による可探深度2.0～4.5mで、1GHzのアンテナでは減衰が大き過ぎて明瞭な地質構造を読み取ることは不可能だった。一方、FM-CWレーダーによれば、深度10～13mまでの反射構造に関する情報が得られた。

（2）地表面にはほぼ平行に分布する反射波フェーズには、不連続あるいは途切れている部分が多数存在する。これを地表面から地下深度に向かって連続的に分布するところをトレースしたものを図3に示す。比較的線形が長く、延長が2mを超えるものが、各解析断面で数条引くことができる。地表面に地割れ等の変形が集中した部分の直下にその多くが分布しており、地層のずれ構造に対応していると考えられる。

（3）地表面近傍4m以浅の構造を調べるのに有利なPWレーダー法によれば、各トレースの傾斜は高角度60°～80°で、一般的に地下深部で収束する樹系図状の分布形態を示す。詳細な構造は不明だが、横ずれデュープレックス（strike-slip duplexes）で言われている花卉状構造（flower structures）が想定される。

（4）さらに深い構造を調べることができるFM-CWレーダー法によれば、反射波フェーズの不連続や途切れを連ねた数mの

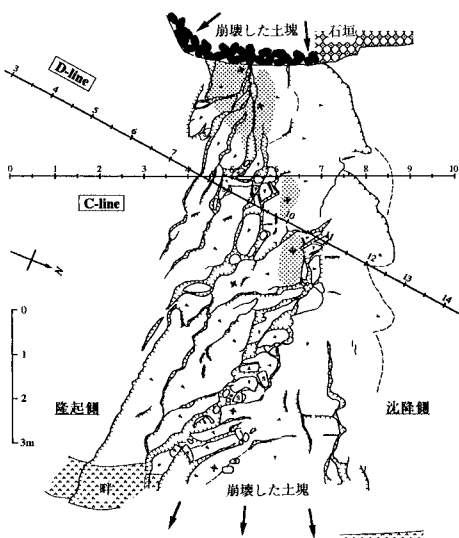


図1：探査測線の位置図（野島江崎③地点）

トレースが高角度 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$ に数条分布する。中でも特に明瞭なものは、地表の変形帯ないし大規模な地割れの直下に存在する。ただしこれらの線形は必ずしも一定の方向に伸びず、やや蛇行する傾向も見られる。変形層が比較的古い時代（鮮新世後期～更新世前期）の地盤と推定される梨本①地点では、深さ 10 数 m まで収束していない可能性がある。

(5) 地表のリーデルセン断に直交する測線の方が、断層線に直交する測線よりも明瞭な解析断面が得られた。したがって、地表面下 4 m 以浅の地割れ構造の地盤内の走向は、地表面のそれと大差ない可能性がある。

(6) 反射波フェーズの不連続や途切れを連ねたトレースは、地下深部より地表の地割れまで必ずしも連続していない。地表近くの変形層に対して断層変位という外乱、すなわち強制的な不連続変位（ずれ）は基盤面に入力される。それがそのまま不連続変位を生じる面（せん断層）として、基盤から地表面に向かって伝播するように発達するつながった変形構造を考えるのが自然である。しかし、基盤面が断層変位を入力する変位境界であるのに対して、地表面は平面応力状態という応力境界である。したがって、断層線上でシャープにずれる基盤面近傍と、ある幅（断層変形帯）の中でずれる地表面近傍では、それぞれの境界条件の応じて異なるモードの変形構造が別々に形成されることが考えられる。そのため、地表の地割れ構造が、基盤からの変形構造と連続的であるという保証はない。乾燥砂を用いた横ずれ断層の模型実験による検討でも、地表面で観察される雁行配列のリーデルセン断と、基盤近くに形成される覆瓦構造のせん断層の列の性状は、それぞれの境界条件に別個に支配されていることが確認されている⁵⁾。

4. おわりに： 1995年2月に、梨本①地点ではトレンチおよびボーリング調査を実施し、地下レーダー探査法による地質構造と矛盾しない結果が得られている。今後、機会をみて報告する。

参考文献： (1) 谷 和夫、上田圭一、仲田洋文 (1996 a) “野島断層上に発達した変形帯の調査結果 —第四紀層地盤地域で見られた地表面の断裂構造—”、阪神・淡路大震災に関するシンポジウム、土木学会、pp.29～36。 (2) 谷 和夫、上田圭一、仲田洋文 (1996 b) “基盤の斜め移動断層変位による未固結被覆層の変形構造 —1995年兵庫県南部地震における野島地震断層の初期調査結果—”、電力中央研究所報告、No.U95019。 (3) 地震被害調査グループ (1996) “1995年兵庫県南部地震被害調査続報”、電力中央研究所報告、No.U (印刷準備中)。 (4) 中村三郎、東 年春、笠井弘幸、内田 敬、登内正治、野口静雄 (1994) “川崎式連続波地中レーダ探査法による地すべり地盤構造探査”、第33回地すべり学会研究発表講演集、pp.173～176。 (5) 西 真幸、谷 和夫 (1996) “横ずれ断層実験で観察されるリーデルセン断の発達するメカニズムに関する一考察”、第31回地盤工学研究発表会（投稿中）。

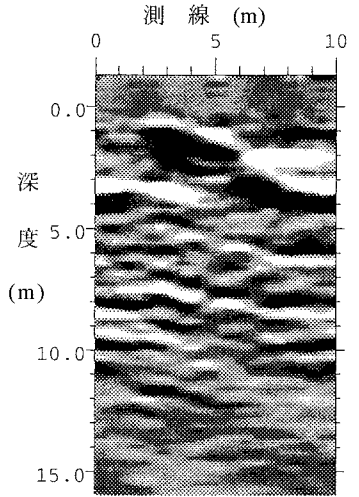


図2：解析断面図の例
（野島江崎③地点C測線、FM-CWレーダー法）

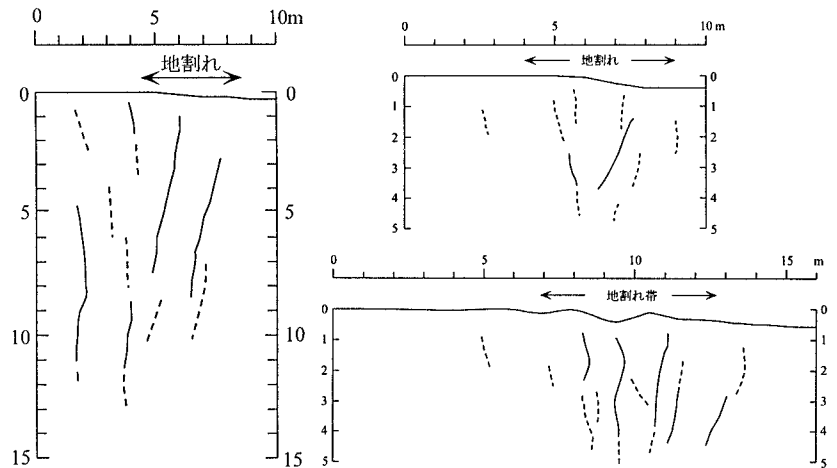


図3：反射波フェーズの不連続や途切れを連ねたトレースの分布図（野島江崎③地点）

(左) C 測線 (FM-CW レーダー法) (右上) C 測線 (PW レーダー法)
(右下) D 測線 (PW レーダー法)