

Model

22

1

地中レーダーによる山崎断層安富観測坑内の浅部構造調査

京都大学防災研究所 渡辺 邦彦

Mapping of the Subsurface Structure beneath the Yasutomi Observation Vault, Yamasaki Fault Zone, by Employing the Underground Radar System.

Kunihiko WATANABE
Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University

1. はじめに

地球物理的な観測を行なう場合、観測点の周辺の局地的な構造や条件は観測結果に特に重大な影響を及ぼす。測定対象によって影響や擾乱の現われる条件は異なる。地震観測の場合は地盤特性や人工的振動の影響が考慮され、地球電磁気観測の場合は電気的條件や構築物などが大きな影響を与える。一般にこれらの影響はノイズとして扱われ避けられることが多いが、逆に既知の信号として利用されることもある。いずれにせよ、計器設置場所の近傍の局地的状況とその影響について調べておくことは観測の前提として大切な問題である。

山崎断層安富観測坑は、1975年兵庫県宍粟郡安富町地籍の中国自動車道の直下に掘削された (Fig.1)。この地域は山崎断層系の安富断層がとおっている。いわゆる地殻ブロック運動の考えに立てば、その境界たる断層破碎帯は歪が集中する場所であり、地震に関わる変動も現れ易いと考えられる。このような考えのもとに、断層破碎帯の近傍での総合観測が計画された。観測坑の掘削に先だってなされた周辺の地質調査の結果に基づき、観測坑は安富断層を夫々の辺が斜めに横切るようなL型に掘削された。NW-SE方向の坑道をA坑道、NE-SW方向の坑道をB坑道と称する。掘削後改めて坑道壁面の地質調査がなされ、坑道がその途中にいくつかの顕著な破碎帯をまたいでいることが確認された。そして、これらの破碎帯を含む地域の地殻の挙動を調べる目的で伸縮計が配置された

(Fig.2)。ちなみに、周辺の地質は古生代の粘板岩および中生代の流紋岩である。

伸縮計による観測は1975年11月より開始された。その

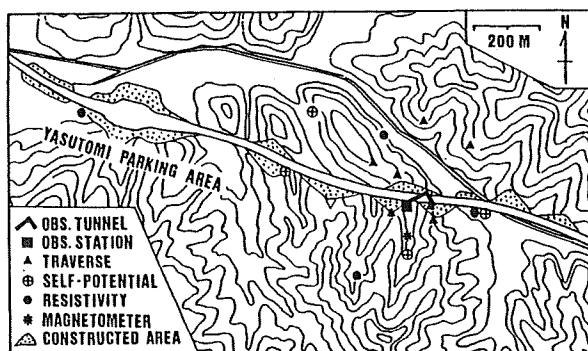


Fig.1: Topography in and around the Yasutomi observation vault of the Yamasaki observatory.

結果、破碎帯の存在によると思われる特徴的な地殻変動の様相がいくつか指摘されてきた。13年以上にわたる観測結果による知見をもって、改めて観測坑周辺の構造を考えてみることは非常に大切な問題である。しかし現在は坑道のコンクリート壁により周囲の状況を直接調査することは不可能となっている。

地下構造の調査には、弾性波探査、電気探査、放射線探査など種々の方法が用いられるが、測定場所の条件に応じて適、不適がある。高速道路直下の観測坑内は、短周期の交通ノイズが大きく多数の観測器が稼働中であることなど、種々の制約がある。いわゆる地中レーダー法はこのような条件下では簡便でありかつ効果的であると考えた。

地中レーダー法は、地中に向けて電磁波パルスを発射し電磁気的な反射体からの反射波の走時を用いて地下構造の探査を行なうものである。地中での電磁波の減衰が大きいので一般に探査深度が浅いが、簡便で分解能はよい。山崎断層安富観測坑内で地中レーダーによる浅部構造調査を行なった結果について報告する。

2. 探査の実施とその結果

安富観測坑内での地中レーダー探査は、1988年1月27日～28日に実施された。安富観測坑内の探査を主とし、ほかに安富町内3測線でも探査を行なった。本稿では観測坑内の結果について述べ、他は別の機会にゆずる。観測坑内では、主として400MHz用のアンテナを用いた。観測坑内の床は厚さ約40cmのコンクリートであり、鉄筋は入っていない。この床上を、発信、受信の2個のアンテナを移動させて測定した。測定方法は電磁波の伝播速度を調べるものと、反射面からの反射波の走時を求めるものの2種類である。ただしこの場合の反射面は電磁気的な不連続面であるが、一般的には地質構造の違いに対応していると考えてもよいと思われる。

Fig.3 は送信アンテナと受信アンテナの間隔 x を変えることにより電磁波の地中における伝播速度を求めたものである。顕著な相として空中を伝わる波、地中を直接伝わる波があり、その後反射波が現われている(図中の○印の相)。その走時 T とアンテナ間隔 x を読み取り、夫々の2乗をプロットしたのがFig.3の下部である。これによれば、電磁波の地中伝播速度はほぼ10cm/nsec程度であった。観測坑は地下6-8mの深さであり、その周囲は地下水が多量にあると想像さ

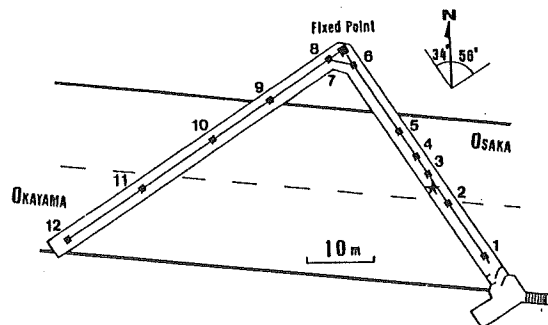


Fig.2: The shape of the Yasutomi observation vault and the arrangement of extensometers. Numerals denote the position of the displacement sensors. The direction of A-vault is N34°W and that of B-vault is N56°E.

れる。そう考えるとこの値は比較的大きい。しかし、この値は約40cm厚の床コンクリートを含んだ約70cm下の反射面までの平均的な伝播速度であると考えたと理解できる。ちなみに安富町内の他の測線における地表近傍での伝播速度は約6cm/nsecであった。

Fig.4 は送信アンテナと受信アンテナを一体として移動させながら反射波を記録していったものである。横軸は坑内での位置を伸縮計のセンサーの番号とともに、縦軸は反射面までの往復走時を表わす。地中に(電磁氣的な)不均質や擾乱があれば、反射波がみとめられる。かりに、地中の電磁波伝播速度を10cm/nsec とすると、往復走時10nsecは50cmの深さに対応する。図の上部に連続して認められる相は空中を直接伝播した波、地中を直接伝播した波などに対応し、

地中からの反射相は図中で約15ns以後の部分と思われる。これによるとA坑道の途中5-8m付近、13-17m付近および24-29m付近に反射相がかなり認められる。このことはこの付近の地下が擾乱を受けていると考えることができる。往復走時50nsec以後は減衰が大きく測定不能であった。坑道掘削時に認められた破碎帯は伸縮計センサーの2番と3番の間および5番と6番の間といわれている。これらは、位置的には夫々、13-17m, 24-27mの間の擾乱に対応する。これに対してB坑道は全体を通じて安定している。坑道掘削時に認められた10番と11番の間の破碎帯は今回の地中レーダー探査では認められなかった。こ

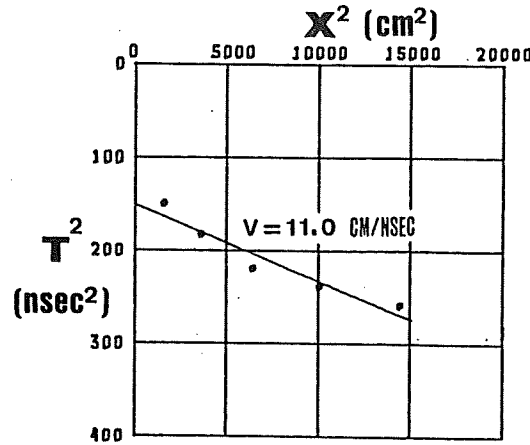
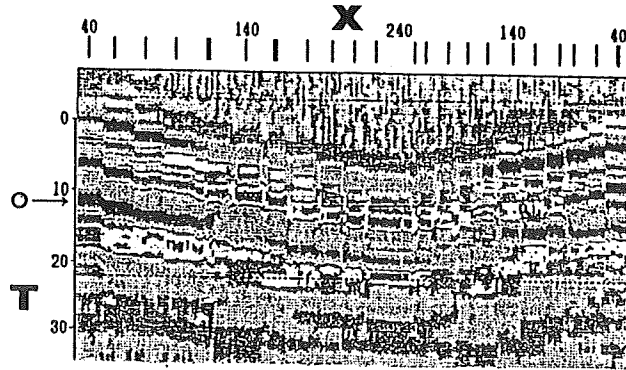


Fig.3: Records obtained by wide-angle reflections using the underground radar system. The apparent velocity of the electromagnetic wave in the shallow subsurface strata is derived as shown in the lower figure. X is the distance between the transmitter and the receiver, and T, the travel time of the reflected wave.

のような細部の対応はともかく、A坑道の方がB坑道より全体的に擾乱が大きいことは明瞭である。

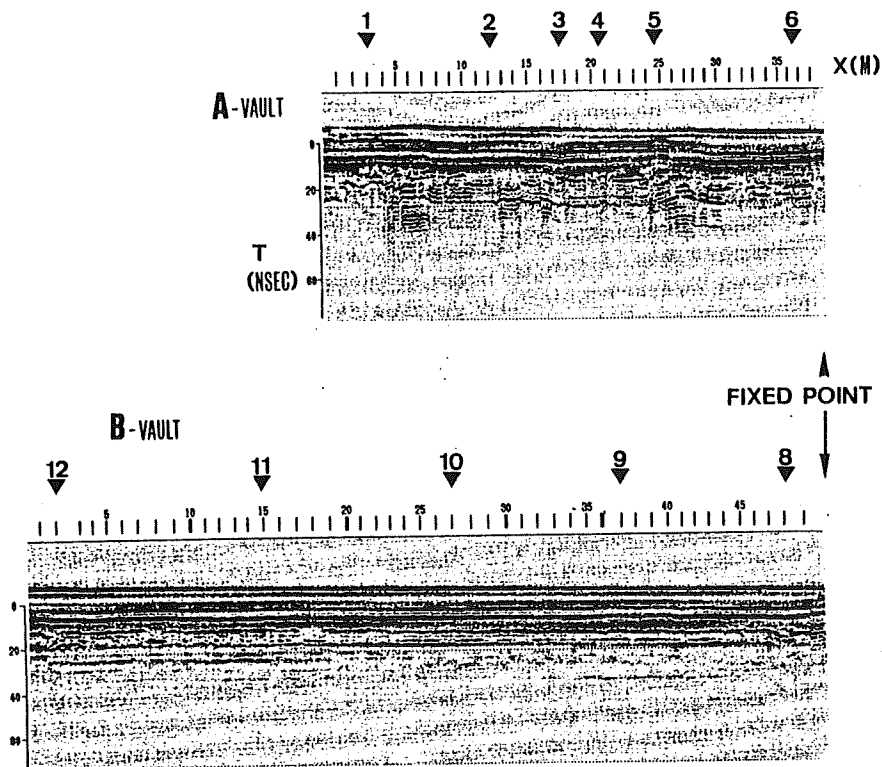


Fig.4: Observed records of the electromagnetic profiling carried out by employing the underground radar system. The solid triangles with numerals mark the locations of extensometer sensors.

3. 伸縮計による観測結果との比較

Fig.2 に示すように、伸縮計の変位センサーはA坑道に6個、B坑道に5個、断層にほぼ併行な方向に1個設置してある。これらのセンサー間の相対的な変位を求めることにより、センサー相互間の区間の歪を求めることができる。1975年11月の伸縮計観測の開始以来1987年12月までの区間歪（数字に示すセンサー相互間の歪）の経年変化を、Fig.5 に示す。気温による年周変動などは補正してある。これによると、成分1-2 (Fig.2に示すセンサー1番と2番の間の区間の歪)は、1979年頃に異常な変化を示しているが、全体的には縮み傾向である。これに対しその隣の成分2-3は伸び傾向、その隣の成分3-4は縮み傾向、その隣の成分4-5は伸び傾向と、交互に伸縮の傾向を異にしている。しかもその振幅は12年間で 10^{-4} strainにも達し、弾性体としての破壊限界を越えている。これらから、A

坑道は破砕度が高く、非弾性的にふるまっていることが推察される。これに対し、B坑道の各成分は成分11-12を除いて比較的静穏である。

以上に述べた伸縮計による観測結果も、A坑道の方が破砕度が進んでいるという考えを支持している。ちなみに12番センサーは、坑道掘削時に縦穴を掘り後に埋め戻した地点に近く、1979-81年の成分11-12の大きな変動はそれに原因があると考えられる。

4. 結論

山崎断層安富観測坑内や安富町地籍において地中レーダーによる浅部構造調査を行った。そのうちの安富観測坑内の探査結果について報告する。併せて、伸縮計による観測結果を比較した。それらの結果をまとめると次の通りである。

- ①地中レーダーによる調査の結果、A坑道にはほぼ3箇所に擾乱が認められた。これらの箇所は、坑道掘削当時の地質調査で認められた破砕帯とその空間的分布に関して比較的よく対応している。
- ②B坑道には目だつた擾乱は認められなかった。地質調査で認められた10-11番の中間の破砕帯に対応する擾乱も特には認められなかった。
- ③全体としては、A坑道の方がB坑道より不均質で、破砕度が大きいようである。
- ④上の性質は、伸縮計による歪の観測結果とも整合性がある。

今後は、弾性波探査や電気探査などとの併用がより精度の高い探査結果を得るために必要であろう。

CA研究会の方々、京大防災研究所微小地震部門の皆さんにはいろいろと議論していただきました。御礼申し上げます。

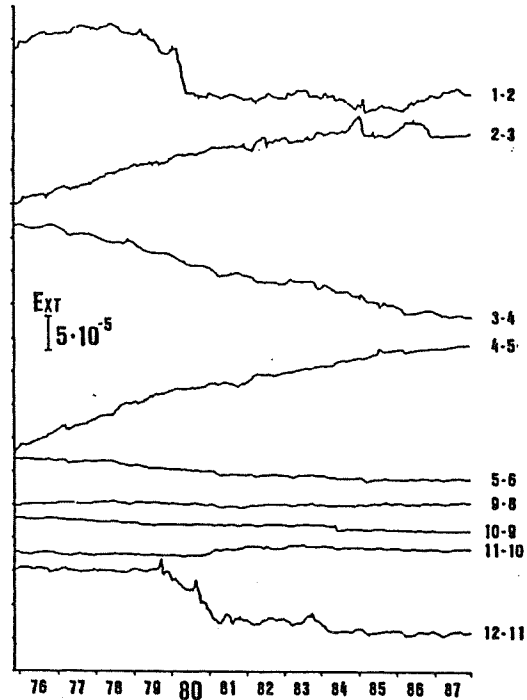


Fig.5: Partial strain variation observed in the Yasutomi observation vault. Annual variations caused by the atmospheric temperature have been already reduced.

5個、
変位
75年
相互
ある。
は、
対し
4-5
で1
、A

参考文献

- 1)地質調査所、1981、1:200000地質図 姫路
- 2)Handa,S. and N.Sumitomo;1986,The Geoelectric Structure of the Yamasaki and the Hanaori Faults, Southwest Japan, J.G.G., vol.38, pp93-106.
- 3)原 徹夫・坂山利彦、1983、地盤調査に対する地下レーダーの適用性について、応用地質調査事務所年報、No.5、pp77-91.
- 4)中堀義郎、1977、山崎断層安富観測坑において観測された地球潮汐歪について、京都大学大学院理学研究科修士過程論文
- 5)尾池和夫・岸本兆方、1976、地震予知テストフィールドとしての山崎断層、地震予知研究シンポジウム(1976)、pp83-90.
- 6)尾池和夫・中村佳重郎、1978、山崎断層における伸縮変化の連続観測結果、京大防災研究所年報、第21号B-1、pp11-18.
- 7)尾池和夫・渡辺邦彦・中村佳重郎・谷口慶祐・岸本兆方、1981、山崎断層地震予知テストフィールド連続観測システムについて、京大防災研究所年報、第24号B-1、pp29-40.
- 8)応用地質株式会社、1988、山崎断層地下レーダー探査報告書
- 9)Taniguchi,K. and K.Oike;1984,Behavior of Fractureed Zones at the Yamasaki Fault for Teleseismic Waves, J.P.E.,vol.32,pp449-461.
- 10)渡辺邦彦・尾池和夫・中村佳重郎・岸本兆方、1983、山崎断層安富観測坑における長周期伸縮変化の特徴、京大防災研究所年報、第26号B-1、pp87-94.