

山崎断層におけるトラフィックノイズを用いた 地震波干渉法の適用

宮澤理稔

要 旨

地震波干渉法はノイズ記録を用いて、2観測点間を伝播する地震波を取り出すことができる手法である。本研究ではこの手法を山崎断層（兵庫県）に適用し、地下構造調査への利用可能性を調べた。山崎断層帯は長さが約80 km、走向が西北西-東南東であり、5つの左横ずれの断層セグメントからなる。断層の走向に沿って走る中国自動車道の地下約6 mの観測坑道等に地震計を配置した。約10 Hzに卓越周期をもつ地表からのトラフィックノイズ等が、一日を通じて安定して観測され、地震波干渉法を利用して構造をモニターし調査するに理想的であるように思える。実際、任意の2観測点間の相互相関関数を求めたところ、2観測点間を両方向に伝わる波が現れ、グリーン関数のRayleigh波成分の推定に利用できると考えられる。この結果を踏まえ、通常は表面波に隠れて取り出すことの難しい実体波を抽出するための観測を開始した。

キーワード：山崎断層，地震波干渉法，トラフィックノイズ

1. はじめに

地震波干渉法(seismic interferometry)は2観測点で観測されたノイズ記録のみを用いることで、一方の点を疑似震源とした時のもう一点でのグリーン関数を抽出することができる手法である。このことは、ノイズを観測することにより地下構造探査が可能であることを意味している。自然地震や人工震源を用いず安価に地下構造探査を行えるばかりでなく、ノイズが観測される限り行える時間的に連続した解析により、構造の時間変化を追跡できる可能性もある。本研究では、通常観測や調査には適さないトラフィックノイズの大きい場所で、そのノイズを逆手に取り地下構造解析の可能性を検証した。

調査したのは、山崎断層帯（兵庫県西部）を構成する5つの左横ずれの断層セグメントの一つである安富断層である。1923年以降の気象庁及び一元化震源カタログによると、山崎断層帯とその近傍では約11-14年毎にM5以上の地震が発生していた。しかし1990年を最後に過去20年間余り、M4以上の地震が発生していない。これには1995年兵庫県南部地震(M7.2)の影響がないとは言えないが、ポアソン過程に基づく地震の活動度を考慮すれば、近い将来中規模地震が発生する可能性が高い地域である。安富断

層の一部では左横ずれに伴う地表断層が約15 kmにわたり直線状に現れており、その直上を中国自動車道が走っている。ここでは常に車の通行によるトラフィックノイズが期待され、地震波干渉法を適用し浅部地下構造を調査するために適した場所であると考えられる。

本稿では、安富断層沿いにおける地震波干渉法の適用の試みとして、トラフィックノイズから表面波の伝播が検出できる事を示し、それを踏まえた上で同じ地震波干渉法を利用した発展的な調査のために連続観測を開始したことを報告する。

2. 安富観測坑とその周辺における観測

兵庫県姫路市安富町にある京都大学防災研究所山崎断層観測室付近に、深さ約6 m、総延長約90 mのL字型の観測坑道（横穴）が掘られており、その直上を中国自動車道が通っている。この坑道内やその他付近の自動車道の下をくぐるトンネルに、3成分2 Hz 速度型地震計を設置し、ノイズの観測を行った。

Fig.1に連続観測を行った長距離測線の模式図を示す。西北西 - 東南東に走る山崎（安富）断層と中国自動車道に沿った断面図である。東南東の距離0 mと~40 mの地点は、安富観測坑道内の観測点である。

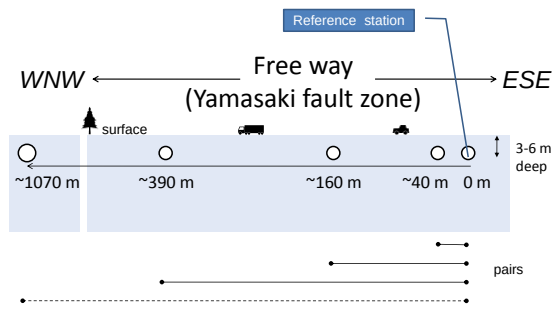


Fig. 1 Schematic illustration of seismic stations along the Yamasaki (Yasutomi) fault.

~160 m及び~390 mの観測点は、中国自動車道をくぐる通路であるが、舗装されておらず交通はない。また~1070 mの観測点は、中国自動車道の高架下をくぐる道路である。

3. 地震波干渉法とその適用

解析に用いる地震波干渉法について簡単に説明をし、実際の観測結果を紹介する。

3.1 Correlationとdeconvolution

地震波干渉法においては、2観測点で記録されたノイズ波形のcorrelationをとることで、それらの観測点間を伝わる弾性波を抽出することが出来る。これ以外にも、ノイズ波形のdeconvolutionを利用する方法もある。この場合、ノイズの震源関数を知らなくてもグリーン関数を得ることが出来るというメリットがある。また、地震波の減衰等の現象を含んだ散逸系に対してもグリーン関数の抽出が有効であり、構造の時間変化をモニターするに適していると考えられる。その一方で、解析方法がcorrelationの場合に比べて不安定になるという欠点も存在する (Snieder et al., 2009)。

ここでdeconvolutionを利用した解析の際に気を付けるべき重要事項を紹介しておく。例えば同一観測点のノイズ波形のcorrelation (実際はauto-correlation) からは、疑似反射面からのシグナルを検出することが出来るのに対し、同一観測点におけるノイズ波形のdeconvolutionは δ -関数に他ならず、ラグタイム 0秒以外ではシグナルが観測されず、correlationを用いた方法とは明らかに結果が異なる。これは単にノイズ波形記録のdeconvolutionをとるだけではclamped boundary conditionを満たしていないために、グリーン関数の散乱波部分が正しく抽出されないためである (Vasconcelos and Snieder, 2008)。従って地震波干

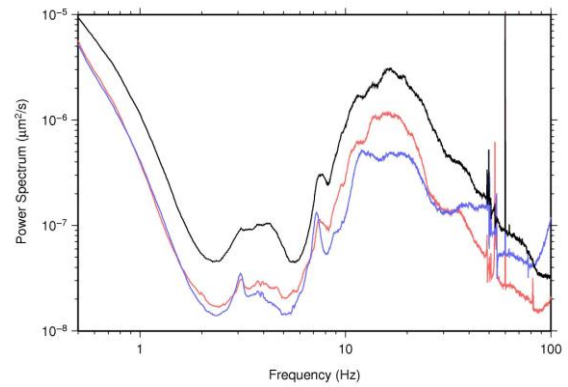


Fig. 2 Power spectra of noise data for a day at the Yamasaki fault after removing the instrument response. Curves indicate the spectra of vertical component in black and two horizontal components in blue and red.

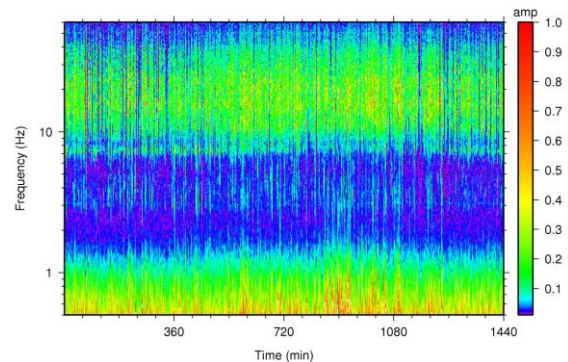


Fig. 3 Running spectra of the noise data for a day at the Yamasaki fault.

渉法においてdeconvolutionを利用する場合に、ノイズ波形を前処理なしに解析に利用することは、十分注意が必要である。本稿では、次節で不適当な一例を紹介するに留める。

3.2 長距離測線における観測・解析結果

長距離測線において、地震計を中国自動車道下のトンネル内5ヶ所に設置し (Fig. 1), 約1日間連続観測を行った。測線は断層の走行あるいは自動車道に平行であり、測線長は約1 kmである。観測坑道内で観測されたノイズは、10 - 30 Hzにエネルギーが卓越していた (Fig. 2)。またこのシグナルを含めてノイズの振幅は、夜間交通量の減少に伴い弱くなるものの、一日を通じて安定して観測された (Fig. 3)。観測坑道からもっとも離れた観測点の記録は質が悪かったために利用していない。

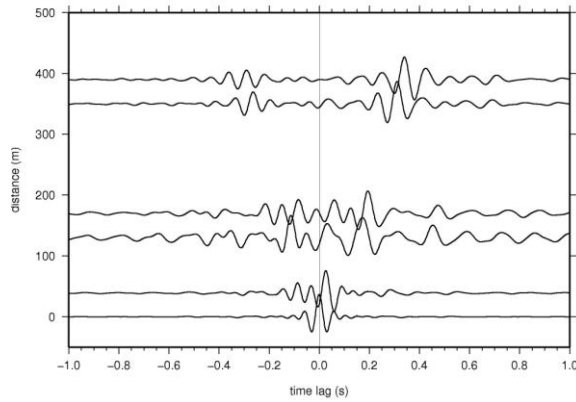


Fig. 4 Correlations of noise data in vertical component for two reference stations. Waveform at the distance zero indicates auto-correlation.

2観測点のノイズ波形のvertical成分(V)のみを利用したcorrelation (V-V)の結果をFig. 4に示す。基準とした観測点は、Fig. 1中の東南東端に示している観測坑道内の2点のいずれかである。距離0 kmの波形はauto-correlationに相当する。時間軸の両方向ともに、秒速約1 kmで伝播していくシグナルが確認された。正の時間軸方向に伝播する波は、基準とした観測点からみて、それ以外の観測点の方向、即ち西北西方向に伝播する波を意味しており、また負の時間軸方向に伝播する波は、基準とした観測点に向かって東南東方向に伝播する波を意味している。

同様にvertical成分のみを用いて得た結果(V-V)と、2観測点でそれぞれvertical成分(V)とradial成分(R)を利用したcorrelation (V-R)の結果をFig. 5に示す。いずれもFig. 1の東南東端にある観測坑道内の点を基準とした。Fig. 4と同様に、それぞれの観測点間を伝播する波が確認された。V-VとV-Rとの間には $\pi/2$ の位相のずれが見られることから、Rayleigh波の伝播を表していることが分かる。

Transverse成分を利用したcorrelationからLove波伝播の検出も試みたが、Rayleigh波ほどシグナルの伝播が明瞭に見えなかった。これはノイズの生成源の特徴によるものと考えられる。

次にcorrelationを用いた結果とdeconvolutionを用いた結果とを比べる。いずれもvertical成分のみを用いた結果をFig. 6に示す。Deconvolutionによる解析からも、2観測点間を伝播する直達Rayleigh波を検出することができた。しかし、特に前処理をしていないため、前節で説明したように特に距離が長くなるほど、後続波部分の位相は一致していないことが確認された。

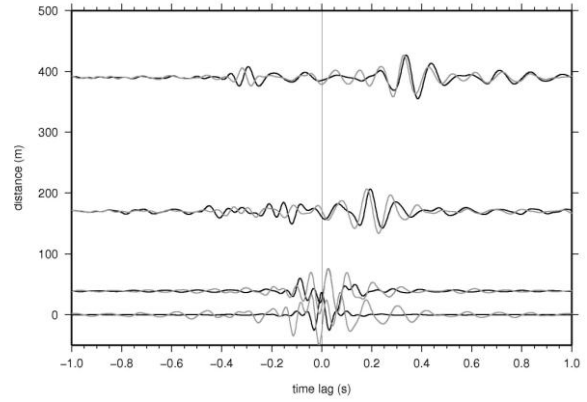


Fig. 5 Correlations of noise data for the reference station. V-V in black and V-R in gray.

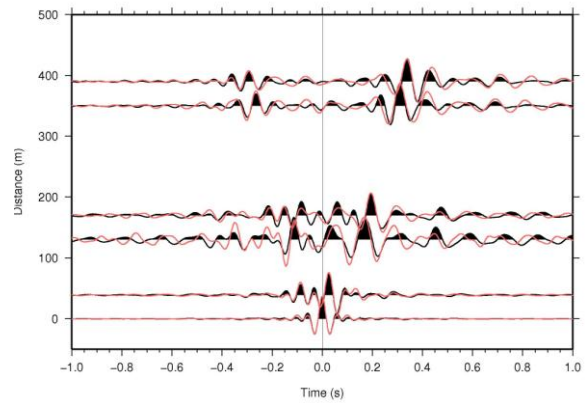


Fig. 6 Correlations (black) and deconvolutions (red) of noise data in vertical component for two reference stations.

4. まとめ

本研究では、安富断層沿いの長距離測線におけるノイズ観測から、表面波（主にRayleigh波）の伝播を検出することに成功し、トラフィックノイズを用いて地震波干渉法が適用できることを明らかにした。

これまでの地震波干渉法を利用した多くの研究では、地表付近に設置された地震計で観測されたノイズ記録を解析することで、表面波の伝播を検出することができているが、実体波を検出した例は少ない。地震波干渉法により実体波を検出した研究からは、例えば地震波速度構造の非常に小さな異方性をも抽出することに成功している (Miyazawa et al., 2008)。周期の長い表面波に比べて実体波の方が、詳細な地下構造を調査するためには有用性が高いと考えられるため、実体波を検出することに大きな意義がある

と考えられる。

そこで上の結果を踏まえて、安富観測坑において実体波の検出を試みるための観測を開始した。観測坑内に短距離測線として直線上に6 m間隔で6点の地震計を設置し、連続してトラフィックノイズの観測を行っている。このような観測点配置により得られた記録に対し、適切な処理をし、時空間フィルタ等がかかることで、表面波のみを取り除き、観測される可能性のある実体波を検出することを試みる。また検出された実体波を利用することで、断層の地表付近の地下構造を推定する予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補金（若手研究(B)課題番号23740331）の助成を受けしました。

参考文献

- Miyazawa, M., Snieder, R. and Venkataraman, A. (2008): Application of seismic interferometry to extract P-and S-wave propagation and observation of shear-wave splitting from noise data at Cold Lake, Alberta, Canada, *Geophysics*, Vol. 73, No. 4, D35
- Snieder, R., Miyazawa, M., Slob, E., Vasconcelos, I. and Wapenaar, K. (2009): A comparison of strategies for seismic interferometry, *Surv. Geophys.*, Vol. 30, No. 4-5, pp. 503-523.
- Vasconcelos, I. and Snieder, R. (2008): Interferometry by deconvolution: Part 2 — Theory for elastic waves and application to drill-bit seismic imaging, *Geophysics*, Vol. 73, No. 3, pp. S129–S141.

（論文受理日：2012年6月8日）

Application of Seismic Interferometry Using Traffic Noise at the Yamasaki Fault

Masatoshi MIYAZAWA

Synopsis

Seismic interferometry is a powerful method for retrieving seismic waves propagating between two seismic stations by using only noise data. I apply this method to noise data observed at the Yamasaki Fault in Hyogo prefecture to see if it is useful to investigate the subsurface structure. The Yamasaki Fault is about 80 km long, strikes WNW-ESE, and consists of five left-lateral fault segments. Seismometers are deployed at a ~6 m-deep vault across the fault zone, above which the freeway goes along a strike of the fault. The stable noise including traffic noise with a dominant frequency of ~10 Hz observed throughout a day from the surface, is likely ideal to monitor and investigate the structure by using seismic interferometry. I take the cross-correlation of waveforms at two seismometers installed. The result shows the propagation of signals between two stations in both directions that can be used to extract estimates of the Rayleigh wave component of the Green's function. I also started observations to try to extract estimates of body waves, which are usually masked by larger amplitude surface waves, from the traffic noise.

Keywords: Yamasaki Fault, seismic interferometry, traffic noise