12-12 静岡県森町に設置した弾性波アクロス送信装置を用いた解析 Analysis of seismic ACROSS transmitter signal installed at Mori-machi in Shizuoka prefecture.

気象庁・気象研究所 Meteorological Research Institute, JMA

1. 概要

弾性波アクロス送信装置は位相,振幅を精密に制御した弾性波を定常的に地中に送信し,その信 号の時間変化を精度高く監視するために開発された装置である.長期間安定して監視をするために, 装置はまわりの岩盤を破壊せず,制御しやすい構造にする必要があり,第1図にあるように偏心錘 を回転させることにより,地中に弾性波エネルギーを照射する方式が採用された(武井・他,1994¹⁾). この装置の大きな特徴は,回転は GPS 時計に基づいて精密に制御されているため,長期間にわたり 時刻精度の高い信号を送信できるということにある(國友・熊澤,2004²⁾).

2006 年度末に気象研究所を中心として静岡県森町に新しいアクロス送信装置を設置し連続送信 を行ってきている.この場所は東海地震の想定震源域の直上に位置している(第2図).また,北西 方向には深部低周波微動(地震)の震源域が広がっており,大地震の発生準備過程において地震波 形に何らかの変化(走時あるいは振幅)が見られるかどうかを監視するのに最適な場所であること がわかる.

この装置では3.5~7.5Hz あるいは7.5~15.5Hz の周波数帯域で周波数変調をした弾性波を連続的 に地中に向けて送信している.本報告では3.5~7.5Hz の低周波送信の記録を用いた解析結果につい て述べる.また,偏心錘は2時間毎に時計回り,反時計回りと回転方向を反転させている.このこ とにより,両者を合成することで任意の方向に直線加振した記録ができ,伝達関数をテンソルで求 めることができる(國友・熊澤,2004²⁾).つまり,アクロスの解析により周波数帯域を限定した グリーン関数を得ることができる.

実際の解析手順を以下に述べる. 地震観測点の記録を 400 秒毎に分けて周波数領域に変換した後, スタッキングを行う. 周波数領域のスタッキング記録を震源力で割ることにより伝達関数を求める. この際に時計回りと反時計回りの回転時に求めた記録の線形和によって伝達関数をテンソルで求め ることができる. 次に逆フーリエ変換することにより,時間領域の伝達関数を求める. 以下の文章 で伝達関数をHで表すが,下付添え字は1番目が観測成分,2番目が加振方向を示す. 例えば, Hrt は transverse 方向に加振して radial 方向で受信した伝達関数を表す.

Hi-net や気象庁の地震観測点を用いた解析で,森町弾性波アクロス送信装置の信号を半年ほどス タックすると震央距離が 100km,1ヶ月ほどのスタックでは距離 40km くらいまで伝達関数を精度良 く求めることができることがわかった(吉田・他,2007³⁾).

2. 東海臨時稠密観測のデータを用いた解析

2008年の4月から7月にかけて東海地域で地震の臨時稠密観測(加藤他,2008⁴⁾)が行われた. この測線を第2図に示す(図の青丸)が、ちょうど森町と土岐の弾性波アクロス送信点を結ぶ方向 に伸びている.このデータによって得られた伝達関数Htt(transverse 加振の力を transverse 成分 で捕らえた伝達関数,SH成分が卓越している.)を第3図に示す.以前のHi-net や気象庁の地震観 測点を用いた解析では観測点間隔が約20kmと広いため、森町送信点のアクロス信号(3.5~7.5Hz) を解析する上では、隣接観測点間で波形の相関が悪く、波群を追うことが困難であった.このため、 各々の波群が地中のどの部分を通ってきた波かを特定できないという問題点があった.第2図から 明らかなように東海臨時稠密観測(観測点間隔は約1km)のデータを用いることで、波群を追うこ とが可能になっている.参考までに勝間田・他(2008)⁵⁾の構造を用いて計算したS波及びフィリ ピン海プレート上面からの反射波に対応する走時を第3図に示す.距離40km以遠でフィリピン海プ レート上面からの反射波の到着時付近で波群が捕らえられている観測点があることがわかる.以上 のように地震波速度構造と対比し Hi-net や気象庁の地震観測点で求められた伝達関数で見られる 波群の伝播経路を明らかにすることができるようになった.

3. Hi-net 森観測点(N. MRIH)によって観測された走時の時間変化

アクロス解析により目指すのは、地震波が伝播してくる媒質の時間変化を監視することである. 伝達関数の時間変化として我々はまず位相変化(走時変化)に注目した.第4図に森町送信点に一 番近い Hi-net の森町観測点(N.MRIH)(送信点からの水平距離は 2.9km)を用いて解析を行った結 果を以下に示す.スタッキングの期間は1日とし、走時変化は最初の記録を基準として、クロスス ペクトルの位相変化から求めた.ここでは後続波に注目して走時の日変化を下図に示す.ミリ秒オ ーダーの時間変化が捉えられていることがわかる.図より走時の時間変化は大きく分けて、(1)年 周変化、(2)数日オーダーの変化、の2つがあることがわかる.これらは近くのアメダス観測点の 記録と比べると, (1) の年周変化は気温, (2) の数日オーダーの変化は降水量, というように気象 要素の変化と良い相関を示しており、地表付近の影響が原因で走時が変化していることが示唆され る.相関の良さから、走時変化に与える地表付近の影響は気象要素を使って補正できる可能性があ ることを示している.地表付近の影響の補正をしてより深い部分の時間変化を抽出していくことが 今後の課題である.また,解析期間の最後に駿河湾の地震(2009年8月11日, M6.5)が起きてお り(第4図 b)の下矢印の時間),その時期に走時が大きく変化していることがわかる.森町では同 地震によって震度4を観測している.同時期に降雨があり雨量の影響を考慮する必要があるが,他 の期間と比べると雨量の割に走時変化量が大きくなっており、地震動による媒質の変化を捕らえて いる可能性がある.

謝辞

本研究は気象研究所以外にも気象庁地震予知情報課,國友孝洋氏(静大),加藤愛太郎氏(地震研), 飯高隆氏(地震研),生田領野氏(静大),勝俣啓氏(北大),岩崎貴哉氏(地震研),酒井慎一氏(地 震研),山岡耕春氏(名大),渡辺俊樹氏(名大),山崎文人氏(名大),津村紀子氏(千葉大),野崎 謙治氏(千葉大),高橋福助氏(千葉大),大久保慎人氏(東濃地震科研),鈴木貞臣氏(東濃地震科 研),平田直氏(地震研),熊澤峰夫氏(名大)の協力を得て行ったものである.また,解析には防 災技術科学研究所のHi-netのデータを使わせて頂いた.

参考文献

1)武井康子・熊澤峰夫・鈴木和司(1994),精密制御音波放射による能動的地下構造常時モニター
手法の研究 その2 精密制御回転震源の設計試作とその評価,日本地震学会予稿集,B67.
2)國友孝洋・熊澤峰夫(2004),弾性波アクロスによる地殻構造アクティブモニタリングー弾性波

アクロスにおける送受信技術-,月刊地球,号外47,44-52.

3) 吉田康宏・勝間田明男・岩切一宏・高濱聡・國友孝洋・熊澤峰夫・増田俊明(2007) 静岡県森町 におけるアクロス信号送信,日本地球惑星連合 2007 年大会予稿集, S231-P005.

4) 加藤愛太郎・飯高隆・生田領野・吉田康宏・勝俣啓・岩崎貴哉・酒井慎一・山岡耕春・渡辺俊樹・ 國友孝洋・山崎文人・津村紀子・野崎謙治・高橋福助・大久保慎人・鈴木貞臣・平田直(2009), 東 海地震の震源域深部から slow slip 発生域にいたる応力場,日本地球惑星連合 2009 年大会予稿集, S153-006.

5)勝間田明男・吉田康宏・岩切一宏(2008),弾性波アクロス送信波のフィリピン海プレート境界 反射点,日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集,0135-003.



第1図 弾性波アクロス送信装置の概念図. Fig. 1 Schematic design of seismic ACROSS transmitter.



第2図 森町弾性波アクロス送信点付近の地図と東海臨時稠密観測点の分布図.

Fig. 2 Map around Mori-machi seismic ACROSS transmitter and station distribution of dense temporal seismic array in Tokai region.



- 第3図 森町送信点の信号から求めた伝達関数(Htt)の記録断面.森町送信点から北西方向の観測 点の伝達関数を示す.黒の波形は東海臨時稠密観測の観測点の伝達関数,赤色はHi-net 観 測点の伝達関数を表す.横軸は3.5km/sで伝播した波の走時を0sとしている.破線は勝間 田・他(2008)の構造を仮定した時の理論走時.紫線はS波,青線はフィリピン海プレー ト上面からの反射波の理論走時を示している.
- Fig. 3 Record section of transfer function Htt obtained by Mori-machi ACROSS transmitter signal. Stations in NW direction are aligned. Waveforms in black and red color represent dense temporal seismic stations and Hi-net stations respectively. Horizontal axis is reduced travel time by 3.5km/s. Broken lines denote calculated travel time assumed laterally heterogeneous structure obtained by Katsumata et al. (2008). Purple and blue lines represent S phase and SxS (reflected at the upper boundary of the Philippine Sea plate) phase respectively.



- 第4図 森町送信点の信号から求めた Hi-net 森観測点(N.MRIH)の伝達関数(Htt)の走時の時間 変化と気象要素の時間変化.a) N.MRIHの伝達関数(Htt).赤枠で走時の時間変化を計算 した時間窓(1秒間)を示す.b)最初の1日目の記録を基準として、それからの走時差を 図示している.走時は遅れを正にとっている.図の右上隅にある矢印は駿河湾の地震(2009 年8月11日)が起きた時間を示す.天竜アメダス観測点(第2図を参照)における c)気 温と d)降水量の日変化を示す.
- Fig. 4 Temporal variation of the transfer function Htt at N.MRIH and meteorological parameters at Tenryu AMEDAS station. a) Transfer function Htt at N.MRIH. Red box shows the time window used by the analysis of temporal variation of travel time. b) Temporal variation of travel time delay in the time window shown in a). Red arrow shows the origin time of Suruga Bay earthquake (2009/08/11). Temporal variation of c) temperature and d) rainfall at Tenryu AMEDAS station.