Ⅶ－２　様々な地震波の走時・振幅測定手法の開発

Measurement of travel time and amplitude of various seismic phases

(研究期間　平成 13 年度)

国際地震工学センター　　　　末次大輔
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering　　　　Daisuke Suetsugu

Synopsis- We developed a method of crustal correction for measurements of travel times using cross-correlation techniques. In case of cross-correlation of synthetic and observed seismograms, we deconvolve
the crustal response of 1-D crust model from which the synthetic is made, and then convolve response of crusts near source, receiver, and bounce points (in the case of surface reflected phases as PP and SS) using crustal structure taken from CRUST2.0. The response is computed with the Haskell matrix method. In case of cross-correlation between two observed phases as P and PP, we just convolve the response of crust near the bounce point using CRUST2.0. The correction generally improves the cross- correlation and could change the travel time measurements by 2 sec.

［研究目的及び経過］

世界的に見て遅れが目立つ日本の地震学によるグローバルスケールの地球内部構造解明を飛躍させるためには、地震波記録から求められる基礎データ（走時・振幅）の測定手法を開発し、それによる基礎データ蓄積を行うことが不可欠である。本課題は,その基礎データ作成手法を開発することである。新しい地球内部構造イメージの創出のためには,現在流通している大量の地震波形記録から実体波走時,表面波速度や振幅など、地球内部構造に関する情報を持った量を蓄積することが重要である。これまで、実体波・表面波走時測定は,地震記録から目で読み取ることのほか、理論波形と観測波形の相互相関を計算して走時残差を求める手法などが使われてきたが、長周期の帯域に限られてきた。また振幅については、これまで測定してデータベースを作るという試みはなされてこなかった。

本研究は、走時・振幅データベースの確立に資することによって、日本におけるグローバルスケールの地震学の発展の基礎を作ることを目指す。特に、走時測定の際に重要な地殻補正の手法に焦点を絞って研究開発を行った。

［研究内容］

以下に、波形の相互相関による走時測定法における地殻補正の重要性を述べ、その解決法について説明する。理論波形と観測波形、または観測波形同士の相互相関によって二つの波形の走時差を測ることは、地震波の初動が読みにくい場合によく使われる。この方法では、比較する二つの波形が似ていることが前提となる。この前提を崩す原因はいくつか考えられるが、そのうち最も問題なのは、地殻構造を正しく考慮していない場合である。地震波は一般に、震源付近と観測点付近の地殻構造、そして地表で反射する PP、SS などの場合はその地表反射点の地殻構造によって波形が強く影響される。例えば、理論 PP 波形と観測 PP 波形の相互相関によって両者の走時差を測る場合は、理論波形計算に用いる球対称速度モデル（Iasp91、PREM など）の地殻構造と実際の地殻構造とが震源、観測点、地表反射点で異なると、両者の波形が大きく異なり、相互相関をとること自体に意味がなくなってしまう。このような事態を避けるため、理論波形の計算をするときに実際の地殻構造の影響を取り入れる「地殻補正」の手法を考案し、実際のデータでその有効性を確かめた。以下に、理論 PP 波形への地殻補正法について説明する。まず理論波形計算に用いた球対称構造のうち、地殻構造の地震波形への応答をハスケルの方法で計算する。地殻応答は、震源付近、観測点付近、地表反射点付近のそれぞれについて求め、この三つの応答を理論波形から逆畳み込みによって除去する。次に実際の地殻応答を計算し、それを理論波形に畳み込む。真の地殻構造は不明だが、現在では真に近いと考えられる地殻構造データベース CRUST2.01)が利用可能なため、そのデータベースから震源付近、観測点付近、地表反射点付近の地殻構造を取り出して地殻応答計算に用いる。観測 P 波と観測 PP 波の相互相関をとる場合は、震源付近と観測点付近の地殻構造の影響は二つの波でほぼ等しいと考えられるので、PP 波の地表反射点付近の応答だけを計算し、それを P 波（のヒルベルト変換）に畳み込むだけでよい。

［研究結果］

まず、海底に地表反射点がある PP 波を選んで、理論波形と観測波形の比較を行う。図－１（上）は球対称構造モデルである Iasp91 で計算した理論 PP 波である。図－１（中）は観測 PP 波。理論波形は観測波形と同じ震源、観測点、震源メカニズムで計算した。観測波形の方で見られる最初の引き波が理論波形では見られない。また、主要動の後の後続波も観測波形のほうが理論波形よりも大きい。これは、海底における反射や変換が海を持たない Iasp91 モデルで計算した理論波形では再現できないからである。この理論波形に本研究で開発した地殻補正を施したものが図－１（下）である。補正後の理論波形は観測波形によく似るようになった。

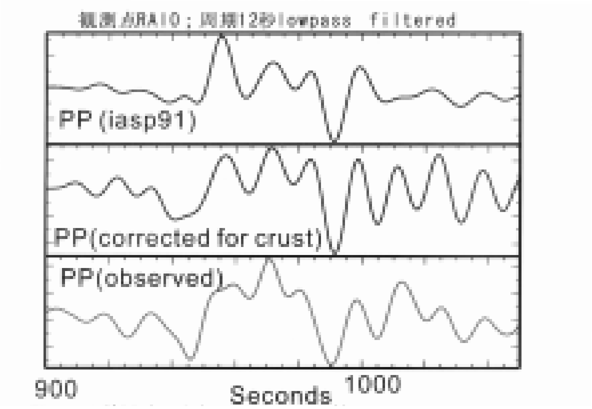

図１　理論 PP 波形と観測 PP 波形の比較

（上）理論波形（地殻補正前）（中）理論波形（地殻補正後）
（下）観測波形

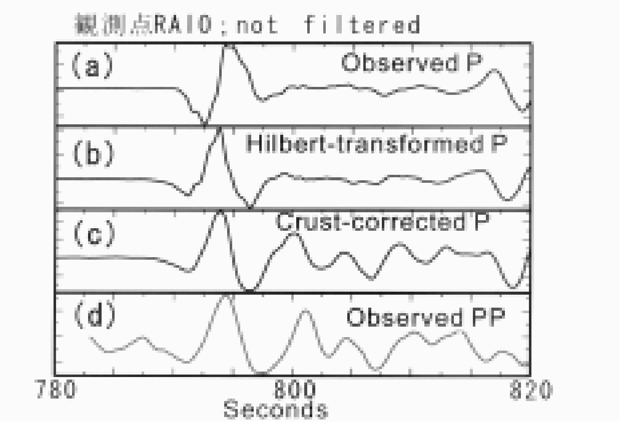

図２　理論 PP 波形と観測 PP 波形の比較

(a)観測 P 波形　(b)理論 PP 波形(ヒルベルト変換後,地殻補正前)
(c)理論 PP 波形(地殻補正後)　(d)観測 PP 波形

次に、観測 P 波と観測 PP 波の比較を行う。図－２（上）は観測 P 波、その下はそれをヒルベルト変換したものである。地表反射点付近の地殻構造が正しければこの波形と観測 PP 波は似るはずであるが、観測 PP 波

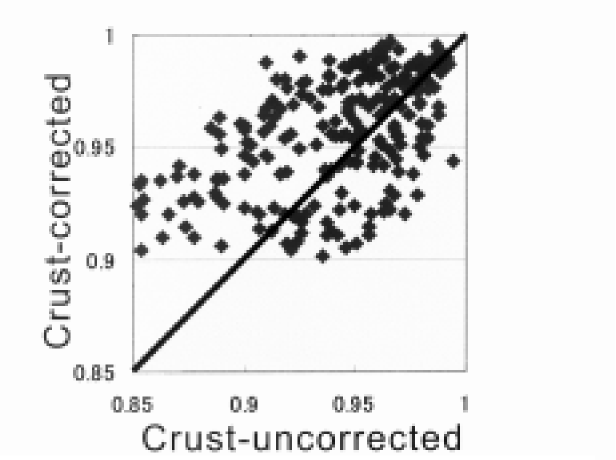

図３　地殻補正前と後の波形相関の比較

に存在する大きな後続波は再現できていない。そこでヒルベルト変換した観測 P 波に地殻補正を施したものが下から 2 番目の波形である。観測 PP 波の後続波がよく再現できている。地殻補正を 1996 年 8 月の一ヶ月間の地震に施して、相互相関の改善がなされたかどうかをプロットした（図－３上）。縦軸は地殻補正をした場合の相関係数、横軸は地殻補正をしない場合の相関係数をとっているが、結果は傾き 1 の直線の上側に多く分布し、地殻補正によって多くの場合波形の相関が改善されたことを表している。

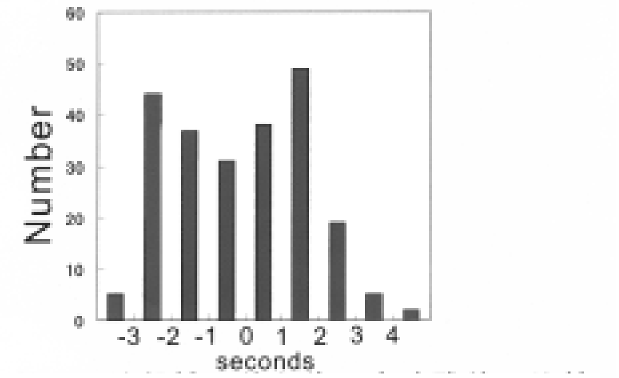

図４　地殻補正前と後の走時残差の比較

また、地殻補正を行った場合としない場合で、測定された走時残差にどの程度違いがあるかを図－４で示した。地殻補正によって測定値に±2 秒の違いが生じることが分かった。これは、この走時トモグラフィーによって得られる 3 次元地球モデルに大きな影響が生じうることを示している。

［参考文献］

1) W.D. Mooney, G. Laske and G. Masters, CRUST 5.1: A global crustal model at 5^ox5^o. J. Geophys. Res., 103, 727-747, 1998.