

地震動記録における位相特性の抽出とその同定

京都大学防災研究所 正会員 土岐 憲三
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信
 京都大学大学院 ○学生員 石塚 憲

1. まえがき

地震動記録は一般に震源地における発震機構を表す時間関数と震源から観測点までの伝達経路の特性を表す時間関数（グリーン関数）との合成積で表現される。地震動は因果関数であるのでそのフーリエ振幅と位相との間には相関性があり、地震動のフーリエ変換が解析関数である場合には、Hilbert 変換を用いることによってフーリエ振幅から位相を一意的に決めることができる。こうして決定された波形は最小位相推移関数と呼ばれ、グリーン関数と見なすことができる。本研究はこの点に着目して地震動記録から発震機構を表す時間関数とグリーン関数を分離するための方法論について考察を加えたものである。

2. 波形処理のアルゴリズム

波形処理のアルゴリズムは図-1に示したとうりである。まず地震波のフーリエ振幅 $|F(\omega)|$ から最小位相推移関数のフーリエ振幅 $|F_m(\omega)|$ を決定する。これはWiner-Lee 変換領域における地震動のフーリエ振幅を余弦級数展開を用いて近似することによって達成される。さらにHilbert 変換の関係を用いることによって最小位相推移関数の位相 $\phi_m(\omega)$ を決定できる。次に原波形のフーリエ変換を最小位相推移関数のそれで除することによって発震機構についての情報をもつと考えられる残余分のフーリエ変換 $F_R(\omega)$ を求める。

最小位相推移関数の振幅を決定するのに、最小2乗法を用いているが、最小位相推移関数が伝達経路の特性をうまく表現できるように以下のような操作を行っている。(1) 地震動記録の軸時間を拡大することによってフーリエスペクトルを低周波数領域側へシフトし、最小位相推移関数が地震動の卓越振動数付近における周波数特性を良く表現できるようにする(この時の時間軸の拡大倍率を”時間シフト倍率”と呼ぶ)。(2) Winer-Lee 変換は周波数領域の全域において定義されるのでNyquist 振動数以上の高周波数領域においてフーリエ振幅のデータ不足が起こる。そこでフーリエ振幅が2~3乗に反比例して減少するような関数を考えデータ不足を補った。(この時採用した乗数を”データ補償乗数”と呼ぶ)。(3) 最小2乗法を用いて最小位相推移関数のフーリエ振幅を決定するとき、余弦級数展開を用いているが、この展開

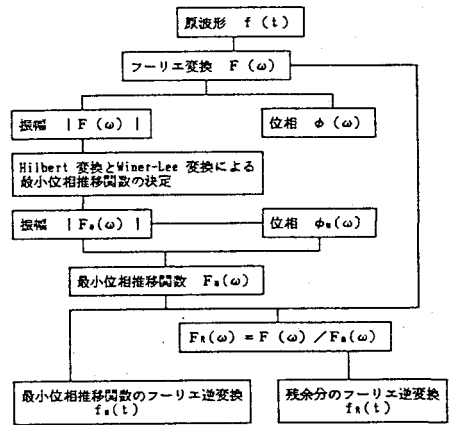


図-1 アルゴリズムのフローチャート

項数を調節することによって、地震動の卓越振動数付近における周波数特性を表現できるようにする。

3. 模擬波形を用いた理論の適用

図-2に1自由度形のインパルス応答関数を用い、大きさと入力時刻を変化させ8波重ね合わせた模擬波形を示した。これに図-1のアルゴリズムを適用し、解析した結果が図-3に示されている。(a)は同定したインパルス応答関数である

が、厳密なインパルス応答関数より減衰がやや大きくなっている。

(b)はインパルス列であるが、入力時刻、入力したインパルスの

相対的な大きさはよく

分離されている。このように、比較的単純に合成された波形の場合には、ここで提案する手法を用いて精度よくインパルス列と、インパルス応答関数とに分離できることがわかる。なおこの解析では時間シフト倍率として20倍、データ補償乗数として2、余弦級数展開項の項数は20を採用した。

4. 実地震動記録を用いた理論の適用

図-1のアルゴリズムを実地震動記録に適用した。用いた波形は1983年の日本海中部地震における秋田と青森の記録である(図-4, 5)。図-6, 7に分離された発震機構を表す時間関数と最小位相推移関数を示した。前者の波形にはいずれも2組のピークが見られ、ピークからピークの間の時間間隔はほぼ22~

24秒となっている。この地震はマルチプルショックであったことが明らかにされておりこの時間間隔は最初の発震

と最後の発震の時間間隔にほぼ一致している。また最小位相推移関数は伝達経路が異なるため異なる形をしていると考えられる。

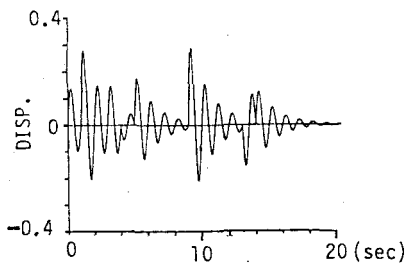


図-2 模擬波形

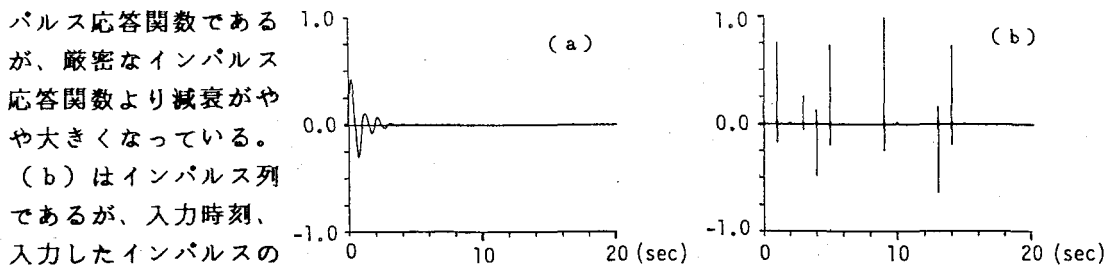


図-3 分離波形 (a) インパルス応答関数 (b) インパルス列

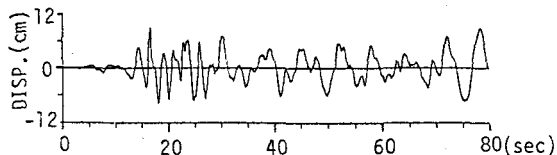


図-4 地震波形 (秋田)

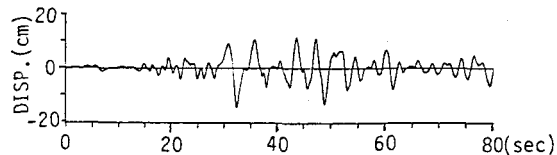


図-5 地震波形 (青森)

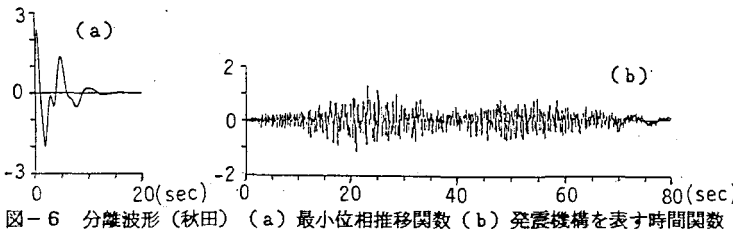


図-6 分離波形 (秋田) (a) 最小位相推移関数 (b) 発震機構を表す時間関数

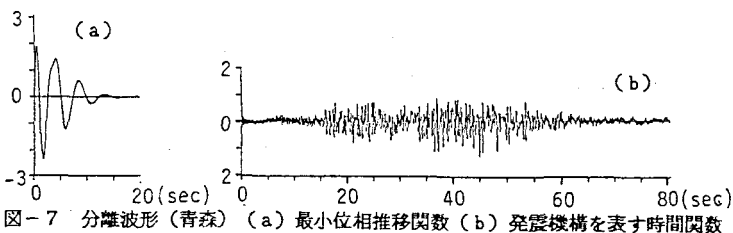


図-7 分離波形 (青森) (a) 最小位相推移関数 (b) 発震機構を表す時間関数