

地震波の位相速度の検出法とその相互比較

京都大学防災研究所 正員 土岐 憲三 佐藤 忠信 清野 純史
 京都大学大学院 学生員 ○西岡 勉

1. まえがき 長大構造物の地震応答解析における入力地震動の位相差の問題や地中埋設構造物の地震時挙動を扱う場合には、表層地盤での地表面に沿った方向への地震波の位相速度を明らかにすることが重要であり、この問題に関しては今日までに数多くの研究がなされている。¹⁾²⁾ 本研究では、工学的に重要な十数秒以内の周期帯域を対象として、今までに提案されている位相速度の検出法と新たに提案する方法を相互に比較し、その適用性を検討する。特に観測記録に雑音が含まれている場合を想定した解析を行う。

2. 位相速度の検出法 震源を通る同一直線上に位置する2つの観測点の地震記録から位相速度を求める方法には、地震記録をフーリエ変換して周波数領域で位相スペクトルから直接位相差を求める phase differences 法や、地震波形の相互相関関数から位相スペクトルを計算する cross correlation 法、また時間領域で2つの地震記録に位相速度に相当する時間のずれを操作し、正弦波の性質を利用して位相差を調べる sums and differences 法¹⁾や cross multiplication 法¹⁾などがある。これらの方法は簡便であるが、雑音の存在下では安定に欠けており、観測記録を用いた場合に不安定な結果を招く恐れがある。この事を考慮して、本研究では Kalman filter を用いた deconvolution 手法³⁾を位相速度の検出法に応用する。位相速度の検出に際しては各々の観測点における地震計の計器特性（位相シフト）は同一であるとし、また、地震波に含まれる雑音は白色であり、加法的に含まれると仮定する。

3. 模擬地震波による検出法の検討 図-1(a)に示すような2つの観測点 A, B 間の位相速度の分散曲線を図-1(b)のように仮定する。A 点の観測波形を図-2(a)とし、仮定した分散曲線に基づいて B 点の雑音を含まない模擬地震波を作成したものが図-2(b)である。さらに、この B 点の波形に白色雑音を加えたものが図-2(c)である。図-3(a), (b)はそれぞれ図-2の(a)と(b)、図-2の(a)と(c)の模擬波形の各ペアから cross correlation 法によって位相速度を求めたものである。実線は仮定した位相速度の分散曲線であり、○印は cross correlation 法により検出された位相速度である。各円振動数 ω について位相差が 2π ずつ増した場合に相当する位相速度がプロットされている。図-3(a)のように雑音が含まれていない場合には仮定した分散曲線に一致することがわかるが、雑音の含まれる図-3(b)の場合は、円振動数 ω が小さくなるに従い雑音による推定誤差が大きくなることわかる。ここで2地点 A, B 間の伝達関数を求めたものが図-4(a), (b), (c)である。図-4(a), (b)はそれぞれ雑音を含まない場合と含む場合の伝達

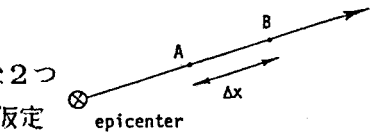


図-1 (a) 観測点 A, B

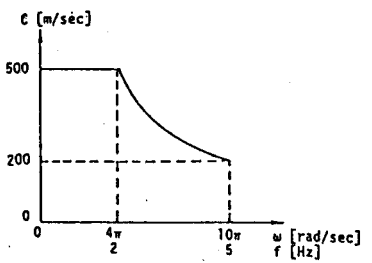


図-1 (b) 分散曲線

関数を示している。図-4(c)は雑音を含む場合の模擬波形にKalman filterを適用して求めた伝達関数である。4秒以後にみられる雑音による乱れが小さくなっているのが分かる。図-5は Kalman filter を用いた場合の位相速度の検出結果であり、図-3(b)と比較すると推定誤差が減少しているのが認められる。5秒以下(円振動数 1.26rad/sec以上)のすべての周期に対し、実線で示した真の位相速度と、雑音を含む模擬波形から計算される位相速度のなかでもっとも実線に近い点との差を各周波数毎に計算し、そのR.M.S.値をとると図-3(b)の場合で57m/sec、図-5の場合で13m/secとなる。このように、雑音の存在下では cross correlation 法による位相速度の検出の精度が悪くこと、Kalman filter を用いると伝達関数の最適化が行われているので位相速度の推定誤差が小さくなることが判明する。

参考文献 1) Bloch, S. and A. L. Hales : Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, No. 3, 1968.
2) Dziewonski, A. M. and A. L. Hales : Geosciences Division, University of Texas, 1973.
3) 土岐・佐藤・清野・市原：京都大学防災研究所年報、第29号B-2, 昭和61年。

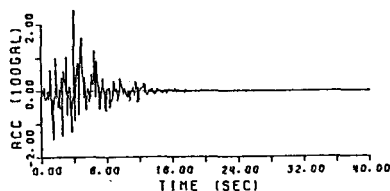


図-2 (a) A点の模擬波形

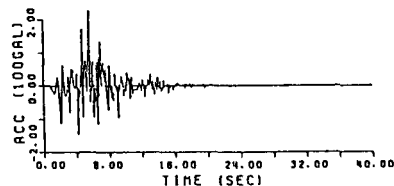


図-2 (b) B点の模擬波形 (雑音を含まない)

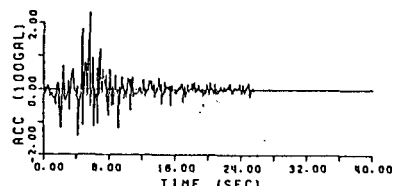


図-2 (c) B点の模擬波形 (雑音を含む)

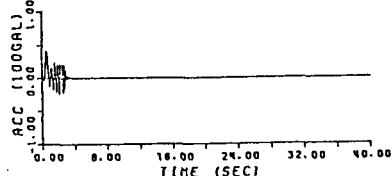


図-4 (a) 伝達関数 (雑音を含まない)

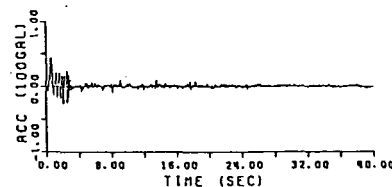


図-4 (b) 伝達関数 (雑音を含む)

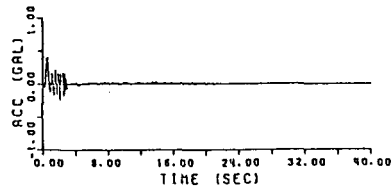


図-4 (c) 伝達関数 (Kalman filter)

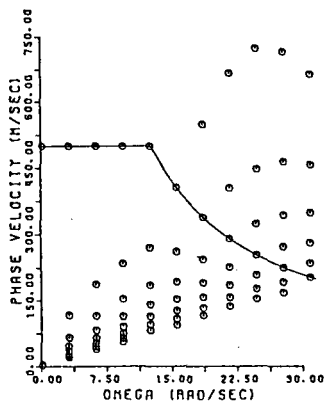


図-3 (a) 位相速度 (雑音を含まない)

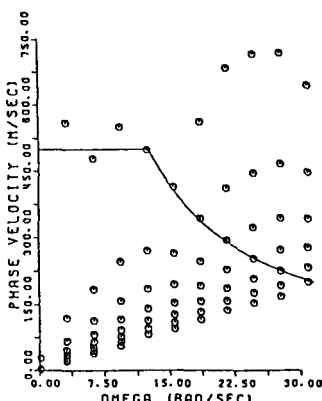


図-3 (b) 位相速度 (雑音を含む)

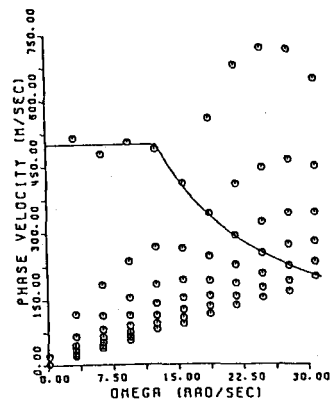


図-5 位相速度 (Kalman filter)