

微動アレイ探査における水平動成分を利用した位相速度推定手法によるラブ波抽出の可能性について — 愛知県西尾市の場合 —

Possibility of estimating phase velocity of Love wave using horizontal components in microtremor array surveys in the case of Nishio.

土田琴世・堀家正則・山田浩二・末廣匡基・吉田沙由美（阪神コンサルタンツ）

#Kotoyo Tsuchida, Masanori Horike, Koji Yamada, Masaki Suehiro, Sayumi Yoshida (Hanshin Consultants Co., Ltd.)

1. はじめに

地盤情報の中でも S 波速度構造は、被害に直結する強震動を予測する上で重要な情報である。近年、低コストかつ簡易的な速度構造推定方法として、微動探査法が使用されるようになり、微動に含まれる表面波の位相速度分散性を利用した速度構造の逆解析が行われている。しかし、これらの逆解析では、拘束条件が不十分なまま、上下動成分のみを用いた Rayleigh 波の位相速度の推定値と、経験的な地盤情報のみで逆解析が行われている。3 成分の地震計が普及した現在、水平動成分を用いて S 波速度構造の影響のみを反映する Love 波の位相速度を抽出することは、逆解析の拘束条件を増やす点でも重要である。本研究では、愛知県西尾市で観測された 3 成分の速度記録を用いて、土田ほか（2016）の f-k 法と従来の手法で Rayleigh 波、及び、Love 波の位相速度を推定した。これらの推定手法による推定値を比較することで、土田ほか（2016）の f-k 法の性能を評価する。

2. 解析手法

本研究では、大きく 3 種類の位相速度推定手法を使用した。具体的に f-k 法では、上下動成分に対しては Capon（1969）、水平 2 成分に対しては土田ほか（2016）を用いた。また、SPAC 法では、上下動成分に対しては Aki（1957）、水平 2 成分に対しては Tada et al.（2009）を、CCA 法では、上下動成分に対しては Cho et al.（2004, 2005）、水平 2 成分に対しては Tada et al.（2009）を用いた。（ただし、f-k 法以外の解析には、微動アレイ解析ツール“BIDO 2.0” software を使用；Tada et al., 2010）

3. 観測

観測条件は以下の表 1 に示す。

表 1. 観測条件

観測場所	愛知県西尾市（Fig. 1）
観測点数	7 点
アレイ形状	半径 7m 及び 14m 二重三角アレイ（Fig. 2）
観測日時	2019 年 1 月 7 日（月） 16 時頃
計測時間	およそ 30 分間
計測機器	3 成分速度型地震計 KVS-300（近計システム株式会社製；Fig. 2）
収録機器	低消費電力データ収録装置 LS-8800（白山工業株式会社製；Fig. 2）
収録条件	200Hz サンプリング，24bit，連続収録



Fig. 1 愛知県西尾市周辺地図（国土地理院；<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> より加筆）。観測地点を × で示す。

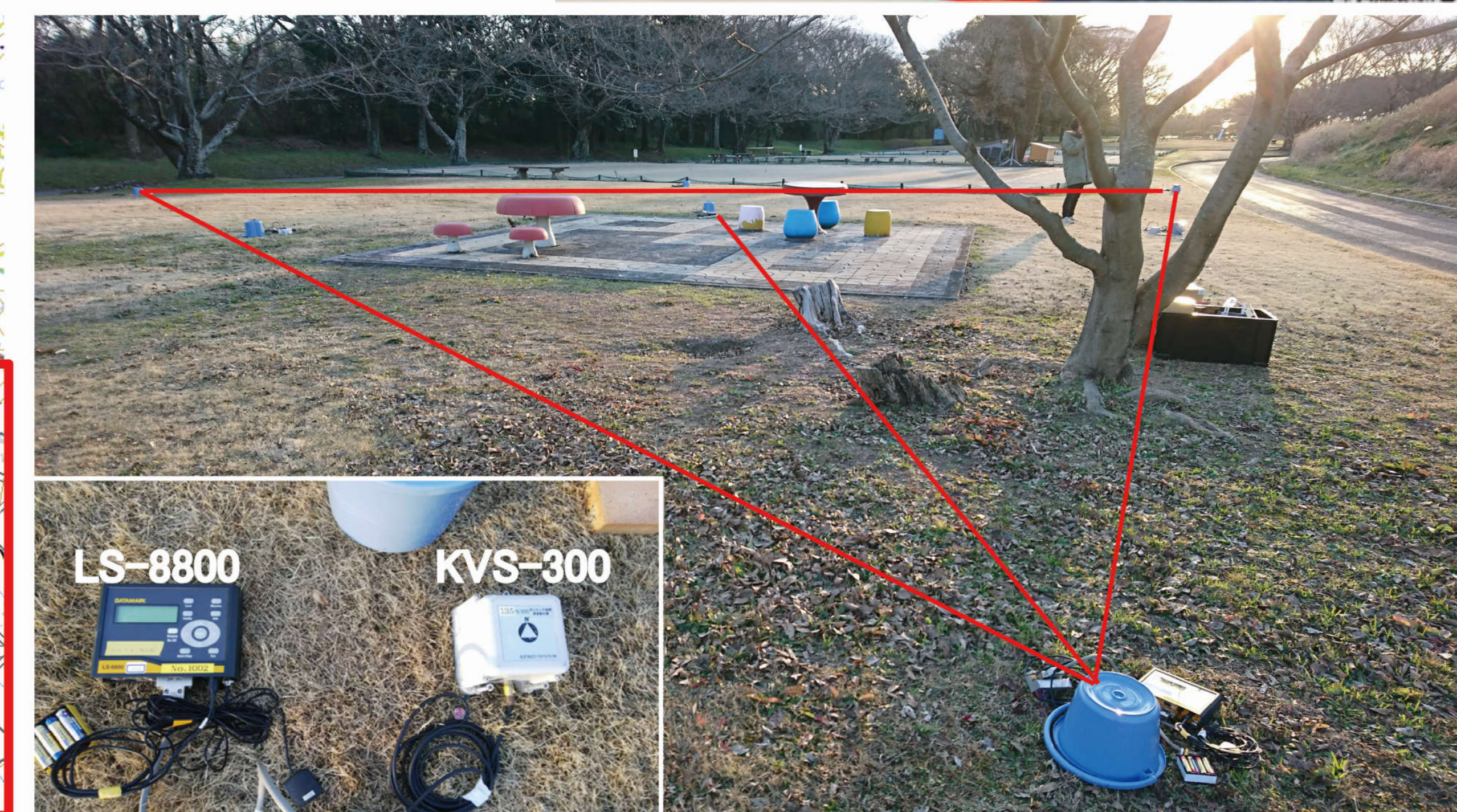
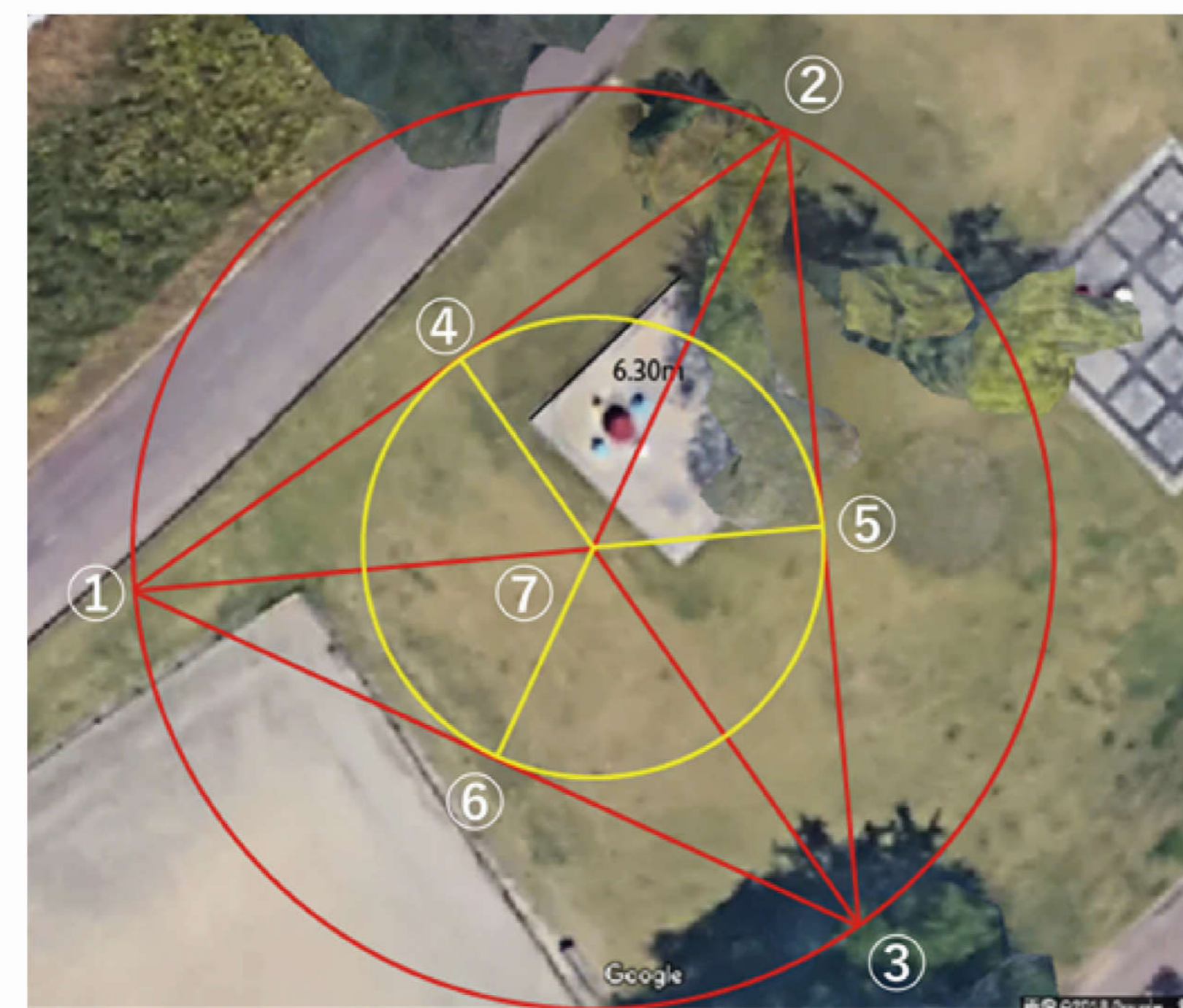


Fig. 2 アレイ配置の写真。①～⑦に地震計 KVS-300 を設置した。

収録機器は、LS-8800 を使用している。

4.1 上下動成分から推定した Rayleigh 波位相速度の比較

上下動成分を用いて各手法で推定された Rayleigh 波の位相速度を Fig. 3 に示す。およそ 3-4Hz においては、全手法で同程度の値を推定した。さらに、およそ 2-3Hz において、SPAC 法（◇）と CCA 法（□）の推定値が同程度であるが、f-k 法（○）の推定値はそれよりもやや早い速度を示した。一方、およそ 5Hz 以上の高周波数帯域においては、SPAC 法（△）と CCA 法（×）は逆分散しているのに対し、f-k 法（○）ではおよそ 150m/s の速度に収束した正分散性を示した。また、2Hz より低周波数帯域においては、どの手法の推定値も逆分散を示すため、値の信頼性は低い。

4.2 水平 2 成分から推定した各位相速度の比較

4.2.1 f-k 法（土田ほか，2016）の場合

f-k 法で求められた各推定値を比較する（Fig. 4）。2-4Hz において、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（●）は、上下動成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（●）と同程度の値を示した。これは、水平 2 成分から推定した Rayleigh 波の位相速度が信頼性のあることを示している。さらに、水平 2 成分から求めた Love 波の位相速度（●）は、Rayleigh 波の位相速度よりも全体的に遅い速度で分散性を示した。これは、Love 波の位相速度が適切に推定されていることを示唆している。一方、4Hz 以上の高周波数帯域においては、水平 2 成分から求めた推定値はバラツキも大きく、上下動成分から求められた推定値よりも過大評価であり、逆分散も見られるため、信頼性は低い。

4.2.2 SPAC 法の場合

SPAC(+)法で求められた各推定値を比較する（Fig. 5）。2-4Hz において、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（■）は、上下動成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（◆、▲）に比べて、100m/s 程度の遅い速度を推定し、あまり正分散しているように見えない。上下動成分から求めた Rayleigh 波の位相速度と一致しない点から、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波の位相速度推定値は信頼性が低い。また、水平 2 成分から求めた Love 波の位相速度（×）は、前述と同様、正の分散性が見られないことから、Love 波の位相速度を推定している可能性は低い。また、4Hz 以上の高周波数帯域においては、上下動成分から求められた推定値同様に、水平 2 成分から求めた両推定値は逆分散性を示したため、推定値に信頼性は低い。さらに、SPAC(-)法でも、SPAC(+)法と同様に、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（×）は、上下動成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（◆、▲）と一致しない点から、推定値は信頼性が低い。また、水平 2 成分から求めた Love 波の位相速度（●）も、分散性が見られず、Love 波の位相速度を推定している可能性は低い。

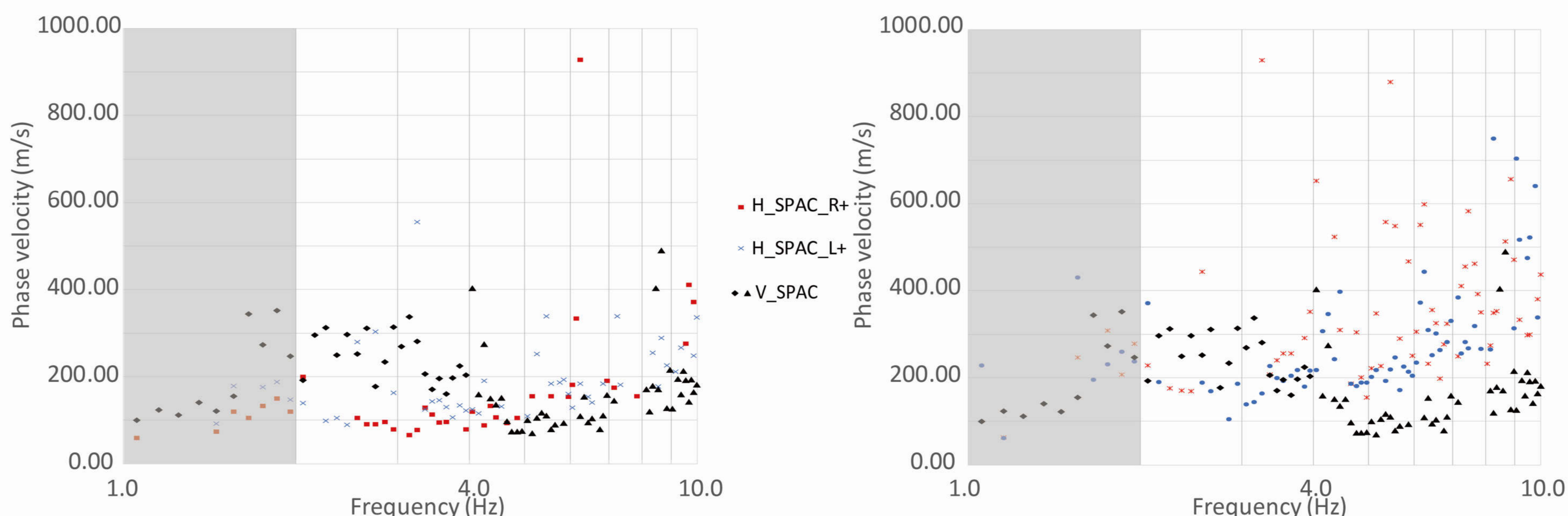


Fig. 5 SPAC(+)法（左）、SPAC(-)法（右）で 3 成分速度記録から推定した Rayleigh 波と Love 波の位相速度。

謝辞：本研究は、解析の一部に微動アレイ解析ツール“BIDO 2” software (<http://staff.aist.go.jp/ikuo-chou>) を使用させていただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

まとめ

本研究では、愛知県西尾市で行った微動アレイ観測記録の水平 2 成分から、f-k 法、SPAC 法、CCA 法を用いた Love 波の位相速度抽出を試みた。同じ観測によって得られた上下動成分から求めた各手法の推定 Rayleigh 波位相速度と比較したところ、土田ほか、2016 の f-k 法による推定値が Love 波の位相速度を推定している可能性があることが分かった。

4. 結果

2 節で述べた手法で推定された、上下動成分を用いた場合の Rayleigh 波の位相速度推定値、水平 2 成分を用いた場合の Rayleigh 波、Love 波の位相速度推定値の比較を行う。推定値は、30 分間の観測記録から、60 秒のデータウィンドウを設け、30 セグメントの位相速度を計算した。以下では、セグメント毎の推定値の平均を位相速度として示している。評価基準は、①正分散していること、②推定された Rayleigh 波の位相速度が上下動成分と水平 2 成分を用いた結果で一致すること、③推定された Love 波の位相速度が、位相速度が収束する低周波数帯域、高周波数帯域を除いて、Rayleigh 波の位相速度よりも小さいこと、の 3 点とした。

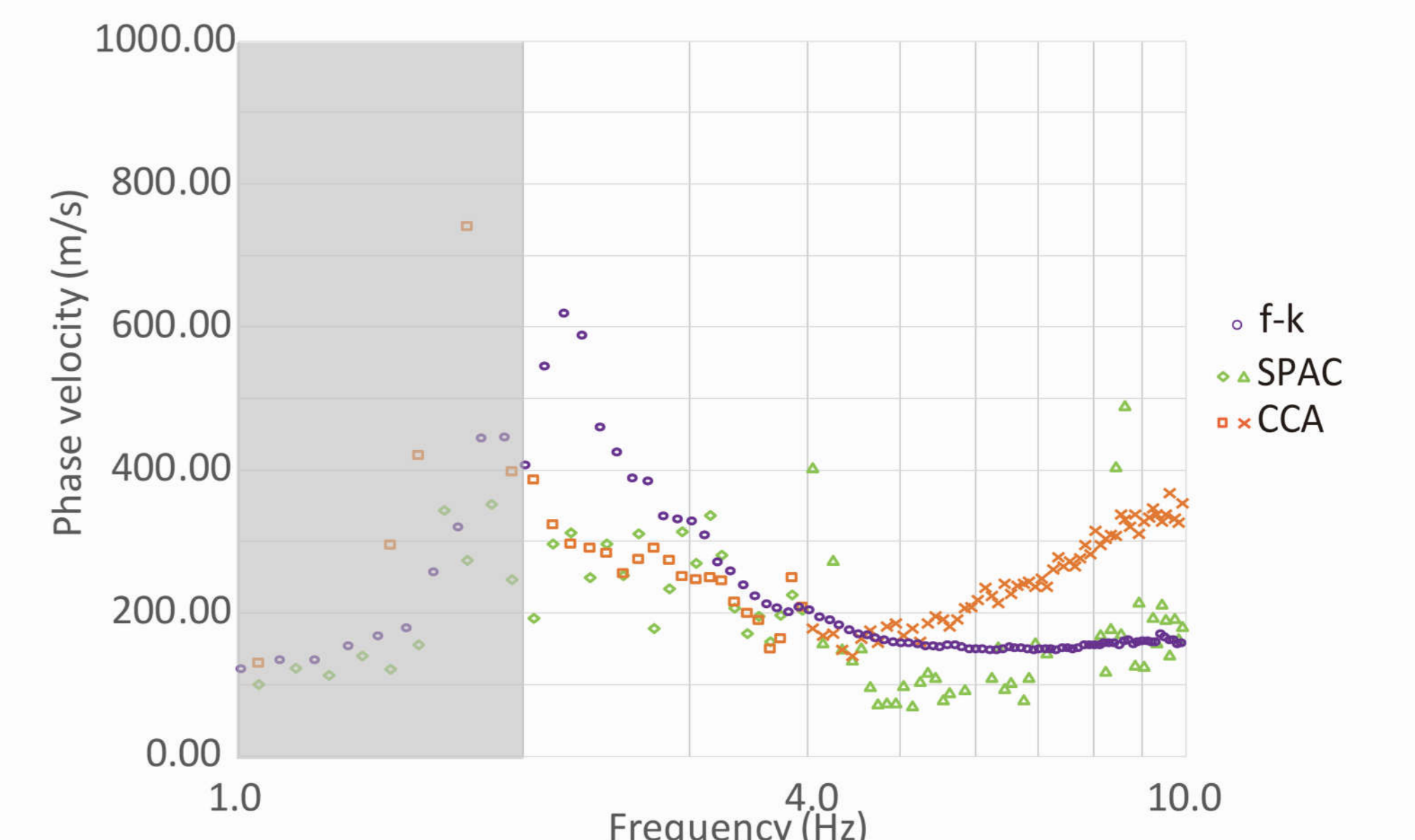


Fig. 3 上下動成分から各手法で推定した Rayleigh 波の位相速度。

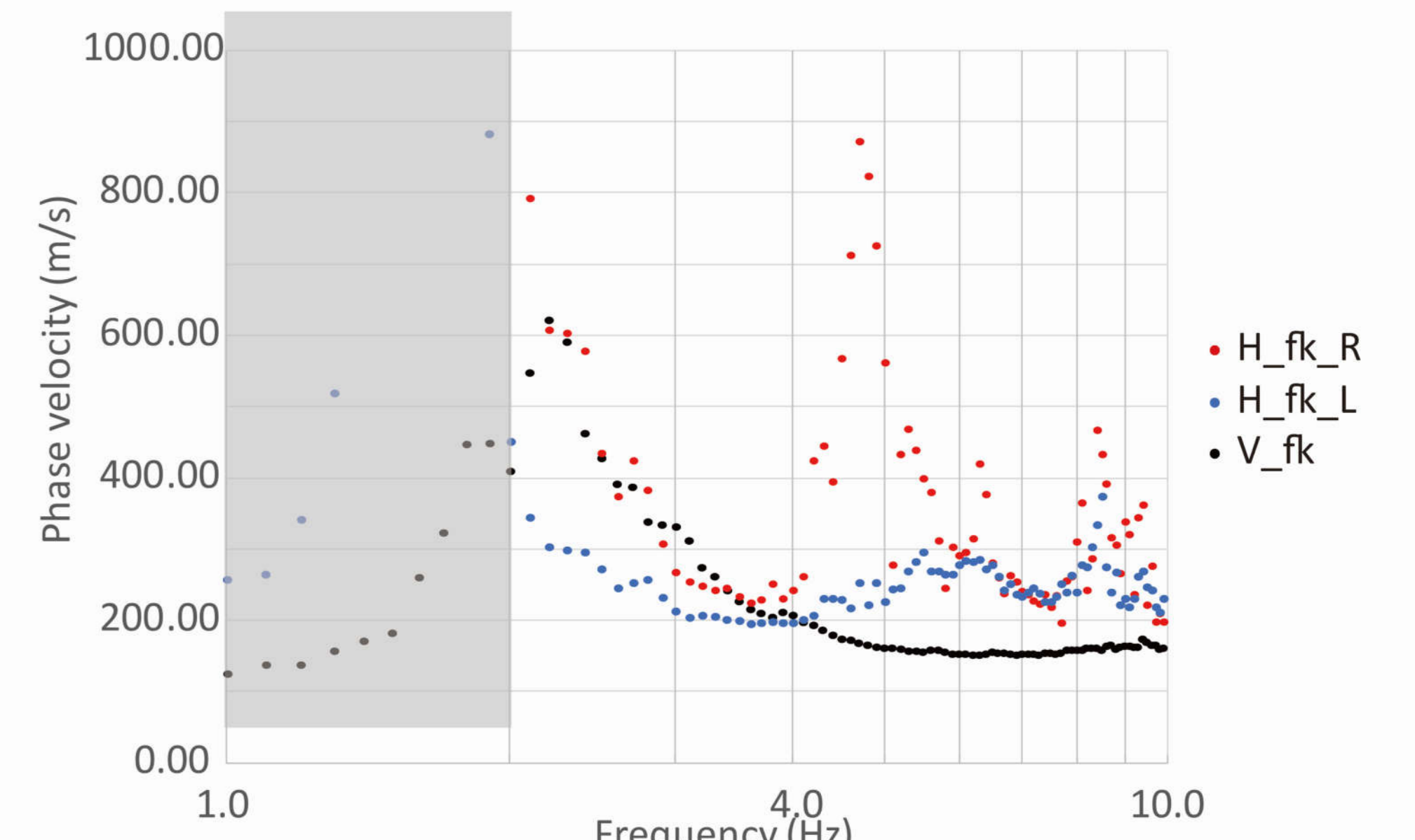


Fig. 4 f-k 法で 3 成分速度記録から推定した Rayleigh 波と Love 波の位相速度。

4.2.3 CCA 法の場合

CCA 法で求められた各推定値を比較する（Fig. 6）。2-4Hz において、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（×）は、上下動成分から求めた Rayleigh 波の位相速度（■、×）に一致せず、150m/s 程度の遅い速度を推定した。また、水平 2 成分から求めた Love 波の位相速度（●）も、150m/s 程度の遅い速度を推定するが、分散性が見られない。以上より、水平 2 成分から求めた Rayleigh 波、Love 波の位相速度値は信頼性が低いといえる。

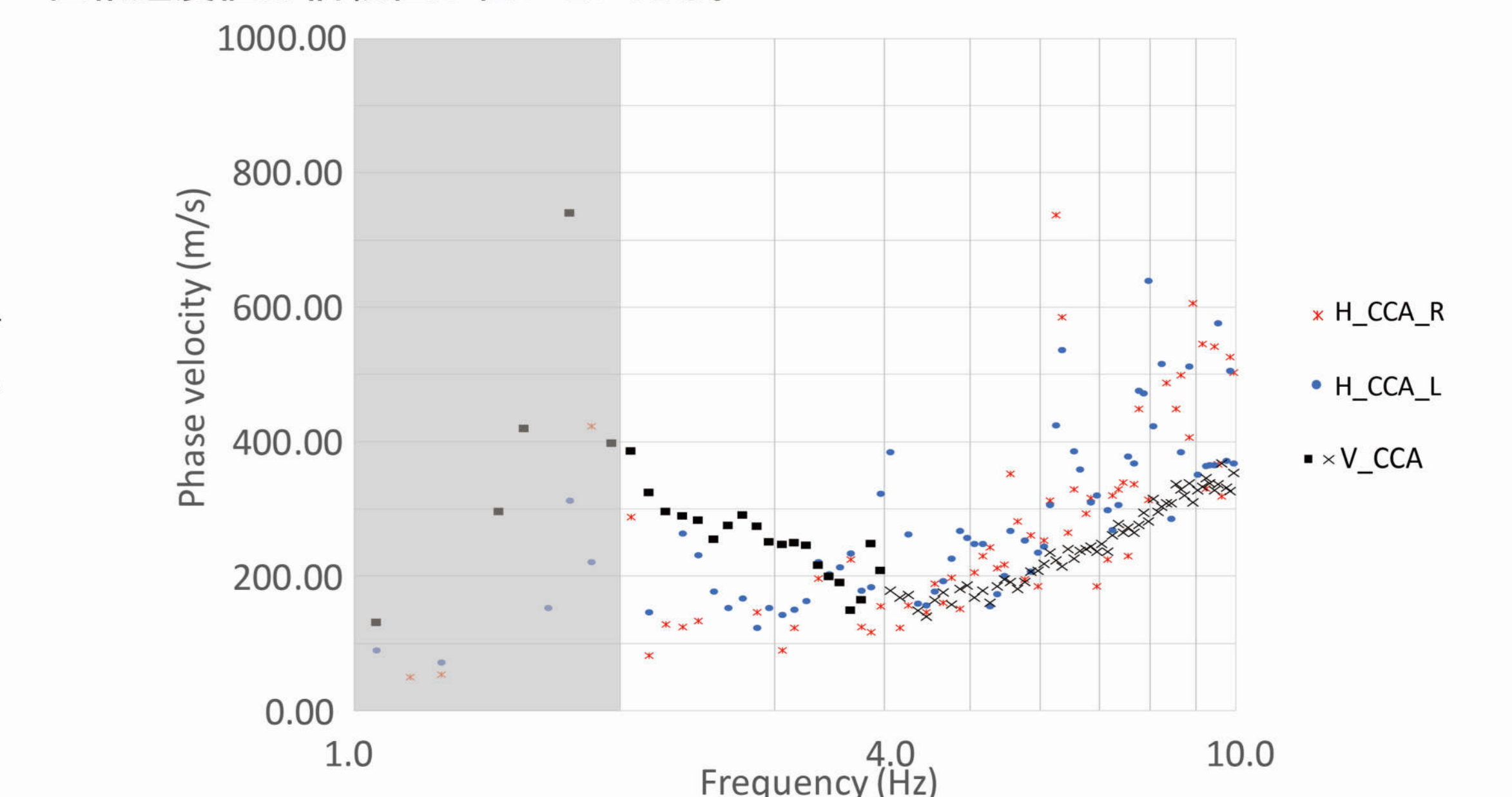


Fig. 6 CCA 法で 3 成分速度記録から推定した Rayleigh 波と Love 波の位相速度。