

静岡市清水区における常時微動による表層地盤震動特性評価の試み Estimation of soil profiles in Shimizu, Shizuoka based on microtremor observation

北 勝利¹

¹ 東海大学・海洋学部海洋建設工学科・kita@scc.u-tokai.ac.jp

概 要

静岡市清水区市街地の公園などにおいて、表層地盤震動特性の評価を目的として、1点3成分、および辺長3~20mの正三角形頂点位置に上下動微動計を設置したアレイ配置による常時微動観測を実施した。1点3成分観測結果より水平動/上下動振幅比(H/V)スペクトルの卓越周期を、またアレイ観測結果より空間自己相関法を用いてレイリー波速度の分散関係を求め、これらを最適化の対象として遺伝的アルゴリズムを用いた表層部のS波速度構造の推定を試みた。本報告では、巴川低地および秋葉山微高地域の観測地点9箇所を対象として、表層地盤震動特性分布性状の概観的評価を行った。

キーワード：常時微動、表層地盤震動特性、S波速度、分散関係、H/Vスペクトル

1. はじめに

静岡市は想定東海地震の震源域北東部直上に位置し、市街域では震度6以上の強震動の発生が予測されている¹⁾。

同市清水区市街地の表層地質分布²⁾を図1に示す。平野部は北の庵原山地と南の有度丘陵(日本平)に挟まれ、感潮河川の巴川が中央部を大きく湾曲しながら通り清水港に流れ込む。清水平野は巴川の三角州として発達したが、河口から3~4km上流位置において北に秋葉山、南に入江岡の両微高地(図中赤破線)に挟まれ、約8000年前以降の海水準上昇に伴い、狭窄部より上流側において静穏な内湾性環境下で泥質の軟弱な地層が厚く堆積し、巴川低地が形成された³⁾。同地区の地盤震動特性については、これまで常時微動観測や重力探査に基づく基盤構造の推定が行われている⁴⁾。一方表層地盤構造について、山口ら⁵⁾はボーリングデータを基に静岡清水平野における地盤層序について東京地域の軟弱地盤構造との対応を検討し、洪積世中期以降の堆積層を巴川層と命名した。また杉山・下川⁶⁾は、巴川流域の沖積層を主として砂礫層よりなる下部層と泥層が主体となる上部層に大きく二分できるとした。

著者らは、これまで清水区市街地域における常時微動観測結果を基に表層地盤震動特性の評価を試みている。既報⁷⁾では、H/Vスペクトルの卓越周期および表層30mの平均S波速度との高い相関が指摘されている波長40mに対応するレイリー波速度の場所的分布性状が既往ボーリングデータに基づく地盤特性値分布と概ね整合すること(図2)、および硬質地盤(図

1中地点10)で観測したH/Vスペクトルの卓越周期とレイリー波速度の分散関係を最適化対象とした地盤層構造の推定結果について報告した。本報では、他観測地点における層構造推定結果とともに、清水区市街地における表層地盤震動特性分布性状の概観的検討を試みた。

2. 観測方法及び解析方法

2.1 観測方法

本研究における観測地点位置を図1に示す。観測は静岡

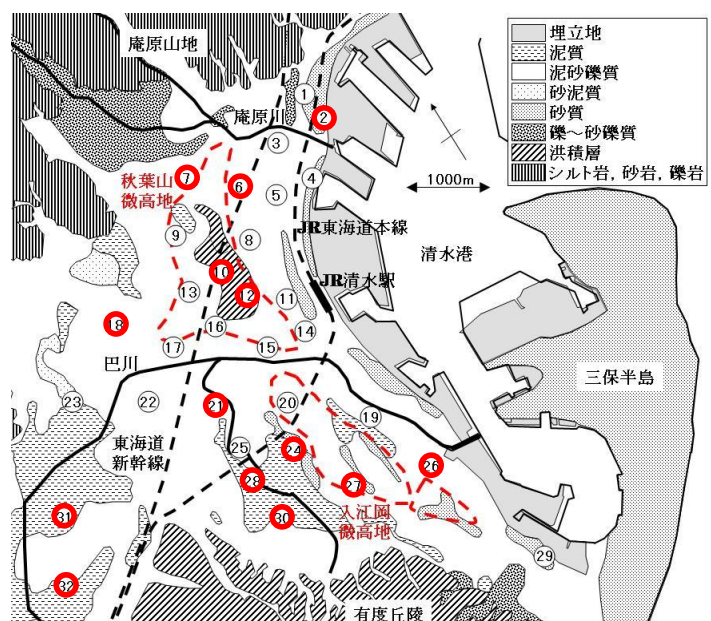


図1 清水平野部の表層地質と観測地点

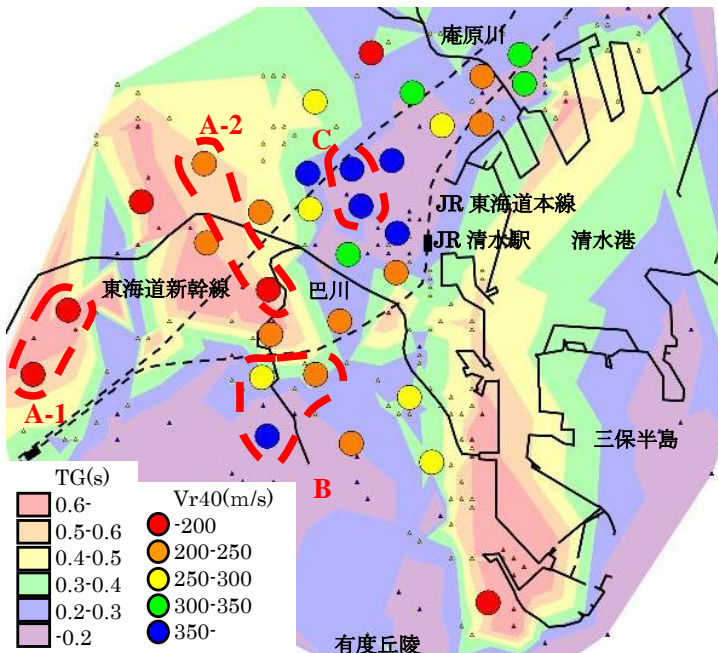


図2 波長 40m のレイリー波速度 Vr40 と既往ボーリングデータに基づく地盤の特性値 TG の場所的分布

市清水区市街地の公園など計 32 地点において、交通振動の影響が比較的軽微と考えられる深夜 23 時～5 時の時間帯に実施した。観測では 1 点 3 成分(互いに直交する水平 2 方向+鉛直方向)同時観測、および辺長(センサ間隔)3m または 10m の正三角形の頂点位置に上下動微動計を配置したアレイ観測を実施した。図 1 中赤丸囲みの 14 地点については、センサ間隔 20m の上下動アレイ観測も行った。

観測には固有周期 1 秒の動電型速度計(勝島製作所製 PMK-110H および V)を用いた。微動計からの電気信号は増幅器(勝島製作所製 PUD-1)で増幅およびローパスフィルタリング処理(カットオフ周波数 30Hz)の後、16 ビット分解能の PC カード型 A/D 変換器(キースリー製 KPCMCIA-16AI-C)でデジタル信号に変換の後、パーソナルコンピュータに収録した。サンプリング周波数 200Hz で 180 秒間の計測を交通振動状況に応じて 2～6 回繰り返す、交通振動の影響が比較的軽微な 20.48 秒長区間を 5～8 区間選出、スペクトル解析に供した。

1 点 3 成分同時観測データより水平動/上下動の振幅比(H/V)スペクトルを算出し、大町らの方法⁸⁾に基づき卓越周期を決定した。一方上下動アレイ観測結果より、空間自己相関法に基づき 3 組の 2 頂点間のコヒーレンスの平均値を用いてレイリー波の分散関係を計算した⁹⁾。図 1 中地点 32 における観測結果より得られた H/V スペクトルとレイリー波分散関係を図 3 に例示する。

2.2 遺伝的アルゴリズムによる層構造推定

地盤震動特性の詳細な評価を目的として、H/V スペクトルやレイリー波分散関係などを対象とした S 波速度構造の推定が行われている^{10)~12)}。ここでは、3～20m の 3 種のセンサ間隔で上下動アレイ観測を実施した 14 地点中 9 地点における観測結果に対し、遺伝的アルゴリズム¹⁰⁾を用い

た地盤構造の評価を試みた。

観測で得られた H/V スペクトルの卓越周期とレイリー波分散関係を最適化の対象として、次式の適応度関数を採用した。

$$F = \frac{w_s}{\left\{ \frac{T_{0m} - T_{0h}}{T_{0m}} \right\}^2} + \frac{w_d}{\frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} \left\{ \frac{V_{rm}(T_i) - V_{rh}(T_i)}{V_{rm}(T_i)} \right\}^2}$$

ここに、 T_{0m} : 観測結果に基づく H/V スペクトルの卓越周期、 T_{0h} : ハスケル法によるレイリー波楕円率(水平/上下動振幅比)が極大となる周期、 N_d : レイリー波速度の誤差評価周期個数、 $V_{rm}(T_i)$: 観測結果に基づく周期 T_i におけるレイリー波速度、 $V_{rh}(T_i)$: ハスケル法による周期 T_i におけるレイリー波速度、である。 $V_{rm}(T_i)$ については、観測より得られた分散関係に対し連続な区分直線(図 3 中緑線)で回帰近似した値を用いている。 w_s および w_d は卓越周期とレイリー波速度に対する重みであり、本報告ではそれぞれ 0.3, 0.7 とした。

遺伝的アルゴリズムでは 2 進法コーディング、ルーレット選択、一様交叉を採用し、個体数 50、遺伝子長 5bit、交叉率 0.7、突然変異率 0.03 とし 100 世代までの計算を 20 回実行した。

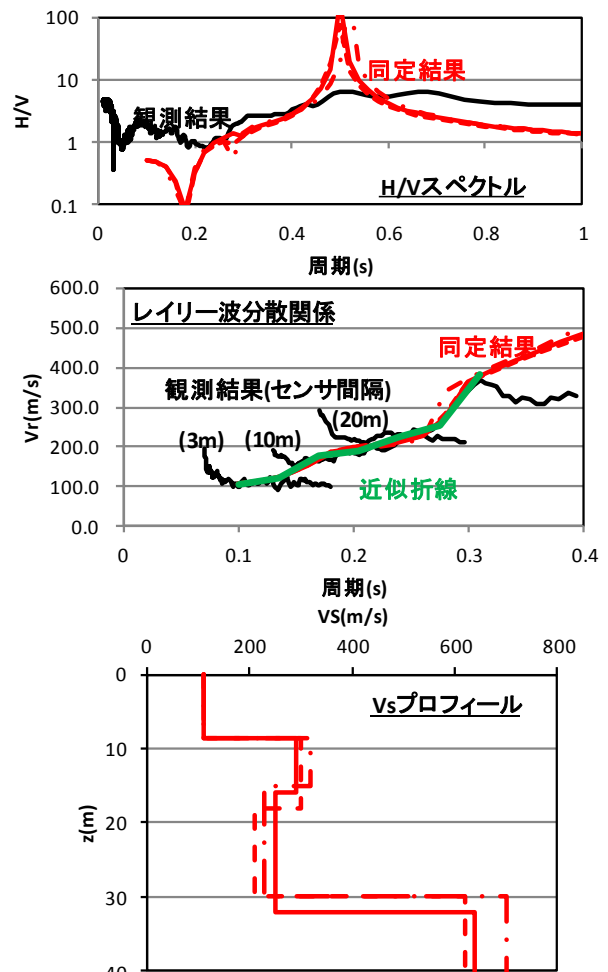


図3 観測結果と同定結果(A-1, 地点 32)

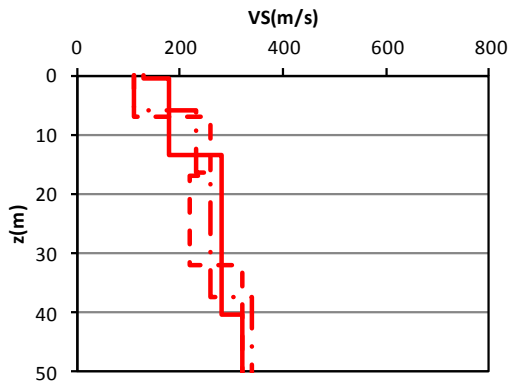


図4 Vsプロフィール同定結果(A-1, 地点31)

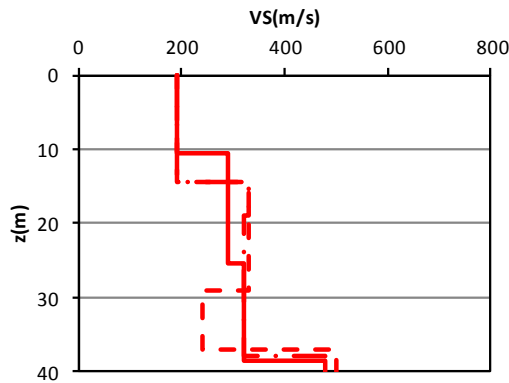


図5 Vsプロフィール同定結果(A-2, 地点18)

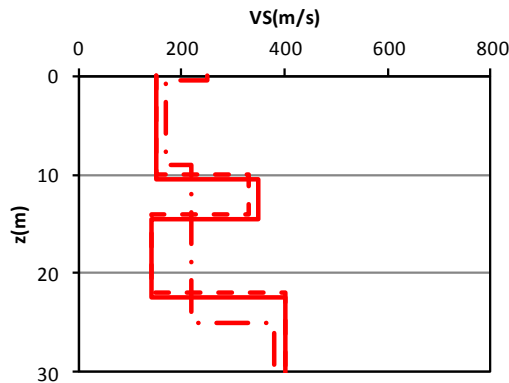


図6 Vsプロフィール同定結果(A-2, 地点21)

山口ら⁵⁾, 杉山・下川⁶⁾を参考に, 地盤表層を軟弱層上・下部と基盤層との中間層を想定した3層構造とし, 基盤層を加えた4層地盤を仮定した。基盤を含む全ての層で密度を 2000kg/m^3 , P波速度を 1500m/s とした。同定解析におけるS波速度分解能は上部2層で 10m/s , 第3層で 20m/s (ケースにより 10m/s), 基盤層で 20m/s , 層厚分解能については上部2層で 0.5m , 第3層で 1m とした。

3. 解析結果

本文では, 巴川沿岸の地点 18, 21, 31, 32(図2中赤太破線 A-1 と A-2, 地点番号については図1参照), 入江岡微高地域より内陸側で A-1, A-2 に比べ有度丘陵側の地点 24, 28, 30(図2中 B), および秋葉山微高地域で洪積表層の地点 10, 12(同図中 C)の3区域における層構造推定結果について報告する。

地点 32(区域 A-1)における H/V スペクトルと分散関係

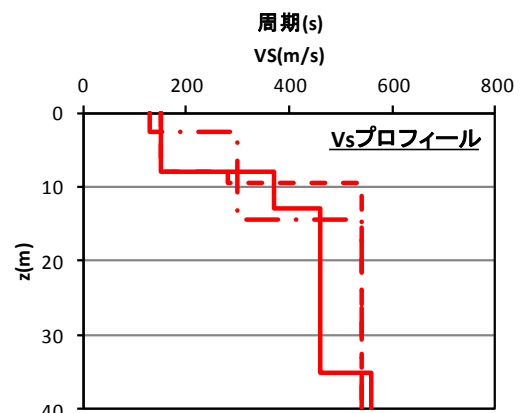
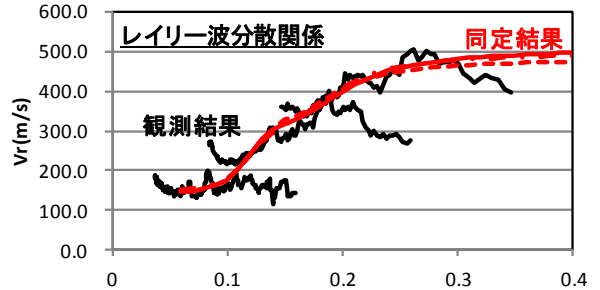
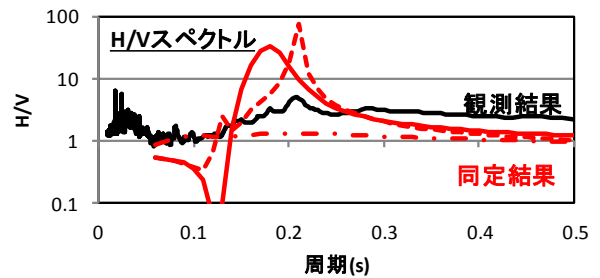


図7 観測結果と同定結果(B, 地点28)

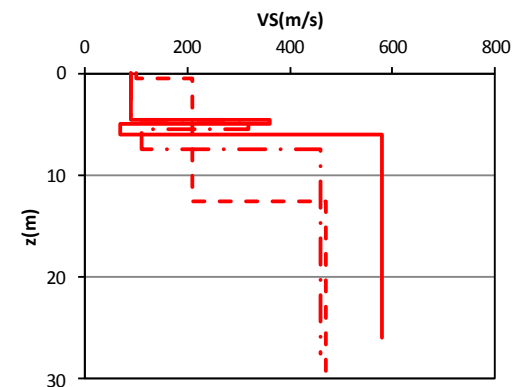


図8 Vsプロフィール同定結果(B, 地点24)

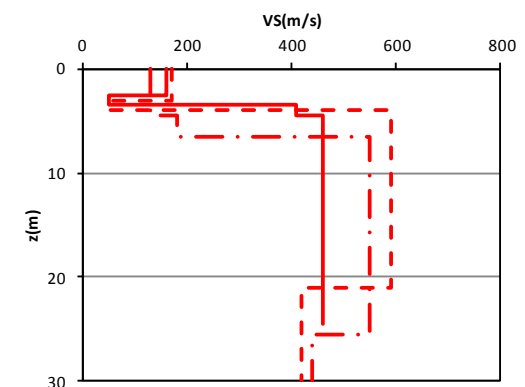


図9 Vsプロフィール同定結果(B, 地点30)

を図3に示す。同図中の黒線は観測結果を、赤線は適応度値の高い3試行についての同定結果を用いた計算結果を示している。同図にはこれら3試行で同定されたS波速度(V_s)の深度分布も示している。同定された地盤プロフィールによると、本地点では地表面より $z=8.5\text{m}$ までの第1層では V_s は 110m/s と低い値となっている。第2層では6~10m厚で V_s 値は $290\sim 310\text{m/s}$ と一旦増大するが、第3層では $210\sim 250\text{m/s}$ と減少する。また第3層以浅の表層厚は30m程度と推定されている。同じくA-1区域の地点31での観測結果について同定された V_s プロフィールを図4に示す。最上層のS波速度は $110\sim 130\text{m/s}$ と低く、表層厚は30~40m程度であるが、 V_s 値は深度とともに概ね漸増し、表層と基盤層で V_s のコントラストが小さい結果となっている。次に、巴川沿岸で同じく軟弱地盤上に位置すると推定される区域A-2の2地点(18, 21)について、同定結果を図5, 図6に示す。これらの地点では地表付近における $V_s=150\sim 190\text{m/s}$ と推定され、巴川上流側に位置するA-1区域の2点に比べ大きくなっている。また地点21では基盤深度が21~25mと他点と比べ浅くなっている。

有度丘陵と入江岡微高地域の間に位置する区域Bについて、地点28における推定結果を図7に示す。最表層のS波速度は $130\sim 150\text{m/s}$ と区域Aの各地点と概ね一致しているが、深度 $z=10\sim 15\text{m}$ で $V_s\geq 400\text{m/s}$ の硬質層が現れている。地点24および30における推定結果を図8, 図9に示す。最表層のS波速度は $90\sim 170\text{m/s}$ と、区域Aにおける値と概ね整合する。地点30は有度丘陵に近く、深度3~7mにおいて $V_s\geq 400\text{m/s}$ の高速層が現れている。

区域Cの2地点は表層地質が洪積層であり、既往ボーリングデータに基づく地盤特性値や波長40mに対するレイリー波速度 V_{r40} からも硬質地盤であることが推定されている。地点10における推定結果を図10に示す。最表層のS波速度は $200\sim 240\text{m/s}$ と区域A, Bと比較して大きく、深度10m程度で高速層が出現している。地点12におけるS波速度のプロフィール同定結果を図11に示す。地表面より $V_s=350\sim 400\text{m/s}$ の硬質層が現れる推定結果となっている。

参考文献

- 1) 静岡県: 第3次被害想定報告書, 静岡県地震防災センターウェブサイト, <http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp/>.
- 2) 静岡県地震対策課: 静岡県地震対策地質条件図3(静岡-御前崎), 1994.
- 3) 大崎博之, 坂本雄一, 金子純二, 根元謙次: デジタル資料による清水平野周辺の微地形と表層地質, 東海大学海洋研究所研究報告, 第22号, pp.15~28, 2001.
- 4) 新井洋, 野津厚: 微動の移動1点観測から推定した静岡市清水の3次元基盤構造, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-, pp.95~96, 2006.
- 5) 山口貴雄, 石沢康夫, 海野健次: 静岡・清水平野の軟弱層の層序, 静岡地学, 第48号, pp.1~7, 1983.
- 6) 杉山雄一, 下川浩一: VII.2 沖積層, 清水地域の地質, 地域地質研究報告, 地質調査所, 第89号, pp.59~61, 1990.
- 7) 北勝利: 静岡市清水区における常時微動観測, 第21回中部地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学海中部支部, pp.53~56, 2009.
- 8) 大町達夫・紺野克昭・遠藤達哉・年縄巧: 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, No.489/I-27, pp.251~260, 1994.
- 9) 紺野克昭: 地下構造推定に用いる2点間および3点間空間自己相関法に関する理論的検討, 土木学会論文集, No.654/I-52, pp.367~375, 2000.
- 10) 山中浩明・石田寛: 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, 第468号, pp.9-17, 1995.
- 11) 新井洋: 微動のH/Vスペクトルと地盤構造の関係, 第3回地震防災シンポジウム講演概要集, 物理探査学会地震防災研究会, pp.65~74, 2008.
- 12) 山中浩明: 微動と他種観測のデータの同時逆解析の試み, 第3回地震防災シンポジウム講演概要集, 物理探査学会地震防災研究会, pp.89~96, 2008.

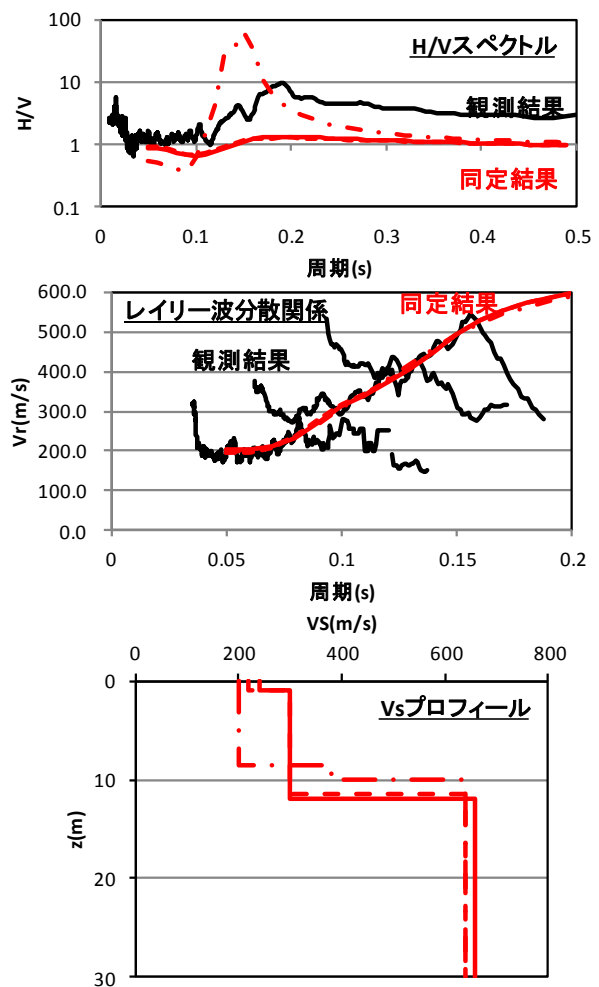


図10 観測結果と同定結果(C, 地点10)

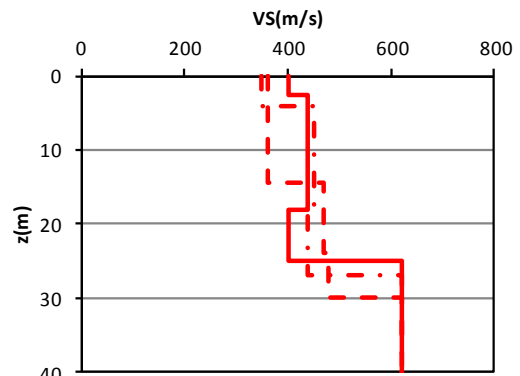


図11 V_s プロフィール同定結果(C, 地点12)