

K-NET 南通の地盤構造推定*

弘前大学 片岡俊一

弘前大学理工学部地球環境学科 4年 高澤昌也

1. はじめに

青森県東通村小田野沢に設置されている K-NET 南通の計測震度は気象庁から公表されているが、周辺震度観測点に比べて大きな値であることが多く、小田野沢地区の住民の感覚とも合わないことが新聞報道されたこともある。公表されている地下構造は硬質な地層の上に S 波速度 80m/s という軟弱な表層が堆積した単純な二層構造であり、震度が周辺に比べて大きいことはこの軟弱な表層の影響と定性的には説明できる。しかしながら、地震記録を分析した結果、公表された地下構造では地盤の卓越振動数が説明できないことが分かった。また、地震動には方向性があり、NS 成分、EW 成分独立に分析すると 2~3Hz の範囲でスペクトルがピークとなるが、東西方向から反時計回りに 30 度の方向に回転した成分では約 2Hz のみが卓越することが分かった。

K-NET 周辺では微動のアレー観測も行ったが、安定した位相速度は得られなかった。これは、地下構造に方位依存性があるためだと考えている。そこで、文献 1) においては、後述するように公表値の表層層厚を厚くし、卓越振動数を満たす地下構造を提案している。しかしながら、卓越振動数を説明するのであれば、表層の S 波速度を遅くしても構わないことになり、適切な構造を得るためには、速度の情報を別途得る必要がある。そこで、地震動の卓越する方向に着目し、人工的に振動を起し、その伝播状況から表層の速度構造を求めた。以下にその結果を報告する。

2. 卓越振動数から推定した地下構造¹⁾

K-NET 南通で観測された地震動の卓越振動数と公表値から推定される二層地盤の固有振動数は異なっていた。そこで、公表された地下構造の表層層厚を厚くし、卓越振動数が説明できる構造を試行錯誤的に求めた。その結果得られた地下構造を図 1 に示す。

表層の層厚は 9m であり、S 波速度は 80m/s である。この S 波速度は公表値であるが、K-NET 南通周辺で行った微動アレー探索でも同程度の S 波速度の層があることが確認されたので、ここでは公表値を用いている。また、P 波が表層で遅いのは公表値に合わせたためであり、地下水位の影響と考えている。この地下構造の固有振動数は 2.2Hz となる。

さらに、微動の上下動と水平動とのスペクトル比 (H/V) と推定地下構造から算出した Rayleigh 波の上下と水平動との比を比較して図 2 に示す。この地盤はインピーダンス比の非常に小さい二層構造であるから、当然のことであるが、観測値と理論値は良く

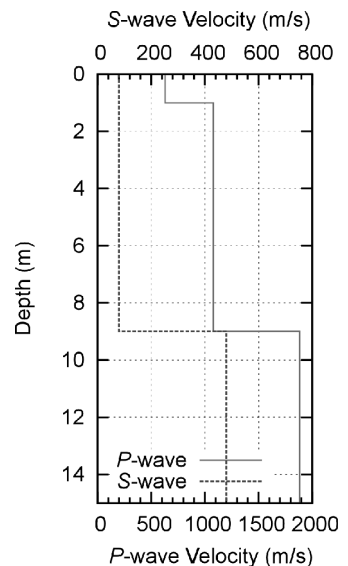


図 1 卓越振動数を満たすことを根拠とした速度構造

* Estimation for S-wave velocity profile at the K-NET station AOM007, Minamidori by Shunichi Kataoka and Masashi Takasawa

対応している。

3. 観測概要

S波速度を求めるために、K-NET観測点から東から反時計回りに30度回転した方向に測線を展開し、図3に示すような振動計配置で振動を計測した。図中のC2がK-NETの柵の近傍になる。Cとつけた観測点には3成分の微動計を設置し、Vとつけた観測点には上下成分のみの微動計を設置した。

計測ケースは4回であり、最初の3回は図3に示すようにC1から23m離れた地点で人間がジャンプした。第1回めは一人、第2回目は二人交互、第3回目は3人交互であるが、タイミングが合わず二人が同時に飛ぶことが多かった。第4回目は、飛ぶ位置をC1から40m離れた地点とした。この場合、波形では人間のジャンプは識別できない。以下、各ケースの略称を順にL-01, L-02, L-03, L-04とする。

用いた振動計は物探サービス株式会社製の地表用微動計CR4.5-2Sであり、測定可能周波数範囲は0.5~18Hzである。収録装置はKEYENCE社製のPCカード型データ収集システムNR-2000(A/D分解能:14bit)を用いた。サンプリング振動数は1000Hzとし、各ケースとも40秒間のデータを収録した。

最も振幅が大きかった第三回目の上下成分の波形を図4に示す。また、C1における第1回目から第4回目までの上下成分のパワースペクトルを図5に示す。前述したように第4回目(L-04)は目視ではジャンプしている状況が分からないことから、これを通常の微動レベルと見なすと、第2回目、第3回目は4Hz以上の成分が励起されたことになる。

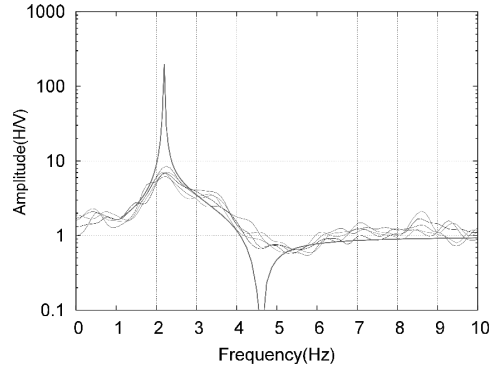


図2 観測されたH/Vと地下構造から算出したRayleigh波のH/V

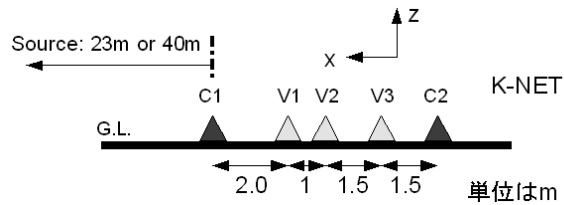


図3 センサー配置

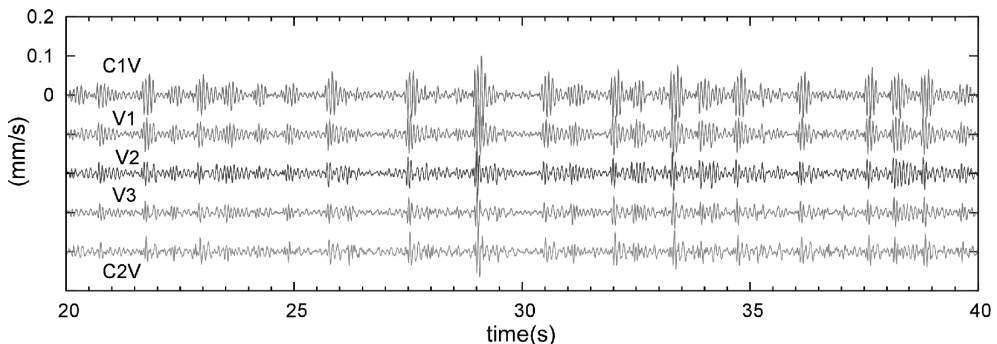


図4 観測波形例. 三人のジャンプによる振動

4. 位相速度と考察

第1回目から第3回目までに得られたデータから最尤法²⁾により周波数-波数スペクトルを求め、最大となる波数から位相速度を求めた。その結果のうち、上述のスペクトル特性を踏まえ3.5Hz~6.5Hzの範囲の結果を図6に示す。また、図1に示した地下構造から算出したRayleigh波基本モードの理論分散曲線も併せて示す。

位相速度は4.2Hzから6.0Hzの範囲で100m/s前後で計測ケースによらず安定している。この範囲にあっては、Rayleigh波の理論分散曲線とほぼ対応している。6.0Hz以上では100m/sよりもやや早くなるが、これも測定ケースには依存しないようである。一方、4.2Hzより低い振動数域では結果は比較的ばらつき、それ以上の振動数の位相速度よりもかなり早い。

高振動数で速度が速くなるのは高次モードの影響が考えられる。一方、低振動数側に速度が速いのは、二層地盤の基盤の速度が提案モデルよりも早いことを示唆している可能性もある。そこで、基盤速度を800m/sとし第一次高次モードを考慮した位相速度を算出した³⁾。結果を図7に示す。

低振動数で位相速度が速くなるのは2.5Hzより低い振動数からである。このことより、図6に示した4Hz以下で位相速度が速くなるのはノイズの影響が大きいと判断できる。一方、高振動数では高次モードの影響により位相速度が速くなり、観測値の傾向と対応している。しかしながら、理論計算では速度が速くなるのは7.5Hzであり、観測結果のように6Hzから速度が速くなること

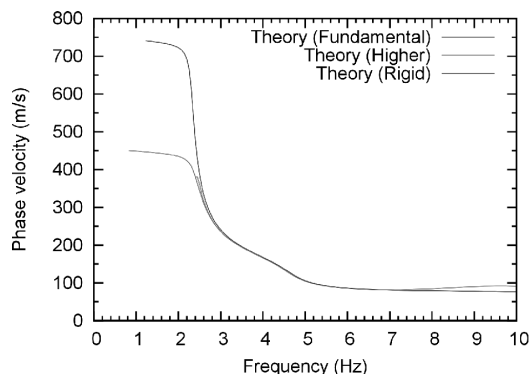


図7 基盤速度を早くした場合の位相速度と第一次高次モードを考慮した場合の位相速度。左側は高振動数域の拡大。

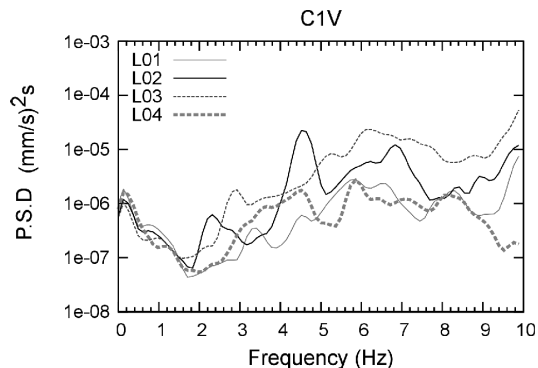


図5 C1における測定結果のパワースペクトル

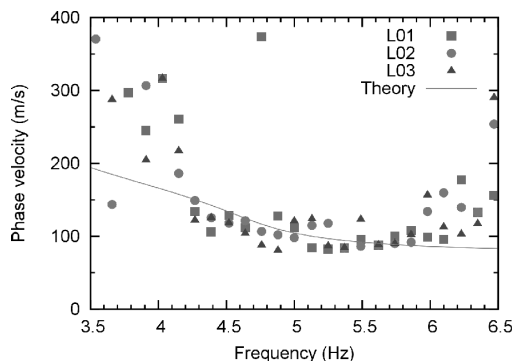
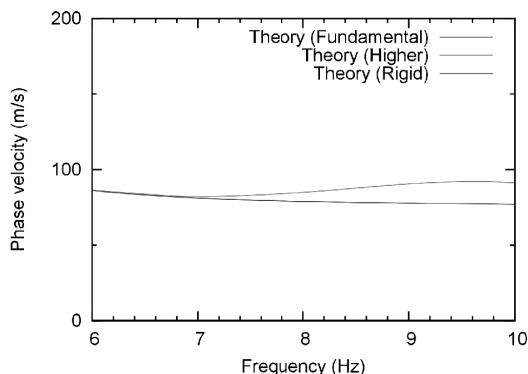


図6 測定結果から周波数-波数スペクトルを用いて推定した位相速度と理論分散曲線



はなかった。ただし、高次モードの影響は厳密にはジャンプした地点と観測点の位置関係で異なるので、6Hz付近から観測位相速度が速くなることについてはさらなる検討が必要と思われる。

4. まとめ

軟弱な地盤である K-NET 南通の地下速度構造を求めるために、地震動の低次の卓越方向に直線アレーを展開し、人がジャンプすることにより表面波を励起させてこれを計測した。その結果から求めた位相速度はこれまで提案していたモデルで説明可能であることが分かった。結局、表層の層厚は 9m で、S 波速度は 80m/s で卓越振動数と観測位相速度が説明できることになる。

この研究は、公表されている速度構造についての疑問から始まっており、本来であれば層構造についても検討を行う必要があるだろう。しかしながら、K-NET 南通地点周辺においては柱状図などの地盤データが全くなく、地層構成は議論できる資料はない。ただし、表層近くまで硬質な地盤が存在していることは確かであり、大局的に見れば二層構造でモデル化することで良いと思われる。地震動と微動の卓越振動数が明確であることは、このことを裏付けていると考えている。地震動の一次的な増幅を取り扱うのであれば、文献 1) の提案モデルでよいと判断している。ただし、基盤の速度は今回の結果からは不定である。これをアレー観測で知るには、大きなアレーを展開する必要がある。その際には、K-NET 地点は地中の構造が少なくとも二次元的であると思われるので、それに対応する計測が必要である。

謝辞

Rayleigh 波の理論分散曲線、水平上下比の算出には文献 3) に付随している TremorDataView を利用した。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 渥美友宏・片岡俊一：東通村小田野沢地区の地盤震動特性と地下構造の推定，日本地震工学会大会梗概集，2011.
- 2) Capon, J: High resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, Proceedings the Institute of Electrical and Electronic Engineers, 57, 1408-1418.
- 3) 先名重樹，藤原広行：微動探査観測ツールの開発 その 1 ー微動解析ツールー，防災科学技術研究所報告 第 313 号，2008.