

7) 国際地震工学センター

7) - 1 地盤全体のせん断波速度構造の解明の為の

物理探査技術の研究【基盤】

Study on Geophysical Exploration Techniques for Underground Shear Wave Velocity Structure of shallow and deep sediment

(研究期間 平成 24~25 年度)

国際地震工学センター

横井俊明

鹿嶋俊英

林田拓巳

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

構造研究グループ

中川博人

Dept. of Structural Engineering

We have tested the actual performance of three geophysical exploration techniques including those using microtremor, i. e., Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW), Spacial AutoCorrelation Method (SPAC), Centerless Circular Array Method (CCA), for the exploration within a narrow open space. We have used the data obtained the test site Iwaki City Hall and concluded the following. MASW is recommendable for shallow ground, especially it's lateral variation, where for example the liquefaction potential is evaluated, however this method can be incapable to detect the engineering bedrock. For deeper exploration CCA using long period seismometers in a combination of arrays of various sizes is recommended.

【研究目的及び経過】

地表での地震動は、浅層地盤（工学的基盤以浅）での地震波増幅を規定するせん断波速度(V_s)構造と、工学的基盤での入力地震動とを考慮して評価される。しかし、浅層地盤が厚い場合等、工学的基盤に至る地盤調査が行われているとは限らない。また、浅層地盤は一般に横方向の不均質性が強く、既往地盤調査資料だけで十分な地盤情報が得られるとは限らない（図 1）。しかし、ボーリング孔を使った PS 検層等は費用が嵩むため、比較的安価・簡便で浅層から深層まで地盤全体の V_s 構造を推定する（微動を利用するものを含む）物理探査技術が求められる。このような需要は、地盤調査に費用を割けない開発途上国では、より切実である。

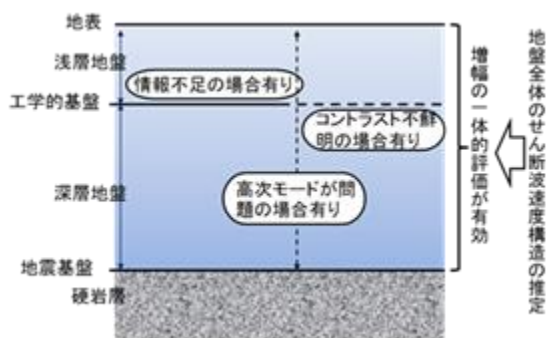


図 1. 研究対象地盤概念図

本研究では、地盤全体での地震波の増幅の一体的推定の為に、この条件を満たす物理探査技術に関する知見・情報を整理して、比較的狭いスペースで実施可能な技術の推奨できる組み合わせを実験的探査により選定し、ケーススタディーの情報と合わせて発信する。建築研究所は、開発途上国の地震災害軽減のために国際地震工学研修を実施し、各国で地震災害軽減のために活躍する人材を育成している。本課題の成果は、国際地震工学研修の教材や個人研修課題として利活用され、長期的観点からは、開発途上国の地震災害軽減に資する。

【研究内容】

比較的狭いスペースで利用可能な物理探査技術の知見・情報を浅層地盤及び深部地盤（工学的基盤以深・地震基盤まで）を対象に文献・情報を整理し、工学的基盤の横方向の変化が顕著で、ボーリング資料・強震観測記録が比較的揃っている福島県いわき市役所敷地をテストサイトとして、下記の物理探査技術を適用し、評価した。

- ・ MASW 法(高精度表面波探査法)
- ・ SPAC 法 (空間自己相関法)
- ・ CCA 法 (中心無し円形アレイ法)

平成 24 年度には、既存の探査手法である SPAC 法及び MASW 法を適用し、 V_s 構造を推定した。工学的基盤は 40m 以深に推定された。また、市庁舎敷地を東西に横切る断面、及び南北に横切る断面で、工学的基盤深度

の横方向変化が推定された。

平成 25 年度には、国際地震工学研修における個人研修のテーマとして、上記のデータの再解析を既存ボーリング資料と合わせて検討し（図 2）、工学的基盤の深さ分布を推定した（図 3）。その結果、現在の市庁舎高層棟及び市議会議場の直下で、工学的基盤が半島状に高まり、その南北及び西側で、工学的基盤、及び浅層地盤内の速度境界の急激な深度増加が確認された。平成 26 年 1 月には、長周期地震計を使った CCA 法等の追加計測を実施した。

【研究結果】

MASW 法は、浅層地盤の Vs の横方向変化の検出には有効だが、ハンマーを使った人力による起振では分散曲線を推定できる周波数帯が 5Hz 程度以上に限定され、単独で工学的基盤は検出できなかった。ボーリング資料から浅層地盤各層の Vs が確認でき、経験的な探査限界深度（～波長/3 程度）より深く（～40m）まで速度構造が推定された（図 2）。SPAC 法では、工学的基盤の検出が可能であり、最大解析波長はアレイ径の数倍程度、探査深度はアレイ直径と同程度以下という経験的な関係を追認する結果となった。同じアレイで得られた微動記録を SPAC 法及び CCA 法で別々に解析した結果の比較では、より長周期までの分散曲線推定が CCA 法で可能であった。また、辺長 5m のアレイで、最大解析波長/アレイ直径が 100 を超え、工学的基盤を検出できる例もあった。一方、アレイ径がある程度大きくなると、この比が小さくなる傾向が見られた（図 4）。これは、最小解析可能周波数が固定されることに因る。なお地震基盤 ($V_s > 3000\text{m/s}$) は、いずれの手法でも検出できておらず、より大きなアレイ径での観測が必要なることを示している。

上記の結果から、比較的狭いスペースで実施可能な探査技術として、液状化危険度判定等で必要となる詳細な浅部地盤速度構造は MASW 法が、工学的基盤の検出については長周期地震計による CCA 法が選出される。しかし、CCA 法を小口径アレイで実施する場合、最小解析可能周波数を決めるメカニズムが未解明で、探査深度をアレイ径から予め予測し難いことが知られている。小口径アレイとある程度大口径のアレイをバランスよく併用するのが実用的と考えられる。

本課題の実施を通じて整備したデータ解析プログラムは、国際地震工学研修の教材として利用され、IISEE-NET を通じて公開される予定である。本課題は、新規基盤研究課題「中小規模盆地を対象とする地震波干渉法を用いたせん断波速度構造探査技術の研究」に引き継がれる。テストサイトとその周辺での実証的研究を進める。

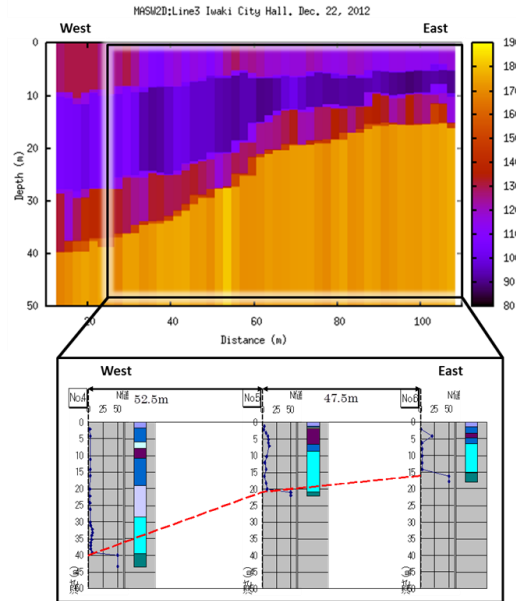


図2 MASW 法による探査結果とボーリング資料との対比

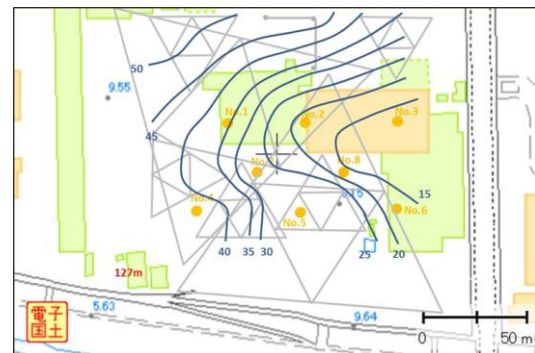


図3 いわき市役所敷地における微動探査結果（工学的基盤の深さ）。Wiradikarta(2013)

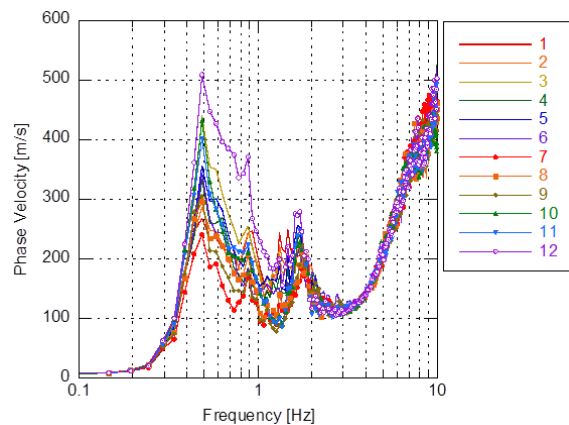


図4 長周期地震計を使った CCA 法により検出されたいわき市役所敷地西側南北測線での位相速度の横方向変化の例（アレイ辺長 17.5m）。