

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04705

研究課題名（和文）建築基礎構造設計のための深部および浅層地盤の動的特性評価法の提案

研究課題名（英文）A proposal of the dynamic property estimation technique of the deep and shallow ground for a building foundation design

研究代表者

三辻 和弥（MITSUJI, Kazuya）

山形大学・工学部・教授

研究者番号：90292250

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：常時微動および地震観測記録の分析により、建築基礎構造設計の高度化につながる地盤の動的特性評価法を提案することを目的とした。山形盆地における高密度な常時微動観測の結果から地盤卓越振動数を評価し、微地形区分による評価とは「揺れやすさ」に有意な差があることや、観測記録には深い地盤構造の影響が表れることを指摘した。また、小規模建築を対象として、敷地内2点間の常時微動観測記録による浅層地盤の動的特性評価を試みた。地盤の性質として「かため」の評価となることが多く、結果の精度には今後さらに改良する必要があるが、手法の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

場所による揺れ方の違いを比較的簡便な観測手法で定量的に評価することは建築設計の面からも防災の面からも有用である。内陸の活断層の存在が指摘される山形盆地で高密度に常時微動観測を行い、面的な場所による揺れ方の違いや微地形区分からの推定値との差を評価したほか、深い地盤構造の影響が地表面の揺れに影響を与えることや、小規模建築を念頭に浅層地盤を伝わる波の特性か地盤の「かたさ」を評価する手法を検討した。結果の精度面ではまだまだ改良の余地があるが、建築基礎構造設計に有用な情報を提供できる手法となりうることを示した。

研究成果の概要（英文）：Attempt to propose the dynamic estimation technique of the deep and shallow ground for advanced building foundation design by microtremor measurement and seismic observation data. Predominant frequencies of the ground at many sites in Yamagata basin were quantitatively estimated. Results pointed out that estimated predominant frequency by microtremor measurement is significantly different from geomorphic classification, and the effect of the deep ground was observed in H/V spectral ratio of some sites. The estimation of the dynamic characteristics of the shallow layer was also attempted to develop by cross correlation function of microtremor data for a small building foundation design. Results tends to indicate the predominant frequency appears in high frequency range, and its accuracy needs to be improved in the near future. However, the availability of this technique can be shown in this research project.

研究分野：建築基礎構造

キーワード：建築基礎構造 常時微動観測 小規模建築 深部地盤 浅層地盤 動的特性 地盤特性 山形盆地

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建築基礎構造設計の際の地盤特性評価は標準貫入試験結果などに基づいて行われることが一般的であるが、基礎構造の支持層以深の地盤特性について評価されることはほとんどない。しかし、近年の地震被害調査や地震観測記録からは、深部地盤の地震波増幅特性が建築物の上部構造や基礎構造の被害に影響する事例が見られている。例えば、表層 30m 程度までの深さの標準貫入試験や PS 検層結果から表層地盤の卓越周期が約 0.3 秒と推定されるが、常時微動や地震観測記録からは周期約 1 秒の卓越が見られるような地盤に、上部構造の固有周期が 1 秒程度の建物が建設されていれば、大地震時には地盤と上部構造の共振による構造被害を建物に引き起こす要因になる。このような被害例は 2011 年東北地方太平洋沖地震の被害調査でも報告されているが、深部地盤の地震波増幅特性が建築基礎構造、特に杭基礎の地震時応力にどのような影響を及ぼすかについては、理論や観測記録などからも学術的に明らかにされておらず、また、実務的にも現在の建築基礎構造設計に考慮されていない。

一方、直接基礎が採用されることが多い住宅など小規模建築物の基礎構造設計にとっては、長期・短期など荷重の作用期間に関わらず、基礎直下の地盤沈下が問題となることが多いため、浅層の地盤特性の把握が重要である。近年、建物に大きな被害をもたらした地震である、2011 年東北地方太平洋沖地震や 2016 年熊本地震、2018 年北海道胆振東部地震でも、基礎地盤の被害に起因する住宅など小規模建築の基礎構造被害は数多く報告されている。このような小規模建築の基礎構造設計を目的とした浅層の地盤特性の把握には、SWS 試験が用いられることが一般的である。この試験では、浅層地盤の硬軟を判断することは可能だが、地盤の地震時挙動を推定するための十分な情報が得られるとは言い難い。そこで、SWS 試験とあわせて、浅層地盤の動的特性を評価するための方法の確立が求められるが、浅層地盤の動的特性については短周期成分の評価が中心となることが予想されるため、常時微動観測や表面波探査などの動的試験を行う場合でも、浅層地盤中を伝わる振動を精度よく観測・分析する方法が求められる。このような問題については観測方法・理論ともに十分に検討されているとはいえない状況である。

2. 研究の目的

本研究は大きく二つの目的からなる。一つは山形盆地を研究対象として、常時微動および地震観測記録の分析と理論モデルによる数値解析により深部地盤構造を推定し、杭支持層よりも深い地層での地震波増幅特性の影響が杭基礎の地震時挙動や耐震設計にどのような影響を及ぼすかについて定量的に検討する。

本研究のもう一つの目的である浅層地盤の動的特性評価については、住宅など小規模建築物の敷地地盤において常時微動観測および表面波探査を行い、ごく浅い表層地盤の振動特性を評価する。宅地での地盤特性評価において重要な地盤の支持力や沈下特性は SWS 試験などの地盤調査結果から推定されることが多いが、SWS 試験や標準貫入試験結果との比較、模型実験や数値解析によるシミュレーションを行うことにより、常時微動観測や表面波探査などから得られる動的な地盤特性と地盤の支持力や沈下特性など静的・準静的な特性との相関を定量的に評価する方法を検討する。

3. 研究の方法

山形盆地内に実在する複数の杭基礎建物について、設計時あるいは耐震診断時のデータから、杭支持層までの地盤特性や杭詳細に関するデータを利用することができる。比較的浅い、GL-30m 程度までの地盤の動的特性をボーリングデータなどから評価し、常時微動および地震観測記録の分析結果と比較することにより、深部地盤の地盤構造を推定する。また、山形盆地では過去に実施された活断層調査において深部地盤構造が評価されている測線がある。本研究で実施する、この測線近くの常時微動観測記録と過去の活断層調査結果を比較し、常時微動観測による深部地盤構造の推定精度を評価し、山形盆地内の他の常時微動観測点での深部地盤構造の推定を進める。これらの結果から表層地盤と深部地盤構造によって地震波が増幅されるそれぞれの周期成分を求め、杭基礎の地震時挙動および耐震設計に及ぼす影響について検討する。

住宅など小規模建築物の敷地地盤を対象とした浅層地盤の動的特性については、常時微動観測および表面波探査結果より、浅層地盤の振動特性を評価する。次に SWS 試験や標準貫入試験などの地盤調査結果から得られる N 値などの情報から地盤の支持力や沈下特性などを推定し、常時微動観測・表面波探査から得られる浅層地盤の波動伝播特性との相関について検討する。

4. 研究成果

山形盆地の深部地盤構造が地表面や建物の振動に与える影響について、77 箇所の常時微動観測を行った(図 1)。特に山形盆地南西部において、盆地内を南北に流れる須川を挟んで東西に横切る 5 つの測線を設定して高密度に常時微動観測を行い、地盤の卓越振動数を評価した(図 2)。地盤の卓越振動数の盆地内の変化を測線に沿って求めた。常時微動観測から評価した地盤の卓越振動数を、防災科研 JSHIS によって公開されている微地形区分および AVS30 から求められる表層地盤の卓越振動数と比較した。後背湿地では常時微動観測から得られた結果と AVS30 か

ら求めた地盤の卓越振動数は概ね一致したが、自然堤防や扇状地に区分される観測点では有意な差が見られる傾向が数多く見られた。測線 No.1 の結果を図 3 に示す。常時微動観測の結果は入手したボーリングデータから推定したせん断波速度分布から 1 次元重複波動伝播理論で推定した地盤の卓越振動数とも比較している。微地形区分で自然堤防や扇状地に区分される地域は AVS30 の値が比較的高く設定されており、ボーリングデータとの比較からも、常時微動観測から推定した結果との差が見られた理由と考えられる。このように山形盆地南西部の東西断面の地盤の卓越振動数の変化および AVS30 との比較による表層地盤の特性評価を行うことができた。また、常時微動観測記録から求めた H/V スペクトル比の結果からは、表層のボーリングデータから推定した理論的な地盤増幅特性だけでは説明できない低振動数領域のピークが見られることもあり、深い地盤構造の影響を示唆する結果が得られた(図 4)。あわせて、常時微動観測点に存在する建物の基礎構造について調査したところ、支持杭が中心であったが、低層建物で杭長が比較的短い場合 (GL-10m 前後に支持層) には摩擦杭の採用も複数見られた。

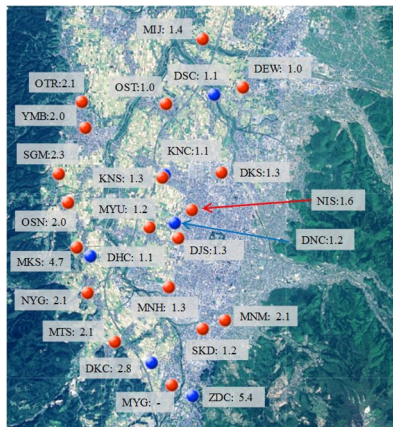


図 1 常時微動観測点と卓越振動数分布

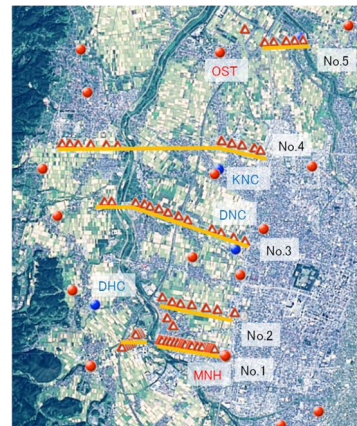


図 2 高密度常時微動観測の測線

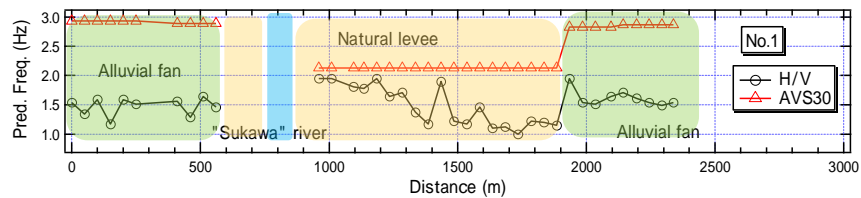


図 3 常時微動観測 (H/V) と AVS30 からの推定卓越振動数

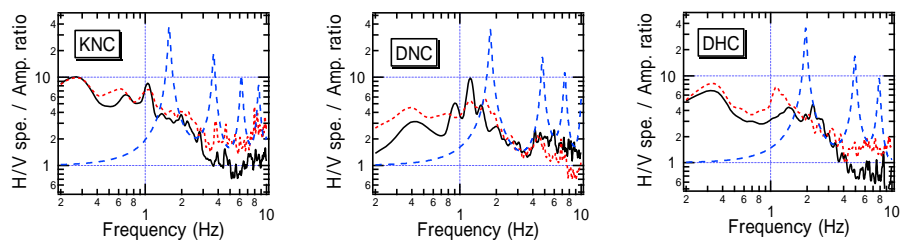


図 4 常時微動観測の H/V (黒実線・赤点線) と理論増幅特性 (青破線)

小規模建築物の基礎地盤を想定した浅層地盤の動的特性評価については、2 箇所の住宅建設予定地において水平アレーによる常時微動観測を実施した。この観測からは、H/V スペクトル比だけでなく、センサー間の相互相関関数を求めることにより、振動数の帯域制限された波がセンサー間を伝播する時間を評価することで、ごく浅い層のせん断波速度を評価できないか検討した(図 5, 6)。近隣の建物敷地地盤でのボーリングデータとの比較から敷地地盤全体の卓越振動数は概ね評価できる傾向は見出せたが、相互相関係数から求めたごく浅い層の波動伝播特性は工振動数側の評価となり、観測に用いたセンサー特性の影響が表れる結果となった。

地盤の支持力特性や沈下特性については動的な地盤特性との関係が明らかではないため、当初、模型実験や地盤モデルを用いた数値解析等により検討する計画であったが、本研究課題期間中の環境整備が間に合わなかったことや時間的な制約もあり、沈下に関する実験が最終年度にようやく開始できた状況で、今後の課題となった。

ほかに、山形市内の木造 3 階建て事務所建物において実施していた連続観測記録について、常時微動観測および強震観測記録を用いて、浅層地盤の動的な地盤評価の立場から分析を行った。特に強震観測記録からは、この建物に近い Kik-net 観測点での強震観測記録と比較すると、建物 1 階の観測記録は小さくなる傾向が見られ、動的相互作用による入力損失が現れていることが示

峻された。本建物は直接基礎で支持されており、上部構造のロッキング振動や基礎と地盤のすべりによる影響の検討を行った。

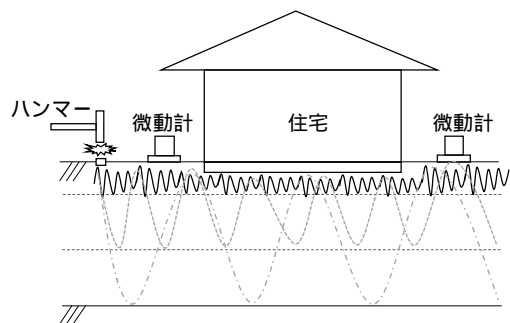


図5 浅い層の波動伝播イメージ

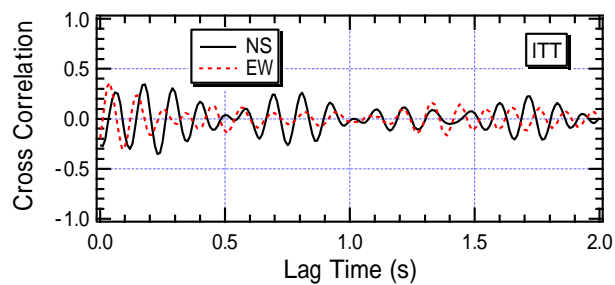


図6 地盤観測点間の相互相関関数

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Mitsuji and S. Ohno	4. 巻 -
2. 論文標題 ATTEMPT TO ESTIMATE LOCAL SITE EFFECT OF YAMAGATA BASIN BY DENSE MICROTREMOR MEASUREMENT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Mitsuj and H. Adachi	4. 巻 -
2. 論文標題 VARIATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MULTI-LAYER WOODEN BUILDING BASED ON CONTINUOUS OBSERVED RECORDS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三辻和弥
2. 発表標題 積雪期間における多層木造建物の常時微動・地震観測記録の分析
3. 学会等名 第84回日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三辻和弥
2. 発表標題 2021年2月13日福島県沖地震における建物被害への表層地盤の影響について
3. 学会等名 第56回地盤工学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三辻和弥
2. 発表標題 2021年2月13日福島県沖地震における建物被害の傾向と表層地盤の振動特性
3. 学会等名 2021年日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三辻和弥、大野晋
2. 発表標題 微地形区分と常時微動観測から推定した地盤の卓越振動数の変化に関する考察
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三辻和弥、大野晋
2. 発表標題 山形盆地西部における杭基礎建物の常時微動観測
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三辻和弥、大野晋
2. 発表標題 小規模建築物基礎設計のための常時微動観測の利用について
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------