

日本大学生産工学部における強震観測

－その9 表層地盤の増幅特性－

日大生産工(院) ○中島 拓哉 日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震において、強震地域の建物5棟の基礎と地表面で同時観測された観測記録は、基礎応答の最大値が地表面に比べ、最大加速度が7割、最大速度が9割に低減されていた¹⁾。建物の耐震安全性の向上には、地表面と建物の相互作用による入力低減効果について把握することが重要である。

本学部津田沼キャンパスでは建物1階と自由地盤上で観測された強震記録を用いて最大加速度と最大速度の検討を行っており、地表面に比べ建物1階の入力低減が認められた²⁾。地表面の振動特性を自由地盤の一点で代表しているが、キャンパス内に点在する建物の直下の地盤を表現できていない可能性がある。そこで、本研究では得られた地盤資料を基に、N値から推定される地盤のS波速度、一次固有周期、および地震増幅率を検討し、建物1階と表層地盤の振動特性について比較を行った。

2. 観測建物および敷地概要

2.1 建物および観測概要

本学部津田沼キャンパスでは2007年から2015年にRC造の2棟（4号館と5号館）、S造の2棟（37号館と39号館）の計4棟と自由地盤（Free-Field）上に強震計を設置し、継続的に観測を行っている³⁾。本研究では、4号館の地盤情報が得られていないため、建物3棟で検討を行う。

表1に観測建物の概要、図1に建物、地盤調査

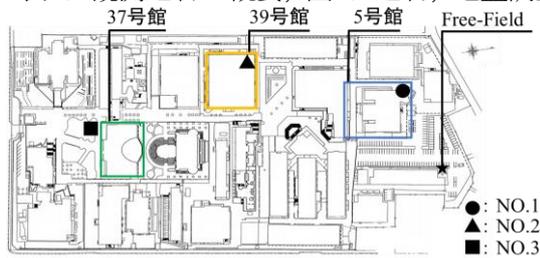
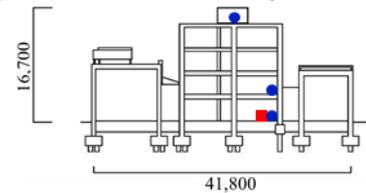
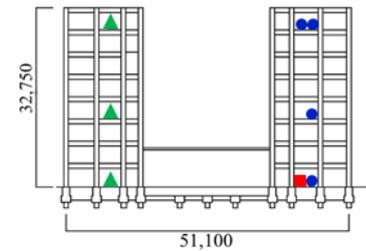


図1 建物、地盤調査位置および観測点の配置図

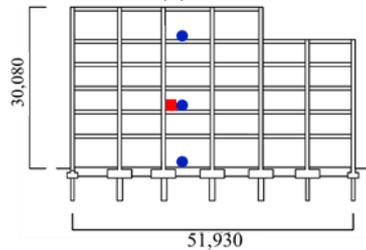
位置および観測点の配置図、図2に観測建物（南向き）およびFree-Field（基礎部）の断面図を示す。なお、表1中の一次固有周期は過去の観測記録から求めた値を示しており、5号館と37号館の2棟では、【】内に東北地方太平洋沖地震以前の値も併せて示している。



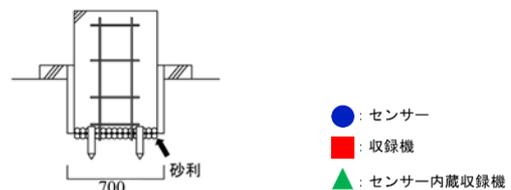
(a) 5号館



(b) 37号館



(c) 39号館



(d) Free-Field

図2 観測建物およびFree-Fieldの断面図

表1 観測建物の概要

構造	構造形式	建築面積(m ²)	階数	建設年	軒高(m)	一次固有周期(sec)	基礎形式	杭長(m)
5号館	RC造 NS : 純ラーメン, EW : 耐震壁付ラーメン	1655.18	4階	2004	16.3	NS : 0.21[0.20], EW : 0.18[0.17]	杭基礎	18
37号館	S造 純ラーメン	1815.17	8階	2003	32.75	NS : 0.92[0.85], EW : 0.95 [0.91]	杭基礎	46
39号館	S造 純ラーメン	2702.26	6階	2014	30.08	NS : 0.94, EW : 0.99	杭基礎	29

2.2 地盤概要

キャンパス内の地盤構成を把握するため、5号館、39号館、37号館の建設時に行われたボーリング調査結果を収集した。図3に得られた地盤（図1のNo.1からNo.3）のボーリング柱状図を示す。なお、Free-Field位置で地盤調査は行われていない。

図3より、キャンパス内の地盤の表層にはローム層が約0.5m程度から約4.0m程度で分布し、以深は砂質土層からなっている。砂質土層一部には約1.0m程度の粘土層の介在が認められる。

地盤ごとでは、No.1とNo.2は表層から約20m程度までN値が50以下であり、以深ではN値が50となっている。一方、No.3は全体的にN値が30以下となり、深度が約40m程度でN値が50となっている。

このようにキャンパスは南北に細長いため、表層地盤の層厚が異なり、地盤の振動特性にも差異があるものと考えられる。

3. 地盤の増幅特性

本節では、前節の地盤資料を基に、地盤の増幅特性について検討を行った。

3.1 S波速度の推定

収集したボーリング調査結果では、PS検層等が行われていないため、地盤のせん断波速度（S波速度）が得られていない。そこで、ボーリング調査結果のN値より文献4)から文献6)の式を用いてS波速度を推定した。図4に推定したS波速度の深度分布図を示す。

図4より、S波速度は、3つの式で同様な傾向を示しているが、道路橋、今井、太田・後藤の式

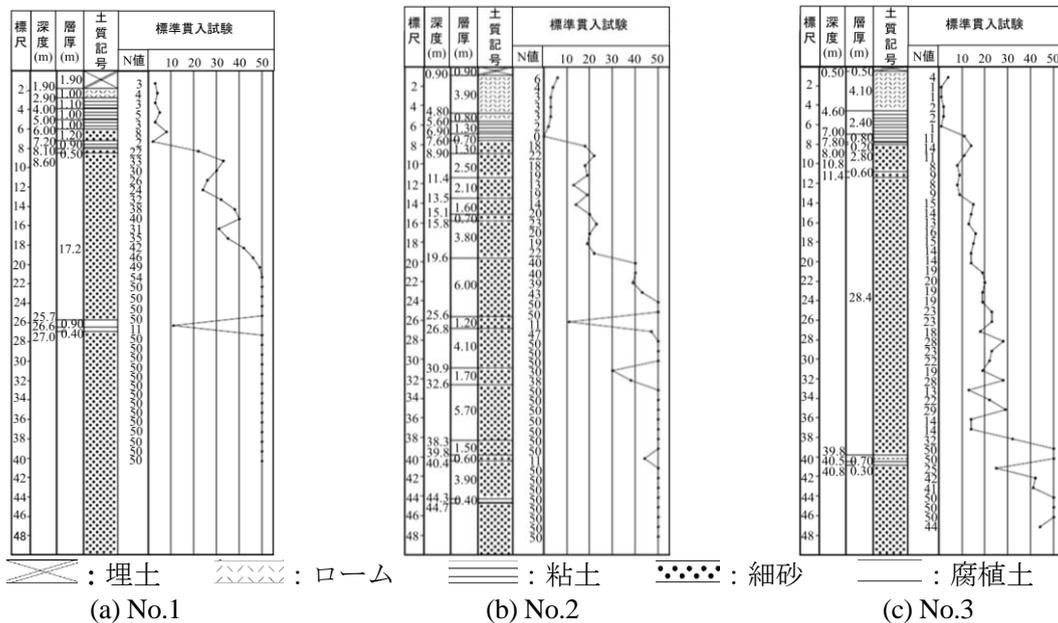


図3 ボーリング柱状図

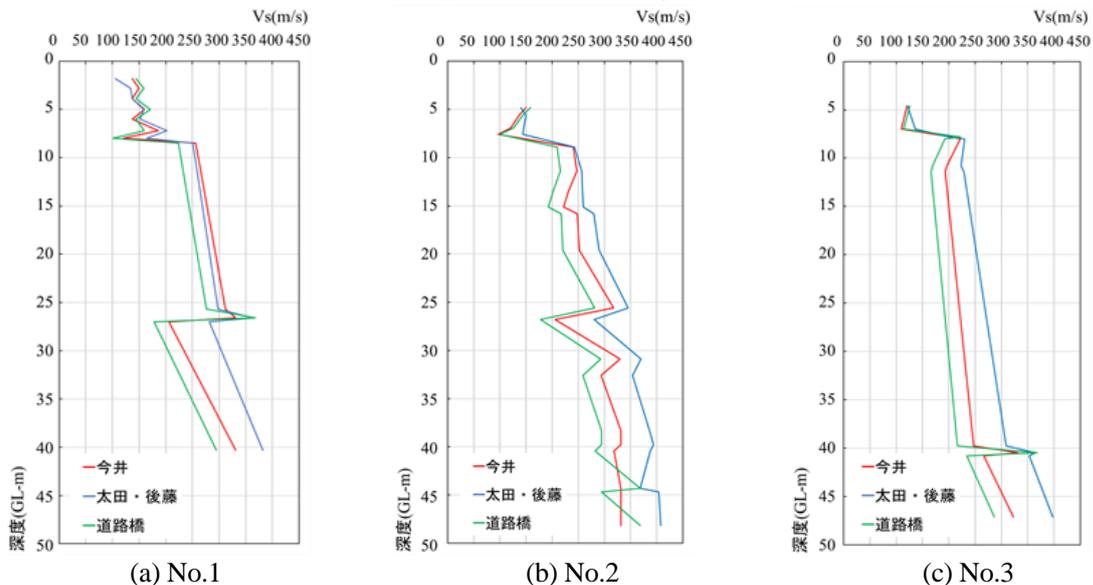


図4 深度分布図

の順に大きく算出されている。また、調査位置ごとに比較すると、No.1とNo.2では深度が約10mから約40mでS波速度が増加しているが、深度が約25mで低下している。一方、No.3では深度が約10mでS波速度が低下しているものの、以深では増加している。また、No.1が40.3m、No.2が48.15m、No.3が47.15mの層でS波速度が300m/sを上回っていることから、本研究ではその層を工学的基盤と仮定した。

3.2 一次固有周期の推定

文献4)から文献6)の式で推定したS波速度から文献7)の式を用いて地盤の一次固有周期を算定した。表2に求めた各地盤の一次固有周期を示す。

表2より、地盤の一次固有周期 T_g は、調査位置および評価方法にかかわらず $T_g=0.47s\sim 0.75s$ で、 $0.2s < T_g \leq 0.75s$ の範囲であり、第2種地盤に分類される。

なお一次固有周期は、S波速度の評価方法の違いにより $0.11s\sim 0.19s$ 、調査位置の違いにより $0.09s\sim 0.21s$ の差異であった。

3.3 地盤の地震増幅率の検討

表層地盤の増幅特性を把握するため、地盤モデル⁸⁾を作成し、建築基準法に基づく表層地盤の加速度の増幅率 G_s を求めた。なお本報告では、土の非線形性は、文献9)を参考に求めた。

図5に文献9)より求めた地盤の非線形特性、図6に地盤増幅率と周期の関係を示す。なお図6中には地盤調査位置に対応する観測建物のNS方向の一次固有周期(表1参照)を示している。

図6より、表層地盤の3ヶ所の増幅率は周期が約0.1sから約1.0sで全体的に増加しており、その各地盤の増幅率 G_s は約1.2から約1.7で分布し

表2 地盤の一次固有周期

	一次固有周期 T_g (s)		
	今井	太田・後藤	道路橋
No.1	0.50	0.47	0.56
No.2	0.66	0.58	0.72
No.3	0.67	0.54	0.75

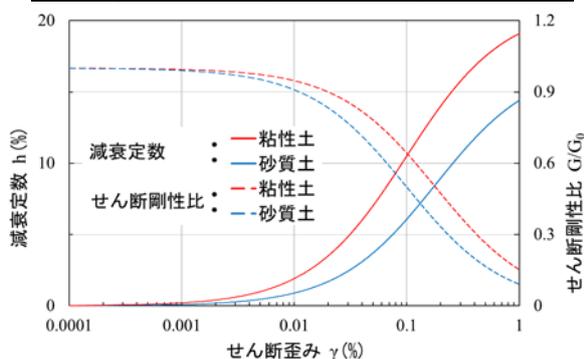


図5 地盤の非線形特性

ている。また、各地盤の増幅率のグラフは2つの山がある形状は同じであるが、その増幅率の値と周期帯は若干異なっている。

No.1(5号館)では周期が約0.5sから0.8sに G_s のピークがあるが、No.2(39号館)では、周期が約0.2sから0.4sにピークがあり G_s の最大値もNo.1に比べて小さい。一方No.3(37号館)は、約0.2sから0.4s間にピークがあり、その値はNo.1と同程度の値になっている。またそれぞれの建物の一次固有周期は、地盤の増幅率の比較的大きい周期帯と一致していることがわかる。

以上のことから、キャンパス内の地盤は第2種地盤に分類され、調査位置での顕著な差異が認められなかったが、地盤の増幅特性に若干の違いが認められることがわかった。なおFree-Fieldの地盤の性状は、最も近い位置のNo.1(5号館)の結果が参考になるものと考えられる。

4. 表層地盤と建物1階の比較

キャンパス内の地盤の3ヶ所で増幅特性の違いが認められた。そこで本節では、表層地盤の振動特性について検討を行い、表層地盤と建物1階の振動特性の比較を行った。

4.1 地震概要

建物3棟および自由地盤上の計4ヶ所で強震観測を開始した2014年8月末から2020年7月までの間に観測されている強震記録のうち、設置した全ての強震計で記録が得られた地震を用いて検討した。検討に用いた、2020年4月12日に発生した地震の概要を表3に示す¹⁰⁾。

茨城県南部を震源とする地震は、マグニチュードM5.0、震源深さが約53km、最大震度は4で、震源距離が約78kmである。この地震は、規模は大きくはないが比較的近距离で発生した地震である。

表3 地震概要

震源日時	震央	M	震源深さ(km)	最大震度	計測震度相当値	震源距離(km)
2020年4月12日00時44分	茨城県南部	5.0	53	4	2.52	78

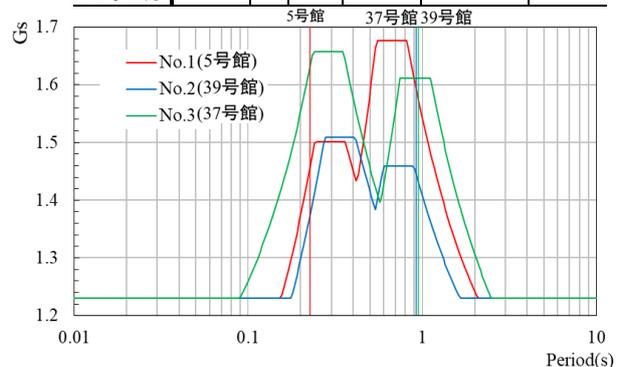


図6 地盤の増幅率と周期の関係

4.2 周期における検討

本学部津田沼キャンパスでは工学的基盤で強震観測を行っていないため、Free-Fieldで観測された観測記録を工学的基盤で観測された地震波と仮定し、前節で作成した地盤モデルからSHAKE¹⁾を用いて表層地盤の加速度応答スペクトルを推定した。また、対象建物1階で観測された観測記録を用いて、等価粘性減衰定数を5%とした加速度応答スペクトルを求めた。図7に、Free-Fieldの振動性状に近いNo.1を基準としたNo.1に対するNo.2およびNo.3の表層地盤の加速度応答スペクトル比(No.2/No.1, No.3/No.1)と5号館に対する39号館および37号館の建物1階の加速度応答スペクトル比(39号館/5号館, 37号館/5号館)をそれぞれNSおよびEW方向で示す。

図7より、表層地盤の加速度応答スペクトル比はNSおよびEW方向共に全体的に1.0に近い値となっている。一方、建物1階の加速度応答スペクトル比では、NS方向は39号館/5号館が全体的に1.0を上回り、37号館/5号館が全体的に1.0を下回っている。また、EW方向は39号館/5号館が約0.2sより短周期で1.0を上回り、長周期では1.0を下回っている。37号館/5号館が約0.7sより短周期で1.0を下回り、長周期で1.0を上回っている。

このことにより、表層地盤では加速度応答スペクトル比に顕著な差がみられなかったが、建物1階では加速度応答スペクトル比が増加している周期帯が異なっていることがわかった。

5. まとめ

本学部津田沼キャンパスにおける地盤の増幅特性について検討を行ない、表層地盤と建物1階の振動特性の比較を行った。得られた知見を以下に示す。

- キャンパスの敷地は南北に細長く、表層地盤の層構成に差異はないものの層厚が異なっている。そのため調査した3ヶ所の地盤の振動特性(S波速度や増幅率など)も建物の場

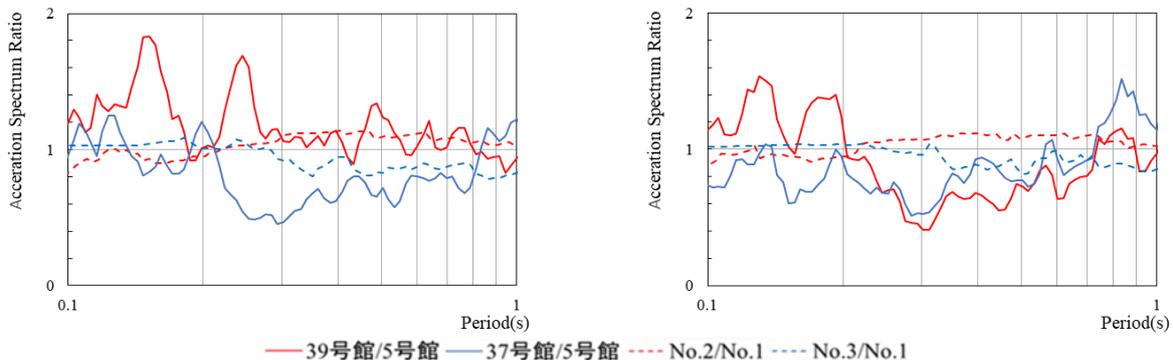
所によって若干異なっている。しかしながら地盤の一次固有周期は、位置や評価方法に関わらず、0.47s~0.75sであり、建築基準法の第2種地盤に分類されることが確認できた。

- 表層地盤では振動特性に顕著な差が認められなかったが、建物1階では各建物の応答性状が異なっていた。この建物1階での応答性状の差は建物の上部構造の影響だと推測される。

今後は、地震動を増やし、表層地盤と建物1階の振動特性について詳細に検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 安井謙, 井口道雄, 赤城久真, 林康裕, 中村充: 1995年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する考察, 日本建築学会論文集 第512号, pp.111-118, 1998.10
- 2) 中島拓哉, 藤本利昭: 日本大学生産工学部における強震観測—その8 キャンパス内建物の地震入力に関する研究—, 日本大学生産工学部 第53回(令和2年度)学術講演会講演概要, pp.13-16, 2020.12
- 3) 中島拓哉, 藤本利昭, 伊藤洵: 日本大学生産工学部における強震観測—その7 津田沼キャンパス4, 5, 37, 39号館における地震入力に関する研究—, 日本大学生産工学部 第52回(令和元年度)学術講演会講演概要, pp.25-28, 2019.12
- 4) 今井常雄, 殿内啓司: N値とS波速度の関係およびその利用例, 基礎工, Vol.10, No.6, pp.70-76, 1982.6
- 5) 太田裕, 後藤典俊: S波速度を他の土質諸指標から推定する試み, 物理探査, 第29巻, 第4号, 1976
- 6) 公益社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.14-15, 1980
- 7) 国土交通省 国土技術政策総合研究所: 2020年版 建築物の構造関係技術基準解説書, pp.305-306, 2020
- 8) ユニオンシステム株式会社: SS21/Dynamic 表層地盤アンプリファイア 2007, 2017.11
- 9) 古山田耕司, 宮本裕司, 三浦賢治: 多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性, 第38回地盤工学研究発表会, pp.2077-2078, 2003.7
- 10) 気象庁ホームページ 各種データ: <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>
- 11) ユニオンシステム株式会社: SS21/ShakePRO-L, 2017.3



(a) NS方向 (b) EW方向
図7 表層地盤と建物1階の加速度応答スペクトル比