

日本大学生産工学部における強震観測

－その10 4号館と地盤の振動特性－

日大生産工(院) ○大崎 美羽 日大生産工 藤本 利昭

1. まえがき

中島ら¹⁾²⁾は、強震観測体制が整っている建物のうち4号館を除く3棟とFree Fieldにおいて建物への地震入力について比較を行い、それぞれの建物の地震時挙動の違いを明らかにしている。4号館を対象としたこれまでの研究は、主に建物の上部構造を対象に検討が行われており、地盤の振動特性について十分な検討がされていない。そこで本研究では、4号館の地震時挙動を把握する目的で周辺地盤の振動特性および、地盤と建物の相互作用について検討を行い、その影響を明らかにする。

なお本報告では、耐震補強前後における地表面と建物1階の比較による地震入力および、周辺地盤の地盤特性について報告する。

2. 建物および観測記録概要

2.1. 建物概要

津田沼キャンパス内の強震計配置図を図1に示す。キャンパス内の強震計は建物4棟とFree-Field（自由地盤）の5か所に設置している。

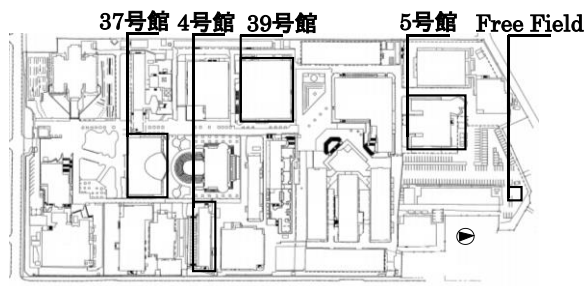


図1 強震計配置図

4号館の建物詳細を表1に示す。4号館はキャンパス内東側に位置する建物で、竣工は1962年である。建物規模は、地上4階、地下1階、塔屋1階建ての東西方向に細長い平面形状である。2020年に耐震補強工事が行われており、建物の短辺方向は、耐震壁付きラーメン構造、長辺方向は、純ラーメン構造である。4号館では2013年に地上4階と地下1階に強震計を設置して以来、継続的に強震観測を行っている。なお、建物の入力動は地下階柱頭の値を1階床上の記録として評価した。

2.2. 観測記録概要

耐震補強前における観測記録の概要を表2に示す。耐震補強前の観測記録として中島ら¹⁾²⁾の記録を用いた。耐震補強後の観測記録では2024年1月から2024年8月までの間に4号館とFree Fieldで同時に記録が得られていたのは計4回であった。4回の観測記録における概要を表3に示す。それぞれの数少ない観測記録を基に建物への地震入力について比較を行った。

表1 建物詳細

	耐震補強前	耐震補強後
規模	地上4階、地下1階、塔屋1階	
構造概要	上部：RC造、基礎：直接基礎（布基礎） － ・鉄骨鋼管ブレース補強 ・RC増設壁補強	
建築面積	653.17m ²	
建物高さ	20.855m ²	20.215m ^{2※}

※塔屋の一部解体による

表2 耐震補強前における観測記録概要

震源時	震央	M	緯度	経度	深さ(km)	震央距離(km)	観測点震度	最大震度
2015/5/30 20:23	小笠原諸島西方沖	8.1	27°51.6′	140°40.9′	682	875	2	5強
2017/8/2 7:15	茨城県南部	4.6	36°07.2′	140°01.3′	48	76	3	4
2017/8/3 13:45	茨城県南部	4.6	36°04.7′	139°53.1′	46	72	2	3
2020/5/6 1:57	千葉県北西部	5.0	35°37.9′	140°04.7′	49	68	3	4

表3 耐震補強後における観測記録概要

震源時	震央	M	緯度	経度	深さ(km)	震央距離(km)	観測点震度	最大震度
2024/3/1 5:43	千葉県東方沖	5.3	35°26.1′	140°33.0′	31	54	3	4
2024/3/2 1:49	千葉県南部	5.0	35°18.9′	140°20.8′	26	50	3	4
2024/3/21 9:08	茨城県南部	5.3	36°02.9′	139°53.2′	46	41	3	5弱
2024/7/4 12:12	千葉県東方沖	5.2	35°12.5′	140°27.8′	49	66	3	4

3. 地表面と建物1階の比較

地表面（Free Field）と建物1階における相互作用を把握する目的で最大加速度および、最大速度を比較する。図2に耐震補強前後における地表面と建物1階の最大加速度の関係を、図3に地表面と建物1階の最大速度の関係を示す。図2(a), 3(a), 図2(b), 3(b)および、図2(c), 3(c)はそれぞれNS方向、EW方向および、UD方向の観測値である。図中に各方向の回帰直線を、表4に回帰直線の傾きを示す。

・ NS方向

図2(a), 3(a)より耐震補強後における最大加速度および、最大速度は地表面と建物1階の値を比較すると建物1階の方が低減しており、入力低減が認められる。また、最大加速度および、最大速度を比較すると最大加速度の方が最大速度より地震入力の低減がされていることがわかる。

表4よりNS方向による最大加速度での回帰直線を見ると、耐震補強前における傾きは0.60、耐震補強後における傾きは0.69となり、最大速度に

よる回帰直線を見ると耐震補強前における傾きは1.06、耐震補強後における傾きは0.93となった。これは耐震補強工事により、剛性が高くなったことで耐震補強後における最大加速度が耐震補強前より大きい値を示したことに影響しているものと考えられる。

・ EW方向

図2(b), 3(b)より耐震補強後における最大加速度および、最大速度は地表面と建物1階の値を比較すると建物1階の方が低減しており、入力低減が認められる。また、最大加速度および、最大速度を比較するとNS方向と同様に最大加速度の方が最大速度より地震入力を低減していることがわかる。

表4よりEW方向における最大加速度の傾きを耐震補強前後で比較すると耐震補強前の傾きは0.73、耐震補強後の傾きは0.43であり、耐震補強後の傾き方が大きい結果となった。また、最大速度における傾きを耐震補強前後で比較すると耐震補強前は1.17、耐震補強後は0.77と最大加速度

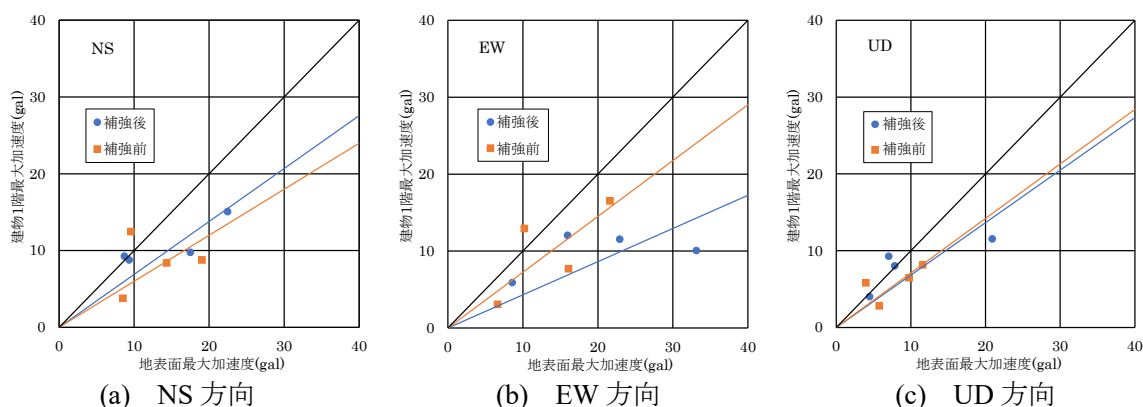


図2 1階最大加速度および地表面最大加速度

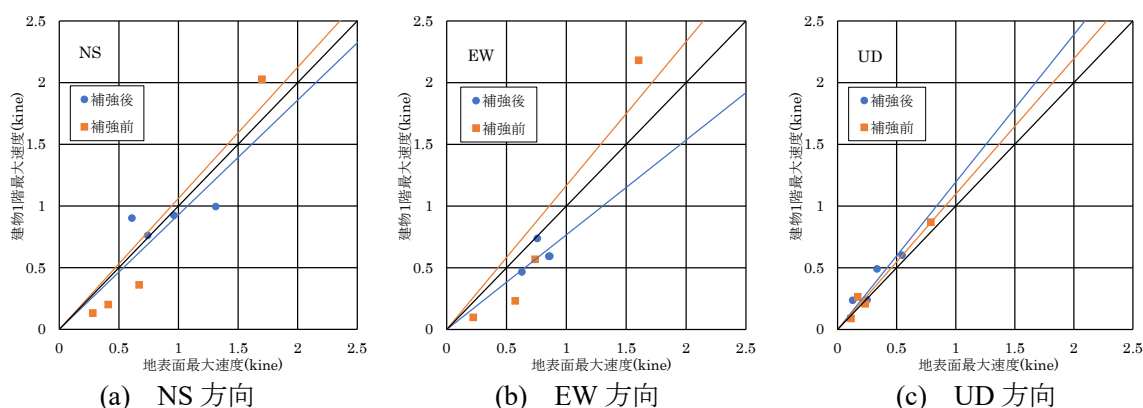


図3 1階最大速度および地表面最大速度

表4 回帰直線の傾き（1階/地表面）

	最大加速度			最大速度		
	NS	EW	UD	NS	EW	UD
耐震補強前	0.60	0.73	0.71	1.06	1.17	1.10
耐震補強後	0.69	0.43	0.68	0.93	0.77	1.19

と同様に耐震補強後の傾きの方が大きいことがわかる。これはNS方向とは異なる傾向であった。

・ UD方向

図2(c), 3(c)より耐震補強後における最大加速度は地表面と建物1階の値を比較すると建物1階の方が低減しており、入力低減が認められるが、最大速度は建物1階の方が地表面より大きく、入力低減が認められない結果となった。しかしながら、最大加速度および、最大速度を比較すると低減割合は、最大加速度の割合の方が最大速度より大きいことがわかる。これはUD方向だけでなく、全方向共に最大加速度の方が最大速度より低減していることがわかる。

表4よりUD方向における最大加速度の傾きを耐震補強前後で比較すると耐震補強前は0.71, 耐震補強後は0.68となった。また、最大速度による傾きを見ると耐震補強前は1.10, 耐震補強後は1.19となった。これらの結果から、UD方向における耐震補強前後による最大加速度および、最大速度はあまり変化が見られなかった。

4. 地盤概要

図4に地盤調査位置および、観測点の配置図を示す。キャンパス内の地盤構成を把握するため、ボーリング調査の結果を収集した。図5に地盤(図4のNo.1およびNo.2)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ため、比較的近いNo.5の結果をFree Field位置の地盤として検討する。

図5より、No.1における地盤の表層にはローム

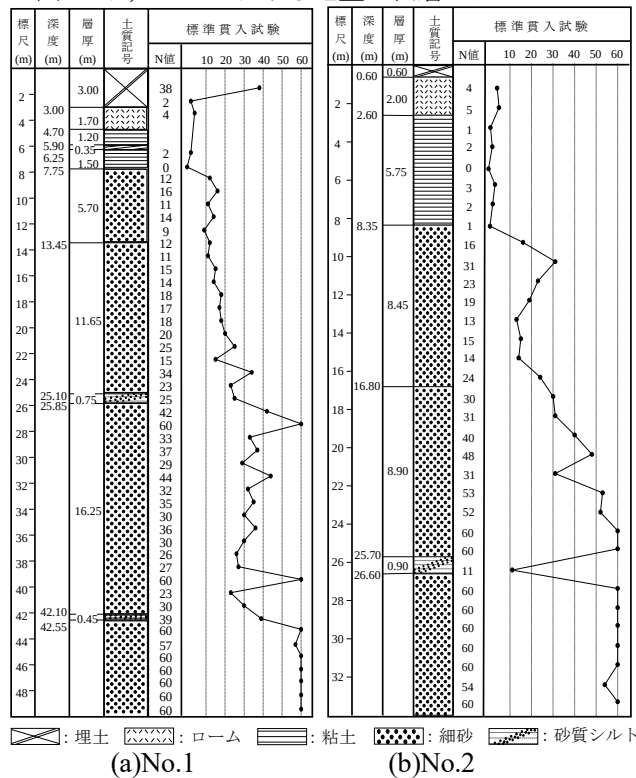


図5 ボーリング柱状図

層が約4.7mで分布し、以深は主に砂質土層からなっている。砂質土層の一部には約2.7mの粘土層の介在が認められる。また、表層から約42mまではN値が主に60以下を示しており、以深ではN値が60を上回っている。一方、No.2における地盤の表層にはローム層が約2.0mで分布し、以深は砂質土層からなっている。砂質土層の一部には約6.0mの粘土層の介在が認められる。また、表層から約20mまではN値が50以下を示しており、深度が約23m程度でN値が60となっている。本キャンパスは南北に細長いため、2点の地盤を比較しても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。

5. 地盤の増幅特性

本節では、ボーリング調査から得た地盤資料を基にSS21/Dynamic表層地盤アンプリファイア2007³⁾を用いて地盤の増幅特性について検討を行った。



図4 地盤調査位置および観測点の配置図

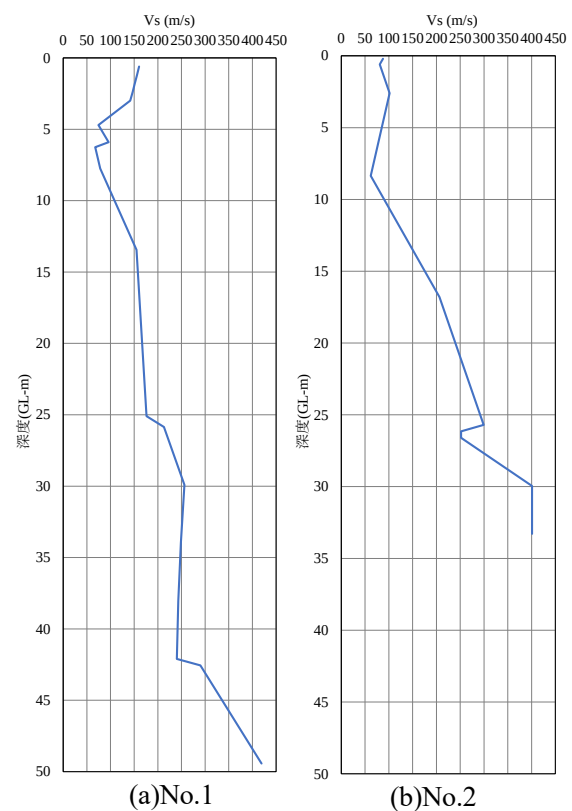


図6 深度分布図

5.1. S波速度の推定

ボーリング調査結果ではPS検層が行なわれていないため、地盤のS波速度が得られていない。そこで、ボーリング調査結果から得たN値を用いてS波速度を求めた。図6にS波速度の深度分布図を示す。2点の調査位置で比較するとNo.1は約5mから緩やかにS波速度が増加しているが、No.2は約8mから約25mまで徐々にS波速度が増加している。本研究ではNo.1が49m付近、No.2が30m付近の層でS波速度が400m/sを上回っているため、その層を工学的基盤と仮定した。

5.2. 1次固有周期の推定

5.1で求めたS波速度から文献⁴⁾の式を用いて地盤の1次固有周期を算定した。表5に文献⁴⁾による1次固有周期を示す。地盤の1次固有周期 T_g は調査位置および、評価方法に関わらず約0.48s~0.51sであった。これは $0.2s < T_g \leq 0.75s$ の範囲であり、第2種地盤に分類されることがわかった。

5.3. 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、建築基準法に基づく表層地盤の加速度の増幅率を求めた。図7に地盤増幅率と周期関係を、表6に地盤の増幅率を示す。なお図7中には4号館のNS方向における1次固有周期⁹⁾を示している。増幅率は周期が約0.3s~1.0sで全体的に増加しており、各地盤の増幅率は約1.2~1.6で分布している。No.1（4号館）では周期が約0.7s~1.0sに増幅率のピークが見られ、No.2では周期が約0.5s~0.7sにピークが見られた。

以上のことから、キャンパス内における2点の地盤は第2種地盤に分類され、地盤の増幅特性に違いが認められることがわかった。

6. まとめ

耐震補強前後における地表面と建物1階の比較による地震入力および、周辺地盤の地盤特性について検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 耐震補強前後における最大加速度および、最大速度の低減割合を比較すると3方向共に最大加速度の方が地震入力を低減していることがわかった。

表 5 地盤周期

	1次固有周期 T_g (s)
No.1	0.482
No.2	0.511

表 6 表層地盤における地盤の増幅率

	1次卓越周期 T_1 (s)	2次卓越周期 T_2 (s)	増幅率 G_{s1}	増幅率 G_{s2}
No.1	0.897	0.299	1.612	0.997
No.2	0.612	0.204	1.575	0.994

- 耐震補強前後における回帰直線の傾きを比較すると、最大加速度におけるNS方向は耐震補強前の方が耐震補強後より傾きが大きくなった。しかしながら、EW方向およびUD方向は耐震補強後の傾きの方が大きくなり、NS方向とは異なる傾向であった。
- UD方向における建物1階の最大速度は地表面の値と比較すると建物1階の方が地表面より大きく、入力低減が認められない結果となった。
- 2点の地盤による増幅特性について、表層地盤の層構成に差異はないものの層厚が異なっており、振動特性も異なっていた。しかしながら、2点の1次固有周期から共に第2種地盤に分類されることがわかった。

参考文献

- 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回学術講演会講演概要（2020-12-12），1-4
- 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9 表層地盤の増幅特性—，日本大学生産工学部第54回学術講演会講演概要（2021-12-11），1-7
- ユニオンシステム株式会社：表層地盤による加速度増幅率計算ソフトウェア「SS21/Dynamic 表層地盤アンプリファイア2007」，2024
- 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
- 大崎美羽，藤本利昭，桐山拓也：強震観測記録に基づく既存RC建物における耐震補強効果に関する研究—その1 実測値に基づく検討—，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.8

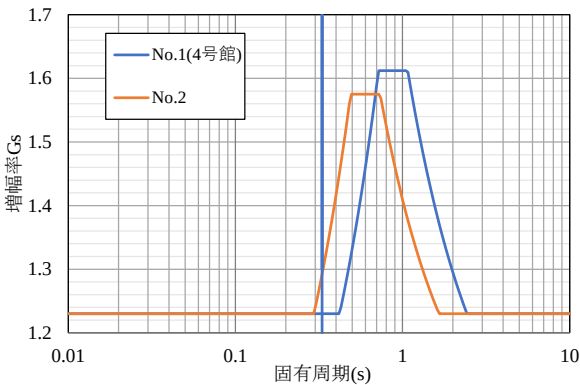


図 7 地盤の増幅率と周期の関係