

建築年代の異なる複数のブロックによって構成された建物の地震応答*

弘前大学大学院 地域共創科学研究科 水野 智貴
弘前大学 片岡 俊一

1. はじめに

弘前大学理工学部1号館(以下、「1号館」と記す)は、後述するように建築年代の異なる5個のブロックで構成されたコの字型の平面形状をした建物である。この建物では振動特性を知る目的で微動計測が行われている。その結果、各ブロックの固有振動数はほぼ等しいものの、振動特性は異なることが明らかになっている。

本研究では、地震計を1号館各所に設置して約2ヶ月の連続観測を行い、その記録中に含まれる地震記録を利用して、地震応答の特徴を検討した。

2. 建物について

1号館の平面図を図1、建物概要を表1に示す。図1に示すように、この建物は昭和42年から平成2年までに建設されており、建築年代の異なる複数のブロックが組み合わされた構造になっている。以下では、建築年代が異なるブロックを各々A~Eブロックと呼称する。A、B、Cブロックは地上4階建て、D、Eブロックは地上5階建て(Dブロックの一部は4階建て)のRC造である。A、B、Cブロックは平成11年、D、Eブロックは平成13年に耐震改修が行われている。骨組み形式は水平2方向ともにラーメン構造である。基礎はA、Bブロックが直接基礎、C、D、Eブロックが杭基礎である。また、C-Dブロック間とB-Eブロック間のみエキスパンションジョイントで接続されている。

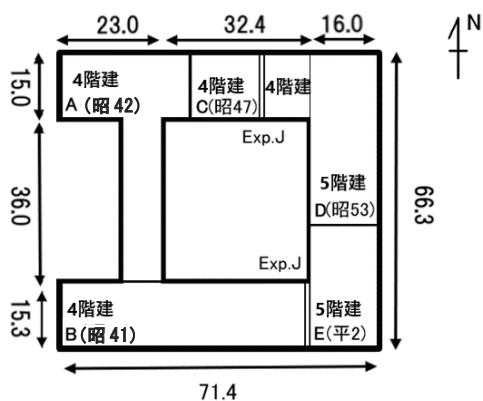


図1 1号館平面図

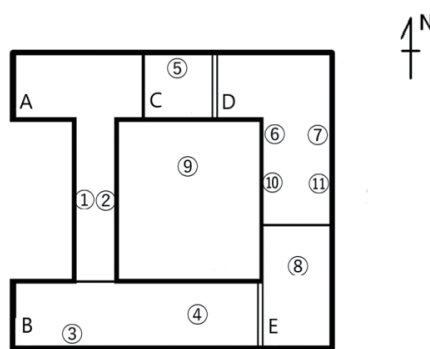


図2 地震計設置個所

*Seismic response of a building composed of several blocks of different construction ages

表 1 1号館を構成する各ブロックの概要

ブロック番号	A	B	C	D, E
建設年月日	昭和 42 年	昭和 41 年	昭和 42, 47 年	昭和 53 年, 平成元年
延床面積 (m^2)	3497.27	1197.00	2717.65	6842.00
階層数	地上 4 階	地上 4 階	地上 4 階	地上 5 階 (一部 4 階)
高さ (m)	16.00	16.00	16.00	20.30
軒高 (m)	15.40	15.40	15.40	19.10

3. 地震観測

連続観測は、1号館の中庭・各ブロックの屋上・Dブロックの2階で行った。地震計の設置個所は図2の①～⑩の番号の位置である。①から⑧までは屋上、⑨は中庭の地表に地震計を設置している。⑩と⑪は2階部分に地震計を設置した。

用いた地震計は、Lennartz社製のLBS3-ATである。この地震計のセンサ感度は $400V/(m/s)$ であり、A/D分解能は24bitである。GPS信号で時計の校正を行っているが、内部クロックの周波数精度は $\pm 5 \times 10^{-10}$ と非常に高いもので、地震計間の時刻差はほとんどないと考えている。

連続観測の期間は2021年10月28日から同年12月16日の49日間である。本研究では、この期間において青森県内で有感であった16個の地震に対応する時刻歴データを使用した。有感地震の検索には、気象庁が提供する震度データベース検索を利用した。

4. 伝達関数

それぞれの地震記録について、中庭を基準とした各観測点の伝達関数を求めた。その際、地震計を二つ設置したA、B、Dブロックでは二つの地震記録の相加平均を求め、それを用いて伝達関数を求めた。その後、ブロック毎に16個の伝達関数の振幅と位相の平均値を求めた。振幅の場合は振動数ごとの相加平均、位相の場合はそれぞれの位相を複素数に一度変換し、複素数の位相角を求め、その平均値としている。平均後の各ブロックの伝達関数の東西方向・南北方向成分を図3に示す。

伝達関数の位相差が -90 度となる振動数が固有振動数と考え、図3に示した伝達関数の位相から、各ブロックの固有振動数を求めた。その結果を表2に示す。一般に、高さが異なる建物は固有振動数も異なるとされる。実際に、東西方向の固有振動数は各ブロックで異なる。一方で、南北方向の固有振動数は 4.0Hz で一致している。つまり、対象建物の南北方向の固有振動数には、建物高さが影響しない特徴があるといえる。

東西方向の振幅の特徴として、C、Eブロックではピークが二つ存在する。位相については、C、Eブロックでは 0 度から -180 度まで単調に変化していないことがわかる。

南北成分の伝達関数を見ると、すべてのブロックの振幅で 4.0Hz 付近に谷が存在している。位相については、変化が東西方向成分よりも急激である。

表2 各ブロックの固有振動数 [Hz]

ブロック番号	A	B	C	D	E
東西方向	3.6	3.7	3.4	3.4	3.7
南北方向	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

5. 考察

5-1 C, Eブロックの東西方向の振幅のピークと位相

振幅のピーク振動数は、Cブロックでは3.4Hzと4.3Hz、Eブロックでは3.4Hzと4.3Hzとそれぞれ二つ存在する。また、地表と屋上の位相差が-90度となる振動数は、Cブロックでは3.4Hzと4.1Hz、Eブロックでは3.7Hzと4.3Hzとなっている。この特徴の理由を、Cブロック、Eブロックと隣接するDブロックの伝達関数を比較して考える。

Dブロックでは位相差が-90度となる振動数は3.4Hzで、振幅のピーク振動数と一致している。この振動数は、Eブロックの振幅のピーク振動数3.4Hzと一致し、位相差が-90度となる振動数3.7Hzと近い値である。また、Eブロックのもう一つのピーク振動数である4.3Hzは、地表と屋上の位相差が-90度となる振動数でもある。このことから、Eブロックの3.7HzのピークはDブロックが固有振動数の3.4Hzで振動したときに、その振幅や位相が隣接するEブロックに伝達した影響が現れているのだと推測する。同時に、Eブロックの東西方向の本来の固有振動数は4.3Hz付近だと考えられる。

また、Cブロックの伝達関数の変化の特徴がEブロックに似ていることから、こちらもEブロックと同様に、隣接するDブロックまたはAブロックの影響が現れた結果と考えられる。

5-2 南北方向の振幅のピーク付近の谷

伝達関数の位相より、1号館のすべてのブロックにおいて南北方向の固有振動数は4.0Hzであるとしたが、この振動数付近において伝達関数の振幅には谷が生じている。この谷の原因を、考えるために地震波形を比較してみた。

図4は2021年11月3日にA, B, Cブロックで観測した地震波形を重ねたものである。この波形の振幅を比較すると、21秒付近ではCブロックの振幅がA, Bブロックのものより大きいことがわかる。一方で、27秒付近ではA, Bブロックの振幅がCブロックよりも大きくなっている。この例以外でも、同じように位相は同じであるものの、振幅の大小関係が異なる様子が複数確認できた。このことから、1号館に地震が入力した場合、ブロックごとに振幅が大きくなるタイミングに差が生じることがわかる。また、伝達関数のグラフより、各ブロックは南北方向の固有振動数こそ同じだが、詳細に比較すると振幅の大きさが異なることからわかるように、伝達関数が全く同じではない。

一号館の各ブロックは振動特性がわずかに異なることで、各ブロックが地震により振動するタイミングと振幅にわずかな差が生じている。これが原因となってブロック間で振動エネルギーの伝播が起きていると推測でき、その為に固有振動数の4.0Hz付近で振幅に谷が生じたと考えられる。

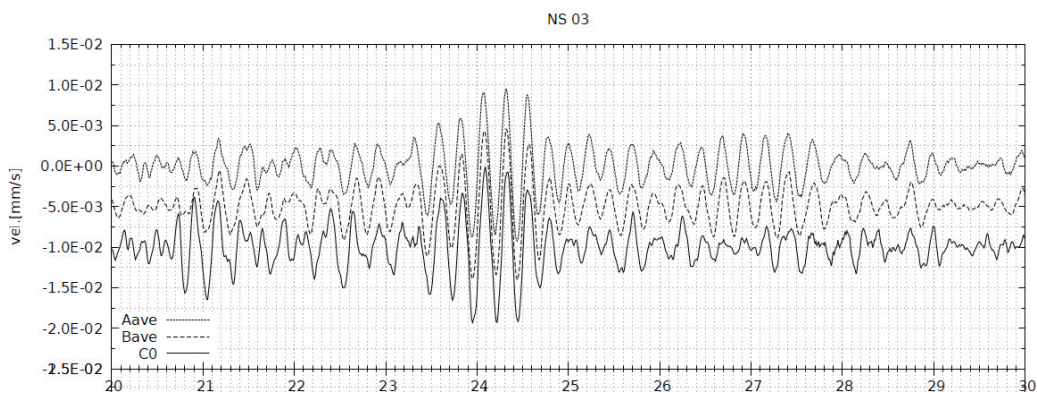


図4 A, B, Cブロックで観測した地震波形

6. まとめ

建築年代の異なる複数のブロックで構成された建物である弘前大学工学部1号館で地震連続観測を行い、得られた地震記録から中庭に対する各ブロック屋上の伝達関数を求め、それをブロック同士で比較することで1号館の地震応答を検討した。

伝達関数の位相に着目して各ブロックの固有振動数を求めた。その結果は、南北方向にはすべてのブロックで4.0Hzであった。ただし、伝達関数の振幅に着目すると4.0Hz付近にはすべてのブロックで谷が見られた。つまり、南北方向では、建物高さが固有振動数に影響していないが、振動特性が全く同じわけではない。1号館の各ブロックは固有振動数こそ同じだが、減衰がやや異なるためだと思われるが、地震時には各ブロックで振幅の大きさや揺れるタイミングにわずかな差が生じ、ブロック同士で振動エネルギーの伝播が生じているものと考えている。そのエネルギー伝播の影響が4.0Hz付近の振幅の谷に表れていると思われる。

東西方向の固有振動数は、ブロック毎に異なり3.4Hzから37Hzの間になった。隣接ブロックの影響が窺われ、Eブロックの伝達関数の振幅には二つのピークがあったが、一方はDブロックの固有振動に対応していると解釈している。

参考文献

- ・ 震度データベース検索 <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>
- ・ 福和伸夫・飛田潤・平井敬 共著 : 耐震工学 教養から基礎・応用まで, 講談社, 出版日 2019年3月19日, 304ページ, ISBN 978-4-06-514819-8

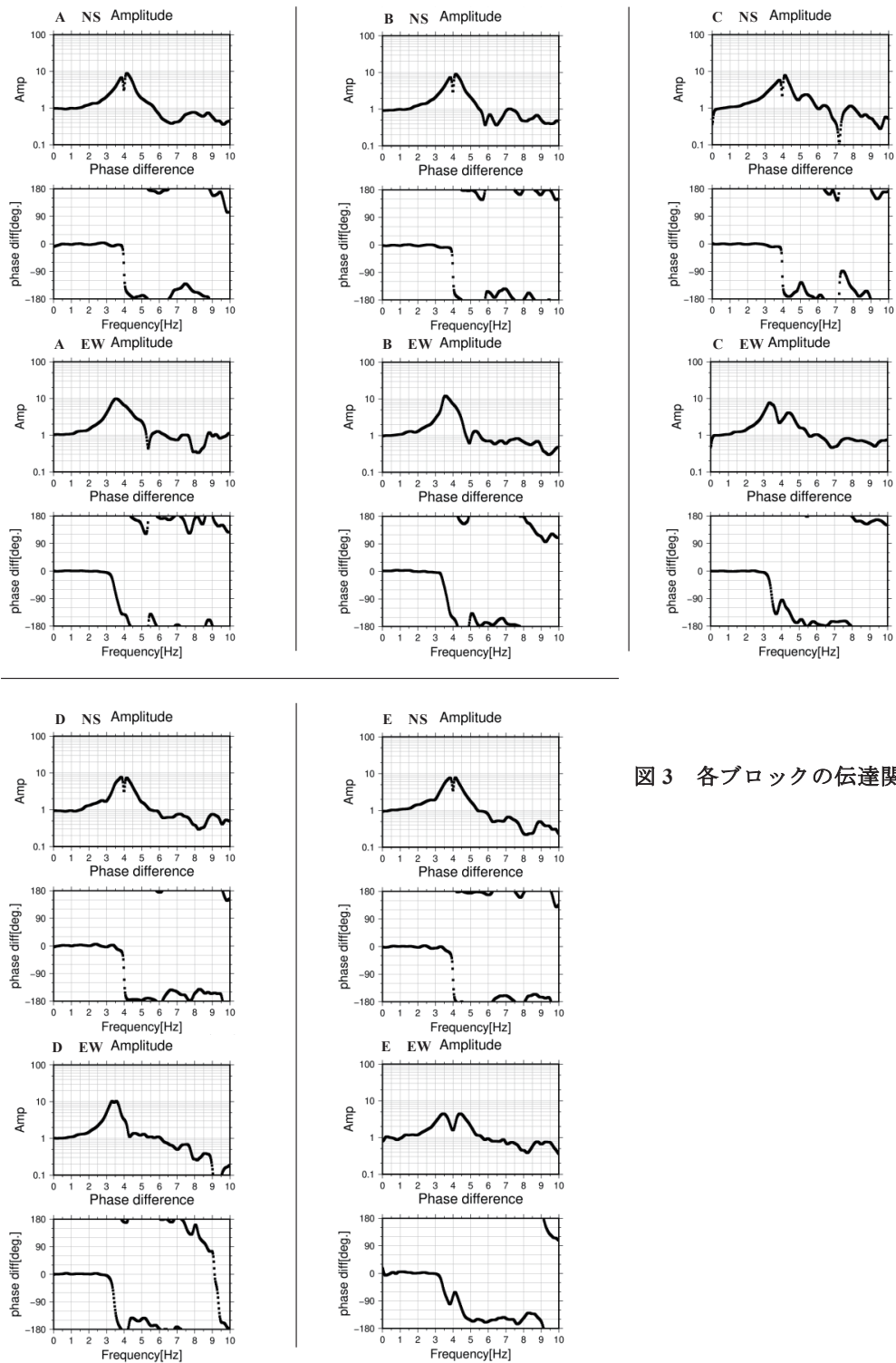


図3 各ブロックの伝達関数