

2011年東北地方太平洋沖地震における観測記録に基づく 各種建築物の固有周期の変動特性

建築計画研究室 野田 達志
(令和4年2月21日提出)

1. 研究の背景と目的

過去に発生した大規模な地震において、度重なる余震により被害が増大する建築物が見られた。地震時における建築物の性能を考える場合、本震だけでなく余震の影響も含めて評価する必要があるが、現在の設計体系において、余震の影響を考慮した事例は見られない。そのため、大規模な地震の観測記録に基づき、建築物の振動特性を評価することが重要である。特に、地震時における建築物の剛性を評価するうえで、建築物の固有周期は重要な指標とされている。本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震における前震・本震・余震の観測記録に基づき、各種建築物の固有周期の変動について評価する。

2. 研究方法

本研究では、東北地方及び関東地方に所在する RC 造建物 5 棟（免震建物 1 棟を含む）、SRC 造建物 7 棟（免震建物 1 棟を含む）を対象とする。表 1 に対象建築物の概要について、図 1 に対象建築物の分布と前震・本震・余震の震央位置について示す。各観測記録において、最大加速度が発生した時刻を中心に、前後 20.48 秒の主要動部分（0.01 秒刻み 4096 個）を抽出して高速フーリエ変換を行い、低域遮断周波数 10Hz、バンド幅 0.1 Hz のパーゼンウィンドウで平滑化したフーリエスペクトルを求めた。そして、1 階または地下 1 階に対する最上階のフーリエスペクトル比、地表に対する最上階のフーリエスペクトル比により、建築物の固有周期を評価した。

3. 損傷を受けた建築物の固有周期の変動

表 2 に、RC 造建物 YCY と SRC 造建物 ANX での前震・本震・余震(3/11)の最大加速度について、図 2 および図 3 に、各建物の地下 1 階に対する最上階のフーリエスペクトル比について示す。RC 造建物 YCY では、本震から余震にかけて最大加速度は減少したが、固有周期は NS 方向で 0.019 秒、EW 方向で 0.096 秒長周期側に変動したことがいえる。SRC 造建物 ANX でも同様に、本震から余震にかけて最大加速度は減少したが、固有周期は NS 方向で 0.085 秒長周期側に変動したことがいえる。それぞれの建物では、本震時に建物内の柱の損傷や壁面の亀裂などの被害が報告されており、その影響が固有周期の変動に現れたと考えられる。

表 1 対象建築物の概要

番号	記号	名称	構造	高さ(m)	階数			観測点
					地上	地下	塔屋	
1	NMW	国立西洋美術館本館	RC (免震)	11.4	3	1	0	4F(屋上階),1F(免震層上部),B1F(免震層下部),地表
2	KDI	国土交通大学校	RC	16.6	3	0	0	3F,1F,地表
3	YCY	八千代市庁舎新館	RC	20.0	6	1	2	7F,B1F,地表
4	FNB	船橋市総合教育センター	RC	24.5	8	0	1	8F,1F,地表
5	MYK	宮古市庁舎	RC	24.9	7	0	1	7F,1F,地表
6	TUF	東京海洋大学品川国際交流会館	SRC	28.0*	7	0	1	7F,1F,地表
7	MST	三郷市庁舎	SRC	29.8	7	1	0	7F,1F,地表
8	CHB	千葉第二合同庁舎	SRC	31.4	8	1	1	8F,B1F,地表
9	TDS	戸田市庁舎	SRC	34.4	8	1	2	8F,B1F,地表
10	ANX	建築研究所都市防災研究センター棟	SRC	35.4	8	1	1	8F,B1F,地表,地中
11	UTK	東京大学工学部11号館	SRC	36.0*	9	0	0	7F,1F,地表
12	HCN2	八戸市庁舎別館	SRC (免震)	42.8	10	1	1	10F,1F(免震層上部),B1F(免震層下部),地表,地中

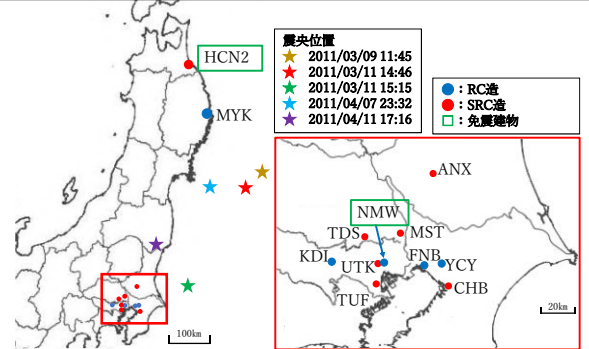


図 1 対象建築物の分布と各地震の震央位置

表 2 YCY・ANX 最大加速度[cm/s²]

記号	方向	前震	本震	余震 (3/11)
YCY	NS	記録なし	306.085	143.205
	EW	記録なし	312.360	133.336
ANX	NS	6.104	279.310	100.730
	EW	5.875	227.391	151.279

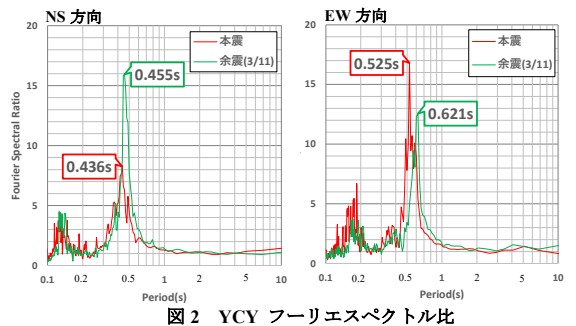


図 2 YCY フーリエスペクトル比

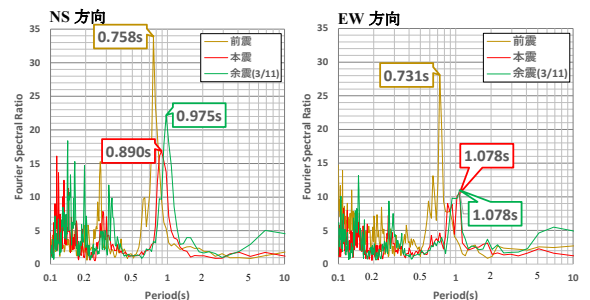


図 3 ANX フーリエスペクトル比

4. 固有周期の変動の評価

1 階または地下 1 階に対する最上階のフーリエスペクトル比により算出した固有周期を用い、前震から余震(4/11)にかけて見られた固有周期の変動について評価する。RC 造建物の KDI (図 4) や SRC 造建物の TUF (図 5) では、全体を通して大きな変動は見られず、加速度の増減による影響をあまり受けていないことがいえる。RC 造建物の MYK (図 6) や SRC 造建物の CHB (図 7) では、MYK の NS 方向を除き、前震から本震にかけて長周期側へ変動し、加速度の増加による影響を受けたといえる。また、CHB では本震から余震(3/11)にかけて加速度が減少したが、固有周期は長周期側に変動したことがいえる。免震建物の NMW (図 8) と HCN2 (図 9) では、HCN2 の EW 方向を除き、加速度の増加によって長周期側へ、加速度の減少によって短周期側へ変動したことがいえる。これは免震層の作用により、加速度の大きな地震ほど固有周期を長周期側に変動させていると考えられる。

5. 表層地盤と建築物の固有周期の比較

KDI (図 10) や CHB (図 12) では、1 階または地下 1 階に対する最上階のフーリエスペクトル比により算出した固有周期より、地表に対する最上階のフーリエスペクトル比により算出した固有周期のほうが長くなり、地盤と建物との相互作用による影響が見られた。本研究では、水平成分と上下成分のフーリエスペクトル比 (H/V スペクトル比) により表層地盤の固有周期を推定し、表層地盤と建築物の固有周期の関係について評価した。KDI の表層地盤の固有周期 (図 11) は、建築物の固有周期とほぼ等しい範囲に見られ、CHB の表層地盤の固有周期 (図 13) は、建築物の固有周期よりも長周期側の範囲に見られた。地盤と建物との相互作用が見られなかった ANX では、建築物の固有周期 (図 14) より表層地盤の固有周期 (図 15) が短周期側に見られた。また、CHB や ANX のように、前震から本震にかけて表層地盤の固有周期は、建築物と同様に長周期側に変動したことが確認できた。

6. まとめ

本研究では、2011 年東北地方太平洋沖地震における前震・本震・余震の観測記録に基づき、様々な建築物の固有周期の変動について評価した。前震から本震にかけて加速度が増加し、固有周期は RC 造建物で 0.049 秒、SRC 造建物で 0.019~0.347 秒伸びた。また、損傷を受けた建物や 8 階建ての SRC 造建物では、本震から余震にかけて加速度は減少したものの、固有周期は 0.006~0.100 秒伸びたことが確認でき、剛性の低下が考えられる。免震建物では、加速度の大きい地震ほど固有周期が長周期側に変動したことが確認でき、免震層の作用による影響を受けたと考えられる。推定した表層地盤の固有周期は、建築物の固有周期の変動の仕方によって異なることが確認できた。

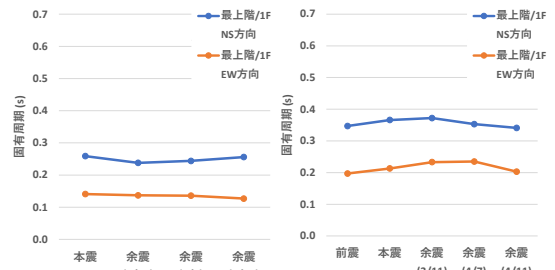


図 4 KDI 固有周期の変動

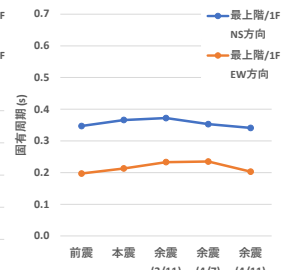


図 5 TUF 固有周期の変動

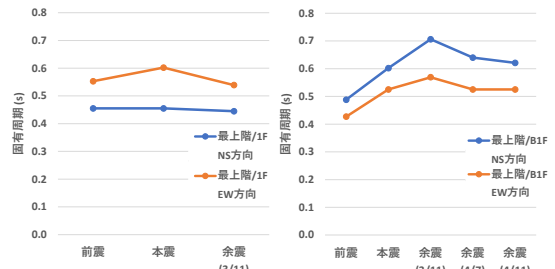


図 6 MYK 固有周期の変動

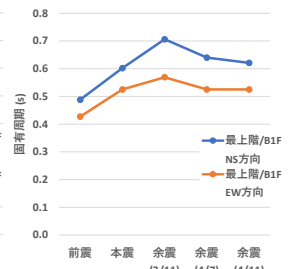


図 7 CHB 固有周期の変動

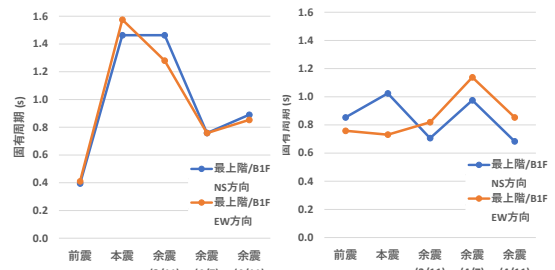


図 8 NMW 固有周期の変動

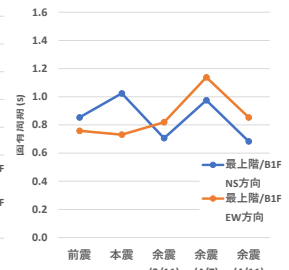


図 9 HCN2 固有周期の変動

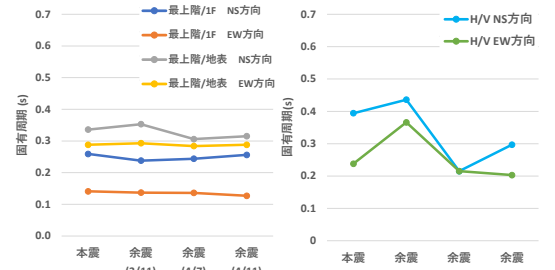


図 10 KDI 建築物の固有周期

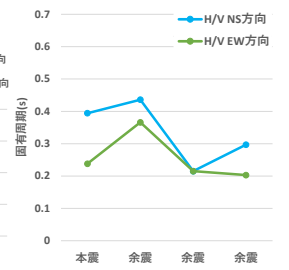


図 11 KDI 表層地盤の固有周期

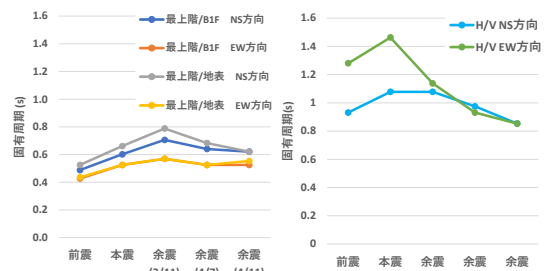


図 12 CHB 建築物の固有周期

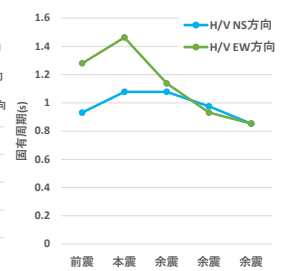


図 13 CHB 表層地盤の固有周期

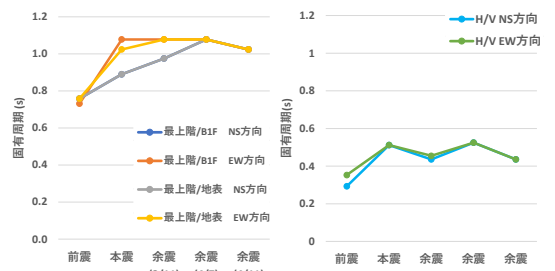


図 14 ANX 建築物の固有周期

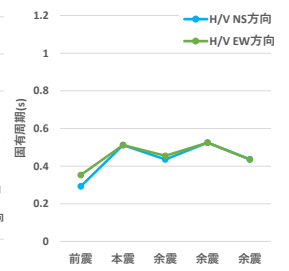


図 15 ANX 表層地盤の固有周期