# T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

## 論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	│ │ 加速度と速度の最大値を用いた建物の固有周期と損傷の程度の関係 │			
Title(English)	Relationship between damage and natural period of an RC building developed using absolute maximum acceleration and velocity			
著者(和文)	久田翔俊, 佐藤大樹, Alex Shegay			
Authors(English)	Takatoshi Hisada, Daiki Sato, Alex Shegay			
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 461-464			
Citation(English)	, , , pp. 461-464			
発行日 / Pub. date	2023, 2			
 権利情報				

### 加速度と速度の最大値を用いた建物の固有周期と損傷の程度の関係

#### 構造-振動

RC 造建物 地震応答解析 損傷評価 構造ヘルスモニタリング

#### 1 はじめに

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震で多くの人が一斉 に帰宅しようとしたため、幹線道路は大渋滞し、救急車や消防 車も身動きが取れない状態となった<sup>1)</sup>。これを契機として、国 や自治体は震災後にできるだけ避難をせずに建物内にとどま ることを求めている<sup>2)</sup>。地震が発生した後も建物内に留まるた めには、建物の健全性の早期の把握が必要不可欠であり、建物 の損傷を評価しなければならない。

地震被害を受けた建築物等に対する被災状況の判定には,余 震等に対する建築物の倒壊危険性やその付帯物の落下・転倒危 険性を地震直後の段階で判定し,建築物の使用者やその付近を 通行する第三者に対する危険回避を目的とした応急危険度判 定がある 3。応急危険度判定は、建築構造技術者が建築物の内 部に立ち入り判定を行う。しかし、通常は建物の構造体は仕上 げに覆われていることが多く, 建物の損傷や劣化を目視により 確認することが困難な場合がある。また、地震災害時には、建 物全体の損傷を早期に把握することが困難な場合も生ずる。さ らに、大都市では構造物の超高層化が進められており、建物の 規模が大きくなると、 点検にはさらに多くの時間と労力を要す る<sup>1)</sup>。一方、構造ヘルスモニタリングシステム(SHM)と呼ば れる建物に設置されたセンサーを用いて建物の損傷を推定す る技術への関心が高まっている。しかし、SHM を行うのに十分 なデータを取るために必要な台数のセンサーを確保しようと すると大変な導入費用が掛かる 4。

そこで、センサーの内部での演算に使用されるメモリの消費 量が小さく、安価なセンサーを用いて建物の健全性および使用 の可否を早期に判断することが必要であると考えられる。本研 究では、地震動およびその応答の加速度などの時刻歴波形を記 録せず、絶対加速度および絶対速度の最大値のみなどが得られ るようなセンサーから得られる簡易的な指標を用いて、目視で は判断が難しい損傷の程度を推定する手法を構築することを 目的とする。本報では、最大絶対加速度と最大絶対速度のみか ら建物の固有周期を推定し、その変化と建物損傷の程度の関係 について分析する。 正会員 〇 久田翔俊<sup>\*1</sup> 正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup> " Alex Shegay<sup>\*3</sup>

#### 2 建物モデル概要

建物モデルは、共同住宅を想定した地上5階、高さ14.3mの 5層RC造建物と地上14階、高さ43.7mの14層RC造建物<sup>5</sup> (以降、それぞれ5Model、14Model)とする。図1、図2にそ れぞれ5Modelと14Modelの立面図および基準階平面図を示す。 また、建物の諸元を表1に示す。

本解析には構造計算プログラムである RESP-D を用いた。柱 部材を両端ファイバー梁要素でモデル化し、梁を両端に剛塑性 回転ばねを有する線材としてモデル化した。耐震壁は間柱部分 にファイバー梁要素を適用したモデルとしている。外周部の 壁については三方スリットを設けているため<sup>5</sup>,耐震壁ではな く,壁の上側の大梁の剛域に寄与するモデル化をした。また, 本モデルでは、バルコニーや開口部についてもモデル化した。 構造減衰は減衰定数ζ=0.02の瞬間剛性比例型とする。



Relationship between damage and natural period of an RC building developed using absolute maximum acceleration and velocity

Takatoshi HISADA, Daiki SATO Alex Shegay

モデル名	5M odel	14M odel		
建物高さ	14.3 m	43.7 m		
亚西プラン	2×8スパン			
平面ノノン	12 m × 60.8 m			
※ホートジナ	梁せい600~700 mm	梁せい600~1000 mm		
采り伝	梁幅300~550 mm	梁幅300~800 mm		
柱寸法	柱幅600~850 mm	柱幅600~1050 mm		
主筋	295~785 N/mm <sup>2</sup>			
Fc	24~33 N/mm2	27~36 N/mm2		

表1 建物諸元

図 3, 図 4 にそれぞれ 5Model と 14Model の各層の重量と X 方向および Y 方向の水平剛性を示す。5Model と 14Model のど ちらも Y 方向の剛性は、X 方向の剛性と比較すると非常に大き いことが分かる。また、5Model の X 方向の各層の剛性は、 14Model の X 方向の各層の剛性と比較すると小さく、5Model の Y 方向の各層の剛性は、14Model の Y 方向の各層の剛性と 比較すると大きいことが分かる。



表2に各建物モデルの1次と2次の固有周期および有効質量 比を示す。表2より、1次モードにおける5Modelの有効質量 比は大きく、1次モードの寄与が大きいことが分かる。一方、 14Modelの有効質量比は5Modelに比べて小さいため、1次モー ドの寄与が小さいと考えられる。

衣	2 谷七7	「ルの固有周則	およい	月幼賀重比

固有周期(s)	5Model		14Model	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
1次	0.464	0.135	0.847	0.596
2次	0.148	0.0420	0.297	0.149
十步的目目。	5Model		14Model	
七动所具い	5M	odel	14M	lodel
有効質量比	5M X方向	odel Y方向	14M X方向	odel Y方向
有効質量比 1次	5M/ X方向 0.822	odel Y方向 0.818	14M X方向 0.776	odel Y方向 0.641

図 5 に 5Model と 14Model の X 方向と Y 方向の静的増分解 析による層せん断力 Q と層間変形角 R の関係を示す。荷重は  $A_i$  分布を用いた。図中に、各層のいずれかの部材にひび割れが 発生した点( $\odot$ ) と各層のいずれかの部材に曲げ降伏が発生し た点( $\odot$ ) を併せて示す。また、表3 にひび割れおよび曲げ降 伏が初めに発生した層とその時のベースシア係数(それぞれ、  $C_c, C_y$ )を示す。図 3、図 4 に示す 5Model と 14Model の各層の X 方向の水平剛性からもわかるように、5Model の各層の剛性 は小さいことが分かるが、各層のいずれかの部材が初めに塑性 化するときの層間変形角は、5Model と 14Model の多くの層で 1/200 rad (0.005 rad) 前後と大きな差はないことが分かる。



表3 各モデルのひび割れおよび降伏時のベースシア係数

		5M odel		14M odel	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
ひび 割れ	層	1層	2層	1~10層	全層
	$C_{c}$	0.06	0.63	0.077	0.13
降伏	層	2,3層	2層	1層	8,9層
	$C_{v}$	0.36	1.30	0.29	0.31

#### 3 地震応答解析

#### 3.1 入力地震動

本報で対象とする入力地震動は、Hachinohe (1968) EW 成分を 位相特性とし、コーナー周期 0.64 s 以降で擬似速度応答スペク トル<sub>P</sub>S<sub>V</sub> (減衰定数 h = 5%) が 80 cm/s で一定となる告示波 (以降、ARTHACHI)とする。地震応答解析には、ARTHACHI の 0.1 倍、0.5 倍、1.0 倍波を用いる。図 6 に ARTHACHI の 1.0 倍波の加速度の時刻歴波形を示す。また、図 7 に ART HACHI の 1.0 倍波の h = 5%時の速度応答スペクトル S<sub>v</sub> と h = 10%時 のエネルギースペクトル V<sub>E</sub> を示す。



#### 3.2 解析結果

図8に5Modelと14ModelのX方向とY方向にARTHACHIの0.1倍波,0.5倍波,1.0倍波を入力したときの層間変形角Rの高さ方向分布を示す。図中には、各層のいずれかの部材にひび割れが発生したときと各層のいずれかの部材に曲げ降伏が発生したときの層間変形角の高さ方向分布を併せて示す。

5ModelのX方向では、ARTHACHIの0.1倍波を入力したときは、多くの層で最初の部材にひび割れが発生した程度で、0.5倍波を入力したときは、すべての層でひび割れが発生しているが、降伏は発生しておらず、1.0倍波を入力したときは、すべての層で降伏が発生していることが分かる。5ModelのY方向は、剛性が非常に大きいため、ARTHACHIの1.0倍波を入力したときでも、すべての層でひび割れも発生していないことが分かる。



14ModelのX方向では、ART HACHIの0.1 倍波を入力した ときは、すべての層でひび割れは発生しておらず、0.5 倍波と 1.0 倍波を入力したときは、すべての層でひび割れが発生して いるが、降伏は発生していないことが分かる。14ModelのY方 向では、ART HACHIの0.1 倍波を入力したときは、すべての層 でひび割れは発生しておらず、0.5 倍波を入力したときは、すべ ての層でひび割れが発生しているが、降伏は発生しておらず、 1.0 倍波を入力したときは、多くの層で降伏が発生しているこ とが分かる。

#### 3.3 建物損傷評価手法の提案

本報で想定しているセンサーから得られる加速度および速 度の最大値を用いて式 (1) により, *i* 層における周期 *T<sub>eqi</sub>*を推 定する。

$$T_{eqi} = 2\pi \frac{PFV_i}{PFA_i} \tag{1}$$

ここで, *PFA*<sub>i</sub> は建物の *i* 層の応答波における最大絶対加速度, *PFV*<sub>i</sub> は建物の *i* 層の応答波における最大絶対速度である。図9 に *PFA* および *PFV* の例として, 14Model の X 方向に ART HACHI の 1.0 倍波を入力したときの 1 層の絶対加速度および 絶対速度の時刻歴波形を示す。



図10に、5Model と14ModelのX 方向およびY 方向にART HACHIの0.1 倍波、0.5 倍波、1.0 倍波を入力したときのT<sub>eq</sub>の 高さ方向分布を示す。図中のT<sub>eq</sub>の高さ方向分布の横軸に、各 モデルの各方向における1 次固有周期T<sub>1</sub>を▲印で示している。 建物モデルが1 次モードで振動している場合、多くの層で最 大加速度と最大速度から求まる周期は建物の1 次固有周期とほ ぼ一致することを確認している(附録A)。しかし、図10より、 本報での地震応答解析では、高次モードの影響により、各層の 最大加速度と最大速度から求まる周期はばらつきが生じてい ることが分かる。図10より、5Model と14ModelのX 方向にお いて、入力地震動の倍率が大きく、建物の応答が大きくなるほ ど、*T<sub>eq</sub>* が長くなる層が多くあることが分かる。入力地震動の 倍率が大きく、建物の応答が大きくなり、損傷などが発生する ことで、建物の剛性が低下することで、周期 *T<sub>eq</sub>* は長くなると 考えられる。



3.2 節で示す地震応答解析結果より,剛性が非常に大きく,損 傷は発生していないと考えられる 5Model の Y 方向では,入力 地震動の倍率の大きさにかかわらず  $T_{eq}$  は全層でほぼ一致し ていることが分かる。また,14Model の Y 方向では,建物モデ ルの下層では,入力地震動の倍率が大きいほど  $T_{eq}$  が大きくな るといった傾向は見られなかったが,7層より上の層では,入 力地震動の倍率が大きいほど  $T_{eq}$  が大きくなることが確認され た。

#### 4 まとめ

本報では,絶対加速度および絶対速度の最大値のみが得られ る簡易的なセンサーが建物の各層に設置されている場合を想 定し,最大絶対加速度と最大絶対速度のみから建物の固有周期 を推定し,その変化と建物損傷の程度の関係について分析した。

その結果、5 階建ての RC 造建物モデルと14 階建ての RC 造 建物モデルの桁行方向に入力する地震動の倍率が大きく、建物 の応答が大きくなるほど、多くの層で最大加速度と最大速度か ら推定される周期が大きくなることを確認した。入力地震動の 倍率が大きく、建物の応答が大きくなり、損傷などが発生する ことで、建物の剛性が低下し、周期が大きくなると考えられる。

今後は、このように地震動やその応答などの加速度等の時刻 歴波形を記録せず、最大値などの値のみが得られる簡易的なセンサーを用いて、目視では判断が難しい損傷の程度を推定する 手法の構築についての検討を行う。

#### 参考文献

- 日本建築学会:逃げないですむ建物とまちをつくる-大都市を襲う地震等の自然災害とその対策-,技報堂出版, 2015 年
- 東京都総務局総合防災部防災管理課."帰宅困難者対策ハンドブック・帰宅困難者対策条例の概要リーフレット". 東京都防災ホームページ https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/\_res/projects/default\_project/page /001/000/939/japanese 01.pdf
- 国土交通省住宅局建築指導課:震災建築物の被災度区分 判定基準および復旧技術指針,一般財団法人 日本建築防 災協会,2005 年
- 4) 板生清:構造物モニタリング技術の開発と応用《普及版》,
  株式会社シーエムシー出版,2020年
- 財団法人 日本建築防災協会:構造設計・部材断面事例 集,2007年
- 建築構造物の構造解析・振動解析プログラム RESP-D 利 用者マニュアル(計算編)

#### 附録A

14Model の X 方向と等しい重量および剛性を有するせん断 モデルを作成し、1 次固有周期の正弦波を用いて動的解析を行 う。

せん断モデルの質点数は 14Model の階数と同じとしている。 各階の重量を各質点の重量とし,図 5(c)に示す静的増分解析の 1 ステップ目の層せん断力 Q と層間変形角 R をもとに,せん断 モデルの各質点を結ぶばねの剛性とする。また,せん断モデル の各質点を結ぶばねは弾性とする。

せん断モデルの1次固有周期は、0.838sとなり、14Modelの X方向の1次固有周期とほぼ一致した。周期がせん断モデルの 1次固有周期である0.838s,最大加速度50 cm/s<sup>2</sup>で50周期の 正弦波を入力する。

図 A-1 にせん断モデルに 1 次固有周期の正弦波を入力し たときの  $T_{eq}$  の高さ方向分布 を示す。図中の  $T_{eq}$  の高さ方向 分布の横軸に, せん断モデル の 1 次固有周期  $T_i$  を▲印で 示している。図 A-1 より, 多く の層で一致していることが分 かる。



<sup>\*1</sup>東京工業大学 環境・社会理工学院 大学院生

<sup>\*2</sup>東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学)

<sup>\*3</sup> 東京工業大学未来産業技術研究所 助教 Ph.D

Gaduate Student, Tokyo Institute of Technology Associate Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng Assistant Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Ph.D