

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	簡易加速度センサを用いた地震時におけるRC建物の損傷評価 その1 せん断モデルを用いた検討と損傷予測式の提案
Title(English)	Evaluation of damage to RC buildings during earthquakes using simple acceleration sensors Part 1 : Study using shear model and proposal of damage prediction equation
著者(和文)	久田 翔俊, 佐藤 大樹, SHEGAY ALEX
Authors(English)	Takatoshi Hisada, Daiki Sato, Alex Shegay
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 377-378
Citation(English)	, 構造II, , pp. 377-378
発行日 / Pub. date	2024, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

簡易加速度センサを用いた地震時における RC 建物の損傷評価

その1 せん断モデルを用いた検討と損傷予測式の提案

ヘルスマonitoring 損傷評価手法 地震応答解析
伝達関数

正会員 ○久田翔俊^{1*}
同 佐藤大樹^{2**}
同 Alex Shegay^{3***}

1 はじめに

地震発生後も建物内に留まるために建物の使用の可否を早期に把握する必要がある。現在の主な建物の使用の可否を判断する方法は、被災建築物応急危険度判定や構造ヘルスマonitoringなどが挙げられるが、それらの方法では多くの時間や労力、費用を要する。そこで本報では、センサでの演算に使用されるメモリの消費量が少なく、安価な簡易加速度センサを対象として建物の損傷評価手法を構築することを目的としている。

本報では、そういった簡易加速度センサが減衰定数 $h = 5\%$ における速度応答スペクトルが最大となる周期を記録できると想定し、その1では建物のせん断モデルを用いた損傷評価手法を提案する。本報その2では、本報その1で示す損傷評価手法を部材モデルで検討した結果を示す。

2 地震応答解析

2.1 建物モデル概要

本報では、共同住宅を想定した地上5階と地上14階建てのRC造建物(以降、それぞれ5Model, 14Model)を用いる¹⁾。それぞれの建物を構造計算プログラムのRESP-Dを用いてモデル化する。図1に5Modelの立面図と基準階平面図を示す。14Modelは5Modelと同じ平面図を有する。解析対象はX方向とし、5Modelと14Modelの1次固有周期はそれぞれ0.46秒、0.85秒である。

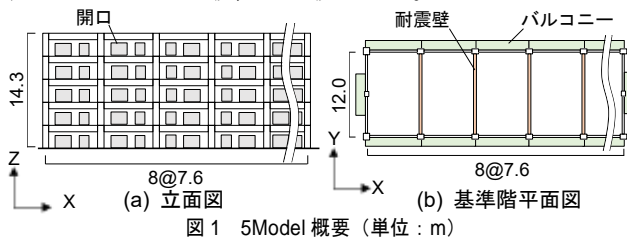


図1 5Model概要(単位:m)

図2に5Modelと14ModelのX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。図中に各層のいずれかの部材にひび割れが発生した点(●)と曲げ降伏が発生した点(●)を併せて示す。

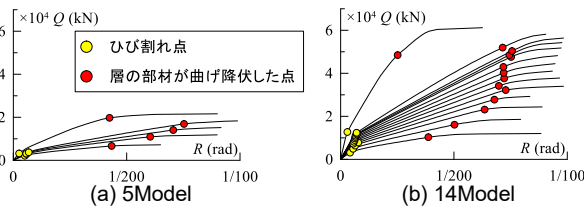


図2 静的増分解析

2.2 多質点系せん断モデル化概要

5Modelと14ModelのX方向において、図2に示す部材モデルの静的増分解析結果を基に、部材モデルの階数と同数の質点を有し、復元力特性がトリリニアとなる多質点系せん断モデルに置換する²⁾。なお、復元力特性は武田モデル、構造減衰は減衰定数 $\zeta = 2\%$ の瞬間剛性比例型とする。

2.3 入力地震動概要

本報で用いる地震動は、図3に示す7つのレベル2告示波とする。これら7つの地震動を5Modelには、0.1倍、0.5倍、1.0倍、1.2倍、14Modelには、0.1倍、0.5倍、1.0倍、1.2倍、1.5倍に倍率を変更して入力(以降、本震)した後に、続けてそれぞれ同一の地震動の0.1倍波を入力(以降、余震)する。図4に例としてART HACHI NSの本震が1.0倍時の入力地震動の時刻歴加速度波形を示す。

本震が0.1倍のとき、各せん断モデルの質点をつなぐばねのほとんどは最大層間変形角が第一折れ点を超えておらず、ほぼ弾性域である。また、本震が1.0倍以上のとき、最大層間変形角が第二折れ点を超えるほど大きくなり、塑性化が発生している。

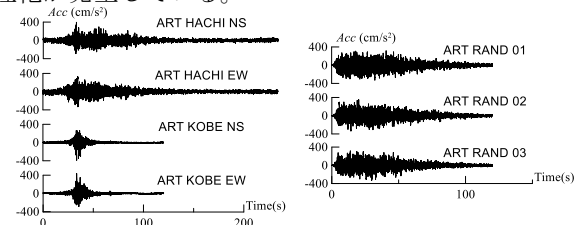


図3 入力地震動

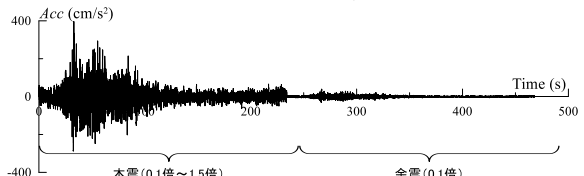


図4 入力地震動概要(ART HACHI NS 本震1.0倍時)

3 伝達関数に着目した検討

例として図5(a), (b)にそれぞれ5Modelと14Modelのせん断モデルにART HACHI NSの本震を入力したときの入力地震動のフーリエ振幅 $F(\ddot{Z})$ に対する屋上階の質点の応答波のフーリエ振幅 $F(\ddot{X}_T)$ の比(以降、伝達関数)を示す。図中には、各せん断モデルの弾性1次固有振動数 $1f_e$ を示している。図5より、本震の倍率が大きくなるほど、卓越する振動数が低下していることが分かる(図中●)。

図 5 中の●のように、本震が 0.1 倍のときは ${}_1f_e$ 付近、本震が 0.5 倍以上のときは ${}_1f_e$ 以下で伝達関数が最大となる振動数 ${}_1f$ の逆数を伝達関数から推定される一次固有周期 ${}_1T$ とする。

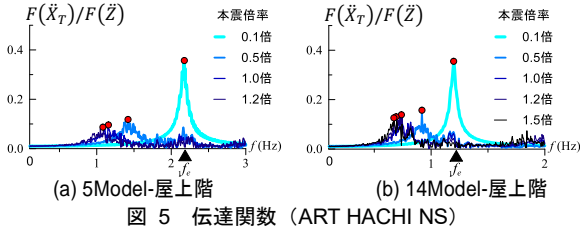


図 5 伝達関数 (ART HACHI NS)

図 6 にそれぞれ本震と余震の ${}_1T$ である ${}_1T_m$ と ${}_1T_s$ の関係を示す。図 6 より、本震と余震の ${}_1T$ には強い相関があるため、余震からも本震時の ${}_1T$ を推測できる。

本報では、本震 0.1 倍時の ${}_1T$ である ${}_1T_e$ に対する本震 0.1 倍以上時の ${}_1T$ である ${}_1T_p$ の比を λ_{FFT} (式(1))、 λ_{FFT} の全階の平均値を $\bar{\lambda}_{\text{FFT}}$ とし、弾性時に対する周期の変化を表す。

$$\lambda_{\text{FFTi}} = {}_1T_{pi} / {}_1T_{ei} \quad (1)$$

ここで、右下の添え字 i は i 層の諸元を表している。

図 7 に 5Model と 14Model のすべての地震動の本震および余震における $\bar{\lambda}_{\text{FFT}}$ と過去に経験した最大の層塑性率 μ'_{max} の関係を示す。ここで、 μ'_{max} は、せん断モデルの第二折れ点の層間変形角に対する最大層間変形角の比として算出している。図 7 より、 $\bar{\lambda}_{\text{FFT}}$ と μ'_{max} には強い相関があり、 $\bar{\lambda}_{\text{FFT}}$ と μ'_{max} の回帰分析により得られた推定式を式(2)に示す (ただし、 $\bar{\lambda}_{\text{FFT}} \geq 1$)。

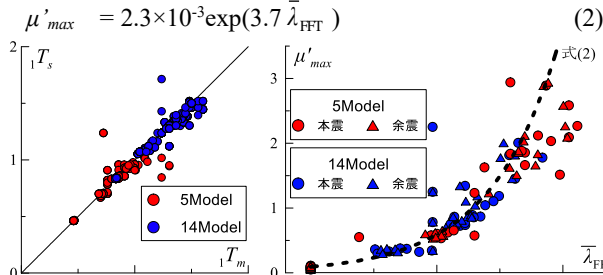


図 6 本震と余震の ${}_1T$ の比較

図 7 $\bar{\lambda}_{\text{FFT}}$ と μ'_{max} の関係

このように、建物に設置されるセンサが時刻歴波形を保存できる場合、本震だけでなく余震からも伝達関数が卓越する周波数の変化から建物の損傷を推定することができる。

4 速度応答スペクトルに着目した検討

本章では、時刻歴波形が保存されない場合でも建物の損傷を推定することができる指標として速度応答スペクトルが最大となる周期の変化に着目した検討を行う。

例として図 8(a), (b)にそれぞれ 5Model と 14Model のせん断モデルに ART HACHI NS の本震を入力したときの最上階の質点における $h=5\%$ の周期 2.5 秒までの最大値が 1 となるように基準化した速度応答スペクトル S_v を示す。図中には、各建物モデルのせん断モデルの弾性 1 次固有周

期 T_1 を示している。図 8 より、入力地震動の倍率が大きくなるほど、速度応答スペクトルが最大となる周期が長くなっていることが分かる。図 8 中の●のように周期 2.5 秒までの速度応答スペクトルが最大となったときの周期を T_s とする。

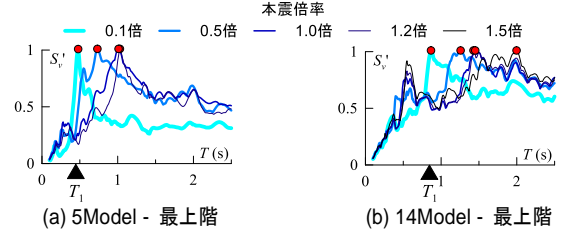


図 8 速度応答スペクトル (ART HACHI NS - $h=5\%$)

5 周期変化の比較

本震 0.1 倍時の T_s である T_{se} に対する本震 0.1 倍以上時の T_s である T_{sp} の比を Γ_T とし (式(3))、 Γ_T は弾性時に対する周期の変化を表す。

$$\Gamma_T = T_{spi} / T_{sei} \quad (3)$$

図 9 に 5Model と 14Model のすべての地震動の本震および余震における Γ_T と λ_{FFT} の関係を示す。図 9 より、 Γ_T と λ_{FFT} には相関があり、 Γ_T と λ_{FFT} の回帰分析により得られた推定式を式(4)に示す (ただし、 $\bar{\Gamma}_T \geq 1$)。

$$\lambda_{\text{FFT}} = 0.61 \exp(0.55 \Gamma_T) \quad (4)$$

式(4)の Γ_T を Γ_T の全階の平均値 $\bar{\Gamma}_T$ を用いて式(2)に代入することで式(5)が得られる (ただし、 $\bar{\Gamma}_T \geq 1$)。

$$\mu'_{\text{max}} = 2.3 \times 10^{-3} \exp\{2.3 \exp(0.55 \bar{\Gamma}_T)\} \quad (5)$$

図 10 に 5Model と 14Model のすべての地震動の本震および余震における Γ_T の全階の平均値 $\bar{\Gamma}_T$ と過去に経験した最大の層塑性率 μ'_{max} の関係および式(5)を示す。図 10 より、 $\bar{\Gamma}_T$ と μ'_{max} には強い相関があり、式(5)を用いて過去に経験した最大の層塑性率を概ね推定することができると思われる。

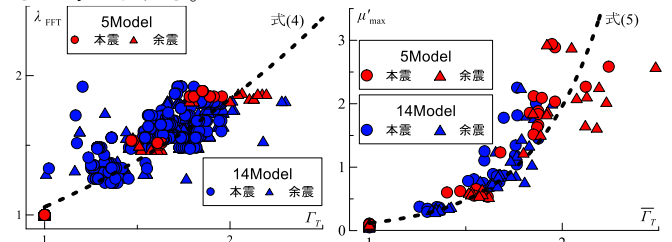


図 9 Γ_T と λ_{FFT} の関係

図 10 $\bar{\Gamma}_T$ と μ'_{max} の関係

6 まとめ

本報その 1 では、ガスメーターに搭載されるセンサが減衰定数 $h=5\%$ における速度応答スペクトルが最大となる周期を記録できると想定し、建物のせん断モデルを用いた損傷評価手法を提案した。本報その 2 では、本報その 1 で示す損傷評価手法を部材モデルで検討した結果を示す。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：構造設計・部材断面事例集，2007
- 2) 久田，佐藤，Alex：簡易加速度センサーの利用を想定した RC 建物のヘルスマニタリング，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.513 - 516，2024.3

*清水建設株式会社 (元東京工業大学)

**東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士 (工学)

***オークランド大学 土木環境工学部 講師・Ph.D.

*Shimizu Corporation (Former Tokyo Institute of Technology)

** Associate Prof., IIR, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng

*** University of Auckland, Civil and Env. Dept., Lecturer