

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3 2方向入力の影響を考慮した損傷評価手法
Title(English)	Evaluation of damage to RC buildings during earthquakes using simple acceleration sensors Part 3 : A simple damage estimation method considering the effect of bi-directional input
著者(和文)	河野利器, 佐藤大樹, Alex Shegay, 佐久間博久, 小林 実央
Authors(English)	Riki Kono, Daiki Sato, Alex Shegay, Hirohisa Sakuma, Mio Kobayashi
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 , , pp. 225-226
Citation(English)	, 構造 , , pp. 225-226
発行日 / Pub. date	2025, 9
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3 2方向入力の影響を考慮した損傷評価手法

ヘルスマニタリング 損傷評価手法 地震応答解析  
RC 造建物 塑性率

正会員 ○河野 利器\*1 正会員 佐藤 大樹\*2  
同 Alex Shegay \*3 同 佐久間 博久\*4  
同 小林 実央\*4

### 1 はじめに

構造ヘルスマニタリングはセンサーの設置や維持管理に多くのコストを要する。そこで既往研究<sup>1)</sup>では、多くの共同住宅に既に設置されているガスメーターに着目し、ガスメーター設置階における速度応答スペクトル(床応答速度スペクトル)のピーク周期の変化率を用いて、1方向入力時の簡易な建物損傷評価手法を構築した。対象とするセンサーは、スカラー値を保存できるが時刻歴波形は保存できず、センサー間の同期がとれず、設置方向が未知で建物の構造軸と必ずしも一致しない仕様となっている。そこで本報では、水平2方向を解析対象にして損傷評価手法の適用性を検討する。なお、大きな損傷についてはセンサーを用いずとも建物外観から目視で危険と判断できると考え、中程度の損傷を検討対象とする。

### 2 解析概要

#### 2.1 建物モデル概要

本報では、一般的な RC 造の中低層共同住宅を想定した6種類の建物を対象とする。それぞれ板状建物(Plate-shaped buildings)の地上5階建て、10階建て、14階建てモデル(以降、それぞれ P-5Model, P-10Model, P-14Model)と、□の字型建物(Square-shaped buildings)の地上5階建て、10階建て、14階建てモデル(以降、それぞれ S-5Model, S-10Model, S-14Model)である<sup>2)</sup>。図1に各建物モデルの建物俯瞰図を示す。解析対象は水平2方向とする。

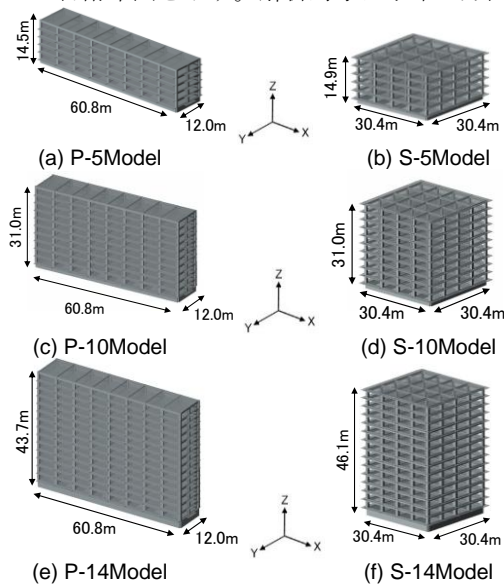


図1 対象建物モデル概要

#### 2.2 入力地震動概要

本報では、建物損傷時の評価を行うための入力地震動(以降、損傷評価用地震)として、2016年の熊本地震前震・本震・余震の熊本県熊本市(観測点コード: KMM006)での観測記録<sup>3)</sup>を用いる。建物健全時の周期を推定するための入力地震動(以降、弾性周期評価用地震)には、熊本地震以前に発生した地震の KMM006 での168種類の観測記録<sup>3)</sup>を用いる。図2, 3にそれぞれ損傷評価用地震と弾性周期評価用地震の減衰定数  $h=5\%$  のときの速度応答スペクトルを示す。

建物モデルの X 方向, Y 方向に、それぞれ入力地震動の EW 方向成分, NS 方向成分を入力したときの地震動の入力方向を基準として  $\theta_g = 0^\circ$  とする。本報では、 $\theta_g = 0^\circ, 90^\circ$  の2種類の入力ケースについて検討を行う。

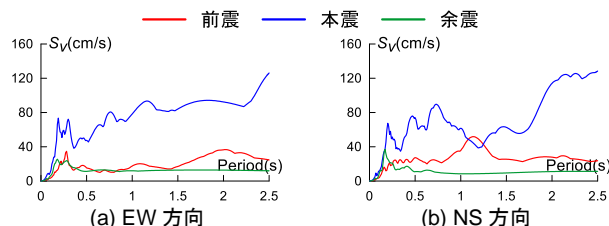


図2 損傷評価用地震の速度応答スペクトル ( $h=5\%$ )

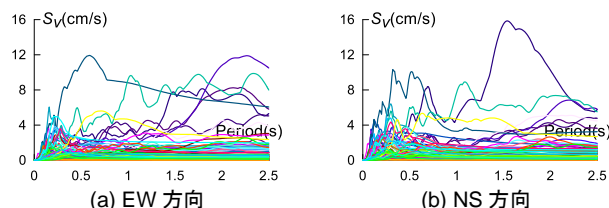


図3 弾性周期評価用地震の速度応答スペクトル ( $h=5\%$ )

### 3 2方向入力時の固有周期の推定方法

建物に地震動が2方向入力されたときの、固有周期の推定値  $T_s$  の算出方法について述べる。センサーの  $0$  度方向を  $\zeta$  方向、それに直交する方向を  $\eta$  方向と定義する。式(1)を用いて、各階で出力された  $\zeta, \eta$  方向の絶対加速度のベクトル和から、任意の方向  $\theta_r$  の加速度応答波形を算出する。

$$z_{\theta_r,i}(t) = z_{\zeta,i}(t) \cos \theta_r + z_{\eta,i}(t) \sin \theta_r \quad (1)$$

ここで、 $z_{\zeta}(t)$  は  $\zeta$  方向の絶対加速度、 $z_{\eta}(t)$  は  $\eta$  方向の絶対加速度、 $z_{\theta_r}(t)$  は  $\zeta$  軸から反時計回りに  $\theta_r$  回転した方向の絶対加速度である。なお、本報では消費電力削減のため、式(1)の対称性を考慮して  $\theta_r = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  とする。

図4に示すように、得られた各方向の加速度波形から減

衰定数  $h = 5\%$  の床応答速度スペクトル  $S_v$  を周期  $0.1 \sim 2.5$  秒の範囲で算出し、 $\theta_r$  方向の  $S_v$  の最大値を  $S_{v,peak}(\theta_r)$  とする。 $S_{v,peak}(\theta_r)$  が最大となる  $\theta_{r,max}$  方向の速度応答スペクトルにおいて、 $S_{v,peak}(\theta_r)$  が得られるときの周期を  $T_s$  と定義する。本報では、弾性周期評価用地震、損傷評価用地震を入力して算出した  $T_s$  をそれぞれ  $T_{se}$ 、 $T_{sp}$  とする。なお、次世代ガスメーターは  $T_s$  のみ保存・出力するものを想定する。

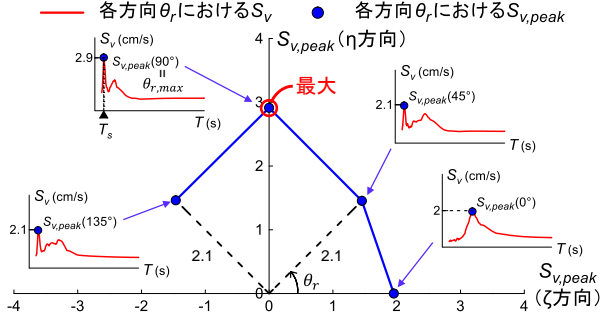


図4  $S_{v,peak}(\theta_r)$  の分布と各方向の床応答速度スペクトル

#### 4 建物健全時の弾性1次固有周期推定手法に関する検討

図5に、各建物モデルに弾性周期評価用地震168波(図3)をそれぞれ2方向入力したときの最上居住階で算出された  $T_{se}$  のヒストグラムを示す。図中には各建物モデルの弾性周期を  $\blacktriangle$  で示す。図5より、最上居住階に着目すると、X、Y方向の弾性1次固有周期付近に多くの結果が集約されていることが分かる。一方、最上居住階より下階では高次モードや入力地震動の影響が大きくなり弾性1次固有周期の推定が困難になることが確認された<sup>4)</sup>。よって、ガスメーターの設置方向が未知で必ずしも建物の構造軸と一致しないとしても、大地震発生前の多くの観測サンプルを用いることで、 $T_{se}$  の算出階として最上居住階を選定すれば弾性1次固有周期を推定できるといえる。

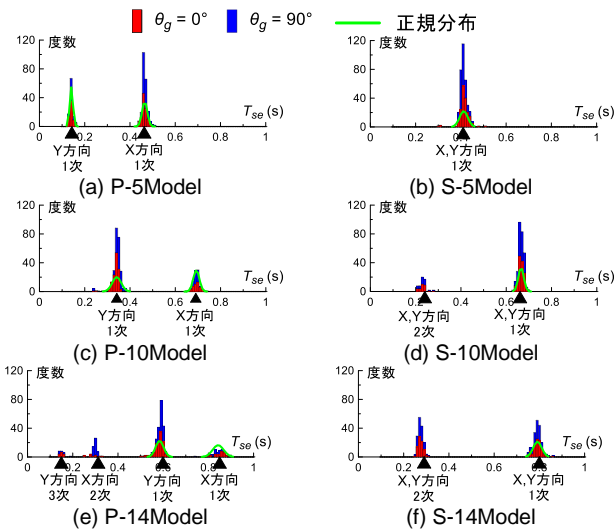


図5 最大層間変形角の高さ方向分布

図5の各建物モデルのヒストグラムについて、1次固有周期付近を正規分布にフィッティングした。図5中にその

ときの正規分布を示す。正規分布から平均値  $M_G$ 、標準偏差  $\sigma_G$ 、変動係数  $C.V.(= \sigma_G/M_G)$  を算出し、最上居住階のヒストグラムから算出した平均値  $M_G$  を弾性1次固有周期の推定値  $T_{se,Top}$  とする。 $C.V.$  の最大値は  $0.058$  であった。

#### 5 損傷評価結果

損傷評価用地震入力時についても最上居住階の  $T_{sp}$  (以降、 $T_{sp,Top}$ ) を求め、弾性時に対する周期  $T_s$  の変化率  $\Gamma_{T,Top}$  を式(2)によって算出する。 $T_{se,Top}$  はX方向とY方向の2種類算出されるが、本報では中程度の損傷を対象とするため、 $1 < \Gamma_{T,Top} < 2$  の範囲で  $T_{se,Top}$  を選定する。

$$\Gamma_{T,Top} = \frac{T_{sp,Top}}{T_{se,Top}} \quad (2)$$

式(3)に、既往研究<sup>1)</sup>で提案されている損傷予測式を、X、Y方向の層塑性率の全層での最大値  $\mu'_{max}$  に置き換えたものを示す。

$$\mu'_{max} = 2.3 \times 10^{-3} \exp\{2.3 \exp(0.55 \Gamma_{T,Top})\} \quad (3)$$

式(3)に  $T_{se,Top}$  のばらつきを考慮した損傷予測式を提案する。許容する  $T_{se,Top}$  のばらつきは標準偏差  $\sigma_G$  とすると、ばらつきを許容する損傷予測式は式(4)のようになる。

$$\mu'_{max} = 2.3 \times 10^{-3} \exp\left\{2.3 \exp\left(0.55 \frac{\Gamma_{T,Top}}{1 \pm C.V.}\right)\right\} \quad (4)$$

図6に損傷評価用地震入力時の  $\Gamma_{T,Top}$  と  $\mu'_{max}$  の解析結果をプロットで示す。なお、本報では中程度の損傷を対象とするため、層塑性率2以上、部材塑性率4以上のケースは除外している。式(4)に変動係数  $C.V.$  の最大値  $0.058$  を代入し、図6中に併せて示す。図6より、建物モデルの種類に関わらず  $\Gamma_{T,Top}$  と  $\mu'_{max}$  の関係は、提案した損傷予測式(式(4))を用いて推定できることが確認された。

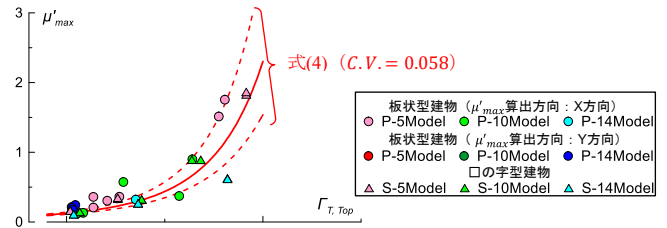


図6  $\Gamma_{T,Top}$  と  $\mu'_{max}$  の関係

#### 6 まとめ

本報では、ガスメーターに着目し、水平2方向入力時の損傷評価について検討した。観測サンプル数を増やすことで弾性周期が推定でき、提案した損傷予測式を用いて最大層塑性率を概ね推定できることを確認した。

#### 参考文献

- 久田翔俊ほか：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。日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.377-378，2024.8
- 日本建築防災協会：構造設計・部材断面事例集，2007
- 国立研究開発法人 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-NET, KiK-net) <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/search/>(参照 2025-03-10)
- 河野利器ほか：次世代家庭用ガスメーターによる2方向入力の影響を考慮したRC造建物の損傷評価手法。日本建築学会関東支部研究報告集，2025.3

\*1 元東京科学大学 大学院生・修士 (工学)  
 \*2 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士 (工学)  
 \*3 オークランド大学 講師・Ph.D.  
 \*4 東京ガスネットワーク株式会社 博士 (工学)

\*1 Former Graduate Student, Institute of Science Tokyo, M. Eng  
 \*2 Associate Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Dr. Eng.  
 \*3 Lecturer, University of Auckland, Ph.D.  
 \*4 Tokyo Gas Network Co., Ltd, Dr. Eng.