

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	次世代家庭用ガスメーターによる RC 中低層建物の一次固有周期の推定と損傷層の特定
Title(English)	Estimation of natural period and identification of damaged layers for RC low to-medium-rise buildings using next generation gas meters
著者(和文)	蛭田智也, 佐藤大樹, 佐久間博久, 小林実央
Authors(English)	Tomoya Hiruta, Daiki Sato, Hirohisa Sakuma, Mio Kobayashi
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, 1, , pp. 373-376
Citation(English)	, 1, , pp. 373-376
発行日 / Pub. date	2026, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

次世代家庭用ガスメーターによる RC 中低層建物の一次固有周期の推定と損傷層の特定

構造—振動

正会員 ○ 蛭田智也*1

正会員 佐藤大樹*2

// 佐久間博久*3

// 小林実央*3

RC 造建物 地震応答解析 損傷評価

構造ヘルスマonitoring 1 方向入力

1. はじめに

河野ら¹⁾は、次世代家庭用ガスメーターの設置階における床速度応答スペクトルのピーク周期の変化率を用いて、2 方向入力による簡易な建物損傷評価手法を構築した。しかし、一次固有周期の算出において、高次の固有周期が算出されるケースが確認されたと共に、建物の損傷層の特定には至っていない。さらに、被災後の迅速な復旧対応において、具体的な損傷層を把握することは肝要である。

本報では、高次固有周期や地震動の卓越周期を算定範囲から除外するフィルタリングを設けることで、一次固有周期の算出精度の向上を検討する。次に、目視点検では判別が困難な内部損傷の検知を目的として、SI 値²⁾を指標とした損傷層を特定する手法について提案する。

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解析対象とした。長方形平面の板状建物の地上 5 階、10 階、14 階建てモデル（以降、それぞれ P-5Model, P-10Model, P-14Model）と、正方形平面の口の字型建物の地上 5 階、10 階、14 階建てモデル（以降、それぞれ S-5Model, S-10Model, S-14Model）を対象とする³⁾。図 1, 2 に各建物モデルの全体俯瞰図と平面図を示す。解析には RESP-D を用いた。梁部材は剛塑性回転ばねを有する線材としてモデル化し、復元力特性はトリリニア型骨格曲線に武田モデルを用いた。各方向における固有値解析結果から得られる一次固有周期を τT としている。口の字型建物モデルについては、各方向における τT は同一である。本報では、X 方向および Y 方向それぞれについて、1 方向入力による検討を行う。

2.2 入力地震動の概要

本報では、一次固有周期を推定（3 章）するための入力地震動（以降、一次固有周期評価用地震動）として、能登半島地震（観測点コード：NIG004, ISK015）および熊本地震（観測点コード：KMM006, KMM011）、東北地方太平洋沖地震（観測点コード：TCG013, AKT016）での観測地点における、本震発生前の約 1 年間に観測された

各 10 種類の観測記録⁴⁾を用いる。なお、一次固有周期評価用地震動の選定にあたっては、各建物の応答が弾性範囲に納まるよう、各観測地点における計測震度が 4.0 以下の地震動を対象とした。また、損傷評価（4 章）を行うための入力地震動（以降、損傷評価用地震動）として、各地点における本震の地震動を用いる。例として、図 3(a) および(b)に NIG004 における一次固有周期評価用地震動と損傷評価用地震動の速度応答スペクトル（減衰定数 $h=5\%$ ）をそれぞれ示す。表 1 に損傷評価用地震動の概要を示す。

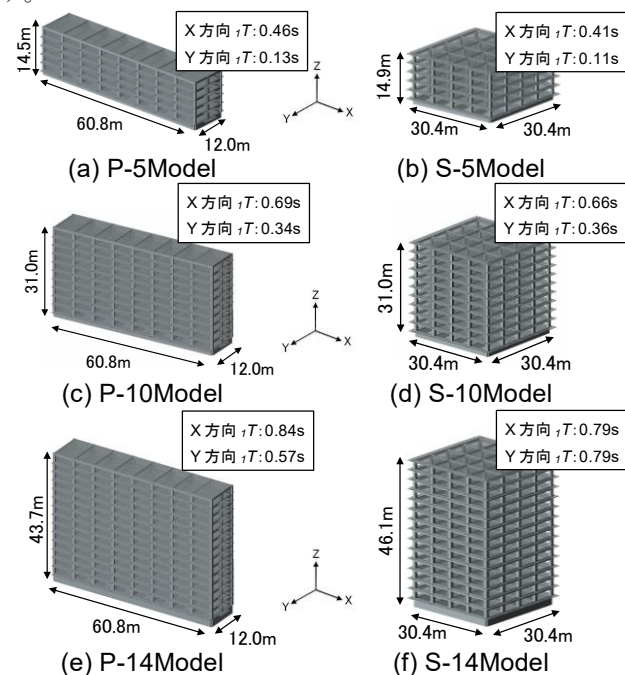


図 1 各建物モデル 全体俯瞰図

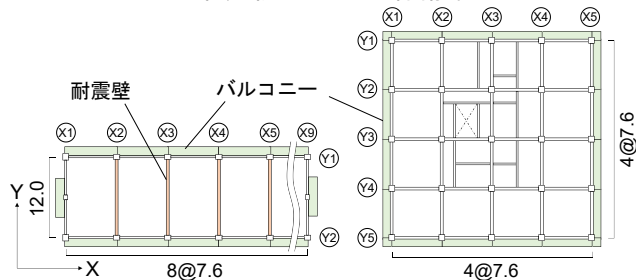
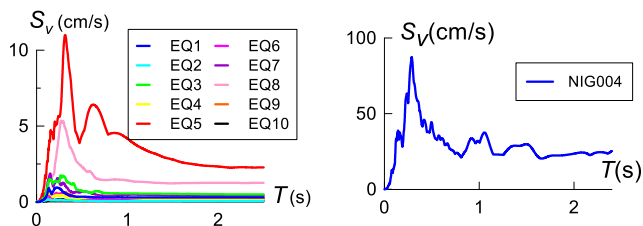


図 2 建物モデル平面図（単位：m）



(a)一次固有周期評価用地震動 (b)損傷評価用地震動
図3 NIG004 地震動速度応答スペクトル ($h = 5\%$)

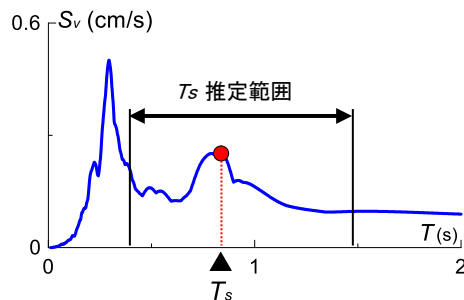


図4 建物一次固有周期の推定方法 ($h = 5\%$)

表1 損傷評価用地震動の概要

発生時刻	観測地点	PGA (Gal) (計測震度)
2024年1月1日 16時10分	新潟県佐渡市 小木町(NIG004)	533.3 (5.5)
2024年1月1日 16時10分	石川県鳳珠穴水町 字大町(ISK015)	979.0 (6.3)
2016年4月16日 01時25分	熊本県熊本市 (KMM006)	827.2 (5.7)
2016年4月16日 01時25分	熊本県下益城郡 美里町(KMM011)	602.4 (5.6)
2011年3月11日 14時46分	栃木県真岡市 (TCG013)	422.2 (5.7)
2011年3月11日 14時46分	秋田県大仙市 (AKT016)	108.6 (5.6)

3. 一次固有周期の推定

3.1 一次固有周期の推定手法

図4に建物の一次固有周期の推定手法を示す。入力方向(XまたはY方向)における最上居住階の床応答速度スペクトルが最大となるときの周期を T_s とし、各観測点における10種類の一次固有周期評価用地震動で得られる T_s の平均値を、一次固有周期の推定値 T_{se} とする。

一次固有周期評価用地震動で算出される T_s について、高次固有周期および入力地震動の卓越周期等が算出されるケースを避けるため、(1)式により、建物高さ H (m)を用いて算出範囲を定め、範囲内の最大値を T_s とする。

$$0.008H \leq T_s \leq 0.032H \quad (1)$$

図4のように、範囲外にピークが見られる場合でも、(1)式の範囲内で T_s (●) が得られることがわかる。

表2 各地点と各モデルにおける T_{se}/iT の一覧(10波中)

	±0.15 以内						±0.5 以上	Average
	NIG004	ISK015	KMM006	KMM011	TCG013	AKT015		
P-5 X	0.95	0.95	0.93	0.93	0.95	0.95	0.94	
P-5 Y	1.33	1.12	1.70	2.11	2.06	2.56	1.81	
P-10 X	0.88	0.99	1.00	0.95	1.02	1.02	0.98	
P-10 Y	0.99	1.06	1.01	0.99	1.06	1.09	1.03	
P-14 X	0.94	0.94	0.98	0.87	0.99	1.01	0.96	
P-14 Y	1.06	0.97	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	
S-5	0.98	1.00	0.98	0.99	1.01	1.03	1.00	
S-10	0.94	0.98	1.00	0.94	1.02	1.01	0.98	
S-14	0.92	0.96	1.00	0.91	1.01	1.01	0.97	

3.2 一次固有周期の推定精度

表2に、各観測点および各建物モデル、各方向における iT に対する T_{se} の比の一覧を示す。本章では、±0.15以内の比を良好な推定精度、±0.5以上の比を低い推定精度としている。いずれの建物モデルおよび観測点においても、概ね良好に一次固有周期を推定できていることがわかることから、一次固有周期の推定手法に対する妥当性が確認できた。しかしP-5Model Y方向のケースのみ、 iT から大きく外れる結果となり、ISK015以外の観測点に良好な比は見られない。

図5に、NIG004のP-5Model Y方向における最上居住階の床速度応答スペクトルを示す。 iT よりも長周期側を推定しているケースが見られた。これは、短周期建物モデルへの入力地震動に長周期成分が含まれる場合、最上居住階と地盤の位相差があまり発生せず、図3(a)のEQ5およびEQ8に見られるように地震動の卓越周期を推定していることが原因として考えられる。短い固有周期のモデルに関する推定精度については、今後の検討項目とする。

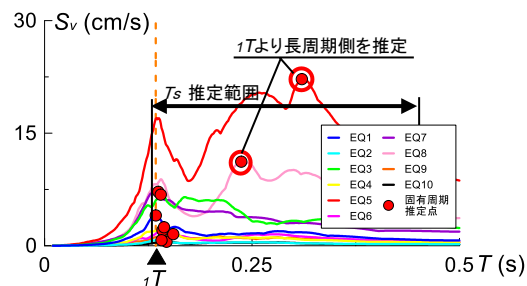


図5 P-5Model Y方向における最上居住階床速度応答スペクトル ($h = 5\%$)

4. 損傷層の特定

4.1 損傷層の特定手法

本章では、次世代家庭用ガスメーターが各層に搭載される環境を前提とし、河野らの研究において建物の損傷程度が判明した後のステップとして、SI 値の層間増幅率に着目した、新たな指標であるASIによる損傷層の特定手法を提案する。SI 値は、G. W. Housner が、地震動の構造物への影響の指標として提案したものである²⁾。

一般に、建物において地震応答は上層ほど増幅する傾向にあるため、下式のように、直下層($i-1$ 層)に対する直層(i 層)のSI 値の比をASIと定義し、損傷による応答性状の変化を検出する指標として用いる。 i 層におけるASIの定義は(2)式に示す。

$$ASI_i = \frac{SI_i}{SI_{i-1}} \quad (2)$$

本検討では、各損傷評価用地震動入力ケースにおいて、ASIが最大値となる層 $N_F(ASI_{max})$ を最大部材塑性率の発生層 $N_F(\mu_{max})$ との関係を分析して、損傷層の特定手法を提案する。なお、第 $i+1$ 階位置の梁の応答を、第 i 層の損傷として評価する。また、損傷評価曲線 μ と同様、層塑性率2以上かつ部材塑性率4以上の結果については、目視による損傷判定が容易であるため、除外する。

4.2 部材塑性率および Δ SIの高さ方向分布

図6に、5、10、14層モデルにおける部材塑性率およびSI 値、ASIの高さ方向分布をそれぞれ示す。SI 値について、いずれのモデルも、地上層から最上層にかけて増幅する傾向にあり、最上層のSI 値は最下層の2~3倍程度の値となっている。

図6(a)に、NIG004入力時のP-5Model Y方向における高さ方向分布を示す。 $N_F(\mu_{max})$ が1層目であることにに対し、 $N_F(ASI_{max})$ も2層目を示しており、 $N_F(ASI_{max})$ が $N_F(\mu_{max})$ と良好に対応していることがわかる。2層目のASIが2程度の値となっているが、これは損傷した層の剛性が下がり、応答が大きくなることでSI 値も大きくなったことに起因すると考えられる。

図6(b)に、AKT016入力時のP-10Model Y方向における高さ方向分布を示す。(a)と同様に、 $N_F(\mu_{max})$ が6層目であることにに対し、 $N_F(ASI_{max})$ は6層目を示しており、部材塑性率は1.0を超えていないものの、 $N_F(ASI_{max})$ が $N_F(\mu_{max})$ と良好に対応していることがわかる。なお、部材塑性率とASIの高さ方向分布について、概ね分布形状が一致していることがわかる。

図6(c)に、KMM011入力時のS-14Model X方向における高さ方向分布を示す。(a)と同様に、 $N_F(\mu_{max})$ が12層目であることにに対し、 $N_F(ASI_{max})$ は13層目を示しており、良好に対応している。

以上の分析より、いずれの建物モデルおよび地震動入力方向、地震観測点において、概ね良好な精度で $N_F(\mu_{max})$ および $N_F(ASI_{max})$ に相関が見られることが分かった。

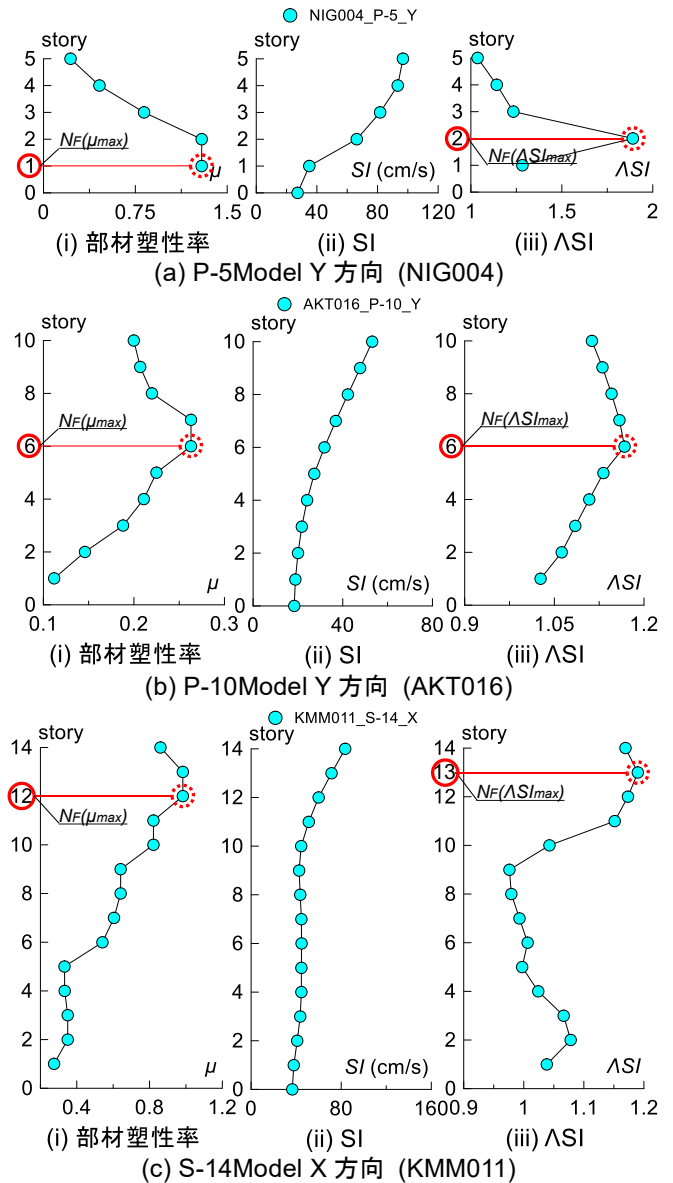


図6 部材塑性率および Δ SIの高さ方向分布

4.3 損傷層の特定結果

図7に、ASIおよび部材塑性率の最大値発生層の関係を示す。なお、層塑性率2以上かつ部材塑性率4以上の結果は除外しているため、全54ケース中33ケースの結果のみ示している。多くのケースで、ASIが最大値を向かえた層 $N_F(ASI_{max})$ と、部材塑性率が最大値を迎えた層 $N_F(\mu_{max})$ は一致、あるいは $N_F(ASI_{max})$ より-1~+2層以内で $N_F(\mu_{max})$ が見られ、 $N_F(ASI_{max})$ から-1~+2層以内を見れば損傷層を特定可能ということで、本手法の有効性が確認された。

また、地震動入力方向による精度の偏りは確認されないが、10層モデルや14層モデルにおいて、損傷層の予測から外れるケースが見られる。これは、建物高さが増すこと

で、高次モードの影響が顕著になり、必ずしも損傷層で最大応答が増幅しない性状を示していることが原因として考えられる。

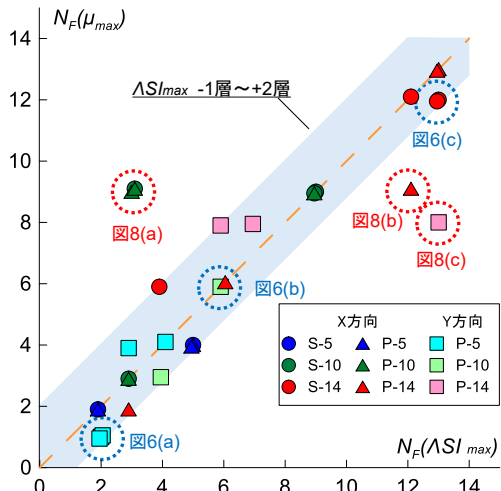


図7 ΔSI および部材塑性率の最大値発生層の関係

図8に、推定誤差の大きかったプロットの高さ方向分を示す。(a), (b)および(c)においてSI値は下層から上層につれて増加していることがわかるが、部材塑性率およびASIについては高さ方向分布の概形に類似性が見られない。本手法を適用する部材塑性率およびASIの範囲や閾値についての検討は、今後の課題とする。

5. まとめ

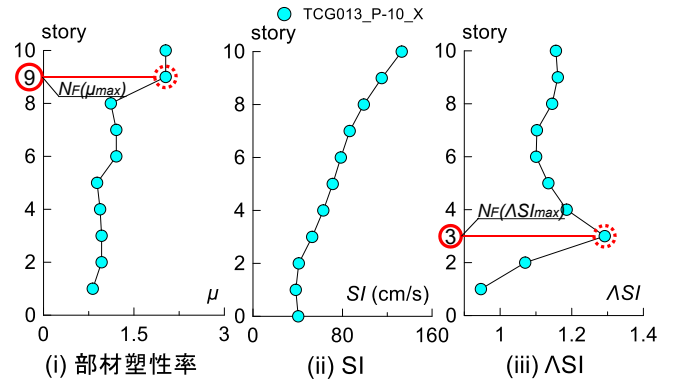
本報では、次世代家庭用ガスメーター内の簡易加速度計を想定した、一次固有周期の推定と、損傷層の特定に関する手法について検討した。

最上居住階における一次固有周期の推定については、建物高さとの関係を用いた提案手法による推定値が、一次固有周期と概ね良好な対応を示すことを確認した。次に、損傷層の特定手法として、直下階に対する直上階のSI値の比であるASIを提案し、その有効性を検討した。

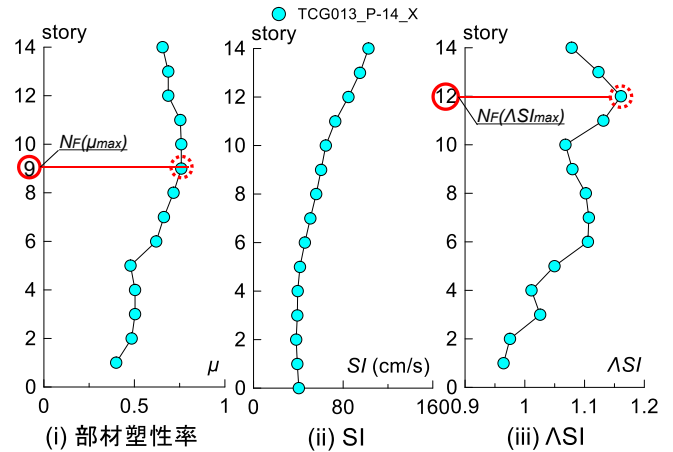
今後は、固有周期の短いモデルで確認された推定一次固有周期の算出精度の検討や、損傷層の特定手法で確認された外れ値が生じる要因の分析や指標の閾値の見直しを行い、推定精度の向上を図る予定である。

謝辞

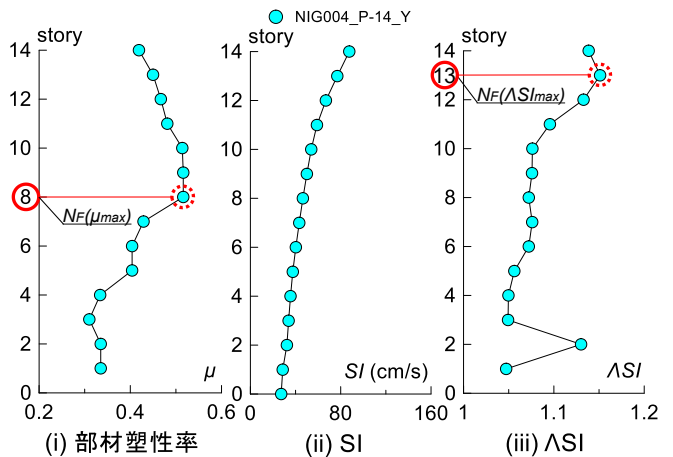
本報告は、東京ガスネットワーク株式会社、東京科学大学佐藤研究室の共同研究成果の一部です。本研究を進めるに当たり、東京ガスネットワークの佐藤真一氏、小林舜英氏、川田拓也氏、小野寺哲也氏には貴重なご意見をいただきました。ここに記して感謝の意を示します。



(a) P-10Model X 方向 (TCG013)



(b) P-14Model X 方向 (TCG013)



(c) P-14Model Y 方向 (NIG004)

図8 部材塑性率およびΔSIの高さ方向分布

参考文献

- 1)河野利器, 佐藤大樹, Alex Shegay, 佐久間博久, 小林実央: 次世代ガスメーターによる2方向入力の影響を考慮したRC中低層建物の簡易損傷評価手法, 日本建築学会技術報告集, pp.1205-1210, 2025.10
- 2) Howsner, G.W., Behavior of Structures during Earthquakes, Proc. ASCE, EM4, Oct.1959
- 3) 日本建築防災協会: 構造設計・部材断面事例集, 2007.6
- 4) 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 2025-12-16)

*1 東京科学大学 環境社会理工学院 大学院生
*2 東京科学大学 准教授・博士 (工学)
*3 東京ガスネットワーク株式会社 博士 (工学)

Graduate Student Institute of Science Tokyo *1
Associate Professor, Institute of Science Tokyo, Dr. Eng. *2
Tokyo Gas Network Co., Ltd, Dr. Eng. *3