

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	振動台実験を用いたガスメーターの感震遮断性能の評価
Title(English)	Evaluation of seismic shutoff performance of gas meters using shaking table experiment
著者(和文)	久田翔俊, 佐藤大樹, Alex Shegay
Authors(English)	Takatoshi Hisada, Daiki Sato, Aleksey Vadimovich Shegay
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 337-340
Citation(English)	, , , pp. 337-340
発行日 / Pub. date	2022, 3

振動台実験を用いたガスメーターの感震遮断性能の評価

構造—振動

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

被災建築物応急危険度判定 ガスメーター
振動台実験 時刻歴応答解析 震度

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り。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。地震が発生した後も建物内にとどまるためには、建物の健全性の把握が必要不可欠である。建物の損傷を評価する方法として、人命にかかわるような二次災害を防止する目的で、被災した建物を調査し、その後に発生する余震などによる建物の倒壊や落下物などの危険性を判定する被災建築物応急危険度判定がある²⁾。しかし、通常、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り、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。

図1に示すような現行普及しているガスメーターに搭載される感震器の遮断機能は、震度5相当以上で作動するように設計されており、図2に示すように振動を受けた剛体球の移動によるプレートとのON/OFF信号により地震を判定している³⁾。本報では、そのようなガスメーターを簡易的な被災建築物応急危険度判定に活用することを想定し、正弦波および建物モデルの地震応答解析から得られる応答波を用いた振動台実験の結果からガスメーターの感震遮断性能を把握する。



図1 ガスメーター

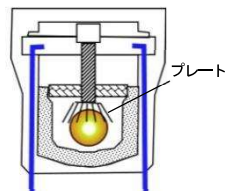


図2 感震遮断機能

2 正弦波での実験

図3のようにガスメーターを設置したときを、加振角度 0° とする。振動台に設置した加速度計で得られた加速度データから

ガスメーターの遮断加速度の推定をする。また、実験に用いるガスメーターは3つ（それぞれ No.1, No.2, No.3）である。4種類の周期（0.3s, 0.5s, 0.7s, 1.0s）で1周期に 1cm/s^2 ずつ漸増する正弦波を作成し、1つのガスメーターにつき50回の加振を行う。遮断したサイクル数を記録し、そのサイクルにおける最大値を遮断加速度とする（図4）。

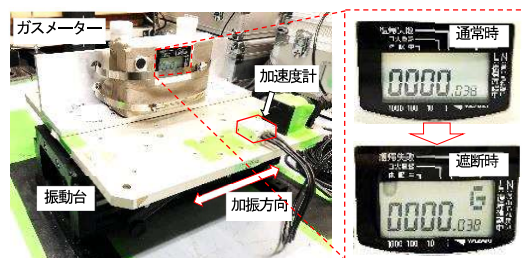
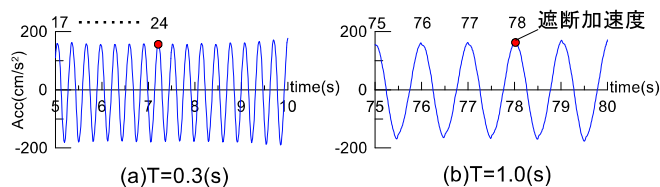
図3 実験概要（加振角度 0° ）

図4 遮断加速度の推定方法

図5、図6にそれぞれすべての周期の正弦波におけるガスメーターごとの遮断加速度の確率密度と累積分布を、図7、表1にそれぞれに各周期における3つのガスメーターの平均の遮断加速度の累積分布と各周期の遮断加速度の平均と標準偏差を示す。図5、図6、図7、表1より正弦波での加振時においては、ガスメーターは設計通り $150\sim 250\text{cm/s}^2$ の加速度が感知された場合に全数遮断するとともに³⁾、遮断加速度のガスメーターごとの個体差および正弦波の周期の違いによる影響は小さいことがわかる。

3 建物の地震応答解析による実験用入力波の導出

ランダム波での実験には、建物モデルの地震応答解析から得られた応答加速度波形を用いる。本解析には構造計算プログラムであるRESP-Dを用いる。

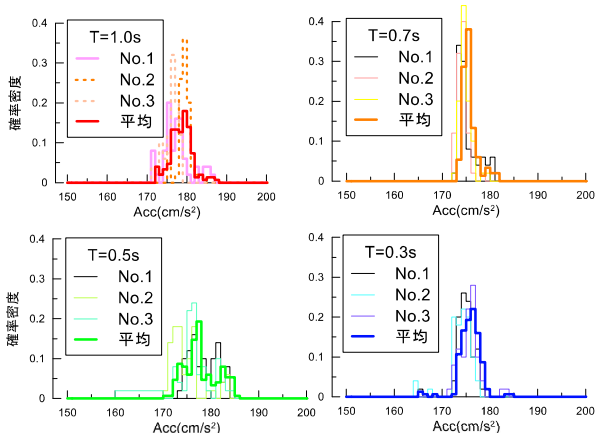


図5 個体ごとの遮断加速度の確率密度

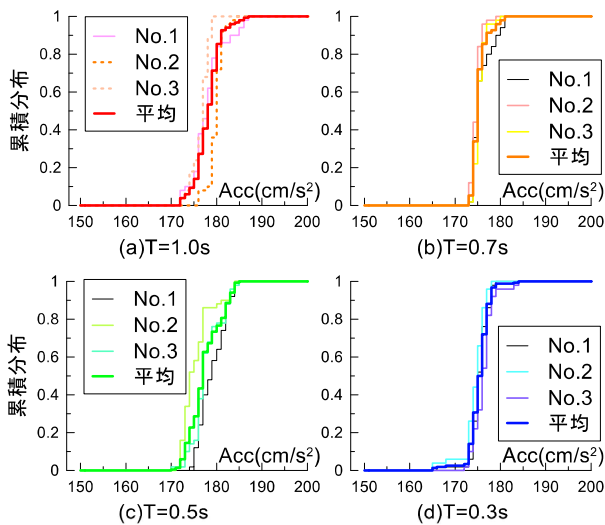


図6 個体ごとの遮断加速度の累積分布

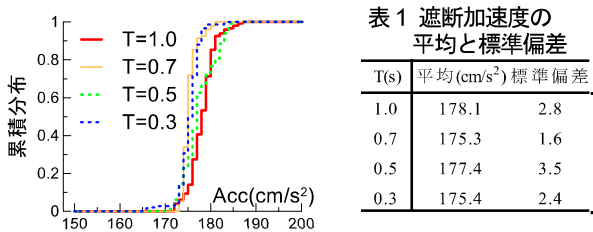


図7 周期ごとの比較

表1 遮断加速度の平均と標準偏差

T(s)	平均 (cm/s ²)	標準偏差
1.0	178.1	2.8
0.7	175.3	1.6
0.5	177.4	3.5
0.3	175.4	2.4

3.1 建物モデル概要⁴⁾

建物モデルは、地上14階、高さ43.7mの共同住宅を想定した14層RC造建物とする。図8に建物モデルの軸組図と基準階伏図を示す。柱はファイバーモデル、梁は材端剛塑性ばねモデル、耐震壁は間柱部分にファイバーモデルとしてモデル化した。また、バルコニーや開口部もモデル化した。X方向を解析対象とし、建物モデルのX方向の1次固有周期は0.84秒である。構造減衰は減衰定数 $\zeta=0.02$ の瞬間剛性比例型とする。

図9に建物モデルの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9の各層の最初の折れ点がひび割れ、第二折れ点が鉄筋の降伏である。

3.2 入力地震動概要

入力地震動は、気象庁で公開されている強震波形データのう

ち最も震度大きい地点での震度が6弱以上の33の地震動を対象として選定する。式(1)より地震動の周期を評価し⁵⁾、地震動の周期が長いもの、建物モデルのX方向の1次固有周期に近いもの、短いもの(以降、それぞれ長周期モデル、1次固有周期モデル、短周期モデル)をそれぞれ2つずつ選ぶ。

$$T_{eq} = 2\pi \frac{PGV}{PGA} \quad (1)$$

ここで、 PGA :地震動の最大加速度、 PGV :地震動の最大速度である。

選んだ地震動のNS成分とEW成分を建物モデルの最上階の応答震度が5強程度となるように倍率を変更し、建物モデルに入力する(表2)。なお、解析時間刻みは、 $\Delta t=0.01s$ とする。

図10に入力地震動の減衰定数5%における速度応答スペクトルを示す。図10より各タイプの地震動で卓越周期に違いがあることが分かる。

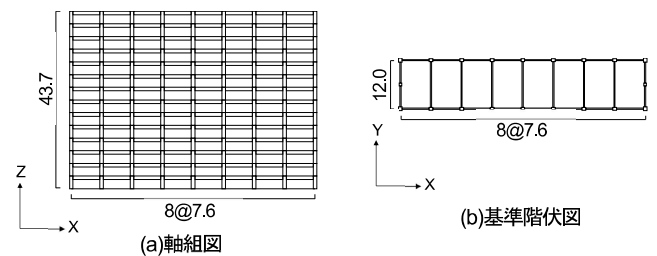


図8 建物モデル概要(単位:m)

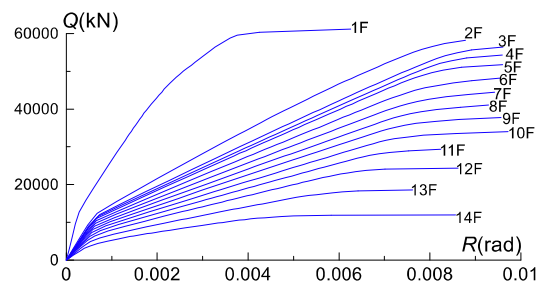


図9 静的増分解析

表2 入力地震動概要⁶⁾

タイプ	名称	地震動	観測点名	方向	倍率	地震震度	14層 応答震度
長周期	L1	熊本県熊本地方地震 (2016年4月16日)	熊本県益城町宮園	NS	0.1	4.2	5.5
	L2			EW	0.08	4.5	5.4
	L3	能登半島地震 (2007年)	石川県輪島市鳳至町	NS	0.15	4.3	5.3
	L4			EW	0.15	4.3	5.3
1次固有周期	F1	兵庫県南部地震 (1995年)	兵庫県神戸中央区中山手	NS	0.08	4.0	5.2
	F2			EW	0.1	4.1	5.3
	F3	茨城県北部地震 (2016年)	茨城県高萩市下手綱	NS	0.3	4.1	5.3
	F4			EW	0.2	4.0	5.2
短周期	S1	福島県浜通り地震 (2011年4月11日)	福島県中島村潜津	NS	0.7	4.7	5.3
	S2			EW	0.6	5.2	5.2
	S3	淡路島付近地震 (2013年)	茨城県高萩市下手綱	NS	0.3	4.1	5.3
	S4			EW	0.2	4.0	5.2

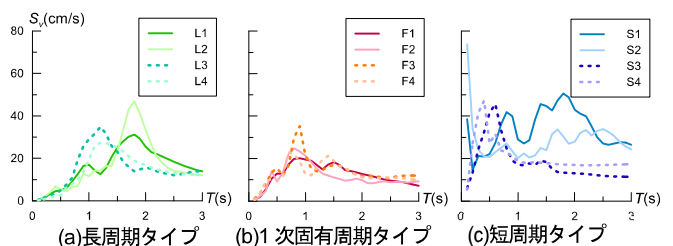


図10 速度応答スペクトル($h=5\%$)

3.3 解析結果

図 11 に各地震動を入力した際の層間変形角 R 、最大応答加速度 Acc の高さ方向分布を示す。図 11(a) に示す層間変形角の高さ方向分布より、長周期タイプと 1 次固有周期タイプの地震動では下層部で最大変形が生じているが、短周期タイプでは 11 層付近でも応答が増大している地震動が多いことが分かる。また、図 11(b) に示す最大加速度の高さ方向分布より、短周期タイプの地震動では、ほかのタイプの地震動と比較してほぼすべての層で加速度が大きいことが分かる。

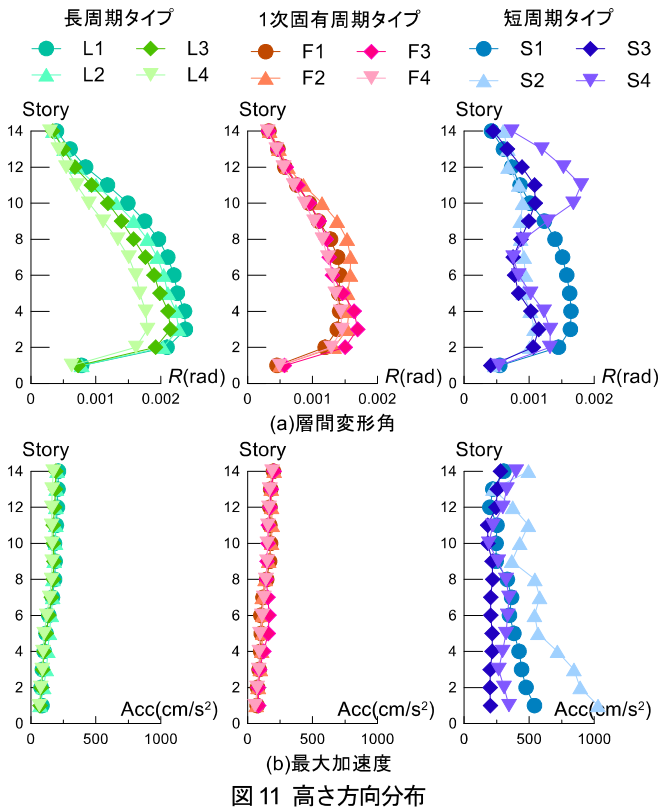


図 11 高さ方向分布

4 ランダム波（地震応答加速度波）での実験

3 章より得られた各地震動における最上階の応答加速度波（以降、ランダム波）を用いて 1 つのガスメーターにつき 10 回の加振を行う。ほぼリアルタイムに加速度計で計測された加速度波形が表示される画面とガスメーターを動画で撮影し、遮断加速度を推定する。撮影画面を図 12 に示す。正弦波 1 周期の波を入力したところ、振動台に出力されてから加速度計で計測された加速度波形が画面に表示されるまでは、およそ 0.2 秒から 0.3 秒後であることを確認している。そのため、動画上でガスの遮断が確認されたタイミングから 0.3 秒後までの最大加速度を遮断加速度としている（図 13）。

図 14 に入力波ごとの 30 回加振したうちの遮断率を示す。図 14 より、長周期タイプの地震動の応答波では遮断有無の境界の震度であるため、遮断率が低い値となったが、他のタイプの地震動の応答波ではいずれも高い遮断率であることが確認できた。正弦波では見られない振動の特性がガスメーターの遮断性

能に影響していると考えられ、短周期成分が多いランダム波ほど剛体球の ON/OFF 信号の切り替わりが多く、ガスメーターが遮断しやすいと考えられる。

図 15 に入力波ごとの遮断加速度の累積分布を示す。図 15 よりランダム波加振では、ガスメーターが遮断する加速度は正弦波加振時と比較してばらつきが大きいことがわかる。

図 16 に短周期タイプの入力波の感震遮断のタイミングを示した加速度波形を示す。図 16 の S2 では、最大加速度を観測したタイミング以降で感震遮断する場合が見られたことから、加速度が大きくても周期が極端に小さい振動では、加速度の大きさだけで遮断するタイミングが決まるものではないと考えられる。また、短周期タイプの地震動の応答波に示されるように、短周期成分が多く、加速度波形のピークが多い振動では、S3 や S4 など遮断したタイミングのばらつきが小さい場合でも、それ

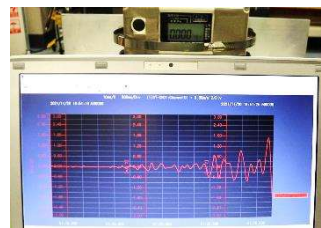


図 12 撮影画面

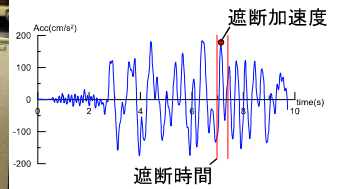


図 13 遮断加速度の推定方法

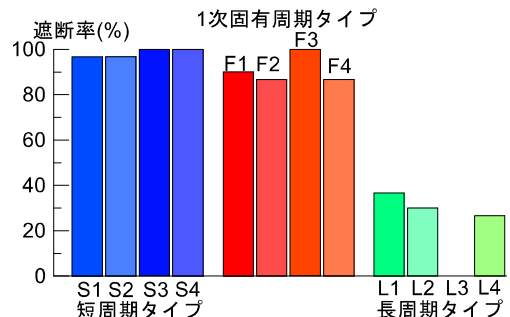


図 14 ランダム波ごとの遮断率

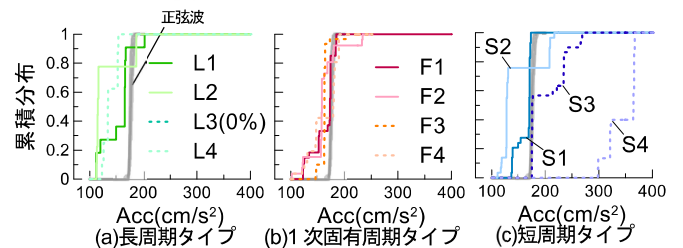


図 15 ランダム波加振における遮断加速度の累積分布

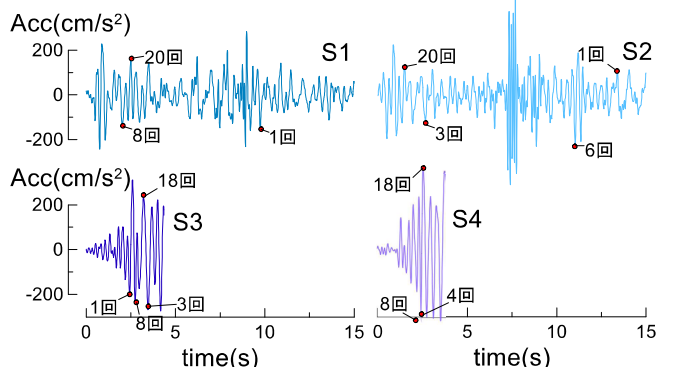


図 16 短周期タイプのガスメーターの感震遮断のタイミング

それぞれのタイミングでの加速度にばらつきが大きいため、遮断加速度のばらつきが大きくなったことがわかる。

5 加振角度を変えた場合の検証

入力地震動のタイプが異なる3つのランダム波 (L1, F1, S1) を用いて、図 17 に示すように、加振方向に対するガスメーターの設置角度を 45°回転させた実験を行う。

図 18 にガスメーターの設置角度が 0°と 45°の場合の遮断加速度の累積分布の比較図を示す。図 18 より、加振角度による遮断加速度の累積分布に大きな差は見られない。

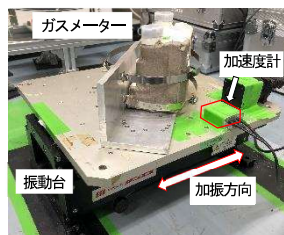


図 17 実験概要 (加振角度 45°)

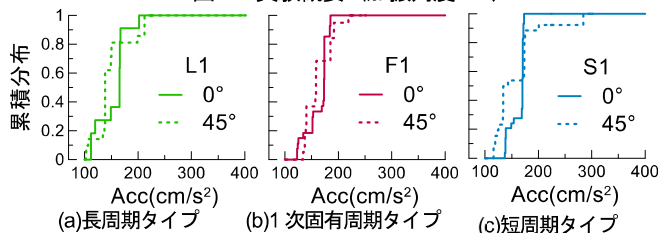


図 18 加振角度による遮断加速度の累積分布の比較

6 遮断速度での評価

図 19(a)に各周期の正弦波における3つのガスメーターの平均の遮断加速度の累積分布を、図 19(b), (c), (d)にそれぞれのタイプの地震動の入力波ごとの遮断速度の累積分布を正弦波の遮断速度の累積分布と比較した図を示す。

2章に示した正弦波での実験の結果より、遮断加速度の正弦波の周期による影響は小さいため、遮断速度で評価すると図 19(a)のように正弦波の周期ごとにばらつきが出るがわかる。

図 19(b), (c), (d)より、すべてのランダム波の遮断速度の累積分布は、おおむね周期 0.3 秒から 1.0 秒の正弦波の遮断速度の累積分布の間に入っていることがわかる。また、図 15 に示した入力波ごとの遮断加速度の累積分布では、一つのランダム波でも遮断したタイミングで遮断加速度に大きなばらつきがあるが、遮断速度の累積分布では一つのランダム波でばらつきは小さく評価しやすい形になっているといえる。

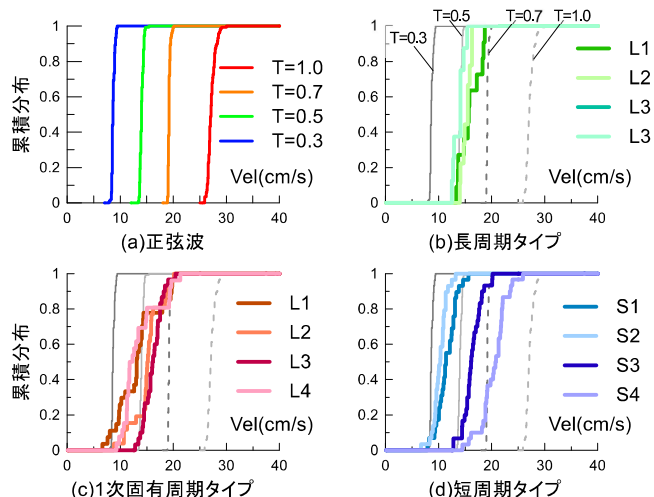


図 19 遮断速度の累積分布

7 まとめ

本報では、振動台実験を用いたガスメーターの感震遮断性能の評価についての検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 正弦波加振では、遮断加速度の正弦波の周期による影響は小さい。
- (2) ランダム波加振では正弦波加振と比較すると、遮断加速度のばらつきが大きく、振動の特徴の違いがガスメーターの感震遮断性能に影響すると考えられる。
- (3) ガスメーターの感震遮断性能の加振角度の違いによる影響は小さい。
- (4) ガスメーターの遮断速度で評価すると、正弦波ではばらつきが出るが、すべてのランダム波の遮断速度の累積分布はおおむね周期が 0.3 秒から 1.0 秒の正弦波の遮断速度の累積分布の間に入り、遮断加速度で評価したときと比較してばらつきが小さい。

今後は、各層のガスメーターの感震遮断率と建物被害を関連付けた簡易的な被災建築物応急危険度判定についての検討を行う。

参考文献

- 1) 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
- 2) 茂木竜一: 被災建築物応急危険度判定について, コラボ:地下からのサイン測ろうかい会報:カードス会報, Vol.5, pp.32-34, 2019
- 3) 東京ガス HP: <https://home.tokyo-gas.co.jp> (2021.12.03 参照)
- 4) 財団法人 日本建築防災協会『構造設計・部材断面事例集』, 2007
- 5) 矢野嘉久, 丸山喜久, 山崎文雄, 山内亜希子, 菜花健一: 振動台実験と実地震データに基づくマイコンメーター遮断特性の評価, 土木学会論文集 A, pp.248-257, 2008.4
- 6) 気象庁: 強震観測データ
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html> (2021.11.04 参照)

*1 東京工業大学環境・社会理工学院 学部長
*2 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学)
*3 東京工業大学未来産業技術研究所 助教 Ph.D

Undergraduate Student, School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology
Associate Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng
Assistant Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Ph.D