

トグル制震建物の地震応答 —地震観測と時刻歴応答解析—

Seismic Behavior on Buildings Having a Toggle Bracing System
- Seismic Observation and Seismic Response Analysis -

吉川 清峰^{*1} 長塚 典和^{*1} 鈴木 武志^{*1}
Kiyomine Yoshikawa Norikazu Nagatsuka Takeshi Suzumura
前川 康雄^{*1} 妹尾 嘉章^{*1}
Yasuo Maekawa Yoshiaki Senoo

【要旨】

トグル制震を適用した2棟の建物（鉄骨鉄筋コンクリート造耐震補強、鉄骨造新築）の地震応答を地震観測により測定し、時刻歴応答解析との比較を行うことで、トグル制震建物の地震応答の検証を行った。解析波形は観測波形を追跡できており、トグル制震建物の解析手法の妥当性を実証した。またトグル制震がない場合の応答と比較し、トグル制震の制震効果を確認した。検証に用いたサンプルが少ないことから、さらなるデータの蓄積が必要である。

【キーワード】 トグル制震 地震観測 時刻歴応答解析

1. はじめに

これまでの要素実験¹⁾の蓄積によって構成されている、トグル制震建物の解析手法の妥当性を実証し、設計精度を向上させる目的で、トグル制震建物の地震応答を検証する。具体的には、トグル制震を適用した実際の建物の応答を地震観測により測定し、時刻歴応答解析との比較を行う。またトグル制震がない場合の解析と比較することにより、トグル制震の制震効果を確認する。

2. 建物概要

地震観測を実施している2棟の建物を検証対象とする。建物概要を表-1に示す。H大学総合研究棟はSRC造の耐震補強建物であり、桁行方向にのみトグル制震装置を設置している。F新聞社本館棟は新築のS造建物である。

表-2に地震観測の概要を示す。どちらの建物とも1階と最上階または屋上階に地震計を設置しており、それぞれ3成分の測定が可能である。

3. 地震概要

H大学総合研究棟では2006年6月12日に発生した大分県中部の地震を、F新聞社本館棟では2007年3月25日に発生した平成19年能登半島地震をそれぞれ観測した。

発生した地震の諸元を表-3に、当該建物の地震計で観測した地震動の概要を表-4に示す。H大学総合研究棟で記録した地震動は計測震度4.0、F新聞社本館棟で記録した地震動は計測震度3.2であった。

表-1 建物概要

建物名称	H大学総合研究棟		F新聞社本館棟	
	桁行(東西*)	張間(南北*)	桁行(東西*)	張間(南北*)
構造	SRC造		S造	
階数	地上7階		地上9階、塔屋1階	
建築面積	1,335.27m ²		2,982.444m ²	
延床面積	10,475.42m ²		12,282.874m ²	
全長(スパン数)	90.0m(15)	13.7m(2)	64.0m(10)	26.0m(3)
架構形式	ラーメン構造	耐震壁併用 ラーメン構造	ラーメン構造	ラーメン構造
トグル設置基数	100基	0基	20基	22基
新築/改修	耐震改修		新築	
竣工(新築時)	2003年12月(1968年)		2001年10月	

* 建物の軸を基準にした便宜的な方位であり、実際の方位とは異なる。

表-2 地震観測概要

建物名称	H大学総合研究棟	F新聞社本館棟
地震計設置箇所	1階、7階	1階、R階(10階)
地震計測定成分	3成分 (東西*, 南北*, 上下方向)	3成分 (東西*, 南北*, 上下方向)

* 建物の軸(桁行、張間)を基準にした方位であり、実際の方位とは異なる。

それぞれの建物の、1階の地震計で記録した加速度波形を図-1に示す。またそれらの応答スペクトルを図-2に示す。H大学総合研究棟で記録した地震動は、1秒以下の周期が卓越しており、加速度は大きい減衰が大きく

継続時間が短い。一方F新聞社本館棟で記録した地震動は、1秒から2秒の周期が卓越しており、加速度は小さい減衰が小さく継続時間が長い。

表-3 地震の諸元²⁾

建物名称	H大学総合研究棟	F新聞社本館棟
地震の名称	(大分県中部の地震)	平成19年能登半島地震
発生時刻	2006年6月12日 5時01分	2007年3月25日 9時42分
震央	大分県中部	石川県輪島市の南西約 30km
震源の深さ	146km	11km
マグニチュード	M6.2	M6.9

表-4 観測した地震動の概要

建物名称	H大学総合研究棟			F新聞社本館棟		
震央からの距離	165km			130km		
計測震度	4.0			3.2		
最大加速度(cm/s ²)	東西 方向	南北 方向	上下 方向	東西 方向	南北 方向	上下 方向
建物上部(7階、R階)	239.0	107.5	35.5	67.6	55.7	26.4
1階	105.0	62.0	29.0	24.1	23.2	10.5

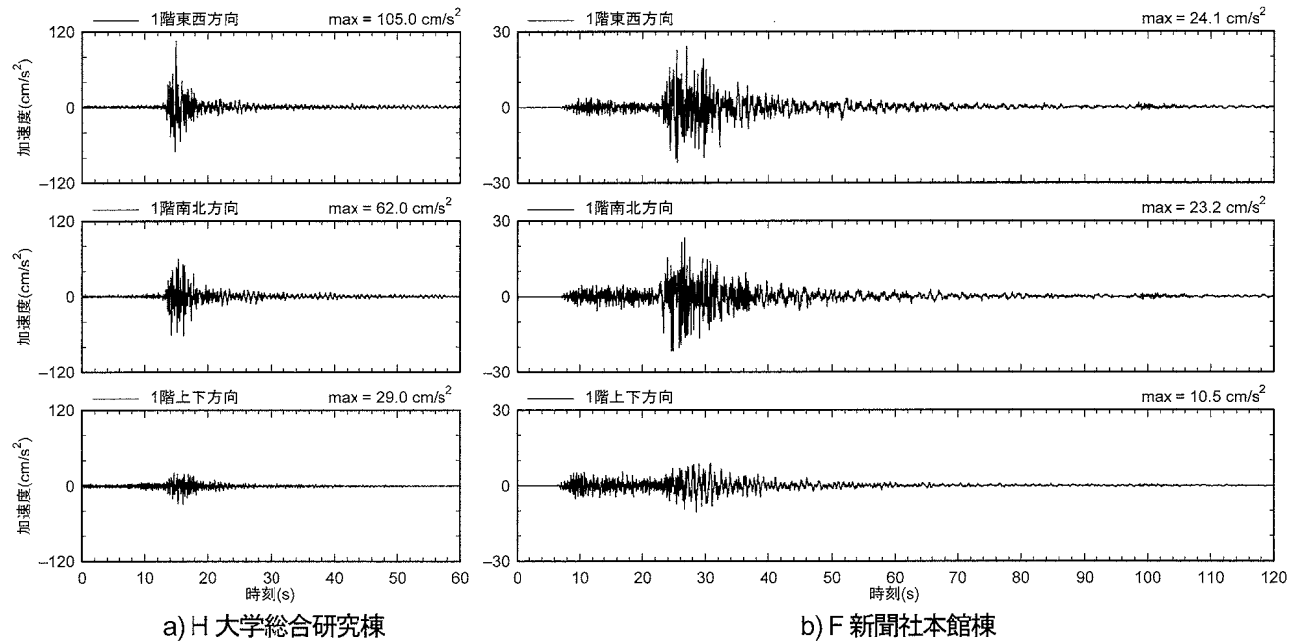


図-1 観測した地震動の加速度波形

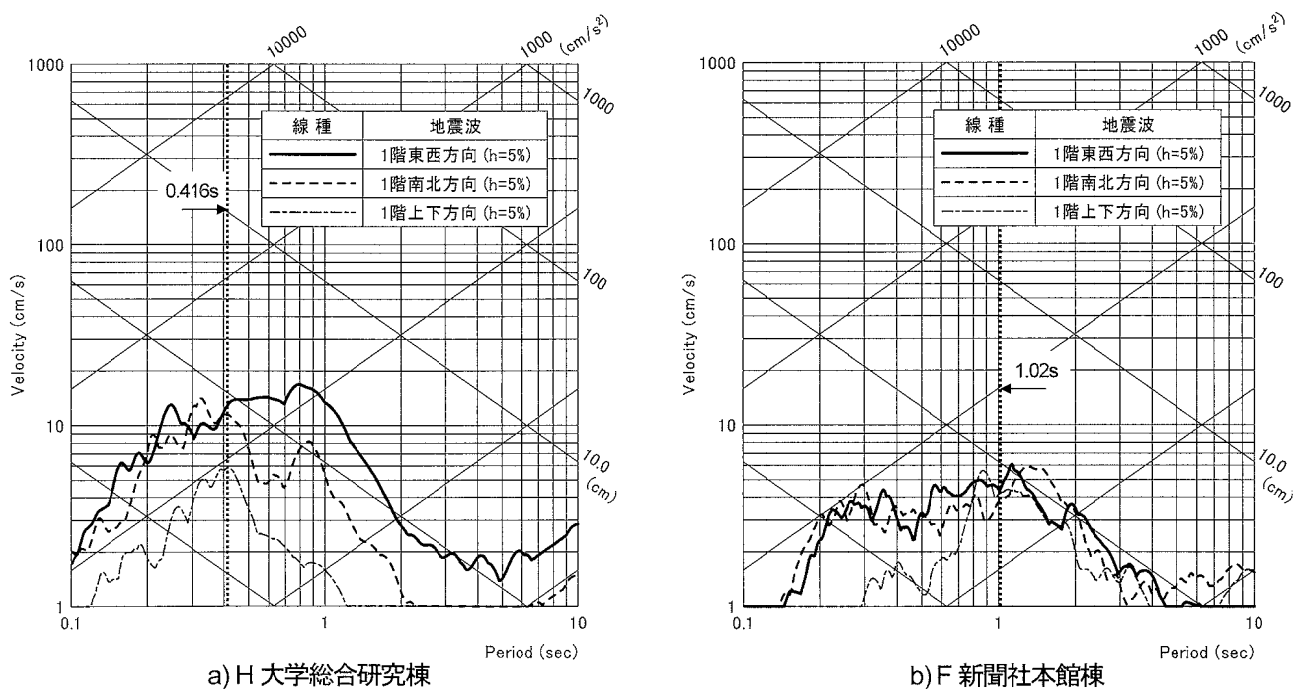


図-2 観測した地震動の応答スペクトル

4. 地震応答

4.1 解析モデル

時刻歴応答解析に用いる解析モデルは、それぞれ建物設計時に用いたモデルであり、表-5に示すようにH大学総合研究棟は桁行方向のみをモデル化した質点モデル、F新聞社本館棟は立体モデルである。

表-5 解析モデル

建物名称	H大学総合研究棟	F新聞社本館棟
解析モデル	質点モデル (桁行方向)	立体モデル
1次固有周期(s)	桁行 (東西) 方向	桁行 (東西) 方向
設計時	0.428	1.18
実測値 (伝達関数)	0.416	1.02
補正後 (重量補正)	0.416	1.03
減衰定数 (構造減衰)	3%	1%
解析ケース	トグル制震あり, トグル制震なし	

固有周期は設計時に求めているが、中小地震時には2次部材の剛性が寄与することや、積載荷重が設計荷重に満たない状態で使用されていることなどから、実際の固有周期は設計時より短くなる傾向がある。そこで一般観測した1階(図-1)及び建物上部の地震動記録(加速度時刻歴)から伝達関数(図-3)を求め、その卓越周期により1次固有周期の実測値を求めた。

この実測値に合致するよう、各層一率の値を設計時の重量に乗じて補正した。図-2の応答スペクトルには1次固有周期の実測値をプロットした。

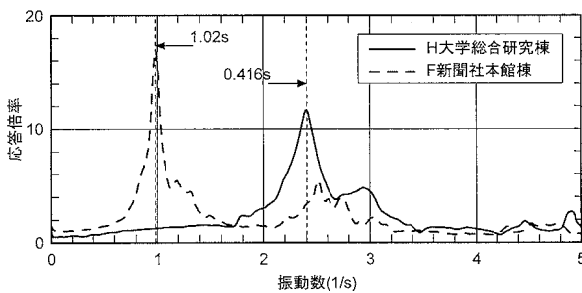


図-3 伝達関数

伝達関数から求めた減衰定数は、H大学総合研究棟が3.8%、F新聞社本館棟が1.8%であった。これらにはトグル制震による減衰が含まれており、構造減衰としてはそれぞれ3%、1%と仮定した。

解析は、トグル制震の制震効果を確認するために、トグル制震の有無で2つのケースを行う。

H大学総合研究棟の解析モデルである質点モデルの模式図を図-4に示す。ただし1層分のみを示している。

トグル制震建物の質点モデルは、建物の質点モデルと並列にトグルを組み込んだフレームを配置する。これらは剛床で接続する。曲げ変形による柱の伸縮やトグル腕の伸縮など、ダンパーに伝わる変形を吸収してしまう要素があり、減衰を過大評価しないために周辺部材の軸剛性を考慮し、トグル腕の荷重-変形曲線は端部のピンのギャップを考慮したスリップモデルとする。またオイルダンパーはマクスウェルモデルにモデル化する。

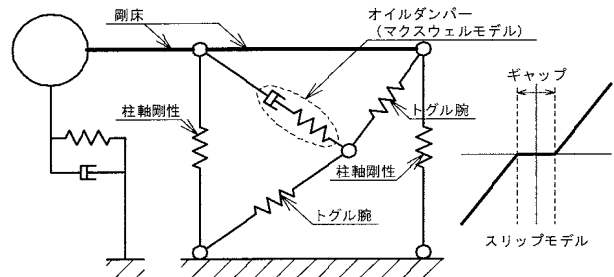


図-4 質点モデル

4.2 入力地震動

時刻歴応答解析に用いる入力地震動を表-6に示す。建物上部の地震計で観測した応答との比較を行うために、地震動の大きさは観測原波そのものとする。入力地震動の方向は、解析モデルに照応して、H大学総合研究棟では東西方向成分のみの1方向入力、F新聞社本館棟では全成分3方向入力とする。

表-6 入力地震動

建物名称	H大学総合研究棟	F新聞社本館棟
入力地震動の方向	1方向 (東西)	3方向 (東西, 南北, 上下)
入力地震動の大きさ (最大速度)	7.8cm/s (観測原波)	2.9cm/s (観測原波)

* 最大速度は、入力地震動の方向成分を合成したベクトル和であり、周期10s、減衰定数70.71%の1質点振り子の応答値として算出した。

4.3 解析結果

F新聞社本館棟は、桁行(東西)方向、張間(南北)方向ともトグル制震装置を設置しており、立体解析を行っているが、ここでは桁行(東西)方向のみを示す。

時刻歴応答解析による応答加速度と地震計で観測した応答加速度を図-5に示す。H大学総合研究棟、F新聞社本館棟とも、トグル制震ありの場合の解析波形は観測波形を追跡しており、トグル制震建物の解析モデルは概ね妥当なものであると言える。これら2波形をトグル制震なしの場合の解析波形と比較すると、大きな揺れの前半部分では3波形とも見分けが付きませんが、後半から収束過程にかけては減衰の効果により応答を低減していることが確認できる。

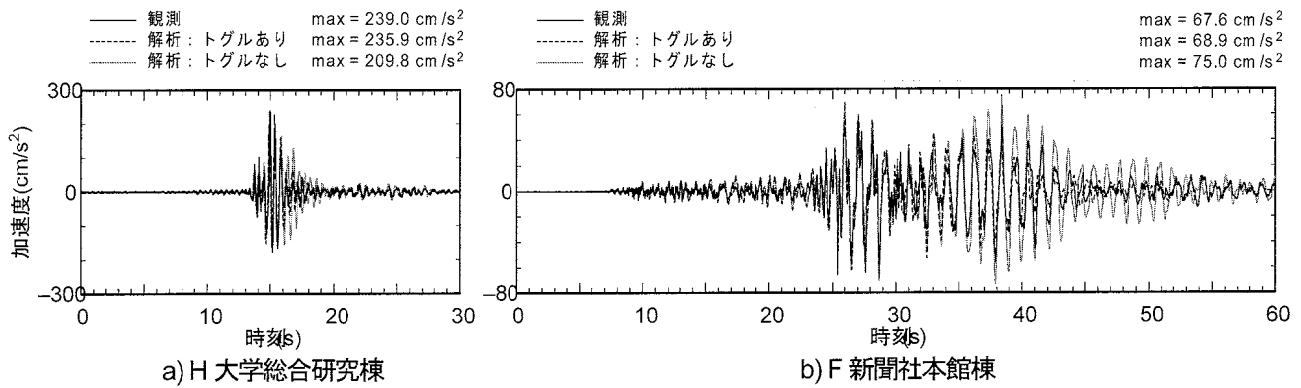
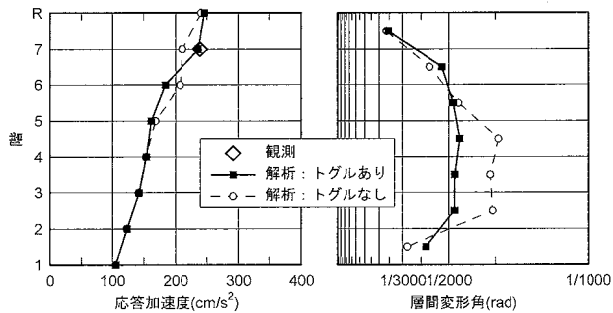
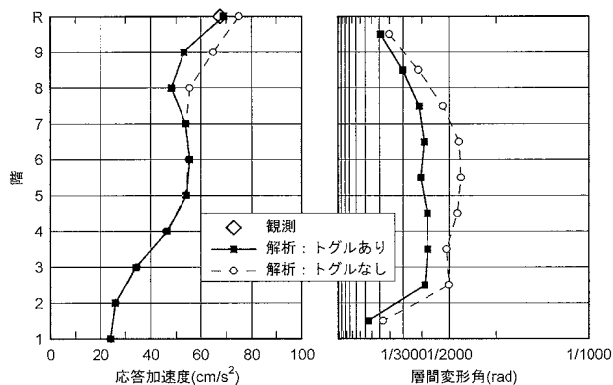


図-5 応答加速度波形

図-6と図-7に各階の最大応答値を示す。最大応答加速度はトグル制震の有無でほとんど差が見られない。最大層間変形角は1/1000以下と微小であるが、トグル制震ありとすることで、応答の大きな階の最大層間変形角を約2割低減している。



a) 最大応答加速度 b) 最大層間変形角
図-6 H 大学総合研究棟



a) 最大応答加速度 b) 最大層間変形角
図-7 F 新聞社本館棟

5. まとめ

トグル制震を適用した実際の建物の応答を地震観測により測定し、時刻歴応答解析との比較を行うことで、トグル制震建物の地震応答を検証した。

- 1) 時刻歴応答解析による応答加速度波形は観測波形を追跡しており、トグル制震建物の解析モデルは概ね妥当なものであることを確認した。
- 2) トグル制震により、応答加速度並びに層間変形角を低減させていることを確認した。

本報ではトグル制震建物の地震応答の検証を行ったが、検証に用いた建物は2棟であり、地震動も各1波のみであった。より一般性の高い検証や合理的な設計を行うには、様々な建物と地震動に対する検証が求められる。今後地震観測を拡大し、さらにデータを蓄積していくことが重要である。

謝辞：地震動記録の収集に際しましては、広島支店建築事業部営業 G 並びに技術研究所第二研究室の御協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 例えば：久保田雅春, 石丸辰治, 秦一平, トグル制震装置の鉄骨架構におけるエネルギー吸収性能に関する振動実験, 第2回日本制震(振)シンポジウム, 日本学術振興会, 2000年11月
- 2) 気象庁, <http://www.jma.go.jp>

Summary : Seismic responses of two buildings having a Toggle Bracing System were measured by seismic observation and compared with the results of seismic response analysis. The response waveforms by analysis accurately reproduced the response waveforms by observation, proving the validity of the analysis method for buildings furnished with the Toggle Bracing System. The response-controlling effect of the Toggle Bracing System was verified by comparison with the response of the building before installing this system.

Keywords : Toggle Bracing System, seismic observation, seismic response analysis