

# トグル制震装置による揺れ低減効果

## — 新耐震基準建物（鉄骨造）におけるトグル制震装置の採用例 —

### Effectiveness of Dampers Using the Toggle Response Control System Examples of Adoption of Dampers Using the Toggle Response Control System in Steel-framed Buildings Meeting the New Seismic Performance Criteria

松本直樹<sup>\*1</sup> 久保田雅春<sup>\*2</sup>  
Naoki Matsumoto Masaharu Kubota

#### 【要旨】

本報では2011年3月11日東北地方太平洋沖地震で生じた建物の揺れによる恐怖心からテナントの退去が相次いだ新耐震基準以後の鉄骨造のオフィスビルに対し、揺れを低減させ「揺れにくいビル」として付加価値を与えるという側面でトグル制震装置が採用された2つの事例について報告する。

揺れを感じる要素としては様々なものが考えられるが、応答変位の低減を目標に据え、建物利用を極力制限しない設計方針により補強量、配置を決定した。結果としては、応答変位で最大60%の低減効果を得ることができ、更に、変形が弾性範囲に収まりやすい鉄骨造の建物であったため応答速度、応答加速度も最大50%低減される非常に効果的な補強結果を得ることができた。

地震以後、現行基準に適合する建物でも、付加価値として建築基準に定める建物の性能以上に高い安全性が求められるようになってきており、建物の揺れ防止を目的としたトグル制震装置の新たな分野での展開が期待できる。

【キーワード】 トグル制震ブレース 新耐震基準 鉄骨造 揺れ低減

#### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源から遠く離れた東京、神奈川周辺部においても震度5弱から5強の強い揺れが観測された<sup>1)</sup>。

建物が倒壊するといった大きな被害は見られなかったが、継続時間の長い地震、頻繁に起こる余震によって、建物が大きく揺れることへの恐怖心を強く感じた例が多く報告されている<sup>2)</sup>。

本報で取り上げる2つの建物は共に新耐震基準が制定された1981年以降に設計された鉄骨造のオフィスビルである。これら建物は構造的な被害はほとんど無かったが、今回の地震における建物の大きな揺れに不安を感じたテナントの退去希望が多く、事業の継続性に問題を抱えていた案件である。賃貸事業継続のために、「揺れにくいビル」として安全性をアピールしテナントを確保したいという要望から制震構法が選ばれ、その中でも効率的に地震エネルギーを吸収するトグル制震装置が採用されるに至った。

トグル制震装置は増幅機構を有した制震装置であり、その増幅された変位と速度をダンパーに伝えることで、通常使用されるダンパーより、増幅された分だけ地震エネルギーの吸収効率を高めることができる。そのため、効率的に建物に高い減衰を付加し、建物の応答変位を低減させる効果がある。また、繰り返し加振によるダンパーの性能劣化がないため、余震にも対応が可能である。

#### 2. 建物概要

##### 2.1 案件1

案件1の概要を以下に示す。

名称： Mビル  
用途： オフィスビル  
所在： 神奈川県横浜市  
竣工： 1983年（築28年）  
構造： 鉄骨造 地上9階  
延床： 約4000m<sup>2</sup>

被害としては、隣接する高架式の側道との衝突、外壁タイルのひび割れ、剥落が確認された。また、室内の家具の転倒、散乱が多数見られ、地震1ヵ月後にテナント2社が退去している。

図-1にMビルの立体解析モデルを示す。

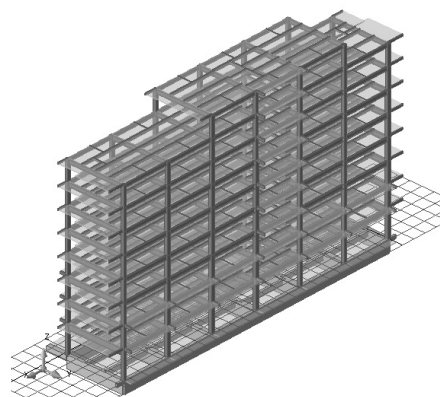


図-1 Mビル立体解析モデル

1. (株)E&CS トグル制震事業部 (前 飛鳥建設株) 建設事業本部 トグル事業部 ) 2. 建設事業本部 トグル事業部

## 2.2 案件 2

案件 2 の概要を以下に示す。

名称： Fビル  
 用途： オフィスビル  
 所在： 東京都大田区  
 竣工： 1993年（築18年）  
 構造： 鉄骨造 地上10階 地下1階  
 延床： 約2500 m<sup>2</sup>

被害としては、隣接する（クリアランス165mm）機械式立体駐車場の建屋と本建物が地震時の揺れにより接触し、外壁の損傷が発生した。他に室内の家具の転倒、散乱が多数確認された。地震後、半数のフロアのテナントが退去している。

図-2にFビルの立体解析モデルを示す。

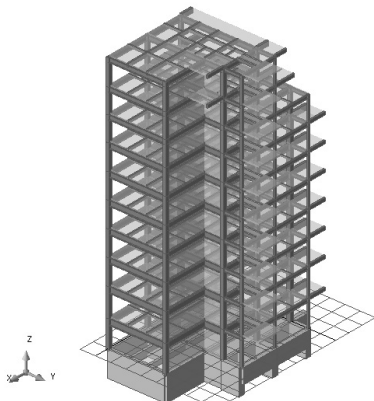


図-2 Fビル立体解析モデル

## 3. 補強方針

### 3.1 設計目標

これまでは、現行基準に適合しない、耐震性能が所定の値を満たしていない建物に対して耐震改修促進法により耐震補強としてトグル制震装置が採用されてきた。

そのため、設計目標としては建物の変形能力に応じた各階の目標層間変形角を定め、地震応答解析により、目標変形角に収まるよう検討を行ってきた。しかし、今回は揺れを低減して「揺れにくいビル」としての付加価値を持たせる目的であるため、新たな設計目標を定める必要があった。

人が揺れを感じる要素としては、変位、加速度、速度と様々なものが考えられるが、隣接建物との接触事例もあったため、応答変位の低減というものを一番優先度の高い目標に据え検討を行うこととした。

### 3.2 入力地震動

装置取付前と取付後での応答変位を立体フレームにおける時刻歴応答解析により比較検討する。検討においては、当時の揺れを再現するため、2011年東北地方太平洋沖地震で防災科学技術研究所の強震ネットワーク<sup>3)</sup>において建物近傍観測点で記録された地震波（EW, NS成分）から、建物の面する方角に対しての変換を行った地震波（X, Y方向成分）にて検討した。

### (1) Mビル入力地震動

図-3に入力地震動の加速度時刻歴を、図-4に加速度応答スペクトルを示す。

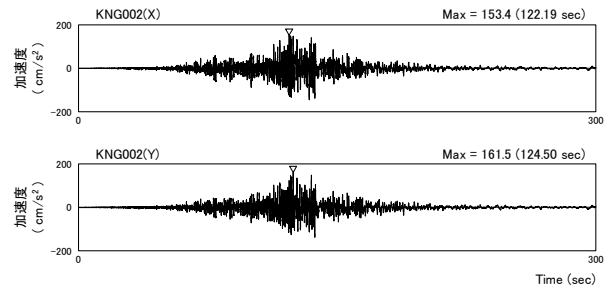
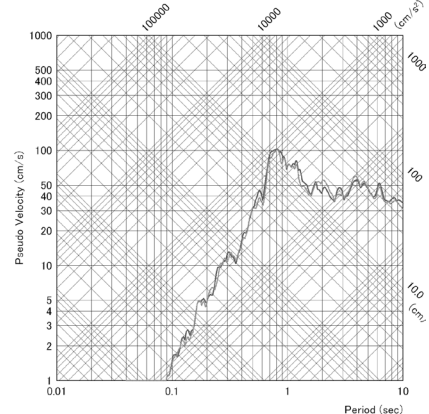


図-3 加速度時刻歴（上：X方向 下：Y方向）



太：X方向地震動 細：Y方向地震動

図-4 加速度応答スペクトル（トリパタイト表示）

### (2) Fビル入力地震動

図-5に入力地震動の加速度時刻歴を、図-6に加速度応答スペクトルを示す。

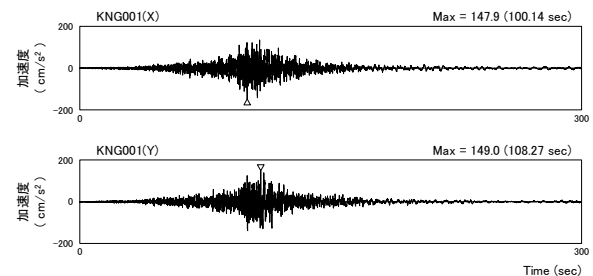
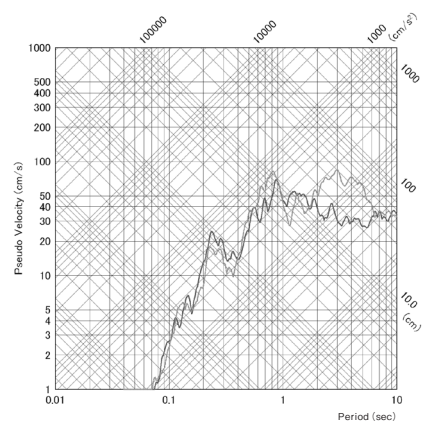


図-5 加速度時刻歴（上：X方向 下：Y方向）



太：X方向地震動 細：Y方向地震動

図-6 加速度応答スペクトル（トリパタイト表示）

## 4. 補強計画と解析結果

### 4.1 Mビル

補強量は、予算と建物の要求性能との比較検討を行った上で決定され、補強位置も建物利用を極力制限しない設計方針により配置を決定した。

なお、補強による既存建物への悪影響を避けるため、柱が高軸力を受ける箇所、ねじれが過大になるような配置は避ける計画とした。

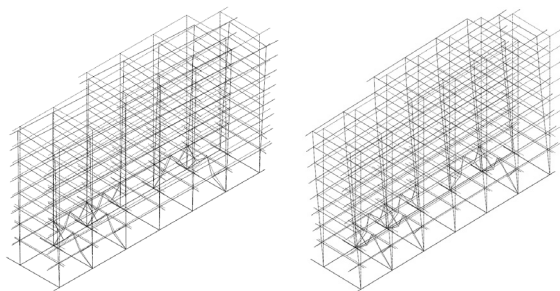
また、フロアの利用上、現状は1階のみしか工事が行えないということで1階に補強した場合(Case1)、テナント入れ替え時に上部階を補強した場合(Case2)で検証を行った。

表-1に補強量を、図-7に固有モード図を、図-8、9にそれぞれのケースについての最大応答変位を示す。なお、すべて建物重心位置での応答結果である。

表-1 Mビル補強量

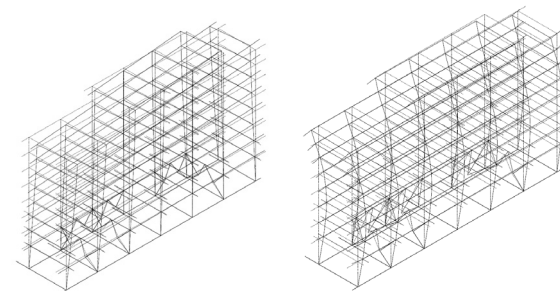
階	Case1		Case2	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
9	---	---	---	---
8	---	---	---	---
7	---	---	1柱1基	---
6	---	---	1柱1基	---
5	---	---	1柱1基	---
4	---	---	1柱1基	---
3	---	---	1柱1基	1柱2基
2	---	---	2柱2基	1柱2基
1	3柱6基	3柱6基	3柱6基	3柱6基

※すべて500kNダンパー



T1=1.250sec

T2=1.243sec



T3=1.178sec

T4=0.468sec

図-7 Mビル 固有モード図

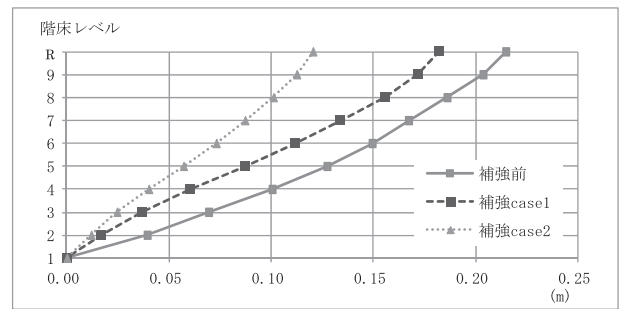


図-8 X方向最大応答変位

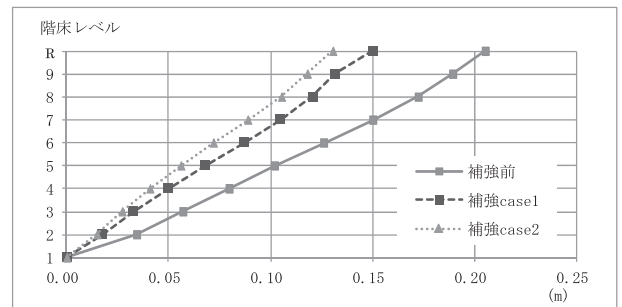


図-9 Y方向最大応答変位

図-10, 11に揺れを一番強く感じると思われる9階(居室階)床レベル重心位置の軌跡と変位履歴を示す。

灰：補強前 黒：補強 (Case1) 白：補強 (Case2)

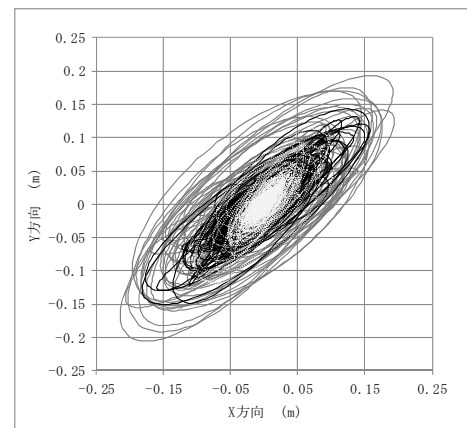


図-10 9階床レベル重心位置軌跡図

灰：補強前 黒：補強 (Case1) 白：補強 (Case2)

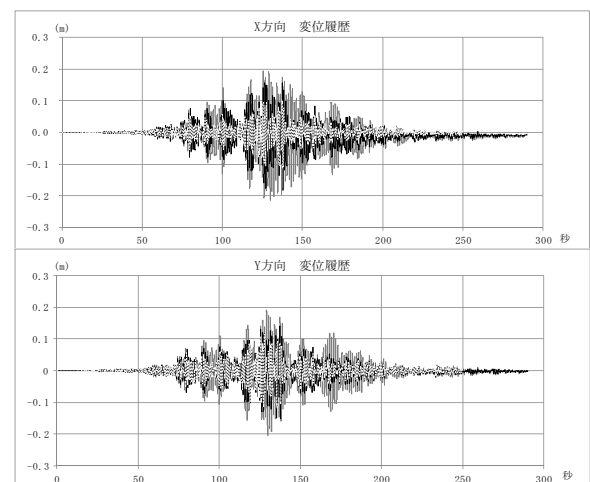


図-11 9階床レベル変位履歴 (上段:X 下段:Y)



各階床レベルにおける応最大答速度と最大応答加速度をそれぞれ図-12, 13に示す。

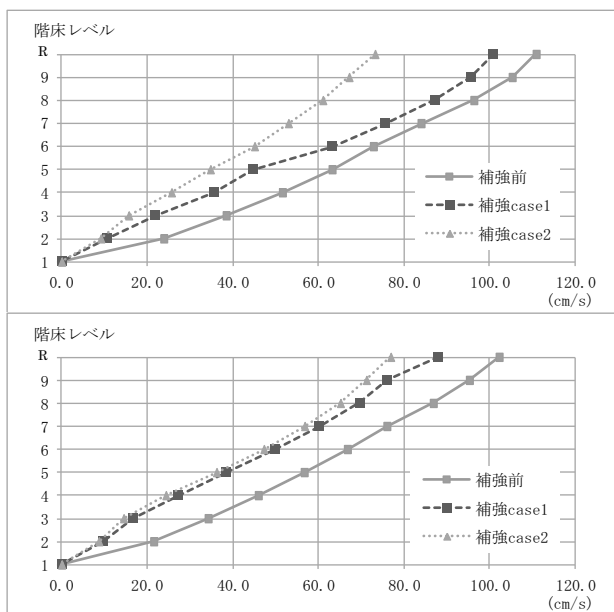


図-12 Mビル最大応答速度 (上段:X 下段:Y)

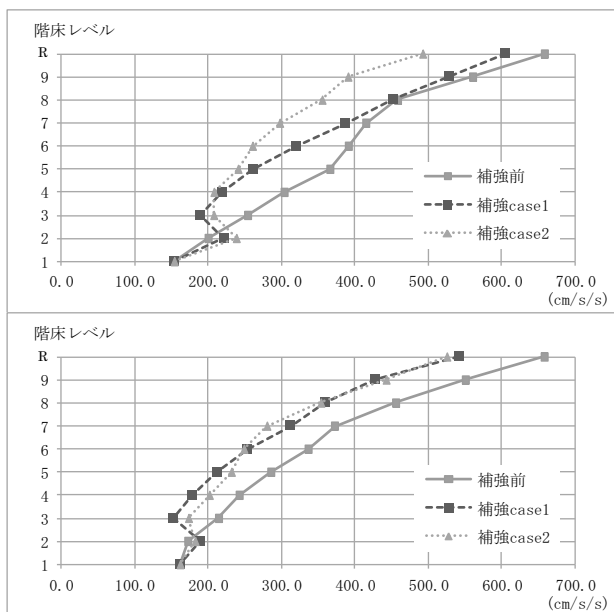


図-13 Mビル最大応答加速度 (上段:X 下段:Y)

9階床レベルにおける応答変位は、1階のみ補強した場合(Case1)について最大で約30%、上部階も補強した場合(Case2)において45%程度の低減効果があった。なお、応答変位は1階床レベルからの相対変位を示している。

なお、層間変形角としては補強前が最大1/100rad程度であり、1階のみの補強だけで1/130rad程度に改善されている。

また、応答速度、応答加速度は補強前よりCase1, Case2共に下がる傾向にあることが見て取れ、部分的な補強であっても他階への影響を生じさせることなく、建物全体の揺れ低減効果に有効であった。

## 4.2 Fビル

配置計画は隣接する立体駐車場建屋(頂部が本体建物8階部分でクリアランスがX方向165mm, Y方向300mm)との接触が生じたことからX方向の変位を低減させることに主眼が置かれている。建物平面プラン上、X方向の補強が建物の片側に限定(反対側はコア部分で設置困難)されてしまうため、Y方向は変位の低減というよりも、ねじれを抑える目的で装置を配置した。

この配置計画も入室しているテナントへの影響が極力少なくなるよう、決定している。

表-2に補強量を、図-14に固有モード図を示す。

表-2 Fビル補強量

	X方向	Y方向
10	—	—
9	—	—
8	1柱1基	—
7	2柱2基	—
6	1柱1基	—
5	—	1柱2基
4	1柱1基	1柱2基
3	—	—
2	1柱1基	—
1	2柱2基	—

※すべて500kNダンパー

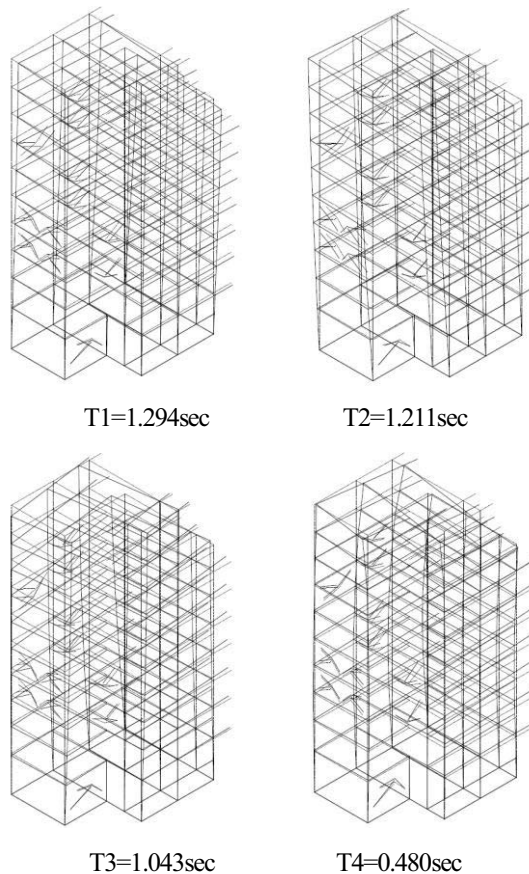


図-14 Fビル 固有モード図

図-15, 16に補強前後についてのX, Y方向各階床レベルの最大応答変位を示す。

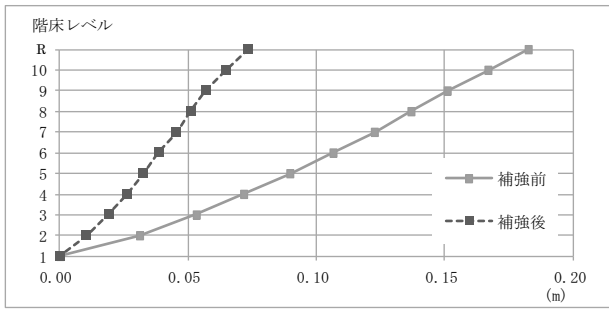


図-15 X方向最大応答変位

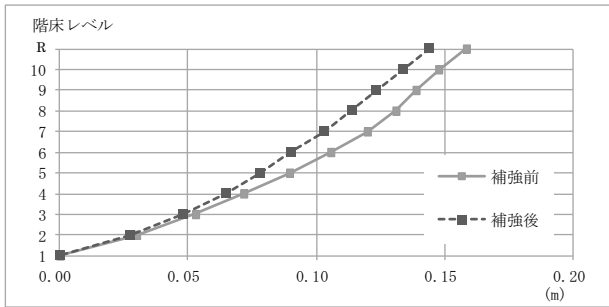


図-16 Y方向最大応答変位

図-17, 18に10階(居室階)の床レベル重心位置の軌跡と変位履歴をそれぞれ示す。なお、灰色は補強前, 黒色は補強後を示す。

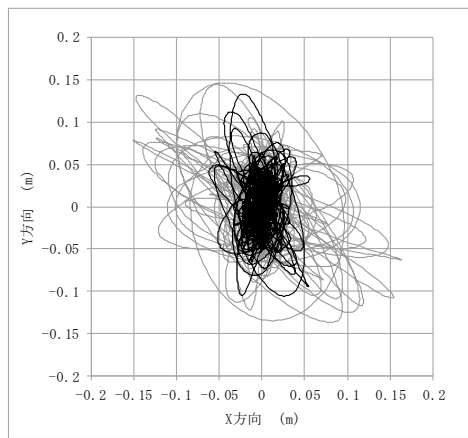


図-17 10階床レベル重心位置軌跡図

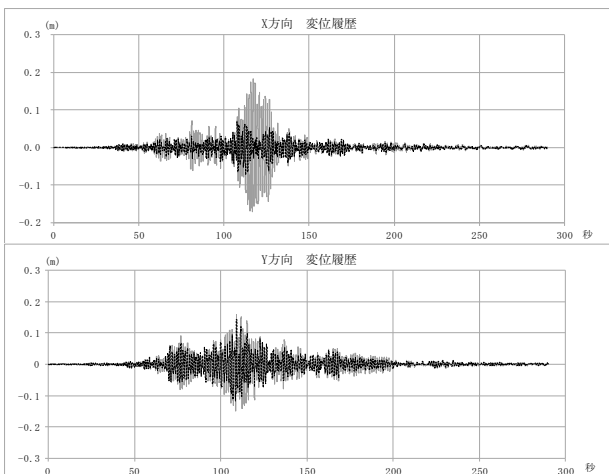


図-18 10階床レベル変位履歴(上段:X 下段:Y)

図-19, 20に各階床レベルにおける最大応答速度と最大応答加速度を示す。

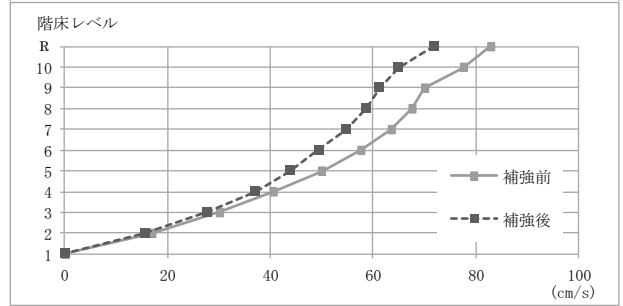
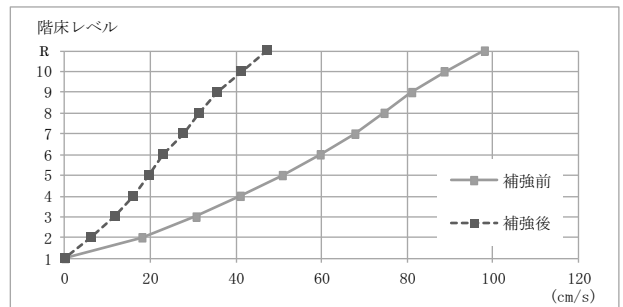


図-19 Fビル最大応答速度(上段:X 下段:Y)

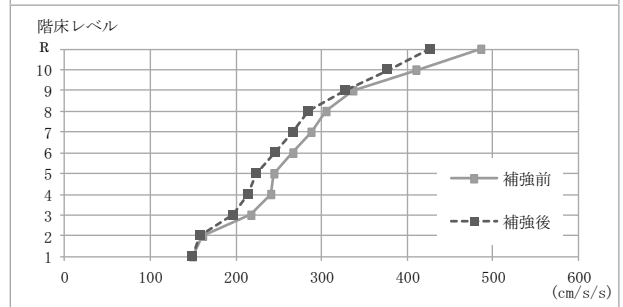
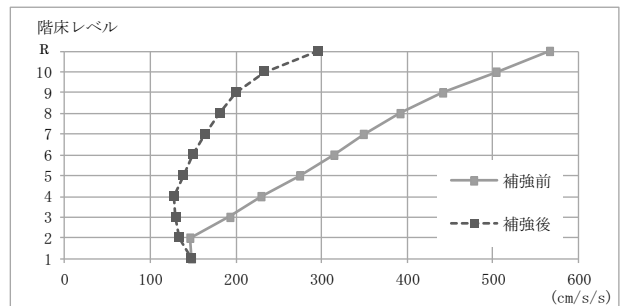


図-20 Fビル最大応答加速度(上段:X 下段:Y)

10階床レベルにおける応答変位は、X方向について、最大60%程度低減され、応答速度、応答加速度とも50%程度低減された結果を得た。

また、あわせて立体駐車場の建屋をモデルに含んだ解析も実施し、補強した場合には、お互いの建物が接触しないことを確認している。

写真-1にMビル, 写真-2にFビルのトグル制震装置取付状況を示す。



写真-1 Mビル装置設置後



写真-2 Fビル装置設置後

## 5. 結論

応答変位の低減として、Mビルについては最大30%（1階のみ補強の場合）、Fビルでは最大60%の低減効果を得ることができた。このことより、補強位置が限定される

運用中のテナントビルのような建物でも、使いながら補強が可能となる部分的な補強により、応答変位の低減を目的とするトグル制震補強が有効に活用できることがわかった。さらに、対象とした建物は、変形が弾性範囲に収まりやすい鉄骨造の建物であるため、応答変位を抑える目的で補強計画を行った建物であるが、Mビルについては最大15%（1階のみ補強の場合）、Fビルでは最大50%程度、速度、加速度共に低減され効果的な補強結果となることがわかった。

以上のように、今回取り上げた新耐震基準の鉄骨造建物へのトグル制震装置による揺れ低減効果は、少ない補強量と制限の多い配置計画ながらも応答変位、更には速度、加速度まで低減され非常に効果的であったと言える。

震災以後、建物の安全性に対する考え方に変化が生じ、現行基準に適合する建物でも、付加価値として建築基準に定める建物の性能以上に高い安全性が求められる風潮が高まってきている。これまでは、現行基準に適合していない建物に対する耐震補強という面でトグル制震装置が多く採用されてきたが、今後は新耐震基準以後の建物の揺れ防止を目的とした新たな分野への展開が期待できる。

## 【参考文献】

- 1) 気象庁：推計震度分布図  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikai\(2012.07.31引用\).](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikai(2012.07.31引用).)
- 2) 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報，2011.
- 3) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク  
[http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin\(2012.07.31引用\).](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin(2012.07.31引用).)

**Summary** The concept of safety of buildings has changed since the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. In the buildings meeting the present building code, safety greater than the building performance specified in the construction standards has been required as a value added. This paper gives two case studies of adoption of toggle-mechanism dampers that reduce seismic vibrations to add the value as a vibration-resistant building.

**Key Words :** Toggle Response Control System, the New Seismic Performance Criteria, Steel-framed Buildings , seismic vibrations