

2009年8月11日の駿河湾の地震における制振建物の地震観測結果

中川太郎 佐々木聡
増田圭司 佐々木康人
鈴木泉 田原健一
石寄仁 *1

概 要

静岡県富士市に建つ極低降伏点鋼パネルを用いた中層鉄骨造制振建物において、2009年8月11日の駿河湾の地震の観測データが得られた。

本建物は周期1秒程度が卓越するやや軟弱な地盤に立地しており、一般の耐震建物では大きな揺れが予想された。

本報では、地震の概要を報告するとともに、地震観測および応答解析結果の検討により得られた建物の制振ダンパーの効果について報告する。

Observations on the effect of vibration-control measures on a building during the August 11th 2009 Suruga Bay earthquake

Abstract

Earthquake performance of a damage tolerant structure equipped with shear-type low-yield steel panel dampers in Fuji City, Shizuoka Prefecture was recorded during the August 11th 2009 Suruga Bay earthquake

This building was built on rather soft ground whose predominant period was approximately 1 second. Had this building been an aseismic structure, strong motion would have occurred.

In this report, an outline of the August 11th 2009 Suruga Bay earthquake, and results of earthquake observation and simulation analysis were shown.

キーワード: 制振建物 地震観測 極低降伏点
鋼パネル 2009年駿河湾の地震

*1 中日本支社

§1. はじめに

2009年8月11日早朝に発生した駿河湾の地震は気象庁マグニチュード $M_j 6.5$ であり、駿河湾沿岸の震源に近い地域において最大震度6弱の揺れを記録した。この地震において、静岡県富士市に建つ、極低降伏点鋼パネルを設置している7階建て鉄骨造制振建物において地震観測記録が得られた^{1),2)}。

本報では、下記の項目を報告する。

- ① K-NET 観測データの駿河湾沿岸の地震
- ② 制振建物の地震観測記録
- ③ シミュレーション解析による制振効果の検証

なお、駿河湾を震源とする地震には、発生が危惧されている東海地震があるが、東海地震はフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界で発生する地震であり、今回発生したのはフィリピン海プレート内部で発生した地震であり発生機構が異なる。

§2. 対象建物概要

2.1 建物概要

建物概要を以下に示し、建物概観を写真1に示す。

名称：ジヤトコ株式会社 本社厚生棟
 場所：静岡県富士市
 構造：鉄骨造(制振構造)
 純ラーメン+極低降伏点鋼パネル
 階数：地上7階、塔屋1階
 竣工：1997年， 用途：事務所
 建築面積：2,446m²， 延床面積：15,633m²
 軒高：23.5m， 最高高さ：29.0m



写真1 対象建物外観

2.2 制振部材概要と地震観測位置

本建物に設置されている制振部材は極低降伏点鋼を使用したせん断パネルと支持部で構成され、間柱型とブレース型の2種類ある。図1に制振部材を示し、図2に制振部材の配置を示す。制振部材はX方向、Y方向ともに全階四隅のコア周りにバランス良く配置されている。

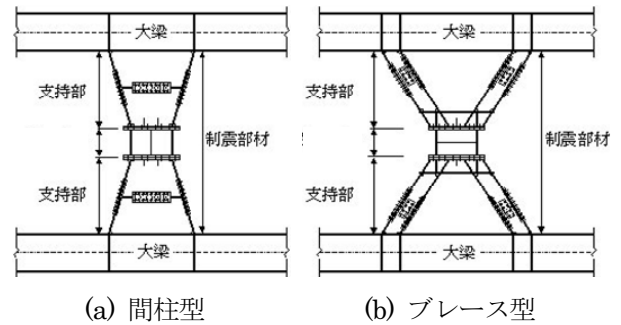


図1 制振部材

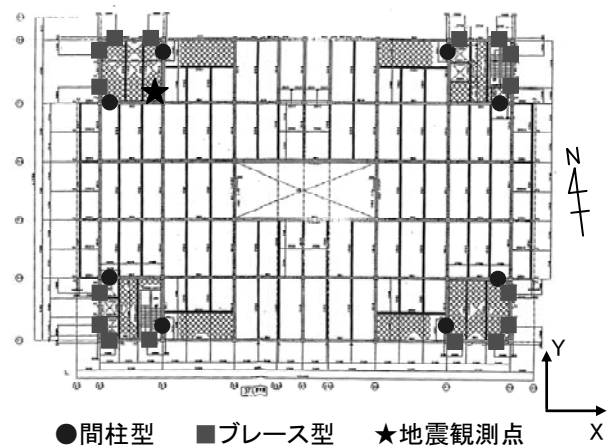


図2 制振部材の配置(基準階)と地震観測点

2.3 地震観測概要

本建物の地震観測システムは1F、4F、7Fに各一箇所、計3箇所に加速度計(SMAC-MD 3成分)を設置している。建物のX方向はEW方向、Y方向はNS方向と概ね対応している。

図2中に加速度計設置位置を示している。写真2に、1Fに設置している加速度計を示す。地震データは電話回線を用いてフジタ技術センターにて回収している。



写真2 SMAC-MD 加速度計(1F)

§3. 地震観測結果

3.1 駿河湾の地震の概要

図3に駿河湾の地震の震央と建物位置を示す。図にはK-NET観測点も併せて示す。

発生場所は駿河湾で深さ23km、発震機構は北北東-南南西圧縮で横ずれ成分を含む逆断層型でマグニチュード M_j 6.5である。

K-NETの観測点で観測された地震動と、本建物1階で観測された地震動を比較検討する。K-NET観測点は震央に近いところの松崎(SZO005)、静岡(SZO014)、および建物位置に比較的近いところのK-NET沼津(SZO008)、蒲原(SZO012)である。

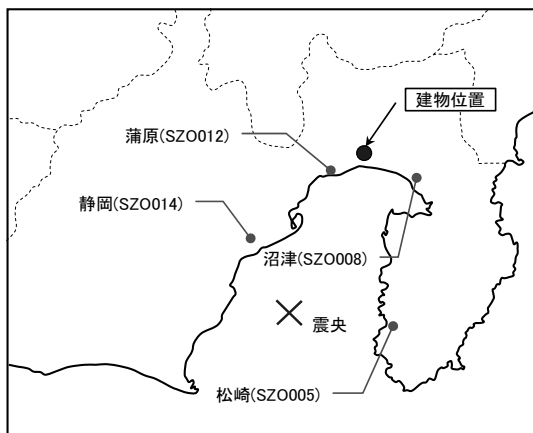


図3 震央・地震観測位置・K-NET観測点

図4に速度波形を示し、図5に擬似速度応答スペクトルを示す。速度波形は得られた加速度データをTrifunacの方法で積分して求めた。図中には本建物で観測されたY方向の観測データを併せて示す。なお、K-NET観測データは地盤上のものであり、本建物は1階のデータである。

震央に近いところの松崎(SZO005)、静岡(SZO014)では振幅が大きく短周期の波形であり、それよりやや離れた、本建物と同程度の震央距離の沼津(SZO008)と蒲原(SZO012)では、小さい振幅である。本建物は1階での観測であるということで、相互作用効果により、地盤での観測結果である沼津、蒲原に比較して小さい値となる³⁾と考えられるが、逆に若干大きな値であった。

図6にGL-20mまでのせん断波速度分布を示す。GL-20mまでの平均Vsは本敷地が200m/s、松崎210m/s、静岡370m/s、沼津330m/s、蒲原380m/sである。本建物直下の地盤は沼津、蒲原に比較して軟らかい地盤であり、速度増幅が大きいため沼津、蒲原より大きな値となったと考えられる。本敷地地盤の工学的基盤に相当する層はGL-63mにあり、固有周期1秒のやや軟弱な地盤である。この1秒の

固有周期は応答スペクトルの図に表れている。

また、本建物の観測結果はK-NET観測結果に比較して滑らかな波形となっている。これは図6に示す応答スペクトルからもわかるように、相互作用効果により0.5秒程度以下(2Hz以上)の短周期域が低減されたためである。

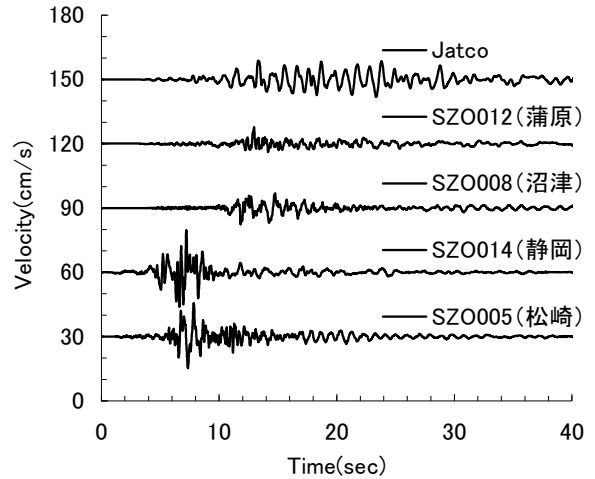


図4 速度波形 NS 成分 (Jatco は Y 方向)

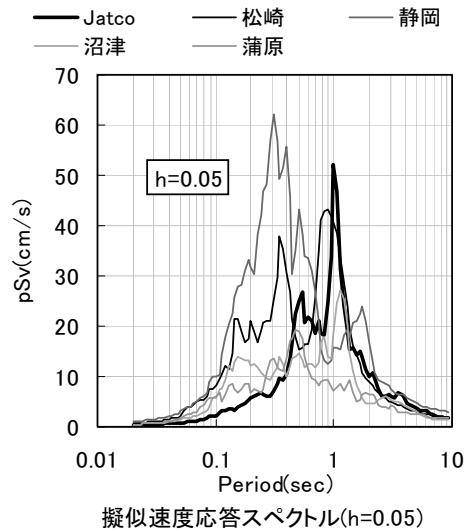


図5 擬似速度応答スペクトル NS 成分 (Jatco は Y 方向)

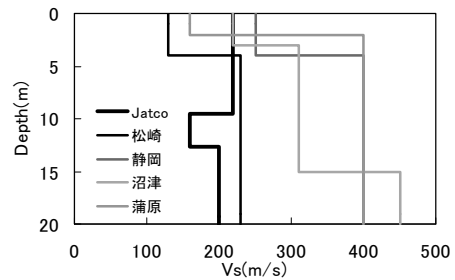


図6 GL-20mまでのせん断波速度(Vs)分布

3.2 本建物で観測された地震動

図 7 に観測結果の X 方向、Y 方向の加速度波形を示す。図より、建物上階ほど加速度が増幅しているのがわかる。

図 8 には加速度オービットを示す。

表 1 には各観測点の加速度の最大値を示す。

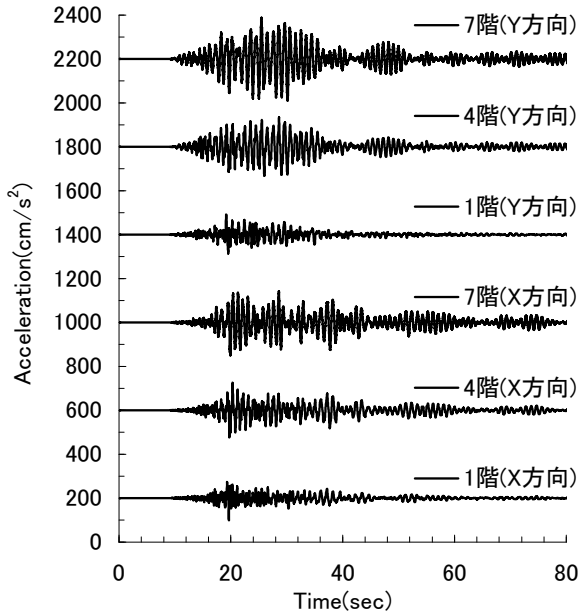


図 7 加速度時刻歴

表 1 各観測点の加速度の最大値

	最大加速度 (cm/s ²)		
	X方向 (東西方向)	Y方向 (南北方向)	Z方向 (上下方向)
7階	150.1	189.5	124.5
4階	125.9	134	89.2
1階	101.6	92.5	42.7

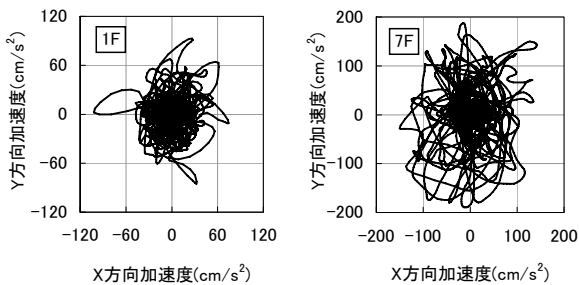


図 8 加速度オービット

図 9 に 1 階の 3 方向の擬似速度応答スペクトル、図 10 に 2010 年 8 月 9 日に発生した東海道南方沖地震の擬似速度応答スペクトルを示す。

両地震は発震機構、震源位置、伝播経路が異なるが、応答スペクトルは似かよった形をしていて両者とも 1 秒付近にピークがみられる。

このことから 1 秒付近のピークは、表層地盤の影響によるものと推測される。

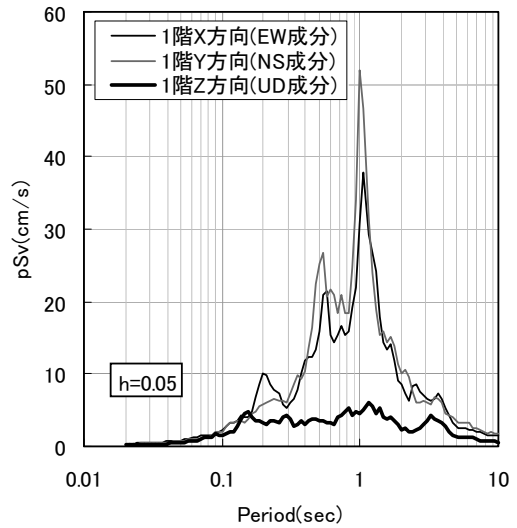


図 9 擬似速度応答スペクトル(駿河湾の地震)

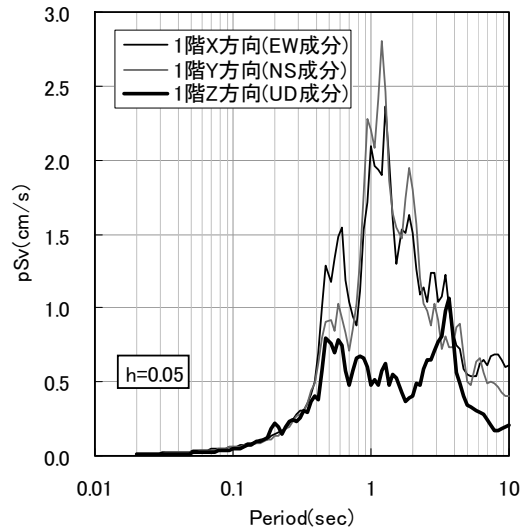


図 10 擬似速度応答スペクトル(東海道南方沖の地震)

図 11 に加速度伝達特性を示す。水平方向では、1.2Hz に建物の弾性時の 1 次固有周期のピークがみられる。

上下方向の 7~8Hz のピークはスラブの上下振動によるものと考えられる。また、1Hz のところにも明確なピークが見られる。

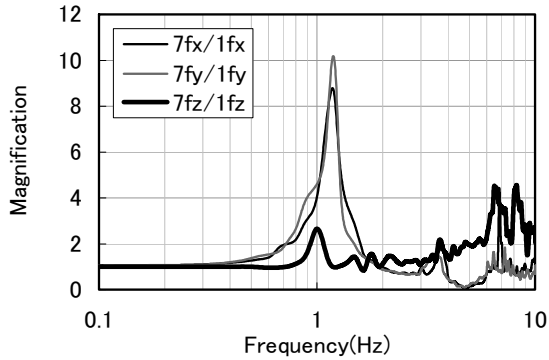


図 11 加速度伝達特性

§4. シミュレーション解析

4.1 解析モデル

設計時に用いた解析モデル(1階床面を固定とした7質点等価曲げせん断型モデル)¹⁾を用い、時刻歴応答解析により制振効果を検証する。

図 12 に 7階加速度の 1階加速度に対する水平伝達特性を示す。図には解析モデルの固有振動数を◆で示している。表 2 には観測結果から得られた卓越振動数と解析モデルの固有振動数を示す。両者はよく一致しており解析モデルの妥当性が確認された。

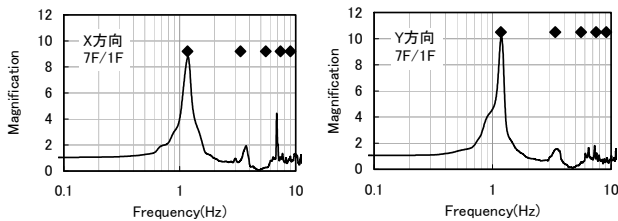


図 12 水平加速度伝達特性

表 2 固有値解析結果

		固有振動数(Hz)	
		観測結果	解析結果
1次	X方向	1.17 (0.86s)	1.18 (0.85s)
	Y方向	1.18 (0.85s)	1.19 (0.84s)
2次	X方向	3.35 (0.30s)	3.74 (0.27s)
	Y方向	3.37 (0.30s)	3.49 (0.29s)

4.2 制振効果の確認

観測された 1 階の加速度波形を建物への入力地震動として地震応答解析を行った。得られた応答加速度の時刻歴

波形を図 13 に示す。図は X 方向 7 階、4 階の応答加速度であり、制振部材を設置した場合(制振)と設置しない場合(非制振)を重ねて示している。制振の解析結果は図 7 に示す X 方向の観測結果とよく対応している。制振と非制振を比較すると、制振の場合に応答加速度が最大値を生じる 20 秒付近までは制振部材の有無による差があまり見られない。しかし、30 秒以降を比較すると、非制振の場合には振動が 100 秒以降も継続しているが、制振の場合には振動が早く収束している。特に、非制振の場合には 40 秒付近で加速度が最大値を示すのに対し、制振の場合では低減されている。

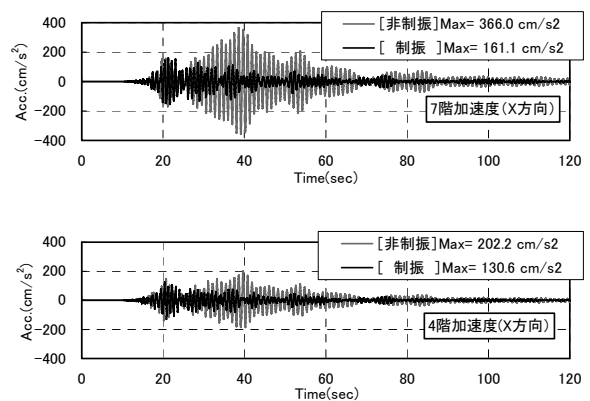


図 13 解析結果の加速度時刻歴

図 14 に各階の X 方向、Y 方向の最大応答加速度を示す。図には観測結果を併せて示している。観測結果と解析結果(制振)は良く対応している。制振部材の有無を比較すると、制振の場合非制振と比較して最大加速度は最上階において X 方向で約 40%、Y 方向で約 60%となっている。

図 15 に解析結果から得られた最大層間変形角を示す。制振部材を設置することにより最大層間変形角は 4 階(非制振モデルにおいて最大となる階)において X 方向で約 30%、Y 方向で約 40%に低減されている。

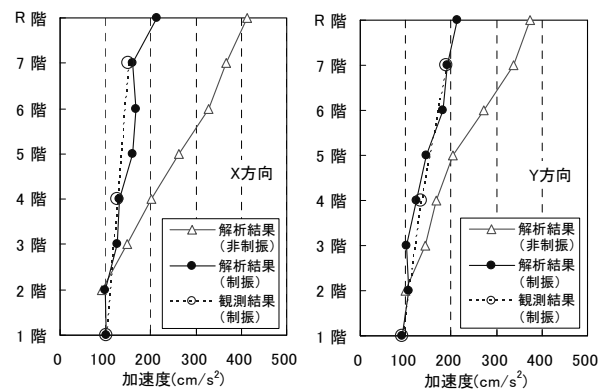


図 14 最大応答加速度の比較

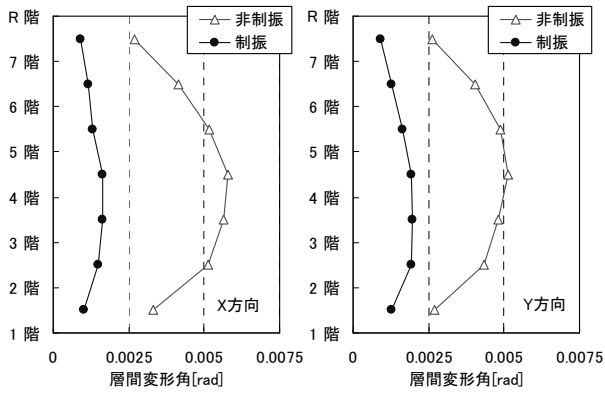


図15 最大層間変形角の比較

図16にY方向に設置した3、5、7階の制振部材について負担せん断力-層間変形角関係の履歴曲線を示す。5階以下では、制振部材が塑性化しエネルギー吸収をおこなっていることが確認できた。また、解析結果から主架構は弾性範囲内に留まっており、残留変形が殆ど生じていないことも確認している。

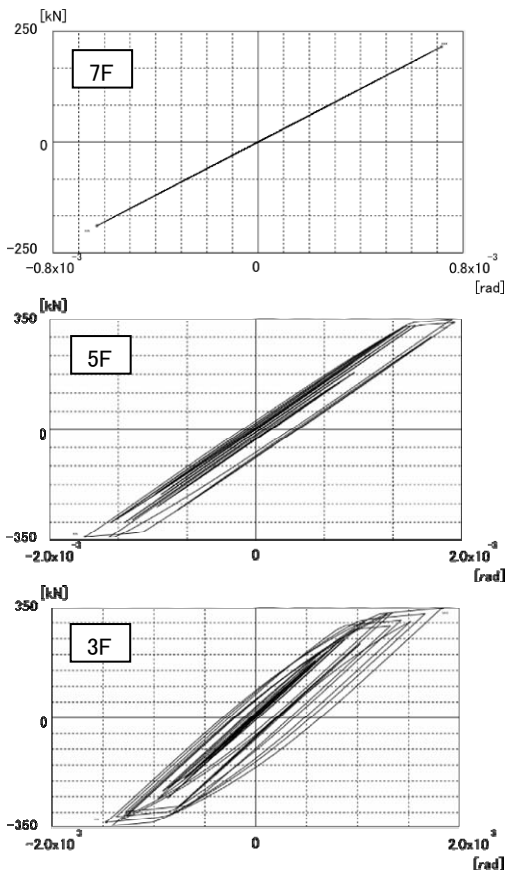


図16 制振部材の負担せん断力-層間変形角関係 (解析結果)

§5. おわりに

富士市に建つ制振建物において、駿河湾を震源とする地震時の観測結果から低降伏点鋼パネルを用いた制振部材の効果を検証した。地震応答解析により観測結果がほぼ再現できることを確認し、制振部材の効果により、最大応答加速度を4割～6割程度に、最大層間変形角を3割～4割程度に低減したことを明らかにした。また、主架構は弾性範囲内に留まっており、残留変形がほとんど生じていないことも確認した。

謝辞

本観測データはジヤトコ株式会社様からご提供いただきました。記して深謝いたします。

また、本報作成にあたり K-NET 観測データを使用させていただきました。

参考文献

- 1) 増田圭司, 佐々木聡, 中川太郎, 佐々木康人, 鈴木泉, 石寄仁: 極低降伏点鋼パネルを用いた中層鉄骨造制振建物における地震観測記録, 日本建築学会学術講演公害集, 2010年(投稿中)
- 2) 増田圭司, 中川太郎, 佐々木聡, 佐々木康人: 2009年8月11日駿河湾で発生した地震における制振建物での地震観測結果, MENSIN 第69号, 2010年(投稿中)
- 3) 安井謙, 井口道雄, 赤木久真, 林康裕, 中村充: 1995年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する考察, 日本建築学会構造系論文集 第512号, pp.111-118, 1998年

ひとこと

地震観測は、建設した建物の設計・施工の検証という意味で重要な役割を果たすが、観測機器のメンテナンス、地震記録の収録というように地道な作業が多い。

しかし、今回のように貴重なデータが得られれば、苦勞が報われた気がする。



中川 太郎