

観測用既存鉄骨造モデル構造物を用いたオンライン応答実験

Pseudo-Dynamic Tests on an Existing Steel Model Structure for Seismic Monitoring

大井 謙一*・嶋 脇 與 助*・伊 藤 拓 海*・李 玉 順**

Kenichi OHI, Yosuke SHIMAWAKI, Takumi ITO and Yushun LI

1. はじめに

鉄骨造骨組の地震応答性状に関する実証的データを得る目的で、1982年に東京大学生産技術研究所・千葉実験所に設置した通称「弱小構造物模型（鉄骨Ⅰ，鉄骨Ⅱ）」¹⁾ Photo 1で地震応答観測を行ってきた。また、1996年以降には建物の耐震改修や地震応答低減効果を目的とした履歴型ダンパーを同「弱小構造物模型（鉄骨Ⅰ）」に組み込み地震応答観測を行い、これまでに数多くの実地震による実証的データが蓄積された。

本論文は Table 1 に示す 4 回の自然地震に対する応答観測結果に対して、オンライン地震応答実験手法により応答

観測結果の再現実験ならびに履歴型ダンパーの有無に関する対照実験を行い、この種のダンパーの地震応答低減効果について考察することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験体

地震応答観測用試験体及び載荷実験試験体は鉄骨造骨組だけの場合と、従来の鉄骨造骨組に各層間弱軸方向 2 構面、上下端部間柱中央部分履歴型ダンパーを付加した場合との 2 種類である (Fig. 1)。元の鉄骨造骨組と履歴型ダンパー付鉄骨造骨組の弱軸方向 1 次固有周期は、1.06 sec (元), 0.35 sec (ダンパー付), 減衰定数は、0.87 % (元), 0.3 % (ダンパー付) である²⁾。

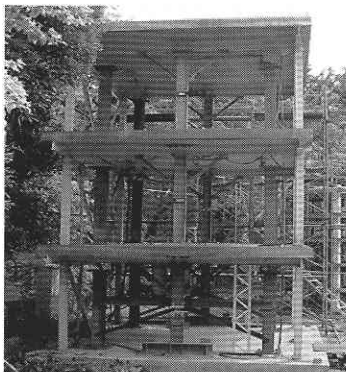


Photo 1 弱小構造物模型（鉄骨Ⅰ）

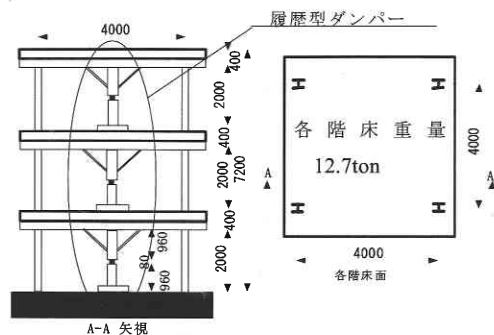


Fig. 1 骨組試験体および履歴ダンパー付試験体

Table 1 観測された地震記録（地震波は基礎地盤上で収録）

地震名	震央位置	震源深さ	マグニチュード*	最大加速度(基礎)	構造模型の状態
1985年10月茨城・千葉県境地震	140° 09' E 35° 52' N	78 km	6.1	0.88 m/sec ²	ダンパー無し
1986年6月房総半島南東沖地震	140° 43' E 34° 49' N	73 km	6.5	0.39 m/sec ²	ダンパー無し
1987年12月千葉県東方沖地震	140° 29' E 35° 22' N	58 km	6.9	2.77 m/sec ²	ダンパー無し
1996年9月銚子沖地震	140° 03' E 35° 07' N	55 km	6.2	0.23 m/sec ²	ダンパー付き

*東京大学生産技術研究所 情報・システム部門

**中国政府派遣研究員 中国東北林業大学

(a) 鉄骨造骨組

鉄骨造骨組試験体は3階建1スパン・2構面(柱4本)の柱崩壊型純ラーメン構造である(Fig. 1). 使用鋼材はJIS SS 41級(当時)のH-125×125×6.5×9を使用し, 柱フランジ, ウェブの σ_y は, それぞれ325 MPa, 365 MPaである. 骨組試験体の強度性能に関しては, 地表面最大加速度で0.8 m/sec²前後の地震に対してほぼ弾性範囲に留まるように設計されている(弱軸方向ベースシア係数0.2).

(b) 履歴型ダンパー^{3,4)}

極低降伏点鋼(LY 100)のせん断型パネルを用いた履歴型ダンパーの形状寸法をFig. 2, Photo2に, また材料特性をTable 2に示す. 履歴型ダンパーの単調及び繰り返し載荷実験結果をFig. 3, 4に示す.

2.2 載荷及び測定, データ収録方法

載荷方法は, 一層弱軸の2構面のみ可搬式多自由度載荷システムのジャッキ(±100 kN, ±250 mm)を設置し(Fig. 5), パソコンによる同時変位制御で地震波30秒を30分(1/60)のスローモーションで載荷を行った. 載荷速度の影響に関してはダンパーを付加した観測骨組にたいする銚子沖地震程度の地震入力(0.033 rad/sec)ではダンパーの歪速度による降伏点の上昇は見られなかった.²⁾

測定方法は荷重(ジャッキに組み込まれたロードセル), 変位(層間及び履歴型ダンパー, 間柱)を測定, 履歴型ダンパーのせん断力を得るために下側間柱のフランジ中央部に計4枚の歪ゲージを貼った(Fig. 6). 収録はパソコン

及びデジタルレコーダ(DR-M3)によって収録した.

2.3 オンライン地震応答実験

オンライン地震応答実験では, 構造物模型を実測部分(一層)と仮想骨組部分(二層, 三層)に分けてハイブリッド地震応答シミュレーションを行う(Fig. 7).

模型全体は3質点系のせん断型と仮定する.

一層部分は, 載荷実験より復元力を実測し, 仮想骨組部分は仮定した数学モデルを用いて応答解析を実行する.

なお, 仮想骨組部分の数学モデルに対しては, 各層を構成する間柱と履歴型ダンパーは直列で, 柱はこれと並列であるとする. 二, 三層の数学モデルは間柱と柱は弾性バネモデルを適用し, 履歴型ダンパーのみ塑性化するバイリニア型モデルで仮定した(Table 3).

かつて行った起振機実験によるダンパーを付加しない系の各次固有振動数及びモード減衰定数をTable 4に示す^{2),4)}.

ダンパーを付加した系の減衰定数は, 両系の減衰係数マトリクスが同じになるように算定している. ダンパーを付加した系の各次固有振動数及びモード減衰定数の計算値をTable 5に示す. オンライン地震応答実験では以下の運動方程式を解く.

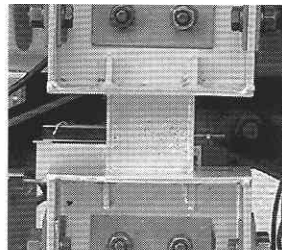
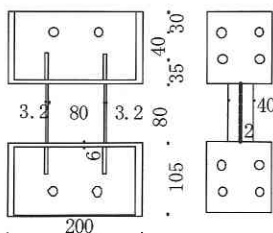


Fig. 2 ダンパーの形状寸法 Photo 2 ダンパーのセット状況

Table 2 極低降伏点鋼の材料特性 (LY100)

降伏強さ (Mpa)	80.4
引張り強さ (Mpa)	246
一様伸び (%)	40.7
せん断降伏強さ (Mpa)	47.0

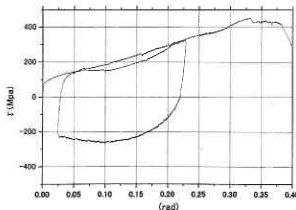


Fig. 3 単調載荷実験

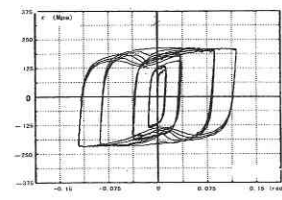


Fig. 4 繰り返し載荷実験

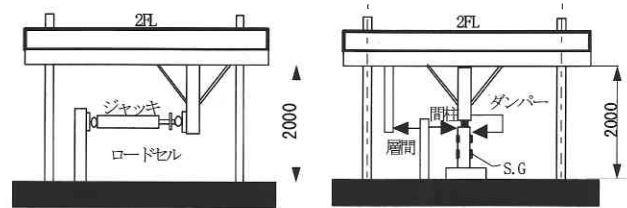


Fig. 5 載荷方法

Fig. 6 測定方法

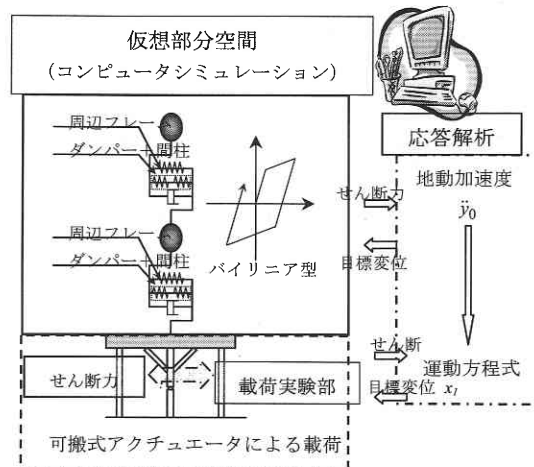


Fig. 7 オンライン応答実験システム

Table 3 各層の剛性 (1構面) (kN/m)

	柱	ダンパー	間柱	全体
2,3層	1290	45700	7 000	7350

研 究 速 報

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + \{f\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_0 \dots\dots\dots(1)$$

ここで、[M]：質量マトリクス，[C]：減衰係数マトリクス，{f}：復元力ベクトルで，一層はアクチュエータのロードセルから測定される荷重，二層と三層は数値解析からの計算値， \ddot{y}_0 ：地動加速度である。

3. 実 験 結 果

オンライン地震応答実験では，各入力地震波に対してダンパーを付加しない場合ならびにダンパーを付加した場合の2ケース，合計8ケースの実験を行った Table 6.

それぞれの入力地震波及び観測結果とオンライン地震応答実験結果を Fig. 8～11 に示す。図中 (a) は入力地震

Table 4 各次固有振動数とモード減衰定数 (実験値)

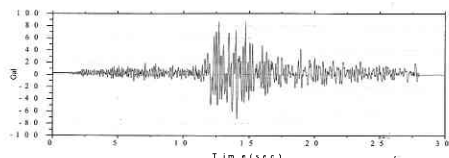
モード 次数	固有振 動数	減衰 定数
1 次	0.94Hz	0.87%
2 次	2.76Hz	0.40%
3 次	4.10Hz	1.07%

Table 5 各次固有振動数とモード減衰定数 (計算値)

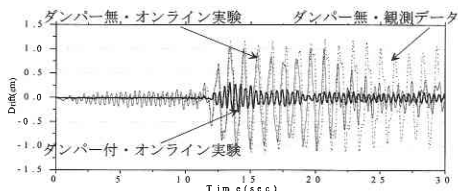
モード 次数	固有振 動数	減衰 定数
1 次	2.72Hz	0.30%
2 次	7.43Hz	0.17%
3 次	10.20Hz	0.42%

Table 6 実験ケースと観測データ

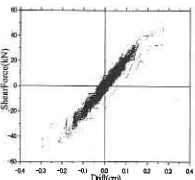
地震名	ダンパー無		ダンパー付	
	観測	オンライン実験	観測	オンライン実験
茨城・千葉県境	○	○		○
房総半島南東沖	○	○		○
千葉県東方沖	○	○		○
銚子沖		○	○	○



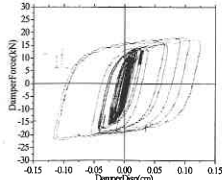
(a) 観測地震動 (茨城・千葉県境 1985 年 10 月)



(b) 1 層層間変位の時刻



(c) 1 層履歴曲線



(d) 1 層ダンパー履歴曲線

Fig. 8 茨城・千葉県境地震の観測結果とオンライン地震応答実験結果

波，図中 (b) は一層層間変位の時刻歴 (細い実線：ダンパー無，太い実線：ダンパー付，破線：観測データ)，図中 (c) はダンパーを付加したケースの一層層間変位-荷重の履歴曲線，図中 (d) 北側構面に取り付けたダンパー変位-せん断力の履歴曲線を示している。

茨城・千葉県境地震 (Fig. 8) ならびに房総半島南東沖地震 (Fig. 9) に対するダンパー無のオンライン地震応答実験結果では，観測データに比べて応答変位が後半部で小さくなっているものの，前半部は非常に良い一致を示している。

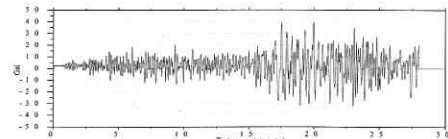
千葉県東方沖地震 (Fig. 10) に対するダンパー無のオンライン地震応答実験結果では，観測変位と大差ない実験結果となっている。

銚子沖地震 (Fig. 11) に対するダンパー付加の観測データとダンパーを付加したオンライン地震応答実験結果は，比較的良い一致を示している。

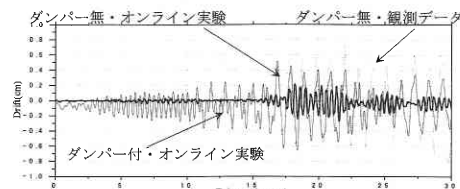
千葉県東方沖地震によるダンパー付加した場合のオンライン地震応答実験では，ダンパーの著しい塑性化が観察された (Photo 3)。

実験結果を全般的にみると，ダンパーの付加によって応答変位が著しく低減されていることがわかる。特に，1987 年 12 月の千葉県東方沖地震では，ダンパーを付加しない系の最大応答変位は 20 mm 程度観測されているが，ダンパーを付加した場合には応答変位がおよそ 6 mm にまで低減されている。

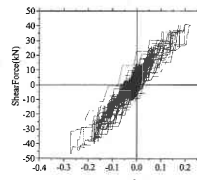
オンライン地震応答実験状況を Photo 4 に示す。



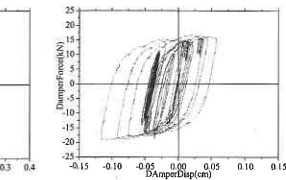
(a) 観測地震動 (房総半島東方沖 1986 年 6 月)



(b) 1 層層間変位の時刻歴



(c) 1 層履歴曲線



(d) 1 層ダンパー履歴曲線

Fig. 9 房総半島南東沖地震の観測結果とオンライン地震応答実験結果

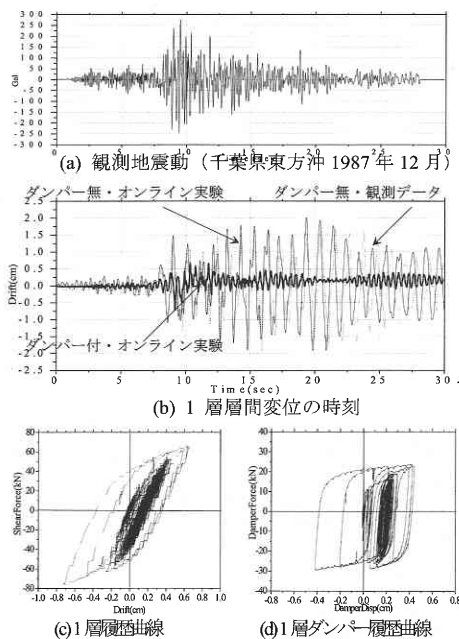


Fig. 10 千葉県千葉県東方沖地震の観測結果とオンライン地震応答実験結果

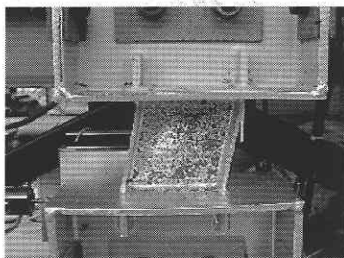


Photo 3 座屈した履歴ダンパー

4. 結 論

可搬式多自由度載荷システムを用いて屋外の観測用試験体に対して自然地震観測データによるオンライン地震応答実験を行うことができた。

オンライン地震応答実験結果から、自然地震観測データを概ね再現できていることが確認できた。

地震応答の低減効果を目的とした、履歴型ダンパーを付加してオンライン地震応答実験を行い、実験結果より、履歴型ダンパーによる地震応答低減効果を確認することができた。

謝 辞

本研究の一部は、(社)日本鉄鋼連盟(当時鋼材倶楽部)の2000年度建築鋼構造助成金(嶋脇與助, 李昇宰)の助成を受け、また(株)フジタからダンパー材料の提供助成を受けた。ここに謝意を表します。

(2002年9月10日受理)

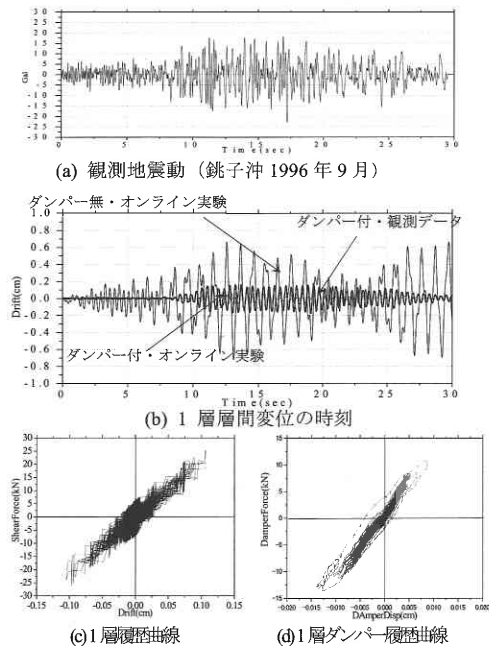


Fig. 11 銚子沖地震の観測結果とオンライン地震応答実験結果



Photo 4 オンライン実験状況

参 考 文 献

- 1) 高梨,大井: “鉄骨造建物の地震応答観測”, 生産研究, 35 卷9号, pp.31-34, 1983年9月
- 2) 大井, 李, 西田: “履歴型ダンパー付鉄骨架構の地震応答性状”, 日本建築学会構造系論文集, 第538号, pp.171-178, 2000年12
- 3) 嶋脇, 大井, 高梨, 近藤, 田中, 佐々木: “履歴型ダンパー付鉄骨組の振動性状に関する研究 その1) 極低降伏点鋼を用いたせん断型制振ダンパー繰返し載荷実験”, 日本建築学会大会梗概集(近畿), pp.795-796, 1996年9月
- 4) 西田, 山下, 近藤, 大井, 三山, 田中: “履歴型ダンパー付鉄骨組の振動性状に関する研究 その2) 履歴型ダンパー付3層鉄骨造骨組の起振機実験”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.797-798, 1996年9月
- 5) 嶋脇, 李, 大井, 伊藤: “履歴型ダンパー付骨組架構の地震応答低減効果に関する地震応答実験その1), その2)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.825-828, 2002年8月