

特集 2
研究速報

履歴ダンパー付き鉄骨造骨組の振動性状に関する研究

A Study on Vibration Properties of a Steel Building Model with Hysteresis Dampers

大井 謙一*・林 暁光*・西田 明美*・近藤 日出夫*

Kenichi OHI, Xiaoguang LIN, Akemi NISHIDA and Hideo KONDO

1. はじめに

極低降伏点鋼を使用した制振ダンパーは、小さな地震入力レベルで降伏し始め、建物への入力エネルギーを吸収する履歴減衰型の弾塑性ダンパーであり、地震による建物の損傷を低減することを目的として利用されている。しかしながら、そのダンパーを実地盤上の建物に組み込んだ場合の動的挙動については未解明な点が多い。本論文では、極低降伏点鋼製せん断型パネルを間柱形式で組み込んだ実地盤上に建つ鉄骨造骨組に対して起振機による強制振動実験の結果、および履歴モデルと等価線形化モデルを用いた場合の数値解析結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 鉄骨造弱小骨組模型

鉄骨造弱小骨組模型（以下、弱小モデルと称す）は、東

表1 弱小モデルの諸元

床重量	1F 12.6(ton), 2F 12.8(ton), 3F 12.6(ton)
部材断面	C1:H-125×125×6.5×9 G1:H-200×100×5.5×8
設計ベースシア係数	柱弱軸方向 0.2 柱強軸方向 0.43

表2 素材（パネル）の機械的性質

降伏強さ	引張強さ	一様伸び	せん断降伏強さ
0.82(ton/cm ²)	2.51(ton/cm ²)	40.7 (%)	0.48 (ton/cm ²)

表3 素材（パネル）の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S
0.004	0.05	0.08	0.005	0.006

*東京大学生産技術研究所 第5部

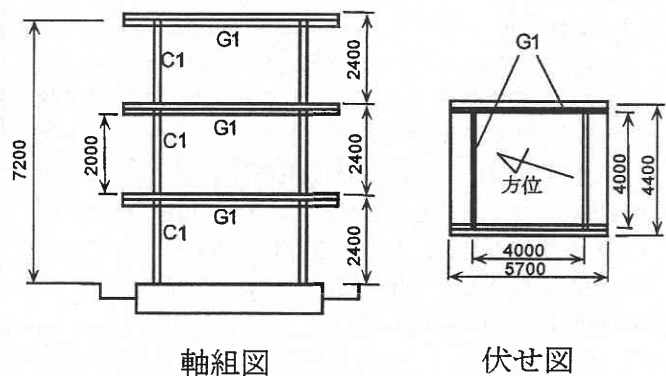


図1 弱小モデルの形状寸法

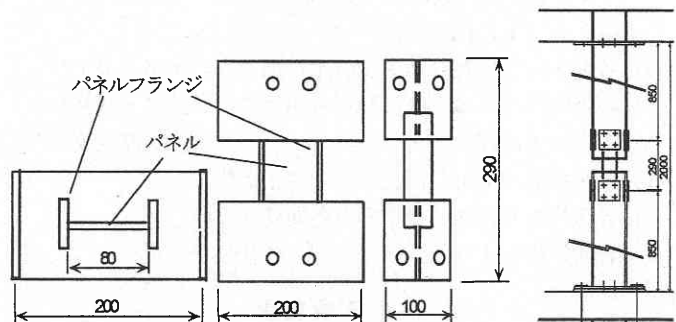


図2 ダンパーの形状寸法

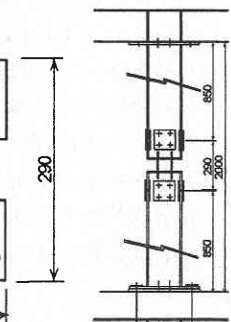


図3 間柱の形状寸法

京大学生産技術研究所千葉実験所構内に設置された3層1スパン2構面の鉄骨骨組である。形状寸法を図1に、主要な諸元を表1に示す。

2.2 極低降伏点鋼製制振ダンパー

本実験で用いたダンパーは1辺8 cm、厚さ2 mm（幅厚比40）の極低降伏点鋼製パネルからなるせん断型ダンパーである（図2）。素材の機械的性質及び化学成分を表2、表3に示す。このダンパーを、各階弱軸2構面の間柱中央にボルト接合により取り付け（図3）。間柱は上部を各

研 究 速 報

表 4 実験ケースの一覧

	ダンパ	補剛	起振力・モーメント	振動数	計測時間
Test1	無し	無し	9.4, 17.5kgf	0.5~5.0 Hz	各 30 秒
Test2	有り	無し	2, 6, 8kgf・m	1.0~5.8 Hz	各 30 秒
Test3	有り	有り	2, 4, 6, 8, 20kgf・m	1.7~2.4 Hz	各 30 秒
Test4	有り	有り	10kgf・m	1.9~2.4 Hz	各 30 秒
Test5	有り	有り	10kgf・m	2.17 Hz	9 分

起振機 Test 1: (サンエス APS-113)

Test 2~5: 高層建物用起振機 (伊藤精機製 BCS-A-200)

階梁に高力ボルトで接合し、下部を各階床スラブにボルトで固定した。

2.3 実験方法

起振機を屋階スラブ中央に設置して弱小モデル弱軸方向に加振し、段階的スイープテストを行った。表 4 に実験ケースの一覧を示す。Test 3 では図 4 に示す様にアングルで間柱を補剛し、フレームの回転剛性を高めるため各階強軸方向にブレースを取り付けた。Test 3 終了後全てのダンパーを取り替え、Test 4 を行い、その後 1 階のダンパーのみを取り替えて Test 5 を行った。各テストケースの概略図を図 5 に示す。

2.4 測定方法

弱小モデル、ダンパー、間柱に関する以下のデータをサンプリング間隔 5 msec (一部 10 msec) でデジタル量として磁気テープ上に記録した。

- (1) 各階床スラブ及び基礎上の絶対加速度 (水平・上下)
- (2) 各階床スラブの下階に対する相対変位 (並進・回転)
- (3) 各階柱の曲げひずみ (4) 各パネルの層間変位
- (5) 各剛体部の変形 (間柱上下の水平変位)
- (6) 各間柱下側の曲げひずみ (各間柱 2 カ所)
- (7) 各間柱軸ひずみ (8) 各柱軸ひずみ

3. 共振実験結果

Test 1 から求めた弱小モデルの各次固有振動数及びモード減衰定数を表 5 に示す。頂部の絶対変位 (単位起振力当りの換算変位) を各振動数ごとにプロットしたものを図 6, 7 に示す。図より、剛性の増加によって固有振動数が高くなっていること及びダンパー付加による応答の低減が認められる。補剛を行った Test 3, 4, 5 では、補剛を行わなかった Test 2 に比べ、ダンパーが有効に働いている。Test 3 では、起振モーメント 20 kgf・m、振動数 2.09 Hz で加振した際、2 階南側のパネルが座屈後破断した。これは、1 階のパネルの降伏点が高く、2 階パネルに損傷が集中したためと考えられる。

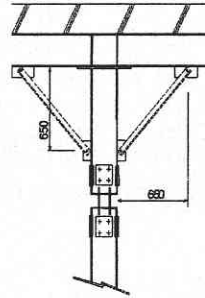


図 4 間柱補剛の詳細

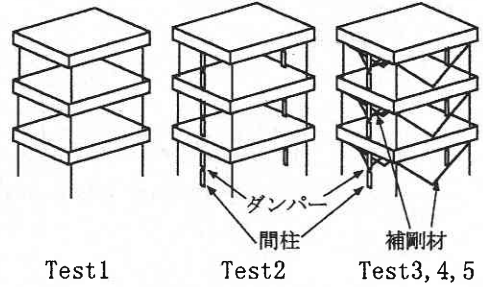


図 5 各テストケース概略

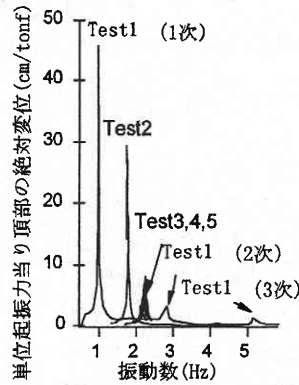


図 6 Test 1~5 頂部の単位起振力当りの換算振幅

表 5 Test 1 の結果

	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%

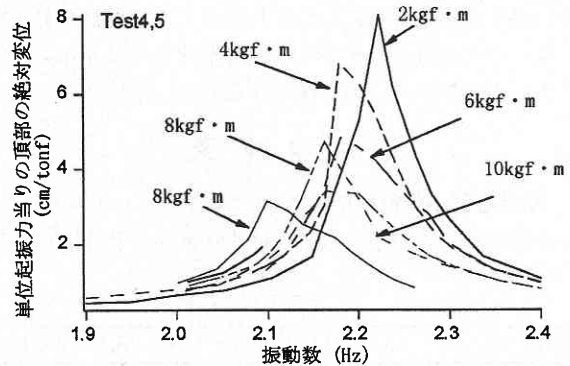


図 7 Test 3~5 頂部の単位起振力当りの換算振幅

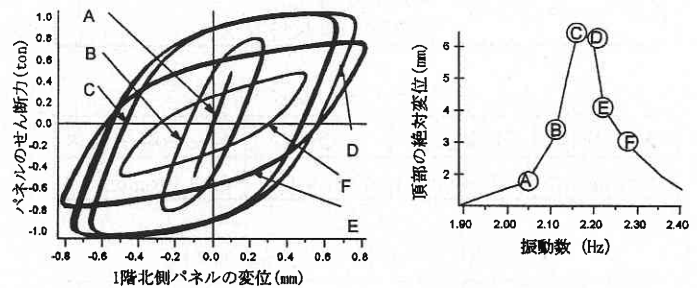


図 8 Test 4 1 階北側パネルの振動数ごとの荷重変位関係

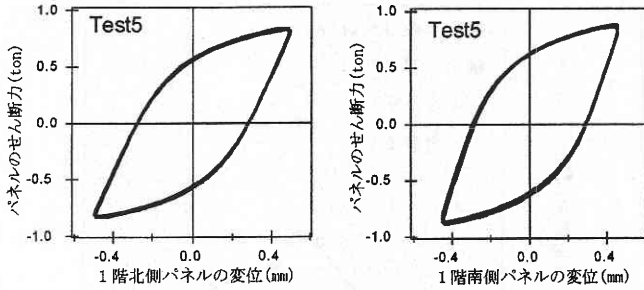


図9 Test 5 1階パネルの荷重変形関係

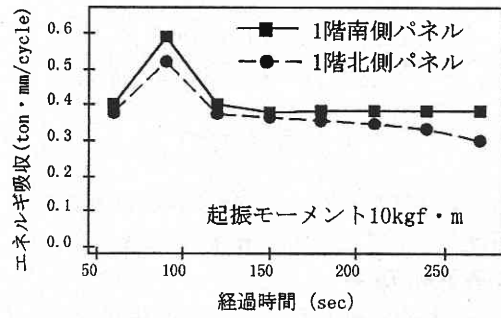


図10 パネルのエネルギー吸収量の時間的経過

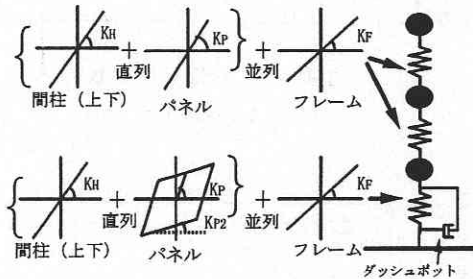


図11 各階パネルの荷重変形関係

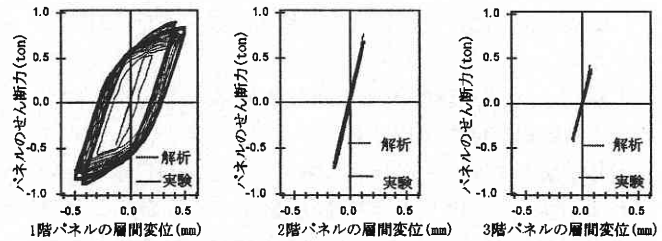


図12 等価線形モデル

Test 4 では、1階南側のパネルの降伏点が北側パネルの降伏点よりも高かったため、北側のパネルのみが降伏した。その時の履歴ループを図8に示す。

Test 5 では1階両側のパネルが降伏し、ほぼ同ループを安定して描いた後(図9)、パネルのせん断座屈を生じ、南側パネルが破断した。1サイクル当りのパネルのエネルギー吸収量の時間的経過を図10に示す。

4. ダンパーの履歴減衰を考慮した解析

履歴ダンパーを組み込んだ弱小モデルに対し、頂部に正弦波を入力した場合の変位応答予測及びダンパーのエネルギー吸収量の予測を、履歴モデルを用いた場合および等価線形化モデルを用いた場合の2とおりにより行う。

4.1 履歴モデル

文献(1)にある復元力特性モデルをダンパー部分に適用する。このモデルでは、スケルトン曲線を3本の直線で表し、履歴部分を Ramberg-Osgood 関数で表している。パネルの弾性勾配 K_P は公称値、第2勾配 K_{P2} は実験から得られた値、第3勾配は0とした。パネルの降伏耐力 Q_Y は general yield 法により定めた。また、Ramberg-Osgood 関数の指数 r 及び除荷時の目標点を定めるための係数 ϕ は、実験結果と比較してそれぞれ8, 0.25とした。

4.2 等価線形モデル

ダンパー部分の復元力特性をバイリニア型とする。1階フレームの変位振幅 a を仮定すると、パネルを組み込んだ

間柱1本の等価剛性 K_{EQ} (割線剛性とした) 及び等価粘性減衰係数 C_{EQ} はそれぞれ(1), (2)式から求まり、建物全体を図11のような等価線形モデルに置換することができる。

$$K_{eq} = K_2 + \frac{(K_1 - K_2)}{aK_1} Q_y \quad (1)$$

$$C_{eq} = \frac{Q_y(K_1 - K_2)(aK_1 - Q_y)}{\pi^3 a^2 f^2 K_1^2} \quad (2)$$

ただし

$$K_1 = K_P K_H / (K_P + K_H), K_2 = K_{P2} K_H / (K_{P2} + K_H)$$

f : 振動数, K_H : 間柱(上下)の剛性, Q_y : パネルの降伏耐力。

減衰に関する非連成化仮定を用いると、1階層間変位 x_1 が(3)式から求まる。ここでは、1階層間変位の振幅 a に対して、計算の簡略化を図り、安全側の過大評価式(4)を用いて計算することにする。 a が収斂するまで繰り返し計算を行う。また、1サイクル当りダンパー1つが吸収したエネルギー量 E_{CYC} は、(4)式で表せる。

$$x_1 = m_0 r \sum_{j=1}^3 \frac{u_1^j u_3^j}{K^j \sqrt{[1 - (\omega/\omega_j)^2]^2 + [2h_j(\omega/\omega_j)]^2}} \sin(\omega t - \phi_j) \quad (3)$$

研 究 速 報

$$a = m_{0r} \sum_{j=1}^3 \frac{u_1^j u_3^j}{K^j \sqrt{[1 - (\omega/\omega_j)^2]^2 + [2h_j(\omega/\omega_j)]^2}} \quad (4)$$

$$E_{cyc} = 4\pi^3 a^2 f^2 C_{EQ} \quad (5)$$

K_j : j 次基準ばね定数 f_j : j 次固有振動数
 h_j : j 次モード減衰定数 m_{0r} : 起振モーメント

4.3 応答予測の結果

Test 5 と同様の起振モーメント 10 (kgf・m), 振動数 2.17Hz の正弦波を頂部に入力した場合の, 履歴モデル解析から得られた各階のパネル部の荷重変形関係を図12に示す. 実験結果と履歴モデルによる解析結果とが良く対応している.

実験 Test 4, 5, 履歴モデル及び等価線形モデルから求めた 1 階層間変位を図13にあわせて示す. また, 1 サイクル当り 1 層のダンパーの吸収エネルギーを図14に示す. いずれも Test 4 に比べ大きな値となっているが, これは Test 4 では 1 階片側パネルしか降伏せず回転を生じたためと考えられる. 両側のパネルが降伏した Test 5 とは概ね対応している. 履歴モデル及び等価線形モデルから, フレームの応答及びダンパーの吸収エネルギーをある程度予測することが可能である.

5. ま と め

実地盤上に建つ鉄骨造骨組にダンパーを取り付け, 起振機による強制振動実験を行った. テストケースによっては片側のダンパーのみが降伏する場合がある. その場合, 両側がそろって降伏する場合に比べ, 1 層全体でのエネルギー吸収量は 9 割程度となった. また, 履歴モデル及び等価線形モデルを用いた履歴ダンパーの散逸エネルギーの予測を行った. 両モデルは, ほぼ同程度の予測を行うことができる.

(1996年 8月16日受理)

参 考 文 献

1) 孟 令樺, 大井謙一, 高梨晃一「鉄骨骨組地震応答解析のための耐力劣化を伴う簡易部材モデル」, 日本建築学会構造系論文集, No. 437, 1992. 7.

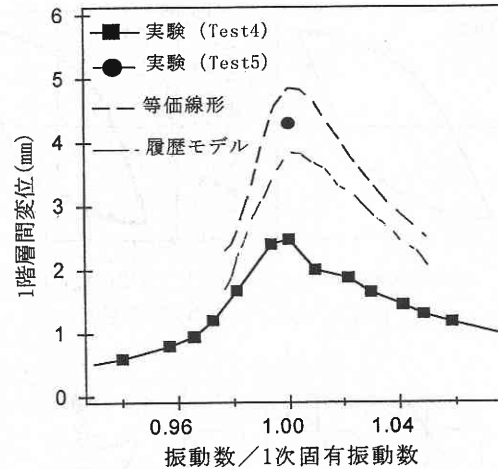


図13 1階層間変位

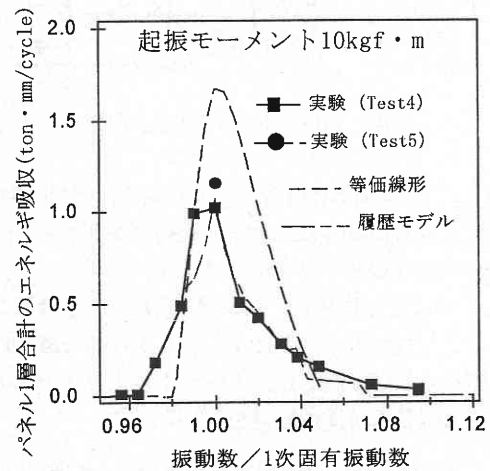


図14 1層のダンパーの吸収エネルギー

2) 大井他, 「地震動による構造物へのエネルギー入力の統計量予測に関する基礎的考察」, 日本建築学会構造系論文集, No. 347, 1985. 1.
 3) 三山他「極低降伏点鋼を用いた制振構造に関する研究, その1~その7」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993. 9.