

摩擦ダンパーCFDを用いた戸建て住宅制震構法の開発

DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE FORCE REDUCTION SYSTEM FOR WOODEN HOUSE USING CYLINDRICAL FRICTION DAMPER

深澤協三——* 1 長谷川 豊 —* 2
 棚橋禎之——* 3 三好正和——* 4
 岡本 真——* 5 立花正彦——* 6

Kyozo FUKAZAWA——* 1 Yutaka HASEGAWA ——* 2
 Yoshiyuki TANAHASHI —* 3 Masakazu MIYOSHI ——* 4
 Makoto OKAMOTO —* 5 Masahiko TACHIBANA —* 6

キーワード：
 戸建て住宅、制振、ダンパー、軸組工法

Keywords：
 Residence, Earthquake force reduction system damper, Wooden frame structure

The authors of this paper have developed a earthquake force reduction system for the wooden houses. This construction method involves the fixing of a friction damper in the form of a brace to the wooden frame using steel brackets and pipes for added damping effect. In order to confirm the damping properties of this earthquake force reduction system, static and dynamic shear force loading tests were conducted on a plane incorporating the friction damper. The results showed that the bracket and steel pipe were sufficiently rigid and flexible to fulfill the original damping effect of said friction damper and the loading deformation curve of the total plane clearly indicated sufficient damping properties.

1. はじめに

地震災害の低減を図る上で、戸建て住宅の耐震性能向上は大きな要である。また、「耐震性能」について、従来は「建物倒壊防止」で済んでいたが、今後は「家具転倒などによる二次災害防止」・「震災後の機能保持」に至る高度な性能が必要になると考えられる。これらの要求性能を具現化すべく戸建て住宅へ適用可能な制震構法の開発・実用化が進められている(例えは文献¹⁾²⁾。

本研究は、木造軸組戸建て住宅を対象に摩擦ダンパーによる戸建て住宅向け制震構法の開発・実用化を目的とする。在来軸組中にダンパーを組み込んだ構面を対象に静的・動的なせん断力載荷実験を行い、本制震構法の力学的性状・減衰性能を明らかにする。

2. 構法概要

本制震構法は、木造軸組工法(在来・金物工法の両方とも)を対象としている。図1に示す通り住宅の1階部分(2階建ての場合)に制震装置をブレース型に配置する(3階建てでは1階・2階に配置)。制震装置は、①摩擦ダンパー(Cylindrical Friction Damper 以下 CFDと略称: 定格荷重 25kN)②長さ延長用の鋼管(Φ48.6-t3.2)③軸組への取り付け用ブラケット、から構成される。取り付け用ブラケットは柱・梁部材にビス(M5×65mm)により、取り付け用ブラケットとCFD・鋼管はボルト(1-M16)により接合される。CFDと鋼管の継ぎ手部分はターンバックル機構になっており、装置取り付け時の長さ寸法調整とたるみ防止を図っている。また、制震装置の取り付く構面は柱頭・柱脚側ともに座付きボルト・ホールダウン金物等により補強して、ダンパーに生じる減衰力を架構・基礎へ

確実に伝達させる。鋼管の長さは4タイプの標準寸法(1304~1724mm)が準備されており、ターンバックル機構による長さ調整と併せ、スパンは910~1000mm、階高(内法)は2345~2905mmまで適用可能である。本制震装置の建物への取り付け状況を写真1に示す。

CFDの構造概要を図2に、本制震構法に用いる定格荷重25kNタイプのCFDの外観を写真2にそれぞれ示す。加圧パイプと相手材(SUS材)間に摩擦材を挟み込む構造である。円筒形状の加圧パイプをボ

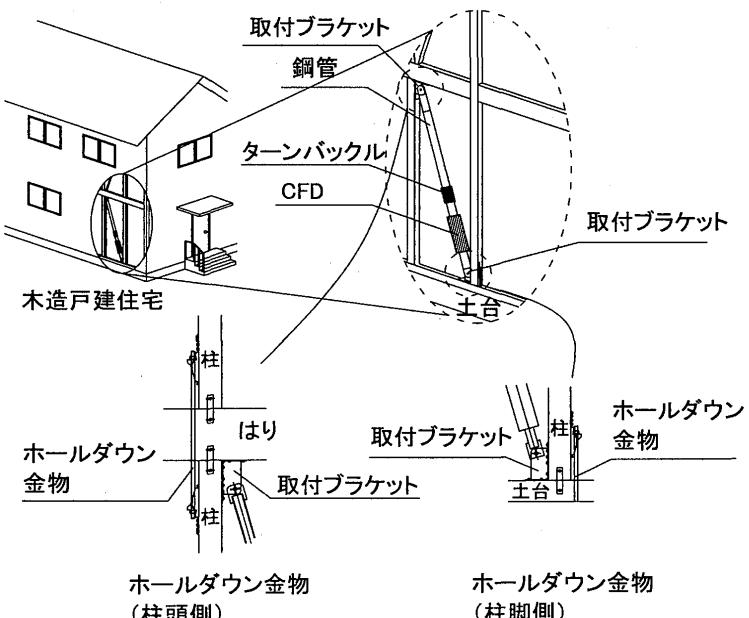


図1 構法概要

*1 (社)日本建設業経営協会中央技術研究所 工博

(〒104-0032 中央区八丁堀2-5-1東京建設会館3階)

*2 オイレス工業株第三事業部技術部

*3 (株)タツミ住宅資材営業部企画開発課

*4 共立建設技術部

*5 松尾工務店建設リニューアル事業部

*6 東京電機大学未来科学部建築学科 教授・工博

*2 Oiles Corporation Technical Dept.

*3 Tatsumi Co., Ltd.

*4 Kyoritsu Construction Co., Ltd.

*5 Matsuo Komuten Co., Ltd.

*6 Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.

ルトで締め付けることにより円周方向に均等で安定した圧力を生じさせ、この圧力により摩擦材と相手材の間に摩擦力(=減衰力)を生じさせる。CFDは1)構造がシンプルで低コストかつメンテナンスフリー、2)繰り返し荷重に対し高い耐久性を有し疲労寿命を考慮する必要がない、3)独自の摩擦材によりダンパー作動時摩擦音・振動が無い、4)0.1~1.0cm/sの範囲(通常の地震応答範囲)では図4に示す通り抵抗力に対する速度依存性は殆どない(但し、同図は定格荷重400kNのCFDの実験結果。本構法に用いる25kNタイプのものは1.0cm/s以上の速度域での性能も併せて今後実験予定)、等の特徴を有する。定格荷重25kNタイプのCFDの荷重変形曲線(加振周波数0.5Hz軸方向正負繰り返し載荷)を図3に示す。同図に示す通り剛塑性型のループ形状を示し、滑り始めの静摩擦係数と動摩擦係数の差が小さい(したがって、摩擦ダンパーであるがちな滑り始めの加速度増大が少ない)。

本制震構法の施工手順を図4に示す。施工手順は以下の通りである。①土台上面と2階梁下面に取り付けブラケットを専用ビス(M5×65mm)により接合する。②CFDと鋼管を接合する。CFDと鋼管先端部のねじ(M42)はそれぞれ右ねじ・左ねじになっており、両者を接合する専用の長ナットを回転させることにより材の長さを調整可能(ターンバックル機構)である。③CFDと取り付けブラケットをボルト接合。④ターンバックル機構を利用して材の長さを調整し、鋼管端部と取り付けブラケットのボルト穴位置を合わせボ

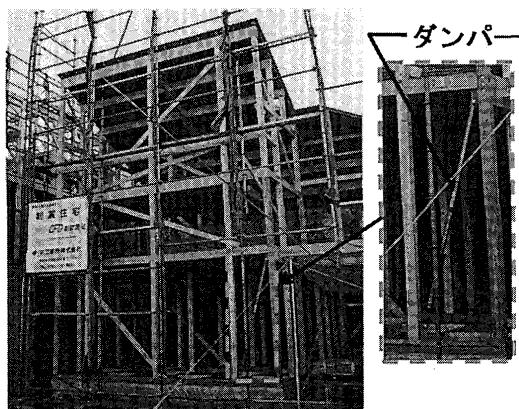


写真1 構法適用事例



写真2 CFD(定格荷重25kN)外観

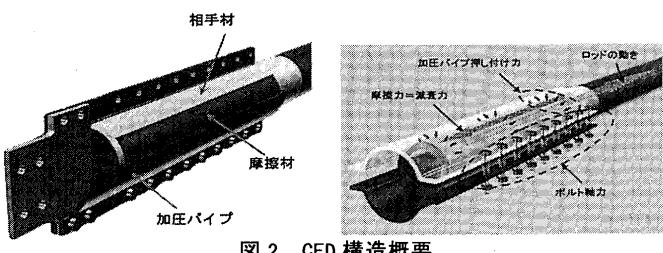


図2 CFD構造概要

ルト接合。左記の通り本制震構法の施工は一般的な木造軸組工法で使われる工具・施工技術の範囲で実施可能である。写真3に本制震装置の取り付け状況を示す。

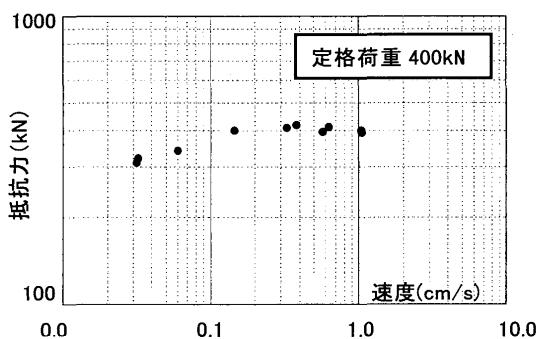


図3 CFD速度依存性(定格荷重400kN実験結果)

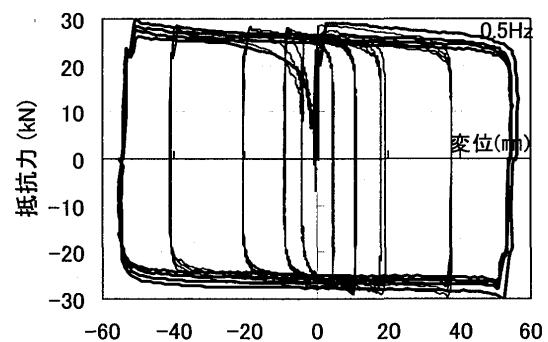


図4 CFD荷重変形関係

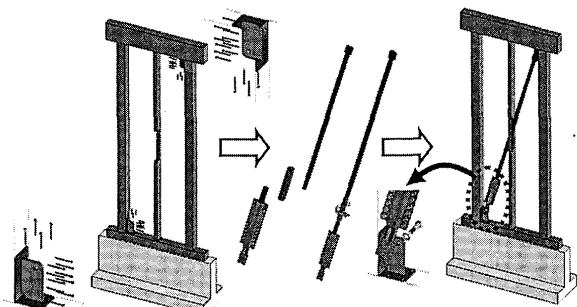


図5 施工手順

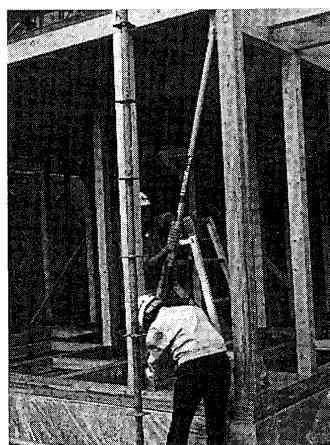


写真3 施工状況

3. 実験計画

3-1 試験体計画

実験は木造軸組一構面を対象に行う。試験体一覧を表1に示す。試験体は①軸組単体②ダンパー付き軸組の2種類である。ダンパー無し試験体では静的加力を、ダンパー付き試験体では静的及び動的加力をを行う。

試験体の形状・寸法を図6に示す。軸組部分はスパン910mm、内法高さ2700mmである。柱、梁、土台とも「構造用集成材(樹種を表2に示す)」を用いる。柱の引き抜け防止のため柱頭・柱脚側とも左右の柱にホールダウン金物(引抜き耐力35kN)を設けている。

表1 試験体計画

ダンパー	加入方法	
	静的	動的
無	1	-
有	3	3

欄内の値は試験体数

表2 使用材料(柱・梁・土台)

部材	樹種	曲げヤング係数 ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)	曲げ強度 ($\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)
柱	構造用集成材 スプルース 同一等級構成	9.3	30.9
梁	構造用集成材 スプルース 異等級別構成	11.8	32.3
土台	構造用集成材 ペイビーバ(アラスカ イエローフォード)	10.3	33.8

曲げヤング係数、曲げ強度は規格値

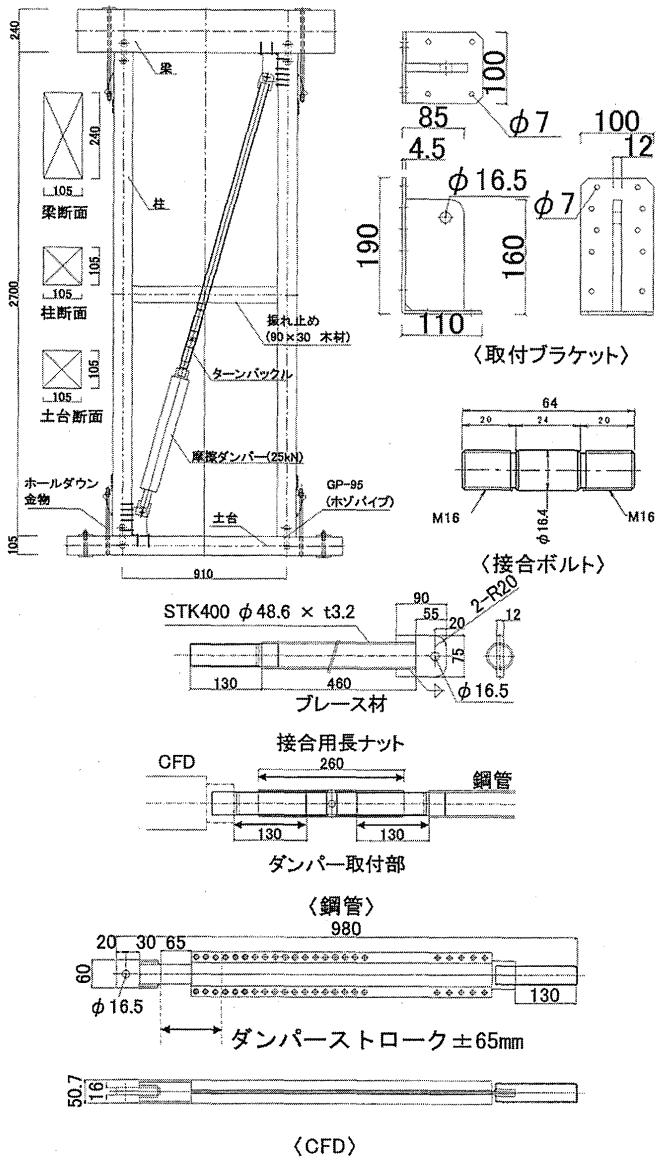


図6 試験体形状・寸法

CFD(定格荷重25kN)は鋼管及び取り付けブラケットを介して軸組に片筋交い形式で配置される。取り付けブラケットと、CFD並びに鋼管の接合は図6中に示す接合ボルト(CFD・鋼管側の穴径16.5mmに対してボルト径は16.4mm)による。また、ダンパー付き試験体では階高中央部に斜め材(CFD+鋼管)の面外方向変形防止のためのふれ止め材(90×30mm)を設けている。

3-2 実験方法

加力装置を図7に示す。土台側を固定端とし梁(=自由端)にせん断力を載荷する。

載荷は正負繰り返し漸増載荷とする。動的加力では図8に示す通り層間変形角R=1/400~1/200では加振周波数f=1.2Hz、R=1/150~1/50ではf=0.9~0.3Hz(最大加振速度は各Rとも10.8cm/s)で載荷を行う。繰り返し回数は各Rとも3サイクルとする。静的加力(載荷速度0.05cm/sの三角波)ではR=1/450~1/30radの正負繰り返し載荷後、正側単調載荷を行う繰り返し載荷回数は各Rとも3サイクルである。

測定項目は、①架構の全体変形②土台回転③柱の引抜け④CFDストローク④鋼管軸歪み⑤ホールダウン金物軸歪である

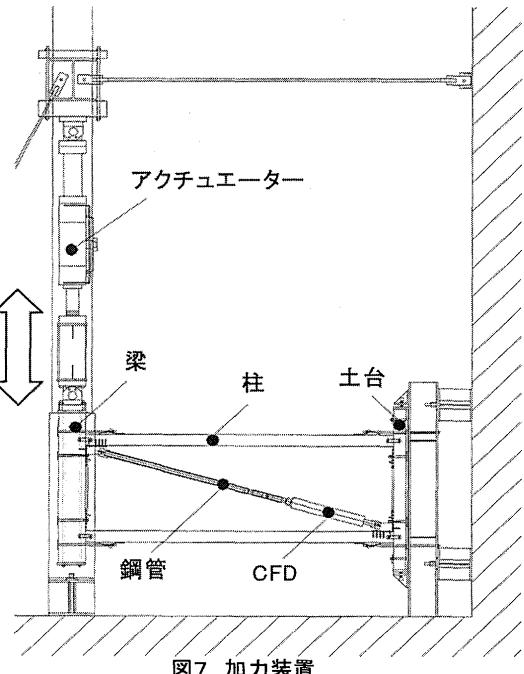


図7 加力装置

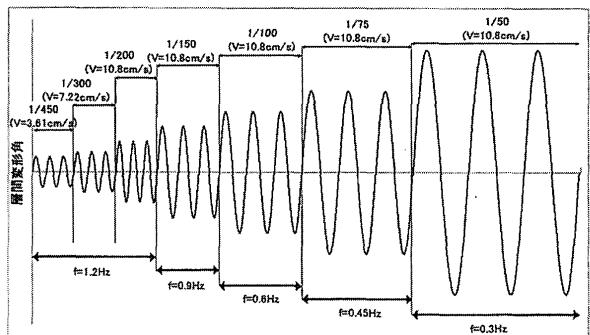


図8 加力サイクル

4. 実験結果

4-1 破壊状況

ダンパー付き試験体・静的加力の $R = 1/30$ 所定変形時の変形状況を写真4に示す。各試験体とも $R = 1/50$ (動的)、 $R = 1/30$ (静的) に至るまで柱・梁部材の損傷、ダンパーの破損、取り付けブラケット变形・抜け出しが生じなかった。

4-2 荷重変形関係

ダンパー無し試験体(軸組単体)の荷重変形曲線を図9に、ダンパー付き試験体の荷重変形曲線のうち動的加力のものを図10に、静的加力のものを図11にそれぞれ示す。なお、ダンパー付き試験体については(図10, 11)、全加力サイクル($R = 1/450 \sim 1/50$)と小変形時($R = 1/450 \sim 1/200$)の両方の図を示す。

図9に示す通り、ダンパー無し試験体は概ね弾性的なループ形

状を示す(本試験体では加力装置の都合により、 $R = 1/30$ 途中で加力が中止されたので、荷重変形曲線は $R = 1/50$ までとしてある)。

ダンパー付き試験体・動的加力では図10に示す通り、 $R = 1/450$ では弾性的なループ形状を示し、 $R = 1/300$ 以降は安定的な紡錘型のループ形状を示しループ面積が増加する。

ダンパー付き試験体・静的加力では図11に示す通り、動的加力と同様に $R = 1/450$ では弾性的なループ形状を示し、 $R = 1/300$ 以降でループ面積が増大する。ただし、動的加力では紡錘型のループ形状を示すのに対し静的加力でのループ形状は角張ったバイリニア型の形状を示す。また、Y軸(荷重軸)を横切る荷重の大きさが、静的加力では動的加力の約1/2程度である。これは、載荷速度の影響(静的加力は動的加力の約1/200の載荷速度)によるCFDの摩擦力の低下によるものである。

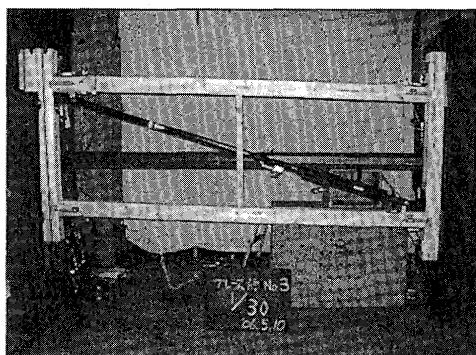


写真4 試験体変形状況 (ダンパー付き試験体・静的加力 $R=1/30$)

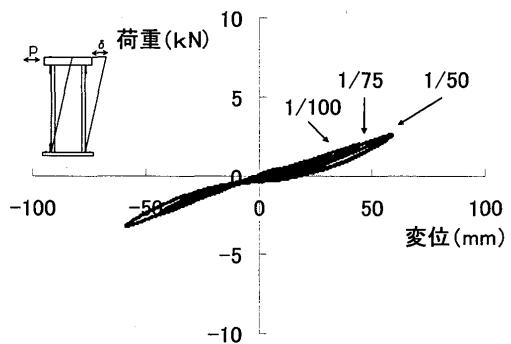


図9 荷重変形曲線(ダンパー無試験体)

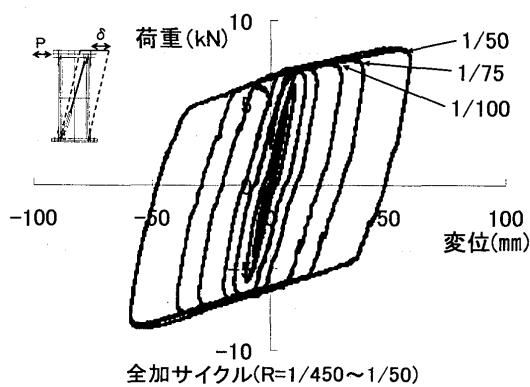


図10 荷重変形曲線(ダンパー付き試験体・動的加力)

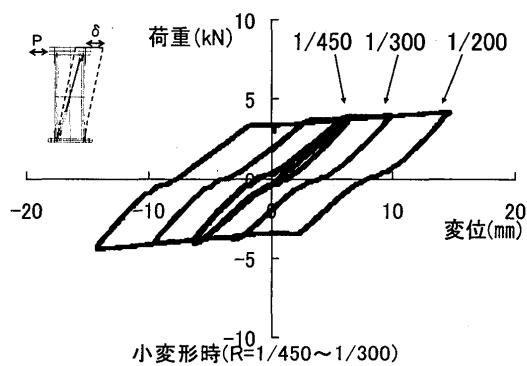
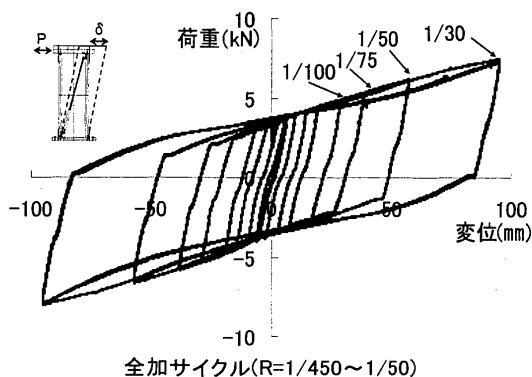
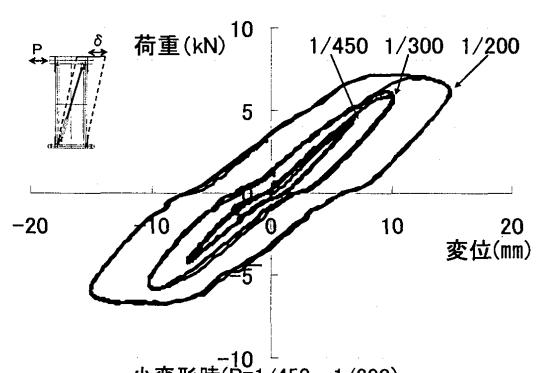


図11 荷重変形曲線(ダンパー付き試験体・静的加力)

5. 考察

5-1 軸組変形成分

ダンパー付き試験体・動的加力実験について、架構の曲げ変形（「土台の回転」と「柱脚部の柱抜け出し及び土台へのめり込み変形」より算出）を図12に示す。R=1/200までは概ね弾塑性的な挙動を示す。R=1/150以降は原点指向型のループ形状を示し、図中に示す通りR=1/75、1/50では所定変形からの除荷時にも曲げ変形が増大する。

全体変形に占める「せん断変形」の割合を図13に示す。なお、せん断変形は全体変形から曲げ変形を減じて求めた。全体変形に占めるせん断変形の割合はR=1/200では80%をR=1/100以降では90%を超えており、せん断変形が支配的（すなわち土台回転・柱抜けが少ない）であることが判る。

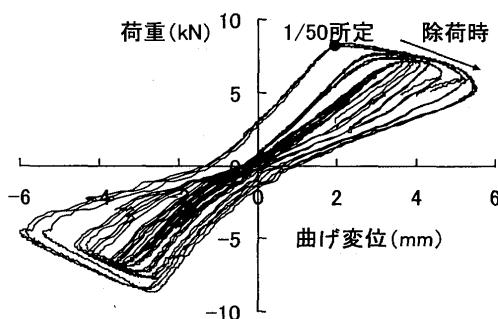


図12 架構の曲げ変形

5-2 CFD の挙動

CFD の荷重変形関係を図14に示す（全加力サイクルと小変形時に分けて示す）。同図の縦軸はCFDに取り付く鋼管中央部（長さ方向）の同一断面内4箇所で測定した軸歪みから算定した軸力であり、横軸はCFDのストロークを直接変位計で測定したものである。同図に示す荷重変形関係はR=1/450ではCFDは殆ど履歴面積を生じていないが、R=1/300からはCFDが滑りによる履歴面積を生じる。図14に示す軸組に組み込まれたCFDの荷重変形曲線は、図4に示すCFD単体と同様に剛塑性型のループ形状を示し、定格荷重25kN近傍で滑りが生じて所定の減衰力を発生させている。また、正負でループ形状の差違は少なく、圧縮側もCFDが有効に減衰力を発生させていることが判る。

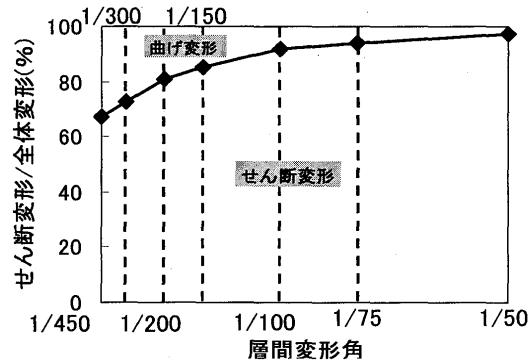


図13 架構のせん断変形分担率

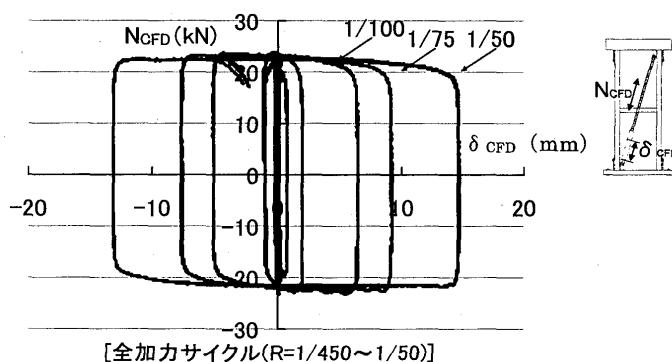


図14 CFD・荷重変形関係

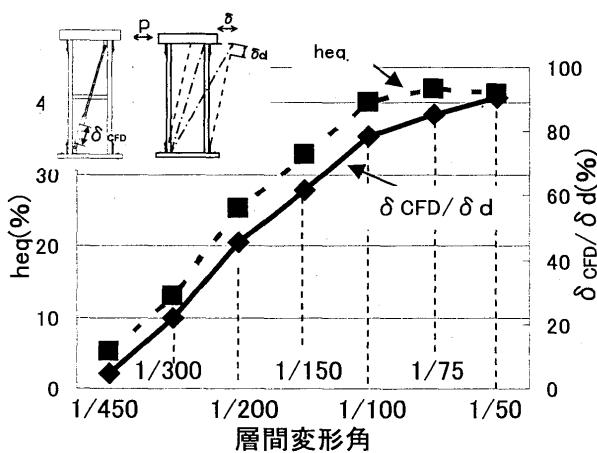
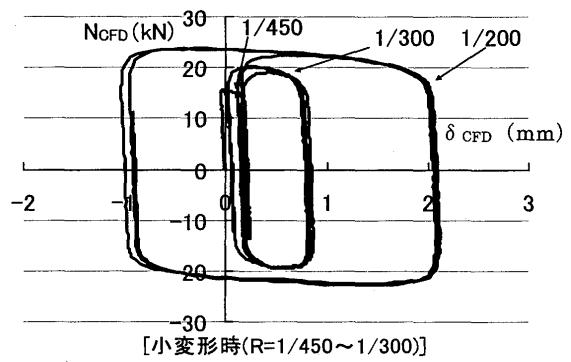


図15 等価粘性減衰定数 h_{eq}

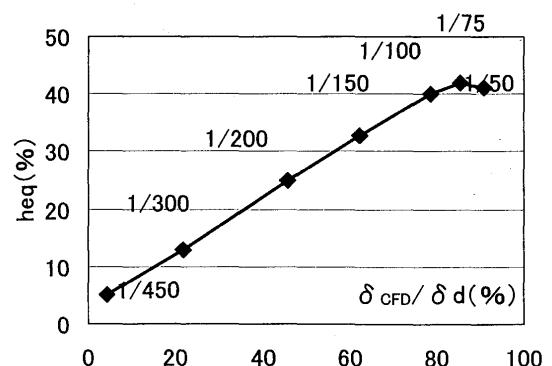


図16 h_{eq} と CFD 変形の関係

5-3 減衰性能

各 R の第2サイクル目の荷重変形曲線より求めた等価粘性減衰定数(以下 h_{eq})を図15に示す。また、同図中には各 R 所定変形時のCFDのストロークの測定値(δ_{CFD})を、全体変形測定値より算出した架構対角線の変位(δ_d :架構純せん断変形時の対角線変位)で除したものを併せてプロットしている。 h_{eq} は R とともに増大し、 $R = 1/100$ で $h_{eq} = 40\%$ 前後に達する。 $R = 1/100$ 以降は R に対する h_{eq} の増加率は鈍る。 δ_{CFD}/δ_d は h_{eq} と同様に R とともに増大し、 $R=1/450$ では 5%以下であるが $R = 1/150$ では

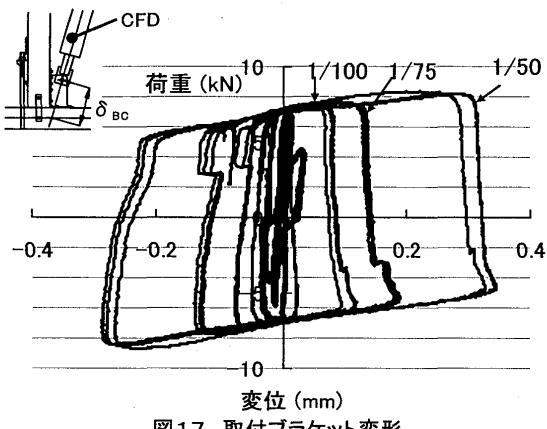
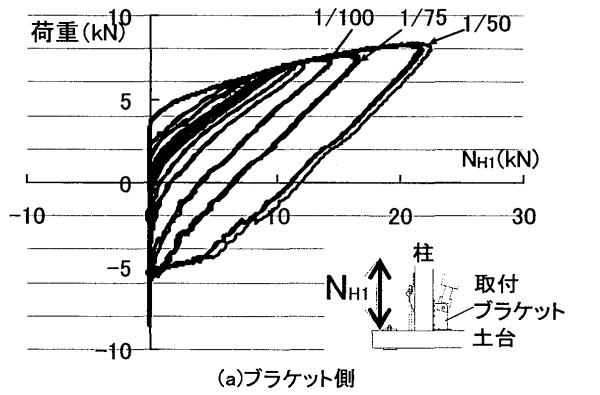


図17 取付ブラケット変形



(a) ブラケット側

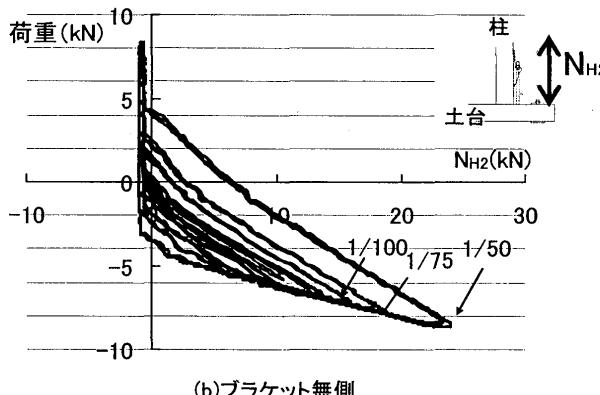


図18 ホールダウン金物軸力

約 60%、 $R = 1/50$ では約 90%に達する。図16に示す通り $R = 1/75$ までは h_{eq} は δ_{CFD}/δ_d に比例して増加している。これらより、図10に示す架構全体の履歴面積の増大($R=1/300$ 以降)は CFD の減衰力によることが判る。

5-4 接合部の挙動

取り付けブラケットと軸組との相対変形(CFD取り付け方向に座標変換したもの)を図17に示す。軸組に対するブラケットの変形は 0.5mm 以内に収まっており、取り付けブラケットは軸組に高い剛性で固定されることが判る。

柱脚側ホールダウン金物の軸力を図18に示す。同図の縦軸は架構に載荷したせん断力を、横軸はホールダウン金物の同一断面内2箇所で測定した軸歪みから算出した軸力である。CFD ブラケットが取り付く側(同図(a))、取り付かない側(同図(b))とともに最大軸力は 25kN 以下であり、ホールダウン金物の引張耐力(35kN)以下に収まっている。

6.まとめ

摩擦ダンパーCFDによる戸建て住宅向け制震構法の開発・実用化を目的に、CFDを組み込んだ軸組のせん断実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) ダンパー無し・付き試験体の両方ともに実験終了時まで、柱・梁材、ダンパー、接合部に破壊は生じなかった。
- 2) ダンパー無し試験体は概ね弾性的なループ形状を示す。
- 3) ダンパー付き試験体は $R = 1/300$ 以降でループ面積が増加する。
- 4) ダンパー付き試験体の減衰定数 h_{eq} は層間変形 R とともに増大し $R = 1/100$ 以降は $h_{eq} = 40\%$ 程度の値を示す。
- 5) h_{eq} の増大は CFD の減衰力によるものが支配的である。
- 6) 取り付けブラケットは高い剛性で軸組に接合されている。
- 7) 軸組中に組み込まれた摩擦ダンパーCFDは CFD 単体で元来有する減衰性能を発揮している。
- 8) 以上の通り本構法は、有効な減衰力を発揮でき、かつ現在の木造軸組建物の施工技術の範囲内で施工な点と併せ、戸建て木造軸組建物の制振構法として有効なものであると判断出来る。

【参考文献】

- 1) 笠井和彦、和田章、緑川光正、坂田弘安、大木洋司：財産保持性に優れた戸建制振住宅に関する研究開発(その1 研究概要)，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2, pp115~116, 2004.8
- 2) 平田俊次、三津橋歩、梶川久光、西澤哲郎、千原勝幸、松本達治、吉田傑、野口弘行：木質接着パネル構法住宅における制振構造に関する研究(その1 研究のねらい)，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1, pp61~62, 2005.9

[2007年4月20日原稿受理 2007年7月26日採用決定]