

# 在来天井の耐震対策に関する振動台実験 —ポストタイプ制震天井の性能検証—

## Shaking Table Test on The Earthquake Preparation for The Conventional Ceiling—Performance of Ceiling-Control Device System on Post Type—

金川 基\*\*

Motoi Kanagawa

飯塚 信一\*\*

Shinichi Iizuka

高井 茂光\*\*

Shigemitsu Takai

鹿籠 泰幸\*

Yasuyuki Shikamori

### 要 約

近年の大地震により、大空間建物での在来天井の落下被害が報じられている。このような状況を踏まえ、前報では、西松・戸田共同研究開発にて、在来天井の破壊メカニズムの確認のための振動台実験を行い、その耐震対策として、①衝突を防止するためには天井の変位を抑制する、または、②衝突時の衝撃を低減するための緩衝材を設置することが有効であるとの結論を得て、天井の変位を抑制する方法として、壁取り付けタイプの粘弾性ダンパーを提案し、振動台実験を実施して在来天井に比べて耐震対策の有効性を確認した。

本研究では、開発した制震天井システムの適用範囲の拡大を図るため、ポストタイプ（床からの吊り下げ）の取付方法を考案し、平天井および段差天井に設置し、振動台実験により、その性能を検証した。検証結果から、壁取り付けタイプと同等の変位低減効果が得られることを確認した。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 静的加力実験および施工性
- § 3. 平天井振動台実験
- § 4. 段差天井振動台実験
- § 5. おわりに

### § 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>にて、在来天井の破壊メカニズムの確認のための振動台実験を行い、その耐震対策として、天井の変位を抑制する方法として、壁取り付けタイプの粘弾性ダンパーを提案し、振動台実験を実施して在来天井に比べて耐震対策の有効性を確認した<sup>2)</sup>。

本報では、制震天井システムの適用範囲の拡大を図るため、ポストタイプの取付方法を考案し、静的加力実験により水平剛性を確認するとともに、平天井および段差天井に設置し、振動台実験により、動的性能を確認する。

### § 2. 静的加力実験および施工

#### 2-1 ポストタイプ制震天井の概要

ポストタイプ制震天井の概要を図-1 および写真-1 に示す。ポストタイプ制震天井は、ポスト部、ブレース部および粘弾性ダンパー取り付け用治具から構成される。壁取り付けタイプの制震天井が天井周囲に設置されるのに対し、ポストタイプ制震天井は、粘弾性ダンパーを天井の任意の位置に取り付けることが可能である。地震時

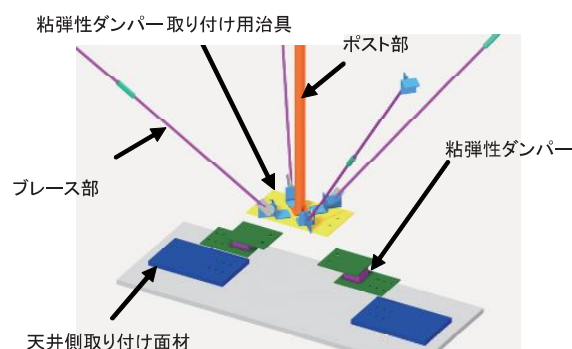


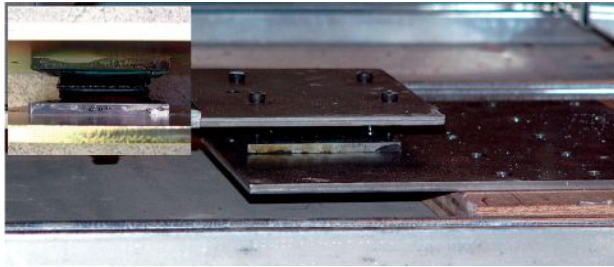
図-1 ポストタイプ制震天井の概要

\* 技術研究所

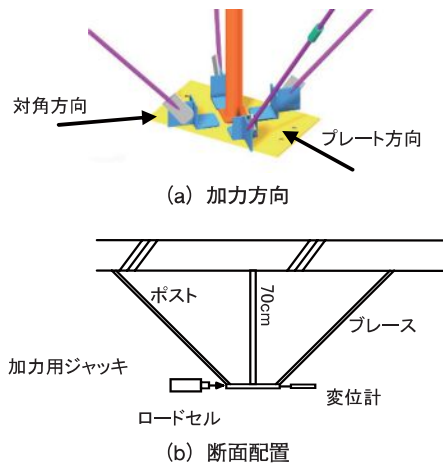
\*\* 技術研究所技術研究部建築技術研究課



写真一 1 ポストタイプ制震天井の設置状況



写真二 粘弾性ダンパー



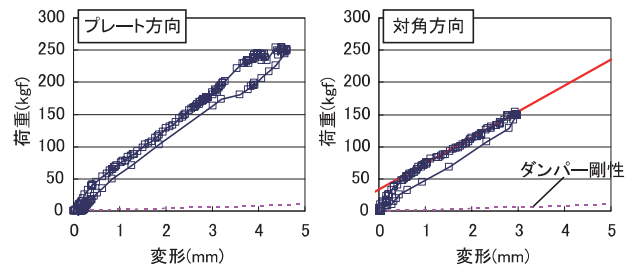
図二 静的加力実験の概要

の水平力は、圧縮材ポスト部と引張り材ブレース部で構成されるトラス機構で負担される。粘弾性ダンパーは、大きさ  $30 \times 30$  mm、高さ 11.2 mm のジェン系粘弾性体を用いた（写真二参照）。

## 2-2 静的加力実験および施工性

地震時にポストタイプ制震天井が想定する性能を発揮するためには、ポスト部とブレース部によって構成されるトラス機構が、躯体と一体となって挙動をするための水平剛性を確認する必要がある。そのため、このトラス機構の静的加力実験を行い、水平剛性を確認した。また、併せてポスト取り付け時の施工性について確認した。

静的加力実験の概要を図二に示す。水平剛性は、ジャッキで水平に載荷した時の荷重-変形関係より求めた。荷重は、ジャッキとプレート間に取り付けたロードセル、変形は、プレート部に取り付けた変位計により計測した。加力方向は、プレート方向およびプレート対角方向の2



図三 荷重-変形関係

種類とした。

施工性については、ポスト部およびブレース部の取り付け用アンカー打設からの作業時間を計測した。

ポスト部とブレース部によって構成されるトラス機構および粘弾性ダンパーの荷重-変形関係を図三に示す。図より、プレート方向およびプレート対角方向の水平剛性は、粘弾性ダンパーのせん断剛性より十分大きな値であることが確認できる。

また、加力方向について、対角方向に加力した時の剛性は、プレート方向に加力した場合より約 30% 小さくなった。これは、ブレースの配置が、一部偏心して取り付けられたためと考えられる。

施工性確認実験の結果、アンカー打設からポスト取り付けまでの一連の作業時間はおよそ 30 分程度であり、比較的容易に取り付けられることが確認できた。

## §3. 平天井振動台実験

### 3-1 平天井試験体

平天井試験体の概要を写真三に示す。天井は、寸法を  $4,500 \times 4,500$  mm、石膏ボード厚さ 9.5 mm を 2 枚貼り（全重量 340 kgf）とし、吊りボルト（ $\phi 9$  mm）長さを 1,500 mm、間隔を 900 mm ピッチで配置した。試験体壁部と天井石膏ボード部とのクリアランスは、全周とも約 50 mm とした。

試験ケースを表一に示す。試験ケースは、在来天井との比較および壁取り付けタイプとの比較のために、在来天井、壁取り付けタイプおよびポストタイプとした。

平天井試験体の配置を図四に示す。ポストタイプ制震天井は、図に示す位置に 3 カ所取り付け付けた。ポストとブレースの径は、それぞれ 30 mm、12.7 mm で、1 つのポストに粘弾性ダンパーを 2 個を設置し、合計 6 個とした。

また、在来天井の吊りボルトには、ハの字型にブレース（ $\angle -38 \times 12 \times 1.2$ ）を設置したが、制震天井は、吊りボルトブレースを無しとした。

### 3-2 加振方法および計測方法

加振は、電気・油圧方式の 3 軸 6 自由度振動台（テーブル寸法  $5,500 \times 5,500$  mm、定格積載重量 30 tf、最大加

速度2G)を用いた。入力波は、El Centro 波(原波 Max 340 gal) 水平1方向(野縁方向)、および水平2方向+上下の3方向加振とした。振動台への加速度入力の一例を図一5に示す。各試験ケースにて、入力波はほぼ同等であることが確認できる。

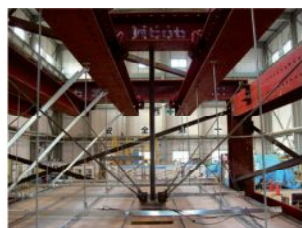
計測機器設置の概要を図一6に示す。計測は、天井石膏ボード上に加速度計を設置し、また、試験体壁部と天井石膏ボード部との水平方向の相対変位測定のために2方向に2箇所づつレーザー変位計を設置した。また、ポストタイプ制震天井の実験では、プレース部のひずみを計測した。

### 3-3 平天井振動台実験結果

各試験体による El Centro NS 1 方向入力時のフレームに対する天井の変位時刻歴波形を図一7、天井に設置した加速度時刻歴波形を図一8に示す。図より、天井にダンパーを取り付けることにより、天井の変位は大きく低減されている。また加速度については、低減効果は見られなかった。



(a) 試験体全景



(b) ポストタイプ



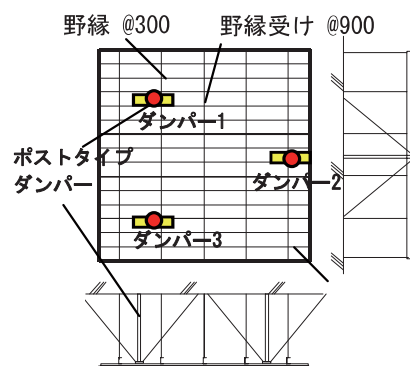
(c) 壁取り付けタイプ

写真一3 平天井試験体の概要

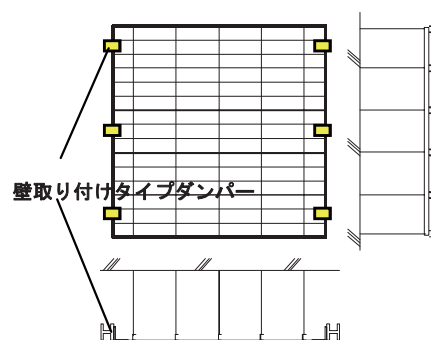
| 表一 1 試験ケース |      |          |              |
|------------|------|----------|--------------|
| 試験 No.     | 天井種類 | 取り付け方法   | 吊りボルト プレース   |
| 1          | 制震天井 | ポストタイプ   | —            |
| 2          |      | 壁取り付けタイプ | —            |
| 3          | 在来天井 | —        | [ -38×12×1.2 |

ポストタイプ制震天井と壁取り付けタイプ制震天井の変位時刻歴波形の比較を図一9に示す。

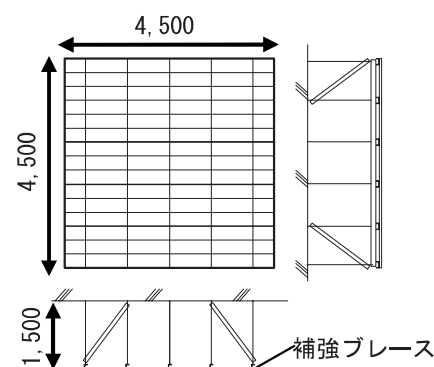
変位は、壁取り付けタイプに比べてポストタイプの方が数 mm 大きい結果となった。これは、壁取り付けタイ



(a) ポストタイプ制震天井

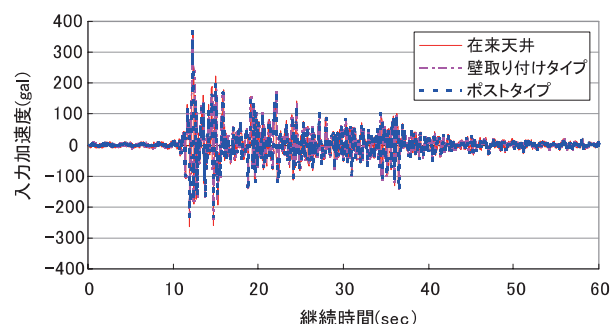


(b) 壁取り付けタイプ制震天井

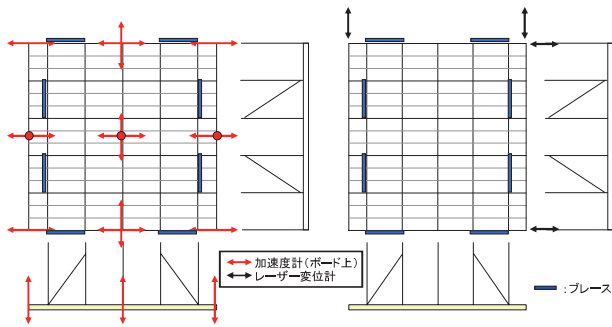


(c) 在来天井

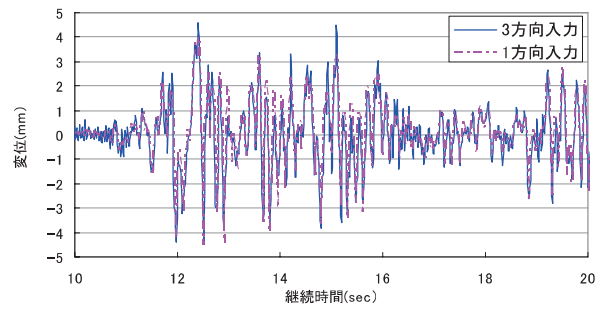
図一4 平天井試験体の配置



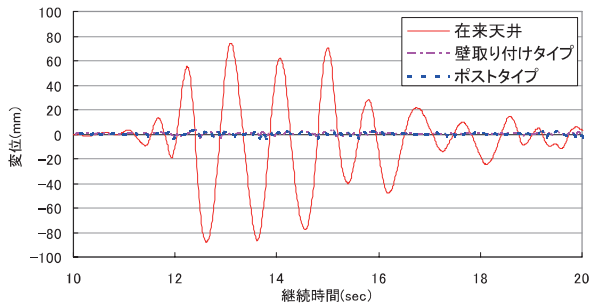
図一5 入力波の一例 (El Centro NS 波)



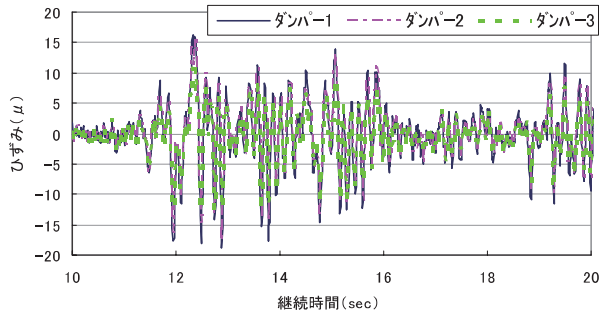
図一六 計測機器設置の概要（在来天井例）



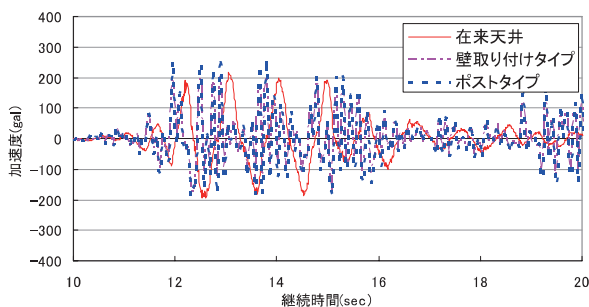
図一十 加振方向の違いによる変位時刻歴波形の比較



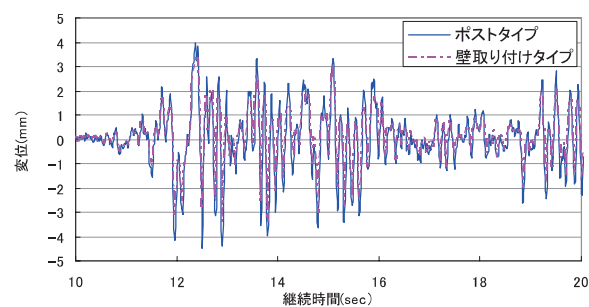
図一七 変位時刻歴波形の比較



図一十一 ブレース部のひずみ時刻歴波形の比較



図一八 加速度時刻歴波形の比較



図一九 変位時刻歴波形の比較

プに比べてポスト部とブレース部で構成される治具の水平変形によるものと考えられる。

ポストタイプ制震天井の加力方向の違いによる性能比較を図一十に示す。1方向加振に比べ3方向加振の場合、若干変位が大きいものの、ほぼ同じ値となっており、上下動がダンパー性能に与える影響は小さいと言える。

ポストタイプ制震天井の3箇所に設置したブレース部

のひずみの時刻歴波形を図一十一に示す。

ブレース部のひずみは、1方向加振の方向から、圧縮・引張り側が同等となる2組のブレース部のひずみの平均値を用いた。

図より、ポストタイプ制震天井のブレース部のひずみは、3箇所ではほぼ同じ挙動をしており、それぞれのダンパーは均等に地震力を負担していることが確認できた。

## §4. 段差天井振動台実験

### 4-1 段差天井試験体

段差天井試験体の概要および段差部を写真一四および写真一五に示す。天井寸法は4,500 mm×4,500 mmで、吊り高さは段差下で1,500 mmとし、段差高さは450 mmとした。段差補強材は約1,200 mm間隔で4本設置した。

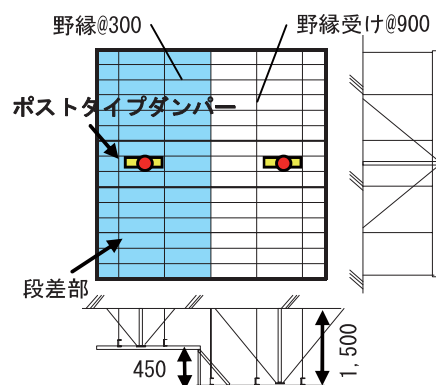
段差天井試験体の配置を図一十二に示す。ポストタイプ制震天井は、図に示す位置に2カ所取り付け、粘弾性ダンパーを合計4個設置した。

実験ケースを表一に示す。段差位置は天井中央部に設けた。粘弾性ダンパーは、段差上下にそれぞれ2箇所ずつの計4箇所設置した（ポストタイプは1本のポストに2箇所設置）。また、比較のために粘弾性ダンパーのない天井および段差のない天井での実験も行った。天井と周囲の壁には設計変形量の約2倍である20 mmのクリアランスを設けた。粘弾性ダンパーは、48×48×8 mmのジェン系粘弾性体を用いた。

粘弾性ダンパーのない在来天井では周囲のクリアランスは設けなかった。また、在来天井の吊りボルトには、ハ



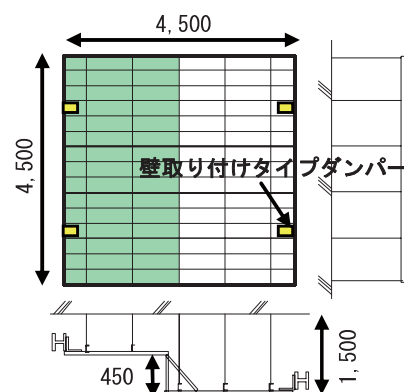
写真一4 段差天井試験体の概要



(a) ポストタイプ制震天井



写真一5 段差部



(b) 壁取り付けタイプ制震天井

図一12 段差天井試験体の配置

表一2 試験ケース

| 試験<br>No. | 天井種類 | 段差<br>有無 | 取り付け方法   | 吊りボルト<br>ブレース                  |
|-----------|------|----------|----------|--------------------------------|
| 1         | 制震天井 | 有        | ポストタイプ   | —                              |
| 2         | 制震天井 | 有        | 壁取り付けタイプ | —                              |
| 3         | 在来天井 | 有        | —        | [ $-38 \times 12 \times 1.2$ ] |
| 4         | 制震天井 | 無        | 壁取り付けタイプ | —                              |

の字型にブレース（ $[-38 \times 12 \times 1.2]$ ）を設置したが、制震天井では吊りボルトブレースを設置しなかった。

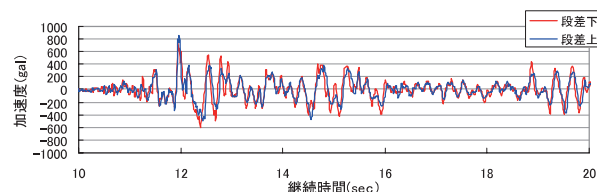
#### 4-2 加振方法および計測方法

入力波は、El Centro 波 300% (Max 1,020 gal) とし、水平 1 方向 (NS 成分) および上下の 2 方向加振とした。

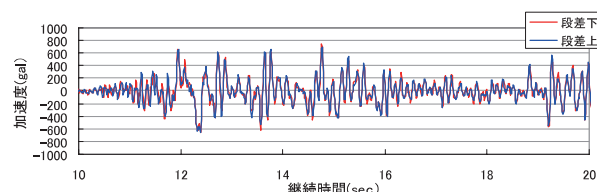
計測は、天井石膏ボード上の加速度、天井端部の相対変位およびポストと段差補強材のひずみとした。

#### 4-3 段差天井振動台実験結果

在来天井とポストタイプ制震天井の段差上下での加速度時刻歴波形を図一13に示す。在来天井では、段差上下でおよそ 20% 程度の加速度の違いが生じているのに対し、制震天井では、段差上下の加速度の違いはほとんどなく、天井全体が同じ挙動を示していることが確認できる。



(a) 在来天井



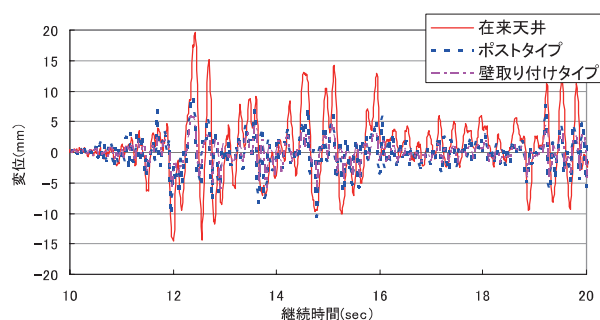
(b) ポストタイプ制震天井

図一13 段差上下での加速度時刻歴波形の比較

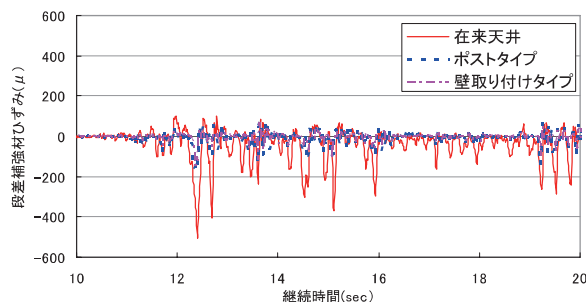
各試験ケースの変位時刻歴波形を図一14に示す。

制震天井では、取り付け方法の違いにより、若干ポストタイプの変位が大きくなっているが、どちらも 10 mm 以内である。しかしながら、在来天井では周囲にクリアランスがないにも関わらず 20 mm 程度の変形が生じた。これは、段差部で生じた変形が含まれると考えられる。

段差補強材のひずみの時刻歴を図一15に示す。ひずみは段差補強材両面の平均値である。両者を比較すると、制震天井の段差補強材のひずみは、在来天井のひずみの約



図一14 変位時刻歴波形の比較



図一15 段差補強材ひずみ時刻歴波形の比較

30～40%であり、段差部に生じる力が大きく低減されていることがわかる。

## §5. おわりに

制震天井の適用範囲拡大のため、ポストタイプ（床からの吊り下げ）の取付方法を考案し、性能確認するために実施した諸実験により、以下のことが明らかとなった。

- (1) 静的加力実験より、粘弾性ダンパー取り付け部の水平剛性は、粘弾性ダンパーのせん断剛性より十分大きな値であることを確認した。
- (2) 施工性確認実験より、アンカー打設から取り付け部設置までの一連の作業時間は、およそ30分程度であり、比較的容易に取り付けられることを確認した。
- (3) 平天井の振動台実験より、制震天井は、在来天井に比べて天井の変位は大きく低減されるが、加速度につ

いては、低減効果は見られなかった。また、制震天井の取り付け方法に違いでは、壁取り付けタイプに比べてポストタイプは、水平剛性の影響により若干変位が大きくなることを確認した。

(4) 平天井の振動台実験より、ポストタイプ制震天井は上下動の影響はあまり受けないことを確認した。

(5) 平天井の振動台実験より、ポストタイプ制震天井のブレース部のひずみは、今回の実験で設置した3箇所についてはほぼ同じ挙動をしており、それぞれの粘弾性ダンパーは均等に地震力を負担していることを確認した。

(6) 段差天井の振動台実験より、在来天井では、段差上下で20%程度の加速度の違いが生じているのに対し、制震天井では、段差上下の加速度の違いはほとんどなく、天井全体が同じ挙動を示していることを確認した。

(7) 段差天井の振動台実験より、制震天井の段差補強材のひずみは、在来天井のひずみの約30～40%であり、段差部に生じる力が大きく低減されていることを確認した。

謝辞：本研究は、戸田建設㈱との共同研究にて実施され、本論作成にあたり、多大なるご協力を頂いた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 在来天井の耐震対策に関する振動台実験－制震天井システム工法の開発－，西松建設技報 2007 Vol. 30, 2007. 6, pp. 19-24.
- 2) 在来天井の耐震対策に関する振動台実験 その1～その3，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），B-1分冊，2007. 8, pp. 867-872.
- 3) 非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領，日本建築学会，2003.
- 4) 2003年十勝沖地震における空港ターミナル等の天井の被害に関する現地調査報告，国土交通省国土技術政策総合研究所，2003. 10.
- 5) 体育館等の天井の耐震設計ガイドライン，（財）日本建築センター，1998. 3.