

懐寸法の大きな天井を対象とした振動台実験

耐震天井 吊り天井 在来天井
斜め部材 振動台実験

正会員 ○大森 直樹^{*1} 正会員 植原 均^{*3}
同 小林 俊夫^{*2} 同 亀山 靖司^{*4}
同 荒井 智一^{*1} 同 田上 淳^{*3}
同 梅野 友里^{*1} 同 金子 貴司^{*3}

1. はじめに

在来天井では、懐寸法が 1500mm を超える場合には、斜め部材（以下、ブレース）、及び、水平補剛材を釣合い良く配置する必要がある。懐寸法が大きな天井の地震時挙動については定量的な把握が不十分である。そこで、昨年度、2 段ブレース工法、及び、通しブレース工法を対象として、懐寸法が 3000mm の在来工法天井の静的載荷実験を行ない、適切に補強した天井の力学的性能を確認した¹⁾。本報では、静的載荷実験で実施したものと同一の天井を 3 種類製作し、その動的挙動を確認するために振動台による加振試験を実施した。

2. 実験概要

試験体は全 4 体である。試験体 A は一般的な 2 段ブレース形式の試験体で、静的載荷試験は実施していない。残り 3 体は、静的載荷実験で実施した試験体である。試験体 A を図 1 に、試験体緒元、及び、計算強度一覧を表 1 に示す。天井の平面寸法 (3750mm×5700mm)、懐寸法 (3000mm)、及び、ブレース角度 (60 度) は全試験体共通である。試験体の Y 方向を試験対象とし、ブレースを 1 対配置した。X 方向にはブレースを 2 対配置し、天井面の回転を拘束した。試験体 B には天井カセット型エアコン（以下、天カセ）を 2 台設置して加振試験を実施した。

静的載荷実験では、試験体 B と試験体 C はブレースの座屈により最大荷重となった。試験体 D はオイラー座屈計算値以降に金物が滑り、最大荷重となった。

加振波は告示波八戸位相（以下、告示波）である。加振は 3 軸同時加振とし、加振レベルを 50, 100, 150, 200, 250, 300% と漸増させた。また、加振と加振の間にはランダム波加振を実施し、試験体の振動特性を確認した。

3. 実験結果

試験体 A は、加振レベル 150% で水平 2 方向の水平補剛材を固定する金物（以下、CH ホルダ）が緩み、加振レベル 200% で CH ホルダが外れた。加振レベル 300% でブ

ースが座屈した。試験体 B では、加振レベル 250% で水平補剛材同士を連結する金物が外れた。加振レベル 300% では天カセの固定金具が緩み、天カセが自由に動き始め、天カセの衝突で天井ボートに軽微な損傷が見られたものの、ブレースの座屈は見られなかった。試験体 C は、加振レベル 300% でブレースの上端金物が 5mm 下にずれたが、ブレースの座屈は見られなかった。試験体 D は、加振レベル 250% でハンガーが野縁受けに沿って水平移動し、加振レベル 300% でブレースの頂部金物が 5mm 下にずれたもののブレースの座屈は見られなかった。試験体 B と試験体 C について、静的載荷実験ではブレースが座屈したが、振動台実験ではブレースは座屈せず、破壊モードが変化した。試験体 D は破壊モードの変化はなかった。

4. 考察

4.1. 荷重－変形関係

各試験体の荷重－変形関係を図 2～図 5 に示す（荷重は天井中央の加速度と天井質量から算定した）。図中には、静的載荷実験における荷重－変形関係の包絡線、振動台実験による初期剛性（加振レベル 50% における荷重－変

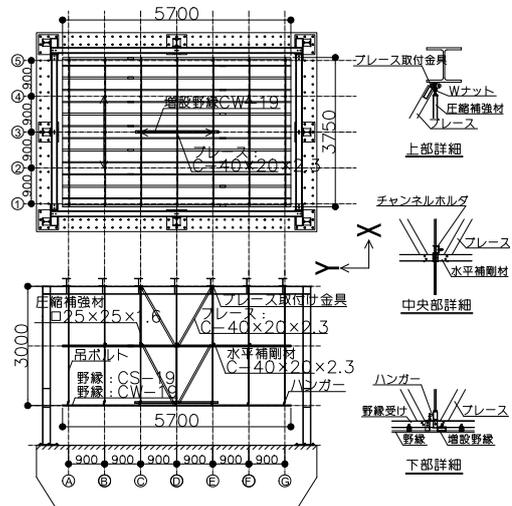


図 1 試験体 B の平面、軸組図（加振軸）、及び、詳細図

表 1 試験体、計算強度、及び、実験結果の一覧

試験体	ブレース形式	加振方向	吊りボルトの圧縮補強	懐寸法 (mm)	ブレース	質量 (kg)	Pe:短期許容荷重 ¹⁾ (N)	破壊モード	最大荷重 実験値 (N)	Pa:許容荷重 実験値 ²⁾ (N)	Pe/Pa (%)
A	2 段	野縁	上段のみ	3000	C-40x20x2.3 ⁴⁾	252	3391	座屈	5246	2566(3849)	75.7
B	ブレース		通し補強		C-40x20x10x1.6	332 ³⁾	4264	金物滑り	5624	3567(5350)	83.7
C	通し	なし	C-60x30x10x1.6 ⁵⁾		242	3242	金物滑り	6513	3007(4510)	92.8	
D	ブレース	野縁受	なし			254	3161	金物滑り	7116	3924(5887)	124.1

*1:文献 2 の Q-7)式によるブレースの短期許容圧縮軸力時の水平力。通しブレースタイプでは、座屈長さをブレース全長とした。*2:括弧の数値は剛性変化点。*3:試験体 A には、天カセ(35kg/台)を 2 台設置している。*4: 静的載荷実験では C-40×20×1.6 を使用。*5:ブレース材と吊ボルトの交点には固定金物を使用。

Shaking Table Test on Long Suspended Ceiling.

OMORI Naoki, KOBAYASHI Toshio, ARAI Tomokazu, UMENO Yuri,
UEHARA Hitoshi, AKIYAMA Seiji, TAGAMI Jun and KANEKO Takashi

形関係の近似直線)、及び、初期固有周期の 1.25 倍の直線も示す。試験体 A はブレース座屈しており、最大荷重はオイラー座屈荷重計算値の 106.9%と良く一致している。試験体 B の最大荷重はブレースの短期許容荷重より高く、且つ、オイラー座屈荷重より低い。試験体 C と試験体 D は、ブレースのオイラー座屈荷重より大きい。通しブレースタイプ同士を比較すると、野縁受け方向の履歴ループは、野縁方向と比較して、早い段階で逆 S 字の履歴を描き始めた。

4.2. 振動数の変化

天井試験体の固有振動数の変化について、図 6 に示す。試験体 B は天カセの重量を差し引き、天カセが無いと仮定した場合も示す。試験体の初期振動数を比較すると、試験体 A は 5.7Hz であり、他の試験体 (6.6Hz~7.3Hz) よりも低い。他の 3 体については、ほぼ同程度の初期振動数であった。試験体 A は荷重が 2640N 作用した後、振動数が 4.3Hz (初期振動数の 75.3%) まで低下している。他の試験体は、2730N~2880N の荷重 (ほぼ 1G 程度) が作用しても、振動数の低下は 5%程度であり、試験体は健全であった。

4.3. 許容荷重

文献 2 に従って、試験体の許容荷重を算定する。どの試験体も最大荷重前に剛性の低下が見られるため、剛性変化点の 2/3 倍を許容荷重とする。ここで、振動台実験に

よる荷重-変形関係の包絡線と初期固有周期が 1.25 倍となる直線の交点求める。求めた交点は、正方向と負方向の 2 点あるため、平均値を剛性変化点とする。許容荷重の一覧を表 1 に示す。求めた許容荷重は、文献 2 による短期許容時荷重計算値より小さくなるケースと大きくなるケースがあった。特に座屈した試験体 A では、座屈後の負方向側では荷重が低下するため、平均することにより、許容荷重が低下している。図 6 を許容荷重、及び、初期振動数でそれぞれ基準化した振動数変化を図 7 に示す。許容荷重以降、振動数の低下が顕著にみられる。

5. 結論

懐寸法の大きな在来天井試験体を対象とした振動台実験を実施し、以下の結論を得た。

1. 振動台実験では、静的載荷実験と異なる破壊モードとなる試験体が見られた。
2. 通しブレースタイプ同士では、野縁受け方向に加振した方が、早い段階で逆 S 字の履歴ループを描いた。
3. 適切に補強した天井では、水平 1G を超える荷重が作用しても剛性の低下は見られず、健全であった。
4. 許容荷重は、ブレースの座屈荷重計算値よりも高くなるケースと小さくなるケースが見られた。

参考文献

- (1) 植原ほか：「吊り長さ 3m の天井の耐震性能に関する研究(その 1)~(その 4)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集構造 I, pp.1025-1032, 2013.8
- (2) 国土交通省ほか：「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」, 平成 25 年 9 月

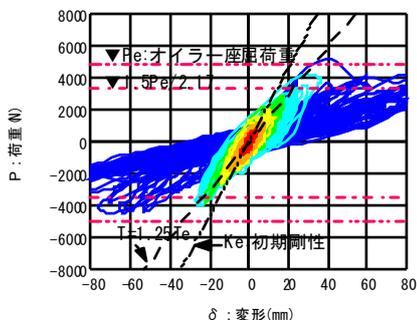


図 2 試験体 A の荷重-変形関係

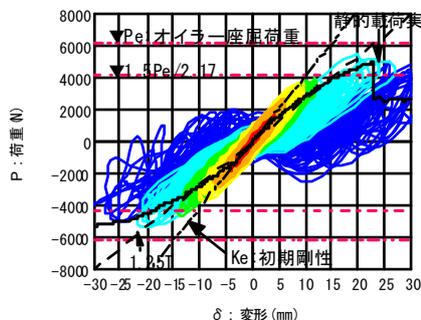


図 3 試験体 B の荷重-変形関係

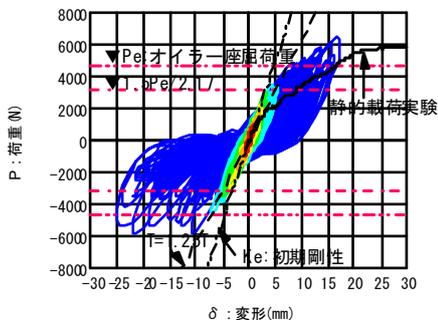


図 4 試験体 C の荷重-変形関係

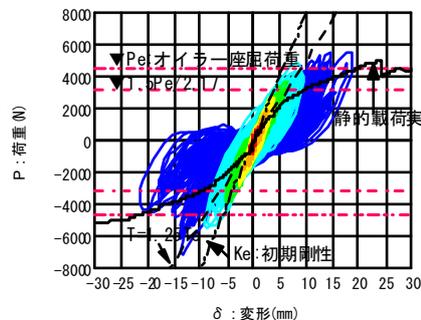


図 5 試験体 D の荷重-変形関係

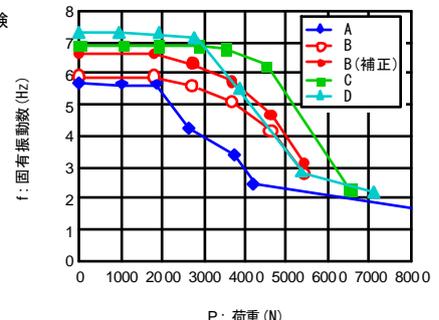


図 6 固有振動数の変化 (ランダム加振)

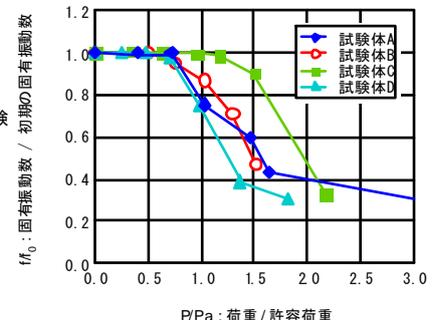


図 7 固有振動数の変化 (基準化)

*1: 荷重は天井面中央の加速度と試験体の質量から計算で求めた。また、加速度は LPF 処理した。*2: 試験体 A のブレースは、静的載荷実験と振動台実験と異なるため、静的載荷実験の結果はプロットしない。*3: 試験体 C の静的載荷実験では、一方向単調載荷である。

- *1 桐井製作所 修士 (工学)
- *2 桐井製作所 工学博士
- *3 鹿島建設
- *4 鹿島建設 博士 (工学)

- *1 Kirii Construction Materials, M.Eng.
- *2 Kirii Construction Materials, Dr. Eng.
- *3 Kajima Corporation
- *4 Kajima Corporation, Dr. Eng.