静的面内圧縮力を受ける鋼製下地吊り天井の力学特性

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL FURRING SUSPENDED CEILING SYSTEM UNDER STATIC IN-PLANE COMPRESSION

稲井慎介 — * 1 石原 直 — * 2
渡壁守正 — * 1 森田泰弘 — * 1
脇山善夫 — * 3 喜々津仁密 — * 4

Shinsuke INAI — * 1 Tadashi ISHIHARA — * 2
Morimasa WATAKABE — * 1 Yasuhiro MORITA — * 1
Yoshio WAKIYAMA — * 3 Hitomitsu KIKITSU — * 4

キーワード：
鋼製下地吊り天井, 静的実験, 天井懐, 開口, 大規模実験

Keywords:
Steel furring suspended ceiling system, Static tests, Suspended length of ceiling, Opening, Large scale tests

In recent years, suspended ceilings were often damaged by earthquakes. Investigations on seismic capacity of ceilings have been conducted by some researchers. The new standard for ceilings against earthquakes requires a relatively large clearance around those to prevent collision with surrounding walls. On the other hand, there are still the needs for ceilings without clearance because of workability or room's uses. In this paper, mechanical properties of steel furring suspended ceiling system for in-plane compression are clarified by static compression tests, using small and large scale specimen. Those properties are essential to evaluate the seismic capacity of ceilings without clearance.

1. はじめに

近年、天井の脱落被害が目立っており、その耐震対策の検討が進められている。2014年4月1日からは天井告示¹⁾(平成25年国土交通省告示第771号等)が施行され、特定天井を対象とした天井の耐震対策が示された。告示では地震時の水平力を斜め部材で負担し、天井が周囲の壁等と衝突しないよう所定のクリアランスを設けることが前提となっている。一方で、建物用途(音響に配慮する必要があるホールや、気密性の求められるクリーンルーム等)や施工性等を考えた場合、周囲にクリアランス設けない天井^{2)~3)}に対するニーズも多い。クリアランスを設けない天井では、構造躯体の層間変形への追随を考慮して斜め部材は設置しない。地震時の水平力は天井の面内圧縮力として、周囲の壁等に伝達される必要があるため、天井の耐震対策を検討する上では、その剛性や耐力を把握しておくことが重要となる。本稿では、静的面内圧縮実験により、天井の面内剛性、耐力、および破壊性状について検討した結果を示す。

2. 実験概要

2.1 試験体

図1~図2、表1に試験体概要と天井構成材の仕様をそれぞれ示す。また、写真1に実験状況を示す。試験体はJIS A6517の鋼製下地吊り天井とし、斜め部材は設置しなかった。平面寸法は3.85m × 1.82m(約7m²)の小規模試験体(図1、写真1(a))と、16.5m × 4.8m(約80m²)の大規模試験体(図2、写真1(b))の2種類とした。前者は各種パラメータの影響を確認するため、後者は天井規模が力学特性

図1 試験体概要 (小規模試験体)

図2 試験体概要 (大規模試験体)

本稿は参考文献4)で発表した内容を基に加筆・修正してまとめたものである。

¹⁾ 戸田建設(株)開発センター (〒300-2622 つくば市要315)
²⁾ 御建築研究所建築生産研究グループ 主任研究員・博士(工学)
³⁾ 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 主任研究官・博士(工学)
⁴⁾ 御建築研究所構造研究グループ 主任研究員・博士(環境学)

¹⁾ Toda Corporation, Technical Research Institute
²⁾ Senior Research Engineer, Dept. of Production Eng., Building Research Institute, Dr. Eng.
³⁾ Senior Researcher, Building Dept., National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.
⁴⁾ Senior Research Engineer, Dept. of Structural Eng., Building Research Institute, Ph. D.

表 1 天井構成材の仕様

項目	仕様	
	小規模試験体	大規模試験体
試験体長さ	3,850mm	16,500mm
試験体幅	1,820mm	4,800mm
吊りボルト	3/8φ900mm	3/8φ900mm
天井懐	1,500mm×2,700mm	1,500mm
野縁受け	CC-19φ900mm	CC-19φ900mm
水平補剛材	CC-19φ1,800mm(天井懐2,700mm)	—
ハンガー	JISハンガー	JISハンガー
シングル野縁	CS-19φ303mm	CS-19φ303mm
ダブル野縁	CW-19φ1,820mm	CW-19φ1,820mm
シングルクリップ	CS-19ノ耐風圧クリップφ303mm	耐風圧クリップφ303mm
ダブルクリップ	CW-19ノ耐風圧クリップφ1,820mm	耐風圧クリップφ1,820mm
面材	せつこうボード9.5mm 1枚張りノ2枚張り	せつこうボード9.5mm 2枚張り

図3 試験体記号

(a) 小規模試験体

(b) 大規模試験体

写真 1 実験状況

図4 ボード割付

表 2 試験体一覧

No	試験体記号	圧縮方向	平面寸法 (m) (圧縮方向×幅方向)	天井懐 (m)	ボード 枚数	ボード 割付※1	ボード ビス本数※2 (S野経,W野経)	クリップ 規格	水平 補剛材※3	開口率 (%)	単位面積 重量w (N/m ²)	損傷荷重P _d ※4 (kN/m)	剛性※5 (kN/mm)	P _d /w (m)
1	M1JJ	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	5,6	JIS	-	-	82.0	13.53	2.22	165
2	M1J'J	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	5,6	JIS	-	-	82.0	11.80	2.11	144
3	C1JJ	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	A	6,6	JIS	-	-	81.6	16.50	2.96	202
4	C1JJ-B	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	B	6,6	JIS	-	-	81.6	16.10	2.68	197
5	M2JJ-C	野縁	3.85×1.82	1.5	2	C / A	6,6	JIS	-	-	143.3	22.70	4.12	158
6	C2JJ-C	野縁受	3.85×1.82	1.5	2	A / C	6,7	JIS	-	-	143.0	14.10	2.14	99
7	C2JJ-D	野縁受	3.85×1.82	1.5	2	A / D	6,7	JIS	-	-	143.0	22.80	2.87	159
8	M1JJ-2.7	野縁	3.85×1.82	2.7	1	A	6,6	JIS	-	-	82.0	11.30	1.34	138
9	C1JJ-2.7	野縁受	3.85×1.82	2.7	1	A	6,7	JIS	-	-	81.6	9.20	1.47	113
10	C2JJ-2.7-C	野縁受	3.85×1.82	2.7	2	C / A	6,6	JIS	-	-	143.0	9.10	1.60	64
11	M1JJ-2.7S	野縁	3.85×1.82	2.7	1	A	6,6	JIS	有	-	82.0	15.66	1.69	191
12	C1JJ-2.7S	野縁受	3.85×1.82	2.7	1	A	6,6	JIS	有	-	81.6	12.20	2.09	149
13	M1JJ-o50	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	5,6	JIS	-	50	74.9	12.81	2.09	171
14	M1J'J-o50	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	6,6	JIS	-	50	74.9	15.44	2.05	206
15	M1GJ-o50	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	5,5	JIS	-	50	74.9	8.27	1.33	110
16	C1JJ-o50	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	A	5,5	JIS	-	50	73.3	11.43	1.98	156
17	C1JJ-o25	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	A	5,6	JIS	-	25	81.5	17.99	2.49	221
18	M1JB	野縁	3.85×1.82	1.5	1	A	5,5	耐風圧	-	-	84.7	12.15	1.71	144
19	C1JB	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	A	5,5	耐風圧	-	-	84.5	13.20	2.84	156
20	C1JB	野縁受	3.85×1.82	1.5	1	A	5,5	耐風圧	-	-	84.5	24.86	2.31	294
21	M2JB-L	野縁	16.5×4.8	1.5	2	C / A	5,5	耐風圧	-	-	141.7	17.11	0.52	121
22	C2JB-L	野縁受	16.5×4.8	1.5	2	A / C	5,5	耐風圧	-	-	141.6	19.03	0.49	134

※3: 水平補剛材: 野縁受け材と同じ材を使用。天井横2700mmの間隔高さ ※5: 加力・加力直交方向とも1820mm間隔で、一般に用いられる接合金物を用いて設置
※4: 増幅倍率: 200mmの間隔高さ ※5: 剛性: 荷重変形関係上、増幅倍率約1/3と約1/2に相当する値を念のため2割削減

写真2 水平補剛材接合部

(a) M1JJ-o50 (開口率 50%)

(b) C1JJ-o50 (開口率 50%)

(c) C1JJ-o25 (開口率 25%)

図5 開口のある試験体

(a-1) M1JJの天井端部

(a-2) M1JJの天井端部

(b-1) C1JBの天井端部

(b-2) C1JBの天井端部

写真3 下地材の規格
(J'とJ''の詳細)

図6 実験方法及計測箇所 (小規模試験体)

(1) 圧縮方向の違いによる比較

図7(a)に圧縮方向の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。野縁方向圧縮 (M1JJ) では損傷荷重は 13.5kN/m、野縁受け方向圧縮 (C1JJ) では 16.5kN/m であり、圧縮方向による差が見られた。一方、ボード 2 枚張りの M2JJ-C と C2JJ-D を比較すると、両者はほぼ同じ損傷荷重であり圧縮方向による差は見られなかった。この理由として、ボード 2 枚張りの場合は、ボード枚数が多い分、ボード自体が損傷荷重に寄与する割合が大きくなるため、相対的に下地材方向の影響が小さくなっていることが挙げられる。また、野縁受け方向圧縮では、2 枚張りでボードの割付の違い (C2JJ-C と C2JJ-D) により損傷荷重に大きな差が見られた。野縁方向圧縮では、損傷荷重後は比較的緩やかに荷重が低下するのに対し、野縁受け方向圧縮では、急激に荷重が低下する傾向が見られる。損傷荷重時のひずみはおよそ 0.0015~0.003 であった。天井懐 2.7m の M1JJ-2.7 と C1JJ-2.7 を比較すると、天井懐 1.5m の場合と違い、野縁方向圧縮の損傷荷重は、野縁受け方向圧縮の約 1.2 倍であった。野縁受け方向で損傷荷重が小さいのは、天井懐が大きいほど吊りボルトの変形や野縁受けの倒れが生じやすいためと考えられる。この結果は、水平補剛材を入れた M1JJ-2.7S、C1JJ-2.7S の比較でも同じ傾向であった。

(2) ボード枚数の違いによる比較

図7(b)にボード枚数の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。M2JJ-C は M1JJ の 1.9 倍、また C2JJ-D は C1JJ の 1.4 倍の損傷荷重となり、ボード枚数が多いほど損傷荷重も大きくなる傾向が見られる。ただし、表2に示す天井長さ (Pd/w) では、枚数が多くなるほど天井長さは短くなる傾向が見られる。また、剛性 (表2脚注参照) は、野縁方向圧縮ではボード 2 枚張りの方が大きい傾向が見られるが、野縁受け方向ではあまり変わらない。

(3) 天井懐の違いによる比較

図7(c)に天井懐の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。M1JJ の損傷荷重は M1JJ-2.7 の約 1.2 倍、C1JJ は C1JJ-2.7 の約 1.8 倍となった。文献2)の数値解析で指摘されているように、天井懐が大きいほど損傷荷重が低下する傾向が実験でも確

2.2 実験方法

小規模試験体を例に実験方法を図6に示す。実験は、鉄骨フレームから吊り下げた天井の両端を H 形鋼 (加力梁・反力梁) に当て、反力用ジャッキを固定して、片側から加力用ジャッキにより水平に載荷することにより行った。大規模試験体も同様である。

2.3 計測

計測箇所を小規模試験体を例に図6に示す。載荷荷重はロードセル、加力梁・反力梁の水平変位はレーザー変位計を用いて計測した。ロードセルは、加力用ジャッキと加力梁の間に設置した。変位計は、小規模試験体、大規模試験体とも加力側とその反対側 (以下、反力壁側) の両端 2 箇所 (計 4 箇所) に加力方向が正となるように設置し、両者 (加力側、反力壁側とも平均値) の差から天井の変形を算出した。また、小規模試験体においては吊りボルトの吊元付近にひずみゲージを貼り付け (ゲージ貼り付け部のネジ山を円柱状に削って加工)、軸ひずみを測定した。

3. 実験結果

3.1 荷重と変形の関係

図7に各試験体の単位幅当たり (幅 1m 当たり) の荷重とひずみの関係を示す。荷重は小規模試験体と大規模試験体の結果を比較するため、試験体幅で除して単位幅当たりの荷重としている。また、横軸のひずみは正值で表した圧縮ひずみであり、加力梁の 2 点の平均変位と反力梁のその差を天井長さで除して算出している。

かめられた。剛性についても天井懐が大きいほど小さくなる傾向が見られた。天井懐 2.7m ではボード枚数 1 枚 (C1JJ-2.7) と 2 枚 (C2JJ-2.7-C) で損傷荷重に差はなかった。

(4) 開口の有無・開口率の違いによる比較

図 7(d)に開口の有無・開口率の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。M1JJ と M1JJ-o50(図 5(a))の損傷荷重を比較すると、ともに約 13kN/m と同程度であり、野縁方向圧縮においては、開口率 50%としても損傷荷重の低下は見られなかった。また、野縁に一般材を用いた場合 (M1GJ-o50) の損傷荷重は、JIS 材を用いた場合 (M1JJ-o50) の約 0.6 倍であった。これは、JIS 材が板厚に規定があるのに対し、一般材では明確な規定がないため、板厚が薄く断面性能が劣っているためと考えられる。天井面の曲げ実験⁴⁾⁵⁾では JIS 材に比べて一般材では剛性、耐力とも 0.7 倍程度であった。一方、C1JJ と C1JJ-o50(図 5(b))の損傷荷重を比較すると、C1JJ-o50 は C1JJ の約 0.7 倍であり、野縁受け方向圧縮においては、開口による損傷荷重の低下が見られた。開口率 25%の C1JJ-o25(図 5(c))の損傷荷重は C1JJ とほぼ同等であり、この程度の開口率であれば損傷荷重の低下は見られなかった。なお、今後開口位置の影響に関する

検討も必要である。

(5) 水平補剛材の有無の違いによる比較

図 7(e)に水平補剛材の有無の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。M1JJ-2.7S、C1JJ-2.7S の損傷荷重は、それぞれ M1JJ-2.7、C1JJ-2.7 の約 1.3 倍となり、水平補剛材を取り付けることにより損傷荷重は大きくなり、天井懐が短くなるのと同様の効果が確認できた。

(6) JIS クリップ・耐風圧クリップの違いによる比較

図 7(f)に JIS クリップ、耐風圧クリップの違いによる単位幅当たりの荷重とひずみの関係の比較を示す。野縁方向圧縮においては、M1JJ と M1JB は概ね同程度の損傷荷重であり、クリップの違いによる差は見られなかった。

野縁受け方向圧縮では、C1JB(写真 3(b-1))の損傷荷重は C1JJ の約 0.8 倍となり、耐風圧クリップの方が JIS クリップより小さかった。一方、下地配置の異なる C1J'B(写真 3(b-2))では、逆に C1JJ の 1.5 倍となり、下地配置の違いより損傷荷重は大きく変わる結果となった。C1JB の損傷荷重が小さかった原因として、風圧クリップを取り付けることにより接合部のすべりがなくなり、JIS クリップ

図 7 単位幅当たり (幅 1m 当たり) の荷重とひずみの関係

に比べて端部でのボードの圧縮応力が増してしまうこと等が考えられる。

(7) 天井端部仕様の違いによる比較

図 7(g)に、天井端部仕様の違い（写真 3(a-1)、(a-2)）による単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。試験体 M1J'J、M1J'J-o50 はボード面と下地材端部が加力梁に当たった場合、試験体 M1JJ、M1JJ-o50 はボード面のみが加力梁に当たった場合である。損傷荷重は、M1J'J は M1JJ の約 0.9 倍、M1J'J-o50 は M1JJ-o50 の約 1.2 倍程度であった。M1J'J では、加力梁に一部の下地材が当たり、その下地材が座屈するとともに、下地材が接触していない部分のボードも座屈し耐力が低下した。その後他の下地材が加力梁に当たり、再び荷重が上昇している。下地材端部が加力梁に当たる場合、耐力の急激な劣化が避けられているが、当たり方や本数等の違いによっても挙動が異なると考えられ、再現性に乏しいと思われる。

(8) 天井規模の違いによる比較

図 8 に天井規模の違いによる単位幅当たりの荷重ひずみ関係の比較を示す。小規模試験体では、JIS クリップを使用したのに対し、大規模試験体では耐風圧クリップを使用している。

図 8(a)に示すように、野縁方向圧縮では、大規模試験体 (M2JB-L) の損傷荷重は約 17kN/m、小規模試験体 (M2JJ-C) では約 23kN/m で、大規模試験体の損傷荷重は、小規模試験体の約 0.75 倍であった。M2JB-L では損傷荷重後も目視で確認できる損傷は見られず、最終的にひずみ 0.006 付近でボードのビス抜け（後述写真 5(a)）が生じるまで損傷は確認できなかった。損傷荷重後に荷重が低下しているのは接合部のすべり等が原因として挙げられる。また、図 8(b)に示すように、野縁受け方向圧縮では、大規模試験体 (C2JB-L) の損傷荷重は、小規模試験体 (C2JJ-D) の損傷荷重の約 0.8 倍であり、何れも天井規模が大きくなると損傷荷重は低下する傾向が見られた。

3.2 吊りボルト軸力分布

図 9 に小規模試験体の各試験体における吊りボルトに作用する損傷荷重時の軸力分布の一例を示す（位置は図 1 参照）。縦軸の軸力は、天井自重（約 38～67N）による引張り力が生じた状態で 0 としている。図中には計算から求めた弾性座屈荷重に達する軸力を一点鎖線で併記した。試験体によりばらつきはあるものの、概観的には、端部の吊りボルトに大きな圧縮軸力が作用し、例えば図 9 の囲み線で示す弾性座屈荷重を超えている吊りボルトでは大きなたわみが観察された。また、中央部吊りボルト (X3) の軸力は 0、もしくは正值すなわち引張り力が増す傾向が見られた。中央部と端部の間 (X2 と X4) の吊りボルトは端部のそれに比較して小さいが圧縮軸力が作用していた。また、天井懐 2.7m の場合、端部が大きくなる傾向は天井懐 1.5m の場合と同じであるが、全体的に軸力は小さかった。

3.3 試験体の破壊形態

小規模試験体、大規模試験体の破壊形態の一例をそれぞれ写真 4、写真 5 に示す。破壊形態は、下地材と面材が一体となった天井面の座屈、ボードの折れ、ボードからのビス抜け等が見られ、ほとんどの天井で端部が破壊した。野縁受け方向圧縮では、野縁受けに倒れが生じた（写真 4(d)）。開口有の試験体で、開口無より損傷荷重が低下した C1JJ-o50（写真 4(e)）では、開口の脇でボードが座屈した。耐風圧クリップの C1JB と C1J'B の破壊形態の比較を写真 6 に示す。上述、写真 3(b-1)、(b-2)で示したように、前者は野縁間隔が狭

(a) 野縁方向加力

(b) 野縁受け方向加力

図 8 単位幅当たりの荷重とひずみの関係

(天井規模の違いによる比較)

(a) 野縁方向圧縮 1 枚張り、天井懐 1.5m

(b) 野縁受け方向圧縮 1 枚張り、天井懐 1.5m

(c) 野縁方向圧縮 2 枚張り、天井懐 1.5m

(d) 野縁受け方向圧縮 2 枚張り、天井懐 1.5m

(e) 野縁方向圧縮 1 枚張り、天井懐 2.7m

(f) 野縁受け方向圧縮 1 枚張り、天井懐 2.7m

図 9 吊りボルトの軸力分布（損傷荷重時）

い端部の隣の部分でボードが座屈している。一方、後者は天井端部の野縁が均等に配置されているためか、野縁間でボードは座屈せず、最終的には写真 6(b)に示すように天井端部のボードからのビス抜けにより損傷している。耐風圧クリップを用いた場合、両者の損傷荷重には大きな差があることから、天井端部の仕様が損傷荷重に与える影響は大きく、特に配慮が必要であると考えられる。

3.4 損傷荷重に相当する天井長さ

実験結果をもとに、実現可能な規模を把握するため、損傷荷重 P_d (kN/m) に相当する天井長さ L_d (m) を次式で試算する。

$$L_d = P_d / (k \times w) \quad (1)$$

ここで、 k は設計震度、 w (kN/m²) は単位面積重量である。 $k=1$ として求めた L_d を前出表 2 の右端の欄に示すとともに、図 10 に設計震度 k と天井長さ L_d の関係を例示する。設計震度は動実験の結果や各種の安全率等を考慮して決められるもので本稿の範囲では断定できないが、例えば $k=2$ とすると、図 10(a) の M1JJ の場合に L_d は約 75m となる。不可避免的な隙間による衝撃力等を考慮して大きめに $k=5$ とすると、およそ 25m～40m となる。なお、天井の耐震性を確保する

写真4 天井の破壊形態（小規模試験体）

写真5 天井の破壊形態（大規模試験体）

写真6 C1JBとC1J'Bの破壊形態の比較

上では、天井周囲の壁等には天井と同等以上の耐力をもたせる必要があることに留意する。また、天井長さによる耐力低下についても実規模での実験は困難であることから、低減率等を用いて適切に評価することが必要である。

4. まとめ

クリアランスを設けない天井の耐震性を検討する上で必要となる天井の面内剛性、耐力、および破壊性状を静的面内圧縮実験により把握した。以下に、得られた結果をまとめる。

損傷荷重

- ・圧縮方向で比較すると、1枚張りは野縁受け方向圧縮が、野縁方向圧縮の約1.2倍、2枚張りではほとんど差は見られなかった。
- ・ボード2枚張りは、1枚張りの1.4倍～1.9倍であった。

図10 設計震度と天井長さの関係

- ・天井傾きが長いほど低下する傾向が見られた。
- ・開口率25%では開口無と同程度、開口率50%では野縁方向圧縮で開口無と同程度、野縁受け方向圧縮では開口無の約0.7倍であった。
- ・水平補剛材を取り付けた場合は、水平補剛材がない場合の約1.3倍であった。
- ・耐風圧クリップを取り付けた場合、JISクリップに比較して、野縁方向圧縮では同程度、野縁受け方向圧縮では約1.5倍であった。ただし、天井端部の下地配置によっては大きく低下した。
- ・天井規模が大きくなると低下する傾向が見られた。

吊りボルト軸力分布

- ・面内圧縮時の吊りボルトの軸力は、端部の吊りボルトに大きな圧縮力が生じ、中央部になるにしたがい小さくなる傾向が見られた。

設計震度と天井長さ

- ・実験結果から損傷荷重に相当する天井長さを示した。

天井の破壊形態

- ・天井の破壊形態は、下地材と面材が一体となった天井面の座屈、ボードの折れ、ボードからのビス抜け等が見られた。ほとんどの試験体で端部が破壊した。

今後の課題として、開口の位置が耐力に与える影響、天井長さの違いによる耐力低減率の検討、同一仕様による試験結果のばらつきの検討等が挙げられる。

【謝辞】

本研究は平成25年度建築基準整備促進事業として実施したものに一部追加してまとめたものである。当該事業では清家剛准教授（東京大学）、元結正次郎教授（東京工業大学）をはじめ、委員・協力委員の方々から有益なご助言を頂いた。また一部の実験にはBRIC勉強会（筑波建築研究機関協議会）の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法等を定める件（平成25年国土交通省告示第771号）、ほか、官報号外第170号、2013.8.5
- 2) 中西敦士、元結正次郎、國崎洋、船積宏章：野縁方向における天井面圧縮時の挙動に関する検討（鋼製下地在来工法天井における天井面の安定性に関する研究その1～その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 881-886、2012.9
- 3) 日本建築学会非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会：天井等の非構造部材の落下事故防止ガイドライン、2013年3月版
- 4) 石原直、稲井慎介、森田泰弘、渡壁守正、脇山善夫、喜々津仁密：周囲の壁等に慣性力を負担させる水平な在来工法天井の耐震性に関する実験的研究その1～その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 977-982、2014.9
- 5) 石原直、稲井慎介、森田泰弘、渡壁守正、脇山善夫、喜々津仁密：鋼製下地吊り天井の天井面の曲げに関する力学特性、日本建築学会技術報告集、第21巻第47号、pp. 45-48、2015.2

[2014年10月15日原稿受理 2014年11月25日採用決定]