

金属パネル天井の耐震性に関する研究

STUDY ON ASEISMIC CEILING WITH ALUMINUM PANEL

星川 努 —— * 1 九野修司 —— * 1
渡辺恵介 —— * 1 萩原健二 —— * 2
荒井智一 —— * 2 小林俊夫 —— * 3

Tsutomu HOSHIKAWA —— * 1
Keisuke WATANABE — * 1
Tomokazu ARAI — * 2
Shuji KUNO —— * 1
Kenji OGIVARA — * 2
Toshio KOBAYASHI — * 3

キーワード：
金属パネル天井、耐震天井、静的水平加力試験、面内剛性

Keywords:
Aluminum panel ceiling, Aseismic ceiling, Lateral loading test,
In-plane rigidity

Lateral loading tests were conducted for conventional type ceiling models with aluminum panels. In each model, newly developed device was applied in order to equip high anti-seismic capacity, respectively. As the results of the tests, the anti-seismic capacity of each ceiling with respective device was obtained and countermeasures for further development were also obtained. In-plane shear tests were also conducted in order to obtain evaluation method for in-plane deformation. As the result, practical formulas were conducted, which are applicable to evaluate the gap width between ceiling and wall.

1. はじめに

平成13年の芸予地震以来、十勝沖地震、宮城県沖地震と大きな地震の発生毎に、国土交通省から「技術的助言」という形で大規模空間を持つ天井の崩落対策について通知（文献^①～文献^⑦）が出されている。これは、大規模空間における天井の破壊や脱落が、人的な被害やその後の復旧に関わる経済的な損失の一因となる事によると考えられる。しかし、文献^⑧によれば、従来の天井下地自体には、大きな水平力に対して水平移動を抑制する機能が不足している。

こうした状況を鑑み、天井の耐震性に関する基礎資料を得るためにアルミスパンドレルを面材とする在来天井を対象として静的水平加力試験を行った。試験体としては、耐震性と施工性の向上が共に期待できる工法の確立を目的とし、「従来天井を補強した仕様」や「仕上げ材寸法による野縁ピッチの少ない金属パネル天井の特長を活かした仕様」などの各種補強方法を施した実物部分モデル天井を用いた。

さらに天井と周辺壁とのギャップ幅（クリアランス）設定のための資料を得る目的で天井面の面内剛性に関する検討を行なった。

2. 静的水平載荷実験

2.1 試験体概要

試験体は鋼製天井下地材を用いた2,100mm×2,700mmの実物部分天井とした。仕上げ材は働き幅105mmのアルミスパンドレル（t = 0.8 mm）を使用し、ネジ径3mmのビスにより固定した。加力方法は油圧シリンダーにC型鋼を接続し、スパンドレルの8点（図1～4の破線両端）に対し一様に加力した。加力レベルはロードセルで測定し、変位は変位計で測定した。プレース上部取付金具にはメカニカル結合効果を持つ新規開発品を使用した。実験対象工法としては表2の3仕様（A：JIS25形をベースとし、プレース上部金具に改良品を用

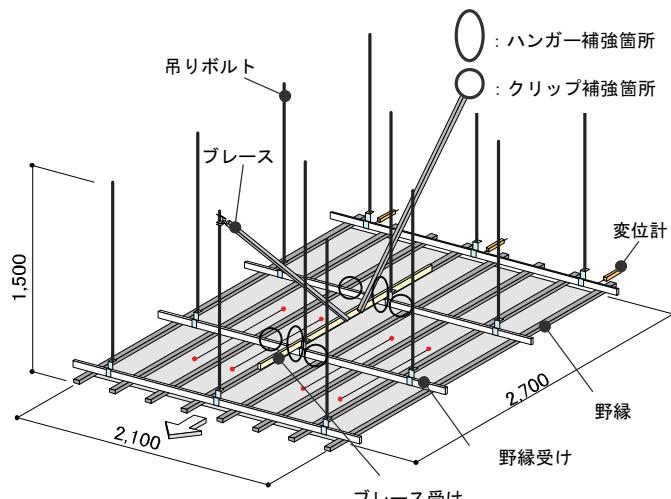


図1 試験体概要A、B（野縁方向）

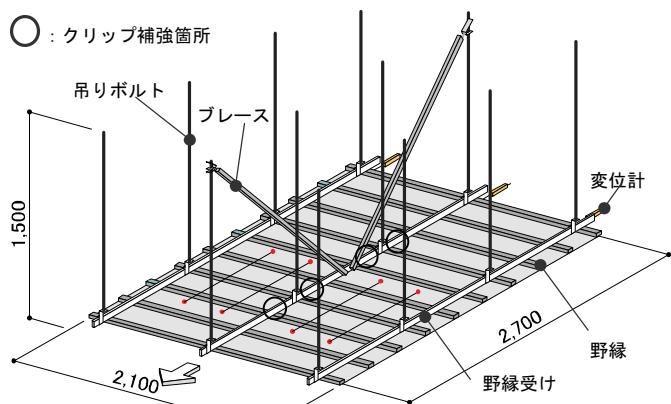


図2 試験体概要A、B（野縁受け方向）

(注) 本報は文献^{①～③}を取り纏めさらに加筆したものである。

*¹ 東日本旅客鉄道 東京工事事務所
(〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 JR新宿ビル)

*² 桐井製作所
*³ 桐井製作所 工博

*¹ East Japan Railway Company

*² KIRII Construction Materials Co., LTD.

*³ KIRII Construction Materials Co., LTD., Dr. Eng.

表 1 断面性能一覧

名称	形状	断面積 A (mm^2)	断面二次モーメント		断面係数		断面二次半径	
			I _x (mm^4)	I _y (mm^4)	Z _x (mm^3)	Z _y (mm^3)	i _x (mm)	i _y (mm)
CC-19	C-38X12X1.2	69.0	13,378	835	704	24	13.9	3.48
CC-25	C-38X12X1.6	92.7	17,799	1,079	937	364	13.8	3.42
CS-19	S-25X19X0.5	36.2	1,709	3,812	148	305	6.87	10.3
CS-25	S-25X25X0.5	42.2	3,403	4,712	229	377	8.98	10.6
CW-25	W-50X25X0.5	54.7	4,351	22,520	254	901	8.92	20.3
0.8 25形Wバー	W-50X25X0.8	86.4	6,709	35,170	392	1,407	8.81	20.2
AS-40	C-40X20X7X1.0	91	21,560	4,839	1,078	3,738	15.4	7.28
AS-50	C-50X20X7X1.0	115	43,185	6,093	1,727	451	19.4	7.27
AS-65	C-65X30X7X1.0	139	93,290	16,210	2,870	787	25.9	10.8

表 2 試験体一覧

試験体名	仕様	加力方向	野縁受け	野縁	ハンガー	ハンガー補強	クリップ	クリップ補強	ブレース受け	プレース材								
AM-01	JIS25形(W) 耐震天井 (試験A)	野縁方向	CC-25 @900	CW-25 @300	CC-25用 ハンガー	開き止め金具 (2力所)	CW-25用 クリップ	補強金具 (4力所)	AS-40	AS-40								
AM-02																		
AM-03		野縁受け 方向																
AC-01																		
AC-02																		
AC-03																		
BM-01	JIS19形(S) 耐震天井 (試験B)	野縁方向	CC-19 @900	CS-19 @300	CC-19用 ハンガー	開き止め金具 (4力所)	CW-25用 クリップ	補強金具 (4力所)	AS-40	AS-40								
BM-02																		
BM-03		野縁受け 方向																
BC-01																		
BC-02																		
BC-03																		
CM-01	吊りボルト直 下野縁配置天 井 (ハンガ ー/クリップ一 体 金具) (試験C)	野縁方向	CC-25 @900	0.8 25形W バー @900	ハンガー、 クリップ 一体仕様	ハンガ ー、 クリップ 一体仕様	CS-25用 クリップ	AS-40 AS-50	AS-40	AS-40								
CM-02																		
CM-03																		
CM-04																		
CM-05																		
CC-01																		
CC-02																		
CC-03																		

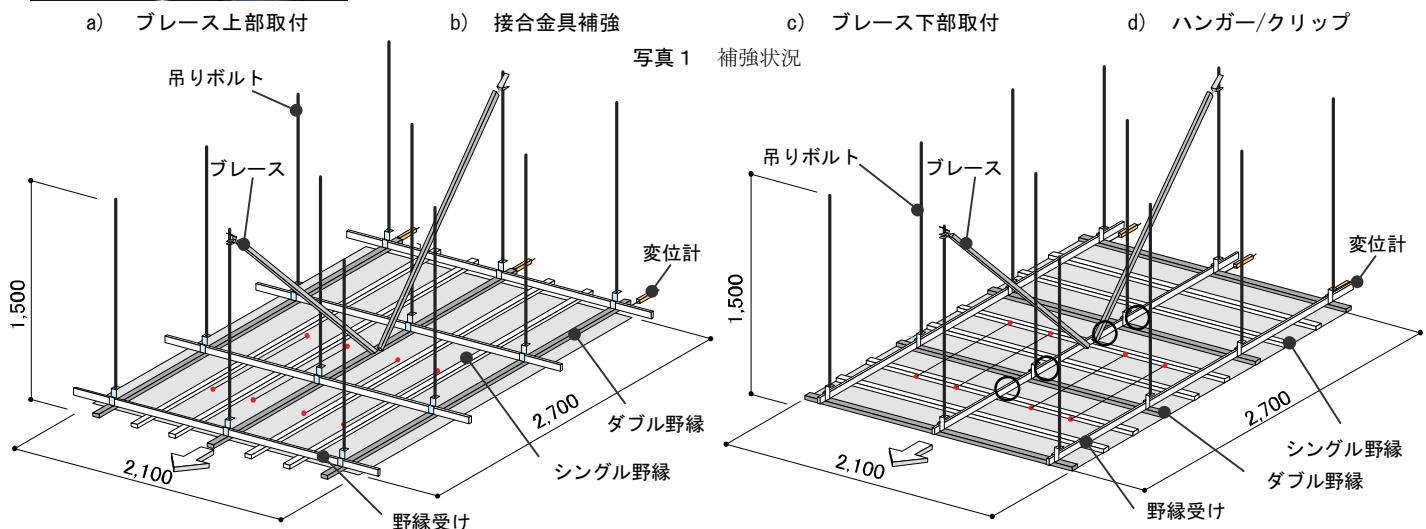
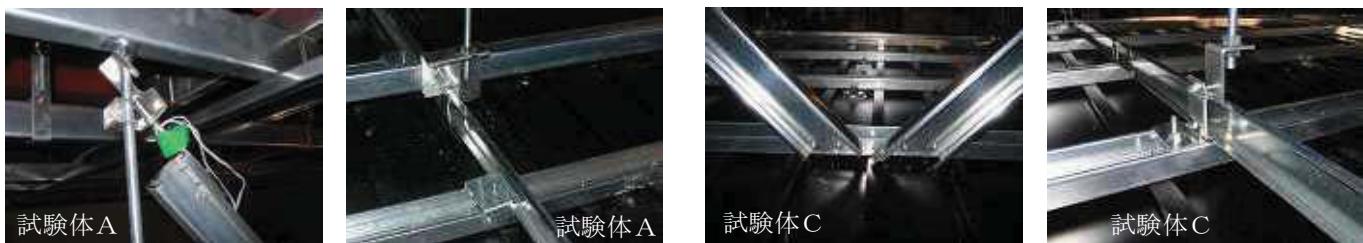


図 3 試験体概要 C (野縊方向)

図 4 試験体概要 C (野縊受け方向)

いた仕様、B : JIS19形をベースとし、既設從来天井の補強を想定した仕様、C : 吊りボルトの直下で野縁と野縁受けを交差させる新たな工法)を考慮し、各仕様とも加力方向は野縁方向と野縁受け方向とした。また、一部はプレース材を換えて試験を行った。使用した部材の断面性能一覧を表1に、試験体一覧を表2に示す。また、各補強状況を写真1に示す。

JIS25形耐震天井(試験A)およびJIS19形耐震天井(試験B)の試験体概要として野縁方向を図1に、野縁受けk方向を図2に示す。吊りボルト直下野縁配置天井(ハンガー／クリップ一体金具、試験C)の試験体概要を図3、4に示す。

2.2 静的水平載荷実験の結果

(1) JIS25形耐震天井<試験A>

図5、6に試験Aの荷重-変位関係を示す。各実験の経緯は次の通りであった。

- AM-01 : 最大耐力4665Nのときの変位は39.4mmであった。終局状態は圧縮側プレース取付金具の羽子板ボルトが座屈変形した。
- AM-02 : 最大耐力4420Nのときの変位は33.1mmであった。終局状態は圧縮側プレース取付金具の羽子板ボルトが座屈変形した。
- AM-03 : 最大耐力4280Nのときの変位は27.4mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた後、圧縮側プレース取付金具の羽子板ボルトが座屈変形した。
- AC-01 : 最大耐力4330Nのときの変位は18.3mmであった。終局状態は引張側プレース取付金具が変形の後、下方へずれた。
- AC-02 : 最大耐力3532Nのときの変位は16.7mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。
- AC-03 : 最大耐力3482Nのときの変位は14.6mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。

(2) JIS19形耐震天井<試験B>

図7、8に試験Bの荷重-変位関係を示す。各実験の経緯は次の通りであった。

- BM-01 : 最大耐力4097Nのときの変位は67.7mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた後、圧縮側プレース取付金具の羽子板ボルトが座屈変形した。
- BM-02 : 最大耐力3250Nのときの変位は50.3mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。
- BM-03 : 最大耐力3147Nのときの変位は44.7mmであった。終局状態は圧縮側プレースが振れながら座屈した。
- BC-01 : 最大耐力2855Nのときの変位は10.8mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。
- BC-02 : 最大耐力3985Nのときの変位は21.4mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。
- BC-03 : 最大耐力3305Nのときの変位は10.9mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。

(3) 吊りボルト直下野縁配置天井

(クリップ／ハンガー一体金具) <試験C>

図9、10に試験Cの荷重-変位関係を示す。各実験の経緯は次の通りであった。

- CM-01 : 最大耐力3232Nのときの変位は24.2mmであった。終局状態は圧縮側プレースが座屈した。
- CM-02 : 最大耐力3472Nのときの変位は13.1mmであった。終局状態は

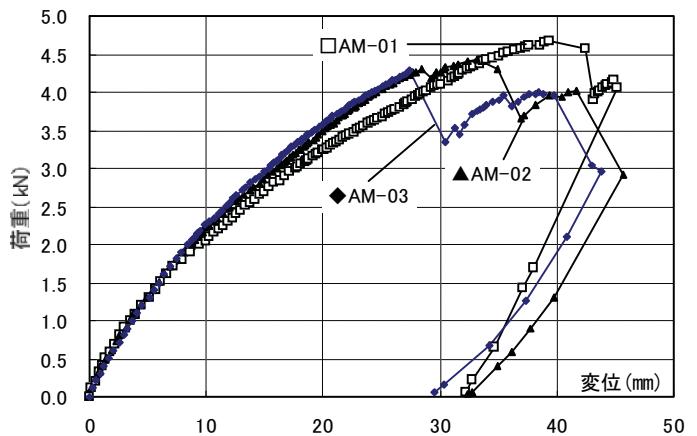


図5 試験A 荷重-変位関係(野縁方向)

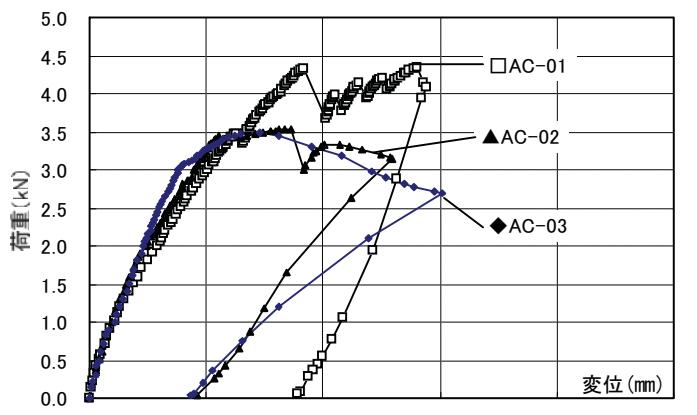


図6 試験A 荷重-変位関係(野縁受け方向)

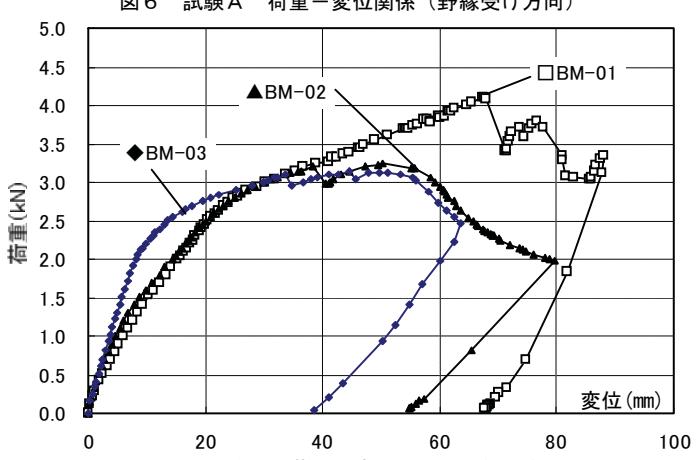


図7 試験B 荷重-変位関係(野縁方向)

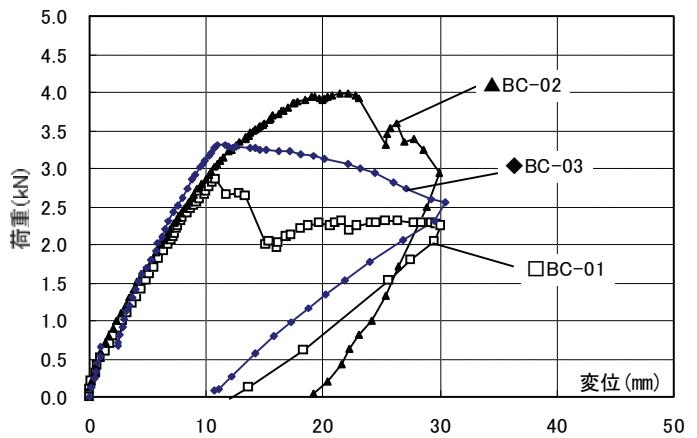


図8 試験B 荷重-変位関係(野縁受け方向)

圧縮側プレースが座屈した。

- CM-03：最大耐力4557Nのときの変位は12.5mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。
- CM-04：最大耐力4672Nのときの変位は12.0mmであった。終局状態は圧縮側プレース取付金具の羽子板ボルトが座屈変形した。
- CM-05：最大耐力4275Nのときの変位は27.6mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。
- CC-01：最大耐力4602Nのときの変位は15.2mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。
- CC-02：最大耐力4137Nのときの変位は14.4mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。
- CC-03：最大耐力4970Nのときの変位は20.4mmであった。終局状態は引張側のプレース取付金具が下方へずれた。

2.3 静的水平載荷実験結果の考察

試験A：

プレース材にAS-40を、プレース取り付けにメカニカル結合効果のある金具を用いた試験Aは、概ね野縁方向で3000N時に変位20mm、野縁受け方向では3000N時に変位10mmであった。

AC-02およびAC-03は耐力が低かったが共にプレースの座屈により終局していることと、他の結果は耐力が4000Nを超えており天井面としては4000N程度の耐力を有していること、の2点を考慮すれば、プレースの断面を大きくすることにより耐力を上昇させることは可能であると考えられる。

試験B：

野縁方向で2500N時に変位20mm、野縁受け方向では2500N時に変位10mmの性能であった。耐力の低かったBM-02、BM-03、BC-01、BC-03は何れもプレースの座屈により終局しているが、2000N～2500N程度から野縁受けなどの変形が大きくなっていること、プレースの断面を大きくしても、耐力の上昇は小さいと考えられる。

試験C：

吊りボルト直下に野縁を配置した試験Cは、加力方向による剛性差が小さかった。CM-03のみが他と異なる挙動(3500Nで一時耐力低下)を示したが、これは試作金具の強度不足によるものと考えられる。CM-03の結果を除けば、4000Nで変位15mmの性能を有すると考えられ、仕上げ材寸法による野縁ピッチの制約の少ない金属パネル天井の特長を活かした、吊りボルト直下で野縁受けと野縁が交差する工法の可能性を示すことができた。

座屈耐力評価：

本節の結果の内、プレース材として使用したケースが多いAS-40の場合を例にとり、プレース材または吊りボルトの座屈耐力評価に適する(座屈発生以下の耐力で接続金具が滑ったり破壊した場合等を除く)実験結果を図11に抽出した。同図中には文献¹⁰⁾で提案された座屈耐力評価結果($F'_{vu}=3.23\text{kN}$)も記入した。いずれの実験結果も安全側の結果となっていて、吊りボルトを挟まないV字型配置プレースの耐力評価には文献¹⁰⁾の提案式が妥当であることを示している。

3. 面内せん断載荷実験

3.1 実験概要

天井面と周辺壁等とのクリアランスを設定する場合、「建物の層間変形角」、「プレース構面内の変形」および「プレース間の天井面内の変形」等を考慮する必要がある。建物の層間変形角成分に関し

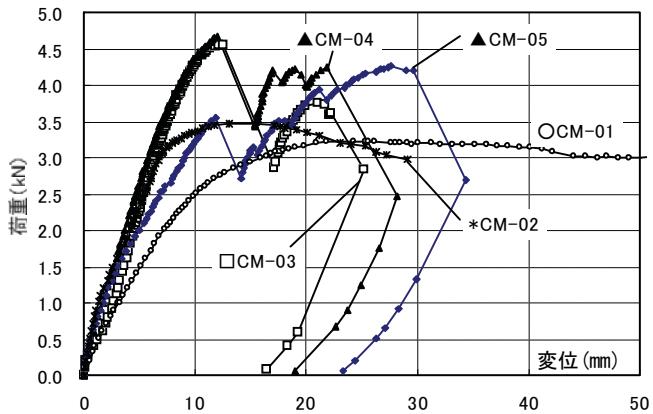


図9 試験C 荷重-変位関係(野縁方向)

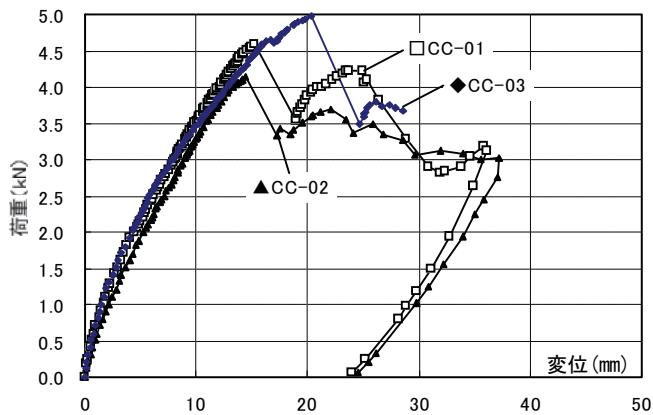


図10 試験C 荷重-変位関係(野縁受け方向)

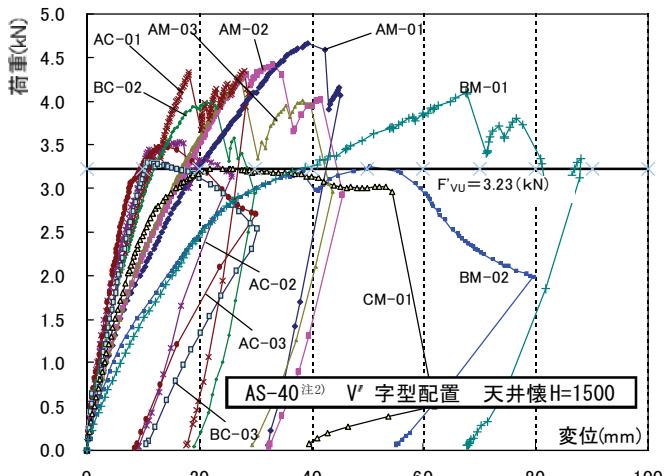


図11 荷重-変位関係(V字型 吊ボルトなし)

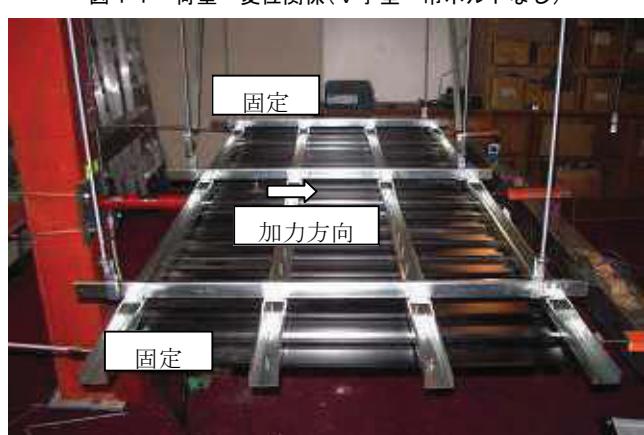


写真2 試験状況

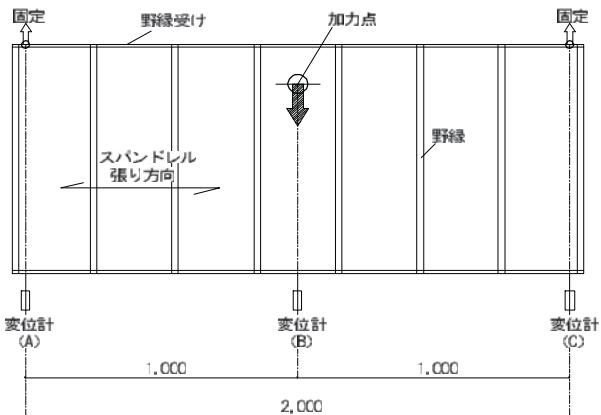


図 12 試験体概要（野縁方向）

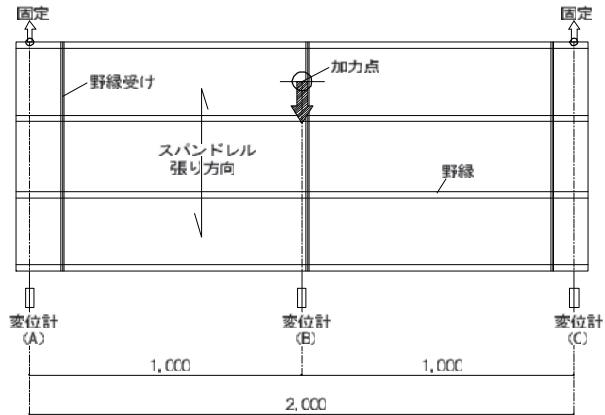


図 13 試験体概要（野縁受け方向）

表 3 試験体一覧

試験体名	仕上げ材	加力方向	野縁受け	野縁	備考	
AN1	アルミスパンドレル	野縁方向	CS-19	CS-19		
AN2						
AN3						
AC1		野縁受け方向		CS-19		
AC2				CW-25		
AC3				0.8 25形Wバー		
AC4				CS-19	仕上げ材同士をビス止め	
PN	石こうボード9.5mm	野縁方向	CC-19	CS-19	ジョイント部CW-19使用	
PC		野縁受け方向		CS-19	ジョイント部CW-19使用	

ては建物の耐震設計資料から求めることができ、ブレース構面内の変位については、文献^{1), 2), 8)}等で実験的な検討が行われている。しかし、ブレース間の天井面内の変形については、ほとんど検討が行われていない。本節では天井面内剛性に関する基礎的な実験を行ったので紹介する。

試験体としては平面2100mm×900mmの天井面を作製し、スパン2000mmの中央を天井面内方向に加力した。試験体概要を図12、図13に示す。表3に試験体一覧を示す。

加力レベルはロードセルで測定し、変位は変位計で測定した。仕上げ材は働き幅105mmのアルミスパンドレル ($t = 0.8\text{mm}$) を使用した。試験状況を写真2に示す。

また、比較のため、石こうボード9.5mmを用いた試験も行った。

試験体AC4は、面剛性の向上を目的として、スパンドレルのジョイント部を1枚おきにビス止めした。ビス補強状況を写真3に示す。

3.2 面内せん断截荷実験の結果

図14～16に荷重～たわみ量関係を示す。たわみ量は変位計(B)の値と変位計(A)、(C)の平均との差とした。また、試験結果（剛性）一覧を表4に示す。

3.3 面内せん断截荷実験結果の考察

働き幅105mmのアルミスパンドレル (0.8mm) を仕上げ材に使用した場合、加力方向により剛性が大きく異なる事がわかった。野縁受け

表5 面剛性の計算値

	断面2次モーメント (mm ⁴)	天井の面剛性(N/mm)	
		計算値	実験値
CS-19	3,810	18.84	21.50
CW-25	22,520	111.3	118.2
0.8 25形Wバー	35,170	173.9	260.0



写真3 試験体AC4ビス補強状況

表4 試験結果（剛性）一覧

試験体名	面剛性(N/mm)	範囲
AN1	1,605.0	500～2000N
AN2	1,209.0	500～2000N
AN3	1,296.0	500～2000N
AC1	21.5	500～1000N
AC2	118.2	500～1500N
AC3	260.0	500～1500N
AC4	193.8	500～1500N
PN	926.4	500～1500N
PC	1,387.0	500～1500N

※範囲とは、面剛性を算出した試験データの荷重の範囲を示す

方向では、野縁の性能に大きく依存している。ヤング係数を206 (N/mm²) とし、野縁の断面性能より試験スパンの2000mmの単純梁4本分として計算した結果を表5に示す。野縁の断面性能により面剛性を安全側に評価できることがわかった。

また、スパンドレル同士を1枚おきにビス止めした場合（試験体AC4）は、無補強（試験体AC1）に比べ9.03倍（=K_{AC4}/K_{AC1}）の面剛性となり、面材同士の接合（固定）が面剛性の向上に有効であることがわかった。

4.まとめ

アルミスパンドレルを面材とする在来天井を対象として耐震性と施工性の向上が共に期待できる各種補強方法を施した実物部分モデル天井に対し、静的水平加力試験を行った。

その結果、それぞれの補強方法による水平耐力限界とそのときの状況を確認することができ、更なる水平耐力向上のための対策案を得ることができた。

さらに天井面の面内剛性に関するデータを得る目的で補強対策有無のモデルに対する面内せん断加力実験を行ない、補強対策の定量的効果と各モデルの実用的な面内剛性評価式を得た。これにより天井と周辺壁とのギャップ幅を定量的に設定することが可能となった。

注

- 注1) AS-40 : C-40 × 20 × 7 × 1.0 (リップ付チャンネル)
- 注2) AS-50 : C-50 × 20 × 7 × 1.0 (リップ付チャンネル)
- 注3) AS-65 : C-65 × 30 × 7 × 1.0 (リップ付チャンネル)

参考文献

- 1) 星川努、大迫勝彦、九野修司、吉田宏一、小林俊夫、渡辺恵介、荒井智一、荻原健二、「金属パネル天井の耐震性に関する研究（その1）静的水平加力実験 実験概要」、日本建築学会大会梗概集B-1、2007年8月
- 2) 九野修司、大迫勝彦、星川努、吉田宏一、小林俊夫、渡辺恵介、荒井智一、荻原健二、「金属パネル天井の耐震性に関する研究（その2）静的水平加力実験 実験結果」、日本建築学会大会梗概集B-1、2007年8月
- 3) 荒井智一、大迫勝彦、星川努、吉田宏一、九野修司、渡辺恵介、小林俊夫、荻原健二、「金属パネル天井の耐震性に関する研究（その3）天井面内剛性試験」、日本建築学会大会梗概集B-1、2007年8月
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課長、「芸予地震被害調査報告の送付について（技術的助言）」、国住指第357号、2001年6月1日
- 5) 国土交通省住宅局建築指導課長、「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言）」、国住指第2402号、2003年10月15日
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課長、「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について」、国住指第1337号、2006年8月19日
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課長、「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言）」、国住指第1427号、2007年8月26日。
- 8) 荒井智一、由利隆行、小林俊夫、「天井の耐震性に関する実験（その3）在来鋼製下地天井の静的水平加力実験」、日本建築学会大会梗概集B-1、2006年9月
- 9) 日本建築学会:非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領、1985年11月1日
- 10) 小林俊夫、由利隆行、荒井智一、「鋼製天井下地を用いた吊り天井の耐震性に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、Vol. 73、No. 630、2008年8月

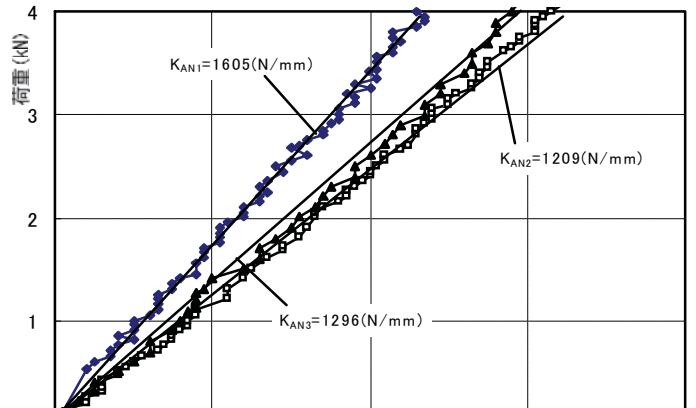


図14 荷重ーたわみ量関係（野縁方向）

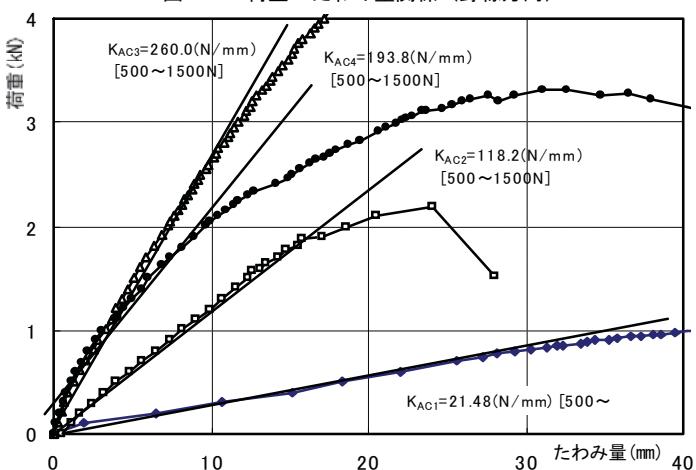


図15 荷重ーたわみ量関係（野縁受け方向）

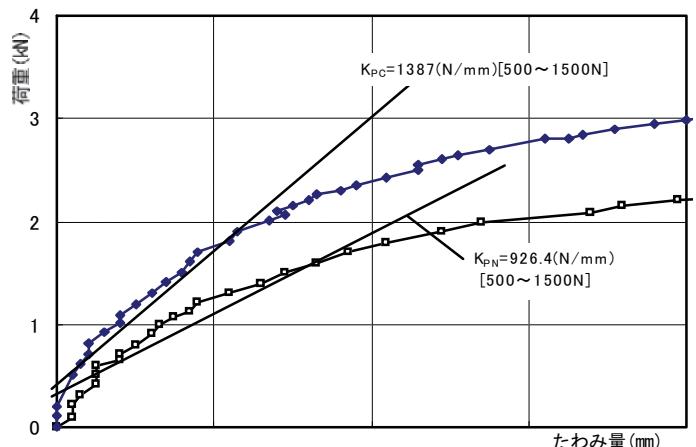


図16 荷重ーたわみ量関係（石こうボード）

[2008年10月20日原稿受理 2009年1月27日採用決定]