

1. 水平震度 2.2G に対応する耐震天井工法の開発

Development of Aseismic Ceiling Construction Method for Horizontal Seismic Coefficient 2.2G

柳田佳伸* 鎌田孝行** 太田雅久** 加茂千寿**

ー概要ー

AA-TEC 工法は「平成 25 年国土交通省告示第 771 号」において規定された特定天井に適合することを目的に開発された最大水平震度 2.2G に対応する耐震天井工法である。本工法は、2016 年 10 月 13 日に建築技術性能証明（第 BVJ-PA16-001 号）を 2 社共同*1 で取得している。AA-TEC 工法は新築建物（RC・SRC 造）を対象としており、吊り長さの適用範囲は 0.5m 以上 1.5m 以下である。また、1 組のブレースが負担する天井面積は 30m² 以下としている。

ー技術的な特長ー

AA-TEC 工法は、野縁受けおよびブレース材に角形鋼管を使用した工法である。角形鋼管の導入は、ハンガー、クリップおよび各接合部において安定した形状（図 1）をもたらし、各接合部の強度を高めることを実現した。また、各部材芯と各接合部芯が一致する（図 2）ことから、偏心による耐力低下の防止に寄与し、天井の許容耐力を高めることを可能にした。さらに、ブレースには座屈耐力を向上させるための専用補強金物を設置し、座屈耐力の向上を図った。このほか、ブレース上端の吊りボルト（図 3）はブレース軸力による曲げが生じ難い構成となっている。これらの工夫を施したことで、これまで公表されている耐震天井の許容耐力 5,000N を大幅に上回る 1.8 倍の 9,000N を実現した。図 4 に加力試験結果を示す。本報では、AA-TEC 工法の耐震性能を確認するため天井ユニットの水平加力試験を行ったので、その結果を報告する。

*1 青木あすなろ建設、常盤工業

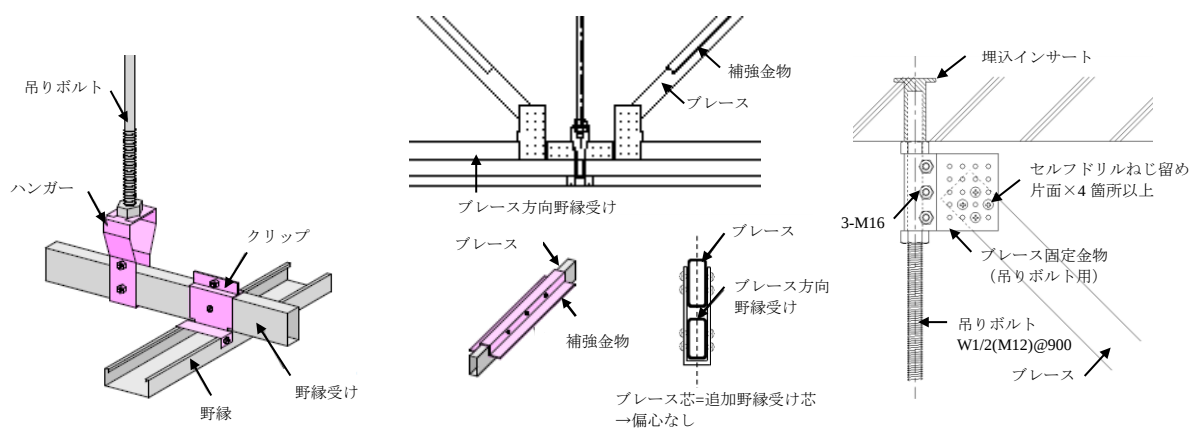


図 1 ハンガー、クリップ納まり図

図 2 ブレース下部納まり図

図 3 ブレース上部納まり図

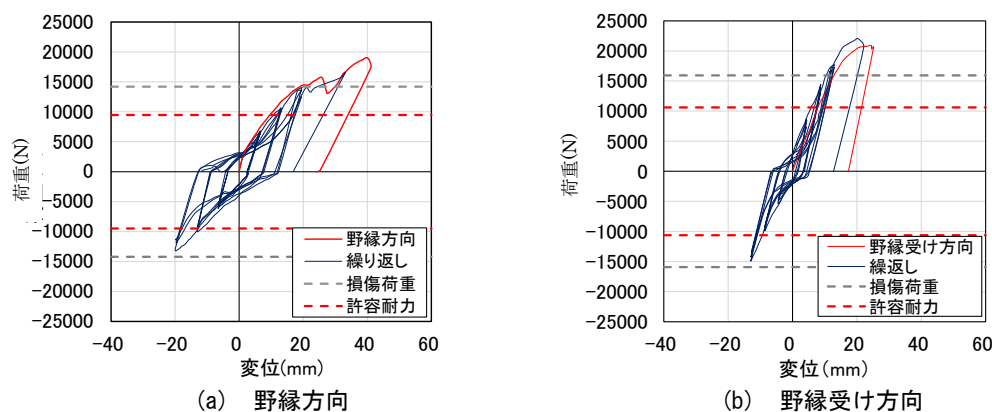


図 4 加力試験結果

*技術研究所建築研究室 **常盤工業(株)

水平震度 2.2G に対応する耐震天井工法の開発 Development of Aseismic Ceiling Construction Method for Horizontal Seismic Coefficient 2.2G

○柳田 佳伸* 鎌田 孝行** 太田 雅久** 加茂 千寿**
Yoshinobu YANAGITA Takayuki KAMADA Masahisa OTA Chihiro KAMO

ABSTRACT “AA-TEC” construction method is a ceiling construction method developed to comply with the newly defined structural method in 2014. Most of the main members constituting the earthquake resistant ceiling are made of conventional materials. Most of these are reinforced joints, but the seismic ceilings corresponding to the horizontal seismic intensity of 2.2 G have not yet been commercialized. One of the reasons is that C- shaped steel is used as a main member. Joining with C-shaped steel tends to cause eccentricity and it is difficult to ensure sufficient strength. A rectangular steel tube is used as a main member of this construction method. “AA-TEC” construction method is a construction method aimed at improving earthquake resistance performance by using a rectangular steel tube as a main member.

Keywords：特定天井，角形鋼管，水平震度

Specific Ceiling, Rectangular Steel Tube, Horizontal Seismic Coefficient

1. はじめに

AA-TEC 工法は、「平成 25 年国土交通省告示 第 771 号」において規定された構造方法に適合することを目的に開発された耐震天井工法である。

近年、上記の規定に対応した耐震天井が製品化されているが、最大水平震度 2.2G に対応する耐震天井は極めて少ない。これら耐震天井の接合部は、耐震性能を高めるための様々な工夫が施されている。但し、主要部材（ブレース、野縁受け）の多くは、従来と同じように C 形鋼が用いられている。開発初期段階において著者らは、これらの事例に倣い、新たな接合金物を用いて試験体を製作し実験を実施したが、最大水平震度 2.2G に対応する許容耐力を得ることはできなかった。その結果から、以下に示す 2 つの主な要因が許容耐力の向上を妨げていると考え、新たな試験体を製作することとした。1 つは開断面である C 形鋼への接合は、片面のみとなり偏心が生じ易く、十分な耐力を確保し難い。もう 1 つは耐震天井の許容耐力は、ブレース材である C 形鋼の座屈耐力によって限界付けられており、このことに着目した開発が積極的に行われていない。そこで、本工法

では、これらの課題を解消する手段として、主要部材である野縁受けおよびブレース材に角形鋼管を用いることとした。本報では、AA-TEC 工法の耐震性能を確認するため、天井ユニットの水平加力試験を実施したので、その結果を報告する。なお、本工法は、2016 年 10 月 13 日に 2 社共同（青木あすなろ建設、常盤工業）で建築技術性能証明(BVJ-PA16-001 号)を取得している。

2. 仕様および構造

本工法の主要部材には、角形鋼管（STKMR：□P-32×14×1.6mm）を用いる。角形鋼管は、閉断面であるため、両面からの接合が可能となる。偏心が生じないこと、ネジ留め箇所が増えることにより、耐力の向上が図られる。図 1 に本工法で使用するクリップ、ハンガーおよびブレース材の概略図を示す。クリップ、ハンガーは、主要部材を両側から挟み込む安定した形状となり、偏心による不安定さを解消した。これにより地震発生時によるクリップ等の外れが生じ難い接合部を構成することが可能となる。ブレース材の上部および下部接合部は、同様に両側から専用金物でブレース材を挟み込むことで、安定した接合構造を可能にした。

*技術研究所建築研究室 **常盤工業(株)

天井ユニット（1組のブレースが負担する天井の構成単位）の許容耐力の向上を図るためには、ブレース材に生じる早期の座屈を如何にして防止するかが重要となる。本工法では、早期の座屈を防止するため、図1に示す補強金物を用いることとした。これにより、天井ユニットの許容耐力は、ブレース材の座屈ではなく、ブレース下部接合部間の野縁受けの強軸方向の座屈により限界付けられることとなり、AA-TEC 工法は、極めて高い許容耐力を有する耐震天井工法を実現するに至った。

3. 試験概要

試験体の仕様を表 1 に、概略図を図 2~4 に示す。ブレース、野縁受けおよび野縁方向ブレース受けは、STKMR 材の角形鋼管 32×14×1.6 とし、吊りボルトはφ 12mm、間隔を 900mm とし加力方向および直交方向にそれぞれ 3 本設置した。

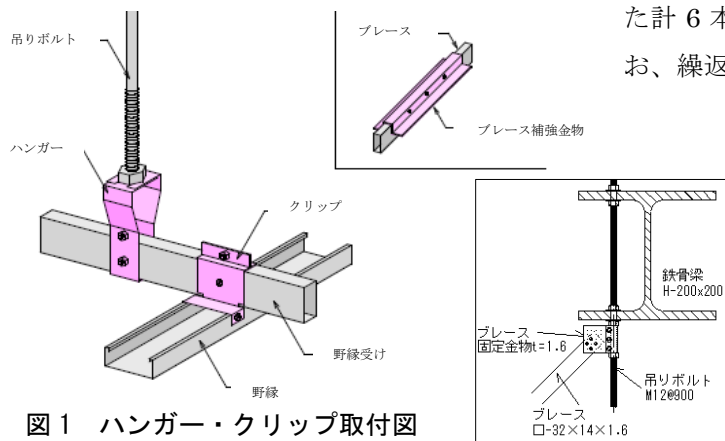


図1 ハンガー・クリップ取付図

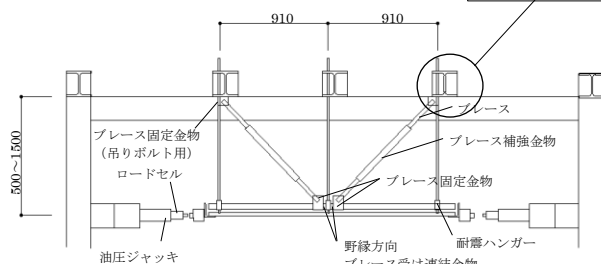


図2 試験体セットアップ立面図

表1 試験体主要部材リスト

種別	加力方向	野緑	野緑受け	ブレース		野緑方向ブレース受け	吊りボルト
a1	野緑	JIS25型	角形鋼管 32×14×1.6	角形鋼管 32×14×1.6	補強なし	角形鋼管32×14×1.6	12mm
a2	野緑受け				－		
b1	野緑				補強あり	角形鋼管32×14×1.6	
b2	野緑受け				－		

野縁受けの間隔は 900mm、野縁の間隔は 303mm、仕上げ材は、せっこうボード t9.5mm を使用した。吊り長さは、適用範囲を定めるため、0.5m、1.0m、1.5m とした。ブレース材については、吊り長さ 1.0m の場合に限り、角形鋼管の補強金物なし (a1, a2)、および標準仕様である補強金物あり (b1, b2) の 2 ケースを用意した (表 1)。

4. 試験方法

試験は、野縁方向と野縁受け方向について、一方向および繰返しの加力を実施した。試験体は一方向加力および繰返し加力でそれぞれ 1 体とした。試験体は、鉄骨フレーム治具の梁に吊りボルトで接続した。加力は、試験体の左右に設置した油圧ジャッキを用いて行った。荷重計測は、油圧ジャッキ先端に取り付けたロードセルより行い、水平変位は、鉄骨フレーム治具の水平材に設置した計 6 本の変位計を用いて計測した（図 4）。なお、繰返し加力実験はすべて変位制御とした。

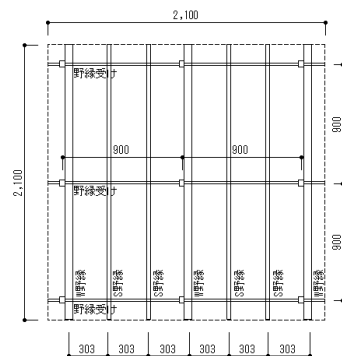


図3 試験体平面図

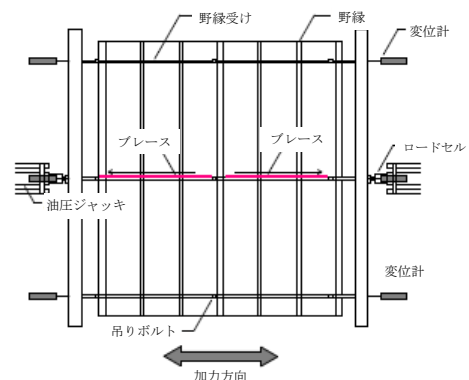


図4 試験体セットアップ平面図

5. 目標許容耐力の設定

1ユニットとは、ブレース1組が受け持つことができる天井水平面積の構成単位を表す。以下に示す与条件から、1ユニットの目標許容耐力を設定した。

・与条件

天井構成部材の重量 $w_c = 13\text{kg/m}^2 (127.5\text{N/m}^2)$

設計用水平震度 $k_H = 2.2$

1ユニットの負担面積 $S = 30\text{m}^2$

$$Q_b = \frac{k_H W}{n} \times 10^3 = \frac{2.2 \times 30 \times 0.1275}{1} \times 10^3 = 8,415\text{N}$$

ここに、 n : ブレースの組数
 k_H : 設計用水平震度
 Q_b : 1組のブレースに作用する地震力(N)

以上より、目標許容耐力を 9,000N とした。

6. 実験結果

試験体セットアップを写真 1 に試験結果を図 5、6 に示す。

6.1 吊り長さ 1.0m 試験体¹⁾

図 5 に吊り長さ 1.0m 試験体の一方方向加力試験結果を示す。また、写真 2 には天井ユニットの終局状態を示す。野縁方向、野縁受け方向のいずれの試験においても加力途中の荷重－変位曲線はブレース材の補強の有無に関わらず同様の傾向

を示した。ブレース補強なしの試験体 a1、a2 では写真 1 に示すような圧縮側ブレースの座屈に起因すると思われる剛性低下がみられた。ブレース補強ありの試験体 b1、b2 では、ブレースの座屈は発生しなかった。試験体の耐力は、ブレース下部接合部間の野縁方向ブレース受けが強軸方向に座屈（写真 2）を生じるまで上昇した。この結果から、ブレース補強金物がブレースの耐力を高めるために有効な補強金物であることが分かった。

表 2 に試験結果を示す。繰返し加力試験結果が、一方方向加力試験結果と概ね同等であることを(1)式²⁾により確認する。また、許容耐力は(2)式²⁾に基づいて求められる。

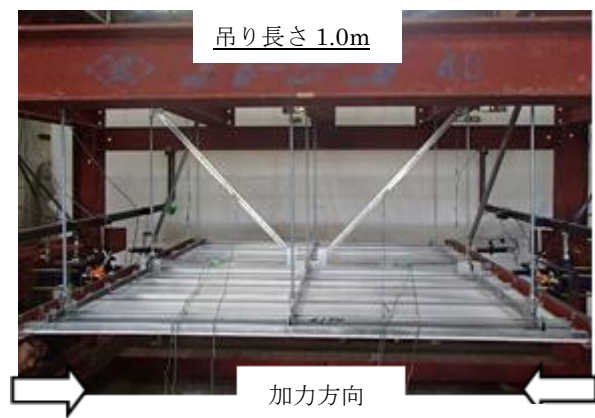


写真 1 試験体セットアップ状況

表 2 試験結果一覧

種別	加力方向	損傷荷重	損傷荷重×0.8
a1	野縁	6,200	4,133
a2	野縁受け	7,350	4,900
b1	野縁	14,200	11,360
b2	野縁受け	15,930	12,744

(単位：N)

・許容耐力の算定

許容耐力は、試験で得られた荷重－変位曲線から求めた損傷荷重の 1/1.5 として評価した。

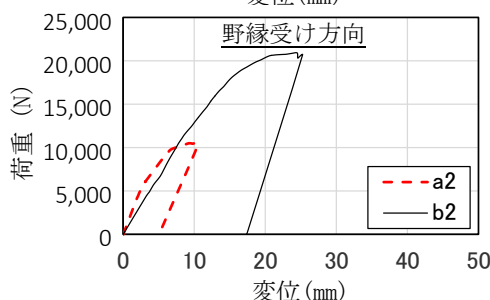
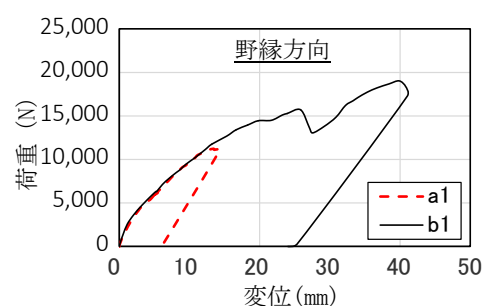
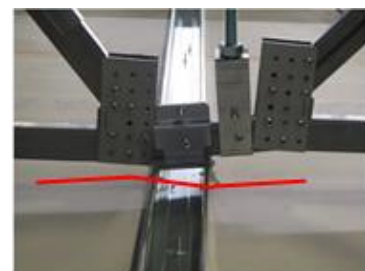


図 5 一方方向加力試験結果



(a) 試験体 a2



(b) 試験体 b2

写真 2 試験体の破壊状況

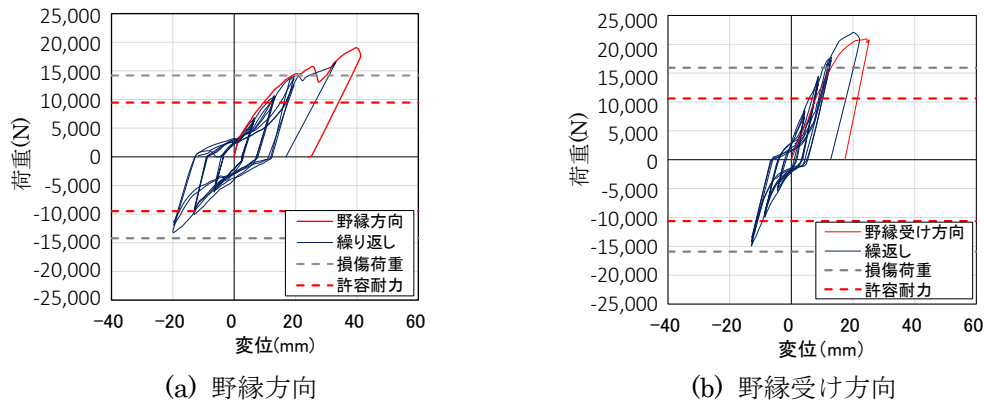


図6 繰返し加力（ブレース補強あり）

$$|P_d^+| \geq |0.8 \times \bar{P}_d|, |P_d^-| \geq |0.8 \times \bar{P}_d| \quad (1)$$

$$P_a = \frac{\bar{P}_d}{1.5} \quad (2)$$

ここに、 P_d^+ 、 P_d^- ：繰返し加力試験の制御変位 $1.5 D_a^+$
 および $1.5 D_a^-$ における荷重の最小
 値(N)
 $\bar{P}_d$ ：許容耐力(N)
 $\bar{P}_d$ ：一方向加力試験で得られた損傷時
 の荷重平均(N)

本論文において、一方向加力試験で得られた損傷荷重に 0.8 乗じた荷重²⁾を仮定許容耐力と呼ぶこととする。

天井ユニットの一方向加力試験結果から算定した仮定許容耐力は、野縁方向で 4,133N、野縁受け方向で 4,900N と評価できる。ブレースに補強を行ったユニットの仮定許容耐力は野縁方向で 9,476N、野縁受け方向で 10,620N と評価できる。天井ユニットの仮定許容耐力は、ブレースに補強金物を設置することにより野縁・野縁受け方向ともに補強なしに比べて 2.2 倍程度に増加した。図 6 には試験体 b1 および b2 の繰返し加力試験結果を示す。繰返し加力試験で得られた荷重－変位曲線は、一方向加力の試験結果とほぼ同等みなせることがわかる。また、(1)式を満足することから、天井ユニットの許容耐力は、一方加力の試験結果から評価できることを確認した。なお、繰返し加力試験後のブレース両端の接合部およびクリップ、ハンガーの損傷はみられなかった。

野縁方向の一方向加力試験結果において、一時的な荷重低下が見られた。これについては、天井構成部材の変形や耐震クリップなどの接合部での、はずれ、ビスの抜けなどは確認されておらず、鉄骨フレーム治具とユニットの接点におけるずれ等によるものと考えられる。その後の荷重－変位曲線は、再び元の線形関係の延長線上に復帰していることから、試験結果に問題はないと判断した。

6.2 吊り長さ 0.5m、1.5m 試験体

本節では、AA-TEC 工法の適用範囲の下限と上限に相当する吊り長さ 0.5m、1.5m 試験体を用いた一方向加力試験および繰返し加力試験結果を示す。

図 7(a)、7(b)に吊り長さ 0.5m における天井ユニット（野縁方向）の一方向加力および繰返し加力試験結果（荷重－変位曲線関係）を示す。図中の破線は、損傷時の荷重を示す。図中の写真は試験状況を示す。

吊り長さ 1.0m 試験体に対してブレース材長は短くなるため、座屈し難くなることと、接合部に作用する鉛直成分が小さくなるため、損傷荷重が向上したものと考えられる。

図 8(a)、8(b)に吊り長さ 1.5m における天井ユニット（野縁方向）の一方向加力および繰返し加力試験結果（荷重－変位曲線関係）を示す。図中の破線は、損傷時の荷重を示す。図中の写真は試験状況を示す。

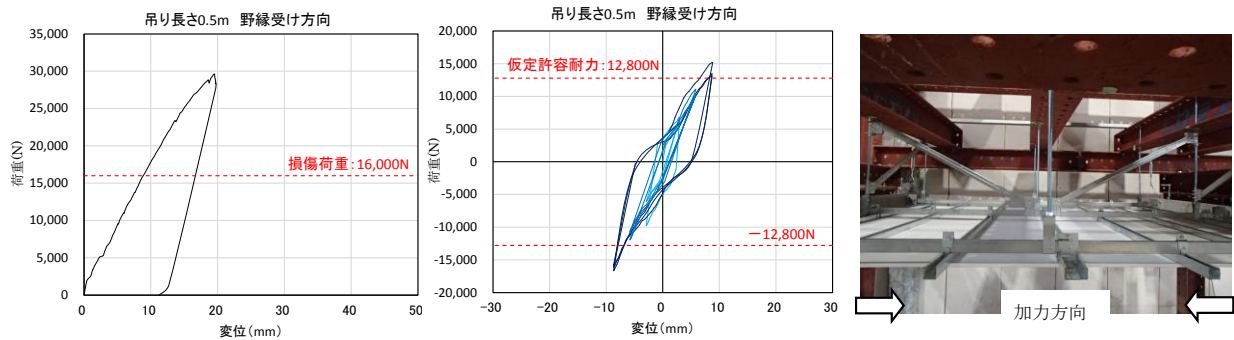


図 7(a) 吊り長さ 0.5m 試験体荷重－変形関係（野縁受け方向）

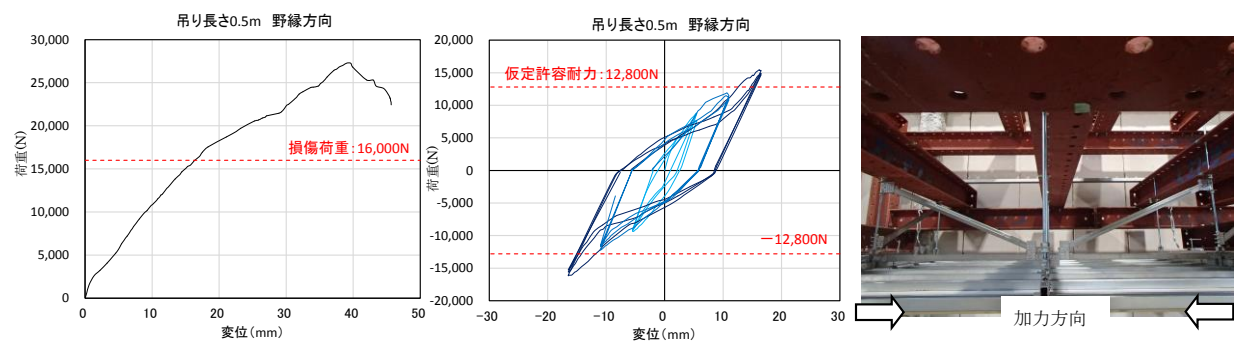


図 7(b) 吊り長さ 0.5m 試験体荷重－変形関係（野縁方向）

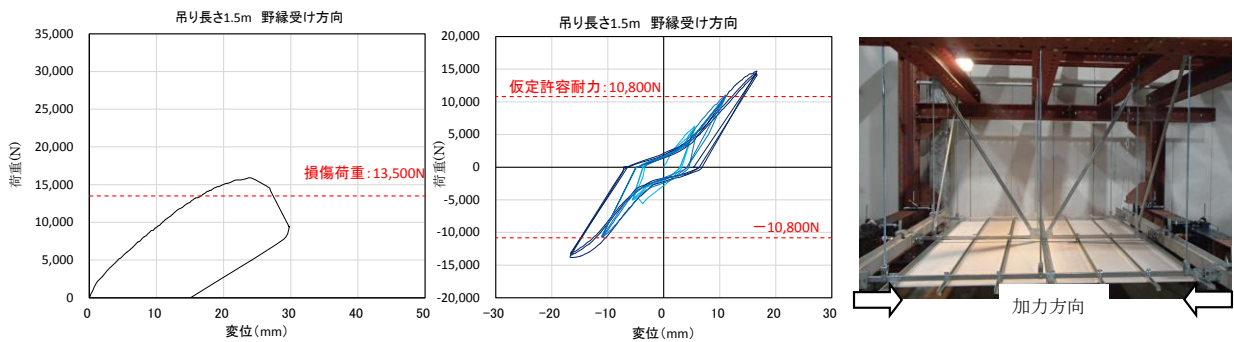


図 8(a) 吊り長さ 1.5m 試験体荷重－変形関係（野縁受け方向）

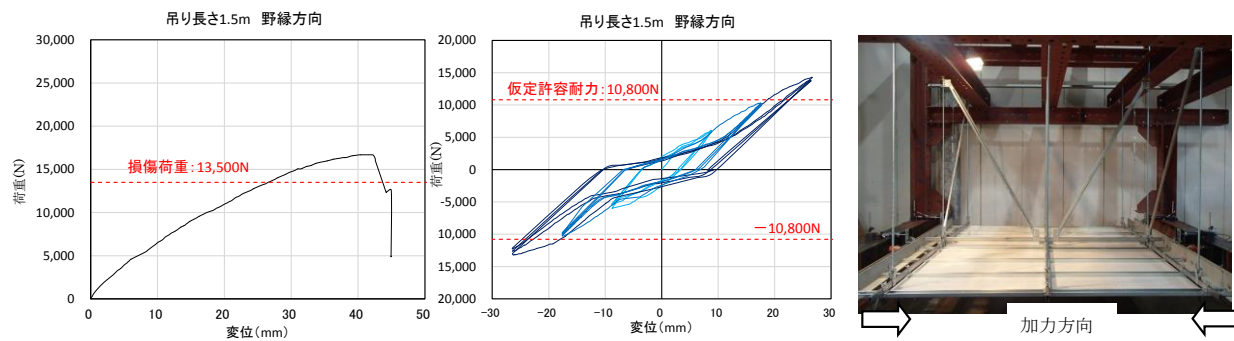


図 8(b) 吊り長さ 1.5m 試験体荷重－変形関係（野縁方向）

吊り長さ 1.0m 試験体に対してブレース材長は長くなるため座屈し易くなることと、接合部に作用する鉛直成分が大きくなるため、損傷荷重が低下したものと考えられる。

ただし、吊り長さ 1.5m 試験体においても 9,000N の許容耐力を有することを確認した。

7. 目標許容耐力と実験結果

図 9 に各試験体の許容耐力（図中太実線）と目標許容耐力（9,000N：図中破線）との比較図を示す。

吊り長さ 1.0m 試験体において、ブレース補強金物は、ユニット試験体の耐震性能の向上に大きく寄与していることがわかる。許容耐力は吊り長さが短いほど大きい値となり、目標許容耐力に対して余裕度を生じることとなるが、安全性に配慮し、設計許容耐力として、吊り長さに関わらず目標許容耐力 9,000N を用いることとした。

8. まとめ

本論文における試験結果から以下の結論を得た。

- 1) 吊り長さ 0.5m 試験体は、ブレース固定金物（吊りボルト用）に座屈を生じ、最大耐力に達した。ブレースは座屈することなく十分な耐力を発揮した。
- 2) 吊り長さ 1.0m、1.5m の試験体では、野縁受けまたはブレース下部の専用金物間の野縁方向ブレース受けが強軸方向に座屈し、最大耐力に達した。ブレースは座屈することなく十分な耐力を発揮した。
- 3) 天井面構成部材や耐震クリップなどの接合部における曲がり、はずれ、ビスの抜けなどは確認されなかった。繰返し加力試験時についても同様の結果を得た。

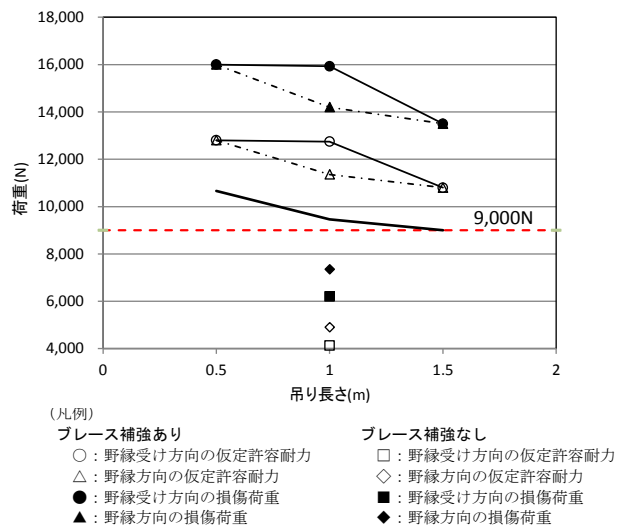


図 9 各試験体の損傷荷重・仮定許容耐力

- 4) 各天井ユニットの許容耐力は、繰返し加力実験を行い、一方向加力実験の結果と同等であると判断できる $|Pa^+|$ 、 $|Pa^-|$ により損傷時の荷重を求め、損傷時の荷重を 1.5 で除した値²⁾として算出した。その結果、吊り長さ 0.5m、1.0m、1.5m 試験体の許容耐力は、それぞれいずれの場合も目標許容耐力 9,000N を上回った。AA-TEC 工法では、安全側を考慮して天井の許容耐力を吊り長さにかかわらず 9,000N と定めた。
- 5) いずれの試験体においても、独自開発した接合金物、ブレース補強金物に加えて、主要部材に角形鋼管を用いたことによって、これまで公表されている耐震天井の許容耐力 5,000N を大幅に上回る 1.8 倍の 9,000N を実現した。

【参考文献】

- 1) 鎌田孝行, 太田雅久, 加茂千尋: 特定天井への適用を目的とした耐震天井工法の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp861-862, 2016.8.25
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか: 建築物における天井脱落対策に係る技術的基準の解説, 2013.10