

## 建物上層の大規模空間 に対応した耐震天井の 開発



山高 円\*



岩崎 和明\*\*



星川 努\*



清水 満\*

地震時に建物に作用する外力は建物の上層階ほど大きくなり、天井部材には大きな水平力が作用する。この場合、従来型の耐震天井では多くの補強部材の設置が必要となり、駅などの天井裏に多くの設備が配置されている建物では、施工が困難となる。

そこで、一定面積あたりの耐震補強部材の設置箇所数を削減するため、より大きな耐力を確保できる耐震補強部材の開発を行った。開発した2種類の補強形式の耐震天井について、静的水平載荷試験を行い、従来型の耐震天井よりも大きな耐力を有することを確認した。

●キーワード：耐震天井、地震、大規模空間、静的水平載荷試験

### 1. はじめに

平成13年の芸予地震以来、十勝沖地震、宮城県沖地震そして東北地方太平洋沖地震と大きな地震が発生する都度、体育館などの大規模空間を有する建築物で天井が崩落する被害が生じている。こういった背景から、地震時における駅などの施設利用者の安全を確保するために、天井の耐震化が求められている。<sup>1), 2)</sup>

天井の耐震化では、①天井懐に斜め方向の振れ止め（ブレース）などの耐震補強部材を設置することで剛性を高め、地震時の天井の揺れを小さく抑えること、②天井面と壁面の衝突を避けるためのクリアランスを設けること、の2点が特に重要である。

大規模空間や高層階、大きい天井懐を有する建物では、地震時に天井面に作用する水平力が大きくなる傾向があり、それに伴い、設置する耐震補強部材の数が多く必要で、コストや工期が増大する要因となっている。また、天井裏に配管などの設備が多い建物では耐震補強部材を設置するのが困難な場合もある。そこで、本開発では、一定面積あたりの耐震補強部材の設置箇所数を低減するために、より大きな耐力を確保できる耐震補強部材を考案・製作し、実験により構造性能を確認した。

### 2. 耐震補強部材の開発

従来型の耐震天井の概要を図1に示す。ブレースの上部は取付金具により吊りボルトと接続し、下部は野縁受けとビス止めで固定されている。従来型の耐震天井の静的水平載荷試験の結果では、図2に示すように、ブレース上部では取付金具が座屈変形し、ブレース下部では野縁受けが座屈することで、ブレースが破壊する前に天井構造としての終局状

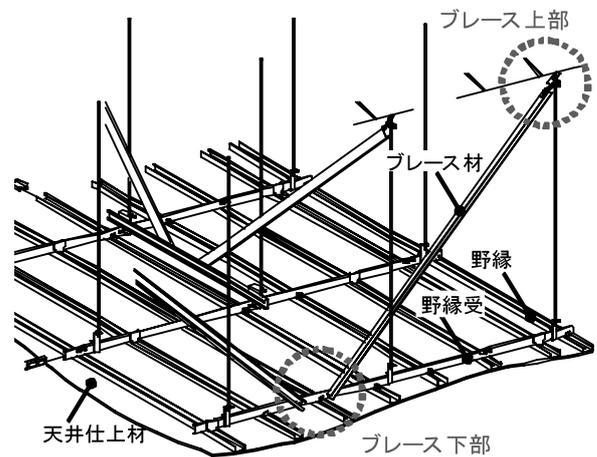


図1 従来型の耐震天井

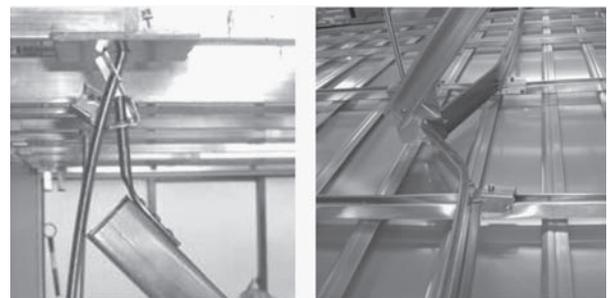


図2 従来型の耐震天井の破壊性状

態を迎え、ブレースの性能を十分に活かしてきれていないことが分かる。

このことから、ブレース材の上下の接続部分をより高強度の金具に改良することで、従来型の耐震天井よりも天井全体の耐震性能を高めることができるものと考え、新しい取付金具を考案した。なお、開発にあたっての目標耐力は従来型の2倍程度を目安とした。開発した取付金具を図3に示す。

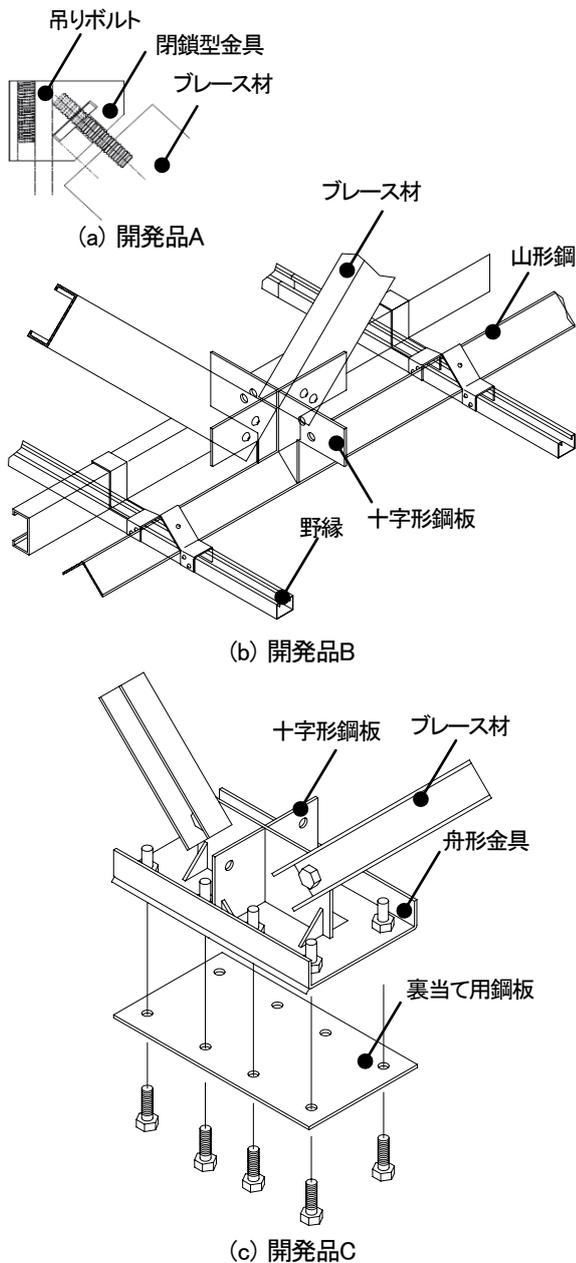


図3 開発した耐震補強部材

開発品Aは、ブレース上部と吊りボルトを接続する部材で、吊りボルトを覆う閉鎖型の形状とすることで固定度を高めている。

開発品Bは、ブレース下部と野縁を接続する部材であり、野縁と接続する山形鋼と、ブレースが取り付け十字形の鋼板から構成される。十字形の鋼板により、1ヶ所で野縁受け方向と野縁方向どちらの方向にもブレース材の設置が可能である。

開発品Cは、ブレース下部と天井仕上材を接続する部材である。天井裏側の舟形金具と仕上面側の裏当て用鋼板 (t=3.2) で天井仕上材を挟み込み、M10ボルト8本で緊結する。この方式では、設置場所が天井下地材の位置によらないため、配管などの天井裏支障物を避けた位置にブレースを設置できるといった施工面でのメリットがある。また、舟形金具には十字形の鋼板がついており、開発品Bと同様、野縁方向と野縁受け方向ともにブレース材の設置が可能である。

開発品A、B、Cはいずれも既設の天井に対してあと施工で設置できるので、耐震天井の新設の際に用いることが出来るのは勿論、天井の耐震改修工事にも適している。

なお、開発品を耐震天井に導入するにあたっては、天井構造への固定方式の違いから、次の2種類の使用方法を想定している。

①天井下地材に固定する方式：

- ・ブレース上部は開発品Aで吊りボルトと固定
- ・ブレース下部は開発品Bで野縁と固定

②天井仕上材に固定する方式：

- ・ブレース上部は建物躯体に直接固定
- ・ブレース下部は開発品Cで天井仕上材と固定

図4に耐震天井における開発品の使用状況を示す。

開発品Cについて、図では、天井仕上材が捨張り石膏ボードに岩綿吸音板仕上げ、での使用例を示しているが、アルミスパンドレルなどの金属系の天井仕上材にも適用可能である。

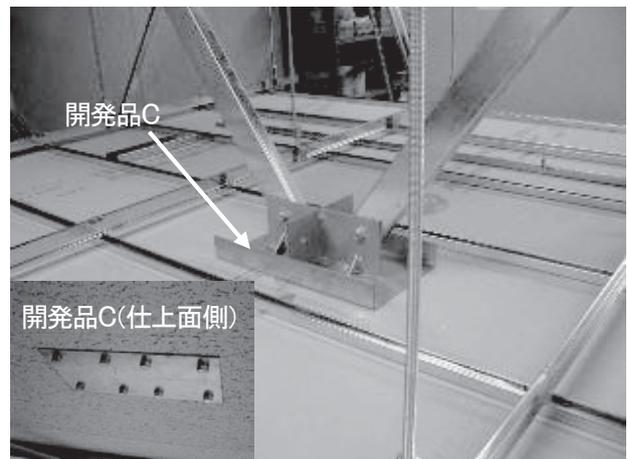


図4 開発品使用状況

### 3. 開発品の強度確認試験

開発品を用いた耐震天井の強度を確認するために、静的水平載荷試験を行う。

#### 3.1 開発品 A と開発品 B を用いた耐震天井 (試験①)

##### 3.1.1 実験概要

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。ブレース上部取付金具には開発品Aをブレース下部取付金具には開発品Bを使用した。仕上げ材は働き幅105mmのアルミスパンデル (t=0.8mm) 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、アルミスパンデルの6点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。

試験パラメーターは天井懐 (1,000mm又は1,500mm又は2,000mm) および加力方向 (野縁方向又は野縁受方向) とした。一例として、野縁方向加力の試験概要図を図5に示す。また、試験体一覧を表1に示す。

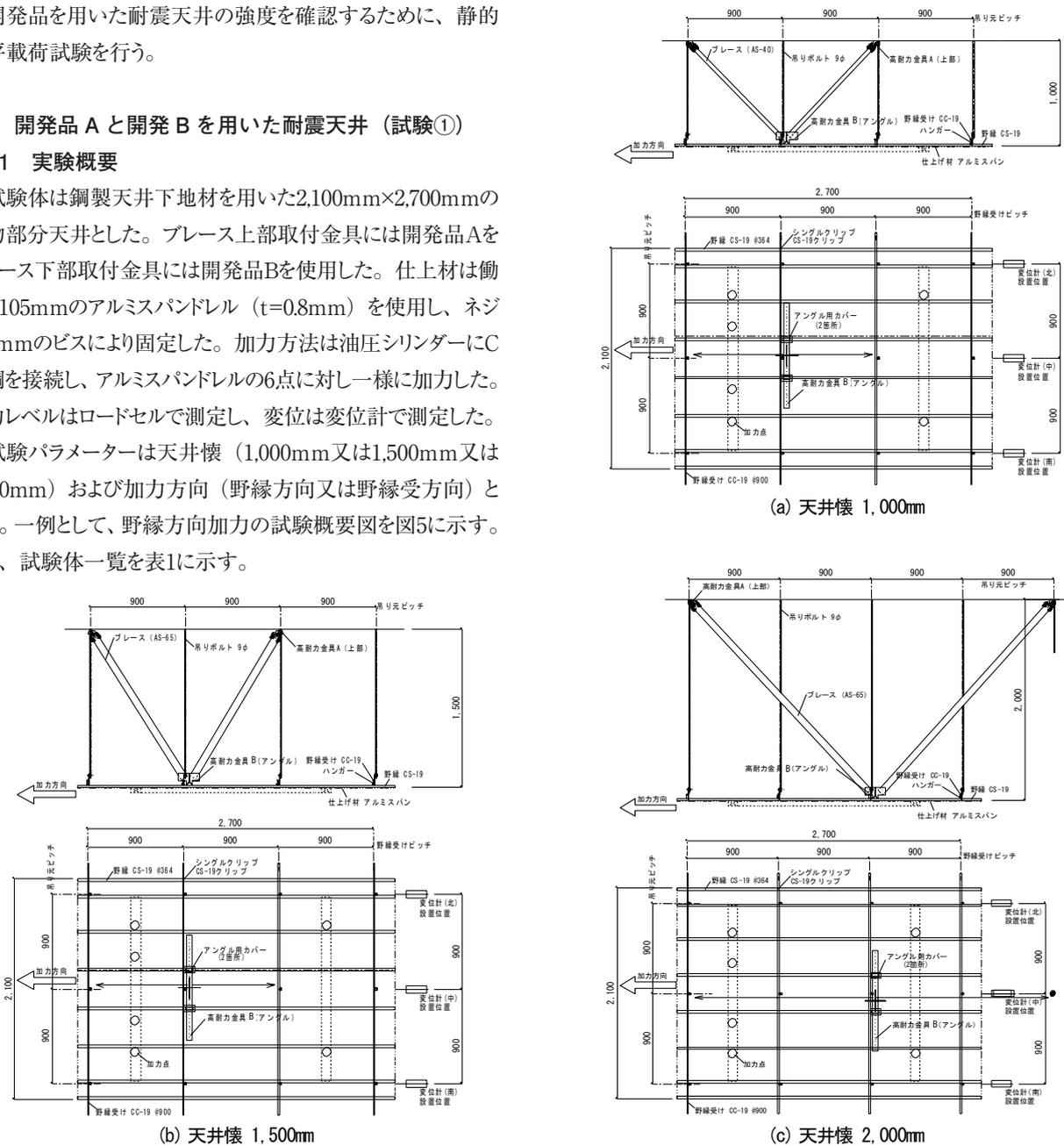


図5 試験①の試験体概要図 (野縁方向加力)

表1 試験①の試験体一覧

No.	試験 No.	試験体 No.	加力方向	天井懐 (mm)	ブレース材			ブレース上部金具	ブレース下部金具	仕上げ材
					種類	取付角度	配置			
1	RCF1	RCF1-1	野縁	1000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
2		RCF1-2	野縁	1000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
3	RCF2	RCF2-1	野縁	1500	AS-65	60°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
4		RCF2-2	野縁	1500	AS-65	60°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
5	RCF3	RCF3-1	野縁	2000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
6		RCF3-2	野縁	2000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
7	RCF4	RCF4-1	野縁受	1000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
8		RCF4-2	野縁受	1000	AS-40	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
9	RCF5	RCF5-1	野縁受	1500	AS-65	60°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
10		RCF5-2	野縁受	1500	AS-65	60°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
11	RCF6	RCF6-1	野縁受	2000	AS-65	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)
12		RCF6-2	野縁受	2000	AS-65	45°	V字	開発品 A	開発品 B	アルミスパンデル (t=0.8)

### 3.1.2 実験結果

図6に各試験の荷重-変位関係を示す。各試験体の終局状況は下記のとおりである。

- ・RCF1-1: 6375N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RCF1-2: 6762N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RCF2-1: 7470N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RCF2-2: 6947N/開発品Bの山形鋼部分が変形する。またブレース下端が野縁受けと干渉し野縁受けが変形する。
- ・RCF3-1: 6590N/圧縮側ブレース材が座屈し、ブレース中央近傍の吊りボルトを変形させる。
- ・RCF3-2: 6917N/圧縮側ブレース材が座屈し、ブレース中央近傍の吊りボルトを変形させる。
- ・RCF4-1: 5865N/開発品Bの山形鋼用カバー近傍の野縁の変形が進み野縁に固定しているビスが抜ける。6395N/野縁の変形から、スパンドレルを固定しているビスが抜ける。
- ・RCF4-2: 6577N/開発品Bの山形鋼用カバー近傍の野縁の変形から、スパンドレルを固定しているビスが抜ける。
- ・RCF5-1: 5707N/圧縮側ブレース上部のコ型金具が変形し、開発品Aが回転する。
- ・RCF5-2: 6902N/開発品Aが回転し、圧縮側ブレース材が振れる。
- ・RCF6-1: 5300N/開発品Bの山形鋼用カバー近傍の野縁の変形が進み野縁に固定しているビスが抜ける。6322N/野縁の変形から、スパンドレルを固定しているビスが抜ける。
- ・RCF6-2: 4500N/開発品Bの山形鋼用カバー近傍の野縁の変形が進み野縁に固定しているビスが抜ける。6890N/野縁の変形から、スパンドレルを固定しているビスが抜ける。

### 3.1.3 考察

表2に、各試験において、最大耐力とその時の変位および天井懐の1/100変形 ( $\delta 1/100$ ) 時の荷重を示す。また、従来の耐震天井について天井懐および加力方向が同じ条件で行った静的水平載荷試験の結果も比較して示す。

天井懐が1,000mmの場合、加力方向によって最大耐力には大きな差異が見られないが、剛性は野縁受け方向のほうが高い。これは、野縁方向が圧縮側ブレース材の座屈が終局状態であるのに対して、野縁受け方向は比較的耐力が低い部材である野縁（開発品Cとの接続部周辺）の曲げ変形が終局状態となるためである。天井懐が1,500mmおよび2,000mmの場合についても同様の傾向が見られた。

最大耐力は、いずれのケースでも概ね6,000Nを超える結

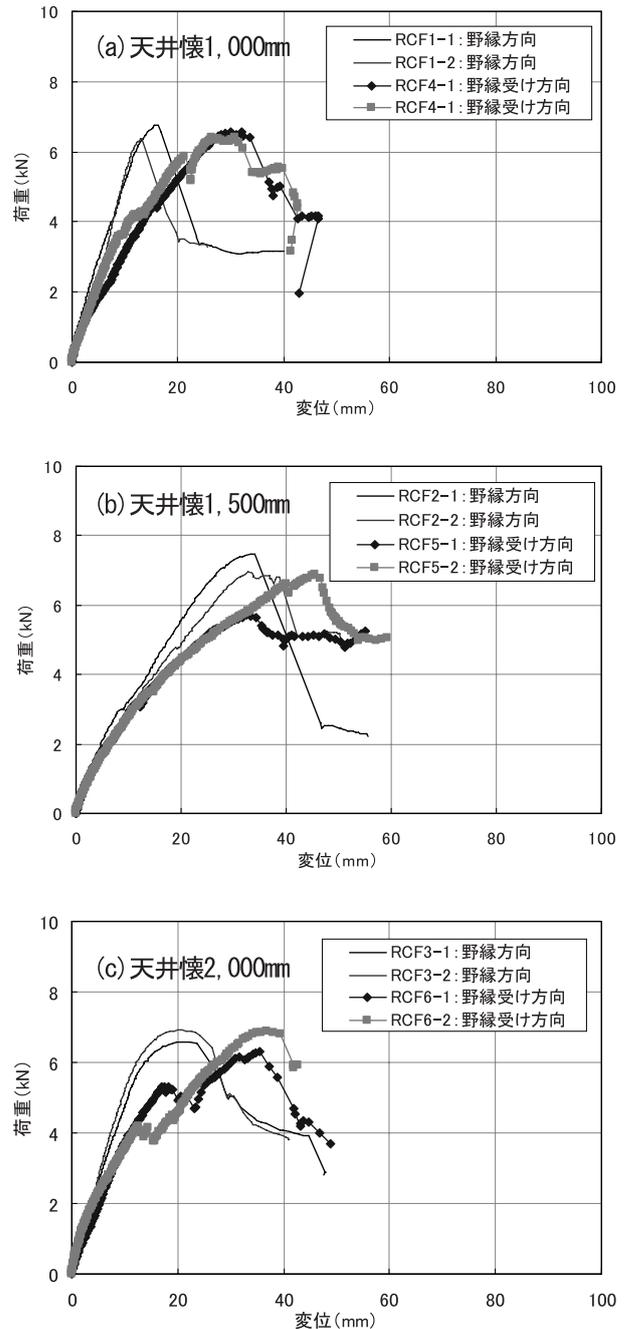


図6 荷重-変位関係

表2 試験①の結果一覧

No.	試験 No.	試験体 No.	最大耐力 (N)	最大耐力時変位 (mm)	変位 $\delta 1/100$ 時荷重 (N)	従来型耐震天井変位 $\delta 1/100$ 時荷重 (N)
1	RCF1	RCF1-1	6,375	16.2	5220	1640
2		RCF1-2	6,762	13.2	5360	
3	RCF2	RCF2-1	7,482	33.1	4375	1820
4		RCF2-2	6,947	32.7	4002	
5	RCF3	RCF3-1	6,590	22.3	6560	1940
6		RCF3-2	6,917	20.8	6910	
7	RCF4	RCF4-1	6,577	32.1	3167	2969
8		RCF4-2	6,395	30.7	3757	
9	RCF5	RCF5-1	5,707	32.4	3690	1576
10		RCF5-2	6,918	45.5	3602	
11	RCF6	RCF6-1	6,322	35.5	4945	1678
12		RCF6-2	6,890	36.8	4570	

果が得られた。

耐震天井の設計では、壁と天井の間に一定のクリアランスを設け、想定する地震力に対して天井面の変位がそのクリアランス内で収まるように耐震補強部材の設置数を決定する。したがって、一定の変形時における1ヶ所あたりの耐震補強部材の耐力が大きいくほど設置箇所数を低減できることになる。ここでは、クリアランスを $\delta 1/100$ とし、その時の荷重を見ると、開発品を用いた耐震天井は従来型の耐震天井の概ね2倍以上大きい。これは開発品を用いることで従来よりも耐震補強の設置箇所数を1/2程度に低減できることを意味する。ただし、実現場に導入するにあたっては、天井面の平面形状などに応じて耐震補強部材をバランス良く配置する必要がある。

### 3.2 開発品 C を用いた耐震天井 (試験②)

#### 3.2.1 実験概要

試験体は鋼製天井下地材を用いた3m×3mの実物部分天井とした。ブレース下部取付金具には開発品Cを用い、ブレース上部は試験場の躯体に溶接したLアングルにボルト、ナットで固定した。試験パラメータは、加力方向（野縁方向又は野縁受け方向）および仕上げ材（アルミスバンドレル $t=0.8$ 又は捨貼り石膏ボード $t9.5$ +岩綿吸音板 $t12$ ）とした。加力方法および計測方法は試験②と同様である。試験体の全景を図7に、試験体概要図を図8に、試験体一覧を表3に示す。

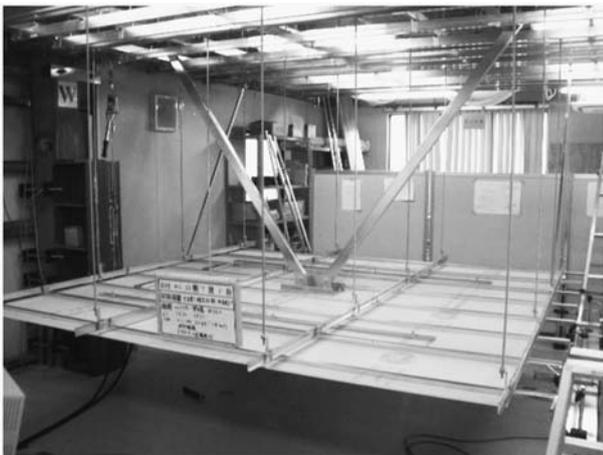
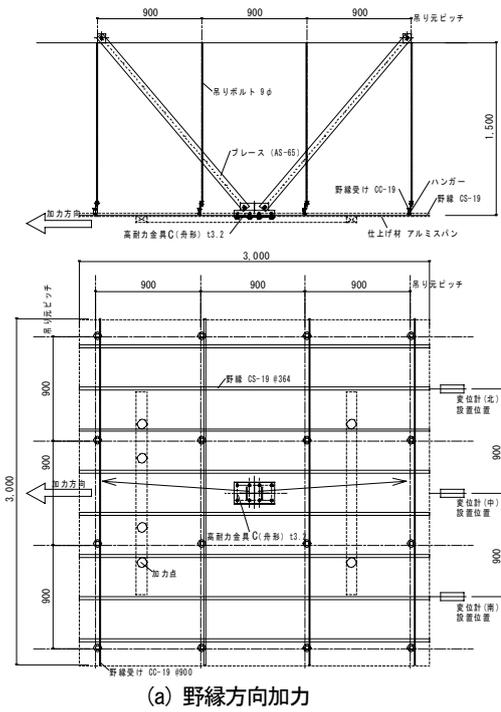
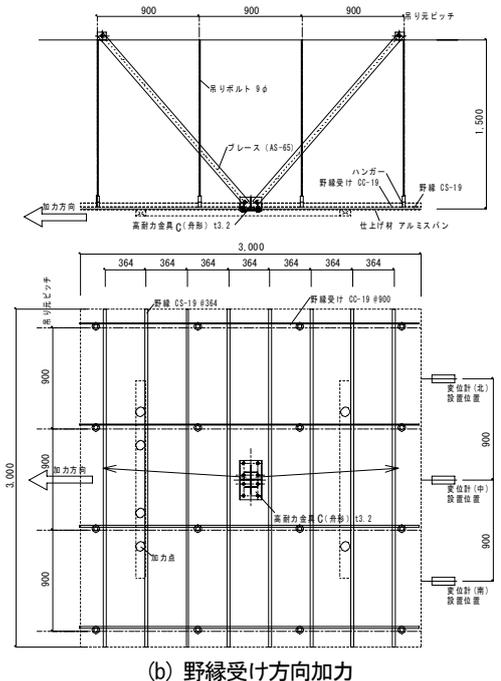


図7 試験体全景



(a) 野縁方向加力



(b) 野縁受け方向加力

図8 試験②の試験体概要図

表3 試験②の試験体一覧

No.	試験 No.	試験体 No.	加力方向	天井懐 (mm)	ブレース材			ブレース上部金具	ブレース下部金具	仕上げ材
					種類	取付角度	配置			
13	RBE1	RBE1-1	野縁	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	アルミスバンドレル (t=0.8)
14		RBE1-2	野縁	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	アルミスバンドレル (t=0.8)
15	RBE2	RBE2-1	野縁	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	石膏ボード (t=9.5) + 岩綿吸音板 (t=12)
16		RBE2-2	野縁	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	石膏ボード (t=9.5) + 岩綿吸音板 (t=12)
17	RBE3	RBE3-1	野縁受	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	アルミスバンドレル (t=0.8)
18		RBE3-2	野縁受	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	アルミスバンドレル (t=0.8)
19	RBE4	RBE4-1	野縁受	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	石膏ボード (t=9.5) + 岩綿吸音板 (t=12)
20		RBE4-2	野縁受	1500	AS-65	45°	V字	梁アングル、ボルトナット固定	開発品 C	石膏ボード (t=9.5) + 岩綿吸音板 (t=12)

## 3.2.2 実験結果

図9に各試験の荷重-変位関係を示す。各試験体の終局状況は下記のとおりである。

- ・RBE1-1：3000N/開発品Cがブレース構面方向に回転し、圧縮ブレース側が下方へ沈み込む。7795N/開発品C近傍のスパンドレルを天井下地材に固定するビスが抜ける。
- ・RBE1-2：4000N/開発品Cがブレース構面方向に回転し、圧縮ブレース側が下方へ沈み込む。7547N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE2-1：5152N/ボードビスが仕上げ材から頭抜け。7987N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE2-2：4500N/開発品Cが仕上げ材にめり込み始める。7585N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE3-1：6000N/野縁が加力方向に対し曲げ変形する。7395N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE3-2：7490N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE4-1：7445N/圧縮側ブレース材が座屈する。
- ・RBE4-2：7645N/圧縮側ブレース材が座屈する。

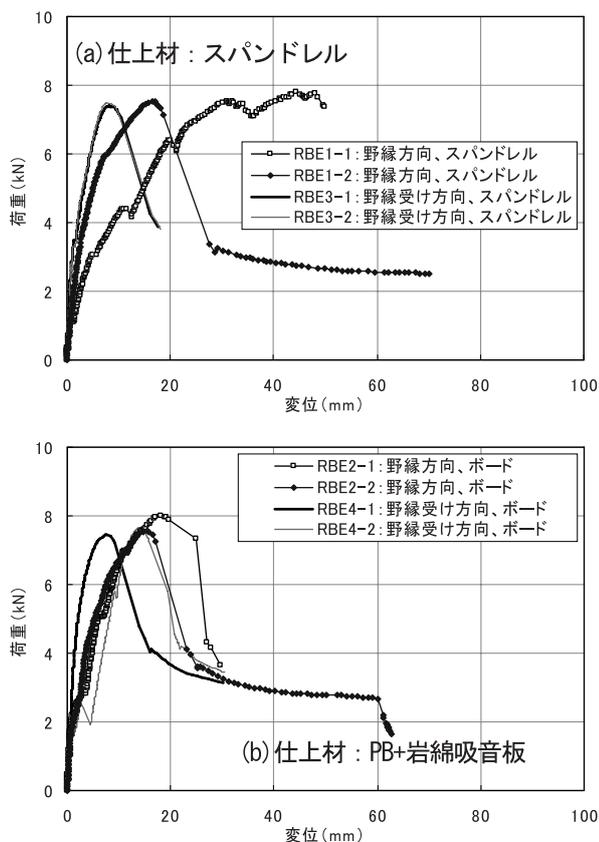


図9 荷重-変位関係

## 3.2.3 考察

表4に試験結果の一覧を示す。最大耐力は、加力方向や仕上材の種類によらず、すべての試験体で7,000N以上であった。また、 $\delta 1/100$ 時の荷重は従来型に比べて2~4倍程度大きくなった。

表4 試験②の結果一覧

No.	試験 No.	試験体 No.	最大耐力 (N)	最大耐力時変位 (mm)	変位 $\delta 1/100$ 時荷重 (N)	従来型耐震天井変位 $\delta 1/100$ 時荷重 (N)
13	RBE1	RBE1-1	7795	44.5	5037	1820
14		RBE1-2	7547	16.5	7405	
15	RBE2	RBE2-1	7987	18.1	7610	
16		RBE2-2	7585	15.5	7542	
17	RBE3	RBE3-1	7395	8.3	4415	1576
18		RBE3-2	7490	7.7	3500	
19	RBE4	RBE4-1	7445	7.6	4437	
20		RBE4-2	7645	14.1	7497	

RBE1-1が最大耐力に至るまでに大きく変形しているのは、図10のように開発品Cが回転しスパンドレルにめり込み、スパンドレルジョイントのビスが抜けたことが原因と考えられる。これは、開発品Cの端部を目地から避けるよう設置することで解消できるものと考えられる。



図10 RBE1-1の終局状況

RBE1-1以外の試験体については、ブレース材の座屈が終局状況となっているため、ブレース材のメンバーを大きくすることで、より耐震天井としての強度を高めることが期待できる。

## 4. まとめ

従来型の耐震天井の構造上の弱点箇所を改良した、使用方式の異なる2種類の耐震補部材を開発した。開発品を用いた耐震天井の静的水平載荷試験の結果、従来型に比べて、開発品は概ね2倍以上の性能を有することを確認した。この開発品を用いることで、耐震補強1ヶ所あたりの耐力が向上し、耐震補強部材を設置する箇所数が少なくて済むので、天井の耐震化工事におけるコストダウンおよび工期短縮が期待できる。

### 参考文献

- 1) 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
- 2) 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