

BCJ が審査した技術の紹介

特定天井等における天井脱落対策「T-Ceiling V-brace 工法」

森田仁彦*1 / 佐々木晴夫*2 / 尾方大輔*2 / 杉山智昭*3 / 岩下裕樹*4

*1 大成建設株式会社 設計本部構造計画部 / *2 大成建設株式会社 建築本部技術部 /

*3 大成建設株式会社 技術センター建築技術研究所 / *4 八潮建材工業株式会社 製品開発部

1 はじめに

東日本大震災での天井脱落による人的被害に鑑み法制化された天井脱落対策（平成25年国土交通省告示第771号等）が、平成26年4月より施行となったが、この告示のベースは、平成13年の芸予地震における天井脱落被害を契機に出された「技術的助言」である。大成建設は、施工者として安全な天井を提供する責任があるとの観点から、当時の技術的助言に基づき、平成19年に耐震天井「T-Ceiling」を開発しており、面積が広く天井脱落の危険性が大きい場合や建物の耐震グレードが高い場合などに採用してきた。

今回、技術的助言が告示へと法制化されたことで、更なる安全性の検証と性能の明確化を目的として「T-Ceiling」の見直しを図った。そして大成建設の天井脱落対策「T-Ceiling」シリーズの内の耐震天井「V-brace」工法として、八潮建材工業株式会社と共に、同告示第771号第3第2項第一号に規定される「水平震度法」を対象に一般評定を受けたので、ここに報告する。

2 工法の概要

V-brace 工法は、鋼製下地在来工法の下地にせっこうボードを天井板としてビス留めし、ブレース（天井面とのなす角度45°~60°）の下端部をせっこうボードにタッピンビス留め、上端部を主要構造部あるいは支持構造部に金属系あと施工アンカーにより接合し、天井周囲に必要なクリアランスを設けた天井である。本工法の全体図を図1に示す。

鋼製下地在来工法のせっこうボード張り天井をベースとしていることから、鉛直荷重は元々の天井架構である在来の吊り材・野縁・野縁受け等の下地鋼材で負

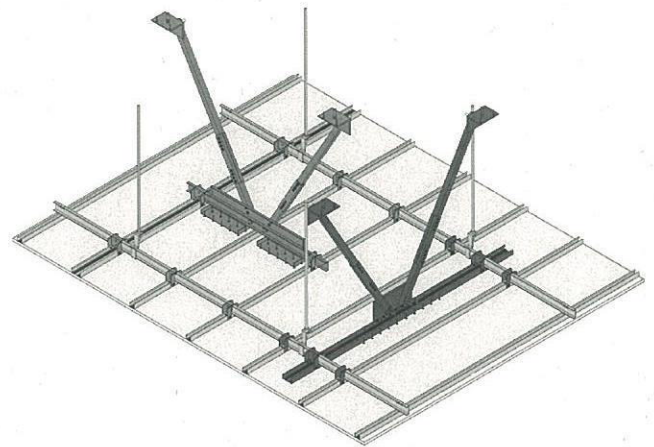


図1 V-brace 工法の全体図

担し、地震による水平荷重のみをブレースが負担する。ブレースは、野縁や野縁受けの交点あるいは吊りボルトの吊元に接合されるのではなく、せっこうボードおよび上部支持構造部に接合金物を介して直接接合されるために、ブレースと下地鋼材の配置関係は比較的自由なものとなる。

天井面接合部を取り囲む野縁・野縁受け接合部には補強クリップを6か所または8か所配置する。これら補強クリップの設置目的は、力が集中するブレース取付け部周辺の補剛および補強であり、水平力を伝達する天井側接合金物の回転およびずれ等を抑制する。

地震時の水平力は、天井板のせっこうボードにタッピンビスで留められた天井側金物を介して角形鋼管のブレースに伝達される。天井側金物とブレースは、W3/8サイズのボルトで接合される。上部の支持構造部との接合に用いる躯体側金物とブレースも、W3/8サイズのボルトで接合され、躯体側金物と支持構造部（鉄筋コンクリート造躯体）は、M12サイズ以上の金属系あと施工アンカーで接合される。なお、ブレースには施工的な利便性を考慮して、天井側接合部付近にジョイントを設けている。

3 工法の適用条件

V-brace 工法の適用条件のポイントを以下に示す。

- ① 建物の用途・特定天井の場所：プール、浴室等の湿度の高い用途を除く屋内
- ② 検証ルート：水平震度法
- ③ 天井の面積：2,500m²以下
- ④ 吊り長さ：最長3.5m
- ⑤ 天井面構成部材の重量：300N/m²以下
- ⑥ 柱の相互の間隔：50m 以下
- ⑦ 天井の最大加速度想定値：水平2.2G、上下2.0G
- ⑧ 天井面の勾配：勾配無し
- ⑨ 支持構造部の勾配：5/100以下
- ⑩ 天井段差の制限：段差不可
- ⑪ 天井平面形状の制限：整形な矩形・台形・一部円弧等、一体として挙動すると想定される形状
- ⑫ 天井開口の制限：
 - 1) 開口（柱による開口も含む）寸法は1箇所当たり2m 以下
 - 2) 開口間の寸法は1m 以上かつ下地（補強材含む）4本以上を確保
 - 3) 開口の天井総面積に対する割合は10%程度を限度
 - 4) 各方向の天井辺長さに対する開口合計長さの割合は40%程度を限度
- ⑬ 天井板の材料：せっこうボード（JIS A 6901）厚さ=12.5mm、15mm、21mm
- ⑭ 支持構造部：鉄筋コンクリート造（鋼製デッキを用いた鉄筋コンクリート造床スラブも可）
- ⑮ ブレースの配置：「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」にあるゾーニングによる配置
- ⑯ クリアランス：6cm に吊り長さが3m を超える部分の長さに1.5/200を乗じた値を加えた数値以上

4 ブレースの設計

「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」にある「損傷耐力」まで「天井材の損傷または接合部分の滑り若しくは外れが生じ」ないような天井とするために、本工法では、損傷耐力を超える最大耐力程度まで、ブレースは座屈しない耐力を有するように

設計することとしている。これは、接合部が偏心のある組み方であるため、早期に座屈が生じると、天井全体の変形により「天井材の損傷」や「接合部の滑り・外れ」が誘発されると想定したことによる。ただし、想定以上の地震力が作用した場合に、最終的な破壊後の靱性が乏しくなることを踏まえて、許容水平耐力に対する損傷耐力までの余裕を1.5倍よりも大きく設定することとした。ここで、本工法の最終的な破壊は、天井ボードとブレース接合部におけるビスのせん断およびせっこうボードの支圧破壊である。

図2にブレースの設計フローを示す。ブレース設計のための入力条件は、天井懐 h_0 、ブレース角度 θ 、天井単位重量 w としてブレース仮定断面である。設計条件はブレース一对の設計水平耐力 Q_0 と天井設計震度 KH （告示第771号、水平震度法の水平震度による）であり、これを設定し、ブレース材断面とブレース一对の負担面積 A を算定する。

ブレース一对の設計水平耐力 Q_0 は3,000N と設定している。ブレース-天井面接合部の要素試験で確認さ

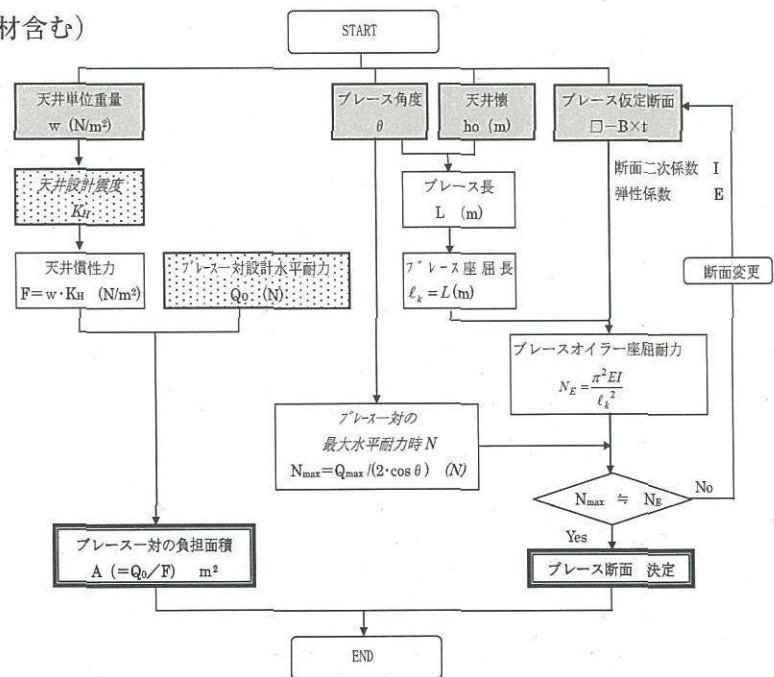


図2 ブレース設計フロー

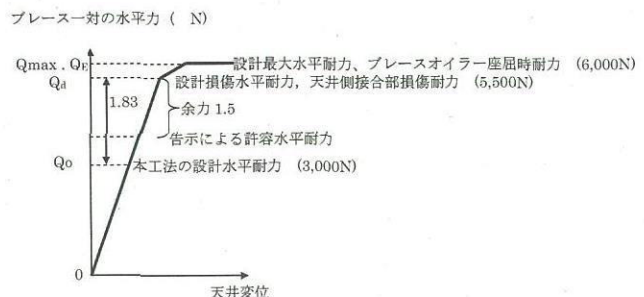


図3 ブレース一对の水平耐力レベルの関係

れた損傷耐力 Q_d が5,500Nであることから、設計水平耐力に対する余裕は、1.83倍となっている。ブレース断面は、最大水平耐力 Q_{max} (実験より6,000Nと設定) 時のブレース軸力 N_{max} と、ブレース両端をピンと仮定した時のオイラー座屈荷重 NE がほぼ等しくなるように設定する。各水平耐力の関係を図3に示す。ブレースはV型で一对を構成し、天井面とブレースのなす角度は45°~60°の範囲で使用する。一例として、□-25×1.6のブレース断面におけるブレース角度とブレース軸力の関係を、 N_{max} と NE とを比較して図4に示す。図4より、45°~60°の範囲で両者はほぼ等しくなっており、この角度の範囲でブレース耐力に差はほぼ無いことがわかる。また、他の断面も含めて N_{max} と NE とを比較して整理し、表1に示す。

ブレース両端接合部の耐力は、ブレース一对の水平耐力を確保するに必要な性能を、実験により確認して

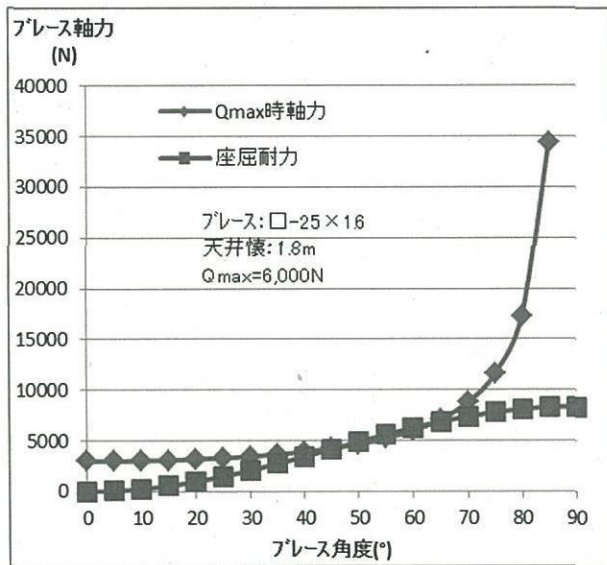


図4 ブレース角度とブレース軸力

表1 各ブレース断面の角度と座屈耐力

本工法で設定した断面		ブレース角度によるブレース耐力の確認			
断面	天井懐の最大値 h_0 (m)	ブレース角度 θ (°)	Q_{max} (6,000N) 時のブレース軸力 N_{max} (N)	オイラー座屈荷重 NE (N)	N_{max}/NE
□-19×1.2	1	45	4,243	4,482	0.95
		60	6,000	6,722	0.89
□-25×1.6	1.8	45	4,243	4,184	1.01
		60	6,000	6,276	0.96
□-32×1.6	2.7	45	4,243	4,094	1.04
		60	6,000	6,141	0.98
□-38×1.6	3.5	45	4,243	4,195	1.01
		60	6,000	6,293	0.95

いる。

なお、本工法の適用範囲内であれば個々に計算することなく、天井懐に応じてブレース断面を、また天井単位重量と水平震度に応じてブレース一对の負担面積を設定することが可能である。

5 鉛直方向の検討

柱間隔が15mを超える場合、水平方向荷重と鉛直方向荷重が同時に作用すると考えての検討が必要だが、本工法は鉛直力・水平力それぞれを吊り材・ブレースが別々に負担するとの考え方のため、鉛直方向荷重については吊り材のみで検討する。

吊り材に作用する荷重として、引張(下方向)力については、常時荷重(1G)と共に鉛直方向荷重が加算される。また、圧縮(上方向)力については、常時荷重が逆向きに作用する。鉛直震度については、告示に倣い、柱相互の間隔が15mを超える場合に上下1Gを考慮して吊り材の検討を行う。しかしながら、スパンが大きくなると上下震動が大きくなることを考慮し、25mを超える場合は鉛直震度を割増すこととした。表2に上下方向の地震時荷重を整理して示す。

鉛直震度と天井重量から鉛直荷重を算定し、これに対して吊り材の鉛直力伝達経路を、タッピンビス→野縁→クリップ→野縁受け→ハンガー→吊りボルト→インサートと仮定して、各下地の要素の許容耐力(2/3×損傷耐力)が鉛直荷重を上回る設定とする。各下地要素の耐力は、加力実験結果より設定した。具体的な対応としては、柱スパンが25mを超える場合、以下の4つの処置を行う。

- ① 許容耐力300N以上のクリップ使用
- ② 野縁ピッチ303mm以下
- ③ ハンガーを野縁受けにビス留め
- ④ 吊り長さ1m以下

表2 上下方向の地震時荷重

柱間隔 (m)	~15	15~25	25~50
引張(下方向)力	1.0G×W	2.0G×W	(2.0~3.0)G×W
圧縮(上方向)力	0	0	(0~1.0)G×W

W: 天井面構成部材等の重量 (N)

6

性能確認実験

性能確認試験は、要素試験および天井ユニット試験を実施した。要素試験は、ブレース（斜め部材）の上端（躯体側金物）・下端（天井側金物）およびブレース中間のジョイント部を対象とした。図5に要素試験を行った部位を示す。図6に天井側金物および躯体側金物の試験概念を示す。

要素試験は、一方向加力試験で損傷耐力・許容耐力を評価した。その後、設計水平耐力 $Q_0 = 3,000\text{N}$ を基準値 Pa として、 $0.5Pa$ 、 $1.0Pa$ 、 $1.5Pa$ で正負繰返し試験を実施し、双方の試験結果（荷重～変位曲線）が概ね同等となることを確認した。天井ユニット試験は、要素試験結果と比較する目的で、参考として実施した。

図7に、試験結果の一例として、天井側金物の繰返し試験の結果を示す。各要素試験結果から、 $Pa \times 1.5 = 4,500\text{N}$ 時の繰返し加力において、荷重～変位関係がほぼ線形であることが確認された。

各接合部の試験結果より、天井側接合金物の野縁方向の損傷耐力が最も低く約 $5,500\text{N}$ であった。このことより、本工法の設計のための損傷耐力 Q_d を $5,500\text{N}$ に設定した。

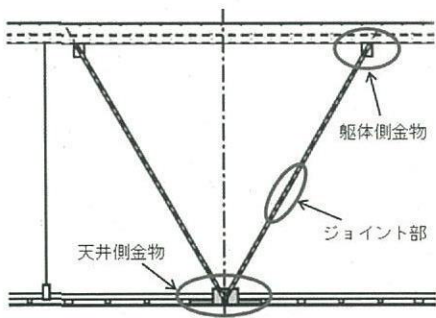
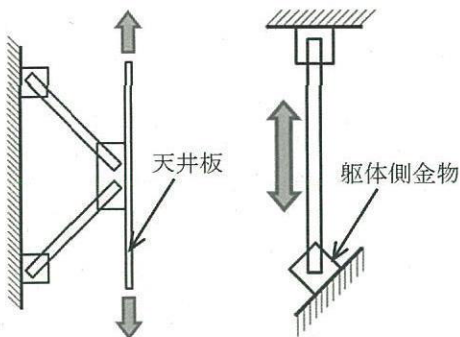


図5 要素試験部位



a. 天井側金物試験 b. 躯体側金物試験

図6 試験概念

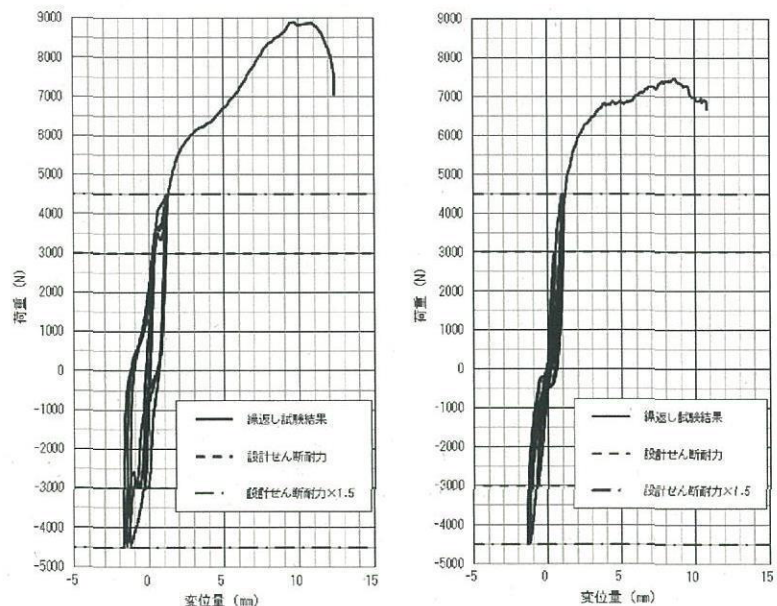
7

施工・管理

本工法では、品質のバラツキを抑えるために、使用する材料を全て指定し、施工方法・検査方法等も細かく規定した。図8に施工管理体制を示す。

本工法の施工および施工管理は大成建設株式会社（建設共同企業体を含む、以下大成建設等）が実施し、T-Ceiling V-brace 工法設計・施工委員会が施工指導および教育を実施する。大成建設等は本工法を施工する専門工事業者を指定し、品質・工程・安全管理事項等を指示するとともに、当該項目が適正に遂行されているか管理する。専門工事業者は、設計図書に基づく指定材料を八潮建材工業株式会社に発注するとともに、施工要領書および品質管理書類を作成し、大成建設等に提出する。

本工法の施工に当たっては、施工計画書・施工図の監理者承認、部材の材料検収、あと施工アンカーの非破壊検査、軽量鉄骨天井下地完了検査、ブレース設置完了検査、せっこうボード張り後の工法完了検査を実施するとともに、品質管理チェックシート・写真記録シートを作成・保存する。



a. 野縁方向

b. 野縁受け方向

図7 繰返し試験結果



図8 施工管理体制

8 まとめ

天井脱落対策についての告示化は、施行間際まで不明な点が多く、対応に苦慮することが多かったが、大成建設ではV-braceの基本仕様が平成19年に出来上がっていたことから、告示施行直後に評定の申請をすることが可能となった。その結果、BCJの評定としては個別も含めて全国で第一号となり、評定番号「BCJ 評定-SC0001-01」を得ることができた。この評定により、発注者や設計者への技術の理解の深まり、審査工程の円滑化が期待でき、現場ごとにバラバラであった施工にある方向付けができたと考えている。

今回の評定では、計算ルートの中の「水平震度法」に対応した内容になっているが、今後の設計施工実績と共に天井の剛性についても検討を加え、「応答スペクトル法」「簡易応答スペクトル法」への対応を考えている。