

天井の耐震性に関する研究

正会員 小林 俊夫*¹

その4 組合せブレースの座屈耐力評価

キーワード：天井、ブレース、組合せ、座屈、Euler法

1. はじめに

吊り天井の耐震性向上を目的としたブレースの設置にあたり、押し引き両方向に対応するため2方向1対とし、V字型に配置するのが有効であるが、天井懐内の設備機器の干渉等によりV字型に配置ができず、(逆)ハの字型の配置とするケースもある。また、ブレース材の耐力を評価する場合、V字型配置でも(逆)ハの字型の配置であっても、単独圧縮ブレースとして算定するのが一般的である。

そこで、より無駄なく有効にブレースの耐力を評価する事を目的とし、図1のような4パターンのブレース設置の組合せに対し座屈耐力の評価方法を提案し検証を行う。

2. 単独ブレースの座屈後の特性

単独ブレースに圧縮あるいは引張力が作用するように天井面に水平荷重した実験結果の荷重-変形関係を図2, 3に示す。

圧縮ブレースは座屈後若干の耐力低下が認められるもののほぼ耐力を保持したまま変形が進む。

引張ブレースはブレース自体が降伏しなくても、ブレース引張力の上下分力として吊りボルトに圧縮力が生じ、これにより吊りボルトが座屈する。その後耐力を若干増加させながら変形が進む。この耐力が増加する現象の原因のひとつに、吊りボルトの座屈に伴い天井面が引き上げられ、吊りボルトの自重支配領域が増大することにより圧縮力が緩和される効果が考えられる。

それぞれの図にはEulerの公式(ブレースは両端ピン、吊りボルトは上端固定・下端ピン)で評価される部材応力に達するときの水平荷重(単独圧縮ブレースを座屈させる水平荷重を F_B 、単独引張ブレースの吊りボルトを座屈させる水平荷重を F_H ^{注3)}とする)を併記したが実験結果を適切に評価している。

3. 組合せブレースの座屈耐力の評価

組合せブレースの座屈耐力を評価するに際して、図2や図3のブレースと吊りボルトの座屈後の挙動を簡略化し、座屈後の加力に対してはそれぞれEulerの公式で評価された座屈荷重を生じさせる水平荷重(前記 F_B および F_H)を保持したまま変形が進むものと仮定する。

- (1) 仮定より圧縮ブレース単独の水平耐力は F_B である。
- (2) 仮定より引張ブレース単独の水平耐力は F_H である。引張ブレース自体が降伏しなくても、吊りボルトが座屈してブレースの上下成分の増加を負担できなくなるので水平耐力は F_H となる。
- (3) 地震時にブレースに作用する力は引張と圧縮の交互繰り返しになるので単独ブレースの終局耐力($F_{単U}$)は F_B と F_H の小さい方となる。

$$F_{単U} = \min(F_B, F_H)$$

- (4) (逆)ハの字型に離れて配置された一組2本のブレースは交互繰り返し荷重に対しそれぞれ同時に圧縮と引張になるの

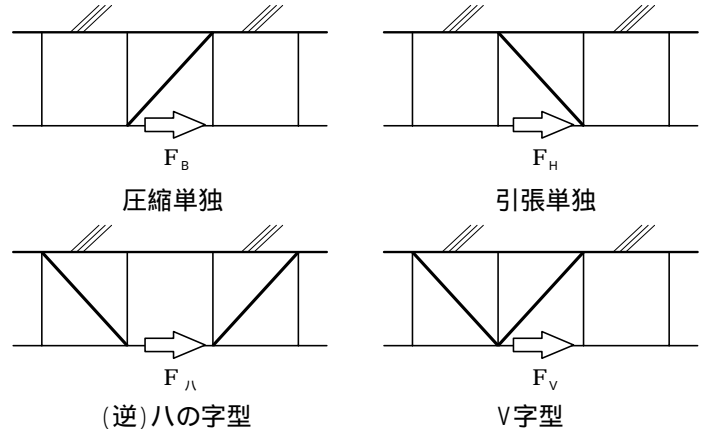


図1 ブレース設置の組み合わせ

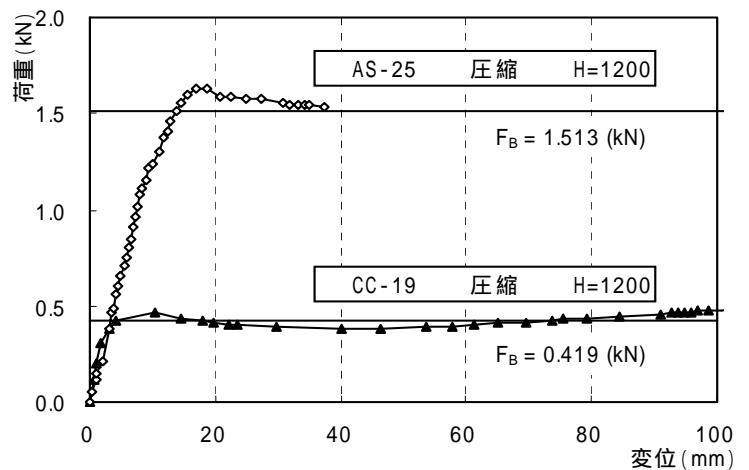


図2 荷重 - 変位関係 (圧縮)

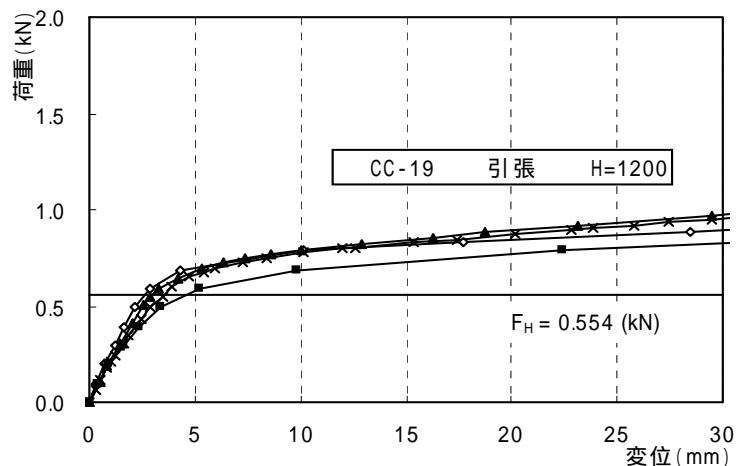


図3 荷重 - 変位関係 (引張)

で一組 2 本のブレースの終局耐力 F_{VU} は F_B と F_H の和となる。

$$F_{VU} = F_B + F_H$$

(5)吊りボルトを挟んでV字型に配置された一組 2 本のブレースの水平耐力は次のようになる(図 4 参照)。

圧縮ブレース座屈耐力以下の载荷時(図 a)

ブレース下部に天井の水平慣性力が作用するとそれぞれのブレースに相互に等しい大きさの引張力と圧縮力が生ずる。それぞれの上下成分は絶対値が等しく符号が逆なのでキャンセルされ、吊りボルトには軸力は生じない。圧縮ブレースが座屈耐力に達するときその水平成分は F_B となり、引張ブレースも同じ水平成分を負担しているので合力は $2F_B$ となる。参考までに、吊りボルトを挟まずV字型に配置された場合はこの状態が終局耐力となる。

吊りボルト座屈耐力到達時(図 b)

天井の水平慣性力が $2F_B$ を超えると、既に座屈している圧縮ブレースは $2F_B$ 以上の増分を分担することができず、引張ブレースのみが増分全てを負担する。その引張ブレースが負担した増分の上下成分は吊りボルトの圧縮力で釣り合う。仮定により圧縮ブレースは座屈後 F_B を保持しつづけるので、V字型ブレースに対する $2F_B$ 以上の増分に関しては前述(2)の単独引張ブレースの場合と同じ状態となる。従って $2F_B$ 以上の増分についての耐力は F_H となり、終局耐力(F_{VU})は圧縮ブレース座屈時耐力 $2F_B$ と、それ以後の増分に対する耐力 F_H の和となる。

$$F_{VU} = 2F_B + F_H$$

文献¹⁾の载荷実験では試作の補強部品を使用した。その後量産体制が整ったので量産部品の性能確認のため同様の試験方法により、パラメータをブレース材 ブレースの組合せ 天井懐とした実験を行った。この内ブレース材または吊りボルトの座屈により終局に達した実験結果を図 2,3,5,6に抽出し、図中にブレースの各組合せに対応してそれぞれ前記 F_B 、 F_H 、 F_{VU} および F_{VU} を記入した。いずれもほぼ安全側の結果となっている。但し、単独圧縮ブレースのケース(図 2)ではCC-19の実験結果の座屈荷重はEulerの公式で評価された座屈荷重(F_B)を超えているものの、更なる加力に対しては F_B の約 9%減まで耐力が低下し、その後再び回復して F_B を超えている。しかし、一般的にはブレースを単独で配置することは少なく、(逆)ハの字型またはV字型に配置する機会が多いので、引張側のブレース耐力が座屈発生後に大幅に耐力が増加する(図 3)という裕度を考慮すると、上記圧縮ブレースの若干の耐力低下は十分に補償されることになる。この状況は(逆)ハの字型およびV字型配置の実験結果(図 5、図 6)に認められ、上記評価法が安全側になることが確認できる。

4.まとめ

吊り天井に適用する組合せ耐震ブレースの座屈耐力評価に際し、Eulerの公式を基本とした評価式を提案し実験結果と比較することによりその妥当性を検証した。

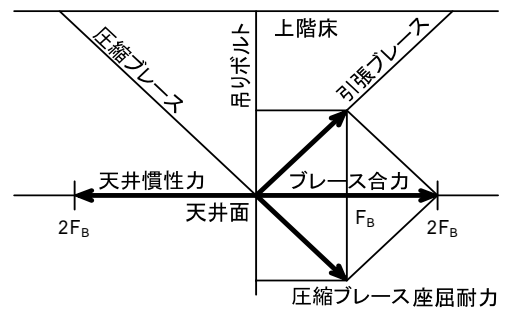
なお、本報で提案する評価式が成立するためには、ブレースや吊りボルトに座屈を生じさせる水平力に対して他のすべての部材が未だその耐力に達していないことが前提である。

< 参考文献 >

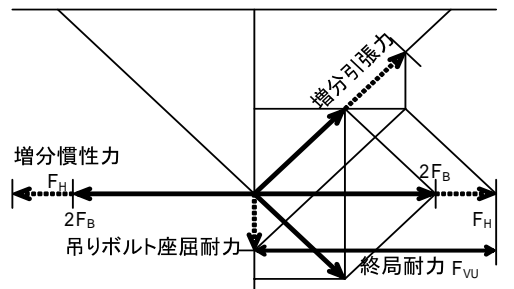
- 1) 「天井の耐震性に関する研究(その1)(その2)(その3)」、小林俊夫、由利隆行、荒井智一、日本建築学会大会梗概集、2006年9月

< 注 >

- 注1) AS-25 : C-25 × 19 × 5 × 1.0 (リップ付チャンネル)
- 注2) CC-19 : C-38 × 12 × 1.2 (チャンネル)
- 注3) 吊りボルトにはウイトねじ(W3/8")を用いた。カタログの有効断面積 $A_e=49.1\text{mm}^2$ から有効直径 $D_e=7.91\text{mm}$ を求め、これから求まる有効断面二次モーメント $I_e = p D_e^4 / 64=191.8\text{mm}^4$ を使用した。



a) 圧縮ブレース座屈耐力到達時



b) 吊りボルト座屈耐力到達時

図 4 ブレース分担図 (節点に作用する外力として表示)

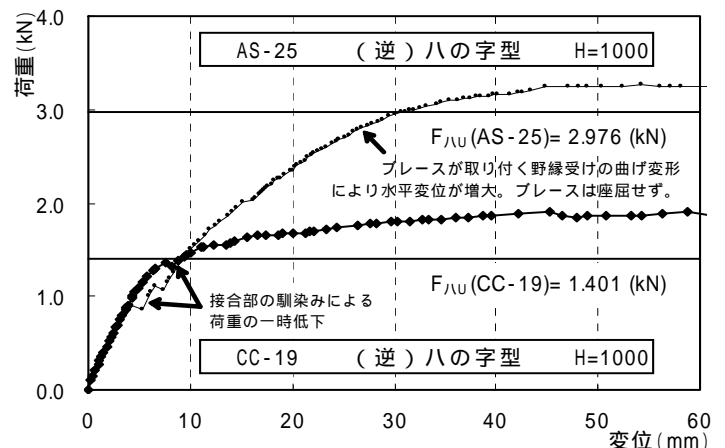


図 5 荷重 - 変位関係 (逆ハの字型)

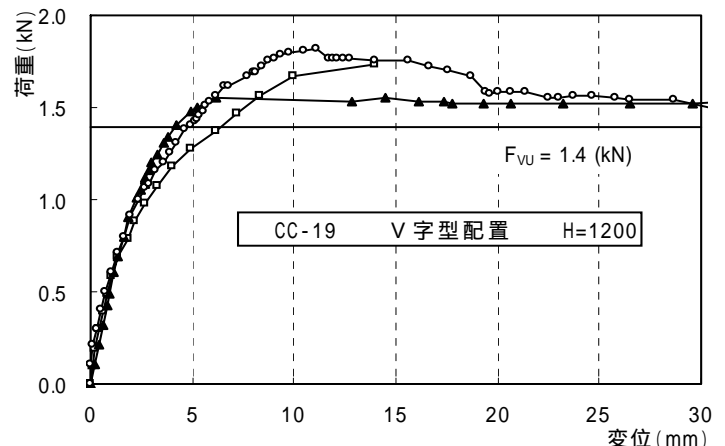


図 6 荷重 - 変位関係 (V字型)

*1 桐井製作所 工学博士