

天井の耐震性に関する研究

(その11) 中央を弾性支持されたブレースの座屈耐力

正会員 ○小林 俊夫^{*1}

耐震天井 ブレース 弾性支持 座屈耐力

1. はじめに

天井懐内にブレースを設置する場合、懐が深くなると吊りボルトを跨いで設置することがある。この時、ブレースと吊りボルトを繋結するとブレースの座屈耐力が向上するという現象が実験上経験的に得られている。この効果を定量的に評価し、より合理的な耐震天井を提供すべく定式化し、その妥当性を実験により確認した。

2. 定式化

図1の表記を用いると、座屈時の曲げの釣り合い式は軸力成分とせん断力成分との和として(1)式であらわされる。

$$EI d^2y(x)/dx^2 = -Ny(x) + (L/2-x)Q \quad (1)$$

この解 $y(x)$ は、未定係数 A, B を用いて(2)式となる。

$$y(x) = Asin\lambda x + Bcos\lambda x + (L/2-x)Q/N \quad (2)$$

$$\text{ここに、 } \lambda^2 = N/EI \rightarrow N = \lambda^2 EI \quad (3)$$

$$dy(x)/dx = \lambda A cos\lambda x - \lambda B sin\lambda x - Q/N \quad (4)$$

境界条件

$$A \text{ 点: } y(L/2) = 0 \rightarrow Asin\lambda L/2 + Bcos\lambda L/2 = 0 \quad (5)$$

$$B \text{ 点: } dy(0)/dx = 0 \rightarrow \lambda A - Q/N = 0 \rightarrow A = Q/(\lambda N) \quad (6)$$

$$B \text{ 点での力の釣り合い: } ky(0) = 2Q$$

$$\rightarrow k(B + LQ/2/N) = 2Q \rightarrow B = Q(2/k - L/2/N) \quad (7)$$

支持ばね比 ξ の定義

ブレースを単純梁とした場合の中点加力の剛性 ($k_B = 48EI/L^3$)に対する k の比を「支持ばね比 ξ 」とする。

$$\xi = k/(48EI/L^3) \text{ 、従って、 } k = \xi \times 48EI/L^3 \quad (8)$$

固有方程式の誘導

(5)に(6)及び(7)を代入し(3), (8)を用いて整理する。

$$\{Q/(\lambda N)\} \sin \lambda L/2 + \{Q(2/k-L/2/N)\} \cos \lambda L/2 = 0.$$

$$\begin{aligned} \tan(\lambda L/2) &= (L/2/N-2/k) \times (\lambda N) = \lambda L/2-2\lambda N/k \\ &= \lambda L/2-2\lambda \lambda^2 EI/(\xi \times 48EI/L^3) \\ &= \lambda L/2-(\lambda L/2)^3/(3\xi). \end{aligned}$$

$$(\lambda L/2)^3 = 3\xi \{\lambda L/2 - \tan(\lambda L/2)\} \quad (\text{固有方程式}) \quad (9)$$

各 ξ 毎に固有値 $(\lambda L/2)$ を求めると図2の破線になる。

耐力倍率 η の定義

支持ばねがない場合 ($\xi=0$) の座屈耐力 ($N_0 = \pi^2 EI/L^2$) に対する各 ξ における座屈耐力 ($N = \lambda^2 EI$) の比を「耐力倍率 η 」とすると

$$\eta = N/N_0 = \lambda^2 EI/(\pi^2 EI/L^2) = (\lambda L/\pi)^2 \quad (10)$$

となり、図2の点線のようになる。実用的には同図中の

$$\eta = 1 + \xi \quad (\text{図2の実線}) \quad (11)$$

が簡潔で覚えやすく近似度も実用上十分であろう。

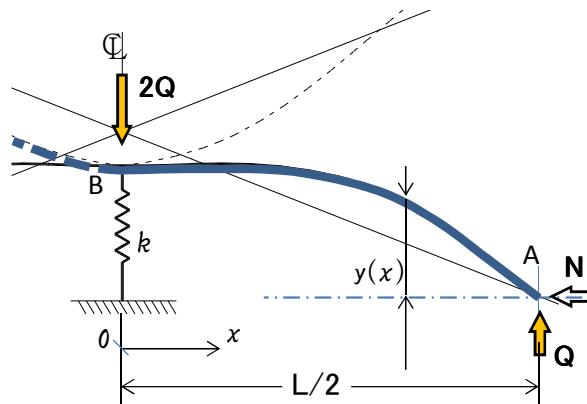


図1 定式化のための記号および座標系の定義

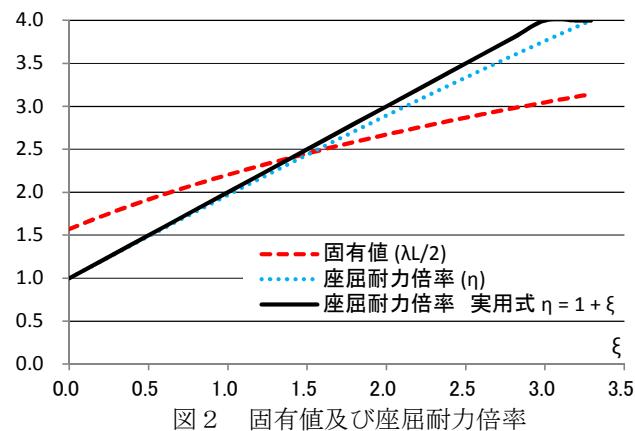


図2 固有値及び座屈耐力倍率

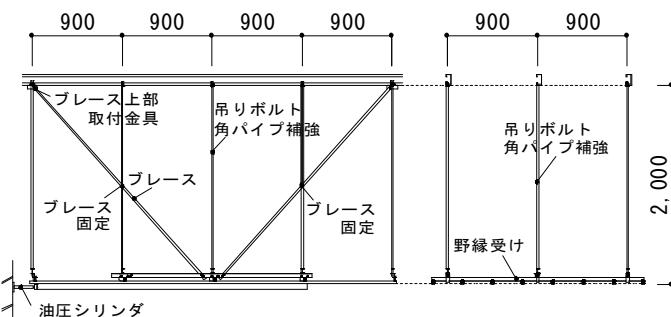


図3 Case-1 試験体の概要

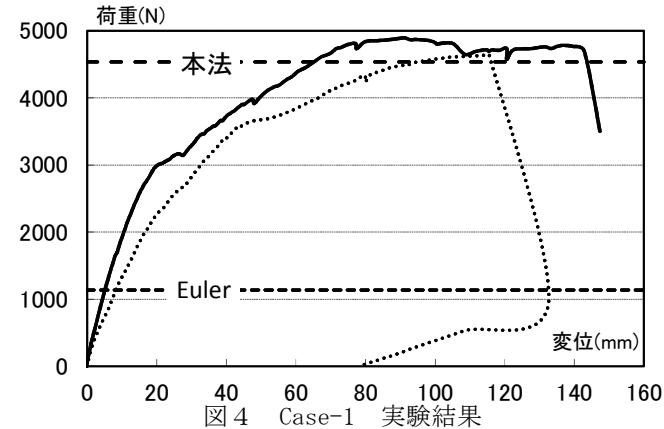


図4 Case-1 実験結果

3. 座屈耐力の上限

定式化においてはプレース中点に対する対称な座屈モードを対象としている(図1)。中点に対して逆対称で中点がノードとなるモード(2次モード)に遷移後は、 k を(従つて ξ を)いくら大きくしても2次モードの耐力以上にはならない($N_{\infty} = 4N_0$)。即ち、 η は4で頭打ちとなる。

4. 実験結果との比較

文献1), 2), 3)で報告された各実験結果のうちプレースが吊りボルトを跨いで設置された実験を選び、本報による計算値と比較した。計算結果を表1に示す。各Case毎に試験体の概要と実験結果を図3~8に計算値とともに示す。Case-1は耐風圧天井で吊ボルトは角パイプで補強されている。吊元金具が異なる2例について重ね書きしてある。表1で η が頭打ち4ということは2次の座屈モードになることを意味し、実験結果の座屈モードと一致していて、耐力も妥当な評価値になっている。

Case-2は本報で安全側に評価されている。実験結果はそれ以上の加力に対して耐力が増加している。

Case-3は片側及び正負の2ケースの繰り返し加力実験結果である。片側加力のケースでは本報で安全側に評価されている。正負加力のケースでは負加力時の耐力は本報にはほぼ一致している。正加力時は4サイクル目で取付金具が滑り出して座屈耐力に至らなかったが3サイクル目(5kNまで加力)の結果から類推すると本報の妥当性が予想される。

5. おわりに

吊りボルトを跨いで設置されこれに繋結されたプレースの座屈耐力評価法を定式化し、「支持ばね比 ξ 」「耐力倍率 η 」という概念を導入して実用的な座屈耐力評価式を提案し、実験結果によりその有効性を確認した。

表1 実験結果の本法による評価

項目	CASE-1 在来耐風圧天井	CASE-2 グリッド天井	CASE-3 在来天井	
吊ボルト	ピッチ 長さ 形状 断面2次モード(I_b) 協力本数 ばねk (境界条件)	900 2000 $\square 19-1.2$ 4205 1本 5.172 (両端ピン)	1200 2000 全ねじ9φ 191.8 1本 0.5392 (剛ピン) 0.1598×7.98(*) (剛ピン)=1.275	900 3000 全ねじ9φ 191.8 水平補強9本 0.1598×7.98(*) 1.275
	長さ 形状 断面2次モード(I_b) 単純梁剛性 k_b Euler座屈荷重 N_0	2691 $C-25-19-5-1.0$ 3032 1.531 847.3	3124 $C-40-20-1.6$ 4640 1.497 961.9	3499 $C-60-30-10-1.6$ 25527 5.866 4220
	支持ばね比 ξ	$\xi=k/k_b$ 3.377	0.360	0.217
	耐力倍率 η	$\eta=1+\xi$ 4.000	1.360	1.217
	V字配置 本法水平耐力F	4342 4535	4342 2010	5286
	N, mm 系で表示	(*)吊ボルト9本に対する有効値、詳細は紙面の都合で割愛		

<参考文献>

- 相原正史、藤井孝晏、三隅哲志、荒井智一、「鋼製天井下地材の強度・剛性に関する研究(その4)天井面の水平載荷試験結果」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、2012年9月
- 奥村彰啓、荻原健二、小林俊夫、「システム天井面の静的水平荷重試験

*1 桐井製作所 工学博士

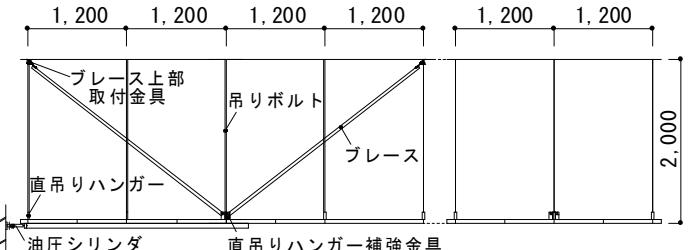


図5 Case-2 試験体の概要

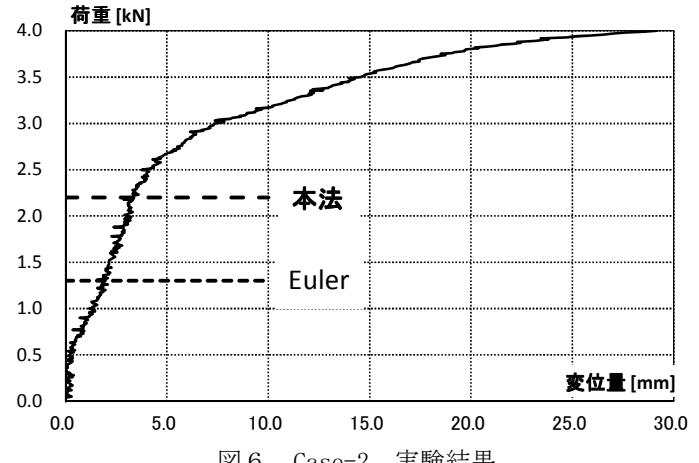


図6 Case-2 実験結果

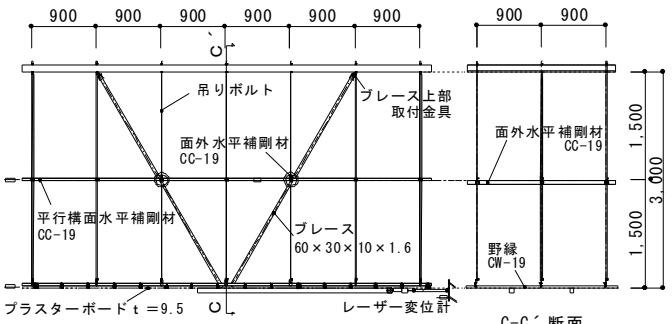


図7 Case-3 試験体の概要

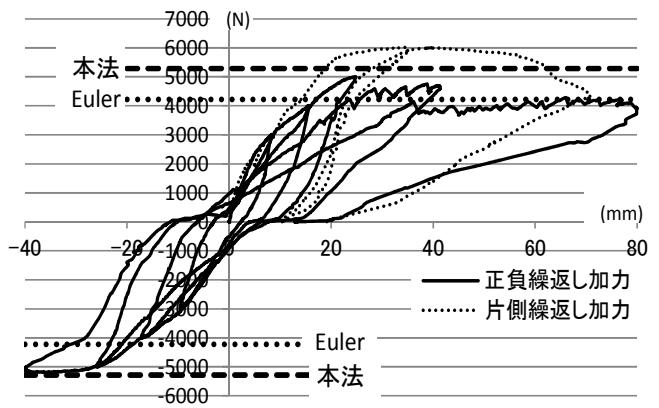


図8 Case-3 実験結果

(その5)天井構造法の大きなグリッド工法、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、2013年8月

- 稚山靖司、引田真規子、緒方誠二郎、小林俊夫、荒井智一、大森直樹、「吊り長さ3mの天井の耐震性能に関する研究(その4)通し斜め部材付天井」、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、2013年8月