

2012 年度(第4回)免震構造・制振構造に関する研究助成の成果報告書

自由テーマ部門

「せん断パネルダンパーの累積損傷評価と制振構造設計に関する研究」

玉井 宏章 (長崎大学)

1 はじめに

地方のファブリケータが作成できる鋼製履歴ダンパーによって、普及型の制振構造が実現される状況が整いつつある。せん断パネルダンパーは製作が容易で、座屈拘束部レートと異なり、剛性と耐力を個別に調整できる有用なダンパーである¹⁾。

制振構造を普及させるためには、せん断パネルダンパーの設計式の整備が必要と考えられる。本報告では、以下の制振構造の設計に必要な課題について研究の進展状況を、各項目に分けて報告する。

2 累積損傷度による取替え予測のための疲労関係式

累積損傷度は定振幅疲労試験結果(耐力低下までの繰り返し半サイクル数 N_f とせん断変形角片振幅 γ_a の関係)があれば半サイクル時の損傷度増分が得られる。時刻歴応答解析等によりダンパーの変形履歴が得られれば地震時のような非定常振幅下の損傷度は求まり、ダンパーの取替え時期の予測が可能となる。しかしながら十分な疲労設計基礎データが揃っていなかった。そこで、文献調査してデータを収集するとともに定振幅疲労試験を行って、図1に示すような、パネル基準化幅厚比を引数とする疲労関係式を提案した²⁾。

極低サイクル疲労に基因して破壊する試験体については、以下の予測式は適用範囲内において実験値と良好に対応した。

$$0.145 \leq \frac{h_s}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{\tau_u}{\kappa_s \cdot E}} \leq 0.300, \quad 0.5 \leq \frac{h_s}{d_s} \leq 2.0 \text{ の範囲で}$$

$$N_f = \frac{1}{2} \cdot \left| \frac{\gamma_a}{\gamma_f} \right|^{-c} \quad (1)$$

ここに、

$$c = a_1 \cdot \frac{h_s}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{\tau_u}{\kappa_s \cdot E}} + a_2, \quad a_1 = -1.72, a_2 = 2.74, R = 0.981 \quad (2.a)$$

$$\gamma_f = b_1 \cdot \frac{h_s}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{\tau_u}{\kappa_s \cdot E}} + b_2, \quad b_1 = -0.449, b_2 = 0.534, R = 0.925 \quad (2.b)$$

上式は、パネル基準化幅厚比が0.145-0.300であり、パネル辺長比(スチフナで区画されたパネル幅 d_s に対する高さ h_s の比)が0.5-2.0ならば、鋼種に限らず成り立つ。

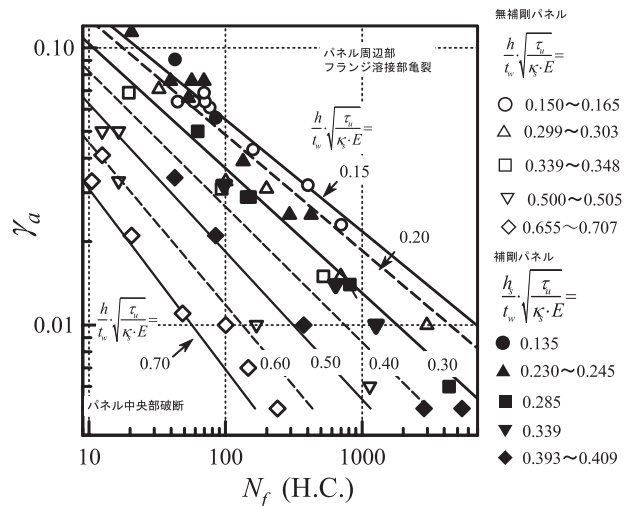


図1 パネル補剛が疲労関係に及ぼす影響

3 適正パネル補剛の条件

必要な変形性能が確保できるように、補剛材の形状は、設計変形角内の繰り返し载荷において、パネル全体に補剛材をまたぐ全体せん断座屈を生じない剛性、幅厚比³⁾を設定する。

補剛材の剛性、幅厚比がこの条件を満足するかどうかは次式で判定する。

$$\gamma_s / \gamma_s^* \geq 3 \quad (3.a)$$

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 9 \quad (3.b)$$

$$\gamma_s = \frac{E \cdot I_s}{D \cdot d}, \quad \gamma_s^* = \left(\frac{23.1}{n^{2.5}} - \frac{1.35}{n^{0.5}} \right) \frac{\left(1 + \alpha^n \right)^{2n-1}}{1 + \alpha^{5.3-0.6n-\frac{3}{n}}} \quad (3.c,d)$$

$\alpha = \frac{h}{d}$: パネル辺長比 (0.5 ≤ α ≤ 2.0)、

$D = \frac{E \cdot t_w^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$: パネルの板曲げ剛性

$E \cdot I_s$: 補剛材の曲げ剛性、
 n : パネル高さ方向、幅方向の補剛材本数 ($1 \leq n \leq 3$)
 b_s, t_s : 補剛材の幅、板厚

γ_s^* は最適スチフナ剛性比と呼ばれるもので、弾性座屈解析により周辺単純支持全体パネルの弾性せん断座屈荷重が、スチフナで区切られた周辺単純支持サブパネルと等しくなる条件を (3.d) 式とし、弾性せん断座屈固有値解析を基にさまざまな縦、横補剛材の場合について確認した。図2に補剛材付せん断パネルのせん断座屈モードを示す⁴⁾。

せん断パネルでは、パネルが塑性化した以降の履歴を健全とするための所要スチフナ剛性を決める必要があるため、非線形有限要素法解析のパラメトリックスタディ結果から最適スチフナ剛性比の3倍程度の剛性を確保すれば、パネルが塑性化した後も全体せん断座屈による耐力低下が生じないことを明らかとした。

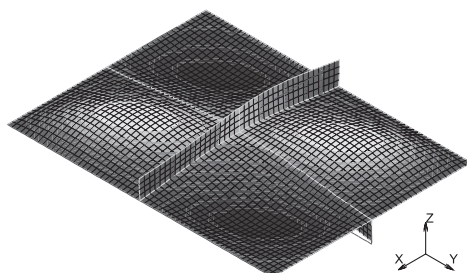


図2 補剛材を跨ぐ全体せん断座屈モード

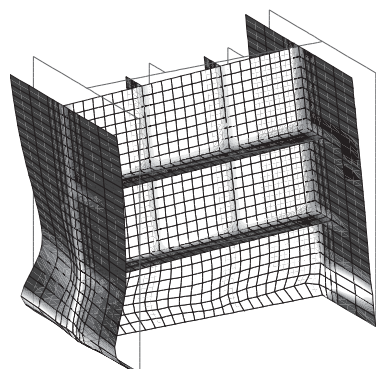


図3 せん断パネルのフランジ局部座屈現象

4 コンパクトネス条件

パネル外周に配置するフランジプレートは、パネルを積極的にせん断降伏させるために必要な材である。その断面積のみならず局部座屈現象を防ぐため幅厚比を規定する。

せん断パネルのフランジに図3に示すような局部座屈現象を起こさない条件として、パネルダンパーの圧縮試験によるフランジの塑性座屈性状と圧縮耐力から、以下の塑性設計指針の幅厚比制限⁵⁾が妥当であることを示した。

$$\frac{b_f}{t_f} < 0.33 \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{fy}}} \quad (4)$$

σ_{fy} : フランジの降伏応力度

b_f, t_f : フランジの突出幅、板厚

5 まとめ

本研究では、せん断パネルダンパーをより普及型のデバイスとして一般に利用するための基礎的データを収集、実験等で取得し、その設計法を示し、その妥当性を有限要素、固有値解析、複合非線形解析で検討した。

せん断パネルダンパーの取替え時期を判定するために必要な疲労関係式は、通常多数回の正負交番繰り返し载荷実験を要すが、本成果によれば、鋼種によらずパネル基準化幅厚比の関数として与えられており、設計に簡便に用いることができる。また、これまで剛性と耐力を個別に設定する際に設計資料がなく問題であった、せん断パネルの設計、特に補剛材やフランジの適正形状についても設定方針を示している。今後、論文発表や指針類に盛り込まれる予定であり、そちらも参考にしていきたい。

この研究成果が、建築鋼構造の制振構造化の一助となれば幸いである。

今回の日本免震構造協会の研究助成は、研究を継続していく上で非常に助かりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 玉井宏章, 島津 勝, 尾川勝彦, 高松隆夫: せん断パネルダンパーの等価せん断座屈変形角について, 鋼構造年次論文報告集, 第20号, pp.229-236, 2012.11.
- 2) 玉井宏章, 島津 勝, 尾川勝彦, 高松隆夫, 飯田康博: せん断パネルダンパーの累積損傷度について, 鋼構造年次論文報告集, 第20号, pp.237-244, 2012.11.
- 3) Chusilp,P., Usami,T.,:" New Elastic Stability Formulas for Multiple-Stiffened Shear Panel", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.128, No.6, pp.833-836, 2002.6.
- 4) 玉井宏章, 高松隆夫: せん断パネルダンパーの設計式に関する一考察 その1 パネル補剛条件, No.22431, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1分冊, pp.861-862. 2012.9.
- 5) 日本建築学会, 鋼構造塑性設計指針, 丸善出版, 2011.6.