

せん断降伏型鋼製ダンパーの復元力モデルと鋼製ラーメン橋脚への適用

名古屋大学 学生会員 ○陳 之毅

名古屋大学 正会員 葛 漢彬

名城大学 フェロー 宇佐美 勉

1. はじめに

本研究では、制震構造用のデバイスの1つであるせん断降伏型ダンパーを適用した土木鋼構造物の耐震性向上に関する検討を行っている。具体的には、数値解析により繰り返しせん断力を受けるせん断パネルの弾塑性有限変位解析を行い、せん断パネルの強度と変形能、エネルギー吸収、局部座屈特性といった様々な性能を把握したうえで、実用可能な履歴モデルを提案するとともに、せん断パネルをラーメン構造物に適用して耐震性向上の有用性を検証し、その設計方法を開発することを目的としている。

図1に示すようなせん断パネルの履歴モデルに関する検討結果は既に文献1)で報告されているが、ここではその概要を示すとともに、土木鋼構造物への適用に関する検討の結果について述べる。

2. せん断パネルの復元力モデル

ここで対象としたせん断パネルは、図1のように補剛材を横、縦方向にそれぞれ配置したものである。解析には汎用有限要素プログラム ABAQUS を用い、要素は4節点シェル要素 (S4R) であった。純せん断状態を模擬するため、境界条件は $x=0$ の辺を固定し、 $x=a$ の辺を載荷辺とし、変位制御で y 方向に増減繰り返し漸増変位を与えた。鋼種は SS400 とし、構成則は修正 2 曲面モデルを用いた。また、初期不整 (残留応力と初期たわみ) も考慮した。なお、本解析方法は文献2)での方法と同様であり、その妥当性が確認されている。

パラメトリック解析¹⁾の結果によれば、補剛材の剛比は $\gamma_s / \gamma_s^* \geq 3.0$ 、フランジとウェブの厚さの比は $t_f / t_w \geq 4.0$ 、ウェブのアスペクト比は $0.5 \leq \alpha \leq 1.5$ であれば、これらのパラメータがウェブの強度と変形能に及ぼす影響は非常に小さい。そこで、ウェブの幅厚比パラメータ R_w を主なパラメータとして 0.2 から 0.7 に変化させて弾塑性有限変位解析を行い、せん断パネルの強度と変形能を検討した。 R_w は以下の式(1)により定義される。

$$R_w = \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\tau_y}{k_s \pi^2 E}} \quad (1)$$

$$k_s = \begin{cases} 5.35 + 4/\alpha^2, & \alpha \geq 1 \\ 5.35/\alpha^2 + 4, & \alpha < 1 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 b_w =ウェブ幅、 t_w =ウェブ板厚、 ν =鋼材のポアソン比、 k_s =せん断座屈係数、 τ_y =鋼材の降伏応力、 E =鋼材の弾性係数、 α =アスペクト比 $= a/b_w$ である。

数値解析結果をもとに、図2に示すような、ひずみ硬化を考慮したバイリニア型の復元力モデルを構築した。せん断降伏点は τ_y 、 γ_y であり、終局点は τ_u 、 γ_u である。 τ_u 、 γ_u は以下のような近似式より算出する。

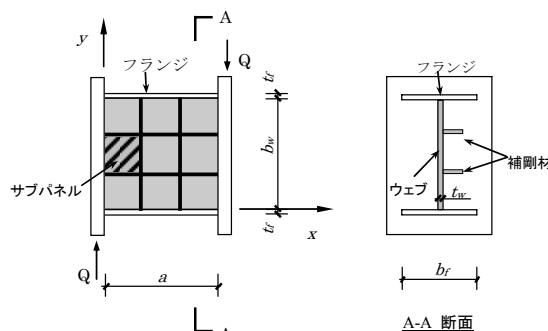


図1 せん断パネル

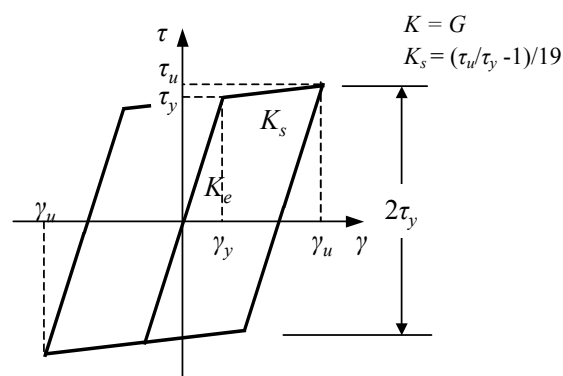


図2 せん断パネルの復元力特性

キーワード せん断パネル、履歴モデル、ラーメン鋼構造物、動的応答解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 52-789-4485

$$\tau_u = \tau_{u,w} + \tau_{u,f} \quad (3)$$

$$\frac{\tau_{u,w}}{\tau_y} = 0.918 + \frac{0.038}{R_w^2} \leq 1.2 \quad (4)$$

$$\frac{\tau_{u,f}}{\tau_y} = 0.0287 \frac{b_f}{b_w} \cdot \frac{t_f}{t_w} \left(\frac{t_f}{t_w} \cdot \frac{1}{(n_L + 1)R_w \alpha} + 2 \right) \quad (5)$$

$$\gamma_u = 20\gamma_y \quad (6)$$

ただし，上式の適用範囲は $0.2 \leq R_w \leq 0.5$ ， $\gamma_s / \gamma_s^* \geq 3.0$ ， $t_f / t_w \geq 4.0$ ， $0.5 \leq \alpha \leq 1.5$ である．例として，このモデルによる履歴特性曲線を繰り返し弾塑性解析結果とともに図3に示す．

3. せん断パネルを導入した鋼製ラーメン橋脚の地震応答解析

提案した復元力モデルの妥当性を検証するため，せん断パネルを導入した鋼ラーメン橋脚の非線形地震応答解析を行った．用いたラーメン橋脚は柱とはりに補剛箱形断面を有し，長さ，高さともに12mの1層1スパン鋼製ラーメン橋脚である．鋼材はSM490で，柱の主な構造パラメータは $R_f = 0.35$ ， $\bar{\lambda}_s = 0.32$ ， $\gamma_{sf} / \gamma_{sf}^* = 1.19$ および $P/P_y = 0.12$ となっている．なお，隅角部付近についてはせん断破壊が起こらないように板厚を2倍にしている．はり，柱ともせん断変形を考慮したはり要素で15要素に分割している．解析はⅡ種地盤を仮定し，地震動はJRT-NS-Mを用いた．

図4(a)に図1のせん断パネルをそのまま導入し，シェル要素でモデルした場合，図4(b)にせん断パネルを3つのばねでモデル化した場合のモデル図を示している．水平ばねのせん断荷重－せん断変位履歴曲線は図2に示したバイリニア型モデルを用いた．また，せん断パネルは主としてせん断力（水平力）を受けるが，軸力（鉛直力）も受けるため，鉛直ばねを設けている．ただし，その弾性係数は Et_w と仮定した．なお，パネルを支えるブレースは座屈しないよう断面設計を行い解析には弾性部材とした．2つのモデルの橋脚頂部の変位応答を比較したものが図5の上のプロットである．最大応答変位はモデル(a)で78mm，モデル(b)で77mmとなっており，両者がほぼ一致することが分かった．また，せん断ダンパーの軸方向圧縮変形量〔モデル(a)で0.5mm，モデル(b)で0.2mm〕とせん断ひずみ〔モデル(a)とモデル(b)ともに0.014〕もほぼ一致している．このことから，図4(b)のようなモデル化の妥当性が検証できたと言える．なお，せん断パネルなしの元構造物（Bare）の応答と比べると，図5の下のプロットから分かるように，せん断ダンパーを導入することにより地震応答を大きく低減できている．

4. あとがき

せん断ダンパーの簡便な履歴力モデルを繰り返し弾塑性解析により提案した．また，せん断パネルを導入した鋼製ラーメン構造物の地震応答解析により提案モデルの妥当性を検証し，SPDによる制震効果を示した．

謝辞：本研究の一部は（社）日本鉄鋼連盟の「鋼構造研究・教育助成事業」による学生研究助成（H17年度）を受けて実施した．ここに記して謝意を表す．

参考文献：1) Chen et al. (2006): Numerical study on development of hysteretic model for stiffened steel shear panel dampers, J. Struct. Eng. JSCE, Vol.52A, pp.573-582. 2) Chusilp et al. (2002): Cyclic shear behavior of steel box girders: experiment and analysis. Earthquake Eng. Struct. Dyn., 31(11), pp.1993-2014.

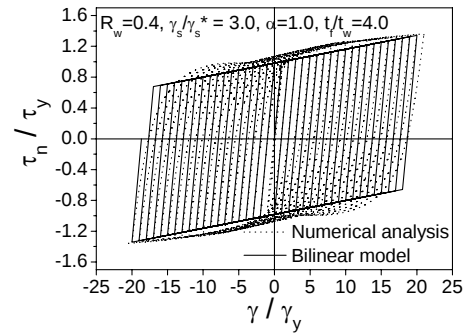


図3 履歴特性曲線比較

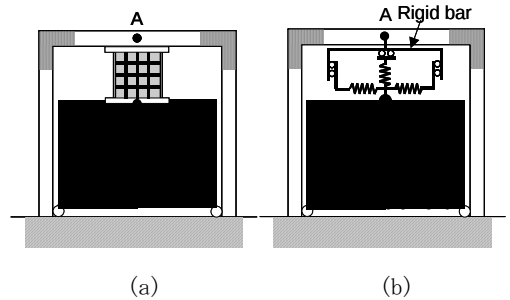


図4 せん断パネルを組み込んだ
ラーメン橋脚モデル

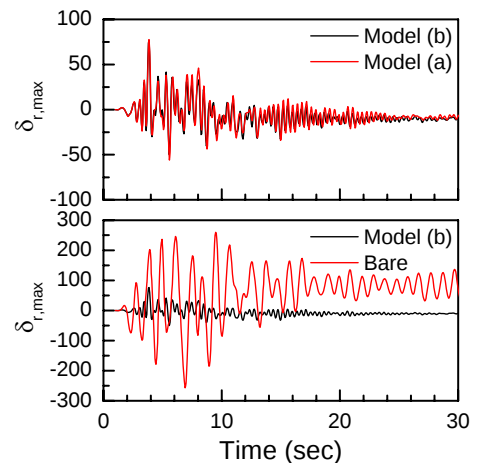


図5 橋脚頂部の応答変位時刻歴