

方杖ダンパー接合構造の角形鋼管柱への適用と検証実験  
その3 構面外座屈荷重

正会員 ○ 聲高 裕治<sup>\*1</sup>, 同 吹田 啓一郎<sup>\*1</sup>,  
同 井上 一朗<sup>\*2</sup>, 同 宇野 暢芳<sup>\*3</sup>

方杖ダンパー 角形鋼管 外ダイアフラム  
載荷実験 構面外座屈

1. はじめに

本研究では、柱に角形鋼管を用い、2方向ラーメンを構成するのに適した方杖ダンパー接合構造の開発をめざしている<sup>1)</sup>。これまでに、柱フランジの面外変形を抑制し、柱と梁ならびに柱と方杖ダンパーを高力ボルト接合するための接合詳細を提案し、載荷実験によって2次設計地震荷重レベルまでの接合部の力学挙動を確認している<sup>1)</sup>。また、上記のレベルをこえる大変形領域では、方杖ダンパーの柱側接合部（芯材端部、ガセットプレート、添板で構成される接合部）に、図1に示す構面外座屈が生じることも確認された。本論では、構面外座屈の防止設計法を構築するために座屈荷重の理論式を導出し、座屈荷重の計算結果と載荷実験の結果を比較・考察する。

2. 方杖ダンパーの構面外座屈荷重

図1に、方杖ダンパーの構面外座屈に関する力学モデルを示す。図中の $K_c$ は柱の材軸まわりのねじりに伴う回転角 $\theta_c$ を表す回転ばねの剛性、 $K_J$ は方杖ダンパー柱側接合部の構面外変形に伴う回転角 $\theta_J$ を表す回転ばねの剛性である。方杖ダンパー芯材の応力-歪関係を完全弾塑性型と仮定し、芯材の軸力が降伏軸力に到達し、そのときの応力点が降伏曲面上の特異点に位置するものと考え、座屈拘束材の両端をピンとみなす<sup>2)</sup>。これらの回転ばねとピンを剛棒で連結した図1の力学モデルより、構面外座屈荷重 $N_{cr}$ は(1)式で求めることができる。

$$N_{cr} = \frac{A_1 - \sqrt{A_1^2 - A_2}}{2(l_B + l_J + d_c^*) l_J d_c^*} \quad (1)$$

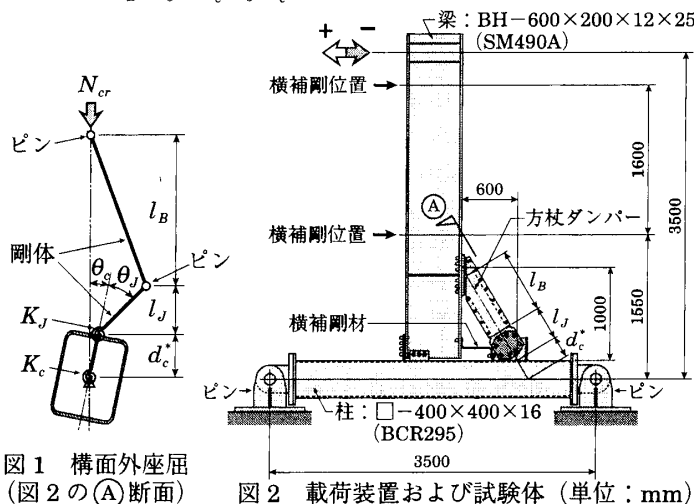


図1 構面外座屈 (図2の(A)断面)

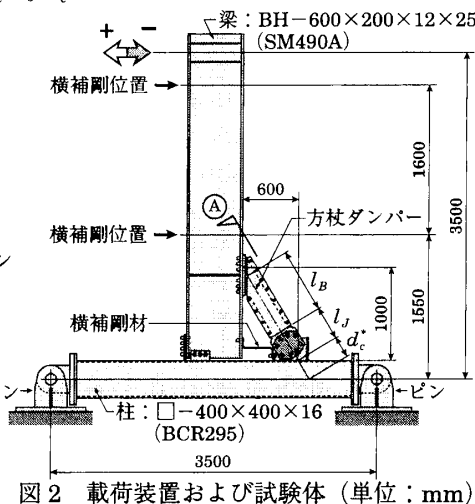


図2 載荷装置および試験体 (単位: mm)

ただし,

$$A_1 = (l_B + l_J + d_c^*)(l_J + d_c^*) K_J + (l_B + l_J) l_J K_c \quad (2)$$

$$A_2 = 4(l_B + l_J + d_c^*) l_B l_J d_c^* K_J K_c \quad (3)$$

3. 実験方法

試験体は、図2に示すように柱と梁を反曲点位置で取り出した部分ト字形骨組で、図3に示すように梁の下側に方杖ダンパーを配置したS型試験体と梁の上下に方杖ダンパーを配置したD型試験体の各1体である。接合部詳細は文献1)と同様であるが、既報<sup>1)</sup>で抽出された問題点を解消するために、試験体の設計時に以下の2点を変更している。

- ・アルミ溶射添板を用いた1面摩擦接合部（S型試験体の梁上フランジ）では、早期のすべりを抑制するために、すべり係数を0.55とする。これ以外のアルミ溶射添板のすべり係数は、文献3)に基づいて既報<sup>1)</sup>と同様に0.70とする。

表1 使用鋼材の機械的性質

使用部位	鋼種	板厚 (mm)	降伏点 <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
方杖ダンパー (S型)	SN400B	24.9	277	426	34
方杖ダンパー (D型)		21.9	288	437	33
角形鋼管 <sup>*2</sup>	BCR295	16.2	364	427	48
梁フランジ	SM490A	24.6	339	510	29
梁ウェブ		11.7	341	522	23
外ダイアフラム		15.5	328	497	27

\*1: 0.2% オフセット耐力を採用。 \*2: JIS 5号試験片による。

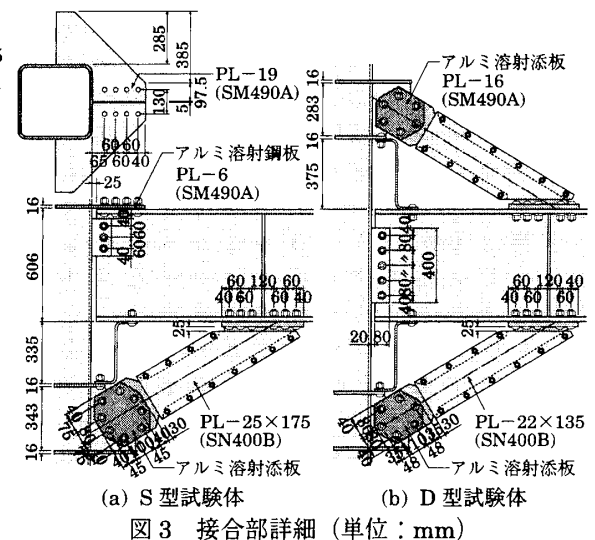


図3 接合部詳細 (単位: mm)

Experimental study on mechanical behavior of weld-free steel structure with knee brace damper using RHS-column  
Part 3 Out-of-plane buckling load

KOETAKA Yuji, SUITA Keiichiro, INOUE Kazuo and UNO Nobuyoshi

・梁フランジおよび方杖ダンパー芯材端部の早期塑性化を防止するために、有効断面積を文献4)に基づいて算定する。

表2に鋼材の機械的性質を示す。

4. 実験結果

図4に、梁端曲げモーメント  $M$  と梁の相対回転角  $\theta$  の関係を示す。縦軸は、梁端曲げモーメント  $M$  を方杖ダンパー降伏時の梁端曲げモーメント  $M_p$  (全塑性モーメント) で除した値である。いずれの試験体も  $\nabla$  印の点で最大曲げモーメント  $M_{max}$  に到達し、方杖ダンパー接合部に構面外座屈が生じた。この時点を終局状態と定め、終局状態までの実験結果一覧を表2にまとめる。

図5に、方杖ダンパーの軸力  $N$  と柱側接合部の構面外変形に伴う回転角  $\theta_j$  (図1参照) の関係を示す。図中の細点線は、表2に示す構面外座屈荷重の計算値  $N_{cr}$  であり、(1) 式中の  $K_c$  と  $K_j$  には別途実施した構面外剛性確認実験の結果(表2参照)を用いている。図5より、方杖ダンパーの軸力  $N$  が構面外座屈荷重  $N_{cr}$  に漸近すると  $\theta_j$  が急増していることがわかる。

図6に、方杖ダンパー接合部のアルミ溶射添板に作用する軸力  $N$  と曲げモーメント  $M$  (方杖ダンパーの軸力の水平成分  $N\theta_B$  に、図7の  $l$  を乗じた値) の関係を示す。

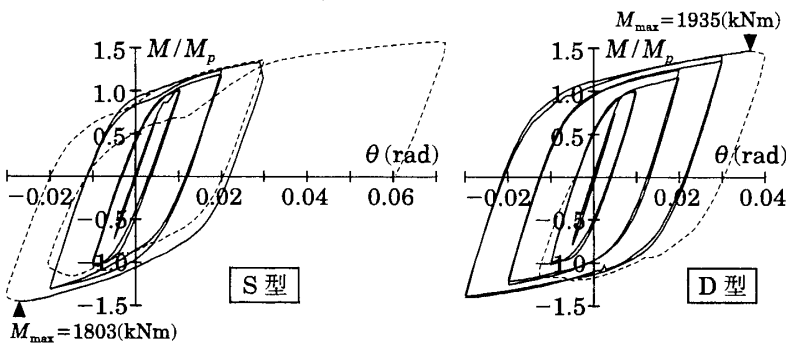


図4 梁端曲げモーメント  $M$  - 相対回転角  $\theta$  関係

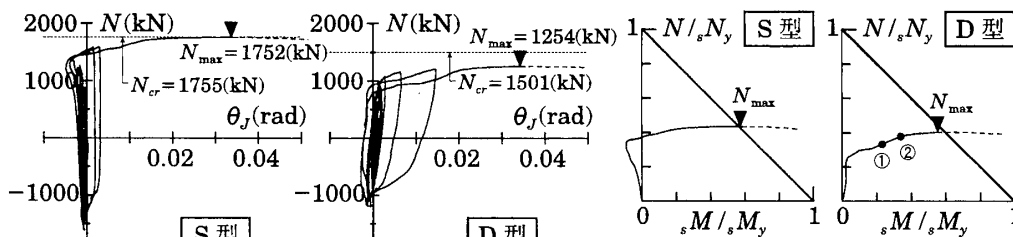


図5 方杖ダンパー軸力  $N$  - 接合部構面外変形  $\theta_j$  関係

図6 アルミ溶射添板の軸力  $N$  - 曲げモーメント  $M$  関係

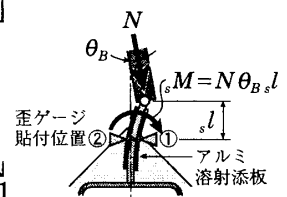


図7 柱側接合部 (D型試験体)

表2 実験結果一覧

試験体	最大曲げモーメント		累積塑性変形倍率		構面外座屈荷重			
	$M_{max}/M_p$	サイクル	$\eta$	$\eta_E$	$N_{max}$ (kN)	$N_{cr}$ (kN)	$K_c$ (kNm)	$K_j$ (kNm)
S型	1.45	0.03rad(-1)	142	149	1752	1755	4822	1481
D型	1.47	0.04rad(+1)	222	244	1254	1501	4745	1020

\*1 京都大学  
\*2 日本建築総合試験所  
\*3 日鐵住金建材

Kyoto University  
General Building Research Corporation of Japan  
Nippon Steel & Sumikin Metal Products Co., Ltd.

す。図6の縦軸は軸力  $N$  を添板の降伏軸力  $N_y$  で除した値、横軸は  $M$  を添板の降伏モーメント  $M_y$  で除した値である。ただし、 $N_{max}$  到達時において接合部にすべりが生じていたため、 $M_y$  には1枚の添板の降伏モーメントを2倍した値を用いている。また、図6中の●印は、図7に示す歪ゲージ貼付位置で塑性歪に到達した時点を表している。図6より、アルミ溶射添板に作用する応力が降伏相関曲線に到達した付近で、終局状態に至っていることがわかる。また、3章で示した接合部の設計法の変更点については、終局状態まで安定した挙動を呈していることを確認している。

5. まとめ

本論では、方杖ダンパーの構面外座屈荷重  $N_{cr}$  を導出し、載荷実験結果と比較した。その結果、方杖ダンパーの軸力が(1)式の座屈荷重  $N_{cr}$  に漸近すると、柱側接合部の構面外変形が急増することが確認された。方杖ダンパーの構面外座屈を防止するためには、上記の構面外変形に伴う付加曲げと軸力の作用下で、アルミ溶射添板を弾性に保つ必要がある。

謝辞 本研究の実施にあたって、合田弘樹君(元・大阪工業大学)に多大なる御尽力をいただいた。

参考文献

- 1) 髯高裕治, 福智康之, 井上一朗, 吹田啓一郎, 宇野暢芳: 方杖ダンパー接合構造の角形鋼管柱への適用と検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造 III, pp.731-734, 2010.9
- 2) 木下智裕, 髯高裕治, 井上一朗, 飯谷邦祐: 接合部を含む座屈拘束プレースの構面外座屈防止条件, 日本建築学会構造系論文集, 第621号, pp.141-148, 2007.11
- 3) 高田遼太, 東清三郎, 松尾真太郎, 井上一朗: 添板にアルミ溶射を施した高力ボルト接合部のすべり試験, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第48号・構造系, pp.409-412, 2008.6
- 4) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2006.3