

集成材を用いたH形鋼梁の横補剛方法の提案

正会員 ○ 津田 康生*
同 井戸田 秀樹**
同 花井 勉***

集成材 横補剛 H形鋼梁
繰返し載荷 提案

1. 序

体育館など鉄骨大スパン建築物の耐震改修設計では、梁間方向ラーメンの性能を向上させるため梁の耐力と靱性の確保が必要になる。特に屋根面の剛床確保のために梁の下フランジ位置に水平ブレースの増設を行う場合、ブレースから下フランジに入る軸力によって梁の横座屈耐力が低下することが問題となる。大スパン建築物では上フランジが母屋やつなぎ材によって拘束されていることが多く、上記の問題に対応するには下フランジの横補剛が必要となる。

本研究は、こうした問題を解決するために集成材を用いた下フランジの補剛方法を提案し、その補剛方法の有効性を実験的に確認したものである。

2. 集成材を用いて補剛した梁の繰返し載荷実験

2-1 試験体概要および実験装置概要

試験体断面形状を図1、試験体一覧を表1に示す。集成材はH形鋼の下フランジを挟み込むように取り付け、本実験で用いた鋼材の断面はH-200×100×5.5×8、鋼種はSS400である。H形鋼の材長、集成材の有無、集成材の断面形状、集成材による補剛部分長さ、およびブルドックジベルの有無をパラメータとした。図2に実験装置の概略を示す。梁両端はピン+ピンローラー支持であり、支点装置は文献¹⁾で用いられているものと同じである。本実験では、母屋を想定して上フランジに水平方向の移動のみを拘束するような補剛装置を取り付けた。

2-2 試験体の弾性剛性

載荷実験に先立ち、面外曲げ剛性およびねじり剛性の測定を行った。サンプナンねじり剛性は、ねじり剛性の実測値から試験体の両端のそり拘束を仮定して算出した。表2には、無補剛試験体に対する比率を示す。

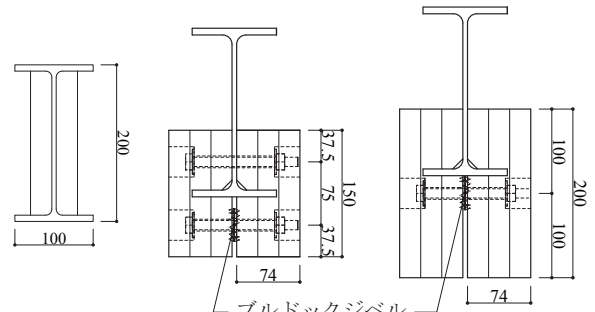
2-3 載荷方法

載荷方法は2回繰返し漸増載荷(以下、繰返し載荷)とし、モーメント勾配は均等曲げとした。変位振幅の基本値は全塑性モーメント M_p に対する弾性回転角 θ_p とし、両支点での面内回転角の平均値で制御した。補剛装置が取り付けられているフランジが引張側となる載荷(以下、正載荷)、圧縮側となる載荷(以下、負載荷)の順に載荷した。

3. 実験結果

3-1 荷重変形関係

図3に荷重-変形関係を、表1に最大および繰返し後の耐力を示す。横軸は支点の回転角 θ を θ_p で無次元化した



(a) 集成材なし (b) 集成材あり

図1 試験体断面形状

表1 試験体一覧および実験結果

試験体名	I_b [mm]	$\lambda_{b,ex}$	集成材断面	L [mm]	ジベルの有無	M_{max}/M_p	$M_{2\theta_p}/M_p$
B2-SW/S	1,950	0.67	2□74×150	780	あり	0.99	0.70
B2-SW/L				1,360		0.96	0.87
B3-S	2,950	0.97	2□74×150	-	あり	0.72	0.40
B3-SW/S				1,180		0.87	0.41
B3-SW/L				2,160		0.99	0.55
B3-SW/S-1				2□74×200		2,160	0.81
B4-SW/S	3,950	1.25	2□74×150	1,580	あり	0.81	0.35
B4-SW/L				2,960		0.90	-

l_b : 支点間距離 $\lambda_{b,ex}$: 実験値細長比 L: 集成材長さ

試験体名: B 3-SW/L-1

- 集成材断面 (なし: 74×150, 1: 74×200)
- 集成材の材長 (S: 短い, L: 長い)
- 集成材の有無 (S: 集成材なし, SW: 集成材あり)
- 試験体長さ (2: 1.95m, 3: 2.95m, 4: 3.95m)

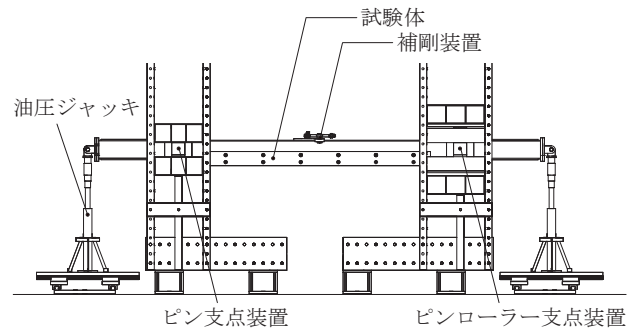


図2 実験装置概略図

表2 試験体の弾性剛性

	B2シリーズ	B3シリーズ	B4シリーズ
$EI_{y,ex}/EI_{y,ex}$	1.00	1.00	1.00
$EI_{y,ex-S}/EI_{y,ex}$	1.51	1.45	1.56
$EI_{y,ex-L}/EI_{y,ex}$	2.09	2.34	2.66
GJ_{ex}/GJ_{ex}	1.00	1.00	1.00
GJ_{ex-S}/GJ_{ex}	2.25	1.59	1.93
GJ_{ex-L}/GJ_{ex}	6.34	4.82	4.26

$EI_{y,ex}$: 曲げ剛性実験値 GJ_{ex} : サンプナンねじり剛性実験値
ex: 集成材なし ex-S or L: 集成材あり

ものであり、縦軸は荷重モーメント M を M_p で無次元化したものである。

B3 シリーズを比較すると集成材による補剛部分が長くなると正載荷側の履歴ループが、負載荷側のループ性状に近づいた。(a) では $\theta/\theta_p=1.0$ の 1 回目から横座屈の発生により急激に耐力が低下しているのに対し、(b) および (c) では $\theta/\theta_p=1.0$ のループ完了時では横座屈が発生しなかった。(d) では $\theta/\theta_p=3.0$ まで正載荷側の履歴ループは安定し、負載荷側のループ性状に近づいた。(a) は梁全長にわたり面外曲げ変形を生じたが、(b)、(c) および (d) では横座屈発生後補剛されていない部分が面外曲げ変形を生じた。

3-2 耐力および塑性変形性能

図 4 は無補剛梁の横座屈細長比 λ_b と耐力の関係を示したものである。図中の黒いプロットは最大耐力、白抜きのプロットは変位振幅 $\theta/\theta_p=2.0$ の 2 回目のループ完了時の耐力 (以下、最終ループ時の耐力) である。 $\lambda_b=0.67, 1.25$ の無補剛試験体の耐力は文献³⁾ から引用した。点線は均等曲げを受ける H 形鋼梁の平均最大耐力式⁴⁾ である。

B2-SW/S/D、B2-SW/L/D および B3-SW/L/D では H 形鋼の全塑性モーメント付近まで最大耐力が向上した。最終ループ時の耐力は、B2-SW/S/D および B2-SW/L/D では最大耐力の 70% 程度、90% 程度の低下であった。B3-SW/S/D の最終ループ時の耐力に関しては B3-S とほぼ同程度まで低下した。

4. 等価横座屈細長比の提案

式 (1) のように等価横座屈細長比 λ'_b を定義する。

$$\lambda'_b = \sqrt{\frac{M_p}{M_{e,sw}}} \quad (1)$$

ここで、 $M_{e,sw}$ は次式を用いて算出する。

$$M_{e,sw} = C_b \sqrt{\left(\frac{\pi^2 EI_y \cdot GJ}{I_{bw}^2}\right) \left(1 + \frac{\pi^2 EI_w}{I_{bs}^2 GJ}\right)} \quad (2)$$

式 (1) で定義した λ'_b と最大耐力との関係を図 5 に示す。ここでは、 EI_y 、 EI_w および GJ に測定値から算出した値を用いた。補剛形式にかかわらず最大耐力は概ね λ'_b で整理できており、式 (1) を耐力の評価指標にできると考えられる。ただし、均等曲げを受ける H 形鋼梁に対して提案されている平均最大耐力式⁴⁾ よりもやや高い値となっている。これは、無補剛の H 形鋼梁が均等曲げを受ける場合、塑性化開始と同時に圧縮側フランジの剛性が梁全長に渡って低下し面外方向に不安定になるのに対し、材長方向に部分的に補剛された梁は補剛部分での面外曲げ変形が拘束されているためと考えられる。なお、補剛された梁の最大耐力は一端曲げを受ける H 形鋼梁の平均最大耐力式⁴⁾ と良い対応を示した。

* 名古屋工業大学大学院社会工学専攻 博士前期課程
 ** 名古屋工業大学大学院社会工学専攻 教授 工博
 *** (株) えびす建築研究所 代表取締役 博士 (工学)

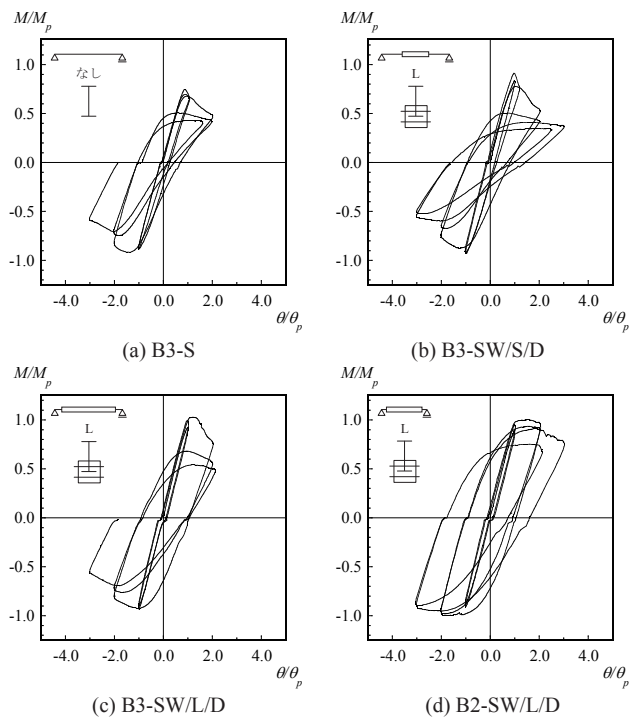


図 3 荷重 - 変形関係

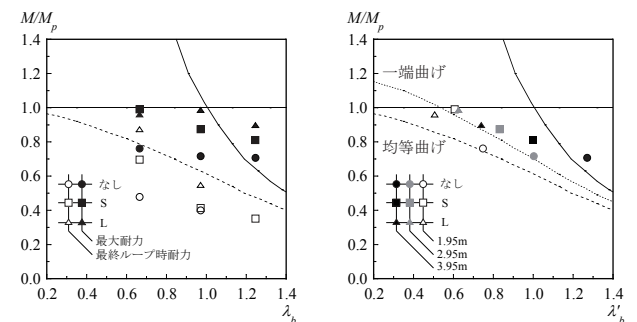


図 4 耐力 - 横座屈細長比関係 図 5 最大耐力 - 等価細長比関係

5. 結

本研究では、集成材を用いた H 形鋼梁の横補剛方法を提案し、実験によってその効果を確認した。本研究で以下の知見を得た。

- 1) 集成材でも H 形鋼梁の耐力、変形能力を改善する横補剛効果は十分認められ、梁全長の 80% 程度を補剛した場合には母屋による補剛点を有する上フランジが圧縮の場合とほぼ同様の履歴性状が得られた。
- 2) 実測の面外曲げ剛性およびサンプナンねじり剛性を用いた λ'_b で整理した最大耐力は、均等曲げ材の平均最大耐力⁴⁾ よりも高く、一端曲げ材の平均最大耐力⁴⁾ とほぼ同程度であった。

【参考文献】

- 1) 吉田卓也, 井戸田秀樹, 小野徹郎: 横座屈で耐力が決まる等曲げ H 形鋼梁の繰返し荷重履歴モデルの提案, 日本建築学会 大会学術講演梗概集, pp.1109-1110, 2013
- 2) 小松定夫: 薄肉構造物の理論と計算 (I), 山海堂, 1969.11, pp.218-275
- 3) 中川慶一, 井戸田秀樹, 小野徹郎, 末國明宏: 片側フランジ補剛梁の必要回転剛性と補剛力その 1 実験方法および実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014.9
- 4) 井戸田秀樹, 山崎和浩: H 形鋼梁部材の平均耐力式と変動係数, 日本建築学会構造系論文集, pp.1025-1035, 2014.7

* Graduate Student, Nagoya Institute of Technology
 ** Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr.Eng.
 *** President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr.Eng.