

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	上フランジに対する連続拘束条件がH形断面梁の塑性変形性能に及ぼす影響
Title(English)	Effect of Continuous Restraint Conditions on Upper Flange on Plastic Deformation Capacity of I-Shaped Beams
著者(和文)	影澤 泰人, 五十嵐 規矩夫, 三井 和也, 木村 征也, 内田 衛, 平井 健太, 高田 武之, 伊藤 冬樹
Authors(English)	KAGESAWA Hiroto, IKARASHI Kikuo, MITSUI Kazuya, KIMURA Seiya, UCHIDA Mamoru, HIRAI Kenta, TAKADA Takeshi, ITO Fuyuki
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 679-680
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , pp. 679-680
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

上フランジに対する連続拘束条件がH形断面梁の塑性変形性能に及ぼす影響

H形断面梁 連続拘束 横座屈
崩壊形式 塑性変形能力 合成率

正会員 ○影澤 泰人*1 同 内田 衛*4
同 五十嵐規矩夫*2 同 平井 健太*4
同 三井 和也*3 同 高田 武之*5
同 木村 征也*4 同 伊藤 冬樹*5

1. 序

H形断面梁の上フランジがスラブ等により拘束を受ける場合、塑性変形性能が向上することが広く知られているが¹⁾⁴⁾、スラブの補剛効果を適切に考慮した体系的な座屈設計手法は確立されていない。本研究では、H形断面梁の塑性変形性能に上フランジの連続拘束条件が及ぼす影響を明らかにし、連成座屈範囲の崩壊形式区分を提案する。また、既往実験を精査し、梁の必要塑性変形能力に対する上フランジ拘束の剛性や耐力の条件を示す。

2. 上フランジ連続拘束梁の塑性変形性能

2.1 H形断面梁の数値解析概要

本研究では汎用有限要素法プログラム Abaqus を用いた弾塑性数値解析を行った。図1に解析モデルの概要を、表1にパラメータを示す。梁両端部の境界条件、外力は図中に示す通りである。スラブによる拘束は連続完全拘束とし、ウェブとフランジの交差部節点のx軸方向変位、z軸回転変位を材長全体にわたり拘束している。本研究で対象とした断面は外法一定断面を含む現実的に大梁として用いられる計14断面であり、図2、3に示すように既往の断面形状指標³⁾ T_s および基準化幅厚比⁵⁾ W_F がばらつくように選定した。材長は $5 \leq \lambda_w \leq 40$ の範囲とする。また、初期不整は最大振幅が材長の1/1000となる横座屈モードとウェブ厚の1/50となる局部座屈モードの座屈波形を組み合わせ導入している²⁾。

2.2 上フランジ連続拘束梁の連成座屈範囲の検討

本節では、上フランジを連続拘束されたH形断面梁の座屈挙動や塑性変形性能を把握するため、数値解析による検討を行う。文献2)では $\kappa = W_F / \lambda_b = 1.4$ を境界として、上フランジ連続拘束梁の局部座屈と横座屈の発生範囲を定義しているが、局部座屈と横座屈の連成座屈はその境界近傍で発生すると考えられる。塑性変形能力を正確に予測するには連成座屈が発生する範囲を明確に定義する必要があるため、連成座屈範囲を文献5)を参考に精緻に導出する。連成座屈が発生すると想定される $1.2 < \kappa < 1.8$ 付近の辺長比に範囲を限定し、辺長比を変化させたパラメトリック解析を行った。まず、局部座屈範囲を導出する。図4に梁端部負曲げ側M- θ 関係を、図5に最大耐力時の座屈性状を示す。併せて最大耐力 M_{max} 時の端部回転角 θ_{max} 、全塑性モーメント M_p 劣化時の端部回転角 θ_u を図中に▼、▽として示した。図4より、 $\kappa > 1.6$ ($\lambda_w = 10, 11$)で耐力劣化勾配が小さくなり、塑性変形能力が大きく上昇していることが確認できる。また、解析結果から最大耐力時のウェブ最大変位を抽出し、 κ ごとに比較した結果、図

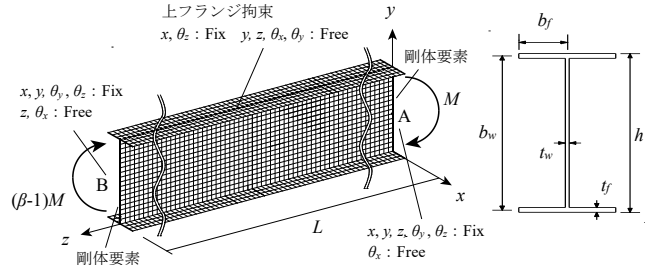


図1 解析モデルと各種寸法の定義

表1 パラメータ、記号の定義

b_w, b_f, t_w, t_f, h : H形断面の形状変数	L : 材長	E : ヤング係数
$\lambda_w (= L / b_w)$: ウェブ辺長比	ν : ポアソン比	T_s : 断面形状指標 ¹⁾
K_w : 単位幅当たりのウェブ面外曲げ剛性 ³⁾		
β : 曲げ応力勾配 ($\beta = 1$: 一端曲げ, $\beta = 2$: 逆対称曲げ)		
M_{cr} : 弾性座屈耐力	k_σ : 弾性座屈係数	σ_y : 降伏応力度
d : 上フランジ拘束度合による座屈耐力の低下率 ³⁾		
M_p : 全塑性モーメント	θ_p : 全塑性回転角	W_F : 基準化幅厚比 ⁵⁾
σM_{cr} : 上フランジ連続完全拘束時の弾性横座屈耐力 ¹⁾	λ_b : 一般化細長比	
σM_{cr} : 上フランジ連続完全拘束時の弾性局部座屈耐力	$\kappa = W_F / \lambda_b$ ⁵⁾	
M_{max} : 最大耐力	θ_{max} : M_{max} 時の端部回転角	θ_u : M_p 劣化時の端部回転角
$R_{max} (= \theta_{max} / \theta_p - 1)$: M_{max} 時の塑性変形倍率	d_s : スタッドの直径	
$R_u (= \theta_u / \theta_p - 1)$: M_p 劣化時の塑性変形倍率	l_s : スタッドの呼び長さ	
K_{sc} : スタッドの回転剛性 ⁶⁾	K_h : スタッドの水平剛性 ⁶⁾	t_s : スラブ厚さ
sM_{max} : スタッドの最大曲げ耐力	sP_{max} : スタッドの最大耐力	

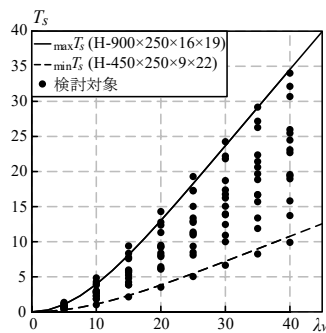


図2 $T_s - \lambda_w$ 関係

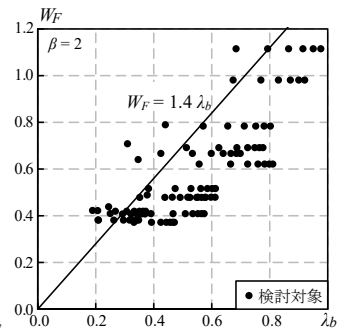


図3 崩壊形式区分

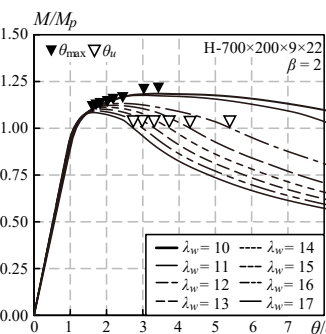


図4 M- θ 関係

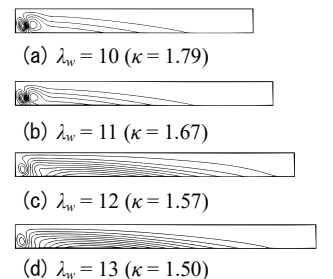


図5 最大耐力時の座屈性状

5のように $\kappa > 1.6$ で横座屈主体から局部座屈主体の座屈モードへ移行していることが確認された。以上より、局部座屈主体の座屈モードを局部座屈とし、局部座屈と連成座屈の崩壊形式の境界を $\kappa = 1.6$ と定めた。

次に、横座屈範囲を導出する。外法一定断面、 $\lambda_w = 10, 20, 30$ を対象とし、図6に κ と座屈耐力比(局部座屈係数 k_σ と横座屈係数 o_k の小さい方で大きい方を除した比)の関係を示す。先の検討より連成座屈と局部座屈の崩壊形式の境界として定めた $\kappa > 1.6$ では座屈耐力比は1.1以上を確保している。横座屈の境界も同様に、座屈耐力比が1.1以上を確保すれば良いとすれば、 $\kappa < 1.3$ が得られる。以上の検討から、上フランジを連続拘束されたH形断面梁の連成座屈範囲として $1.3 \leq \kappa \leq 1.6$ を定める。

3. H形断面梁の塑性変形性能に及ぼす上フランジ連続拘束条件の影響

3.1 既往実験結果と評価式の対応

スタッドやスラブによる上フランジ連続拘束条件がH形断面梁の塑性変形性能に及ぼす影響を検討するため、逆対称曲げ、両端固定支持条件下の合成梁の既往実験結果^{9)~17)}を整理した。実験結果の整理には、表3に示す式(1)~(4)によるスタッドの抜出し、フランジの面外変形を考慮した性能評価式を使用した。塑性変形倍率は各端部負曲げ側の骨格曲線より読み取り、その平均を検討に使用した¹⁸⁾。また、片側スラブや有孔梁、梁左右で条件が異なる試験体は参考値として白抜きプロットで示す。図7に横座屈崩壊系となる $\kappa < 1.3$ の実験結果と M_p 劣化時塑性変形性能評価式⁴⁾(5)の比較を示す。図7より、スラブの補剛効果を考慮した性能評価手法を用いることで、実験結果は評価式(5)で概ね評価可能である。しかし、実際には梁材軸方向せん断力がスタッドに作用して終局状態を迎え、想定する上フランジ拘束効果が得られず塑性変形能力が低下する場合がある。図7はスラブの梁材軸回りの回転剛性のみ考慮した評価であるため、梁材軸方向せん断力を考慮した検討を別途行う必要がある。

3.2 梁の必要塑性変形能力に対するスタッドの条件

梁材軸方向スタッドせん断耐力の余裕度(合成率)が1を上回れば十分な梁材軸方向せん断耐力が確保され、高い合成効果が得られる⁸⁾。本節では、合成率と回転剛性が塑性変形性能に及ぼす影響を検討する。図8に合成率—スラブの回転剛性 $s_f K_r / K_w$ 関係を示し、 M_p 劣化時の塑性変形倍率を併記する。図8より合成率とスラブの回転剛性は概ね線形関係にあり、合成率が1を上回れば $s_f K_r / K_w = 11$ を確保でき、塑性変形倍率4を確保できると考えられる。また合成率が1を下回る場合でも、 $s_f K_r / K_w = 7.5$ を確保すれば図7の式(5)で安全側に評価可能である。

4. 結

上フランジを連続拘束されたH形断面梁の塑性変形性能について弾塑性数値解析による検討を行い、連成座屈範

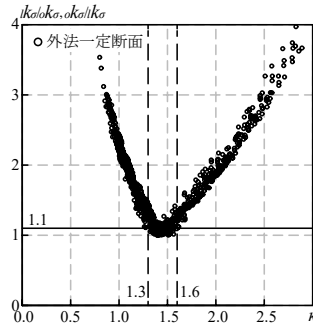


図6 座屈耐力比

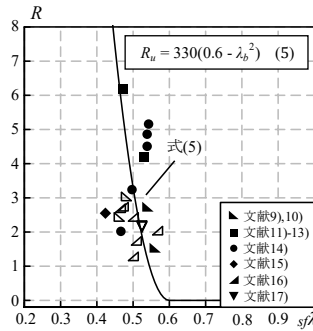


図7 評価式との比較

表3 スラブの補剛効果を考慮した性能評価式

$s_f K_r$: スタッドの抜出しに対する 単位幅あたりの回転剛性 ⁶⁾	
$f_f K_r$: フランジの面外変形に対する 単位幅あたりの回転剛性 ⁷⁾	
$s_f K_r = \frac{1}{1/K_r + 1/K_w}$	(1)
$d = \frac{(0.65 - 0.06\beta) \times 0.8}{s_f K_r / K_w + 0.65 - 0.06\beta}$	(2)
$M_{cr} = (1 - d) \alpha M_{cr}$	(3)
$s_f \lambda_b = \sqrt{M_p / M_{cr}}$	(4)

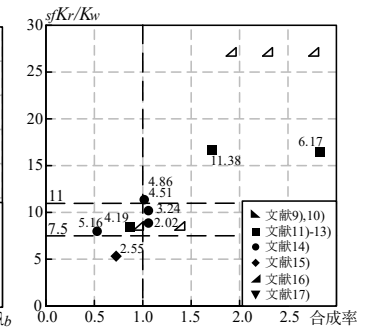


図8 合成率⁸⁾—剛性関係

囲の崩壊形式区分を提案した。また既往実験を整理し、スラブの補剛効果を考慮した性能評価手法により評価式(5)で評価可能であること、梁材軸方向のスタッドせん断耐力の余裕度を考慮する必要性を示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、聲高裕治先生(京都大学)、小野潤一郎氏、吉田和彦氏(以上、日建設計)よりご助言を賜った。

【参考文献】

- 五十嵐規矩夫, 大西祐樹: 上フランジを連続完全拘束されたH形断面梁の弾性座屈耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第706号, pp.1899-1908, 2014.12
- 五十嵐規矩夫, 大西祐樹, 佐野達彦: 上フランジを連続拘束されたH形断面梁の崩壊形式と塑性変形性能, 日本建築学会構造系論文集, 第83巻, 第745号, pp.491-501, 2018.3
- 五十嵐規矩夫, 佐野達彦: H形断面梁の横座屈性状に及ぼす上フランジ拘束条件の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第83巻, 第749号, pp.1063-1073, 2018.7
- 五十嵐規矩夫, 影澤泰人, 三井和也, 木村征也, 内田衛, 平井健太, 高田武之, 伊藤冬樹: 上フランジを連続完全拘束されたH形断面梁の塑性変形性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.889-890, 2021.9
- 五十嵐規矩夫, 末國良太, 梶伸之: 繰返し曲げせん断力を受けるH形断面梁の連成座屈挙動と塑性変形能力, 日本建築学会構造系論文集, 第77巻, 第678号, pp.1319-1328, 2012.8
- 聲高裕治, 伊賀はるな, 伊山潤, 長谷川隆: H形断面梁の横座屈挙動に対するコンクリート床スラブによる拘束効果, 日本建築学会構造系論文集, 第25巻, 第97号, pp.47-59, 2018.3
- 日本建築学会: 鋼構造の座屈に関する諸問題2013, 2013.6
- 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2012.5
- 宇佐美徹, 金子洋文, 山崎賢二, 中山雄雄, 片山士土: スラブ付鉄骨材の塑性変形性能, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第668号, pp.1847-1854, 2011.10
- 宇佐美徹, 金子洋文, 山崎賢二: スタッドがスラブ付鉄骨材の横座屈挙動に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第77巻, 第681号, pp.1773-1779, 2012.1
- 伊賀はるな, 聲高裕治, 伊山潤, 長谷川隆: コンクリート床スラブによるH形断面梁の横座屈補剛効果に関する検討(その1-3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1119-1124, 2013.8
- 伊賀はるな, 聲高裕治, 伊山潤, 長谷川隆: コンクリート床スラブによるH形断面梁の横座屈補剛効果に関する検討(その4-7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.871-878, 2014.9
- 伊賀はるな, 聲高裕治, 伊山潤, 長谷川隆: コンクリート床スラブによるH形断面梁の横座屈補剛効果に関する検討(その8-9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.897-900, 2015.9
- 安田享平, 梅田敏弘, 金城陽介: HBL385鉄骨梁横座屈補剛法の開発, JFE技報No.43, pp.80-86, 2019.2
- 原田浩之, 松永健太郎, 江頭寛, 小坂英之, 森岡研三, 浅川拓哉: 不完全合成梁の床スラブによる横補剛効果の確認実験(その1-2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1039-1042, 2017.8
- 安田聡, 成原弘之, 有山伸之, 澤本佳和, 岡安隆史, 佐野公俊: 合成梁の横座屈性状に関する研究(その1-2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.847-850, 2012.9
- 清川貴世, 澤本佳和, 岡安隆史, 佐野公俊: 床スラブ付き鉄骨梁の横座屈性状に関する研究(その1-2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1035-1038, 2017.8
- 伊賀はるな, 聲高裕治, 金尾伊織: 横座屈によって終局状態を迎えるH形断面梁の実験データに基づく最大耐力と塑性変形能力の評価, 日本建築学会構造工學論文集, Vol.61B, pp.185-198, 2015.3

¹⁾ 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 修士(工学)

²⁾ 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 教授・博士(工学)

³⁾ 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 助教・博士(工学)

⁴⁾ 日建設計 エンジニアリング部門 構造設計グループ

⁵⁾ 神戸製鋼所

⁶⁾ Graduate Student of Architecture and Building Engineering, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

⁷⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

⁸⁾ Assist. Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

⁹⁾ NIKKEN SEKKEI LTD Structural Design Division Engineering Department

¹⁰⁾ KOBE STEEL, LTD.