

端モーメントおよび等分布荷重を受ける H 形断面梁の弾性横座屈耐力

Elastic Lateral Buckling Strength of H-Shaped Beams Subjected to End Moments and Uniformly Distributed Loads

①研究の背景・目的

研究背景

鉄骨 H 形断面梁では座屈形式の一種である横座屈が問題視されており、これまで様々な研究が行われている。既往研究では横座屈耐力に影響を及ぼす座屈長さおよびモーメント修正係数に関する研究が行われている。しかし、梁端部の拘束条件や梁に作用する荷重条件が不十分であるため、実現象に対して的確に対応しているかは不明である。そのため、耐力の過小評価による無駄の多いコスト高の設計や耐力の過大評価による危険な設計につながる恐れがある。

研究目的

本研究は鉄骨 H 形断面梁の弾性横座屈耐力の評価方法を提案することを目的とする。既往研究に比べてより詳細な検討を行うため、本研究では 6 種類の梁端部拘束条件に対して端モーメントおよび等分布荷重を受ける H 形断面梁を対象とする。

②解析のモデルおよび手法

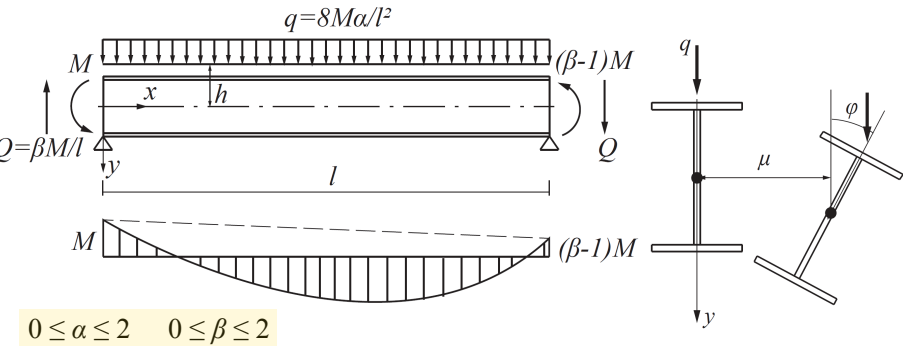


図 1 解析モデル

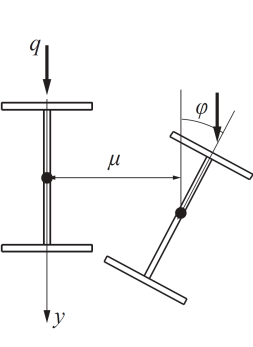


図 2 横座屈時の横たわみμとねじり角φ

記号一覧

- α：等分布荷重の大きさを表す係数
- β：曲げ勾配モーメント
- h：梁のせん断中心から等分布荷重作用点までの距離
- ΔU：梁のひずみエネルギー
- ΔT：外力がなす仕事
- M_{cr}：弾性横座屈耐力
- K_{cr}：座屈係数
- EL_y：弱軸曲げ剛性
- EL_ω：そり剛性
- GJ：ねじり剛性
- l：梁長さ
- C：モーメント修正係数
- k_u, k_β：境界条件を評価する座屈長さ係数

横たわみμの変位関数	
左端	右端
回転拘束無し	回転拘束無し
回転拘束有り	回転拘束有り

ねじり角φの変位関数	
左端	右端
そり拘束無し	そり拘束無し
そり拘束有り	そり拘束有り

各境界条件に用いる変位関数		
境界条件	横たわみμ	ねじり角φ
両端単純支持	式(a1)	式(a4)
両端固定支持	式(a2)	式(a5)
両端そり拘束	式(a1)	式(a5)
左端固定支持 - 右端単純支持	式(a3)	式(a6)
左端固定支持 - 右端そり拘束	式(a3)	式(a5)
左端そり拘束 - 右端単純支持	式(a1)	式(a5)

式一覧 その 1

$$\Delta U = \frac{1}{2} \int_0^l \left[EI_y \left(\frac{d^2 \mu}{dx^2} \right)^2 + EI_\omega \left(\frac{d^2 \varphi}{dx^2} \right)^2 + GJ \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 \right] \cdot dx$$
$$\Delta T = M_{cr} \int_0^l \left(1 - \frac{4\alpha + \beta}{l} x + \frac{4\alpha}{l^2} x^2 \right) \frac{d\mu^2}{dx} \varphi \cdot dx + \int_0^l \frac{qh}{2} \varphi^2 \cdot dx$$
$$M_{cr} = K_{cr} \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \sqrt{\frac{I_\omega}{I_y}}$$
$$R = \frac{GJ l^2}{\pi^2 EI_\omega} \quad (0 < R \leq 40)$$
$$M_{cr} = C \frac{\pi^2 EI_y}{(k_u l)^2} \sqrt{\frac{I_\omega}{I_y} \left\{ \left(\frac{k_u}{k_\beta} \right)^2 + \frac{GJ (k_u l)^2}{\pi^2 EI_\omega} \right\}}$$
$$K_{cr} = \frac{C}{k_u^2} \sqrt{\left(\frac{k_u}{k_\beta} \right)^2 + k_u^2 R} \quad (\text{純曲げのみを受ける場合} (\beta = 0))$$
$$K_{cr0} = \frac{1}{k_u^2} \sqrt{\left(\frac{k_u}{k_\beta} \right)^2 + k_u^2 R} \quad (\text{せん断曲げを受ける場合} (\beta > 0))$$
$$C = \frac{K_{cr}}{K_{cr0}}$$

③解析結果および近似評価

式一覧 その 2

1. 等分布荷重がせん断中心に作用する場合

$$C = \frac{1}{\sqrt{\xi_1}} = \frac{1}{\sqrt{\xi_2}}$$
$$\xi_1 = \frac{1}{0.283(1-\beta)^2 + 0.434(1-\alpha)(1-\beta) + (0.283 - 0.869\alpha + 0.780\alpha^2)}$$
$$\xi_2 = \frac{(1 + a_8\alpha + a_9\alpha^2 + a_{10}\alpha^3) + a_1(1 + a_{11}\alpha + a_{12}\alpha^2)\beta + a_2(1 + a_{13}\alpha)\beta^2 + a_3\beta^3}{1 + \frac{a_{14}\alpha + a_{15}\alpha^2 + a_{16}\alpha^3}{1 + a_{20}R} + \left[a_4 \left\{ 1 + \frac{a_{17}\alpha + a_{18}\alpha^2}{1 + a_{21}R} \right\} \beta + a_5 \left\{ 1 + \frac{a_{19}\alpha}{1 + a_{22}R} \right\} \beta^2 + a_6\beta^3 \right]}$$

2. 等分布荷重が任意の位置に作用する場合

$$C = \frac{\frac{4\alpha}{\pi^2} \frac{S}{\sqrt{1+R}} + \sqrt{\left(\frac{4\alpha}{\pi^2} \frac{S}{\sqrt{1+R}} \right)^2 + \xi_1}}{\xi_1}$$
$$C = \frac{\frac{a_{23}}{\sqrt{(k_u/k_\beta)^2 + k_u^2 R}} + \sqrt{\left(\frac{a_{23}}{\sqrt{(k_u/k_\beta)^2 + k_u^2 R}} \right)^2 + \xi_2}}{\xi_2}$$
$$S = \frac{2h}{b_w} \quad \begin{matrix} S = -1.0 : \text{フランジ上面に作用} \\ S = 0 : \text{梁せん断中心に作用 (ねじれの影響無し)} \\ S = 1.0 : \text{フランジ下面に作用} \end{matrix}$$

既往研究での提案式 (鋼構造座屈設計指針)
本研究での提案式

○様々な拘束条件および荷重条件において、梁断面形状によるばらつきを考慮して弾性横座屈耐力を評価していることが確認できる

○等分布荷重の作用する位置は弾性横座屈耐力に大きな影響を与えることが確認できる

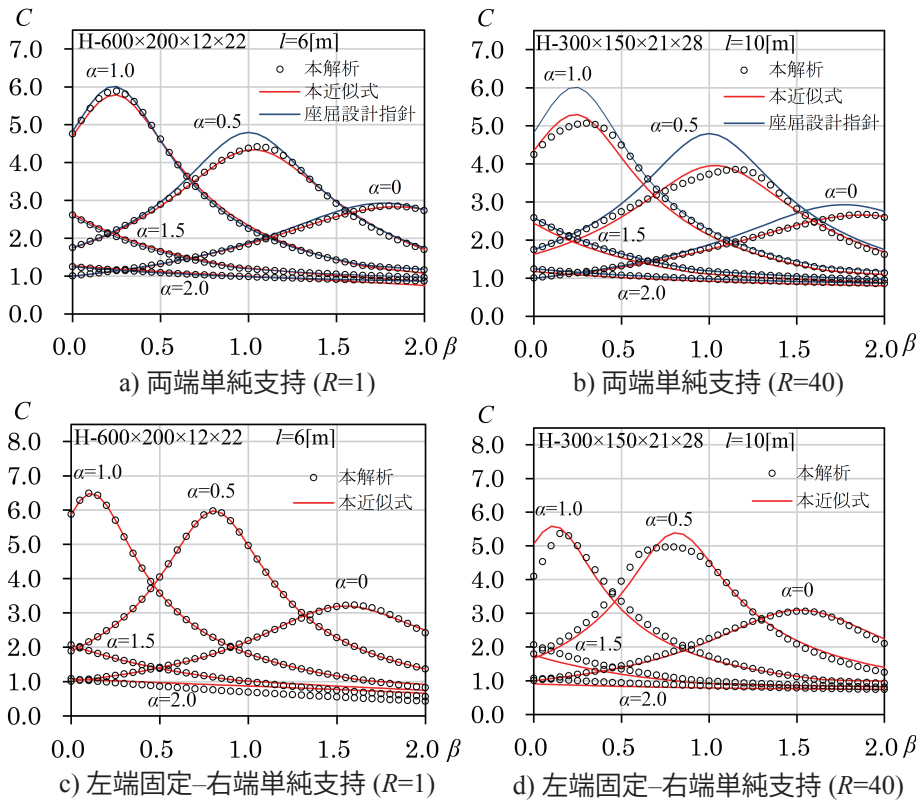


図 3 C-β 関係 (S=0)

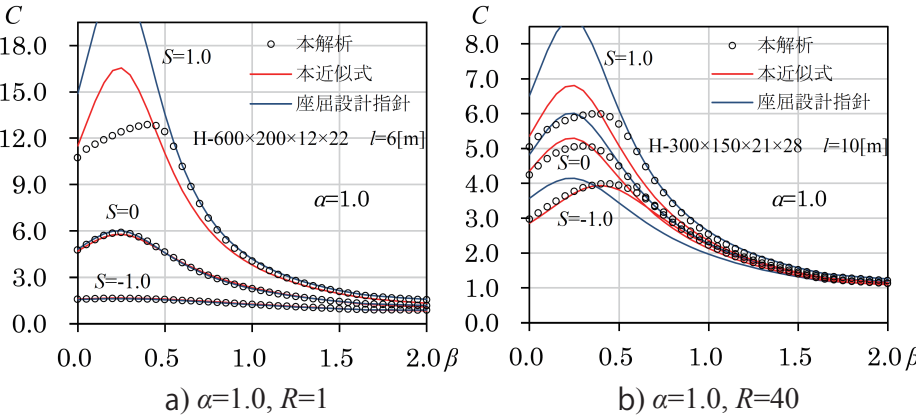


図 4 C-β 関係 (両端単純支持)

諸係数の提案値

境界条件	k_u	k_β	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	
																									$S < 0$	$S > 0$
両端単純支持	1.0	1.0	-0.92	0.25	-0.00	-0.01	0.28	-0.12	0.22	5.5	-12	5.5	6.7	-6.6	7.7	7.8	-1.2	0.45	-238	47	-4.1	0.01	0.23	0.01	0.39	0.31
両端固定支持	0.50	0.50	-0.90	0.21	0.02	0.11	0.00	0.02	0.08	1.9	-7.0	4.3	3.1	-4.4	5.0	4.7	-0.01	-0.01	6.5	-2.2	-871	0.02	0.71	0.09	0.30	0.18
両端そり拘束	0.93	0.46	0.89	0.20	0.01	0.17	-0.07	0.06	0.10	14	-27	13	16	-15	20	17	-2.6	1.1	15	-5.8	27	0.01	0.39	0.02	0.34	0.25
左端固定支持 - 右端単純支持	0.70	0.70	-1.1	0.29	0.05	0.03	0.52	-0.25	0.12	1.8	-5.4	2.9	3.4	-3.6	6.5	3.5	-0.76	0.43	104	-28	-2.6	0.01	0.14	0.31	0.23	0.14
左端固定支持 - 右端そり拘束	0.66	0.46	-1.1	0.34	0.02	0.13	-0.26	0.14	0.21	2.7	-7.7	4.2	3.8	-4.4	5.4	5.3	-1.4	0.56	20	-4.4	4.5	0.01	-0.02	0.04	0.33	0.19
左端そり拘束 - 右端単純支持	0.96	0.64	-0.78	0.04	0.07	0.04	1.0	-0.52	0.15	1.0	-4.0	2.1	3.4	-3.6	27	3.7	-1.4	0.41	-2.3	10	-0.40	0.02	-0.02	0.06	0.25	0.17

④結論

◆6 種類の梁端部拘束条件に対して端モーメントおよび等分布荷重を受ける H 形断面梁を対象に、弾性横座屈耐力の評価方法を提案した。

◆既往研究で提案されているモーメント修正係数の近似式と比較をした結果、本研究での近似式は複雑ではあるが様々な拘束条件や荷重条件に対して比較的精度良く評価していることを確認した。

⑤今後の課題

◆座屈形式の 1 種である局部座屈についての検討

◆上フランジを拘束した場合での横座屈耐力についての検討