

円形孔を有する薄肉鋼板で構成される H 形断面梁の座屈耐力

Buckling strength of thin-walled H-section beams with a circular hole

○小野泰弘¹, 石鍋雄一郎², 半貫敏夫³, 秋山宏⁴*Yasuhiro Ono¹, Yuichiro Ishinabe², Toshio Hannuki³, Hiroshi Akiyama⁴

Abstract: Recently, some steel mills began to supply thin-walled H-section beams. That type of beams are used as sub-beams and requested to be holed in its web plate. Obviously, a hole in the web plate causes the reduction of its buckling strength. Suzuki et al, have proposed a formula of shear buckling strength for holed web plate thought numerical analyses. In this study, the validity of the formula has been verified for wider parameter through FEM analysis, referring forepast experiments.

1. はじめに

本論で対象とする溶接軽量 H 形鋼(LH 形鋼)は, 鋼材量の削減を主目的として, 薄肉鋼板で構成されており, ウェブ幅厚比は鋼構造設計規準の規定値を超過している。また, 小梁に使用する事を目的としているため, 塑性変形能力は必要とせず, 弾性設計で必要とされる変形制限を満たせばよい。

建築物に LH 形鋼を適用する際, 設備配管用の貫通孔が座屈挙動, 耐力に与える影響を把握する必要がある。幅厚比制限値を超過する鋼板は弾性座屈が発生するが, 有孔板の場合では貫通孔周囲に応力が集中し局所的に塑性域が発生する。その後, 塑性域は荷重増加に伴って拡大し座屈が生じる。この座屈挙動は弾塑性座屈と呼ばれ, 定量的に把握することは困難である。また, この弾塑性座屈が生じるような有孔 H 形断面梁の耐力, 座屈挙動を実験により検討した例は少ない。鈴木ら^[1,2]は, 数値解析により薄肉鋼板で構成される有孔 H 形鋼の弾塑性座屈耐力予測式を提案している。

そこで本論では, 鈴木らの提案する座屈耐力予測式を有限要素法解析にて, LH 形鋼に適用可能か検討を行う。また, 解析結果から貫通孔が LH 形鋼の座屈耐力に与える影響を確認する。

2. 座屈耐力予測式

鈴木らは, 弾塑性域で座屈する有孔板の挙動を数値解析により明らかにしており, 弾塑性域で座屈が生じた場合の座屈係数を提案している。なお, ここでの座屈耐力は, 無孔・有孔板共に座屈解析にて得られた固有値を用いて求めている。座屈耐力予測式では, 無孔板の座屈耐力式である式(1)を用いて円孔を有する薄肉鋼板のせん断座屈応力 τ_{cr} を求めている。鈴木らは, 式(1)に用いる有効座屈係数を数値解析から求め, 有孔板の座屈耐力予測式を提案している。式(2)は, 鋼板のアスペクト比 $\alpha = a/b$ をパラメータとした無孔板の弾塑性座屈係数 k_{p0} の算定式である。有孔板にも同様の関係が成り立つと仮定し, 薄板

の開口率 $\rho = D/b$ により孔の与える影響を考慮し, 式(3)より有孔板の塑性座屈係数 k_p が求められる。

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (1) \quad k_{p0} = 3.96 + 2.24 \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \quad (2)$$

$$k_p = \{1.23 + 6.23(1-\rho)^3\} + \{0.11 + 4.54(1-\rho)^5\} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \quad (3)$$

k : 有効座屈係数(k_p, k_0) E : ヤング係数($2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$)

ν : ポアソン比(0.3) t : ウェブ厚さ b : ウェブ背

3. 解析概要

有限要素法解析エンジン NEiNastran を用いて, 静的弾塑性解析を行った。

解析モデルの例を Fig.1 に示す。 $\rho = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$, $\alpha = 1.00, 2.00, 3.00$ の計 15 ケースの解析モデルを作成した。幅厚比は一般に流通している LH 形鋼に対応させ 97.3 で一定としている。なお, 解析モデルの孔位置は, 全てウェブ中央である。両端に剛体としたエンドプレートを設置し, 荷重はエンドプレートの節点に平行な荷重を与え, せん断荷重 Q を設定した。拘束条件は, 載荷逆側エンドプレートを全方向自由度拘束とし, 載荷側エンドプレートは, 一方向自由とした。初期不整は, 線形座屈解析を行い, 座屈固有値が最小となる座屈モードを与えた。また, 座屈波形の最大振幅値は, $t_w/100$ としている。Fig.2 に初期不整に用いた座屈モードの一例を示す。

解析の妥当性を確認するため, 載荷試験^[3]を行った試験体と同形状の解析タイプを作成した。Table1 に試験体の性状及び解析に使用した素材特性を示す。使用した素材特性は, 引張試験から得られた公称応力, 公称歪を真応力, 真歪みに変換して設定した。なお, 降伏条件は von Mises の降伏条件を用いており, 要素は四角形 Shell 要素である。

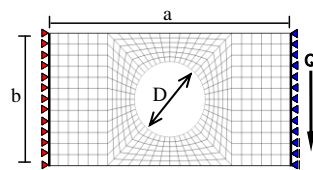


Fig.1 Analytical model

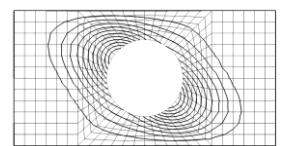


Fig.2 Buckling mode

1: 日大理工・院(前)・建築, Student, Graduate School of Nihon Univ. 2: 日大理工・教員・建築, Research Associate of Nihon Univ., Dr Eng.

3: 日大名誉教授, Prof. Emeritus, Nihon Univ, Dr. Eng.

4: 東大名誉教授, Prof. Emeritus, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Table1 Specimens nature and Mechanical Properties

type	Section size	b/t	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	α	ρ
Q0	H-450x135x4.5x6	97.3	303	426	1.95	-
Q15						0.34
Q20						0.46
Q25						0.57

4. 解析結果の妥当性

Fig.3 は、せん断荷試験の試験結果と本解析結果の $Q-\gamma$ 関係である。試験結果の方が早期に剛性低下が生じているが、解析結果は試験結果と概ね対応している。Table2 に解析結果および予測式での座屈耐力 τ_{cr} を示す。座屈耐力も解析結果と予測式は、良い対応性を示している。なお、本解析では、荷重一面外たわみ関係を作成し、たわみの変位量が著しくなった点を座屈耐力と定義している。

Table2 Value of τ_{cr}

type	τ_{cr} (N/mm ²)	
	Analysis	Formula
Q0	97	89
Q15	69	62
Q20	57	45
Q25	44	35

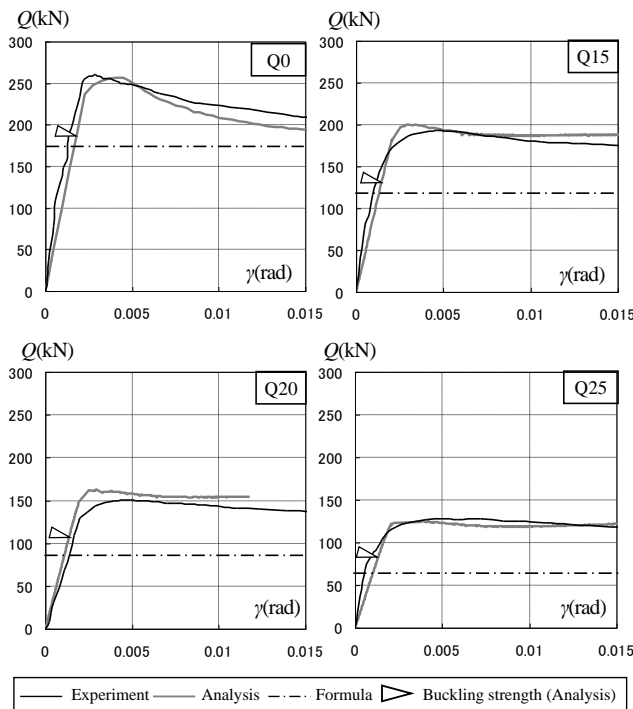


Fig.3 $Q-\gamma$ curves

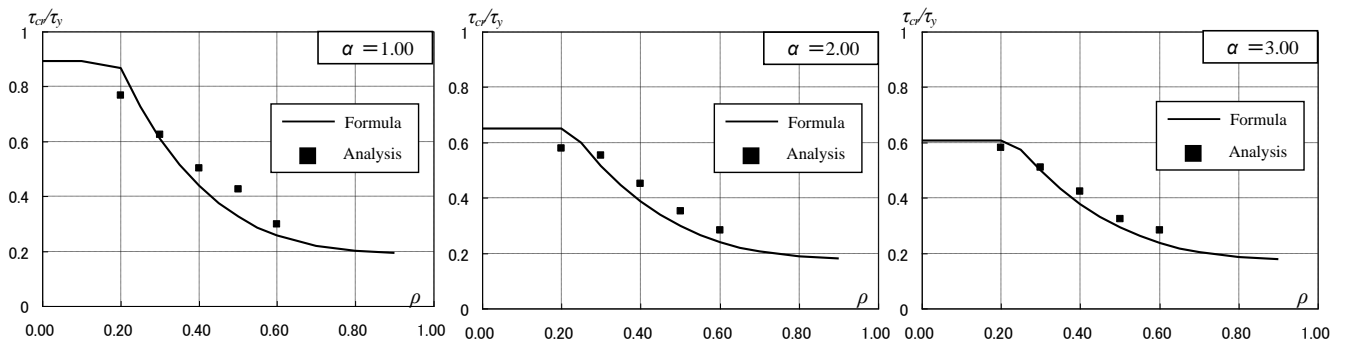


Fig.4 $\tau_{cr}/\tau_y-\rho$ relationship

5. 結果

Table3 に解析結果及び予測式より求めた座屈耐力 τ_{cr} を示す。Fig.4 は、 $\alpha=1.00, 2.00, 3.00$ 毎の $\tau_{cr}/\tau_y-\rho$ 関係である。Table3 より、 $\alpha=2.00, 3.00$ での解析結果はアスペクト比の変化による座屈耐力への影響がほとんど無いことがわかる。また、Fig.4 から分かるように、有孔梁の座屈耐力は、 $\rho \leq 0.2$ の範囲で無孔梁に近い値となっていくことが分かる。その傾向は、解析結果でも顕著に表れており、鈴木らの提案する予測式と良い対応性を示している。

Table3 Analysis result

α ρ	1.00	2.00	3.00
0.2	104	79	79
	111	84	78
0.3	85	75	69
	78	66	64
0.4	68	61	57
	56	50	49
0.5	58	48	44
	42	38	37
0.6	40	39	39
	33	31	30

Upper :Analysis Lower : Formula
(Unit : N/mm²)

6. まとめ

本論では、有限要素法解析にて、鈴木らの提案する座屈耐力予測式が LH 形鋼に適用可能か検討し、貫通孔の与える影響の確認を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1)解析結果から、鈴木らの提案する座屈耐力予測式は LH 形鋼の座屈耐力に対応していると判断できる。
- 2)有孔梁の座屈耐力はアスペクト比 $\alpha \geq 2.00$ の範囲においては、アスペクト比による影響をほとんど受けず、開口率 ρ による影響が大きい。
- 3)今後は、貫通孔が LH 形鋼の座屈耐力に与える影響をより詳細にするために、アスペクト比 $\alpha = 1.00 \sim 2.00$ の範囲、開口率 $\rho \leq 0.2$ の範囲での LH 形鋼の座屈挙動を検討する。

7. 参考文献

[1]鈴木敏郎,木村克次,元結清次郎:円形開口を有する薄肉鋼板の弾塑性せん断座屈挙動に関する数値解析的研究,日本建築学会構造系論文報告集, pp109-116, 1993.8
 [2]元結清次郎,鈴木敏郎,木村克次:円形開口を有する薄肉鋼板のせん断座屈挙動に関する一考察:日本建築学会大会学術講演梗概集, pp109-116, 1993.9
 [3]千葉光平,新井佑一郎,小野泰弘,半貫敏夫,石鍋雄一郎,千田光:薄肉鋼板で構成される H 形断面梁の貫通孔補強方法の検討 その 1 その 2,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp655-658, 2011.8