

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 論題(和文)            | 高強度鋼を用いた溶接組立箱形断面部材の繰返し履歴性状  |
| Title(English)    | Cyclic Historical Character of Welded and Assembled Box Section Members Fabricated from High-Strength Steel |
| 著者(和文)            | 林 健仁, 三井 和也, 五十嵐 規矩夫  |
| Authors(English)  | Tatsuji Hayashi, Kazuya Mitsui, Kikuo Ikarashi  |
| 出典(和文)            | 日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 1139-1140  |
| Citation(English) | Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 1139-1140        |
| 発行日 / Pub. date   | 2022, 7   |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会   |

高強度鋼を用いた溶接組立箱形断面部材の繰返し履歴性状

正会員 ○林 健仁\*1  
同 三井 和也\*2  
同 五十嵐 規矩夫\*3

高強度鋼 溶接組立箱形断面部材 繰返し履歴性状  
塑性変形倍率

1. 序

一般的に高強度鋼は降伏比が高く十分な塑性変形性能の確保が困難であると言われているが、その部材性能と材料特性の関係は不明な部分も多い。そこで、本研究では 590N/mm<sup>2</sup> 級鋼の溶接組立箱形断面部材を対象に、種々の繰返し履歴を作用させた載荷実験を行い、載荷履歴の違いが塑性変形性能に与える影響を調べる。また、新規幅厚比尺度<sup>1)</sup> S<sub>H</sub>による塑性変形性能評価の高強度鋼部材への適応性の検証を行う。

2. 高強度鋼を用いた溶接組立箱形断面部材の静載荷実験

2.1 静載荷実験の概要

図1に溶接組立箱形断面部材の試験体および試験装置概要を示す。部材はウェブに開先を切りフランジを完全溶込み溶接し、裏当て金は使用せず、溶接組立を行った。載荷は片持ち柱形式で行った。鋼種は 590N/mm<sup>2</sup> 級鋼であり、表1に試験体諸元および機械的性質を示す。また、表2に本研究で使用するパラメータおよび算定式の一覧を示す。実験変数は幅厚比 B/t であり、27.8 (No.1), 34.4 (No.2), 39.1 (No.3) の3種類である。本実験で実施する載荷履歴は単調載荷(Mono), 3.5θ<sub>p</sub> の定振幅載荷(Pattern C1), 2θ<sub>p</sub> の定振幅載荷(Pattern C2), 1.5θ<sub>p</sub> の定振幅載荷(Pattern C3), θ<sub>p</sub> の偶数倍を正負交番で2回ずつ繰返す漸増繰返し載荷(Pattern1), Basic Loading History<sup>2)</sup>(Pattern 2), Near-Fault Loading History<sup>2)</sup>(Pattern N), 片振り繰返し載荷(Pattern R)の8種類とし載荷履歴の違いが塑性変形性能に与える影響を検討する。図2に各載荷履歴を示す。定振幅載荷の振幅は単調載荷結果から最大耐力 M<sub>max</sub> 時の変形よりも小さい 1.5θ<sub>p</sub>, 2θ<sub>p</sub> と大きい 3.5θ<sub>p</sub> とした。ここで、θ<sub>p</sub> は全塑性モーメント相当部材角である。

2.2 一端曲げせん断実験の結果

図3(a)に各試験体の載荷履歴ごとの耐力上昇率(M<sub>max</sub>/M<sub>p</sub>)を、図3(b)に塑性変形倍率を示す。図3(a)の縦軸は各断面の Mono の耐力上昇率(mM<sub>max</sub>/M<sub>p</sub>)で無次元化し、図3(b)の縦軸は各断面の Mono の最大耐力 M<sub>max</sub> 時の塑性変形倍率 R<sub>max</sub> で無次元化している。図3(a)より Mono と比較し、繰返し載荷の M<sub>max</sub> はほぼ同じ値となるが、No.2 Pattern C3 の M<sub>max</sub> は Mono の M<sub>max</sub> より小さくなった。この要因は単調載荷において M<sub>max</sub> 時の変位よりも小さい振幅で定振幅載荷を実施したためである。図3(b)より ■ が M<sub>max</sub> 時の(累積)塑性変形倍率(R<sub>max</sub>, η<sub>max</sub>)を、□ が M<sub>u</sub> 劣化時の(累積)塑性変形倍率(R<sub>u</sub>, η<sub>u</sub>)を示している。ここで、累積変形は

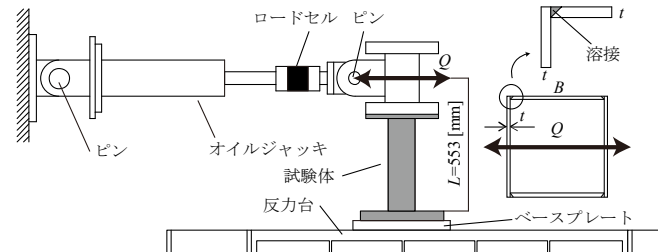


図1 試験体および試験装置概

表1 試験体諸元および機械的性質

| 試験体  | B [mm] | t [mm] | B/t  | L [mm] | L/B  | E [×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ] | σ <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | σ <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | Y.R. [%] | E <sub>long</sub> [%] |
|------|--------|--------|------|--------|------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|-----------------------|
| No.1 | 125    | 4.5    | 27.8 | 553    | 4.42 | 1.96                                    | 481                                 | 570                                 | 84.4     | 27.5                  |
| No.2 | 110    | 3.2    | 34.4 |        | 5.03 | 1.99                                    | 494                                 | 590                                 | 83.7     | 28.5                  |
| No.3 | 125    | 3.2    | 39.1 |        | 4.42 |   |                                     |                                     |          |                       |

表2 パラメータ, 記号の定義

|   |   |  |
|---|---|--|
| B: 板全幅  | t: 板厚   | L: せん断スパン  |
| λ (= L / B): 辺長比  | Z: 断面係数   | Z <sub>p</sub> : 塑性断面係数  |
| ν: ポアソン比  | E: ヤング係数  | σ <sub>y</sub> : 降伏応力度   |
| σ <sub>u</sub> : 引張強さ   | Y.R.: 降伏比   | ε <sub>u</sub> : 一様伸び  |
| E <sub>long</sub> : 破断伸び  | M <sub>p</sub> : 全塑性モーメント   | M <sub>max</sub> : 最大耐力  |
| M <sub>u</sub> : max(0.95M <sub>max</sub> , M <sub>p</sub> )  | mM <sub>max</sub> : 単調載荷の最大耐力   |  |
| θ <sub>p</sub> : 全塑性モーメント相当部材角  |   |  |
| θ <sub>max</sub> : M <sub>max</sub> 時の部材角   | R <sub>max</sub> (= θ <sub>max</sub> / θ <sub>p</sub> - 1): M <sub>max</sub> 時の塑性変形倍率 |  |
| θ <sub>u</sub> : M <sub>u</sub> 劣化時の部材角   | R <sub>u</sub> (= θ <sub>u</sub> / θ <sub>p</sub> - 1): M <sub>u</sub> 劣化時の塑性変形倍率     |  |
| Σθ <sub>p,max</sub> , Σθ <sub>n,max</sub> : 正側, 負側の M <sub>max</sub> 時の累積塑性変形角  |   |  |
| Σθ <sub>p,u</sub> , Σθ <sub>n,u</sub> : 正側, 負側の M <sub>u</sub> 劣化時の累積塑性変形角  |   |  |
| η <sub>max</sub> (= (Σθ <sub>p,max</sub> + Σθ <sub>n,max</sub> ) / θ <sub>p</sub> - 2): M <sub>max</sub> 時の累積塑性変形倍率                                     |   |  |
| η <sub>u</sub> (= (Σθ <sub>p,u</sub> + Σθ <sub>n,u</sub> ) / θ <sub>p</sub> - 2): M <sub>u</sub> 劣化時の累積塑性変形倍率   |   |  |
| $S_H = \sqrt{\frac{\sigma_y Z_p}{5.6 \left(1 + \frac{1.7}{\lambda}\right) \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{(B/t)^2} Z}}$ : 新規幅厚比尺度 <sup>1),3)</sup> |   |  |
| $\frac{M_{max}}{M_{pc}} = -0.5(S_H - 0.7) + 1.0$ (2)  |   | $\frac{M_{max}}{M_p} = \frac{2}{Y.R.} (S_H - 0.7)^2 + 1.0$ (3)   |
| $R_{max} = 50(S_H - 0.7)^2 \quad S_H \leq 0.7$ (4)  |   | $R_{max} = \frac{40}{Y.R.} (S_H - 0.7)^2 \quad S_H \leq 0.7$ (5) |

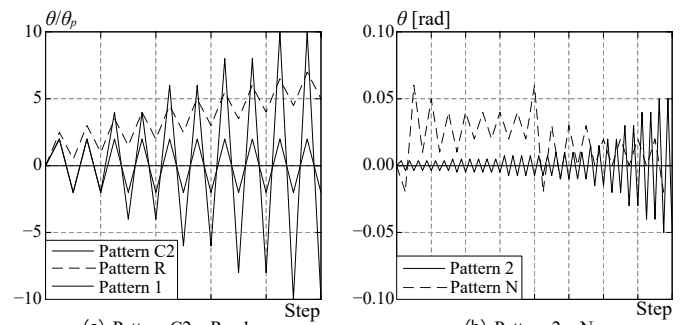


図2 載荷履歴

正側，負側のどちらか大きい方を使用している． Pattern C2, C3, 2 のような  $M_{max}$  時の変位よりも小さい振幅を繰返す荷履歴は耐力劣化が極めて緩やかであるため  $\eta_{max}$ ,  $\eta_u$  が大きくなる傾向にある． また，幅厚比による，  $\eta_{max}$  の変化に傾向は見られないが，  $\eta_u$  は幅厚比が小さい程大きくなり，  $\eta_u$  に対する  $\eta_{max}$  の割合が小さくなるため，耐力劣化が緩やかであることが分かる．

### 3. 新規幅厚比尺度による高強度鋼部材の評価

#### 3.1 単調荷における塑性変形性能の評価

既往の研究では単調荷を受ける普通鋼に対して新規幅厚比尺度  $S_H$ (表3式(1))による最大耐力と塑性変形倍率の評価が行われてきた<sup>1),3)</sup>．そこで本研究では高強度鋼部材への適応性を検討する．  $S_H$  に対する耐力上昇率は表2に示す(2), (3)で，  $M_{max}$  時の塑性変形倍率  $R_{max}$  は式(4), (5)で提案されている<sup>1),3)</sup>．ここで全幅  $B$  を 125mm, 板厚  $t$  を 3.2, 3.6, 4.5, 5.2, 6.0mm, せん断スパン比  $L/B$  を 4, 5, 6 としして解析を行う．解析モデルを図4に示す．硬化則は複合硬化則(Chaboche モデル<sup>4)</sup>)を適用する．Chaboche モデルパラメータは引張試験と繰返し素材試験から同定を行った．図5に本実験の再現解析結果を示しており，同定結果は妥当である．初期不整は1次モードの最大値が  $B/2000$  となるように入力する<sup>5)</sup>．本実験と解析結果から図6に耐力上昇率と  $S_H$  の関係を，図7に  $R_{max}$  と  $S_H$  の関係を示す．式(2), (3), (4), (5)ともに  $R_{max}$  を概ね安全側に評価できている．

#### 3.2 繰返し荷におけるの塑性変形性能の評価

本節では  $S_H$  によって繰返し荷による塑性変形倍率の評価を行う．塑性変形倍率を包絡線から算出し，式(4), (5)との対応を検討する．包絡線は図8に示すように各変位振幅の最初のサイクルの最大荷重点と最大変位点をつなぎ正負で作成する． Pattern 1, 2 と図9に示すような Pattern 3 の荷履歴<sup>1)</sup>から包絡線を作成し，図10に実験と解析から包絡線による  $R_{max}$  と  $S_H$  の関係を示す．  $S_H$  が小さい範囲では評価式よりも危険側，  $S_H$  が大きい範囲では評価式よりも安全側にある．これは  $S_H$  が小さい範囲では繰返しによって両側のフランジで局部座屈が進展し最大耐力に達するのに対して  $S_H$  が大きい範囲では片側のフランジのみで局部座屈が進展し最大耐力に達するためである．

### 4. 結

590N/mm<sup>2</sup> 級鋼を用いた溶接組立箱形断面部材の種々の荷履歴の一端曲げせん断実験を実施した．耐力上昇率は荷履歴によらず単調荷と概ね等しく，荷振幅が  $M_{max}$  時の変位よりも小さい振幅を繰返す荷履歴は  $\eta_{max}$ ,  $\eta_u$  が大きくなることを確認した．また，高強度鋼部材の単調荷による耐力上昇率と塑性変形倍率は  $S_H$  で評価できることを示した．繰返し荷による包絡線の  $R_{max}$  は，  $S_H$  が小さい範囲では評価式より危険側，大きい範囲では評価式より安全側になることを示した．

#### 謝辞

本研究は，JSPS 科研費 20K14868 の助成を受けて行ったものである．

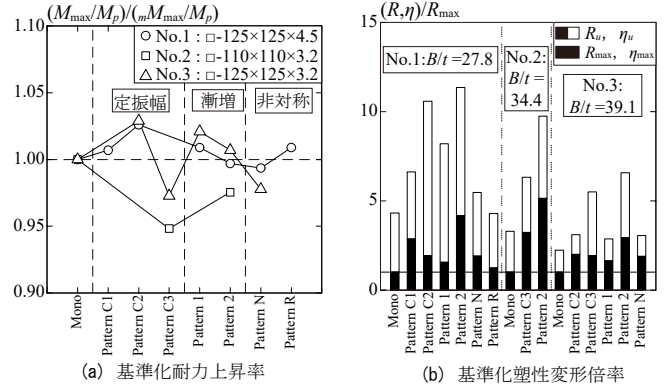


図3 荷履歴ごとの比較

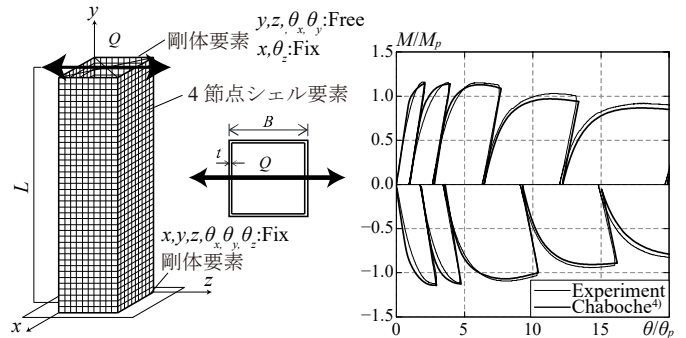


図4 有限要素法解析モデル

図5 再現解析結果

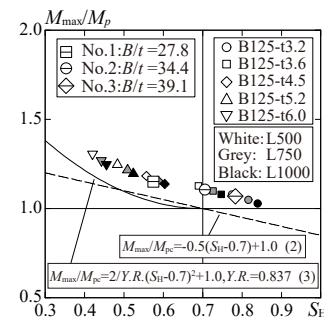


図6  $S_H$  と耐力上昇率の関係

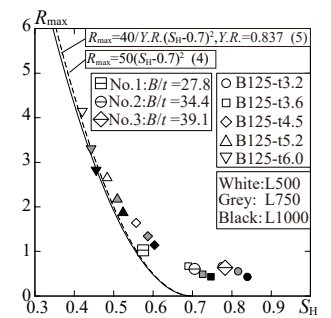


図7  $S_H$  と  $R_{max}$  の関係

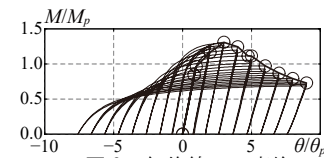


図8 包絡線への変換

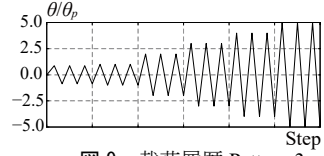


図9 荷履歴 Pattern 3

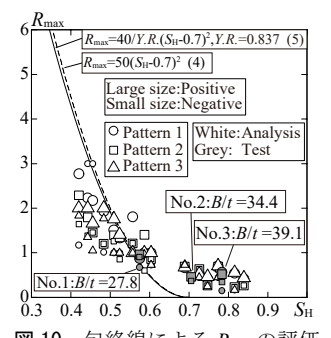


図10 包絡線による  $R_{max}$  の評価

#### 【参考文献】

- 1) 佐藤亮亮，五十嵐規矩夫：曲げせん断力を受ける正方形中空断面部材の局部座屈性状と構造性能評価法，日本建築学会構造系論文集，No.731, pp.123-133, 2017.1
- 2) Helmut Krawinkler, Akshay Gupta, Ricardo Medina, Nicolas Luco : Development of Loading Histories for Testing of Steel Beam-Top-Column Assemblies, Stanford University, 2000.8
- 3) 佐藤亮亮：正方形中空断面柱部材の新規幅厚比尺度による最大耐力・塑性変形能力評価法，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.989-990, 2020.9
- 4) Chaboche, J.L., Dang Van, K., Cordier, G. : Modelization of the strain memory effect on the cyclic hardening of 316 stainless steel, Trans. 5th Int.Conf. SMiRT, Berlin, Division L., Paper No.L.11/3, 1979.8
- 5) 佐藤亮亮，五十嵐規矩夫：正方形中空断面部材の局部座屈性状に及ぼす初期不整の影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.81, No.723, pp.893-903, 2016.5

<sup>1)</sup>元 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 修士(工学)  
<sup>2)</sup>東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 助教・博士(工学)  
<sup>3)</sup>東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 教授・博士(工学)

<sup>1)</sup>Graduate Student of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, M. Eng.  
<sup>2)</sup>Assist. Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
<sup>3)</sup>Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.