

塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁溶接接合部の変形能力
その7 エンドタブ形式および溶接条件が変形能力に及ぼす影響

正会員 ○津嘉田 敬章¹⁾ 同 田中 剛²⁾
同 吹田 啓一郎³⁾ 同 上田 遼¹⁾

2. 構造-10. 鉄骨構造

柱梁接合部 塑性変形能力 載荷実験 エンドタブ 溶接条件

1. はじめに

本研究は、載荷振幅および接合部の破壊に大きく影響を与えると考えられる因子と梁端の破断によって決定する変形能力との関係を実大実験により調べ、延性亀裂の進展状況に基づく変形能力の評価法を確立することを目的としている。

本報では、エンドタブ形式および溶接施工条件を因子として行った定振幅繰返し載荷実験について報告する。

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体は、図1に示すように角形鋼管柱とH形鋼梁を通しダイヤフラム形式で溶接接合したT字形架構試験体である。試験体の一覧を表1に示す。筆者らは、前報¹⁾において接合部フランジの板厚を変えることに

より梁ウェブの曲げ耐力を変化させた実験(NSSシリーズおよびNSWシリーズ)を報告した。本試験体は、接合部フランジの板厚が小さいNSWシリーズと同一の形状である。すなわち、柱部分には冷間ロール成形角形鋼管(□-350×350×22)を使用し、接合部には図1に示すように、PL-22とPL-9による溶接組立て箱形断面を使用している。なお、構成部材は全て前報¹⁾で用いたものと同一鋼材である。鋼材の機械的性質を表2に示す。

実験因子は、エンドタブ形式および溶接条件であり、試験体名称の末尾の記号C、DおよびEが実験因子と対応している。Cシリーズは、固形エンドタブを用いて梁フランジ完全溶込み溶接の積層を図2(a)に示すように4層4パスとして連続溶接した試験体である。なお、前報¹⁾のAおよびBシリーズでは、積層を

表1 試験体一覧

試験体	載荷振幅	エンドタブ	積層方法	パス間温度
NSW-1.2C	1.2 θ _p	L形固形	4層4パス	400℃
NSW-2.0C	2.0 θ _p			
NSW-3.0C	3.0 θ _p			
NSW-4.0C	4.0 θ _p			
NSW-2.0D	2.0 θ _p	鋼製	4層5パス	250℃
NSW-4.0D	4.0 θ _p			
NSW-2.0E	2.0 θ _p		4層4パス	400℃
NSW-4.0E	4.0 θ _p			

表2 鋼材の機械的性質

位置	鋼種	σ _y (N/mm ²)	σ _u (N/mm ²)	EL (%)	YR (%)	vE ₀ (J)
梁フランジ	SN490B	352	547	43.3	64	101
梁ウェブ	SN490B	392	554	42.4	71	—
柱	BCR295	378	471	48.5	80	—
鋼管フランジ	SN490B	376	530	41.4	71	—
鋼管ウェブ	SN490B	380	536	51.2	71	—
ダイヤフラム	SM490A	356	525	35.7	68	—
溶接金属 (C, Eシリーズ)	YGW11	412	540	29.6	76	81
溶接金属 (Dシリーズ)	YGW11	419	534	29.7	78	45

vE₀: 0℃でのシャルピー吸収エネルギー

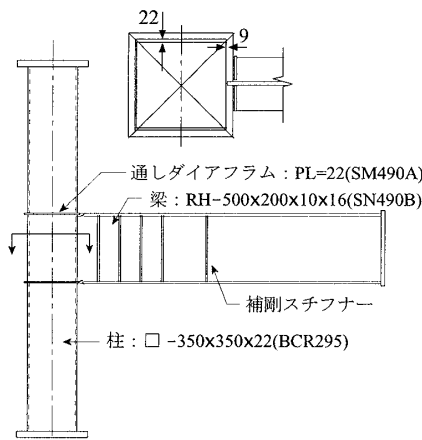


図1 試験体図(単位: mm)

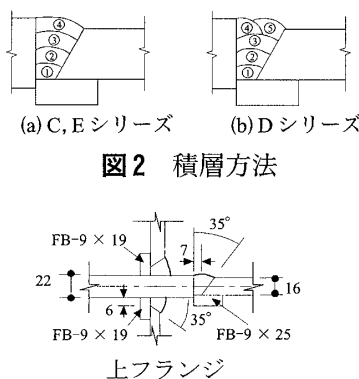


図2 積層方法

図3 溶接部詳細

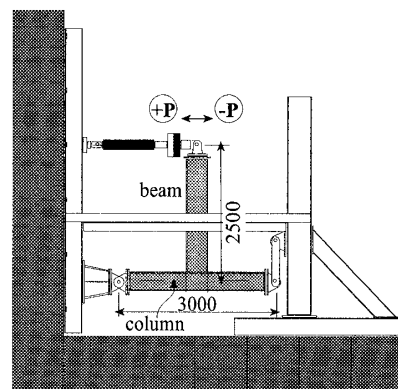


図4 載荷装置

Deformation Capacity Evaluation of Welded Beam to Column Connectin Subjected to Repeated Plastic Strain (Part7: Influence of End Tab Type and Welding Condition)

TSUKADA Takaaki, TANAKA Tsuyoshi, SUITA Keiichirou and UETA Ryo

図2 (b) に示すように4層5パスとしてパス間温度を250°Cに管理して溶接を行っており、これらの試験体との比較を目的としている。Dシリーズは、鋼製エンドタブを用いて積層を図2 (b) に示すように4層5パスとしてパス間温度を250°Cに管理した試験体である。Eシリーズは、鋼製エンドタブを用いて積層を図2 (a) に示すように4層4パスとして連続溶接した試験体である。なお、連続溶接した場合のパス間温度の最大値は3パス目で生じ、その値は400°C程度であった。入熱量の最大値は、25kJ/cm～37kJ/cmであった。溶接金属の機械的性質を表2に示す。なお、用いた溶接ワイヤはYGW11である。本実験の梁フランジは、板厚16mmと比較的薄いため、パス間温度による差は見られない。

溶接部詳細は前報¹⁾と同様に図3に示すノンスカップ形式とした。また、鋼製エンドタブは切除せずに残した。

表3 実験結果一覧

試験体	$\frac{bM_{max}}{bM_p}$ 正載荷	$\frac{bM_{max}}{bM_p}$ 負載荷	サイクル数		累積塑性 変形倍率	
			N_U	N_F	η_U	η_F
NSW-1.2C	0.98	0.96	187	200	116	127
NSW-2.0C	1.17	1.18	47	47	118	118
NSW-3.0C	1.30	1.30	14	14	77	77
NSW-4.0C	1.38	1.38	9	9	75	75
NSW-2.0D	1.20	1.19	56	60	149	156
NSW-4.0D	1.40	1.40	13	13	113	113
NSW-2.0E	1.19	1.18	26	27	70	71
NSW-4.0E	1.36	1.39	4	4	27	27

2.2 荷重方法

荷重装置を図4に示す。荷重振幅は表1に示すように、梁端が全塑性モーメントに達するときの梁の回転角の弾性成分 θ_p を基準とする塑性率 μ で表す。その大きさは、Cシリーズについては1.2, 2.0, 3.0, 4.0の4種類とし、DおよびEシリーズについては2.0, 4.0の2種類とし、それぞれ一定振幅の正負交番繰返し荷重により明瞭な破断が生じるまで荷重した。

3. 実験結果

3.1 復元力特性と破壊状況

図5に梁端モーメントと梁部材回転角の関係を示す。荷重が最大耐力の90%を下回った時点または溶接部が最終破断した時点を終局と定義する。表3に最

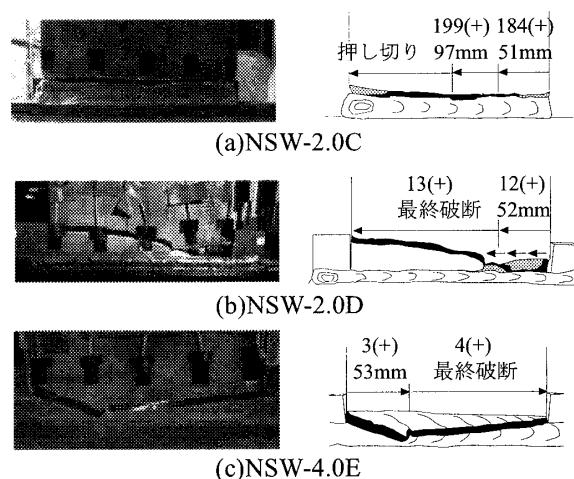


図6 破壊状況

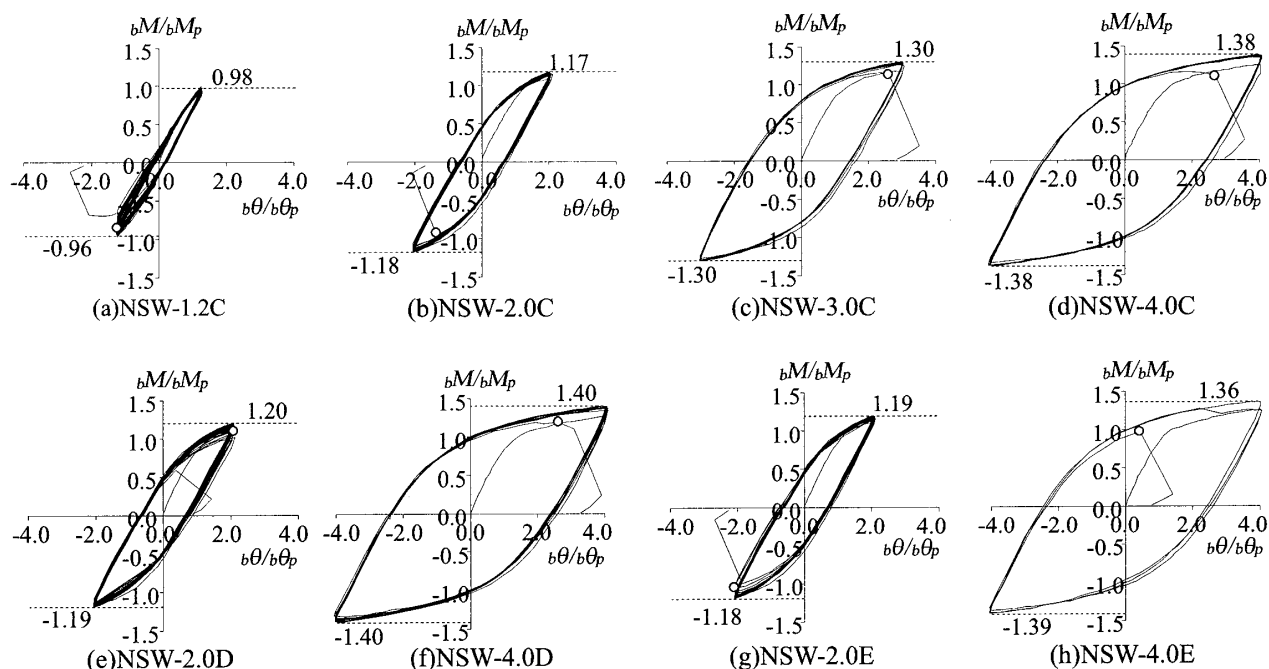


図5 復元力特性

大耐力，終局までのサイクル数 N_U ，最終破断までのサイクル数 N_F ，終局までの累積塑性変形倍率 η_U ，最終破断までの累積塑性変形倍率 η_F を示す。累積塑性変形倍率 η とは，累積塑性回転角を θ_p で除した値である。載荷振幅の大きい範囲では，亀裂の進展が顕著になってから最終破断に至るまでのサイクル数は少なく，亀裂進展に伴う耐力低下が顕著になる前に最終破断となったので， N_U と N_F は一致する結果となっている。

破壊状況の例を図6に示す。試験体NSW-4.0Eを除き溶接始端の梁フランジ側溶接止端に延性亀裂が発生し，この亀裂が板厚方向およびフランジ幅方向に進展し，破壊に至った。試験体NSW-4.0Eでは，延性亀裂がフランジ幅方向に進展する以前に脆性亀裂に転化し，溶接金属側が破壊した。

3.2 変形性能

図7(a)に終局までのサイクル数 N_U と載荷振幅の塑性率 μ の関係を，図7(b)に累積塑性変形倍率 η_U と μ の関係を両対数軸上で示す。同図には，前報¹⁾のA,Bシリーズの結果も併せて示す。

固形エンドタブを用いて溶接条件を変化させたA,BシリーズとCシリーズに差は見られない。これは，梁フランジ厚が比較的薄く溶接金属の強度に差が生じなかったためと考えられる。

鋼製エンドタブを用いて最終層を2パスとしたD

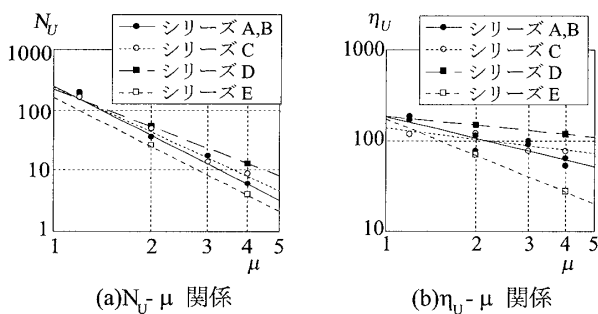


図7 全試験体の変形性能

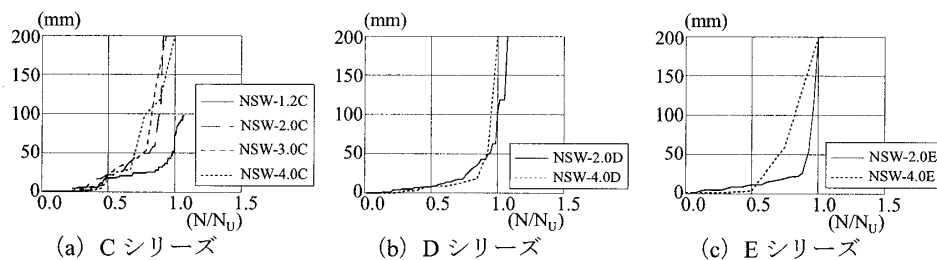


図8 主要な亀裂の進展

シリーズの変形性能が全シリーズの中で最も大きく，一方，鋼製エンドタブで最終層を1パスとしたEシリーズの変形性能が全シリーズの中で最も小さい。両シリーズの変形性能の差の要因の1つとして，最終パスのフランジ板厚方向への溶込み量による影響が考えられる。文献2)は，有限要素数値解析よりフランジ板厚方向への溶込み量が大きいほど，鋼製エンドタブと梁フランジの間にできるスリットの先端の歪が減少することを指摘している。鋼製エンドタブの最終層の施工方法が変形性能に与える影響については，溶接部の断面マクロ試験等により今後検討する予定である。

3.3 亀裂の進展状況

試験体NSW-4.0Eを除き，梁フランジ溶接始端に生じた亀裂はサイクル数を重ねるとともに徐々に溶接部に沿って進展した。図8に最終破断に結びついた主要な亀裂の進展状況を示す。横軸はサイクル数を N_U で除した値である。同図より亀裂の進展は，前報¹⁾と同様に①亀裂が発生しない第1段階，②亀裂がゆっくり進展する第2段階，③亀裂が一気に進展して破断に至る第3段階の3つに分けることができる。第3段階に入るときのサイクル数を N_g とし， N_g と N_U の関係を図9に示す。同図に示されるように N_g と N_U はほぼ一致し，亀裂の進展から見た溶接部の破壊限界 N_g と接合部の耐力の低下から見た変形能力の限界 N_U はほぼ一致することが分かる。

3.4 亀裂進展の定式化

各試験体の主要な亀裂のサイクル毎の平均的な進展速度 \bar{v}_i を求め，サイクル毎の変化を図10のように模式化した。第2，第3段階の亀裂進展速度 v_1, v_2 は図中の係数 n_s, a_1, n_g, a_2 で決まり，これを実験結果から回帰分析して求めた。ただし，NSW-4.0Eは他の試験体と破壊性状が異なるため，Eシリーズは対象外とする。振幅やエンドタブ形式によって決まる亀裂の進展状況を定式化するために，これらの係数と振幅の関

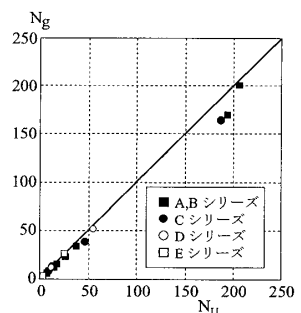


図9 N_g と N_U の関係

係を検討する。図11に実験から得られた各係数の値を示し、それらと振幅の関係シリーズ毎に回帰分析した結果を図中の直線で示す。 n_s と n_g は μ によらずほぼ一定であることからそれぞれの平均をとり、 a_1 と a_2 は $\mu=1$ の時に $a_1=0$, $a_2=0$ の点を通る直線で回帰分析した。得られた係数は、図11に示すとおりで、この関係を用いて亀裂進展を表した亀裂進展曲線を実験より得られた亀裂進展と比較して図12に示す。図中の実線は実験結果を表し点線は計算値を示す。計算値は実験値と対応しており、図10の関係に基づいて得た各係数は、亀裂進展を表すのに有効である。

4. まとめ

エンドタブ形式および溶接条件を実験因子として一定振幅で繰返し载荷を行い、変形能力に与える影響を調べた。接合部の変形能力と亀裂進展との関係を検討し、実験で生じた亀裂進展と振幅との関係を定量的に表した。

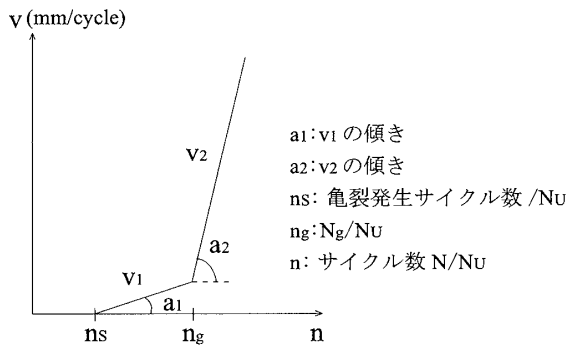


図10 亀裂進展速さの定義

【謝辞】

本研究は日本学術振興会科学研究費・基盤研究(A) (No.21246087, 代表:吹田啓一郎)の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 吹田啓一郎, 田中剛, 佐藤篤司, 真鍋義貴, 津嘉田敬章, 蘇鐘鈺: 塑性歪を受ける鋼構造柱梁接合部の変形能力 その3,4, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第50号構造系, pp.177~184, 2010年6月
- 2) 井口智晴, 田淵基嗣, 田中剛: 断面形状の異なる柱に鋼製エンドタブを用いて溶接接合された梁の塑性変形能力, 鋼構造論文集, 第12巻第48号, pp.39~54, 2005年12月

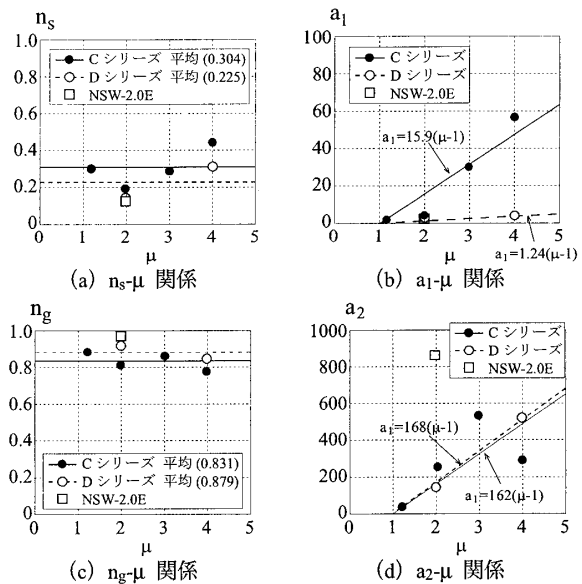


図11 亀裂進展に関する係数と振幅 μ の関係

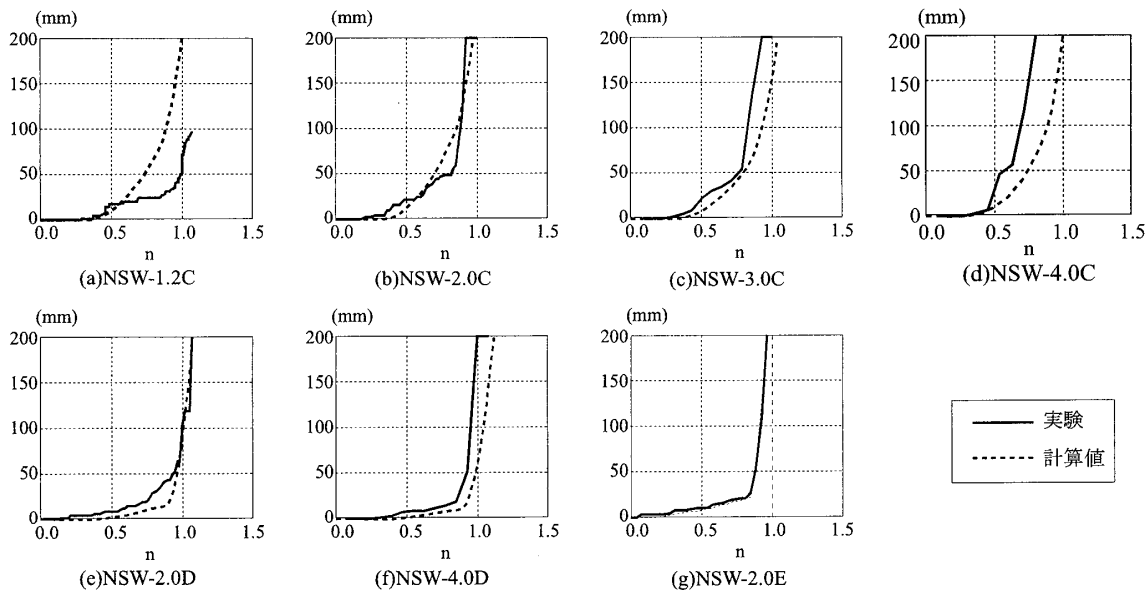


図12 亀裂進展の実験値と計算値の比較

*1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻・修士課程
 *2 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・博士(工)
 *3 京都大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・博士(工)

Graduate Student, Dept. of Architecture, Kobe Univ.
 Prof., Dept. of Architecture, Kobe Univ., Dr. Eng
 Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ., Dr. Eng