

梁の塑性変形能力に及ぼす溶接欠陥の影響

ーその1 開先形状および欠陥位置を因子とした载荷実験ー

正会員 ○ 上田 遼¹⁾ 同 田中 剛²⁾ 同 吹田 啓一郎³⁾同 津嘉田 敬章¹⁾ 同 山根 正寛⁴⁾ 同 中澤 好道⁴⁾

2. 構造-10. 鉄骨構造

柱梁接合部 溶接欠陥 開先形状 実大载荷実験 塑性変形能力

1. はじめに

固形エンドタブを用いた溶接施工では、溶接初層の始末端位置に溶け込み不良などの欠陥が生じ易い。溶接部初層における欠陥が、工場溶接形式では上下フランジとも外開先となるため、フランジ内面側に入る。一方、現場溶接形式では下フランジの開先形状は内開先となるため、溶接部初層の欠陥はフランジ外面側に入る。文献1)は、内開先の初層欠陥が、外開先の場合に比べて、破壊に対して敏感に働くことを指摘している。本報では、この開先形状の違いおよび端部欠陥と中央部欠陥という欠陥位置の相違が梁の塑性変形能力に及ぼす影響を検討するために実大载荷実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体形状および寸法を図1に示す。試験体は通しダイアフラム形式の角形鋼管柱にH形断面梁が溶接接合されたT字形試験体である。柱は冷間ロール成形角形鋼管(□-350x350x16 (BCR295))、梁はH形鋼(RH-500x200x10x16 (SN490B))、通しダイアフラムはPL-19 (SN490B)である。本実験では、梁端フランジ溶接部で破壊を生じさせることを目的としているため、梁端部に補剛スチフナを配して、梁フランジおよび梁ウェブの局部座屈を防いでいる。

試験体一覧を表1に示す。実験因子は、開先形状、欠陥長さおよび欠陥位置である。開先形状は図2に示す外開先および内開先であり、図3に示すように溶接初層の端部または中央部にダイアフラムに接して鋼片(5mmx5mm)を設置した上で溶接することにより、人工的な溶け込み不良を設けた。外開先については、無欠陥、端部欠陥(欠陥長さ:15mm)および中央部欠陥(欠陥長さ:30mm)の3体の試験体を製作した。内開先については、無欠陥、端部欠陥(欠陥長さ:5, 10, 15mm)および中央部欠陥(欠陥長さ:30mm)の5体を製作した。開先形状は上下のフ

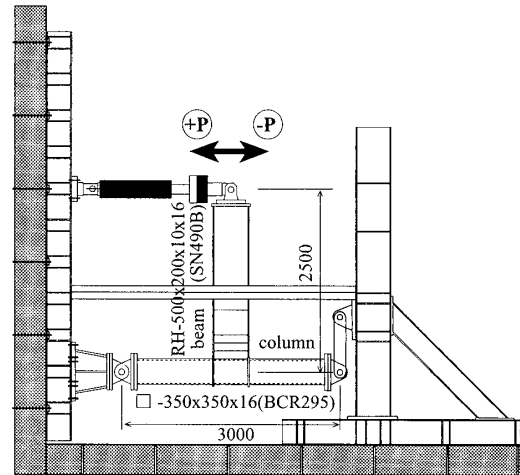


図1 試験体および载荷装置

表1 試験体一覧

試験体	開先形状	欠陥高さ	欠陥長さ	欠陥位置
S-N	外開先	無し	無し	無し
S-E-15		5mm	15mm	端部
S-C-30			30mm	中央部
F-N	内開先	無し	無し	無し
F-E-5		5mm	5mm	端部
F-E-10			10mm	
F-E-15			15mm	
F-C-30			30mm	中央部

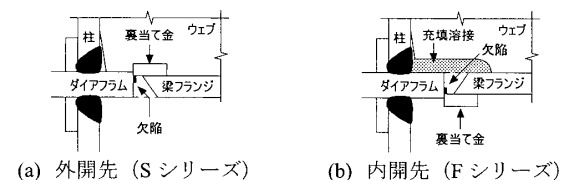


図2 開先形状

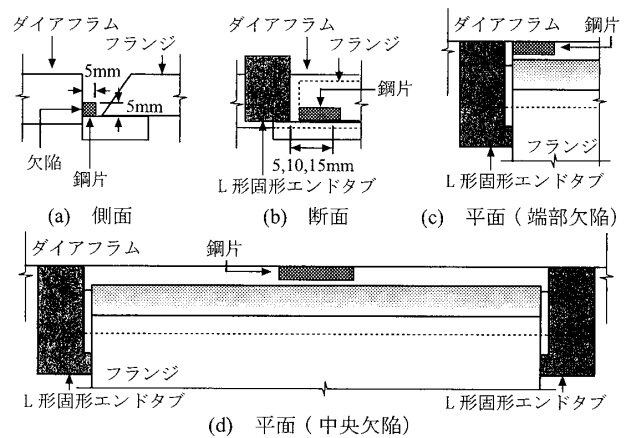


図3 溶接欠陥

Effects of Weld Defect of Beam-to-Column Weld Connections on Plastic Deformation Capacity

Part 1 Tests on Effects of Groove Type and Position of Weld Defect

UETA R., TANAKA T., SUITA K., TSUKADA T., YAMANE M. and NAKAZAWA Y.

ランジで同一とし、端部欠陥は各フランジ両端部の計4ヶ所、中央部欠陥は各フランジ中央部の計2ヶ所に挿入した。

梁フランジとダイアフラムの完全溶込み溶接は、半自動CO₂ガスシールドアーク溶接 (YGW11, 1.2φ) により行い、溶接始末端部の処理にはL形固形エンドタブを用い、溶接ディテールはノンスラップ工法とした。積層方法は、図4 (a) に示すように4層5パスである。外開先に対しては図4 (b) に示すように最終層の2パスを梁フランジ端部から中央に向けて行い、クレーターが中央部にくるようにした。内開先に対しては、図4 (c) に示すようにいずれのパスでも梁フランジ端部から中央に向けて行い、中央で溶接線を継いでいる。溶接は、電圧を約33V、電流を270A～330Aの条件で行った。入熱量の最大値は、20～26kJ/cmの範囲であった。パス間温度は、溶接金属の強度が母材強度に比べて同程度となることを

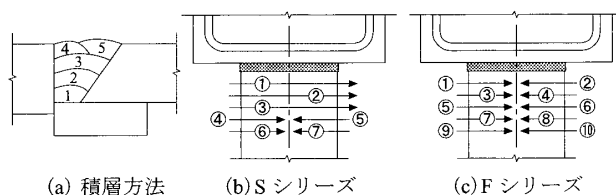


図4 溶接方法

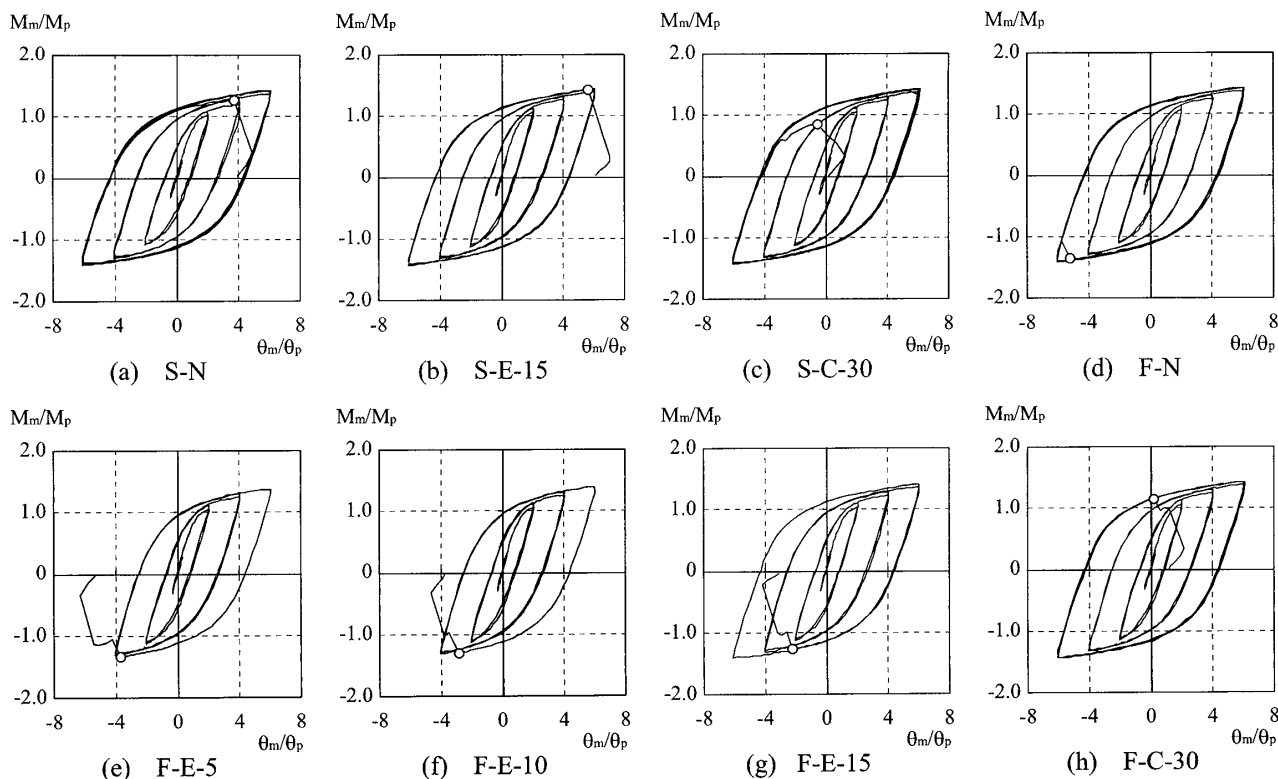


図5 荷重-変形関係

意図し、450℃で管理した。材料の機械的性質を表2に示す。溶接金属の引張強さとダイアフラムおよび梁フランジの引張強さとの比は、それぞれ1.03および1.04である。

2.2 荷重方法

荷重は、図1に示すように柱の一端をピン治具に、他端をローラ治具に接合し、梁先端に取り付けた油圧ジャッキにより行う。荷重は正負交番漸増繰返し荷重とし、変位振幅は梁の全塑性モーメントMpに対する弾性相対回転角 θ_p を基準に $\pm 20p$ および $\pm 40p$ の各変位振幅で各2回ずつ行い、その後、 $\pm 60p$ の変位振幅で破壊が生じるまで繰返す。

3. 実験結果

3.1 荷重-変形関係

図5にMpおよび θ_p で無次元化した梁端モーメントMmと回転角 θ_m の関係を示す。表3に実験結果一覧を示す。同表中の備考に示すように、 $\Sigma\theta_{pl}$ は梁の

表2 機械的性質

試験体	鋼種	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	YR (%)	ϵ_u (%)	vE0 (J)	vTs (℃)
梁フランジ	SN490B	335	525	64	16.2	155	9.3
梁ウェブ	SN490B	375	535	70	16.8	-	-
角形鋼管	BCR295	360	480	75	18.2	-	-
ダイアフラム	SN490B	350	533	66	20.1	129	6.9
溶接金属	YGW11	412	547	75	>18.6	32	19.1

σ_y : 降伏点, σ_u : 引張強さ, YR: 降伏比, ϵ_u : 一様伸び
vE0: 0℃でのシャルピー吸収エネルギー, vTs: 破面遷移温度

累積塑性回転角, η は累積塑性変形倍率, θ_s は骨格曲線より求めた最大塑性回転角, η_s は塑性変形倍率である。

3.2 破壊状況

各試験体の実験経過を以下に示す。

1) S シリーズ

無欠陥の S-N では, 60p の 1 サイクル時において, 梁フランジ側溶接止端およびダイアフラム側溶接止端に亀裂が発生した (写真 1(a))。60p(+4) サイクル時に, 梁フランジ側溶接止端に発生した亀裂が板厚を貫通し, 板幅方向にも進展した後, 60p(+6) サイクル時に梁フランジが破壊した (写真 1(b))。

S-E-15 では, 40p(+2) サイクル時に欠陥先端に, 60p(+1) サイクル時にダイアフラム側溶接止端に亀裂が発生した (写真 2(a))。その後, 欠陥先端より発生した亀裂が進展し, 板厚を貫通し, 60p(+4) サイクル時にダイアフラム内に亀裂が入った後にダイアフラム側で破壊した (写真 2(b))。

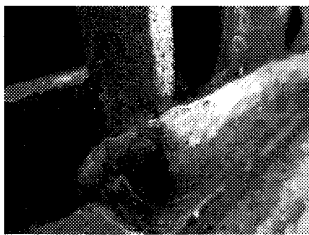
S-C-30 では, 40p(-2) サイクル時にダイアフラム側

溶接止端に, 60p(+1) サイクル時に梁フランジ側溶接止端に亀裂が発生した。60p(+2) サイクル時にダイアフラム側溶接止端より発生した亀裂が板厚を貫通し, その後, 溶接線方向に亀裂が進展し, 60p(+7) サイクル時にダイアフラム側で破壊した。

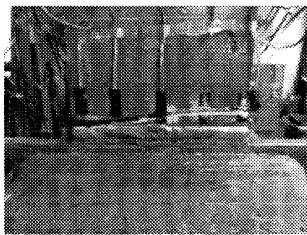
2) F シリーズ

無欠陥の F-N では, 40p(-2) サイクル時にダイアフラム側溶接止端に, 60p(+1) サイクル時に梁フランジ側ルート部に亀裂が発生した (写真 3(a))。60p の繰返し載荷でダイアフラム側溶接止端に発生した亀裂が板厚を貫通するとともに板幅方向へも進展した後, 60p(-7) サイクル時にダイアフラム側で破壊した (写真 3(b))。

F-E-5, F-E-10, F-E-15 では, いずれも 40p(-1) サイクル目までに欠陥先端から亀裂が発生し (写真 4(a)), 40p(-2) サイクル時には板厚を貫通した。その後, 欠陥先端より発生した亀裂がダイアフラム内に進展し, F-E-5, F-E-10 では, 60p(-1) サイクル時に F-E-15 では, 60p(-2) サイクル時にダイアフラム側で破

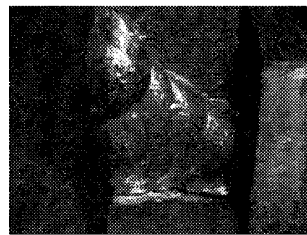


(a) 亀裂発生

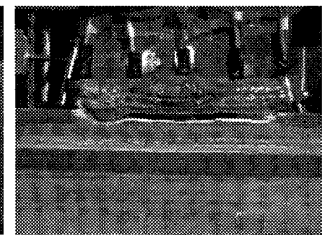


(b) 破断の状況

写真 1 S-N

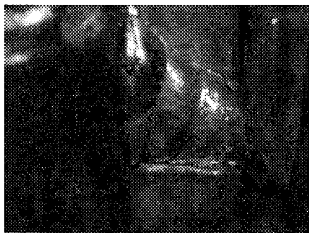


(a) 亀裂発生

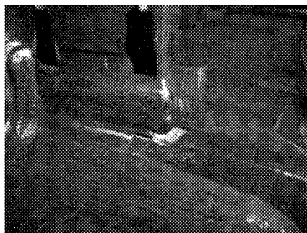


(b) 破断の状況

写真 2 S-E-15

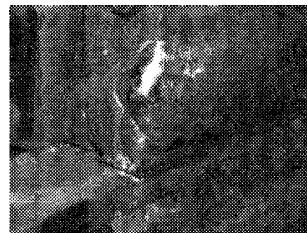


(a) 亀裂発生

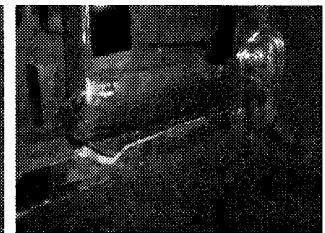


(b) 破断の状況

写真 3 F-N



(a) 亀裂発生



(b) 破断の状況

写真 4 F-E-15

表 3 実験結果一覧

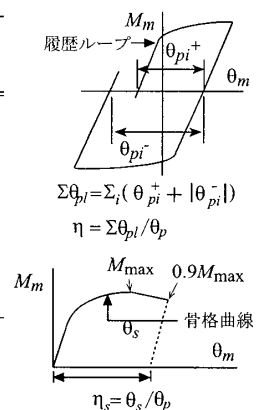
試験体	欠陥実測 ¹⁾ 寸法 (mm) 高さ×長さ	破断 ²⁾ 時期	$\Sigma\theta_{pi}$ (rad)	η	θ_s (rad)		η_s		M_{max}/M_p		破断 ³⁾ モード
					(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	
S-N	—	60p(+6)	0.79	116	0.070	-0.076	8.8	-9.7	1.43	-1.41	F
S-E-15	5.3 × 18.5	60p(+4)	0.59	87	0.064	-0.071	8.0	-9.1	1.43	-1.42	D
S-C-30	3.5 × 42.7	60p(+7)	0.88	129	0.069	-0.069	8.8	-8.8	1.42	-1.42	D
F-N	—	60p(-7)	0.97	143	0.064	-0.069	7.8	-8.6	1.43	-1.41	D
F-E-5	5.1 × 9.4	60p(-1)	0.26	38	0.053	-0.046	6.2	-5.3	1.38	-1.33	D
F-E-10	3.5 × 13.1	60p(-1)	0.25	37	0.054	-0.043	6.3	-4.8	1.39	-1.30	D
F-E-15	5.1 × 17.5	60p(-2)	0.37	54	0.065	-0.064	7.9	-7.8	1.41	-1.40	D
F-C-30	3.5 × 32.0	60p(+5)	0.65	95	0.062	-0.067	7.6	-8.3	1.43	-1.43	D

1): 端部欠陥については破断の起点となった側の, 中央欠陥についてはその実測寸法の高さと長さを示す。

2): 破断時のサイクルを示す。60p(+6) は, 60p の変位振幅の 6 サイクル目正側で破壊したことを示す。

3): F は梁フランジ側止端からの亀裂による破壊, D はダイアフラム側からの亀裂による破壊を示す。

備考: 塑性変形能力の定義



壊した(写真4(b))。

F-C-30では、40pの繰返し載荷でダイアフラム側ルート部および溶接止端、梁フランジ側ルート部に亀裂が発生した。60p(+1)サイクル時に亀裂が板厚を貫通し、幅方向にも進展した後、60p(+5)サイクル時にダイアフラム側で破壊した。

4. 塑性変形能力

各試験体の累積塑性変形倍率 η を図6に示す。

外開先としたSシリーズでは、端部欠陥長さを15mmとしたS-E-15の η は、欠陥無しの場合のS-Nの η の75%であり、欠陥は変形能力を若干低下させている。

内開先としたFシリーズでは、Sシリーズに比べて、欠陥先端の亀裂発生時期およびその後の亀裂の進展が早く、塑性変形能力は小さい。これらの試験体(F-E-5, F-E-10, F-E-15)の η は、F-Nの η の26%～38%であり、欠陥長さによらず、塑性変形能力が大きく低下している。

外開先で中央に30mmの欠陥を挿入した試験体S-C-30の η は、S-Nの η を若干上回り、欠陥の影響は見られなかった。内開先で中央に30mmの欠陥を挿入した試験体F-C-30の η は、F-Nの η の66%であり、欠陥は塑性変形能力を若干低下させている。

無欠陥試験体および端部欠陥試験体について、縦軸に η をとり横軸に欠陥断面率 α をとって図7に示す。欠陥断面率は、破壊の起点となった側の欠陥断面積(欠陥の実測高さ×長さ)をフランジ断面積で除した値である。同図には、文献1)の結果も併せて示す。外開先試験体では、欠陥断面率が4%程度までは、欠陥が梁の塑性変形能力に与える影響は小さい。一方、内開先試験体では、欠陥断面率が1.5%程度でも梁の塑性変形能力が大きく低下している。

5. まとめ

- (1) 内開先初層の端部欠陥は、欠陥断面率が1.5%程度であっても、梁の塑性変形能力を大きく低下させる。したがって、現場溶接の下フランジは、欠陥に対して敏感なディテールであると言える。
- (2) 外開先初層の端部欠陥は、欠陥断面率が4%程度まで梁の塑性変形能力に与える影響は小さい。
- (3) 外開先初層の中央欠陥は、梁の塑性変形能力に影響を与えない。一方、内開先初層の中央欠陥は、梁の塑性変形能力を若干低下させる。

【謝辞】

本研究の一部は科学研究費・基盤研究(A)(NO.21246087)の助成を受けた。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 田中剛, 田淵基嗣: 梁端フランジ溶接部の溶接欠陥位置が梁の塑性変形能力に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, 第16巻, pp.103-110, 2008年11月
- 2) 高柳翔太, 中込忠男, 服部和徳, 崎野良比呂他: 欠陥を有する現場溶接型柱梁溶接接合部の変形能力に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.667-670, 2008年9月

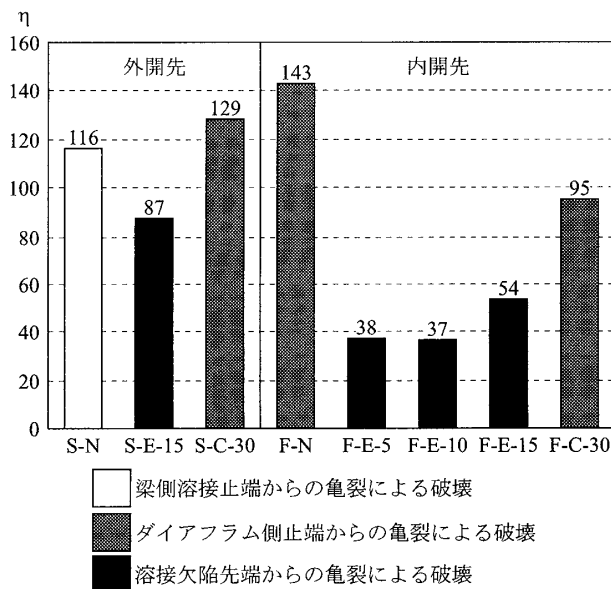


図6 累積塑性変形倍率

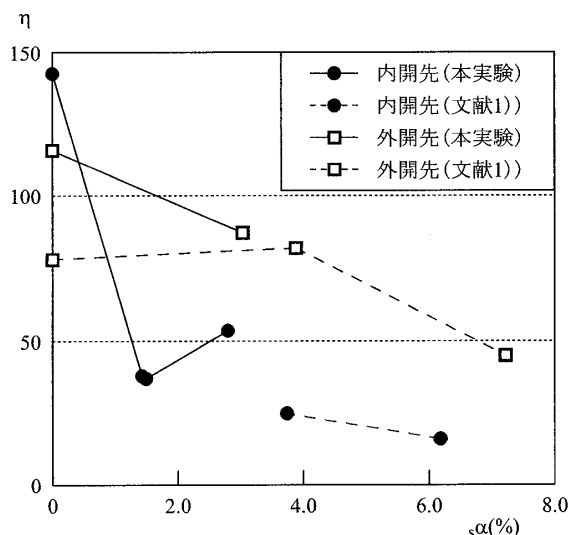


図7 累積塑性変形倍率 - 欠陥率関係

*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)

*4 ヤマネ鉄工建設(株)

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

Yamane Corporation