

形状の異なる固形エンドタブを用いた突き合わせ溶接継手の引張試験

その1 実験計画概要

正会員○原 章*4 同 中込 忠男*1 同 山田 丈富*2
同 的場 耕*3 同 村松 亮介*5

柱梁溶接接合部 固形エンドタブ 最大荷重
端部欠陥 亀裂 低温試験

1. はじめに

柱梁接合部の梁端溶接に固形エンドタブを用いると、ひずみ集中点は柱側(ダイアフラム側)にも生じる¹⁾。また、溶接始末端部が梁フランジ幅に存在するため、スチールエンドタブに比べて内部欠陥が生じやすい。ひずみ集中の緩和と、溶接始末端部を見やすい形状にすることで欠陥発生率の低下を意図し、改良された固形エンドタブ(以降 Y 型と称す)がある。本研究は、従来型(以降 F 型と称す)と Y 型の固形エンドタブによる溶接継手の引張実験をおこなう。端部に内部欠陥を想定した試験体も製作し、欠陥の有無や形状、固形エンドタブの形状が溶接部の性能に与える影響を確認する。

2. 溶接継手引張破壊実験

2.1 試験体及び実験パラメータ

図1に試験体形状、図2に溶接部詳細及び固形エンドタブ形状を示す。試験体は梁とダイアフラムの溶接部を想定した引張試験体とした。鋼材は板厚 28mm、材質 SM490A で、梁フランジ部に平面的にテーパを設けている。開先形状は 35° のレ型開先、ルートギャップ 7mm とした。溶接部で破断させる目的で、溶接後に余長を含む溶接部と裏当て金を機械加工で切削し、試験対象となる溶接部の板厚を 20mm とした。また、引張試験の偏心を防ぐ目的で 12mm のプレートを初層側にすみ肉溶接した。

実験パラメータは、固形エンドタブの形状と溶接欠陥の有無、形状の組み合わせである。実験パラメータを表1に、欠陥挿入状況を写真1に、欠陥を製作するために挿入した鋼片の位置及び形状を図3に示す。Y型はダイアフラム側が広がった形状で、広がり層は表層に向かって立体的に大きくなっている。端部を見やすくすると共に、余長を増してひずみ集中を緩和することを意図した形状となっている。内部欠陥は厚さ 3mm の鋼片を、固形エンドタブの余長を含む端部のダイアフラム側に挿入し、メタルタッチ部を不溶着とすることで製作する。溶接始末端部の溶け込み不良を想定した、長さ 20mm 高さ 5mm と、現実的ではないが破壊のしやすい貫通欠陥を想定した、長さ 7mm 高さ 20mm、欠陥無しとの 3 種類とした。Y7-20 は鋼片を平行四辺形に製作し、エンドタブ形状に合わせて配置した。

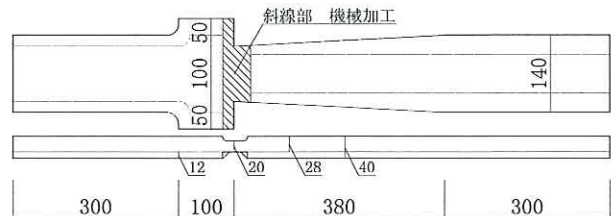


図1 試験体形状

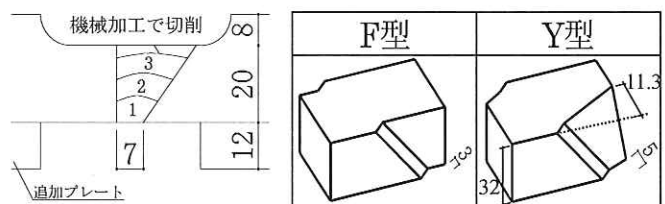


図2 溶接部詳細及び固形エンドタブ形状

表1 実験パラメータ

試験体名	固形エンドタブ	端部の内部欠陥(mm)	
		a(長さ)	b(高さ)
Fn	F型	0	0
F20-5		20	5
F7-20		7	20
Yn	Y型	0	0
Y20-5		20	5
Y7-20		7	20



写真1 鋼片挿入状況

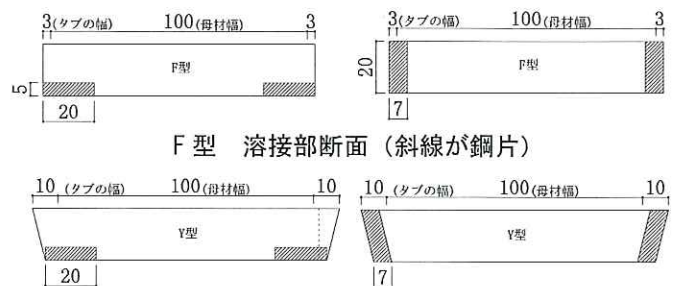


図3 鋼片挿入位置及び形状

2.2 溶接条件

溶接ワイヤ YGW-18(1.4φ)を使用し、CO₂ ガスシールドアーク半自動溶接により下向きで溶接した。溶接条件は、入熱は 40kJ/cm 以下、パス間温度 350℃以下でおこなった。溶接条件結果の一例を表 2 に示す。

表 2 溶接条件(一例 Yn)

パス	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	入熱 (kJ/cm)	温度 (°C)	積層図 5層7パス
1	303	36	22	32	32	
2	311	36	22	32	116	
3	338	35	22	34	250	
4	333	35	28	27	330	
5	337	36	24	32	323	
6	341	36	24	33	336	
7	352	36	24	33	332	



写真 1 試験体設置状況

2.3 荷重方法

試験体設置状況を写真 1 に示す。試験体の荷重は単調引張荷重とし、200tf 万能試験機を用いておこなった。冷却容器を直接試験体に取り付け、溶接部とその近傍を冷却した。溶媒を-20℃になるように冷却し 30 分以上保持した後、荷重し、荷重中も-20℃を保持した。変位は鋼材に取り付け治具をボルトで固定し、クリップゲージで測定した。クリップゲージ測定位置を図 4 に示す。

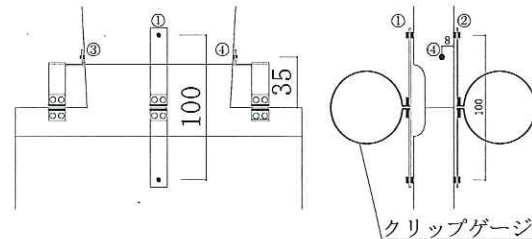


図 4 クリップゲージ測定位置

3. 供試鋼材と溶接部の素材試験

本実験で使用した鋼材と同じ条件で施工した溶接部の素材試験を実施した。引張試験片は JIS Z 2201 14A 号試験片とし、板厚の 1/2 が試験片の中心となるように採取した。試験温度は突き合わせ溶接継手引張実験と同様に-20℃とし、オートグラフにより試験速度 0.5mm/min で試験を実施した。引張試験片採取位置を図 5 に、引張試験結果を表 3 に示す。降伏点、強度ともに溶接金属が高い値となっている。シャルピー衝撃試験は JIS Z 2202 試験片 V ノッチとした。溶接継手引張試験体の溶接部板厚 20mm の 1/2 が試験片の中心となる位置からサイドノッチで複数採取し、遷移曲線を確認した。試験片採取位置を図 6 に、シャルピー衝撃試験結果を表 4 に示す。鋼材の破面遷移温度が-30℃、溶接金属の 0℃吸収エネルギーが 100J 以上と比較的良好な結果であった。

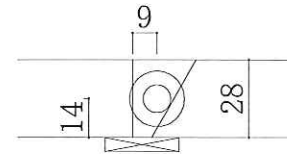


図 5 引張試験片採取位置

表 3 引張試験結果

採取位置	試験温度 (°C)	oy (N/mm ²)	ou (N/mm ²)	EL. (%)	Y.R (%)
フランジ	-20	381	567	51	67
溶接金属	-20	518	668	16	78

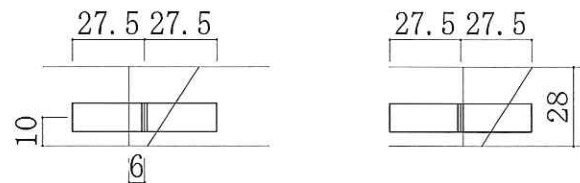


図 6 シャルピー衝撃試験片採取位置

4 まとめ

その 1 では、突合せ溶接継手の引張試験体の詳細と実験方法、及び使用した鋼材と溶接部の機械的性質について述べた。実験結果及び考察をその 2 で報告する。

【参考文献】

- 1) 杉山友徳、山田文富、中込忠男：固形エンドタブを用いた梁端溶接接合部の端部形状に関する研究 日本建築学会構造系論文報告集

表 4 シャルピー衝撃試験結果

採取位置	vEo (J)	vBo (%)	Tre (°C)	Trs (°C)
フランジ	185	54	-31	3
溶接金属	103	72	-14	9
HAZ	201	23	-20	-17

*1 信州大学工学部建築学科 教授・工博

*2 千葉工業大学工学部建築都市環境学科 教授・工博

*3(株)角藤 鉄構事業部・博士(工学)

*4(株)スノウチ 技術開発部

*5 信州大学工学部大学院生

Prof., Faculty of Engineering, Shinshu Univ., Dr. eng.
 Prof., Faculty of Engineering, Ciba institute technology Univ., Dr. eng.
 Kakuto Corporation, Steel Structure Division, Dr. eng.
 Sunouchi Corporation, Technology Development Division
 Graduate Student Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

形状の異なる固形エンドタブを用いた突き合わせ溶接継手の引張試験

その2 実験結果及び考察

正会員○村松 亮介*5 同 中込 忠男*1 同 山田 丈富*2
同 的場 耕*3 同 原 章*4

柱梁溶接接合部 固形エンドタブ 最大荷重
端部欠陥 亀裂 低温試験

1. はじめに

その1で報告した、固形エンドタブ（在来：F型、改良：Y型）と端部の欠陥を変数とした溶接部の引張実験の破断性状と荷重変形関係を報告し、タブの違いや欠陥が継手性能に与える影響について考察する。

2. 実験結果

2.1 破壊性状

欠陥寸法の計測及び破壊形態を確認するため、破断した試験体のフランジ側破断面を目視で観察した。実験結果を表1に、破断面の写真を写真1に、破壊性状を図1に示す。欠陥無し of Fn、Yn 両試験体は、延性亀裂が進展した後、溶接金属部で脆性破壊した。Yn は、すみ肉溶接の始端部が起点となった。欠陥を挿入した試験体は全て欠陥を起点とし、ダイアフラム側 HAZ (熱影響部)近傍で破壊に至った。F20-5 は左右両方の欠陥から延性亀裂が進展した後、脆性破壊した。Y20-5 は片側の欠陥から延性亀裂が進展した後、脆性破壊した。7-20 の両試験体は片側の欠陥を起点とし、ダイアフラム側 HAZ に沿って脆性破壊した。

2.2 欠陥寸法

実測した欠陥寸法は、挿入した鋼板の一部が溶け込み、計画した寸法より小さくなる傾向にあるが、およそ予定した欠陥寸法となっていた。UT 試験結果と実測した欠陥寸法を比較すると、概ね形状を捉えているが、長さは4mm程の誤差があった。高さは欠陥が大きくなると精度が悪くなり、4mm程の誤差であった。

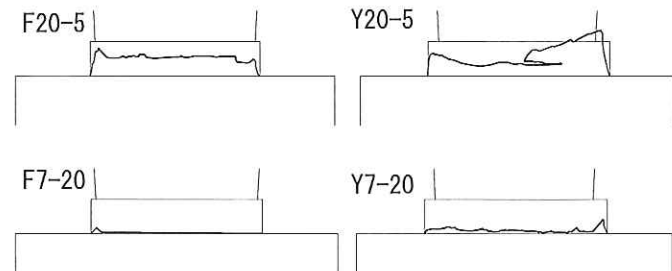
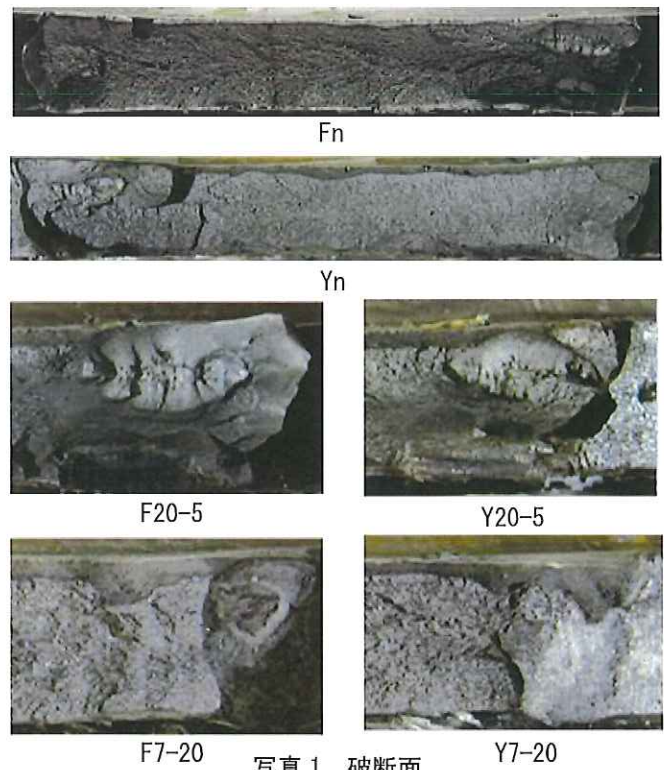
2.3 荷重変形関係

図2に荷重-変形関係を示す。欠陥無し、7-20の両試験体は、わずかに荷重低下した後に破壊した。20-5の両試験体は、かなり荷重低下した後に破壊した。欠陥無し、欠陥のパラメータが同一の試験体でタブの違いを比較する。Y型はF型に比べ、最大荷重、変形能力ともに上回った。欠陥の大きさに着目すると、F型、Y型ともに欠陥寸法が大きくなるに従い、最大荷重が小さくなる傾向がある。その傾向はY型の方が顕著であり、欠陥寸法が小さくなると、Y型とF型との最大荷重の差が大きくなる。欠陥無しの試験体ではF型とY型の差が大きく現れた。7-20では最大荷重、変形能力ともにタブの違いによる差は少ない。

表1 実験結果

試験体名	欠陥位置	最大荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	破断パターン	UT(mm)		実欠陥(mm)	
					測定長さ	推定高さ	長さ	高さ
Fn	左	1410	1400	C	0	0	-	-
	右				0	0	-	-
F20-5	左	1555	1543	D	22	4.3	18	5
	右				20	10.6		
F7-20	左	1320	1201	B	7	18.6	20	5
	右				7	15.9		
Yn	左	1425	1357	B	0	0	-	-
	右				0	0	-	-
Y20-5	左	1281	1273	A	16	3.2	7	12
	右				19	5.9		
Y7-20	左	1307	1278	A	7	13.3	10	15
	右				7	15.4		

A: 欠陥から脆性破壊 B: 欠陥から延性亀裂進展後、脆性破壊
C: 溶接部根点から脆性破壊 D: すみ肉溶接始端部から微小の延性亀裂進展後、脆性破壊



3 考察

3.1 固形エンドタブの違い

欠陥パラメータ毎に Y 型と F 型の最大荷重を比較し、図 3 に示す。Y 型は F 型と比べ、欠陥寸法が小さくなるにつれて、荷重の上昇率が向上する傾向があり、タブ形状の違いによる影響があると思われる。Y 型のタブはダイアフラム側が表層に向かって広がる形状となっており、溶接部の幅が F 型に比べて Y 型の方が大きくなる。試験体の板厚 20mm の表層を実測値すると平均で 8.3mm 大きかった。母材幅が 100mm のため、Y 型の溶接部の断面積が 1 割弱増えることになる。

欠陥が無い n シリーズについて、断面積は開先側の方が小さく、フランジ母材が塑性変形し開先側で破断しており、Yn の最大荷重、変形能力が向上したと考えられる。初層に挿入した 20-5 シリーズについて、Y20-5 は片側の欠陥から亀裂が進展し、F20-5 は両端の欠陥から延性亀裂が進展し破断した。Y 型の方が最大耐力、最大荷重時の伸びは大きい、n シリーズほどではない。欠陥の高さを板厚分とした 7-20 シリーズは、欠陥が端部の貫通欠陥に近い形状であり、溶接部の幅が違う効果が現れにくく、変形性能にあまり違いがない。最大荷重は Y 型の方が大きい、その差は少ない。以上より、Y 型が F 型より高い性能を確保し、欠陥寸法が小さい試験体ほどその差が大きくなると考えられる。但し、本試験体は溶接幅が 100mm であり、一般的な大梁のフランジ幅の 1/2~1/4 程度である。タブ形状の違いが溶接部の幅に影響する割合が大きく、違いが顕著に出る傾向にあったと考えられる。

3.2 溶接欠陥の影響

破断面から実測した欠陥寸法は、予定した形状に近いが、厳密には同じパラメータでも欠陥寸法は同じではない。欠陥の大きさの違いを考慮するため、既報と同様に日本溶接学会 WES2805¹⁾の亀裂特性寸法 (A_{eq})の等価則を用いて溶接部の性能を評価する。図 4 に平均破断応力と引張強さの比と亀裂特性寸法関係を示す。亀裂特性寸法は 7-20 シリーズ、20-5 シリーズ共に Y 型の方が大きい。このことから、F 型に比べ、Y 型の方が高い性能であったと考えられる。

4. まとめ

改良された固形エンドタブ (Y 型) は在来の固形エンドタブ (F 型) と比較し、耐力、変形性能ともに Y 型が上回った。欠陥寸法が大きくなるに従い、Y 型と F 型の差が縮まる傾向にあった。

なお、本研究は (社) 日本溶接協会ロボット溶接研究委員会厚板向けの最適ロボット溶接施工技術開発プロジェクトの研究活動の一環として行われたものである。

*1 信州大学工学部建築学科 教授・工博
 *2 千葉工業大学工学部建築都市環境学科
 *3 榑角藤 鉄構事業部・博士(工学)
 *4 榑スノウチ 技術開発部
 *5 信州大学工学部大学院生

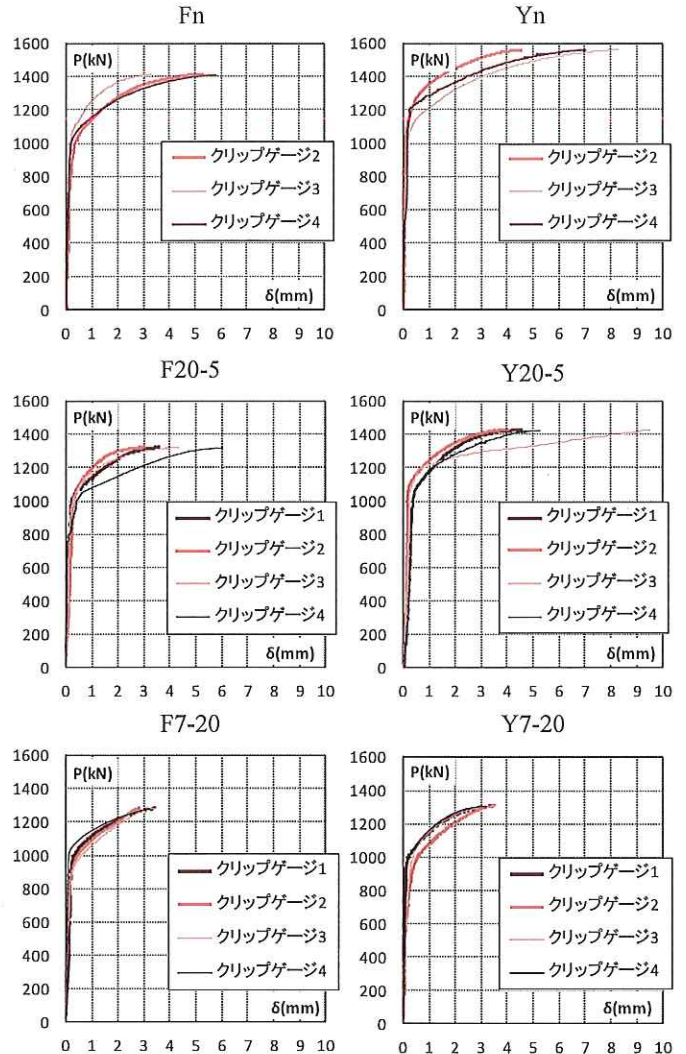


図 2 荷重-変形関係

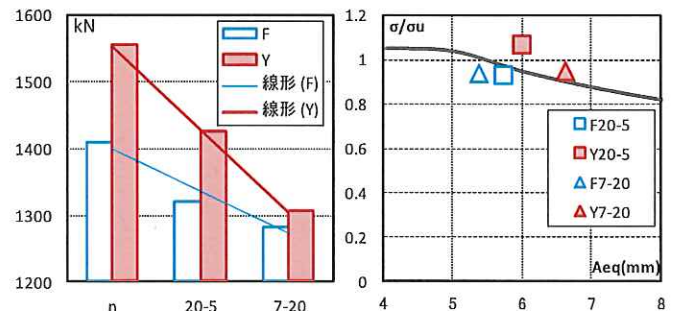


図 3 最大荷重の比較

図 4 $\delta - A_{eq}$ 関係

【参考文献】

1) (社) 日本溶接協会: WSE2805-2011, 溶接継手の脆性破壊及び疲労亀裂進展にたいする欠陥評価方法, 2011, 10