

技術ノート

キーワード

鉄骨鋼材
溶接方法
切り欠き
高歪度
疲労試験鉄骨仕口部の溶接継手に関する
性能確認試験Experimental Application on Beam-to-Column Connection of
Welding Joints高田 和 守*
Kazumori TAKADA湯田 誠**
Makoto YUDA

1. まえがき

現在、建築における耐震設計法では、終局耐力が検討され、塑性状態が考慮された中で、十分な変形能力をもたせると同時に部材が破断に至らないことが必要条件となっている。その中で、鉄骨仕口部は、骨組をラーメン構造とした場合、部材の曲げモーメントが最大になる位置にあり、柱・梁の軸方向力、せん断力とともに各応力がスムーズに伝達され、地震などに対して、図-1の例に示すように塑性化領域が生じることなどから、十分な曲げ耐力を備えておく必要がある。

最近の建築鉄骨では多くの高層ビルなどの設計において、ボックス柱構造がよく取り入れられている。上述の各応力分布を含み、ボックス柱構造を伴った仕口部周辺の溶接には、以下のような溶接方法が一般的に採用されている。

① 柱フランジとダイヤフラム

非消耗式エレクトロスラグ溶接法(以後SESNET法と称す)

② 柱フランジと仕口部フランジ

炭酸ガス半自動アーク溶接法

これらの溶接方法に共通して言えることは、裏当て金を使用していることであり、柱フランジに対しての裏当て金との不溶着部による人工的な切り欠きが生じていることである。これに対し地震などの外的作用力が働く場合、これら切り欠きが起点とされる接合部の破壊の恐れがある。

本実験では、上述のような継手をモデル化し、大地震時に予想される高歪を梁フランジに相当する部分に繰返し作用させ、SESNET法による溶接部と、その周辺の

亀裂発生性状を把握するとともに、TMCP鋼、SM58Q鋼など今後使用頻度の高くなると予想される鋼種についても同時に検討した。なお実験を行うにあたり、基礎的な機械試験については当社にて行い、モデル化した試験片による高歪低サイクル疲労試験は、千葉工業大学建築学科橋本研究室(橋本教授)にて行った。本文ではその試験結果について報告する。

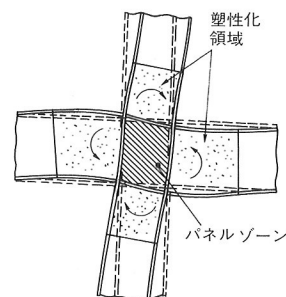


図-1 地震力が作用するときの剛接合
(柱・梁接合部具体例)

2. 実験の概要

実験をはじめると同時に、今回の目的である鉄骨仕口部の状況を反映させるため、試験体は実物大と同等のものとし、図-2 a)に示す実物の断面形状からb)に示す位置を今回のモデルとした。なおb)については使用鋼材をSM50Bとし、同時に検討を行ったTMCP材、SM58Q材については、c)に示すように、やや簡略化した試験体を使用した。ここに示すすべての試験体は実際行われる溶接方法を用い、柱フランジとダイヤフラム相当部にはSESNET法を、柱フランジと梁フランジには炭酸ガスアーク溶接法を採用した。

*川田工業㈱四国工場次長 **川田工業㈱技術本部溶接研究室

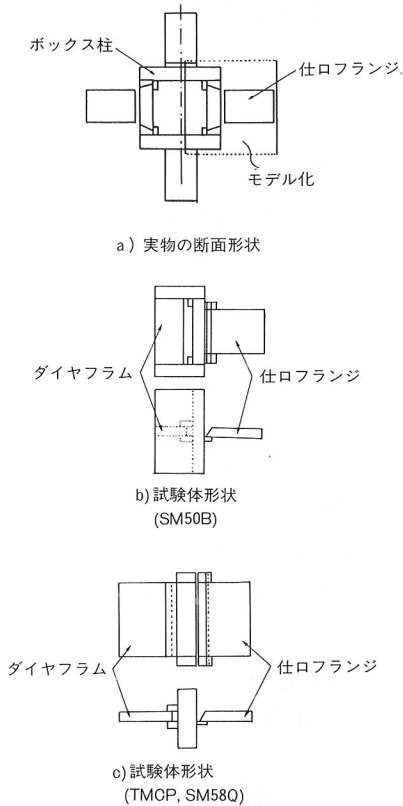


図-2 試験体

溶接が終了した試験体は、外観検査、超音波探傷試験を行ったのち、後述の表-4に示す採取位置にて、マクロ試験片と疲労試験片(単調载荷を含む)に分けられる。疲労試験片は前述のように裏当て金を使用するうえでの人工的な切り欠きを期待するものであり、採取されたものは、ダイヤフラムと梁フランジに相当する部材との仮付け溶接は行われていない。図-3に疲労試験片の形状を示す。表-1に今回の試験内容を示す。表に示すように、疲労試験は、単調载荷を含む最高20回の繰り返し载荷による歪振幅1%および3%の高歪低サイクル疲労試験を行った。図-4に载荷模式図を示す。

(1) 供試鋼材および溶接材料(溶接条件)

本実験に使用する供試鋼材の化学成分を表-2に、溶接材料と溶接条件を表-3に示す。なおSM50B鋼、TMCP鋼、SM58Q鋼ともに同一条件で施工した。

表-1 試験内容

試験場所	TP No.	試験項目		
川田工業	No. 1	マクロ試験		
	No. 3	硬度試験		
	《疲労試験》	载荷形式	歪振幅(%)	繰り返し回数
千葉工大	No. 1	単調载荷	...	...
	No. 3	繰り返し载荷	1	20
	No. 3	繰り返し载荷	3	20

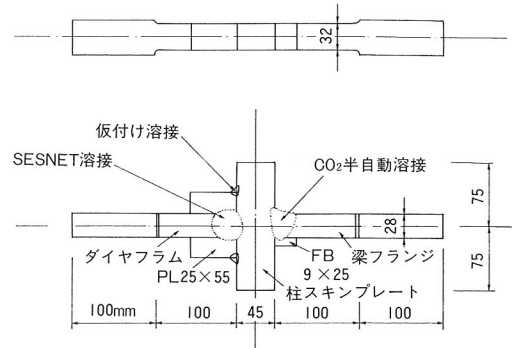


図-3 試験片例(AM, AC1, AC3)

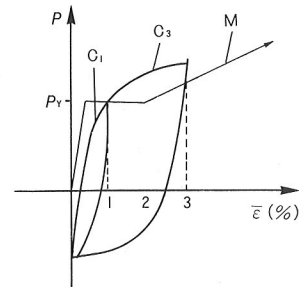


図-4 载荷模式図(高歪低サイクル疲労試験)

表-2 供試鋼材

TPNo.	板厚 (mm)	鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
			×100			×1000		× 100				×1000	
No. 1	28	SM50A	15	34	135	18	3	...	...	...	...	...	...
	45	SM50B	17	36	136	13	2	...	...	...	...	...	...
No. 2	32	TMCP SM50B	13	24	121	18	6	...	...	...	...	...	...
No. 3	36	SM50B	15	37	131	13	2	...	...	...	...	4	...
	80	SM58Q	12	24	140	16	4	21	51	3	18	5	...

表-3 溶接材料と溶接条件

TP No.	溶接方法	溶接材料	溶 接 条 件			
			電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
No. 1 No. 3	SESNET	YM-55A (φ1.6) H 鐵	360...400	44...50	2...3	400...475
	炭酸ガス 半自動アーク溶接	MG-50G (φ1.2) 神 鋼	300...400	36...42	20...40	25...34

(2) 試験体形状と開先形状

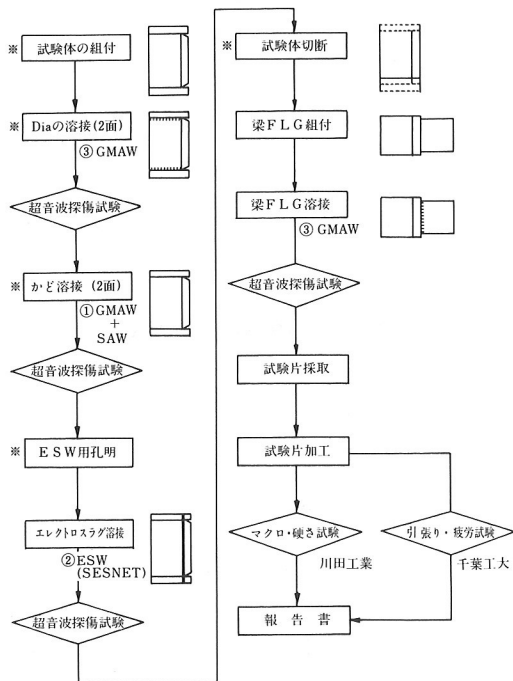
試験体形状と開先形状について表-4に示す。

表-4 試験体形状と開先形状

TPNo.	使用鋼材		試験片採取要領	開先形状
	部 位	材 質		
No. 1	① 柱フランジ	SM50A		
	② ダイヤフラム	SM50B		
	③ 梁フランジ	SM50B		
No. 2	① ③	TMCP SM50B		
	① ② ③	SM58Q SM50B		

3. 実験のフローチャート

実験のフローチャートを図-5に示す。ただし試験体No. 2～No. 3については、実物大のものから採取しないので、作業工程としては、直接SESNET溶接から行うこととする。



注) 試験体No. 2, No. 3について, ※印部の内容は省略する。

図-5 実験のフローチャート

4. 実験結果および考察

(1) 超音波探傷試験結果

TP(試験体)No. 1のダイヤフラムにおけるCO₂溶接部, SESNET溶接部, 角継手溶接部, 梁フランジ溶接部, およびTPNo. 2と3におけるSESNET溶接部, 梁フランジ溶接部について超音波探傷試験を行ったが, 特に問題はなく, 本試験溶接部には異常がないことが確認できた。

(2) マクロ, 硬度試験

試験体両端部で採取されたマクロ試験片(硬度試験兼用)を写真-1に示す。マクロ試験としては, No. 1～No. 3とともに, 欠陥は見られず十分な溶け込みが得られている。また硬度試験では, 図-6に示すように板表面両端より2mmおよび中央部の3ラインを計測した。結果を表-5に示す。表に示すようにすべて規格値を十分に満足する

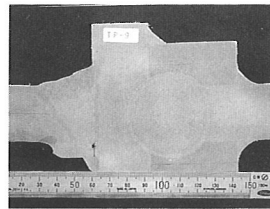


写真-1 マクロ写真
(No.2 TMCP材の例)

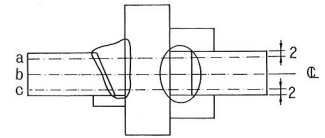


図-6 硬度測定位置

表-5 マクロ, 硬度試験結果

TP No.	位 置	a ~ c	最高硬さ (Hv=10kg)
No. 1	ESW エンド部	a	238.0
		b	224.0
		c	230.0
No. 2	ESW スタート部	a	202.1
		b	217.4
		c	221.3
	ESW エンド部	a	213.6
		b	206.4
		c	258.4
No. 3	ESW スタート部	a	236.0
		b	228.3
		c	221.5
	ESW エンド部	a	224.5
		b	221.4
		c	218.9

※測定ピッチは母材・溶着金属部を3mmピッチで, 熱影響部を1mmピッチで測定する。測定はビッカース硬度計を用い, 荷重10kgで測定する。

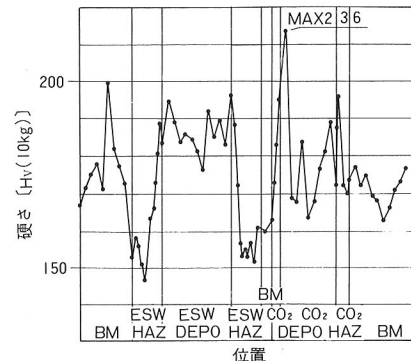


図-7 硬度試験測定結果例
(No. 2, TMCP, aライン)

値が得られた。No. 2 のTMCP鋼板であるが、含有合金元素の低い調質鋼板であるために通常いわれているHAZ部の軟化が予想されたが、今回の結果では、それほど顕著ではなかった。

(3) 疲労試験

疲労試験は、実験の概要に述べたように、単調載荷を含む高歪低サイクル疲労試験を行った。載荷は島津サーボパルサ(EHF-50)疲労試験機を用いてマニュアル操作(10分/1サイクル程度)で行い、梁フランジの材質や形状に影響の出ない位置に貼付した歪ゲージにより載荷を制御した。写真-2に載荷時の状況を、図-8にゲージ位置を示す。なお、載荷時の亀裂の発生・進展などは、倍率10倍の拡大鏡を用い目視で観察した。

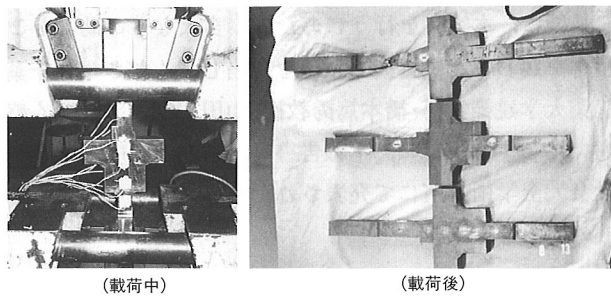


写真-2 高歪低サイクル疲労試験

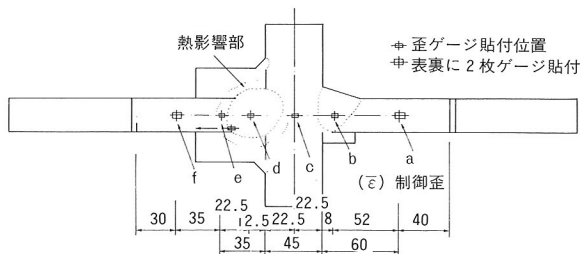


図-8 歪ゲージ位置例(No. 1)

加力軸線上に貼付した歪ゲージによる歪分布を、単調載荷(図-9)、C1(図-10)、C3(図-11)のそれぞれについて示す。これにより柱フランジ内部(C位置)では、歪領域が梁フランジ部より拡大すること、溶着金属内(b,d位置)では、溶着金属の降伏点が梁フランジ母材よりも高いことがわかる。また、余盛り、溶け込みによる断面積の拡大などにより弾性状態となっていると考えられるが、ダイヤフラム側のe, f位置ではSESNET溶接の裏当て金の拘束効果により制御歪より小さい値となっている。

また表-6に載荷後の実験結果を、図-12~14に各試験片別のC1の亀裂発生、進展状況を示す。以上より明らかになったことを以下に述べる。

- ① 単調載荷の試験片は、いずれも亀裂は発生するもののほとんど進展せず、梁フランジ母材で破断する。
- ② 繰り返し載荷の試験片にはすべて亀裂が発生する

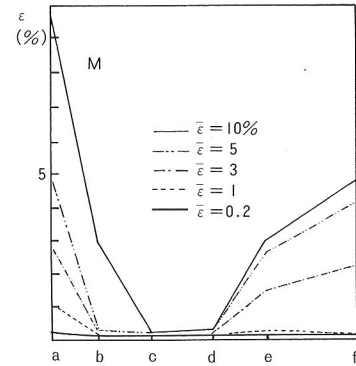


図-9 単調載荷歪分布図<No. 1の例>

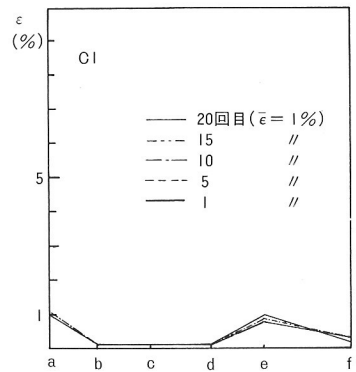


図-10 C1(1%歪)歪分布図<No. 1の例>

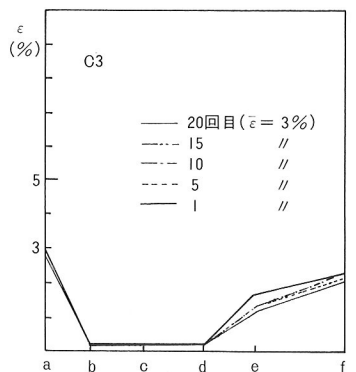
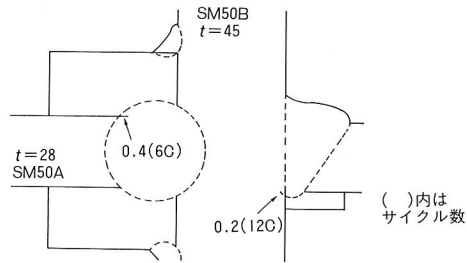


図-11 C3(3%歪)歪分布図<No. 1の例>

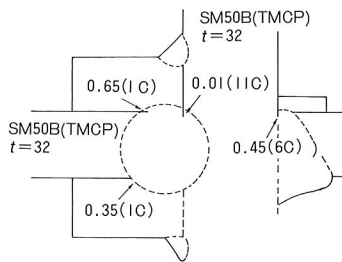
表-6 実験結果

TPNo.	試験種別	降伏応力度	最大応力度	初期亀裂発生時期	最終状態
No. 1	単調載荷	3.60	5.26	2.9%	梁フランジ母材破断
	C 1	3.58	3.66	6 サイクル	破断せず
	C 3	3.06	4.40	2 サイクル	破断せず
No. 2	単調載荷	4.06	5.32	1.0%	梁フランジ母材破断
	C 1	4.12	4.47	1 サイクル	破断せず
	C 3	4.17	4.87	1 サイクル	破断せず
No. 3	単調載荷	3.25	5.01	4.0%	梁フランジ母材破断
	C 1	3.17	3.33	2 サイクル	破断せず
	C 3	3.29	4.20	1 サイクル	破断せず(座屈)



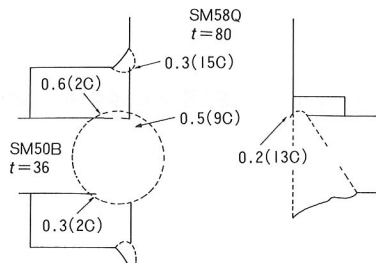
*最終亀裂長さ(mm,10倍で図示)

図-12 C1(No.1)の亀裂の状況



*最終亀裂長さ(mm,10倍で図示)

図-13 C1(No.2)の亀裂の状況



*最終亀裂長さ(mm,10倍で図示)

図-14 C1(No.3)の亀裂の状況

が、耐力低下を起こすような大きな亀裂進展はなく、破断には至らない。

- ③ SESNET溶接部において、裏当て金とダイヤフラム部間の切り欠きが最も亀裂発生・進展に対し敏感であり、通常のV形突き合わせ溶接部の裏当て金による切り欠きよりも亀裂発生し進展しやすい。
- ④ 今回のTMCP鋼の試験片(No.2)は、载荷形式・歪レベルによらず、他のものより亀裂発生時期が若干早い。

以上の結果は、今回実験を行ったものと同形状、同一溶接方法を用いて、梁フランジとダイヤフラムに同程度の機械的性質・靱性を有する材料を適用した場合に結論とされるものである。また、今回溶接性重視のために炭素当量の低いTMCP鋼(No.3)も採用したが、靱性に関しては必ずしも整合しない結果となった。これについては、溶着金属の靱性の影響が大きいことや、降伏点、降伏比が高く、同歪値でも亀裂発生に費やされるエネルギー

ーが大きかったことなどが考えられる。

5. あとがき

今回は、ボックス柱とダイヤフラムの接合に非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接法(SESNET法)を用いた継手に関して、梁フランジと柱フランジ、ダイヤフラム部分を取り出し、各々のモデルに対して、静的引張実験および大地震を想定した高歪低サイクル疲労試験を行った。継手形状や溶接方法を含む今回のモデルは、実際の構造物と同等の状態であり、建築用鋼板が持ち得ている亀裂発生およびその進展抵抗能力に対する地震などの高歪度がどのように影響するかが把握できた。今後は、使用鋼材、施工方法を含めた検討をさらに進めていく必要がある。

最後に、本実験を行うにあたり、多大なるご助言とご指導を賜わり、また疲労試験を担当してくださった千葉工業大学建築学科・橋本篤秀教授、山田丈富助手に深く感謝いたします。なお、本報告書は、昭和63年度日本建築学会大会学術講演にて発表されたものの一部を引用したものである。