

柱梁溶接接合部の高速載荷試験

Dynamic Loading Tests on Welded Beam-to-Column Joints

大井 謙一*・高梨 晃一**・嶋脇 與助*・近藤 日出夫*・張 曉光*

Kenichi OHI, Koichi TAKANASHI, Yosuke SHIMAWAKI, Hideo KONDO, Xiaoguang ZHANG

1. はじめに

阪神淡路大震災や米国ノースリッジ地震では柱梁溶接継目に様々な形式の破壊現象が見られた。破壊現象に影響を与える要因としては (1) 部材の断面形状による変形の拘束効果 (形状効果), (2) 部材を構成する大きい板厚の効果 (寸法効果), (3) 高速の載荷による高歪速度の効果 (載荷速度効果) の3つが考えられる。一般に構造物の耐震性能を検討するとき, 準静的載荷時における復元力特性を地震時にそのまま採用し得る仮定として, 準静的載荷実験を用いて要素の変形能力や復元力特性を検討してきた。破断現象を対象とする場合, 上述の3つの影響要因を考慮する必要があるが, このうち, 鉄骨構造において, これまで載荷速度を考慮した実験が実施されている。しかしながら, これらの実験はその多くが材料レベルの実験であり, 実際の構造に近い部材レベルの載荷実験例は少ない。また, 破壊現象が温度にも大きく影響をされていることが古くから知られており, 特に低温になるほど, 脆性破壊が起こりやすくなることがすでに報告されている。本章では, これらの影響要因を考慮した上, 主に載荷速度効果と温度に注目して溶接によって構成される接合部の力学試験を行い, それらの破断性状を検討する。

2. 実験の概要

柱梁接合部における梁端部の接合部を模擬するために, 一端を溶接接合部, 他端を自由とした片持ち梁を製作し, 接合部は柱のフランジ表面としてのエンドプレートに溶接して, 他端に載荷する実験を行う。試験体は図1 (a) に示す。梁部分は60キロ級鋼材 (SA440 B, 表1に材料

試験結果を示す), 板厚 25 mm と 19 mm の鋼板を用いた H 型に溶接し, 組み立てたものである。表2は試験体断面パラメータを示し, 表3では梁端の溶接条件が示されている。梁フランジとエンドプレートの溶接方法は図2が示しているような内側から溶接したもの (FW タイプ) と, 外側から溶接したもの (DW タイプ) とした。FW タイプと DW タイプの試験体をそれぞれ5体づつ製作し, 各タイプにつき載荷方法 (準静的, 動的) と温度 (室温, -40°C , -80°C) をパラメータにし繰り返し載荷を行っ

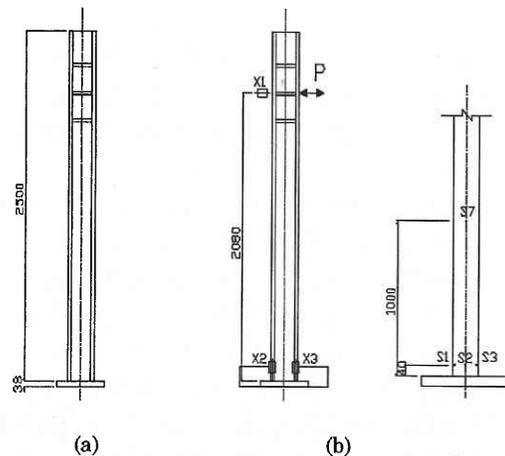


図1 試験体

表1 材料試験結果

		σ_y (t/cm^2)	σ_u (t/cm^2)	YR (%)	EL (%)	E_0 (J)
FWタイプ	Flange	5.50	6.79	81.0	22.2	186~ 263
	Web	4.86	6.40	75.9	25.0	
DWタイプ	Flange	5.27	6.70	78.7	23.4	
	Web	4.76	6.19	76.9	29.0	
Base		4.83	6.16	78.4	28.3	

*東京大学生産技術研究所 第5部

**東京大学名誉教授

研究速報

表2 試験体パラメータ

	H (mm)	B (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	A (cm^2)	I_x (cm^4)	Z_p (cm^3)	M_p ($t \cdot cm$)	δ_p (cm)
FW01	219.1	109.7	24.7	18.9	76.8	5418	607	3226	4.09
FW02	219.7	109.6	24.9	18.7	77.0	5475	612	3251	4.08
DW01	219.3	109.6	24.7	18.7	76.6	5422	605	3096	3.92
DW02	220.0	109.9	25.1	18.7	77.6	5536	615	3153	3.91
FW03	219.4	109.8	25.0	18.8	77.3	5475	611	3127	3.92
DW03	219.6	109.0	24.8	19.0	76.9	5430	606	3101	3.92
FW04	219.7	109.8	24.9	18.9	77.4	5486	611	3130	3.92
DW04	219.7	109.8	24.9	18.9	77.3	5484	611	3129	3.92
FW05	219.7	109.6	25.0	18.8	77.2	5485	611	3129	3.92
DW05	219.7	109.4	25.1	18.9	76.9	5442	607	3107	3.92

表3 溶接条件

溶接速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)	余熱温度 ($^{\circ}C$)	パス間温度 ($^{\circ}C$)	パス数
36~38	17.7~19.3	500~100	250以下	11

た。

載荷実験は東大生研・千葉実験所に設置された高性能アクチュエータ(準静的載荷時最大 $\pm 30\text{ ton}$, $\pm 20\text{ cm}$, 最大ストローク速度 100 cm/sec)を用いて変位制御で行った。

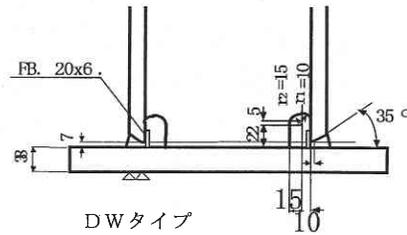
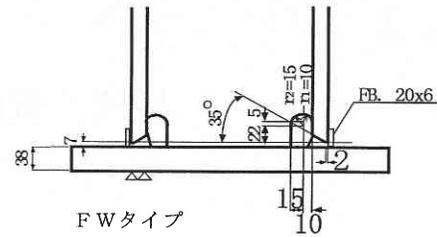
各タイプの試験体とも準静的載荷においては周波数 0.01 Hz のSIN波を採用しており, 動的載荷では各振幅に対してほぼ同一の部材角速度(最大 0.5 sec^{-1} , 平均 0.3 sec^{-1})が得られるよう, 振幅を概ね反比例した周波数 $1\sim 4\text{ Hz}$ のSIN波を採用した。

計測は図1(b)で示しているようなアクチュエータの荷重P, 載荷点の変位X1, エンドプレートの浮き上がりX2, X3のほか, 梁フランジの溶接部近傍(梁フランジ面)と梁接合端部高さ 1000 mm (梁フランジ面)の四カ所における歪測定(S1~S8)を行った。

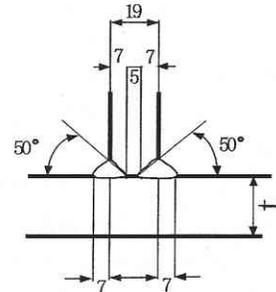
3. 実験結果

表4は測定した歪速度の最大値である。歪ゲージの添付した場所は溶接部より若干離れているが, 測定結果による最大歪速度は 0.3 sec^{-1} となり, かなり大きく, 現実の地震応答における最大級の歪速度であると考えられる。

繰り返し載荷の部材端部のモーメント-部材角の関係



Flange, End PL 溶接詳細



Flange, Web 溶接詳細
Web, End PL 溶接詳細

図2 溶接方法

表4 最大歪速度

試験体	温度	部材角	周波数(Hz)	最大歪速度(sec^{-1})
FW02	室温	0.062	1	0.28
FW03	-40 $^{\circ}C$	0.069	1	0.29
FW04	-80 $^{\circ}C$	0.039	2	0.30
DW02	室温	0.063	1	0.30
DW03	-40 $^{\circ}C$	0.082	1	0.27
DW04	-80 $^{\circ}C$	0.047	2	0.28

は図3, 4, 破断するまでの各振幅における経験したサイクル数を表5で示す。従来の研究では軟鋼などの場合, 歪速度の影響で, 降伏応力が上昇することがすでに確認されているが, 本実験では降伏耐力の上昇および復元力特性の差異はほとんど見られなかった。

材料レベルでは, 例えばシャルピー衝撃値の遷移温度が歪速度によって上昇することなどが報告されており, 部材レベルでも動的載荷に対しては脆性破壊が生じやす

くなることが予想される。しかしながら、DW タイプの梁試験体においてはほぼ同時期であり、FW タイプにおいてはむしろ動的載荷の方が半サイクル破断が遅れた。低温時においては、遷移温度よりも高い -40°C では室温時と比べて破壊時期の差があまりなかったことに対して遷移温度よりも低い -80°C では動的載荷は準静的載荷にくらべて破壊時期が若干早かった。

4. ま と め

比較的高い破壊靱性を有する 60 キロ級高性能鋼の梁端溶接部をこの実験の対象としたが、実験範囲内では室温時地震時に予想される高い歪速度を受けても、復元力特性や破壊性状に準静的な載荷時のものと差はほとんど見られなかった。低温時 (-80°C) においては室温時に比べて破壊時期が早い。

5. 謝 辞

この研究の一部は文部省科学研究費補助金重点領域研

究 (2) 「高速載荷を受ける溶接接合部の破断性状」(課題番号: 08248207), (社) 日本鋼構造協会鋼構造新設計法研究小委員会研究費、(財) 鹿島學術振興財団研究助成金によった。

(1997 年 8 月 26 日受理)

参 考 文 献

- 1) 高梨晃一, 孟令樺, 近藤日出夫, 嶋脇興助, 桑村仁, 鈴木孝彦: 低 YR 高張力鋼骨組の耐力と変形性能, 日本建築学会大会學術講演梗概集, 21269, 1989 年 10 月, pp. 1033-1034.
- 2) 中島正愛, 加藤博人: 鋼構造部材の復元力特性に及ぼす載荷速度の影響 (その 1. H 型断面を持つ片持梁を対象にした動的載荷実験) 日本建築学会大会學術講演梗概集, 21180, 昭和 62 年 10 月, pp. 875-876.
- 3) 青木博文, 加藤勉, 難破恒夫, 佐藤亘宏: 変断面鋼板引張材の変形能力に及ぼす試験温度・ひずみ速度の影響, 日本建築学会論文報告集, 第 322 号の影響, 日本建築学会論文報告集, 第 322 号, 昭和 57 年 12 月, pp 11-19.

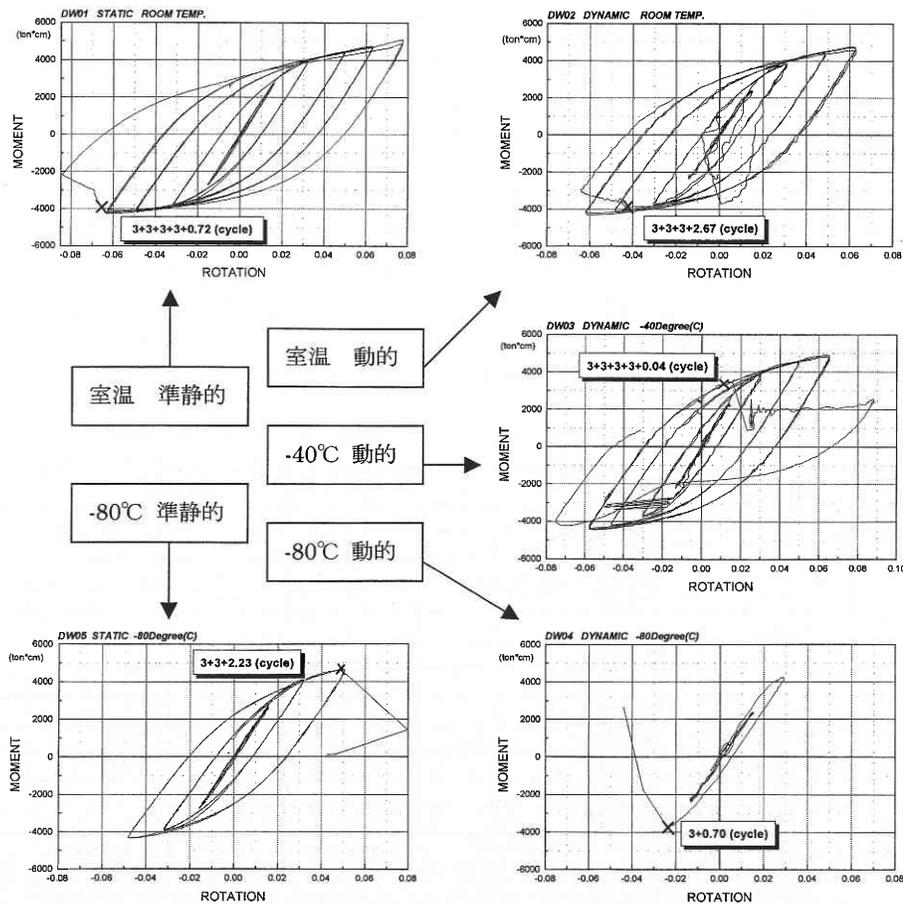


図 3 DW タイプ試験体曲げモーメント-部材角関係図

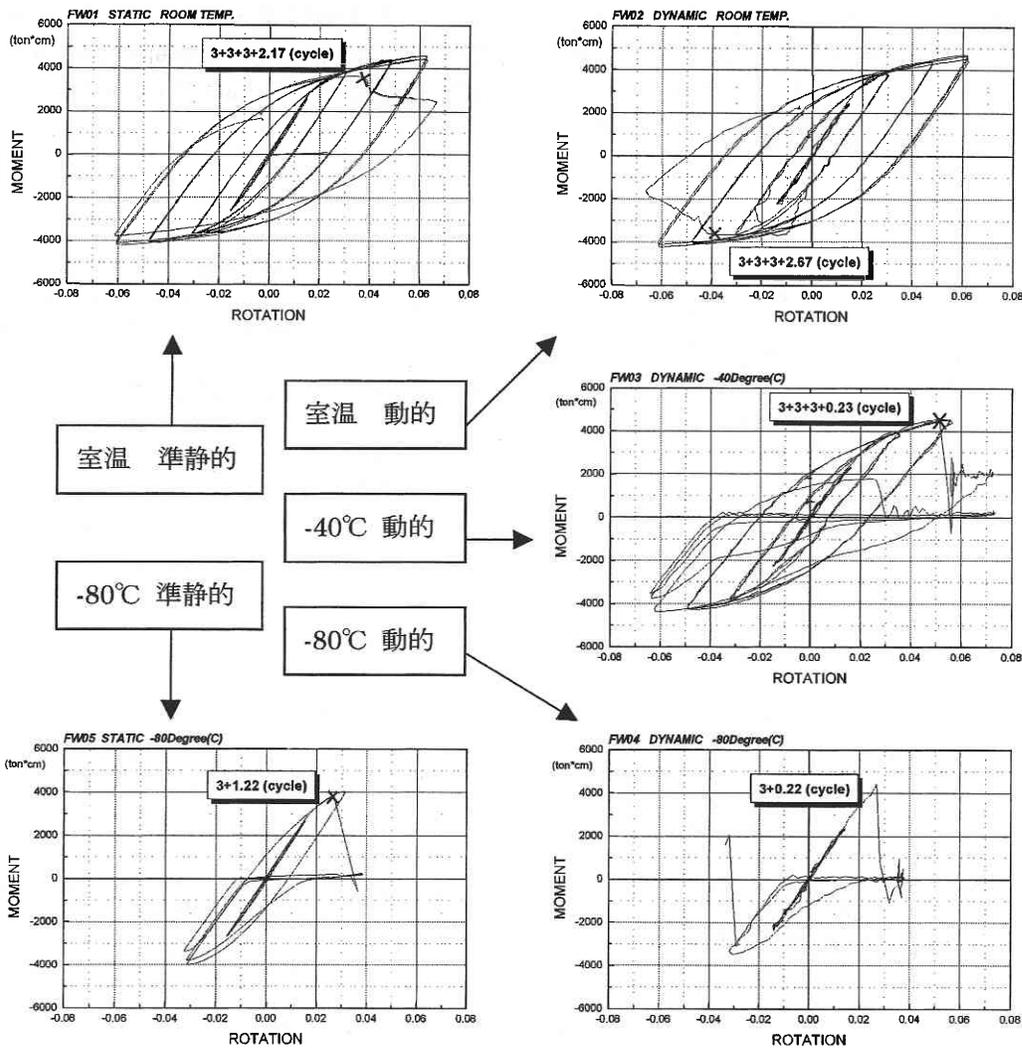


図 4 FW タイプ試験体曲げモーメント—部材角関係図

表 5 破断するまでの各振幅における経験したサイクル数

試験体名称	試験温度	載荷方法	片振幅別の経歴(サイクル数)				
			δ_p	$2\delta_p$	$3\delta_p$	$4\delta_p^*$	$5\delta_p^*$
FW01	10°C	準静的	3±	3±	3±	2± + α	
FW02	10°C	動的	3±	3±	3±	3± - α	
FW03	-40°C	動的	3±	3±	3±	+ α	
FW04	-80°C	動的	3±	+ α			
FW05	-80°C	準静的	3±	1± + α			
DW01	10°C	準静的	3±	3±	3±	3±	1± - α
DW02	10°C	動的	3±	3±	3±	3± - α	
DW03	-40°C	動的	3±	3±	3±	3±	+ α
DW04	-80°C	動的	3±	1± - α			
DW05	-80°C	準静的	3±	3±	3± - α		

但し： δ_p ：40mm $4\delta_p^*$ ：150mm $5\delta_p^*$ ：180mm
 各最終サイクルにつき、変位のプラス方向において破断が起きた時に+ α とし、変位のマイナス方向において破断が起きた時は- α とする。