

# 鋼製リングにより補強された有孔梁の力学性状に関する研究 (その1 部分引張実験とせん断実験)

正会員 ○村田 学\*1  
同 平山貴章\*1  
同 角屋治克\*2

有孔梁 すみ肉溶接 引張実験 せん断実験

## 1. はじめに

H形断面梁のウェブに円形の貫通孔を設けた有孔梁については種々の補強方法が提案されている。中でも厚肉スリーブをウェブに貫通させる方法<sup>1)</sup>やプレートによる補強方法が一般的である。厚肉スリーブ補強はウェブを貫通させるために必要以上に大きな欠損を設ける必要があり、プレート補強は溶接量が多くなるといった問題がある。そこで鋼製のリング外周をすみ肉溶接によりウェブ片面にウェブを貫通させずに取り付ける補強方法を提案する。この工法はウェブの欠損は最小に抑えられ、溶接量は比較的少なくすることができる。本報では有孔梁の部分実験として補強した有孔梁の引張実験及び有孔梁のせん断実験を行い、本工法の補強効果とウェブ、リング、すみ肉溶接の応力伝達機構を検証する。

## 2. 実験計画

引張実験に関して図1に概要を、図2に試験体詳細を、表1に試験体一覧を示す。引張実験は厚さ6mm、幅150mmの鋼板の中央に100mmの円形貫通孔を設けた試験体を用い、試験体両端に引張荷重を作用させた。試験体の貫通孔部分は厚さ $t_r$ と幅 $br$ が異なる4種類の鋼製のリングにより補強した。鋼板母材の鋼種はSS400とSM490Aの2種類とし、リングは全てSS400を用いた。比較のため用意した無補強の試験体を含め計10体を計画した。

せん断実験に関して図3に概要を、図4に試験体詳細を、表2に試験体一覧を示す。せん断実験はBH-175×90×6×9の梁中央に100mmの円形貫通孔を設けた試験体を用い、大野式載荷により貫通孔部分にせん断力を作用させた。貫通孔部分は引張実験と同様の4種類のリングにより補強し、梁の鋼種はSN400BとSN490Bの2種類、比較のため用意した無補強試験体を含め計10体とした。

試験体に用いた鋼材の引張試験結果を表3に示す。

## 3. 実験結果

図5,6,7,8にT40,T49,S40,S49シリーズの荷重変形関係をそれぞれ示し、表4に引張実験結果一覧を、表5にせん断実験結果一覧を示す。図5,6の縦軸は引張荷重を無補強の降伏引張

耐力 $P_{y0}$ で除した値とし、横軸は図1に示した変位計1,2の平均値を標点間距離380mmで除した値とした。図7,8の縦軸はせん断力を無補強の降伏せん断耐力 $Q_{y0}$ で除した値とし、横軸は図3の載荷点A,B間のせん断変形角とした。表4の降伏耐力 $ePy$ は0.2%オフセット値、表5のせん断耐力 $eQy$ は0.35%オフセット値とした。ここで、T40-15-22は変位の計測ができなかったため図5のグラフには示しておらず $eK, ePy$ は評価していない。

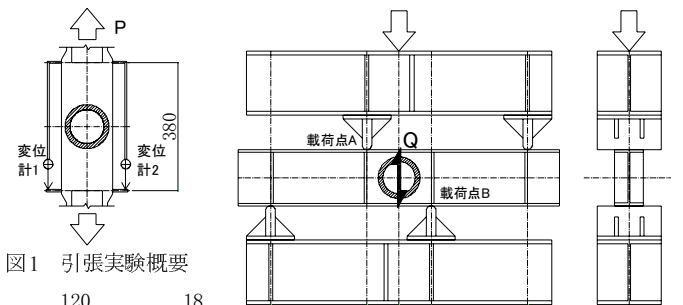


図1 引張実験概要

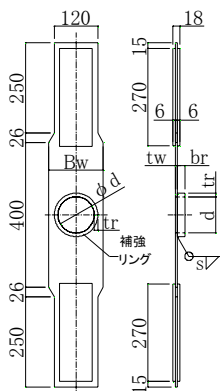


図2 引張実験試験体詳細

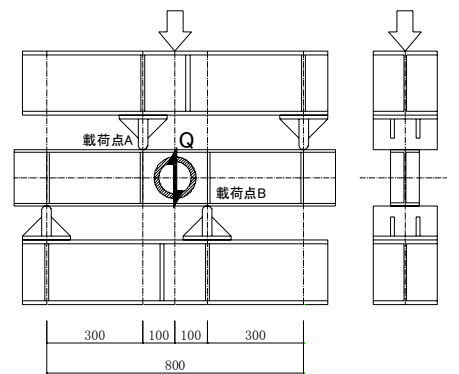


図3 せん断実験概要

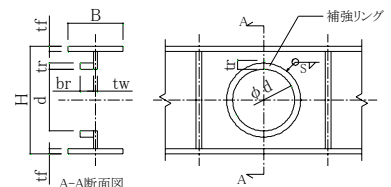


図4 せん断実験試験体詳細

表1 引張実験試験体一覧

No.	試験体名	母材			リング		溶接部	
		鋼種	tw (mm)	Bw (mm)	d (mm)	tr (mm)		br (mm)
1	T40-00	SS400	5.98	150	100	-	-	-
2	T40-10-22		5.93	149	100	10	22	4.1
3	T40-10-50		6.00	149	100	10	50	3.6
4	T40-15-22		6.08	149	100	15	22	3.8
5	T40-15-50		6.00	150	100	15	50	3.7
6	T49-00	SM490A	6.30	150	100	-	-	-
7	T49-10-22		6.28	150	100	10	22	4.3
8	T49-10-50		6.27	150	100	10	50	3.8
9	T49-15-22		6.30	150	100	15	22	3.9
10	T49-15-50		6.47	150	100	15	50	3.8

表2 せん断実験試験体一覧

No.	試験体名	梁母材					リング		溶接部		
		鋼種	H (mm)	B (mm)	tw (mm)	tf (mm)	d (mm)	tr (mm)	br (mm)	材料	s (mm)
11	S40-00	SN400B	175	91	6.05	9.03	103	-	-	-	-
12	S40-10-22		174	90	6.10	9.17	103	10	22	YFW-C50DM	3.8
13	S40-10-50		175	90	6.10	9.07	102	10	50	4.1	
14	S40-15-22		174	91	6.16	9.08	103	15	22	4.4	
15	S40-15-50		173	90	5.98	9.07	103	15	50	4.3	
16	S49-00	SN490B	176	90	5.95	9.42	102	-	-	-	-
17	S49-10-22		175	90	6.00	9.43	101	10	22	(T49JOT1-OCA-U)	4.0
18	S49-10-50		174	90	6.03	9.07	103	10	50	4.0	
19	S49-15-22		174	91	6.13	9.35	103	15	22	3.9	
20	S49-15-50		175	90	6.22	9.02	103	15	50	4.2	

表3 鋼材引張試験結果

鋼材	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	降伏比 (%)	使用部位	使用試験体
PL-6(SS400)	321	426	28.1	75.5	母材	No.1~5
PL-6(SM490A)	398	535	24.5	74.4	母材	No.6~10
PL-6(SN400B)	382	508	30.0	75.2	梁ウェブ	No.11~15
PL-9(SN400B)	308	425	30.0	72.5	梁フランジ	
PL-6(SN490B)	428	583	23.0	73.4	梁ウェブ	No.16~20
PL-9(SN490B)	376	538	25.0	69.9	梁フランジ	
PL-22(SS400)	271	418	33.0	65.0	リング	No.2,4,7,9,12,14,17,19
PL-50(SS400)	252	421	35.8	59.8	リング	No.3,5,8,10,13,15,18,20

Behavior of Steel Beam with Web Opening Using Steel Ring Reinforcement : Part1 Tension Tests and Shear Tests

MURATA Manabu,HIRAYAMA Takaaki and KADOYA Haruyoshi

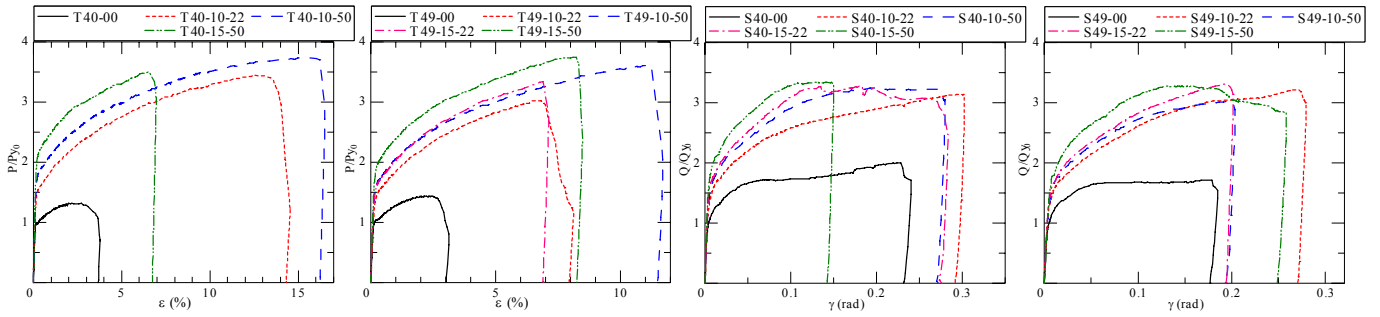


図5 T40シリーズ荷重変形関係 図6 T49シリーズ荷重変形関係 図7 S40シリーズ荷重変形関係 図8 S49シリーズ荷重変形関係

表4 引張実験結果及び耐力計算値

試験体名	eK (kN/mm)	ePy (kN)	ePmax (kN)	cPy (kN)	cPwu (kN)	ePy (kN)	ePmax (kN)	終局状況
T40-00	279	97	127	96	-	1.01	-	A
T40-10-22	312	152	336	116	-	1.31	-	A
T40-10-50	349	178	363	141	-	1.26	-	B
T40-15-22	-	-	364	144	260	-	1.40	C
T40-15-50	365	213	341	195	256	1.09	1.33	C
T49-00	322	126	172	125	-	1.01	-	A
T49-10-22	357	184	361	146	-	1.26	-	B
T49-10-50	395	205	432	170	281	1.21	1.54	C
T49-15-22	386	201	400	171	297	1.17	1.35	C
T49-15-50	416	243	447	227	299	1.07	1.49	C

表5 せん断実験結果及び耐力計算値

試験体名	eK (kN/rad)	eQy (kN)	eQmax (kN)	cQy (kN)	cQwu (kN)	eQy (kN)	eQmax (kN)	終局状況
S40-00	36384	104	191	96	-	1.08	-	D
S40-10-22	44241	138	299	111	-	1.24	-	E
S40-10-50	41008	154	309	130	195	1.18	1.58	C
S40-15-22	40945	162	313	130	205	1.25	1.52	C
S40-15-50	47783	181	319	162	198	1.12	1.61	C
S49-00	32962	122	188	108	-	1.13	-	D
S49-10-22	39628	154	353	126	215	1.22	1.64	C
S49-10-50	32958	174	333	139	208	1.26	1.60	C
S49-15-22	38474	177	365	141	219	1.25	1.66	C
S49-15-50	31953	198	361	181	228	1.10	1.58	C

$$cPy = \frac{8 \cdot rZp \cdot r\sigma_y}{R + tr/2} + wAh \cdot w\sigma_y \dots (1)$$

$$cQy = \frac{4\sqrt{2} \cdot rZp \cdot r\sigma_y}{R + tr/2} + wAh \cdot \frac{w\sigma_y}{\sqrt{3}} \dots (2)$$

$$cPwu = a \cdot le \cdot \frac{r\sigma_u}{\sqrt{3}} + wAh \cdot w\sigma_u \dots (3)$$

$$cQwu = \sqrt{2} \cdot a \cdot le \cdot \frac{r\sigma_u}{\sqrt{3}} + wAh \cdot \frac{w\sigma_u}{\sqrt{3}} \dots (4)$$

終局状況 A: 最小断面位置亀裂, B: リング外側母材亀裂, C: すみ肉溶接部亀裂, D: ウェブ亀裂, E: ストローク限界  
 eK: 初期剛性, ePy: 降伏耐力実験値, ePmax: 最大耐力実験値, cPy: 降伏耐力計算値, cPwu: すみ肉溶接部の最大耐力計算値  
 eQy: 降伏耐力実験値, eQmax: 最大耐力実験値, cQy: 降伏耐力計算値, cQwu: すみ肉溶接部の最大耐力計算値

引張実験における無補強試験体は2体とも最小断面位置に亀裂が生じ耐力が低下した。T40-10-22は母材の最小断面位置においてリングと母材が破断し耐力が低下した。T40-10-50, T49-10-22はリングの外側の母材に亀裂が生じて耐力が低下した。他の引張実験の試験体は全てすみ肉溶接部に亀裂が生じて耐力が低下した。補強された試験体は全てリングが楕円状に大きく変形した後、母材及びウェブの面外変形に追従して変形した。



写真1 T40-10-22 終局状況 写真2 S40-15-22 終局状況

せん断実験における無補強試験体は2体とも貫通孔部分のウェブに亀裂が発生し耐力が低下した。S40-10-22は耐力低下する前に試験機の载荷ストローク限界にいたり実験を終了した。他のせん断実験の試験体は全てすみ肉溶接部に亀裂が生じて耐力が低下した。

#### 4. 耐力評価

引張実験においては図9、せん断実験においては図10に示すように、リングには相対する等分布荷重wが作用しリング肉内にモーメントMrが生じる。このモーメントMrが最大となるのは $\theta = \pi/4$ の位置においてである。 $\theta = \pi/4$ の位置においてリング肉断面が全塑性状態に至るときにリングが負担する引張力とせん断力をリングの降伏耐力とすると、補強した試験体の降伏引張耐力cPyと降伏せん断耐力cQyはリングが負担する耐力とウェブ母材が負担する耐力の足し合わせとして、それぞれ式(1),(2)のように表すことができる。また、すみ肉溶接部に関しては図9,10に示すleを有効長さとする、すみ肉溶接部の最大耐力は式(3),(4)のように表すことができる。各試験体の降伏引張耐力計算値を表4に、降伏せん断耐力計算値を表5に示す。また、すみ

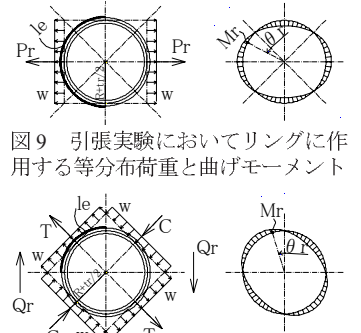


図9 引張実験においてリングに作用する等分布荷重と曲げモーメント

図10 せん断実験においてリングに作用する等分布荷重と曲げモーメント

肉溶接部に亀裂が生じた試験体のすみ肉溶接部最大引張耐力を表4にすみ肉溶接部最大せん断耐力を表5に示す。

引張実験及びせん断実験における補強した試験体の降伏耐力実験値と計算値の比は1.07~1.31となり妥当な評価といえる。すみ肉溶接に亀裂が生じた試験体の最大耐力実験値と計算値の比は1.33~1.66となっており計算値は実験値を過小に評価している。これはすみ肉溶接部の耐力評価にリングの引張強さを用いているためと考えられる。

#### 5. まとめ

本実験により以下の知見が得られた。本工法においてはリング外周のみをすみ肉溶接することでリングに十分な応力を伝達することができる。リングにより補強した試験体はリング肉断面の全塑性モーメントにより評価することができる。ここで示した評価式によるすみ肉溶接部の最大耐力は過小評価となる。

参考文献 1) 福知, 土井, 釜江: 円形孔を有する梁の耐力と設計法 2. スリーブ管補強付の場合の耐力, 日本建築学会論文報告集, 第301号, 昭和56年3月, pp.43-51

\*1 岡部(株)  
 \*2 岡部(株) 博士(工学)

Okabe Co.,Ltd.  
 Okabe Co.,Ltd. Dr.Eng