

[1170] 縮小試験体を用いた鉄骨フレーム壁接合部の実験的研究

篠原敬治*¹ 小林行雄*²

1 はじめに

既存鉄筋コンクリート造建物を耐震補強するために、鉄骨フレーム壁をあと施工する例が多い。この場合鉄骨フレーム壁については種々の組み方が報告され [1], [2], [3], フレーム壁と既存部の接合部分に使用するひびわれ防止筋は、従来からスパイラル筋が多く使用されている。

しかし、補強現場では樹脂アンカーを打設するピッチが、既存コンクリート柱や梁の配筋に左右され、必ずしも正確なピッチに打設できると限らない。その時にひびわれ防止筋にD10を使用すると接合部に納まらない場合もある。当研究はスパイラル筋を使用した時の接合部挙動を基本に、はしご筋を使用した接合部挙動を比較して、はしご筋がひびわれ防止筋として使用できるかを実験的に行った。

2 試験体および試験方法

2. 1 試験体と使用材料

表-1に試験体を使用した材料強度一覧を、図-1に試験体形状を示す。試験体は実物を1/2縮小したために使用材料形状も1/2に縮小している。ひびわれ防止筋に径6mmの丸鋼を使用し、スパイラル筋は山間のピッチを3種類(75, 100, 125mm)とし、はしご筋は段筋ピッチを3種類とし(前記と同一)、ひびわれ防止筋を使用していない1体の計7体である。接合部は径8mmのスタッドをC形鋼に2列3段にして100mmピッチで溶接し、樹脂アンカーD10をスタッドの間に1列3段にしてコンクリートに80mm埋め込んで100mmピッチで配置し、この間にひびわれ防止筋を挿入して無収縮モルタルを打設した。したがって、使用した樹脂アンカーとスタッドは全試験体同一で、これらの配置も同一にしてあるので、変動因子としてはひびわれ防止筋の形状とピッチである。また、モルタルとコンクリートの接合面は深さ5mm程度の目荒らしを行って付着力を高めている。

表-1 使用材料

試験体 記 号	ひ び わ れ 防 止 筋					ス タ ッ ド					樹 脂 ア ン カ ー					コンクリート		モルタル	
	種類	ピッチ	径	σ_y	σ_t	径	配置	L	σ_y	σ_t	径	配置	L	σ_y	σ_t	σ_B	E c	σ_B	E c
SL-00	無	—	—	—	—	8	2-3	75	3932	5667	D10	1-3	80	2434	4887	183	—	510	2.61
S6-75	ス	75	6	5397	5749	8	2-3	"	3932	5667	D10	1-3	"	2434	4887	182	1.83	496	2.62
S6-100	ハラ	100	6	"	"	8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	184	1.80	513	2.61
S6-125	イル	125	6	"	"	8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	179	1.84	493	2.61
L6-75	は	75	6	5397	5749	8	2-3	"	3932	5667	D10	1-3	"	2434	4887	190	1.74	529	2.69
L6-100	し	100	6	"	"	8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	180	1.86	476	2.65
L6-125	こ	125	6	"	"	8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	186	—	481	2.55

注: 径, ピッチ, はmm。Lはスタッドの長さ(mm)。Lは樹脂アンカーのコンクリートへの有効埋め込み深さ(mm)。配置の2-3, 1-3はそれぞれ2列3段, 1列3段配置。
 $\sigma_y, \sigma_t, \sigma_B$; kgf/cm²。E_c; 10⁵kgf/cm²

* 1 神奈川県工業試験所 防災技術部 専門研究員 工修(正会員)

* 2 神奈川県工業試験所 防災技術部 専門研究員

2. 2 試験方法

H形鋼を試験機ベッド上に固定し、その上に試験体を載せてハイテンションボルトで固定した。せん断力はコンクリートとモルタルの境界面に作用するように、加力用L形梁をC形鋼に固定して、当所の複合加力構造物試験機で水平力を作用した。なお、水平力による試験体前側が回転で浮き上がらないように、L形加力梁の下とベッドの間にジャッキを設置し、初期力100 kgf（一定）を作用してから実験を開始した。また、加力はコンクリートとモルタルの境界面を基準に、モルタルとC形鋼の相対変位を部材角で表した正の繰り返し載荷である。使用材料の歪ゲージ位置を図-2に示す。

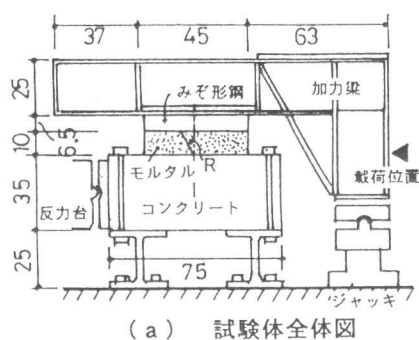


図-1 試験体形状 (cm)

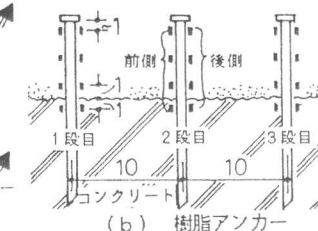
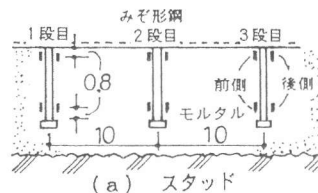
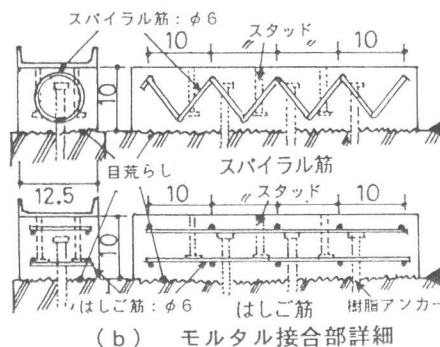


図-2 歪ゲージ位置 (cm)

3 実験結果

3. 1 せん断力-変位曲線

接合部中央のC形鋼面の水平変位を、コンクリートとモルタルの境界面に対する相対変位で表し、同一ピッチの試験体を比較して図-3に示す。この結果、全試験体は部材角 $R=1/250$ ラジアン ($\delta=0.4$ mm) までの曲線にほとんど相違がなく、最大耐力時の水平変位も1mm程度であるために、ひびわれ防止筋の形状の違いによる影響はあまり見られない。しかし、最大耐力以後はしご筋を使用したタイプは(Lタイプ)、耐力低下が少なく靱性に富んでいるが、スパイラル筋を使用したタイプ(Sタイプ)はせん断力低下が大きい。なお、ひびわれ防止筋を使用していないタイプ(SL-00)は、 $R=1/250$ ラジアン程度以上になると変位が増大し、最大耐力経過後もせん断力の低下が激しい靱性に乏しいタイプである。

表-2 実験結果

試験体 記号	ひびわれ荷重		肌分かれ荷重 (モルタル-C形鋼)		接合部 耐力	最大耐力			破壊 主因
	曲引張	せん断	初期	最終		Q m	δ m	τ m	
SL-00	③6.75	7.0	②5.0	⑤8.0	7.46	8.96	1.03	15.9	モルタルせん断
S6-75	②5.0	6.3	②5.4	③6.8	6.80	10.08	1.04	17.9	モルタルせん断
S6-100	②5.2	7.2	②5.2	③8.7	7.32	9.33	1.00	16.6	"
S6-125	①2.5	8.2	①4.8	③7.5	7.50	9.71	0.98	17.3	"
L6-75	①2.83	8.0	②6.0	②6.6	6.60	9.53	1.00	16.9	肌分かれ
L6-100	③7.8	8.8	②5.1	④8.8	8.87	10.03	1.69	17.8	モルタルせん断
L6-125	①3.4	8.2	③6.9	④8.1	7.27	10.28	1.04	18.3	肌分かれ

注：ピッチ，径， δ mはmm。①，②，③・・・はサイクル。荷重，耐力はtf。
 τ m = Q m / モルタル面積，せん断応力度 (kgf/cm²)。

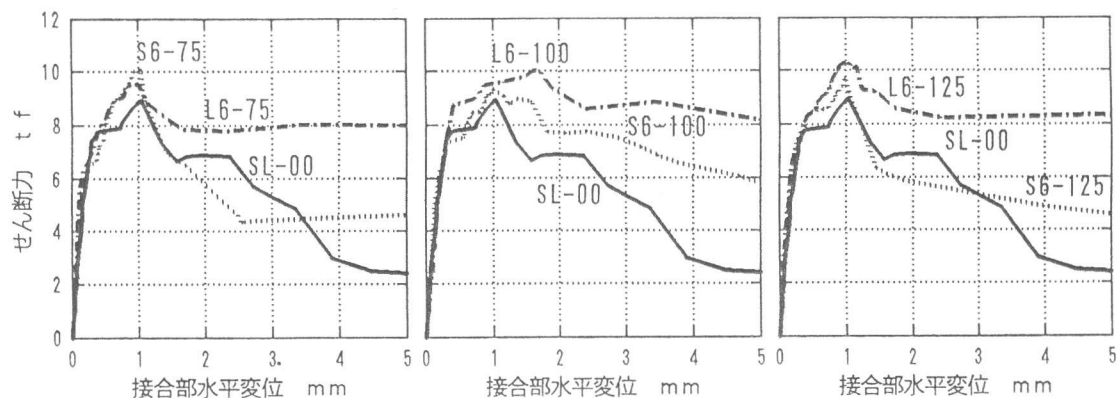


図-3 せん断力-水平変位曲線（包絡線）

3. 2 歪挙動

3. 2. 1 スタッ드의歪

せん断力が作用するとスタッドは、C形鋼に溶接した箇所（脚部）に大きく歪が生じる。スタッド位置は加力側から見て前部を1段目、中央を2段目、後部を3段目として、図-4に各部材角ごと（点線）と最大耐力時（実線）の歪を、ひびわれ防止筋形状の違いとひびわれ防止筋の有無の違いについて、3本のスタッド脚部前側のみ比較してある。

最大耐力まで1, 3段目の歪は比較的大きい歪挙動となっているが、2段目は全体的にあまり大きい変化はしていない。歪挙動を全体的に見ると、ひびわれ防止筋の形状の違いでは特に明確な差はない。

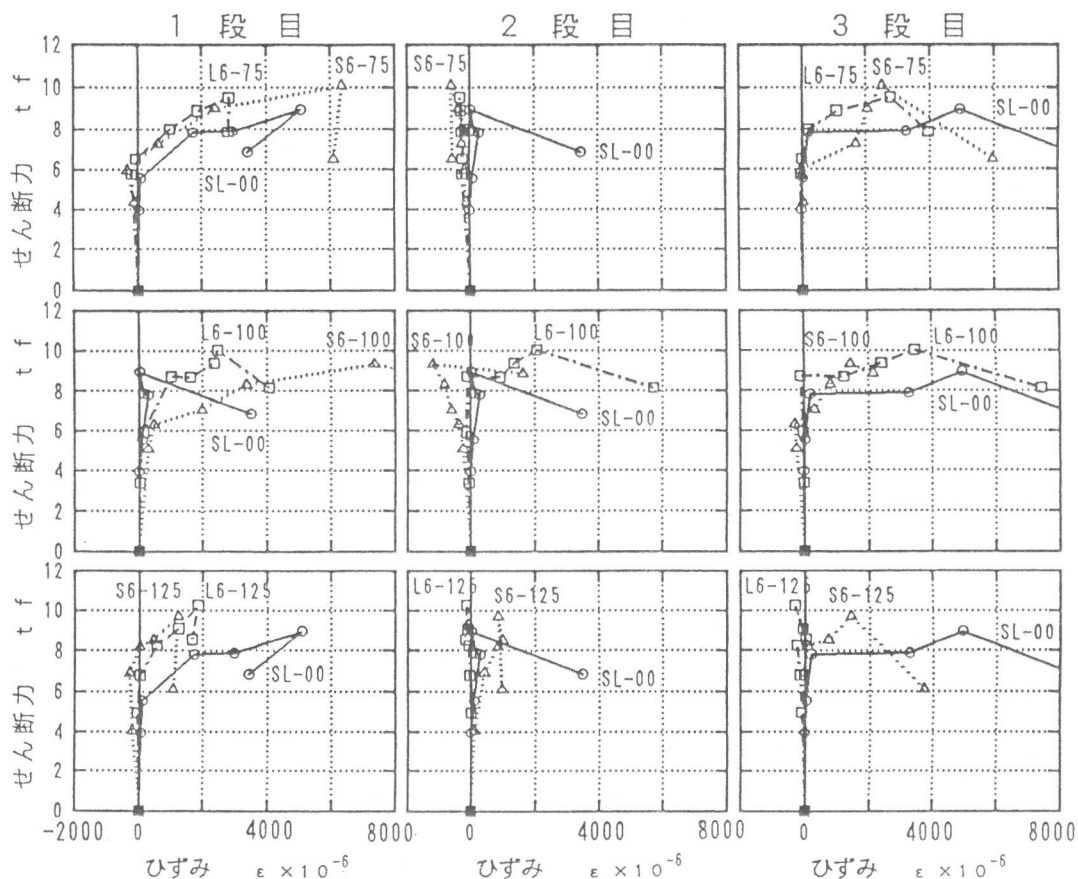
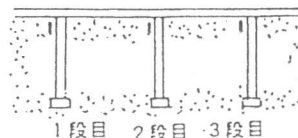


図-4 スタッッド脚部の歪

3. 2. 2 樹脂アンカーの歪

樹脂アンカーが最も多く歪を生じるモルタル中の前側歪を、各部材角ごと（図中の点線）に最大耐力（図中の実線）までプロットして図-5に示す。SL-00は3本ともあまり歪は生じていなくて、S、Lタイプは最大耐力時に3本のうちどれかは降伏歪（ $\varepsilon = 2000 \times 10^{-6}$ ）となっているので、ひびわれ防止筋を使用すると、スタッドとともに樹脂アンカーは、せん断力の負担が多くなる。

なお、図示していないがモルタル中の後側の歪はS、Lタイプとも比較的少ないが、75mmピッチのタイプだけは最大耐力時までに降伏している。

3. 2. 3 ひびわれ防止筋の歪

図-6では図外に示してあるひびわれ防止筋の歪ゲージ位置における、スパイラル筋とはしご筋の上段筋歪を、部材角ごと（点線）に最大耐力時（実線）とともに示してある。上図に示すスパイラル筋3タイプの歪は、全て3箇所とも少なく、最大でもS6-125の $\varepsilon = 500 \times 10^{-6}$ 程度である。これに対して、下図に示すはしご上段筋の歪は最大耐力時にL6-100は降伏に近い歪で全体的に歪は多い。そして、図示していないがはしご下段筋も同じ傾向であったので、はしご筋のほうがスパイラル筋よりせん断力に抵抗していると考えられる。

4 考察

4. 1 剛性

表-3に実験結果から得られた弾性域、降伏時、 $R = 1/250$ ラジアン時の剛性を示す。

弾性域はQ- δ 曲線が直線部の範囲とし、接合部の降伏時の定義は使用鋼材の降伏歪（ $\varepsilon = 2000 \times 10^{-6}$ ）となったせん断力か、モルタル

の肌分かれが接合部全域に達した時のせん断力の低いほうと仮定した。弾性域は $R = 1/500$ ラジアン程度となり、剛性は $K = 280 \sim 440 \text{ tf/cm}$ で幅のある値を示す。これはひびわれ防止筋の形状の違いや、ひびわれ防止筋の有無には無関係である。降伏時の剛性は全体的に見ると、 $R = 1/$

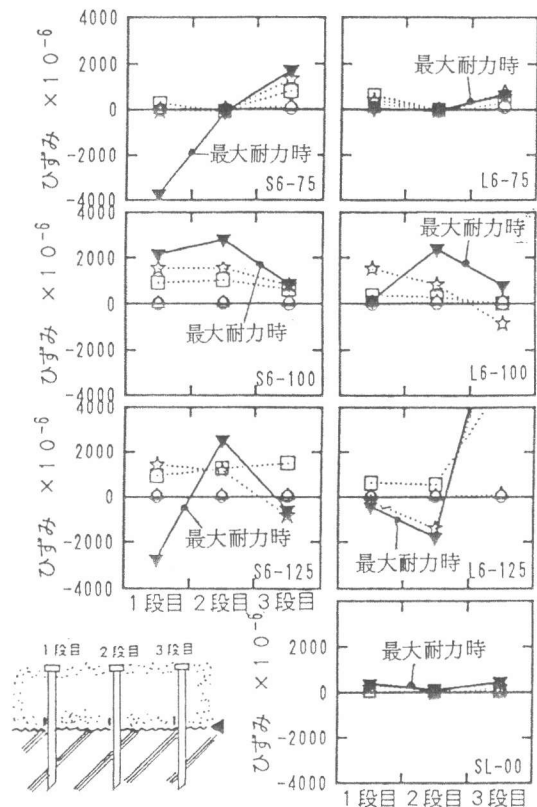


図-5 樹脂アンカーの歪（コンクリートとモルタルの境界面のモルタル中前側）

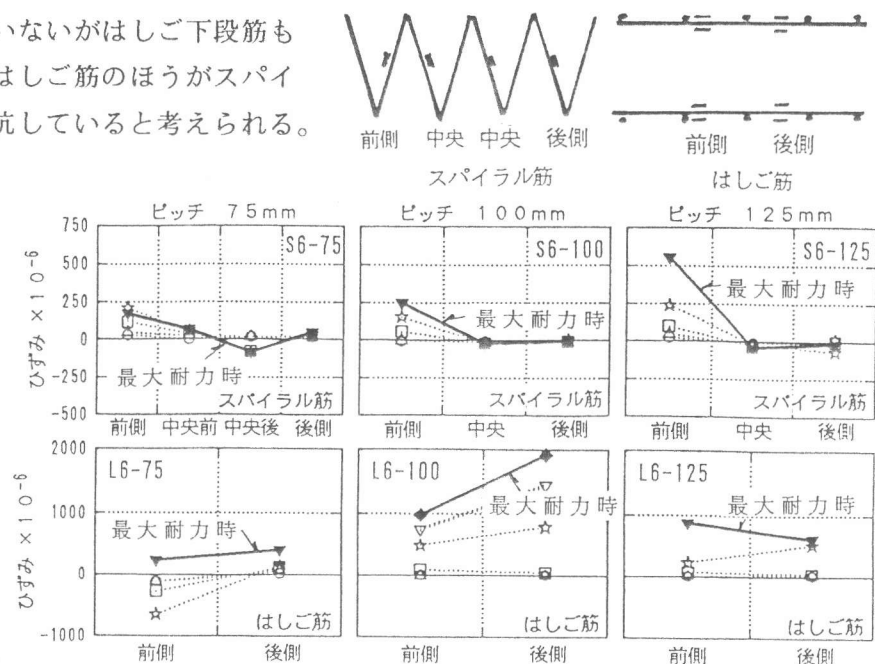


図-6 ひびわれ防止筋の歪

250 ラジアン時より早く生じたものが4体、 $R=1/250$ ラジアン以後が3体である。

特に、モルタルの肌分れとなった場合は2体とも $R=1/250$ ラジアン以前に降伏し、剛性は $K=230, 270 \text{ tf/cm}$ である。また、 $R=1/250$ ラジアン時の剛性は全タイプともほぼ $K=200 \text{ tf/cm}$ 前後で、これもひびわれ防止筋の有無や形状とは無関係である。

4. 2 最大耐力

表-2に示す接合部最大耐力時のモルタルせん断応力度は、どのタイプとも $\tau_{\max}=17 \text{ kgf/cm}^2$ 程度で、接合部のひびわれ防止筋の形状に相違は見られない。また、最大耐力はひびわれ防止筋を使用しない場合に対し、ひびわれ防止筋を使用すると4~15%程度の耐力増加であるが、S、Lタイプ間の最大耐力の差は1tf程度であるために、ひびわれ防止筋形状や有無による最大耐力にそれほど影響がないことを示している。ただし、図-3で比較してあるように、ひびわれ防止筋の有無や形状の違いにより、最大耐力経過後の性状は異なり、はしご筋使用の場合は靱性に優れている結果を示した。

4. 3 C形鋼とモルタルの肌分かれ

実験中の目視観察によるモルタルとC形鋼の肌分かれ長さ(l)を、モルタル全長(L)に対する進展比として横軸にし、最大耐力(Q)に対する肌分かれ時のせん断力(q)の比を縦軸にして図-7にプロットしてある。スタッドの歪変化とモルタルの肌分かれを検討すると、各タイプともせん断力が6~8tfになるとスタッドの歪は増加し、この時の肌分かれ進展率位置に★印で示してある。

SL-00はこの時80%の肌分かれ進展率で、せん断力比率も84%に達して高く、残りの耐力も少ない。すなわち、肌分かれ進展率が高くなるにしたがい接合部の耐力も最大に近い。これに対して、ピッチ100mmのタイプ2体は、肌分かれ進展率が60%弱の時にスタッドの歪みが増加し始めて、その後全域に至るまでの残り40%と、せん断力比の残り25~40%により、図-3に示すせん断力-変位曲線に靱性

が見られる。ピッチ75mmと125mmの4体のスタッドの歪が増加し始める時は、モルタルとC形鋼はほぼ全域に肌分かれしており(90%以上)、それ以後最大耐力に達するまで、スタッドと樹脂アンカーの耐力だけに期待しているので、100mmピッチのタイプと比較して最大耐力に至る靱性も乏しい。

表-3 剛性

試験体 記号	弾 性 域				降 伏 時				$R=1/250$ 時	
	Q	δ	K	R	Q	δ	K	R	Q	K
SL-00	5.06	0.16	320	1/633	7.46	0.546	137	1/183	7.78	195
S6-75	5.95	0.19	313	1/526	6.75	0.397	170	1/252	7.15	179
S6-100	6.32	0.20	316	1/500	7.32	0.455	158	1/220	6.91	173
S6-125	6.48	0.18	360	1/555	7.49	0.277	270	1/361	8.16	204
L6-75	5.75	0.13	442	1/769	6.60	0.243	272	1/412	7.85	196
L6-100	5.91	0.21	281	1/476	9.26	0.815	114	1/123	8.73	218
L6-125	6.52	0.18	362	1/555	7.27	0.317	229	1/315	8.19	205

注: Q; tf, δ ; mm, K; tf/cm, R; ラジアン。

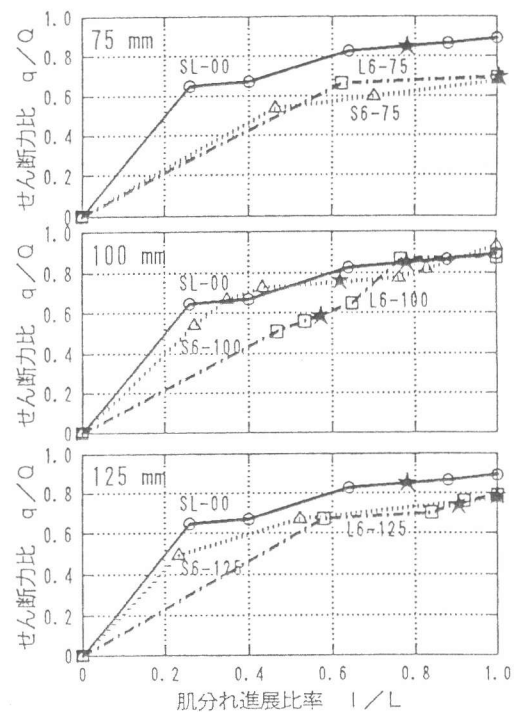


図-7 肌分かれ進展とせん断力比率

4. 4 エネルギー吸収能力

図-8の中で示してあるようにせん断力と水平変位の関係から、最大耐力時だけの接合部のエネルギー吸収能力(EQ)を既往研究の結果と併せて示す。ただし、当研究がスタッド2列、アンカー1列配置のために、既往研究についてもこのタイプだけ採用している。また、モルタル面積、スタッドとアンカーの本数も研究により異なるために、縦軸のせん断応力度は最大耐力をモルタル面積で除し、それをスタッド2本

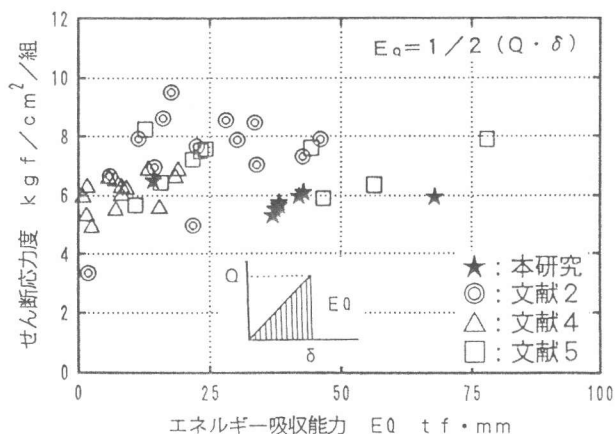


図-8 エネルギー吸収能力

とアンカー1本を1組として各試験体に使用している組数で除した。そして、既往研究はすべて実大試験体であるために、当研究の1/2縮小試験体の結果は耐力を4倍、変位は2倍して比較した。この結果を見ると、せん断応力度は5~9 kgf/cm²/組の範囲にほとんどのデータがプロットされているが、エネルギー吸収は広い範囲に分布している。これは使用しているスタッドやアンカーの径、長さなどが研究により異なっているので、これらの違いが接合部の最大変位に大きく影響したためであろう。しかし、接合部にひびわれ防止筋がなかったり、接合部に引張力を作用した場合はEQが特に低い。当研究結果はEQ=40 t·f·mm前後が多いが、L6-100タイプだけは水平変位が大きいために高いEQを示した。

4. 5 ひびわれ防止筋の歪挙動

スパイラル筋の歪は、モルタルのひびわれが発生しても全ての位置において少なく、せん断力による歪増加よりも接合部の浮き上がりによる引張歪として増加している。これに対して、はしご縦筋の歪はモルタルにせん断ひびわれが発生した時に、その箇所の縦筋歪は急激に増加するが、その位置の段筋の歪変化には現れていない。すなわち、モルタル接合部は縦方向に配置された補強筋が、モルタルの厚さ方向に配置した補強筋より有効であると思われる。

5 まとめ

モルタル接合部に使用したひびわれ防止筋の有無、形状の違いを剛性、耐力、接合材の歪挙動について実験的に検討した。この結果、はしご筋を使用した接合部は、スパイラル筋を使用した場合と比較して、剛性や最大耐力に差はなく、最大耐力以後のせん断力-変位曲線に靱性に富んでいる。そして、モルタルに発生したひびわれ時に、その箇所のはしご縦筋歪が大きい増加を示している。これらのことから、はしご筋を使用した接合部は、スパイラル筋を使用した場合と比較して同等か、それ以上の性能を有しているので、ひびわれ防止筋に使用できると考えられる。

文献

- 1) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針，日本建築防災協会，1992
- 2) 山本泰稔・清田清司・青山博之：既存鉄筋コンクリート造建物の鉄骨枠つき補強法に関する実験的研究，その3，建築学会大会学術講演梗概集，pp.2163-2164，1983.9
- 3) 川俣重也・鈴谷二郎・大沼正治：東北工業大学5号館の震害と修復，その2，その3，建築学会大会学術講演梗概集，pp.1695-1698，1979.9
- 4) 片桐太一ほか：鉄筋コンクリート造骨組の鉄骨ブレース補強法におけるモルタル接合部のせん断実験，コンクリート工学年次論文報告集，12-1，pp.1275-1280，1990
- 5) 山本泰稔ほか：充填モルタル接合部内のスパイラルフープの効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，13-2，pp.941-944，1991
- 6) 篠原敬治・小林行雄・椎野高行：鉄骨フレーム耐震補強壁の接合部に関する研究，その3，建築学会大会講演梗概集，pp.371-372，1992.8
- 7) 篠原敬治・小林行雄・椎野高行：鉄骨フレーム耐震補強壁の接合部に関する研究，その4，建築学会関東支部大会，pp.89-92，1993.3