

論文 形状の異なるひびわれ防止筋を使用した耐震補強壁接合部の挙動

篠原敬治*1・小林行雄*2

要旨：近年建築物の補強対策に、重量、採光や基礎重量負担の軽減も考慮して、鉄骨壁を採用する例が多い。本報告は既存コンクリート建物へあと施工壁を設置する場合、接合部に使用する形状の異なるひびわれ防止筋を使用した時の挙動に関する実験的研究である。試験結果から、スパイラル筋を基準に比較すると、はしご筋やメッシュ筋を使用した時の耐力、変位は同等かそれ以上の性能を示した。また、エネルギー吸収も同様に高い。ひびわれ防止筋比率は柱のせん断補強筋と同様な考えで、接合部に平行な補強筋のあるはしご筋やメッシュ筋が有効である。

キーワード：鉄骨壁、接合部、ひびわれ防止筋、メッシュ筋、靱性、エネルギー吸収

1. はじめに

あと施工耐震補強壁接合部に割裂破壊を防止するために、現在の補強設計法[1]では、0.4%以上の補強筋比の配置を義務づけている。そして、施工現場ではこの補強筋にスパイラル筋を採用している例が多い。本研究は現場施工で難点が見られたスパイラル筋に対して、はしご筋やメッシュ筋に変えて、これらを用いた接合部の性状を把握することを目的に実験を行った。

2. 試験体および試験方法

図-1に試験体の全体図と加力方法を示す。試験体は実物大の1/2縮小試験体で、大別してひびわれ防止筋を使用しないもの4体(N)、スパイラル筋を使用したもの6体(S)、はしご筋を使用したもの6体(L)、メッシュ筋を使用したもの5体(M)の全21体である。

ひびわれ防止筋の径は2.6, 4, 6 mmの3種類で、ピッチは50, 75, 100, 125mmの4種類である。図-2に示すように、全試験体に共通して、スタッドと接着系アンカーの配置は、ピッチを100 mmにして、それぞれ2列3段と1列3段とした同一条件である。モルタルとコンクリート境界のコンクリート面は、深さ5 mm程度の目荒らしをしてあるが、図-3に示すように、モルタル先端部のコンクリート面を10mm余分に目荒らしをした。これはコンクリート境界面でのモルタルの接合面の付着力と、接着系アンカーのせん断力が水平力に対する抵抗要因となることから、せん断力の負担が比較的明確になる。これら

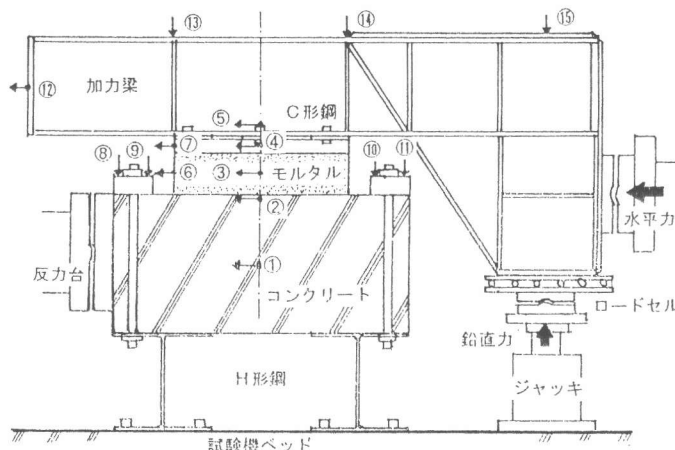


図-1 試験体全体形状と加力方法

* 1 神奈川県産業技術総合研究所 材料工学部 専門研究員, 工修(正会員)

* 2 神奈川県産業技術総合研究所 材料工学部 専門研究員

の試験体は3体である(N-10, S4-100, L4-100)。

また、N-01はN-00と同条件の試験体であるが実験年度が異なるものであり、N-SFは鋼繊維をモルタルの体積比0.5%混入したものである。

試験方法は図-1に示すように、コンクリートとモルタルの境界面をせん断面として水平力を作用し、接合部中央のモルタルの相対変位(コンクリート側②を基準にC形鋼の変位④)を部材角で表した正の変位制御である。第1サイクルを $R=1/750$ ラジアン($\delta=0.133$ mm)から始め、 $R=1/500$, $1/250$ ラジアン……と変化させ、最終目標部材角を $R=1/10$ ラジアン($\delta=10$ mm)とした。L形加力梁の回転による、加力側から見てモルタル先端部の引張破壊が優先しないように、L形梁の底部にジャッキを設置して、上向きに100kgを作用した後で実験を開始した。

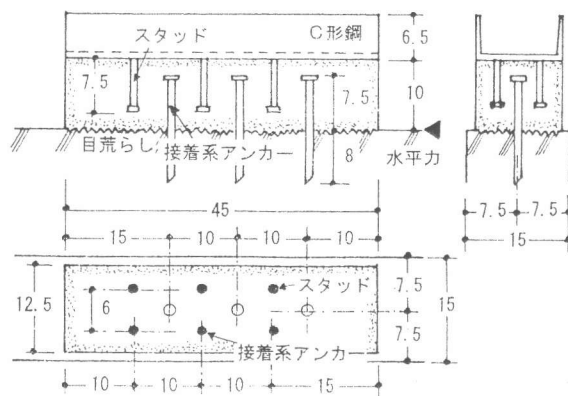


図-2 接合部詳細 (cm)

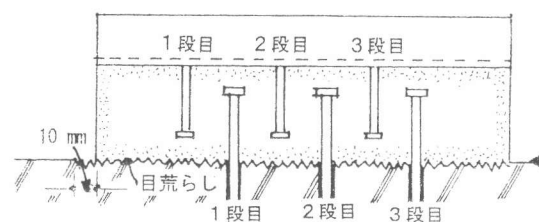


図-3 目荒らしの場所

3. 実験結果

3. 1 全体の傾向

実験結果の主な項目について表-1にまとめて示す。21体の試験結果から接合部の挙動経過を時間的に追って見ると、①初期肌分かれ($R=1/518$ rad.), ②初期曲げひびわれ($R=1/376$ rad.), ③接合材の降伏($R=1/351$ rad.), ④モルタル全域の肌分かれ($R=1/151$ rad.), ⑤せん断ひびわれ($R=1/112$ rad.), ⑥最大耐力($R=1/84$ rad.)の順に進行し(数値は平均)、図-5にこれを示す。

肌分かれについては、鉄骨側の前側に早く発生し、初期ひびわれ(引張ひびわれ)もモルタル前側に早く発生する。これらはいずれも加力梁の回転による影響と思われる。また、最初に降伏する材はひびわれ防止筋を使用しない場合(Nタイプ)と、はしご筋を使用した場合(Lタイプ)はスタッドが先行降伏する。スパイラル筋を使用した場合(Sタイプ)は、接着系アンカーが先行降伏する傾向であるが、メッシュ筋を使用した場合(Mタイプ)はどちらが先行降伏するか明確でない。

最大耐力はNタイプの4体がほぼ同じ耐力の約9 tf程度で、Sタイプは耐力間に差があり(平均 $Q_{MAX}=9.3$ tf), Lタイプは耐力間に差がなく平均しており($Q_{MAX}=9.8$ tf), MタイプはNタイプより全体的に高い耐力となる($Q_{MAX}=10.3$ tf)傾向を示した。しかも、最大耐力時の変位も耐力と同じ傾向でMタイプが全体的に大きい。

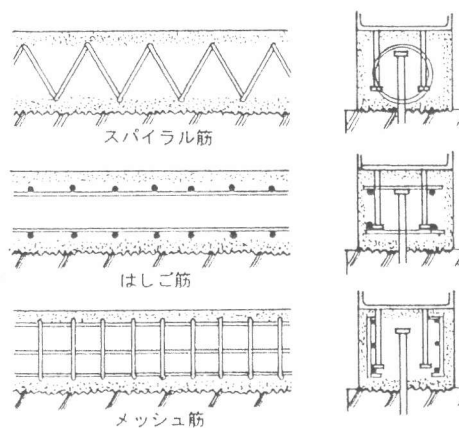


図-4 ひびわれ防止筋形状

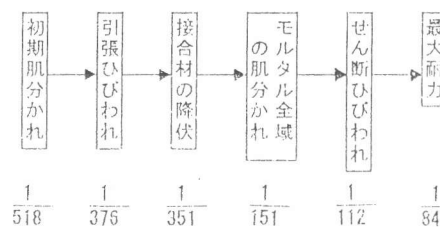


図-5 実験経過

(数値は部材角; ラジアン)

3. 2 せん断力-変形曲線

接合部中央のC形鋼の変位④を、モルタルとコンクリート境界面②に対する相対変位で表して図-6にせん断力-変形曲線を示す。全体的に最大耐力までの剛性は各タイプ間で大きな相違は見られないが、最大耐力後の性状には各タイプの特色が現れている。Mタイプは径の太細に関わらず耐力も比較的高く、変位も大きい靱性に富んだ曲線を示し、Lタイプは径やピッチに関係なく同じ様な靱性のある曲線を示している。Sタイプは最大耐力時の変位が少なく、またその後はせん断力低下が激しいタイプとなり、径やピッチに関係なく同じ傾向を示す。Nタイプは最大耐力直後にせん断力低下がある

が、N-10とN-SFは僅かなせん断力低下ですみ、その後も低下は少ない靱性のある曲線である。N-10はモルタル先端部のコンクリートの抵抗がないので、スタッドのC形鋼に溶接した部分(脚部)に歪が大きく現れている。このことから、スタッドの靱性のために最大耐力後の耐力低下が少ない理由の一因と思われる。N-SFは他の鋼繊維混入の影響でモルタル全体の剛性が高く、接着系アンカーのせん断力負担が大きく、この靱性が耐力低下を少なくしたものと考えられ歪の降伏箇所も多い。

モルタル先端部の目荒らしの影響を、N-10, S4-100, L4-100の3体で比較してみると、いずれも同一タイプの中では、目荒らしをすると最大耐力時に大きな変位となっている。

表-1 試験結果

| 試験体名 | 初期ひびわれ 曲げせん断 | | 肌分かれ | | | | 降伏時 | | 最大時 | | | | | |
|----------|-----------------|-----|---------|---------|----------|----------|---------|-----|---------|----------|----|-------|------|-------|
| | R | 荷重 | 初期 R | 最終 R | 初期 荷重 | 最終 荷重 | R mm | tf | R mm | 変位 mm | tf | | | |
| N-00 | 1/500 | 3.3 | 1/75 | 9.18 | 1/500 | 3.1 | 1/100 | 8.7 | 1/435 | 5.26 | S | 1/100 | 1.00 | 9.29 |
| N-01 | 1/500 | 6.8 | 1/250 | 7.0 | 1/500 | 5.0 | 1/125 | 8.0 | 1/183 | 7.80 | S | 1/97 | 1.03 | 8.96 |
| N-10 | 1/750 | 2.5 | 1/50 | 8.76 | 1/250 | 5.0 | 1/250 | 6.4 | 1/1111 | 2.76 | S | 1/67 | 1.50 | 9.02 |
| N-SF | 1/250 | 4.5 | 1/75 | 8.8 | 1/250 | 4.7 | 1/75 | 8.8 | 1/357 | 4.56 | S | 1/86 | 1.16 | 8.99 |
| S4-75 | 1/250 | 3.0 | 1/125 | 7.7 | 1/750 | 4.2 | 1/75 | 7.2 | 1/244 | 6.50 | A | 1/130 | 0.77 | 7.74 |
| S4-100 | 1/250 | 7.0 | 1/125 | 7.8 | 1/750 | 5.2 | 1/125 | 7.8 | 1/323 | 7.32 | A | 1/60 | 1.67 | 10.42 |
| S4-125 | 1/250 | 7.3 | - | - | 1/750 | 3.8 | 1/125 | 8.5 | 1/333 | 6.47 | A | 1/149 | 0.67 | 8.48 |
| S6-75 | 1/125 | 5.0 | 1/250 | 5.5 | 1/500 | 5.4 | 1/250 | 6.8 | 1/244 | 7.25 | A | 1/96 | 1.04 | 10.08 |
| S6-100 | 1/500 | 5.5 | 1/75 | 8.7 | 1/500 | 5.2 | 1/100 | 8.7 | 1/217 | 7.32 | S | 1/100 | 1.00 | 9.33 |
| S6-125 | 1/750 | 2.5 | 1/100 | 8.2 | 1/750 | 4.8 | 1/250 | 7.5 | 1/370 | 7.49 | A | 1/102 | 0.98 | 9.71 |
| L4-75 | 1/125 | 7.2 | 1/75 | 9.0 | 1/250 | 5.3 | 1/125 | 8.4 | 1/294 | 5.97 | S | 1/83 | 1.21 | 9.46 |
| L4-100 | 1/500 | 4.9 | 1/75 | 8.3 | 1/250 | 5.7 | 1/125 | 7.8 | 1/455 | 4.97 | S | 1/71 | 1.41 | 9.83 |
| L4-125 | 1/125 | 8.0 | 1/125 | 8.7 | 1/500 | 6.0 | 1/125 | 8.7 | 1/625 | 6.47 | S | 1/83 | 1.21 | 8.70 |
| L6-75 | 1/750 | 2.8 | 1/100 | 9.53 | 1/500 | 6.0 | 1/500 | 6.3 | 1/417 | 6.61 | S | 1/100 | 1.00 | 9.53 |
| L6-100 | 1/250 | 7.8 | 1/125 | 8.8 | 1/500 | 5.1 | 1/125 | 8.8 | 1/122 | 9.26A | S | 1/59 | 1.69 | 10.03 |
| L6-125 | 1/250 | 7.1 | 1/75 | 9.2 | 1/750 | 7.2 | 1/125 | 8.1 | 1/122 | 7.27 | A | 1/98 | 1.04 | 10.28 |
| M2.6-50 | 1/250 | 2.3 | 1/125 | 8.4 | 1/750 | 0.8 | 1/125 | 8.2 | 1/217 | 6.09 | A | 1/74 | 1.36 | 10.09 |
| M2.6-100 | 1/250 | 7.1 | 1/75 | 9.92 | 1/750 | 3.0 | 1/75 | 9.9 | 1/400 | 5.95 | S | 1/87 | 1.15 | 9.92 |
| M4-50 | 1/100 | 4.0 | 1/100 | 4.0 | 1/125 | 3.3 | 1/125 | 6.0 | 1/500 | 4.59 | S | 1/38 | 2.65 | 12.07 |
| M4-75 | 1/750 | 3.2 | 1/125 | 7.8 | 1/500 | 3.5 | 1/100 | 8.8 | 1/152 | 8.28 | A | 1/46 | 2.19 | 10.58 |
| M6-100 | 1/250 | 6.0 | 1/250 | 6.7 | 1/500 | 4.8 | - | - | 1/250 | 6.73 | A | 1/35 | 2.83 | 8.94 |

| 凡例 | ひびわれ防止筋無 | スパイラル筋タイプ | はしご筋タイプ | メッシュ筋タイプ |
|----------|------------|---|-----------------|-----------------|
| N-00, 01 | 接合面のみ目荒らし | S4-75-ピッチ↑ 径 | L4-75-ピッチ↑ 径 | M4-50-ピッチ↑ 径 |
| N-10 | 前側10mm目荒らし | スパイラル筋 | はしご筋 | メッシュ筋 |
| N-SF | 鋼繊維混入 | 注: 初期せん断ひびわれ欄の-: なし, 肌分かれ欄の-: 全域なし 降伏時欄のS: スタッド, A: 樹脂アンカーを示す。 | | |

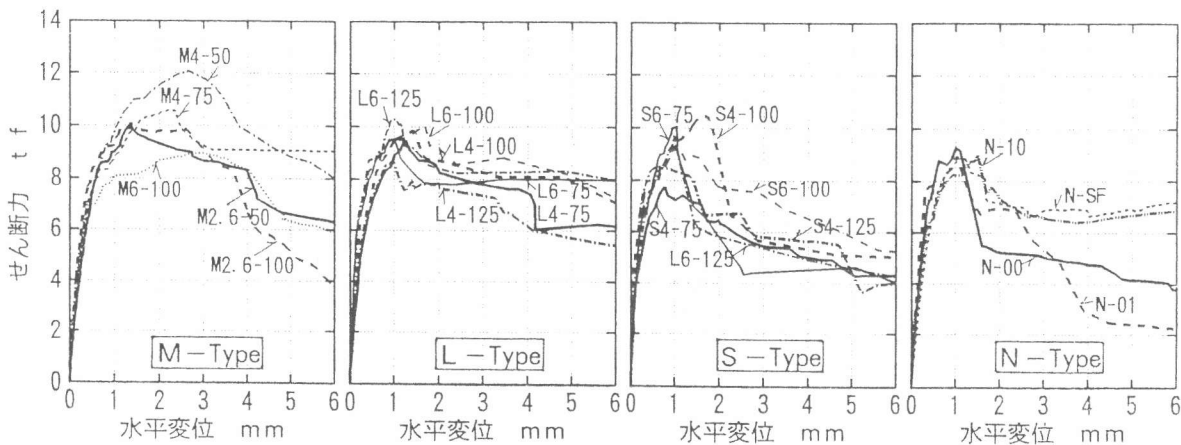


図-6 せん断力-変形曲線

最大耐力はN-00とN-01の試験体と比較してあまり変わらず、他のNタイプもほぼ似た耐力のため、これらと比較して、N-10の最大耐力時変位は1.5倍大きい。このことから、目荒らしの影響は最大耐力時の変位に影響している。したがって、S4-100とL4-100も目荒らしがなければ、同一タイプの中ではそれぞれ他の試験体と同じ程度の変位と予想される。

3-3 モルタルのひびわれ、破壊状況の検討

図-7に当試験結果の最大耐力までに発生したモルタルのひびわれと、試験終了時の破壊状況の一例を示す。ひびわれは試験体21体のうちタイプごとに見ると、同一タイプはほぼ同じ傾向を示している。S、L、Nタイプは最大耐力までに発生するひびわれ本数が少なく、1、3段目位置に発生している。しかし、Mタイプはモルタルの広い範囲にひびわれが、分散しているのが特徴である。ただし、Mタイプの径が細い2.6mmの2体(M2.6-50, M2.6-100)は、S、L、Nタイプと似た少ないひびわれ本数である。これらのひびわれの共通点として、(1)1段目位置のひびわれは加力梁の回転のために発生し、(2)3段目位置のひびわれはせん断力によるモルタルの水平移動に対するスタッドの抵抗が、この位置で失われたために発生している、ことである。

ほとんどの試験体は最大耐力前にモルタルがC形鋼またはコンクリートから肌分かれしている。しかし、その後も耐力が上昇しているため、最大耐力の主因は肌分かれでなく、モルタルのひびわれが主因である。コンクリートとモルタルの肌分かれ端からC形鋼に向かって、幅の広いせん断ひびわれ破壊が生じている試験体が多く、この破壊面を境に先端部の浮き上がりが生じている。スタッドやアンカー筋の変形状況はタイプごとの特徴的なものは見当たらない。なお、N-10は試験終了間近になって3段目スタッドが1本だけ破断した。これは21体の試験体で唯一スタッドが破断したものであった。

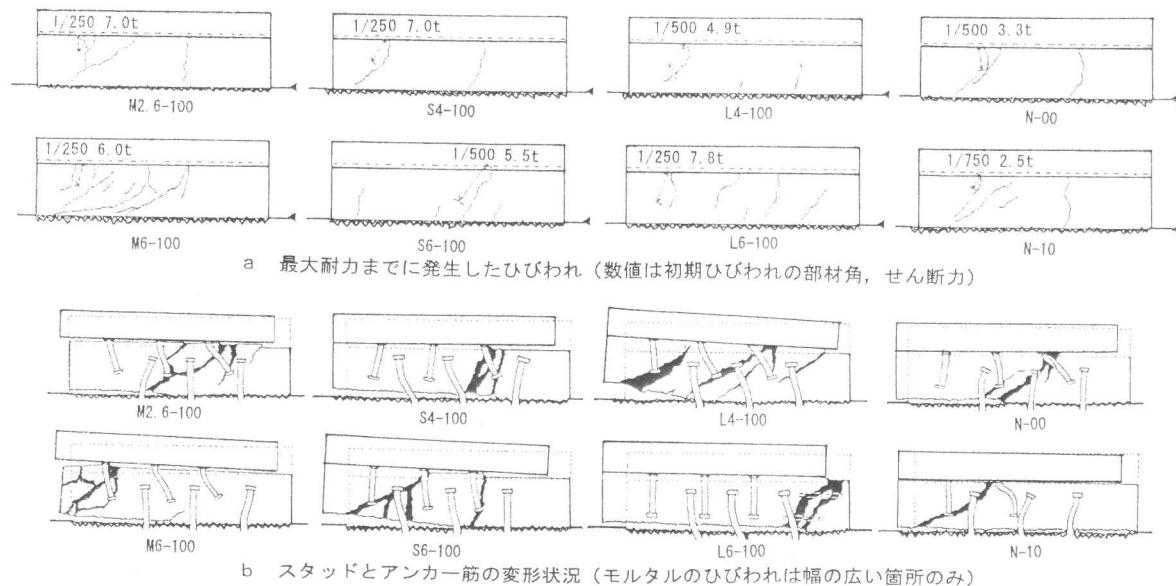


図-7 当試験結果のモルタルのひびわれ、破壊状況

3.4 接合材の歪

最大耐力経過後20%低下したせん断力までに降伏したスタッド、アンカー筋、ひびわれ防止筋の歪ゲージの数を表-2に示す。ただし、歪ゲージ数はスタッド3本で12箇所、アンカー筋は3本で18箇所または24箇所である。NタイプはN-01を除いて他の3体は、似た傾向の降伏である。

Sタイプはスタッドのほうがアンカーより降伏数はやや多い。スパイラル筋は1カ所も降伏せず、最大耐力までの最大歪は 570×10^{-6} であり、せん断力に対してスパイラル筋の方向にひびわれを防止する力があまり働いていないと思われる。Lタイプのはしご筋のモルタルに平行な配置の鉄筋（平行筋）は、最大耐力までに降伏する箇所は少ないけれど、測定個所の歪は全体的に多く、しかも最大耐力経過後も破壊程度が激しくなるに連れて歪が増加している。しかし、はしごの段筋（平行筋に垂直）の歪は試験終了まで少ない。やはり、スパイラル筋と同様にスタッドやアンカーによるモルタルの厚さ方向への応力は少ないと考えられる。Mタイプのメッシュ筋の平行筋は降伏数が多く、はしご筋の場合と同様に歪は全体的に多く生じているが、メッシュの縦筋には最大耐力までにそれほど大きい歪は生じていない。これらの結果から、L、Mタイプの靱性（耐力、変位）の原因は、スタッドやアンカー筋の抵抗を基本に、はしご筋やメッシュ筋のモルタルに平行に配置した鉄筋の抵抗が大きな要因となり、段筋や縦筋が補助していることが歪値から判断できる。

表-2 歪ゲージの降伏数

| 試験体名 位置 | スタッド | | | アンカー | | | ひびわれ防止筋 | | |
|------------|------|---|---|------|---|---|---------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 前側 | 中央 | 後側 |
| N-00 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 0 | - | - | - |
| N-01 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| N-10 | 3 | 2 | 2 | 1 | 5 | 3 | - | - | - |
| N-SF | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | - | - | - |
| S4-75 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S4-100 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S4-125 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| S6-75 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S6-100 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S6-125 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| L4-75 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| L4-100 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| L4-125 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| L6-75 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| L6-100 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| L6-125 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| M2.6-50 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| M2.6-100 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| M4-50 | 2 | 3 | 3 | 5 | 3 | 6 | 1 | 2 | 1 |
| M4-75 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3 | 2 |
| M6-100 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 0 | 0 |

4. 考察

4.1 エネルギー吸収

各タイプの明確な相違が見られるのは最大耐力経過後で、接合部の靱性をせん断力と変位の両者を考慮して、エネルギー吸収 (E_q) を検討した。靱性能を明確にするために、最大耐力経過後のせん断力が20%低下するまでの範囲として図-8に各部材角ごとのエネルギー吸収を縦軸に、水平変位を横軸にした。図では各タイプごとに横軸を2mmずつ移動して表してある。また、Nタイプ2体は比較のためにプロットした。ピッチの密な50, 75mmではLタイプの径が太い場合の E_q が高く、Mタイプは径2.6mmの細い場合でも高い E_q を示している。ピッチの密な場合は平行筋の本数も多く、平行筋の断面積に E_q が影響している。ピッチ100mmの場合でもM、Lタイプの E_q

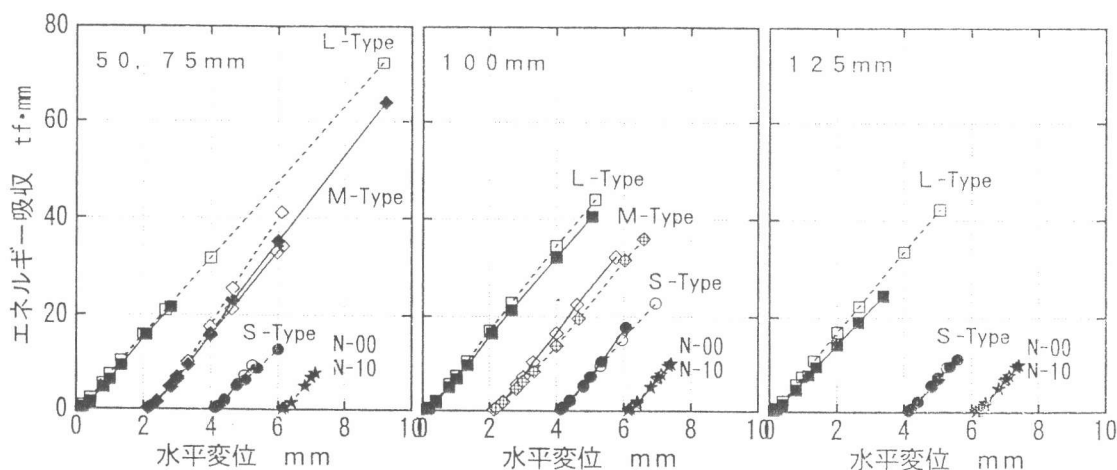


図-8 エネルギー吸収能力の比較

は高い。ただし、S4-100とL4-100はこれまでに述べたように、先端部の目荒らしの影響で水平変位が大きいので E_a は高くなっている(図中の○、□印)。ピッチが粗い125mmはLタイプの E_a が高く、SタイプはNタイプと同程度の低い値である。実験結果は、全体的にSタイプの E_a は低く、L、Mタイプの E_a はひびわれ防止筋の効果が出て高い傾向である。

4. 2 ひびわれ防止筋比の検討

柱のせん断ひびわれに有効な鉄筋は、ひびわれに直行する鉄筋(帯筋)である。図-7に示した当モルタル部のひびわれは、柱と同様なせん断ひびわれであるから、接合部に平行な鉄筋、すなわちはしご筋やメッシュ筋がひびわれの抵抗に有効である。実験結果から、モルタル厚さ方向の鉄筋(はしご筋;段筋)や、高さ方向の鉄筋(メッシュ筋;縦筋)は測定歪が少ないので、せん断力の負担は少なく、モルタルに平行な鉄筋が靱性に寄与する割合が高い。

一方、文献[1]によると現在の補強筋比率(P_s)は、モルタルの厚さ方向の鉄筋が有効と考えているので、最大耐力時モルタルのせん断応力度(σ_m)とひびわれ防止筋比の関係を図-10に示す。この場合Mタイプは該当する補強筋がないので、 $P_s=0.05\%$ の位置にプロットした。この結果Nタイプは $\sigma_m=16\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度で、Mタイプは5体ともこの応力度以上であり、Lタイプも1体がやや低いが他の5体は $\sigma_m=17\sim 18\text{kg}/\text{cm}^2$ の範囲である。しかし、Sタイプは $\sigma_m=16\text{kg}/\text{cm}^2$ を中心として応力度の高低差が大きい。また、各タイプとも σ_m と P_s との相関は明確ではない。

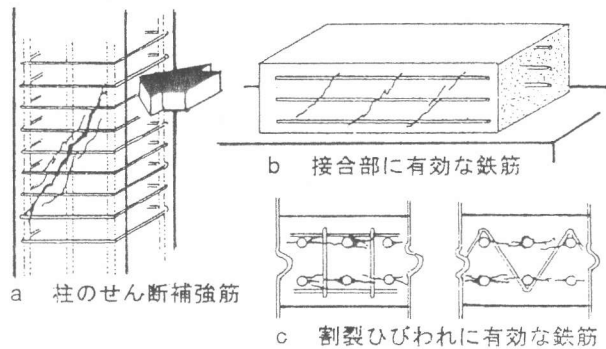


図-9 ひびわれ防止筋の有効な配置

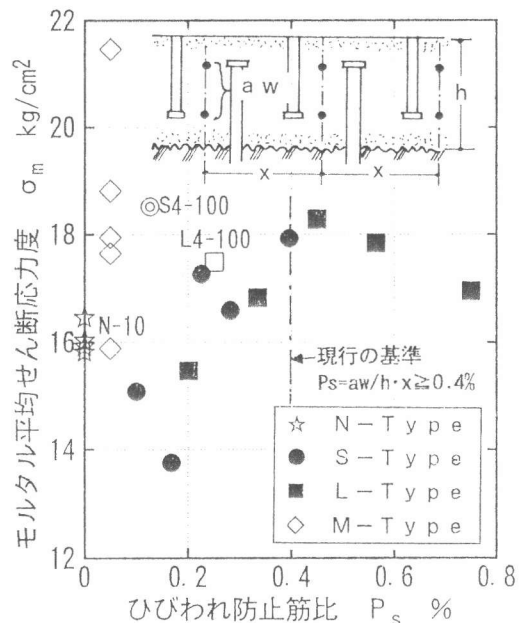


図-10 ひびわれ防止筋の P_s と σ_m

5. まとめ

スパイラル筋を採用した接合部に対して、はしご筋やメッシュ筋を採用した接合部は同等か以上の性状を示した。本来ひびわれ防止筋は接合部設計時の耐力、変位には直接換算していない。しかし、ひびわれ防止筋の性能を十分発揮させ、接合部に靱性を発揮させる場合は、はしご筋やメッシュ筋が有効的であると思われる。

- 参考文献 [1] 日本建築防災協会：改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針同解説、平成2年12月。 [2] 山本泰稔他：耐震補強用の鉄骨耐震壁に関する研究、構造工学論文集、Vol. 33B, 1987年3月。 [3] 田川泰久ほか：鉄骨枠による既存RC骨組の耐震補強、その3～5、建築学会大会1991年。 [4] 篠原敬治ほか：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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 1, 1994 [5] 篠原敬治ほか：鉄骨フレーム耐震補強壁の接合部に関する実験的研究、その6、建築学会大会、1995年