

報告

[2041] RC はりの集約せん断補強効果に関する実験

正会員 ○小林克巳 (福井大学環境設計工学科)

伊部創一 (福井大学大学院)

1. はじめに

斜めひびわれが主筋を横切る位置を想定してせん断補強筋を集約配筋すれば、主筋のダボ変形が拘束され、主筋に沿うひびわれ幅も小さくなり、せん断補強筋間隔が大きくなっても均等に配筋したものに劣らないせん断耐力・性能が得られることを示した[1]。文献[1]では、試験部分のせん断補強筋本数を一定にしてその一部を集約配筋したが、本論では集約位置の鉄筋量を変化させて、どこまで耐力が上昇可能か検討した結果を報告する。また、集約配筋の応用についてその可能性を実験した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体断面は、 $b \times D = 13\text{cm} \times 25\text{cm}$ 、せん断スパン比は 1.5とした。主筋は引張側、圧縮側とも 2-D16で、高強度異形鉄筋を弾性範囲で使用し、せん断破壊を先行させた。せん断補強筋には 4ϕ ($\sigma_y = 2950\text{kg/cm}^2$) を使用し、 $D/2 = 12.5\text{cm}$ 間隔で配置したもの ($P_w = 0.16\%$) を標準試験体 (BN-4) とした。標準試験体の配筋図を図1に示す。斜めひびわれが主筋を横切る位置あたりを想定して、部材端から $D = 25\text{cm}$ の位置に集約せん断補強を行うものとし、表1に示す6体の実験を行った。BC-6は 6ϕ 、BC-9は 9ϕ 、BC-9Wは 9ϕ を2本それぞれ集約配筋したものである。BC-4Pは文献[1]で報告した No.4で、 4ϕ ($\sigma_y = 2950\text{kg/cm}^2$) が5本集約配筋されている。また、BN-0はせん断補強筋のない試験体である。使用材料の力学的特性を表2に示す。

2.2 加力・測定方法

加力装置を図2に示す。文献[1]と同様で、2台の油圧ジャッキで左右の柱型に等しい荷重 ($P = 2Q$) を加え、中央の試験部分が逆対称モーメント状態になるようにした。荷重は加力点に設置したロードセルにより求め、相対変位は、左右の柱型にとり付けたゲージホルダー間の変位を双方向から測定して平均した。またせん断補強筋のひずみは、ストレインゲージを貼付して測定した。載荷経路については最大耐力まで単調増加荷重を加え、最大荷重確認後は、部材角で制御して片振り繰返し載荷とし、最終的に $R = 1/25$ 程度まで変形させた。

表1 試験体一覧

試験体名	せん断補強筋*
BN-0	—
BN-4	$4\phi \times 1$
BC-6	$6\phi \times 1$
BC-9	$9\phi \times 1$
BC-9W	$9\phi \times 2$
BC-4P	$4\phi \times 5$

* 集約位置のせん断補強筋

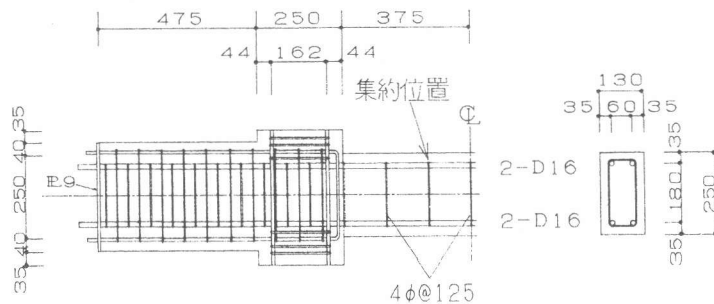


図1 標準試験体配筋図

表2 使用材料の力学的特性

鉄筋			
種類	降伏強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	E _s t/cm ²
D16	9600*	10347	1930
4φ	2949	3705	2080
6φ	5895*	6593	2100
9φ	6250*	6743	2110

* 0.2% offset 強度

コンクリート		
試験体	圧縮強度 kg/cm ²	割裂引張強度 kg/cm ²
*	293.4	24.5
BC-4P	300.8	22.8

* BC-4Pを除く全ての試験体

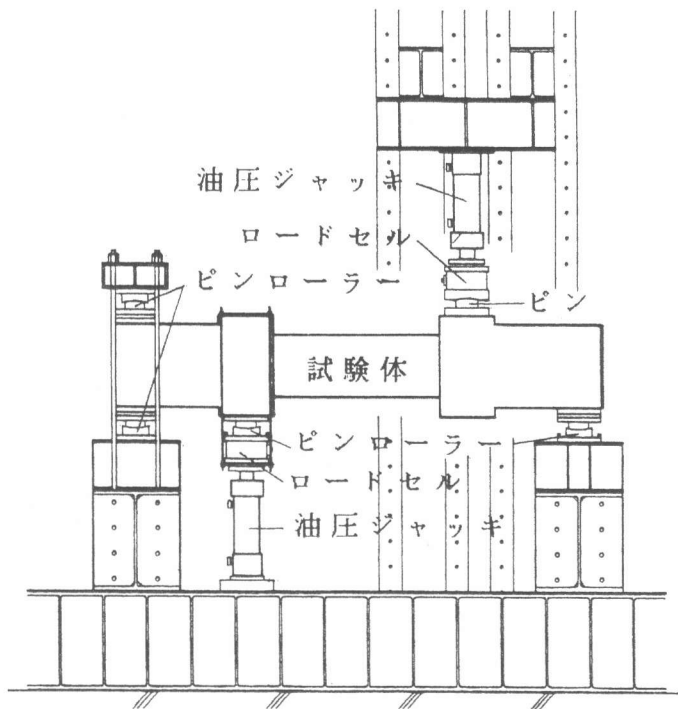


図2 加力装置図

3. 実験結果

せん断力(Q)と相対変位(δ)の関係の包絡線を図3に示す。集約配筋量を増やせば耐力は大きくなるが、BC-9以上に増やしてもそれ以上の効果は見られない。ひびわれパターンおよび最大耐力時のせん断補強筋のひずみと引張力への換算値を図4に示す。BC-9, BC-9Wでは集約位置のせん断補強筋は降伏せず最大耐力に至っており、また集約せん断補強筋の保持している引張力には大きな差はなく、集約せん断補強筋が負担する力に限界があることがわかる。文献[1]

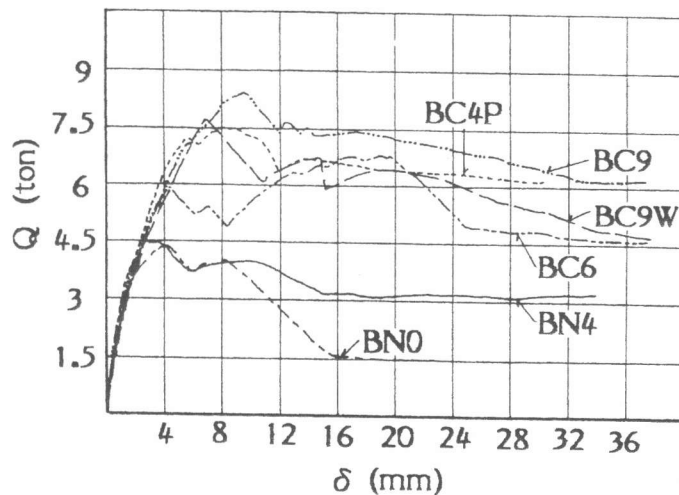


図3 せん断力と相対変形の関係

では、集約配筋による主筋のダボ変形の拘束が大きく、ダボによるせん断抵抗が大きいことが予測されたが、本実験では、主筋のひずみを測定して主筋のダボせん断力を求めたところ、ひびわれとの関係でそれほど大きな値は得られなかった。ひびわれ状況においては、どの試験体も斜めひびわれが集約せん断補強筋を横切っている。また主筋に沿うひびわれは試験体により程度の差はあるが、どの試験体においても確認され、本実験結果においては、集約せん断補強筋は主筋のダボ変形を抑え、主筋に沿うひびわれを防止する働きよりも、斜めひびわれを横切るせん断補強筋としてせん断力の伝達に大きな役割をはたしていたと考えられる。

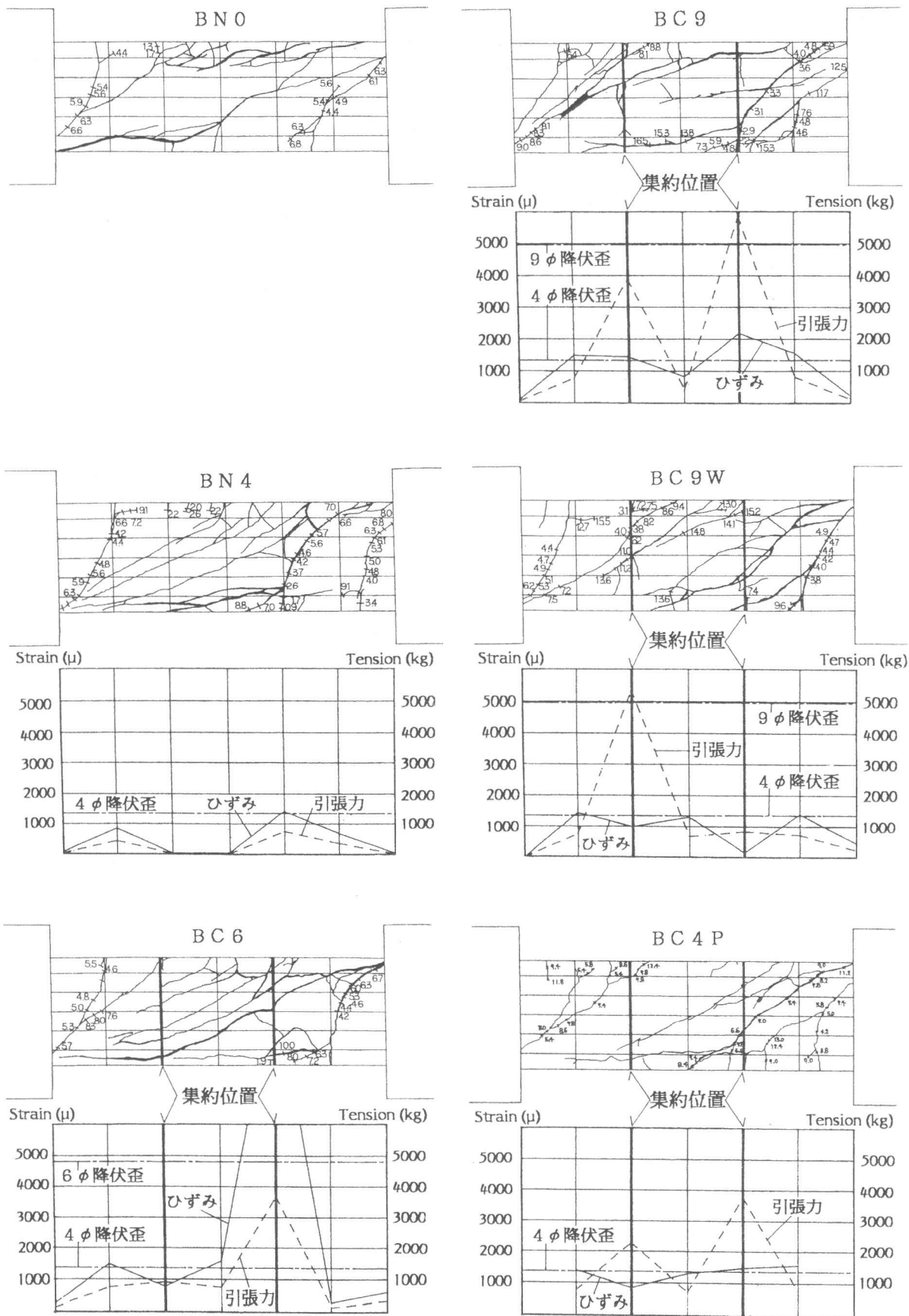


図4 ひびわれパターンおよび最大耐力時のせん断補強筋のひずみと引張力

4. 集約せん断補強量について

表3に文献[2]によるせん断耐力計算値と実験値の比較を示す。試験体 BC-6、BC-9、BC-9Wでは、 4ϕ および集約せん断補強筋がそれぞれ 25cm間隔で入っているものとして $P_w \cdot \sigma_{wy}$ の和を求めた。BC-4Pではクリアスパン内の全せん断補強筋が 12.5cm間隔で均等に分布しているものとして a_w を求めた。但し、トラス作用における圧縮束の角度 ϕ は後述の理由により図6に示すものとした。

集約せん断補強量が少ないものでは計算値と実験値は良く一致しており、集約配筋しても文献[2]で仮定しているような一様圧縮応力場が形成され、均等間隔で配筋したものと同等になっていると考えられる。文献[1]ではクリアスパン内のせん断補強筋本数を一定にして一部を集約配筋しているが、せん断耐力はどの場合も殆ど同じであり上記の考え方と一致してい

る。集約せん断補強量が多くなると、計算値に比べ実験値はかなり小さくなる。図5はひびわれを考慮して、集約配筋も含め端部のDの範囲にあるせん断補強筋の引張力の合計をせん断補強筋による伝達力と考え、残りを主にアーチ作用による伝達力として実験結果を示したものである。

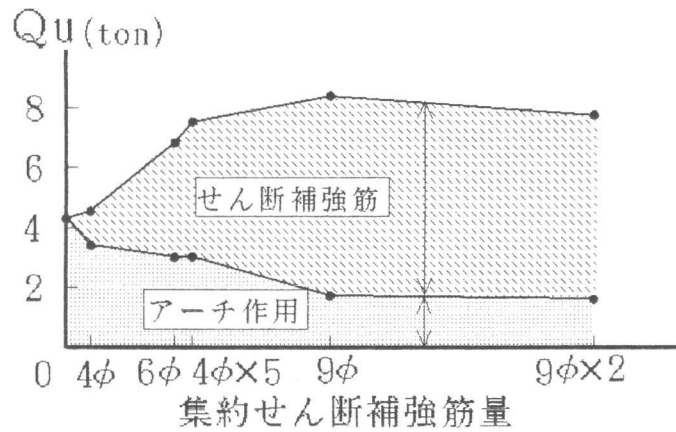


図5 せん断補強筋による伝達力とアーチ作用による伝達力

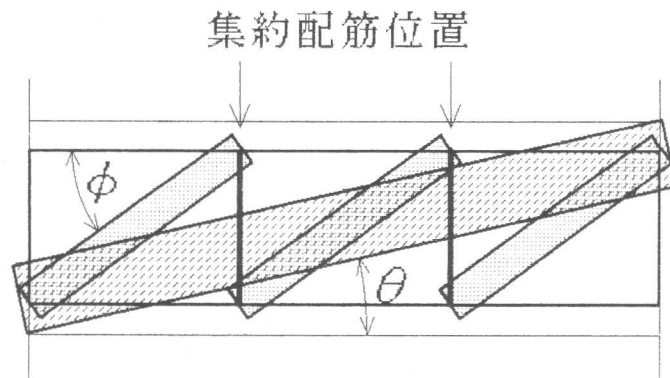


図6 集約せん断補強筋によるトラス作用

表3 文献[2]によるせん断耐力計算値と実験値の比較

試験体	a_w (cm^2)	x (cm)	P_w (%)	σ_{wy} (kg/cm^2)	$P_w \cdot \sigma_{wy}$ (kg/cm^2)	V_u (ton) (計算値)	Q_u (ton) (実験値)	V_u/Q_u
BN-0						4.28	4.35	0.98
BN-4	0.25	12.5	0.154	2949	4.54	5.41	4.54	1.20
BC-6	0.25	25	0.077	2949				
	0.56	25	0.172	5895	12.43	7.36	6.83	1.08
BC-9	0.25	25	0.077	2949				
	1.27	25	0.398	6250	27.12	11.00	8.39	1.30
BC-9W	0.25	25	0.077	2949				
	2.54	25	0.782	6250	51.12	16.95	7.74	2.17
BC-4P	0.65	12.5	0.400	2949	11.80	7.28	7.50	0.97

一定の集約補強量を超えると、せん断補強筋による伝達力はほぼ一定となり、BC-9、BC-9Wではせん断補強筋は降伏していない。文献[2]による計算値では、BC-9Wもまだせん断補強筋が降伏する範囲であるが、集約せん断補強量が多くなると集約位置に応力が集中して一様な圧縮応力場が形成されず、集約位置付近の圧縮束だけが有効になると考えれば、集約せん断補強筋のトラス作用は図6のように考えることができる。

BC-9、BC-9Wの集約せん断補強筋の引張力が本試験体の限界集約せん断補強量となるが、図6のトラス作用の圧縮束の断面積と破壊条件を決定できれば、集約せん断補強量の限界を一般的に求められることになる。集約せん断補強筋以外のせん断補強筋の量（径と間隔）、集約位置、等によって影響を受けるはずであり、一般化するためには力学モデルも含めさらに検討が必要である。

5. 集約せん断補強の応用

5.1 実験概要

プレキャスト鉄筋コンクリート部材の端部に機械式継手を設ける場合、継手部両端で集約せん断補強することができれば、施工、断面設計、経済的効果の点で大きな利点がある。そこで、はり端部に模擬継手を設けた試験体を製作し、せん断耐力、変形性状などを確認するパイロット実験を行った。試験体はせん断補強筋に高強度の4φ（ $\sigma_y = 7244 \text{ kg/cm}^2$ ）を等間隔（ $PW = 0.36\%$ ）で配置したもの（SN-4）と継手部両端に集約せん断補強を行ったもの（SC-9W）の2体である。図7にそれぞれの試験部分の配筋図を示す。集約せん断補強を行ったものでは、できるだけその量が多くなるように継手両端部に9φのせん断補強筋を2本配置した。試験体形状、4φ以外の使用材料の特性、実験方法および測定方法は、前述の実験と同様である。模擬継手には、外径34mm、厚さ3.2mmの配管用鋼管（JIS G3452）を205mmの長さに切断して主筋にかぶせ、無収縮グラウト材を充填した。なお、主筋は連続しており、コンクリートは一体打ちである。

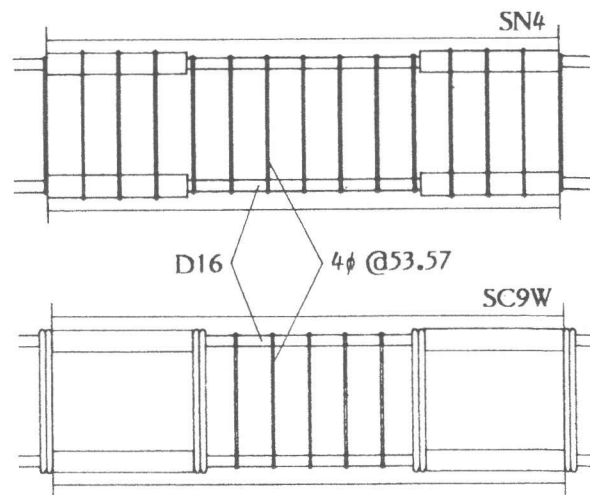


図7 試験部分配筋図

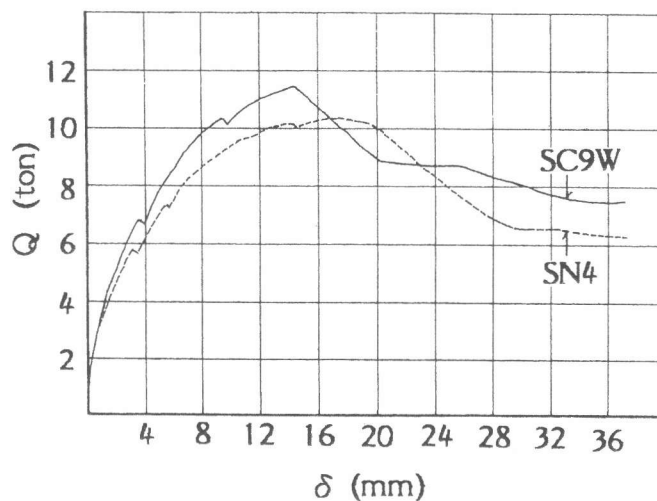


図8 せん断力と相対変形の関係

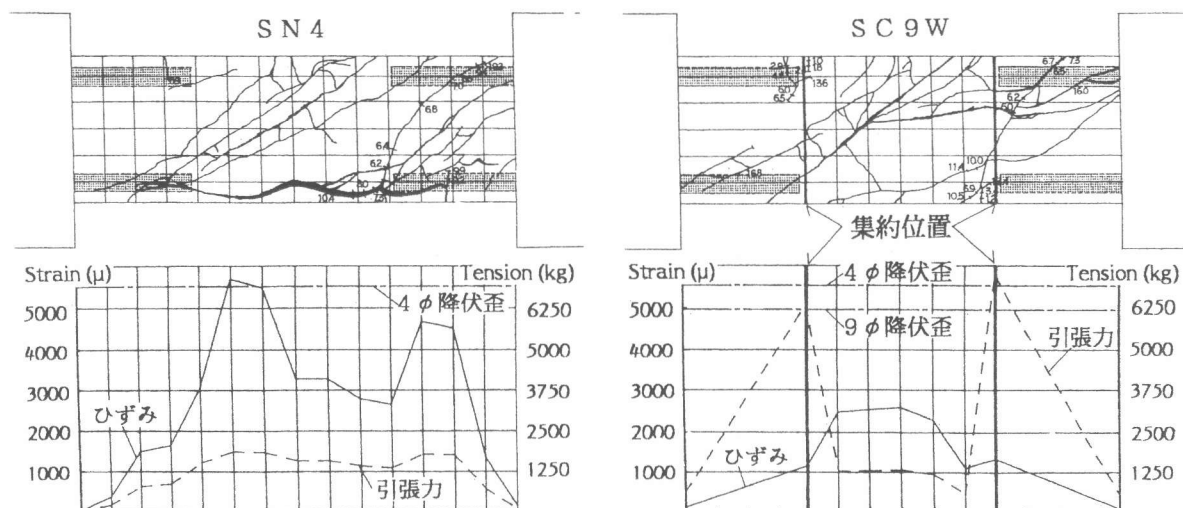


図9 ひびわれパターンおよび最大耐力時のせん断補強筋の歪と引張力

5.2 実験結果

せん断力(Q)と相対変位(δ)の関係の包絡線を図8に示す。予想通り集約配筋してもせん断性状が悪化することは無く、集約せん断補強量に対応して耐力も大きくなっている。ひびわれ状況および最大耐力時のせん断補強筋のひずみと引張力への換算値を図9に示す。SN-4の一部のせん断補強筋は降伏したが、模擬継手部分のせん断補強筋の引張力の合計に対して、SC-9Wの集約せん断補強筋の引張力はそれ以上の値が得られており、図6のトラス作用を考えれば、せん断耐力に対しては、集約配筋されている場合でも、圧縮斜材を横切って等間隔に配筋されている場合に比べ、同等の効果があるものと思われる。最終段階では、部材中央よりの継手端部付近で圧潰が生じたが、これは継手の存在により、部材端部で圧潰が起こりにくいためと考えられる。

6. まとめ

集約せん断補強筋と斜めひびわれを考え、図6のトラス作用を考えると、集約配筋されている場合でも、部材端部の圧縮束を横切って等間隔に配筋されている場合に比べ、せん断力伝達に対しては同等の効果があるものと思われる。本実験では、はっきりと確認できなかったが、主筋のダボ変形が拘束されてダボ作用による伝達力が増加すること、主筋に沿うひびわれ幅も小さくなって付着劣化が少なくなること、等の可能性を考えれば、集約配筋の効果を十分期待することができると思われる。但し、繰返し荷重を受けた時の変形能力については別途検討する必要がある。

謝辞 本実験に使用した高強度異形鉄筋は、川崎製鉄㈱よりご提供頂きました。実験の実施に当たっては、福田 萬枝官、岩佐真吾氏および斎藤伸子さんのご協力を得ました。また本研究費の一部は、文部省科学研究費補助金によるものであります。関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小林克巳・伊部創一ほか：RCはりのせん断破壊機構を考慮したせん断補強筋の配置とせん断性状に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.2、pp.181-184、1991
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.11