

[2110] せん断補強筋への PS 導入効果について

正会員 大井孝和 (愛知工業大学工学部)

1. 序

近年、非常に高強度なコンクリートと鉄筋を組合せた高強度鉄筋コンクリート構造の設計施工技術に関心が集まっている。このような鉄筋コンクリート構造の耐力性能を更に高めようとするれば、破壊時の部材に十分な靱性を付与する設計方法とともに、柱梁などに用いて強力で効率の高いせん断補強の方法が重要な課題となるであろう。あばら筋、帯筋によるせん断補強の有効範囲(日本建築学会・RC計算規準式では、 $P_w \leq 1.2\%$ )を超えるせん断補強をおこなうことのできるひとつの方法として、あばら筋、帯筋に高強度鉄筋を用い、それらにプレストレス(以下PSと略記する)を導入することが考えられる。

本報告では、まず、基本的なRC梁試験体の曲げせん断実験を行ない、あばら筋にPSを導入するのと同様な効果を持つ外部拘束を試験体に与えて、曲げせん断荷重を受けた試験体の変形を詳しく調べることにより、この方法によるせん断補強の特徴とせん断抵抗のメカニズムを少しでも明らかにしようとした。

本実験においては、外部拘束により、材軸に直角方向のプレストレスを試験体に対してできるだけ単純な状態で与えることに留意している。PS導入方式のせん断補強の具体的方法については、将来、この単純な応力状態と比較しつつ、それぞれの特性を調べて行く予定である。

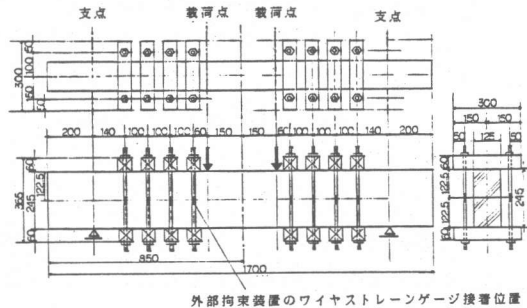


図-1 試験体の形状・寸法

2. 実験の概要

試験方法には、単純支持梁に2点集中荷重を加える最も簡単な曲げせん断載荷方法を選んだ。梁試験体は全長170cm、全せい24.5cm、

表-1 使用した鉄筋の力学的性質

鉄筋種類	実測直径 (cm)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
丸鋼R13	1.300	1.327	3160	4650	41
異形D13	—	1.27 *	3620 (3530)	5120 (5110)	32
丸鋼Φ 4	0.401	0.1265	2170	3350	49

註) \*の値は公称値

有効せい

表-2 コンクリートの力学的性質

21.5cm, 梁巾 12.5cm の複筋矩形梁とし、支点間距離

バッチ	気乾比重	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	静ヤング係数 (10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	備考 (梁試験体記号)
C 1	2.345	25.8	251	2.48	R-3, R-6, R10, R-0
C 2	2.340	29.0	262	2.62	D-3, D-6, D10, D-0
C 3	2.331	25.6	257	2.65	RPS, DPS

130cmにてピンローラーで支持した。すなわち、純曲げスパン長さ 30cm,せん断スパン長さは 50 cm である。梁試験体の形状寸法および載荷方法の概略を 図-1 に示す。

梁試験体の主筋は、丸鋼 (2-R13) と異形鉄筋 (2-D13) の2種類とし、あばら筋へのPS導入に相当する外部拘束 (以下外部拘束と略記する) を加える試験体にはあばら筋を配筋しなかったが、比較のために、外部拘束を加えないで、せん断スパンに  $P_w = 0\%, 0.2\%, 0.33\%$  および  $0.67\%$  のあばら筋 ( $\Phi 4$  mm) を配筋した試験体を製作したので、梁試験体の総数は 10体となった。試験体の記号と各実験条件の対応はまとめて後出の表-3に示すことにする。

使用した鉄筋の力学的性質を表-1に示す。なお、表-1の異形鉄筋D13の降伏点および引張強度について、( ) 内の値はワイヤストレインゲージ接着のため、横ふしの一部を削り取った供試体で測定して得られた見掛けの値である。

コンクリートは同じ配合で3パッチに分けて打設した。骨材は天竜川産の川砂川砂利、セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比  $57.5\%$ 、スランプ値は約 20cm であった。試験時材令 (5~8週) における各パッチのコンクリートの力学的性質を表-2に示す。

外部から拘束することによって梁試験体せん断スパンのコンクリートに垂直方向のプレストレスを与える方法は次の通りである。すなわち、拘束は1組につき  $\Phi 13$ mm 磨き鋼棒のボルト2本とナットを用いて、梁の上下両面から当てた2本の  $6\text{cm}$ 角の硬木ラワン材を締め付けるもので、この装置をひとつの試験体片側のせん断スパンに4組、両側で8組を 10cm 間隔に配置した。図-1は梁試験体にこの外部拘束装置を装着したところを示している。

ラワン角材の間の 4cmの隙間はコンクリートの材軸方向の歪みを測定するワイヤストレインゲージを接着するために設けた。ラワン材を用いたのは、応力をなるべく均等に分散させようと考えたからで、上下の鉄筋間では導入された垂直方向の圧縮応力はほぼ均等に分布しているものと思われる。すべてのボルトにはワイヤストレインゲージを接着し、指示計に接続して導入引張力を常時監視できるようにした。

ボルトの締め付け力は1本あたり 1.25 t, この装置1組につき 2.5 t で、導入した応力が均等に分散すればその値は  $20 \text{ kg/cm}^2$  となる。いま、あばら筋の補強量を  $P_w \cdot wFt$  で評価することにし、 $wFt$  に本実験で比較のために用いた  $\Phi 4$ mm あばら筋の降伏応力を代入すれば、他の試験体と比較するためのこの外部拘束の等価あばら筋比は  $0.92\%$  と考えてよいことになる。

表-3 梁試験体の曲げせん断載荷実験結果

試験体記号	引張鉄筋比 $P_t$ (%)	あばら筋比 $P_w$ (%)	曲げ初きれつ 荷重 (t)	せん断きれつ荷重 (t)		曲げ降伏 荷重 (t)
				きれつ①	きれつ②	
R-3	0.988	0.67	2.50			7.23
R-6	0.988	0.33	2.00			6.81
R10	0.988	0.20	2.25	5.0		6.95
R-0	0.988	0	2.75	4.5		6.72
RPS	0.988	(0.92)	1.50			6.53
D-3	0.945	0.67	2.00	4.5		7.37
D-6	0.945	0.33	2.50	5.0		7.12
D10	0.945	0.20	2.25	5.0	6.5	7.36
D-0	0.945	0	1.75	4.5	5.0	6.45
DPS	0.945	(0.92)	2.00	5.5		7.47

註) RPS, DPS試験体に対する  $P_w$  の値は外部拘束による等価あばら筋比である。

梁のスパン中央たわみはダイヤルゲージで、荷重はロードセルで測定した。荷重は一向方で、繰り返し荷重の回数を少なくしたが、これはせん断スパンの鉄筋に沿う付着応力の分布があまり乱されないようにと考えたためである。

梁の主筋には、両端の支点位置と荷重点位置にワイヤストレングージを接着して、それぞれの鉄筋位置に生ずる力を測定した。また、コンクリートについては、支点位置から純曲げスパン内まで、スパンの片側で6断面、全長では12断面位置で、試験体の上面と側面の圧縮歪み領域にワイヤストレングージを接着して、歪み分布を測定した。

### 3. 実験結果

各試験体の曲げ初きれつ荷重、せん断きれつ荷重および破壊荷重の実測値を表-3に示す。せん断きれつ荷重については、曲げせん断きれつの傾斜の変化から判断した場合を①とし、せん断スパンに突然生じた大きなせん断きれつを②に分類した。

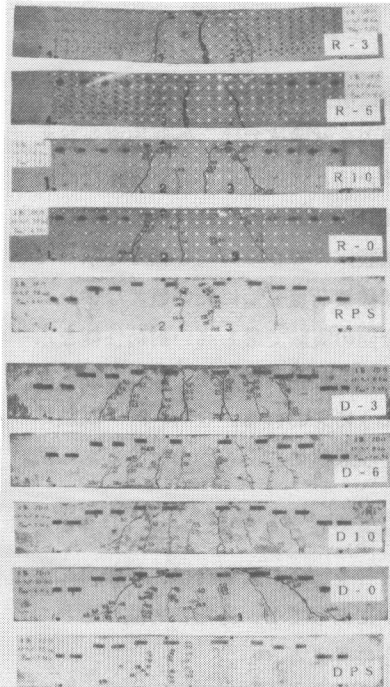


写真-1 きれつ発生状況の写真

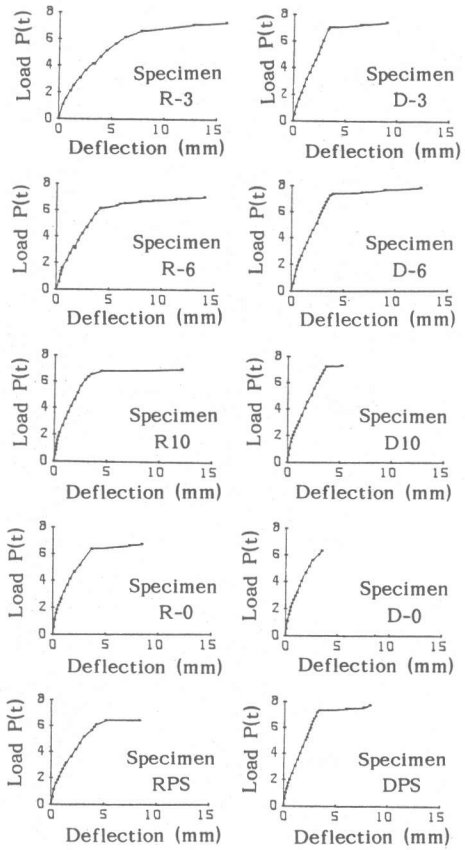


図-2 スパン中央たわみ(実測値)

鉄筋とコンクリートの力学的性質から、計算によって求められる曲げ初きれつ荷重は約2.0t、曲げ降伏荷重は、丸鋼の試験体にたいして6.7t、異形鉄筋の試験体にたいして7.2tである。各試験体のきれつ発生状況は写真-1に示す。

つぎに、ダイヤルゲージで測定した各試験体の荷重とたわみの関係を図-2に示す。また、ワイヤストレングージで測定した梁試験体の各断面位置のひずみは、支点位置と荷重点位置のみについて図-3にまとめて示す。但し、荷重点位置のコンクリートひずみは、荷重点から純曲げスパン内へ3cm入ったところで測定したものである。

### 4. せん断補強筋へのPS導入効果について

本実験では、試験体の断面および荷重の実験条件を曲げ破壊型に近いところに設定したので、急激で大きなせん断きれつ②を生じたのは、D-0試験体とD10試験体の2

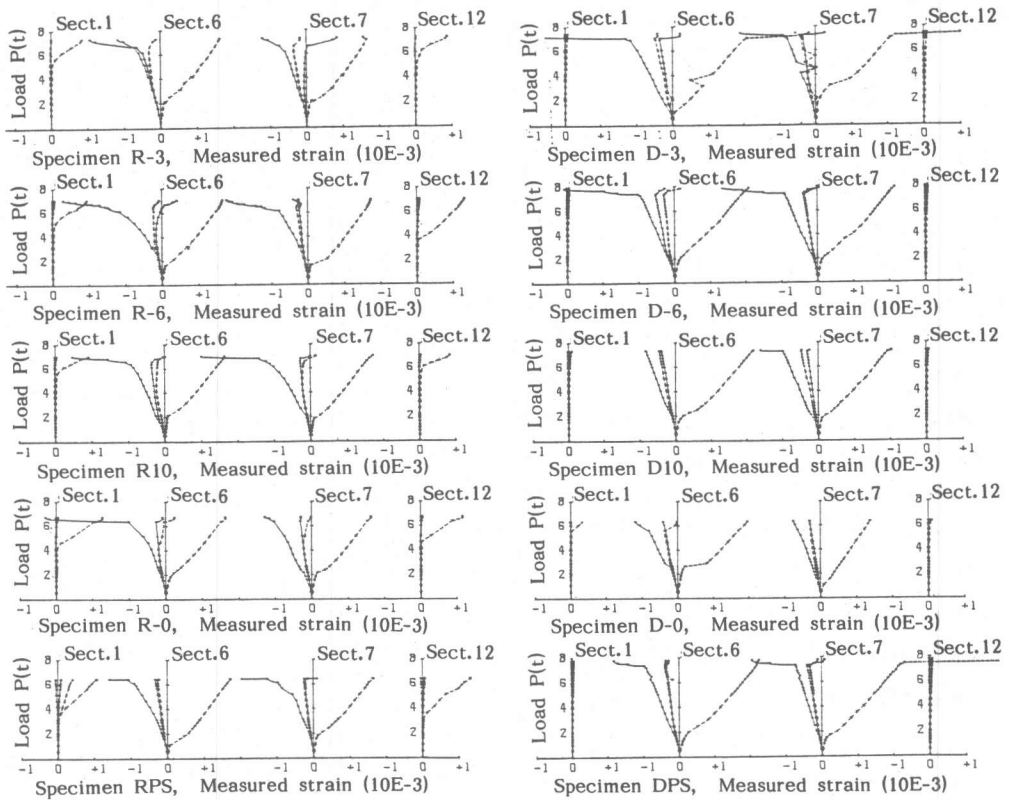


図-3 せん断スパン両端におけるコンクリートと鉄筋のひずみ(実測値)

体のみであり、D-0 梁を除くすべての試験体では、曲げ破壊時に引張鉄筋の降伏が観測された。

各試験体の破壊荷重を表-3で比較してみると、主筋が丸鋼のR試験体では、外部拘束を与えたRPS試験体で低い値が出現し、他の試験体は、あばら筋が多いほど破壊荷重が若干高くなる傾向を認めることもできるが、試験体毎の強度のばらつきを考えれば、ほぼ同等とみなしても良いと思われる。一方、異形鉄筋のD試験体では、D-3 から D10試験体までがほぼ同じ強度を示したが、比較的低い荷重でせん断きれつ②を生じたD-0試験体は破壊荷重も特に低い値となった。D-0と同じ条件の試験体に外部拘束を加えたDPS試験体は、今回の実験で最も高い耐荷性能を示したが、DPS試験体の荷重と変形の関係は、外部拘束によるせん断補強の効果が、あばら筋を多く配筋したD-3試験体の延長上にあることを示唆するもののように思われる。なお、RPS試験体については、歪み測定結果の分析から、片側のせん断スパンで試験体になんらかの欠陥があったのではないかと考えている。

外部拘束によるPS導入の効果は、写真-1に見られるような、せん断スパンにおけるきれつ進展の様子に最も良く現われたように思われる。すなわち、PSを導入した場合は、斜張力による曲げせん断きれつの傾斜がほとんど現われず、せん断スパンにあっても、あたかも曲げきれつのように、きれつは上方に向かってゆっくり進展していくように見える。

このようになる理由は、きれつの先端におけるコンクリートの材軸方向の引張応力とせん断応力をどのように見積もるかという細かい議論を除けば、初等的なMohrの応力円による斜張力の

理論に、P S 導入による材軸に直角方向の圧縮応力を重ねることで容易に説明することができ、実際に作図して、RPS, DPS試験体のせん断スパンにおけるきれつ角度を、ほぼ正確に予想することができる。

平均きれつ間隔は、外部拘束によっても、また、あばら筋の配筋量によっても、ほとんど影響を受けていない。一方、曲げ初きれつ荷重は、RPS 試験体でかなり低い値が観測され、DPS 試験体でも、他の試験体と較べてやや低い値が得られているので、材軸に直角方向の P S 導入が曲げ初きれつの発生に何らかの影響を与えたのではないかと思われる。

図-2の荷重たわみ関係は、R 試験体における若干の測定の不備を除けば、丸鋼・異形鉄筋を含めて、すべての試験体がそれぞれの曲げ降伏荷重に至るまで、ほとんど同じ経路を辿っており、その区間では、鉄筋種類、外部拘束の有無あるいはあばら筋の配筋量が梁試験体のたわみ変形に及ぼす影響はほとんど認められない。

図-3のせん断スパンにおける梁断面の歪み測定結果について、筆者らはコンクリートと鉄筋の間のずれを許容しつつ、コンクリートと鉄筋の間のいろいろな力の伝達と配分について解析を進めているが、その結果については別の機会に報告したい。

ここでは、実測された鉄筋の軸力差から、せん断スパン全長についての平均付着応力を求め、

それによって鉄筋からコンクリートに伝達されるせん断力の挙動をみるとともに、それに及ぼす外部拘束およびあばら筋比の影響についても調べることにする。各試験体のせん断スパン全長についての平均付着応力度が荷重と共に変化する様子を図-4に示す。

図-4によれば、丸鋼と異形鉄筋の付着性状の相違を一見して認識することができるが、両者のグラフを重ねてみると、曲げ初きれつ発生以後もしばらくは両者が同じ経路、すなわち、完全付着を仮定した場合の傾向をほぼ同様に辿っていることがわかる。その後、丸鋼はその傾向から離れ、次第に付着応力が減少する方向へと転ずるが、一方、異形鉄筋は完全付着を仮定した場合の傾向をほぼそのまま継続して破壊荷重にまで至っている。

平均付着応力度のグラフは、梁試験体の強度と変形の傾向をきわめてはっきりと反映しており、逆に鉄筋の付着性状が梁試験体の強度や変形特性に及ぼす影響の大きさを示しているように思わ

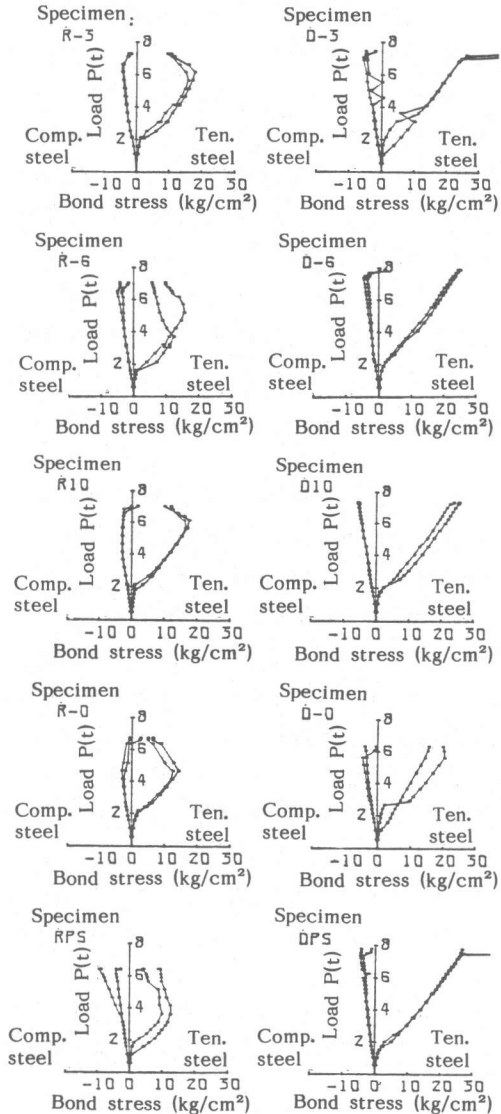


図-4 平均付着応力度(実測値)

れる。この平均付着応力度についても、試験体毎のばらつきが大きいので、あばら筋の配筋量と外部拘束の影響はあまり明瞭ではないが、(等価)あばら筋比が大きいほど鉄筋の付着性能を向上させるように思われる。

図-4には描き込まなかったが、引張鉄筋降伏後、引張鉄筋の平均付着応力度は、丸鋼ではほとんどゼロになるのに対し、異形鉄筋では、一旦  $80\sim 90\text{ kg/cm}^2$  の大きい値になったあと、すぐ  $40\text{ kg/cm}^2$  あたりまで戻って、たわみが塑性的に進行するあいだ、その値を保持するようであった。丸鋼の試験体に見られるように、荷重が上昇しつつあるのに、平均付着応力が増大せず、次第に減少する場合は、付着応力によって鉄筋からコンクリートにせん断力が伝達される形式以外のせん断抵抗機構によって分担されるせん断力の割合が増大していることを示唆している。

## 5. 結び

あばら筋のようなせん断補強筋によるせん断補強の有効性を高めるひとつの方法として、P S 導入を考え、それと同等な効果を持つ外部拘束を付加した梁の曲げせん断実験を行ない、材軸に直角方向のP S 導入の影響について調べようとした。

得られた実験結果を分析して、本実験の範囲内では、材軸に直角方向のP S 導入があばら筋比を増大したのとはほぼ同様の効果をもたらし、異形鉄筋の DPS 試験体については、梁の破壊および変形の挙動に関して、予想された通りの優れた結果が得られたことがわかった。今後はプレストレスの導入応力をさらに高めた実験を行い、P S 導入方式のせん断補強方法の可能性を追求すると共に、実際的な施工法についても研究を進めていきたいと考えている。

この方法は、どちらかといえば大きな軸力が作用する鉄筋コンクリート柱のせん断補強に適していると思われ、また、プレストレスト・コンクリート構造の設計手法と組合せて、建築構造に適用すれば、より大きな利点を見出すことができるものと考えている。また、この方法に対するせん断抵抗機構解明の試みはまだ始めたばかりであるが、このテーマに新しい視野が与えられるよう期待している。

## 参考文献

- 1) 荒川卓、武田寛：鉄筋コンクリート構造におけるせん断補強（柱とはりのせん断補強効果）、コンクリート工学、Vol.17, No.6, 1979.6, pp.1~12
- 2) 六車照、渡辺史夫他3名：鉄筋コンクリート柱におけるせん断補強筋の補強効果に関する研究（その1、その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1981.9, pp.1309~1312
- 3) 渡辺史夫：鉄筋コンクリートのせん断性状と付着、日本コンクリート工学協会、RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム、1982.6, pp.123~134
- 4) 黒正清治、林静雄他2名：異形鉄筋とコンクリートの付着に関する基礎的研究（その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1982.10, pp.1329~1330
- 5) 大井孝和、奥島則之：鉄筋コンクリート柱試験体の鉄筋応力をコンクリートひずみから推定する方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、1986.8, (構造II-C), pp.415~416