報告

「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、Pv ≤ 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 するのと同等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。



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 170㎝, 全せい24.5㎝,

表-1 使用した鉄筋の力学的性質

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

有効せい

コンクリートの力学的性質 表-2

 $\boxtimes -1$

21 .5c∎,梁			引張強度	圧縮強度	静ヤング係数	備考
巾 12.5cm	バッチ	気乾比重	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(10^5 kg/cm^2)	(梁試験体記号)
の複筋矩形	C1	2.345	25.8	251	2.48	R-3,R-6,R10,R-0
歌とし 古	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
点間距離		•				

11

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 Pw = 0%, 0.2%, 0.33% および 0.67%のあばら筋(Φ4 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ー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バ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)における各バ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 Φ13mm 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 6cm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ーンゲ 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ーンゲージを接着し、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 1.25t,この装置1組につき 2.5tで、導入した応力が均等 に分散すればその値は 20 kg/cm²となる。いま、あばら筋の補強量を Pw・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Φ4mm 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。

	引張鉄筋比	あばら筋比	曲げ初きれつ	せん断きれつ荷重(t)		曲げ降伏
試験体記号	Pt (%)	Pw (%)	荷重 (t)	きれつ①	きれつ②	荷重(t)
<u>R-3</u>	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

表-3 梁試験体の曲げせん断載荷実験結果

註) RPS,DPS試験体に対する Pv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。載荷は一方向で、 繰返し載荷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、両端の支点位置と載荷点位置 にワイヤストレーンゲージを接着して、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ーンゲージを接着して、 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



写真ー1 きれつ発生状況の写真



Load 4 Specimen Specimen 2 R-3 D-3 0 ٥ 5 10 15 10 15 Deflection (mm) Deflection (mm) 9(t) 9 P(t) " Load Load Specimen Specimen 2 Z R-6 D-6 0 0 10 15 10 15 Deflection (mm) Deflection (mm) 8 8 P(t) 9 (t) 9 6 Load Load 4 Specimen Specimen z R10 D10 0 10 10 15 15 5 0 Deflection (mm) Deflection (mm) P(t) P(t) 6 6 Load Load Specimen Specimen 2 R-0 D-0 0 10 15 10 S 15 Deflection (mm) Deflection (mm) P(t) " P(t) Load Load Specimen Specimen z 7 RPS DPS O 10 15 10 15 Deflection (mm) Deflection (mm) スパン中央たわみ(実測値) $\mathbb{Z}-2$

۳ ۳ ۳

P(t)

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。

っぎに、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、ワイヤストレーンゲー 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 と載荷点位置のみについて図-3にまとめて示す。但し、 載荷点位置のコンクリートひずみは、載荷点から純曲げス パン内へ 3 cm 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載荷の実験条件を曲げ 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、PS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の角度を、 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PS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



度を求め、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とする。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 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 80~90 kg/cm²の大きい値になったあと、すぐ 40 kg/cm²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、PS 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PS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PS導入があばら筋比 を増大したのと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、PS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) 六車熙、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請演梗概集、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