

(30) 横補強筋にプレストリスを導入したRC短柱のせん断性状に関する実験的研究

関東学院大学 榎谷研究室 正会員 ○ 渡部 洋  
 同大学 工学部教授 榎谷 榮次  
 同大学 榎谷研究室 有馬 裕樹  
 (財)建材試験センター 伊藤 嘉則

1.はじめに

コンクリートの3軸圧縮応力状態では、1軸のみの圧縮応力状態と比較して圧縮強度が向上する事は、既往の研究で知られている。ここで、常に上部構造物による軸力を負担する柱材は、側圧を受ける事で3軸圧縮応力状態となる。側圧を与えることにより、引張力が生じない圧縮材においては3軸圧縮応力状態が形成され、より高い圧縮強度の部材を提供することができる。一方、部材軸方向に引張力を受ける場合には、軸直交方向に横方向にプレストリスを加えた上、さらに軸方向にもプレストリスを与える等して、受けた引張力に対する強度の低下を打ち消すことができる。本研究は横補強筋に緊張力を与え、この緊張力により柱側面から拘束圧を受けるプレストレストコンクリート(以下PC)柱試験体のせん断性状を、鉄筋コンクリート(以下RC)試験体と比較することを目的とした。

2.実験概要

2-1 せん断試験概要

試験体は約1/5スケールの総数7体、せん断比(M/QD)1.25、断面120mm×120mm、高さ300mmからなる角型柱状試験体を計画した。柱上下に相当する部分には荷重用のスタブを設けた。変動因子は、横補強筋の緊張力(無し・1.2GPa)、横補強筋比( $P_w=0.174\%:@30\text{mm}$ ・ $P_w=0.087\%:@60\text{mm}$ )、材質(硬鋼線材:SW-A・ビブ線材:SWP-A)それぞれ2種類とした。主な共通因子は、主筋量(8-D10: $P_s=4.00\%$ )・主筋降伏強度(SD785)・横補強筋形状(溶接閉鎖形角型、寸法98mm×98mm)及び径( $\phi 2.0\text{mm}$ )を一定とした。試験体配筋詳細をFig.1、コンクリート調合をTable 1、鉄筋の材料性状をTable 2、試験体名一覧をTable 3に示す。せん断試験は3MN試験機を使用し、柱に軸力を与えずに一方単調の大野式逆対称モ-メント方式の荷重を行なった。相対変位はFig.1の位置に取り付けた変位計で、主筋及び横補強筋のひずみは同図に示す位置に貼付したひずみゲ-ジにより測定した。また、せん断試験と併せて、試験区間の柱と同じ配筋の短柱を作製し圧縮試験を行った。

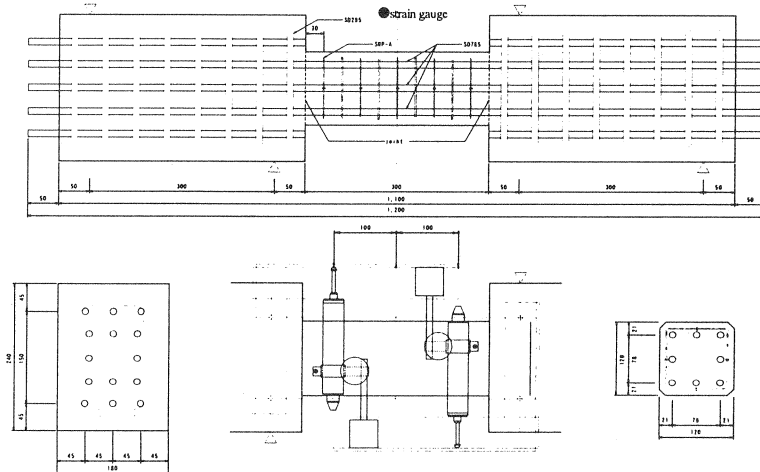


Fig.1 Details of specimen 30-PW-P1-S (unit:mm)

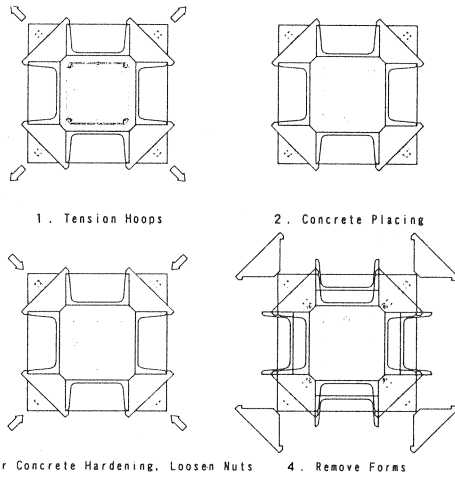


Fig.2 Method of prestress

Table 3 Test specimens

N.O.	specimen	type	M/QD	L	cross section	*P <sub>g</sub>	*P <sub>w</sub>
1	M8-S						—
2	60-SW-P0-S	RC	1.25	300mm	120mm × 120mm	4.00%	0.08%
3	60-PW-P0-S						0.08%
4	60-PW-P1-S	PC					0.08%
5	30-SW-P0-S	RC					0.17%
6	30-PW-P0-S						0.17%
7	30-PW-P1-S	PC					0.17%

\*P<sub>g</sub>=A<sub>l</sub>/A<sub>c</sub>, A<sub>l</sub>:Cross-sectional area of the longitudinal reinforcement (mm<sup>2</sup>), A<sub>c</sub>:Cross-sectional area of the concrete (mm<sup>2</sup>)

\*P<sub>w</sub>=a<sub>w</sub>/bx, a<sub>w</sub>:Cross-sectional area of the transverse reinforcement (mm<sup>2</sup>), b:Width of column (mm), x:Pitch of transverse reinforcement (mm)

Table 4 Yield strength of transverse reinforcement

specimen	transverse reinforcement steel yield strength σ <sub>sy</sub> (MPa)	tension stress σ <sub>sp</sub> (MPa)	transverse hoop yield strength σ <sub>sy</sub> - σ <sub>sp</sub> (MPa)
60-PW-P1-S	1390	1075	315
30-PW-P1-S	1390	910	480

Table 1 Concrete type

concrete type	F <sub>c</sub>	fine aggregate	cement	water	water-cement ratio	AE water reducing agent
Mortar (high-early-strength cement)	30MPa	90kg	30kg	15kg	60%	360g

Table 2 Properties of reinforcement

steel type		yield strain (%)	yield strength (MPa)	tensile strength (MPa)	modulus of elasticity of steel (GPa)
longitudinal reinforcement	D10 SD785	0.374	777.8	1023.5	207.9
	SWP-A*	1.067	1790.0	1960.5	206.9
transverse reinforcement	φ2.0 SWP-A(welded wire) *	0.866	1390.0	1640.5	206.9
	SW-A*	0.800	1250.0	1520.5	206.9
	SW-A(welded wire) *	0.788	1210.0	1350.5	206.9

\*0.2% off set

Table 5 Test results

specimen	maximum shear strength (kN)	displacement (maximum shear strength) (mm)	R (maximum shear strength) (×10 <sup>-3</sup> rad)	k <sub>DS</sub>	k <sub>DC</sub>
M8-S	18.44	0.58	1.93		
60-SW-P0-S	25.49	1.24	4.12	—	—
60-PW-P0-S	25.33	2.15	7.17		
60-PW-P1-S	37.84	3.67	12.22	1.49	1.14
30-SW-P0-S	29.44	3.39	11.28	—	—
30-PW-P0-S	33.80	3.53	11.77		
30-PW-P1-S	50.74	3.32	10.72	1.50	1.96

k<sub>DS</sub>:V<sub>sp</sub>/V<sub>s</sub>  
k<sub>DC</sub>:σ<sub>sp</sub>/σ<sub>s</sub>

2-2 プレストリ付加概要

横補強筋によるプレストリ導入は Fig.2 の要領で行う、コンクリート打設前に初張力を与えるプレテンション工法による。ここで初張力は、プレストリ付加装置の4隅のネジをナットで締め込む事で与え、コンクリート硬化後にこれを緩め柱に側圧を与える。プレストリをコンクリートに与える時期は、コンクリート材齢3日目とし、Fig.1の横補強筋に貼付したひずみゲージ(せん断試験時にも測定に使用)により測定し、横補強筋の降伏ひずみ以下(0.8%以下)ではほぼ均一になるように、一本当たりの初張力(1.2GPa程度)を与えた。なお、実験時には横補強筋リラゲーションによる緊張力損失が考えられるのであらかじめ予備試験を行い、初張力80%が実験時に確保される有効な応力であることを確認した。

3.実験結果

横補強筋のプレストリの量を Table 4 に、せん断試験結果一覧を Table 5、せん断力-変位曲線を Fig.3 に示す。各試験体の最大せん断力と横補強筋比の関係を Fig.4 に、PC試験体とRC試験体の累積エネルギー吸収能力の比較を Fig.5 に示す。ここで累積エネルギー吸収能力は、せん断力-変位曲線で囲まれる面積より求めた。

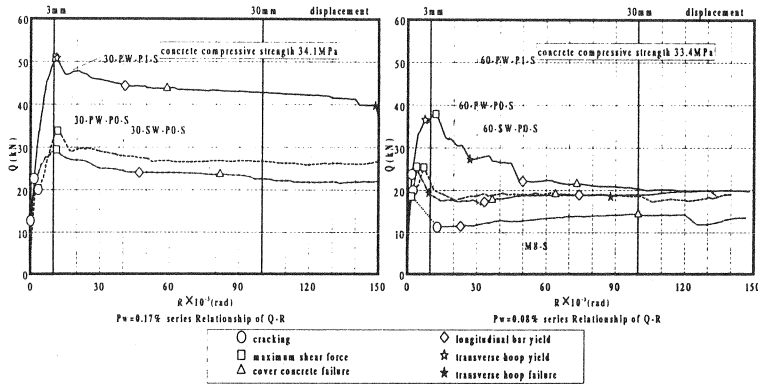


Fig.3 Q-R curves

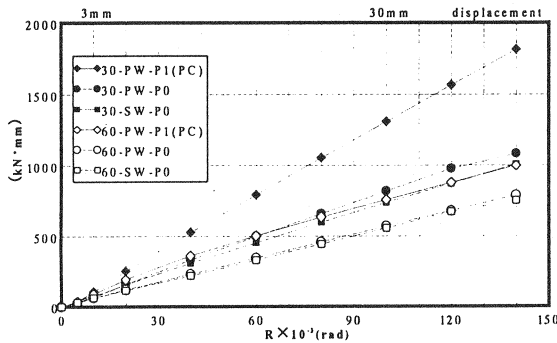


Fig.5 Accumulation absorbed energy

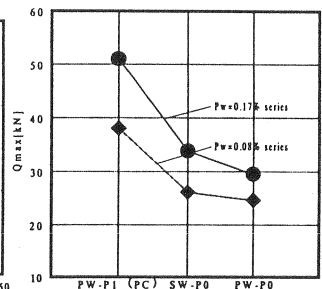


Fig.4 Comparison on ultimate shear strength

#### 4.実験結果に対する考察

Fig.3より、各試験体とも最大せん断力時の部材角はほぼ同等である。ただし PC 部材は、大きな変形角の領域まで靱性改善される。特に横補強筋量の多い  $P_w=0.17\%$  の試験体では実験終了時の部材角 0.15rad という大きな変形まで、せん断耐力の大きな低下は見られなかった。同一横補強筋比の比較においては、最大せん断強度が高いのは PC 試験体であった。破壊経過に関しては、ひび割れ発生後も耐力増加を示すせん断圧

縮破壊を示し、各試験体の大きな違いは見られなかったが、RC 試験体では確認されなかったのに対し、PC 試験体ではいずれも横補強筋の破断が確認された。これは横補強筋にはあらかじめプレストレスを与えられており、横補強筋に関しては破断に対する余裕度が小さくなっていることによるものと考えられる。すなわち横補強筋母材降伏強度  $\sigma_{sy}$  から  $\sigma_{sp}$  を差し引いた値  $\sigma_{sy} - \sigma_{sp}$  が、PC 部材の横補強筋降伏強度であるものとする。

Fig.4より、PC・RC 柱共に横補強筋量の増加に伴いせん断強度が上昇している。ここで同一補強筋比の PC 試験体せん断強度は、RC 試験体せん断強度より 50%程度向上している事が示唆される。

また、Fig.5の累積エネルギーの比較では、PC化することで倍の横補強筋比の RC 柱に匹敵する能力を示している。圧縮試験結果では高いひずみの領域で強度低下が否めないのに対して、せん断試験では良好な結果が得られた。横補強筋にプレストレスを与えた時、圧縮力に対しては最大強度の向上は期待できるが粘りは少なく、せん断力に対しては最大強度が増大するだけでなく靱性にも富む結果となった。逆に RC 試験体における横からの拘束効果は、圧縮では変形が進んだ段階で初めて効果が現れる事がわかる。せん断強度の向上の割合と横補強筋のプレストレス量との関係については、今後プレストレスの付加量等を変動因子とした実験を行い検討する。

#### 5.既往の式の検討

既往の RC 部材のせん断強度推定式の検討を Fig.6 に行った。ここで取り上げるのは、修正荒川式<sup>②</sup>・終局指針 A 式<sup>③</sup>・NewRC 式<sup>④</sup>の 3 式を対象とした。ここで 3 式とも式中のコンクリート圧縮強度として、せん断試験とあわせて行った圧縮試験で得られた横補強筋プレストレス付加によるコンクリート圧縮強度の増加率、すなわち 3 軸圧縮応力と 1 軸圧縮応力の比  $k_{pc}$  をせん断試験体のコンクリート圧縮強度に乗じた値を用いた。結果、NewRC 式が最も良い適合性を示した。

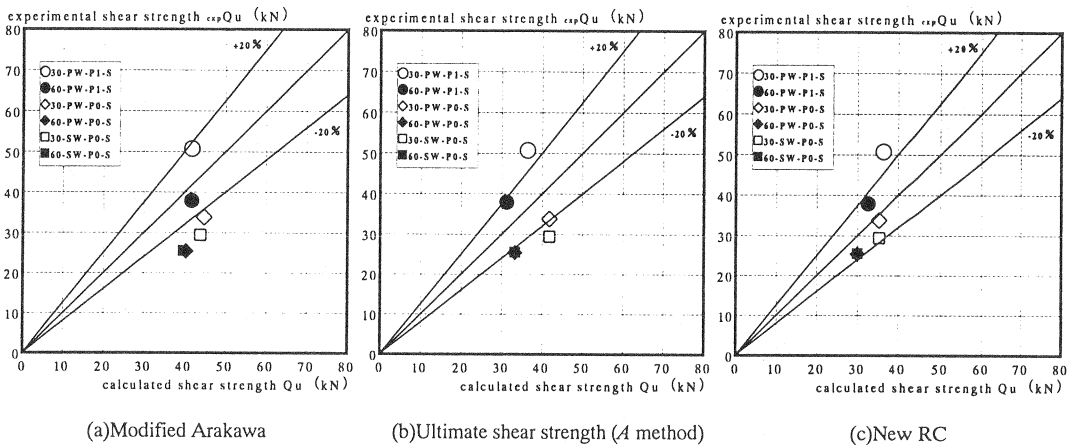


Fig.6 Calculated Equations

Eq.1 Modified Arakawa<sup>(3)</sup>

$$Q_{su1} = \left\{ \frac{0.068 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 180)}{M/QD + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} \cdot b \cdot j \quad (\text{kgf}) \quad \dots(a)$$

Eq.2 Ultimate shear strength (A method)<sup>(2)</sup>

$$Q_{su2} = b \cdot j_t \cdot P_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2 \quad (\text{kgf}) \quad \dots(b)$$

Eq.3 New RC<sup>(4)</sup>

$$Q_{su3} = b \cdot j_t \cdot P_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \alpha \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v_0 \cdot \sigma_B \quad (\text{N}) \quad \dots(c)$$

$P_t$  引張鉄筋比、 $b$  部材幅、 $F_c$  コンクリート圧縮強度、 $M/QD$  せん断 $\lambda^{\circ}$  比、 $P_w$  横補強筋比、 $\sigma_{wy}$  横補強筋降伏強度、 $\sigma_0$  軸力、 $j_t$  主筋中心間距離、 $D$  全せい、 $L$  内法長さ、 $v$  コンクリート圧縮強度の有効係数、 $\phi$  トラス機構のコンクリート圧縮束

## 6.まとめ

横補強筋でプレストリスを付加した RC 短柱のせん断試験から、以下の事が示唆される。

- ①横補強筋プレストリスはせん断強度を向上させる上で極めて有効な方法である。
- ②横補強筋にプレストリスを付加した際、横補強筋量の増加に伴い強度の向上を図ることができる。

## 参考文献

- 1)渡部 洋、槇谷榮次その他：フープ筋プレストレスによる RC 短柱の拘束効果に関する実験的研究、第8回プレストレストコンクリートの発展にシンポジウム論文集、pp131-134、1998.10
- 2)日本建築学会 編、丸善：鉄筋コンクリート造建築物の終局強度型耐震設計指針・解説、1987.9
- 3)日本建築学会 編、丸善：鉄筋コンクリート構造設計基準・同解説、1988
- 4)建設省総合技術開発プロジェクト：鉄筋コンクリート造建築物の超軽量化・超高層化技術の開発、平成4年度構造成能分科会報告書、(財)国土開発技術研究センター、1993