## 論文 鉄筋コンクリート柱の損傷に及ぼす横方向プレストレスの影響

渡部 洋\*1・香取 慶一\*2・篠原 保二\*3・林 靜雄\*4

要旨:鉄筋コンクリート柱の耐久性,修復性を高めるためには損傷を生じさせない,あるい はたとえ生じたとしても常用に耐える状態,または修復可能な状態に制御できる選択肢の存 在が望ましい。これまで筆者らが研究を継続してきた横方向プレストレスの導入により,せ ん断ひび割れなどの損傷の抑制を期待できるものと考えた。残留ひび割れ幅,残留変形など に及ぼす横方向プレストレスの影響を考察するため,せん断圧縮で破壊が決定される柱の加 力実験を計画し実施した。その結果,せん断ひび割れ耐力の向上を確認し,その耐力推定式 を提案した。また,残留ひび割れ幅を抑制する効果があることを示した。

キーワード:横方向プレストレス,損傷,残留ひび割れ幅,鉄筋コンクリート柱

1. はじめに

鉄筋コンクリート柱の耐久性,修復性を高め るためには、ひび割れ等の損傷を生じさせない, あるいはたとえ生じたとしても常用に耐える状 態,また修復可能な状態に制御できるような選 択肢の存在が望ましい。

通常鉄筋コンクリート柱には,横補強筋を配 することにより高い靭性を付与することができ<u>strain gauge</u> る。この横補強筋を用いてさらに横方向プレス<u>welded</u> トレスを導入する<sup>1)</sup>ことにより,靭性に加えて 柱に生ずるせん断ひび割れなどの損傷の抑制を<sup>して</sup>

本研究では, せん断圧縮で破壊が決定する鉄 筋コンクリート柱の損傷, 特にせん断ひび割れ に及ぼす横方向プレストレスの影響について, 実験を行い考察する。また, 終局性能に及ぼす 影響についても合わせて考察する。

- 2. 実験概要
- 2.1 試験体

試験体詳細を図 1に,試験体諸元を表 1 に示す。横補強筋を用いて与える横方向プレス



\*1 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 環境理工学創造専攻 修士(工学) (正会員) \*2 東京工業大学助手 建築物理研究センター 博士(工学) (正会員) \*3 東京工業大学助教授 建築物理研究センター 博士(工学) (正会員) \*4 東京工業大学教授 建築物理研究センター 博士(工学) (正会員)

表 1 試験体諸元

No.	b (mm)	D (mm)	M/QD	S (mm)	pw	pw'	0 / B	wp (N/mm2)	wp / wy	Pw'wp (N/mm2)
1	340	340	13	60	0.022	0.003	0.3	0	0	0
2	, 340	540	1.5	00	0.022	0.005	0.5	536	0.4	1.7

b:柱幅,D:柱成,M/QD:せん断スパン比,pw:横補強筋比,pw':プレストレス導入に用いる外周筋比, wp: 外周筋一本当たりに与える緊張応力, wy:外周筋降伏強度,pw' wp:横方向プレストレス, 0:軸応力

トレス量のみが異なる M/QD=1.3 の柱状の試験 体2体である。基準となるプレストレス導入の 無い No.1 をせん断破壊先行型の破壊モードと して計画した。両試験体とも横補強筋として, 付着割裂を伴わない破壊モードとなるように普 通強度の副補強筋と,プレストレス導入に用い る外周を取り巻く高強度の溶接閉鎖角型補強筋 を有している。便宜上,副補強筋を中子筋,プ レストレス導入に用いる補強筋を特に外周筋と 呼称する。

ここで採用した横方向プレストレス導入方法 について図 2を用いて説明する。十分剛なコ ンクリート打込み成型用鋼製型枠で反力をとり, 外周筋コーナー部を対角線方向にあらかじめ引 張っておき,コンクリート打込,硬化後にこれ を横拘束力として与えるプレテンション方式で ある。No.2 試験体では,使用した外周筋の降伏 強度の40%を採用している。

このように導入されるプレストレスは,外周 筋コーナー部に近接するコンクリートの局所的 なクリープ等の影響により,時間の経過に伴い 若干の損失が予想される。ここで,柱に長期の 軸力が加わるようになれば,その損失分はある 程度回復できると考えた。確認のため No.2 の柱 に軸力を与えるまでの横方向プレストレスの推 移を図 3に示す。図中A点からB点まで,初 期プレストレスは有効プレストレスにまで低下 するが,C点で軸力(軸力比0.3)が与えられる とほぼ 100%に回復することを確認できた。実 際の施工時を考えると,柱がプレキャスト製造 される場合,竣工時には上部構造の自重が軸力 として柱に加わるため,この損失分はほとんど 無視できるものと考えられる。よって,諸耐力





	7K Z	亚大月7000101个十十个寸	·1±		
括粘	降伏強度	引張強度	ヤング係数		
作里犬只	( N/mm <sup>2</sup> )	( N/mm <sup>2</sup> )	( kN/mm <sup>2</sup> )		
D22	1016	1162	206		
U6.4	1441	1465	197		
D16	344	513	202		

表 3 コンクリートの材料特性

No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 ( N/mm² )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		
1	48	2	31		
2	45	2	30		

の算出に用いる表 1 中の wp の値は,同図中 B 点における外周筋応力を採用した。

使用した鉄筋の材料特性を表 2 に,コンク リートの材料特性を表 3 に示す。



2.2 加力および測定方法 加力装置を図 4に示す。鉛直方向の加力は,

軸力比 0.3 で荷重一定制御とした。水平方向の 加力は,変位制御による逆対称正負交番繰り返 し載荷とし,柱の変形角 R=±1/400 で1回,R= ±1/200,±1/100,±1/67,±1/50 は各2回づつ 繰り返し,R=±1/33 で1回,最後は R=+1/25 で終了とした。ひび割れの観察は目視により行 った。

本研究で特に注目したせん断ひび割れ幅の測 定は,±1/50まで各サイクルの1回目の変形角 ピーク時および除荷時に,デジタルマイクロス コープ(最小目盛:0.01mm)を用いて行った。

3. 実験結果

3.1 破壊過程, Q-R 関係

実験結果および諸耐力計算値を表 4 に示す。 破壊過程においては両試験体とも,入力水平せん断力Qの増大に伴い曲げひび割れ,曲げせん 断ひび割れを生じた後,せん断ひび割れの発生 を確認した。その後 No.1 は 1/36 で,No.2 は 1/33

No.	expQsc (kN)	expQsu (kN)	calQsc (kN)	calQsu1 (kN)	calQsu2 (kN)				calQfu (kN)	expQsc /calOsc	expQsu /calOsu1	expQsu /calQsu2	expQsu /calOfu	
	()							calQbu	MIN	()				
1	384	790	473	481	1852	985	890	918	918	1396	0.81	1.64	0.89	0.57
2	639	812	591	468	1845	966	861	907	907	1367	1.08	1.74	0.94	0.59

表 4 実験結果一覧

expQsu: せん断ひび割れ耐力実験値, <sub>exp</sub>Q<sub>su</sub>: 終局耐力実験値, calQsc:(1)式より求めたせん断ひび割れ耐力計算 値, calQsu1: 修正荒川式より求めたせん断終局耐力, calQsu2: 靭性指針より求めたせん断耐力, calQbu: 靭性指針 より求めた付着割裂耐力, calQfu: 曲げ解析より求めた最大曲げ耐力時せん断力



図 5 ひび割れ状況



で最大耐力を迎えた。No.1,2の R=1/50 までの ひび割れ状況を図 5に,Q R 関係を図 6 に,柱の軸方向ひずみ vと変形角 R の関係を 図 7に示す。

図 5の水平方向グリッド線は,横補強筋位 置に対応している。プレストレス導入を行った No.2 では,R=1/200から横補強筋の直上の曲げ ひび割れの進展が特徴であった。その後変形角 の増大に伴ってプレストレス導入の無い No.1 はひび割れが柱側面に全体的に多数進展するの に対し,プレストレス導入された No.2 のひび割 れ本数は少ない。

ここで,せん断ひび割れ耐力推定式としては, 靭性指針<sup>2)</sup>等に採用されている主応力度式を基 に,図 8のモール円を考え,横方向プレスト レスの影響を加味した提案式を用いたので,以



図 9 せん断ひび割れ耐力の予測精度

下に示す。本文で説明の無い式中の記号は文献 2)に準拠する。

$$_{cal}Q_{sc} = \sqrt{(p_w'\sigma_{wp} + \sigma_{ct})(\sigma_0 + \sigma_{ct})}bD/\kappa$$
 (1)

本実験と文献1)のデータを用いて得られた 原式および(1)式の予測精度を図 9に示す。 横方向プレストレスを考慮する事により予測精 度が向上したことから,本提案式の評価は妥当 であると考えられる。

3.2 せん断ひび割れ幅

ここで各サイクルの目標変形角到達時のせん 断ひび割れ幅をピーク時ひび割れ幅,同じく除 荷時のそれを残留ひび割れ幅と各々定義する。 図 10 にピーク時ひび割れ幅とそのとき到達 した変形角の関係を示す。No.1,2 ともに変形 角の増大に伴ってピーク時ひび割れ幅は増大し ている。

次に図 11 に残留ひび割れ幅と直前に経験 した変形角の関係を示す。文献 3)を参考に, 残留ひび割れ幅 0.1mm, 0.2mm を一つの尺度と して比較すると,プレストレス導入の無い No.1 は,それぞれ 0.010rad(=1/100),0.015rad(=1/67) の変形を経験した後の残留ひび割れ幅はこれを 超えてしまっているのに対して,プレストレス 導入された No.2 は範囲内に収まっている。ピー ク時に経験しているひび割れ幅にはほとんど差 異が見られなかった事から,横方向プレストレ ス導入により同程度の外乱を経験した後のひび 割れ幅の拡大を制御する設計の可能性を示すも のである。

3.3 補強筋累積ひずみ

外周筋のひずみと変形角Rの関係を図 12に 示す。変形を繰り返すに従い,No.1 では R=0 時に補強筋に蓄積されるひずみが増大している





が, No.2 ではひずみの累積は相対的に小さい。 この累積ひずみはひび割れ幅の関数であること からも,前節の残留ひび割れ幅の拡大を防いで いる事が確認できる。



## 3.4 残留变形角

柱の残留変形角と直前に経験した変形角の関 係を図 13 に示す。経験した変形が等しければ, 残留変形も同程度であるが,0.03rad(=1/33)の 変形角を経験した後の残留変形角は,プレスト レス導入された No.2 は約 30%小さな変形に留 まっている。

3.3 限界变形角

せん断圧縮破壊時の柱の限界変形角 Ru を包 絡線上で最大耐力の 80%まで耐力が低下した 時点の変形角で定義する。正負の両方について 求め,小さい方を採用した。図 14 に限界変形 角と横方向プレストレスの関係を示す。横方向 プレストレス pw'wp=1.6N/mm<sup>2</sup>の付与によっ て限界変形角にして 1/25 を有している。



5. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) 横方向プレストレス導入により, せん断ひび割れ耐力を向上出来た。またそのひび割れ耐力は提案式により精度良く評価出来た。
- (2) プレストレス導入により,残留ひび割れ幅の制御を行うことが出来ることを示した。 本実験では 1/100 の変形を経験後の残留ひび割れ幅を 0.1mm 以内に抑える事が出来た。
- (3) 柱の残留変形に及ぼすプレストレスの影響 はほとんど認められなかったが,1/33の大 変形を経験すると,プレストレス導入によ り残留変形を小さく留める効果が得られた。

## 謝辞

本研究は東京工業大学建築物理研究センター 共同研究の一貫として行われたものです。高周波 熱錬(株)の諸氏には鉄筋をご提供いただきまし た。ここに関係者各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 渡部 洋,槇谷榮次,伊藤嘉則,有馬裕樹: 高強度横補強筋を用いて横方向プレストレス を導入した RC 柱の圧縮およびせん断応力下 の力学的性状に関する実験的研究,日本建築 学会構造系論文集,Vol.554,pp.133-140,2002.2
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭 性保証型耐震設計指針・同解説,1999
- 3) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造のひび割 れ対策(設計・施工)指針同解説,1990