論文 載荷履歴と中子筋の有無がRC部材の復元力特性に及ぼす影響

梅村 恒*1・市之瀬 敏勝*2・松澤 敦行*3

要旨:曲げ降伏後のせん断破壊に対する載荷履歴と中子筋の影響を調べるため,中子筋の有無のみをパラメータとした,比較的せん断余裕度の小さい2種類の試験体を複数作製し,様々な方法で載荷した。載荷方法の違いによって部材の変形能力は大きく異なり,耐力低下に及ぼす載荷履歴の影響が大きいことがわかった。中子筋を配することによって,両側に漸増繰り返し載荷を受ける部材の 靭性能は向上するが,片側に漸増繰返し載荷を受ける場合には,中子筋が働かない場合がある。耐力低下が低下する時,ひび割れ面に沿ってずれが発生する。

キーワード:鉄筋コンクリート造柱,中子筋,載荷履歴,曲げ降伏後のせん断破壊

1 はじめに

曲げ降伏後のせん断破壊に対しては,載荷履 歴の影響が大きいことが知られている。衣笠ら ¹⁾は同一の断面を持つせん断余裕率の高い試験 体を様々な方法で加力して,載荷履歴の影響を 調べている。実験の結果によると,曲げ強度と 比較して十分にせん断強度が大きい場合,載荷 の方向に関係なく,ある振幅以上の幅で繰り返 した場合に耐力低下が起こっている。一方せん 断補強筋量が小さく,補強筋が降伏する可能性 がある場合の実験²⁾では,同一断面でも載荷履 歴によって異なるメカニズムで破壊する可能性 があり,メカニズムの変化が部材の変形性能に 大きな影響を及ぼすことを指摘している。

本研究では,曲げ降伏後のせん断破壊に対す る載荷履歴の影響を調べるため,同一の断面を 持つ,せん断余裕度の小さい試験体を複数作製 して,様々な方法で加力した。また中子筋の有 無による部材内部の変形状態の違いを観察し, 復元力特性に及ぼす影響について調べた。

- 2 実験方法
- 2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に示す。部材の断面は2 種類で,中子筋の有無のみをパラメータとして

表	1	試験	本一覧	

中子筋	載荷方法 (rad)	名称
あり	単調	CM
	片側漸増 (3/1000)	CO3
	両側漸増 (3/1000)	CB3
	両側漸増 (6/1000)	CB6
なし	単調	NM
	片側漸増 (3/1000)	NO3
	両側漸増 (3/1000)	NB3
	一定振幅 (17/1000)	ND17
	一定振幅 (25/1000)	ND25

表-2 計算強度

中子筋	曲げ強度 (kN)	せん断強度 $(\mathrm{kN})^{3)}$
あり	137.7	166.4
なし	137.7	160.2

表-3 鉄筋の材料特性 (N/mm²)

		• • •	,
	降伏強度	引張強度	弾性係数
主筋 (D16)	359.9	455.1	194.8×10^{3}
補強筋 (4 <i>ϕ</i>)	531.2	577.2	197.8×10^{3}
補節 (2.6 <i>\phi</i>)	529.5	578.3	185.8×10^{3}

表-4 コンクリートの材料特性 (N/mm²)

圧縮強度	引張強度	弾性係数	材齢(日)
31.24	3.48	24.6×10^{3}	47

いる。載荷方法の角度は,漸増載荷の場合は1 ステップの部材角の増分,一定振幅場合は部材

*1名古屋工業大学助手 工学部社会開発工学科 博士(工)(正会員) *2名古屋工業大学教授 工学部システムマネジメント工学科 工学博士(正会員) *3大成建設(株) 修士(工)(正会員)





図-2 試験体断面

角の振幅である。試験体の形状及び配筋詳細を 図–1 に示す。横補強筋は,中子筋のない場合は 4ϕ @40mm,ある場合は 2.6ϕ @33.7とし,横補 強筋比 $p_w = 0.25\%$ で等しくなるようにした。 曲げ及びせん断の計算強度 $^{3)}$ を表–2 に示す。 使用した鉄筋及びコンクリートの力学特性を, 表–3 及び表–4 に示す。

2.2 載荷方法及び測定方法

3 に示す装置を用いて,軸力比 0.12 に相当する 軸力を与えながら,一方向単調載荷,片側漸増繰 り返し載荷,両側漸増繰り返し載荷及び一定振 幅繰り返し載荷の各載荷を行なった。片側漸増 繰り返し載荷では,初期サイクルに,主筋が降 伏するまで両側漸増繰り返し載荷を行なった。

部材内部の変形を観察するため,図-4 に示す 装置を用いて,部材断面方向について5箇所, 高さ方向について3箇所,合計15箇所の変形量 を測定した。各試験体とも,最大耐力の80%ま



図-3 載荷装置



図-4 内部ひずみ測定方法

で耐力が低下するまで載荷した。載荷履歴の例 を図-5に示す。また載荷点のピン位置の,スタ ブに対する相対変位を計測して,部材の全体変 形,軸方向変形を調べた。

3 実験結果

3.1 荷重 - 変形関係

得られた荷重 - 変形関係を図-6 及び図--7 に 示す。ここで変形とは,載荷点の変位量を指す。 荷重は P-δ 効果の影響を補正している。最大耐 力の 95%まで耐力が低下した時を耐力低下と考 え,耐力低下の開始する点にを記している。

中子筋のある場合,ない場合とも,単調載荷 を受ける時に最も変形能力が高く,繰り返しに



図-7 荷重-変形関係(中子筋なし)

よる耐力低下が載荷履歴の影響を強く受けてい ることがわかる。既往の研究¹⁾では,繰り返し 耐力低下は,繰り返し載荷によって損傷が蓄積 し,ヒンジ領域のコンクリートおよび横補強筋 に生じるひび割れやひずみが著しく増大するこ とによって起こると指摘している。従って反対 方向への載荷による損傷が蓄積されない片側繰 り返し載荷は,両側繰り返し載荷よりも損傷の 蓄積が少なく,大きな変位で耐力低下が生じ る事が予測される。しかし中子筋のある場合 (図-6)を見ると,片側繰り返し載荷(b)と両側 繰り返し載荷(a)で,同程度の変形で耐力低下 が発生している。中子筋のない場合(図-7)で は片側繰り返し(b)の方が両側繰り返しよりも



図-9 内部ひずみ-変形関係(中子筋なし)

変形能力が高いものの,繰り返し幅に注目する と,両側繰り返しでは30mm 程度であるのに対 して片側繰り返しで20mm 程度となっている。 すなわち,一定の繰り返し幅で耐力低下すると いう,せん断余裕率が大きい場合の実験結果と は異なっている。中子筋ありの増分の大きな両 側繰り返し図-6(c)では,繰り返し回数が少な いにも関わらず,片側繰り返しよりもさらに変 形能力が小さい。また一定振幅繰り返し図-7(c) では,大振幅では数回の繰り返しで耐力低下に 至るのに対して,小振幅では多数の繰返し後で も耐力低下は見られない。せん断余裕度が小さ い場合は,繰り返しによる累積塑性変形のみで は,耐力低下開始点の変形量を評価することは できないことがわかる。

3.2 内部ひずみ - 変形関係

内部ひずみ - 変形関係を図-8 及び図-9 に示 す。内部ひずみとは,図-4 に示す方法で測定し た部材の材軸直交方向の変形量を,部材の有効 せい(212mm)で除したものである。ここでは スタブ上面から170mmの位置についてのみ示 す。Centerは部材の中央(図-4のAの位置)で 測定したひずみで,Sideは部材断面の端部から 15mmの位置(図-4のCの位置)で測定したひ ずみを平均したものである。図中の 印は耐力 低下開始点である。

中子筋のある場合(図-8)を見ると,部材中 央(Center)と部材端部(Side)で大きな差が 見られず,部材に膨らみ変形がほとんど生じて いないことがわかる。特に大振幅の両側繰返し (c)では両者がほぼ一致しており,部材内部に単 純なひび割れが入って,急激に横補強筋が降伏 して破壊に至ったと考えられる。中子筋のない 場合(図-9)でも,中子筋がある場合に比べる と大きいのもの,CenterとSideの差はやはり小 さい。文献²⁾では,両側漸増繰返しの場合のみ



図-11 軸方向ひずみ - 変形関係(中子筋なし)

断面が大きく膨らみ,補強筋の降伏を見ずにせ ん断破壊に至り,片側漸増繰返しよりも変形能 力が高くなるという結果であった。一方,本研 究の部材は文献²⁾の部材と近いにも関わらず, 載荷履歴の違いによるメカニズムの変化が現れ なかった。軸力や載荷サイクル幅,材料強度の 僅かな違いによって,このような現象が現れる 場合があると考えられる。

3.3 軸方向ひずみ - 変形関係

軸方向ひずみ - 変形関係を図-10及び図-11 に示す。ここでは,載荷点の軸方向変位をヒン ジ領域の変形と考え,柱せいと同じ250mm を ヒンジ長さとして,軸方向の変位を250mm で 除したものを軸方向ひずみとした。図中の 印 は耐力低下開始点である。

いずれの載荷方法でも,サイクルを重ねるた びに軸方向ひずみが増大していることがわか る。各サイクルのピークでのひずみを見ると, いずれの載荷方法でも目立った違いは見られな い。しかし変位0でのひずみを見ると,耐力 低下の見られなかった中子筋なしの一定振幅 (図-11)(c)ではひずみの蓄積が頭打ちになっ ているのに対して,他の載荷方法ではサイクル ごとに残留ひずみが増大している。小さな変形 増分を多数繰り返すことで,耐力低下につなが る損傷が蓄積されると考えられる。

またどの載荷方法でも,耐力低下後は,軸力 によって軸方向ひずみが低下しており,耐力低 下時にコンクリートが大きく損傷していること がわかる。

3.4 ひび割れ幅 - 変形関係

ひび割れ幅の成長と耐力低下の関係を調べる ため,部材内部との表面のひび割れが良く一致 していると考えられる,中子筋ありの試験体の 最大ひび割れ幅を測定した。ひび割れ幅は,試 験体に定規を置いて写真を撮り,ひび割れる前





図-13 ひび割れ成分の定義

には接していたと考えられる,ひび割れをまた ぐ2点の距離を目視によって読みとった。さら に2点間の距離を,図-13に示す方法で,ひび 割れに平行な成分と,直交する成分とに分割し た。単調載荷の試験体では一定の間隔で,繰返 し載荷ではループのピークに当たるステップで ひび割れ幅を計測した。最大ひび割れ幅 - 全体 変形関係を図-12に示す。図中の 印は,耐力 低下開始点である。

耐力低下の開始と最大ひび割れ幅との間に, 強い相関関係は見られない。単調載荷の場合は ひび割れが緩やかに増大するのに対して,片側 及び両側漸増繰り返し載荷では,耐力低下開始 前後に,急激にひび割れが開いているのがわか る。いずれの場合も,耐力低下開始時にひび割 れに平行な成分が急激に増大しているのがわか る。すなわち,ひび割れ面のずれが,耐力低下 と強く関係していると考えられる。 4 まとめ

- 中子筋を配することによって、両側に漸増繰 り返し載荷を受ける部材の靭性能は向上する が、片側に漸増繰り返し載荷を受ける場合に は、中子筋を配しても靭性能の向上が期待で きない場合があり得る。
- 補強筋が降伏する場合は,耐力低下の開始点の変位量を,累積塑性変形のみによって評価することはできない。
- 軸方向変形が蓄積しない部材では,耐力低下 が見られない。
- 部材が耐力低下する時,ひび割れ面に沿った ずれが急激に増大する。

参考文献

- 1) 衣笠秀行,野村設郎:正負繰り返し載荷による曲げ降伏ヒンジの破壊性状,コンクリート 工学論文集,Vol.16,No.3,pp.21-32,1994
- 2) 松澤敦行,伊吉允,梅村恒,市之瀬敏勝:載 荷履歴と軸力がRC部材の耐力低下に及ぼ す影響,コンクリート工学論文集,Vol.24, CD-ROM,2002
- 3) 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,1997