

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靱性能は向上するが、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 試験体一覧

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 (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 (4φ)	531.2	577.2	197.8×10 ³
補強筋 (2.6φ)	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)

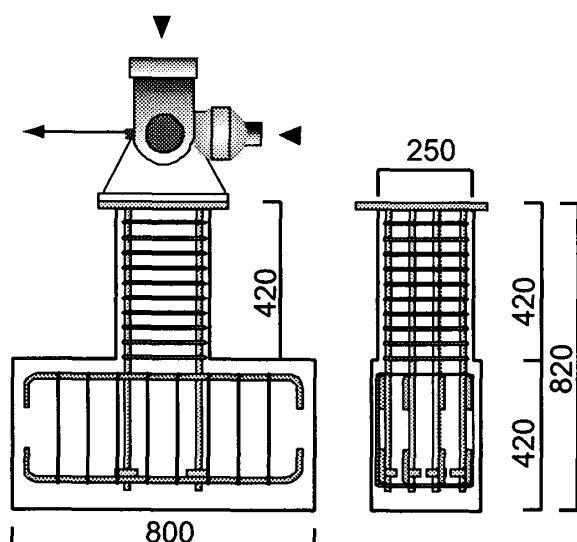


図-1 試験体形状

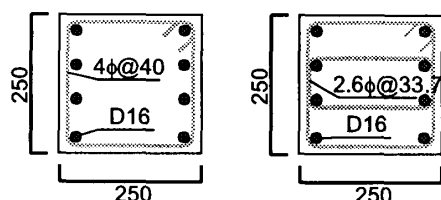


図-2 試験体断面

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 $4\phi@40\text{mm}$ 、ある場合は $2.6\phi@33.7$ 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、片側漸増繰返し載荷、両側漸増繰返し載荷及び一定振幅繰返し載荷の各載荷を行なった。片側漸増繰返し載荷では、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

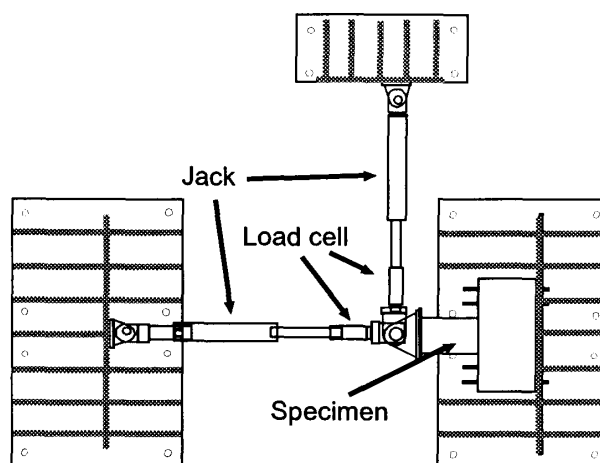


図-3 載荷装置

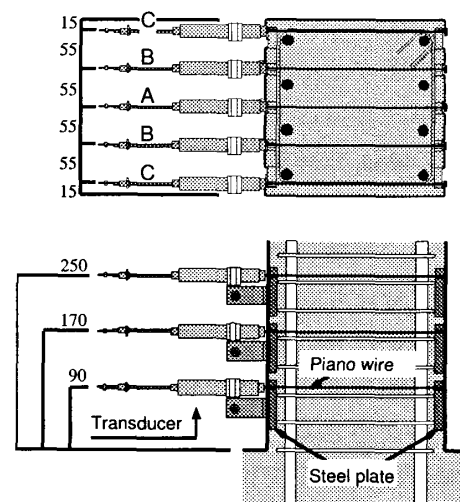


図-4 内部ひずみ測定方法

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 $P-\delta$ 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、繰返しに

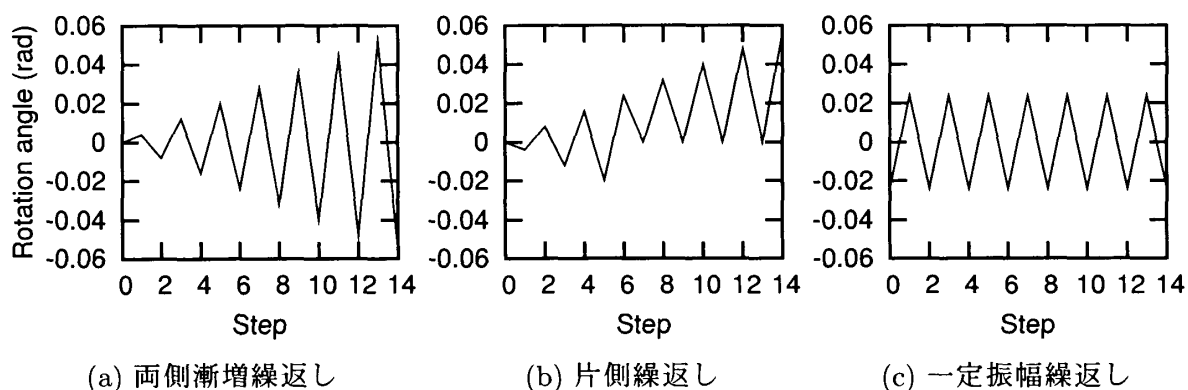


図-5 载荷履歴の例

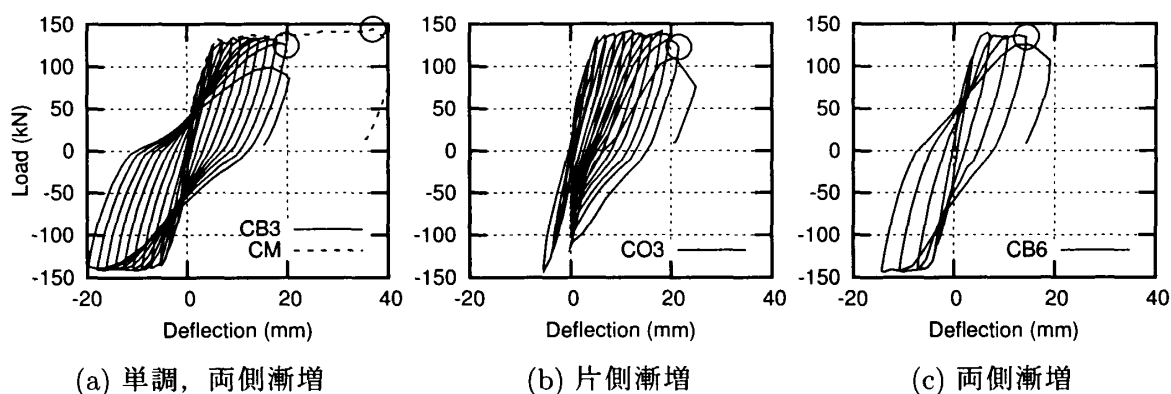


図-6 荷重-変形関係 (中子筋あり)

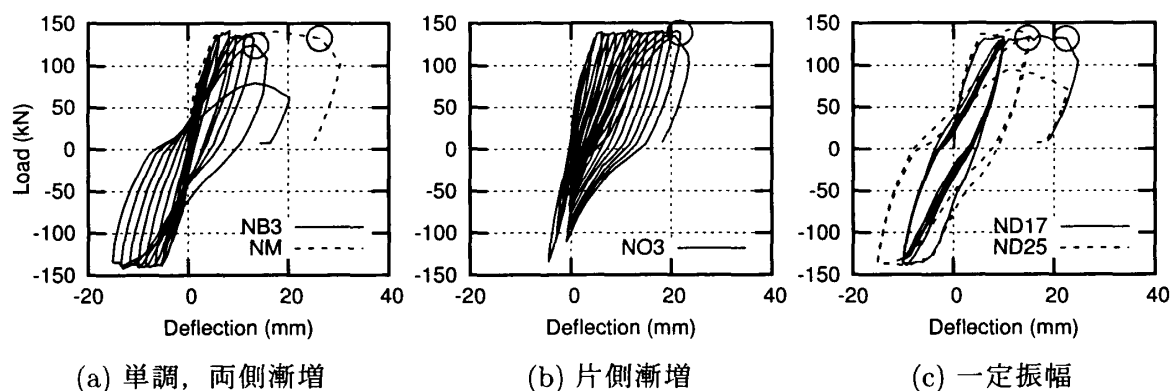


図-7 荷重-変形関係 (中子筋なし)

よる耐力低下が载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、繰返し耐力低下は、繰返し载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载荷による損傷が蓄積されない片側繰

返し载荷は、両側繰返し载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、片側繰返し载荷 (b) と両側繰返し载荷 (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) では片側繰返し (b) の方が両側繰返しよりも

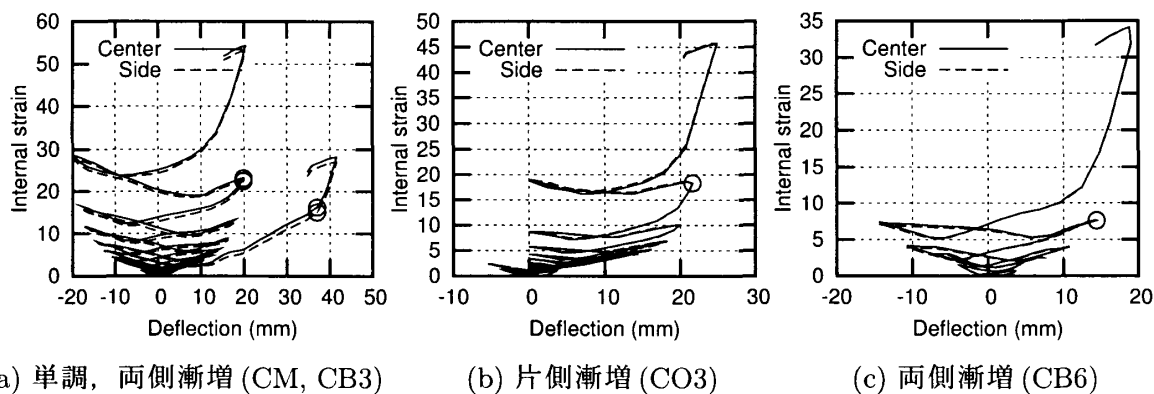


図-8 内部ひずみ-変形関係 (中子筋あり)

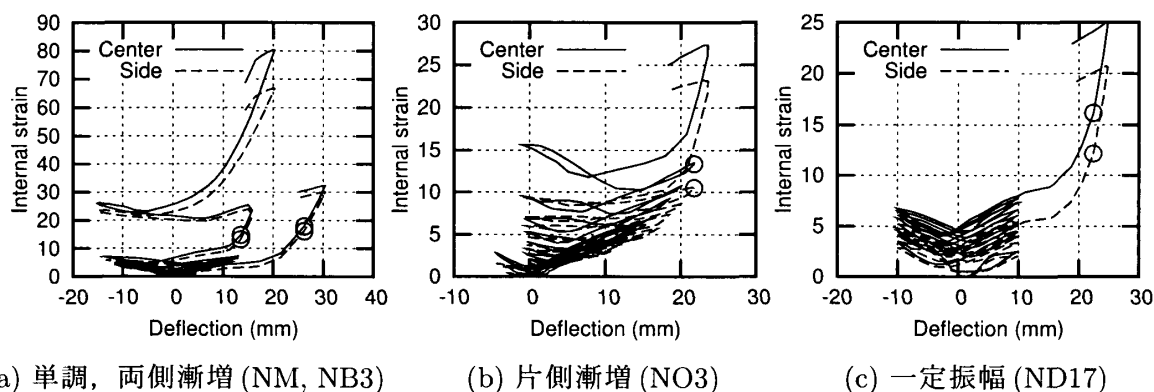


図-9 内部ひずみ-変形関係 (中子筋なし)

変形能力が高いものの、繰返し幅に注目すると、両側繰返しでは30mm程度であるのに対して片側繰返しで20mm程度となっている。すなわち、一定の繰返し幅で耐力低下するという、せん断余裕率が高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返し図-6(c)では、繰返し回数が少ないにも関わらず、片側繰返しよりもさらに変形能力が小さい。また一定振幅繰返し図-7(c)では、大振幅では数回の繰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。せん断余裕率が小さい場合は、繰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ものの、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

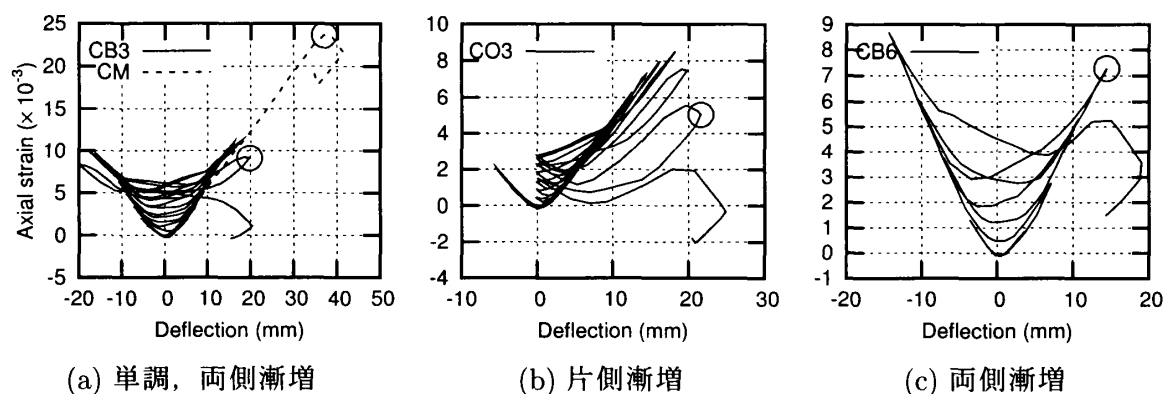


図-10 軸方向ひずみ-変形関係（中子筋あり）

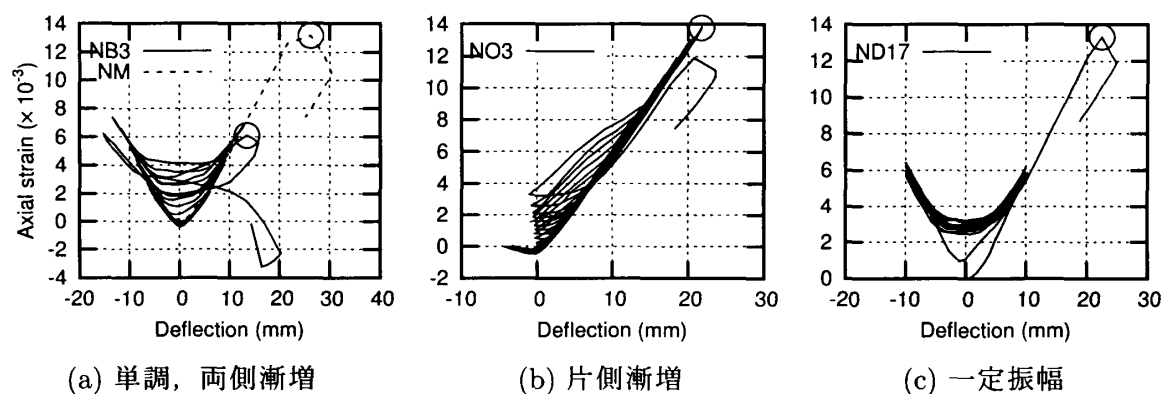


図-11 軸方向ひずみ-変形関係（中子筋なし）

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

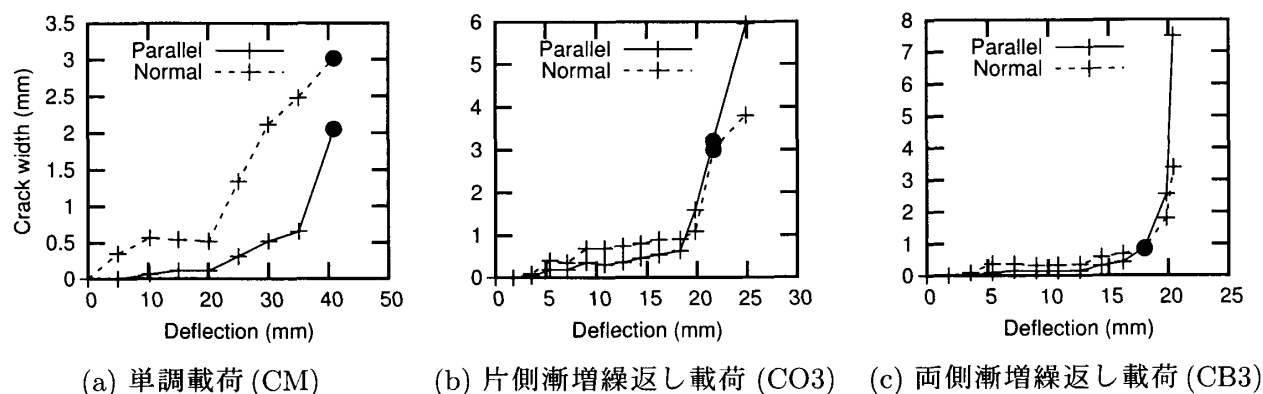


図-12 ひび割れ幅－変形関係（中子筋あり）

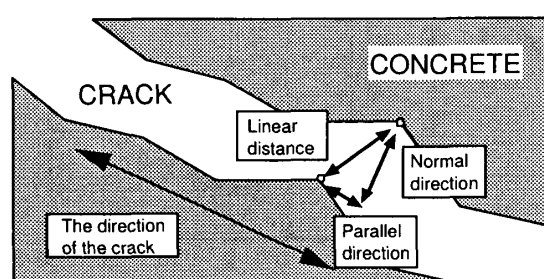


図-13 ひび割れ成分の定義

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。単調荷重の試験体では一定の間隔で、繰返し荷重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。単調荷重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返し荷重では、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、両側に漸増繰返し荷重を受ける部材の靱性能は向上するが、片側に漸増繰返し荷重を受ける場合には、中子筋を配しても靱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: 正負繰返し荷重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靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1997