

論文 曲げ破壊する柱部材の正負繰返し载荷下における破壊挙動

藤野 隆*¹・野村設郎*²・衣笠秀行*³

要旨: 曲げ破壊する柱部材の繰返し载荷実験を行い、部材端部の変形挙動を詳細に計測した。これに基づき、ある部材変形角増分により断面に生じる引張と圧縮の歪増分分布から「瞬間中立軸」を計算し、この挙動から曲げ圧縮により座屈を伴い耐力低下する部材の破壊挙動について比較検討を行った。その結果、曲げ破壊挙動には①载荷に伴い瞬間中立軸位置が部材断面中央に後退するものと、②後退は見られないが、繰返し度に再形成される瞬間中立軸の位置が前サイクルより断面の中央側に移動するものの2種類があることが分かった。

キーワード: 曲げ破壊、繰返し载荷、圧壊、座屈、瞬間中立軸位置

1. はじめに

曲げ破壊する柱部材の変形挙動を詳細に計測し、その計測結果から主筋の座屈を伴う曲げ破壊の、繰返し载荷時の破壊進行プロセスを明らかにすることを目的として、RC部材の単調载荷ならびに繰返し载荷実験を行った。

2. RC柱部材の繰返し载荷実験

2.1 実験概要

試験体形状および配筋詳細を図-1に示す。試験体Aは部材断面22×16cm、シアスパン比4.57の単純梁部材であり、試験体B・C・Dはいずれも部材断面20×20cm、シアスパン比2.5の片持ち形式の柱部材である。使用した鉄筋の材料特性を表-1に、コンクリート圧縮強度を図-5中に示す。試験体Aは上端主筋に4φ、下端主筋にD19を使用した。また試験体B・C・Dは同一配筋であるが、試験体Bのみが $\sigma_B=14.3\text{MPa}$ とコンクリート強度を低くおさえてある。すなわち試験

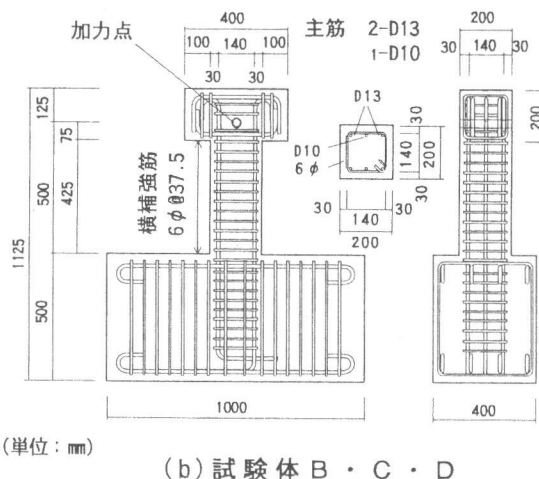
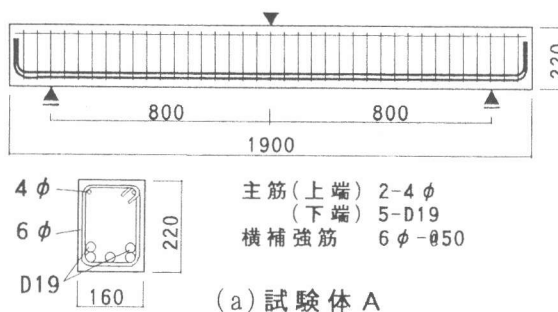


図-1 試験体形状および配筋詳細

体A、Bは試験体C、Dと比較して曲げ圧縮破壊しやすい部材となっている。図-2には実験に使用した载荷装置を示す。試験体Aと試験体Cは単調载荷とし、試験体B・Dには4/1000rad.の漸

* 1 東京理科大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)
 * 2 東京理科大学教授 理工学部建築学科、工博 (正会員)
 * 3 東京理科大学講師 理工学部建築学科、工博 (正会員)

増ピッチでの正負繰り返し载荷とした。試験体Aは軸力を加えずに実験を行ったが、試験体Bは軸力比0.62、試験体C・Dは0.15とした。部材の変位計の取付位置を図-3に示す。破壊の集中するヒンジ領域の挙動を把握するため、図に示す位置に全ネジ(6φ)を埋め込み、その相対変位を計測した。なお、耐力低下発生後は特に全ネジ棒のぐらつきによる精度低下が予想されるが、本研究での考察の対象とするのは耐力低下までの変形挙動であり、劣化に伴う全ネジ棒のぐらつきによる精度低下は本研究の考察範囲では特に問題ないと判断した。

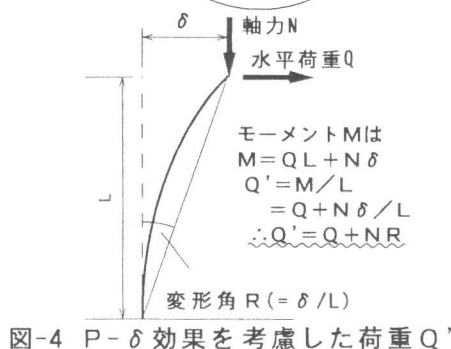
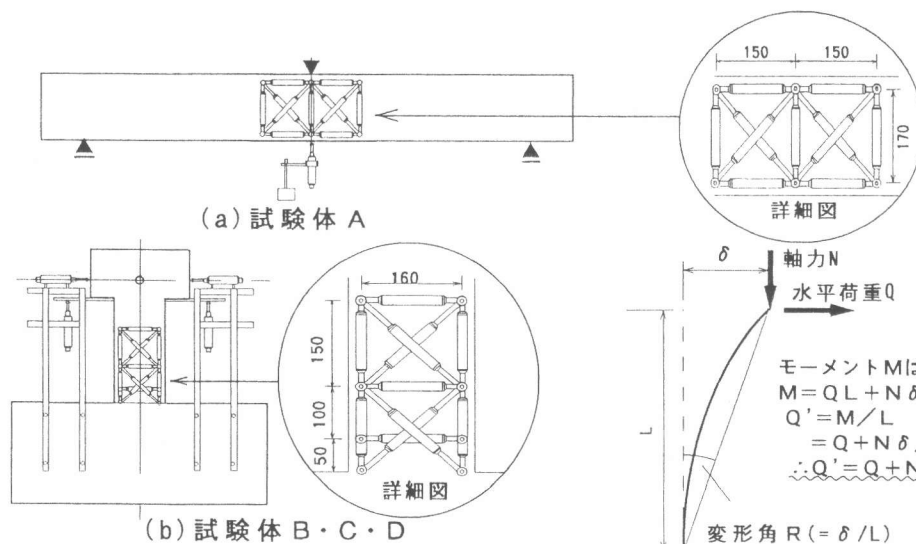
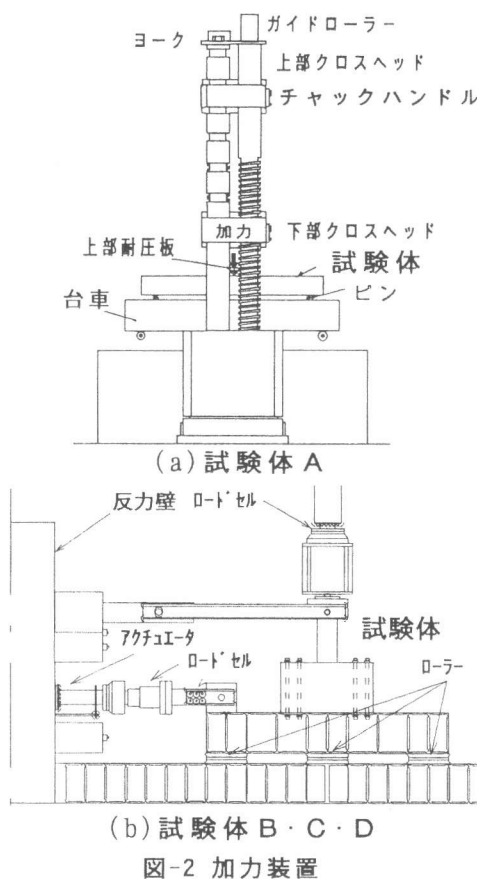
2.2 耐力低下と主筋の座屈

変形角 R 、 $P-\delta$ 効果を考慮した荷重 Q' を図-4のように定義する。図-5に各試験体の荷重 Q' ー変形角 R 関係を示す。試験体Aでは荷重の増大とともに徐々に曲げ圧縮部のコンクリートが圧壊し、ついには主筋の座屈が確認された。同図(a)に示すように最大耐力以降、急激に荷重を低下させており、試験体Aは曲げ圧縮破壊したと考えられる。一方、同じ単調载荷でも試験体Cでは曲げ圧縮部のコンクリートの圧壊は顕著にならず、曲げ降伏後もほぼ一定の耐力を維持した。

正負繰り返し载荷を行った試験体B、Dは端部コンクリートの剥落に伴い、図-5(b)(d)に示すようにいずれも繰り返し载荷により耐力を低下させ破壊に至った。実験終了後、いずれの試験体も主筋の座屈が確認された。

表1 鉄筋材料特性

		降伏強度 (MPa)	ヤング係数 ($\times 10^4$ MPa)
試験体 A	6φ	352	1.80
	4φ	558	1.96
	D19	373	1.89
試験体 B	6φ	352	1.80
	D10	351	1.87
	D13	354	2.11
試験体 C・D	6φ	431	2.09
	D10	421	2.04
	D13	412	2.07



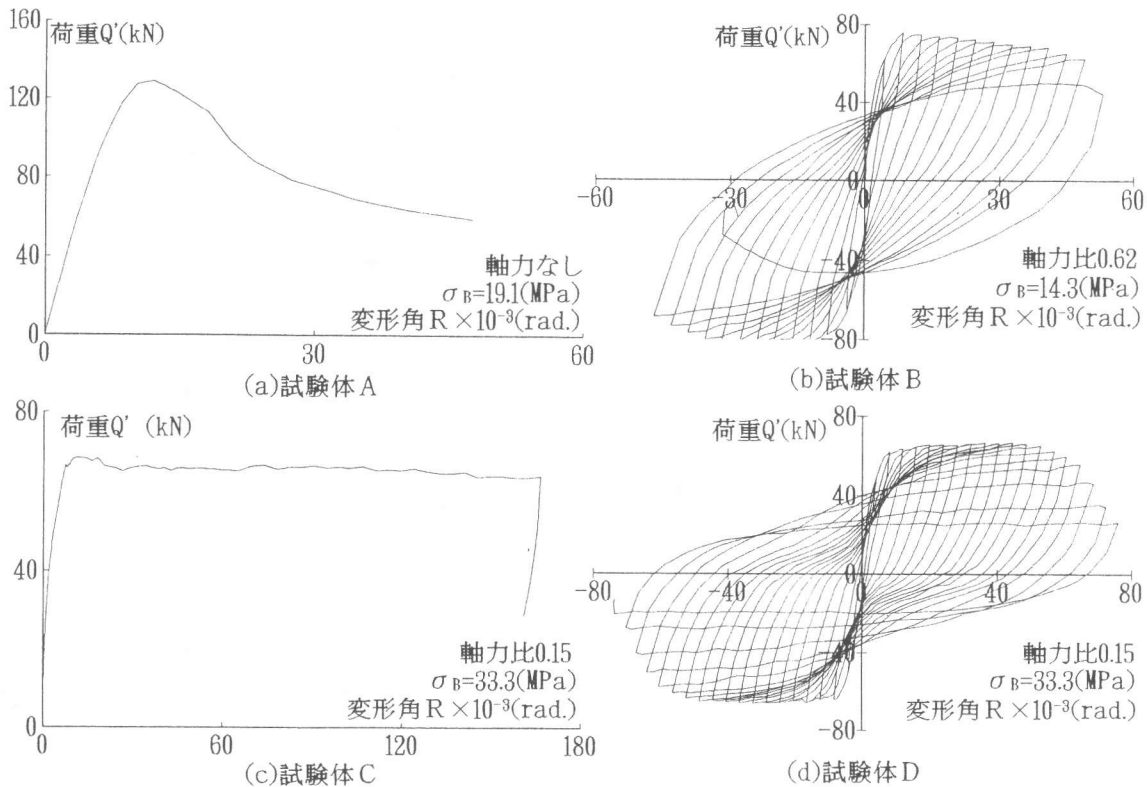


図-5 荷重 Q' - 変形角 R 関係

3. 端部の変形挙動

3.1 瞬間中立軸位置の定義

図-6のように部材端部の変形を部材底面の歪分布で代表させ、この歪分布から瞬間中立軸位置を定義する。瞬間中立軸位置とはある部材変形角増分によって部材断面に生じる歪増分分布から計算される中立軸位置である。図-7(a)(b)に示す関係を用いて中立軸位置 l と点 P の変位 δx , δy と回転角 θ の関係を導くと、同図中の式①が得られる[1]。この式①は同図(c)のように、縦軸に $\delta y + \delta x \tan \theta$ 、横軸に $\tan \theta$ を取ると、その時の傾きの大きさが瞬間中立軸位置を表すことを示している。この傾きが大きいくほど中立軸は部材断面の外側に位置し、小さいほど断面内側に位置する。したがって、 $\delta y + \delta x \tan \theta - \tan \theta$ 関係の傾きが低下することは中立軸位置が断面内側に移動したことを表している。

3.2 単調載荷時の破壊挙動

図-8、図-9に単調載荷時の、荷重 Q' - 変形角 R 関係(同図中(a))と、対応する $\delta y + \delta x \tan \theta - \tan \theta$ 関係(同図中(b))を示す。なおこれらは最大耐力までの載荷過程を抜き出したものであり、図中の番号は計測時のステップ番号を表す。図-8(b)のように、曲げ圧縮破壊した試験体Aは荷重が増大すると、ステップ番号14から16までの間

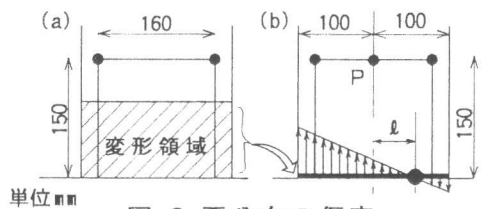
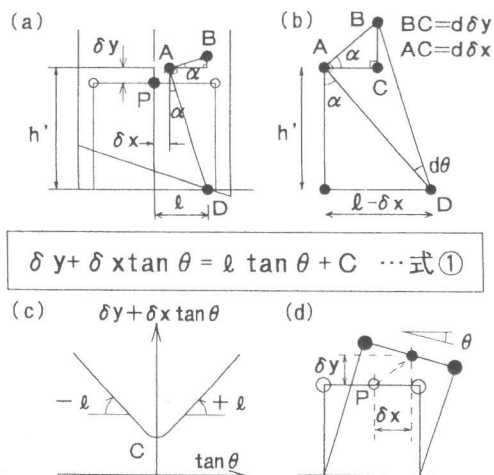
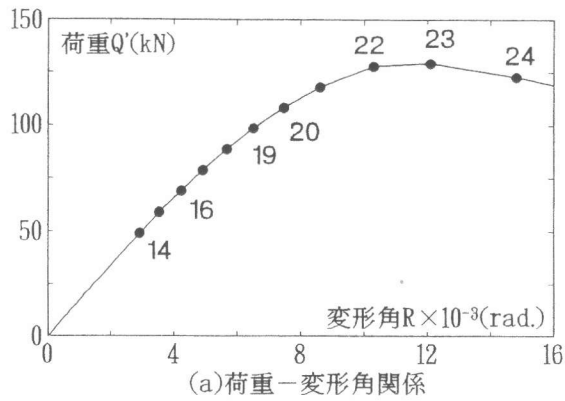


図-6 歪分布の仮定

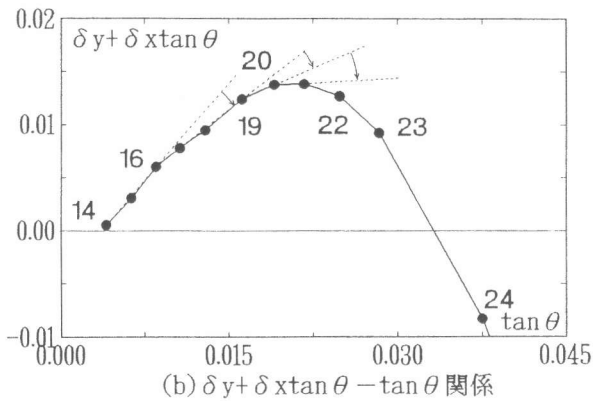


$$\delta y + \delta x \tan \theta = l \tan \theta + C \quad \dots \text{式①}$$

図-7 中立軸位置の算出

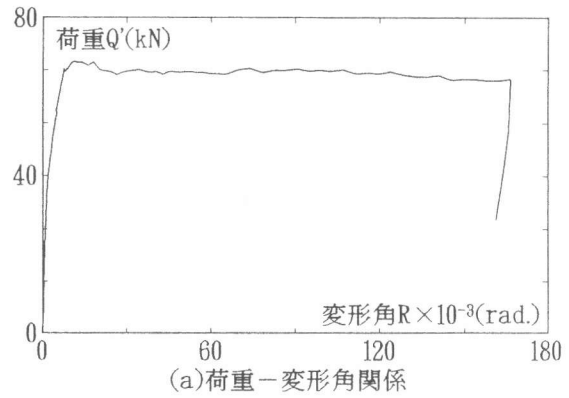


(a) 荷重-変形角関係

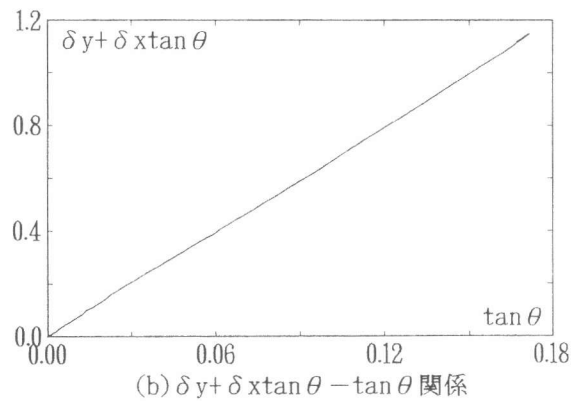


(b) $\delta y + \delta x \tan \theta - \tan \theta$ 関係

図-8試験体Aの中立軸の推移



(a) 荷重-変形角関係



(b) $\delta y + \delta x \tan \theta - \tan \theta$ 関係

図-9試験体Cの中立軸の推移

は傾きが一定となり、中立軸位置が安定している。しかし、ステップ16番号以降は、矢印で示すように徐々に傾きが低下し、最大耐力の点(ステップ番号23)ではすでに傾きが右下がりとなっている。このことは瞬間中立軸位置がステップ番号16から徐々に荷重に伴い部材中央に移動していることを示している。この中央への移動(以下、後退と呼ぶことにする)を図-10に模式的に示す。図-10(a)に示した区間OAとABを考える。試験体Aのステップ番号14から16は区間OAに、ステップ番号16以降は区間ABに対応している。区間OAで固定していた瞬間中立軸位置が傾きの低下した区間ABでは、断面中央に後退してしまっていることになる(図-10(b)→(c))。この部材中央への後退は、コンクリートの圧壊により耐力低下した試験体Aでは図-8(b)に示すように顕著に生じているのに対して、コンクリートの圧壊が顕著とならず耐力を維持した試験体Cでは、図-9(b)に示すようにほぼ同じ位置に固定され、全く生じていない。瞬間中立軸位置の後退は図-10(b)(c)に示すように圧縮部コンクリートの圧壊によって生じたと考えることができる。瞬間中立軸位置の後退は曲げ圧縮破壊(圧縮部コンクリートの圧壊)による耐力低下の発生時には必ず観察されるべきものと考えられる。

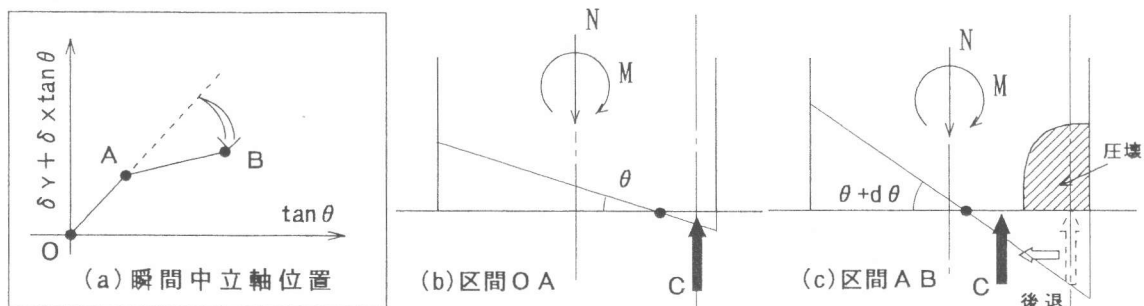
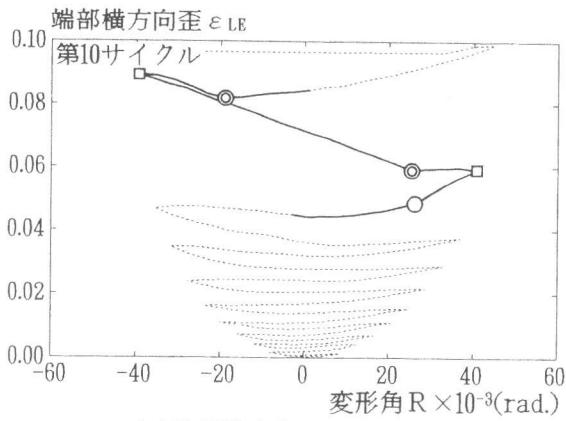
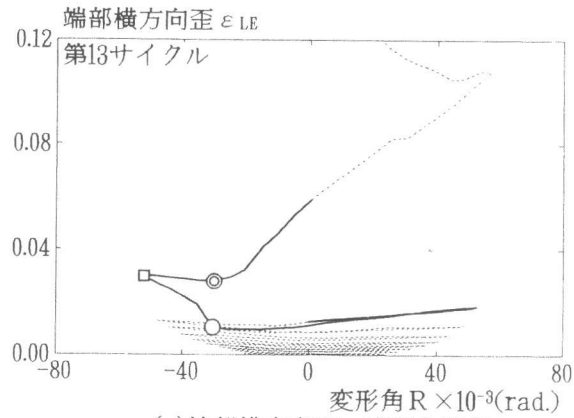


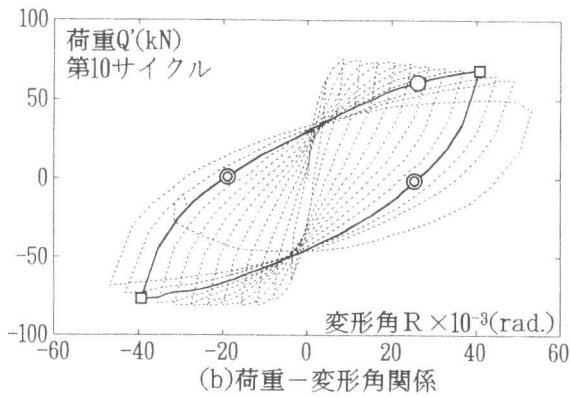
図-10 圧壊による瞬間中立軸位置の後退



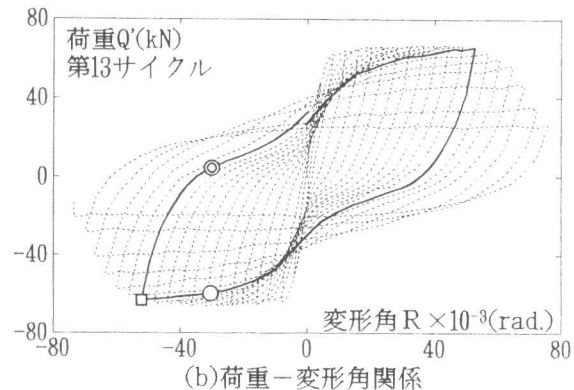
(a)端部横方向歪-変形角関係



(a)端部横方向歪-変形角関係



(b)荷重-変形角関係



(b)荷重-変形角関係

図-11端部横方向歪と耐力低下(試験体B)

図-12端部横方向歪と耐力低下(試験体D)

3. 3座屈の発生と耐力低下

図-11、図-12に繰り返し荷重した試験体B、Dの端部横方向歪 ε_{LE} -変形角 R 関係(図中(a))と対応する荷重 Q' -変形角 R 関係(図中(b))を示す。なお、端部横方向歪は図-3の変位計のうちベース部分から5cmの位置に水平に取り付けた変位計により計測したものである。図-11、12から端部横方向歪の急増が、試験体Bでは第10サイクルに、試験体Dでは第13サイクルに見られる。実験終了時には両試験体ともに主筋の座屈が確認されており、端部横方向歪の急増は主筋の座屈によるたわみ出しにより生じたと考えられる。図-11(b)図-12(b)に示されているように、この座屈の発生サイクルは $Q'-R$ 関係の耐力低下の開始サイクルとほぼ一致していることから座屈の発生が耐力低下の発生要因となっていると考えられる。

3. 4 正負繰り返し荷重時の破壊挙動

そこで耐力低下の発生したサイクルまでの瞬間中立軸位置を、繰り返し荷重を行った試験体B、Dについて比較したものを図-13に示す。試験体Bは図-13(a)で示すように、サイクルが進むにつれて、正負両側の荷重過程で荷重の増大とともに図-10(a)で示した傾きの低下が生じている。一方、図-13(b)に示すように、試験体Dは図-10(a)に示すような荷重過程における傾きの低下が生じていない。13、14サイクルの耐力低下開始までは瞬間中立軸位置を表す傾きはほぼ一定に保たれているが、耐力低下したサイクルでは直線を保ったまま傾きを低下し始めている。

このように、試験体Bは試験体Aと同じコンクリートの圧壊を示す瞬間中立軸位置の後退が発生しているが、試験体Dではこれが起こっていない。このことは試験体Bでは図-14(a)のようにそれまで部材外側に向かって移動していた瞬間中立軸位置がコンクリートの圧壊により部材中央

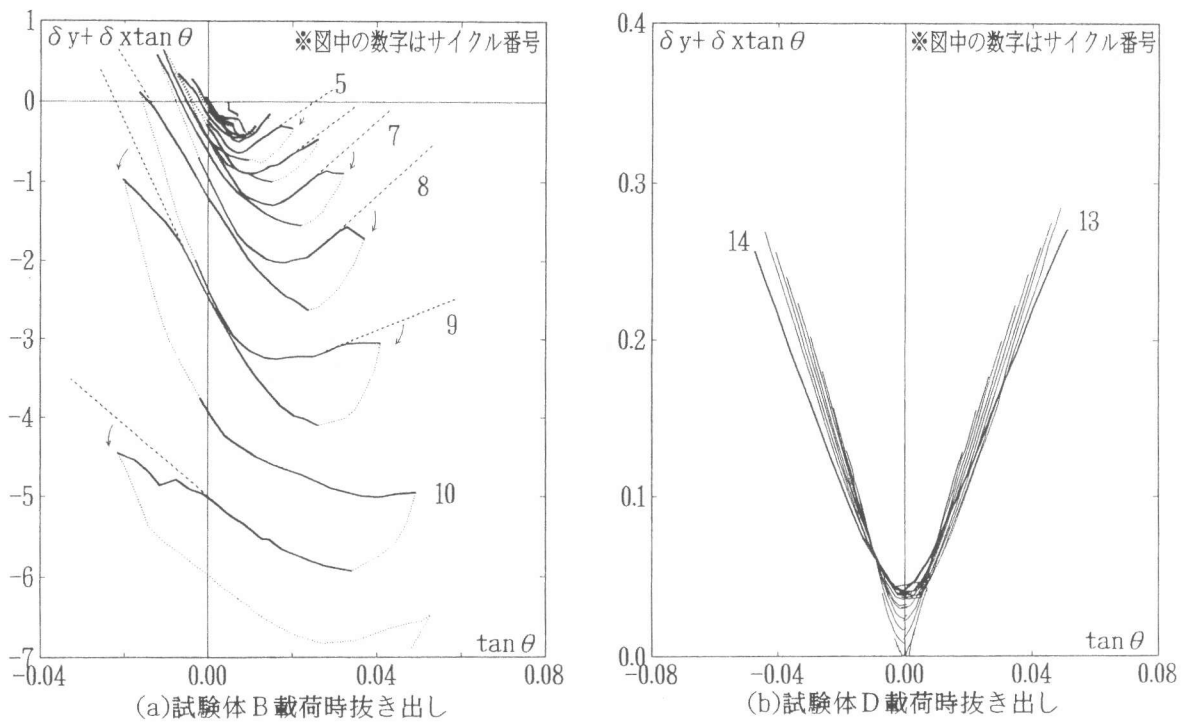


図-13正負繰り返し載荷試験体の中立軸の推移

に後退しているのに対し、試験体Dは図-14(b)のように瞬間中立軸位置が載荷過程で前サイクルの位置まで達せず、前サイクルの位置に戻ることができなくなっていると考えられる。

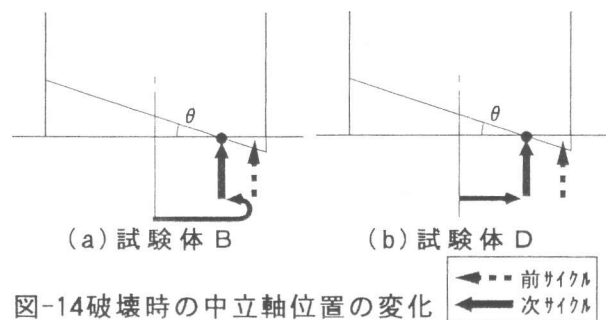


図-14破壊時の中立軸位置の変化

4. まとめ

繰り返し載荷時に主筋の座屈を伴い

曲げ破壊する柱部材の破壊挙動を「瞬間中立軸位置」の概念を導入して考察を行った。その結果、曲げ破壊挙動には、①載荷に伴い部材断面中央から外側に向かって移動していた瞬間中立軸位置が進行方向を逆に変えて部材断面中央に後退するものと、②瞬間中立軸位置の後退は見られないが、繰り返しの度に再形成される瞬間中立軸位置が前サイクルの位置より断面の中央側となるものの2種類があることが分かった。今後、これら2つの破壊挙動の面から繰り返し載荷時の曲げ破壊メカニズムについての検討を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 衣笠秀行・野村設郎・西村徹・西村俊彦：R C柱部材の曲げ降伏後の繰り返し載荷によって発生する破壊のメカニズムについて、日本コンクリート工学協会年次論文報告集、Vol. 16、No. 2、1994年、pp. 485~490