

論文 部材端及び固定部の一部で付着を切った RC 柱の弾塑性性状に関する研究

寺田 篤弘^{*1}・平石 久廣^{*2}・岡 功治^{*3}

要旨：地震時における鉄筋コンクリート造建物のエネルギー吸収能力の改善及びひび割れ低減の手法としてコンクリートと主筋の付着を切るという方法に着目し，部材端及び固定部の一部で付着を切った RC 柱の曲げせん断実験を実施した。全ての試験体の荷重 - 部材角関係は，安定した履歴性状を示した。付着を切った影響により，フェイス面での主筋歪の遅れやトラス作用の損失など望ましくない性状がみられたが，付着を切ったことによる曲げモーメントの曲げ戻し効果により部材端部におけるコンクリートの負担する応力が低減されることも明らかになった。

キーワード：RC 柱，付着，弾塑性性状，危険断面，トラス作用

1. はじめに

現在の建築構造物では部材が塑性化し地震のエネルギーを吸収することにより大地震に耐えるように設計されている。鉄筋コンクリート(以下 RC と記す)造建物においても同様で，梁端や一階の柱脚などにヒンジを計画した全体崩壊形の構造が推奨されている。

しかしながら，現在の RC 造においては部材が塑性化するとコンクリートに大きなひび割れや圧壊，鉄筋の座屈などが生じ，損傷は不可避といえる。また，塑性化が進展するとともに部材，ひいては構造物の強度も低下し場合によっては崩壊に至る。

これらの問題点を解決する一つの方法として，本論文では，エネルギー吸収能力の改善やひび割れの軽減に着目し，部材端及び固定部の一部において付着を切った柱の実験を行い，その構造性能について検討した。また，部材端で付着を切った RC 柱の部材端の曲げ応力性状についても，理論的に検討した。

なお，主筋とコンクリートの付着を切る事については，主として，アーチとトラス作用に関

する研究の一環としての実験等がなされてきた。(例えば文献 1)，2))

これらの研究によれば，主筋の付着を除去した場合，変形能やひび割れ性状には効果があることが指摘される一方，せん断や曲げ圧縮性能については何らかの対応が必要であることも指摘されている。

2. 実験概要

2.1 試験体形状

試験体配筋図を図 - 1 に，試験体一覧表を表 - 1 に示す。

全試験体の共通因子は柱幅 360(mm) × 柱せい 360(mm) × 内法寸法 880(mm)，せん断スパン比は 1.22，コンクリートの設計基準強度は $F_c=48(N/mm^2)$ ，主筋 12-D16($P_g=1.83\%$)，横補強筋 4-U6.4@30($P_w=1.11\%$)である。また，試験体のスケールは約 1/2.5 の縮小モデルである。試験体 No.1 は，全長に渡り付着のある RC 柱，No.2 は柱両端部から固定部側へ幅 120(mm)の間の付着を切ったもの，No.3 は柱両端部から部材内へ幅 120(mm)の間の付着を切ったものである。

*1 明治大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 明治大学 理工学部建築学科 教授 工博 (正会員)
(独立行政法人建築研究所 客員研究員)

*3 (株)大本組 技術本部 エンジニアリング部

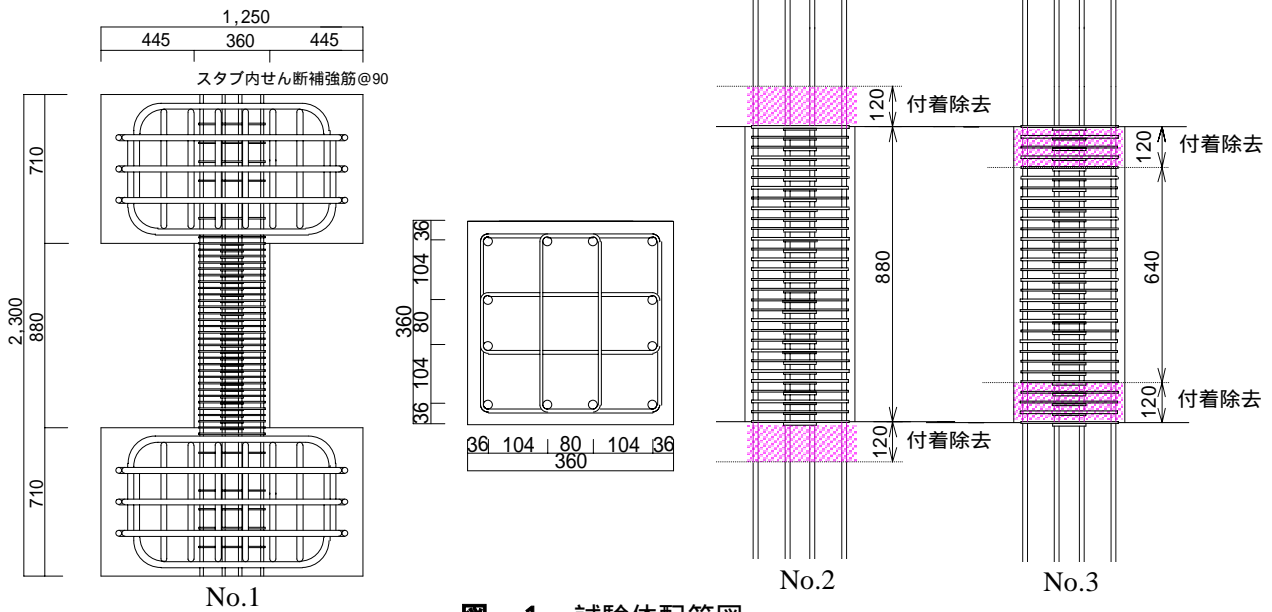


図 - 1 試験体配筋図

表 - 1 試験体一覧

試験体名	No.1	No.2	No.3
$F_c(N/mm^2)$	48		
柱断面寸法(mm)	360×360		
内法スパン(mm)	880		
主筋	12-D16($P_g=1.83%$ SD390)		
せん断補強筋	4-U6.4@30($P_w=1.11%$ SD1275)		
付着の有無	有り	一部なし (固定部側)	一部なし (部材内側)
軸力(軸力比)	1000kN(0.16)		

表 - 2 鉄筋の力学特性

寸法・材料	降伏応力度 (N/mm^2)	引張応力度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^4(N/mm^2)$	降伏ひずみ (μ)	破断伸び (%)
U6.4 (SD1275)	1400	1450	20.0	7060	9.0
D16 (SD390)	450	635	19.7	2430	19.0

表 - 3 コンクリートの力学特性

	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)	ポアソン比
No.1	48.7	35.5	0.157
No.2	48.2	36.1	0.155
No.3	46.9	35.5	0.203

本実験ではビニールテープを出来るだけ凹凸をなくすように鉄筋に巻くことにより付着を切っている。

なお、柱試験体はすべて、柱頭、柱脚が曲げ降伏するように設計されている。

また、鉄筋の力学特性を表 - 2 に、コンクリートの力学特性を表 - 3 に示す。

2.2 加力方法

図 - 2 に载荷装置を示す。载荷装置は、加力フレームと水平アクチュエーター2基、軸力ジャッキ1基で構成されている。また、反力床と加力ビームとの間にパンタグラフを取り付けた。

载荷は、軸力ジャッキにより一定の軸力(1000kN, 軸力比 0.16)を保持した状態で、水平方向のアクチュエーターによって、正負繰り返しの逆対称曲げせん断加力を行った。

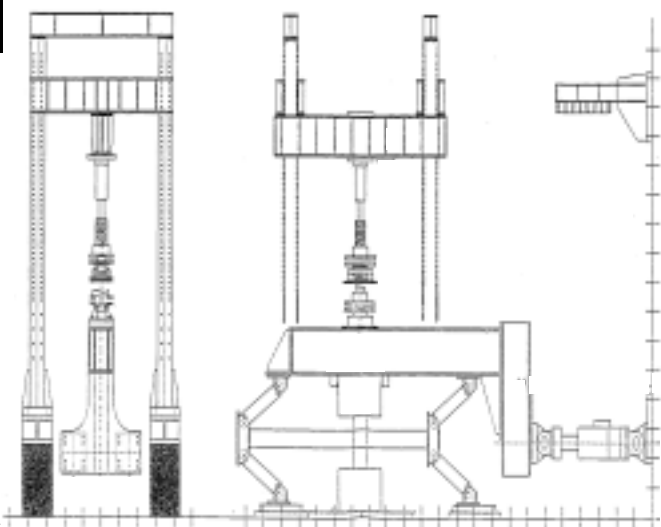


図 - 2 载荷装置

2.3 加力サイクル

No.1 の加力サイクルは、図 - 3 に示すように目標所定部材角 $R=1/800, 1/400, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50$ でそれぞれに正負繰返し載荷を 2 回行った後、 $R=1/10$ 程度まで正方向に単調載荷した。

No.2, No.3 は目標所定部材角 $R=1/1600, 1/800, 1/400, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/33$ でそれぞれに正負繰返し載荷を 2 回行った後、 $R=1/15$ 程度まで、正方向に単調載荷を行った。

2.4 全体変位の計測

試験体全体変位の計測方法を図 - 4 に示す。試験体の全体変位の計測は、上下スタブから持ち出した計測治具にマグネットスタンドを介し取り付けられた変位計により計測した。

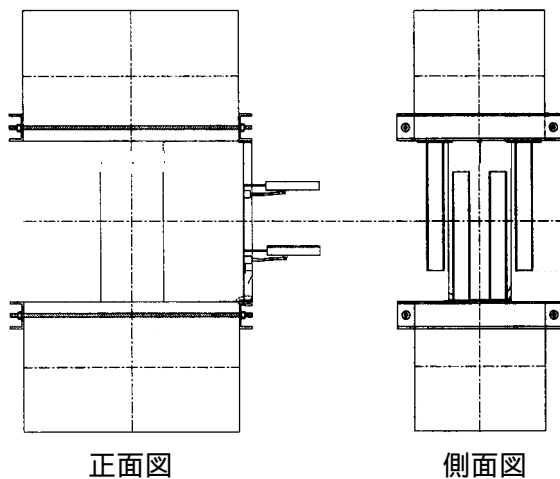


図 - 4 全体変形の計測

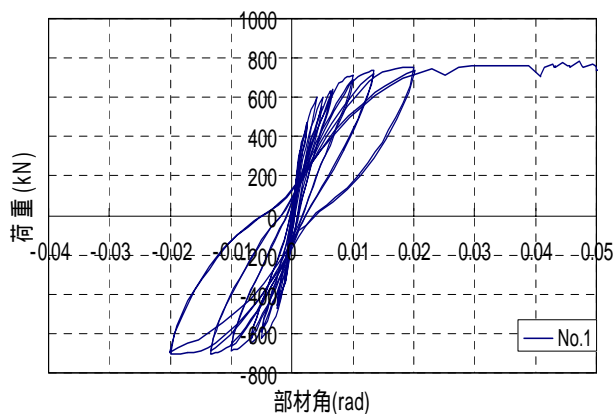
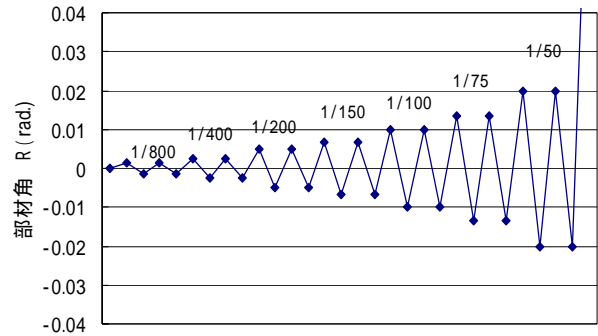
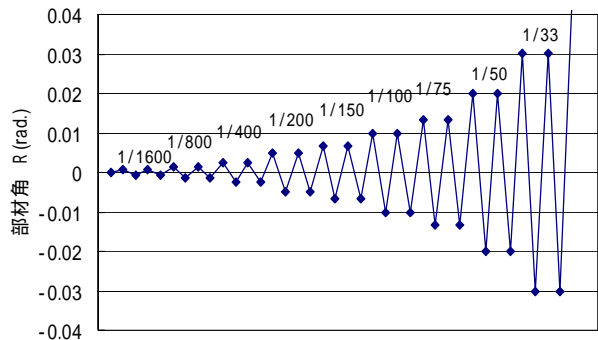


図 - 5 荷重 - 部材角関係 (No.1)



No.1



No.2, No.3

図 - 3 加力サイクル

3. 実験結果

3.1 荷重 - 部材角関係

図 - 5 に各試験体の荷重 - 部材角関係を示す。

No.1 では、 $R=1/800$ で曲げひび割れ発生後、 $R=1/50$ で最大耐力 755kN となり、それ以後耐力はほぼ一定を保っている。

No.2 は $R=1/800$ で曲げひび割れ発生後、 $R=1/100 \sim R=1/50$ にかけてわずかに耐力低下したものの、その後耐力はほぼ一定を保ち最終的には $R=1/15$ で No.1 より約 10% 小さい最大耐力 706kN となった。

No.3 も No.1 とほぼ同様、 $R=1/400$ で曲げひび割れ発生後、No.1 より耐力が低い、 $R=1/50$ 以降耐力はほぼ一定を保ち、 $R=1/15$ で No.1 と同等の最大耐力 757kN となった。

また、付着を切った試験体 No.2, No.3 の履歴性状はともに、通常の試験体 No.1 とほぼ同様な安定した履歴性状を示した。

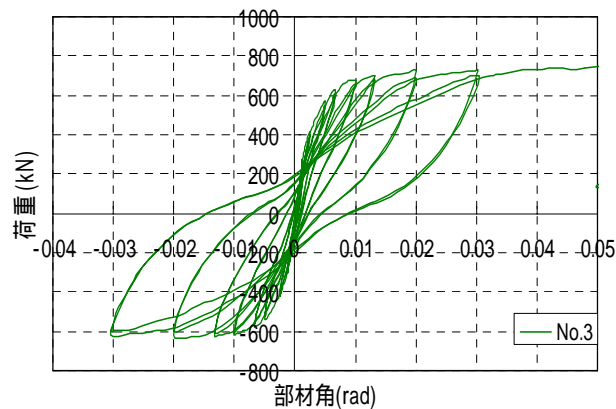
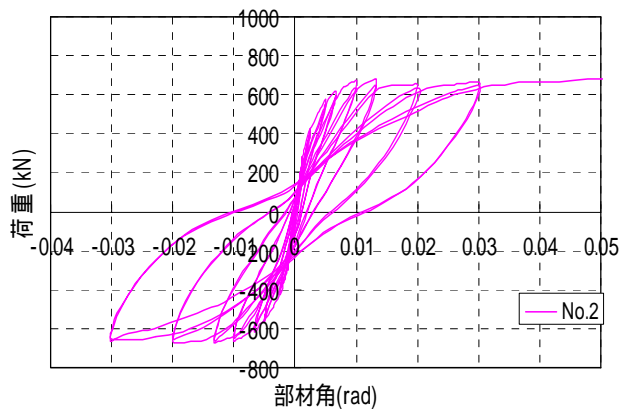


図 - 5 荷重 - 部材角関係 (No.2 , No.3)

各試験体の荷重 - 部材角関係を包絡線上にプロットしたものを図 - 6 に示す。同じ部材角における付着を切った試験体 No.2 , No.3 の耐力は、ともに No.1 の耐力よりも低くなっている。

3.2 ひび割れおよび破壊性状

1) 曲げひび割れに関する検討

図 - 7 に各試験体の $R=1/200$ 時とサイクル終了時のひび割れ図を示す。

図より部材端で付着を切った試験体 No.3 の柱内の付着を切った区間、上下部材端部のひび割れが他の試験体に比べ少ないことがわかる。その要因としては、以下の2つのことが挙げられる。

付着を切った区間は主筋を除く部材に作用する曲げモーメントが小さくなる(詳細は4節)。付着を切った区間は、本来、コンクリートに伝わるはずの主筋の引張応力が伝わらなかった。

2) せん断ひび割れに関する検討

$R=1/200$ 時で通常の試験体 No.1 はせん断ひび割れが発生しているのに対し、固定部で付着を切った試験体 No.2 ではせん断ひび割れが発生していない。その要因としては、定着部の主筋の伸びに伴う部材の変形により、同部材角時の部材の歪が小さくなっていることが挙げられる。また、部材端で付着を切った試験体 No.3 では No.1 に比べ多くのせん断ひび割れが見られる。この要因としては、3.4 項に示したように付着を切った区間のトラス作用が働かず、アーチ的

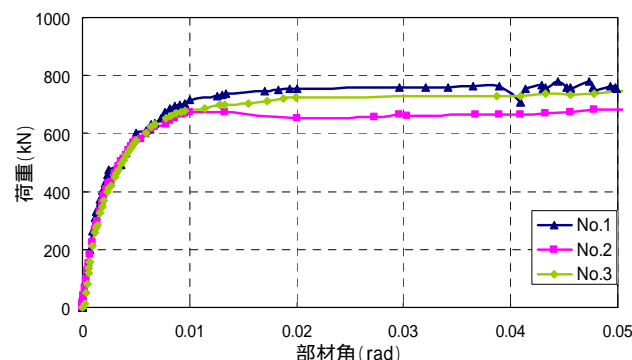


図 - 6 荷重 - 部材角関係 (包絡線)

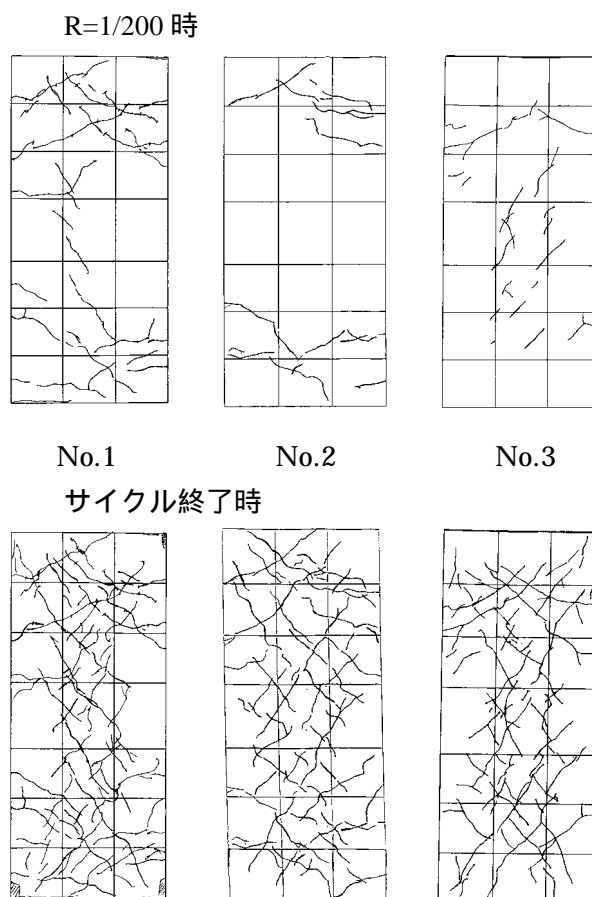


図 - 7 試験体ひび割れ図

な力の流れが支配的になったことが挙げられる。

3.3 フェイス面の主筋歪

図 - 8 に右柱脚部のフェイス面の主筋歪 - 部材角関係を示す。いずれの試験体の主筋もほぼ同部材角で降伏し、No.2 がわずかに遅れているものの、 $R=1/100$ までは挙動に大きな差異は見られない。しかしそれ以後は大きな違いが見られ、No.1 は短い歪一定領域の後、歪が増大しているのに対し、No.3 は長い一定領域の後、歪は増大している。これに対して No.2 は測定された最後までほとんど上昇していない。

3.4 付着の有無によるせん断補強筋への影響

部材端で付着を切った試験体 No.3 の付着を切った区間(材端から 60mm 位置)のせん断補強筋歪と固定部で付着を切った試験体 No.2 で同じ位置にあたるせん断補強筋歪とを比較したものを図 - 9 に示す。No.3 の付着を切った区間のせん断補強筋は歪が生じていない。これは No.3 にトラス作用が作用せず、せん断補強筋が本来の働きをなしていないことを示している。

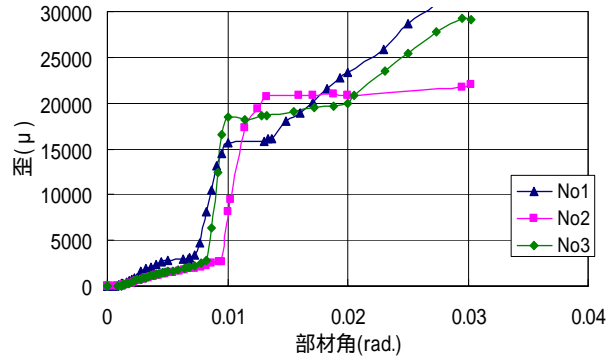


図 - 8 フェイス面の主筋歪 - 部材角関係

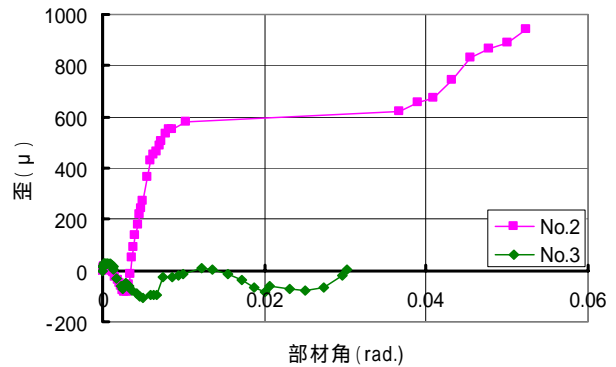


図 - 9 せん断補強筋歪 - 部材角関係

4. 部材端部の作用モーメントについて

ここでは、部材端で付着を切った柱の部材端部の作用モーメントについて検討する。

図 - 10 に部材端で付着を切った柱部材端部に作用する曲げモーメントの概念図を示す。ここで、繰り返し载荷を受けた部材の主筋はいずれも降伏しているものとみなし、大変形時における主筋応力は、引張側、圧縮側ともにほぼ等しいものと仮定している。すなわち図 - 10 において主筋に作用する引張力【 N_{ty} 】と圧縮力【 N_{cy} 】は等しいものとする。

付着のない区間の主筋に作用する力【 N_{ty} 】、【 N_{cy} 】はこの区間のコンクリートにとっては外力と考えることができる。このような部材を考えるとこの部材には主筋とコンクリートの一体化がなされていない部分に偶力によるモーメントが作用することになる。

結果として、部材端で付着を切った柱の部材端部では、主筋を除くコンクリートの曲げモー

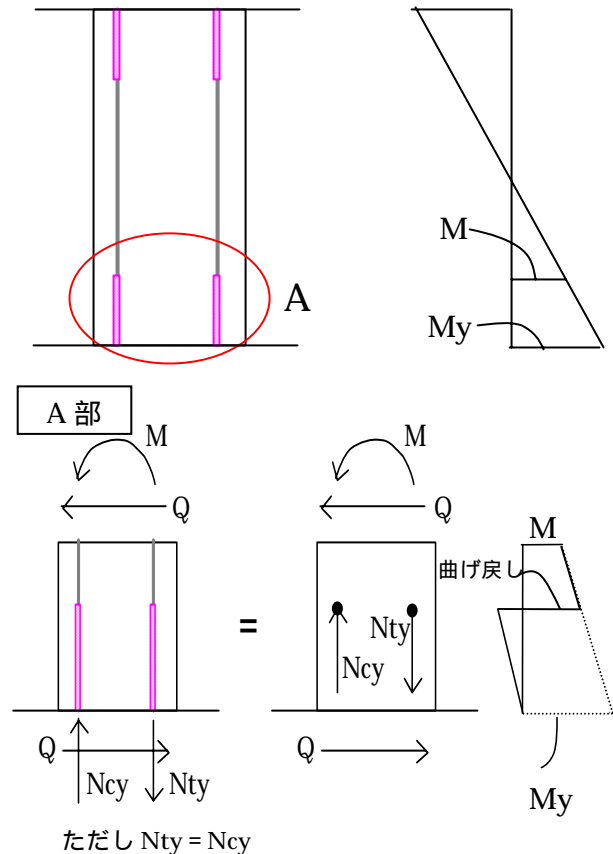


図 - 10 付着を切った柱部材端部の作用曲げモーメントの概念図($N_{ty} = N_{cy}$)

メントは、通常 RC 柱の部材端部よりも、はるかに小さなものになると考えられる。

また、図 - 11 に一般的なケースとして【 $N_{ty} > N_{cy}$ 】時の付着を切った柱部材端部に作用する曲げモーメントの概念図を示す。

この場合においても、付着を切った区間の部材端部が負担するモーメントは小さいことが図より明らかである。

このような曲げ戻し効果により No.3 においては部材端の損傷が小さなものになったと考えられる。

5. まとめ

- 1) 部材端及び固定部で主筋の付着を一部切った柱は通常の柱より同じ部材角において耐力が低下した。
- 2) 部材端で付着を切った柱はその区間において通常の柱よりもひび割れが少なかった。
- 3) 部材端で付着を切った柱は通常の柱に比べて柱中央部のせん断ひび割れが早期に生じた。
- 4) 主筋の付着を一部切った柱は通常の柱より同じ部材角において危険断面（フェイス面）の主筋歪が小さくなった。
- 5) 部材端で主筋の付着を一部切る場合、その区間のトラス作用が働かなくなる為、同区間のせん断補強筋の効果がほとんどなくなる。
- 6) 部材端で主筋の付着を一部切った柱は曲げ戻し効果により、その区間のコンクリートが負担する曲げ応力は通常 RC のものよりも著しく小さいものと考えられる。

謝辞

実験にあたっては（株）大本組の関係者にご協力を頂きました。ここに厚くお礼を申し上げます。

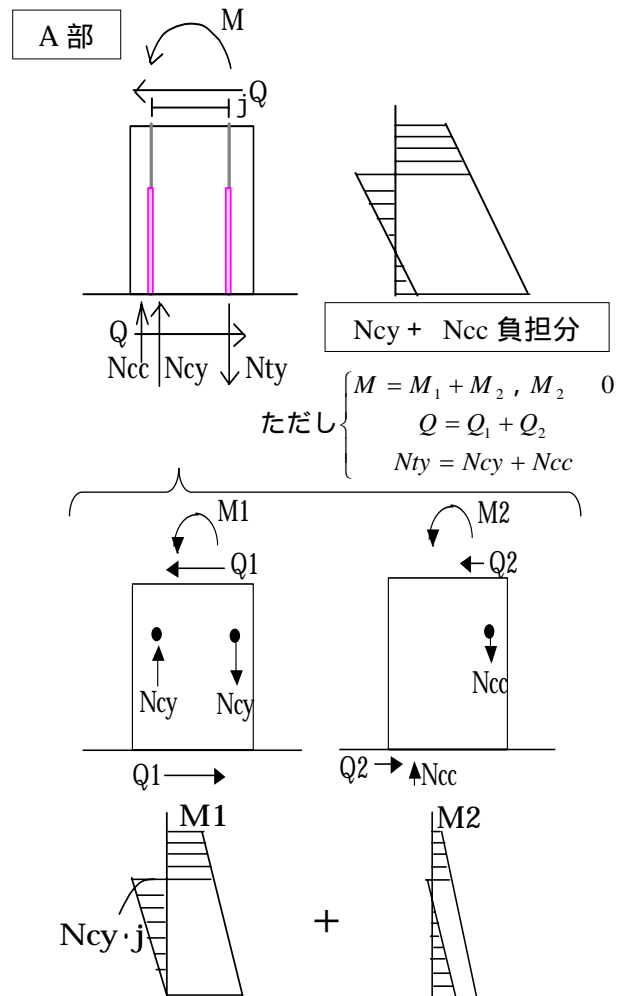


図 - 11 付着を切った柱部材端部の作用曲げモーメントの概念図($N_{ty} > N_{cy}$)

参考文献

- 1) 滝口克己・岡田謙二・堺政博：付着のある RC 部材と付着の無い RC 部材の変形特性，日本建築学会論文報告集，第 249 号，pp.1 ~ 10，1976 年 11 月
- 2) 飯田誠次郎・浜原正行・末次宏光・福井剛：軸筋の付着が鉄筋コンクリート部材のせん断性状に及ぼす影響，日本建築学会構造論文集，第 564 号，pp.103 ~ 108，2003 年 2 月
- 3) 大久保全陸・朱文照・浜本哲嗣：RC Slotted Beam 構造の耐震特性とひび割れ性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.301 ~ 306，2002 年度大会
- 4) 西尾浩平，平石久廣 他：鋼製筒内にヒンジが形成される RC 梁の弾塑性性状に関する実験的研究（その 4），日本建築学会学術講演梗概集，pp.97 ~ 98，2003 年度大会
- 5) 鈴木学，寺田篤弘，平石久廣：部材端及び固定部の一部で付着を切った RC 柱の弾塑性性状に関する研究（その 1），日本建築学会学術講演梗概集，pp.197 ~ 198，2003 年度大会