

論文 多量の横拘束補強を有する RC 柱部材の変形機構

岸本 一蔵^{*1}・仁科 誠治^{*2}・任 旭^{*3}・大野 義照^{*4}

要旨：柱部材端部に多量の横拘束補強を施すことで部材の損傷領域の限定を試みるとともに，横拘束補強筋の配置と部材変形量と損傷の程度，変形機構との関係を調べるため柱試験体の曲げせん断試験を行った。実験では，新たな試みとしてヒンジ発生領域の損傷状況を高性能デジタルカメラを用いて撮影，計測を行った。その結果，多量の横拘束補強筋は，変形角 1/50 以下では曲げ挙動に影響を及ぼさないが，終局域において部材のスプリット及びせん断ずれを防止し，靱性を向上させる効果があることが確認できた。また，部材変形量は柱材端に発生する 2 本のひび割れに大きく依存することを明らかにした。

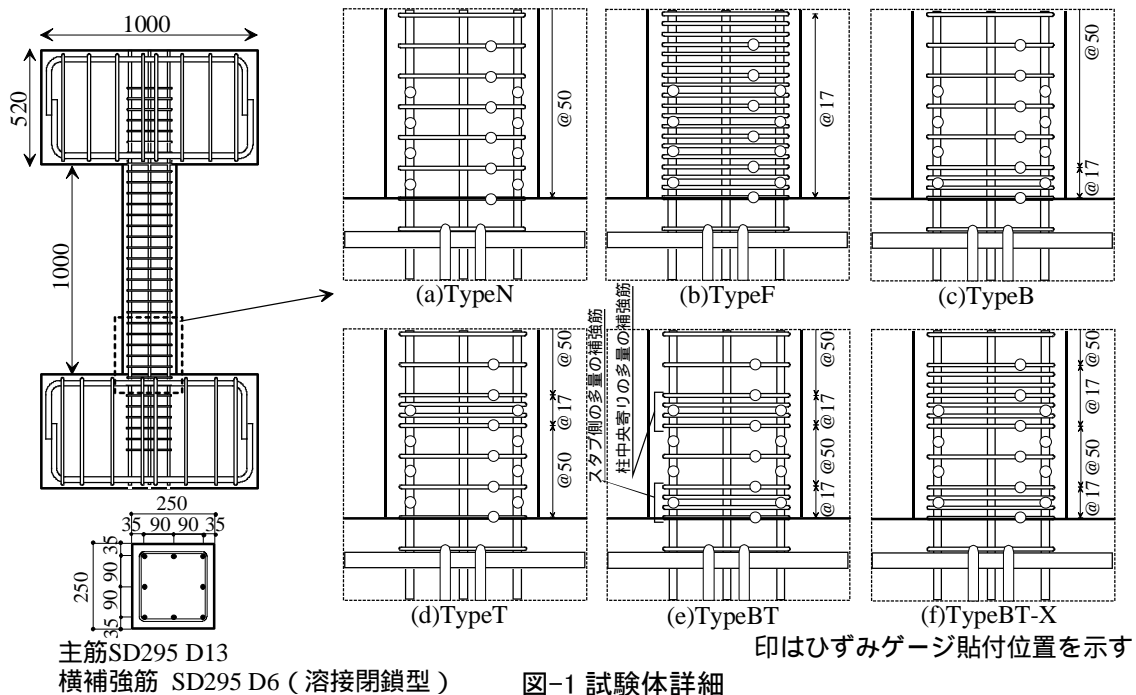
キーワード：RC 柱部材，多量の横拘束筋，変形性能，回転角，デジタルカメラ

1. はじめに

建築建物の設計法は仕様規定型の設計法から性能明示型の設計法への移行しつつある。これは，耐震設計における従来の基準“耐力”に加えて“変形”という軸が必要となることを意味する。即ち同設計法では“変形”と“損傷”との関係を明確にし，そこから補修限界から終局

限界にいたる構造部材としての性能を規定することを期待されている。

本論文は，鉄筋コンクリート柱部材の性能設計における基本的な資料を得る目的で，ヒンジ発生領域，即ち損傷領域を限定して発生させることを試みた RC 柱部材の曲げせん断実験結果について報告するものである。具体的には，部



*1 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻 講師 博士(工学) (正会員)
 *2 (株)日建設 (正会員)
 *3 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻 (正会員)
 *4 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻 教授 工博 (正会員)

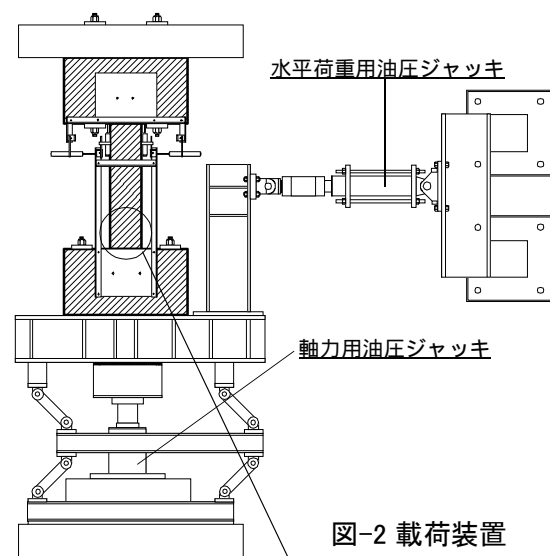
材端に多量の横拘束補強（補強筋ピッチ 17mm， $p_w=1.53\%$ ）を施すことにより，該当領域におけるせん断ひび割れ発生の防止，コンクリートの強度上昇及び高靱性化，主鉄筋の座屈防止効果により，部材の損傷領域限定の可能性について調べるとともに，横拘束補強筋の配置と部材変形量と損傷の程度，変形機構との関係についても検討をおこなった。新たな試みとして，ヒンジ発生領域における破壊の進展（ひび割れ発生，圧縮部コンクリートの圧壊等）を高性能デジタルカメラにより撮影，計測している。

2. 実験概要

対象とした試験体は，1 辺 25cm の正方形断面を有する部材長 100cm（シアスパン比 2.0）の柱部材である（図-1）。各試験体（図-1(a)～(f)の 6 体）は横拘束補強筋（以下 補強筋 と略記）の配置方法のみが異っており，通常タイプの配筋を施した TypeN（部材軸方向全長にわたって $D6@50\text{mm}$ ； $p_w=0.51\%$ ）と，ヒンジ領域全域に多量の横拘束補強を施した TypeF（柱材端から 6 ピッチの区間（300mm）を $D6@17\text{mm}$ ； $p_w=1.53\%$ ）

の 2 体を基準として，ヒンジ発生領域を 2 ピッチ（100mm）の箇所に限定させる目的で，その両端に TypeF と同じ多量の補強筋（ $D6@17\text{mm}$ ）を配置させた TypeBT と TypeBT-X を設定した。更に，多量の横補強筋の役割をより明確に検討するため，TypeBT からスタブ側の多量の補強筋（図-1(e)参照）を除いた，TypeT，柱中央寄りの補強筋を除いた TypeB を設定した。なお，TypeN，TypeF 試験体のせん断余裕度は，それぞれ 1.25，1.73 であり，曲げ破壊先行型である（せん断耐力は靱性保証型耐震設計指針¹⁾，曲げ耐力は RC 規準²⁾による）。

使用した鉄筋及びコンクリートの材料特性は各試験体共通である（表-1）。載荷時の軸力比（ $=N/A_c \cdot F_c$ ； N は軸力， A_c は柱断面積， F_c



列番号: A BC DEF G

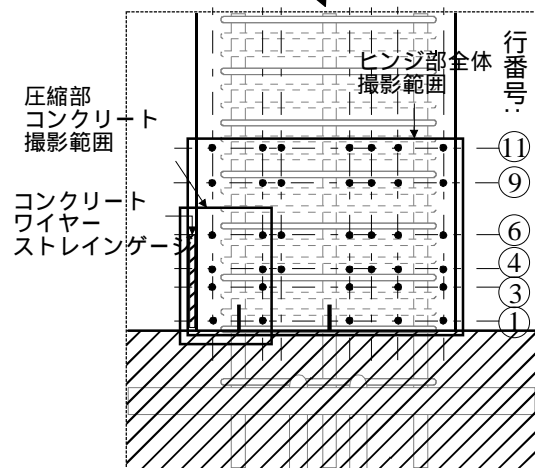


図-3 撮影範囲概略図

表-1 材料特性

	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ヤング率 [N/mm ²]
主筋 (D13)	359	495	1.76×10^5
帯筋 (D6)	381	513	1.79×10^5
	F_c [N/mm ²]	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング率 [N/mm ²]
コンクリート	30	42.7	2.43×10^4

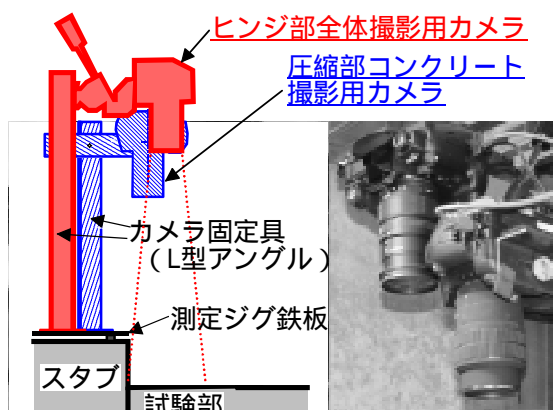


図-4 カメラ配置 (側面)



図-5 カメラ設置状況

は設計基準強度)は全て0.5とし、建研式加力方式により行った(図-2)。荷重履歴は、部材角 $R=1/200, 1/100, 1/50, 1/33, 1/20$ のそれぞれ3回ずつの正負交番とした。部材変形はスタブに設置したひずみ変換式ダイヤルゲージにより、主筋及び横補強筋のひずみは、図-1(a)~(f)に示す位置にひずみワイヤーストレインゲージを添付することにより行った。また、圧縮縁のコンクリートのひずみを測定するために図-3に示す位置に60mmコンクリートワイヤーストレインゲージを添付した。さらに、ヒンジ部の挙動、

及び圧縮部コンクリートの挙動を追跡するために、加力方向と垂直方向の部材面上に固定設置したデジタルカメラ(4,500×3,000ピクセル)による撮影を行った(図-4,5)。撮影範囲は図-3に示すとおりであり、撮影時の解像度はヒンジ部撮影で約0.06mm/dot(=水平方向撮影長さ270mm÷4500dots)、圧縮部コンクリート撮影で約0.03mm/dotである。使用レンズの歪曲収差による画像中央部と端部の誤差はおおよそ5%であるが、結果に対する補正は行っていない。測定ポイントは、長さ約15cmの4の丸鋼をコンク

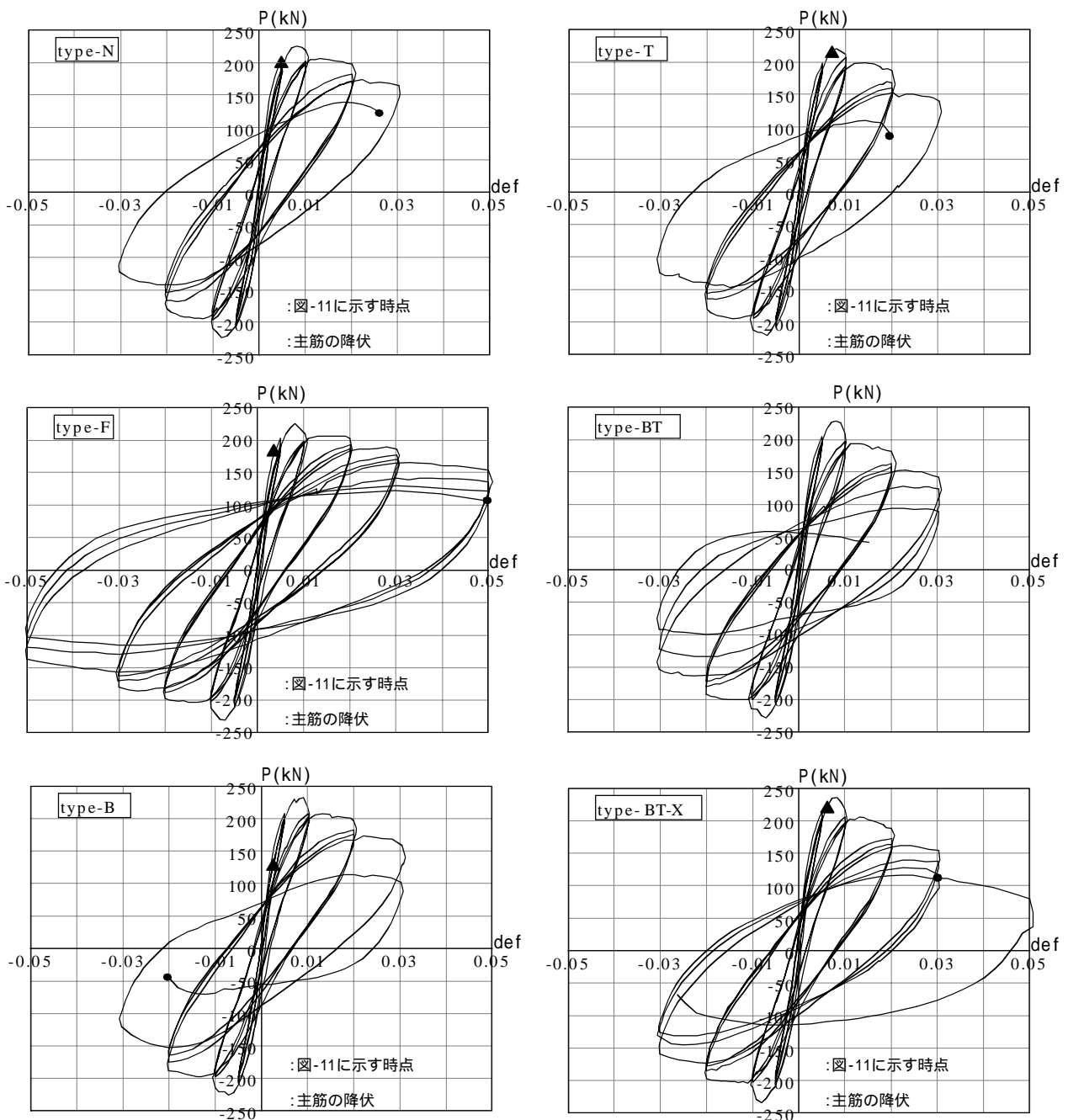


図 - 6 荷重-変形関係

リート打設時に試験体に埋め込み、その先端を円錐状に加工したものである。埋め込み本数は1試験体辺り38本、その位置を図-3中に印で示す。

3. 実験結果及び考察

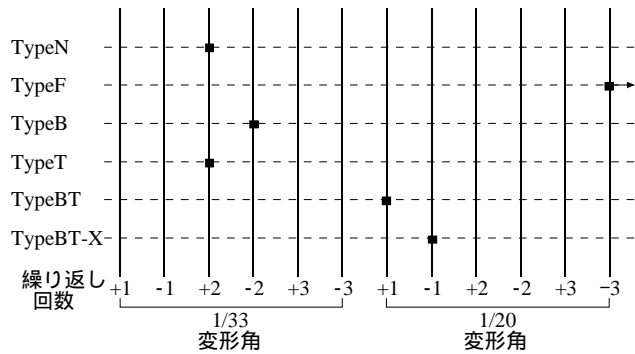
3.1 荷重 - 変形関係と試験結果の概略

本節では、各試験体の荷重 - 変形関係（図-6）を示し、試験結果の概略を説明する。同図より次のようなことが分かる。部材変形角(R)=1/50以下の領域では、全ての試験体において、最大耐力を含めた部材の荷重 - 変形関係に大きな差はなく、 $R=1/50$ 時の繰り返し載荷時の耐力低下の程度も小さい。即ち、横補強筋の配置の違いは最大耐力および $R=1/50$ 以下の部材挙動に影響を殆ど与えない。一方、部材変形角が $R=1/50$ を超える領域においては、同一変形時繰り返しによる耐力低下に差が生じ、軸力保持限界角（図-7）にも明確な差が現れている。概説すると次のようである。(1)多量の補強筋が配置されない TypeN では繰り返しによる耐力低下が最も大きく、かつ軸力保持限界角も最も小さい。(2)スタブ側、柱中央側それぞれにのみ多量の横補強筋が配置される TypeB, TypeT では、多量の補強筋が配置されるにもかかわらず、繰り返しによる耐力低下の程度および軸力保持限界角は TypeN と殆ど変わらない。(3)スタブ側、柱中央側の両方に多量の横補強筋が配置される TypeBT, TypeBT-X では、前述3体に比べて明らかに耐力低下程度が小さく靱性能が改善されている。(4) TypeF は $R=1/20$ の繰り返し載荷にも安定した履歴を示し、載荷の最終段階においても軸力を保持している。

3.2 $R=1/50$ 以下の変形レベルについての検討

本節では、全ての試験体の荷重-変形関係に大きな差異のなかった変形レベル、即ち $R=1/50$ 以下の変形領域における部材の挙動を、ひび割れ進展状況および断面レベルでの変形量を用いてより詳細に検討する。

図-8は $R=1/50$ 正方向1回目における柱材端の



軸力を保持できる状態で実験を終了したため、1/20以上の変形角にも耐えうると考えられる。

図-7 軸力保持限界変形角とその繰り返し回数

ひび割れ発生状況を示している。同図より、 $R=1/50$ 時において各試験体のひび割れ状況に大きな差異はないことがわかる。いずれの場合も、引張側に3本(TypeBのみ4本)の主たるひび割れが発生しており、圧縮側では、主筋より外側（即ちかぶり部分）のコンクリートに材軸方向のひび割れおよび剥落が生じている。

図-9には $R=1/100$ 時(正方向1回目)と $R=1/50$ (正方向1回目)時の各断面位置回転角(以下回転角と略記) - 材軸距離関係を示している。回転角とは、図-10に示すように、材軸に直角にする断面において、変形前と変形後のB, F列の測定ポイントがなす2直線が交わる角度(デジタルカメラ映像による計測量)である。ひび割れ発生状況と同様、各試験体間における大きな違いはみられない。一方、変形レベルの違いにより次のような事がわかる。 $R=1/100$ 時には、スタブに最も近い位置での変形量が測定部全体の変形量(材軸距離175mm位置での変形量)のおよそ40~50%程度であり、スタブ極近傍(或いはヒンジ部と柱部材境界位置)に発生するひび割れが全体変形を大きく支配している。これに対し $R=1/50$ 時では、材軸距離50mm付近での回転角の変化量が著しく大きくなっており、測定部位全体の変形量の50%程度が同位置で発生している。この変形増分は、図-8で示した引張側の主たる3本のひび割れのうち、スタブ側から数えて2本目のひび割れに起因している。一方、3本目のひび割れは材軸距離約150mmの位置に発生しているが、この位置での回転角増分は小さ

い。以上のことから、部材の変形量はスタブ極近傍、およびその次に柱中央部寄りに発生するひび割れに大きく依存し、これらのひび割れ幅を算定することにより部材変形量を精度良く予測できると考えられる。

3.3 終局変形状態の検討

本節では、軸力保持限界における部材の挙動から、多量の補強筋配置の違いが終局状態に及ぼす影響について考察する。

図-11は、軸力保持限界直前での測定ポイントの挙動(図中の‘ ’)と、ひび割れ発生状況を示している。測定ポイントの挙動はベクトルにより示されている。従って、矢印の向きはその位置のコンクリート移動方向を、長さは移動量を表す(描かれている長さは、試験体部大きさの相対比で実際の移動量の3倍の大きさ)。同図より次のようなことがいえる。(1) 柱中央寄りの

多量の補強を持たないTypeNとTypeBでは、柱中央上部より発生するひび割れにより、部材右側と左側がスプリットされている。詳述すると、TypeB試験体では、圧縮側となっている右側のブロックが大きく右側へ移動している。TypeNでは全体的に左側へ移動しているが、右側のブロックに比べ左側のブロックの移動量がおおきく、中央部に発生しているひび割れにより分断されている。両試験体とも、この現象により次の荷重段階において一気に軸方向への変形が増大し軸力保持限界となった。(2) 柱中央寄りの多量の横拘束補強をもつが、スタブ部には多量の横拘束補強を持たないTypeTでは、全ての測定ポイントの移動が左下方向へ行われており、柱中央寄りの部位が強拘束されているためTypeNやTypeBのように、柱がスプリットされることはないものの、部材全体が圧縮側へせん断ずれを起

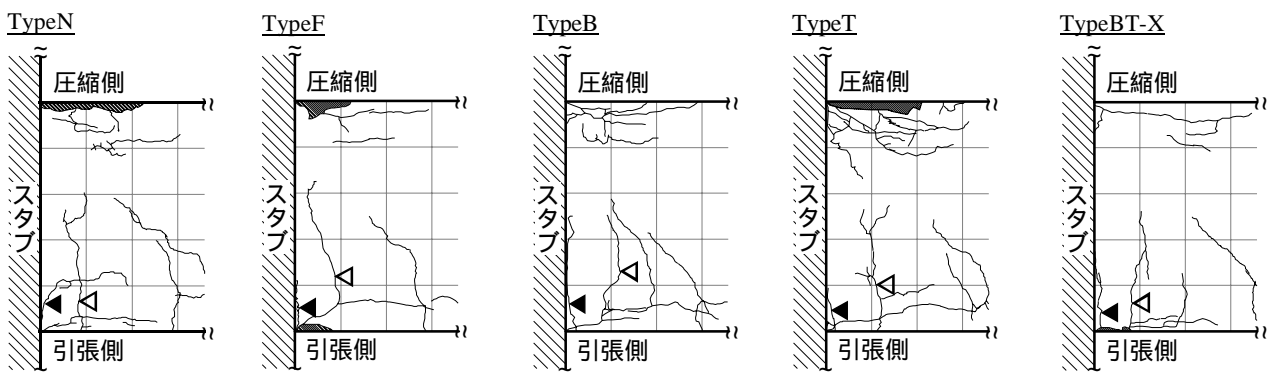


図-8 ひび割れ状況図(1/50正方向1回目) ◀: スタブから1本目のひび割れを示す ◁: スタブから2本目のひび割れを示す

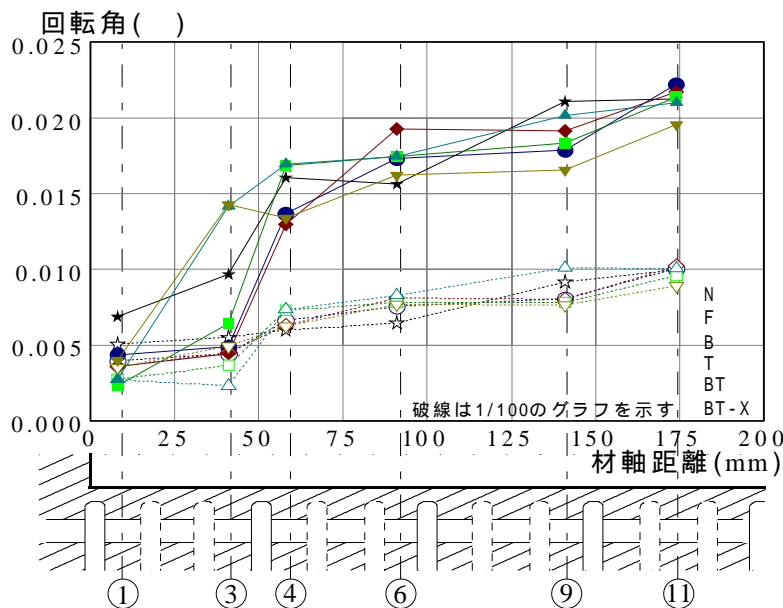
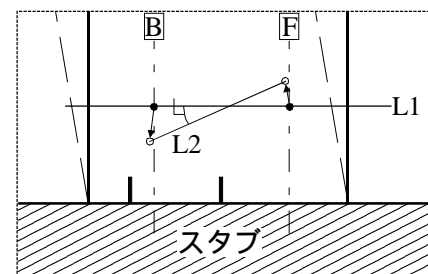


図-9 回転角-材軸距離関係



●印は変形前の測定ポイント位置を、○印は変形後の測定ポイント位置を示す。

図-10 断面の回転角の算出方法

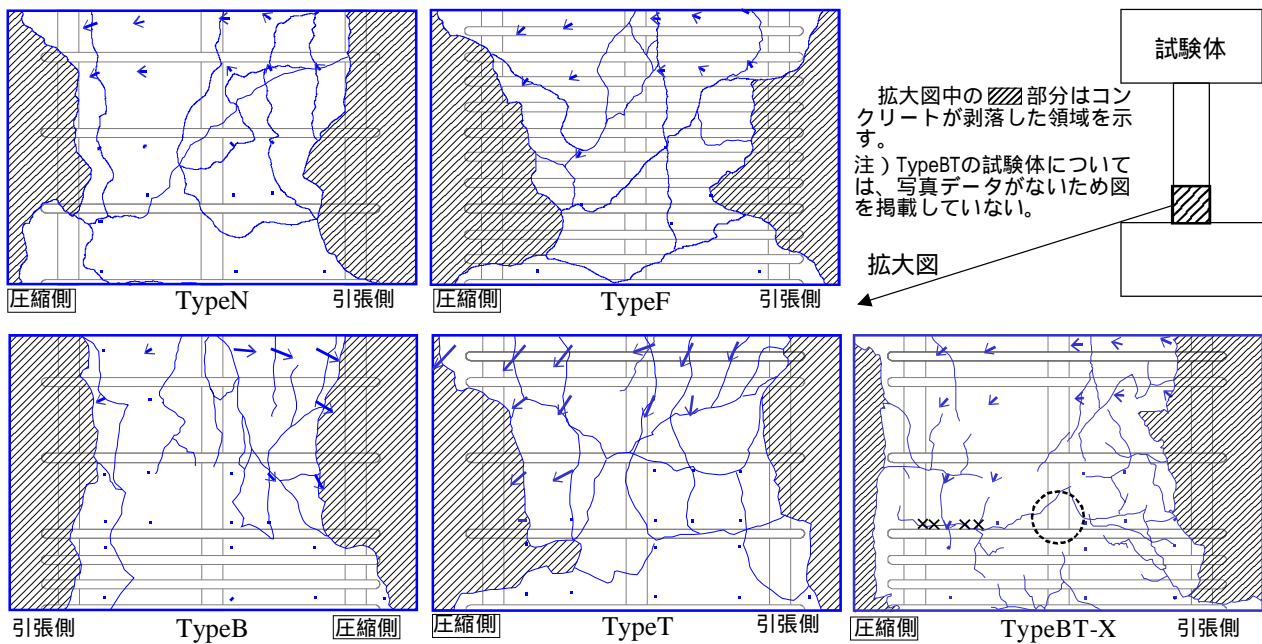


図 - 11 軸力保持限界におけるひび割れ状況及びポイント移動

こすことにより軸力保持限界に至っている。
 (3) 以上の3試験体に対し、柱中央寄りにも、スタブ側にも多量の補強筋を配した TypeBT-X では、各測定ポイントは部材中のある場所(図中○印辺り)を中心に回転している。即ち、前述の3試験体のように、せん断系のひび割れによって部材が分割されることなく、曲げ変形が進んでいることがわかる。また、スタブ側に配置した多量の補強筋の上部(図中×印辺り)では、その上下に位置する測定ポイントの移動量の違いから、相当大きな軸方向変形が発生しており、コンクリートの圧壊が発生していると予測される。この結果軸力保持限界に達したものと思われる。(4) ヒンジ領域全てに多量の横補強筋をもつ TypeF では、TypeBT-X と同様の傾向があることがわかる。ただし、本試験体は 3.1 節で述べたように軸力保持限界に達しておらず、各測定ポイントの移動量も小さく、多量の横拘束補強があるため TypeBT-X のように、局所的なコンクリート圧壊も発生していない。

以上より、柱中央寄り、およびスタブ側の多量の横拘束補強筋は、それぞれ、部材のスプリット、せん断ずれを防止するという点において有効であることが確認できた。ただし、図-10の

ひび割れ状態からも分かるように、損傷部位の限定という点について効果は認められなかった。

4. まとめ

多量の横拘束補強筋を配置した柱の曲げせん断実験を行い以下の知見を得た。

- (1) 多量の横拘束補強筋の配置は、配置位置によらず部材変形角 (R) = 1/50 以下での部材曲げ挙動に影響を与えない。一方、 $R=1/50$ を超える終局域では、柱中央部寄り、およびスタブ側位置の両方に配置する場合にのみ、部材のスプリット、およびせん断ずれを防止し、靱性を向上させる効果がある。
- (2) 部材変形は $R=1/100$ 時以下の変形領域では、スタブ極近傍の1本のひび割れにより、また、それ以上の変形領域では、スタブ極近傍およびその次に柱中央部寄りに発生するひび割れにより大部分が生じている。

謝辞

本研究に関し、大阪大学大野研究室助手の中川隆夫氏、同大学院生井口貴雄氏、山口雄二氏、李德基氏にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

また、日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B) 課題番号 14750478 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻 講師 岸本一蔵)の交付を受けて行った。

参考文献

- 1) 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(案)・同解説、1997.7
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 -、1999.