Japan Concrete Institute

[207] 水平力を受ける1層1スパン架構中のRC柱のせん断抵抗挙動に関する研究

正会員　　六車　熙（京都大学工学部）
正会員　○　渡辺史夫（京都大学工学部）
近藤　実（日建設計構造部）

1．序

地震時に於いて繰り返し水平力を受ける架構の柱材は、長期軸力に加えて水平力の変化に伴う変動軸力を受ける。特に中高層建物の最外柱に於いては転倒モーメントにより大きな変動軸力が生じ場合によっては引っ張り軸力の生じる場合すらある。このような変動軸力下でのＲＣ柱の力学挙動に関する研究としては、黒正ほか[1]、狩野ほか[2]、谷ほか[3]および鈴木・青山[4]による諸研究等があり、軸力変動が柱および架構の耐力及び復元力特性に及ぼす影響が明らかにされつつある。しかしこれらの研究では、主として曲げ機構が注目されており、せん断抵抗機構に関しての考察が不十分である。

ＲＣ柱が曲げモーメントとせん断力を同時に受けてせん断型の破壊に至る場合、その過程に於ける重要な限界点としてせん断ひび割れの発生がある。即ち、これを契機としてせん断補強筋が効果を発揮しはじめる訳で、曲げ破壊に於いて、曲げひび割れの発生後に主筋が効き始めるのと同様の意義を持つものである。柱軸力はこのせん断ひび割れ耐力に直接影響を及ぼす為、その変動がＲＣ柱のせん断抵抗挙動に大きく影響するであろうことは容易に想像出来る。著者等の既往の研究[5]により、せん断ひび割れ耐力、せん断補強筋の補強効果を評価する時軸力の変動を考慮すべきこと、高軸力時に付着割裂破壊が生じ易いことなどが判明している。本研究は1層1スパンの骨組模型を用いた水平力加力実験によりこれらの事実を確認しさらに変動軸力下でのＲＣ柱の履歴復元力特性およびせん断抵抗機構を明らかにすることを目的としており、6体の架構模型に対する単調(2体)及び繰り返し(4体)載荷実験が行われた。

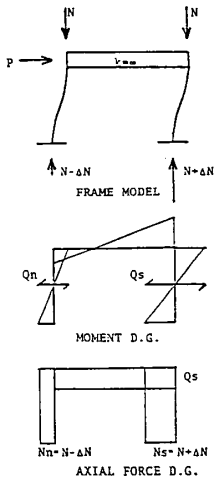

図1．架構の応力状態

2．曲げ解析による軸力ーせん断力経路の推定とせん断補強筋量の決定

1層1スパン架構の柱材が受ける軸力変動の概略を知る為に、図1に示す外力条件(初期軸力:25kgf/cm²)のもとで、実験フレーム(柱主筋が4-D16の場合)の曲げ解析を行った。計算に於いては断面に対し平面保持を仮定し、コンクリートの引っ張り応力負担は無視した。計算結果を水平力－柱軸力－柱せん断力図上で示したのが図2である。最終的には両側柱端部の曲げ破壊によって崩壊するように、この時の軸力増加側柱の負担する軸力およびせん断力に対して、下に示す耐力式[6]によりせん断補強筋量を決定した。

$$Qu=\gamma\cdot Qc+3.0\cdot(pw\cdot wfy)^{0.625}\cdot b\cdot jd \quad\cdots\cdots(1)$$

Ｑｃ：せん断ひび割れ荷重　　μ：たわみじん性率　　γ：コンクリート負担せん断力低減係数
Ｑｕ：柱のせん断耐力　　ｂ，ｊｄ：断面幅および応力中心距離　　$\gamma=1$ が$\mu=1$ に対応(16A,19A供試体)
ｐｗ,ｗｆｙ：せん断補強筋比および降伏強度　　$\gamma=0.7$が$\mu=4$ に対応(16B,19B供試体)

3．実験の概要

図3に示すように同一の柱単体2体をプレストレスで緊結し供試体を製作した。供試体数は6体でそれらの詳細を表1に示す。図4に載荷装置を図5に繰り返し載荷ルールを示す。ここで降伏変位δy は軸力増加側柱の端部が曲げ降伏した時とした。実験中に各柱に加わっている外力を計測する為に各柱脚部に4個のロードセルを配置し、供試体脚部と共に耐力床に圧着した。材料の力学的性質は、コンクリートはＦｃ＝260～300kgf/cm²、鉄筋は、ｆｙ＝3160kgf/cm²(ϕ6)、ｆｙ=3575kgf/cm²(D19)、ｆｙ=3720kgf/cm²(D16)であった。

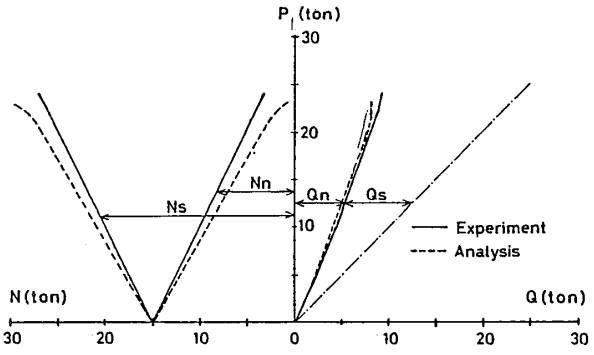

図2．各柱の水平力とせん断力、軸力関係

NII-Electronic Library Service

4．破壊様相と履歴復元力特性

図６に単調載荷供試体の実験終了後のひび割れ様相を示す(Ｐ－δ関係は図８中に破線で示した)。両供試体ともに軸力増加側の柱に顕著な付着割裂ひび割れが発生しているのに対し軸力減少側柱には斜めひび割れはあるものの損傷は極めて少ない。このような挙動の違いは図７のせん断補強筋ひずみ分布図と後で示す各柱に対するせん断力－たわみ関係にも表れている。図８に繰り返し供試体のＰ－δ関係とひび割れ状況をまとめて示す。FR16A-R 供試体は、付着割裂ひび割れが大きく進展し耐力を失っているのに対してFR16B-R 供試体では２次的斜めひび割れが耐力低下の原因となっており、せん断補強量の増大により付着割裂せん断破壊を防止し得ることが解る。FR19A-R供試体は＋２δyの一回目の載荷途中で突発的に破壊した。この原因は、軸力増加側柱のせん断補強筋ひずみが急増し降伏ひずみを越えた為と推察される 。FR19B-R供試体はかなりの付着割裂ひび割れと２次的斜めひび割れの発生が見られるが、その履歴復元力曲線の包絡線はFR19A-M 供試体の荷重－たわみ関係とほぼ一致しておりせん断補強筋が十分であればコアコンクリートが有効に拘束され、主筋の割り裂き作用によってかぶりコンクリートが剥離しても安定した履歴復元力特性が得られる。各柱の負担せん断力－たわみ関係の包絡線をまとめて図９に示す。同図に於いて上２図はFR16シリーズを下２図はFR19シリーズを表しており左２図が軸力減少時に右２図が軸力増加時に対応している。また、図中実線は単調載荷に対するせん断力－たわみ関係を表しているが、曲げ降伏後軸力減少側の柱がほぼ一定の耐力を保っているのに対して軸力増加側の柱のそれは耐力の減少が顕著に現れてり、先に述べた破壊様相と対応している。一方、繰り返し載荷の場合には、軸力減少時においても耐力の減少が見られる。 これは軸力増加時に受けた損傷、たとえばせん断ひび割れおよび付着割裂ひび割れの発生などの影響と考えられる。図１０に架構のたわみに対する

表１．供試体詳細一覧

SPECIMEN	LONGITUDINAL REINFOCEMENT		WEB REINFORCEMENT		
	steel	pt(%)	hoop	pw(%)	s(cm)
FR16A-M	2-D16 2-D16	0.64	φ6	0.15	15.0
FR16A-R		0.64		0.15	15.0
FR16B-R		0.64		0.45	5.0
FR19A-M	2-D19 2-D19	0.92	φ6	0.39	5.8
FR19A-R		0.92		0.39	5.8
FR19B-R		0.92		0.75	3.0

pt:tensile reinforcement ratio
pw:web reinforcement ratio
s:spacing of web reinforcement

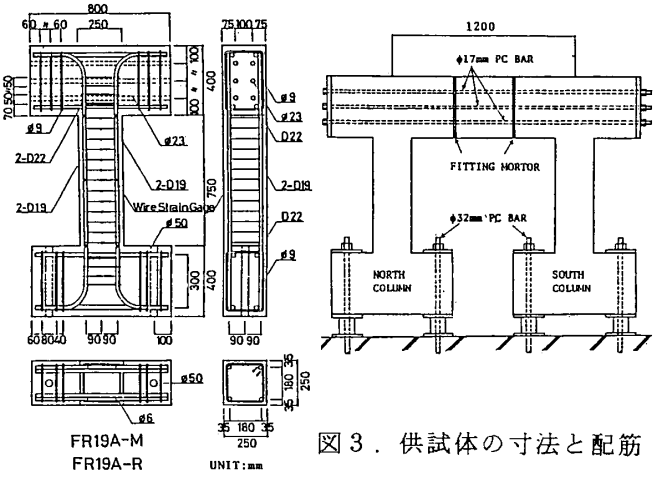

図３．供試体の寸法と配筋

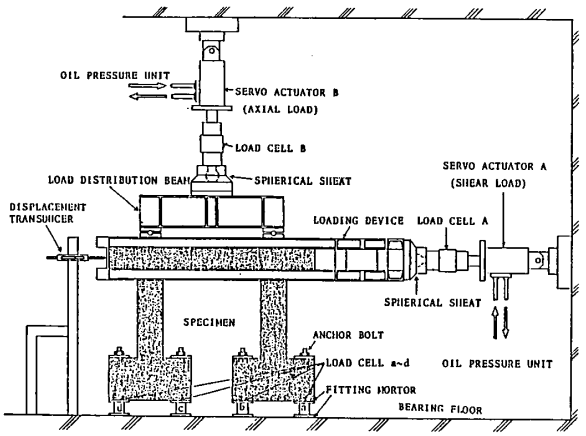

図４．載荷装置

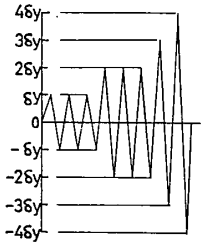

図５．載荷履歴

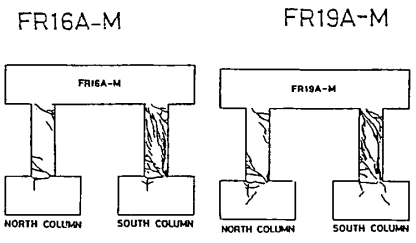

図６．ひび割れ状況

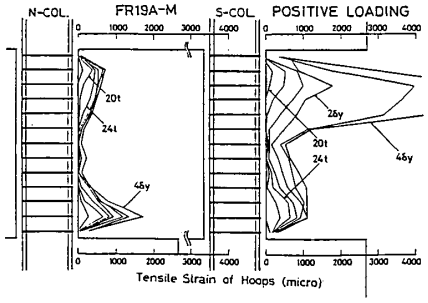

図７．せん断補強筋ひずみ分布

NII-Electronic Library Service

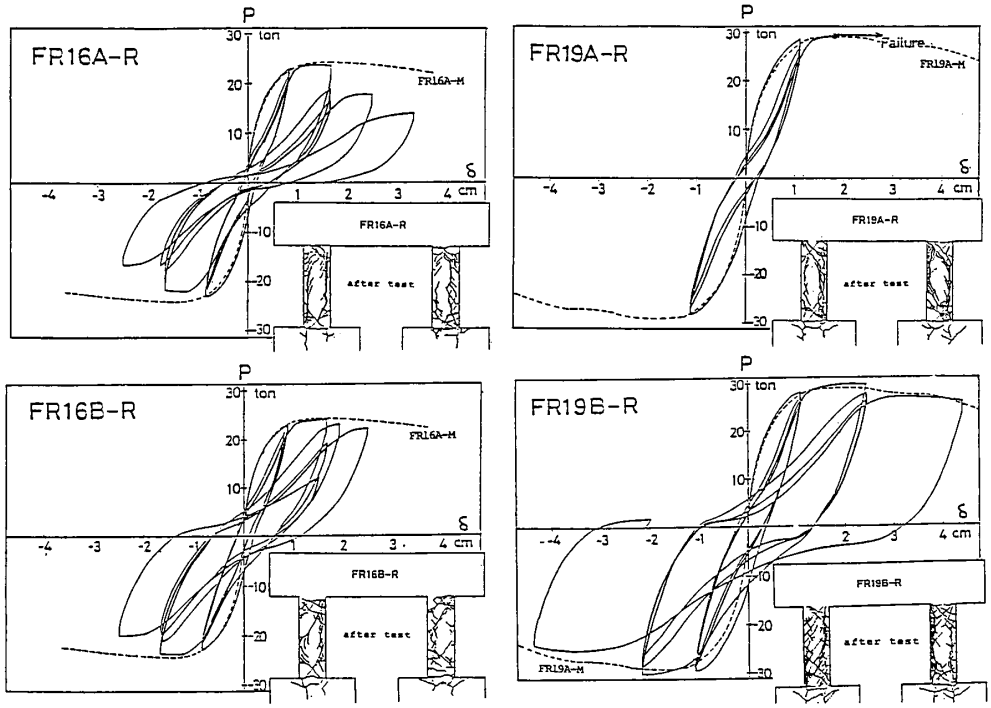

図８．荷重ーたわみ曲線（繰り返し載荷）

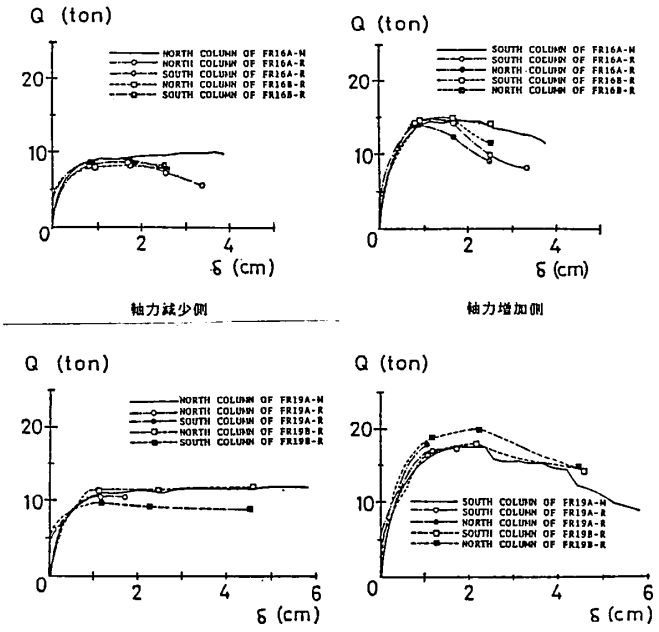

図９．柱せん断力ーたわみ関係包絡線

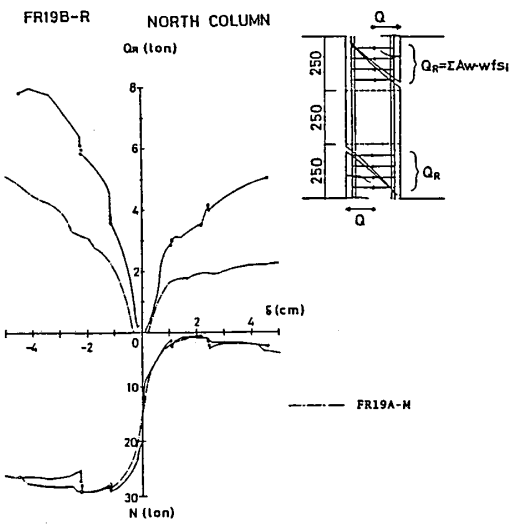

図１０．せん断補強筋負担張力

せん断ひび割れを横切るせん断補強筋の負担力Q_Rの変化の一例を表す。同図中には、軸力の変動も同時に示してある。図より明らかなように、柱端部断面が曲げ降伏してからもたわみの増大に伴ってQ_Rが増大しており、この程度は軸力増加側柱において極めて著しいことが解る。

5．せん断力伝達機構に関する考察

昨年度の年次講演会で著者らは、ＲＣ柱に於けるせん断抵抗機構に関する一つの考えを提案した[6]がそれに従って軸力変動を受ける柱の場合について実測データに基づいて考察する。図１１に提案モデルの概略を示す。せん断力Ｑと曲げ圧縮力Ｃの合力が傾斜した圧縮力として柱に伝達されるが、それは曲げ圧

NII-Electronic Library Service

縮域を直接流れるＣｃ とせん断補強筋などによって負担されるＣｗ に分けることが出来る。Ｃｗはせん断補強筋の張力和Ｑ$_R$、骨材のかみ合い力Ｇ、主筋のダウエル力Ｖｄ および主筋の付着力Ｔａ－Ｔｂによって負担される。せん断ひび割れの発生以後は、コンクリート負担せん断力一定の仮定よりせん断力の増加分はＣｗ のせん断力方向成分によって負担されることになる。実験より得られた柱せん断力Ｑ，同軸力Ｎおよび主筋、帯筋の実測応力に基づいて、FR19A-M供試体に於ける軸力増加側柱と軸力減少側柱の曲げ降伏に至るまでのＣｗ の変化と内分の推定結果を図１２に示す。軸力増加側の柱に於いては、Ｃｗ の増分に比べてＱ$_R$ の増分が小さくＧとＶｄが大きくなり、これが付着割裂を助長していると考えられる。図１３に曲げ降伏時のFR19A-MおよびFR19B-R供試体のＣｗの内分を示すが、図より明らかなようにせん断補強筋量の多い方がＧおよびＶｄ が小さいことがわかる。

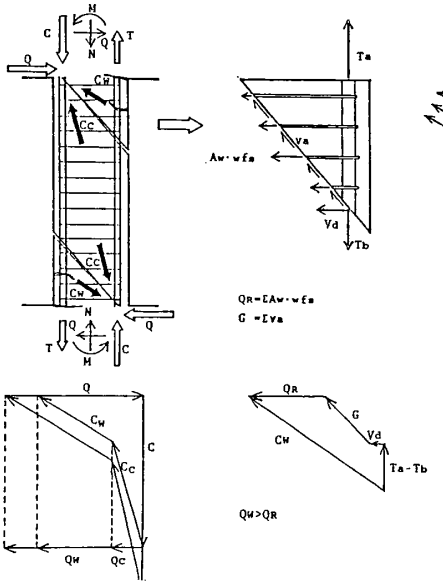

図１２．軸力増減の影響

図１１．せん断力伝達モデル

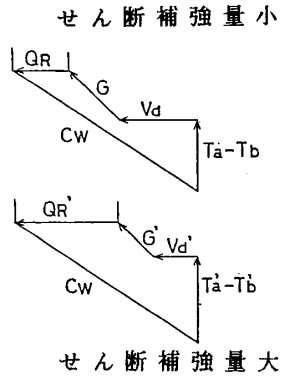

図１３．せん断補強筋量の影響

6．結論

本研究により得られた結果を以下に述べる。

せん断補強筋量が少ない場合及びせん断力と共に軸力が増大する場合には、骨材のかみ合い及び主筋のダウエル作用が大きくなり、ダウエル力の増大が付着割裂ひび割れの発生を助長しているものと考えられる。このような場合、せん断補強筋量の増大により、付着割裂せん断破壊を防止し安定した履歴復元力特性を得ることが出来る。さらに、最大軸力時に対応するせん断力に対して１式により、$\gamma = 1$ としてせん断補強しておけば少なくとも柱の曲げ降伏を保証出来ることが判明した。ただし、十分なじん性を確保する為に、γ を幾らにすべきかについては破壊モードとの絡みもあり今後の検討が必要である。

［参考文献］

［１］黒正ほか、変動軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に関する研究（その１およびその２）、建築学会大会梗概構造系、昭和５０年、pp.1091～1094

［２］狩野ほか、変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱に関する実験的研究、建築学会大会梗概構造系、昭和５４年（その１およびその２）pp.1289～1292、昭和５７年（その３）pp.1283～1284

［３］谷ほか、ＲＣフレームの復元力特性に及ぼす変動軸力の影響について（その１およびその２）、建築学会梗概構造系、昭和５５年、pp.１747～1750

［４］鈴木・青山、変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の復元力特性、建築学会梗概構造系、昭和５６年、pp1361～1362

［５］六車・渡辺、せん断力変化にともなう軸力変動を受けるＲＣ柱のせん断抵抗挙動に関する実験研究（その１およびその２）、建築学会大会梗概構造系、昭和５８年、pp.2139～2142

［６］六車・渡辺、鉄筋コンクリート柱のせん断耐力評価に関する研究、第７回コンクリート工学年次講演会論文集、昭和６０年、pp.541～544

NII-Electronic Library Service