論文 内部欠陥を有する RC 柱部材の耐荷性能に関する研究

小林孝一*1,伊藤睦*2,水野英二*3

要旨: RC構造物は経済的で力学的にも優れた構造であるが,近年,施工時に発生する初期欠 陥や予期せぬ劣化のために,耐荷力が損なわれる例が数多く報告されている。そこで,本研 究では,初期欠陥の例としてジャンカ,耐久性低下の例としてASRによる鉄筋破断を対象と し,これらを模擬するモデル欠陥を有する RC 柱部材に軸力作用下での曲げ載荷実験を行な い,その耐荷性能を調査,検討することとした。その結果,横拘束筋破断は柱部材の耐荷性 能を低下させるが,ジャンカは耐荷性能にほとんど影響を与えないことが明らかとなった。 キーワード: RC 柱,ジャンカ,アルカリ骨材反応,鉄筋破断,ポストピーク

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造(RC)構造は,耐荷性能, 耐久性能に優れており,我が国の社会資本整備に おいて重要な役割を果たして来た。しかしなが ら,その本来の性能は,入念な施工を経て達成さ れるものであり,不適切な施工により初期欠陥が 発生した場合には,期待した性能が発揮できな い。また近年,RC構造物の早期劣化が社会的な 問題となっており,早急な対策が望まれているに も拘わらず,劣化の程度と耐荷性能との定量的な 関係は明らかにされていない。特に,RC構造中 の鉄筋がアルカリ骨材反応によって破断している 事例が発見されたが¹⁾,このような劣化の形態は 従来想定されていなかったものであり,その評 価,対策方法の確立は急務である。

このような状況の下で,著者らは施工不良や劣 化がRC部材の耐荷性能に与える影響について実 験的ならびに解析的に検討を行ってきており²⁾⁻⁷, 鉄筋破断やジャンカの存在により断面内での横拘 束力が減少し,部材の耐荷性能,特にポストピー ク域における挙動が,内部欠陥がない健全供試体 のそれとは異なることを明らかにしている^{3),5),6)}。

これまでの検討においては主にRCはり部材を 対象としてきたが,ポストピーク域のような大変 形領域における耐荷性能が問題となるのは,地震時に大変形の生じる柱部材であると考えられる。 そこで,本研究では柱部材に軸力作用下で曲げ載荷実験を実施し,横拘束筋の間隔や施工不良によるジャンカの発生,およびアルカリ骨材反応による鉄筋の破断がRC柱部材の耐荷性能,特にポストピーク域における挙動に与える影響を,実験を通して明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体

本研究で供試体として用いたRC柱部材の例を 図-1に示す。供試体の引張側と圧縮側には主筋 としてD13 (SD295)をそれぞれ2本,いずれも かぶり18.5mmで配置した。また,横拘束筋とし てD6 (SD295)を,間隔60mm,80mm,100mm のいずれかで配置した。これらはそれぞれ横拘束 筋体積比1.55%,1.17%,0.93%に相当する。主 筋と横拘束筋の力学的性能を表-1に示す。柱部

表-1 鋼材の性質

	静弾性係数 (kN/mm²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm²)
D6	179	_	516
D13	196	365	549

*1 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 准教授 博士(工学)(正会員)
*2 中部大学 工学部都市建設工学科 准教授 博士(工学)(正会員)
*3 中部大学 工学部都市建設工学科 教授 Ph.D(正会員)



材は基礎の無い棒部材として作製

し,載荷時には十分に剛性の高い鋼製の治具で固 定することにより,柱部材としての載荷実験を実 施した(図-1参照)。以後,この載荷治具で固定 された部分の直上を,部材の基部と呼ぶ。

供試体は3つのシリーズからなり,sシリーズ の供試体は,内部欠陥すなわちジャンカや横拘束 筋の切断が無い供試体(以後,健全供試体と呼ぶ) で,横拘束筋間隔が柱部材の耐荷性能に与える影 響を検討するために作製した。

bシリーズの供試体は、アルカリ骨材反応によ る鉄筋の破断を模擬した供試体で、図-2に示す 部材基部において、1本もしくは2本の横拘束筋 を切断し, 横拘束筋の破断が部材の耐荷性能に与 える影響について検討を行なった。

rシリーズの供試体は、施工不良によるジャン カの発生を模擬した供試体で、30mm角の発泡ス チロール立方体を、図-3に示す位置、すなわち 部材基部における横拘束筋の中央で、部材断面の 圧縮縁から発泡スチロールの表面までの距離が 0mmまたは15mmとなるように埋設したモデル ジャンカを有し、ジャンカの発生が部材の耐荷性 能に与える影響について検討を行なった。なお、 このモデル空隙の寸法を30mm角としたのは、こ の値がジャンカの等級CとDとの境界値である⁸⁹

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
		W	С	S	G	減水剤	
60	48.4	173	288	844	907	0.720	

表-3 コンクリートの配合

ため,および既報⁵の検討において本研究の柱部 材と同寸法のはり部材の耐荷性状に,15mm角の モデル空隙は影響を与えず,30mm角のモデル空 隙は影響を与えたためである。

これら供試体の一覧を表-2に示す。これら7種 類の供試体を、それぞれ2体ずつ作製したが、供 試体 100s のみは4体作製した。

いずれの供試体に対しても早強ポルトランドセ メントと採石,川砂を用いた W/C=0.6 のコンク リートを用いた。コンクリートの配合を表-3 に 示す。また RC 柱供試体の曲げ載荷実験時のコン クリートの圧縮強度と静弾性係数は表-2に示す。

2.2 実験方法

供試体に対して、一定軸力を作用させた後、基部から一点集中載荷点までの距離を1000mmとして、一方向曲げ載荷実験を変位制御により行った(図-1参照)。

供試体と同時に作製した \$\phi 100 \times 200mmの円柱 コンクリート供試体の圧縮強度と表 -1 に示した 鉄筋の強度から求めた軸圧縮耐力の5% もしくは 10% を軸力として作用させた。ただし、供試体 100s については、軸力比0% および 20% の条件で も載荷実験を実施した。載荷は載荷点での変位が 150mm に達するまで続けた。

3. 結果および考察

RC 部材は、いずれも基部でコンクリートの圧 壊が生じ、曲げ破壊した。

3.1 軸力比の影響

図-4,5に,健全供試体における水平荷重-変 位関係の例を横拘束筋別に示す。なお,ここでの 変位とは,載荷点位置における変位を示す。また, 供試体100s-0%においては,載荷実験時に測定機 器に不具合が生じたため,変位50mmから90mm の間のデータを記録することができなかった。

軸力を作用させていない供試体100s-0%を除け ば、降伏直後から変位50mmの間で最大荷重に達 し、それ以降は減少する傾向が見られた。供試体 100s-0%に関しては、載荷装置の変位限界である 150mmまで荷重の低下は生じず、終局に達して いない。

同一要因の供試体においては,軸力が増加する につれ耐荷力が増加する傾向にあった。一方,最 大荷重に達した後のポストピーク領域における荷 重低下については,軸力が大きなものほど荷重低 下が急激になる傾向にあった。図-4を軸力およ び水平荷重の両者により生じる部材の基部モーメ ントと変位との関係に変換して図-6に示すが, 塑性ヒンジ形成後の部材基部の抵抗モーメントは ほぼ一定であることから,ポストピーク領域にお ける水平荷重-変位関係の勾配は,載荷軸力の大 きさにより一義的に決定されているといえる。



また,軸力比が20%の 100s-20% に関しては, 水平変位 100mm に達し て軸力の作用位置が部 材基部の断面外に出た 段階で,さらに耐力低 下が大きくなった。

軸力比が5%の供試体 と10%の供試体とを比 較すると上記のような 耐力低下が生じる変位 は,軸力比が5%と小さ



な場合の方が大きかった。

3.2 横拘束筋間隔の影響

図-7,8に,健全供試体における荷重-変位関係の例を軸力比別に示す。

軸力比が同一の場合,ポストピーク域における 荷重の低下の勾配は,横拘束筋間隔に拘らず,ほ



ぼ同一である。しかしながら、軸力比に拘らず 100sの曲げ耐力が80sおよび60sよりも若干小さ いという結果となった。その原因としてはコンク リート強度の差やそれに起因して載荷軸力に差が あることに加え、本研究では各要因一体ずつしか 載荷実験を実施していないため、供試体作製過程 や実験過程で実験誤差が生じた可能性もあるが、 詳細については今後の検討課題としたい。

一方,図-9に軸力比5%の場合の荷重低下開始 時の変位を示すが,横拘束筋間隔が60mmの場合 には,80mmおよび100mmの場合と比較して,ポ ストピークに移行する変位が若干大きくなった。 既報^{3),5),6)}によれば,RCはり部材の場合にも,ポ ストピークに移行する変位は横拘束筋間隔が小さ くなるのにともない増加しており,FEAPを用い た二次元FEM 解析においては,横拘束量の増加 をコンクリート要素の応力-ひずみ関係の軟化勾

> 配の変化として表現可 能であることが明らか にされている³⁾。

> したがって,本研究で 検討対象とした RC 柱部 材についても,横拘束筋 による拘束効果がポス トピークへの移行変位 に影響を与えたものと 考えられる。

> 3.3 横拘束筋切断の影響

図-10には,軸力比が 5%の場合に横拘束筋切 断が荷重-変位関係に与 える影響について示す。 横拘束筋の切断本数が1 本の場合には,切断の無 いものよりも耐荷力が若 干低下するが,両者の荷 重-変位関係に大きな相 違は無い。これは横拘束 筋の切断箇所が,供試体 を拘束する載荷治具の直



写真-2

載荷実験終了後の供試

体(80b-2-5%)

度の位置,および15程 度の位置において,抵 抗モーメントの低下が 生じている。このよう な結果は,横拘束筋の 切断により,横拘束力 効果が失われたためで あると考えられる。

写真-1および写真-2に,80s-5%と80b-2-5%の載荷実験終了後 の基部の様子を示す。

横拘束筋を切断した 80b-2-5%は、部材基部の圧壊領域 が広く、この領域において コンクリートが横拘束筋に よって拘束されなかったた め、大変位域において急激 な耐力の低下が生じたもの と考えられる。

図-12には、軸力比が10%

近であったために, 横拘束筋の切断が横拘束効果 の低下に与える影響が小さかったためであると考 えられる。これら2種類の供試体のポストピーク 域における荷重変位関係がほぼ線形であるのに対 して, 横拘束筋を2本切断した場合には, 変位が 130mm 程度に達して以降, 荷重の低下が急激に なっている。ただし, 前項で横拘束筋間隔につい て検討した場合のような, 横拘束筋切断がポスト ピーク移行変位に与える影響については観察され なかった。

載荷実験終了後の供試

体 (80s-5%)

写真-1

図-10に示した結果を基に、外力によって基部 に作用するモーメントMを降伏モーメントM_yで 除した無次元化モーメント(M/M_y)と、変位δを 降伏変位δ_yで除した無次元化変位(δ/δ_y)との関 係に変換した結果を図-11に示す。この結果によ れば、横拘束筋切断が無い場合、切断が1本の場 合には、部材降伏以降は部材基部における曲げ モーメントはほぼ一定であるのに対し、横拘束筋 が2本切断された場合には、無次元化変位が5程 の場合に横拘束筋切断が無次元化変位と無次元化 基部モーメントとの関係に与える影響について示 す。この場合にも、横拘束筋が2本切断された場 合のみに、ポストピーク域での抵抗モーメントの 低下が生じている。また無次元化した場合に、そ の低下の程度は軸力比が5%の場合よりも10%の 場合の方が大きい。これは大きな軸力が作用した 場合には断面の圧縮縁により大きな圧縮ひずみが 生じるため、横拘束筋が切断された場合の横拘束 効果の減少によるものと考えられる。

3.4 内部空隙の存在の影響

図-13および図-14に,内部空隙の存在が部材 の荷重-変位関係に与える影響について示す。

RCはり部材に対して検討を行った既報⁴では, 内部空隙の存在により横拘束筋による横拘束効果 が減少し,ポストピークへの以降が早くなる傾向 が見られた。しかしながら,RC柱部材において は図-13および図-14から明らかなように,内部 空隙の存在は部材の耐荷性状やポストピーク移行



部大学総合工学研究所 からの研究助成金の援 助を得た。実験の遂行 には,中部大学都市建 設工学科水野・伊藤研 究室および小林研究室 の学生の助力を得た。 ここに記して謝意を表 す。

変位にほとんど影響を与えない。

RC はり部材と RC 柱部材で異なった傾向が見 られた原因については明らかではないが、今後、 数値解析を併用した検討を行ない、内部コンク リートの応力-ひずみ関係に内部空隙の存在が与 える影響について考察を行なう必要がある。

4. 結論

本研究では、ASR による横拘束筋の破断,およ び施工不良による内部空隙の発生を模擬した RC 柱部材に対して,軸力下での曲げ載荷実験を実施 した。部材の耐荷特性を検討することによって, 本研究の範囲からは,以下のような結論が得られ た。

- 軸力が大きい場合の方が曲げ耐荷力は大きいが、ポストピークへの移行およびポストピーク域での曲げ耐力の低下が早くなる。
- 2)軸力比が5%の場合には、横拘束筋間隔が小さいとポストピークへの移行が遅くなる。ただし軸力比が10%の場合にはそのような傾向は見られなかった。
- 3) 横拘束筋を2本切断した場合には,軸力比に拘 わらずRC柱部材に耐荷性能の低下が生じた。
- 4) 内部空隙が存在しても,部材の耐荷性能はほ とんど低下しなかった。

謝辞

本研究の実施にあたり,科学研究費補助金(基 盤研究(B)17360218,代表:水野英二)および中

- 参考文献
- 1) 土木学会コンクリート委員会:アルカリ骨材 反応対策小委員会報告書,2005.
- 吉田崇,吉田幸夫,水野英二,畑中重光:内 部欠陥を有する角柱コンクリートの三次元 FEM 解析,DIANA ユーザー会議,2003.
- 水野英二、小林孝一、藤村敏之:内部欠陥を 有する鉄筋コンクリート部材のポストピーク 挙動に関する実験的ならびに解析的研究、コ ンクリート工学年次論文報告集, Vol. 26, No.
 2, pp. 49-54, 2004.
- 小林孝一:塩害により劣化したRC部材の耐震 性に関する研究,コンクリート工学論文集, Vol. 16, No. 2, pp.49-59, 2005 年 5 月
- 小林孝一,伊藤睦,水野英二:内部欠陥を有 するRCはり部材の耐荷性能に関する実験的研 究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol. 27, No.2, pp.331-336, 2005.
- 6)小林孝一,伊藤睦,水野英二:ASR による劣 化を模擬したRCはり部材の耐荷性能に関する 実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 2, pp. 241-246, 2006.
- 7)小林孝一:塩害劣化したRCはり部材の曲げ耐 荷性能に関する実験的研究、コンクリート構 造物の補修・補強・アップグレード論文報告 集,第6巻, pp.231-236, 2006.
- 8) 日本コンクリート工学協会:コンクリート診断 技術'07 [基礎編], p. 8, 2007.