

論文

[2062] RC柱のせん断終局強度に及ぼす軸力の影響に関する解析

正会員 ○野口 博 (千葉大学建築学科)

同 張 愛暉 (鹿島建設技術研究所)

1 はじめに

柱の軸力がせん断終局強度に与える影響については、実験的研究でもまだ不明確な点が多く、また、解析的研究例も数少ないため、耐震設計指針(案) [1] (以下指針案と呼ぶ) のマクロモデルでも検討する余地が残されている。前報告[2]では、軸力比をパラメーターとして、有限要素解析により、せん断補強筋量が少ない場合の柱のせん断終局強度に及ぼす軸力の影響について検討した。本報告では、軸力比に加え、せん断補強筋量もパラメーターに加え、柱のせん断終局強度に及ぼす影響について解析的に検討した。

2 解析対象とした試験体

解析対象は、黒正、林らによるRC柱の曲げせん断実験[3]の中から、C0432N (C**は軸力比、32Nは3.2φの普通鉄筋を表す) を基準試験体と選び、せん断補強筋量の三つのレベルにおいて軸力をパラメーターとした試験体計30体である。基準試験体の形状と配筋状況を図-1に示し、その他の設計条件を表-1に示す。実験試験体のコンクリートと鉄筋の材料定数を表-2と表-3に示す。

表-1 解析試験体の概要

	C0432N
B×D (cm×cm)	15×27
軸方向力 N (tf)	58.3
N/B D (kgf/cm ²)	144.0
η (N/BDF _c)	0.4
主筋 A _s (cm ²)	5-D13 (2段配筋)
せん断補強筋 a _w (cm ₂)	2-3.2φ
せん断補強筋間隔 S (cm)	7.36
主筋比 P _r (%)	3.14
せん断補強筋比 P _w	0.146
せん断スパン比	1.5

3 解析方法及び試験体のモデル化

本解析では、従来のRC部材のFEM平面応力解析プログラム[4]に、ひび割れたコンクリートの圧縮強度低下モデル[5]とせん断補強筋のtri-linearモデル[6]を導入した。また、ひび割れコンクリート要素の任意の方向のせん断剛性を一定とするDarwinモデルから、ひび割れ面間のかみ合

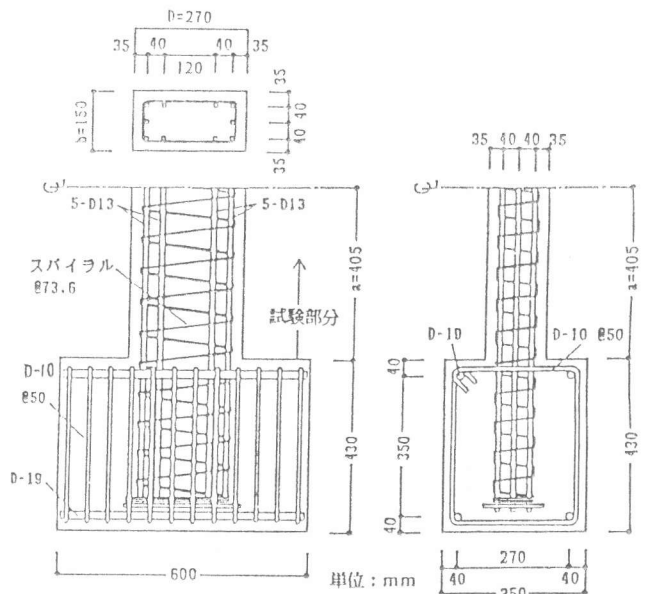


図-1 解析試験体の形状と配筋状況

表-2 コンクリートの材料定数

E _c (tf/cm ²)	σ _n (kgf/cm ²)	σ _t (kgf/cm ²)	ε _{c,u} (%)
220	366	28.3	0.28

表-3 鉄筋の材料定数

	D13	3.2φ
E _s (tf/cm ²)	1940	2000
σ _s (kgf/cm ²)	8790	6370
ε _y (μ)	4500	3200

い効果と鉄筋のダボ作用を、実験結果に基づいてモデル化したAl-Mahaidiのせん断伝達モデル[7]に変更した。

図-2にFEM解析における試験体の要素分割図を示す。解析で実験と同様に加力梁を平行に保持するため、平行クランク機構に相当する5つのフープ要素を設けた。本試験体の付着割裂強度について指針案により計算すると、付着応力度 τ_t は 6.83kgf/cm^2 (軸力 $\sigma_o=0$ のとき)であるのに対し、付着割裂強度は 23.4kgf/cm^2 であるので、付着割裂破壊は生じないと考えられる。基準試験体としてC0432N試験体を選び、せん断補強筋量と軸力をパラメータとした。せん断補強筋量は指針案を参考にし、低($p_w\sigma_{wy}/\nu_o\sigma_B=0.035$)、中($p_w\sigma_{wy}/\nu_o\sigma_B=0.1$)、高($p_w\sigma_{wy}/\nu_o\sigma_B=0.25$)の三つのレベルをパラメータとした。また、各せん断補強筋量レベルで、軸力比 η ($\sigma_o/\sigma_B=0.0\sim 0.9$)をパラメータとした。(ここでは、 p_w :柱のせん断補強筋比、 σ_{wy} :せん断補強筋の降伏応力度、 ν_o :非ヒンジ部材のコンクリート圧縮強度の有効係数、 σ_B :コンクリートの圧縮強度)

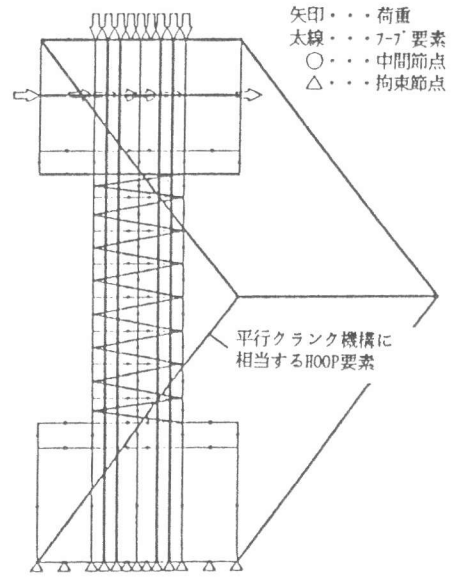


図-2 試験体の要素分割図

なお、前報告[2]でのC0432Nを含む黒生・林らの軸力比を $\sigma_o/\sigma_B=0.0, 0.2, 0.4, 0.73$ と変えた実験試験体の解析結果を図-3に荷重-変形曲線として示す。これは、せん断補強筋量レベルが $p_w\sigma_{wy}/\nu_o\sigma_B=0.035$ と小さい場合であり、解析結果は実験結果とほぼ対応し、軸力の増加に伴い、柱のせん断終局強度は上昇し、破壊モードはせん断引張型からせん断圧縮破壊型に変わること、また、軸力比についてのパラメータ解析で軸力比が0.6付近で頭打ち現象を示すことが認められた。

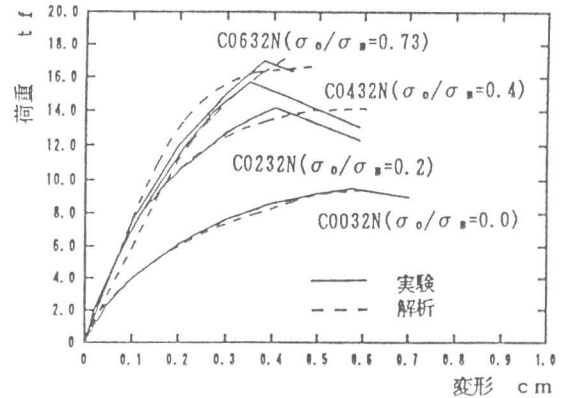


図-3 荷重-変形曲線

4 補強筋量パラメータ解析結果

図-4にせん断補強筋をパラメータとした解析の荷重-変形曲線を示す。せん断補強筋量の増大に伴い、柱の破壊モードがせん断引張破壊から、せん断圧縮破壊に変わり、柱のせん断耐力および最大耐力時の変形が増大している。図-5に各試験体の解析における最大耐力時の変形、ひび割れ状況、主応力分布を示す。せん断補強筋量の低いレベルの試験体では、水平方向より

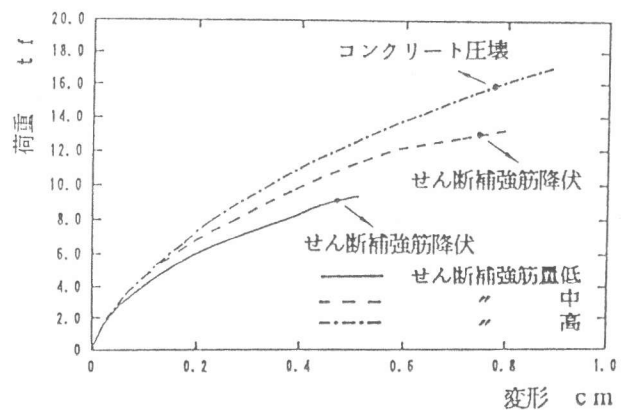


図-4 せん断補強筋量パラメータ解析の荷重-変形曲線

45° の 2 本のせん断ひび割れにひび割れの開口が集中している。このことから、せん断補強筋によるせん断力の負担が大きいことがわかる。せん断補強筋量の高いレベルの試験体では、ひび割れ幅の卓越したせん断ひび割れがほとんど見られなく、柱脚部の曲げ引張領域に曲げひび割れが卓越している。これはせん断補強筋によるせん断ひび割れ開口の抑制と考えられる。

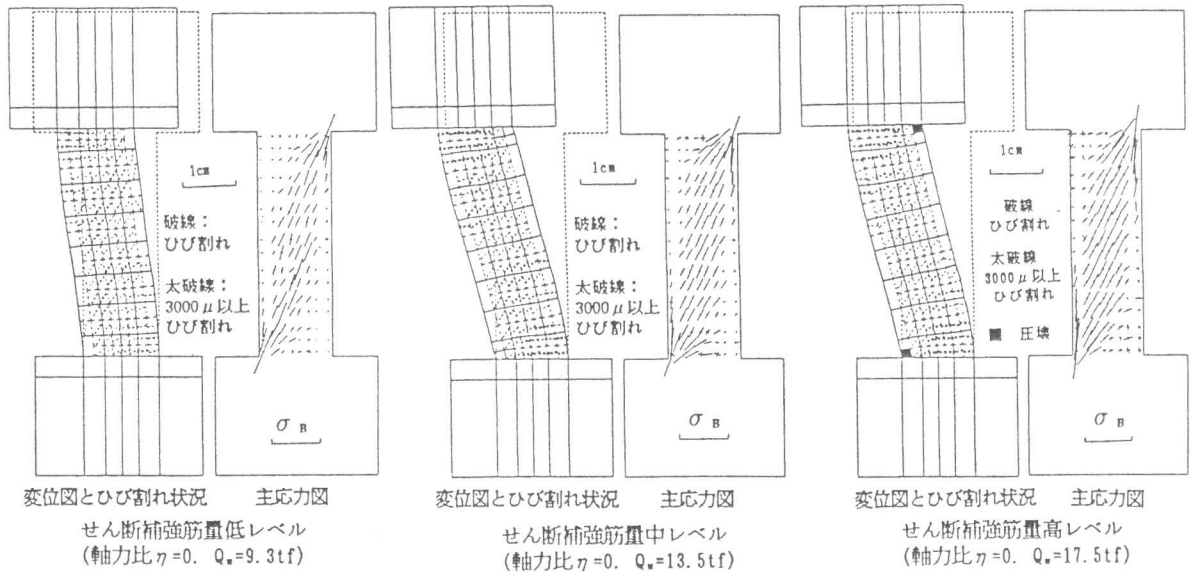


図-5 せん断補強筋量パラメーター解析の終局状況の比較

5 軸力パラメーター解析結果

図-6 に、せん断補強筋量が中レベルで、軸力比をパラメーター解析の各試験体の最大耐力時のひび割れ状況を比較して示す。この図から軸力の増加に伴い、ひび割れの発生状況が曲げせん断ひび割れ型から対角線よりやや鉛直に近いせん断ひび割れ型に変わっていくことから、曲げせん断型からせん断型にかわりつつあることがわかる。せん断補強筋量の低、中、高三つのレベルでの解析できた軸力比とせん断終局応力度関係が修正荒川式の計算値と比較して図-7 に示す。せん断補強筋量の増加に伴い、軸力比0.5以下では、軸力による柱のせん断強度の増加分は少なく

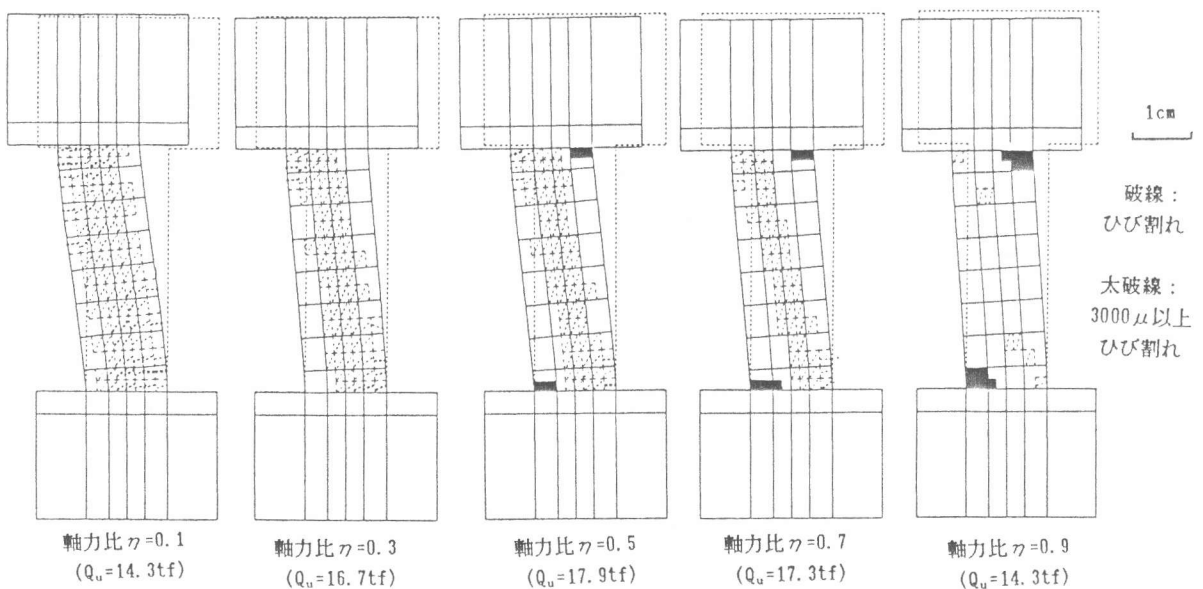


図-6 軸力比パラメーター解析の終局状況の比較

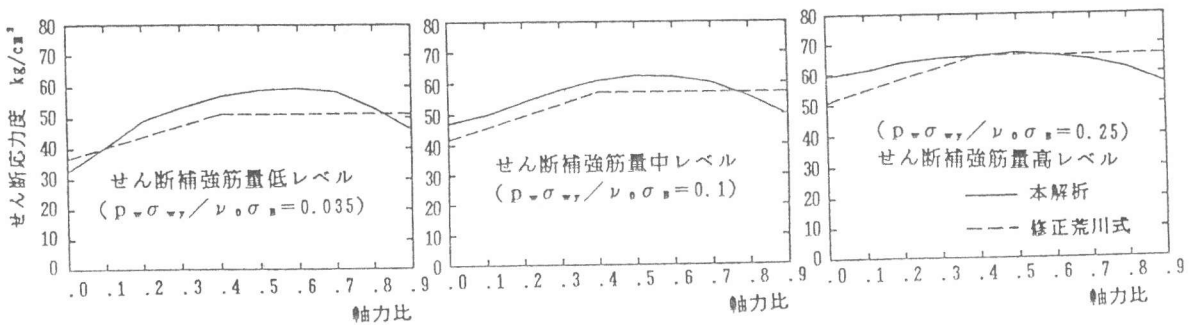


図-7 各せん断補強筋レベルの軸力比-せん断応力度関係

なる。せん断補強筋量が低いレベルでは、軸力比が 0.6前後でせん断引張破壊からせん断圧縮破壊に変わっていくのに対し、せん断補強筋量の中、高レベルでは、軸力比が0.5前後で、せん断引張破壊からせん断圧縮破壊に変わり、せん断補強筋量の増大に伴い、柱の引張破壊領域が少なくなり、圧縮破壊の領域が広がる。高軸力の場合では、せん断補強筋量に関わらず軸力の増加に伴い、柱のせん断終局強度が低下する。修正荒川式は、設計範囲($p_w \sigma_{wy} / \nu_o \sigma_b = 0.1$ 前後)のせん断補強筋量レベルでは、軸力による強度上昇を控えるために評価しているが、軸力比 0.5以上では、軸力による耐力の低下が考慮されていない。図-8 に解析結果を黒正らの実験結果[9]と耐震設計指針案[1]のせん断耐力設計式の計算値と比較して示す。解析結果は軸力の有無に関わらず既往の実験結果とほぼ対応している。耐震設計指針案の設計式は軸力による影響が考慮されていない。

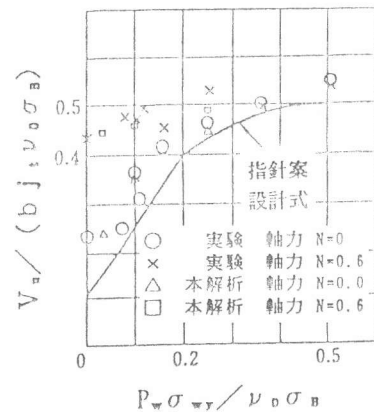


図-8 解析結果と既往の実験結果の比較

6 まとめ

せん断補強筋量をパラメータとして解析を行った結果、せん断補強筋量の増大に伴い、柱のせん断耐力および最大耐力時変形が大きくなり、柱の破壊モードがせん断引張破壊からせん断圧縮破壊にかわる。せん断補強筋量が低、中、高三つのレベルで、軸力をパラメータとして解析を行った結果は既往の実験結果とほぼ一致している。修正荒川式は、設計範囲のせん断補強筋量レベルでは、軸力による強度上昇は安全側にあるが、軸力比 0.5以上では、軸力によるせん断耐力の低下を考慮していない。今後、このようなパラメータ解析により、抵抗機構を再検討し、より合理的なマクロモデルの構築を行うことが必要である。

謝辞 本解析を行うに当たり、実験データを使用させて頂いた東京工業大学・林 静雄助教授に感謝致します。

□参考文献 □

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針(案)・同解説 1988
- 2) 張 愛暉、野口 博：RC造柱のせん断終局強度に及ぼす軸力の影響に関する解析的研究、第12回コンクリート工学年次論文報告集 12-2 pp. 329-332 1990.10
- 3) Seiji KOKUSHIO, Yasuhiro MATSUZAKI, Shisuo HAYASHI: Experimental Study of RC Columns with High Tension Shear Reinforcement, Report of the Research Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, Number 13, 1988
- 4) 野口 博、長沼一洋：繰り返し荷重を受けるRC部材のせん断解析モデル、第2回 RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集 JCI-C5、日本コンクリート工学協会、pp. 97-104. 1983.10
- 5) 大久保 雅章、濱田 聡、野口 博：地震時のひび割れコンクリートの圧縮特性の劣化に関する基礎実験、第11回コンクリート工学年次論文報告集 11-1 pp. 323-326 1989.10
- 6) 島 弘、周 礼良、岡村 甫：一軸引張部材における鉄筋の降伏以後の平均応力-平均ひずみ関係、土木学会論文集、No. 378/V-6、pp. 239-247、1987.2
- 7) Al-Mahaidi, R. S. H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Report No. 79-1, Department of Structural Engineering, Cornell University January, 1979
- 8) 広沢 雅也：既往の鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験資料とその解析、建築研究資料 No. 6、pp42、1975.3
- 9) 黒正清治ほか：高強度せん断補強筋量を用いたRC柱に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集C、pp. 483-486、1987.