

(23) 芯コンクリートを有する鉄筋コンクリート柱の力学的特性と設計法

Mechanical Characteristics and Design criteria of RC Column with Core Concrete

渚 豊一*, 和田 勉*, 土居健二**, 佐藤立美***, 南 宏一****

Toyokazu Nagisa, Ben Wada, Kenji Doi, Tatsumi Sato, Koichi Minami

*株式会社和田建築技術研究所(〒530-0046 大阪市北区菅原町 9-16)

**フドウ建研株式会社(〒541-0048 大阪市中央区瓦町 3-3-7)

***工博, 広島工業大学教授, 工学部建設工学科(〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1)

****工博, 福山大学教授, 工学部建築学科(〒729-0292 福山市学園町 1 番地三蔵)

This paper describes a mechanical behavior of a proposed new system reinforced concrete column which has core concrete strengthened by a thin steel spiral tube. From experimental results of both an uniaxial compressive test of the core concrete and a biaxial loading test of lateral and axial load to specimens of the new system RC column, we obtained the following characteristics: Strength of the core concrete increases by confining effect of the steel tube, and accurately corresponds with Richart's equation. As for the proposed RC column, when the encased concrete collapsed, the core concrete does not decrease in strength, and has enough supporting ability to prevent the column from axial crushing under earthquake load.

keywords: Reinforced concrete column, Hybrid system, Core concrete, Residual axial strength, Design criteria

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震による RC 建物の特徴的な被害の一つに、中低層 RC 建物の 1 階ピロティ柱の崩壊があげられる。これら 1 階柱の崩壊は、地震時せん断力により柱の破壊が進行し、有効断面積が小さくなることで鉛直支持能力が低下したためと考えられる。特に、せん断破壊ひび割れは RC 柱の断面を斜めに貫通するため、鉛直支持能力が急速に低下し、脆性的な圧壊が生じる。そこで、1983 年より高せん断力と高軸力を受ける柱の靱性を高める方法として、柱断面の中央部に芯コンクリート(厚さ 1.0mm 程度の薄肉スパイラル鋼管の中にコンクリートを充填したもの)を挿入することにより、せん断破壊に伴う鉛直支持能力の低下を防止することができるという考えのもと研究を重ね、その成果も報告してきた。それらの研究成果に基づき、1994 年、兵庫県芦屋市に計画された 5 階建て RC 集合住宅の 1 階ピロティ柱に芯コンクリート RC 柱を採用した。(写真-1.1) 建設地は、1995 年兵庫県南部地震

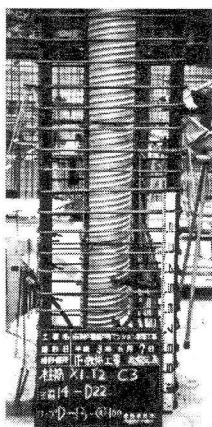


写真-1.1
芯コンクリート RC 柱

で近隣の RC 建物が大きな被害を受けた激震地区(建物倒壊率 25%以上)であったにも関わらず、この建物は無被害であった。このことは、芯コンクリートを挿入することの妥当性が実証されたと考える。本報告は、芯コンクリート RC 柱の圧縮特性および芯コンクリート RC 柱の最大の特徴ともいえる一定軸力下での繰返し水平載荷後の残存鉛直支持能力の高さに関する実験結果の報告をし、これらの研究成果から提案した芯コンクリート RC 柱の設計法の概要を紹介する。さらに、兵庫県南部地震の教訓から、現行 RC 構造の耐震設計法に対するひとつの問題提起を行う。

2. 芯コンクリート RC 柱の概要

RC 柱のコンクリート断面の中央部を薄肉スパイラル鋼管(以下、T.S.S.という)で拘束補強した部分を芯コンクリートと称している。芯コンクリートとは、厚さ $t=0.4\sim 1.2\text{mm}$ 、幅 150mm の亜鉛メッキした薄肉鋼板をスパイラル状に巻き上げ加工した鋼管内にコンクリートを充填したものである。T.S.S.は、鋼板端部を折り曲げてハゼを作り、巻き上げ加工時にハゼ部を機械的に押しつぶして成形しており、鋼板端部の接合部分はある程度伸縮可能であるため、T.S.S. 自体の圧縮・曲げ剛性は期待できない。しかし、鋼板の厚さは非常に薄いにも関

わらず、内部に充填されたコンクリートに対する拘束効果による耐力の上昇と変形能力の拡大は期待できることを確認している。[1]また、芯コンクリート RC 柱は、T.S.S. 自体の曲げおよび圧縮剛性と強度を考慮しないことで、SRC 鋼管構造と異なるものであるが、構造的には、曲げ・せん断及び軸力の一部を負担する中空 RC 柱部と、主として軸力にのみ抵抗する芯コンクリートの合成構造であり、耐力評価に累加強度式が適用できることも確認している [1]。

3. 芯コンクリート RC 柱の中心圧縮耐力と軸方向変形能力

3. 1 芯コンクリート RC 柱の中心圧縮実験概要

表-3.1.1 に実験計画を示す。中心圧縮の試験体形状は4種類とし、それぞれ、芯コンクリート RC 柱(C_{EF}シリーズ)、通常の RC 柱(RC シリーズ)、芯コンクリートのみ(C_Fシリーズ)、中空被覆 RC 柱(C_Eシリーズ)として、計13体作製した。図-3.1.1 にこれら試験体の断面と配筋計画を示す。また、RC シリーズ以外の試験体での T.S.S. は試験体全長にわたって通っているが、圧縮試験時の試験体端部の局部破壊を防止するため、図-3.1.2 に示すような端部補強を行っている。したがって、軸方向変位は、試験体上下端に埋設した測定用ボルト間距離(計測間距離900mm)を変位計で計測している。表-3.1.2 に、コンクリート圧縮強度試験結果の平均値(以下シリンダ強度と言う)を示す。表-3.1.3 に、全試験体に使用した鋼材の機械的性質を示す。実験は、500 t 万能試験機を使用して、中心圧縮試験を行った。載荷履歴は、地震時繰り返し荷重に対する芯コンクリート RC 柱の履歴性状を把握するため、ひずみ度制御での正側繰り返し載荷とし、柱のひずみ度($\varepsilon=0.25\%$)で2回の正側繰り返し載荷した後、以後ひずみ度が0.25%増加する毎に2回ずつの正側繰り返し載荷を行い、最大耐力の60%まで耐力が低下するまで載荷を行った。

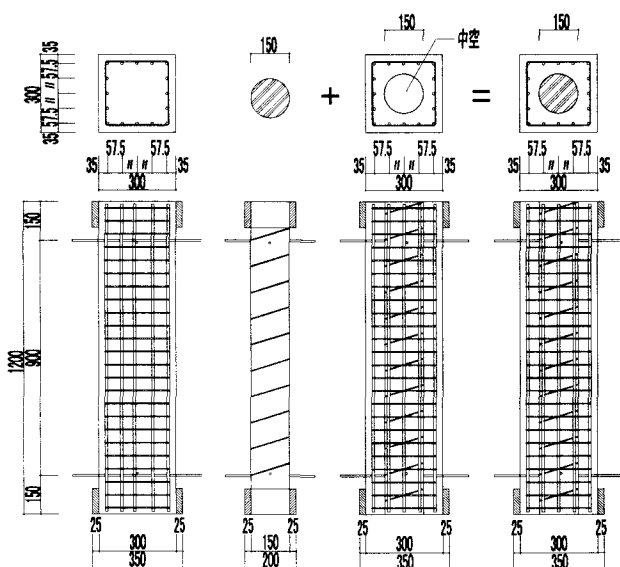


図-3.1.1 試験体の形状および断面形状(mm)

表-3.1.1 実験計画

試験体名	コンクリート強度		T. S. S. 寸法	横補強筋	
	芯コンクリート (N/mm ²)	被覆部 (N/mm ²)		配筋	材質
RC1	—	30	—	D6-@50	SD295
RC2	—	30	—	S6-@50	KSS785
C _E 1	—	30	—	D6-@50	SD295
C _E 2	—	30	—	S6-@50	KSS785
C _F 1	30.0	—	150φ×0.6	—	—
C _{EF} 1	30.0	30	150φ×0.6	D6-@50	SD295
C _{EF} 2	30.0	30	150φ×0.6	S6-@50	KSS785
C _F 2	60.0	—	150φ×0.6	—	—
C _{EF} 3	60.0	30	150φ×0.6	D6-@50	SD295
C _{EF} 4	60.0	30	150φ×0.6	S6-@50	KSS785
C _F 3	60.0	—	150φ×1.2	—	—
C _{EF} 5	60.0	30	150φ×1.2	D6-@50	SD295
C _{EF} 6	60.0	30	150φ×1.2	S6-@50	KSS785

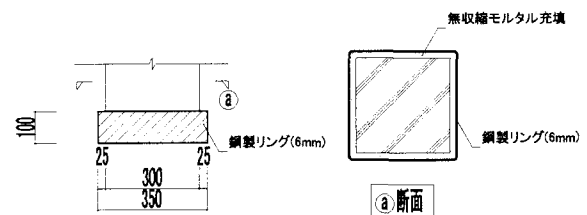


図-3.1.2 端部補強方法

表-3.1.2 コンクリート圧縮強度試験結果

部 位	Fc30		Fc60	
	圧縮強度 (N/mm ²)	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	材令 (日)
芯コンクリート	30.0	7	57.0	7
	37.0	14	60.5	14
	42.0	75	61.5	75
被 覆 部	33.0	7	—	—
	33.1	14	—	—
	34.8	28	—	—

表-3.1.3 鋼材の機械的性質

種別	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
D6	SD295	383	504	9.4
S6	KSS785	888	1060	3.1
D13	SD295	342	384	24.1
T. S. S.	SGCCR	279	385	27.5

3. 2 芯コンクリート RC 柱の中心圧縮実験結果

表-3.2.1 に、中心圧縮試験における耐力と軸ひずみの実験結果とともに、損傷状況を写真で示す。T.S.S. (1.2mm) の円周方向のひずみ測定結果(ε_t)を見ると、最大耐力時で $\varepsilon_t=0.10\%$ 、 $\varepsilon=0.5\%$ 時でも $\varepsilon_t=0.17\%$ となっており、T.S.S. の降伏ひずみに達していないことから、試験体の最大耐力に関する T. S. S. の厚さによる影響は非常に少ないと考えられる。但し、試験体の圧縮ひずみが1.0%になると、T.S.S. の円周方向ひずみは降伏ひずみに達しており、大変形時には、T.S.S. の拘束効果が発揮されていると考えることができる。

表-3.2.1 実験結果一覧(C_{EF}シリーズ)

	最大耐力時	0.5%歪み時	1.0%歪み時
C _{EF} シ リ ー ズ			
	耐力 (kN)	軸歪み (%)	耐力(kN)
C _{EF} 1	3170	0.23	1970
C _{EF} 2	3031	0.16	2617
C _{EF} 3	3822	0.22	1232
C _{EF} 4	3837	0.19	1778
C _{EF} 5	3731	0.15	2740
C _{EF} 6	4207	0.22	2700

図-3.2.1に各試験体の荷重-変形関係を包絡線によって比較した例を示す。図中の横線は、後述するRichartの式により算出した芯コンクリートの耐力と主筋の圧縮降伏耐力を足したものである。芯コンクリート強度が高くなると、初期剛性および最大耐力の明らかな上昇が見られる。反面、コンクリート強度が小さいものに比べて耐力低下率が大きくなっている。実験結果によると、最

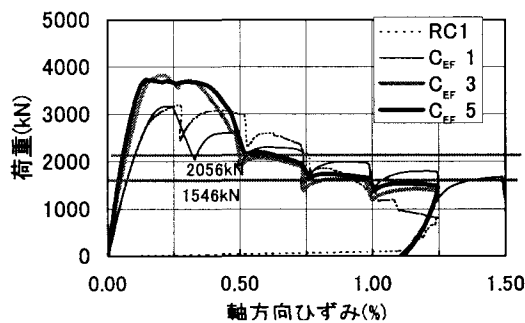


図-3.2.1 荷重-変形関係の包絡線

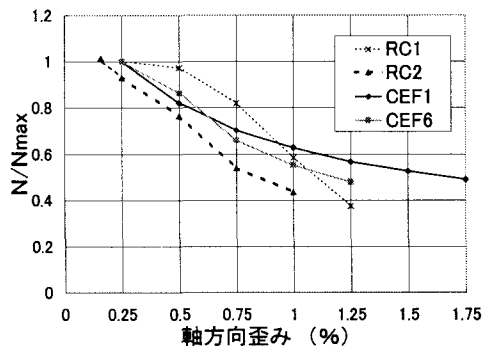


図-3.2.2 耐力低下率

大耐力はいずれの試験体とも、柱の軸ひずみ度がほぼ $\varepsilon=0.15\sim0.35\%$ で生じ、その後、写真に見られるようなカバーコンクリート部の亀裂の伸展により比較的急激な耐力低下が見られている。実験終了時の軸ひずみ度は $\varepsilon=1.0\sim1.25\%$ であるが、その時の耐力はほぼ芯コンクリートの耐力と主筋の圧縮耐力の和と一致していることがわかる。図-3.2.2は、縦軸にそれぞれのサイクルにおける荷重を最大荷重で割った値(N/N_{max})、横軸に軸方向ひずみ(%)をとり、最大耐力時を1.0として耐力低下率を示したものである。C_{EF}シリーズは試験体によるばらつきはあるものの、すべての試験体において、RCより0.5%ひずみ時以降の耐力低下率は小さく、変形性能も大きいことがわかる。以上の実験結果をもとに、芯コンクリートRC柱の中心圧縮耐力(cNu)を、主筋の圧縮耐力($cNur$)、被覆コンクリートの圧縮耐力($cNue$)および芯コンクリートの圧縮耐力($cNuf$)の累加で評価できると考え、式(1)を用いて算定する。

$$cNu = cNur + cNue + cNuf \quad (1)$$

ここで、

$$cNur = r\sigma_y \cdot Ag \quad (2)$$

$$cNue = \alpha \cdot \sigma_B \cdot AE \quad (3)$$

$$\alpha = (eN_{max} - r\sigma_y \cdot Ag) / (Ac \cdot \sigma_B) \quad (4)$$

α : 中心圧縮柱におけるコンクリート強度
低減係数(RC柱では0.831、芯コンクリート柱では0.759とした)

eN_{max} : 表-3.2.1の耐力値

Ac : 柱の断面積(柱全断面積-主筋断面積)

$$cNuf = c\sigma_B \cdot Ap \quad (5)$$

$$c\sigma_B = \sigma_B + 4.1c\sigma_r \text{ (Richartの式)} \quad (6)$$

$$c\sigma_r = (2 \cdot t_s \cdot s\sigma_y) / (Ds - 2 \cdot t_s) \quad (7)$$

t_s : T.S.S.厚

Ds : T.S.S.の外径

$s\sigma_y$: T.S.S.の降伏強度

Ag : 主筋全断面積

$r\sigma_y$: 主筋の降伏強度

Ap : 芯コンクリートの断面積

$$AE = D^2 - Ap$$

: 被覆コンクリートの断面積

(RC1,2では AE は全断面積)

σ_B : コンクリートのシリンダ強度

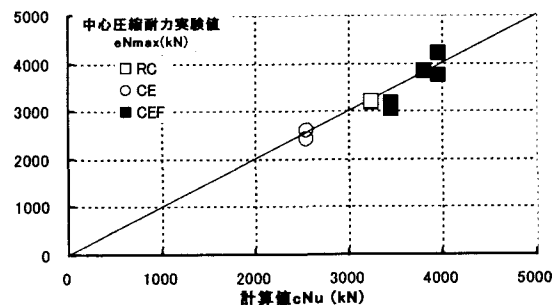


図-3.2.3 実験値と理論値の比較

全試験体について、式(1)により求めた理論値 (cNu) と最大耐力実験値 (eN_{max}) の対応を、図-3.2.3 に示す。芯コンクリート RC 柱の中心圧縮耐力は、精度良く評価できている。

4. 芯コンクリートを有する RC 柱の残存圧縮耐力

3章の実験結果によると、 C_{EF} シリーズの試験体は最大耐力後、圧縮ひずみ ε_c が 0.5% に達した場合にも、芯コンクリート部の圧縮耐力 cNu_E と主筋の降伏耐力 rNu の和以上を保持している。最大耐力時の圧縮ひずみは平均 $\varepsilon_c \approx 0.2\%$ であることから、コンクリートは最大強度に達しており、主筋も降伏しているといえる。芯コンクリートを有する RC 柱の既往の実験研究¹⁾では、一定軸力を載荷した後、柱の部材角 $R=0.5\%$ ごとに漸増変位の正負 2 回の交番繰返し水平荷重載荷試験を行っている。ここで、水平載荷実験終了の目安は、水平荷重が最大せん断耐力の 60% 以下まで低下した時としており、この状態をせん断崩壊と定義している。せん断崩壊するまで、所定の載荷軸力 eN_c を保持した試験体については、試験体の部材角を 0 に戻した後に、中心圧縮試験を行い、せん断崩壊後の残存軸方向耐力 eN_{max}' を実験的に確認している。文献¹⁾では、3 章の試験体と同形状の $H/D=4.0$ で主筋も 16-D13 と等しい配筋の RC 柱試験体 9 体の実験結果を報告している。この実験によるせん断崩壊後の残存軸方向耐力の実験結果を表-4.1 に示した。但し、試験体名称は本論 3 章のシリーズ名を使用し、シリーズ名-載荷軸力比 ($n=eN_c/bD\sigma_B$) の 10 倍-芯コンクリート径としている。上記の試験方法により、図-4.1 に示すような試験体の載荷軸力-軸方向ひずみ関係が得られるが、いずれの試験体とも、設定した載荷軸力を作用させると、RC 柱の圧縮初期剛性により所定の軸方向ひずみが生じ、その後の漸増繰返し水平荷重により、試験体の軸方向ひずみが次第に蓄積していくことが分かる。図-4.1 に示したように、RC シリーズの場合、載荷軸力比が大きくなると一定軸力下での繰返し水平載荷による累積軸方向ひずみが増大するが、これはコンクリートの損傷が大きくなるためであ

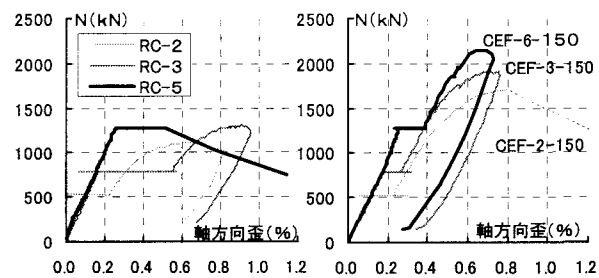


図-4.1 載荷軸力-軸方向歪の関係

り、軸力比が $n=0.5$ の試験体 RC-5 は圧壊している。

また、せん断崩壊後の軸方向圧縮剛性は、初期の軸方向圧縮剛性に比べ約 $1/2$ に低下していることがわかる。芯コンクリートを有する C_{EF} シリーズの場合、軸力導入時には載荷軸力に比例した軸方向ひずみが生じるが、その後、一定軸力下での繰返し水平荷重による累積軸方向ひずみは軸力比に関係なくほぼ一定となっていることがわかる。次に、以上の実験結果より、一定軸力下の繰返し水平載荷によりせん断崩壊した試験体の、せん断崩壊後の残存軸方向耐力の評価を行うため、新たに以下に示す評価式の導入を行う。表-4.1 に示すように、 C_{EF} シリーズの試験体のせん断崩壊時累積軸方向ひずみは $0.3\sim0.55\%$ となっており、カバコンクリート部はコンクリートの終局歪みを越えていると考えられる。また、図-4.1 に示したように、せん断崩壊後の軸方向圧縮剛性も初期載荷剛性に比べほとんど低下していないことから、芯コンクリートの圧縮剛性と耐力の低下はほとんどなく芯コンクリート以外のコンクリートの損傷が進行する結果と考えて良い。以上の考察から、水平荷重によるせん断崩壊後の柱の残存軸方向耐力 cNu' を式(8)で評価することとした。

$$cNu' = cNu_r + cNu_E' + cNu_F \quad (8)$$

$$\text{ここに } cNu_E' = \nu \cdot \sigma_B \cdot ((D-2 \cdot dt)^2 - A_p) \quad (9)$$

$$\text{但し、} \nu = 1.7 \times \sigma_B^{-0.333} \times (1 - 20 \cdot R_p) \quad (10)$$

R_p : 水平崩壊時部材角

dt : 帯筋中心からコンクリート表面までの距離

式(8)の第 2 項は、被覆コンクリート部の耐力評価式であるが、試験体のせん断崩壊時には、カバコンクリート部はほぼ剥離し、帯筋が一部露見できる状態であり、さらに、主筋内部のコンクリート部にも曲げ・せん断力による多数のひび割れの発生が観察されていることから、コンクリートの有効断面を、主筋中心線で囲まれた部分と考える事とし、さらに、有効断面のコンクリート強度については損傷の影響による低減係数を乗じたものである。ひび割れ損傷を受けたコンクリートが、ひび割れを介して圧縮力を伝達する場合の低減係数として、ここでは CEB 式の有効圧縮強度係数 ν を SI 単位に換算し、さらに崩壊時部材角を乗じた式(10)を使用することとした。せん断崩壊後の残存軸方向耐力実験値 eN_{max}' と式(8)の計算値 cNu' の関係を図-4.2 に示す。

表-4.1 せん断崩壊後の残存軸方向耐力の実験結果

試験体名	コンクリート強度 (N/mm^2)		載荷軸力 eN_c (kN)	崩壊部材角 R_p (%)	累積歪 ε_c (%)	残存軸耐力 eN_{max}' (kN)
	σ_{CF}	σ_{CF}				
RC-2	28.7	--	517.1	2.10	0.33	1110.9
RC-3	28.2	--	760.3	2.80	0.42	1305.0
RC-5	29.6	--	1323.0	2.10	0.53	--
C_E -3-150	42.6	--	860.0	1.40	0.35	1545.0
C_E -3-175	42.5	--	780.0	1.25	0.39	963.0
C_{EF} -2-150	28.7	28.7	517.1	2.50	0.28	1704.0
C_{EF} -2-175	28.7	28.7	517.1	2.90	0.24	1809.0
C_{EF} -3-150	28.2	28.2	760.3	1.85	0.31	1918.8
C_{EF} -3-175	28.2	28.2	760.3	2.80	0.47	2002.2
C_{EF} -5-150	29.6	29.6	1330.2	1.50	0.54	2146.2
C_{EF} -5-175	29.6	29.6	1330.2	1.90	0.55	2069.4

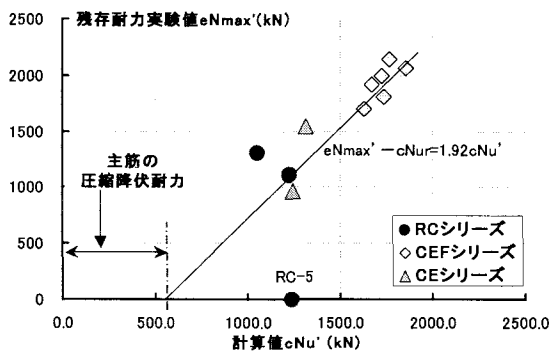


図-4.2 残存軸方向耐力の評価

この時、式(10)の R_p はせん断崩壊時の部材角実験値を採用し、RC-5については $cN_{max}' = eN_c$ としている。

各試験体のせん断崩壊後の部材角は、試験体の配筋や載荷軸力比 n および芯コンクリートの有無により、1.0～3.0%までかなりのばらつきを示しているにもかかわらず、崩壊後の残存軸方向耐力実験値と式(8)の計算結果はほぼ直線関係にあることがわかる。

5. 芯コンクリートRC柱の設計法について

5.1 構造特性

芯コンクリートRC柱は、中空のRC柱とT.S.S.で補強された芯コンクリートの合成構造である。中空RC部は、曲げ・せん断及び軸力の一部を負担するが、芯コンクリート部は主として軸力にのみ抵抗する。芯コンクリート部はT.S.S.の拘束効果を受け、軸力に対する抵抗能力は大きい、せん断耐力は小さい。そのため、柱に生じるせん断力に対して芯コンクリートを控除した中空RC部のみのせん断耐力により抵抗することになる。その耐力は、実験結果[1]から、芯コンクリート部を控除した等価有効断面を用いた修正B法で安全側に評価できることがわかっている。

5.2 軸方向力と曲げモーメントの累加強度

芯コンクリートRC柱の力学的特徴として、耐力を中空RC部と芯コンクリート部の累加強度で評価できることがあげられる。図-5.2.1は、断面が30×30cmで主筋に16-D13 (SD295)、コンクリートの設計強度 $F_c = 30 \text{ N/mm}^2$ を使用したRC柱について、芯コンクリートの有無による軸力と終局曲げ耐力の関係を計算した結果を示したものである。普通RC柱の軸力-曲げ耐力関係は、AIJ規準の終局曲げ耐力式により求めたが、この場合、柱の軸力が $N = 0.42bDF_c$ で最大曲げ耐力となる。T.S.S.の拘束効果により、コンクリートの強度が上昇している芯コンクリートのM-N関係は、拘束のないコンクリートのM-N関係より大きいため、中空RC部と芯コンクリートの累加強度として求められる芯コンクリート柱のM-N関係は、

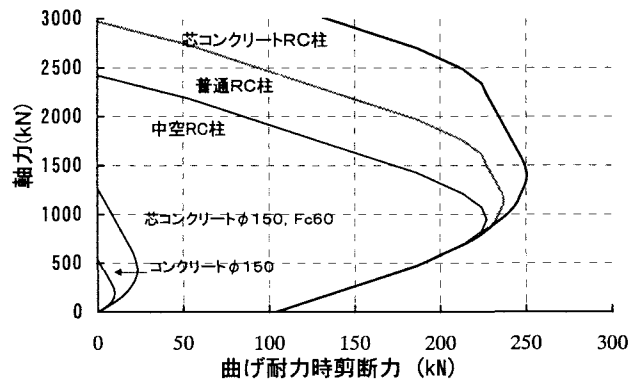


図-5.2.1 芯コンクリートRC柱の累加強度

普通RC柱のM-N関係に比較し、最大曲げ耐力および最大曲げ耐力時の軸力とも大きくなる。さらに芯コンクリートを高強度にすると、累加M-N関係曲線は、軸力比0.4以上の範囲で軸力方向に一樣に大きくなると同時に、最大曲げ耐力および最大曲げ耐力時の軸力も大きくなる。言い換えれば、中空RC柱に強度の大きい芯コンクリートのM-N関係を累加することで、最大曲げ耐力の上昇とともに、最大曲げ耐力時の軸力も上昇するといえる。このことは、芯コンクリートRC柱にすることで、高軸力を受ける柱の曲げ耐力の確保が可能であることを示すものである。そこで、曲げモーメントと軸力に対する設計式として合成構造の特徴を取り入れ下式にて行うことを提案する。

$$N_s \leq N_F + N_E \quad (11)$$

$$M_s = M_F \quad (12)$$

ここで、

N_s : 設計用軸方向力

N_F : 中空RC部が負担する軸方向力

N_E : 芯コンクリート部が負担する軸方向力

M_s : 設計用曲げモーメント

M_F : 中空RC部が負担する曲げモーメント

T.S.S.の適切な径と厚さについても重要な要素と考えられるが、実験データの蓄積は十分とはいえず、既往の実験結果から、径厚比 $2t/\phi$ (t : T.S.S.の厚み、 ϕ : T.S.S.の外径) を0.5%以上としておく。芯コンクリートの径については、式(11)、(12)を満足する径というのが前提であるが、せん断耐力の確保ということも考え柱径の1/2以下とする。

5.4 設計法の概要

以下に、現在までの知見に基づいて考えられる芯コンクリートRC柱の設計法の概要を示す。

(1) 軸方向力と曲げモーメントに対しては、累加強度理論を用いて検討する。

- (2) 芯コンクリート部が負担できる軸方向力は、T.S.S. による拘束効果をRichartの提案式にて評価することができる。また、T.S.S.の径は柱径の $1/2$ 以下、T.S.S.の径厚比 $2t/\phi$ は0.5%以上とする。
- (3) 設計用せん断力に対しては、芯コンクリートを控除したコンクリートの有効断面を使用してせん断補強筋比を決定する。
- (4) 終局せん断耐力を中空RC断面として修正B法で評価し、曲げ破壊先行型であることを確認する。

6. 構造設計への問題提起

地震で建造物が崩壊、倒壊する要因として考えられるのが鉛直支持力の不足である。鉄筋コンクリート造に限れば、柱の帯筋がその周辺内のコンクリートと主筋を拘束し、鉛直支持力を保持するのであるが、RC柱に交番水平力が作用すれば、曲げ・せん断力によるひび割れの増大により鉛直歪みが累積し、柱崩壊をもたらす。この状態を改善するために、芯コンクリート RC 柱を提案した。いま構造設計に於ける地震応答解析での検証に利用されている RC 構造の特性値としてはコンピューターによる荷重・変形関係の仮定包絡線をモデル化して復元力特性値が決られている。しかし、“1995 年兵庫県南部地震”での地震動の衝撃的な一撃が建造物を崩壊へ進めた。その第一原因と思われる衝撃力を修正復元力特性値に採用し、繰り返し荷重による累積鉛直歪みを条件に建物の応答性状の検証が必要であるとする。すなわち、限界柱部材角(R)による剛性評価(K)、修復可能な鉛直歪み(ϵ)を想定した地震応答解析用モデルで検証されることを提案する。部材角が1.0%での剛性($K_{1.0}$)を採用し、限界鉛直歪をRC柱で0.4%、芯コンクリート RC 柱で0.6%と仮定した特性値の概念図を図-6.1、6.2に示す。図中に構造設計で採用している復元力特性モデルを挿入した。特性値は試験体の条件に合う構造モデルを想定したものであり、トリ・リニア曲線は通常使用している式を用いた。

現地震応答解析モデルでの構造設計は、最大応答層間変形角が規範とする限界変形角を超えないように部材を設定しているため、柱に生じる部材角がさほど大きくないので鉛直歪みの問題は考慮していなかった。しかし、衝撃地震力(突き上げ力、又は過大水平力)が作用して、鉛直支持力が小さい特定の階・柱が早期に損傷を受けることにより剛性低下が生じ振動性状が変化する。この状態の構造特性値で通常の方法とは別に地震応答解析をすることが必要であるとする。既往の荷重-変形性状実験で、最大耐力以降に載荷を繰り返すと右下がりに耐力が低下していくことと、鉛直歪みが増加することは判明している。これらの特性を評価するために図-6.1、6.2に示す修正剛性($K_{1.0}$)を用いた地震応答解析を行い、応答値が下記に提案する限界鉛直歪みに対応する部材角を超えないことを

検証することが必要であるとする。

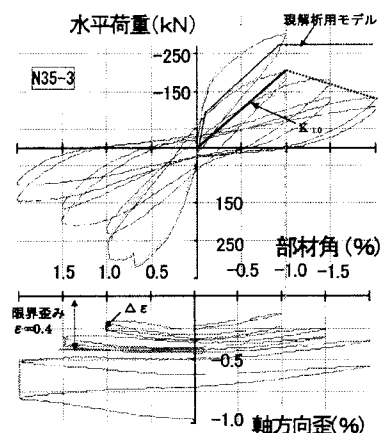


図-6.1 普通コンクリート柱

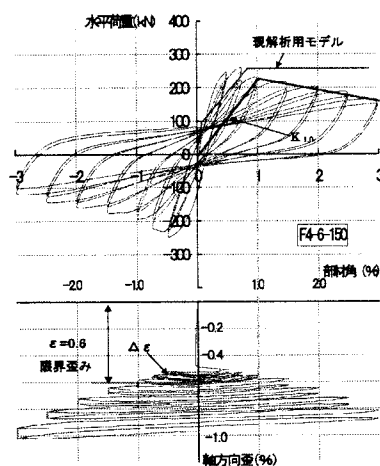


図-6.2 芯コンクリートRC柱

(1) 普通 RC 柱 (N35)

中柱で長期軸力の応力状態($n=0.3$)で地震を想定している場合は、鉛直限界歪みを0.4%以内とし、応答部材角を1.0%以下とする。

(2) 高強度芯コンクリート RC 柱 (F4-6-150)

隅柱で短期軸力の応力状態($n=0.6$)で地震を想定している場合は、鉛直限界歪みを0.6%まで許容し、応答部材角も2.0%まで許容する。

<参考文献>

- (1) 佐藤立美、和田勉、南宏一、他：芯コンクリートを有するRC柱の力学的特性と設計法、構造工学論文集 Vol.46B、p229-240、2000.3
- (2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の靱性保証型耐震設計指針・同解説 1999