

高靱性能鉄筋コンクリート柱の開発

清水 庸介
正田 雄高

要 旨

鉄筋コンクリート造建物が想定を上回る地震力を受ける場合、1階柱脚部には大きな水平力と圧縮軸力による曲げ圧縮破壊が生じ、急激に靱性が劣化することが考えられる。当社も既報1)において靱性能を改善するために、柱内にクリアランスの無い円形スパイラル筋にコンクリートを充填したもの（以降、NCSユニットと称する）を埋設する方法を開発している。

本報告では、NCSユニットのより広範な建物への適用を考え、NCSユニット及びNCSユニットを埋設した柱の力学特性を把握することを目的に実施した実験の結果について報告する。

実験により、以下の知見が得られた。

NCSユニット中心圧縮実験 1) 普通強度のコンクリートにおいて、スパイラル筋の降伏以降も大変形まで安定した耐力を保持した。2) 支圧プレートの有無による差は、ほとんどみられなかった。

柱の曲げせん断実験 1) 帯筋による拘束力の小さい1シリーズの柱（中子筋無し、帯筋比 $p_w=0.31\%$ ）は、NCSユニットの埋設による靱性の改善効果が著しいことがわかった。2) 帯筋による拘束力が比較的大きい2シリーズの柱（中子筋有り、帯筋比 $p_w=0.63\%$ ）は、釣合軸力以下ではそれほど大きな改善効果はみられないが、釣合軸力以上では、変形性能が大きく改善された。3) NCSユニットを埋設していない柱は、最終的に急激に軸力保持できなくなるのに対して、NCSユニットを埋設した柱は、大変形まで安定して軸力を支えることができた。4) 支圧プレートの有無による破壊性状への顕著な影響は認められなかった。

1. まえがき

本報告は、NCSユニット及びNCSユニットを埋設した柱の力学特性を把握することを目的に実施したNCSユニット単体の中心圧縮実験及びNCSユニットを埋設した柱の曲げせん断実験の結果の報告である。

2. NCSユニット単体の中心圧縮実験

2.1 実験概要

試験体一覧を表-1に、試験体形状及び測定方法を図-1及び図-2に、材料試験結果を表-2に示す。

試験体は、実大の約1/3を想定した縮小モデル4体とした。試験体は、スパイラル筋の径を5mmの一定とし、変動因子として、①充填したコンクリートの強度、②NCSユニット外径の変化によるスパイラル筋の体積比、③支圧プレートの有無による影響である。全試験体とも材長はNCSユニット外径の3倍とした。充填したコンクリートの強度を比較する試験体NP及びN2、NCSユニット外径を変化させ、スパイラル筋の体積比を変化させた試験体N3は、上下載荷面には円形の鋼板を溶接にて取り付け、石膏によるキャッピングを施した。支圧プレート無しの試験体N0は、NCSユニット両端部のスパイラル筋の端部をスパイラル筋径の10倍の長さ溶接し、石膏に

表-1 試験体一覧

試験体名	NCSユニット 最外径 D (mm)	充填コンクリートの 圧縮強度 σ_B (MPa)	スパイラル筋			支圧 プレートの 有無
			径 d (mm)	体積比 Ps (%)	降伏応力度 σ_y (MPa)	
NP	146	32.5	5	10.5	474.1	有
N0						無
N2	98	25.2	5	16.5	474.1	有
N3						有

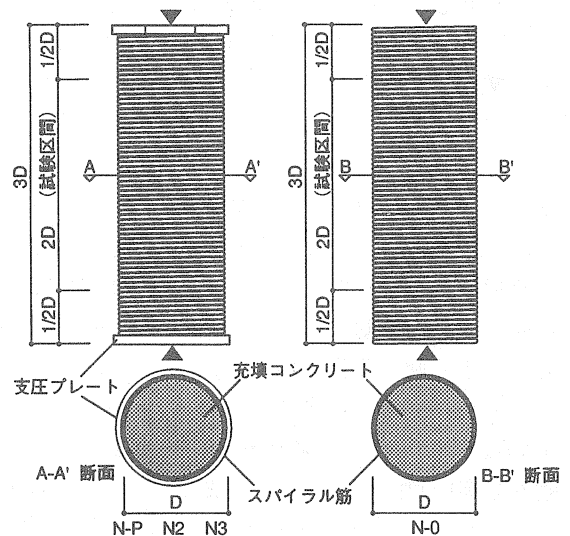


図-1 試験体形状

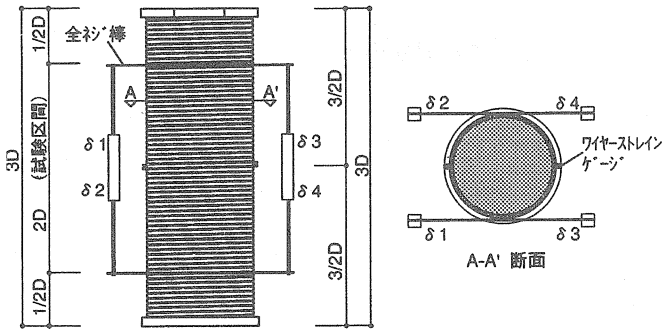


図-2 測定方法

表-2 材料試験結果

普通鉄線 SWM-B	降伏強度 σ_y (MPa)	最大強度 σ_u (MPa)	降伏ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_s $\times 10^6$ (MPa)
$\phi 5$	474.1	498.9	0.23	0.21
コンクリート	圧縮強度 σ_B (MPa)	圧縮強度時 ひずみ度 ϵ_B (%)	ヤング係数 E_c $\times 10^5$ (MPa)	
	32.5	0.24	0.25	
	25.2	0.20	0.21	

よるキャッピングを施した。加力は、万能試験機により、下端固定、上端球座による中心圧縮载荷とした。軸ひずみの測定は、図-2に示すように試験体中央のNCSユニット外径2倍の区間を検長として、電気式変位計4本を用いて行なった。また、試験体中央点において、スパイラル筋の材軸方向のひずみをストレインゲージにより測定した。

2.2 実験結果

実験より得られた応力度 σ -軸ひずみ ϵ 関係を図-3に、応力度-スパイラル筋ひずみ関係を図-4に示す。図-3に示した横軸は、検長2D間での平均軸ひずみ、縦軸は、応力度とした。なお、応力度は、実験時の荷重をスパイラル筋芯々で囲まれた面積で除した値とし、スパイラル筋のメタルタッチによる負担力も含んでいる。また、図中▼印は、円形スパイラル筋の材軸方向のひずみが降伏ひずみに達した点（以下、降伏耐力と称す）を示す。

NCSユニットは、いずれの試験体も、スパイラル筋の降伏以降大変形にわたって安定した耐力を保持し、大きな塑性変形能力を示した。また、その最大耐力は、スパイラル筋による拘束効果により、充填したコンクリートの耐力を大きく超える値を示した。

充填したコンクリート強度についてみると、コンクリート強度が高いほど、降伏耐力、最大耐力とも大きく、剛性も高い傾向がみられた。また、スパイラル筋の体積比についてみると、体積比が大きいほど、降伏耐力、最大耐力とも大きくなっている。次に、支圧プレ-

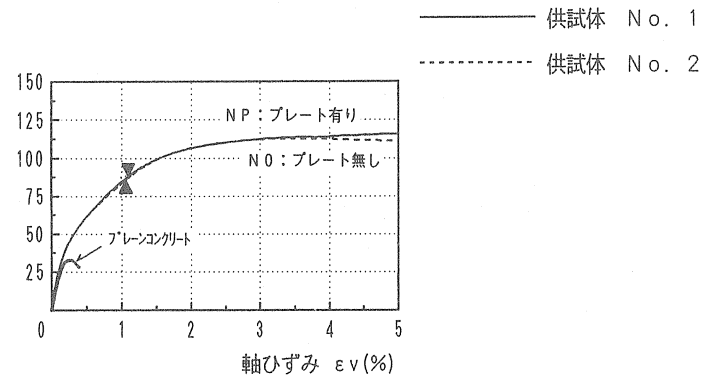
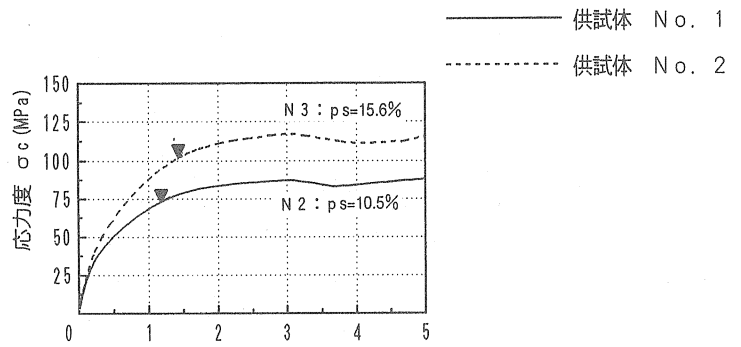
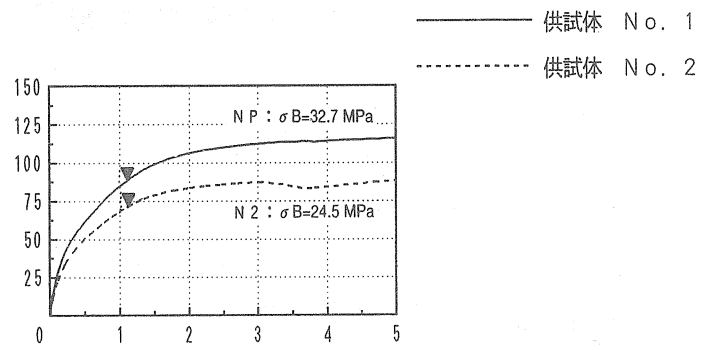


図-3 応力度-軸ひずみ関係

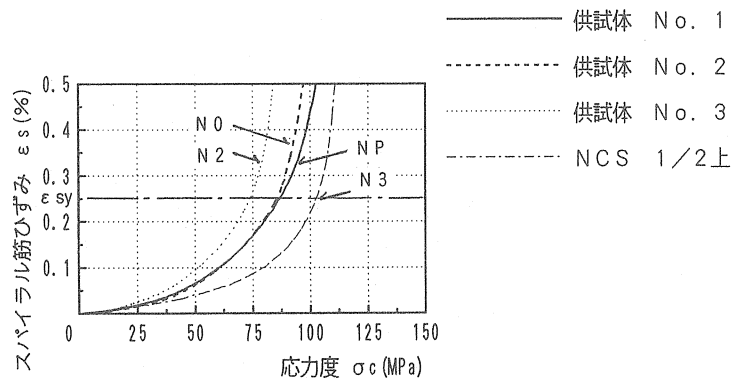


図-4 応力度-スパイラル筋ひずみ関係

トの有無による影響についてみると、軸ひずみ3%付近まで、ほとんど差はみられなかった。

表-3 試験体一覧

試験体名	圧縮強度 σ_B (MPa)	軸力 (KN) (軸力比)	主筋	帯筋	シアパン比 M/(QD)	NCSユニット			
						充填コンクリート 圧縮強度 σ_B (MPa)	最外径 (mm)	支圧 プレート 有無	
1シリーズ	C-1	24.1	1029.7 (0.5)	12-D10 pt=0.33% $\sigma_y=389.3$ MPa	2-D6@70 pw=0.31% $\sigma_y=404.7$ MPa	2.5	-	-	-
	NC-1	24.2	1029.7 (0.5)				29.5	146	有
	NC-2	24.4	1029.7 (0.5)				29.7	-	無
2シリーズ	M2-3	35.2	751.2 (0.25)	12-D13 pt=0.60% $\sigma_y=352.5$ MPa	4-D6@70 pw=0.63% $\sigma_y=404.7$ MPa	2.5	23.9	146	有
	M0-3	37.6	751.2 (0.24)				-	-	-
	M2-5	37.5	1596.5 (0.5)				24.7	146	有
	M0-5	37.8	1596.5 (0.5)				-	-	-
	M3-5	40.2	1714.2 (0.5)				24.0	98	有
共通事項	断面形状 : $b \times D = 292\text{mm} \times 292\text{mm}$ NCSユニット : スパイラル筋径 5ϕ : スパイラル筋降伏応力度 $\sigma_y = 474.1$ MPa (0.2%残留ひずみ時)				NC-1 : C : NCSユニット無し NC : NCSユニット有り 1 : 支圧プレート有り 2 : 支圧プレート無し M2-3 : M ; M/(QD)=2.5 NCSユニット最外径に対する柱せいの比 軸力比 $[N/(bD\sigma_B) = 0.25] \rightarrow 3$				

3. 柱の曲げせん断実験

3. 1 実験概要

3. 1. 1 試験体

表-3 に試験体一覧を示し、図-5 及び図-6 に代表的な試験体の試験体形状及び断面詳細図を示す。

全ての試験体は、実構造物の約1/3スケールを想定しており、試験体数は、シアパン比 $[M/(QD)]$ が2.5の試験体8体とした。

NCSユニットは、図-6 に示すように柱断面中央に配しており、試験区間全長にわたって埋設している。

試験体の設計は、1シリーズの全試験体 (C-1、NC-1、NC-2) 及び2シリーズの全試験体 (M2-3、M0-3、M2-5、M0-5、M3-5) とともに終局曲げ耐力に対して終局せん断耐力が上回るようにした。

2シリーズの全試験体は、1シリーズと比べて主筋量を多くし、帯筋形状は、中子筋を配してコアコンクリートの拘束を高めたものとした。

それぞれの試験体の実験変数は、以下のようにした。

1シリーズでは、NCSユニットの埋設の有無及びNCSユニット材端部の支圧プレートの有無とした。2シリーズでは、NCSユニットの有無及び最外径、軸力とした。なお、2シリーズの試験体の軸力は、それぞれ釣合軸力以上及び以下となるように設定した。

試験体名と実験変数との関係を表-3 に示す。

軸力の大きさは、それぞれ1シリーズの全試験体を $0.5bD\sigma_B$ 、2シリーズを $0.24 \sim 0.5bD\sigma_B$ とした。

柱断面は、全試験体ともに同一とし、 $b \times D = 292\text{mm} \times 292\text{mm}$ とした。主筋は、それぞれ1シリーズを12-D10、2シリーズを12-D13とした。帯筋は、それぞれ1シリーズを2-D6@70、2シリーズを4-D6@70とした。NCSユニットに使用したスパイラル筋は、普通鉄線SWM-B材を

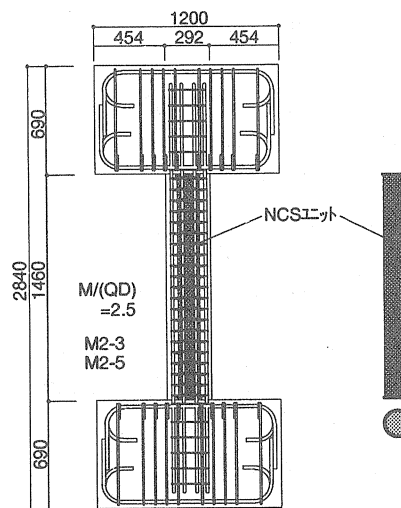


図-5 試験体形状

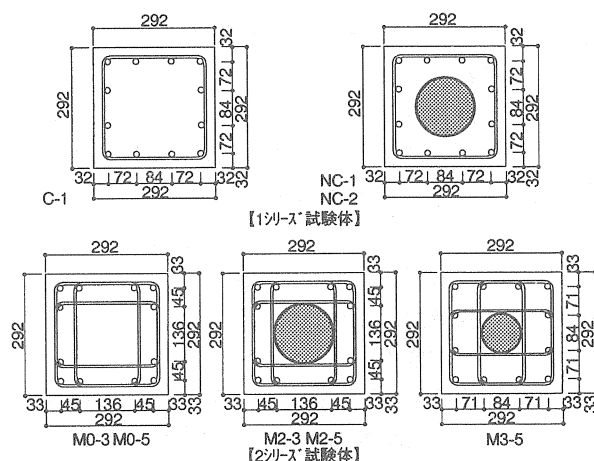


図-6 断面詳細図

使用し、スパイラル筋径は全て共通として 5ϕ を用いた。

なお、NCSユニット最外径が拡がることを防止するた

めに、スパイラル筋と同一材料である鋼棒を材軸方向に添って外周4箇所点づけにより溶接した。

3. 1. 2 使用材料

表-4には、使用した鋼材及びコンクリートの材料試験結果を示す。

鉄筋は、1シリーズの主筋をSD295、2シリーズの主筋をSD345とした。帯筋は、全試験体とも共通としSD295とした。NCSユニットのスパイラル筋は、全てSWM-B材を使用した。なお、スパイラル筋は、明確な降伏点を示さなかったため0.2%の残留ひずみとなる時の応力を降伏点とした。

コンクリートは、柱躯体及びNCS充填コンクリートともに、粗骨材に最大寸法13mmの碎石を用いた。

試験体のコンクリート打設は、横打ちにより行なった。なお、NCSユニットは、コンクリートの充填性から柱躯体との同時打設が困難であるためプレキャスト製とし縦打ちにより製作した。

3. 1. 3 加力方法・測定方法

図-7に、曲げせん断実験の加力装置を示す。

試験体の加力は、一定軸力下で、上スタブに水平油圧ジャッキにより引きを正とする正負交番繰返し载荷を行なった。また、加力の制御は、上下スタブ間の水平変位により行なった。

加力サイクルは、部材角（以下、Rとする。）1/500rad.で1サイクル行ない、その後、R=1/400、1/200、1/133、1/100、1/66、1/50、1/33、1/25rad.で2サイクルずつ行ない、これらの载荷後、R=1/20rad.まで変形させて実験を終了する計画とした。

なお、2シリーズのM2-3及びM0-3は、R=1/20rad.のサイクルにおいても比較的耐力低下が小さかったため、耐力低下領域の性状を確認することを目的にR=1/14rad.まで変形させて終了している。

変位の測定は、主要な位置に電気式変位計を取り付けて行ない、ひずみの測定は、主筋、帯筋及びNCSユニットのスパイラル筋の主要な位置にワイヤーストレインゲージを貼付して行なった。また、実験時におけるひび割れの観察は、目視により行なった。

3. 2 実験結果及び検討

3. 2. 1 破壊性状

表-5に実験結果一覧、図-8に各試験体の破壊状況を示す。なお、破壊状況は、NCSユニットを埋設していない試験体が最終的に軸力を保持できなくなり（以下、最終破壊と呼ぶ）破壊に至った部材角時について示した。

a) 1シリーズ

NCSユニットを埋設していないC-1とNCSユニットを

表-4 鋼材及びコンクリートの材料試験結果

a) 鋼材

使用した鉄筋の材料試験結果

種別	降伏強度 σ_y (MPa)	最大強度 σ_u (MPa)	降伏ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_s ($\times 10^6$ MPa)
D10 (SD295)	389.3	567.9	0.21	0.19
D13 (SD345)	352.5	523.6	0.18	0.19
D6 (SD295)	404.7	532.2	0.23	0.18
5φ (SWM-B)	474.1 *	498.9	0.43 *	0.21

*) 0.2%残留ひずみ時の値とした

b) コンクリート

試験体名	圧縮強度 σ_B (MPa)		ヤング係数 E_c ($\times 10^5$ MPa)		
	躯体	NCSユニット	躯体	NCSユニット	
1シリーズ	C-1	24.1	-	0.25	-
	NC-1	24.2	(2) 29.5	(1) 0.25	0.25
	NC-2	24.4	29.7	0.26	0.25
2シリーズ	M2-3	35.2	(5) 23.9	(4) 0.27	0.20
	M0-3	37.6	-	0.27	-
	M2-5	37.5	24.7	(4) 0.28	0.21
	M0-5	37.8	(6) -	0.28	-
	M3-5	40.2	24.0	(3) 0.30	0.20

注) (数字)は、アジテータ車のNo.を示す

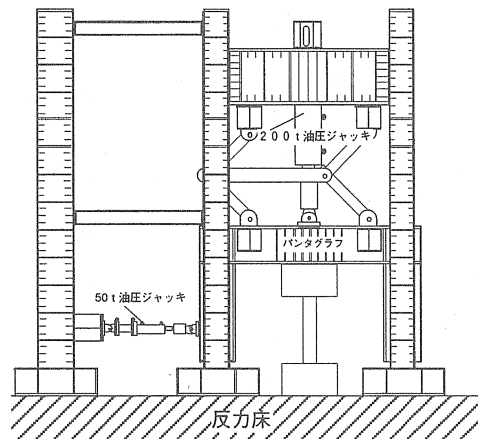


図-7 加力装置

埋設しており、NCSユニット端部の支圧プレートの有無のみを変動因子としたNC-1及びNC-2の試験体について比較する。

いずれの試験体とも最大耐力に達するまでの破壊経過はほぼ同様であり、破壊性状は、曲げ圧縮破壊型の性状を示した。

破壊経過をみると、まず、材端部に曲げひび割れが発生し、主筋の圧縮降伏、材端部コンクリートに圧壊の兆候が現れ、それぞれ順次進展した。その後、危険断面位置の主筋が一様に降伏し、コンクリートの圧壊が進展すると最大耐力に達した。以降、各試験体の破壊経過に差異がみられた。

C-1は、R=1/66rad.のサイクルでコンクリートの圧壊と

表-5 実験結果一覧

		1シリーズ						2シリーズ									
		C-1		NC-1		NC-2		M2-3		M0-3		M2-5		M0-5		M3-5	
		サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R	サイ クル	Q R
最大耐力	正	6	148.1 7.3	8	155.9 10.0	8	160.8 9.9	8	194.2 9.9	8	191.2 9.8	6	246.1 7.7	6	228.5 7.4	6	243.2 8.0
	負	6	-143.2 -7.4	6	-155.9 -7.6	6	-149.1 -7.8	10	-191.2 -12.7	8	-194.2 -9.8	6	-251.1 -7.4	6	-254.0 -7.1	6	-255.0 -7.3
せん断 ひび割れ	正	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	10	224.6 11.0	14	167.7 29.4	13	200.1 20.4
	負	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	10	-235.4 -10.0	14	-155.9 -29.5	11	-224.6 -14.9
コンクリート の圧壊	正	4	136.3 5.2	4	130.4 5.3	2	105.9 2.6	5	154.9 4.7	6	174.6 6.1	4	167.7 3.2	4	188.3 5.3	5	209.9 5.5
	負	4	-132.4 -5.0	4	-138.3 -4.8	4	-135.3 -5.0	6	-185.3 -7.6	4	-156.9 -4.1	4	-213.8 -4.2	3	-148.1 -2.4	4	-214.8 -3.9
主筋の降伏	正	2	-86.3 (-)	4	129.4 (-)	3	-101.0 (-)	6	184.4 (+)	6	182.4 (+)	2	-161.8 (-)	4	147.1 (-)	2	126.5 2.5
	負	2	-2.0 (-)	4	5.2 (-)	3	-2.6 (-)	6	6.4 (+)	6	6.8 (+)	2	-2.4 (-)	4	4.3 (-)	2	2.5 (-)
帯筋の降伏(南面)	正	12	102.0 11.2	14	-140.2 -25.5	15	93.2 10.5	-	- -	18	-165.7 -47.0	12	73.5 0.4	11	128.5 13.0	12	-163.8 -16.7
	負	12	102.0 11.2	14	-140.2 -25.5	15	93.2 10.5	-	- -	18	-165.7 -47.0	12	73.5 0.4	11	128.5 13.0	12	-163.8 -16.7
NCSユニットの引張降伏	正	2	26.5 0.4	17	-7.8 28.1	-	- -	-	- -	-	- -	2	26.5 0.4	-	- -	14	-181.4 -29.8
	負	2	26.5 0.4	17	-7.8 28.1	-	- -	-	- -	-	- -	2	26.5 0.4	-	- -	14	-181.4 -29.8

注1) Q:せん断力 (KN) R:部材角 (×1/1000 rad.)

注2) (+)は引張降伏、(-)は圧縮降伏を示す。

かぶりコンクリートの剥離が著しくなり、急激に耐力の低下を示した。以降、破壊が材端部より約1Dの領域に集中し、R=1/50rad.のサイクルで軸力が保持できなくなり最終破壊に至った。

NC-1とNC-2の両試験体は、ほぼ同様な破壊性状を示した。

材端部コンクリートの破壊は、NCSユニットを埋設していないC-1と比較して、最大耐力に達したR=1/100rad.のサイクルにおいても比較的軽微であり、耐力低下も緩やかであった。最大耐力以降は、変形が増大するに従って、コンクリートの圧壊及びせん断ひび割れの柱中央部への進展が顕著となった。

最終サイクル時には、材端部が大きく損傷し、R=1/33rad.のサイクルより発生した加力方向に直交する面の縦方向へのひび割れが大きく進展したが、NCSユニットを埋設したNC-1及びNC-2は、最終時においても軸力を保持していた。

b) 2シリーズ

NCSユニットの有無及び最外径、軸力を変動因子とし、シアスパン比 [M/(QD)] を2.5とした各試験体について比較する。

NCSユニットを埋設したM2-3及び埋設していないM0-3についてみると、両試験体ともに破壊性状は、最終時に至るまでほぼ同様であり靱性のある曲げ降伏型の傾向を示した。

破壊経過としては、まず、材端部に曲げひび割れが発生し、続いて曲げせん断ひび割れが発生した。その後、R=1/200~1/133rad.のサイクルで材端部コンクリートの

圧壊がはじまり、主筋が引張降伏した。以降、コンクリートの圧壊領域が拡がり、主筋のひずみが進展するとR=1/100rad.のサイクルで最大耐力に達した。以降、変形の増大に従って、材端部のかぶりコンクリートが大きく剥落するなど損傷が集中したが、比較的緩やかに耐力の低下を生じた。

次に軸力を大きくしたM2-5、M0-5及びM3-5についてみると、各試験体ともに破壊性状は、最大耐力に至るまでほぼ同様な傾向を示した。

破壊経過としては、軸力の小さいM2-3及びM0-3と比べて小変形レベル時において、コンクリートの圧壊が生じており、最大耐力には、R=1/133rad.のサイクルで達した。また、同一変形レベル時において比較すると、コンクリートの圧壊の進展が著しく、耐力低下も顕著であった。

最終的にNCSユニットを埋設していないM0-5は、材端部の主筋が座屈し、R=1/33rad.のサイクルに軸力の保持が出来なくなった。

なお、最終破壊に至ったこのサイクルは、加力方向に直交する方向の帯筋のひずみが大きく進展する時期と一致していた。

最終破壊に至ったM0-5に対して、NCSユニットを埋設したM2-5は、材端部のかぶりコンクリートが大きく剥落し、材中央部にまでひび割れが進展したR=1/20rad.のサイクルにおいても、軸力を保持していた。

NCSユニットの外径を変動因子としたM2-5及びM3-5についてみると、両試験体ともに破壊性状は、R=1/25rad.のサイクルまでほぼ同様な傾向を示したが、最終

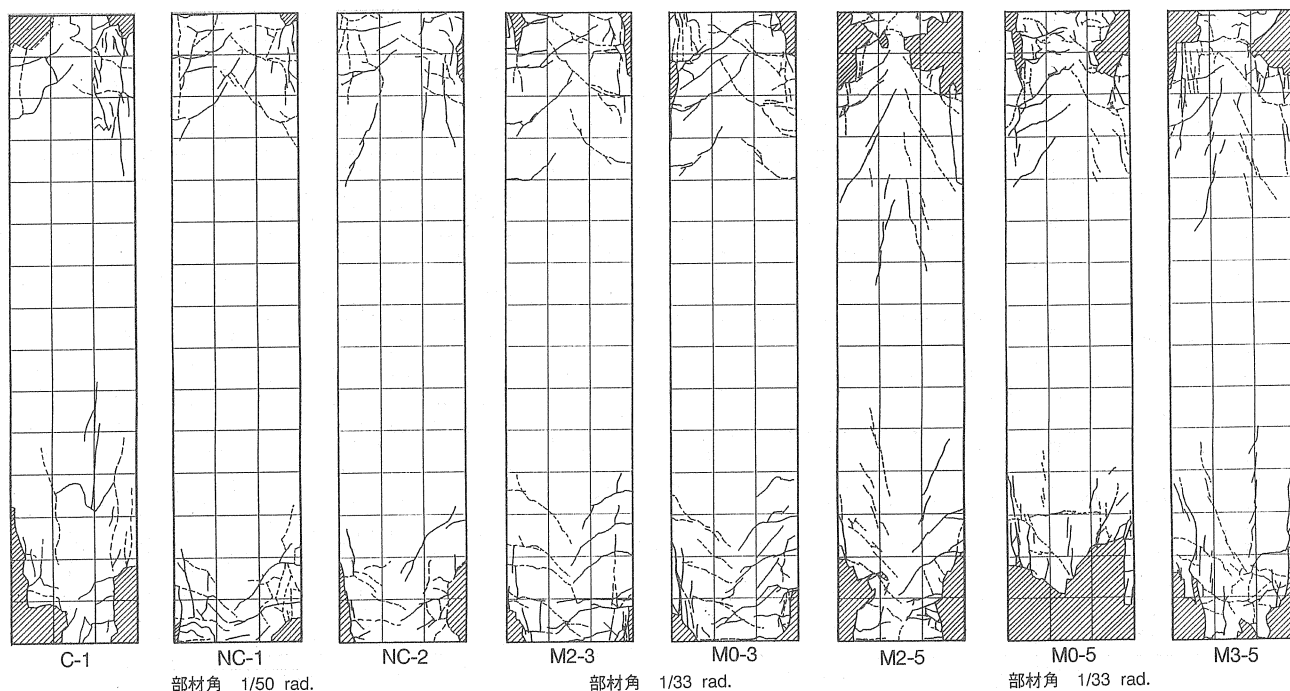


図-8 破壊状況

的にM3-5は、 $R=1/25\text{rad.}$ のサイクル以降耐力低下が大きくなり、軸方向変形が著しく進展したため実験を終了した。

3. 2. 2 復元力特性

図-9にせん断力-部材角関係 ($Q-R$ 関係)を示す。

なお、せん断力-部材角関係は、軸力による $P-\delta$ 効果を考慮した。

a) 1 シリーズ

C-1についてみると、最大耐力には、 $R=1/133\text{rad.}$ の1回目のサイクルで達し、変形の増大に伴い、徐々に耐力低下を示した。以降、 $R=1/66\text{rad.}$ の2回目のサイクルで耐力低下が顕著となり、最終的には、 $R=1/50\text{rad.}$ のサイクルにおいて軸力の保持ができなくなり破壊に至った。

これに対して、NC-1及びNC-2の両試験体は、最大耐力には、 $R=1/100\text{rad.}$ の1回目のサイクルで達し、以降、復元力特性は、 $R=1/33\text{rad.}$ のサイクルまで比較的耐力低下の小さい傾向を示し、C-1に比べてエネルギー吸収の大きい良好な履歴性状を示した。

なお、NC-1及びNC-2の復元力特性は、 $R=1/40\text{rad.}$ のサイクルまでほぼ同様な性状を示し、顕著な差異は認められなかった。

b) 2 シリーズ

M2-3及びM0-3についてみると、両試験体ともに復元力特性は、比較的エネルギー吸収の大きい安定した履歴性状となり最終時に至るまでほぼ同様な性状を示した。

次に軸力を大きくしたM2-5、M0-5及びM3-5について

みると、各試験体ともに最大耐力はほぼ同等であり、以降の耐力低下領域における各部材角の1回目のサイクルの包絡線は、NCSユニットを埋設した試験体が埋設していないM0-5を上回り、若干ではあるが履歴性状を改善することができた。また、この傾向は、NCSユニット径が大きくなるほど顕著となった。

なお、軸力を大きくした各試験体とも復元力特性は、M2-3及びM0-3と比較して、耐力低下が著しいが大変形領域になるほど履歴ループが太くなる傾向を示した。

3. 2. 3 軸変形

図-10に軸変形-部材角関係を示す。

A) 1 シリーズ

C-1についてみると、軸変形は、水平変形の増大に伴い蓄積され、進展している。最大耐力以降、耐力低下が顕著となった $R=1/66\text{rad.}$ のサイクルと同じ時期に軸変形も急増しはじめ、 $R=1/50\text{rad.}$ のサイクルに、著しい軸変形の増大とともに軸力が保持出来なくなり破壊に至った。

これに対して、NCSユニットを埋設したNC-1及びNC-2の両試験体の軸変形は、同一水平変形レベル時においてC-1と比較して小さくなる傾向を示した。

b) 2 シリーズ

M2-3及びM0-3についてみると、軸変形の進展状況は、最終時までほぼ同様な性状を示し、NCSユニットの埋設の有無による顕著な差異は認められなかった。なお、両試験体ともに軸変形は、 $R=1/14\text{rad.}$ のサイクルにおいてもわずかであった。

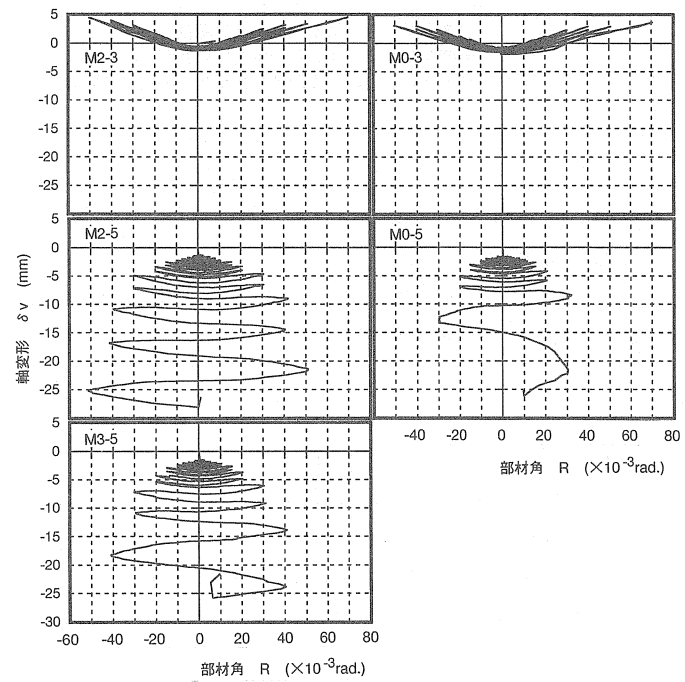
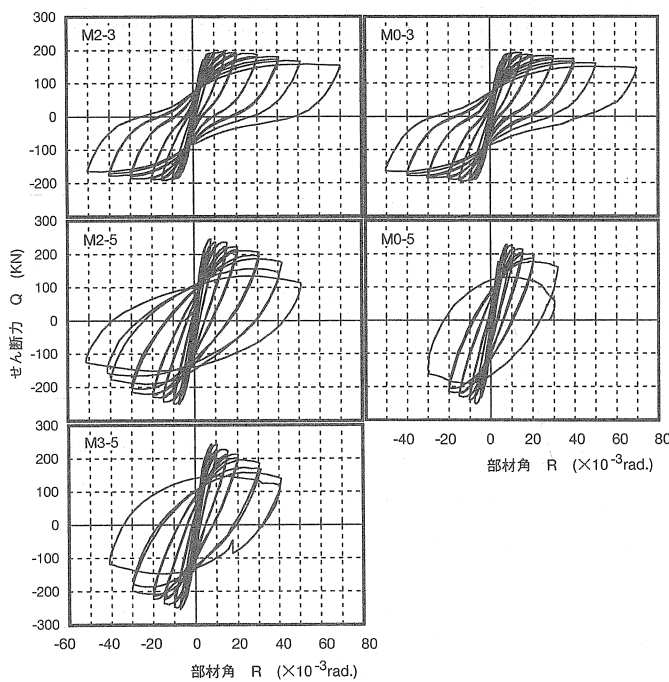
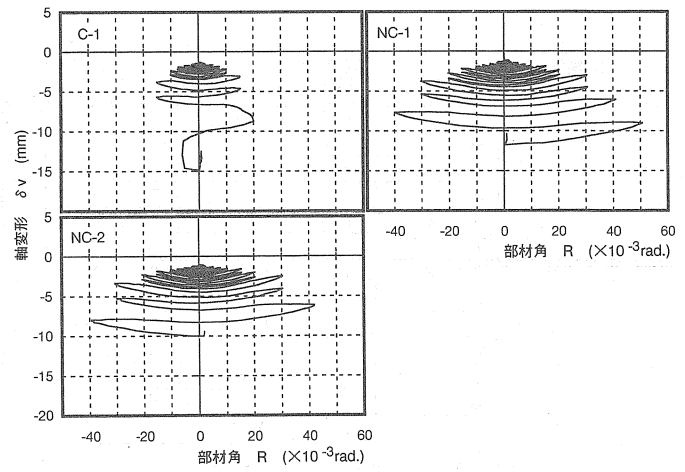
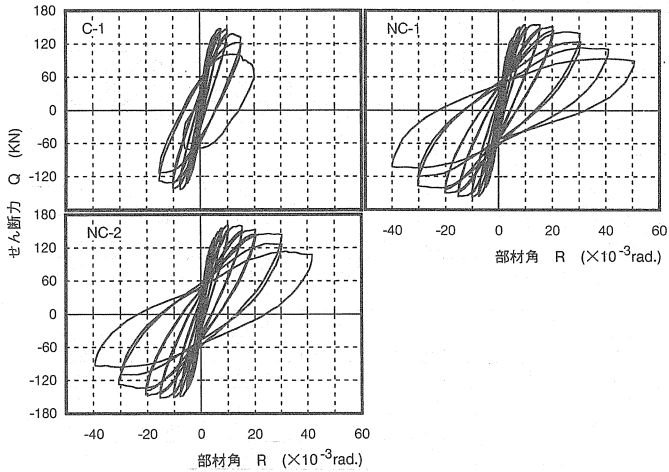


図-9 せん断力一部材角関係

図-10 軸変形一部材角関係

次に軸力を大きくしたM2-5、M0-5及びM3-5についてみると、軸変形は、水平変形の増大とともに蓄積されていく傾向がみられ、NCSユニットを埋設した試験体は、埋設していないM0-5に比較して軸変形の進展が抑制されており、その差は、 $R=1/50\text{rad.}$ のサイクル以降でより顕著になった。

3. 2. 4 実験値と計算値の比較

表-6に初期剛性、降伏時剛性及び最大耐力について、実験値と計算値の比較を示す。

なお、計算値における材料強度は、鉄筋及びコンクリートとも材料試験結果の値を用いた。

初期剛性の実験値は、せん断力一部材角関係から水平力載荷直後の割線剛性より求めた。また、1シリーズ及び2シリーズの降伏時剛性の実験値は、柱頭及び柱脚端

部危険断面位置の主筋のほとんどが降伏し、耐力がほぼ横ばいとなった時の値を評価することとし、1シリーズ及び2シリーズがそれぞれ $R=1/200\text{rad.}$ 時及び $R=1/133\text{rad.}$ 時の値とした。

初期剛性についてみると、計算値に対する実験値の比は、1シリーズが0.63~0.68、2シリーズが0.82~0.90となった。同様に、降伏時剛性についてみると、1シリーズが1.24~1.29、2シリーズが1.32~1.55となった。

初期剛性は、各試験体とも実験値が計算値を下回る傾向を示したが、初期剛性及び降伏時剛性ともNCSユニットの埋設の有無による顕著な影響は認められなかった。

次に最大耐力について実験値と計算値を比較する。

2シリーズの試験体で釣合軸力以下としたM2-3及びM0-3は、計算値に対する実験値の比が1.02~1.05となり

実験値と計算値の比較

表一 6 実験値と計算値の比較

試験体名		初期剛性			降伏時剛性			最大耐力	曲げ耐力計算値		せん断耐力計算値				
		実1	計1	実/計	実2	計2	実/計	実3	計3	実3/計3	計4	実3/計4	計5	実3/計5	
1シリーズ	C-1	正	43.6	64.7	0.67	30.4	24.3	1.25	148.1	111.8	1.33	193.2	0.77	148.7	1.00
		負	-	-	-	30.3		1.24	-143.2		1.28				0.96
	NC-1	正	40.9	64.9	0.63	31.2	24.3	1.28	155.9	112.4	1.39	193.4	0.81	149.0	1.05
		負	-	-	-	30.7		1.26	-155.9		1.39		0.81		1.05
	NC-2	正	44.6	65.6	0.68	31.5	24.5	1.29	160.8	113.6	1.41	193.6	0.83	149.3	1.08
		負	-	-	-	31.1		1.27	-149.1		1.31		0.77		1.00
2シリーズ	M2-3	正	64.2	73.1	0.88	30.6	22.0	1.39	194.2	184.6	1.05	218.7	0.89	261.2	0.74
		負	-	-	-	29.0		1.32	-191.2		1.04		0.87		0.73
	M0-3	正	61.7	73.1	0.84	30.2	21.6	1.40	191.2	187.0	1.02	221.9	0.86	263.9	0.72
		負	-	-	-	29.6		1.37	-194.2		1.04		0.88		0.74
	M2-5	正	67.6	75.1	0.90	44.3	28.6	1.55	246.1	185.3	1.33	287.4	0.86	263.9	0.93
		負	-	-	-	43.4		1.52	-251.1		1.35		0.87		0.95
	M0-5	正	65.4	75.4	0.87	42.1	28.6	1.47	228.5	187.4	1.22	287.8	0.79	264.1	0.87
		負	-	-	-	42.7		1.49	-254.0		1.36		0.88		0.96
	M3-5	正	64.5	79.0	0.82	45.3	30.0	1.51	243.2	183.5	1.33	300.3	0.81	266.8	0.91
		負	-	-	-	44.0		1.47	-255.0		1.39		0.85		0.96

計1 : 参考文献2) による初期剛性計算値 (KN/rad.)

計2 : 参考文献2) による降伏時剛性計算値 (KN/rad.)

計3 : 参考文献3) による曲げ耐力時せん断耐力計算値 (N)

計4 : 参考文献3) の修正荒川mean式によるせん断耐力計算値 (N)

計5 : 参考文献4) のA法によるせん断耐力計算値(Rp=1/100rad.)

(N)

比較的良い一致がみられた。

釣合軸力以上とした1シリーズの全試験体と2シリーズのM2-5、M0-5及びM3-5は、計算値に対して実験値が高くなる傾向を示した。

なお、いずれの試験体とも、NCSユニットの有無による最大耐力への顕著な影響は認められなかった。

4. まとめ

実験結果から以下のことが確認された。

NCSユニット単体の中心圧縮実験

- 1) 普通強度のコンクリートにおいて、スパイラル筋の降伏以降も大変形まで安定した耐力を保持した。
- 2) 支圧プレートの有無による差は、ほとんどみられなかった。

柱の曲げせん断実験

- 1) 帯筋による拘束力の小さい1シリーズの柱(中子筋無し、帯筋比pw=0.31%)は、NCSユニットの埋設による靱性の改善効果が著しいことがわかった。
- 2) 帯筋による拘束力が比較的大きい2シリーズの柱(中子筋有り、帯筋比pw=0.63%)は、釣合軸力以下ではそれほど大きな改善効果はみられないが、釣合軸力以上では、変形性能が大きく改善された。
- 3) NCSユニットを埋設していない柱は、最終的に急激に軸力保持できなくなるのに対して、NCSユニットを埋設した柱は、大変形まで安定して軸力を支えることができた。
- 4) 支圧プレートの有無による破壊性状への顕著な影響は認められなかった。

参考文献

- 1) 坪崎裕幸他:高靱性能柱を用いた超高層RC造建物の耐震性に関する研究(その1~7),日本建築学会大会学術講演梗概集,pp871~884,1991.9
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料
- 3) 日本建築学会:建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)
- 4) 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・同解説(1990)