# 論文 SBPDN 鉄筋の太さが円形 RC 柱の耐震性能に及ぼす影響に関する研究

木村 弘基\*1・竹内 崇\*2・武田 恭典\*3・孫 玉平\*4

要旨: 付着強度の低い超高強度鉄筋である SBPDN 鉄筋を主筋に用いた円形 RC 柱の耐震性能に及ぼす鉄筋径 の影響を明らかにするために,呼び直径 15mm の SBPDN 鉄筋を直径 300mm の円形 RC 柱に用い,片持ち柱 形式の試験体の一定軸力下における繰り返し載荷実験を実施した。その結果,従前より太径の SBPDN 鉄筋を 用いても円形 RC 柱は残留変形を小さく抑え,大変形域まで drift-hardening 性状を有することを明らかにした。 また,付着すべりの影響を考慮した部材解析により試験体の履歴挙動の評価を行い,解析結果は実験で得ら れた水平力-部材角関係を精度よく評価できることを明らかにした。

キーワード:レジリエンス、円形断面柱、付着すべり、定着長さ、断面解析

# 1. はじめに

近年生じた巨大地震による被害において、倒壊を免れ ても、大きな変形を残した建物の取り壊しや補修に多大 な費用を要したことから、建築物には地震時の安全性の みならず、地震後の使用性や修復性を確保し、早期復旧 を可能とする構造性能としてのレジリエンスも重要視さ れるようになった。孫らは、正方形断面RC柱の主筋に、 規格降伏強度が1275N/mm<sup>2</sup>でスパイラル状の溝を有し、 通常の異形鉄筋より付着強度が低い超高強度鉄筋 (SBPDN 1275/1420,以下SBPDN鉄筋)を用いれば、早期 の主筋降伏を回避することで、変形能を確保しつつ残留 変形を抑制でき、RC柱に優れたレジリエンスをもたらせ ることを報告している<sup>1-3</sup>。

蔡らは、SBPDN鉄筋を主筋に用いたせん断スパン比2 および3の円形断面RC柱の耐震性能を実験的に調べ、こ のような柱は、残留変形が抑えられるだけでなく、大変 形域まで耐力が継続的に上昇し続けるdrift-hardening性 状を示すこと<sup>4</sup>)、柱に薄肉鋼板による鋼板拘束を施せば、 耐力の上昇度合が一層高まり、より優れたレジリエンス を示すこと等を報告している<sup>5</sup>。また、せん断スパン比4 の柱試験体においても、径厚比150程度の薄肉鋼板で拘束 することで、大変形まで優れたレジリエンスを有するこ と<sup>68)</sup>を明らかにした。また、SBPDN鉄筋を用いた柱の 耐震性能の評価に関しては、付着すべりの影響を考慮し た部材解析で柱の履歴性状を大変形域まで精度良く追跡 できることが明らかにされている<sup>7</sup>。

しかしながら、これまでの研究は直径250mmの柱に、 U12.6のSBPDN鉄筋を用いた実際の1/3程度の縮尺の円形 断面RC柱について行われてきたものである。本柱の実用 化に際して、より太径のSBPDN鉄筋の使用が必要となる。 鉄筋径の変化がSBPDN鉄筋の付着応力特性に影響をも たらし、柱のレジリエンス性能が十分に発揮できるか否 かの検証の他、付着すべりの影響を考慮した解析で用い ている付着応力-すべり関係のモデルが、太径のSBPDN 鉄筋にも適用できるか否かを検証する必要がある。

そこで、本研究は、SBPDN鉄筋を主筋に用いた円形RC 柱の耐震性能に関して、従前の試験体より太い、主筋径 15mmのSBPDN鉄筋を用いた柱の耐震性能を実験的に検 証した上、主筋径の違いがSBPDN鉄筋の付着性状ないし 柱の履歴挙動に及ぼす影響について検討することを目的 としている。また、付着すべりの影響を考慮した断面解 析による柱の耐震性能の評価を行い、SBPDN鉄筋の直径 の変化が断面解析による耐震性能評価に及ぼす影響を解 析的に検討した。

#### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体概要

本研究に用いた3体の試験体の一覧を表-1に、配筋 詳細を図-1に示す。試験体は高層建築物の下層階の柱 を模擬した縮小モデルで、直径300mmの円形断面を有 する片持ち柱である。

コンクリートには調合強度 40N/mm<sup>2</sup> のレディーミク ストコンクリートを使用した。粗骨材の最大粒径は 20mm で,使用したセメントは普通ポルトランドセメン トである。実験時材齢の圧縮強度を**表-1**に示す。

柱の主筋としては、公称直径 15mm (呼び U15)の SBPDN 鉄筋 8 本を断面縁から 35mm 離れた位置に均等 配置した。主筋比は約 1.9%で、U12.6 の SBPDN 鉄筋を

*1	神戸大学大学院	工学研究科建築学専攻	大学阿	完生	(学生会員)	
*2	神戸大学大学院	工学研究科建築学専攻	助教	博士	(工学)	(正会員)
*3	トヨタ T&S 建設	株式会社 学士(工学)				
*4	神戸大学大学院	工学研究科建築学専攻	教授	工博	(正会員)	

表-1 試験体一覧

試験体名	D (mm)	a/D	f'c (N/mm <sup>2</sup> )			横補強形式					0 <sub>exp</sub>	Rexp	
				п	主筋	ј Туре	帯筋	$ ho_h$ (%)	鋼板	$\rho_t$ (%)	D/t	(kN)	$(\times 10^{-2} \text{rad.})$
RS20	300	$\begin{array}{c c} 2 \\ \hline \\ 4 \end{array}$	48.3	0.28	8-U15 ( <i>p</i> g=1.9%)	Spiral	D10@55	2.03	-	-	-	271	5.95
RS40			47.2	0.29								102	4.19
RS40T			47.0	0.29		Plate	D10@165	0.68	PL2.3	2.95	138	117	6.00

注, D:柱直径, a/D:せん断スパン比, f<sub>c</sub>:コンクリートシリンダー強度, n:軸力比, p<sub>g</sub>:主筋比, D/t:幅厚比, ρ<sub>h</sub>:スパイラル筋又はフープ筋体積比, ρ<sub>i</sub>:鋼板体積比, Q<sub>evp</sub>:最大水平力実験値(正負平均), R<sub>evp</sub>:Q<sub>evp</sub>時部材角(正 負平均)



用いた既往の試験体とほぼ同鉄筋比である。SBPDN 鉄筋 は、通常の異形鉄筋と丸鋼の中間的な付着性状を有する。 既往の研究における鉄筋の引抜試験において、コンクリ ート強度が40N/mm<sup>2</sup>前後の場合のSBPDN 鉄筋(ただし 鉄筋径は12.6mm)の付着強度は約3.0N/mm<sup>2</sup>であると報 告されている<sup>3)</sup>。付着強度が低く、主筋すべりを生じや すいため、主筋の上下端部にねじ切り加工を施し、ナッ トと鉄板を用いて機械式定着とした(図-1参照)。

3 体の試験体のうち試験体 RS40T には、厚さ 2.3mm の 鋼板を用いて柱全体に横拘束を施した。また、鋼板拘束 は、薄肉鋼板を半円状に折り曲げ加工し、2 枚を高力ボ ルトで接合することで作製し、型枠として予め配置した。 鋼板に曲げ及び軸力による軸方向応力を直接負担させな いために、鋼板と加力スタブの間には 6mm 程度の隙間 を設けている。鋼板拘束の試験体は、組み立て筋として D10 のシングルフープを 165mm 間隔で配置した。試験 体 RS20 と RS40 は、D10 のスパイラル筋による横拘束と し、スパイラル筋の間隔は 55mm とした。表-2 に使用

表-2 鋼材の力学的特性								
呼び	規格	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ey (%)	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (kN/mm <sup>2</sup> )			
U15	SBPDN 1275/1420	1336*	0.87	1431	199			
D10 Hoop	SD205 A	351	0.20	479	174			
D10 Spiral	5D295A	372*	0.20	510	189			
PL2.3	SS400	404	0.20	448	213			

注, f<sub>y</sub>:降伏点応力(\*は 0.2%オフセット耐力), s<sub>v</sub>:f<sub>v</sub>時ひずみ, f<sub>u</sub>:引張強さ, E<sub>s</sub>:弾性係数

した鉄筋の力学特性を示す。せん断スパン比(*a/D*)は,試験体 RS20 が 2.0 で,残りの 2 体が 4.0 である。

## 2.2 加力及び載荷方法

図-2に載荷装置の概要を示す。1000kN油圧ジャッキ で所定の軸力を与えてから、500kN油圧ジャッキを2台 使用して正負交番繰り返し水平力を作用させた。いずれ の試験体も載荷装置の制限により、所定軸力を960kNと 設定した。載荷は柱の部材角Rにより制御した。部材角 Rは、載荷点位置で計測したスタブに対する載荷点位置

の相対水平変位をせん断スパンで除することにより算出 した。載荷プログラムは部材角 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015 と 0.02rad.の各変位振幅での 2 回ずつの正負交番繰 返し載荷と部材角 0.025, 0.03, 0.035, 0.04 と 0.05rad.の変 位レベルでの1回ずつの正負交番載荷である。

主筋と横拘束筋にひずみゲージを貼付し、鉄筋のひず みを測定した。主筋については、図-1に示すように、 材軸方向に沿って5箇所あるいは7箇所の位置に,赤点 で示す最外縁に位置する2本の主筋にひずみゲージを貼 付した。横拘束筋については、図-1 に示すように、材 軸方向に沿って青塗りで示す3箇所の位置に各箇所2枚 ずつのゲージを貼付した。また、拘束鋼板の東西面(柱 のフランジ側に相当) 中央の, 柱脚から 20mm, 180mm, 340mm, 500mm, 740mm, 980mm, の6箇所に周方向の ひずみゲージを貼付し、最も柱脚に近い箇所では、2 軸 のひずみゲージを貼付することで、鋼板の周方向ひずみ の計測とともに鋼板に軸方向の応力が発生しているかを 確認した。

### 実験結果と考察

## 3.1 ひび割れ及び破壊性状

試験体 RS20 は、部材角 R=±0.0025rad.のサイクルの途 中で曲げひび割れが発生した。部材角 R=±0.01rad.のサイ



クルでかぶりコンクリートの剥離が始まり、その後、曲 げ圧縮側コンクリートの損傷が進行し,部材角 R=0.02rad. のサイクルにおいてかぶりコンクリートが剥落した。そ の後、かぶりコンクリートの剥落が進行したが、所定の 載荷プログラム終了まで水平耐力は伸び続けた。試験体 RS40は、部材角 R=±0.005rad.のサイクルの途中で曲げひ び割れが発生した。部材角 R=±0.02rad.のサイクルでかぶ りコンクリートの剥離が始まり、その後、曲げ圧縮側コ ンクリートの損傷が進行し, 部材角 R=±0.025rad.のサイ クルにおいてかぶりコンクリートが剥落した。その後, かぶりコンクリートの剥落が進行したが、所定の載荷プ ログラムが終了するまで、水平耐力はほとんど下がらな かった。鋼板拘束の試験体 RS40T については、所定の載 荷が終了するまで、大きな損傷は確認されず、水平耐力 が緩やかに伸び続けた。拘束鋼板は、部材角 R=±0.02rad. で柱脚から 20mm の位置で東西面ともに降伏ひずみに達 し、部材角 0.06rad. でスタブと拘束鋼板の接触を確認し た。所定の載荷プログラムの終了後に、最大耐力を確認 するため、部材角 0.06rad.までの載荷を実施した後に、 押切載荷を行い,試験体 RS20 と RS40T は,いずれも部 材角 0.06rad. で最大耐力を迎えたことを確認した。

図-3 に載荷終了後の損傷状況を示す。試験体 RS40T は載荷後に拘束鋼板を取り外した後の損傷状況である。 鋼板拘束した試験体には軽微な曲げひび割れと縦ひび割 れしか観察されず、かぶりコンクリートの大きな剥落や せん断ひび割れの発生は見られず、薄肉鋼板による拘束 効果が十分得られたものと考えられる。せん断スパン比 2 でスパイラル筋拘束の試験体 RS20 は、柱脚部から約 280mm までの範囲で曲げひび割れが発生し,高さ320mm 程度までコンクリートの損傷が見られた。せん断スパン 比4でスパイラル筋拘束の試験体 RS40 は、柱脚部から 約 430mm までの範囲で曲げひび割れが発生し、高さ 280mm 程度までのコンクリートの損傷が見られた。せん 断スパン比4で鋼板拘束の試験体 RS40T は, 柱脚部から 約 330mm までの範囲で曲げひび割れが発生しており,



Ν

W



目立ったコンクリートの剥落は見られなかった。いずれ の試験体においても曲げひび割れ幅は柱脚部に発生した ものが最も大きく,曲げ変形は柱脚部に集中していた。

**3.2 繰返し履歴性状** 

図-4 に所定の載荷プログラムまでで得られた各試験 体の水平力-部材角関係を示す。図-4 中の破線は P- $\Delta$ 効果による耐力の低下ラインを示す。いずれの試験体も 最終サイクルまで,原点指向型の履歴性状を示しており, 特に試験体 RS20 においては,部材角 R=0.05rad.まで耐力 が顕著に上昇し続けた。試験体 RS40 は,部材角 R=0.015rad.で最大耐力に達した後, P- $\Delta$  効果の影響を受 けて,水平耐力はわずかに低下したが,その低下度合い は P- $\Delta$  効果による低下分と比べて非常に小さい。また, 鋼板拘束でせん断スパン比 4 の試験体 RS40T は部材角 R=0.05rad.まで耐力が上昇し続けた。

図-5 に各試験体の柱脚断面における曲げモーメント -部材角関係(正負平均)の比較を示す。鋼板拘束の試 験体 RS40T とスパイラル筋拘束の試験体 RS40を比較す ると,試験体 RS40 におけるかぶりコンクリートの剥落 が始まる部材角 *R*=0.02rad.近傍から,両者の耐力差が大 きくなり始め,スパイラル筋拘束の試験体よりも鋼板拘 束の試験体の方が約 15%程度高い耐力を示した。また, せん断スパン比の異なる試験体 RS20 と RS40の曲げモー メントー部材角関係を比較すると,試験体 RS20 の水平 耐力が約 7%程度高くなっていることがわかる。これは, 試験体 RS20 の方が,試験体 RS40 より SBPDN 鉄筋の定 着間距離(定着長さ)が短いため,ヒンジ領域で発生し た鉄筋の付着すべりが早期に主筋の定着部まで伝わり, 主筋ひずみの発生と上昇が早まり,水平耐力への増大に つながったものと思われる<sup>8)</sup>。

図-6 に本論の試験体及び既往研究 <sup>5,7,8)</sup>の試験体の残 留部材角(*R<sub>res</sub>*)の実験結果を示す。部材角 *R*=0.015rad.まで 試験体間の違いは殆どないが,かぶりコンクリートの剥 落が始まる *R*=0.015rad.から試験体 RS40 の残留部材角の 増大が顕著になっている。また,試験体 RS20 も *R*=0.01rad. からかぶりコンクリートの剥離が始まるが,試験体 RS40 と比べて P-Δ 効果の影響が小さいため,残留部材角は低 く抑えられた。また,本論の試験体 RS20 と RS40 は,そ れぞれ柱直径 250mmの試験体 RS20<sup>5</sup>と RS40U<sup>8</sup>と同様 の傾向を示しており,柱断面直径の変化による残留部材 角への影響は無いことがわかる。

### 3.3 付着応力

試験体の付着応力を調べるために,主筋ひずみの計測 値から付着応力を推測することを試みた。付着応力は図 -1 に示す主筋に貼付した複数枚のひずみゲージを用い て,高さ方向に隣り合う二枚のひずみゲージから得たひ ずみの差を用いて,その間の平均付着応力度を以下の式 で算出した。

 $\tau = \Delta \varepsilon \times E_s \times A_s / (l \times \pi \times D_s)$ (1) ここで、  $\Delta \varepsilon$  は主筋ひずみの差、  $E_s$  は鉄筋のヤング係数、

Asは鉄筋の断面積,1はひずみゲージ間距離,Dsは鉄筋 の直径である。SBPDN 鉄筋は大変形域に達するまで降伏 に至らないので,主筋のひずみ差に弾性係数を乗じて付 着応力を求めた。図-7 に実験で計測された鉄筋のひず みゲージから算定されたある区間における鉄筋の付着応 力と部材角関係の一例を示す。

図-8 に本論の試験体と既往研究 <sup>5,7,8)</sup>の試験体毎の主 筋ひずみから求めた付着応力の高さ方向に沿う分布を示 す。ここで、ひずみの計測結果が不調であった箇所のデ ータは除外している。図中の横軸は各計測区間で得られ た付着応力一部材角関係のピーク点での付着応力値を、 縦軸は付着応力の計測高さをせん断スパンで除したもの を表す。また、付着応力がピーク点を迎えた時の部材角 は、部材角 R=0~0.01rad.が全体の 63.9%、部材角 R=0.01~0.02rad.が 22.7%、部材角 R=0.02~0.04rad.が 8.4% であった。図-8 より、ばらつきはあるものの、直径 250mm と 300mm の試験体の正負側のピーク付着応力は およそ 1N/mm<sup>2</sup> - 4N/mm<sup>2</sup>の範囲内にあることが分かり、 鉄筋径の違いによる付着強度の明瞭な差は見られなかっ た。

#### 4. 解析による耐震性能評価

SBPDN 鉄筋を主筋に用いた RC 柱の場合, 付着すべ りの影響が顕著となるため、従前の平面保持仮定をべ ースにした解析手法では、履歴挙動を適切に評価でき ないことが既往の研究で報告されている<sup>3,7)</sup>。本論では, 船戸らの手法 3を準用して、鉄筋とコンクリート間の 付着-すべり関係を考慮できる分割要素解析を行った。 この解析は、柱をヒンジ領域と付着バネ領域に離散化 したうえ、付着バネ領域からの鉄筋抜け出し量を付着 応力-すべり量関係を用いて算出してから、ヒンジ領 域内の鉄筋のひずみないし応力を求める手法である。 また、ヒンジ領域のコンクリート断面に対してはファ イバー法により M-o解析を行うものである。なお、コ ンクリート強度 f'c は各試験体の実験時のシリンダー 強度を用い, 寸法効果の影響を考慮した無拘束コンク リート強度 f<sub>0</sub> は式(3)により計算した<sup>9</sup>。付着強度 t<sub>max</sub> は文献3に従い、3N/mm<sup>2</sup>として解析を行った。

$$f_{p} = 1.61 \times d^{-0.1} \times f'_{c} \tag{3}$$

ここで, d はコンクリート断面直径である。

図-9 に本論の試験体と既往の研究の試験体 <sup>5.7.8)</sup>の 正側材端モーメントと部材角の履歴曲線の実験結果と 解析結果との比較を示す。試験体 RS20, RS40T は概 ね精度よく実験結果の履歴挙動を評価できることがわ かる。その他4体の試験体は,耐力を10~13%の過小 評価となったが,耐力の変遷の傾向や残留変形は適切 に評価できている。

一方、本柱を実用化する際に、断面寸法の増大に伴って、SBPDN 鉄筋の定着長さ  $L_s$ が縮小試験体のそれより長くなるため、 $L_s$ の変化の影響を明らかにする必要がある。そこで、本解析は実験で生じる諸現象を概ね再現できていると見なした上で、本研究で述べた試験体(RS20, RS40)と既往の研究の試験体(RS20U<sup>5)</sup>, RS40U<sup>8)</sup>)について、 $f'_c$ =45N/mm<sup>2</sup>、軸力比 n=0.33、 $\tau_{max}$ =3N/mm<sup>2</sup>、鉄筋の材料諸元は今年度の引張試験結

果を用いるものと統一した,仮想試験体の解析結果の比較を行った。仮想試験体はベース試験体の名前の後に"-V"をつけて示す。

仮想試験体での解析結果の比較により、断面サイズが 変化した際の影響を調べるために、図-10に仮想試験体 RS20-VとRS20U-V、及び仮想試験体RS40-VとRS40U-V の解析により求めた柱脚曲げ応力度と部材角関係の包絡 線の比較を示す。曲げ応力度は曲げモーメントを柱の断 面係数で除して求めた。仮想試験体RS20-VとRS20U-V においては、前者の曲げ応力度が約5%程度上回ってい たが、仮想試験体RS40-VとRS40U-Vにおいては、両者 の差はほとんど見られなかった。

ここで図-11 に、図-10 に示した柱脚曲げ応力度の 鉄筋負担分の比較結果を示す。ここで、柱脚曲げ応力度





の鉄筋負担分は、解析により求めた主筋応力によって生 じる断面中央軸周りの曲げモーメントを断面係数で除し たものである。図よりわかるように、仮想試験体 RS20-V と RS20U-V の差が仮想試験体 RS40-V と RS40U-V の差 よりも大きくなっている。これは主筋ひずみの分散効果 に影響する<sup>8)</sup>主筋の定着間距離  $L_s$  (柱上下に配置した主 筋定着板間の長さ)とヒンジ領域長さ  $L_p$  (=1.0D)の比 (= $L_p/L_s$ )が仮想試験体間で異なっているためと考えられ る。各試験体の  $L_p/L_s$ の詳細な数値は、0.70(RS20), 0.74(RS20U), 0.81(RS40), 0.83(RS40U)であり、a/D=4の 試験体は  $L_p/L_s$ が 0.8 以上になり、定着間距離の影響をほ とんど受けなかったと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、SBPDN 鉄筋(U15)を主筋に用いた直径 が300mmの円形断面 RC柱の耐震性能に関して実験的検 討を行った。付着すべりの影響を考慮した断面解析によ って実験値との比較を行い、以下の知見を得た。

- 従前より太径のSBPDN鉄筋(U15)を用いたせん断 スパン比2の円形柱は、既往試験体と同様に、残留 変形が小さく抑えられ、大変形まで水平耐力が上昇 し続け、顕著な drift-hardening 性能を有する。
- 2) せん断スパン比4の円形柱も、薄肉鋼板拘束を施せば、比較的高い軸力下においても、耐力低下することなく、大変形まで drift-hardening 性能を有する。
- 3) 付着すべりの影響を考慮した部材解析手法は、本論の試験体及び既往研究の試験体の履歴挙動を概ね精度よく再現できる。
- 4) SBPDN鉄筋を主筋に用いたRC柱の耐震性能の解析

結果はヒンジ領域長さと主筋定着間距離の比の影響 を受けるが、その度合いは5%程度であった。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり,神戸大学大学院生・孫玉宇 氏,同学部生・石川百花氏及び神戸大学技術職員・金尾 優氏の多大な協力を得た。本実験の試験体に使用した SBPDN 鉄筋は高周波熱錬(株)より御提供頂いた。ここに 記して謝意を示します。

## 参考文献

- 谷昌典,孫玉平,小山智幸,小山田英弘:フライア ッシュを外割混合したコンクリートを用いた RC 柱 部材の力学性状,コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.73-78, 2010
- 2) 仲井士門,橘高将義,谷昌典,孫玉平:主筋比及び 軸力比が超高強度鉄筋を主筋に用いた RC 柱の耐震 性能に及ぼす影響,コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.157-162, 2011.7
- 3) 船戸佑樹,孫玉平,竹内崇,蔡高創:スパイラル溝 を有する超高強度鉄筋の付着特性のモデル化と柱部 材の履歴解析への応用,コンクリート工学年次論文 集, Vol.34, No.2, pp.157-162, 2012.7
- 4) 蔡高創,孫玉平,竹内崇,藤永隆:付着強度の低い 超高強度鉄筋を用いた円形断面 RC 柱の耐震性能に 関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.35, No.2, pp.145-150,2013 年7月
- 5) 蔡高創,孫玉平,竹内崇,藤永隆:超高強度鉄筋を 用いた円形断面 RC 柱耐震性能に関する研究 その 3 せん断スパン比,軸力比及び横補形式の影響,日 本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV, pp.533-534, 2013.8
- Sargsyan Grigor, 竹内崇,田中祐太郎,孫玉平:レジリエントな円形 RC 柱の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.187-192, 2015.7
- 7) Sargsyan Grigor, Yutaro TANAKA, Takashi TAKEUCHI, Yuping SUN: Seismic Behavior and Assessment of Circular Concrete Columns Reinforced by Ultra-High Strength Rebars, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.193-198, 2016.7
- \*村弘基, Sargsyan Grigor, 竹内崇, 孫玉平: SBPDN 鉄筋を用いた円形断面 RC 柱の耐震性能に関する実 験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol39, No.2, pp.127-132, 2017.7
- Y P Sun, K Sakino : Modelling for the Axial Behavior of High Strength CFT Columns, 23rd Conference on Our World in Concrete & Structures, 1998.8