# 論文 場所打ち鉄筋コンクリート杭のせん断挙動に関する基礎的研究

# 酒向 靖二\*1·山田 和夫\*2·山本 俊彦\*3

要旨:本研究では、せん断力を受ける場所打ちRC杭のせん断耐力および変形特性に及ぼ すせん断補強筋量および軸力の影響について一連の実験的検討を行った。その結果:①RC 杭の曲げ耐力は、e関数法によってほぼ推定できること;②RC杭のせん断耐力は、円形断 面を等価な正方形断面に置換して求めた荒川式による計算値とほぼ同等の値(耐力比: 1.04)を示すこと;③RC杭の変形性能は、せん断補強筋量の増加とともに著しく向上し、 限界変形は、部材角にして約1/160から1/30まで増大すること、などが明らかになった。 キーワード:場所打ち鉄筋コンクリート杭、せん断実験、せん断耐力、せん断補強筋

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震において, いくつかの場所打ち鉄筋コンクリート(以下, RCと略記) 杭に被害のあったことが報告され ている<sup>1)</sup>が,それらの主な破壊形態が場所打ち RC杭のせん断破壊であったことから、基礎構 造の耐震性の確保が求められている。建設省総 合開発プロジェクト(新建築構造体系の開発) では、場所打ちRC杭の2次設計法の確立を目的 とした基礎的研究として、昨年、せん断スパン 比、軸力比およびせん断補強筋比を実験要因と した実大場所打ちRC杭の曲げせん断実験を実 施し、場所打ちRC杭の地震時挙動について一 連の検討を行っている<sup>2)~7)</sup>が、今のところ場所 打ちRC杭に関する実験データは極めて乏しく、 終局せん断および曲げ耐力、変形特性などとい った基本的性質についても十分には把握されて おらず、設計法を確立するためには、今後さら に多くの実験データの蓄積が必要である<sup>8)</sup>。

この点を踏まえて、本研究では、円形断面を 有する場所打ちRC杭の耐震性能の解明を目的 とした基礎的研究として、まずせん断力を受け る1/3スケール場所打ちRC杭のせん断耐力およ び変形特性に及ぼすせん断補強筋量および軸力 の影響について一連の実験的検討を行った。

# 2. 実験方法

## 2.1 試験体

本実験では,表-1および図-1に示すよう に,全長2,700mm,杭断面D=φ300mm,せん断 スパン900mm,せん断スパン比M/QD=1.5の鉄 筋コンクリート製スタブ(断面寸法:400x500 mm)付のRC杭試験体を4体製作し,RC杭部の せん断補強筋量(補強筋なし,補強筋間隔が100 (Pw=0.08%)および50mm(Pw=0.17%)の3種類,な お補強筋としてφ4の磨き鋼棒を使用した)お

表-1 実験の概要

記 号	軸力 (MPa)	杭部寸法 (mm)	曲げ主筋 [Pg(%)]	せん断 補強筋 [Pw(%)]	
SP-00	0	φ 300x900	14-D13 [2.51]		
SP-10	0	φ 300x900	14-D13 [2.51]	φ <b>4-@100</b> [0.08]	
SP-05	0	φ 300x900	14-D13 [2.51]	φ 4-@50 [0.17]	
SP-05F	7.5	φ 300x900	14-D13 [2.51]	φ <b>4-@50</b> [0.17]	

\*1 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻(正会員)

- \*2 愛知工業大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)
- \*3 大同工業大学教授 工学部建設工学科 工博(正会員)



(a) SP-00試験体

表一2 コンクリートの調合表

W/C	s/a	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								
(%)	(%)	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤				
61.0	47.5	292	178	832	987	2.920				

よび軸力(N=0および7.5MPaの2種類,ただし 補強筋間隔は50mmの場合のみ)を実験要因と して単調漸増せん断加力実験を行った。なお, いずれの試験体も,杭部には主筋として14-D13 (Pg=2.51%)が,スタブ部には主筋として4-D22, せん断補強筋としてD13@100が配筋してある。

2.2 試験体の製作および養生方法

杭体部コンクリートの製作に際しては,表-2に示すように,普通ポルトランドセメント, 瀬戸産の細骨材(最大寸法=5mm,表乾比重 =2.56),瀬戸および菅島産の混合粗骨材(最大 寸法=25mm,表乾比重=2.60(瀬戸産),2.97(菅 島産)),並びにAE減水剤を使用した。RC杭 試験体は,まず杭体部のみを製作し,コンクリ ート打設後約7週間で脱型した後にスタブ部の コンクリートの打設を行った。試験体は,スタ ブ部コンクリートの打設後約5週間で脱型した 後,試験直前まで実験室内でシート養生を行っ た。試験材齢は,10~12週(杭体部)であった。

2.3 加力および測定方法

加力および測定方法の概要を図ー2に示す。 試験体の加力およびせん断スパン内の相対変位 の測定には、それぞれ300/100tf長柱試験機およ び2個の電気式変位計を使用し、変形角が約1/30 となるまで一方向単調漸増載荷を行って荷重-変位関係を測定した。また、載荷中50kNの荷 重段階毎(最大荷重後は相対変位2mm毎)にひ





- 494 -

び割れ状況の観察を行うとともに, 図-3に示す位置で杭体部の主筋 とせん断補強筋のひずみ度の測定 も行った。

3.実験結果とその考察

本実験で用いたコンクリートお よび鉄筋の材料試験結果を一覧表 にして,表-3(a)および(b)に 示す。これらの表によれば,場所 打ちRC杭のせん断実験直前および

直後におけるコンクリートの引張強度,圧縮強度およびヤング係数は、それぞれ
2.41~ 2.57MPa(平均:
2.49MPa), 27.7~28.8 MPa
(平均: 28.3MPa)および2.70

~2.65x10<sup>4</sup>MPa(平均:2.68x10<sup>4</sup>MPa)であり、
実験前後の強度変化は殆ど認められなかった。
また、杭体部の主筋(D13)およびせん断補強
筋(φ4)は、降伏点がそれぞれ339.3MPaおよび
び 470.7MPa,引張強さが491.8MPaおよび
524.9MPa,並びにヤング係数が1.97x10<sup>5</sup>MPaおよび
よび1.99x10<sup>5</sup>MPaであった。

表-3 材料試験結果 (a)コンクリート(杭部)

材 齢 (週)	<b>養</b> 生 方法	引張引	鱼度試験	圧縮引	鱼度試験	ヤング		
		王明	強度	毛明	強度	係数		
		儿里	(MPa)	儿里	(MPa)	(MPa)		
1	水中	2.32	1.75	2.32	18.2	2.25x10 <sup>4</sup>		
1	封緘	2.33	1.65	2.33	14.1	2.13x10 <sup>4</sup>		
4	水中	2.32	2.40	2.32	25.2	2.64x10 <sup>4</sup>		
	封緘	2.33	2.31	2.33	23.7	2.65x10 <sup>4</sup>		
10 *	封緘	2.31	2.41	2.31	27.7	2.70x10 <sup>4</sup>		
12 *	封緘	2.30	2.57	2.30	28.8	2.65x10 <sup>4</sup>		

		`	Ad.	And in
1	h	٠,	<u> 272</u>	ar
۰.	IJ			871

重類	呼び名	絞り率 (%)	伸び率 (%)	降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	ヤング 係数 (MPa)				
主筋	D13	56.0	29.3	339.3	491.8	1.97x10 <sup>5</sup>				
帯 筋	φ4	83.2	15.9	470.7*	524.9	1.99x10 <sup>5</sup>				

[注] \*:0.2%オフセットポイント。

#### 3.1 破壊状況

図-4(a)~(d)は、試験体の最終破壊状況 を示したものである。これらの図によれば、軸 力を加えていない試験体(SP-00, SP-10および SP-05試験体)では、いずれの場合も曲げひび 割れ発生後にせん断ひび割れが発生し、最終的 にはせん断ひび割れが杭両端部にまで拡大・進



図-4 試験体の最終破壊状況

— 495 —

	各種ひび割れ発生時・最大耐力時の荷重および変位の実験値									計算値			
記号	曲げひ	び割れ	せん断び	ひび割れ	付着ひび割れ		最大耐力時		終局曲げ耐力		せん断耐力		
	Qb (kN)	δь (mm)	Qs (kN)	δs (mm)	Qp (kN)	δ <sub>p</sub> (mm)	Qu (kN)	δu (mm)	Q <sub>mc</sub> <sup>*1</sup> (kN)	耐力比 Qu/Qmc	Quc <sup>*2</sup> (kN)	耐力比 Qu/Quc	
SP-00	17.3	0.21	60.0	1.41	106.6	3.81	106.6	3.81	140.8	0.76	98.4	1.08	
SP-10	17.8	0.38	61.3	2.02	105.8	4.27	126.6	11.3	140.8	0.89	130.2	0.96	
SP-05	23.5	0.48	88.2	3.53	105.8	5.21	139.9	19.62	140.8	0.99	143.3	0.98	
SP-05F	78.5	0.86	141.1	2.73	176.4	4.95	210.0	10.33	206.2	1.02	184.6	1.14	

表一4 実験結果一覧

[注] Q: せん荷重、δ: 相対変位、\*1:e関数法による結果、\*2: 荒川式による結果。

展することによって破壊に至っているのが読み 取れる。また、せん断補強筋量の多い試験体ほ ど曲げひび割れの本数も多く、かつ材軸位置で のせん断ひび割れの傾きが大きくなる傾向を示 しているのがわかる。これに対して、軸力を 7.5MPa加えた試験体(SP-05F試験体)の場合に は、最大耐力後に圧縮側コンクリートが剥落し て軸力を保持できなくなり、最終的には圧縮せ ん断によって試験体は破壊に至った。

3.2 せん断耐力

表-4は、本実験結果を一覧表にして示した ものである。ただし、表中の終局曲げ耐力の計 算値は、RC杭断面の平面保持を仮定し、圧縮 側コンクリートおよび主筋の応力度-ひずみ度 関係を、それぞれe関数式および完全弾塑性式 で近似した断面分割法(RC杭断面を100層に分 割し、引張側コンクリートの応力度-ひずみ度 関係は線形とした)によって算定した結果であ り、せん断耐力の計算値は、円形RC杭断面を 等価な正方形断面に置換して求めた荒川式<sup>9</sup>に よる結果である。表-4によれば、軸力を加え ていない場合には、曲げおよびせん断ひび割れ 発生荷重と最大耐力は、せん断補強筋量が多く なるほど増大するが,付着ひび割れ発生荷重は, せん断補強筋量にかかわらずほぼ同程度である ことがわかる。また、破壊に至るまでに主筋の 圧縮ひずみ度が0.3%以上となったSP-05および SP-05F試験体(3.4節参照)の最大耐力の実 験値とe関数法による曲げ耐力の計算値との比 (Qu/Qmc)は、それぞれ0.99および1.02であり、



実験値と計算値とはよく一致している(図-5 参照)。一方,最大耐力の実験値と荒川式によ るせん断耐力との比(Qu/Quc)は,0.96~1.14で 平均1.04となり,荒川式による計算値は,ほぼ 実験値と同等の結果を示した。なお,各種耐力 時の相対変位は,一般的にせん断補強筋量が多 い試験体ほど増大する傾向を示している。

3.3 荷重-変位関係

図-6は、本実験で得られた荷重-変位関係 を試験体の種類別に示したものである。図によ れば、曲げひび割れ発生時までの段階の初期剛 性およびせん断ひび割れ発生時から付着ひび割



<u> — 496 —</u>

れ発生時までの間の剛性は、いずれもせん断補 強筋量による差はそれほど認められないが、付 着ひび割れ発生時から破壊に至るまでの範囲に おける荷重-変位関係は、試験体の種類によっ て著しく相違しているのがわかる。すなわち、 せん断補強筋のないSP-00試験体では、付着ひ び割れ発生直後に試験体はせん断破壊し、荷重 一変位関係は極めて脆性的な性状を示している が、せん断補強筋が配筋されているSP-10およ びSP-05試験体の場合には、曲げ主筋の引張降 伏後に付着ひび割れが発生し、部材剛性の急激 な低下は認められるものの、その後最大耐力に 至るまで安定した耐荷性能を示している。これ に対して、軸力を7.5MPa加えたSP-05F試験体の 場合には、付着ひび割れ発生後も剛性の低下は 比較的緩やかであり、最大せん断耐力も著しく 大きくなっている。また、限界変形角Ruを最大 耐力の80%まで耐力が低下した時点の最大変形 角と定義すると、SP-00、SP-10、SP-05および SP-05F試験体のRuは、それぞれ1/160、1/65、1/40

および1/30となり、せん断補強筋量の増加とと もに著しく増大した。

## 3.4 荷重-ひずみ度関係

図-7(a)~(d)は, RC杭端部主筋の荷重 -ひずみ度関係を試験体別に示したものであ る。図によれば,一般的にせん断補強筋量の少 ない試験体ほど同一荷重時のひずみ度が小さく なっているのがわかる。すなわち, SP-00試験 体は主筋が降伏する前にせん断破壊しているた め,荷重-ひずみ度関係は,ほぼ線型関係を示 しているが, SP-10, SP-05およびSP-05F試験体 は,せん断補強筋量が増加するほど主筋降伏後 のひずみ度の増大傾向も著しくなっている。

図-8(a)および(b)は、それぞれSP-10試 験体およびSP-05試験体のせん断補強筋の荷重 ーひずみ度関係を示したものである。図によれ ば、せん断補強筋のひずみ度は、いずれの試験 体もせん断ひび割れ発生直後に急激に増大して おり、特にRC杭端部位置にある補強筋のひず み度は、最大耐力の時点で引張降伏に至るまで



-497-



増大しているのがわかる。また,一般的にせん 断補強筋量が少ない試験体ほど,同一荷重時の ひずみ度は大きくなる傾向を示している。

## 4. 結 論

本研究の結果を要約すると,およそ次のよう にまとめられる。

- 1) 円形断面を有するRC杭の曲げ耐力は, e関 数法によってほぼ推定できる。
- 2) RC杭のせん断耐力は、円形断面を等価な 正方形断面に置換して求めた荒川式による 計算値とほぼ同等の値(耐力比:0.96~1.14 (平均で1.04))を示した。
- 3)載荷初期から付着ひび割れ発生時までの段階におけるRC杭の変形性能は、せん断補強筋量による相違が殆ど認められないが、 付着ひび割れ発生後から最大耐力に至るまでの間の変形性能は、せん断補強筋量の増加とともに著しく向上し、限界変形は、部 材角にして約1/160から1/30まで増大した。
- 4) 主筋のひずみ度はせん断補強筋量が多いほど増大するが、せん断補強筋のひずみ度は逆に低下する。

#### 参考文献

- 山肩邦夫:兵庫県南部地震による建築物杭基礎の被害の特徴と今後の対策,基礎工, Vol.24, No.11, pp.9-16, 1996
- 2) 白都滋·稲村敏夫·田村昌·勅使河原正臣:実

物大場所打ちRC杭に実験的研究, コンクリート工学 年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.895-900, 1998

- 3)稲村利男・田村昌仁・宮本和徹・柴崎富士夫・ 山本俊彦・山田和夫:場所打ちコンクリート杭の杭体 および接合部の耐力評価に関する実験的研究 (その1 実験概要),日本建築学会大会学術講 演梗概集(九州),pp.711-712, 1998
- 4)渡部 憲・山本俊彦・本田義博:場所打ちコンクリ ート杭の杭体および接合部の耐力評価に関する実験的研究(その2 使用材料の強度特性と温度応力),日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),pp.713-714,1998
- 5) 無津呂大輔・矢島淳二・矢田哲也:場所打ちコン クリート杭の杭体および接合部の耐力評価に関する 実験的研究(その3 実験結果),日本建築学会 大会学術講演梗概集(九州),pp.715-716,1998
- 6) 柴崎富士夫・山本俊彦・山田和夫・板垣浩三・ 白都 滋:場所打ちコンクリート杭の杭体および接合 部の耐力評価に関する実験的研究(その4 実 験結果の検討),日本建築学会大会学術講演梗 概集(九州),pp.717-718,1998
- 7)山本俊彦・山田和夫・勅使川原正臣・藤木秀則 ・中村洋行:場所打ちコンクリート杭の杭体および接 合部の耐力評価に関する実験的研究(その5 変形および耐力の評価),日本建築学会大会学 術講演梗概集(九州),pp.719-720,1998
- 8)吉田誠・山本俊彦・山田和夫:鉄筋コンクリート杭の 曲げせん断挙動に関する実験研究, コンクリート工学 年次論文報告集, Vol.21, 1999(投稿中)
- 9)日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解 説,1991