

論文 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁の繰返し荷重下におけるせん断性能

高橋 拓也*1・金久保 利之*2・岡田 健良*3・高橋 辰弥*4

要旨：本研究では、溶接組立鉄筋ユニットを用いたキャップタイ工法による鉄筋コンクリート造基礎梁の繰返し荷重下におけるせん断性能を把握する目的として、キャップタイの種類およびコンクリート強度を実験因子としたせん断破壊先行型の試験体を作製し、建研式の正負繰返し加力実験を行った。実験の結果、キャップタイ工法による試験体のせん断強度は、繰返し荷重下においても通常の 135° フック筋の試験体と同等以上であった。また、繰返し加力試験体のせん断力-部材角関係は、正側加力では単調加力試験体と同等の性状を示し、負側加力では性能が低下する様子が伺えた。

キーワード：組立鉄筋, 溶接鉄筋, ダブル配筋, キャップタイ, せん断強度, 繰返し加力

1. はじめに

従来の一般的な工法における鉄筋コンクリート造基礎梁の配筋においては、せん断補強筋の端部にフックを設け主筋に定着させる方法がとられているが、現場での作業が煩雑であり作業時間も長くなるという問題がある。現在、現場作業の効率化を図りシングル配筋の溶接組立鉄筋が開発され、主に戸建住宅の基礎梁への採用が進められている。これを他の構造物に应用することを狙ってダブル配筋に拡張し、3次元状に折曲げ加工したキャップタイと組み合わせる新たな工法が提案されている¹⁾²⁾。

著者らによる既報¹⁾において、本工法を用いた梁部材のせん断強度は、通常配筋のものと同様以上の性能を持つことが示された。しかしながら、この実験では単調加力を採用したため、繰返し荷重下のせん断性能については未解明である。本研究では、本工法を用いた基礎梁部材の繰返し荷重下のせん断性能を確認することを目的として、梁部材試験体を作製し、建研式正負繰返し加力実

験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体形状を図-1に、試験体一覧を表-1に示す。

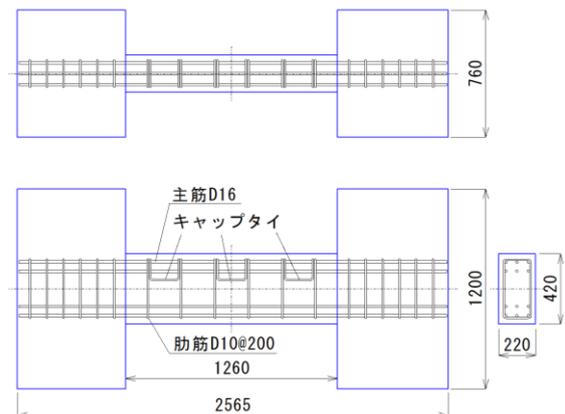


図-1 試験体形状

表-1 試験体一覧

試験体名	共通事項	コンクリート目標強度 (MPa)	キャップタイ	
			タイプ	配筋
No.0-1	断面 $b \times D$ (mm)=220×420 せん断スパン比 1.5 主筋 6-D16(SD490) $p_f=1.55\%$ 肋筋 2-D10@200(SD295) $p_w=0.32\%$	18	(通常配筋 135° フック)	
No.1-1			II	シングル (1つ間隔)
No.1-2			III	
No.1-3		IV		
No.0-2		30	(通常配筋 135° フック)	
No.1-4			II	シングル (1つ間隔)
No.1-5	III			
No.1-6	IV			



*1 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (学生会員)

*2 筑波大学 システム情報系教授 博士 (工学) (正会員)

*3 アフェクト設計事務所 (正会員)

*4 三栄商事 (株) 技術部部長 (正会員)

試験体は実部材を想定した断面幅 $b \times$ せい $D=220\text{mm} \times 420\text{mm}$ とし、両端部に試験体を固定するためのスタブを設けている。コンクリート目標強度は 18MPa および 30MPa とし、主筋は $6\text{-D16}(\text{SD490})$ 、筋筋は $2\text{-D10}(\text{SD295}) @200$ とした。通常配筋試験体とキャップタイを用いた試験体の合計 8 体を作製し、キャップタイは表-1 に示す 3 種類とした。いずれも $\text{D10}(\text{SD295})$ を折曲げ加工したものであり、1 本で環状になっているものをタイプ II、両端を部材軸方向に折り曲げたものを 2 つ組み合わせるものをタイプ III、両端を 135° フックとしたものをタイプ IV と称する。試験区間の配筋を図-2 に示す。タイプ IV のみ左右形状が異なるため、フック端を梁側面に対して交互にセットした。

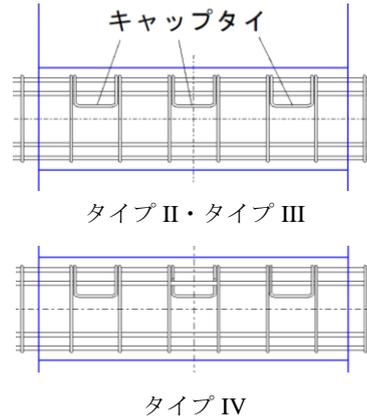


図-2 試験区間配筋

2.2 使用材料

鉄筋の材料特性を表-2 に、コンクリートの材料特性（試験体加力時材齢時）を表-3 に示す。せん断破壊先行型とするため、主筋には SD490 を用いた。

表-2 鉄筋の材料特性

種別	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	破断伸び (%)
D16	513	715	192	16.6
D10	359	503	188	28.9

2.3 加力・計測方法

加力装置の概要を図-3 に、加力履歴を図-4 に示す。建研式正負繰返し加力を採用し、試験体を立て起こしたうえで試験体セットベースに固定し、 50t オイルジャッキを用いて部材角制御による曲げせん断加力を行った。 $1/400\text{rad}$.加力サイクルから $1/33\text{rad}$.加力サイクルまでは 2 サイクルずつ、 $1/20\text{rad}$.加力サイクルおよび $1/15\text{rad}$.加力サイクルでは 1 サイクルずつ、合計 12 サイクルの加力を行った。

表-3 コンクリートの材料特性

目標強度	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	割裂強度 (MPa)	備考
18MPa	18.8	18.4	1.86	加力前・中・後の平均
30MPa	34.4	24.1	3.02	

計測は、ロードセル、変位計および歪ゲージを用いて行い、せん断力、スタブ間相対たわみおよび軸方向変位、局部変形、主筋、筋筋およびキャップタイの歪について計測した。局部変形については図-3 に示すように試験区間を 4 つに分割し、区間ごとの局部変形を算出した。

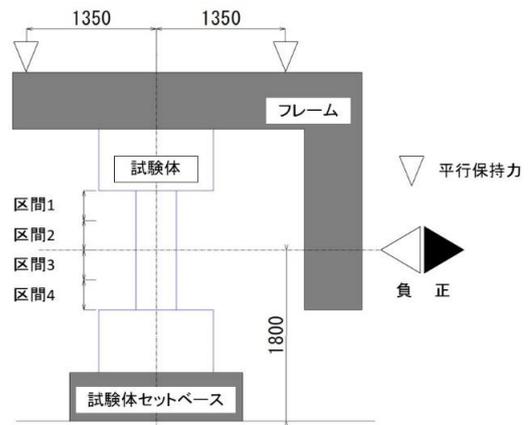


図-3 加力装置概要

3. 実験結果

3.1 破壊状況とせん断力-部材角関係

部材角 $1/50\text{rad}$.時のひび割れ状況を図-5 に示す。各試験体に共通する破壊状況を述べると、 $1/400\text{rad}$.加力サイクル時に、順次曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れが梁端部に発生した。その後せん断ひび割れの発生にともなって剛性が低下し、 $1/100\text{rad}$.加力サイクル時に筋筋が降伏した。最初の筋筋の降伏は、梁最端部または最端部から 2 番目の位置で発生し、せん断ひび割れの発生位置と対応していた。筋筋の降伏は、 $1/100\text{rad}$.加力サイクル時におおむね 4 本の筋筋でみられ、筋筋の降伏の順次発生にともなって耐力が上昇しなくなり、 $1/100\text{rad}$.加力サイクル時に最大荷重を迎えた。その後の繰返し加力サイクルでは典型的なスリップ型の性状を示し、各加力サイクルピーク時の耐力も大きく低下していった。最終的

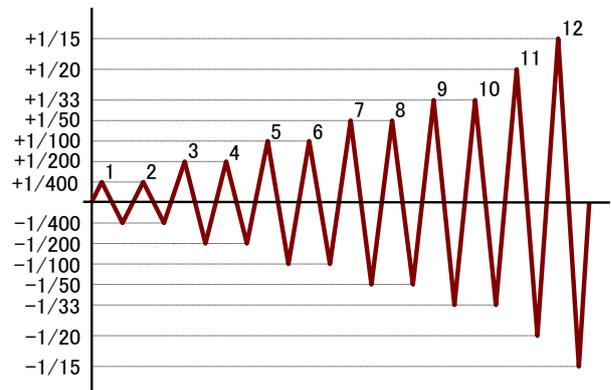


図-4 加力履歴

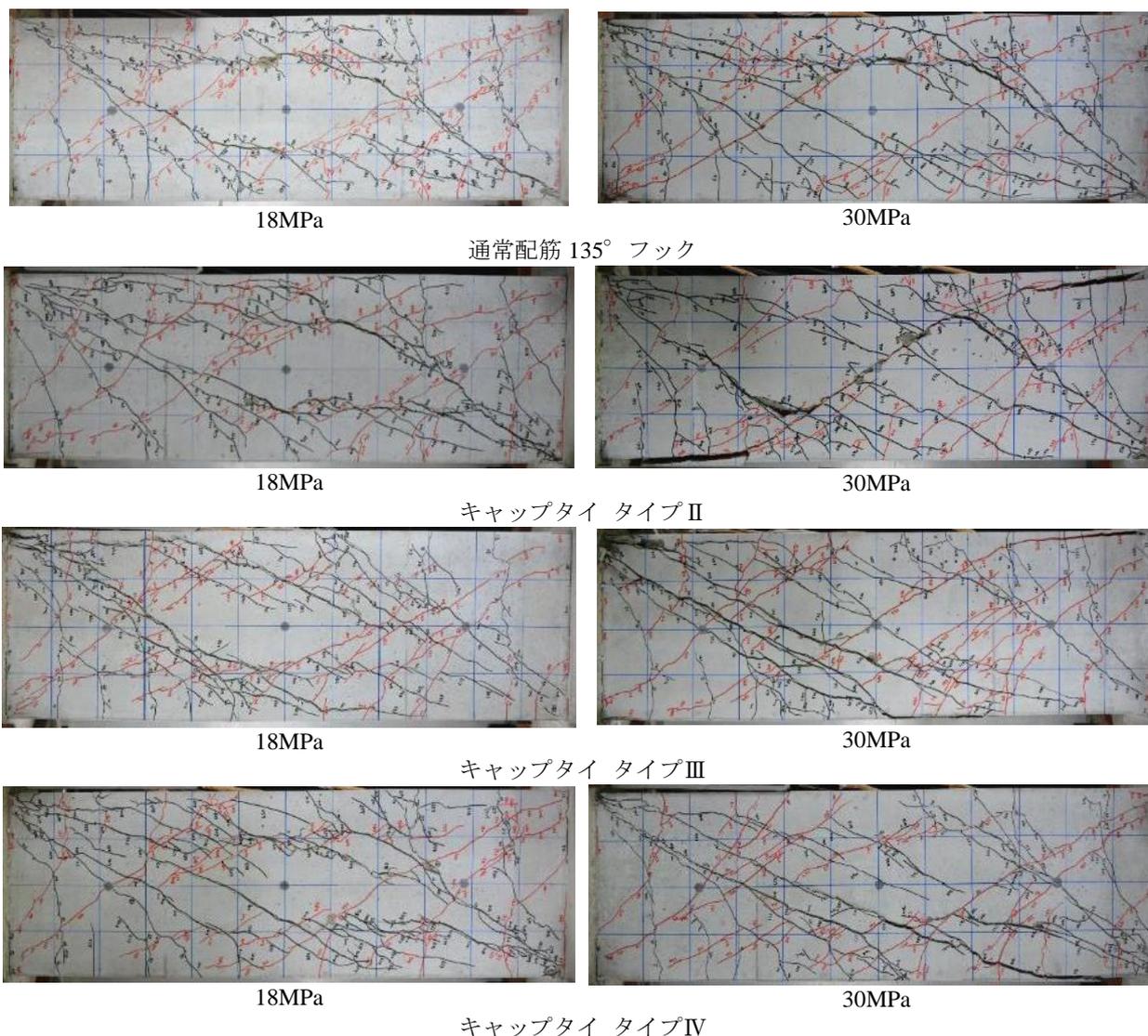


図-5 ひび割れ状況 (R=1/50rad.時)

には、1/33rad.サイクル以降梁全周面に渡って、大きくかぶりコンクリートが剥落した。これらの大まかな性状においては、コンクリート強度の違いやキャップタイの種類による差異は見られなかった。

18MPa シリーズ試験体では、せん断ひび割れから2段目主筋に沿った付着割裂ひび割れが進展し、また、1/50rad.加力サイクル時の耐力低下は、比較的穏やかであった。一方、30MPa シリーズ試験体では、せん断ひび割れが拡幅することで耐力が低下し、1/50rad.加力サイクル時の耐力の低下も激しかった。タイプIIおよびタイプIIIのキャップタイを用いた試験体では、大変形時に梁側面定着部のひび割れが拡幅し、梁上端のかぶりコンクリートを押し上げてコアコンクリートの拘束が弱くなっていく様子が伺えた(図-6)。一方、通常の135°フックの肋筋を用いた試験体とタイプIVのキャップタイを用いた試験体ではコアコンクリートを拘束し、大変形時の耐力低下は、タイプIIおよびタイプIIIのキャップタイを



図-6 キャップタイ定着部のひび割れ

用いた試験体より小さかった。試験体 No.1-4 において、1/20rad.加力サイクル時に肋筋溶接部の剥離が見られたが、他の試験体では溶接部の破壊は見られなかった。なお、梁主筋の危険断面において1/100rad.加力サイクルまでに一部降伏がみられたが、全主筋の降伏はなく、最大耐力は肋筋の降伏およびせん断破壊で決定したと考えられる。

せん断力-部材角関係の例としてタイプIIのキャップタイを用いた試験体を図-7に、各試験体の包絡線の比較を図-8に示す。コンクリート強度18MPa、30MPaシリーズとも、正側1/50rad.加力サイクル時までは通常135°フックの肋筋を用いた試験体よりもキャップタイ試験体の方が荷重が大きい、負側ではほぼ同等となり、その後はタイプIIおよびタイプIIIのキャップタイを用いた試験体の荷重が小さくなっている。大変形時にキャップタイ梁側面定着部のひび割れが拡幅し、梁上端のかぶりコンクリートを押し上げてコアコンクリートの拘束が少なくなった影響と思われる。一方、タイプIVのキャップタイを用いた試験体の荷重は、通常135°フックの肋筋を用いた試験体と同等であった。

3.2 最大耐力

各試験体の最大荷重実験値と、曲げ、せん断強度計算値の一覧を、表-4に示す。曲げ強度計算値は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準」略算式により算出した。せん断強度は荒川 mean 式および日本建築学会「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」によるせん断強度式A法により算出した。せん断余裕度は、荒川 mean 式で0.51(18MPaシリーズ)、0.64(30MPaシリーズ)、終局強度型指針式A法(非靱性)で0.59(18MPaシリーズ)、0.76(30MPaシリーズ)である。

最大荷重の実験値は負側加力時より正側加力時の方が大きく、その差は30MPaシリーズ試験体で顕著である。正負の最大荷重の平均値をせん断強度計算値と比較すると、その比較値は、荒川 mean 式で1.14~1.28(18MPa

シリーズ)、1.22~1.35(30MPaシリーズ)、終局強度型指針式A法(非靱性)で0.99~1.11(18MPaシリーズ)、

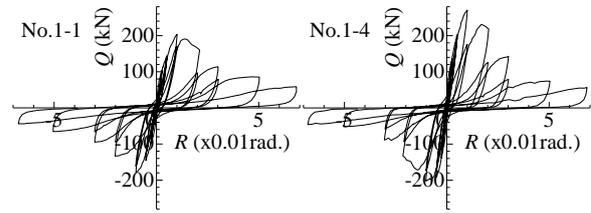


図-7 せん断力-部材角関係
(キャップタイタイプII試験体)

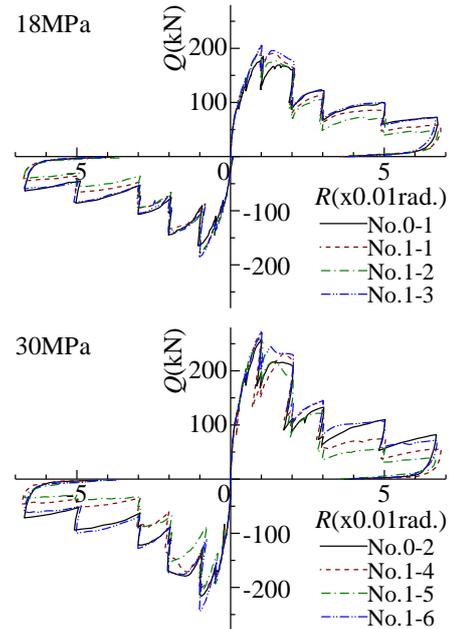


図-8 せん断力-部材角関係の包絡線

表-4 最大荷重実験値と計算値との比較

試験体	実験値 (kN)		曲げ強度計算値 cQ_{mu} (kN)	せん断強度計算値 (kN)		$\frac{eQ_{max}}{cQ_{su,mean}}$	$\frac{eQ_{max}}{cQ_{su,A}}$
	加力方向別	正負平均 eQ_{max}		荒川 mean 式 $cQ_{su,mean}$	終局指針 A 法 $cQ_{su,A}$		
No.0-1	正	185	299	153	177	1.14	0.99
	負	165					
No.1-1	正	204	299	153	177	1.25	1.08
	負	178					
No.1-2	正	188	299	153	177	1.20	1.04
	負	180					
No.1-3	正	206	299	153	177	1.28	1.11
	負	186					
No.0-2	正	256	299	192	227	1.23	1.04
	負	216					
No.1-4	正	271	299	192	227	1.23	1.04
	負	202					
No.1-5	正	259	299	192	227	1.22	1.03
	負	211					
No.1-6	正	274	299	192	227	1.35	1.14
	負	244					

1.03~1.14 (30MPa シリーズ) である。キャップタイを用いた試験体の最大荷重は通常 135° フックの肋筋を用いた試験体と同等、もしくはそれ以上であり、18MPa シリーズ試験体では 1.05~1.12 倍、30MPa シリーズ試験体では 1.00~1.10 倍であった。

3.3 局部変形

1/50rad.加力サイクルまでにおける、せん断力と各測定区間のせん断変形量の関係を図-9 に示す。せん断変形量は、図-3 に示す各測定区間でトラス状に設置した変位計で測定した変形からモールの歪円を用いてせん断歪を算出し、測定区間までの距離を乗じて全体変形相当に換算した。なお測定区間内のひび割れが大きく拡幅し、変位計の測定容量を超えた時点からのデータは取り除いている。概ね 1/100rad.加力サイクルにて最大耐力に至った後に、主として区間 2 および区間 3 のせん断変形量が大きくなった。特にタイプ II、タイプ III のキャップタイ試験体では、1/50rad.負側サイクルにて 10mm を大幅に超えるせん断変形が見られ、通常配筋試験体およびタイプ IV のキャップタイ試験体に比べせん断変形量が大きくなっている。

4. 単調加力試験体との比較

4.1 せん断力-部材角関係

既報¹⁾による単調加力試験体のせん断力-部材角関係と、本報の繰返し加力試験体のせん断力-部材角関係の包絡線の比較を図-10 に示す。本報の試験体の寸法および配筋は既報の試験体と同一であり、鉄筋強度、コンクリート強度とも両者でほぼ同等である。なお、キャップタイタイプ IV 試験体は単調試験を行っていない。

繰返し加力試験にて最大耐力に達した 1/100rad.まで、単調加力と繰返し加力の正側加力との差は見られず、負側加力の耐力低下が顕著に表れている。繰返し加力試験において、正側加力に関しては単調加力と同様の結果が得られるが、正側加力でひび割れが生じた後に載荷する負側加力では単調加力との乖離が見られることがわかる。

4.2 局部変形

各試験体の最大荷重時における局部せん断変形量の比較を表-5 に示す。繰返し加力試験のデータについては、正側最大耐力時の値とした。

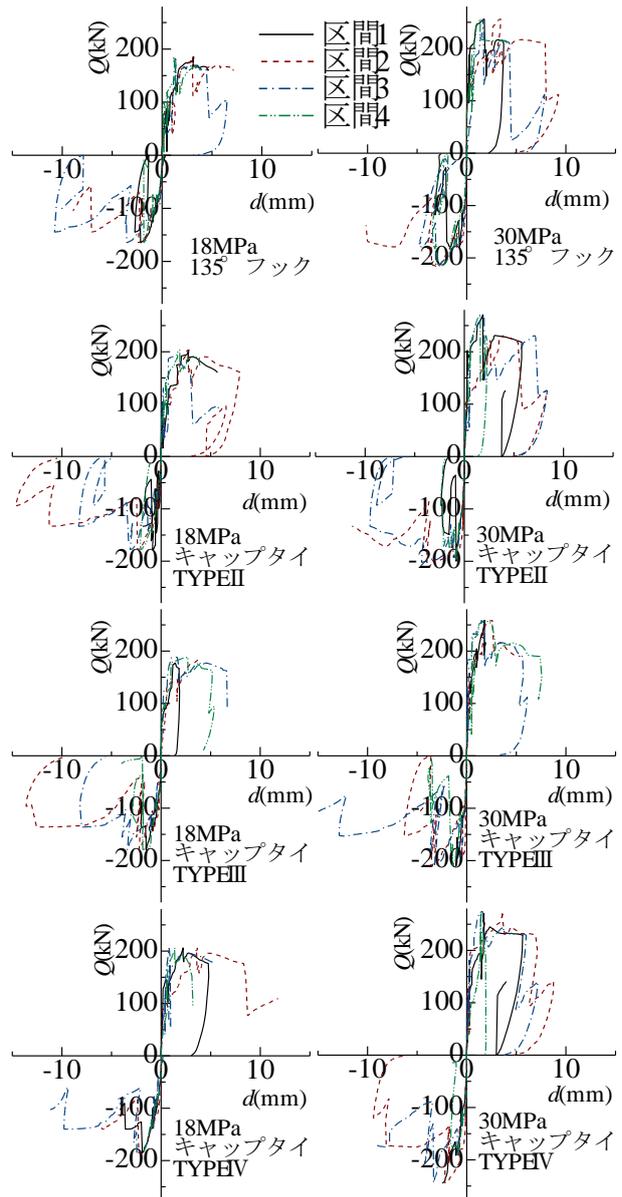


図-9 せん断力-局部せん断変形関係の包絡線

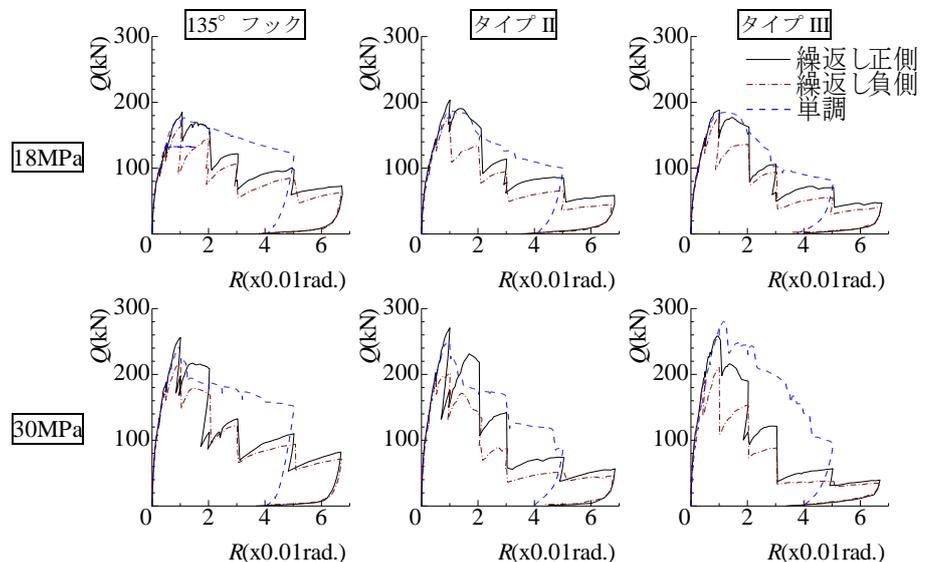


図-10 せん断力-部材角関係の単調加力と繰返し加力の比較

表-5 最大荷重時の局部せん断変形量(mm)

コンクリート	配筋	加力	測定区間				総計
			1	2	3	4	
18 MPa	通常	単調	1.80	1.50	1.84	2.50	7.64
		繰返し	3.16	3.08	1.39	1.16	8.79
	タイ プII	単調	2.33	2.22	1.27	3.57	9.39
		繰返し	2.79	2.74	0.19	1.88	7.60
	タイ プIII	単調	1.90	2.40	2.64	4.58	11.52
		繰返し	0.35	3.64	1.64	2.70	8.33
30 MPa	通常	単調	2.04	0.90	1.84	2.16	6.94
		繰返し	3.21	5.64	3.74	1.33	13.92
	タイ プII	単調	1.72	2.12	1.60	2.64	8.08
		繰返し	3.06	3.89	7.06	2.20	16.21
	タイ プIII	単調	2.95	2.94	3.51	1.32	10.72
		繰返し	1.88	3.41	3.49	4.53	13.31

全測定区間のせん断変形量の総計で比較すると、通常配筋試験体では、繰返し加力試験のせん断変形量が単調加力試験時のせん断変形量と比較し増加している傾向にある。一方キャップタイ試験体においては、せん断ひび割れが試験区間全域に渡って大きく開いた 30MPa シリーズタイプII試験体を除き、大きな差は見られない。特に 18MPa シリーズでは減少傾向にあり、キャップタイを用いることで繰返し荷重下においても単調加力と同等の変形量に抑制されると考えられる。

5. まとめ

(1) 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による試験

体のせん断強度は、繰返し荷重下においても通常の 135° フック筋の試験体と同等以上であった。

- (2) キャップタイ工法による試験体のせん断強度は荒川 mean 式および日本建築学会終局強度型指針式 A 法により安全側に評価できた。
- (3) 片側 90° フック、片側 135° フックとしたキャップタイタイプIVでは、他のキャップタイと比べ浮き上がりが抑制され、荷重低下を軽減した。
- (4) 繰返し加力試験体のせん断力-部材角関係は、正側加力では単調加力試験体と同等の性状を示し、負側加力では性能が低下する様子が伺えた。

謝辞

実験の実施にあたっては、筑波大学大学院掛川萌子氏、卒研究生上山泰輝氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 掛川萌子, 金久保利之, 岡田健良, 高橋辰弥: 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁のせん断性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.217-222, 2016.7
- 2) 岡田健良, 金久保利之, 掛川萌子, 高橋辰弥: 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁の曲げおよび交差部の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.1363-1368, 2017.7