

論文 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁のせん断性能

掛川 萌子*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せん断性能の把握を目的として、逆対称曲げせん断加力実験を行った。実験の結果、キャップタイ工法による試験体の最大耐力は通常配筋の試験体と同等以上であり、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ることが分かった。またキャップタイ工法による試験体では上端筋付着ひび割れの拡大が抑制され、キャップタイにより付着耐力が上昇していることが示唆された。

キーワード: 基礎梁, せん断強度, 組立鉄筋, キャップタイ, 付着耐力

1. はじめに

戸建住宅などの低層建物の鉄筋コンクリート造基礎工事における鉄筋配筋作業は、従来は現場で作業員が手作業で鉄筋を組み立てるものであったが、近年、工場であらかじめ組み上げ溶接した鉄筋（組立鉄筋）が用いられることが多くなっている。組立鉄筋を用いることにより、現場では組立鉄筋を設置し継手筋を結束するだけで配筋作業が完了し、作業時間が短縮され現場における作業員の負担を減らすことができる。

組立鉄筋には、鉄筋同士の溶接の強度が組立後の形を保っていられる程度であるものと、溶接部が破壊せずせん断補強筋の規格降伏強度を超える溶接強度を確保したものがあ。後者の組立鉄筋をダブル配筋の梁部材に応用する工法として、キャップタイ工法が考えられている。キャップタイ工法では、溶接後の組立鉄筋を折り曲げ加工し上部にキャップタイをかぶせたものを、梁の主筋と肋筋として用いる（図-1）。通常、上部にキャップタイをかぶせるタイプの肋筋の配筋は、下側の U 字型の肋筋の端部をフック状にして主筋に固定させなければならない。また、キャップタイにもフックを設ける必要がある。しかし組立鉄筋を用いたキャップタイ工法では、下側の肋筋の端部は主筋との溶接によって固定されるため、部材の十分な構造性能が確認されれば、端部フックを省略し、組立工程をより簡略化できる可能性がある。

そこで本研究では、溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による低層建物基礎梁のせん断性能を確認するために実験を行う。主たる実験パラメーターはキャップタイの形状およびコンクリート強度とし、せん断破壊先行型に計画した試験体に対して逆対称曲げせん断加力を行い、その構造性能を確認する。

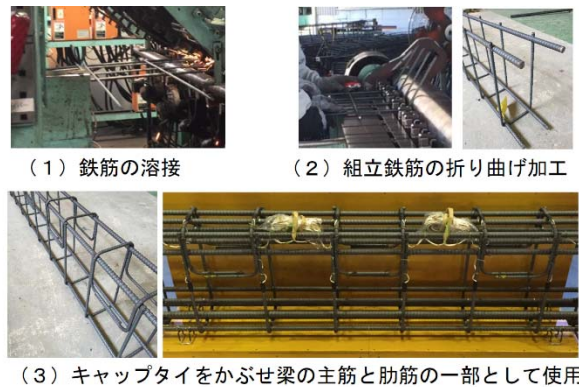


図-1 キャップタイ工法概要

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体一覧を表-1 に、試験体の形状および配筋詳細を図-2 に示す。図-2 中の太線が、加工した組立鉄筋を示している。試験体は、ダブル配筋が必要となる梁幅を有する戸建住宅基礎梁を想定した、ほぼ実大断面の梁試験体である。断面は、幅 $b \times$ せい D が $220\text{mm} \times 420\text{mm}$ 、試験体内法スパンは $1,260\text{mm}$ で、両端部に断面 $400\text{mm} \times 720\text{mm}$ のスタブを設けた。肋筋と溶接を有する組立鉄筋の主筋は断面隅の 4 本の主筋であり、その他の主筋は、キャップタイや位置決め筋 (D6) に結束線で固定した。肋筋は異形鉄筋 $D10@200$ の配筋である。コンクリート目標強度は、想定する適用範囲の下限値と上限値である 18MPa と 30MPa とした。

本実験の主目的が梁部材のせん断強度の確認であるため、せん断スパン比を 1.5 と設定し、せん断破壊先行

*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 システム情報系准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 (有) アフェクト設計事務所 (正会員)

*4 三栄商事 (株) 技術部

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.1(No.6)	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(30)	(通常配筋)	
No.2(No.7)			I	シングル (1つ間隔)
No.3(No.8)			II	
No.4(No.9)			III	
No.5(No.10)			III	

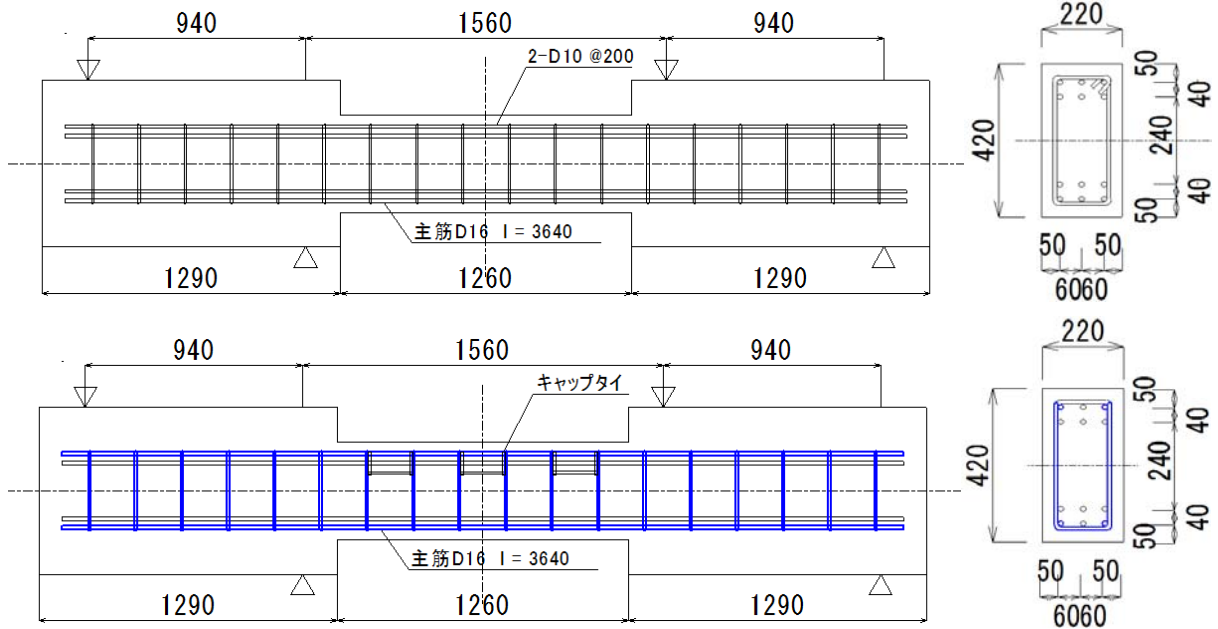


図-2 試験体詳細 (上: No. 1, No. 6 下: No. 2, No. 7)

型の試験体とした。

本実験のパラメーターは、コンクリート強度およびキャップタイの種類および配筋間隔である。抑えのための床スラブが存在しないため、通常ではキャップタイの折り曲げ角度は135度にする必要がある。しかしキャップタイ工法ではキャップタイの折り曲げ角度を90度にするため、代わりに2本のキャップタイの間に定着部分を設け立体的に用いる。キャップタイの種類と試験区間における配筋を、図-3に示す。タイプIはキャップタイ折り曲げ端部と定着筋を溶接したもの、タイプIIはいわゆる一筆書きで、キャップタイ定着部も含めて三次元に折り曲げ加工したものである。タイプIIIは、キャップタイ定着部を梁軸方向に折り曲げ加工したものを2つ1セットで1組のキャップタイとして用いるものである。タイプIIIのキャップタイに対して、肋筋量と同一になるシングル配置(肋筋間隔に対しては1つ間隔)、および肋筋量の倍となるダブル配置の試験体を計画した。

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。

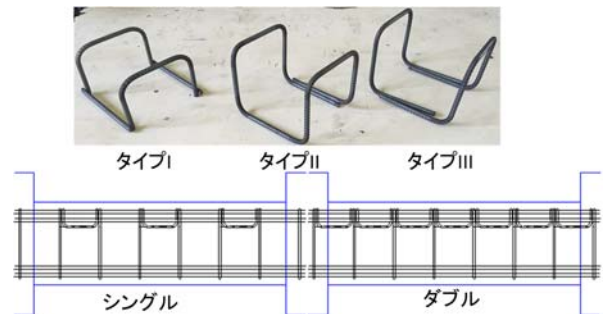


図-3 キャップタイの種類と配置

表-2 鉄筋の材料特性

鉄筋種別	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	降伏歪 (%)	引張強度 (MPa)	破断伸び (%)	使用箇所
D16 SD490	540	194	0.279	705	18.2	主筋
D10 SD295	335	189	0.177	471	24.7	肋筋

表-3 コンクリートの材料特性

目標強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	割裂引張強度 (MPa)
18	19.7	22.1	2.02
30	36.8	31.0	2.96

2.3 加力方法

加力には大野式逆対称曲げせん断加力を採用し、2000kN ユニバーサル試験機を用いて一方向単調加力を行った。加力装置を写真-1に示す。

3. 実験結果

3.1 せん断力-部材角関係

各試験体のせん断力-部材角関係を比較して図-4に示す。部材角は全体変形を試験体内法スパンで除した値である。

通常配筋試験体であるNo.1では、せん断ひび割れの発生進展および筋筋の降伏とともに最大耐力を迎え、その後、なだらかに荷重が低下した。No.6では、筋筋降伏後、梁端圧縮域を貫くせん断ひび割れの拡大ともななって最大耐力を迎え、その後荷重が大きく低下した。キャップタイのある試験体の部材角0.015rad程度までの破壊状況とせん断力-部材角関係は、対応するコンクリート強度の通常配筋試験体と大きな差異は見られなかった。最大耐力は通常配筋試験体と同等もしくはそれ以上であり、18MPaシリーズの試験体ではNo.5が、30MPaシリーズの試験体ではNo.9の最大耐力が大きかった。

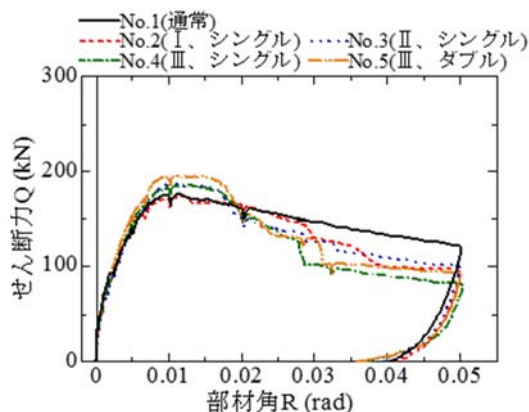
また荷重中に、キャップタイのある試験体では部材角

0.03rad 付近で大きな破裂音とともに急激な荷重低下がみられた。実験後にはつりを行った結果、梁上端部の筋筋と主筋の溶接の剥離(写真-2)が確認された。同様に0.04rad 付近で筋筋が母材破断し、荷重低下がみられた試験体があった。

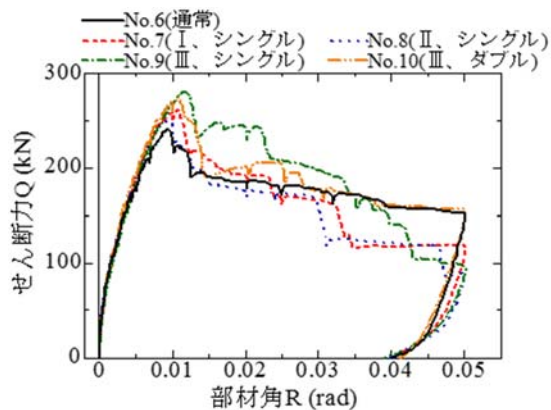
3.2 ひび割れ発生状況

各試験体とも、曲げモーメントが最大となる梁端部に曲げひび割れが発生し、その後、18MPaシリーズの試験体ではせん断力80~90kNで、30MPaシリーズの試験体では160kN程度でせん断ひび割れが発生した。18MPaシリーズの試験体ではせん断ひび割れを起点として、主筋に沿った付着割裂ひび割れが進展する傾向がみられたが、キャップタイのある試験体では付着割裂ひび割れが拡大する様子はさほど見られなかった。30MPaシリーズの試験体では付着割裂ひび割れの発生はほとんど見られなかった。せん断ひび割れも、キャップタイのある位置で拡大が抑制される傾向がみられた。

試験体の最大荷重が確認される前後の部材角1/100rad時における各試験体のひび割れ状況を、比較して図-5に示す。各試験体ともせん断ひび割れの発生が支配的であり、特に30MPaシリーズの試験体で明瞭である。



(a) 18MPa シリーズ



(b) 30MPa シリーズ

図-4 せん断力-部材角関係



写真-1 加力装置



写真-2 溶接部の剥離の様子

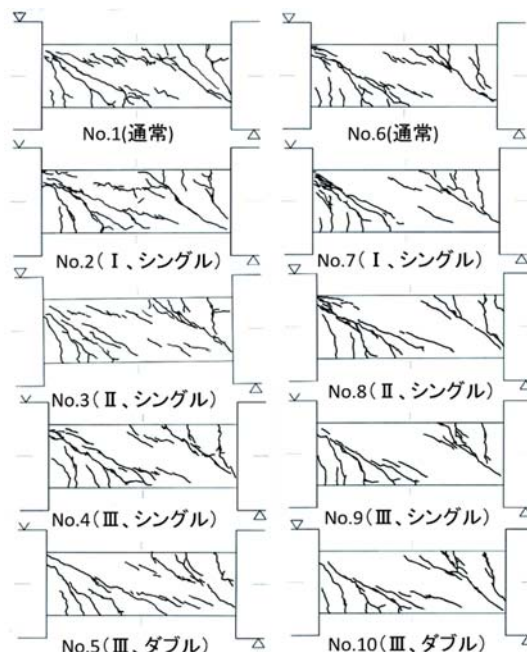


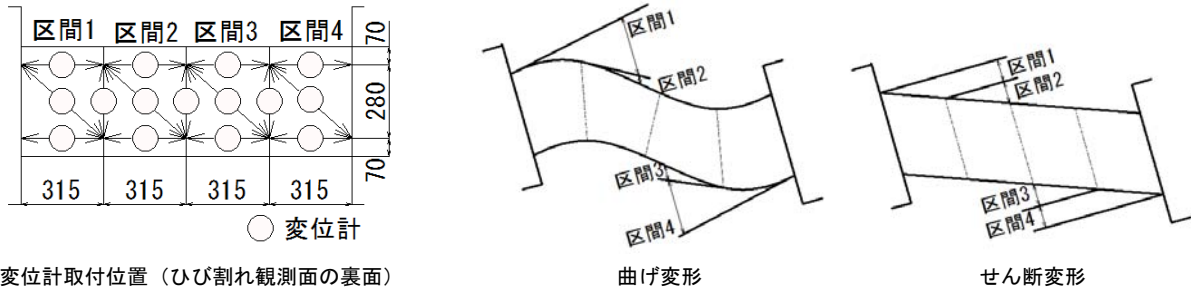
図-5 部材角1/100時のひび割れ発生状況

18MPa シリーズにおいてキャップタイのある試験体では付着ひび割れの発生が抑制されている様子が伺える。

3.3 局所変形

試験部分を4つの区間に分け、図-6に示すように変

位計を設置して局所変形を測定した。また変形のイメージも同図に示す。全体変形が30mmになるまでの各試験体各区間の曲げ変形およびせん断変形の推移を図-7に示す。曲げ変形は各区間の変位から区間ごとに曲率を算

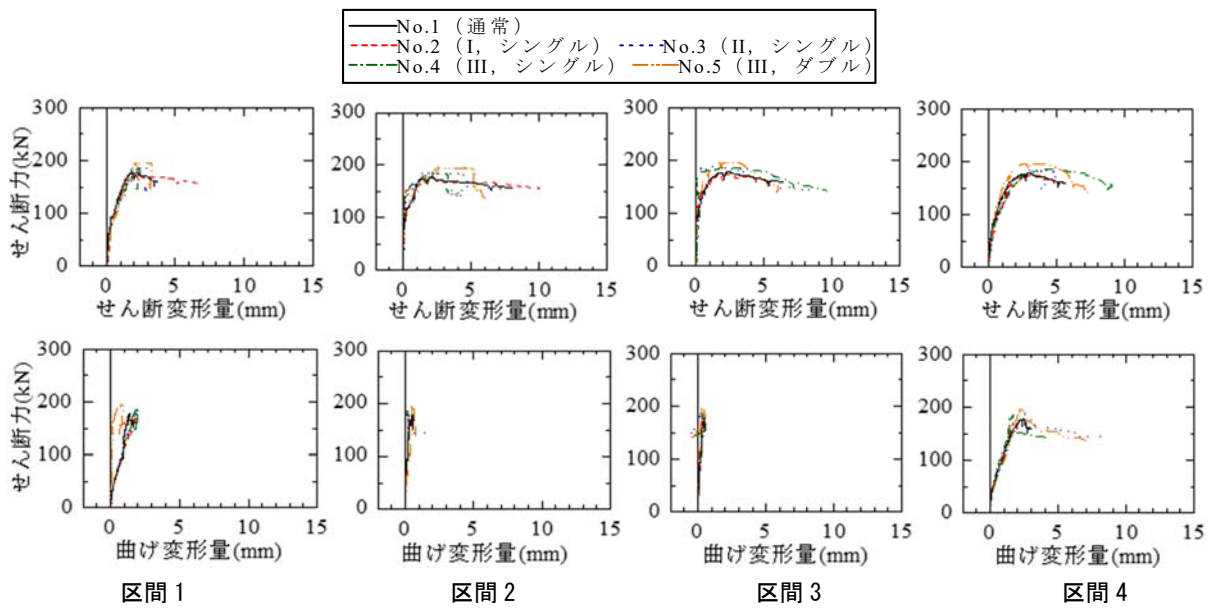


変位計取付位置 (ひび割れ観測面の裏面)

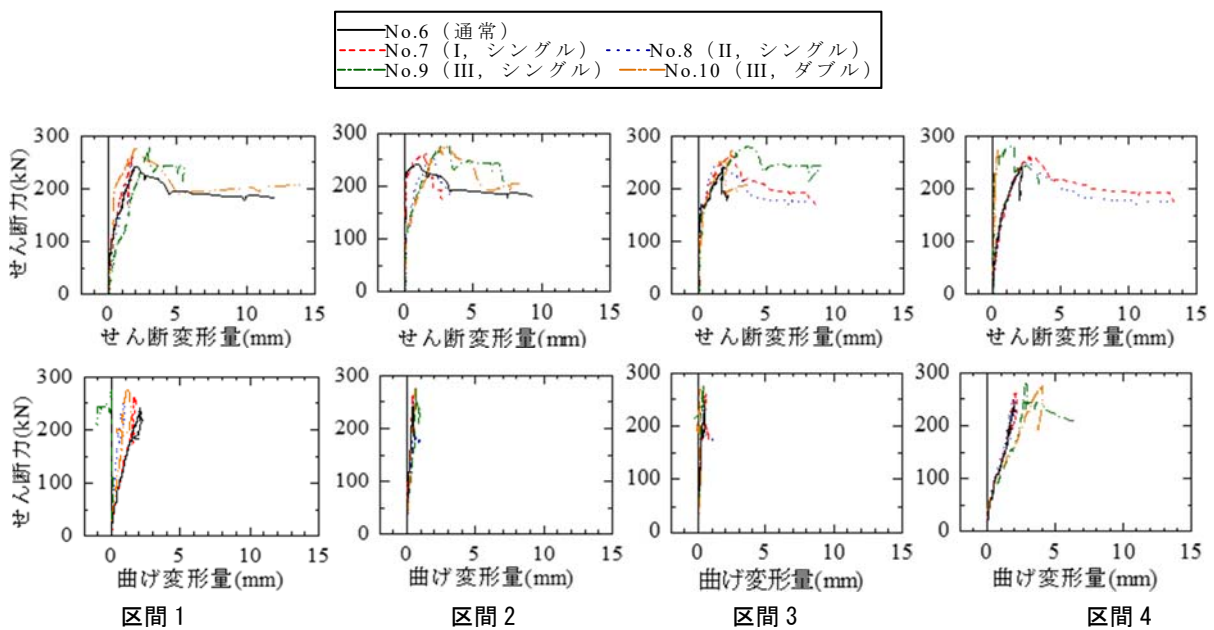
曲げ変形

せん断変形

図-6 局所変形用変位計取付位置および変形のイメージ



(a) 18MPa シリーズ



(b) 30MPa シリーズ

図-7 各試験体の曲げ変形およびせん断変形

出して求めた。せん断変形は各区間の変位から区間ごとにせん断変形角を算出し、全体変形から曲げ変形の合計を差し引いたものをせん断変形角の比率に応じて各区間に割り振り求めた。各区間のせん断変形は、せん断ひび割れや付着割裂ひび割れの発生状況により区間ごとに相違する。

いずれの試験体においてもせん断変形が支配的である。特に 18MPa シリーズの試験体では最大荷重前後においてせん断変形が進展する領域がみられ、肋筋の降伏と対応していると考えられる。キャップタイのある試験体では、区間3と区間4で通常配筋の試験体よりせん断変形が大きくなる傾向がみられた。

3.4 キャップタイの歪分布

歪ゲージ貼付位置を図-8に、部材角 1/400, 1/200, 1/100, 1/50rad 時の各試験体のキャップタイ (No.1, No.6 については肋筋上部) の歪分布を比較して図-9に示す。使用鉄筋の降伏歪は 0.177%である。

最大荷重付近の部材角 1/100rad 時にキャップタイの降伏が見られた試験体はキャップタイ付き試験体 8 体中 2 体のみで、大変形時の部材角 1/50rad 時で降伏する場合が多い。上端が圧縮側となる、中心から+500mm の位置で歪が大きくなる傾向がある。

4. 最大耐力の検討

4.1 せん断強度

各試験体最大荷重 eQ_{max} と、荒川 mean 式¹⁾ (式(1)) および日本建築学会終局強度型指針式 A 法 (非靱性)²⁾ (式(2)) によるせん断強度計算値 cQ_{su} との比較を図-10に示す。各値は、RC 規準略算式³⁾ (式(3)) より求めた曲げ強度計算値 cQ_{mu} で基準化している。(各記号は文献を参照) 表-4にせん断強度の計算結果、最大荷重実験値および、次節で説明する日本建築学会靱性保証型指針の付着耐力式⁴⁾ (式(4)~式(6)) による各試験体の梁上端の付着耐力 V_{bu} の一覧を示す。

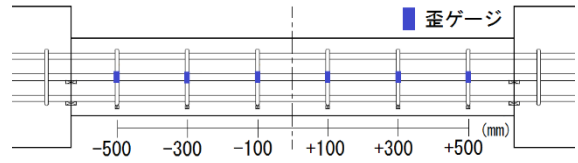
$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.115k_u k_p (180 + \sigma_B)}{M/Qd + 0.12} + 2.7\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j \quad (1)$$

$$cQ_{su} = b \cdot j_t \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2 \quad (2)$$

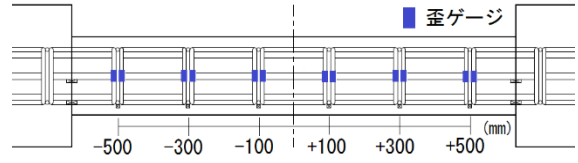
$$cQ_{mu} = Mu / (L_0 / 2) \quad (3)$$

$$Mu = 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

試験体 No.2 の最大荷重実験値が終局強度型指針式 A 法による計算値を若干下回ったが、荒川 mean 式による計算値は、すべての試験体の実験値を安全側に評価している。



(a) No. 5, No. 10 以外



(b) No. 5, No. 10

図-8 歪ゲージ貼付位置 (上面)

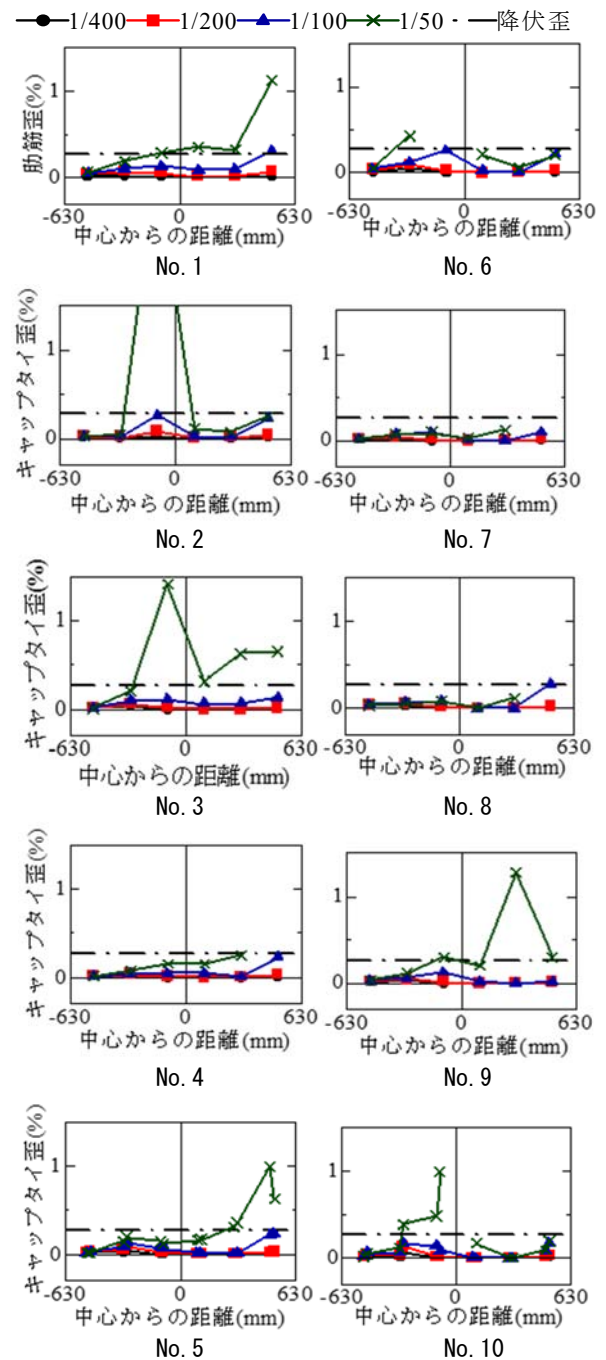


図-9 キャップタイの歪分布

表-4 せん断強度および付着耐力一覧

	単位	18MPa シリーズ			30MPa シリーズ		
		通常配筋	シングル	ダブル	通常配筋	シングル	ダブル
最大荷重実験値 eQ_{max}	kN	177(No.1)	173(No.2) 187(No.3) 185(No.4)	195(No.5)	241(No.6)	261(No.7) 250(No.8) 280(No.9)	275(No.10)
せん断強度 cQ_{mu}	kN	153 (荒川 mean 式) 175 (終局強度型指針式 A 法)			196 (荒川 mean 式) 229 (終局強度型指針式 A 法)		
横補強筋比 p_w	%	0.32	0.65	0.97	0.32	0.65	0.97
筋断面積 a_w	mm ²	71.3	142.7	214.0	71.3	142.7	214.0
1 段目付着信頼強度 τ_{bu1}	N/mm ²	2.43	3.45	4.46	3.12	4.19	5.25
2 段目付着信頼強度 τ_{bu2}	N/mm ²	1.57	2.29	3.00	1.99	2.74	3.49
付着耐力 V_{bu}	kN	127	149	167	220	245	264

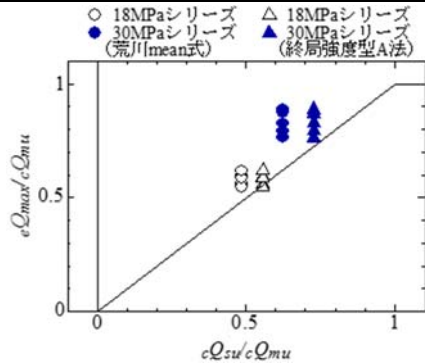


図-10 最大荷重実験値とせん断強度計算値の比較

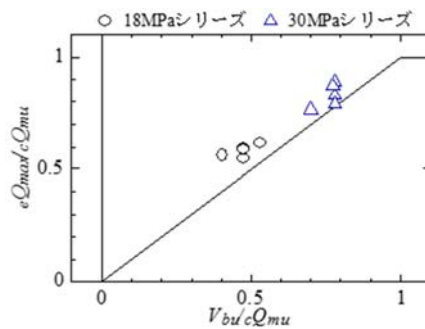


図-11 最大荷重実験値と付着耐力計算値の比較

4.2 付着耐力の評価

キャップタイ付きの試験体では、特に 18MPa シリーズ試験体において上端主筋周辺の付着割裂ひび割れの拡大が抑制される傾向がみられた。試験体はせん断破壊しており付着強度を直接評価することはできないが、キャップタイが主筋の付着強度を増加させたことが考えられるため、部材の付着耐力式による評価を試みた。キャップタイ付きの試験体については、下側の筋とキャップタイが主筋を拘束する効果があると仮定して、筋筋比 p_w (筋断面積) をキャップタイの分だけ割り増し、シングルの試験体では通常の 2 倍に、ダブルの試験体では 3 倍にして計算した。(各記号は文献を参照)

$$V_{bu} = \sum (\tau_{bu} \phi) j_e + \left\{ v \sigma_B - \frac{2.5 \left(\sum (\tau_{bu} \phi) \right)}{\lambda b_e} \right\} \frac{bD}{2} \tan \theta \quad (4)$$

$$\tau_{bu} = \alpha_t \{ 0.085 b_i + 0.10 \} \sqrt{\sigma_B} + k_{st} \quad (5)$$

$$k_{st} = (54 + 45 N_w / N_1) (b_{st} + 1) p_w \quad (6)$$

付着耐力計算値 V_{bu} と最大荷重実験値 eQ_{max} の比較を図-11 に示す。各値は曲げ強度計算値 cQ_{mu} で基準化している。どちらのシリーズにおいても、キャップタイの配筋量の増加にともなってプロット点には右上がりの傾向がみられ、キャップタイによって付着耐力が上昇している可能性が示唆される。評価の可能性を具体的に検討するためには、今後、付着破壊型の試験体を用いた検討が必要である。

5. まとめ

溶接組立鉄筋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せん断性能を確認する実験を行い、以下の知見が得られた。

- (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においても、通常配筋の試験体と同様にせん断ひび割れが拡幅することによって耐力が決定し、実験値は荒川 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。
- (2) 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最大耐力は、通常配筋の試験体と同等以上であった。
- (3) 目標強度 18MPa シリーズの試験体では、キャップタイによって上端主筋付着ひび割れの拡大が抑制された。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1988
- 3) 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
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999