

# 論文 ポリマーセメントモルタルを用いて補強した RC 造基礎梁の補強効果に関する実験的研究

安藤 祐太郎\*1・田中 卓\*2・中野 克彦\*3

**要旨:** 現在、戸建住宅直接基礎における開口部補強工法、RC 造基礎梁の曲げおよびせん断補強工法が注目されている。阪神淡路大震災や新潟県中越沖地震等の大地震が発生する度に、基礎の強度の弱い部分からひび割れや破断等の被害が生じている。そこで、補強工法として、ひび割れの補修やコンクリートの中性化の防止等に使用されており、高い接着力・強度・耐火性等の高性能が期待できる、ポリマーセメントモルタルを用いて補強を行った RC 造基礎梁の曲げ・せん断実験を実施し、耐力・靱性能・ひび割れ性状を把握した。さらに、へりあきの小さな部分に設置されたアンカーボルトの補強についても検討した。

**キーワード:** RC 造基礎梁, ポリマーセメント, 曲げ補強, せん断補強, アンカーボルト

## 1. はじめに

小規模建築物とくに木造戸建住宅における基礎は、平成 12 年の建築基準法改正により、基本的には一体の RC 造としてせん断補強筋を配筋することが義務付けられているが、それ以前の既存不適格建物では基礎の耐力不足が懸念される。また、住宅の増改築を行う際にも基礎の補強が必要となる場合が考えられる。

そこで、耐震補強として、ひび割れの補修工法や、高い接着力、強度、耐火性および耐久性が期待できるポリマーセメントモルタル（以下、PCM）を用いた補強方法の適用性を検討する。本研究では、基礎立上がり部分における主筋の曲げ補強およびあばら筋のせん断補強を想定した RC 梁を製作し、曲げ・せん断実験を行うことにより、それらの補強効果に関する基礎データをを得ることを目的としている。

さらに、RC 造基礎梁のアンカーボルトによるせん断力伝達機構に関する問題点、および、へりあきの小さな部分に設置されたアンカーボルトの補強についても検討するものとする。

## 2. 実験概要

### 2.1 アンカーボルトによるせん断力伝達機構に関する実験（シリーズ A）

#### (1) 試験体

表-1 に試験体要因および計算値、図-1 にアンカーボルトの種類および埋込み長さ、図-2 に試験体形状図の一例および加力模式図を示す。

断面形状は  $b \times D = 150 \times 300$  mm, せん断スパン比は  $a/D = 1.5$  (せん断スパン  $a = 450$  mm) とし、上下主筋は 2-D16

(SD345,  $p_t = 1.02\%$ ), せん断補強筋は 2-D5@150mm

表-1 シリーズ A-試験体要因および計算値

No.	主要因		計算値				
	種類	埋込長 (mm)	アンカーボルトの引張耐力 (kN)				
			$T_1^{*1}$	$T_2^{*2}$	$T_3^{*3}$	$T_3''^{*4}$	$T_4^{*5}$
A-1	—	—	—	—	—	—	—
A-2	異形	150	107	63.9	89.5	50.3	—
A-3	D22	260	107	111	155	63.5	—
A-4	丸鋼	260	132	122	22.8	—	—
A-5	プレート M22	150	132	74.9	13.2	—	207
A-6		205	132	90	18	—	237
A-7		260	132	122	22.8	—	264

$cQ_{su}$  (kN)<sup>1)</sup>: 大野・荒川 min 式によるせん断強度 (46.5kN, アンカー引張力 93kN)

$cQ_{mu}$  (kN)<sup>1)</sup>: RC 規準略算式による曲げ終局時のせん断力 (71.4kN, アンカー引張力 143kN)

※1  $T_1$  (kN)<sup>2)</sup>: アンカー筋の降伏により決まるアンカーの引張耐力 ( $T_1 = \sigma_y \cdot A_e$ ,  $\sigma_y$ : アンカー筋降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $A_e$ : アンカー筋ねじ部の断面積 (mm<sup>2</sup>))

※2  $T_2$  (kN)<sup>2)</sup>: コーン状破壊により決まるアンカーの引張耐力 ( $T_2 = 0.31 \sqrt{\sigma_B} A_c$ ,  $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $A_c$ : 有効水平投影面積 (mm<sup>2</sup>))

※3  $T_3$  (kN)<sup>3)</sup>: 付着破壊により決まるアンカーの引張耐力 ( $T_3 = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e$ ,  $\tau_a = 10 \sqrt{\sigma_B} / 21$  (N/mm<sup>2</sup>, 異形鉄筋の場合),  $\tau_a = 1.4$  (N/mm<sup>2</sup>, 丸鋼の場合),  $d_a$ : アンカー筋径 (mm),  $l_e$ : 定着長さ (mm))

※4  $T_3''$  (kN)<sup>4),5)</sup>: へりあきを考慮した付着耐力式 ( $T_3'' = \alpha \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e$ ,  $\alpha = 0.5 \frac{c}{l_e} + 0.5$ ,  $c$ : へりあき寸法 (mm))

※5  $T_4$  (kN)<sup>2)</sup>: 支圧破壊により決まるアンカーの引張耐力 ( $T_4 = f_n \cdot A_o$ ,  $f_n = \sqrt{A_c / A_o} \sigma_B \leq 10 \cdot \sigma_B$ ,  $f_n$ : コンクリート支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $A_o$ : プレート支圧面積 (mm<sup>2</sup>))

\*1 新潟工科大学大学院工学研究科 (正会員)

\*2 新潟工科大学大学院工学研究科(現:戸田建設株) (正会員)

\*3 新潟工科大学 教授・博士(工学) (正会員)

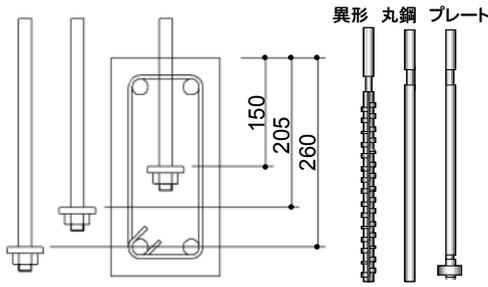


図-1 アンカーボルトの種類と埋込み長さ

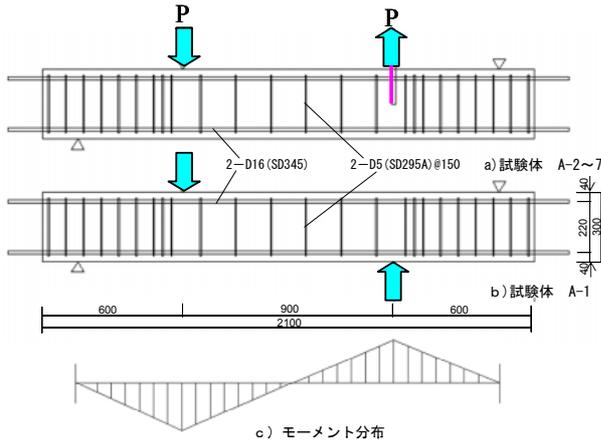


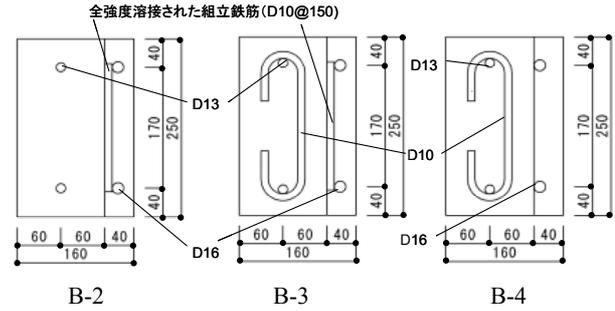
図-2 試験体形状図および加力模式図

(SD295A,  $p_w = 0.22\%$ )とした。なお、実験時のコンクリートの圧縮強度は  $\sigma_B = 29.4 \text{ N/mm}^2$ であった。

変動要因は、① アンカーボルトの種類(異形鉄筋 D22, プレート定着 M22), ②アンカーボルトの埋込み長さ 3水準(150mm, 205mm, 260mm)とした。

(2) 加力方法

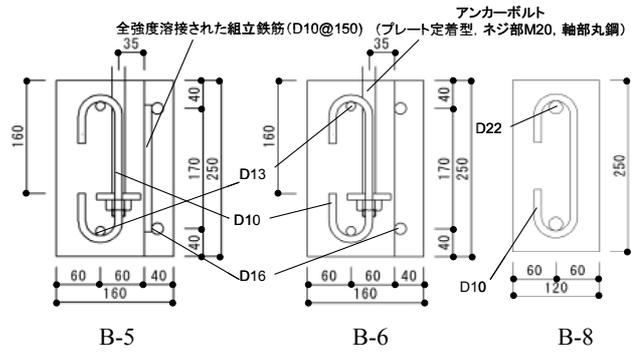
加力は、図-2 に示す大野式逆対称モーメント形式と



B-2

B-3

B-4



B-5

B-6

B-8

図-3 試験体断面図

し、一方向荷重とした。なお、アンカーボルトを定着させた試験体は、アンカーボルトを引張り、もう一方を圧縮することにより、大野式逆対称モーメント形式と同様な加力形式となるような方式とした。測定は梁の相対変形およびアンカーボルトの拔出し量を変位計により、主筋、せん断補強筋およびアンカーボルトの歪を歪ゲージにより行った。

2.2 ポリマーセメントによる補強効果に関する実験(シリーズB)

表-2 に試験体要因, 計算値および実験値, 図-3 に

表-2 シリーズB-試験体要因, 計算値および実験値

No.	梁部分					補強部分				計算値 <sup>*4</sup>						実験値		
	コンクリー		主筋		せん断補強筋	アンカー筋	ポリマー		主筋		せん断補強筋	計算値 <sup>*4</sup>						
	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	配筋	$s\sigma_y$ <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	$w\sigma_y$ <sup>*2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	$p_w$ <sup>*3</sup> (%)		$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	配筋	$s\sigma_y$ <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	配筋	$w\sigma_y$ <sup>*2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	$cQ_{su}$ (kN)	$cQ_{mu}$ (kN)	$cQ_{su}^n$ (kN)	$cQ_{mu}^n$ (kN)		$T_2/2$ (kN)	$T_2''/2$ (kN)
B-1	29.4	1-D13	392	-	0(0.29)	無し	70.6	1-D13	392	-	14	21	44	42	-	-	48.1	
B-2							62.4	-	1-D10	381	14	21	44	54	-	-	59.0	
B-3							65.9	-	-	-	34	21	52	54	-	-	63.6	
B-4							70.0	1-D16	354	-	34	21	44	54	-	-	48.6	
B-5							53.2	-	1-D10	381	34	21	52	54	28.6	48.7	42.8	
B-6							53.7	-	-	-	34	21	44	54	28.6	48.7	36.1	
B-7							-	1-D22	371	-	49	65	-	-	28.2	-	32.0	
B-8							0.39	-	-	-	49	65	-	-	-	-	65.7	

※1  $s\sigma_y$ :主筋降伏点強度 ※2  $w\sigma_y$ :せん断補強筋降伏点強度

※3  $p_w$ :せん断補強筋比の値は梁部分の値を示し, ( )内は梁と補強部分を含めた値を示す。

※4  $cQ_{mu}$ :梁の曲げ終局強度  $cQ_{mu}^n$ :補強部分を含めた梁の曲げ終局強度

$cQ_{su}$ :梁のせん断終局強度  $cQ_{su}^n$ :補強部分を含めた梁のせん断終局強度

$T_2$ :コーン状破壊により決まるアンカーの引張耐力 ( $T_2 = 0.31\sqrt{\sigma_B A_c}$ ,  $\sigma_B$ :コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>),

$A_c$ :有効水平投影面積 (mm<sup>2</sup>))

$T_2''$ :補強部分を含めた梁のコーン状破壊によるアンカーの引張耐力 ( $T_2, T_2''$ ともに,  $A_c$ を減算することでへりあきを考慮)

試験体断面図を示す。補強部分を含めた断面は、 $b \times D = 160 \times 250 \text{mm}$ とし、既存部分の幅を  $120 \text{mm}$ 、補強部分の幅を  $40 \text{mm}$ とした。試験体はせん断スパン比  $a/D = 1.8$  (せん断スパン  $a = 450 \text{mm}$ )とし、コンクリートの設計基準強度を  $F_c = 21 \text{N/mm}^2$ 、PCM の設計基準強度を  $F_M = 60 \text{N/mm}^2$ とした。なお、実験時のコンクリートの圧縮強度は  $\sigma_B = 29.4 \text{N/mm}^2$ 、PCM の圧縮強度は  $\sigma_M = 53 \sim 71 \text{N/mm}^2$  (接着強度  $2 \text{N/mm}^2$ 程度)であった。

変動要因は、① 既存梁部分のせん断補強の有無、② 補強部分の主筋量 2 水準 (1-D13, 1-D16)、③ 補強部分のせん断補強筋の有無 (せん断補強筋は全強度溶接した組立鉄筋)、④ アンカーボルトの有無とした。

既存梁の主筋は上下に 1-D13、せん断補強筋は  $180^\circ$  フック (1-D10, @150) のシングル配筋、補強部分の主筋は 1-D13 または 1-D16、せん断補強筋は全強度溶接型 (1-D10, @150) のシングル配筋とした。

なお、補強部分の PCM は流し込む方式とし、既存部分の接合面は電気式サンダーによるハツリ面とした。また、接着のためのアンカー等の定着筋は使用しておらず、PCM の接着力のみで一体化を図っている。

加力および測定は、シリーズ A と同様とした。

### 3. 実験結果

#### 3.1 シリーズ A の実験結果

図-4 に最終破壊性状および図-5 にせん断力 (Q) と相対変形 ( $\delta$ ) の関係を示す。

比較検討用のアンカーボルトの無い試験体の破壊モードはせん断補強筋が降伏することによるせん断破壊を示した。

アンカーボルトに異形鉄筋を用いた試験体は、埋込み長さが  $150 \text{mm}$  (A-2)、 $260 \text{mm}$  (A-3) とともにアンカーボルトの付着割裂破壊を示した。埋込み長さが長くなることにより最大耐力は増加する。しかし、アンカーボルトより梁に伝達されるせん断力は、アンカーボルト上部の有効付着領域からであり、梁下部には伝達されていないことがわかる。

アンカーボルトにプレート定着を用いた試験体は、A-5 (埋込み長さ  $150 \text{mm}$ ) ではコンクリートのコーン状破壊を示し、A-6 (埋込み長さ  $205 \text{mm}$ ) では梁のせん断ひび割れが発生するものの、せん断ひび割れが進展することによるコーン状破壊を示した。A-7 (埋込み長さ  $260 \text{mm}$ ) では A-1 と同様なひび割れ性状を示したが、アンカーボルトが降伏したために载荷を終了した。

図-6 にプレート定着を用いた試験体のひずみ分布の比較を示す。3 体とも  $Q = 40 \text{kN}$  時の主筋 (図中の A, B) およびせん断補強筋 (図中の S) のひずみ分布である。埋込み長さが  $150 \text{mm}$  の試験体では、アンカーボルトの

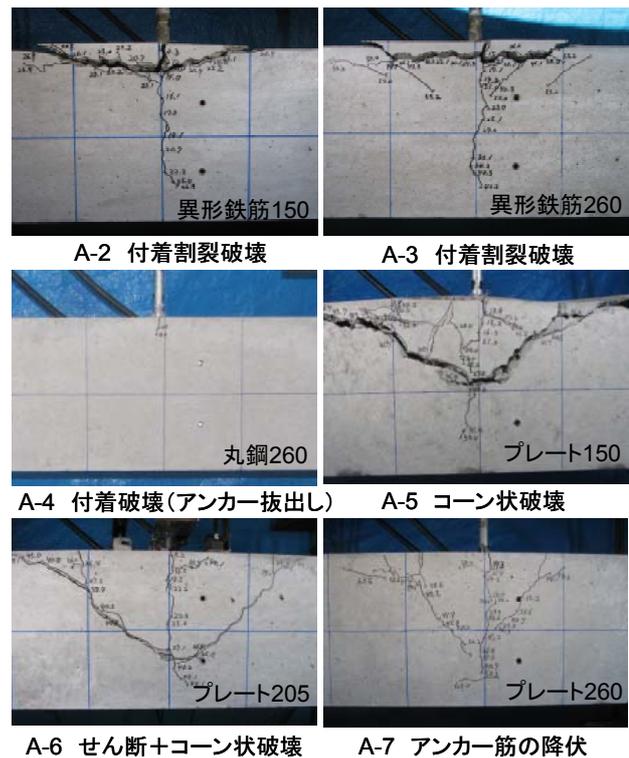


図-4 最終破壊状況 (シリーズ A)

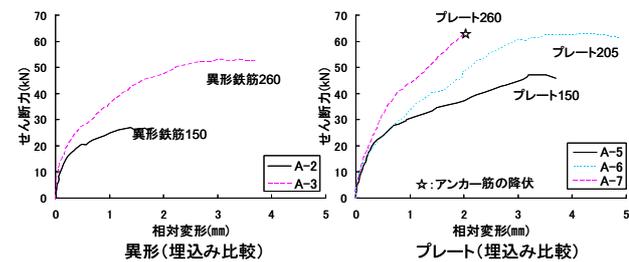


図-5 せん断力-相対変形関係 (シリーズ A)

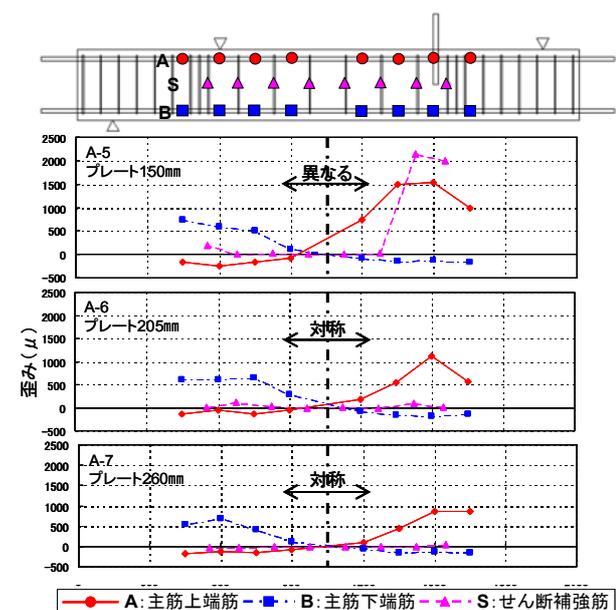


図-6 ひずみ分布の比較 (シリーズ A)

引張側と他方の加力側において、主筋とせん断補強筋のひずみが異なっているのに対して、他の埋込み長さの長い試験体では、両側でほぼ同じ性状を示している。

以上のことより、アンカーボルトから RC 基礎梁に伝達されるせん断力は埋込み長さの違いにより異なると考えられる。

### 3.2 シリーズ B の実験結果

#### (1) 破壊性状

図-7 に最終破壊状況を示す。

B-1~3 の試験体では、既存部および補強部分の主筋が降伏した後、梁部分と補強部分が剥離した。

B-4 の試験体では、曲げひび割れ、主筋に沿ったひび割れ等が発生した後、主筋降伏前に既存梁と補強部分との付着が切れ、梁部分の主筋が降伏し、かぶり厚さの薄くなった補強部分が付着破壊をおこした。

B-5 の試験体では、曲げひび割れ、せん断ひび割れが入った後、主筋に沿ったひび割れが入り、主筋の付着割裂破壊が生じ、最後は、既存梁と補強部分が剥離した。

B-6 の試験体では、既存梁と補強部分の間にせん断補強筋が入っていないため、アンカー筋のプレートによるコーン破壊を防げずに、既存梁と補強部分が剥離した。

B-7 の試験体では、曲げひび割れ発生後アンカー筋周囲にひび割れが発生した、その後、ひび割れは進展し、最終的にはコーン状破壊に至った。

B-8 の試験体では、左右のせん断ひび割れ発生後、主筋に沿った付着破壊が生じた。上面には、付着ひび割れが発生した。

#### (2) 変形性状

図-8 に各試験体のせん断力 - 相対変形関係および計算値を示す。既存部にアンカーの無い試験体 (B-1~B-4) では、曲げひび割れが発生して剛性がやや低下し、その後は、45 kN 前後で既存部および補強部の主筋が降伏す

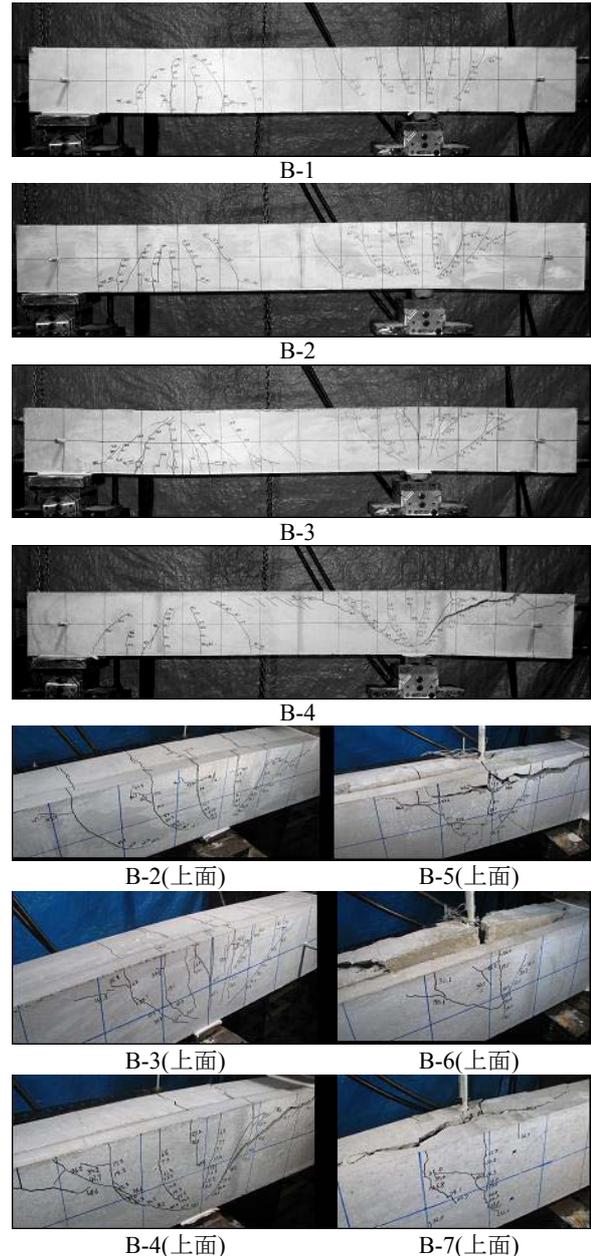


図-7 最終破壊状況 (シリーズ B)

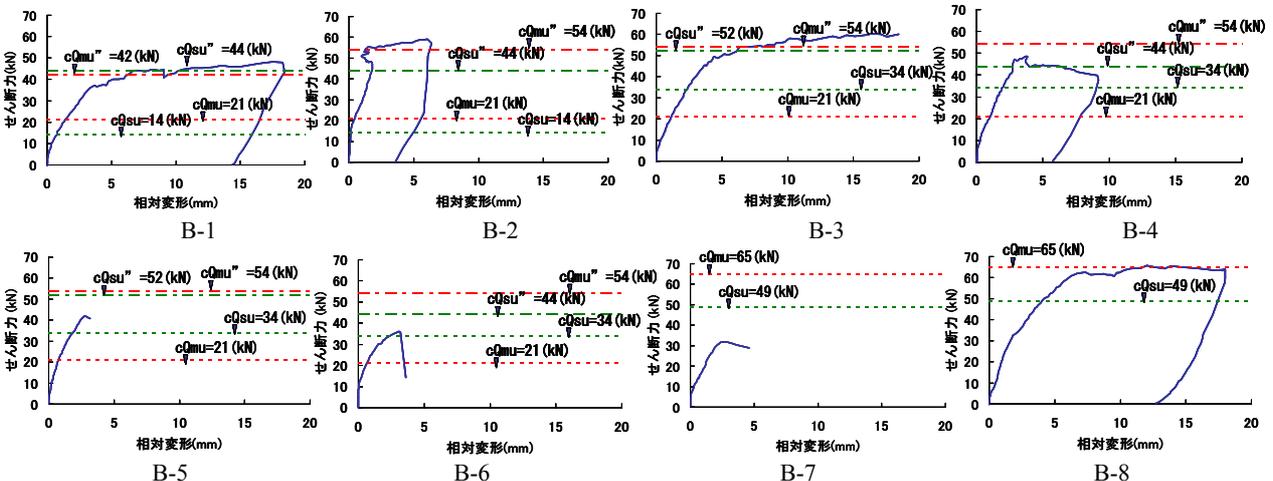


図-8 せん断力-相対変形関係 (シリーズ B)

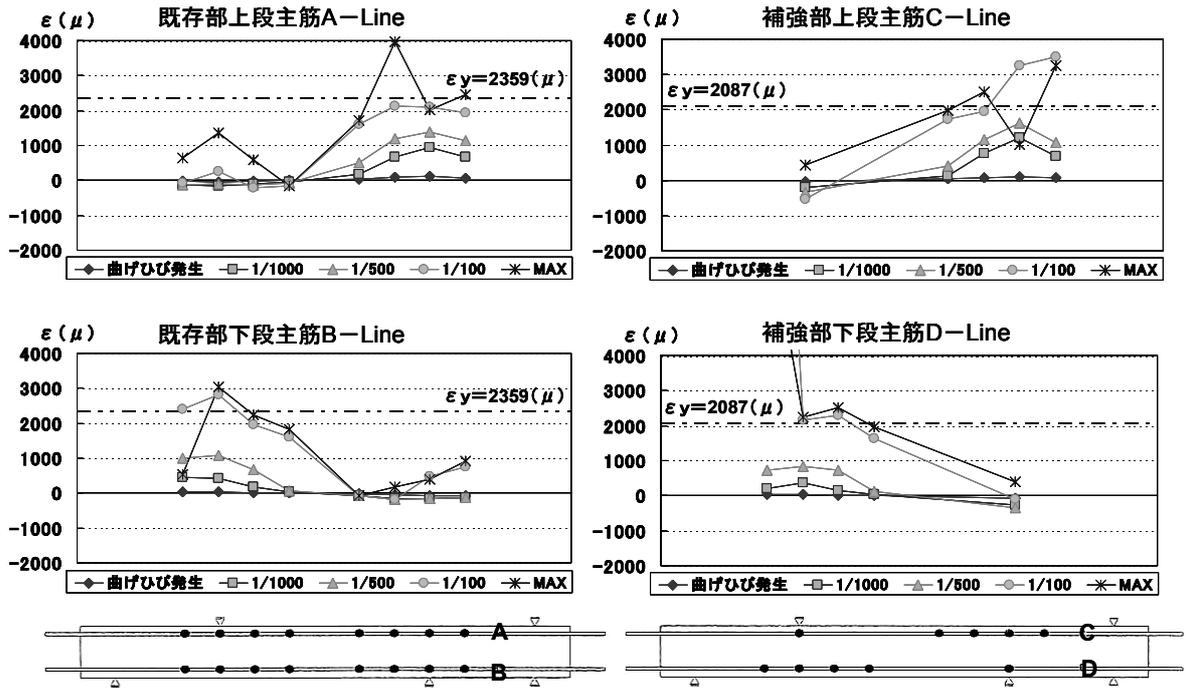


図-9 主筋ひずみ分布 (B-3 試験体)

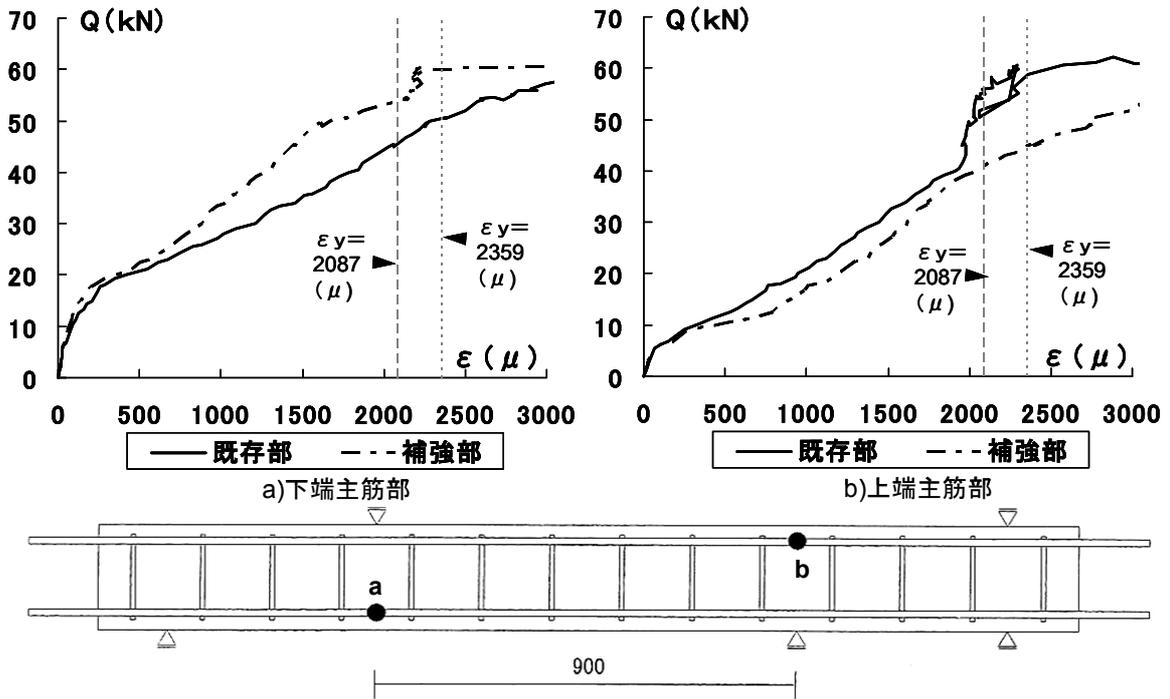


図-10 主筋のQ-ε関係 (B-3 試験体)

ることで徐々に剛性が低下していき、50 kN 前後で部材降伏に至った。どの試験体も既存梁および補強部分の主筋を考慮した計算値とほぼ同じ値か高い値を示し、補強部分の主筋による曲げ補強効果、およびせん断補強筋によるせん断効果が確認できた。しかし、降伏後の大変形時においては既存梁と補強部分の界面において剥離が

生じた。

図-9 に既存部および補強部の主筋のひずみ分布の一例を示す。曲げひび割れ発生以降に主筋のひずみが増加し、 $R = 1/100\text{rad}$ 程度で既存部および補強部主筋のひずみが降伏ひずみ程度まで達した。また、最大耐力時には主筋ひずみが降伏ひずみを超えていた。また、図-10 に危

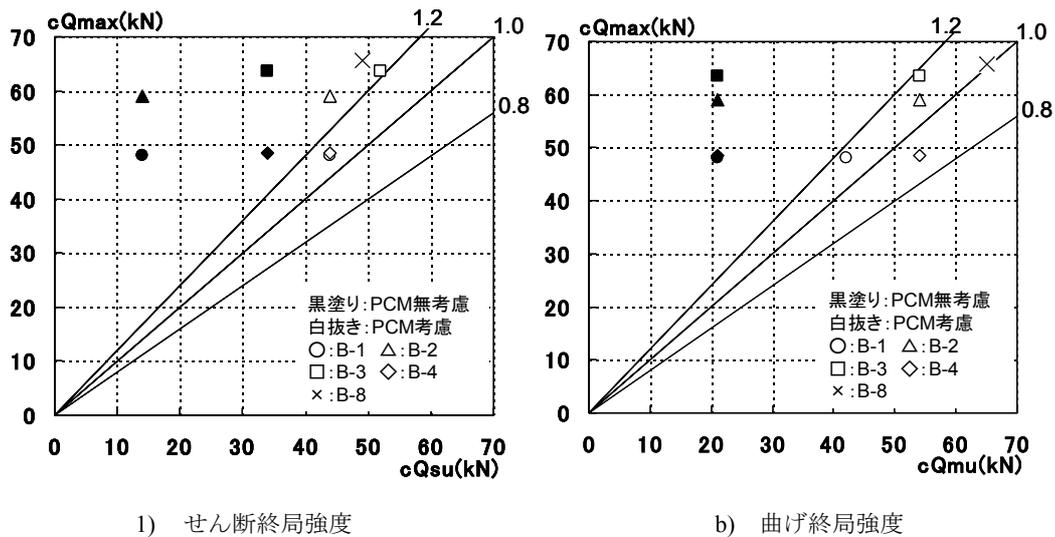


図-11 実験値と計算値の比較

陰断面引張側の既存部および補強部主筋の荷重 ( $Q$ ) - ひずみ ( $\epsilon$ ) 関係を示す。既存部と補強部の主筋ひずみの履歴に若干の時間差が生じるものの、どちらも降伏ひずみ付近までひずんでおり、PCM の塗り付けのみで、一体となって挙動して主筋降伏を生じさせることができるといえる。

### (3) 最大耐力と計算値の比較

図-11 に最大耐力実験値 ( $cQ_{max}$ ) とせん断終局強度 ( $cQ_{su}$ ) および曲げ終局強度 ( $cQ_{mu}$ ) の計算値との比較を示す。どちらも全断面を一体打ちとして計算した値 (PCM 考慮) と比較してみると、せん断終局強度で比較値は 1.09~1.34、曲げ終局強度で補強部に主筋のみを用いた試験体 (B-3) は 0.90 と多少低い値を示したが、その他の試験体では 1.09~1.18 と概ね適合性は良く、既往の式を用いての評価が可能であるといえる。

## 4. まとめ

本実験範囲内において以下の知見を得た。

- (1) PCM による補強は、主筋の曲げ補強およびあばら筋のせん断補強に有効であることが確認できた。
- (2) アンカーボルトによる RC 造基礎梁へのせん断力伝達機構は、アンカーボルト種類および埋込み長さの違いにより異なる。
- (3) 補強部分の主筋およびせん断補強筋の評価は、全断面を一体打ちとして計算した RC 梁の曲げおよび

せん断強度で評価が可能である。しかし、曲げ降伏後の変形性能を確保するためには、接合面の一体性を保つための補強が必要であると考えられる。

- (4) へりあきの小さいアンカーボルトに対する補強効果は、補強部分に主筋のみを用いた試験体より、全強度溶接型の組立鉄筋を配置した試験体の方が耐力の上昇が見られた。

## 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，1999.11
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説，1985.2
- 3) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建物の耐震改修設計指針，2001.1
- 4) 酒井 悟，中野 克彦，他：接着系あと施工アンカーの引張特性に定着長さとへりあき寸法が与える影響に関する実験的研究（その 1 実験概要及び実験結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.49-50，2005.9
- 5) 中村 卓史，松崎 育弘，他：定着長さとへりあき寸法が接着系あと施工アンカーの引張特性へ与える影響に関する実験的研究（その 2 耐力評価に関する検討），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.51-52，2005.9