

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	2011 外付け制振補強におけるRC造梁部材とダンパーブレースとの接合部要素実験(構造)
Title	
著者(和文)	箕輪田翔, 長谷川 隆, 森田 高市, 向井 智久, 石井 匠, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	Sho Minowada, daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 78,
Citation(English)	, , No. 78,
発行日 / Pub. date	2008, 1
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110006941765">http://ci.nii.ac.jp/naid/110006941765</a>

外付け制振補強における RC 造梁部材とダンパーブレースとの接合部要素実験

構造—制振

準会員 ○ 箕輪田翔\*1 正会員 長谷川隆\*2  
 正会員 森田高市\*2 // 向井智久\*2  
 // 石井匠\*3 // 佐藤大樹\*4  
 // 北村春幸\*4

RC 建物 外付け制振補強 履歴型制振ブレース  
 面外曲げ ねじれ エネルギー

1. はじめに

1995 年の阪神大震災を受けて耐震改修促進法が制定され、2006 年に同法の改正により今後 10 年間で耐震化率を向上すること目標・計画された。そこで耐震化率の向上を目標とした普及型耐震改修技術の開発の一つとして、既存 RC 造建物に対して効果的にエネルギー吸収を可能とする制震部材を用いて既存建物を高性能化させることは有効であると考えている。具体的には、図 1 に示す既存 RC 造建物の外周部に、ダンパーブレース端部の定着板と RC 部材との間にグラウト材を介して PC 鋼棒により外付けする工法は有効であり、これまでに本工法を対象とした実験的研究を行ってきている<sup>1)2)</sup>。しかしながら、本工法を普及させるためには、想定される破壊モードを考慮した設計方法が必要となる。

そこで本研究では、図 1 の点線部に示された制振ブレース(以下ブレース)端部と RC 部材の接合部における要素実験を行うことで、接合部における破壊モードの特定とそれを考慮した設計式の提案を目的としている。

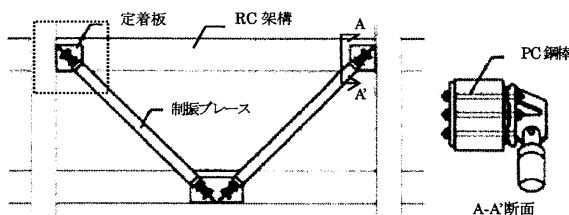


図 1 制振ブレース付き RC 梁構造例

2. 実験計画

2.1 試験体概要

本研究では用いた試験体は 4 体で、部材断面、主筋、補強筋間隔、及びブレース取付け角φをパラメータとした。表 1 に試験体一覧、表 2 に材料試験値を示し、標準試験体(試験体①)配筋図を図 2 に示す。

表 1 試験体一覧

試験体名	全主筋比割合	部材断面	主筋	補強筋	ブレース角度
①	0.3	200×425 (mm <sup>2</sup> )	6-D13	D6 @50 (mm)	45°
②	0.3	200×425 (mm <sup>2</sup> )	6-D13	D6 @50 (mm)	60°
③	1.3	200×425 (mm <sup>2</sup> )	8-D19	D6 @50 (mm)	45°
④	0.3	200×750 (mm <sup>2</sup> )	6-D19	D6 @100 (mm)	45°

表 2 材料試験値

試験体名	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	主筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	あばら筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )
①	34.5	350.4	340.5
②	34.9		
③	34.8	333.6	
④	33.5		

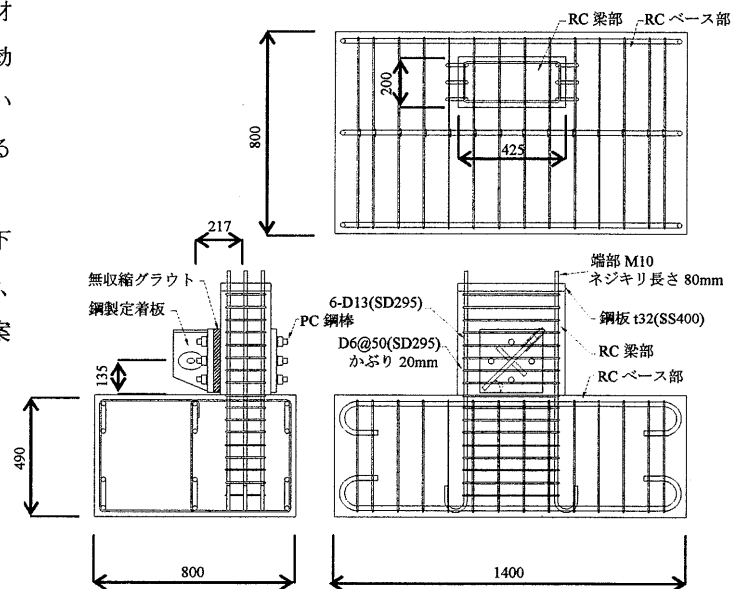


図 2 標準試験体(試験体①)詳細図

2.2 荷重方法

図 3 に荷重装置を示す。試験体は試験体基部をアンカー止めし、荷重治具に取付けた油圧ジャッキにより定着板に取付けたブレースに圧縮・引張力を加えることによって正負繰り返し荷重を行う。荷重プログラムは、ブレースの変形量が片振幅 0.5% の繰り返しを荷重荷重が低下するまで実施することとする。

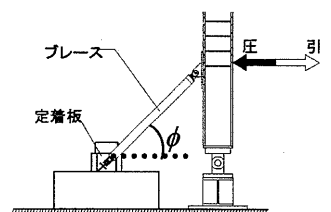


図 3 荷重装置

### 2.3 計測項目

測定項目は、載荷装置の荷重、試験体各部の変形ならびに、主筋、せん断補強筋、PC 鋼棒の歪みである。載荷装置荷重はアクチュエータの先端に取付けられたロードセルにより計測し、各部の変形は床を不動点と仮定してその立てた支柱で支持した変位計によって測定する。変位計取付け位置ならびに使用測定機器名を図4に示し、その変位計の値から面内曲げ回転角 $\theta_i$ 、面外曲げ回転角 $\theta_o$ 、ねじれ回転角 $\theta_t$ を算出する。各算出式を式(1)~(3)に示し、歪みを計測した隅角部、四隅の主筋位置を図5に併せて示す。

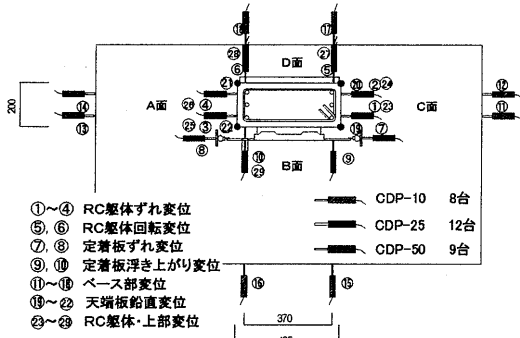


図4 変位計測定位置

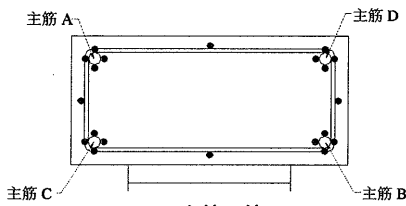


図5 主筋配筋図

$$\theta_i = \left( \frac{①+②-③-④}{4} - \frac{⑳+\㉑-\㉒-\㉓}{4} \right) / 200 \quad (1)$$

$$\theta_o = \left( \frac{⑤+⑥}{2} - \frac{⑺+\textcircled{20}}{2} \right) / 200 \quad (2)$$

$$\theta_t = \left( (⑥-⑤) - (⑬-⑭) \right) / 370 \quad (3)$$

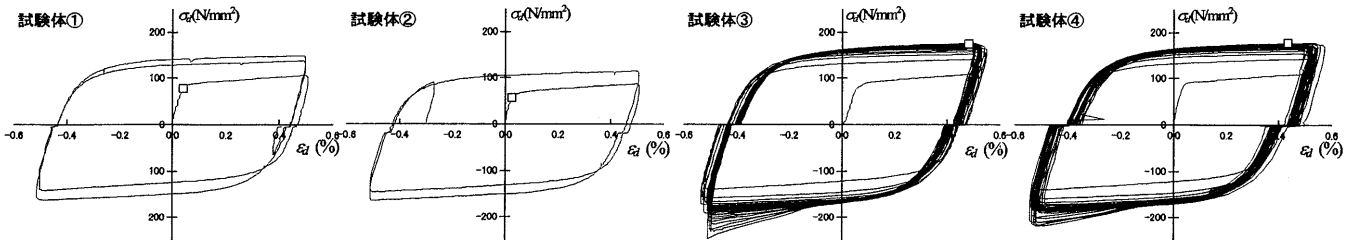


図6 ブレース軸応力-歪み関係

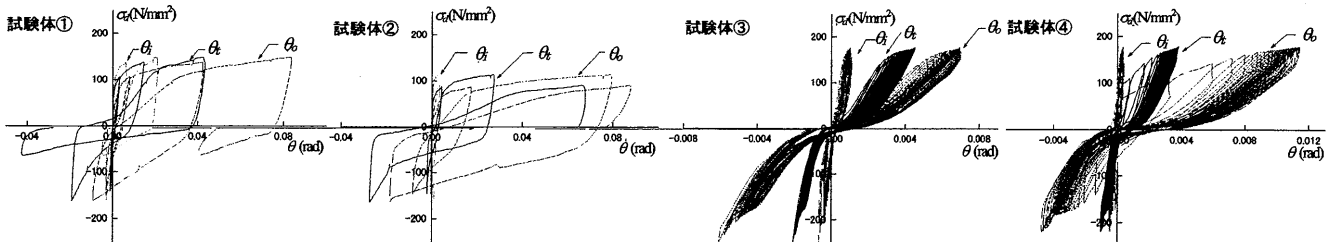


図7 ブレース軸応力-各種回転角関係

### 3. 実験結果

#### 3.1 ブレース履歴及び各種回転角の算出と検討

図6にブレース軸応力-歪み曲線を示し、図7にブレース軸応力-各種回転角( $\theta_i$ ・ $\theta_o$ ・ $\theta_t$ )を示す。図6ではブレースの軸応力が0の時、ブレースの取付けによるガタはあるものの紡錘形の安定したループを描いてエネルギー吸収していることが分かる。なお、圧縮側で荷重の増大が見られるが、これは20cyc.後半に2重鋼管の内管が圧縮時に膨張し外管に接触することにより鋼管内で摩擦が働いたためであると考えられる。また図6内に示された口はRC梁部材内の四隅に配置された4本の主筋(図5)の内、最も早期に降伏した主筋時のブレース軸応力-歪み関係を併せてプロットしたものである。図6から試験体①及び試験体②は載荷開始後2~3cyc.で破壊に至っておりブレース降伏とほぼ同時に試験体①では主筋B、試験体②では主筋C(図5)が降伏に至った。両試験体とも図7に示すように面外曲げ回転角が最も大きいことから面外曲げの影響により主筋が降伏した後にねじれによる脆性破壊となったことが推察される。また図7より試験体②の面外曲げ回転角 $\theta_o$ が試験体①に比べて大きな値となっていることが分かる。これは試験体②のブレース角度 $\phi$ が試験体①よりも大きいことにより(表1参照、RC梁部への引張応力が大きくなったためである。

試験体③及び試験体④は30cyc.の繰り返し載荷後にも時に目立った損傷が見受けられず、鋼材ダンパーのハードニングによる応力上昇に伴って、主筋の一部が降伏する程度であった。

#### 3.2 破壊性状の検討

破壊性状の検討をするに当たり、終局面内・面外曲げモーメント  $M_u$ ・ $M_o$ 、ねじれモーメント  $T_w$ 、終局せん断耐力  $Q_{su}$  の算定をそれぞれ以下の式(4)~(6)<sup>3)</sup>より算出した。表3には式(4)~(6)を元にブレース角度を考慮してブレース軸方向の応力に変換した値を示す。

表3 理論耐力と実験値との比較

試験体名	ブレース角度を考慮したブレース軸方向の理論耐力値				ブレース方向の実験値	
	せん断終局耐力 ${}_b Q_{su}$ [kN]	終局面内曲げ耐力 ${}_i Q_M$ [kN]	終局面外曲げ耐力 ${}_o Q_M$ [kN]	終局ねじれ耐力 $Q_{tuo}$ [kN]	最大引張軸力 $F_t$ [kN]	最大圧縮軸力 $F_c$ [kN]
①	643.0	295.7	86.5	168.1	142.8	151.8
②	914.9	433.0	73.2	238.1	109.8	154.9
③	796.2	1149.4	336.5	286.0	170.5	234.3
④	1600.0	1465.3	243.1	338.2	171.9	209.4

$N < N_{min} < 0$  のとき

$${}_i M'_u = {}_o M'_u = 0.8a_i \sigma_y D + 0.4ND \quad (N \cdot mm) \quad (4)$$

$$T_{uo} = 1.01 \frac{B^2 D}{\sqrt{B}} \sqrt{F_c} + \left( 0.66m + 0.33 \frac{d_c}{b_o} \right) \frac{A_s \cdot a_s \cdot \sigma_y}{s} \quad (N \cdot mm) \quad (5)$$

$${}_b Q_{su} = \left[ \frac{0.053 p_t^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right] bj \quad (N) \quad (6)$$

$${}_i M'_u = F_t \cos \phi \cdot l \quad (N \cdot mm) \quad (7)$$

$${}_o M'_u = F_t \sin \phi \cdot e \quad (N \cdot mm) \quad (8)$$

$$M'_{tuo} = F_t \cos \phi \cdot e \quad (N \cdot mm) \quad (9)$$

$${}_b Q'_{su} = F_t \cos \phi \cdot e \quad (N) \quad (10)$$

表3より実際に破壊に至った試験体①及び試験体②は実験時のブレース軸力が面外曲げ理論耐力を上回っていることが分かる。また30cyc.の繰り返し载荷においても目立った損傷の無かった試験体③及び試験体④は実験時の導入軸力がブレース方向の各種計算耐力より小さい。これは実験結果とよい整合性を示している。

### 3.3 各試験体の余裕度の検討

試験体①及び試験体②は図6及び表3より、「面外曲げ降伏」後の「ねじれ」破壊と考えられ、これらの耐力の検討が特に重要であると考えられる。そこで、本研究では「面外曲げ」「ねじれ」両者それぞれの実験時に得られた最大引張ブレース軸力  $F_t$  を元に実際に作用する応力（面内曲げ・面外曲げ・ねじれ・せん断耐力）と、式(4)~(6)から算出される計算耐力とを用いて余裕度  $R$  (= 計算耐力/実験応力) を検討する。これは、実験時の応力に対して式(4)~(6)から得られる計算耐力の比を算定するものであり、当該破壊モードに至らないことを保証するための必要な余裕度の検討である。以下に実験時の最大ブレースの導入軸力  $F_t$  による面内曲げモーメント  ${}_i M'_u$ ・面外曲げモーメント  ${}_o M'_u$ ・ねじれモーメント  $M'_{tuo}$ ・せん断力  ${}_b Q'_{su}$  の各算定式(7)~(10)を示し、図8~図11に算定時の概略図を示す。また、式(4)~(6)及び式(7)~(10)で算定された値を表4に示す。

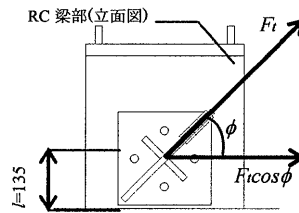


図8 面内曲げモーメント

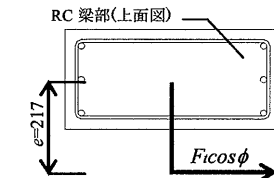


図10 ねじれモーメント

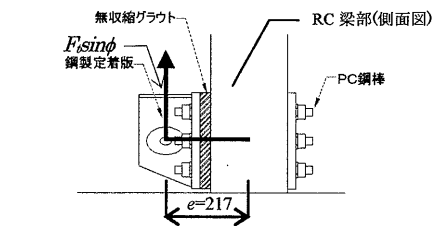


図9 面外曲げモーメント

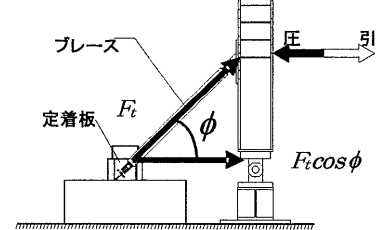


図11 せん断力

表4 ブレース導入軸力によって生じる実験耐力と理論耐力の比較

各種耐力	試験体①	試験体②	試験体③	試験体④
${}_i M'_u$	28.23	29.23	109.72	139.88
${}_o M'_u$	13.60	7.41	16.27	16.40
${}_o M'_u$	13.28	13.75	51.63	37.30
${}_o M'_u$	21.91	20.63	26.16	26.37
$T_{uo}$	25.80	25.83	43.86	51.90
$M'_{tuo}$	21.91	11.91	26.16	26.37
${}_b Q_{su}$	454.67	457.46	562.98	1131.40
${}_b Q'_{su}$	100.97	54.90	120.56	121.55

表4より得られた値を元にして縦軸に各種余裕度、横軸に試験体番号としてまとめた。面内曲げ余裕度及びせん断余裕度を図12に示し、面外曲げ余裕度及びねじれ余裕度を図13に示す。

また試験体①および試験体②は3.1節、及び3.2節で前述したように面外曲げの影響により主筋が降伏した後ねじれにより脆性破壊をした試験体であり、試験体③及び試験体④は30cyc.の繰り返し載荷後にも時に目立った損傷が見受けられなかった試験体である。

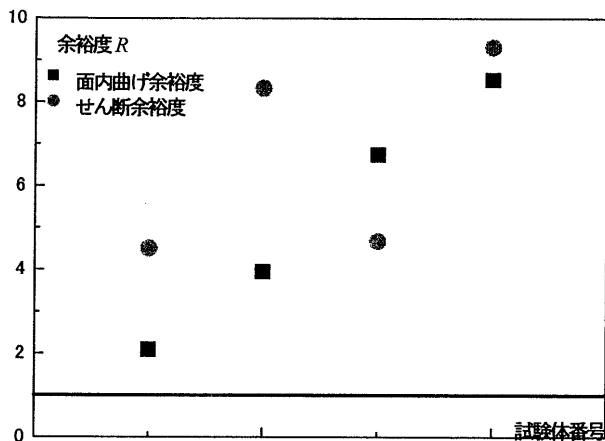


図12 面内曲げ余裕度及びせん断余裕度の算定結果

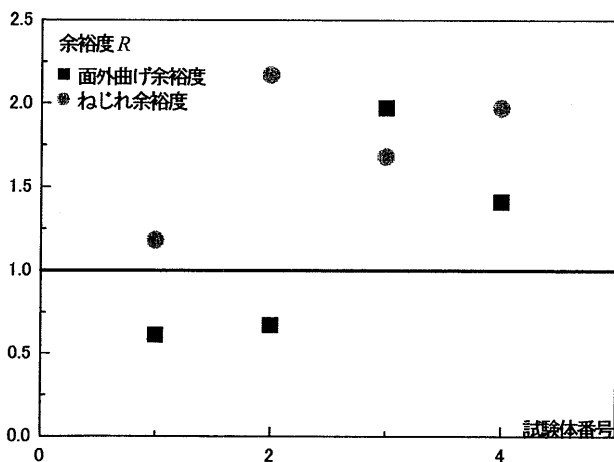


図13 面外曲げ余裕度及びねじれ余裕度の算定結果

本研究での4体の試験体については、図12から面内曲げ及びせん断に対して少なくともそれぞれ余裕度2.08、4.50を上回っていればそれぞれの破壊は避けられることが分かる。一方、図13より面外曲げ及びねじれに対しても破壊に至らなかった試験体③及び試験体④では面外曲げ及びねじれに対して、少なくともそれぞれ余裕度1.41、1.68を上回っていればそれぞれの破壊は避けられることが分かる。また面外曲げの影響により主筋が降伏した後ねじれにより脆性破壊をした試験体①及び試験体②では、それぞれが余裕度1.0を下回っており、ねじれ抵抗する主筋の降伏がある場合は、式5で得られるねじれ耐力は過大評価となる場合があるため注意を要

する。以上のことから、設計時においては、適当な係数を式(4)-(6)に乗じる必要があると思われる。

#### 4. まとめ

- 1 本研究による実験から RC 梁部の破壊性状は面外曲げの影響によりブレース降伏とほぼ同時にブレース取付け側の主筋が降伏したために、ねじれに対して主筋が抵抗できなくなり、最終的には脆性破壊が起こったと推察される。
- 2 破壊性状の評価時に「面外曲げ」「ねじれ」を複合では評価せずに各々に対して別に余裕度を考慮することにし、各耐力の検討を行った。その結果、各種余裕度(面内曲げ・面外曲げ・ねじれ・せん断)は少なくともそれぞれ余裕度2.08・1.41・1.68・4.50を上回っていればそれぞれの破壊は避けられることが分かる。今後この余裕度を元に適当な係数を提案する必要があると思われる。
- 3 今後は、面内曲げ・面外曲げ・ねじれ・せん断の観点からブレースが早期降伏する為の保証設計の方法及び、吸収するエネルギーの観点からブレースの損傷評価方法を検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 石田陽一、石井匠、北村春幸、向井智久、藤澤一善、清水孝憲：履歴減衰型制振ブレースを用いた既存RC構造物の制振補強構法に関する研究—その1. RC梁端部のねじれ破壊性状—、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.741-742、2002.8
- 2) 角田充朗、井戸建介、田中豊延、石井匠、清水孝憲、藤澤一善、薩川恵一、北村春幸：履歴減衰型制振ブレースを用いた既存RC構造物の制振補強構法に関する研究—その13.ブレース軸力・梁端部ねじり角度関係の骨格曲線—日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp.515-516、2005.9
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料
- 4) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007年度版 建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合、2007.8

#### 謝辞

本実験は、(独)建築研究所の研究課題である「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発」の鋼構造分科会(主査：北村春幸)において検討・実施されたものである。当該分科会委員並びに関係者に謝意を表す。

\*1 東京理科大学理工学部建築学科 4年

\*2 独立行政法人 建築研究所 博士(工学)

\*3 JFE 技研 株式会社 博士(工学)

\*4 東京理科大学理工学部建築学科 博士(工学)