

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	2072 履歴減衰型ブレースにより外付け制振補強されたRC架構の静的繰り返し載荷実験：-その2-ブレース変形性能低下要因を考慮した耐震性能評価(構造)
Title	
著者(和文)	住岡 良紀, 向井 智久, 小林 清一, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 79,
Citation(English)	, , No. 79,
発行日 / Pub. date	2009, 2
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/110007453925">http://ci.nii.ac.jp/naid/110007453925</a>

履歴減衰型ブレースにより外付け制振補強された RC 架構の静的繰り返し載荷実験  
—その 2—ブレース変形性能低下要因を考慮した耐震性能評価

構造—振動

RC 建物 外付け制振補強 ねじれ  
エネルギー 実効変形比

正会員 ○ 住岡良紀<sup>\*1</sup> 正会員 向井智久<sup>\*2</sup>  
準会員 小林清一<sup>\*3</sup> // 佐藤大樹<sup>\*4</sup>  
正会員 北村春幸<sup>\*5</sup>

1. はじめに

本研究は外付け制振補強された崩壊形の異なる RC 架構の静的繰り返し載荷実験を行い、崩壊形による RC 架構の破壊性状の違いを確認するとともに、ブレースの変形性能を低下させる要素と、その影響について明らかにすることを目的とし、その 1 では、実験概要と実験結果として、外付け制振補強されることによる各崩壊形の破壊性状の違いと荷重—変形関係について述べた。その 2 では、ブレースの変形性能低下について明らかにし、その影響度と補強効果について考察するとともに、梁端部のねじれ応力に着目した接合部耐力について評価を行う。

2. 実験結果考察

2.1 PC 鋼棒軸力保持率と梁端部損傷の関係

図 1 にねじれ回転角 $\theta_t$ (その 1 (1)式)、図 2 に定着板滑り変位 $\delta_{sl}$ (その 1 (2)式)、図 3 に PC 鋼棒軸力保持率(=PC 鋼棒軸力/PC 鋼棒初期導入軸力)を、それぞれ  $R$  との関係を示す。

図 1 より、Cb、Cs に比べ、Gb が  $R=1/100\text{rad}$  を超えてから $\theta_t$ が急激に増えていることがわかる。これは、他の試験体に比べ Gb は梁端部の耐力の余裕度が小さく、かつ梁端が曲げ降伏する試験体であるために、ブレース軸力が梁端部のねじれ耐力に近づきねじれ変形が大きく進んだといえる。

図 2 より、Cb、Cs に比べ、Gb が  $R=1/100\text{rad}$  を超えてから $\delta_{sl}$ が急激に増えていることがわかる。また、図 3 より、PC 鋼棒軸力保持率が、Cb、Cs は 90%以上を保持しているのに対し、Gb は  $R=1/100\text{rad}$  を超えたあたりから 80%台まで低下している。さらに、図 1 と図 3 を比較しても同様に、 $\theta_t$ の増加と PC 鋼棒軸力保持率の減少が対応している。

つまり、梁のねじれ変形および梁端部のひび割れ損傷

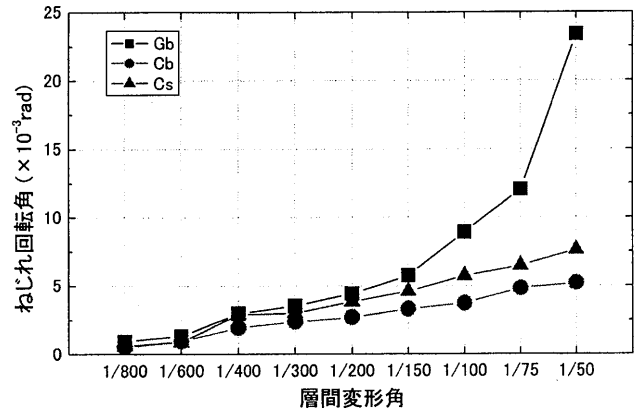


図 1 ねじれ回転角—層間変形

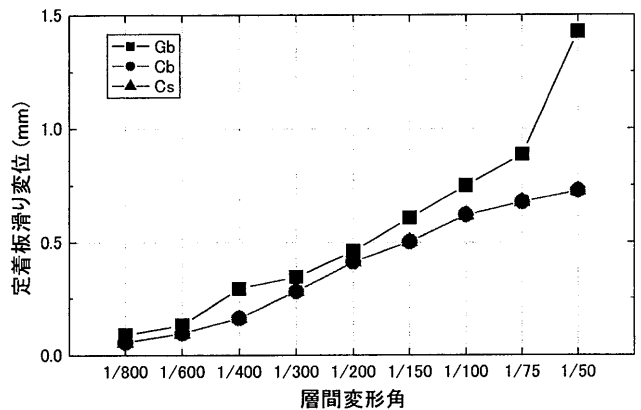


図 2 定着板滑り変位—層間変形

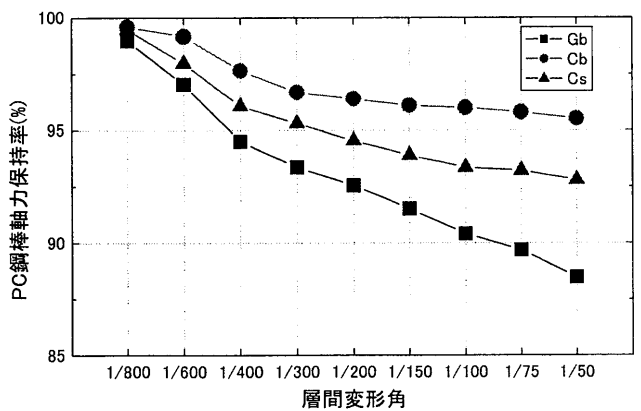


図 3 PC 鋼棒軸力保持率—層間変形

の増大に伴い、PC 鋼棒の軸力が減少し、定着板の圧着度が減少することで、滑り変位が増大することがわかった。

## 2.2 ロス変形成分

ブレースの変形性能低下の原因と考えられるロス変形成分として、梁端部のねじれ変形，定着板の滑り変位，定着板の浮き上がり変位，ピンのガタ，本実験においてはブレースに設置したロードセルのガタの要素が考えられる。

図4に，各ロス変形成分にブレース変位を加えた値と，幾何学的変位(=全体水平変位(その1 図5 D39)から幾何学的に求まるブレース軸方向成分)の値を，層間変形角ごとに示す。各ロス変形は全てブレース軸方向で示しており，ピン，ロードセルについては計測結果を直接使い，定着板の滑り変位はその1の式(3)をブレース軸方向に変換したもの，ねじれ変形 $\delta_{td}$ については式(1)に算出方法を示す。

$$\delta_{td} = \frac{b}{\theta_i} \left( 1 - \sqrt{1 - \theta_i^2} \right) \cos \phi \quad (\theta_i = 0 \text{の時}, \delta_{td} = 0) \quad (1)$$

ここに，

$b$  : 梁の幅(mm)， $\phi$  : ブレース取付角度(°)

なお，定着板の浮き上がり変位については極微小であったために除外した。

図4より，全試験体ともブレース変位とロス変形の和が概ね幾何学的変位とほぼ一致した結果であることから，接合部のロス変形の要素としては，ここで挙げた梁端部のねじれ変形，定着板の滑り変位，ピンのガタ(本実験においてはロードセルのガタ)が支配的であることが確認できた。また，最もロスの少ないCbとロスの大きいGbとを比較すると，Cbに比べGbのブレース変位の絶対量が少ないことがわかる。CbとCsを比較しても同様のことがいえる。このことから，接合部のロス変形はエネルギー

吸収性能を低下させることとなる。

## 2.3 エネルギー吸収

図5にフレームとブレースのエネルギー吸収量( $W_f$ ,  $W_d$ )を1サイクル当たりでの算出結果を棒グラフ(右軸)で，全体に対するフレームとブレースのエネルギー吸収割合( $W_f/W$ ,  $W_d/W$ )を線グラフ(左軸)で層間変形角ごとに示す。各エネルギー吸収量はその1の図7において用いた荷重と各変位(ブレース変位は水平成分)関係から算出した。図6にブレースの制振補強効果を表す指標として，ブレース軸方向変位の水平成分とRC架構の層間変位との比率(実効変形比)を層間変形角ごとに示す。なお，Csは， $R=1/75\text{rad}$ までの結果とする。

図4, 6の結果から，全試験体共通して，小変形時にはピンおよびロードセルのガタの影響から実効変形比が小さく，ブレースは機能していないことがわかる。また，図6よりブレースが降伏した $R=1/400\text{rad}$ 並びに $R=1/300\text{rad}$ を境に実効変形比が上がり，補強効果が出始めていることがわかる。

Cbは，図4から，最もロス変形が少なかった試験体であり，図5から，ブレースのエネルギー吸収量が最も多い結果となり，補強効果も高かったといえる。

Gbは，図6から，他の試験体に比べ $R=1/150\text{rad}$ を超えるとダンパーの実効変形比の上昇する割合が小さいことがわかる。これは，図4との比較より，梁端部のねじれ変形，また，それに伴う定着板の滑り変形の影響が大きいと考えられる。図5のエネルギー吸収量を見てもCbに比べブレースのエネルギー吸収量は $R=1/150\text{rad}$ から少なくなっており，ある変形以上から補強効果が低下している。

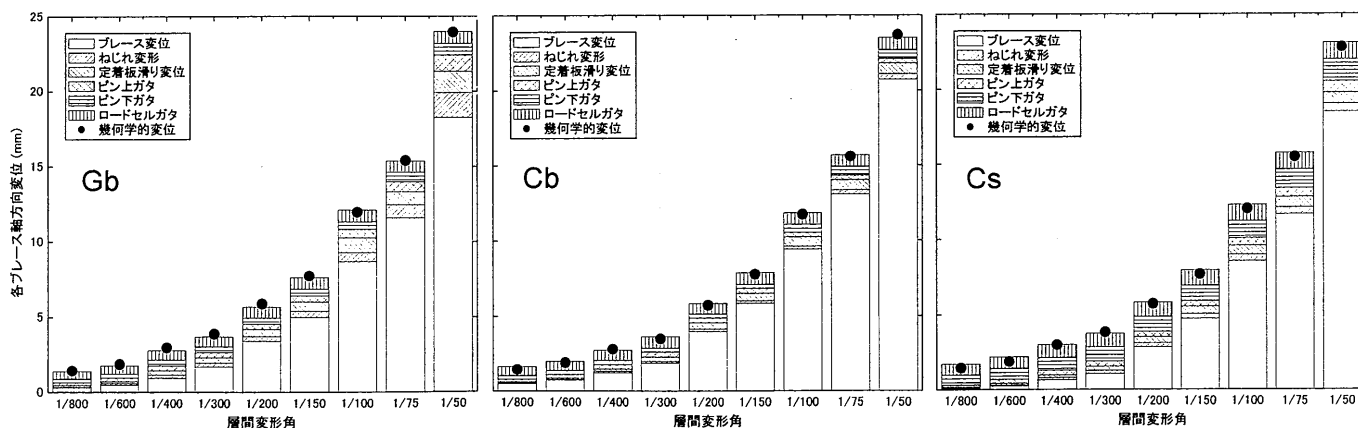


図4 各ブレース軸方向変位—層間変形角

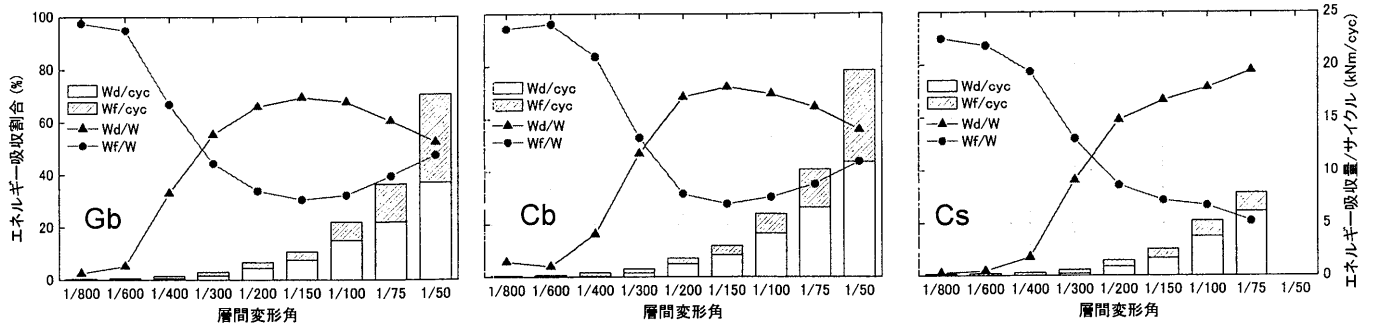


図5 ブレースとフレームのエネルギー吸収量と吸収割合

Csは、ピンのクリアランスが他の試験体に比べ大きいものを用いたため、図6から、小変形時の実効変形比が最も低い結果となったが、 $R=1/75$ radまでで見ると、最終的に8割まで上昇していることと、図5のエネルギー吸収量の結果としては、Gb相当の結果が得られていることがわかる。また、南柱がせん断破壊した $R=1/100$ rad後もブレースの性能は低下していないことがわかる。このことから、柱が軸力保持能力を有していれば、ある程度の補強効果が得られることになる。

全試験体共通して、 $R=1/50$ rad(Csは $R=1/75$ rad)までブレースは図5からエネルギー吸収割合で全体の50%以上、図6から実効変形比で80%以上であり、十分な制振補強効果が得られているといえる。

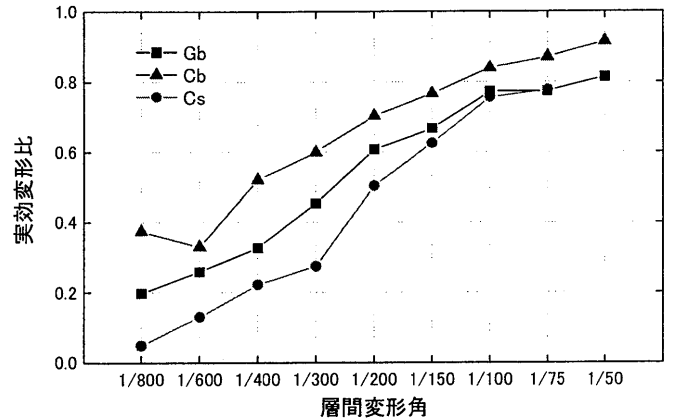


図6 実効変形比

3. ねじれ耐力の余裕度に関する検討

接合部の設計を行う上で接合部に発生する応力を把握することは重要であり、過去にはRC梁端部とブレース端部接合部を再現した試験体1~8の要素実験を行っている<sup>1)</sup>。表1に要素試験体の概要を示す。

図7にねじれ余裕度 $R_t$ の結果を示す。ここで、 $R_t$ は実験最大ねじれ応力 $M_{tu0}$ (式(2))に対する計算ねじれ耐力 $T_{u0}$ の比を算定したものであり、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である<sup>1)</sup>。

$$M_{tu0} = e \cdot P_{dmax} \cdot \sin \phi \quad (2)$$

ここに、

$e$  : 梁材芯からブレース端部までの偏心距離(m)

$P_{dmax}$  : 実験時ブレース最大荷重(kN)

過去の要素試験体の結果では、ねじれ破壊が起こらなかった試験体3の余裕度(1.72)を下限値としてねじれ余裕度と定めていた。しかし、今年度のGbは最終的に梁端部がねじれ破壊に至っていない試験体である。また、

表1 要素試験体概要

試験体	スラブの有無	破壊性状
1,2,5~7	無し	ねじれ破壊
8	有り	
3,4	無し	ねじれ破壊に至らず

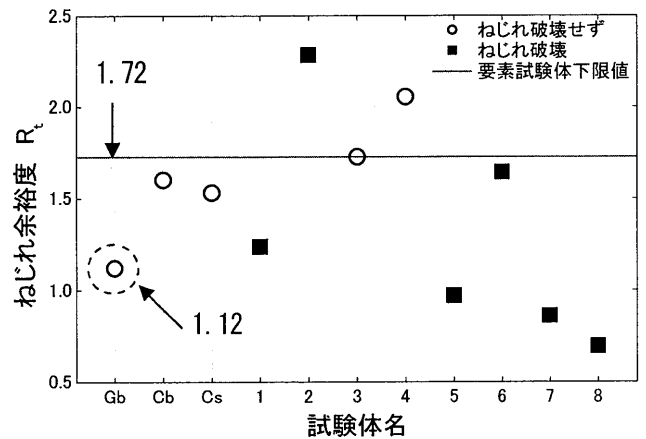


図7 ねじれ余裕度

スラブ付きの試験体8の結果からスラブが付くことによって耐力が見込めることも確認されており、少なくともGbの余裕度1.12程度(図7中の波線)を保証すれば接合部が破壊までに至らないと考えられるが、前述したとおり接合部の損傷が大きくなることでロス変形が増大し、エネルギー吸収性能が低下するため、設計の際にはその

点に十分留意する必要がある。

#### 4. 接合部設計法の提案

##### 4.1 ブレースが早期降伏するための保証設計(RC 梁部)

本評価は梁端部主筋の降伏によりねじれ破壊を防ぐことを目的とした評価である。ブレース規格より降伏強度  $\alpha_y$  を決定する。さらに、ブレースの歪み硬化を考慮した係数  $\alpha (=1.5 \sim 2.0)$  を乗じた値をブレース導入軸力  $P_d (= \alpha \cdot \alpha_y)$  とし、式(3)を満たすこととする。

$$\alpha_t \cdot T_{uo} / M_{tuo} > 1.0 \quad (3)$$

ここに、 $\alpha_t : 0.89$  ( $R=1.12$  の逆数)

##### 4.2 ブレースが早期降伏するための保証設計(接合部)

本評価は RC 梁部に十分な耐力がある時にグラウト部での脆性破壊を防ぐことを目的とした評価である。滑り耐力時のブレース応力  $Q_{sl}$ 、グラウトのせん断破壊耐力  $Q_{Gu}$ 、定着板浮上り耐力  $Q_{ul}$  を式(4)~(6)<sup>3)</sup>にて求め、ブレース応力を超えないことで接合部の確認とする。

$$Q_{sl} = \mu \cdot n \cdot N \quad (4)$$

$$Q_{Gu} = n_{sky} \cdot Q_{sky} + Q_{sl} \quad (5)$$

$$Q_{ul} = Z \cdot \sum P_a / (h \cdot A) \quad (6)$$

##### 4.3 接合部設計フローチャート

図8に外付け制振補強工法における設計フローチャートを示す。各判断点は4.1, 4.2節の評価を用いる。

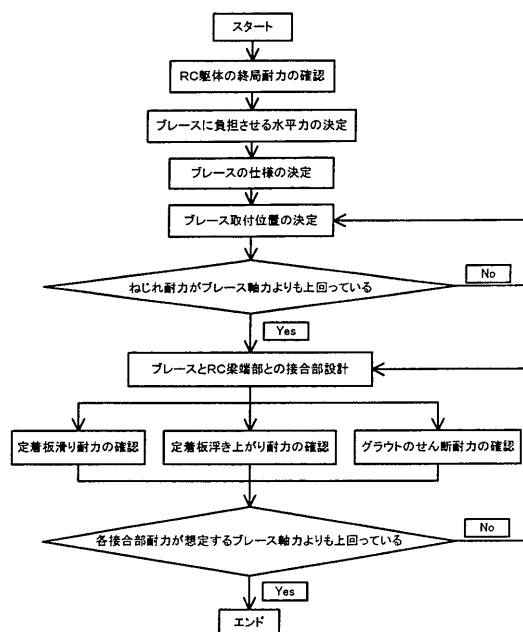


図8 設計フローチャート

合部のロス変形は、ピンのクリアランス、梁のねじれ変形、定着板の滑り変位が支配的である。

- (3) ねじれ耐力の余裕度について、今年度の梁曲げ試験体の余裕度 1.12 を用いれば、ブレースによる応答制御の効果が期待できる。

#### 5. まとめ

本研究より以下の知見を得られた。

- (1) 各崩壊形架構に関して以下の事がいえる。

- ・梁曲げ降伏型試験体は、梁端部の曲げ耐力が他の試験体に比べ低いため、梁曲げ降伏時点以降の変形レベルで、梁端のねじれ変形および梁端のひび割れ損傷が大きくなり、PC 鋼棒の軸力が低下することに伴う定着板の滑り変位が卓越し、ブレースによるエネルギー吸収性能が低下する。
- ・柱曲げ降伏型試験体は、梁が十分なねじれ耐力を有していたため、安定したブレースのエネルギー吸収が確認できた。
- ・柱せん断破壊型試験体は、柱のせん断破壊後も柱が軸力保持能力を有していれば、ブレースのエネルギー吸収性能は確保される。

- (2) ブレースのエネルギー吸収性能に影響を及ぼす接

#### 謝辞

本検討は、(独) 建築研究所の研究課題「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発 (H18-20)」の鋼構造分科会(主査: 北村春幸)にて行われた。分科会委員に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 箕輪田翔ほか: 外付け制振補強された既存 RC 建造物の耐震補強設計手法に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp.651-654, 2008.9
- 2) 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, 1991.9
- 3) 向井智久ほか: 梁端部のねじれ挙動を考慮した外付け制振補強 RC 架構に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集 584 号, pp.139-146, 2004.10

\*1 東京理科大学 理工学研究科建築学専攻

\*2 独立行政法人 建築研究所 主任研究員 博士(工学)

\*3 東京理科大学 理工学部建築学科

\*4 東京理科大学 理工学部建築学科 助教 博士(工学)

\*5 東京理科大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学)