

## 既存鉄筋コンクリート造公共建築物の耐震補強に関する事例分析

## Investigation on Seismic Retrofitting of Existing R/C Public Buildings

藤井 賢志\*・楠 浩一\*・中 埜 良 昭\*

Kenji FUJII, Koichi KUSUNOKI, and Yoshiaki NAKANO

## 1. はじめに

1995年10月の「建築物の耐震改修の促進に関する法律」制定後、学校建築をはじめとする既存公共建築物を中心に耐震診断および耐震改修が日本全国で精力的に実施されている。一方、静岡県では東海地震を想定して1980年代より公共建築物を中心として耐震改修が精力的に行われている<sup>1)</sup>。本報では、これらの耐震診断および耐震改修に関するデータを収集し、まず耐震補強工法の年代による傾向の把握を目的として、近年に耐震補強計画が立てられた鉄筋コンクリート造(以下RC造)公共建築物を対象に補強工法の傾向を分析し、1980年代に静岡県で行われた耐震補強における傾向<sup>1)</sup>と比較した。さらに、RC造耐震壁および鉄骨ブレースを増設して補強した建築物を対象に補強前後における平面的な剛性・耐力のバランスの変化について検討した。

## 2. 耐震補強された建築物データの概要

検討に用いたデータは下記に示す3種類である。建築物の地域と補強計画の年代によってそれぞれのデータ群を「静岡県Ⅰ」、「静岡県Ⅱ」、「全国」と呼び区別する。

- ① 「静岡県Ⅰ」1979年から1985年の間に静岡県において耐震補強が計画されたRC造公共建築物243棟<sup>1)</sup>。
- ② 「静岡県Ⅱ」1996年から1998年の間に静岡県において耐震補強が計画されたRC造公共建築物60棟<sup>2)</sup>。
- ③ 「全国」1996年から1999年の間に日本全国で耐震補強計画が立案されたRC造学校建築物のうち、(社)文教施設協会に設置された耐震判定委員会に提出された建築物351棟<sup>2)</sup>。

図1にそれぞれの補強建物に関する耐震補強計画年度の分布を示す。静岡県では東海地震に対する地震対策の一環として1980年代から耐震補強計画が行われている事がわ

\*東京大学生産技術研究所 人間・社会大部門

かる。一方、1996年に文部省による地震防災緊急事業5ヵ年計画が開始されたため、1996年以降に全国的規模で学校建築の耐震補強計画が行われはじめた事がわかる。

図2に補強建物の層数分布を示す。3層建築物が最も多く、2～4層建築物が主であることがわかる。

図3に補強建物の用途分布を示す。「静岡県Ⅰ」・「静岡県Ⅱ」ともに学校建築の割合が非常に高く、全体の7割から9割を占める。「全国」において耐震補強が計画された

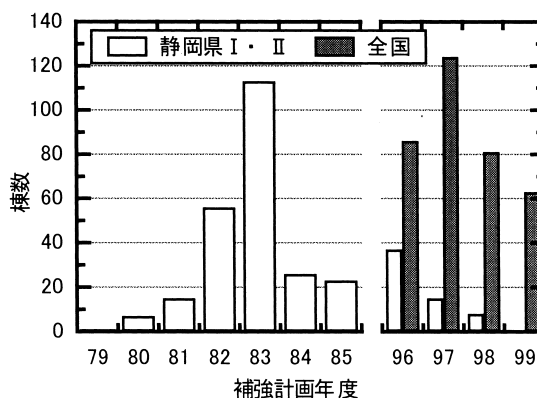


図1 補強計画年度分布

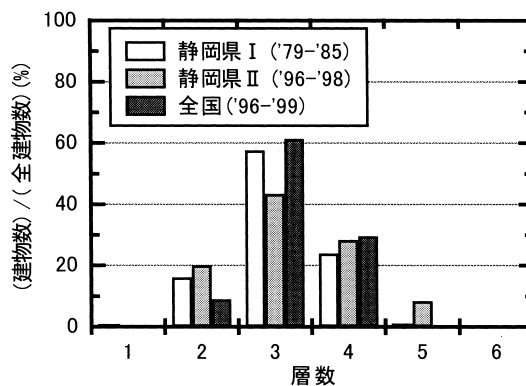


図2 層数分布

建築物はすべて学校建築であるため、各データ間の用途による差異は小さいと考えられる。

### 3. 耐震補強工法の傾向

本節では各データの補強建物において採用された耐震補強工法の傾向を比較する。「静岡県 I・II」の建築物データでは梁間方向と桁行方向を区別して採用された耐震補強工法が分類されているが、「全国」の建築物データでは区別されておらず、建築物 1 棟ごとに分類されたものである。

図 4 に「静岡県 I・II」において採用された耐震補強工法の全補強建物数に対する比率を示す。複数の耐震補強工法が同一の建築物に採用される事が多いため、比率の合計は 100% を超えている。図 4 において、増設 RC 耐震壁による耐震補強が採用された建築物が、「静岡県 I」(’79-’85) では 80.3% であるのに対し「静岡県 II」(’96-’98) では 47.7% に減少している。一方、鉄骨ブレースが増設された建築物が、「静岡県 I」(’79-’85) では 2.1% であったが、「静岡県 II」(’96-’98) では 51.4% に増加している事がわかる。これは、耐震補強計画の立案された年代が新しくなるに従って、軽量で工場生産が可能かつ採光・通気確保が

容易な枠付き鉄骨ブレースによる耐震補強が増加している事を示している。なお図 4 において「その他」に分類されている耐震補強工法を採用した補強建物の比率が静岡県 I・II ともに約 60% を占めているが、この約 8 割は屋根スラブの軽量化等による荷重軽減である。

図 5 に「全国」の学校建築において採用された耐震補強工法の比率を示す。図 5 において、増設 RC 耐震壁による耐震補強を採用した建物は 71.4% を占め、増設 RC 耐震壁による耐震補強が主流であることを示している。一方鉄骨ブレースの増設による耐震補強を採用した建物は 52.4% となり大半を占めている。これは静岡県において近年に鉄骨ブレースによる耐震補強が大半を占めている傾向と符合するものである。

耐震補強工法の全補強建物棟数に対する比率の補強計画年度による推移を図 6 に示す。増設 RC 耐震壁による補強建物の比率は 1996 年度から 1998 年度では 80% 程度で推移しているが、1999 年度には 60.9% に減少している事が

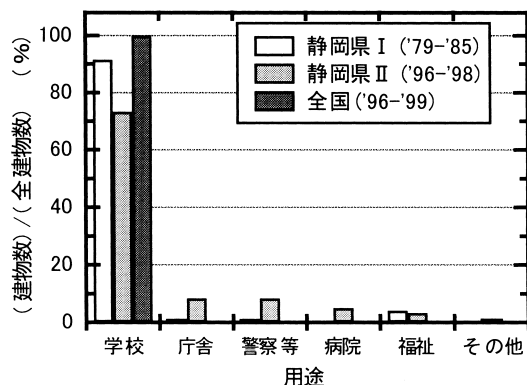


図 3 用途分布

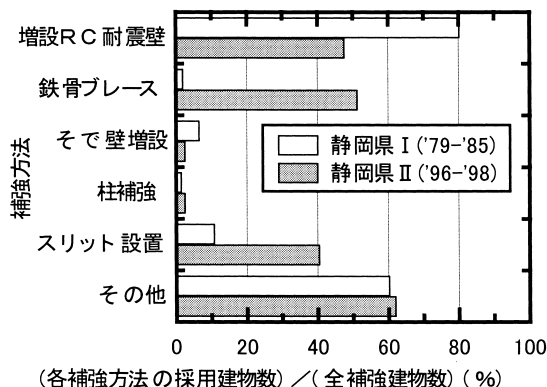


図 4 採用補強方法の傾向 (静岡県)

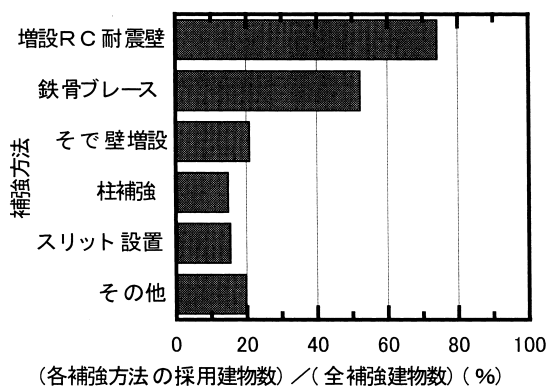


図 5 採用補強方法の傾向 (全国)

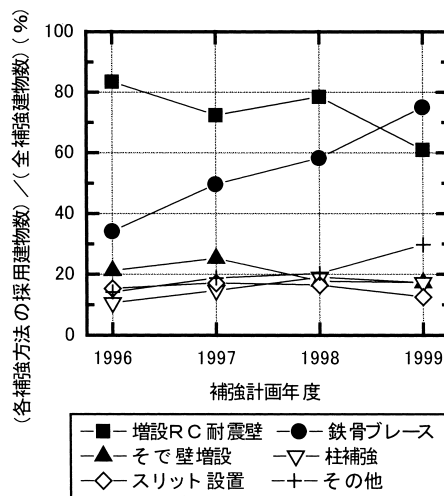


図 6 採用補強方法の年度別による傾向 (全国)

研 究 速 報

わかる。一方鉄骨ブレースによる補強建物の比率は1996年度で34.1%であったものがその後連続的に増加し1999年度には75%に達し、増設RC耐震壁による補強建物の比率を上回っている事がわかる。

4・補強建物の剛性・耐力の偏心の変化

3節で述べたように、近年の耐震補強計画において増設RC耐震壁と鉄骨ブレースによる耐震補強が主流となっている。平面的にバランスの良い耐震補強要素の配置計画は、耐震補強計画における重要なポイントの一つである。しかしながら、この両者の補強工法は建築物の用途・採光等による制約が大きいので、補強要素が特定の構面に集中した配置計画が採用される場合がある。

文献[3]では建物の耐震要素の平面的な偏りを(式1)に示す剛性偏心率 $R_{EK}$ によって評価している。

$$R_{EK} = \frac{e_K}{\sqrt{B^2 + L^2}} \dots\dots\dots (1)$$

$e_K$  : 剛性偏心距離 (式2)

$$e_K = \frac{\sum_i K_X \cdot i L_Y}{\sum_i K_X} \dots\dots\dots (2)$$

$K_X$  : 構面*i*の剛性

$L_Y$  : 重心位置から構面*i*までの距離

$B, L$  : 建築物の辺長

ところで、同程度の耐力を発揮するように設計された鉄骨ブレースと増設RC耐震壁を比較した場合、一般に鉄骨ブレースの剛性は増設RC耐震壁と比べて低くなる。そのため、鉄骨ブレースの偏心配置による影響は、同程度の耐力を持つ増設RC耐震壁を用いた場合と比較して小さいものと評価される傾向がある。日野等の研究<sup>3)</sup>では、同程度の耐力であれば剛性の低い鉄骨ブレースを偏心配置させた場合でも増設RC耐震壁を偏心配置させた場合と同程度のねじれ応答が生じる可能性がある事が報告されており、剛性の偏心のみならず耐力の偏心を考慮に入れる必要があることが指摘されている。本節では、増設RC耐震壁または鉄骨ブレース、もしくはその両者を用いた補強計画の立てられた事例から10例を選び、補強前後における剛性・耐力の偏心の変化について検討した。

4.1 対象とした建築物

対象とした建築物は3節の検討に用いた「静岡県Ⅱ」および「全国」の補強建物群で以下の条件を満足するものとした。

- ① 増設RC耐震壁あるいは鉄骨ブレースが特定の構面に集中して配置されている建築物、もしくは増設RC耐

震壁と鉄骨ブレースが併用されている建築物

- ② 辺長比が4以下でかつ比較的整形な建築物（隣接建築物との間にエキスパンジョイントが設置されている建築物を含む）

対象建築物の一覧を表1に示す。対象とした建築物はすべて学校建築であり、補強工法別の内訳は、増設RC耐震壁による耐震補強が2棟、鉄骨ブレースによる耐震補強が5棟、両者の併用が3棟である。対象建物のほぼ半数が延床面積1,000 m<sup>2</sup>を下回る比較的小規模なものである。すべての建築物において1層桁行方向を検討対象とした。

4.2 剛性・耐力偏心率の算定

本報では剛性および耐力の偏心を、(式1)で定義される剛性偏心率 $R_{EK}$ <sup>3)</sup>と(式3)で定義される耐力偏心率 $R_{EQ}$ <sup>4)</sup>により評価した。

表1 対象建築物の一覧

番号	名称	階数	延床面積 (m <sup>2</sup> )	補強方法
①	N中学校	2	743	S-BR
②	M小学校	3	673	RC-W
③	M中学校	3	1,049	RC-W
④	F小学校	3	1,044	S-BR
⑤	K小学校	2	883	S-BR
⑥	K小学校	3	1,471	併用
⑦	T中学校	2	499	S-BR
⑧	Y小学校	3	338	S-BR
⑨	S高校	3	1,130	併用
⑩	Y高校	5	3,497	併用

RC-W : 増設RC耐震壁  
S-BR : 鉄骨ブレース  
併用 : 両者の併用

$$R_{EQ} = \frac{e_Q}{\sqrt{B^2 + L^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$e_Q$  : 耐力偏心距離 (式4)

$$e_Q = \frac{\sum_i Q_{uX} \cdot i L_Y}{\sum_i Q_{uX}} \dots\dots\dots (4)$$

$Q_{uX}$  : 構面*i*の耐力でF=1.0における耐力とし、(式5)による。

$$i Q_{uX} = \sum Q_{CS} + \sum Q_{WS} + \sum Q_{WB} + 0.7 \times \sum Q_{CB} \dots\dots (5)$$

- $Q_{CS}$  : せん断柱の終局耐力
- $Q_{WS}$  : せん断壁の終局耐力
- $Q_{WB}$  : 曲げ壁の終局耐力
- $Q_{CB}$  : 曲げ柱の終局耐力

剛性偏心率  $R_{EK}$  は、診断結果に記載されているものについては (式3) と整合している事を確認した。また値が記載されていないものについては (式3) で評価した。一方耐力偏心率  $R_{EQ}$  については全て (式4) によった。鉄骨ブレースの剛性評価については、文献 [5] の方法により等価な剛性をもつ RC 造耐震壁に置換した。なお剛性および耐力の偏心率を算定する上で、補強前後において建築物の重心位置の変動は無視できるものとし、また単位面積あたりの重量を  $1.2t/m^2$  と仮定した。

#### 4.2 補強前後における剛性・耐力偏心の変化

図7に補強前後における剛性偏心率  $R_{EK}$  と耐力偏心率  $R_{EQ}$  の相関関係を示す。図6より、まず増設 RC 耐震壁による耐震補強の場合には、補強後の建築物においても剛性偏心率  $R_{EK}$  と (式3) で定義した耐力偏心率  $R_{EQ}$  はほぼ同程度の値である事がわかる。一方、鉄骨ブレースのみを増設した場合、剛性偏心率  $R_{EK}$  は補強前後でほぼ同程度であるが、耐力偏心率  $R_{EQ}$  は大きく変動しているケースが見られる。増設 RC 耐震壁と鉄骨ブレースの両者を併用した場合には、補強後に剛性・耐力の偏心がともに増大しているケースが2例ある一方で、補強後で剛性偏心率が増大しているものの耐力偏心率が逆に小さくなっているケースも存在する。これは、上記の補強建物において南北両側構面に増設 RC 耐震壁と鉄骨ブレースを同程度の枚数ずつ増設して耐力が同程度増加しているが、南側構面は剛性の低い鉄骨ブレースを増設して北側構面は剛性の高い増設 RC 耐震壁と鉄骨ブレースを増設した事によって南北両側構面において付加した剛性に差が生じたためである。

以上の検討から、鉄骨ブレースによる耐震補強を行った

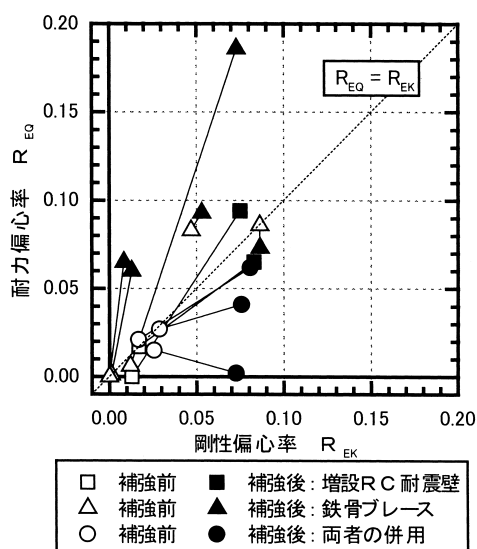


図7 剛性偏心率  $R_{EK}$  と耐力偏心率  $R_{EQ}$  の関係

場合には剛性偏心が補強前後で変化しない場合であっても耐力偏心が大きく変化し得る事がある。特に後者の耐力偏心については文献 [3] で明確な規定がないために一般的には必ずしも十分な注意が払われていない可能性がある。従って3節で示したように近年鉄骨ブレースの増設による補強が増加しているため、本検討で用いた補強建物のように耐力偏心が増大している建物が増加している可能性があることに留意する必要がある。

#### 5. ま と め

耐震補強が計画された建築物において採用された補強工法の傾向に関して年代による比較を行った。さらに増設 RC 耐震壁および鉄骨ブレースにより耐震補強が行われたケースを対象に補強前後における剛性・耐力の偏心の変動を調べた。得られた結果を以下に示す。

- ① 耐震補強計画において、鉄骨ブレースが採用されるケースが近年増加している。
- ② 増設 RC 耐震壁を偏心配置した場合には補強後の剛性偏心と耐力偏心はほぼ同程度の値となるが、鉄骨ブレースのみの補強の場合ならびに両者を併用した場合には、剛性偏心が補強前後でほとんど変化しない場合であっても耐力偏心が大きく変化する事がある。

#### 謝 辞

本報告は、(社)文教施設協会に設置された「学校建築物耐震診断等判定委員会(委員長:岡田恒男芝浦工業大学教授)」において1996年度から1999年度の間に耐震判定された建築物およびそのデータ、ならびに静岡県において1996年度から1998年度の間に耐震判定された建築物およびそのデータをもとに取りまとめたものである。判定委員および静岡県における耐震補強建築物のデータの提供を頂いた野末功氏(元静岡県庁)をはじめ、関係各位に謝意を表す。

(2000年9月29日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究, 中埜 良昭, 東京大学博士論文, 1988.12.
- 2) せん断破壊を伴う鉄筋コンクリート造単層建物のねじれ地震応答性状, 藤井 賢志, 東京大学修士論文, 2000.2.
- 3) 改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, 日本建築防災協会, 1990.12.
- 4) Yoshiaki NAKANO, Koichi KUSUNOKI and Yasumichi Hino, "TORSIONAL RESPONSE OF RC BUILDINGS RETROFITTED WITH STEEL FRAMED BRACES", Proc. of 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000.1.
- 5) 改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説, 日本建築防災協会, 1990.12.