

論文 学校建築物の耐震補強における耐震壁の配置計画に関する考察

福田浩史^{*1}・畑中重光^{*2}・高田豊文^{*3}・小浜芳朗^{*4}

要旨：現在，耐震性の低い様々な建築物について耐震補強が行われている。中でも強度抵抗型補強では，耐震壁の増設による補強方法が主流であるが，それらを配置する場所は大きな問題となる。本研究では，RC造学校建築物を例にとり，耐震壁増設補強を行う際に，壁配置場所が偏心率に及ぼす影響を考察した。すなわち，ここでは新設壁に取りつく既設壁の存在の有無を考慮して，平面形状がL型・コ型となる場合の耐震壁の剛性を定量的に評価し，それらを偏心率に反映させることによって，新設壁の配置場所が建物の構造性能に及ぼす影響を調べた。
キーワード：RC造学校建築物，耐震補強，耐震壁配置計画，L型・コ型耐震壁，偏心率

1. はじめに

RC造学校建築物を耐震補強する場合，強度抵抗型補強では，耐震壁および鉄骨ブレースの増設による補強方法が主流であるが，それらを配置する場所は補強計画上で大きな問題となる。一般に，補強後の耐震性能は耐震診断基準¹⁾に基づいて評価されるが，この場合，同一の構面内であればどの箇所に壁を配置しても補強後の偏心率は同じであると評価される(ただし，壁の強度は軸力によって若干変化する)。しかし，実際には，新設壁に付随する条件(文献²⁾で指摘されている以下の①～③の事項など)を考慮すると，同一の構面内への配置でも補強効果が異なることが考えられる。

[補強計画における留意点²⁾](図1参照)

- ① 新設壁 A のように，既設壁が直交方向に取りつく場合には，既設壁は特に曲げ剛性と基礎回転剛性を高める。
- ② 新設壁 B や新設壁 C のように，既設壁と無関係に配置するならば，負担軸力が大きく境界梁または直交梁の多く取り付く部分(新設壁 C)に配置した方が，曲げ剛性あるいは基礎回転剛性が大きくなる。
- ③ 既設壁と無関係に配置する場合，新設壁 D

のように平行して 2 枚の壁を計画すると，その壁をつなぐ直交梁は基礎回転剛性に寄与しなくなるので，注意が必要である。

本研究では，RC造学校建築物の桁行方向(図1の横軸方向)に耐震壁の増設補強を行う際に，耐震診断基準では明確に検討できない事項について調べる。すなわち，留意事項の①に示されているように，新設壁に取りつく既設壁の存在の有無を考慮して，平面形状がL型・コ型の耐震壁となる場合の剛性を定量的に評価し，それらを耐震診断基準における形状指標(S_p)(ここでは，偏心率に限る)に反映させることによって，新設壁の配置場所が建物の構造性能に及ぼす影響を考察する。

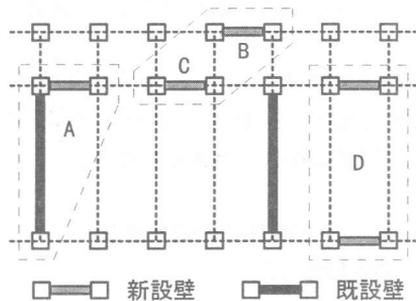


図1 新設壁の配置パターン

*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)
 *2 三重大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)
 *3 三重大学助手 工学部建築学科 工修
 *4 三重大学教授 工学部建築学科 工博

2. 補強後の建物の耐震性能評価

耐震補強後の建物の耐震性は、一般に、耐震診断基準に基づく I_s 指標で評価される。

$$I_s = E_0 \times S_0 \times T \quad \dots (1)$$

ここで、 I_s ：構造耐震指標 (各階各方向)

E_0 ：保有性能基本指標

(=強度指標 C × 靱性指標 F)

S_0 ：形状指標 (建物形状等による低減率)

T ：経年指標 (経年劣化等による低減率)

強度型補強の場合、壁の増設により保有性能基本指標 (E_0) は増大する。一方、形状指標 (S_0) は、剛性の平面的または立面的アンバランスが助長されると、壁の配置が逆に S_0 値の低下につながる。ここでは、平面的アンバランス、すなわち偏心率の影響に限って考察するが、一般に、耐震診断基準における偏心率は式 (2) より算出され、その値を用いて形状指標が算定される (図 2 の破線)。

$$R_{ex} = e_y / \sqrt{B^2 + L^2} \quad \dots (2)$$

ここで、 e_y ：偏心距離

B, L ：建物短、長辺方向長さ

また、耐震診断基準には、より詳細に偏心率の影響を考慮する方法として、2 次設計法で示されている式 (3) より偏心率を算出し、形状特性係数 (F_e) により形状指標を評価する方法 (図 2 の実線) も併せて記されている。

$$R_{ex} = e_y / r_{ex} \quad \dots (3)$$

ここで、 r_{ex} ：弾力半径 ($= \sqrt{K_\theta / K_x}$)

K_θ ：剛心まわりのねじれ剛性

K_x ：水平剛性

さらに、文献 3) による F_e 値算法 (図 2 のなめらかな曲線) を用いれば、壁配置場所の優劣がより明確に現れると考えられる。

3. L 型・コ型耐震壁の剛性評価

3.1 剛性評価方法

建築構造物には、二方向の壁板からなる L 型・コ型などの平面形状をもった、いわゆる開断面壁が配置されている場合が少なくない。現行の設計、耐震診断および耐震補強では、このような平面形状をもつ壁は各方向ごとに分割し、そ

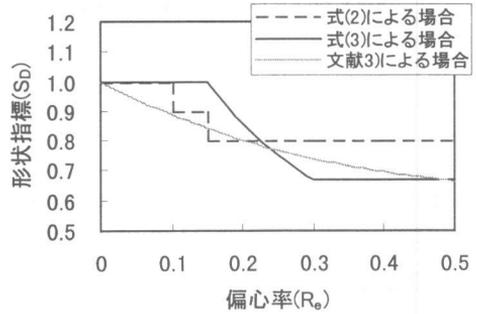


図2 偏心率 (R_e) と形状指標 (S_0) の関係

れぞれ独立した平面壁として取り扱われるのが一般的であるが、実際には連続する壁が一体となって挙動するため力学的特性は平面壁とは異なったものとなる。本報では、開断面壁の剛性評価に柴田ら⁴⁾の提案した以下の解析法を適用することにした。

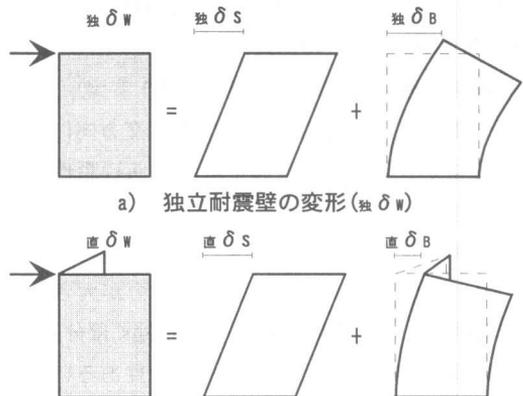
図 3-a) に示すように、一般に独立耐震壁の変形は、せん断変形 δ_s と曲げ変形 δ_B の和で算定される。(ここでは、基礎の回転による変形は考慮しない)。すなわち、

$$\delta_w = \delta_s + \delta_B$$

ここで、 δ_w ：耐震壁の変形

δ_s ：せん断変形、 δ_B ：曲げ変形

一方、直交壁が取り付いた L 型・コ型耐震壁の場合、柴田らが提案する解析法⁴⁾では、図 3-b) に示すように、直交壁が取り付くことで、



b) 直交壁の取り付く耐震壁の変形 (直 δ_w)

せん断変形：独 $\delta_s =$ 直 δ_s

曲げ変形：独 $\delta_B >$ 直 δ_B

壁の変形：独 $\delta_w >$ 直 δ_w

図3 耐震壁の変形

壁板の曲げ変形が抑制され(境界柱の変形を共有するため)、開断面壁を構成する各方向の耐震壁の剛性は、ともに独立耐震壁よりも増大することになる。

以下、具体的な計算例を示しながら、独立耐震壁に対する開断面耐震壁の剛性の増加率に関して考察を行う。

3.2 直交壁による剛性の増加率

図4は、新設壁(壁厚 $t_w=20, 30, 40\text{cm}$)および新設ブレース(等価剛性 RC 壁厚 $t_w=2.5\text{cm}$ と仮定)を桁行方向(X方向)に配置した時のL型およびコ型耐震壁のイメージ図を示す。ただし、梁間方向(Y方向)の耐震壁は既設とし、その壁

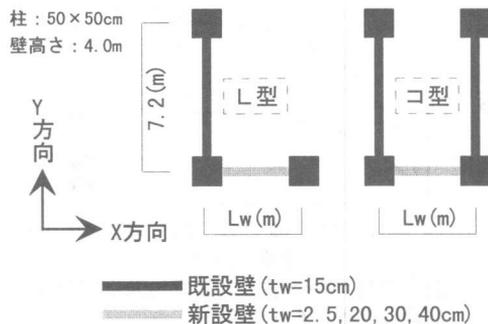
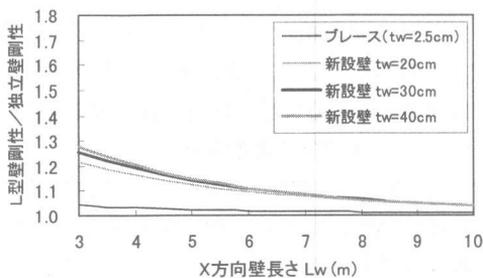
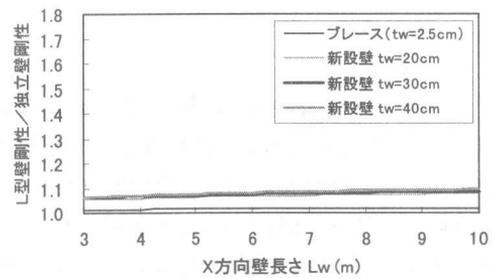


図4 L型・コ型耐震壁の平面形状と寸法

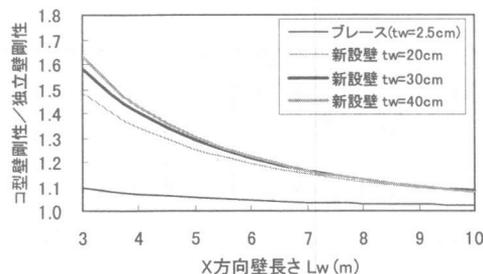


a) 新設壁(X方向)の剛性の増加率

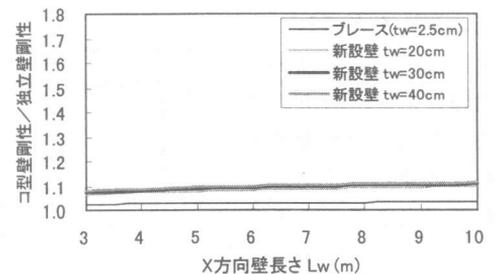


b) 既設壁(Y方向)の剛性の増加率

図5 L型耐震壁の剛性の増加率



a) 新設壁(X方向)の剛性の増加率



b) 既設壁(Y方向)の剛性の増加率

図6 コ型耐震壁の剛性の増加率

長さは、標準的な学校建築を想定して、7.2mと設定した。また、新設壁の厚さは一般に20~25cmといわれているが²⁾、ここでは参考のため厚さ40cmまでの壁を対象に計算を行った。図5および図6に、X、Y各方向について、それぞれL型およびコ型耐震壁の剛性の独立耐震壁に対する増加率を示す。

図5-a)によれば、L型耐震壁とした場合、新設壁(X方向)の剛性は、独立耐震壁のときよりも、壁長さが短いもので2~3割程度増大することが分かる。また、新設壁が長くなるほど、剛性の増加率は下がる傾向にある。これは、新設壁の壁高さに対し壁が長くなるに従い、壁の曲げ剛性が大きくなり、直交壁による拘束効果があまり影響しなくなるためである。一方、図5-b)によれば、既設壁(Y方向)の剛性も新設壁が取り付くことにより、1割程度増大することが分かる。

図6-a)によれば、コ型耐震壁とした場合、新設壁(X方向)の剛性は、2枚の既設壁の存在により独立耐震壁とするよりも、壁長さが短いもので4~6割程度増大することが分かる。また、L型耐震壁の場合と同様、新設壁が長

くなるほど、剛性の増加率は下がる傾向にある。また、既設壁(Y方向)の剛性も新設壁が取り付くことで、L型耐震壁の場合と同様、1割程度増大する(図6-b))。

ここで、新設壁が厚いほど剛性の増加率が大きくなるのは、以下の理由によるものと考えられる。壁厚が薄い耐震壁(図7-a)では、せん断変形が曲げ変形に比べて支配的であるため、直交壁が取り付いて曲げ変形が抑制されてもそれほど壁全体の剛性は増大しない。一方、壁厚が厚い耐震壁(図7-b)では、曲げ変形がせん断変形に比べて支配的であるため、直交壁が取り付いて曲げ変形が抑制されれば壁全体の剛性も増大することになる。

さらに、新設壁の剛性の増加率と厚さとの関係を調べてみると、図8が得られた。図および他の計算例によれば、新設壁の剛性の増加率は、壁厚に比例して大きくなるわけではなく、開断面耐震壁の形状に応じて、ピークが見られる。これは、新設壁がある厚さ以上になると、直交壁による新設壁の曲げ変形を抑制する効果が減少し、逆にせん断変形が曲げ変形に比べて支配的になるためである。

4. 事例解析

4.1 解析方法

図9に示す平面形状の建物(一般的な学校建築の一つ)に耐震壁および鉄骨ブレースの新設補強を行い、補強後の偏心率の範囲を探る。X方向の全スパンを耐震壁の配置可能場所とし、偏心率(R_{ex} : X方向の偏心率, R_{ey} : Y方向の偏心率)の算出方法は、①耐震診断基準(式(2)), ②2次設計法(式(3)), および③L型・コ型配置の剛性を考慮した2次設計による方法の3種類とし、それぞれにより算出された偏心率を比較することで、壁配置場所の優劣を考察する。

なお、独立壁の剛性は簡便のために、いす

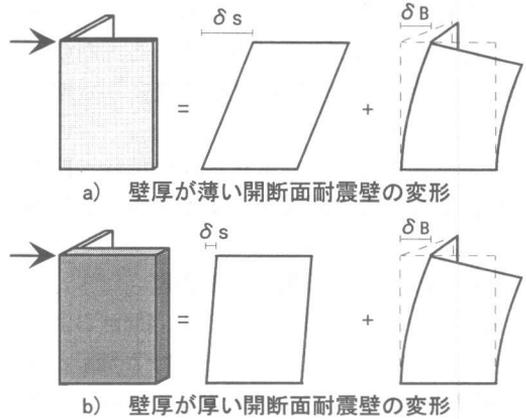


図7 開断面耐震壁の変形

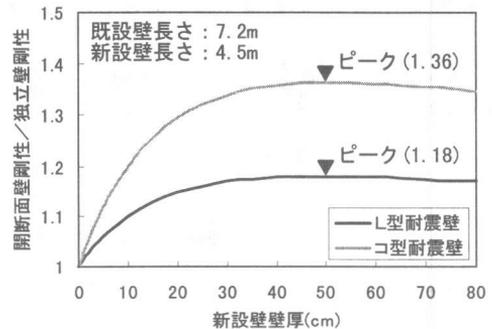


図8 壁厚の違いが剛性の増加率に及ぼす影響(新設壁長さ4.5mの場合)

れの場合も耐震診断基準による方法、すなわち部材の断面積とプロポーシオンだけを考慮した略算法によって算出する。また、重心は建物平面の図心位置にあると仮定する(図9)。

4.2 1枚補強による場合

図10に、耐震壁($t_w=30\text{cm}$)を1枚補強した場合について、現行の耐震診断基準(式(2))と2次設計法(式(3))による偏心率を示す。図によれば、両手法とも、同一構面であればどの場所に耐震壁を配置しても求められる偏心率は

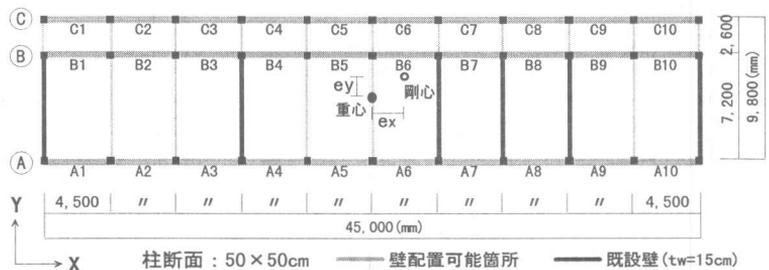


図9 学校建築平面図

同じ値となり、配置場所による補強効果の差異が現れない。また、式(2)による場合は、どの構面に壁を配置しても、Y方向の偏心率には影響がなく、補強前と補強後の偏心率(R_{ey})が同じ値になるのに対して、式(3)による場合には、弾力半径の影響から補強前と補強後の各構面間で偏心率(R_{ey})に若干の差異が現れる。

図11に、L型およびコ型配置の剛性の増大を考慮して、2次設計法により算出された偏心率の分布を示す。図によれば、同一構面内への壁配置においても、その優劣が明確になっていることが分かる。本建物の場合、1枚のみの補強であるということが影響して、どの構面に配置してもX方向の偏心率は増加するが、中でも、A7, A8, B7, B8へのコ型となる配置では、剛性が増大するため、同じ構面内の他の配置と比べ偏心率が大きくなる。また、補強前の剛心位置が重心の右側に存在することから、A1, A3, A4, B1, B3, B4など重心に対して剛心の反対側にL型配置とすれば、既設壁の剛性も大きくなるため、Y方向の偏心率を改善する効果もあることが分かる。

図12に、 $t_w=20, 30, 40\text{cm}$ の壁および鉄骨ブレース(等価剛性RC壁厚 $t_w=2.5\text{cm}$)をそれぞれ1枚補強した場合について、L型およびコ型壁の剛性を考慮した偏心率(2次設計法)の分布を示す。図によれば、X方向については偏心率の幅が壁厚の変化によりかなり増減するものの、Y方向については図11に示した $t_w=30\text{cm}$ の場合と類似した値となっており、AまたはB通りへの配置の場合、Y方向の偏心率の最小化という点では、A1, B1への配置(剛心と反対側で、かつL型壁となる)が望ましい。また、鉄骨ブレースは等価剛性が小さいため、配置場所によって偏心率にあまり差が見られない。

4.3 2枚補強による場合

図13に、耐震壁($t_w=30\text{cm}$)を2枚補強した場合について、L型およびコ型壁の剛性を考慮した偏心率(2次設計法)の分布を示す。図によれば、1枚補強の場合と同様に、ある構面への偏った配置はX方向の偏心を助長する傾向にあり、また重心を挟んで剛心から遠い場所に

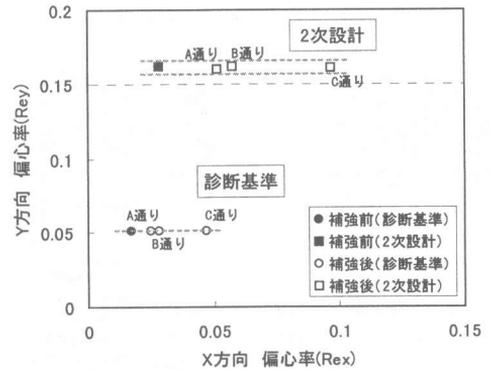


図10 耐震診断基準と2次設計法による偏心率

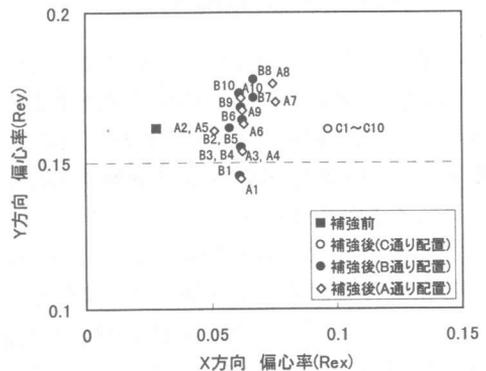


図11 L型・コ型壁剛性を考慮した場合の2次設計法による偏心率の分布

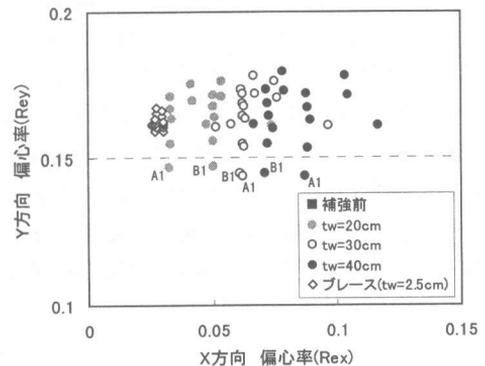


図12 壁厚が異なる場合の偏心率の分布

配置することでY方向の偏心率が改善されることが分かる。また、図には示していないが、 $t_w=20, 40\text{cm}$ の壁および鉄骨ブレースを2枚補強した場合についても1枚補強の場合(図12)と同様な傾向であった。

5. I_s 指標への反映

新設壁の配置場所が補強後の耐震性に及ぼ

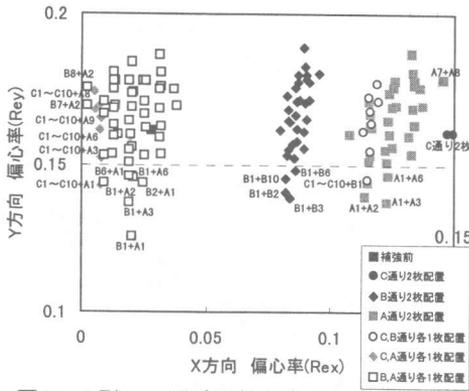


図13 L型・コ型壁剛性を考慮した場合の2次設計法による偏心率の分布

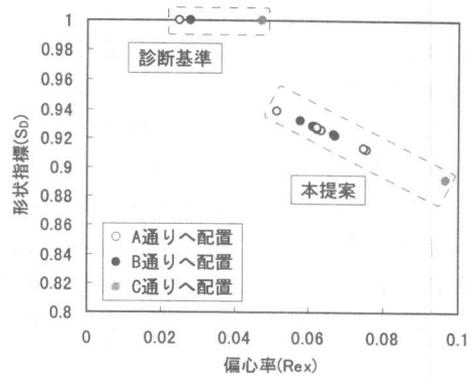


図14 補強後の偏心率と形状指標の関係(耐震壁 $t_w=30\text{cm}$ の1枚補強による場合)

す影響をより精細に評価するためには、現行の耐震診断基準において、階段状で評価される形状指標(図2の実線および破線)を、文献3)(図2のなめらかな曲線)のような連続関数で評価することが必要である。

ここで、図14に本報の事例に対して、式(2)を用いた現行の耐震診断基準による場合と、式(3)を用いて上記の提案を適用した場合の偏心率(補強対象としたX方向のみ(R_{ex}))と形状指標(S_p)の関係を示す。図によれば、現行の耐震診断基準の偏心率による形状指標の評価では、すべて $S_p=1.0$ となり壁配置場所による差異は見られない。一方、本提案による場合には、壁の配置場所が形状指標、すなわち I_s 値に精細に反映されることが分かる。また、式(3)を用いた場合には、式(2)を用いた場合よりも偏心率(R_{ex})をより精細に評価できるが、算出される形状指標、すなわち I_s 値は厳しく評価される傾向にある。

6. まとめ

本報では、RC造学校建築物の耐震補強における耐震壁の配置計画について考察することを目的として、新設壁に取り付く既設壁の影響を考慮した場合の偏心率の大小について検討した。本研究の内容はおおよそ以下のようにとまとめられる。

- (1) 現行の耐震診断基準に基づく補強計画では、ある構面へ壁を配置する際には、どの箇所へ配置しても同じ耐震性能となる(ただし、

軸力による壁の強度は異なる)。

- (2) L型・コ型配置による剛性の増大を考慮し、2次設計法で偏心率を算出すると、同じ構面内における壁の配置においても優劣が明確になる(図11~図13)。
- (3) 新設壁を、L型・コ型配置にすることによって、補強対象方向と直交方向の偏心率を改善する配置となる場合もある。
- (4) 形状指標の算定式を改良することによって、新設壁の配置場所が耐震性能に及ぼす影響をより精細に評価できる(図14)。
- (5) 本事例では、偏心率の差異のみに注目し壁配置計画に関する考察を行ったが、実設計では補強前の建物の諸特性(建物の破壊性状・第2種構造要素の有無等)を考慮した上で、総合的に配置計画を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，1990.12
- 2) 文部省：学校施設の耐震補強マニュアル RC造校舎編，pp.84-85，1998.11
- 3) 小野瀬順一・熊谷元行：RC建物のねじれ被害と偏心率，耐力の関係及びねじれに関する形状係数 F_e についての検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，関東，pp.2191-2192，1984.10
- 4) 荒井康幸・柴田拓二：開断面耐震壁を含む立体骨組の略算法-[D]値法，日本建築学会構造系論文報告集，第360号，pp.157-164，1986.2