

# 論文 鉄筋コンクリート造耐震壁の拘束筋による靱性確保に関する研究

仲地 唯治<sup>\*1</sup>

**要旨**：鉄筋コンクリート造耐震壁の靱性を向上させる方法として、耐震壁圧縮側端部コンクリートを拘束筋によって拘束する方法がある。端部拘束の程度を表す指標として、著者らは、既に端部拘束指標を提案したが、本研究では、端部拘束指標を構成する因子のうち、特に、コンクリート拘束効果、拘束筋による圧縮領域コンクリートの拘束範囲が限界部材角に及ぼす影響について検討した。

**キーワード**：鉄筋コンクリート、耐震壁、靱性、拘束効果

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造耐震壁の靱性を向上させる方法として、耐震壁圧縮側端部コンクリートを拘束筋によって拘束する方法がある。著者らは、これまでにコア壁<sup>1)</sup>や壁柱<sup>2),3)</sup>において端部コンクリートの拘束が部材の変形性能に及ぼす影響に着目し、実験的に検討した。近年、超高層建物にコア壁が用いられることが多くなり<sup>4)5)</sup>、端部コンクリート拘束による部材の靱性確保はより重要になってきている。これに伴い、コア壁等の立体耐震壁や壁柱において、端部拘束の影響を検討した研究がなされている<sup>7)~16)</sup>。著者らは、柱型のない曲げ降伏先行型耐震壁のフープ型及び幅止め型拘束筋の影響に関して、端部拘束指標を提案し、端部拘束指標と限界部材角の関係を示した<sup>6)</sup>。本研究では、提案時に検討した既往の実験結果に、最近の実験<sup>17)~21)</sup>の結果を合わせて、特に、コンクリート拘束効果、拘束筋による圧縮領域コンクリートの拘束範囲が限界変形角に及ぼす影響について検討した。

## 2. 端部拘束指標

端部コンクリートにおいて、軸力比(=  $\sigma_0/F_c$ )、偏平率(=  $D_L/b$ )、コンクリート拘束効果、拘束領域を考慮した係数として、 $C_{ce}$ を定義した。

$$C_{ce} = C_c \cdot \{a / (\sigma_0 / F_c) D\} / \{(\sigma_0 / F_c) \cdot (D_L / b)\} \quad (1)$$

各記号は次の通りである。

$$C_c = \rho_s \cdot f_y^{0.5} \cdot (1 - 0.5S/W) / F_c \quad (2)$$

$\rho_s$ ：横拘束筋の体積比（1ピッチあたりの横拘束筋で囲まれる体積に対する横拘束筋の体積の比率）

$f_y$ ：横拘束筋の降伏点強度

$S$ ：横拘束筋のピッチ

$W$ ：拘束コア断面最小寸法

$F_c$ ：プレーンコンクリートの圧縮強度

$a$ ：コンクリート拘束領域の壁長さ方向寸法

$a / (\sigma_0 / F_c) D > 1$  の場合は  $a / (\sigma_0 / F_c) D = 1$  とする

$a = a_c + W/4$   $W$ ：壁厚方向の拘束筋間距離

$a_c$ ：拘束コア断面の壁長さ方向における拘束筋間最長距離

$\sigma_0$ ：軸応力 (=  $N/A$ ,  $N$ :軸力,  $A$ :断面積)

$D$ ：各辺の壁長さ  $b$ ：壁厚

$D_L$ ：壁板を加力方向軸へ投影した長さ

上記 $C_c$ は六車らの拘束効果に関する研究<sup>22)</sup>において定義されたものである。既往のコア壁及び壁柱の実験に関して端部拘束指標 $C_{ce}$ と限界部材角（最大荷重の80%以上の荷重を保持する最大部材角） $R_u$ の関係を図-1に示す。試験体は文献6)において、既往の研究より選定したコア壁及び壁柱の水平加力実験試験体に、今回新たに14体加えた、計52体である。図中●

\*1 福井工業大学 建設工学科建築学専攻助教授 博士(工学) (正会員)

は今回加えたものを示し、○は文献6)で検討したときのもので限界変形角が40/1000rad.未満のものである。試験体は、荷重が最大荷重の80%以下まで低下したことが文献の記述もしくは文献で示された荷重-変形曲線から確認できたものとした。また、正加力、負加力で軸力が異なる場合、より高軸力となる側の限界部材角を採用した。T形において直交材側が圧縮となる場合、L形において一辺の壁板が加力方向に対して直交し、圧縮となる場合、及びH形において強軸方向加力によりフランジが圧縮となる場合の試験体は、圧縮を負担する断面積が大きく増大し、限界部材角が著しく増加することから、ここでは除外した。

また、T形試験体における直交材及びH形試験体におけるウェブ材が引張りとなる場合、直交材、ウェブ材の縦筋による影響が大きいため、縦筋の降伏強度と縦筋断面積合計の積を軸力に加えた。

選定した試験体の条件はコンクリート圧縮強度 $F_c=21.9\sim 134\text{N/mm}^2$ 、軸力比 $\sigma_o/F_c=0.095\sim 0.991$ 、偏平率 $D_L/b=2.07\sim 14.14$ である。

図-1において、両者は高い相関をもつといえる。Rの下限値として、図中に原点を通る直線を求め、その傾きを $\gamma$ とすると $\gamma=0.0325$ となり、 $R=\gamma \cdot Cce$ の下限値として次式(3)が求まる。中央値は $Ru=0.0325Cce + 0.0087$ で、中央値に対する標準偏差は0.0044である。

$$Ru=0.0325Cce \quad (3)$$

よって、前述の条件のもとにおいて、壁柱およびコア壁の端部の配筋、軸力、断面形状等を(3)式で確認することにより、その限界部材角を安全側で求めることができる。

今回新たに加えた試験体は、ほぼ前回分の試験体のばらつき範囲内にあるといえる。よって、下限値の式(3)については、前回の式を用いることができると考えられる。

### 3. 拘束係数 Cc と拘束領域

端部拘束指標 Cce は拘束係数 Cc と  $a/(\sigma_o/$

限界部材角 Ru ( $\times 1/1000\text{rad.}$ )

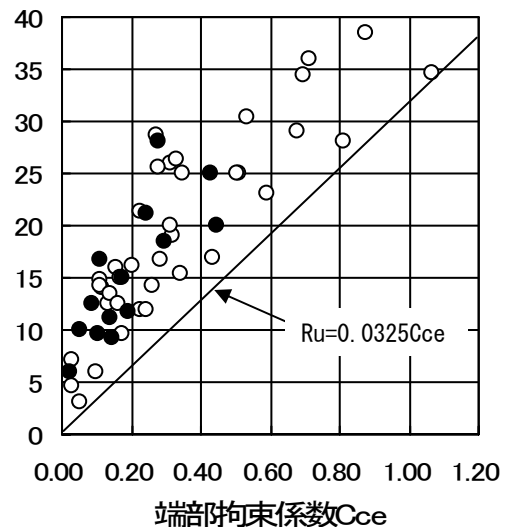


図-1 Cce-Ru 関係

$F_c)D$ の積を $\sigma_o/F_c$ と $D_L/b$ の積で除した形となっている。すなわち、拘束のレベルと拘束領域の積を軸力比と偏平率の積で基準化した形となっている。壁柱において軸力比および偏平率が、限界部材角に反比例する傾向があることは、文献23)に示されており、また、立体耐震壁においても、著者らは、加力方向に投影した耐震壁の長さをその方向でのせい $D_L$ と定義し、 $D_L/b$ が立体耐震壁の限界部材角と反比例することを実験例から示し、 $D_L/b$ を壁柱における偏平率 $D/b$ と同様に扱うことができることを示した。そこで、Cceを構成する残りの因子Ccおよび $a/(\sigma_o/F_c)D$ について、限界部材角との関係について検討し、Ccおよび $a/(\sigma_o/F_c)D$ が限界部材角に及ぼす影響を調べる。

#### 3.1 拘束効果の影響

図-1で示した既往の実験における試験体について、軸力比と偏平率の積と、拘束領域における拘束係数との関係を限界部材角ごとに図-2に示す。図中、●は当該限界部材角の試験体を示し、○はその他の範囲の限界部材角の試験体を示す。これらの図より、限界部材角の大きい試験体ほど、軸力比と偏平率の積に対する拘

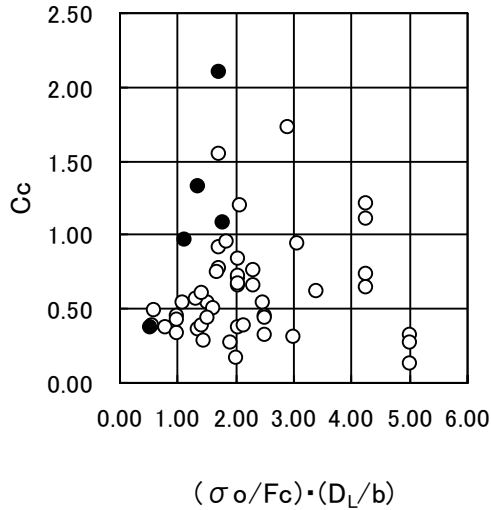


図-2 (a) 拘束係数の限界部材角に対する影響 ( $30/1000 \leq Ru < 40/1000$ )

●は当該限界部材角の試験体を、○はその他の試験体を示す。

束係数が大きい傾向が明らかである。すなわち、軸力比と偏平率の積で基準化した場合、当該限界部材角が大きい試験体ほど、 $(\sigma_0/Fc) \cdot (D_L/b)$  に対する  $C_c$  の比率が増大する傾向が明らかである。拘束係数は式(2)に示されるように、拘束筋の体積比、拘束筋降伏点強度、コンクリートの圧縮強度、拘束筋ピッチ、拘束コア断面最小寸法からなる。拘束コンクリートでは、拘束係数の大きいほど、拘束コンクリート強度、拘束コンクリート最大強度時歪が増大し、最大強度以降の応力低下が少ない。したがって、式(2)より、たとえば、コンクリート強度が高い場合は、拘束係数が低下するため、拘束係数を高めるための対策としては、拘束筋量を増やし(体積比を増大させ)、より高強度な鉄筋を拘束筋として使用し、拘束筋を配筋するときの壁高さ方向ピッチを小さくすることが、限界部材角増大に有効であるといえる。各パラメーターの拘束効果増大に対する寄与率についても、式(2)より明らかで、たとえば、鉄筋降伏強度を4倍にすると、拘束筋量を2倍にするのと同等の効果が期待できる。

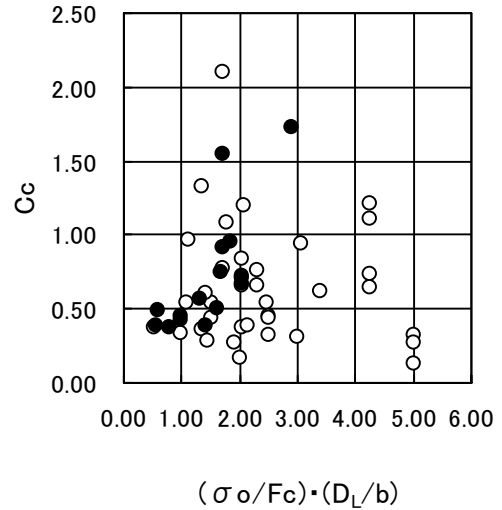


図-2 (b) ( $20/1000 \leq Ru < 30/1000$ )

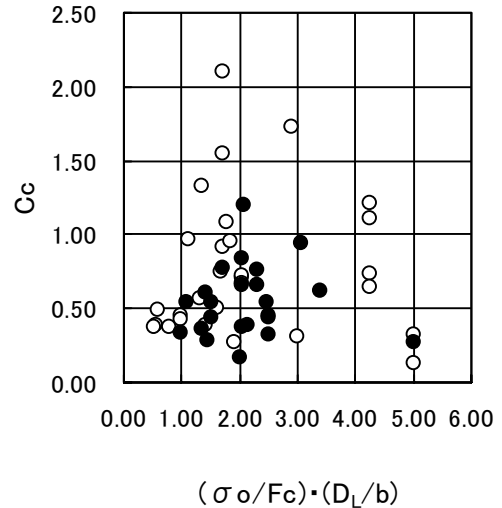


図-2 (c) ( $10/1000 \leq Ru < 20/1000$ )

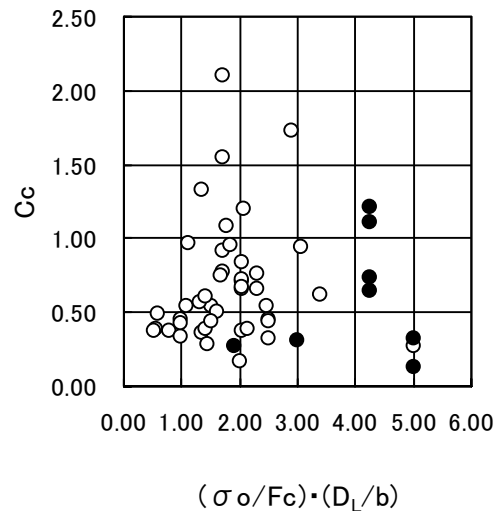


図-2 (d) ( $0 \leq Ru < 10/1000$ )

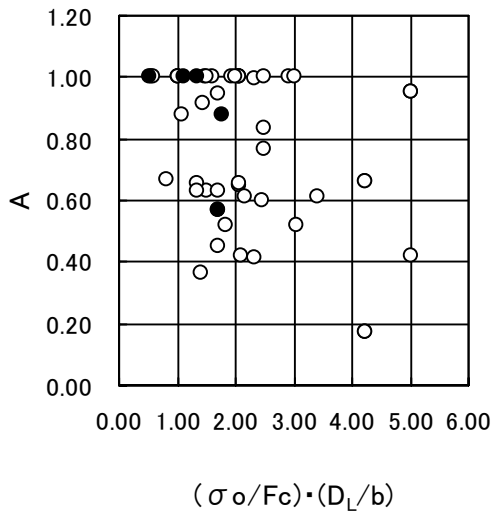


図-3 (a) 拘束領域の限界部材角に対する影響 ( $30/1000 \leq Ru < 40/1000$ )

●は当該限界部材角の試験体を、○はその他の試験体を示す。

### 3.2 拘束領域の影響

既往の研究<sup>23)</sup>より、水平荷重時の圧縮領域は  $(\sigma_o/F_c)D$  で表せると考えられ、立体耐震壁の場合も、加力方向軸に投影した壁長さと圧縮領域の関係は同様と考えられる。 $a/(\sigma_o/F_c)D$  は圧縮領域に対する拘束領域の比率を示し、引張領域では、拘束効果は作用しないと考え、最大値を1としている。前述の拘束係数  $C_c$  の場合と同様に、軸力比と偏平率の積に対する  $a/(\sigma_o/F_c)D$  (=Aとする) の関係を限界部材角ごとに図-3に示す。図より拘束領域が大きいものほど、限界部材角が増大する傾向が明らかである。ただし、拘束係数の場合よりばらつきは大きい。これは、拘束領域を大きくしても、その領域における拘束のレベルが小さい場合等、端部から先に圧縮破壊し、中央部よりの拘束領域が有効に作用しなかった場合などが想定される。

### 3.3 拘束効果と拘束領域の積の影響

前述の拘束効果と拘束領域の両方を考慮した場合について、軸力比と偏平率の積に対する、拘束係数と  $a/(\sigma_o/F_c)D$  の積の関係を限界部材

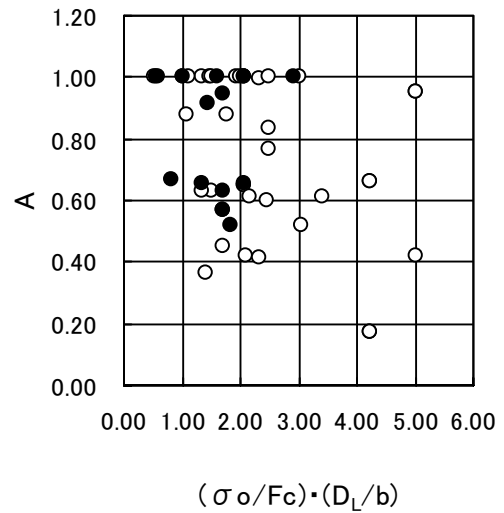


図-3 (b) ( $20/1000 \leq Ru < 30/1000$ )

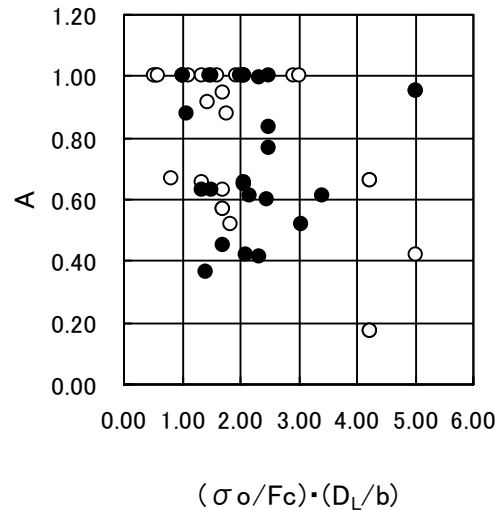


図-3 (c) ( $10/1000 \leq Ru < 20/1000$ )

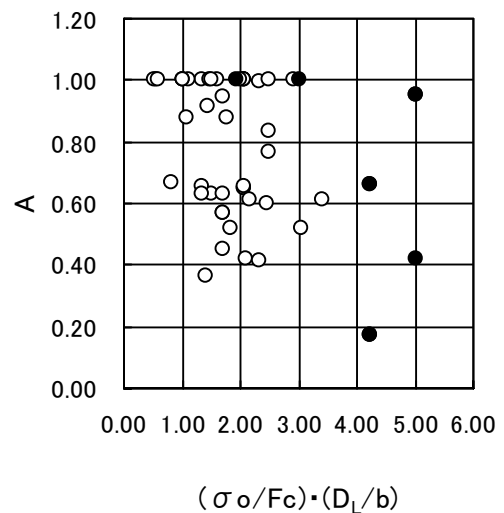


図-3 (d) ( $0 \leq Ru < 10/1000$ )

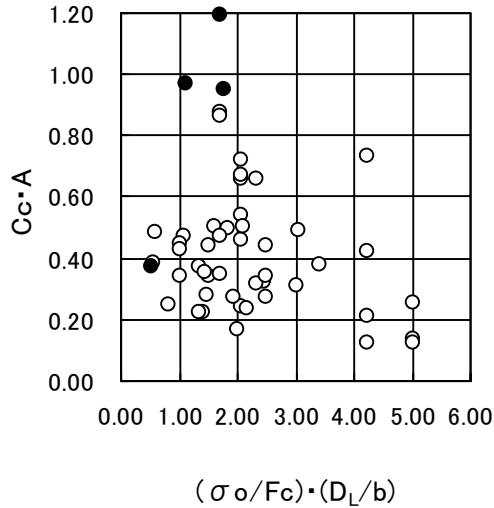


図-4 (a) 拘束効果と拘束領域の積の限界部材角に対する影響 ( $30/1000 \leq Ru < 40/1000$ )  
●は当該限界部材角の試験体を, ○はその他の試験体を示す。

角ごとに図-4に示す。図より拘束係数の場合と同程度に限界部材角との関係が示された。

#### 4. まとめ

端部拘束指標に関して, 最近の実験結果を加えての限界部材角との関係は, 前回の範囲内にあった。拘束効果, 拘束領域, および両者の積は, 限界部材角との明瞭な関係が認められた。ただし, 拘束領域より, 拘束効果の影響の方がより明確であった。

謝辞: 本研究を実施するにあたり, 平成17年度福井工業大学特別研究費のご支援をいただきました。ご支援に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 仲地唯治ほか: コア壁の靱性確保に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 265-268, 1994.9
- 2) 仲地唯治ほか: 壁柱の端部拘束効果に関する実験的研究 (高層鉄筋コンクリート造壁式ラーメン構造物の耐震性能に関する研究), 第7回日本地震工学シンポジウム,

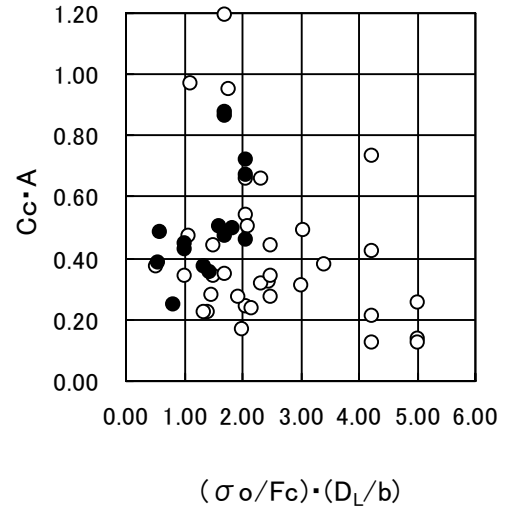


図-4 (b) ( $20/1000 \leq Ru < 30/1000$ )

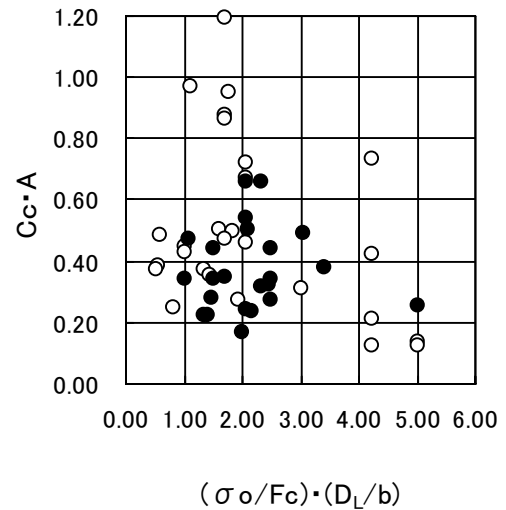


図-4 (c) ( $10/1000 \leq Ru < 20/1000$ )

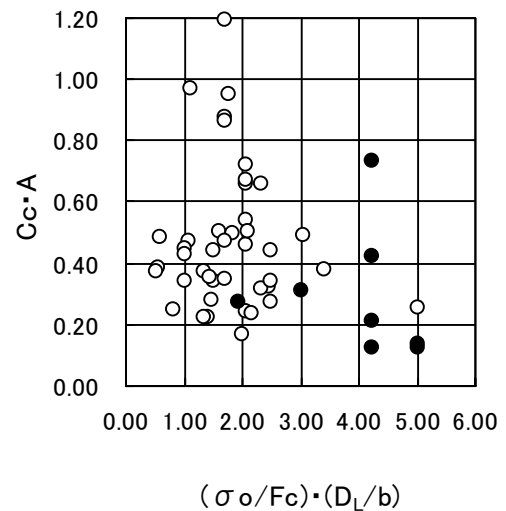


図-4 (d) ( $0 \leq Ru < 10/1000$ )

- pp. 1189-1194, 1986
- 3) 仲地唯治, 平石久廣ほか: 壁柱の靱性確保に関する実験的研究 (高層壁式ラーメン構造に関する研究), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 191-192, 1987. 10
  - 4) 坂口昇ほか: RC コアウォールシステムの実用化に関する研究 (その2 コア壁の45°方向加力実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 451-452, 1992. 8
  - 5) 新田隆雄ほか: 高軸力を受ける壁柱の実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 561-562, 1992. 8
  - 6) 仲地唯治, 坂壽二: 鉄筋コンクリート造耐震壁の拘束筋による靱性確保に関する実験的研究, 日本建築学会構造工学論文集, Vol. 49B, 2003. 3
  - 7) 武田力ほか: 二方向水平力と鉛直力を受ける鉄筋コンクリートL形断面耐震壁の曲げ終局強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 293-294, 1994. 9
  - 8) 荒井康幸ほか: 二方向水平力と軸圧を受ける鉄筋コンクリートL形断面耐震壁の曲げ終局強度, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp. 1037-1042, 1996
  - 9) 有馬久智ほか: 変動軸力を受けるT型壁の強度と変形に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp. 1043-1048, 1996
  - 10) 大久保孝雄ほか: 高軸力を受けるL型壁の隅角部拘束効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp. 1031-1036, 1996
  - 11) 有馬久智ほか: 高軸力を受ける高強度RC造L型耐震壁の復元力特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 2, pp. 1089-1094, 1997
  - 12) 小西覚ほか: 鉄筋コンクリート造L型断面耐震壁に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 2, pp. 1083-1088, 1997
  - 13) 別所佐登志ほか: H形断面RCコア壁の構造性能確認実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 185-188, 1997. 9
  - 14) 竹田拓也ほか: 高強度鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げ性状に関する実験的研究 (その1 実験計画と破壊・履歴性状, その2 実験結果の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 371-374, 1999. 9
  - 15) 石橋久義ほか: 制震耐震壁の構造性能に関する研究 (その1 L型断面耐震壁実験概要, その2 L型断面耐震壁実験結果および考察, その3 RC造L型断面耐震壁の3次元非線形有限要素解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 595-600, 2001. 9
  - 16) 井上貴之ほか: 壁柱の曲げせん断性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 373-374, 2001. 9
  - 17) 戸沢正美ほか: 超高強度鉄筋コンクリート構造 ( $F_c=120\text{N/mm}^2$ ) の開発 その9 立体耐震壁の曲げせん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 455-456, 2002. 8
  - 18) 田畑卓ほか: 柱型のないRC連層耐震壁の曲げ変形性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 313-314, 2003. 9
  - 19) 古川淳ほか: 鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げ変形性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 317-318, 2003. 9
  - 20) 松本智夫ほか: 柱型のないRC連層耐震壁の曲げ変形性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 257-258, 2004. 8
  - 21) 竹田史朗ほか: 中央コア壁を有する超高層RC造建物の開発 (その2 L型断面耐震壁の曲げせん断実験概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 389-390, 2005. 9
  - 22) 六車熙, 渡辺史夫ほか: 横補強コンクリートの応力ひずみ曲線のモデル化, セメント技術年報, Vol. 34, pp. 429-432, 1980
  - 23) 平石久廣ほか: 高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造建物における壁柱の耐震性能評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第439号, pp. 133-144, 1992. 9