

論文

[2220] 枠組み補強コンクリートブロック造の耐震挙動に関する解析的研究

カマチョ オルデマル*1 末岡禎佑*2 吉村浩二*3 白濱敏行*4

[1] はじめに

我国では、鉄筋コンクリート造（以後、RCと略記することにする）の柱・はり部材で構成されるラーメンの構面内に間仕切壁や外壁として設置されるコンクリートブロック壁体は通常非構造部材とみなされているが、中南米諸国においては地震力を負担させる設計法が採用されている。

吉村とカマチョは、補強コンクリートブロック壁体の周辺がRCの柱・はり部材で拘束された枠組み組積造壁体の地震時における挙動を実験によって明らかにするとともに、耐震性に優れた枠組み組積造の開発を目的として試験体を使用した実験を行っている。

実験では、予備実験を含む8体の一層一スパンの試験体を対象にして軸力と繰り返し水平力による静的な加力試験が行われ、はりの水平変位及び鉄筋のひずみが測定されている。

本報告は、ひびわれ前・後のコンクリート及びコンクリートブロックをそれぞれ等方等質及び直交異方性材料とみなして作成した有限要素法による非線形解析プログラムを使用して、周辺を柱・はり部材で拘束された補強コンクリートブロック壁体の解析を行い、荷重と変位に対する包絡線の解析結果を実験結果と比較することによって、材料の力学的性質の表示に使用したモデルの妥当性を検討したものである。

[2] 試験体の概要

図1～図5に試験体CB, RC, CCB, CCR, CCR1の側面と配筋詳細を示し、図6には試験体CCR1～CCR4の柱の配筋詳細が示してある。図1～図3に示す試験体は予備実験用に製作された試験体であり、図4に示す試験体CCRは、日本の規準とコスタ・リカの規準を比較するためにコスタ・リカの規準に従って作成された試験体である。図5, 図6に示す試験体CCR1～CCR4は柱・はり部材の拘束効果を調べるために製作された試験体である。

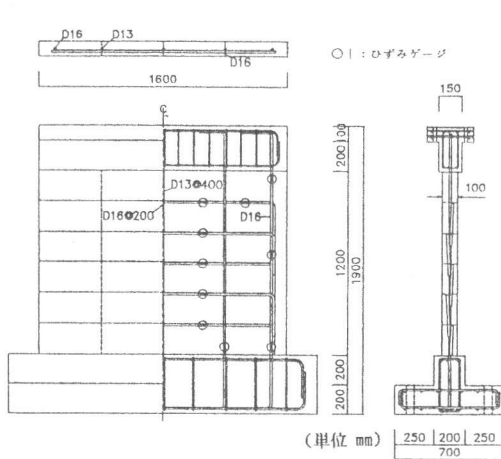


図1 試験体CB

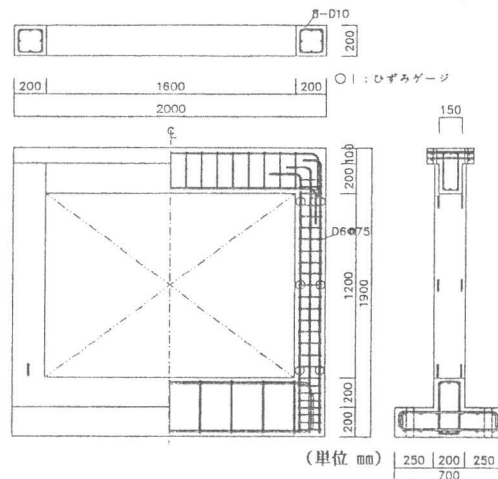


図2 試験体RC

*1長崎大学大学院海洋生産科学研究科（正会員） *2 長崎大学教授 構造工学科、工博
*3 大分大学教授 建設工学科、工博（正会員） *4 長崎大学技官 構造工学科

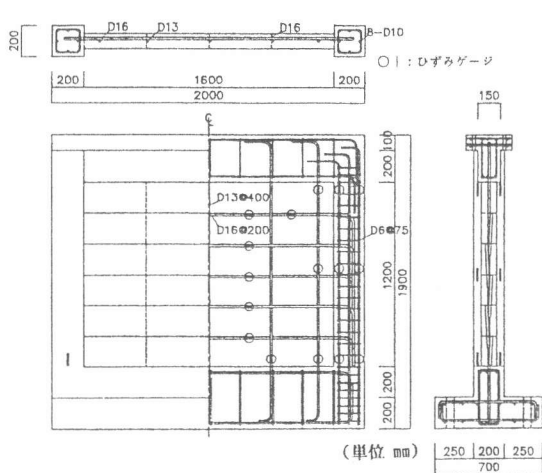


図3 試験体CCB

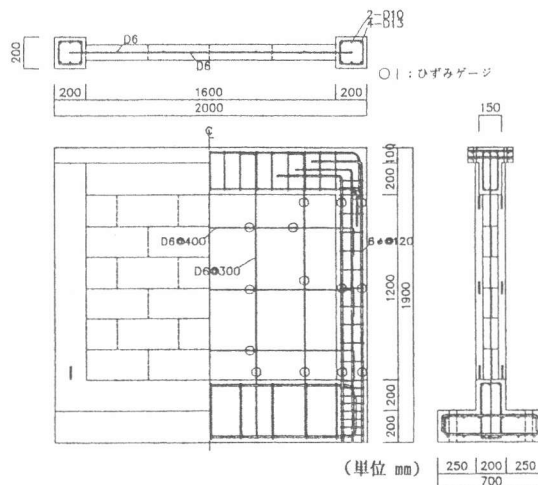


図4 試験体CCR

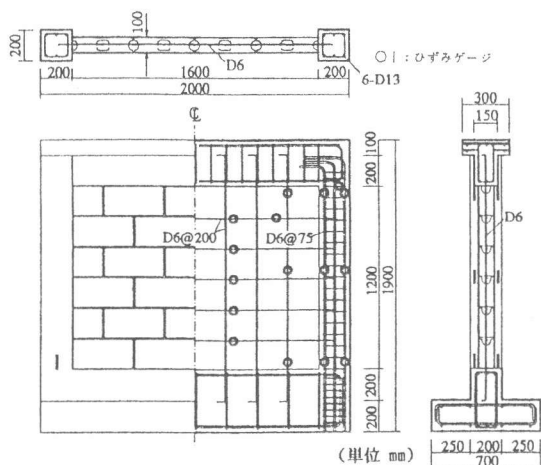


図5 試験体CCR1

試験体名	CCR1	CCR2	CCR3	CCR4
主筋量	6-D13	4-D10 2-D6	4-D10	1-D16
主筋比	1.91%	1.94%	1.90%	1.99%
帯筋量	D6@75	D6@120	D6@150	D6@75
帯筋比	0.43%	0.44%	0.43%	0.85%
断面図				
立面図				

図6 各試験体の柱配筋詳細図

[3] 載荷・測定方法

図7に載荷装置を示す。

[4] 解析方法

4.1 構造要素のモデル化

RCの柱・はり及び補強コンクリートブロック壁は平面応力状態にあり、鉄筋は軸方向力にのみ抵抗するものとして解析モデルを作成することにする。

コンクリート及びコンクリートブロック壁については、ひび割れ発生前は等方等質材料とし、主引張り応力が引張り強度 σ_t に達してひび割れが発生した後は、主引張り方向と直角方向に一樣にひび割れが生じ、ひび割れ面

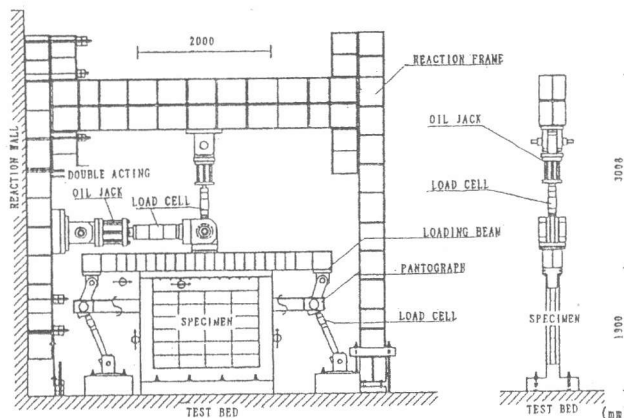


図7 実験装置

に直角方向の主引張り抵抗が減少する直交異方性材料としてモデル化することにする。

4. 2 要素の種類

RCの柱・はり及び補強コンクリートブロック壁体に対しては、長方形を対角線によって分割して得られる三角形要素を使用し、鉄筋に対しては線要素を使用することにする。

4. 3 変位の近似

コンクリート、コンクリートブロック壁体及び鉄筋の変位はいずれも一次の関数によって近似することにする。

表1 使用材料の力学的性質

種類	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	破断伸び (%)	
				目地モルタル
鉄筋	6 Φ	279	396	25
	D 6	312	492	30
	D10	384	541	27
	D13	338	513	28
	D16	336	509	27
試験体名	目地モルタル		プリズム 圧縮強度 (MPa)	コンクリート 圧縮強度 (MPa)
	水セメント比 (%)	混合率 (重量) C:S		
C B	52.6	1:2.0	13.2	-
CCB				24.1
R C	-	-	-	25.0
CCR	62.4	1:2.5	9.5 *	22.0
CCR1	58.4	1:2.5	16.1 *	24.8
CCR2	58.4	1:2.5	16.1 *	26.1

* 破れ目地

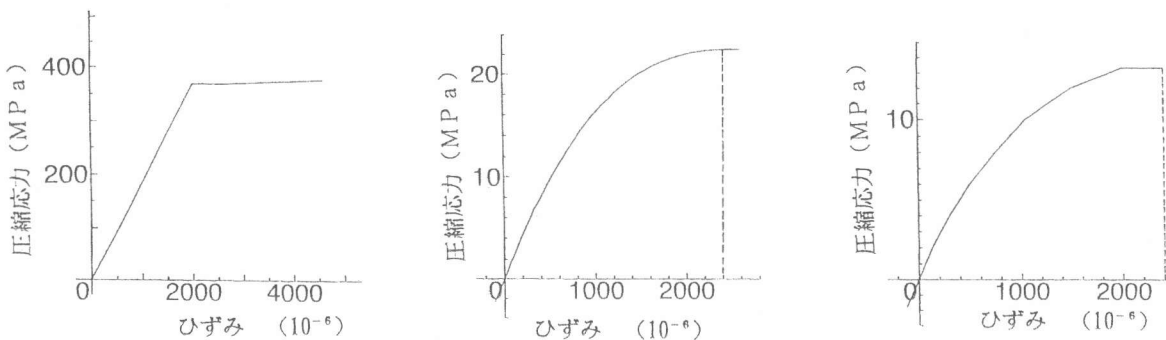
[5] 材料の力学的性質とそのモデル化

5. 1 材料試験の結果

試験体で使用されている鉄筋、コンクリート及びモルタルに対する材料試験の結果を表1に示す。目地モルタルを有するコンクリートブロックの圧縮強度は、ブロックユニット3段積みのプリズム圧縮試験により求められた結果である。

5. 2 応力-ひずみ関係のモデル化

鉄筋及びコンクリートの応力とひずみの関係は図8(a)及び図8(b)に示すような文献4に倣ってモデル化した結果を使用することにする。目地モルタルを有するコンクリートブロック壁体の応力とひずみの関係についてもコンクリートのそれに倣って図8(c)のようにモデル化することとした。従って、コンクリート及び目地モルタルを有するコンクリートブロック壁体の圧縮強度到達後のひずみの軟化域特性は考慮されないことになる。



(a) 鉄筋の応力-ひずみ関係 (b) コンクリートの応力-ひずみ関係 (c) 目地モルタルを有するコンクリートブロックの応力-ひずみ関係

図8 コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係

5. 3 鉄筋コンクリート及び補強コンクリートブロック壁体のテンションスティフニング特性

RCの柱・はりのテンションスティフニング特性に関しては、文献6に示されている式(1)を使用することとする。

$$\sigma_t = f_t (\varepsilon_{tu} / \varepsilon_t)^c \quad (1)$$

ここに、 σ_t 、 f_t は、ひび割れ後のコンクリートの引張り応力及びコンクリートの引張り強度であり、 ε_t は、ひび割れに直角な方向の引張りひずみである。 ε_{t0} はひび割れひずみであり0.0002とする。 c は定数であるが、異形鉄筋を使用する場合の値として0.4を使用することにする。

コンクリートブロック壁のテンションスティフニング特性については鉄筋コンクリート造に対する式(1)をそのまま使用することにする。

5.4 コンクリート及びコンクリートブロック壁のひび割れ発生後のせん断剛性

コンクリート及びコンクリートブロック壁のひび割れ発生後のせん断剛性は文献6に示されている式(2)によって評価することにする。

$$G = \frac{1}{1/G_{st} + 1/G_c} \quad (2)$$

ここに、 G はせん断割線係数であり、 G_c 、 G_{st} はひび割れ前及びひび割れ後のせん断係数である。

ひび割れ発生後のせん断係数 G_{st} は文献5において提案されている式(3)によって評価することにする。

$$G_{st} = 36 / \varepsilon_t \quad (3)$$

ここに、 ε_t はひび割れに直角方向の平均ひずみである。

[6] 解析及びその結果

3階建ての補強コンクリートブロック建物における1階部分を想定して製作された試験体CB, CCB, RC, CCR, CCR1及びCCR2に鉛直荷重と繰り返し水平荷重が作用した場合の水平荷重と層間変形角の包絡線、ひび割れ及び最大荷重時における引っ張り主応力について得られた結果を図9～図14に示す。試験体CCR3, CCR4については実験結果におけるひび割れの発生状況から分布ひび割れモデルを使用した解析結果と実験結果の比較は適当でないと判断し割愛することにした。図11における○印は補強コンクリートブロック壁体及びRCラーメン

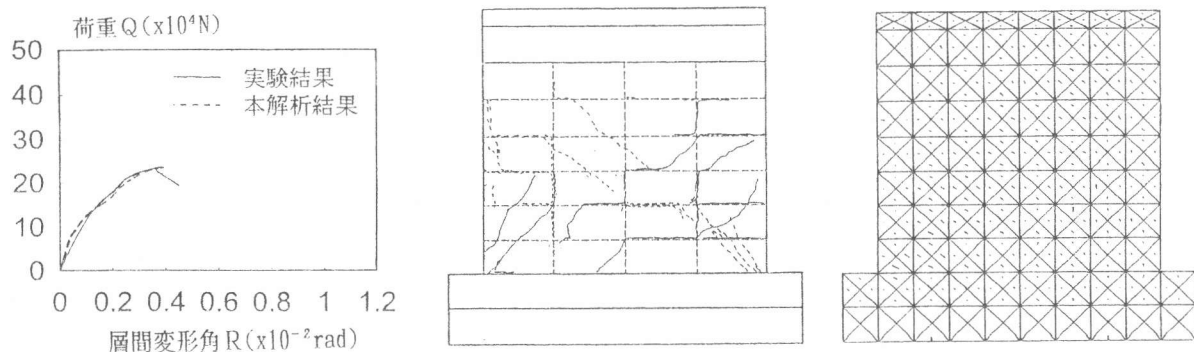


図9 試験体CBのQ-R関係(a), 実験によるひび割れ図(b), 解析による引張主応力図(c)

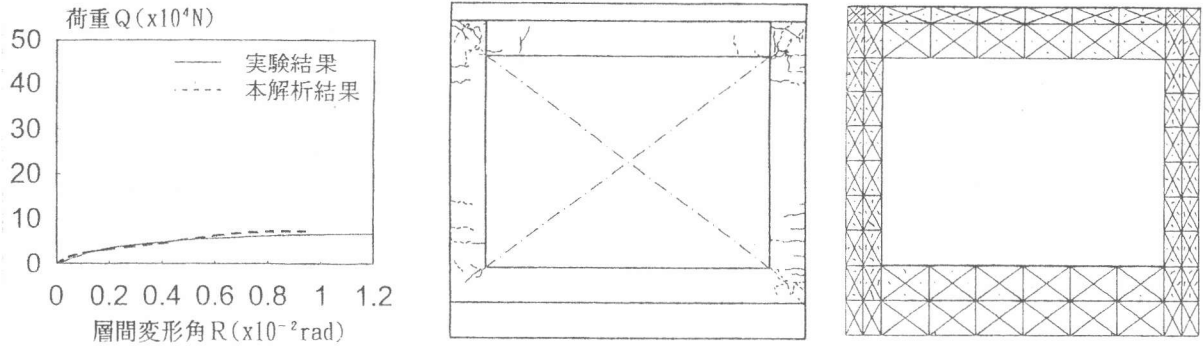


図10 試験体RCのQ-R関係 (a), 実験によるひび割れ図 (b), 解析による引張主応力図 (c)

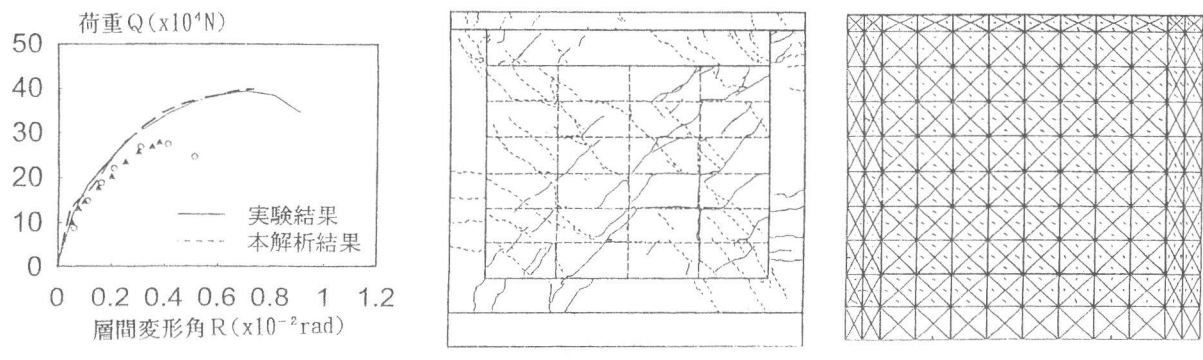


図11 試験体CCBのQ-R関係 (a), 実験によるひび割れ図 (b), 解析による引張主応力図 (c)

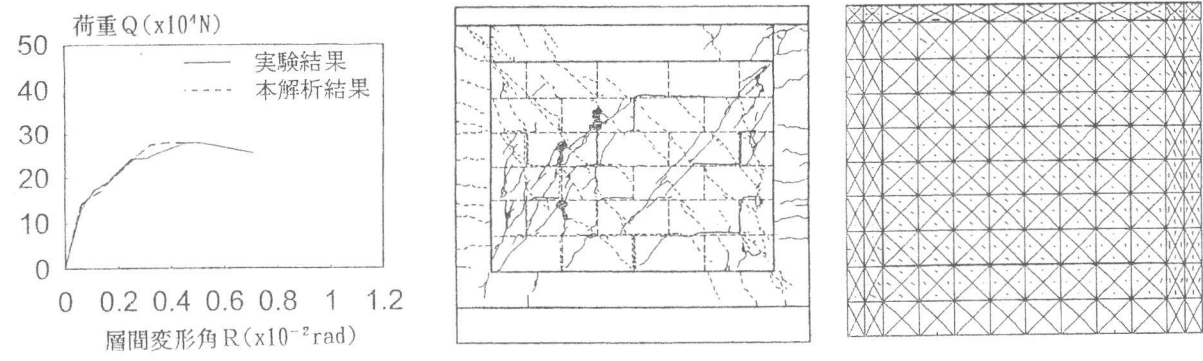


図12 試験体CCRのQ-R関係 (a), 実験によるひび割れ図 (b), 解析による引張主応力図 (c)

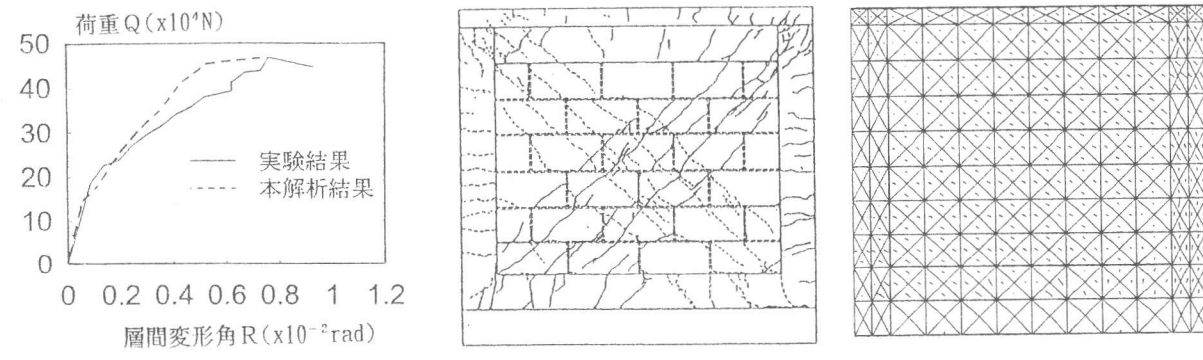


図13 試験体CCR1のQ-R関係 (a), 実験によるひび割れ図 (b), 解析による引張主応力図 (c)

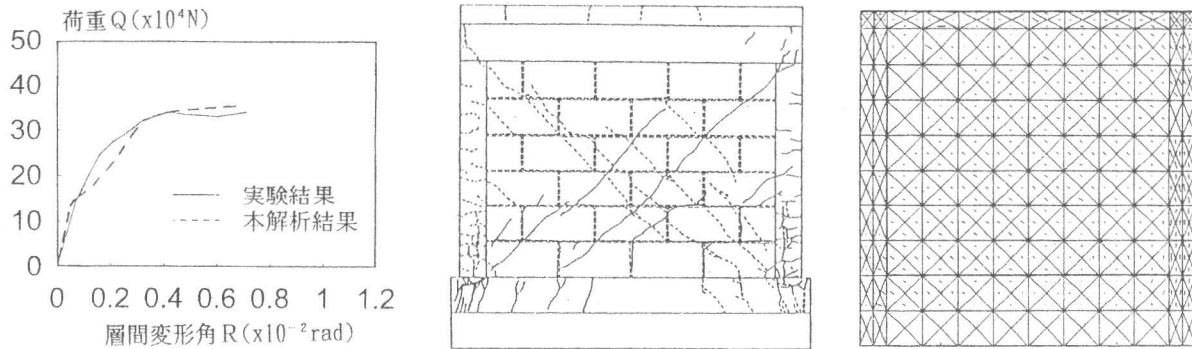


図1.4 試験体CCR2のQ-R関係 (a), 実験によるひび割れ図 (b), 解析による引張主応力図 (c)

に対する実験結果についての和を示したものであり、 Δ 印は解析結果についての和を示したものである。

解析結果と実験結果の比較から、試験体CB、RC、及びCCBに対する解析結果は良好であり、RCの柱・はりによる補強コンクリートブロック壁の拘束効果も解析によって可成りの精度で評価できること、及び芋目地で補強筋量の多い試験体CCBに対する解析結果の方が、やぶれ目地で補強筋量の少ない試験体CCRの解析結果に比べて精度が良いことがわかる。

[7] むすび

周辺をRCの柱・はり部材で拘束された補強コンクリートブロック壁体の地震時における構造挙動を解明するために計画された実験の結果から分布ひび割れモデルの適用が可能と判断される6個の試験体についての実験結果を有限要素法による非線形解析法によって解析してみた結果、次のような結論が得られた。

- 1) 試験体CB、RC、CCB及びCCRの水平荷重と層間変形角の包絡線に関しては、数値解析によって可成り確かな情報を得ることができる。
- 2) 試験体CCR1及びCCR2の水平荷重と層間変形角の包絡線に関しては、ブロック壁及びRC柱・はりの力学的性質のモデル化の問題を含めた検討が必要である。
- 3) 試験体CCR1及び試験体CCR2についての実験結果と解析結果の違いは、RC柱の断面積及び主鉄筋断面積が小さい試験体の解析には、離散ひび割れモデルの使用が必要になることを示唆している。

参考文献

- 1) Oldemar Camacho, Koji Yoshimura, Kenji Kikuchi, Koichi Takano, Tomas Sanchez: Experimental Study on Confined Concrete Masonry Walls, Proceedings of The Fourth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction: Progress in Harmony, Edited by Y. K. Shin S. P. Chang H. M. Koe, Vol. 1, pp. 619-624, 1993.
- 2) 長沼一洋: 平面応力場における鉄筋コンクリート板の非線形解析モデル, -鉄筋コンクリート壁状構造物の非線形解析手法に関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文報告集 第421号, pp. 39-48, 1991年3月.
- 3) 長沼一洋: 鉄筋コンクリート耐震壁の非線形解析手法と適用性, -鉄筋コンクリート壁状構造物の非線形解析手法に関する研究(その2), 日本建築学会構造系論文報告集 第431号, pp. 7-16, 1992年1月.
- 4) 磯畑脩: 有限要素法によるコンクリート構造物の2次元弾塑性解析, 日本建築学会論文報告集, 第189号, pp. 43-50, 昭和46年11月.
- 5) Yukio AOYAGI: Estimation of Strength and Deformational Characteristics of Reinforced Concrete Shell Elements Subjected to In-Plane Forces, SEMINER ON FINITE ELEMENT ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, JAPAN CONCRETE INSTITUTE Research Committee on Finite Element Analysis of RC Structures, pp. 55-73, 1985.
- 6) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技法堂出版, pp. 7-115, 1991.