

多層建物骨組みモデルの製作と振動実験

小泉 洋*・吉岡伸悟*・坂上 実**

Built and Vibration Experiment of Scaled Flame Models of Buildings with Multi-story

Hiroshi KOIZUMI*, Shingo YOSHIOKA* and Minoru SAKAUE**

はじめに

地震が発生した際に、どのように建物は振動するかを可視的に捉えてみようという趣旨の下に、多層建物を想定した骨組みモデルを製作し、今年度の地震研究所の一般公開において振動実験を行った。建物モデルとしては、建物の高さの違いによる振動の違いを比較するために、低層建物と中層建物をモデル化した3層と8層の骨組みモデルとした。振動実験においては、2つの建物モデルの揺れ方の違いと様々な振動モードを皆様方に見てもらふことを目的とし、多くの方々に実際に揺れている建物モデルに触れて体験して頂いた。

想定建物の概要

本実験では、4×8 mの単純な長方形の平面を持つ3層の鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete, 以後RCとする) 造建物を基準にして骨組みモデルを製作した。その想定したRC造建物の概要を図1に示す。階高は3.4 mとし、各層とも柱部材は550×550 mm、梁部材は350×650 mmとした。想定した3層建物の固有周期を表1に示す。ここでは、想定した3層建物をD値法(横力分布係数法)によりせん断系に置換して固有周期を求めた(柴田, 1981)。その際に、RCの重量を2.4 (t/m³) (日本建築学会, 1988) とし柱部材と梁部材重量のみを採用し、床部分の重量は考慮しなかった。その結果、想定建物の固有周期は表1に示したように、1次固有周期は0.22sec (4.62 Hz) であ

り、2次と3次の固有周期はそれぞれ0.08sec (12.20 Hz), 0.06sec (15.88 Hz) である。

骨組みモデル製作

図2に示すような1/20スケールの骨組みモデルを、3層・8層ともに同じ材料を用いて製作した。フレーム部分にはステンレスを、振動台に連結する台座部分には真鍮を用いた。それらの部材割り当てを表2に示す。部材寸法に5 mmの削りしろ(余長)を付けた形で材料を注文し、

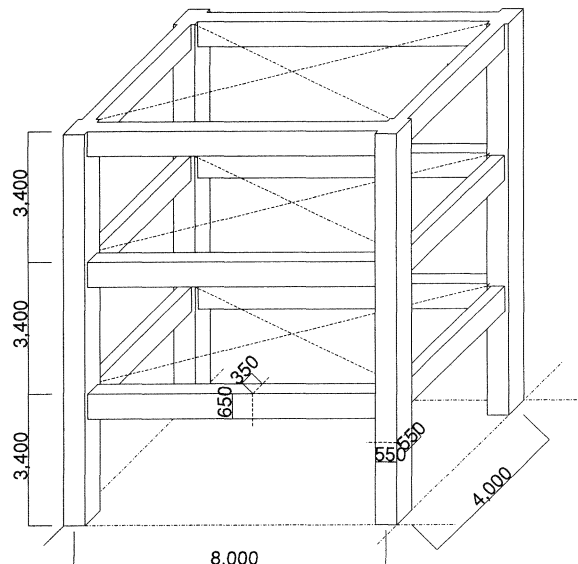


図 1. 想定建物の概要 (単位: mm)

表 1. 想定建物の固有周期

	1次周期	2次周期	3次周期
想定建物	0.22sec (4.62Hz)	0.08sec (12.20Hz)	0.06sec (15.88Hz)

1999年9月24日受付, 1999年11月15日受理.

* 東京大学大学院工学系研究科建築学科専攻,

** 東京大学地震研究所地震火山災害部門.

* Department of Architecture, Faculty of Engineering, Graduate School,

** Earthquake Observation Laboratory, Earthquake Observation Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

骨組みモデルの製作は地震研究所技術開発室の工作機械を使用させて頂き、さらに同開発室の方々の一部加工の協力を得て行った。注文部材の成分表を表3に、材料重量を表4に示す。

柱部材は2mm厚×20mm幅のフラットバーを用いて通し柱とし、3層建物模型で530mm、8層建物模型で1,380mmである。層を構成する部材は長辺方向に2×20×400mmのフラットバーを、短辺方向に20×20×200mmの角柱を用いた。更に短辺方向の層の脇を3×22×200mmのフラットバーで柱部材を挟むように補強した。10×100

〈主な作業工程〉

1. バリ取り
2. けがき
3. 穴あけ
4. 組み立て

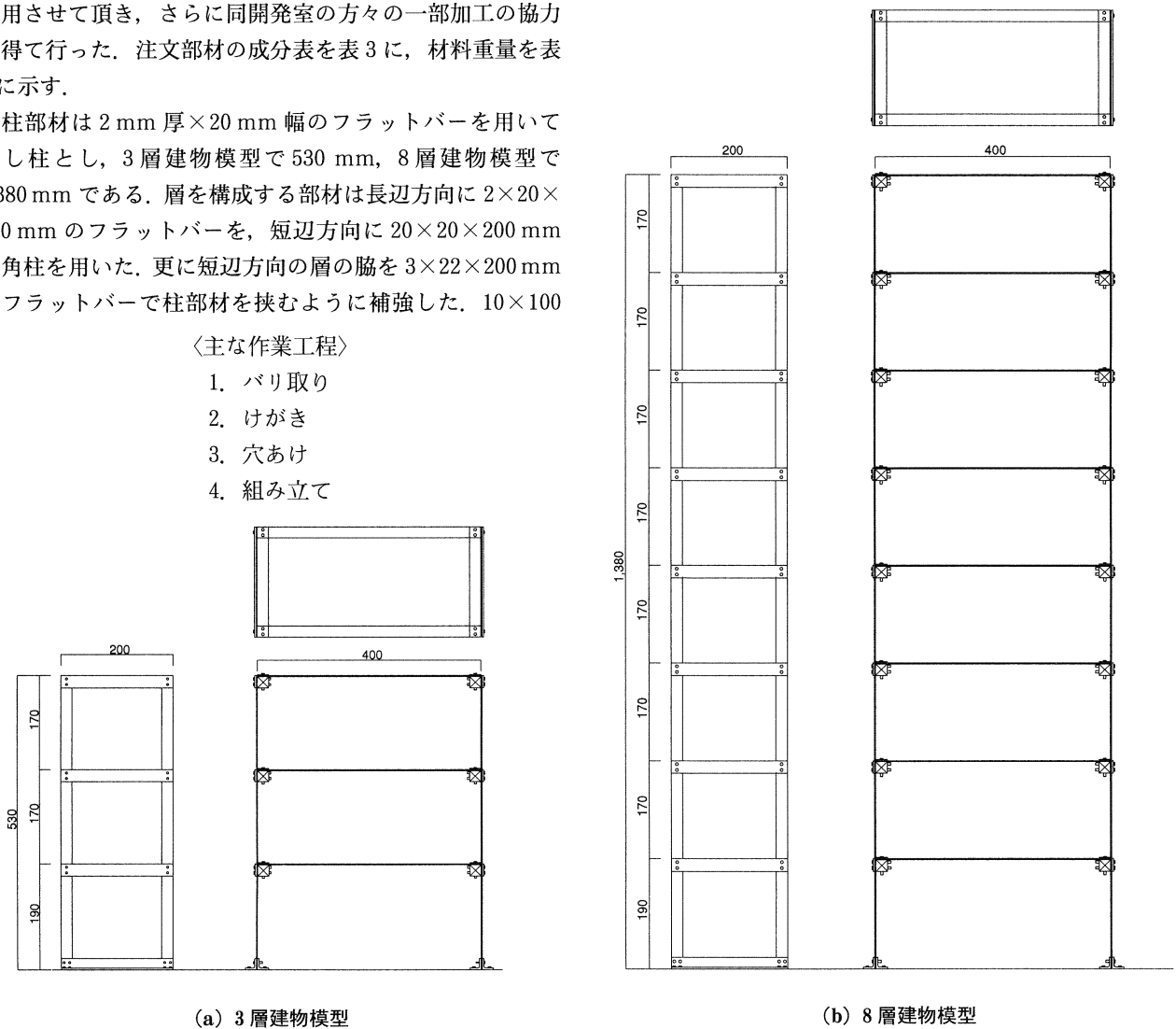


図 2. 多層建物骨組みモデル立面図 (単位: mm)

表 2. 部材割り当て表

ステンレス	フラットバー	2×20×530	3層柱
		2×20×1380	8層柱
		2×20×400	梁(長辺方向)
	角柱	20×20×200	梁(短辺方向)
	フラットバー	3×22×200	梁接合部
	ビス	2×20×20	
	アングル	3×20×200	台座連結部
真鍮	フラットバー	10×100×700	台座
		10×100×300	

(単位: mm)

表 3. 成分表

規格・材質 Spec & Grade	寸法 (mm) Size	化学成分 (%) Chemical Composition							
		Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
ステンレス		Multiplied by	*100	*100	*100	*1000	*1000	*100	*100
		Min						1800	800
		Max	8	100	200	45	30	2000	1050
	2 × 20 × 4000		7	55	162	30	9	1833	823
	3 × 22 × 4000		7	54	159	34	9	1832	827
	20 × 20 × 4000		5	29	168	36	21	1880	807
	3 × 20 × 4000(angle)		5	50	89	31	3	1841	811
真鍮		Element	Cu	Pb	Fe	Zn	Fe+Sn		
		Multiplied by							
		Min	57	1.8					
		Max	61	3.7	0.5	残部	1.2		
	10 × 100 × 4000		58.7	2.8	0.17	残部	0.45		

表 4. 材料重量

		納入した分の重量				材料1m当たりの重量			
		材料寸法(mm)	重量(kg)	体積(cm ³)	比重(g/cm ³)	材料寸法(mm)	重量(kg)	体積(cm ³)	比重(g/cm ³)
ステンレス	フラットバー	2 × 2 × 2005	0.64	80.2	7.98	2 × 20 × 1000	0.317	40	7.93
		2 × 20 × 535	0.17	21.4	7.94				
		2 × 20 × 405	0.13	16.2	8.02				
		2 × 20 × 1385	0.44	55.4	7.94				
						3 × 22 × 1000	0.523	66	7.92
	角棒	20 × 20 × 205	0.66	82	8.05	20 × 20 × 1000	3.17	400	7.93
	アングル	3 × 20 × 205	0.19	22.755	8.35	3 × 20 × 1000	0.89	111	8.02
真鍮	フラットバー	10 × 100 × 700	6	700	8.57	10 × 10 × 1000	8.6	1000	8.60
		10 × 100 × 300	2.6	300	8.67				

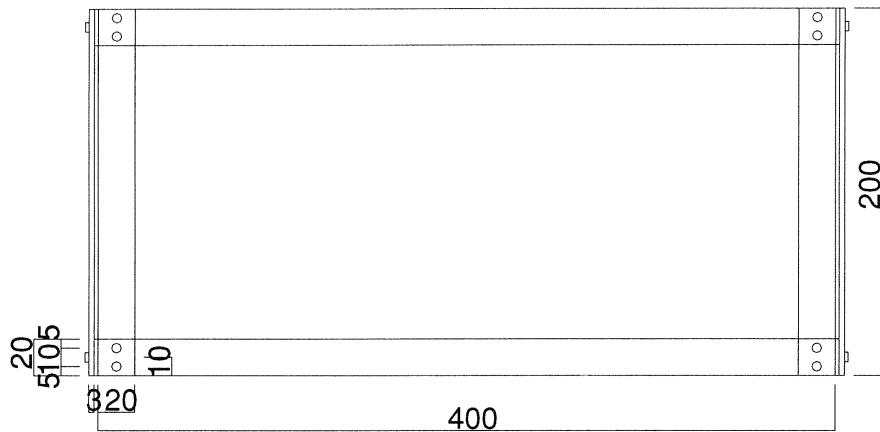


図 3. 部分詳細図（層構成）（単位：mm）

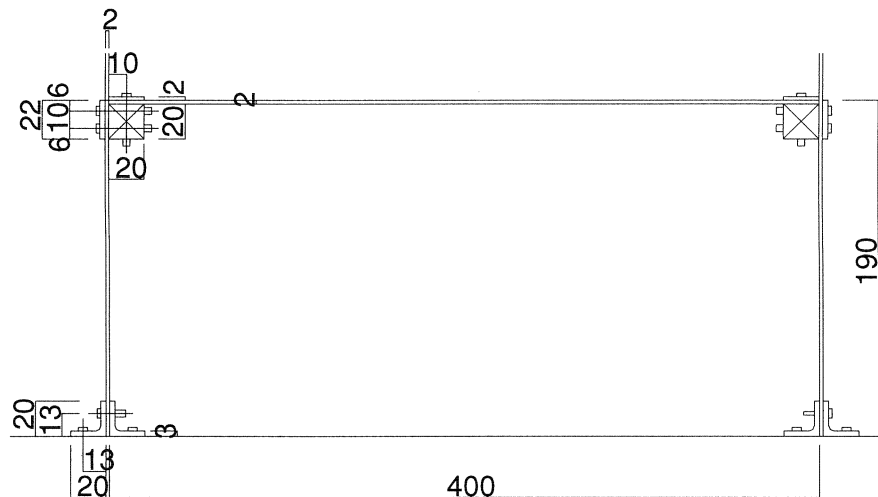


図 4. 部分詳細図（長辺方向）（単位：mm）

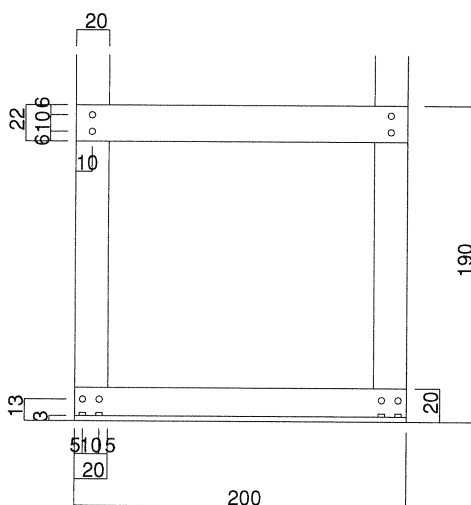


図 5. 部分詳細図（短辺方向）（単位：mm）

×300 mm と 10×100×700 mm の真鍮の板を 2 本ずつ用いて台座を製作した。建物モデルと台座の連結部には 3×20×200 mm のステンレスアングルを用いた。接合部はすべてボルト接合とした。部分詳細図を図 3～図 5 に示す。

製作は 2 日間かけて行った。材料は部材寸法に 5 mm の余りしろをつけた形で発注し、最初に、発注した材料のバリを取り端部を滑らかにした。その後、接合用の穴の中心をけがき、それに合わせて旋盤で穴を開け、最後に組み立てを行った。部材の接合はボルト接合とした（図 6）。

〈製作に用いた工作機械および工具〉

高性能立形マシニング、精密旋盤、万能フライス盤、ボール盤、帯鋸盤、組立用定盤、ハイドゲージ、ノギス、タップ、けがき針、ポンチ、ヤスリ（中目、細目）、他

振 動 実 験

今年度の一般公開において振動実験を行い、一般の方々

にも建物の振動する様子を見てもらった。3層と8層の建物の揺れ方の違いを見るということ、様々な振動モードを確認するということが主な実験のポイントとした。実験は、地震研究所地下B10号室の振動台（図7）において行った。入力波として一定の周期を持ったサイン波で振動台を揺らした。建物模型の長辺方向を振動方向とした。振幅は建物の揺れ具合を見ながらファンクションジェネレーター（図8）を用いて調整をし、おおよそ50~80（単位mVPP）の範囲であった。それぞれの建物の固有周期は表5に示す通りである。3層の建物の固有周期は1次モードで0.21秒（4.7Hz）、2次モードで0.06秒（16.18Hz）であり、8層の建物では、1次モードで0.63秒（1.585Hz）、2次モードで0.19秒（5.2Hz）、3次モードで0.11秒（9.3Hz）、

4次モードで0.07秒（14.5Hz）であった。この結果より、3層建物のモデルでは、想定したRC建物（軒高10.6m）の設計用1次固有周期0.212秒（ $T=0.02h$ ）とよく適合した。8層建物のモデルでは、設計用1次固有周期0.552秒（軒高 $h=27.6m$ ）よりも0.1秒ほど長くなってしまった。これは、3層建物と同じ材料で組み立てたためと考えられる。さらに、何度か実験を繰り返した際に、固有周期が微妙に変化したが、これは振動を繰り返したことによって接合部が馴染んだせいであろうと推測される。振動モードは、3層建物モデルでは3次モード以上、8層建物では5次モード以上は明瞭に確認することはできなかった。しかし、来場して下さった皆様方には本実験の趣旨である建物形状（高さ）による固有周期の違いと様々な振動モードを見て

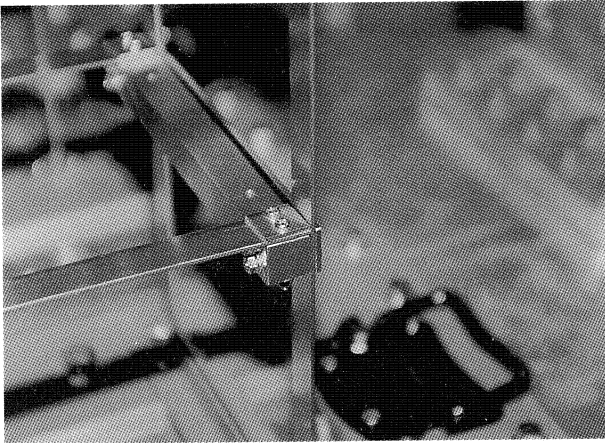


図 6. 接合部詳細

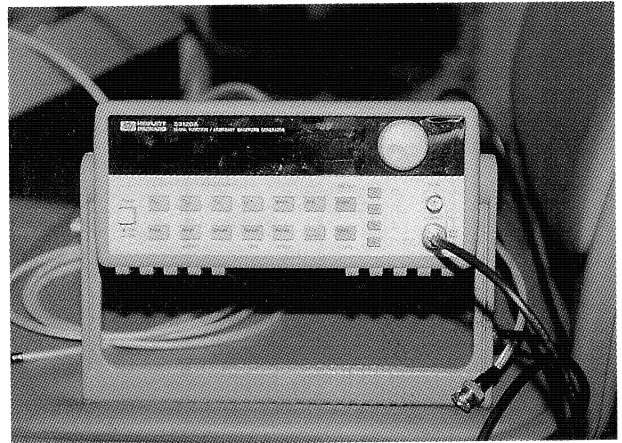


図 8. ファンクションジェネレーター

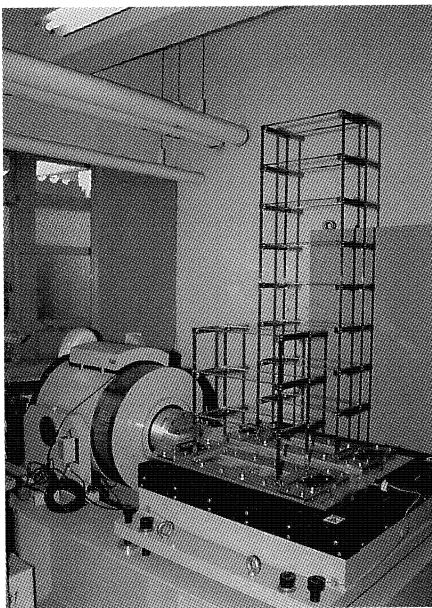


図 7. 振動台—建物模型設置状態

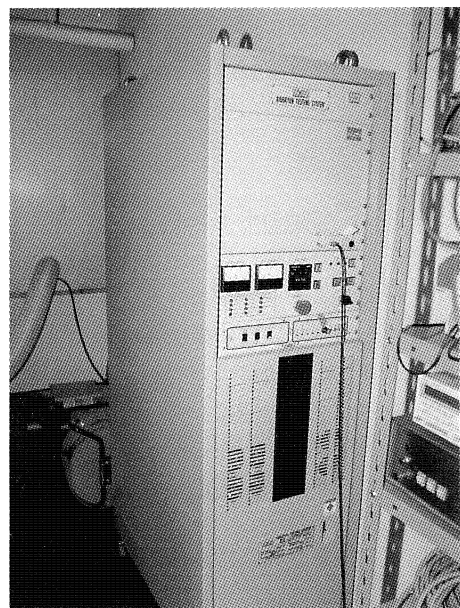


図 9. 加振機



図 10. 一般公開発表風景



図 11. 一般公開見学風景

表 5. 固有周期一覧

		1次モード	2次モード	3次モード	4次モード
3層	設計用	0. 212sec (4. 7Hz)			
	計算	0. 22sec (4. 61Hz)	0. 08sec (12. 17Hz)	0. 05sec (15. 83Hz)	
	実験	0. 21sec (4. 70Hz)	0. 06sec (16. 18Hz)		
	2層仮定	0. 19sec (5. 40Hz)	0. 07sec (14. 68Hz)		
8層	設計用	0. 552sec (1. 8Hz)			
	実験	0. 63sec (1. 585Hz)	0. 19sec (5. 20Hz)	0. 11sec (9. 30Hz)	0. 07sec (14. 50Hz)

もらうことができた。(実験は、一般公開の2日間にわたって、1時間おきに実施した。毎回、お年寄りから子供まで多数の方が見学され、実際に揺れている模型に触れて体で体験して頂いた。熱心に質問をされる方もいた。(図 10, 11))

考 察

本実験において、実験のポイントの一つである建物の高さ(形状)による揺れの違いは3層建物模型と8層建物模型で明瞭に比較することができた。しかし、3層建物において計算により求めた想定建物の固有周期と実験により観測された固有周期との関係について、1次周期はほぼ近い値をとっているが、2次周期は計算による3次周期に近い値となった。そのため、2次モードが観測できなかったのではないかと考え、一般公開後に振動台での実験を再度繰り返したが、やはり2次モードは一般公開のときの値であった。そこで新たに3次モードを探してみたが、結局見つけることはできなかった。3次モードはあまりにも小さくて目で見ただけでは観測できなかったという可能性もあ

る。しかし、今回の3層建物模型では2層として振動したのではないかと考え、2層と仮定した上で固有周期を出してみたところ(表5)、1次固有周期は0.19sec(5.40Hz)、2次固有周期は0.07sec(14.68Hz)であった。概算であるため多少ずれは認められるが、3層で計算した場合よりも実験と得られた値に近い。よって、計算値と実測値の差は、想定建物を縮小したことによって生じた影響を反映しているとみることがもできる。

お わ り に

今年度は、建物高さの異なる3層と8層の建物モデルを製作し振動実験を行い、建物の高さによる揺れ方の違いや8層建物模型によりモードの違いを可視的に捉えることができた。しかし、建物の高さが異なるにも関わらず同じ材料・強度で製作したので、次回には剛性を変えてみるなど更に現実の建物に近づけた実験を行いたい。

謝 辞: 模型制作に際して、内田正之氏をはじめとする地震研究所技術開発室の皆様には適切なお助言とご協力を頂きました。また、工学系研究科博士課程2年の神野達夫

さんには模型の形状を決めるにあたって芝浦工業大学林研究室に連絡をとって頂き、また、計測にも同行して頂きました。工学系研究科博士課程2年の吉見雅行さんには、一般公開のパネルの資料を提供して頂き、また地震研究所地下振動実験台の使い方などを指導して頂きました。工学系研究科博士課程2年の真田靖士さんには一般公開発表についてのアドバイスと指導を頂きました。模型制作の際には、2日間にわたって工学系研究科博士課程1年の権容鎬さん、工学系研究科修士課程2年の小野若菜さんのご協力を頂きました。一般公開発表の際には、工学系研究科博士課程1年の劉春淑さん、工学系研究科修士課程2年の中塚善博さん、工学系研究科修士課程2年の佐伯昌之さ

ん、工学系研究科修士課程2年の甘潔さん、フィデスフェンテスさん、さらに卒論生の阿部隆英君、西村秀樹君のご協力を頂きました。模型の形状や寸法の決定には、芝浦工業大学林研究室の骨組み模型を参考にさせて頂き、模型寸法等のデータを取る際には同研究室院生の方々のご協力を頂きました。

今回の振動実験の実施は、多くの皆様方のご支援とご協力の賜物と深く感謝を申し上げます。

文 献

- 日本建築学会, 1988, 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, p.654.
柴田明徳, 1981, 最新耐震構造解析, 森北出版(株), p.342.