

[96] 広島県内の既存鉄筋コンクリート学校建築物の構造特性について

正会員 ○佐藤 立美 (広島工業大学工学部)

正会員 手越 義昭 (広島工業大学工学部)

1 はじめに

近年の地震における、中低層の鉄筋コンクリート造建築物の被害は予想外に多い。例えば、1978年6月12日宮城県沖地震の被害報告においても、軟弱地盤と云われる仙台市卸町地区に存在した197棟のRC建物のうち、倒壊大破率は約5%であり、また、仙台市内の106棟の鉄筋コンクリート学校建築での大破、中破率は約7%となっている。したがって既存建物の保有性能の把握は重要な課題であると思われ、広島県内の既存建物約200棟の構造調査を昭和54年から2年間にわたり行った。ここでは、特に問題の多いと思われる学校建築100棟の調査結果にもとづき学校建築の現状を認識するため、以下の報告を行う。

2 調査方法、及び、解析方法の概要

構造調査の方法及び調査項目は「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」<sup>(1)</sup>に準じて行った。構造特性の解析はマイクロコンピュータにより、耐震診断プログラム、動的解析プログラム等を使用し行い、解析結果の検討については統計処理、図形作製プログラム等を開発使用した。調査した学校建築の概要を図1に示す。また、解析に用いたマイクロコンピュータシステムは図2に示した如くであり、これは、実測データの処理も可能となっている。

3 広島県内の既存RC建物の静的特性

既存学校建築の平面形状は大半が辺長比の大きい長方形建物であり、特に、小中学校建築では、増築の影響とともに、その機能上、エキスパンションジョイントを採用している建物の例が多くなっている。また、表2に示

表2 耐震壁・短柱・げい性柱の存在

	棟数	耐震壁		種短柱		極げい性柱	
		一方向	両方向	一方向	両方向	一方向	両方向
学校建築	小学校	25	0	10	1	14	2
	中学校	30	1	16	4	13	4
	高等学校	17	3	10	2	11	1
	大学・短大	14	0	3	2	4	0
	特殊学校	14	2	8	1	4	1
計	100	90	6	42	10	46	8

表1 建物群の分類

年度 階数 地域 建物コード	棟数	建設年度				階数					EXP, J	
		33	37	46	50	2	3	4	5	6階以上	有	無
a 小学校	25	0	3	9	13	0	16	9	0	0	11	14
b 中学校	30	0	1	9	20	0	17	12	0	1	8	22
c 高等学校	17	1	5	5	6	0	6	7	4	0	0	17
d 大学・短大	14	1	12	1	0	0	5	5	3	1	4	10
e 特殊学校	14	0	3	3	8	7	3	4	0	0	2	12
小計	100	2	24	27	47	7	47	37	7	2	25	75

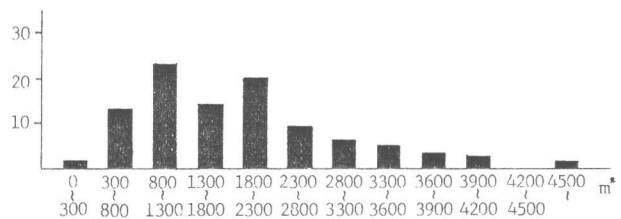


図1 延べ面積分類

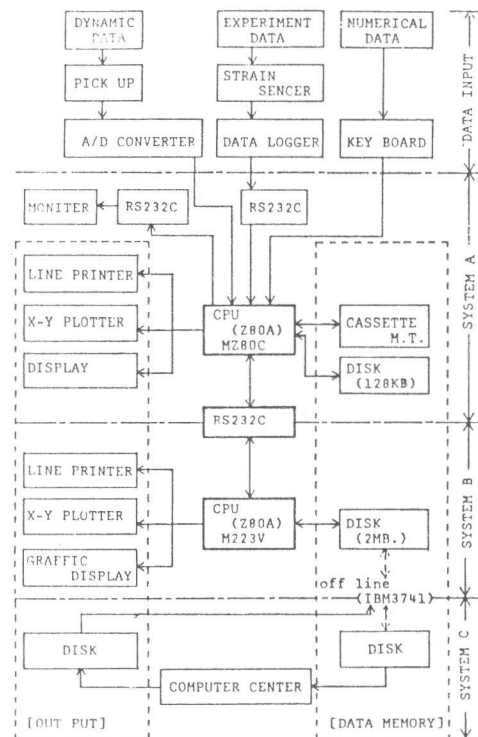


図2 計算機システム

すように、学校建築の9割は、一方向にのみ耐震壁を有し、耐震壁と直交する方向の架構では、ほとんど純ラーメン構造であるが、柱のクリアスパンが短い極短柱の存在比率が高く、また、それらの大半は剪断補強筋が少なく脆性柱となっていることが特徴的である。換言すれば、既存RC学校建築では、かなり顕著な方向性を有しており、従って、短辺方向、長辺方向の耐震性能にも極端な差異がみられる。このことは、壁量、平均剪断応力度分布、保有耐力係数等の分布においても顕著である。(図3、図4、図5参照)さらに、図6に示す建物1階での剛重比変化率と偏心率の関係についてみると、学校建築では、剛重比変化率は比較的小さく、偏心率はややばらつきが大きいという傾向を有し、これは、公共建築や民間建築の調査結果とは逆の傾向となっている。(2)(3)図7は延べ面積壁率と平均剪断応力度との関係を見たものであるが、先にも述べたように、長辺方向は、壁率が小さいものが多く、大半が志賀MAP<sup>(5)</sup>における危険領域中に入っているが、逆に、短辺方向の壁率は多く、大半がこの危険領域外となっている。なお、この延べ面積壁率と平均剪断応力度は比較的良好な相関を有し、図中の2つの曲線間にはほとんど入っている。更に、図8に示す柱率一壁率によって方向性の顕著な差異と、方向による耐震性能の差異を顕著に示している。これらを耐震診断値としてみると、図9に示す如く、壁量の比較的小さい長辺方向の一次診断値は6.8棟が ${}_1I_S < 0.5$ であり、逆に短辺方向では7.4棟が ${}_1I_S > 0.9$ となっている。2次診断値では部材の靱性が考慮されているため、長柱ラーメンでは診断値が大きくなって来るが、それにもかかわらず長辺方向で ${}_2I_S < 0.4$ の耐震性能の劣悪な建物の存在割合が1.7%とかなり高い比率を示している。短辺方向ではその8割は ${}_2I_S > 0.7$ であり、耐震性能の良好な建物の比率が多く、 ${}_2I_S < 0.4$ の建物は2%にすぎない。

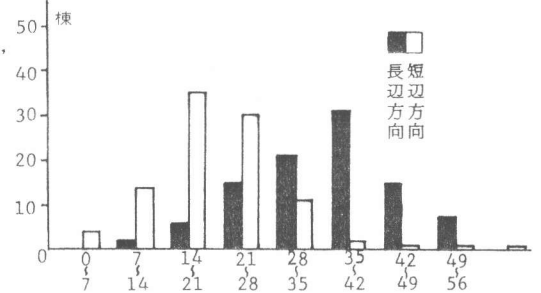


図3 壁量の分布

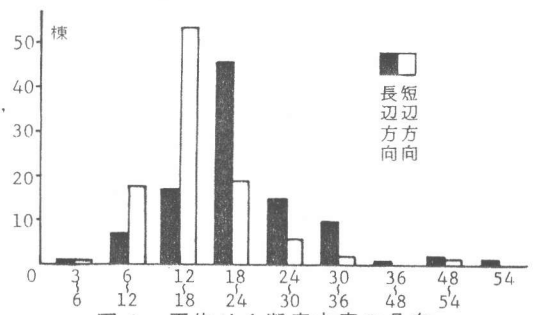


図4 平均せん断応力度の分布

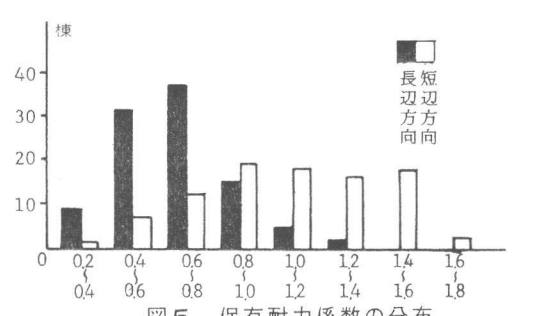


図5 保有耐力係数の分布

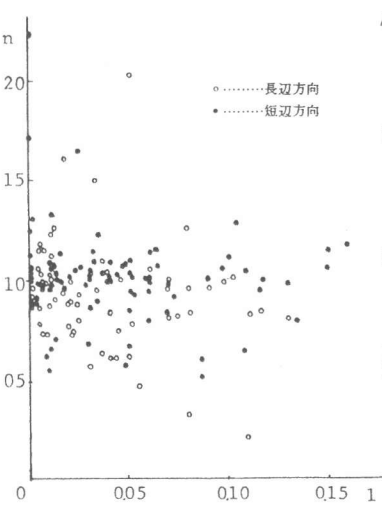


図6 偏心率と剛重比変化率

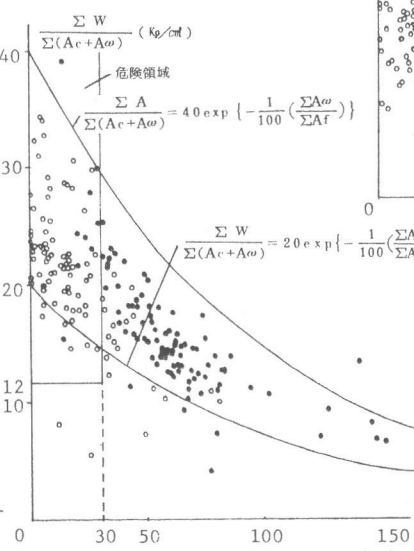


図7 壁量一平均せん断応力度

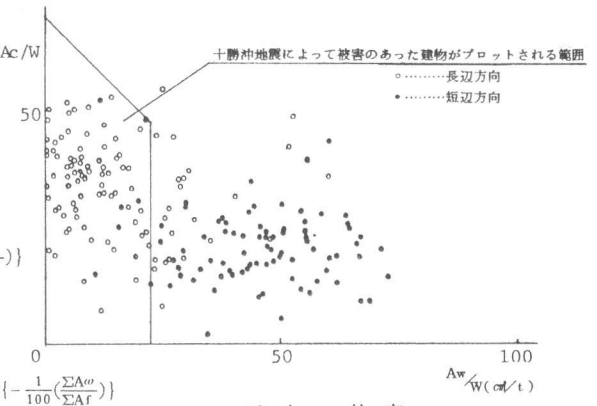


図8 壁率一柱率

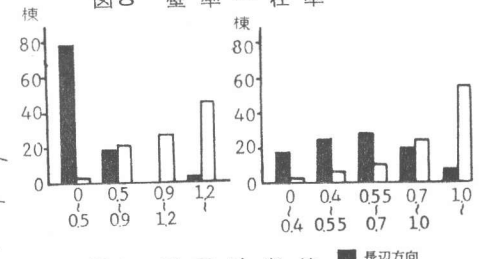


図9 耐震診断値

#### 4 既存RC建築物の動的特性

建築物の耐震性能評価では、その動的特性を無視して評価することは困難であり、耐震診断基準にも振動エネルギー吸収量として靱性を評価している。ここでは、耐震診断過程での強度指標Cと靱性指標Fとの関係により、既存建築物を分類してみた。既存建物におけるC-F特性は図10に示す9TYPEにはほぼ分類でき、<sup>(4)</sup>1階でのC-F特性毎の存在棟数を表3に示す。長辺方向短辺方向ともTYPE I~IIIの剪断部材支配形の構造特性を有するものが多く、特に短辺方向ではその傾向が顕著である。短辺方向の保有耐力の大きい建築はほとんどこの形式のものであり、強度抵抗型の建物の多いことがわかる。靱性に富むTYPE VII, IXは長辺方向架構で15棟、短辺方向では4棟にすぎない。また、これらの架構ではいずれも保有耐力係数は0.5以上となっており、耐震的であると云える。

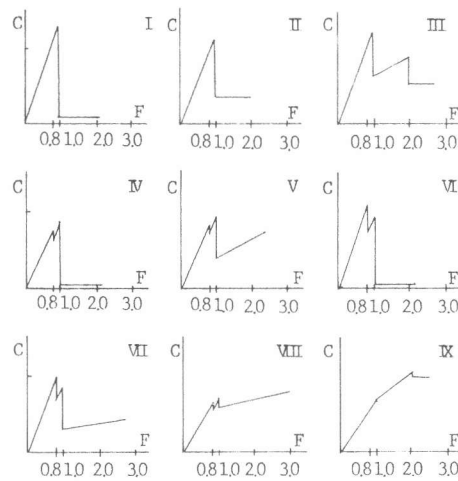


図10 C-F特性の分類

表-3 C-F特性による建物の分類

C-F特性 分類	学 校 建 築									計
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
長 辺 方 向	20	11	15	12	9	7	11	7	8	100
短 辺 方 向	21	41	23	5	2	3	1	3	1	100

次に、動的構造特性として欠かせない建物固有周期の計算結果を図11に示す。この場合、耐震壁の設計時点での剛性評価がまちまちであったため、耐震壁を無視し、柱、梁の剛性のみより各層のパネ常数を算出し固有周期の計算を行ったものである。なお、固有周期の解析棟数は、構造計算書の入手できた53棟である。固有周期の解析結果によると、長辺方向の場合、全調査建物の90%は1次固有周期は0.02H~0.06Hの間に入り、平均値は $T_{1X}=0.036H$ となっている。短辺方向では、壁を考慮しない場合の平均は $T_{1Y}=0.04H$ であり、長辺方向のそれに比較して若干大きくなっている。また、90%確率でのDATAの範囲は0.02H~0.07Hとばらつきは大きい。学校建築の短辺方向は、一般的に壁量が多く、耐震壁で水平力に抵抗する設計になっており、柱の剛性は小さくなっていることを示している。更に、各階の雑壁を含む壁量が $30 \text{ cm}^2/\text{m}$ 以下の建物では、設計段階では、純ラーメン構造として設計されているが、その固有周期の計算結果によると、ほぼ $T_1=0.025 \sim 0.03H$ となっている場合が多く、通常用いられている $T_1=0.02H$ と比較して剛性の小さい建物となっていることが判明した。

#### 5 固有周期の実測例

既存建物の構造調査では、建物の動的特性としての固有周期の解析結果もばらつきが多く、かつ、RC建物では構造解析で建物剛性の正確な把握も困難である。したがって、既存学校建築の実測調査により、固有周期と減衰常数の解析を試みた。実測調査は、建物のほぼ重心位置付近に換振器を設置し、常時微動計測及び、強制振動による建物の振動を記録した。常時微動計測による振動性状解析では、建物の振動が小さいため、地盤の微振動の影響と位相特性が問題となる場合が多い。したがって、各階及び地盤での振動を同時にサンプリングし、各チャンネル同時のAD変換により、モード解析により、1次、2次の固有周期と減衰常数を求めた。固有周期の実測を行った学校建築の概要とその実測結果を表4に示す。表4中の計算値とは、構造計算上でのD値により求められるパネ定数を使用した場合

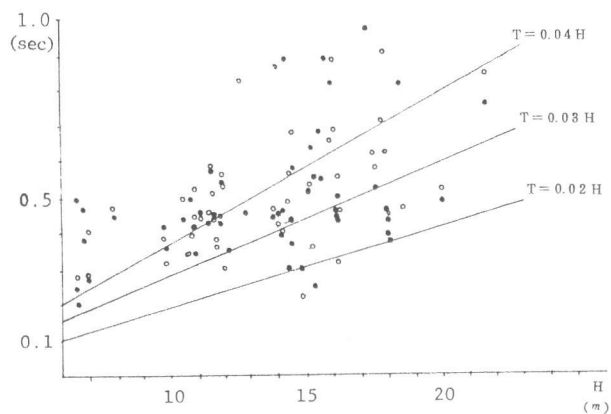


図11 建物高さと固有周期

の計算値である。固有周期の実測を行った5棟の概略は以下に示す通りである。建物番号No 1, 2はいづれも片廊下形式の教室棟であり、短辺方向は1スパンで教室間の間仕切壁となっている。No 3は教室及び研究室棟であるが、階段室部分とコア部分にのみ耐震壁を有する建物で、比較的壁量は少ないほぼ正方形の建物である。No 4は大学事務棟であり、形状はほぼ正方形で中央にエレベータ、階段室コアを有する6階建建物である。No 5は一辺約11mの正方形平面の高さ25.2mの階段塔であり、3, 4, 5, 6階において、建物No 4と渡り廊下で連結されている。その振動性状の実測結果では、長辺方向はNo 4の建物と一体となって振動していると思われ、渡り廊下の剛性評価も課題となっていると言える。なお振動計測結果における一次固有周期と一次減衰常数の関係をみると87%程度の相関で減衰定数hと固有周期Tとの関係は $h = 0.6 + 10T$ (%)となっている。

表-4 固有周期の実測結果

建物番号	層数	高さ(m)	方向	固有周期(S)		減衰定数 実測値(%)
				実測値	計算値	
No 1	3	17.5	長辺	0.28	0.23	4.7
					0.09	
			短辺	0.39	0.32	5.0
					0.12	
No 2	4	15.3	長辺	0.26	0.37	2.9
					0.13	
			短辺	0.22	0.24	2.4
					0.10	
No 3	4	18.2	長辺	0.34	0.47	3.5
					0.18	
			短辺	0.30	0.48	3.6
					0.18	
No 4	6	25.1	長辺	0.34	0.57	3.7
					0.20	
			短辺	0.34	0.57	3.6
					0.21	
No 5	7	25.2	長辺	0.34		3.7
					0.17	
			短辺	0.28		3.6
					0.17	

## 6 結論

広島県内の既存鉄筋コンクリート造学校建築の大半は3~4階建の低層建築物であり、その規模もさほどばらつきはなく、標準的の学校建築となっている。また、鉄筋コンクリート構造計算規準の改正や、年々の使用材料強度にもかかわらず、耐震性能の向上はそれほど顕著に表われていない。構造的には、非常に顕著な方向性を有しており短辺方向は主として耐震壁で水平力に抵抗する形式であり、保有耐力は大きい、靱性はさほどではない。長辺方向は一部の例外を除けば、純ラーメン構造の建築物であり、一般に保有耐力は大きくない。従って、これらは地震時のエネルギー吸収は靱性に期待することになるが、調査結果では靱性の高い建物の比率は15%程度しかない事が判明した。耐震性能の評価は、耐震診断基準では、大地震を想定した終局耐力、又は塑性変形能力等を解析するが、広島県下では、大地震の発生確率が小さい事と、地震被害としては、最も靱性の小さい部材の破壊を持って被害と認識される事を考えれば、既存学校建築の長辺方向の一部で存在する脆性部材を含む架構の検討は重要と云える。建物への入力地震動の大きさは、建物の剛性との関係が大きい、広島県内の既存学校建築は、地域係数の低減が認められていた事と、従前の設計方法では、剛性評価がなされず、柱主筋量の増大により強度を期待する設計例が多く、それに伴う剪断補強筋の増大はあまり見あたらない。このことは、柱の靱性を低下させると共に、柱の剛性の低下にもつながり、結果として、固有周期がやや長い建物の存在を多くしている。建物固有周期も正確に計算することは、各種の壁の評価の問題で困難であるが、独立棟の場合には、常時微動計測でもかなり明らかになり、逆に、計測結果から各種の壁の評価の逆算も可能であり、これらの計測結果の蓄積は重要と考えている。

〈謝辞〉 本研究に当り、資料の提供は広島県庁、広島市教育委員会の御協力を得ました。又、計測装置は九州産業大学表俊一郎研究室の器材を使用させて頂きました。又、本研究に対し鶴教育研究振興会からの研究助成を頂きました。ここに記し深謝致します。

### 〈参考文献〉

- 1) 日本特殊建築安全センター「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震断基準、同解説」。
- 2) 佐藤「広島県内の既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能調査」建築学会中国支部研究報告(その1) 1980.10, (その2) 1981.2, (その3)(その4) 1981.10, (その5)(その6) 1982.3,
- 3) 佐藤「中低層鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能」建築学会大会論文梗概集, 1981.9
- 4) 佐藤他「地震動による既存RC建物の外力と保有耐力の関係」第18回自然災害科学総合シンポジウム
- 5) 志賀敏雄「鉄筋コンクリート造建物の壁率と耐震性」第13回自然災害科学総合シンポジウム