

報告 沖縄の戸建て及び集合ピロティ住宅の耐震性能に関する調査研究

高江洲 昌則^{*1}・山川 哲雄^{*2}・張 愛暉^{*3}・知花 洋一^{*4}

要旨: 沖縄の既存ピロティ戸建て住宅11棟・既存ピロティ集合住宅22棟に関して、耐震診断と保有水平耐力の観点からこれらの耐震性能を検討した。その結果、沖縄のピロティ住宅は戸建て及び集合住宅のいかにかわらず、ほとんどの場合耐震性能が不足していることがわかった。したがって、耐震診断と必要に応じた耐震補強が沖縄の今後の大きな課題と言える。

キーワード: ピロティ住宅, 耐震性能, 耐震診断, 保有水平耐力, 剛性率, ベースシヤール係数

1 はじめに

1995年の阪神・淡路大震災以降、日本ではピロティ建築物の耐震設計法がさらに強化されたにもかかわらず、沖縄では全国一小さい設計用地震力を背景にあいもかわらずピロティ建築物の建設が盛んに進められている。最近の調査研究によると、沖縄では「駐車場確保」がピロティ建築を採用する最大の理由になっているようである。次いで、「増築空間の確保」が採用理由になっている¹⁾。本来ならば木造建築物より耐震性能が高い鉄筋コンクリート造建築物をピロティにすることにより、その耐震性能を台無しにしていると言っても過言ではない。

このように沖縄に際だって多いピロティ建築物の倒壊を大地震から防ぎ、人命を守るために、既存ピロティ建築物の耐震性能を検証し、その危険性を具体的に、かつ定量的に明らかにすることがまず必要である。その結果、沖縄のピロティ建築物が耐震性能上憂慮すべき状態であれば、これらの耐震性能を引き上げ、地震防災上安全な構造物に改善するために、沖縄の実状に合った耐震補強法を提示することは、緊急を要する重要な社会的課題であると考ええる。

本報告の目的は、沖縄のピロティ戸建て、及び集合住宅の耐震性能を評価し、耐震補強の必要

性に関する有無を明らかにすることである。

2 沖縄のピロティ住宅

沖縄では本土復帰後、急激に増えたRC造建築物とも関連して、近年車社会における駐車場の需要増加から、敷地の有効利用を図る目的で、ピロティ形式を取り入れる住宅が多くなった。このことは、図-1に示した沖縄県全体(県民人口約132万人)の軽乗用車も含む乗用車の登録台数と、図-2に示した人口約30万人の那覇市における既存ピロティ集合住宅棟数の推移からも、容易に類推できる。乗用車数の増加とともにピ

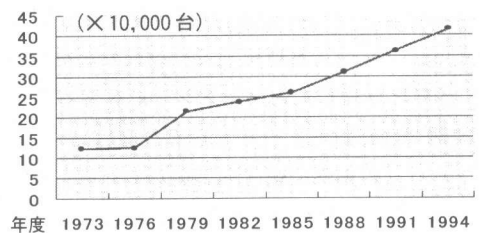


図-1 沖縄県全体の乗用車の登録台数

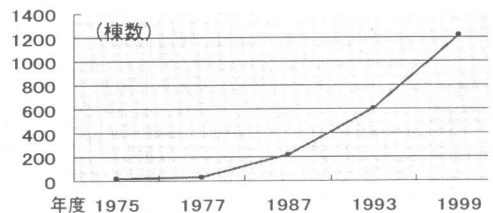


図-2 那覇市のピロティ集合住宅棟数の推移

*1 高江洲建築設計事務所・所長 (元琉球大学大学院生) 工修 (正会員)

*2 琉球大学教授 工学部環境建設工学科 工博 (正会員)

*3 中国浙江大学 構造工程研究所助教授 (元琉球大学助教授) 学術博士 (正会員)

*4 (株)大城組(元琉球大学学生)

ロティ住宅もそれに比例して、増加の一途をたどっていることは明らかである。また、ピロティは開放的空間であるため、風通しが良く、日陰をつくるので、亜熱帯の高温、高湿の沖縄では受け入れやすい自然環境条件が整っていた。しかも、沖縄県では設計用地震力が日本で最も小さいことも、ピロティ建築物の建設を助長したものと思われる。

ピロティ建築物には変形しやすい1階に水平変形が集中する一方、P- δ 効果などにより、上階からの鉛直荷重と地震時の転倒モーメントに伴う軸圧縮力の累加と、2階床の水平変位の積で与えられる付加曲げモーメントによって1階ピロティ部の柱がへし折られるか、または大きく水平方向に残留したままか、さらにはそのままつぶされる破壊形式が多く見られる。結局、ピロティ部分の1階のみの局所的な損傷では、入力地震エネルギーを消費することができない建築物が、ピロティ建築物であると見なすことも可能である。

ピロティ建築物の問題は沖縄の根幹をなす耐震上の大きな課題である。もちろん、それなりに耐震設計されたピロティであれば問題は少ない。しかし、2階以上の上階に外壁や間仕切り壁としてブロックを使用しているにもかかわらず、それを無視して純ラーメンで計算することも沖縄では行われているようである²⁾。こうしてブロックの剛性や強度を無視して計算することが、はたして安全側の耐震計算になっているかどうか疑問である。山川らが1994年沖縄

で実施した実在RC造3階建て公営集合住宅の正負繰り返し水平加力実験から、ブロック壁も剛性や強度の面からかなり有効であることを確認しているからである³⁾。

3 ピロティ戸建て住宅の耐震性脳

沖縄のピロティ戸建て住宅に関して、これらの構造図を入手し、耐震性能を検討した建物概要を表-1に示す。これらのピロティ戸建て住宅はすべて新耐震設計法以降に設計、建設されたものばかりである。保有水平耐力と耐震診断に先立ち、1階ピロティ部の柱のせん断強度に対する曲げ強度の比であるせん断余裕度を比較する。ただし、ピロティ戸建て住宅に関しては桁行と梁間方向の区別がつきぬくので、単にX方向とY方向に区分して整理する。紙面の都合上、ピロティ戸建て住宅はX方向のみ掲載する。図-3から多くの柱において曲げ破壊先行が成立しているが、曲げ破壊先行が成立していない柱もごく一部見られる。次に、剛性率に関する計算結果を図-4に示す。ピロティ戸建て住宅の場合、X方向、またはY方向の耐震壁付ピロティ各1戸と、Y方向の純ラーメンピロティ1戸の合計3戸(X方向1戸、Y方向2戸)を除いて、剛性率はすべて0.6以下である。

1階ピロティ部のX方向の保有水平耐力を建物の重量で除した値を図-5に示す。X方向の平均値が0.36で、Y方向の平均値が0.34であり、小さくはない。表-1に示したピロティ建築物の保有水平耐力に対する必要保有水平耐

表-1 ピロティ戸建て住宅における建物概要

建物 No.	設計 年度	建築規模										一階 壁の有無
		階数	基準階床 面積(m ²)	延床面 積(m ²)	軒高 (m)	1階階 高(m)	基準階階 高(m)	スパン数		スパン長さ(m)		
								X方向	Y方向	X	Y	
1	1990	2	180	360	8.40	4.80	3.35	3	1	6.7	6.4	完全ピロティ
2	1993	3	131	344	10.35	3.15	3.65	2	1	5.3	7.1	耐震壁 (Y)
3	1994	2	164	328	7.12	3.95	3.45	2	1	7.2	8.1	完全ピロティ
4	1996	3	166	498	10.30	3.10	3.60	3	1	3.6	9.0	耐震壁 (X)
5	1996	3	130	390	9.60	3.00	3.30	3	1	7.2	3.6	完全ピロティ
6	1996	2	130	260	7.20	3.75	3.45	3	1	4.5	6.4	完全ピロティ
7	1997	3	72	216	9.90	3.10	3.40	1	1	6.8	8.2	袖壁 (X)
8	1997	2	214	428	7.40	3.80	3.60	2	1	7.2	8.0	完全ピロティ
9	1998	2	127	254	6.85	3.65	3.25	3	1	5.7	6.7	袖壁 (X)
10	1998	3	182	546	8.95	3.20	3.20	2	2	6.3	4.9	袖壁 (X, Y)
11	1999	2	100	200	6.65	3.05	3.60	2	1	4.4	8.5	完全ピロティ

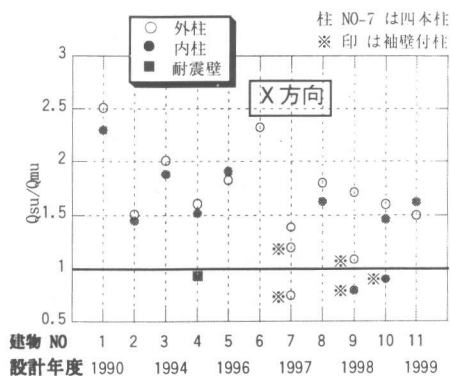


図-3 ピロティの1階における柱のせん断余裕度

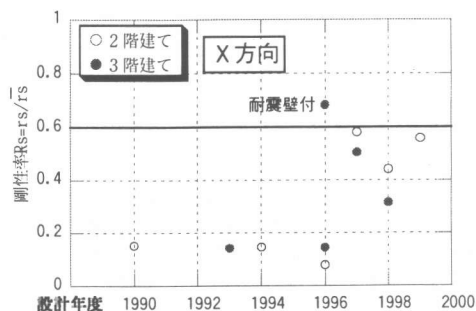


図-4 剛性率 (壁考慮)

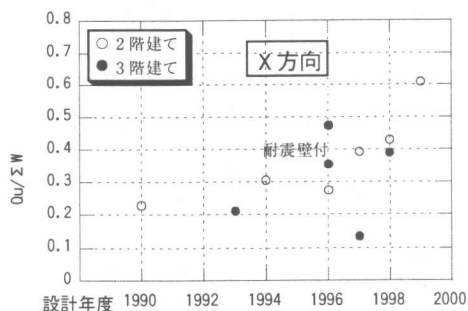


図-5 1階部分の保有水平耐力/建物重量

力の比を図-6に示す。図-6から、X方向の大半が必要保有水平耐力を満足していない。

一方、図-7に示すように耐震壁とブロック壁の剛性を無視し、ピロティ戸建て住宅を構造計算上純ラーメンとして取り扱えば、逆にほとんどのピロティ建築物において必要水平耐力を満足していることがわかる。

表-1に整理したピロティ戸建て住宅の耐震診断結果を図-8に示す。図-8から、大半のピロティ戸建て住宅において、構造耐震指標(Is)が構造耐震判定指標(Iso)を満足していない。

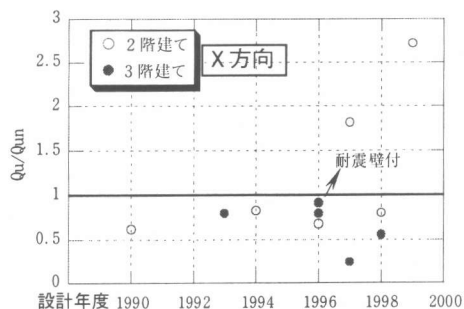


図-6 保有水平耐力と必要保有水平耐力(壁考慮)

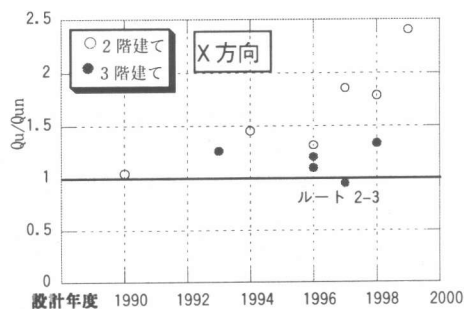


図-7 保有水平耐力と必要保有水平耐力(壁無視)

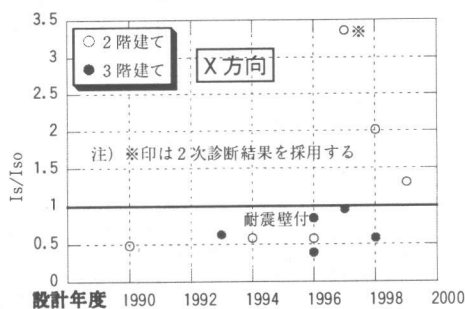


図-8 耐震診断結果

これは、図-6に示したピロティ建築物の大半が、必要保有水平耐力を満足していないことと同じ傾向を示している。

4 ピロティ集合住宅の耐震性能

ピロティ集合住宅は1階が柱のみで壁が一切ない完全ピロティから、梁間方向の片妻側にのみ壁が配置されている場合と、梁間方向の両妻側に壁が等しく配置されている場合の3種類に分類される。2階以上の上階においては、各戸を仕切る必要から、必ず戸境壁が梁間方向に存在する。一方、桁

行方向はいづれの場合でも雑壁を含むラーメンが一般的である。本検討に採用したピロティ集合住宅の建物概要を表-2に示す。

1階ピロティ部の柱のせん断強度に対する曲げ強度の比であるせん断余裕度を比較する。これらのせん断余裕度に関する計算結果を梁間方向と桁行方向に分け、かつ外柱と内柱に分けて図-9に整理する。多くの柱において曲げ破壊先行が成立しているが、曲げ破壊先行が成立していない柱もある。それは、新耐震設計法以前の柱に特に多く見られる。

次に、剛性率に関する計算結果を図-10に示す。ピロティ建築物の場合、梁間方向は妻壁が存在するピロティ建築物を除いて、剛性率はすべて0.6以下である。一方、桁行方向も雑壁を考慮すると、意

外に剛性率が小さいことが図-10よりわかる。

1階ピロティ部の保有水平耐力を建物の重量で除した値を図-11に示す。図-11に示すように、梁間方向に関して1階ピロティ部に妻壁がある場合は、1階の保有耐力が大きい。しかし、妻壁がない完全ピロティの場合の保有耐力は梁間および桁行方向とも小さい。梁間方向と桁行方向の各平均値は0.39と0.25である。強度が小さくても靱性(ねばり)があれば、崩壊や倒壊しにくくなるが、過度の期待は危険である。これは、2節で述べているように1階ピロティ部にP- δ 効果が生じるからである。

このように考えてくると、1階ピロティ部分の層間変形角を小さく押さえるような構造設計も必

表-2 ピロティ集合住宅における建物概要

建物 No.	設計 年度	建築規模										1階 壁の有無
		階数	基準階床 面積(㎡)	延床面 積(㎡)	軒高 (m)	1階階 高(m)	基準階 階高(m)	スパン長さ(m)		スパン 数	桁数	
1	1968	7	292	2044	19.90	3.70	2.70	7.4	6.0	1	5	完全ピロティ
2	1970	4	356	1424	12.20	3.20	3.00	7.2	8.4	1	4	完全ピロティ
3	1979	7	304	2128	22.30	4.20	2.80	9.8	5.6	1	4	両妻壁有り
4	1980	4	203	812	11.90	3.20	2.90	7.2	4.7	1	4	両妻壁有り
5	1982	6	398	2388	18.90	4.00	2.80	9.7	5.5	1	4	両妻壁有り
6	1984	3	189	567	9.60	3.60	3.00	9.0	4.5	1	3	完全ピロティ
7	1984	3	172	516	9.60	3.70	2.95	8.1	6.0	1	2	完全ピロティ
8	1988	3	139	417	9.50	3.00	3.25	7.7	6.2	1	2	完全ピロティ
9	1995	4	200	800	11.30	2.80	2.90	9.0	5.9	1	3	両妻壁有り
10	1996	3	176	528	9.25	3.75	2.75	8.1	5.4	1	3	完全ピロティ
11	1996	3	174	513	9.10	3.05	2.95	6.4	8.1	1	2	完全ピロティ
12	1996	4	97	388	11.20	2.70	2.80	7.2	5.4	1	2	完全ピロティ
13	1997	4	151	604	11.00	2.75	2.75	8.1	6.3	1	2	完全ピロティ
14	1998	6	176	1056	16.40	2.80	2.70	8.1	5.4	1	3	完全ピロティ
15	1998	4	250	1000	12.90	3.40	3.15	8.1	5.4	1	4	完全ピロティ
16	1998	4	302	1208	11.40	3.30	2.70	9.3	6.2	1	4	完全ピロティ
17	1999	4	200	800	11.40	3.30	2.70	9.3	6.2	1	3	完全ピロティ
18	1999	3	156	468	9.30	3.30	3.00	8.1	7.2	1	2	片妻壁有り
19	1999	4	291	1164	11.60	2.90	2.90	9.0	8.2	1	3	完全ピロティ
20	1999	6	137	826	17.25	3.50	2.75	5.4	8.1	1	2	完全ピロティ
21	1999	6	241	1451	17.25	3.50	2.75	8.1	5.4	1	4	完全ピロティ
22	1999	4	145	580	11.80	3.00	2.95	6.3	7.4	1	2	片妻壁有り

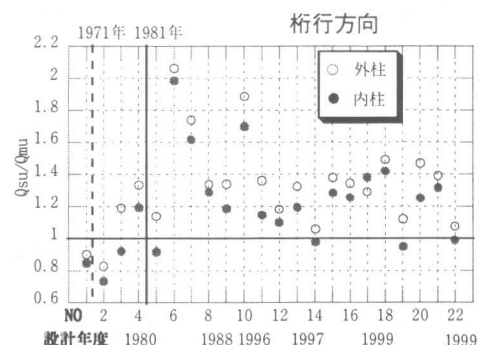
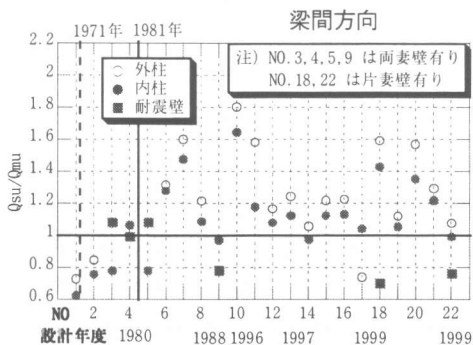
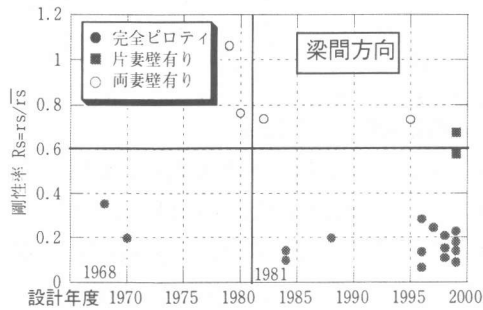


図-9 1階ピロティ部におけるRC柱のせん断余裕度 Q_{su}/Q_{mu}

要になってくる。既存ピロティ建築物に対しては、1階ピロティ部分にブレースや壁を挿入した強度補強、またはエネルギー吸収を目的とした耐震補強も必要になってくる。

表-2に示したピロティ建築物の保有水平耐力に



対して、必要保有水平耐力の比を図-12に示す。図-12から、1階に耐震壁があるピロティ建築物を除いて、その大半が必要保有水平耐力を満足していない。特に、桁行方向も要注意である。このような結果になった主な原因は、構造計算において耐震

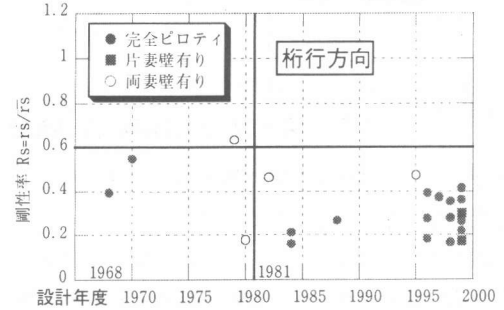


図-10 剛性率

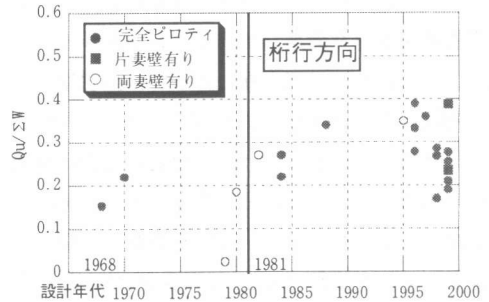
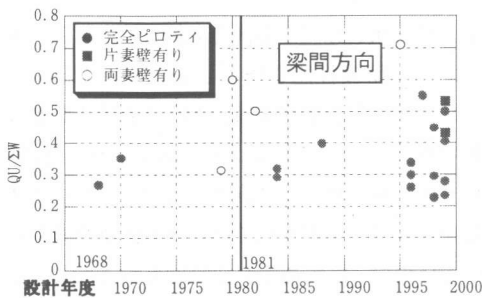


図-11 1階ピロティ部の保有水平耐力/建物重量

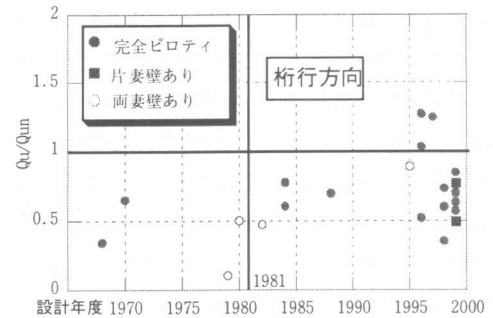
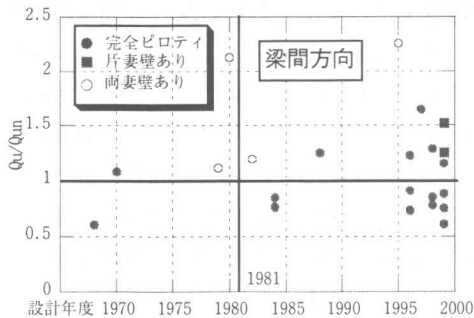


図-12 保有水平耐力/必要保有水平耐力(壁考慮)

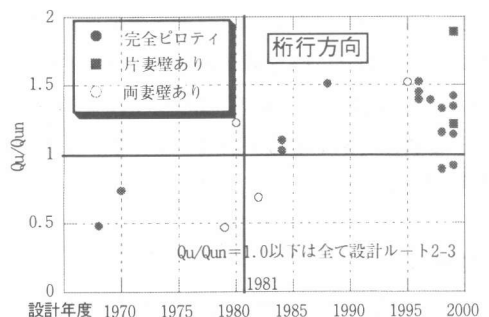
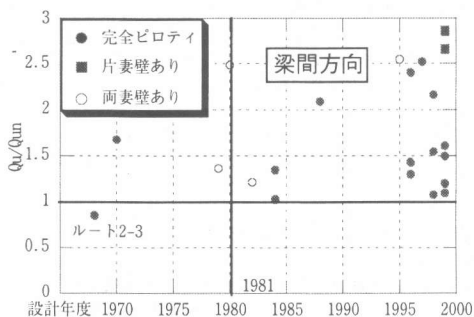


図-13 保有水平耐力/必要保有水平耐力(雑壁、ブロック壁の剛性無視と耐震壁の剛性低下率導入)

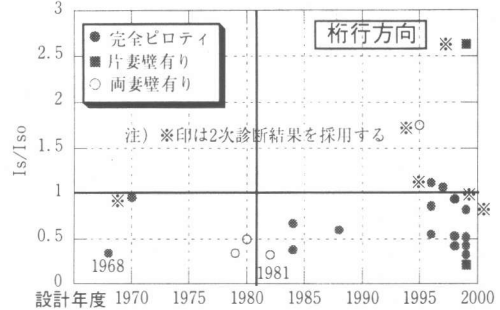
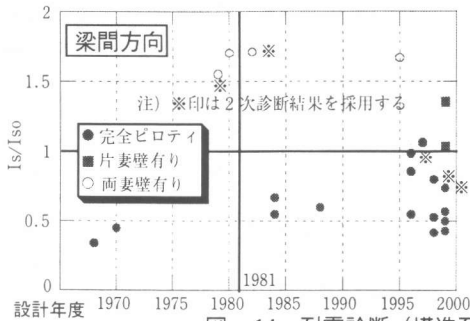


図-14 耐震診断 (構造耐震指標 I_s / 構造耐震判定指標 I_{so})

壁をはじめ、ブロック壁や雑壁を含む壁の存在を構造計算上考慮したからである。

このことは図-13に示すように、ピロティ建築物を構造計算上純ラーメンに近い状態として取り扱えば、逆にほとんどのピロティ建築物において必要保有水平耐力を満足していることがわかる。ただし、集合住宅の梁間方向にあっては耐震壁のせん断剛性低下率を10%に低減し、ブロック壁の剛性を無視している。すなわち、耐震安全性は構造計算上確保されていることになり、耐震補強は必要でないことになる。しかし、壁を無視した構造計算は憂慮すべき問題である。この背景には、新耐震設計法が施行された以降1990年前後まで沖縄ではRC造骨組み構造にブロック壁が多用され、これらのブロックを自重として考慮するのみで、剛性や強度評価は無視してきた経緯がある。このような取り扱いに慣らされてきた沖縄の構造技術者が、1990年以降とみに増加してきた一体打ちのRC造壁に対しても、ブロック壁の感覚と同様に処理する傾向が強く現れてきたといえる。また、このような構造計算が簡単であるからである

表-2に整理したピロティ集合住宅の耐震診断結果を図-14に示す。図-14から、大半のピロティ建築物において I_s が I_{so} を満足していないことがわかる。これは、図-12に示したピロティ建築物の大半が、必要保有水平耐力を満足していないことと同じ傾向を示している。

5 結論

1) 沖縄の2階ないし3階建てピロティ戸建て住宅(11棟)は、全棟新耐震設計法で設計されて

いるにもかかわらず、これらの大半がX方向、Y方向ともに十分な耐震性能を確保していないことがわかった。この、主な原因は構造計算上、壁の存在をブロック壁や雑壁も含めて無視していることにあるようである。

2) ピロティ集合住宅の梁間方向以上に桁行方向も要求される耐震性能を満たしていないことがわかった。この主な要因も桁行方向における雑壁の取扱いが無視されていることにあるようである。

以上の解析、及び検討結果から沖縄のピロティ建築物の大半は要求されている耐震性能を満たしていないので、耐震補強が必要であることを示している。以上の解析から、いつ来るか予知出来ない大地震を考えた場合、沖縄のピロティ建築物は恐怖の状態にあるといっても過言ではない。すなわち、安全で快適な生活を保障すべき住宅が、地震によって人間の命を奪う凶器になるような事態はどうしても避けなければならない。耐震診断と必要に応じた耐震補強が沖縄の今後の大きな課題と言えよう。その中でも、沖縄のピロティ建築物は特に要注意であることは、疑いのない事実であろう。

謝辞: 本調査研究は(社)沖縄県対米請求権事業協会から、「沖縄のピロティ建築物の耐震性能に関する現状調査と解析的研究」(代表 山川哲雄)で平成12年度助成を受けた。また、鈴木雅夫琉球大学名誉教授にはピロティ建築物に関して、建築計画学的な側面からご指導いただいた。

参考文献

- 1) 田上健一, 小倉暢之, 福島駿介: 住要求及び居住実体からみたピロティ型戸建住宅の空間特性, 日本建築学会計画系論文集, 第522号, pp. 147-153, 1999年8月
- 2) 知念秀起: 宮古圏域におけるピロティ建築の構造に関する調査研究, 第8回土木建築部研究発表会, pp. 21-28, 1998.11
- 3) 山川哲雄, 伊良波繁雄, 田中伸幸, 松永尚凡: 塩害により損傷を受けた実在RC造公営集合住宅の正負繰り返し水平加力実験, 琉球大学工学部紀要, No. 50, pp. 55-70, 1995.9