

「既存構造体の撤去・補強を核とした WPC 構造住宅ストック高度利用促進技術の開発」
総合研究報告書

目次

第 1 章	序	
1.1.	研究開発の背景と目的	1
1.2.	研究開発の概要	2
1.3.	研究開発の体制	3
第 2 章	WPC 構造住宅の現場	
2.1.	本章の目的	5
2.2.	WPC 構造住宅の型式別供給量の把握	5
2.3.	Y 市営 N 団地耐震診断	6
2.4.	WPC 構造住宅の躯体の現状調査	10
2.5.	本章のまとめ	15
第 3 章	WPC 構造住宅の改修ニーズと改修の法的取扱い	
3.1.	本章の目的	17
3.2.	自治体に対するアンケート調査	17
3.3.	自治体に対するヒアリング調査	19
3.4.	本章のまとめ	23
第 4 章	開口設置・補強方法の開発	
4.1.	本章の目的	25
4.2.	補強方針	25
4.3.	実験を行った補強方法の概要	26
4.4.	その他の補強方法	27
4.5.	本章のまとめ	28
第 5 章	開口新設耐震壁の性能評価実験	
5.1.	本章の目的	29
5.2.	実験方法	29
5.3.	実験結果	33
5.4.	本章のまとめ	38

第 6 章	耐震壁実験の数値解析	
6.1.	本章の目的	39
6.2.	水平接合部要素実験の概要	39
6.3.	W5 と N5S の耐震壁実験の数値解析	40
6.4.	その他の耐震壁実験の数値解析	43
6.5.	本章のまとめ	46
第 7 章	大規模改修モデル計画の策定とその実現可能性の検証	
7.1.	本章の目的	49
7.2.	モデル計画の対象住棟	49
7.3.	モデル計画の計画条件の整理	49
7.4.	モデル計画の策定	53
7.5.	モデル計画の実現可能性の検証	56
7.6.	本章のまとめ	60
第 8 章	WPC 構造住宅の活用可能性の検討	
8.1.	本章の目的	61
8.2.	本章で策定するモデル計画の概要	61
8.3.	モデル計画 1 とモデル計画 2 の比較	66
8.4.	本章のまとめ	67
第 9 章	今後の課題	
9.1.	本章の目的	69
9.2.	計画面における今後の課題	69
9.3.	技術面における今後の課題	71
9.4.	おわりに	74

第1章 序

1.1. 研究開発の背景と目的

現在、日本には 2000 万戸以上の集合住宅があるとされており、うち 2 割以上が、1980 年以前に建設されたものである^{注 1-1)}。さらに、その半数以上が、3 階建て以上 5 階建て以下の中層集合住宅であり、その数は 230 万戸を超えている。これらの集合住宅が建設された当時は、住宅の大量供給が至上命題であったため、躯体の工場生産化が徹底された、壁式プレキャスト鉄筋コンクリート（以下、WPC と略す）構造が採用された集合住宅も、相当数建設されている。その数は、図 1-1 に示すとおり、1980 年以前のものに限っても 47 万戸を超える^{注 1-2)}。

これらの中層集合住宅は、そのほとんどが公共住宅であり、建物の形式としては、壁式鉄筋コンクリート構造の階段室型住宅であることが多い。年月を経た壁式構造集合住宅に、大規模な改修を加え、活用していくことの必要性は、近年、広く認知されるようになってきたが、このとき重要となるのが、階段室型住宅のバリアフリー改修や、耐震壁の一部を撤去することにより開口を新設し、狭小な住戸面積を拡大するための技術である。

こうした集合住宅ストックの活用にあたっては、躯体の健全性が問われるが、現場打ちコンクリー

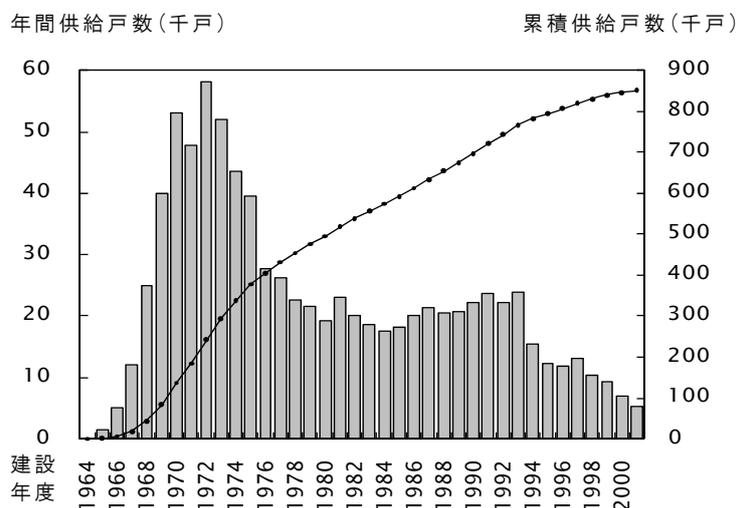


図 1-1 中高層 PCa 鉄筋コンクリート構造集合住宅の供給推移

*棒は年間供給戸数、折線は累積供給戸数を表す。

注1-1) 平成 20 年住宅・土地統計調査 確報集計（総務省統計局、2010 年 3 月 30 日公表）による。

注1-2) 文献 1-1 には、「中高層 PC 工法が採用された集合住宅」の供給推移に関する統計データが掲載されており、図 1-1 はこのデータを元に作成したものである。このうち、1980 年以前に建設されたストックについては、そのほとんどが WPC 構造であるとの証言が、発行元であるプレハブ建築協会より得られている。

トが採用されたストックの場合、躯体の欠損やジャンカなどの施工不良が問題となることもある。一方で、WPC 構造住宅の躯体は、管理が徹底された工場内で製作されていることから、その品質は格段に高く、かつ安定していると考えられる。しかしながら、WPC 構造は、PCa 板を接合して組み立てる特殊な構造形式であるため、その再生の鍵となる、界壁などの躯体への開口新設手法が未整備である。

そこで、本研究では、既存 PCa 板への開口新設を伴う WPC 構造住宅の改修手法を開発することを目的とする。

1. 2. 研究開発の概要

本研究開発の概要を、下記に述べる。

上述したように、本研究開発は、既存 WPC 構造住宅の躯体性状が良好であり、かつ、既存 PCa 板への開口新設を伴う改修のニーズが高いことを仮定し、研究開発の目的を設定したわけであるが、まず、これらの仮定を確認することから研究開発を開始した。

具体的には、1970 年代に建設された、典型的な WPC 構造住宅に対し、耐震診断を実施し、その耐震性能を明らかにするとともに、同時期に民間により建設された WPC 構造住宅の構造調査（PCa 板コア抜き調査、PCa 板接合部の X 線調査・はつり調査等）を行い、こうしたストックの躯体の状態を確認した（第 2 章）。

さらに、WPC 構造住宅を保有する自治体へのアンケート調査およびヒアリング調査を実施し、WPC 構造住宅の改修ニーズおよび改修に際しての法的取り扱いを明らかにした（第 3 章）。

以上を受けて、既存 WPC 構造住宅の PCa 板への開口新設工法を複数考案した。既存 PCa 板への開口新設に際しては、補強が必要となる可能性が高いことも明らかとなったが、ここでは、補強方針およびその考え方についても明確にした（第 4 章）。

考案した開口新設工法については、それぞれ 1/2 スケールの試験体を製作し、構造実験を行うことによって、その構造性能を実験的に明らかにするとともに（第 5 章）、実験の結果を受けて、WPC 構造住宅の構造モデルを組み立て、解析により構造性能を把握する手法を検討した（第 6 章）。

考案した開口新設工法については、建築計画的観点からの有効性も評価するため、実在する既存 WPC 構造住宅を対象とし、大規模改修モデル計画の策定を行った。なお、この種の大規模改修を行う場合、バリアフリー改修のニーズが高いことから、住棟北側に共用廊下とエレベータを増築し、住戸までの段差のないアクセスを実現させる計画とした。モデル計画は、住宅性能表示制度等を参照し、現代のニーズに即した計画とした。図面はいわゆる実施図まで整備し、これに基づき、建設会社等の協力の下、施工性の評価、改修コストの算出、改修計画の事業性評価等を実施した（第 7 章）。

さらに、現在は顕在化していないが、将来顕在化する可能性のある改修ニーズの整理を行い、この結果に基づき、一部用途変更を伴う改修の可能性についても検討を行った（第 8 章）。

最後に、研究開発の結果を総合し、まとめを行うとともに、新たに明らかとなった WPC 構造住宅の活用にあたっての課題を整理した（第 9 章）。

1.3. 研究開発の体制

本研究開発は、上記の通り総合的な検討を必要とするものであるため、下記のとおり、大学等の研究者、建築設計者、総合建設会社・PCa メーカー等の実務者、自治体等の事業推進者等から構成される「既存構造躯体の撤去・補強を核とした WPC 構造住宅高度利用促進技術の開発 産学官テーマ推進委員会」を設置し、研究開発を推進した。また、「産学官テーマ推進委員会」の下には、「工法開発 WG」および「活用計画 WG」の2つのワーキンググループを設置し、研究開発を進めた。

既存構造躯体の撤去・補強を核とした WPC 構造住宅高度利用促進技術の開発
産学官テーマ推進委員会（2010年3月26日現在・敬称略・順不同）

委員長	首都大学東京 准教授	小泉 雅生
委員	日本女子大学 教授	小谷部 育子
委員	大阪大学 名誉教授	鈴木 計夫
委員	芝浦工業大学 教授	金田 勝徳
委員	PC 建築技術支援センター 副理事長	竹田 清二
委員	首都大学東京 教授	北山 和宏
委員	首都大学東京 准教授	高木 次郎
幹事	首都大学東京 助教	門脇 耕三
幹事	住宅総合研究財団 部長	上林 一英
WG 委員	首都大学東京 助教	猪熊 純
WG 委員	首都大学東京 助教	見波 進
WG 委員	横浜市 まちづくり調整局 住宅部	鶴澤 聡明
WG 委員	都市再生機構 都市住宅技術研究所	中對 浩之
WG 委員	住宅総合研究財団 特別研究員 シグマ建築構造研究所 所長	堀 富博
WG 委員	集住計画 代表	柴原 達明
WG 委員	プレハブ建築協会 PC 建築部会 幹事長 安藤建設 執行役員 営業本部営業統括部長	田中 誠
WG 委員	プレハブ建築協会 中高層建築技術担当部長	飯塚 正義
WG 委員	三井プレコン 建築統括部長	川村 敏規
WG 委員	ジェス 代表	安孫子 義彦
WG 委員	湘北短期大学 准教授	大橋 寿美子
WG 委員	住宅総合研究財団	岡崎 愛子

学生オブザーバー：伊藤雄一，梁井理恵，坂元尚子，高塚直樹，畑江未央，和田芳宏，井辺陽子，
今泉麻由子，濱之上裕美，黒倉花，長谷川俊一，福島紘子

参考文献

- 1-1) プレハブ建築協会：プレハブ建築協会 40 年史，pp. 136-137，2003.1

第2章 WPC 構造住宅の現状

2.1. 本章の目的

高度経済成長期に建設された中層集合住宅は、これに改修を加え、有効に活用する機運が高まっているが、こうしたストックの活用が妥当性をもつためには、躯体の健全性が問われる。しかし、現場打ち鉄筋コンクリート造集合住宅の場合、躯体の欠損、ジャンカなど、さまざまな施工不良が見つかることがある。一方で、WPC 構造住宅の躯体は、管理が徹底された工場内で製作されていることから、その品質は格段に高く、安定していると考えられる。一方で、建設から 30 年以上を経た躯体の状態や、躯体の構造性能については、十分に解明されていないのが現状である。そこで本章では、WPC 構造住宅の現状を把握することを目的とする。

2.2. WPC 構造住宅の型式別供給量の把握 注 2-1)

WPC 構造住宅は、高度経済成長期に供給されたものが多いが、SPH (Standard Public Housing : 公共住宅用中層量産住宅) に代表されるように、そのほとんどは、いわゆる標準設計に基づいて建設されたものである。標準設計には、様々な型式があり、型式ごとの供給量は、供給主体によって異なっている。そこで本節では、3つの公的な供給主体に関して、保有する WPC 構造住宅の型式別内訳に関する調査を行った。調査対象とした供給主体は、都市再生機構、O 県住宅供給公社、Y 市である。

型式ごとの WPC 住宅供給量を、図 2-1、図 2-2、図 2-3 に示す。これらの供給主体は、性格が異なるものであるが、それぞれに共通しているのが、1970 年から 1974 年に建設された型式が、いずれも

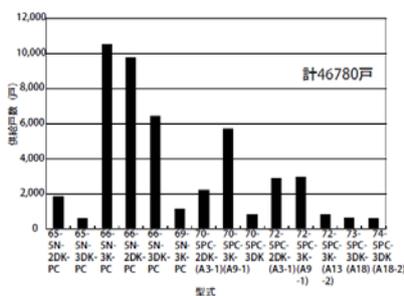


図 2-1 都市再生機構における WPC 構造住宅の型式別供給量

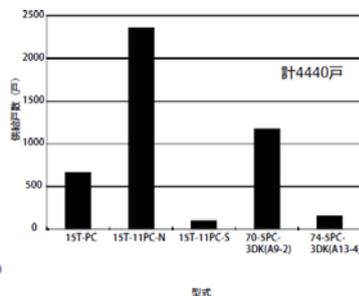


図 2-2 O 県住宅供給公社における WPC 構造住宅の型式別供給量

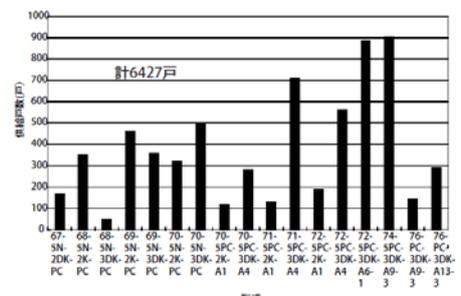


図 2-3 Y 市における WPC 構造住宅の型式別供給量

注2-1) 本節は文献 2-1 に加筆修正したものである。

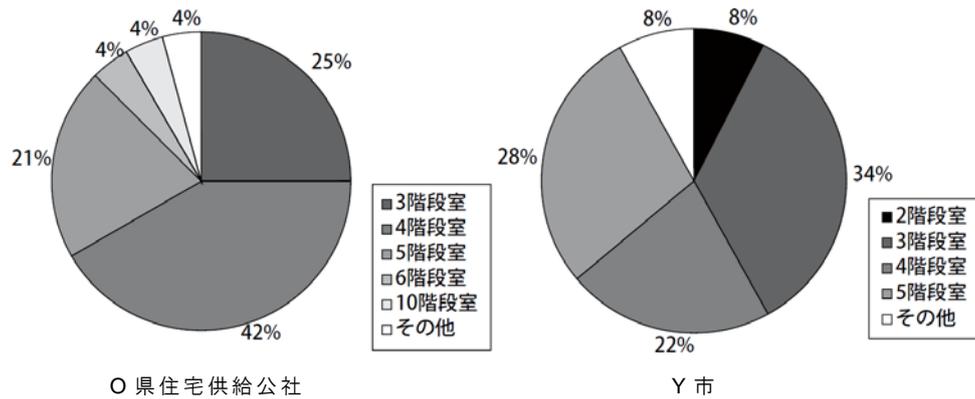


図 2-4 保有 WPC 構造住宅における 1 住棟あたりの階段室数

かなりの割合を占めていることである。また、中層の WPC 構造住宅ストックは、階段室型のアクセス形式が採用されることがほとんどであるが、1 住棟あたりに計画される階段室の数をみると(図 2-4)、O 県と Y 市の保有するストックでは、3~5 階段室数が多くを占めており、したがって、1 層あたり 6~10 戸の住戸が計画される型式が多いことがわかる。

2.3. Y 市営 N 団地耐震診断 注 2-2)

前節で明らかとなったとおり、WPC 構造住宅は、1970 年から 1974 年に建設されたストックが多くの割合を占める。そこで本節では、70 年代に建設された WPC 造集合住宅の典型例であると考えられる、Y 市営 N 団地をプロトタイプとし、開口新設前後の第二次耐震診断を行う。また、開口新設による壁の耐力の評価方法の妥当性を考察した上で代替方法を示すことを目的とする。

2.3.1. 建物概要

対象建物は、横浜市にある「74-5PC-3DK (A9-3)」型の地上 5 階建て WPC 造集合住宅である。プレキャストコンクリート板の床パネルや壁パネルの、鉛直接合部はウェットジョイント、水平接合部はドライジョイントである。略平面図を図 2-5、略軸組図を図 2-6 に、水平接合部詳細図を図 2-7 に示す。

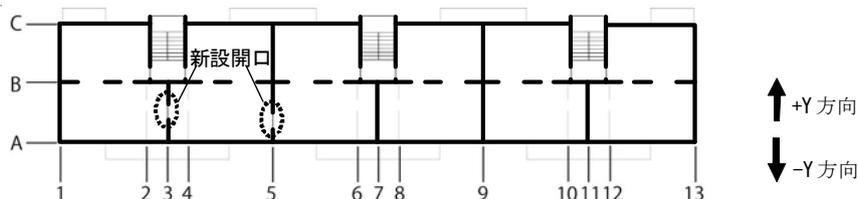
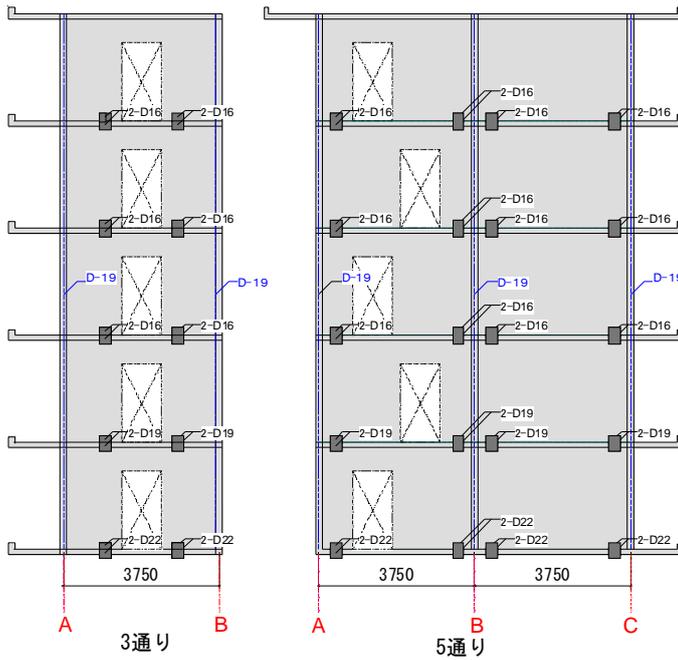


図 2-5 略平面図

注2-2) 本節は文献 2-2 に加筆修正したものである。



: 鉛直接合筋
 : 水平接合筋 (右図参照)
 X : 新設開口

図 2-6 略軸組図

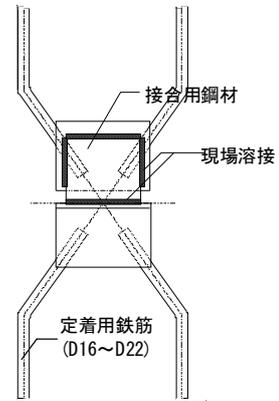


図 2-7 水平接合部詳細図

張間方向は無開口の連層耐力壁架構とフォーク型耐力壁架構から構成される。桁行方向は、耐力壁と壁梁で構成される3構面がある。各階同一平面形状で、耐震壁厚は妻壁のみ180mm、その他の耐震壁厚は150mmである。建物重量は11,943kN (7.9kN/m²)、コンクリートの設計基準強度は27N/mm²、鉄筋強度は普通丸鋼は294N/mm²、異形鉄筋は344N/mm²とした^{注2-3)}。また、新設開口は2階から5階の3通りと5通りに図2-6のように設置するものと仮定した。

2.3.2. 耐震診断結果

既存壁式(プレキャスト)鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針^{注2-3)}に従って、第二次耐震診断を実施した。通常のWRC造とは異なりWPC造では壁の曲げ破壊、せん断破壊の他に水平接合部破壊のモードを考慮している。結果を表1に示す。張間方向については、加力方向(+Y, -Y方向)によって耐力が異なるので、小さい値を採用値とする。なお、耐震性能判断のための閾値として、構造耐震判定指標 Iso を0.6、累積強度指標 CTU・SD を0.45 と設定し、経年指標 T と形状指標 S_D はともに1.0 と仮定した。

現状の桁行方向は、曲げ破壊壁が支配的であるが、一部せん断破壊壁、水平接合部破壊壁もみられ

注2-3) 文献 2-3 参照。

表 2-1 診断結果

桁行方向（現状）

階	式	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	Is値
5	4	1.43	1.61	1.91	2.32
4	4	1.50	0.80	0.86	1.20
3	4	1.50	0.65	0.72	0.97
2	4	1.44	0.59	0.72	0.86
1	5	1.00	0.80	0.80	0.80

張間方向（現状）

階	方向	式	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	Is値
5	-Y	5	1.00	2.39	2.39	2.39
	+Y	5	1.00	2.69	2.69	2.69
4	-Y	4	1.48	0.99	1.28	1.48
	+Y	5	1.50	1.38	1.38	2.08
3	-Y	4	2.00	0.76	0.95	1.53
	+Y	5	1.50	1.02	1.02	1.52
2	-Y	4	2.00	0.66	0.84	1.34
	+Y	5	1.50	0.90	0.90	1.36
1	-Y	4	1.99	0.62	0.80	1.24
	+Y	5	1.48	0.89	0.89	1.32

張間方向（開口新設後）

階	方向	式	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	Is値
5	-Y	5	1.00	2.37	2.37	2.37
	+Y	5	1.00	2.62	2.62	2.62
4	-Y	4	1.00	0.69	1.21	1.25
	+Y	5	1.17	1.37	1.37	1.61
3	-Y	4	2.00	0.53	0.89	1.16
	+Y	4	1.50	0.49	0.94	1.14
2	-Y	4	2.00	0.47	0.78	1.00
	+Y	5	1.50	0.87	0.87	1.31
1	-Y	4	2.00	0.43	0.76	0.93
	+Y	4	1.33	0.76	0.85	1.02

*) 網掛けを採用値とする。

**) 4 式は靱性型の評価式、5 式は強度型の評価式を示す。

た。耐震診断指標 Is は 1 階が一番小さく 0.8、C_{TU} 値は 2 階が一番小さく 0.59 となったがいずれも閾値を満たしている。1 階のみ強度抵抗型で、2 階以上は F 値が 1.43~1.5 で決まっており、若干の靱性に期待している。

現状の張間方向は、Is 値は全階にわたり 1.2 以上あり、F=1.0 のときの C_T 値も 0.8 以上あることから、桁行方向、張間方向ともに現状の耐震性能には十分な余裕があるといえる。

開口を新設すると、C_{TU} 値は 1 階が一番小さく 0.43 となり閾値を若干下回る。1 階から 3 階では耐力が平均で 5~8% 程度低下し、Is 値は現状の 75% 程度に低下して 0.93~1.14 となるが、いずれも Iso=0.6 を上回った。5 階はあまり低下がみられず、開口を新設しても耐震性能には十分な余裕があるといえる。開口新設前後ともに、1,2 階は曲げ破壊壁が支配的だが、上層部にいくにつれて水平接合部破壊が支配的になる。

2.3.3. 診断結果の見直し

現存する多くの WPC 造建築物の形状は類似しており、接合筋の位置などは規格的で、N 団地はそれを代表している。指針式はそのような規格的な WPC 造建物を適用範囲としたものであり、今回のように変則的な開口を設ける場合には、指針式における前提条件(例えば壁の両端には接合筋が設置されていることが多い、など)が成立せず終局曲げ強度及び終局せん断強度を再考する余地がある。そこで、3階5通りの壁を対象として以下のように再評価した。

診断指針では終局せん断強度 Q_{su} は次式によって求められる。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (Fc + 18)}{M / (Qlw) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_o} \right\} (r_j \cdot t_e \cdot j) \quad (2-1)$$

開口を新設した壁を指針通りに評価すると、図 2-8 のように引張側の有効な曲げ補強筋 a_t が存在せず、引張鉄筋比 $p_{te}(=a_t / (l \cdot t_e))$ が 0% となるので上式の第一項が 0 となり、実際は曲げ引張に有効であると考えられる接合筋を無視していることになる。

そこで、接合筋を a_t として扱えるよう壁の長さを短く仮定する。これにより耐力壁の有効せい $lw(=0.9l)$ や応力中心間距離 $j(=7/8lw)$ は小さく、耐力壁の有効厚さ $t_e(=t + \Sigma A/l)$ は大きく評価されることになるが、引張鉄筋比 p_{te} が有効となり、式の物理的な意味の上でも適切であると考えられる。

再評価の結果を表 2-2 および表 2-3 に示す。5-1 壁は Q_{su} が 75% 程度大きくなるが、破壊モードは変わらず F 値も変化しない。

5-2 壁は Q_{mu} が 13% 程度、 Q_{su} が 175% 程度大きくなるので指針ではせん断破壊だった破壊モードが水平接合部破壊となり C_w 値は約 1.3 倍に、F 値は 1.0 から 1.5 へ大きくなる。

これにより 3 階の-Y 方向の I_s 値は 1.14 から 1.45 に約 1.3 倍増大した。ただしこの修正によって-Y 方向よりも+Y 方向の I_s 値が小さくなり、採用値となるので 3 階の I_s 値は 1.14 から 1.16 へと小幅な増加にとどまる。

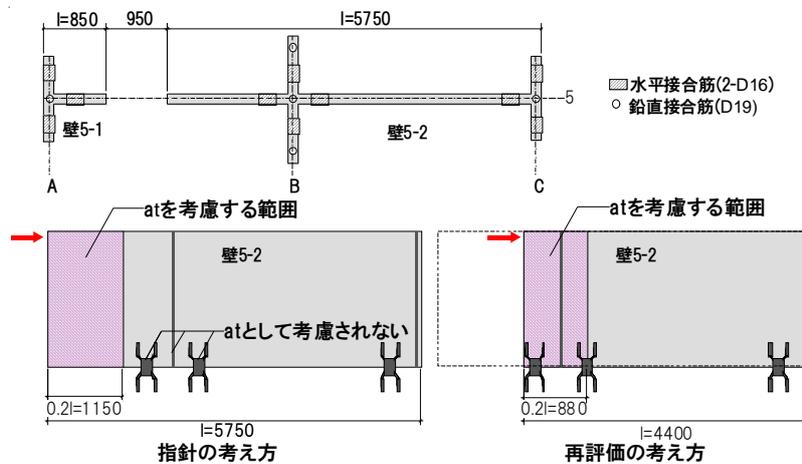


図 2-8 再評価の考え方

表 2-2 3 階 5 通りの壁の強度再評価

壁	方向	Qmu(kN)	Qsu(kN)	Qhu(kN)	Cw値	F値
5-1	-Y(指針)	55.6	121.6	124.4	0.0082	1.5
	-Y(再評価)	60.0	212.2	124.4	0.0088	1.5
5-2	+Y(指針)	1021.9	630.5	821.9	0.0925	1.0
	+Y(再評価)	1218.1	1752.5	821.9	0.1206	1.5

表 2-3 3 階再評価結果

階	方向	式	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	I _s 値
3(指針)	-Y	4	2.00	0.53	0.89	1.16
	+Y	4	2.00	0.49	0.94	1.14
3(再評価)	-Y	4	2.00	0.53	0.89	1.16
	+Y	5	1.50	0.96	0.96	1.45

Qmu は耐震壁の終局曲げ強度、Qsu は耐震壁の終局せん断強度、Qhu は耐震壁の水平接合部の終局せん断耐力、Cw 値は強度指標、F 値は靱性指標をそれぞれ示す。(指針)とは診断指針式に準拠して計算した結果とする

2.3.4. 小結

本節では以下のことが確認できた。

- 1) 標準的な WPC 造集合住宅である N 団地の第二次耐震診断を実施し、その結果現状の耐震性能には十分な余裕があることを確認した。耐震壁に開口を新設すると現状と比べ耐震指標は下がるが、無補強のままでも閾値を満たすことが確認できた。
- 2) 開口を新設した場合に、耐震診断指針による耐力の評価式の物理的意味が失われる可能性があることを指摘し、接合筋が引張に有効な曲げ補強筋となるように壁の長さを短く仮定する評価方法を示した。その結果、指針に従って評価するよりも、耐力が大きくなる場合があることが確認できた。

2.4. WPC 構造住宅の躯体の現状調査

以上のように、標準的な WPC 構造住宅は、耐震性能が十分に高いことが確認されたが、一方で、活用の対象となる WPC 構造住宅は、建設から 30 年以上を経たものであるため、躯体の劣化状況等、躯体の現状は確認が必要である。そこで、具体の WPC 構造住宅について、躯体の現状調査を行った。

調査を行ったのは、1971 年に建設された 3 階建て WPC 構造住宅 1 棟である。この建物は、民間により建設されたものであるが、その設計は、日本住宅公団 66 型標準設計 3DK 型を基本としたものであり、その工法も、当時の公的な主体により建設された WPC 構造住宅と、大きな相違はない。

実施した調査は、接合部を対象とした X 線調査、はつり調査などであり、調査実施時期は、2008 年 11 月である。図 2-9 に、2 階 PCa 板の組立図を示す。ここには、X 調査およびはつり調査の実施位置も例示した。なお、本調査は、民間の専門会社へ委託して行なったものである。

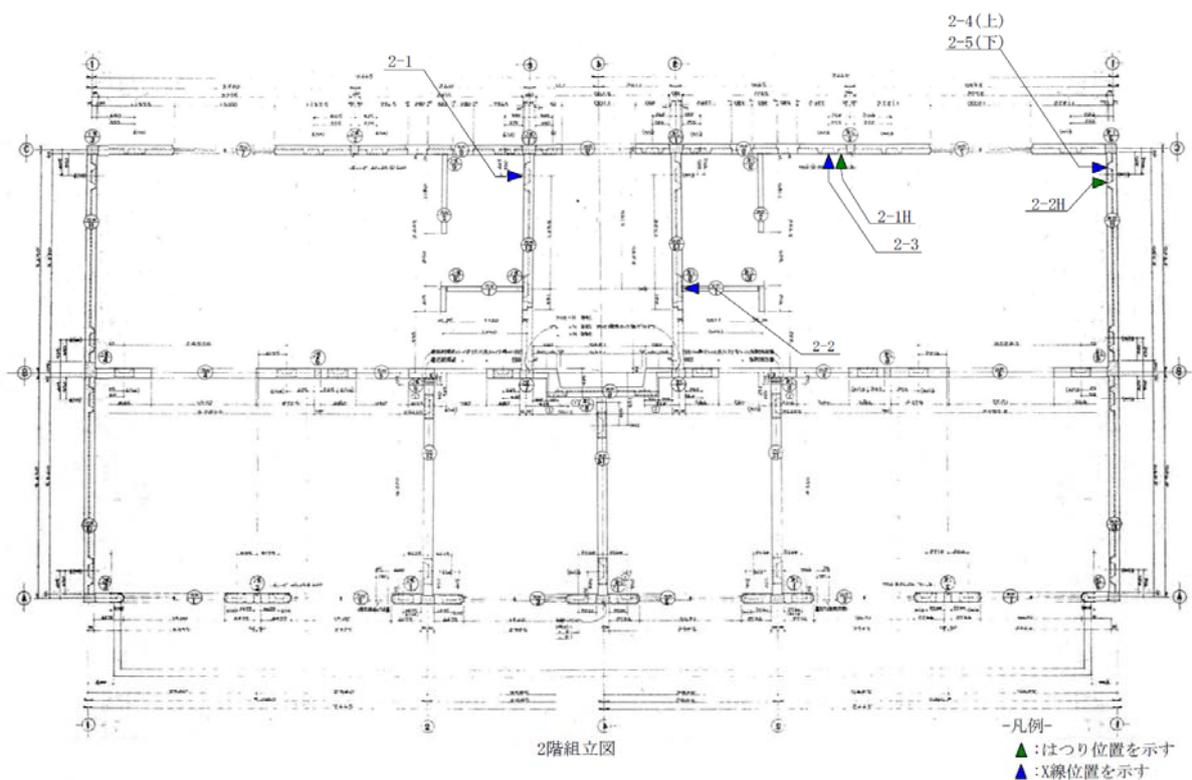


図 2-9 躯体現状調査を実施した WPC 構造住宅の 2 階 PCa 板組立図

2.4.1. 調査項目および調査方法

調査項目、調査内容を表 2-4 に示す。また、調査の方法は、下記の通りである。

(1) 接合部 X 線調査

本調査において、PCa 版の接合部のプレート、アンカーボルト状況を確認するため、X 線発生装置を用いた X 線調査を行った。なお、フィルムに余計な X 線量が回り込まないように、鉛で養生を行った。使用した X 線発生装置は、株式会社トーレックによる RIX-200MC である。

(2) 接合部はつり調査

X 線探査により、接合部のプレート位置を確認した後、プレート形状・板厚が計測できるまではつり機を用いてはつり出しを行った。

はつり出したプレートについて、プレート形状・板厚および溶接等をノギス及びスケール、超音波板厚計を用いて実測し、腐食状況を目視にて確認した。

(3) PCa 板コア抜き強度調査

JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に基づき、構造体よりコンクリートコアを採取し、公的機関にて圧縮強度試験を行い現状のコンクリート強度を確認した。

表 2-4 躯体現状調査の調査項目および調査内容

調査項目	調査内容	調査方法	数量
接合部 X線調査	PCa版の接合部のプレート形状、アンカー鉄筋形状をX線探査により確認する。	X線探査	52箇所
接合部 はつり調査	PCa版の接合部のプレート形状・板厚等をはつり出し、確認する。	はつり 目視、実測	壁 1階 5箇所 2階 2箇所 3階 3箇所 合計 10箇所
PCa版 圧縮強度試験	現状の構造体コンクリート強度を確認する。	コア採取法	壁 1階 1箇所 3階 1箇所 合計 2箇所
PCa版 中性化深さ試験	コンクリートの中性化進行度を調査する。	フェノールフタレイン法	圧縮強度試験用 採取コアにて実施
接合部充填 コンクリート 圧縮強度試験	PCa版の鉛直接合部充填コンクリートの強度を確認する。	コア採取法	接合部 1階 2箇所 3階 2箇所 合計 4箇所
接合部充填 コンクリート 中性化深さ試験	PCa版の接合部充填コンクリートの中性化進行度を調査する。	フェノールフタレイン法	圧縮強度試験用 採取コアにて実施
外観劣化調査	ひび割れ、鉄筋露出、漏水跡等、現在の劣化状況を調査する。	目視	B棟 建物全般 A, C~H棟 建物外周部
特記事項	コンクリート圧縮強度及び中性化深さ試験は、公的試験機関にて実施		

コア採取箇所において、レーダ探査器により鉄筋及び障害物を確認後、それらを避ける位置から、ダイヤモンドコアドリルにより直径 100mm に対して長さ 100mm を超えるコンクリートコア供試体を採取した。尚、コア採取箇所は無収縮モルタル詰めとした。

採取したコアは、公的機関にて整形後、両端面の研磨又は石膏キャッピングを行い、圧縮強度試験を行った。尚、供試体の高さとの比が 1.90 より小さい場合は、試験で得られた圧縮強度に補正係数を乗じて直径の 2 倍の高さをもつ供試体の強度に換算した。

(4) PCa 板中性化深さ測定

圧縮強度試験後のコンクリートコア供試体を割裂し、その割裂面に 1% フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、アルカリ呈色反応により反応しない部分の中性化深さを測定した。

測定は、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準じて行った。また、中性化深さの測定値と以下に示す岸谷式から導き出される推定値との比較を行った。

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6\chi - 1.76)^2} C^2 \quad (\chi \leq 0.6) \quad (2.2)$$

ここに、 t : C まで中性化する期間 (年)、 C : 中性化深さ (cm)、 χ : 水セメント比 (0.6 とする)、 R : コンクリートの種類別中性化比率 (1.0 とする) である。

(5) 接合部充填コンクリートの強度調査

「ソフトコアリング調査マニュアル」に基づき壁 PC 板鉛直接合部ジョイントコンクリート部分よりコンクリートコアを採取し、公的機関にて圧縮強度試験を行い現状のコンクリート強度を確認する。

コア採取箇所において、レーダ探査器により鉄筋及び障害物の確認後、それらを避ける位置から、ダイヤモンドコアドリルにより直径 25mm に対し、直径 2 倍以上の長さのコンクリートコア供試体を採取する。採取したコア供試体は、両端面を処理した後、圧縮強度試験を行う。圧縮試験結果をもとに、マニュアルに従って構造体コンクリート強度を算出する。尚、コア採取箇所は無収縮モルタル詰めとした。

(6) 接合部充填コンクリートの中性化深さ測定

圧縮強度試験後のコンクリートコア供試体を割裂し、その割裂面に 1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、アルカリ呈色反応により反応しない部分の中性化深さを測定した。

測定は、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準じて行った。また、中性化深さの測定値と岸谷式（2.2 式）から導き出される推定値との比較を行った。

(7) 外観劣化調査

目視可能な範囲に於いて、外壁面(A～H 棟)や建物内部(B 棟)を目視観察し、ひび割れ、剥離、鉄筋露出等の劣化・損傷状況を図面に記録するとともに、著しい損傷及び代表的な損傷箇所を記録写真として整理した。なお、モルタル等仕上げ材により躯体コンクリートを直接調査できない部分については、ひび割れ幅が大きい場合や錆の溶け出し跡が見られる、貫通していることが確認できた場合など、明らかに躯体コンクリートにもひび割れが生じていると考えられる場合について記録した。

2.4.2. 調査結果

各調査の結果を、次に示す。

(1) 接合部 X 線調査

X 線調査の結果、設計図面との相違は見られなかった。

(2) 接合部はつり調査

はつり調査の結果を、表 2-5 に示す。調査の結果、設計図面との相違は見られなかった。また、錆による鋼板の構造上断面欠損を考慮しなくてはならないような腐食は見られなかった。

(3) PCa 板コア抜き強度調査

採取したコンクリートコア供試体の圧縮強度試験の結果、コンクリート圧縮強度は $331\text{kgf/cm}^2 \sim 348\text{kgf/cm}^2$ であった。

表 2-5 接合部はつり調査の結果

調査番号: 1-1H	階・部位: 1階・壁	調査番号: 1- 2H	階・部位: 1階・壁
J-基2		J-基7'	
調査番号: 1-3H	階・部位: 1階・壁	調査番号: 1-4H	階・部位: 1階・壁
J-基4		J-基3	
調査番号: 1-5H	階・部位: 1階・壁	調査番号: 2-1H	階・部位: 2階・壁
J-基3		J-横3	
調査番号: 2-2H	階・部位: 2階・壁	調査番号: 3-1H	階・部位: 3階・壁
J-横2		J-横6	
調査番号: 3-2H	階・部位: 3階・壁	調査番号: 3-3H	階・部位: 3階・壁
J-横6		J-横7	

設計基準強度（210kgf/cm²）と試験結果を比較すると、全ての箇所において設計基準強度を上回る値であった

(4) PCa 板中性化深さ測定

コンクリートコア供試体による中性化深さ試験の結果、中性化深さは 2.8mm～20.8mm であった。岸谷式から導き出される中性化深さの推定値（23.5 mm：経過年数 40 年）と比較すると、全ての箇所において推定値を下回る値であった。

(5) 接合部充填コンクリートの強度調査

採取したコンクリートコア供試体の圧縮強度試験結果の結果、コンクリート圧縮強度は 175kgf/cm²～223kgf/cm²、全体平均値は 198.8kgf/cm²、全体標準偏差は 19.6kgf/cm²であった。

設計基準強度（210kgf/cm²）と試験結果を比較すると、4体の供試体のうち、1体を除く全ての箇所において設計基準強度を下回る値であった。

(6) 接合部充填コンクリートの中性化深さ測定

コンクリートコア供試体による中性化深さ試験の結果、中性化深さは 18.7mm～68.2mm であった。岸谷式から導き出される中性化深さの推定値（23.5 mm：経過年数 40 年）と比較すると、4体の供試体のうち、3体の筒先を除く全ての箇所において推定値を上回る値であった。

接合部の配筋はシングルである。壁厚 150 mmを考慮すると耐震診断にあたり、中性化による耐力低減は特に考慮する必要がないと考えられる。

(7) 外観劣化調査

建物内外の劣化状況を目視調査により確認した結果、建物外部では各面の壁および底底面にひび割れが見られた。また、西面、北面においてコンクリートの剥離が確認された。建物内部では、3階壁に数箇所のひび割れが見られた。また、3階の台所・食事室の見上げスラブにもひび割れが確認された。団地内の他の住棟についても、同様の調査を実施したところ、建物外部では1階より下では基礎のひび割れや爆裂およびコンクリート剥落、2階では見上げバルコニーの目地のひび割れやエフロレンス、3階より上では庇のひび割れや漏水跡および鉄筋露出などが確認された。

以上の結果を総合すれば、調査を行った WPC 構造住宅は、建設から 40 年を経てなお、躯体は概ね良好な状態にあると結論することができる。本調査結果は、1棟に対してのものであり、この結論を一般化することはできないが、調査の対象とした住宅が、WPC 構造住宅ストックのなかでも、比較的初期に建設されたものであり、これ以降のものは躯体の目地が改良され、雨仕舞いが向上しているなどの証言があることから、WPC 構造住宅ストックの躯体が健全であることの 1つの証左とはなり得るだろう。

2.5. 本章のまとめ

本章では、WPC 構造住宅の型式別供給量の調査を、3つの供給主体に対して実施することにより、ストックボリュームが大きいと考えられる標準設計型式を明らかにした。

この結果に基づき、高度経済成長期に建設された標準的な WPC 構造住宅であると考えられる、具体の躯体に対する耐震診断を実施したところ、その耐震性能は十分であり、また、梁間方向の PCa 板に幅 1m 程度の開口を新設した場合、補強なしでも十分な耐震性を発揮する可能性が高いことが明らかになった。

さらに、建設から 40 年を経過した WPC 構造住宅の躯体の現状調査を行ったところ、予想される以上の劣化はほとんどみられず、その躯体は概ね良好であるとの結論を得ることができた。

参考文献

- 2-1) 伊藤雄一：既存鉄筋コンクリート造集合住宅の空間拡大を伴う改修に関する研究，2008年度首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻修士論文，2009年3月
- 2-2) 今泉麻由子，北山和宏，高木次郎，見波進，坂元尚子，和田芳宏：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅の耐震性能と開口新設後の性能評価手法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2 構造 IV，pp.655-656，2009年8月．
- 2-3) 日本建築防災協会：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針，第2版3刷，2008年

第3章 WPC 構造住宅の改修ニーズと改修の法的取扱い

3.1. 本章の目的 注 3-1)

前章において、高度経済成長期に建設された WPC 構造住宅の躯体は十分な耐震性能をもち、躯体も健全である可能性が高いことが明らかとなった。したがって、WPC 構造住宅は、改修を加えることにより活用するに足るストックであると考えられる。そこで本章では、自治体等の事業主体へのアンケート調査により、WPC 構造住宅の改修ニーズを明らかにすることを第1の目的とする。また、PCa 板への開口の新設を伴う改修は、その法的な取り扱いが問題となることがあると考えられるが、本章では、自治体の建築指導の所轄部署へのヒアリング調査により、WPC 構造住宅の改修に際しての法的取り扱いを明確にすることを第2の目的とする。

3.2. 自治体に対するアンケート調査

公共住宅における大規模改修の実態を把握するとともに、WPC 構造住宅の改修ニーズを明らかにするため、各都道府県と政令指定都市、計 65 の自治体を対象としたアンケート調査を実施し、46 件の回答を得た（回答率：71%）。設問は、WPC 構造住宅に関するものと、中層耐火構造住宅ストックの活用全般に関するものに大別できる。なお、アンケート調査では、「トータルリモデル」という用語を用いているが、ここでトータルリモデルとは、「集合住宅の住戸改善（居住性向上、高齢者対応）や、共用部改善（高齢者対応、安全性確保）、屋外・外構部分改善（高齢者対応）等を実施するために、躯体を残して全面的に改善を行うこと」と定義される。

3.2.1. WPC 構造住宅に関するアンケート調査結果

1) WPC 構造住宅の保有率

各自治体の保有する中層耐火構造住宅に対する WPC 構造住宅の住戸数の占める割合を、図 3-1 に示す。各自治体において、WPC 構造住宅の保有率には、ばらつきがあることが分かった。保有率が低い自治体でも、中層耐火構造住宅を多く保有する自治体では、WPC 構造住宅の保有住戸数は多いと考えられる。

注3-1) 本章は文献 3-1 に加筆修正したものである。

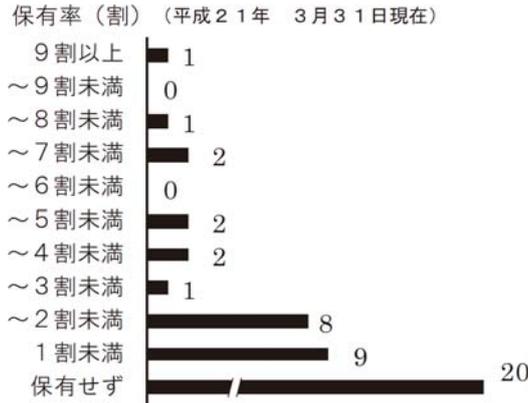


図 3-1 アンケート調査に回答のあった自治体の保有する中層耐火構造住宅の全住戸数に対して WPC 構造住宅の住戸数の占める割合

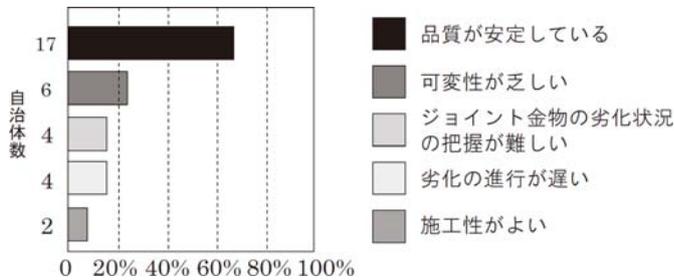


図 3-2 WPC 構造住宅を保有する自治体における WPC 構造住宅に対する認識

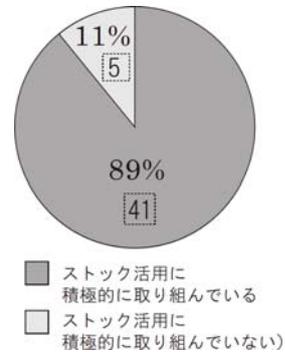


図 3-3 中層耐火構造住宅ストックの活用への取り組み状況

2) WPC 構造住宅に対する認識

WPC 構造住宅を保有している自治体は 25 あったが、これらの自治体に対して、WPC 構造住宅ストックに対する認識を自由記述方式で調査した。その結果を、図 3-2 に示す。7 割近い自治体が「躯体の品質が安定している」との認識を持っていると回答をしており、良好なストックであると認識されていることがわかった。また、「可変性が乏しい」との認識を示している自治体も多いが、WPC 構造住宅への開口設置技術を開発することによって、こうした問題は解消可能であると考えられる。「ジョイント金物の劣化状況把握が難しい」という回答に関しては、前章で示したとおり、WPC 構造住宅ストック活用における課題の一つである。

3. 2. 2. 中層耐火構造住宅ストックの活用に関するアンケート調査結果

(1) ストック活用に関する意識

ストック活用に関する意識について回答を求めたところ、89%という高い割合の自治体から、積極的にストック活用を行っているという回答が得られた（図 3-3）。ストック活用に積極的に取り組んでいないという回答は 5 件あったが、その理由としては、「既存住棟がエレベーター未設置であるため、高齢化対応にコストかかるので建て替えとしている」などの予算上の制約や、改修に対する既存入居

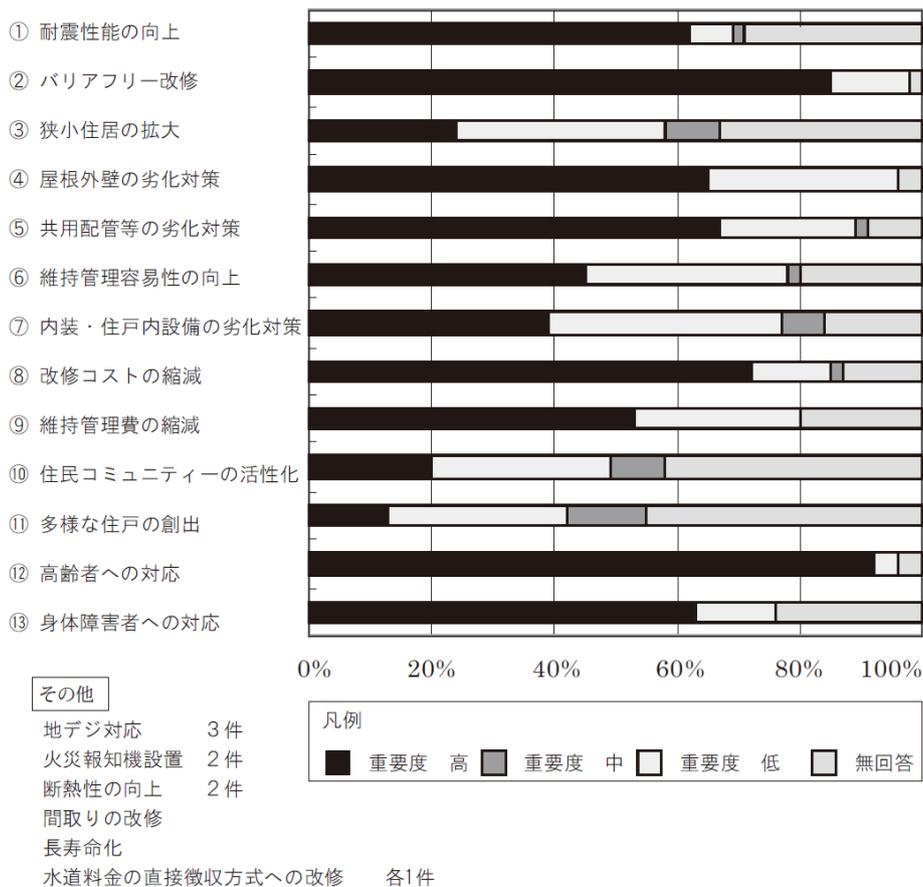


図 3-4 中層耐火構造住宅に対する改修項目の重要度

者の合意形成の難しさ（家賃が高くなることに関する理解を得るのが困難、改修工事中の仮住まいの対応が困難等）が挙げられていた。

(2) 中層耐火構造住宅の改修ニーズ

中層耐火構造住宅の改修ニーズとして考えられる 13 項目を挙げ、その重要度について、3 段階（高・中・低）で評価を得た。さらに、その他という項目を設け、それ下記以外の改修ニーズを抽出した。その結果を図 3-4 に示す。約 9 割の自治体が、バリアフリー改修、高齢化への対応の重要度が高いと回答している。また、改修コストの削減や、共用配管等の劣化対策、身体障害者への対応等も 7 割前後の自治体が重要度が高いと回答している。狭小住戸の拡大や、多様な住戸の創出 については、一定のニーズが認められるものの、バリアフリー改修などに比べ、総じて重要度は低いと認識されていた。

3.3. 自治体に対するヒアリング調査

前述で述べたアンケート調査の結果において、WPC 構造住宅の保有戸数が大きいとの回答が得られた自治体を対象として、ヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査を実施した自治体は 4 件であ

表 3-1 ヒアリングの対象とした自治体の属性

	区分	所在地	(中層耐火構造住宅に対する) WPC構造住宅の保有率	トータルリモデルの実績
a	都道府県	地方・郊外	9割	なし
b	都道府県	地方・郊外	2割	なし
c	政令指定都市	首都圏・郊外	3割	あり
d	政令指定都市	地方・都心	4割	あり

表 3-2 ヒアリング調査の内容および結果

	実施にあたって明らかとなった または トータルリモデルを実施していない理由	「住戸規模の変更」による多様な住戸 の創出に対する改修ニーズが比較 的に低い理由として考えられること	(トータルリモデルを実施する場合考えられる) 住宅管理や、施工上の課題、 または、 工事中の仮使用承認等の法的な課題	トータルリモデル を実施した際、そ の後の想定使用 年数	新築にかかる費 用に対する、ト ータルリモデル にかかる費用	改修を行う際に優先度 が高いと考える項目
a	トータルリモデルを実施していない理由 ・共用配管等の劣化対策等、必要維持修繕が優先。	・公営住宅としての役割としては、 少し過剰である。 ・耐震性能の向上、住戸内設備の劣 化対策や住戸内のバリアフリー化 が優先となる。	・家賃上昇や引越し等に関する、居住者の合意形成が困難。	30~40年	1/2	1. 耐震改修 2. 住戸内設備機器の更新 3. バリアフリー改修 (住戸内) 内装の更新
b	トータルリモデルを実施していない理由 ・住戸内設備改善・性能向上が優先。 ・トータルリモデルには新築の3/4のコストが かかってしまうとの認識があり、個別改修で不 可能な改修は新築で対応する。	・2DKや3DKの間取りへのニーズ自体は あるが、建て替えて対応している。	・居付き改修は騒音や安全上の問題がある。 ・作業効率性が悪い。	35年	1/2	1. バリアフリー改修 2. 断熱改修 外壁改修 3. 共用設備の更新 住戸内設備機器の更新 内装の更新
c	実施にあたって明らかとなった課題 ・工事コストが非常に高額である。 ・改修を控える、壁式プレキャスト構造の住棟に関 する構造的課題に対する対応。	・公営住宅の居住者は高齢・単身者が 多くの割合を占めている為、必ずし も規模の大きな住戸が求められては いない。	・改善対象団地について、団地単位で一定数の空き家が必要となる。担当期間の入居停止措置によりこれを生み出すが、入居率が高い状況では難しい。 ・小規模の団地では、移転先の確保が更に困難である。	30年	2/5 (600万/戸)	1. 耐震改修 2. 共用設備の更新 外壁改修
d	実施にあたって明らかとなった課題 ・工事コストが非常に高額である。 ・階段室踊り場着床によるEV設置のため、 完全バリアフリーとならない。 ・既存躯体を利用することによる間取りの制限。	・多様な住戸の創出に対するニーズは 低いとは考えていない。 ・高齢化(単身)が進んでいることや 改修による家賃の上昇が懸念されて いるのではないかと。	・現状では、トータルリモデルの要件を満たすには、入居者の移転が必要であるが、応募倍率が約20倍と高い中で仮移転先の確保が困難である。 ・移転を伴わない、居付き改修を試験的に実施している。 ・今後課題点を整理し、本格的に導入を進めていく予定。	30年	3/4 (900万/戸)	1. 共用設備の更新 住戸内設備機器の更新 2. 外壁改修 3. バリアフリー改修 4. 内装の更新

り、その属性は表 3-1 に示すとおりである。なお、集合住宅ストックの大規模改修に関する質問に関しては、公営住宅管理の所轄部署から、構造・防災関連規定の考え方等、大規模改修に際しての法規の取り扱いに関する質問に関しては、建築指導の所轄部署から回答を得た。

3.3.1. 集合住宅ストックの大規模改修について

集合住宅ストックの大規模改修に関するヒアリング調査の内容と、その結果を、表 3-2 に示す。この調査により、ストック活用上の問題点の抽出、行政としての優先度が高いと考える改修項目や、公営住宅を大規模改修するにあたっての工事費の目安を把握することが出来た。行政としての優先度が高いと考えられる項目は、自治体により多少ばらつきがみられるが、耐震改修や、共用設備・住戸内設備機器の更新等、建物の基本性能維持を優先することを第一とし、基本性能のベースアップに相当する、内装の更新等の項目は優先順位が低いという見解が一般的であることがわかった。

また、トータルリモデルにかけられるコストは、建替えに要する費用の2分の1以下に抑える考えが一般的であることがわかった。なお、現在の公営住宅の新築に要する費用は、戸あたりにして、1200万~1500万円程度との回答が多いため、トータルリモデルに要するコストは、600~750万円程度とされることが一般的であると考えられる。

3.3.2. 中層住宅ストックの大規模改修の法的取り扱いについて

既存不適格建築物の増築等は、平成17年6月1日の改正建築基準法の施行により、増築面積等に

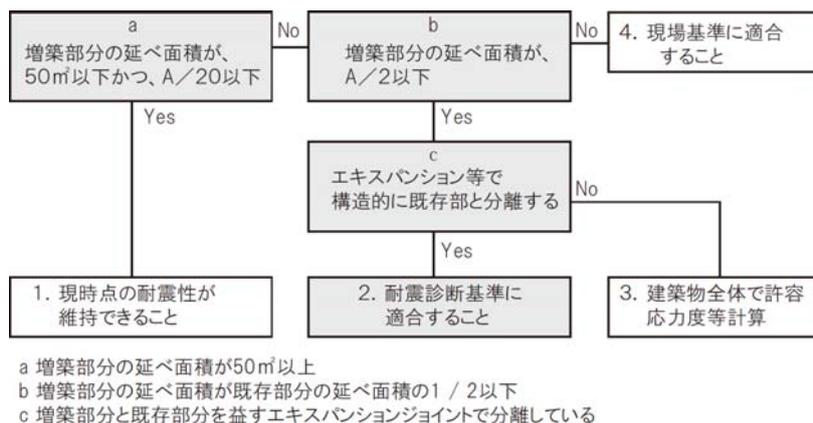


図 3-5 増築部分の規模等に応じて既存部分に適用される耐震診断のフロー

じて図 3-5 に示すような扱いとなっている^{注 3-2)}。階段室型中層集合住宅ストックの大規模改修にあたって、エレベーター・共用廊下増築（既存建物とはエキスパンションジョイントで分離）によるバリアフリー改修、および戸境壁への開口新設による、住戸規模の変更を行う場合、図 3-5 のフローチャートにおいて、増築部分の延べ面積が 50m^2 以上であり、増築部分の延べ面積が既存部分の延べ面積 2 分の 1 以下、かつ、増築部分と既存部分をエキスパンションジョイントで分離しているという項目があてはまるケースが多い。したがって、増改築に際して、既存部分の構造に関しては、図 3-5 のフローチャートにおける「2.」の基準（令 137 条の 2 第一号イただし書）、すなわち、耐震改修促進法の基準を適用することが求められる。以上により、既存建物については、耐震診断基準を満たしていればよいと認識できるが、耐震診断基準に適合していれば、耐震性能が従前より低下してもよいと判断するのか等、解釈上で疑問が残る。

以上を踏まえ、集合住宅の大規模改修に際しての構造・防災関連規定の考え方に関するヒアリング調査を行った内容と、その結果を表 3-3 に示す。既存不適格 WPC 構造住宅の戸境壁に新たに開口を設置する場合の、既存建物の耐震性能に関する考え方については、既存建物が既存不適格である場合、現行の構造関連規定の遡及適応緩和措置を受けるためには、既存部には耐震改修促進法に則った耐震性能、すなわち、 I_s 値が 0.6 以上であることが求められるが、これに加えて、開口を設けることによって既存建物の I_s 値が低下することは望ましくないとの判断が一般的であるといえる。法文解釈上は、既存建物の I_s 値 0.6 以上が確保されていれば、開口設置により、 I_s 値が低下したとしても、確認を下さないと判断は出来ないとの回答をする自治体もあったが、公営住宅に関しては許されないとの見解が共通していた。

既存部と増築部をエキスパンションジョイント等で分離せず、構造的に一体化させる改修手法に関しては、既存建物が直接基礎形式であり、かつ、あと施工アンカーを使用しない工法とすれば、法的な障壁は少ないとの結果が得られた。ただし、WPC 構造住宅は、通常の建築確認申請を利用せず、大臣認定や工業化住宅認定により建設されたものも一定数あるため、注意が必要であるとの指摘が得られた。

注3-2) 図 3-5 は、文献 3-2 を元に作成したものである。

表 3-3 集合住宅の大規模改修における構造・防災関連規定の扱い

内容		質問1	質問2
		判断	補足
<p>既存建物の戸境壁に開口を設ける場合、既存建物の耐震性能に関する判断において、</p> <p>開口を設けることによって既存建物のIs値が増築・改修以前より低くなる場合、</p> <p>○ 耐震診断基準(Is値0.6)を満たしていれば、耐震改修促進法が適用でき、増築が可能。すなわち、補強は不要である。</p> <p>△ 場合により判断が異なる。</p> <p>× 開口を設けた後の建物が耐震診断基準(Is値0.6)を満たしても、耐震改修促進法の考え方に基づき増築・改修以前の建物よりIs値が同等もしくは向させるよう、補強を行うことが求められる。</p>		<p>増築部分と既存建物をエキスパンションジョイントで分離せず、一体化させる場合について、</p> <p>(1) 既存建物が杭基礎の場合、杭および基礎梁の耐力が現行基準を満たさないこと</p> <p>(2) あと施工アンカーの使用を前提とせざるを得ないこと</p> <p>上記の問題が解決されるか、直接基礎で(1)の既存杭不適格の問題がなく、(2)のあと施工アンカーを用いない工法を適用した場合でも、構造関連事項でその他の法規上の問題が残るかどうか。</p>	
a	○	<p>・開口を設けることにより、Is値が低下することは望ましくなく補強を行うべきと考えるが、建築基準法においては、耐震診断基準を満足していれば増築は可能であり、建築基準関係規定に適合しないと判断はできないと考える。</p> <p>・Is値が低下することにより疑問はあるが、耐震診断基準を満足していれば着工を許可しないという判断にはならない。</p>	<p>・直接基礎のうち、地中梁なら問題はない。しかし、独立フーチングや杭基礎では仕様規定が変わっているため、現行基準を満たさないという問題がある。</p>
b	△	<p>・公営住宅としては、Is値が低下することは望ましくなく、現状維持以上を保つべきと考える。しかし、民間では違う考えになる。</p> <p>・Is値が低下することにより疑問はあるが、耐震診断基準を満足していれば、着工を許可しないという判断にはならない。</p> <p>・補足として指導するという対応をとる。</p>	<p>・WPC構造住宅は大臣認定である、38条認定や、工業化住宅認定により建設された可能性がある。</p> <p>この場合、そもそも建築基準法で建設された既存不適格建築物に対する緩和が受けられない可能性がある。</p>
c	×	<p>・危険になる要素の検討を行う。</p> <p>・大規模修繕・模様替えの申請が必要になる場合、危険性が增大すると、すべてが現行基準に適合させる必要があるため注意が必要。</p>	<p>・可能か困難かは個別の判断になる。</p>
d	△	<p>・開口を設けた部分については、壁柱、付け柱を設け、開口補強を行い、鉛直荷重時の応力、地震時の応力が許容応力度以下に納まることを確認している。</p>	<p>・可能か困難かは個別の判断になる。</p>

この他、住棟の配置等によっては、現行の日影規制に抵触し、エレベーターが設置出来ない住棟があり、特に日影規制に関して適法な住棟と既存不適格な住棟が混在する団地においては、エレベーターが設置できない場合などに、トータルリモデルを実施できる住棟と出来ない住棟が混在する団地においては、住民の理解を得にくいとの指摘があった。

また、財政事情と事業スパンを踏まえると、特に、高度経済成長期に大量建設された大規模団地に関しては、一度に大規模改修に着手することは難しく、計画が保留されている間に、団地の建物余命が30年を切ってしまうという状況が発生している。このような団地は、トータルリモデルに関する、国費の助成制度の要件である、「おおむね30年以上管理する予定のものであること」(『公営住宅ストック総合改善事業対象要綱』第4第2項第四号)という項目がハードルとなることにより、全面的改善事業の対象から外れてしまうという指摘もあった。

さらに、階段室型住棟に共用廊下を増築する場合、既存建物が階段室型住棟とみなせなくなり、既存階段室を避難階段として活用できないとの判断が自治体によっては下される可能性があることも判明した。

3.4. 本章のまとめ

本章では、自治体等の事業主体へのアンケート調査およびヒアリング調査により、中層耐火構造集合住宅の大規模改修に関するニーズや保有する WPC 構造住宅ストックに対する認識、中層耐火構造集合住宅の大規模改修の法的な取り扱い等を明らかにした。特に構造・防災関連規定の扱いについては、自治体によって解釈が異なる場合があり、このことは集合住宅ストックの大規模改修を実施するにあたっての障壁になっていると考えられ、何らかの方策が必要である。

参考文献

- 3-1) 畑江未央：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅改修におけるフィージビリティスタディに関する研究，2009年度首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻修士論文，2010年3月
- 3-2) 新潟市 都市整備局 開発建築部 建築指導課：既存不適格建築物の増築等の構造規定の改正について，http://www.city.niigata.jp/info/kenchiku/tetuduki/kizonhutekikaku_kaisei%28H19.12.27%29.pdf，2007年12月

第4章 開口設置・補強方法の開発

4.1. 本章の目的

前章で見たとおり、既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート（WPC）構造住宅のPCa板への開口設置を伴う改修を行うにあたっては、法的な理由から従前以上の耐震性能が求められる可能性が高く、したがって、その場合は新設開口部に構造補強が必要となる。そこで本章では、耐震壁に開口を設置することを想定して、設置前の耐震性能と同等以上の性能を確保することを目標とした補強方法を考案する。

4.2. 補強方針

一般的にWPC構造耐震壁は図4-1(a)に示すようにプレキャスト（PCa）板が上下1辺につき2箇所以上で接合され、水平接合部（セッティング・ベースと称す。以後SBと略す。）が引拔力を負担することで水平力により生じる転倒モーメントに抵抗している。既存壁に開口を設けるとPCa板が2つに分割され、図4-1(b)のように各々が1枚の壁として挙動することになるが、開口脇にはSBが存在しないことから、転倒モーメントへの抵抗力が低下する。さらに新設開口上部に残る梁状の壁は梁として機能するには配筋が不十分で耐力不足である。これらを補う目的で、以下の2通りの補強方法を考えた。

- 1) 新設開口脇のPCa壁板に上下階壁との接合部を設け、転倒モーメントに対する耐力を向上させる。
- 2) 新設開口上部に補強梁を新設し、曲げ戻しの効果を確保する。

これら両方の補強を行うことを基本とし、鉄筋コンクリート（RC）または鉄骨（S）を主体とした補強を行うことで、耐震壁としての性能を向上させる方針とした。

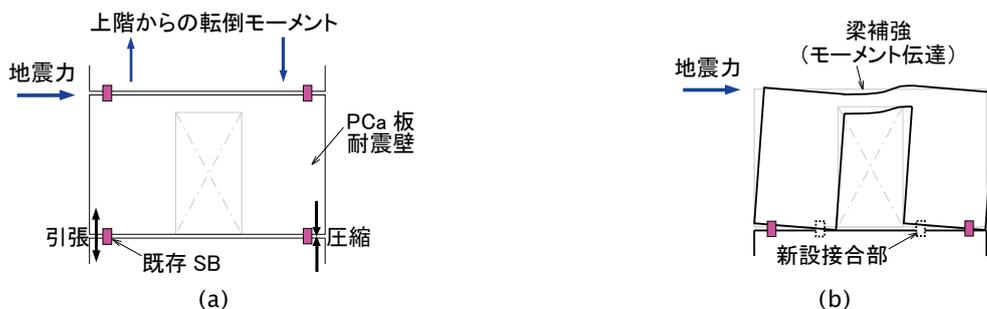


図4-1 補強の概念

4.3. 実験を行った補強方法の概要

補強案を図 4-2 に示す。上下階に開口の無い場合と各階に連続して開口がある場合に対し、それぞれ RC 補強と S 補強を考案した。

RC 補強案では開口脇の鉛直方向の RC 補強柱に加え、開口上部の梁補強を行った。直交する壁と補強梁端は定着していない。上下に開口の無い場合では下階スラブ下に RC 梁を増設し、そこに開口脇の補強柱の主筋を定着させた。

S 補強案では開口脇を壁厚と同じ断面せいを有する溝形鋼を用いた。上下階に開口が無いタイプでは溝形鋼を鉄筋を介し定着用鋼板と接合し、上下階の壁と定着用鋼板をボルト締めすることで接続した。開口上部に補強梁を設けずに上階壁に接続することで、無開口の上階壁に補強梁の役割を担わせ、曲げ戻しの効果が得られることを期待した。

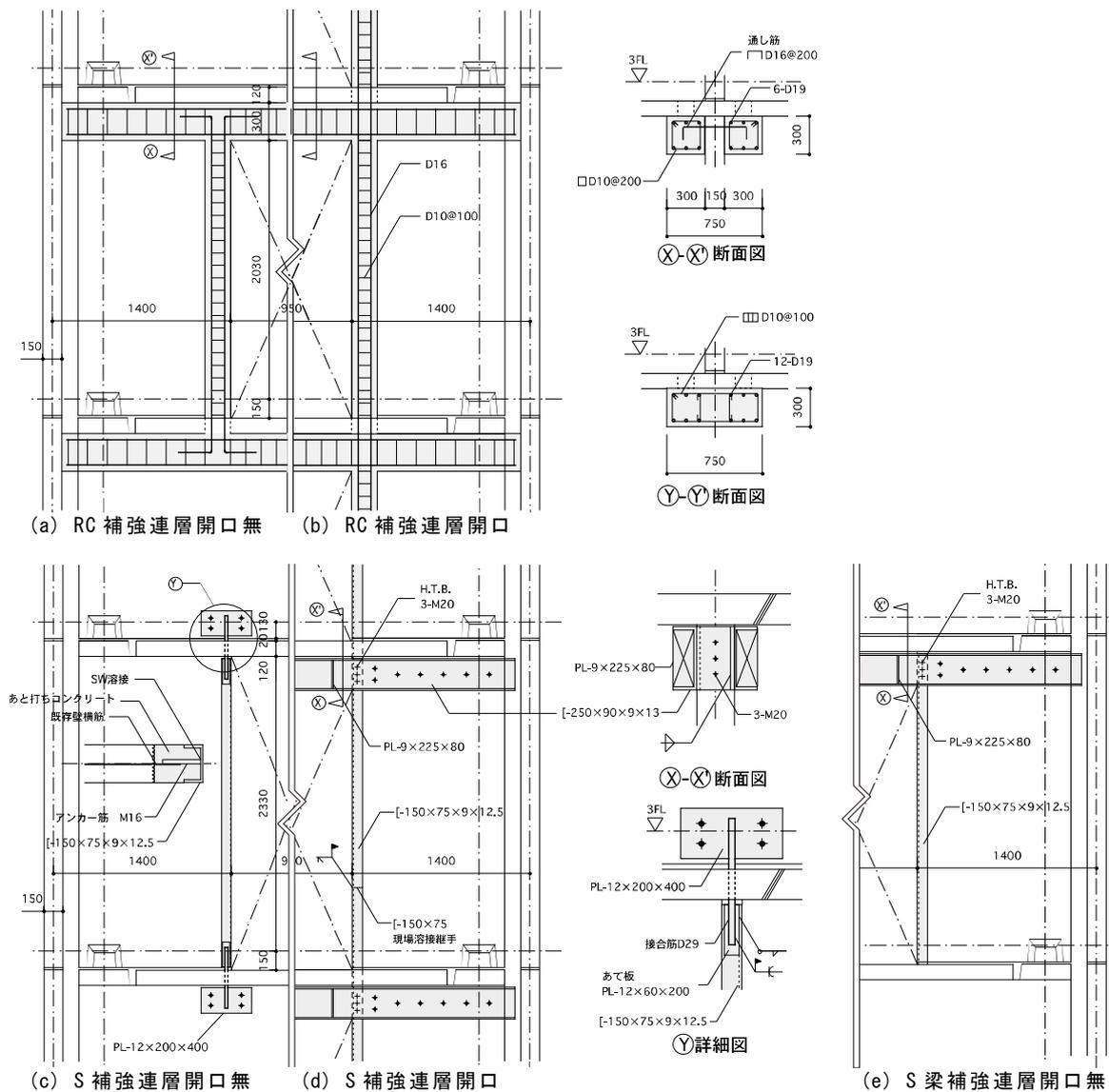


図 4-2 補強案

また、開口新設時に上下階の居住者が一時的に退去することなく補強を行うことを目的として、上

下階に補強部材が現れない方法を考えた。S 梁により開口上部の壁を補強し、梁として機能させることを狙ったもので（図 4-2 (e)）、開口脇の補強鋼材の上端は補強梁と剛接されているが下端は下階に接続していない。従って、梁の曲げ戻しの効果は期待できるが、接合部補強による転倒モーメントへの抵抗力向上は期待できないことになる。

4.4. その他の補強方法

補強方法を考案する過程では、実験を行った案以外にもいくつかの案が挙げられた。以下にそれらのうちの 2 案を今後の検討対象候補として紹介する。

(1) PC 鋼棒による連層開口脇緊張補強

連層で各階同位置に開口を設ける計画の場合、新設開口脇に基礎から屋上スラブまで、スラブを貫通させて PC 鋼棒を配し、緊張する方法が考えられる。この場合、開口脇の壁には上階からの重量以上の圧縮力が作用することになり、地震時の転倒モーメントによる引抜力に抵抗することができる。この場合、基礎と屋上スラブにおける PC 鋼棒の定着詳細の検討と同箇所の性能評価が必要となる。各階において PC 鋼棒を既存躯体に接合する必要は必ずしもないが、張力導入された鋼棒の居室内での仕上げをどうするのか（火災時に鋼棒が破断することなどを考慮するか）といった問題や、基礎梁への定着を考えた場合に、PC 鋼棒の平面的な位置が壁からやや離れてしまうことを計画的にどのように扱うかという問題などを解決する必要がある。

(2) あと施工アンカーを用いた接合部補強

開口新設階の上下階の居住者が一時的に退去しないで、補強を当該階で完結させることの需要は大きいと考えられる。一方で、地震時水平力と転倒モーメントの割合によるが（せん断スパン比の値によるが）、転倒モーメントの割合が大きい場合（せん断スパン比が大きい場合）は、上下階（特に下階）への接合を補強することで、壁の最大水平耐力を向上させることができることが後述する実験により確認されている。従って、上下階での補強作業をできるだけ簡単に（あるいは補強作業なしで）接合部を補強する方法が開発できるとよい。その一案として、例えば開口新設階からあと施工アンカーを（特に下階壁へ）打ち込み定着させる方法が考えられる。あと施工アンカーの使用法としては、拘束力が低いであろう壁に定着させることで、地震時の転倒モーメントによる引抜力によって壁のひび割れ破壊（コーン破壊）が発生すると予想できる。あと施工アンカーで定着させた接合鉄筋の強度ほどの引張強度は期待できないと思われるが、一定の引張強度を確保できれば、開口新設前と同等の水平耐力を確保できる可能性はあると考えられる。このような定着接合部の要素実験を実施するなどして、可能性を吟味していく必要がある。

4.5. 本章のまとめ

既存 WPC 構造建物の PCa 耐震壁に開口を新設する場合について、上下階の連層開口有無および補強部材の材料（鉄筋コンクリートおよび鉄骨）に応じた補強方法を考案した。また、性能評価実験を実施したこれらの補強方法の他にも、これまでに検討してきた補強案を示した。これらについては、今後の研究課題として継続的な検討を行うこととする。

第5章 開口新設耐震壁の性能評価実験

5.1. 本章の目的

新設開口補強に関する研究は、現場打ち壁式鉄筋コンクリート構造建物については田才らによる研究⁵⁻¹⁾など数多くなされており開口を設ける技術は確立しつつある。一方でWPC構造建物については坪井らによる準実大試験体を用いた実験的研究⁵⁻²⁾など工法開発段階における研究が1960年代から1970年代にかけてなされたが、既存建物の耐震壁に新たに開口を設ける技術に関する研究はなされておらず、新設開口に関する技術が未整備のため改修に対する制約となっている。

本章では、既存WPC造耐震壁に開口を設置することを想定した実験を行い、地震時における耐震壁の耐力、破壊性状等に及ぼす開口の影響と補強効果の検討を行う。

5.2. 実験方法

5.2.1. 実験対象

WPC構造集合住宅のうち同タイプの棟数の多い地上5階建て既存建物を実験対象とした。対象建物の2階壁、上下階(1, 3階)の壁の約1/3、2階と3階のスラブおよび直交壁の一部を取り出して、1/2に縮小したものを試験体とした(図5-1(a)、同(b)、同(d))。ここで、2階の壁を対象としたのは、上下階にプレキャスト(PCa)壁が存在する一般的な階で最も層せん断力が大きくなるためである。

5.2.2. 試験体

試験体一覧を表5-1に示す。無開口試験体W5および試験体名の末尾にSを付した対象階のみに開口を設け上下に開口の無い4体(連層開口無と称す)と、末尾にMを付した各階に連続して開口を有する3体(連層開口有と称す)の合計8体である。製作は実建物と同様に上下階のPCa壁板を接続金物(セッティングベース、以後SBと略す)の隅肉溶接によって接合し、間を敷きモルタルで充填し一体化した。図5-1に試験体形状、配筋図、水平接合部、鉛直接合部詳細、補強試験体の補強箇所の詳細を、表5-2に使用した材料特性を示す。コンクリートの設計基準強度はPCa板は 33N/mm^2 、接合部と補強部は 27N/mm^2 とした。実験日圧縮強度を表5-2中に併記する。設計基準強度に対し圧縮強度が相当に大きくなっているが、実建物用のコンクリートを練り混ぜる実機を使用したためであると思われる。

表 5-1 試験体一覧

試験体	連層開口	H [H/W]	補強	${}^p\sigma_B$ (N/mm ²)	${}^j\sigma_B$ (N/mm ²)	${}^c\sigma_B$ (N/mm ²)
W5 (無開口)	無	3.47m [1.85]	無	58.6	44.8	-
N5S (無補強連層開口無)				67.0	48.0	-
C5S (RC 補強連層開口無)			RC	58.0	55.2	74.4
S5S (S 補強連層開口無)			S	66.3	45.7	-
B5S (S 梁補強連層開口無)				50.2	59.5	-
N5M (無補強連層開口有)	有	2.2m [1.17]	無	60.8	57.8	-
C5M (RC 補強連層開口有)			RC	52.8	78.8	74.3
S5M (S 補強連層開口有)			S	51.1	52.4	-

H/W: 耐震壁のせん断スパン比 H: 2SL からの反曲点高さ W: 耐震壁長さ(部材芯寸法)

${}^p\sigma_B$: 実験日 PCa 板コンクリート圧縮強度 ${}^j\sigma_B$: 実験日接合部コンクリート圧縮強度

${}^c\sigma_B$: 実験日補強部材コンクリート圧縮強度

表 5-2 材料特性

鋼材	規格	使用箇所	σ_y	σ_u
4φ	SWMB	PCa 壁板 (縦横筋)	503	544
6φ	SWMB	PCa 壁板 (縦横筋)・スラブ	527	586
D10	SD295	PCa 壁板 (外周部)	362	502
D6	SD295	SB 接筋・鉛直接合筋		
D10	SD345	補強柱・梁のせん断補強筋	335	509
D10	SD345	補強柱・梁の主筋	392	576
D16	SD295	S5S 補強接統筋	340	514
PL-3.2 ※	SM490	SB 鋼板	322	429
PL-4.5	SM490	SB 鋼板	329	492
PL-6 ※	SM490	補強梁スチフナ・ S5S 定着鋼板	344	462
PL-12 ※	SM490	開口脇溝形鋼を 梁に接続する鋼板	299	454
[-75x40x5x7 ※	SS400	開口脇溝形鋼	304	461
[-125x65x6x8 ※	SS400	開口上部梁	334	475

σ_y : 降伏応力度 (N/mm²) σ_u : 最大応力度 (N/mm²) ※ミルシート値

試験体形状は上下に加力スタブを有し、壁長 1,875mm (部材芯寸法 W)、直交壁長 850mm とした (図 5-1 (a) および (b))。PCa 壁板は厚さ 75mm、壁筋は縦横筋共に 4φ、6φ 交互を 100mm 間隔でシングル配筋とし、PCa 床板は厚さ 60mm で 6φ を 100mm 間隔でシングル配筋とした (図 5-1 (d))。接合部の詳細を図 5-1 (e) および (f) に示す。開口幅は 475mm、高さは補強方法によって異なる。N5S、N5M (無補強試験体) は開口補強筋を設けていない (図 5-1 (c))。

RC 補強試験体の補強部詳細を図 5-1 (g) に示す。RC 補強試験体は開口脇の縦方向の RC 補強柱に加え、開口上部の梁補強を行った。直交壁と補強梁は定着していない。なお C5S (RC 補強連層開口無) では 2 階スラブ下に RC 梁を増設し、そこに開口脇の補強柱の主筋を 90 度折り曲げ定着させた。C5M (RC 補強連層開口有) 開口脇補強柱はスラブを貫通させ、上下のスタブに定着した。

S 補強試験体の補強部詳細を図 5-1 (h) に示す。E-E' 断面図、K 詳細図に示すように S 補強試験体は開口脇を壁厚と同じ断面せいを有する溝形鋼で補強した。S5S (S 補強連層開口無) では溝形鋼を鉄筋を介し定着用鋼板と接合し、定着用鋼板をボルト締めすることで上下階の壁と接続した。開口上部に補強梁を設けずに上階壁に接合することで、無開口の上階壁に補強梁の役割を担わせ、曲げ戻しの

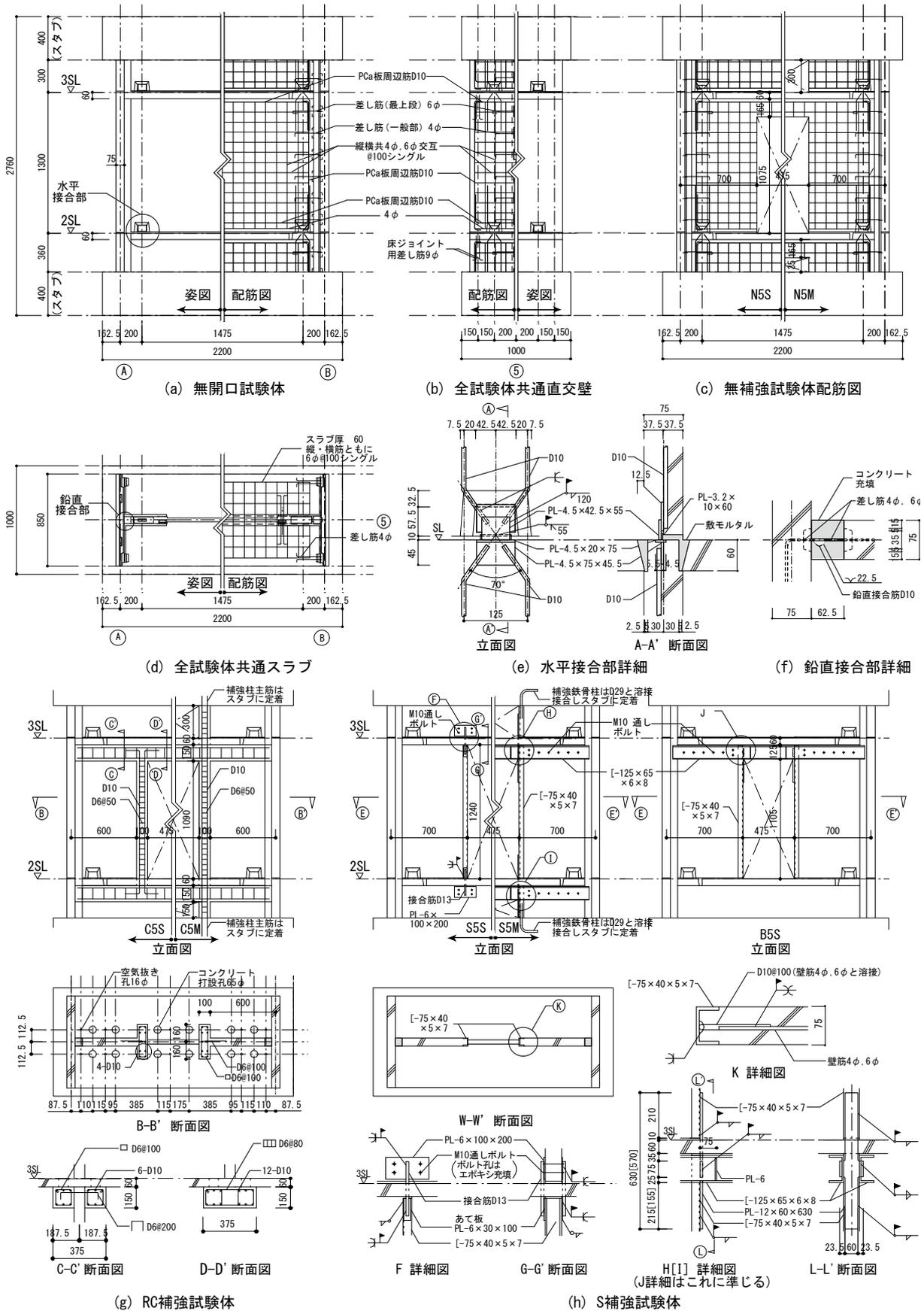


図 5-1 試験体および接合部詳細

5.2.4. 載荷履歴

載荷履歴について最初のサイクルは水平荷重制御とし水平力 20kN で正負 1 回、以後は変位制御とした。2 サイクル目以降の水平変位履歴は層間変形角を R として、振幅が $R=0.025\%$, 0.05% , 0.1% , 0.2% , 0.33% , 0.5% , 0.67% , 1% , 2% となるような漸増正負繰返しとした。 $R=0.025\%$ のみ 1 回、以後各 2 回ずつ繰返した。変形角 R は上スタブ中央の水平変位を下スタブ上面からの距離($L=2,160\text{mm}$) で除した値とした。

5.3. 実験結果

5.3.1. 破壊性状

(1) PCa 壁板ひび割れ状況

試験体ごとの最終ひび割れ状況を図 5-3 に示す。直交壁のひび割れについては、いずれの試験体についても接合部周辺に集中し、その他横ひび割れや部分的な圧壊が発生したが耐力低下の主要因ではなかった。

せん断スパン比が大きい場合の試験体では PCa 壁板の損傷は主に接合部に集中し、加えて開口有の場合は圧縮側で斜めひび割れ、引張側で横ひび割れが発生した。しかし、いずれも試験体の耐力低下の要因ではなかった。接続筋補強を行った試験体 (C5S, S5S) では、補強筋の定着部である上階あるいは下階の壁に顕著な横ひび割れが発生した。これは試験体が曲げを受けた時、接続筋が引き抜かれ、定着していた補強梁や定着板を介し壁板に引張力が生じたためであると考えられる。なお梁補強試験体 (B5S) の補強鉄骨梁下の斜めひび割れの多くは初期ひび割れであり、載荷中においても大きなひび割れには伸展しなかった。

せん断スパン比の小さい連層開口有の場合、無補強試験体 (N5M) は斜めひび割れの他に開口上部梁状の PCa 壁板に縦ひび割れが発生したが、耐力低下の要因ではなかった。補強試験体 (C5M, S5M) は補強により耐力が高くなったため、PCa 壁板がせん断破壊したことで、最終的な損傷が大きかった。

(2) 水平接合部 (SB)

SB はコンクリートに定着する鉄筋をフレア溶接した鋼板が PCa 壁板に埋め込まれており、それらを現場溶接することで上下階の PCa 壁板を接合する構造となっている。せん断スパン比が大きい場合の試験体と、N5M は SB が破断した。SB 破断とは引張側 SB の鋼板同士の溶接の破断、または鋼板に溶接した定着用鉄筋の破断を指す。この SB の溶接の損傷は偏心した形状 (図 5-1 (e) 水平接合部詳細) になっていることにより発生したと考えられる。SB の損傷、破断は多くの試験体の耐力に対し支配的であった。なお C5M、S5M では SB の損傷は小さかった。

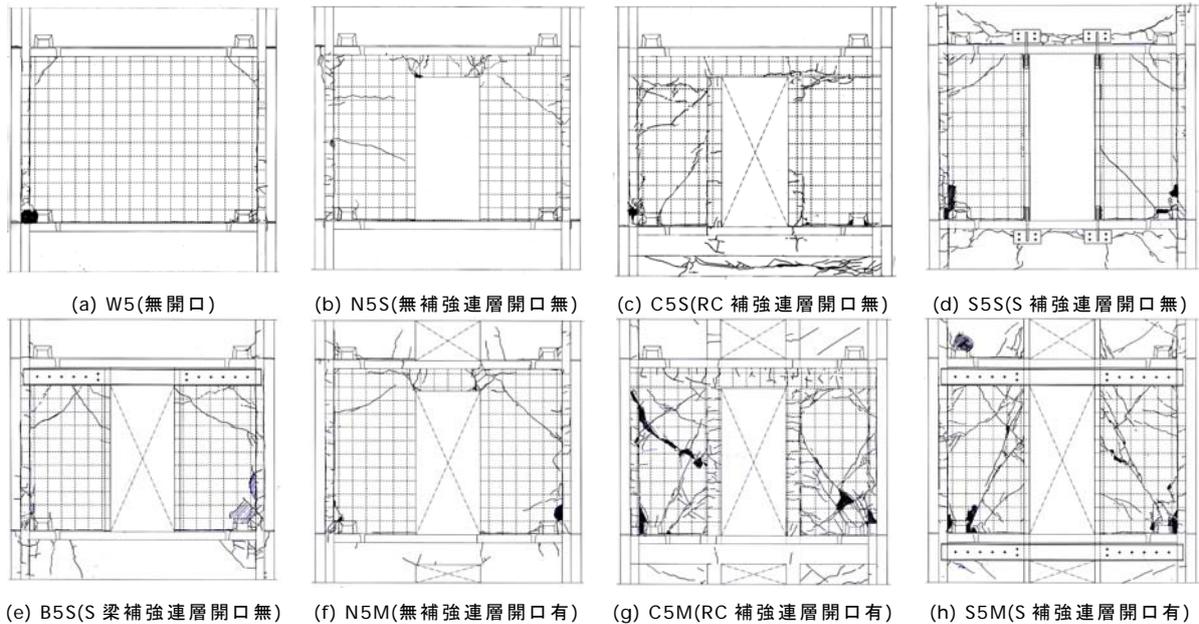


図 5-3 最終ひび割れ状況

表 5-3 試験結果一覧

試験体	連層開口	H [H/W]	補強	最大耐力 (kN)		初期剛性 (kN/mm)	破壊モード	備考
				正加力	負加力			
W5 (無開口)	無	3.47m [1.85]	無	101	103	166	F	損傷は 2SLSB 周辺に集中
N5S (無補強連層開口無)				105	110	53	F	3SL の SB が破断
C5S (RC 補強連層開口無)				154	139	190	F	補強接続筋を定着した上下階の PCa 板に顕著な損傷
S5S (S 補強連層開口無)				124	117	97	F	
B5S (S 梁補強連層開口無)				113	106	64	F	損傷は 2SLSB 周辺に集中
N5M (無補強連層開口有)	有	2.2m [1.17]	無	136	132	40	F	
C5M (RC 補強連層開口有)				289	271	189	FS	PCa 板がせん断破壊し、損傷が大きい
S5M (S 補強連層開口有)				220	235	101	s	

H/W : 耐震壁のせん断スパン比, H : 2SL から反曲点までの高さ, W : 耐震壁長さ (部材寸法)
初期剛性 : R=+0.025%時の割線剛性

破壊モード (F:SB 破断, S:PCa 板せん断破壊, FS:SB 降伏後 PCa 板せん断破壊)

(3) 鉛直接合部

鉛直接合部は PCa 壁板に埋め込まれたダボ筋を相互に溶接し、鉛直方向には曲げ補強筋となる鉛直接合筋を上下階に連続して配し、PCa 壁板間の間隙をコンクリートで充填したいわゆるウェットジョイントで、壁板小口にはコッターを設けシアキーとしてせん断力を伝達する構造となっている。

鉛直接合筋については S5M を除く全試験体で R=0.1%程度で降伏した。せん断スパン比 (H/W) が大きい場合は、鉛直接合部に大きな引張力が作用し横ひび割れが発生後の鉛直接合筋の降伏、破断に至った。一方、せん断スパン比が小さい場合は、せん断力が卓越するため鉛直接合部と PCa 壁板の間にせん断ずれが発生したが、鉛直接合筋の損傷は軽微であった。

(4) 補強部材

補強試験体についてその補強部材の破壊状況を述べる。C5S では補強柱の主筋が柱脚で降伏し、輪切り状のひび割れがいくつか発生したが、耐力低下の主要因ではなく、ひび割れも顕著ではなかった。

S5S では補強材の定着部である 2SL 下、3SL 上の定着鋼板周辺のひび割れが $R=0.5\%$ から拡幅し、それに伴い定着板がずれ始めた。なお補強鉄骨材は降伏しなかった。B5S も補強鉄骨材は降伏せず、損傷は見られなかった。C5M、S5M とも PCa 壁板のせん断ひび割れが拡幅したことで膨張し、直交壁と補強柱が面外に曲げ変形をした。また C5M については補強柱の引張によって発生したと考えられる輪切り状のひび割れが多数発生した。

5.3.2. 荷重変形関係

試験体ごとの荷重変形関係を図 5-4 に示す。以下に試験体ごとの最大耐力とそのときの変形角、耐力低下の要因について述べる。

W5 の正加力時最大耐力は $R=0.20\%$ 時の 101kN であり、このとき 2SL の引張側の SB は部分的な降伏であった。よって $R=0.33\%$ のサイクル時も耐力が上昇すると考えられたが、 $R=0.32\%$ 時に SB の隅肉溶接に亀裂が発生し耐力が低下した。以降直交壁を含む引張側 SB 隅肉溶接に順次亀裂が入り、次第に隅肉溶接の破断に至り、耐力が段階的に低下した。負側加力時最大耐力は $R=0.20\%$ 時の 103kN であり、このとき正側と同様 2SL 引張側 SB の降伏は部分的であったが、 $R=0.5\%$ に SB に亀裂が発生するまで耐力低下は緩やかであった。このように正、負加力時ともに耐力低下の主要因は SB 溶接の亀裂、破断であったが、正側は隅肉溶接量の不足により、負側と比較して耐力低下が顕著だった。

N5S は正、負加力時ともに 2SL 上の SB が $R=0.16\sim 0.5\%$ で、3SL の SB も 0.7% 程度で降伏し $R=1\%$ 時に最大耐力 105kN、110kN となった。最大耐力は 2SL の SB が降伏した後に、3SL の SB が降伏したことで発生したと考える。耐力低下の要因は正加力時における $R=1.39\%$ 時に発生した 3SL の SB 溶接破断であった。

C5S は 2SL の SB が $R=0.16\sim 0.33\%$ で降伏した。最大耐力は $R=0.5\%$ 時の 154kN、 $R=0.33\%$ 時の 139kN であり、2SL の SB 降伏後で最大耐力に達したと考える。なお耐力低下の要因は正、負加力時ともに $R=0.5\%$ 以降に順次発生した 2SL の SB の溶接の破断であった。

S5S は正、負加力時ともに最大耐力は $R=0.67\%$ 時の 124kN、117kN であり、耐力低下の主要因は $R=0.67\%$ 時に発生した 2SL の SB 溶接の亀裂あるいは鉄筋の破断であった。

B5S は正、負加力時ともに 2SL の SB が $R=0.2\sim 0.67\%$ で降伏し、 $R=0.67\%$ 時に最大耐力 113kN、106kN となった。また $R=0.67\%$ のとき 2SL の SB の溶接に亀裂が入って以降耐力が上がりなくなった。さらに $R=0.73\%$ のとき 2SL の SB の鉄筋が破断した。これによって大きく耐力が低下したが、SB 溶接は一部の損傷にとどまった。

N5M は最大耐力は正側加力時 $R=0.5\%$ のときの 136kN、負側加力時 $R=-0.67\%$ のときの 132kN であった。正、負加力時ともに 2SL の SB は $R=0.25\sim 0.67\%$ の間に順次降伏に至った。また $R=1\%$ 時に SB の溶接に亀裂が入り耐力が低下し始めるまで各サイクルのピーク時耐力はほぼ一定を保った。

C5M は最大耐力が $R=0.5\%$ のときの 289kN、 $R=-0.67\%$ のときの 271kN であった。正、負加力時ともに最大耐力時において 2SL の SB はすべて降伏していた。PCa 板は $R=0.05\%$ 時から斜めひび割れ数多く発生し、その後せん断破壊に至った。このことから C5M の破壊モードは SB 降伏後の PCa 板のせん断破壊と考える。

S5M は載荷終了まで正加力時に引張となる鉛直接合筋と SB がほとんど降伏しなかった。最大耐力

- ▽ : 最大耐力 ● : SB 降伏(特記なきは 2SL) ○ : 鉛直接合筋降伏
 □ : 壁せん断ひび割れ ◆ : SB 破断 ◇ : 鉛直接合筋破断

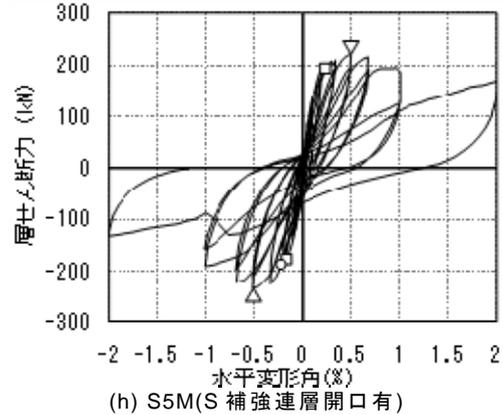
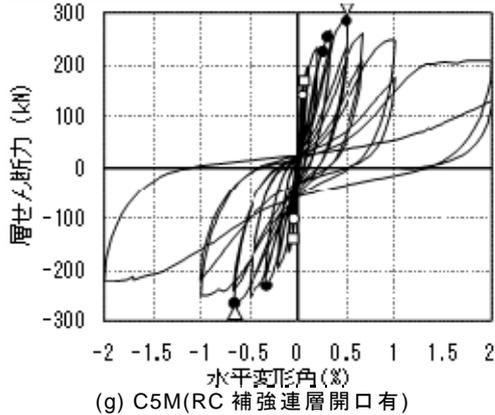
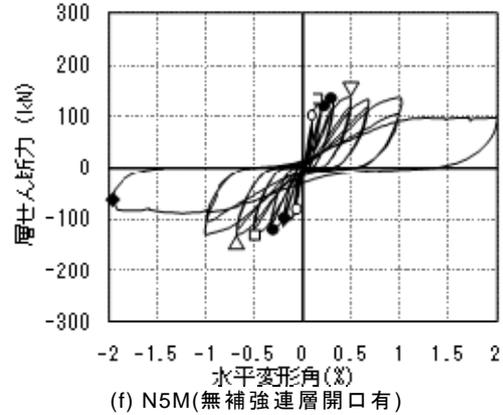
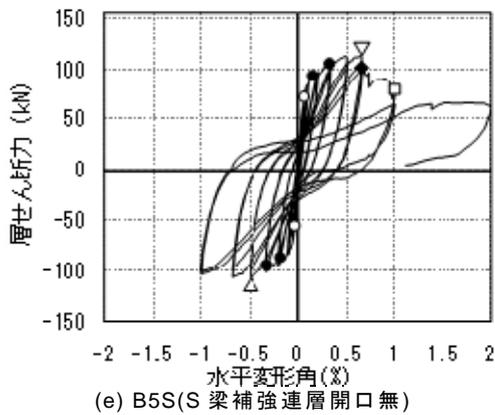
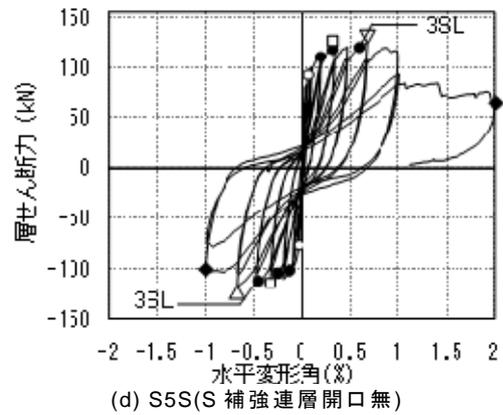
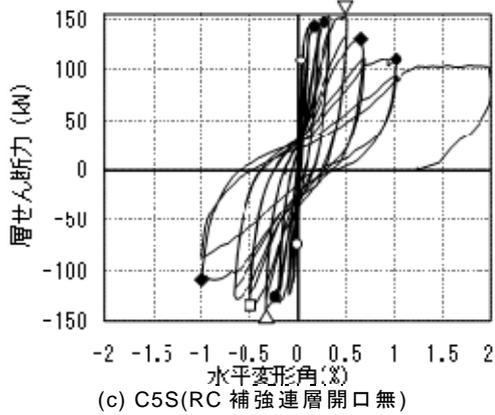
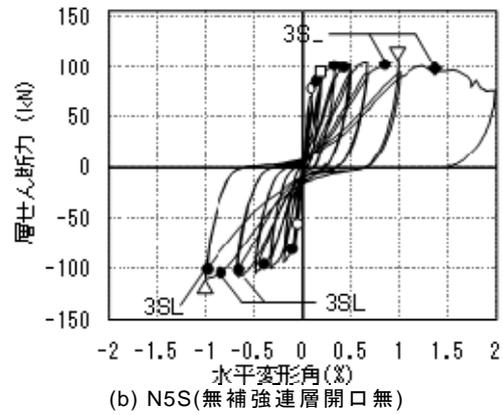
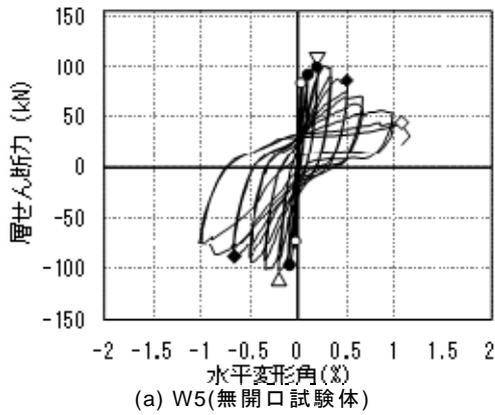


図 5-4 層せん断力-試験体頂部水平変形角関係

は $R=0.5\%$ のときの 235kN、 $R=-0.5\%$ のときの 220kN であった。正、負加力時とも $R=0.1\%$ 時から壁板に斜めひび割れが発生し、次第に拡幅しせん断破壊に至った。このことから S5M の破壊モードは PCa 壁板のせん断破壊とした。

5.3.3. 考察

(1) 無開口壁の耐震性能

無開口壁について WPC 造建築物の耐震診断指針⁵⁻³⁾の第2次耐震診断法に従って、曲げ終局時のせん断力 Q_{mu} を算出した。 Q_{mu} は引張鉄筋とみなす鉄筋の総断面積に降伏応力度と中立軸からの距離を乗じたものと、軸力による傾斜復元力を合算して求めた。使用した材料特性を用いて算出した Q_{mu} は 83kN であった。W5 の実験結果と比較すると第2次耐震診断による無開口耐震壁の終局耐力の評価は実験の最大耐力の 8 割程度とやや過小である。

(2) 開口設置の影響

N5S の荷重変形関係は W5 と比較すると最大耐力はほぼ同じものの、無開口時に比べ開口を設けた場合はスリップ性状を呈し、エネルギー吸収能力が劣ることが分る。また初期剛性も無開口時の 3 割程度に低下した。

(3) 補強の効果

接続筋補強を行った C5S、S5S は N5S に比べ剛性が 3.6 倍、1.9 倍、耐力が 1.5 倍、1.2 倍と向上した。その一方で補強接続筋を定着した上下階の PCa 壁板に損傷が集中した。このことから補強部材の定着方法に改良の余地があると考えられる。補強が当該階で収まる方法とした B5S では、耐力は N5S と同等であったが、エネルギー吸収能力の改善がみられたことから、開口設置前後で耐力とエネルギー吸収能力を確保するための方法として有効であると考えられる。

C5M、S5M は N5M に比べ剛性が 4.7 倍、2.5 倍、耐力が 2.1 倍、1.6 倍と向上し、この点で補強効果は確認できた。しかしその一方で耐力が高くなることで PCa 板がせん断破壊し、最終的に損傷が大きくなった。

(4) 等価粘性減衰定数(heq)

各サイクルの等価粘性減衰定数 heq を算出した。正加力時 2 回目の heq を最大耐力の 9 割以下に低下するまでについて図 5-5 に示す。試験体によって弾性限が異なるため、 heq は層間変形角との関係で単純に比較することは出来ないが、0.2% 時で比べると W5 と N5S では heq は約 5 割となっており、開口設置によりエネルギー吸収能力が低下していることが分る。連層開口無試験体について層間変形角 0.33% 時では、補強試験体は無補強の約 1.6 倍大きく、エネルギー吸収能力において補強効果が確認できた。特に B5S については剛性、耐力に関しては補強の効果は小さかったものの、エネルギー吸

収能力に関して有効であることが分る。連層開口有試験体については層間変形角 0.2%時に無補強と

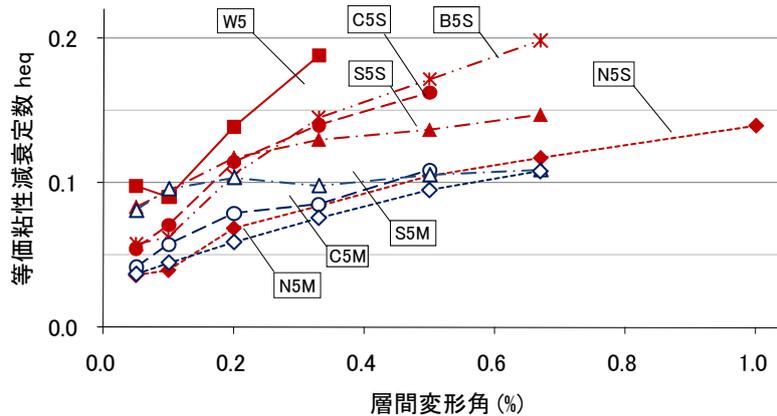


図 5-5 等価粘性減衰定数

比べ、RC 補強では 1.3 倍、S 補強では 1.7 倍であった。RC 補強は S 補強と比べ、剛性・耐力ともに高かったことから、RC 補強は強度抵抗型、S 補強は靱性型の補強方法であるといえる。

5. 4. 本章のまとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) 第 2 次耐震診断による無開口耐震壁の終局耐力の評価は実験の最大耐力の 8 割程度とやや過小評価である。
- 2) せん断スパン比が大きい場合は開口を設けても耐力はほぼ差がなかったが、剛性が大きく低下し、また履歴曲線が逆 S 字型となりエネルギー吸収能力の低下がみられた。
- 3) せん断スパン比が大きい場合は補強により剛性、耐力ともに向上し接続筋補強の効果があることが確認できた。しかし、補強接続筋を定着した上下階の PCa 壁板の損傷が顕著で、定着方法に改善の余地がある。
- 4) 鉄骨梁のみの補強は耐力とエネルギー吸収能力を確保するための補強方法として有効である。
- 5) せん断スパン比が小さい場合、RC 補強、S 補強それぞれの補強効果が確認できたものの、補強により水平せん断力が高くなり、PCa 壁板がせん断破壊し最終的な損傷が大きかった。

参考文献

- 5-1) 山崎智博, 張彦龍, 田才晃他: 既存壁式構造における新設開口の補強に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.27, No.2, pp.1171-1176, 2005 年
- 5-2) 坪井善勝, 加藤六実, 平賀謙一: 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構法に関する研究(その 1)総括, 日本建築学会論文報告集号外, p.254, 1966 年 10 月
- 5-3) 日本建築防災協会: 既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針, 第 2 版 3 刷, 2008 年

第6章 耐震壁実験の数値解析

6.1. 本章の目的

既存プレキャスト（PCa）耐震壁の性能評価実験では、複数の試験体に対して、加力モードを2通り用意した。壁脚部から反曲点までの高さ H の水平加力方向の壁長さ W に対する比 H/W （せん断スパン比）が相対的に大きく 1.85 となるもの（ H/W 大）（水平力に対して転倒モーメントの加力値が相対的に大きいもの）と H/W が小さく 1.17 となるもの（ H/W 小）である。無開口（W5）および無補強（N5S）の試験体では H/W が大きく、接合部（特に上下階の PCa 耐震壁を接続する水平接合部（SB））の破断が支配的な崩壊形となった。このことから、SB の鉛直（特に引張）方向の性能評価が重要と考え、SB の要素実験を行った。その結果から SB の復元力特性をモデル化し、さらに、鉛直接合部、（PCa）耐震壁のせん断ばねなどを既往の研究結果などからモデル化した。このように構築した耐震壁の数値解析モデルを用いて実験結果を良好な精度で評価できることを示す。

6.2. 水平接合部要素実験の概要

上下階のプレキャスト（PCa）耐震壁板を接続する水平接合部（SB）は、図 6-1 のような形状をしている。接続筋をフレア溶接した鋼板（組物）が PCa 耐震壁板に埋め込まれており、それらを現場溶接することで上下階の PCa 耐震壁板を接合する。SB の鉛直方向の荷重-変位関係を調査する目的で、1/2 スケールの耐震壁実験で使用した SB と同形のものを周辺の PCa 耐震壁板も含めて作成した（図 6-2）。

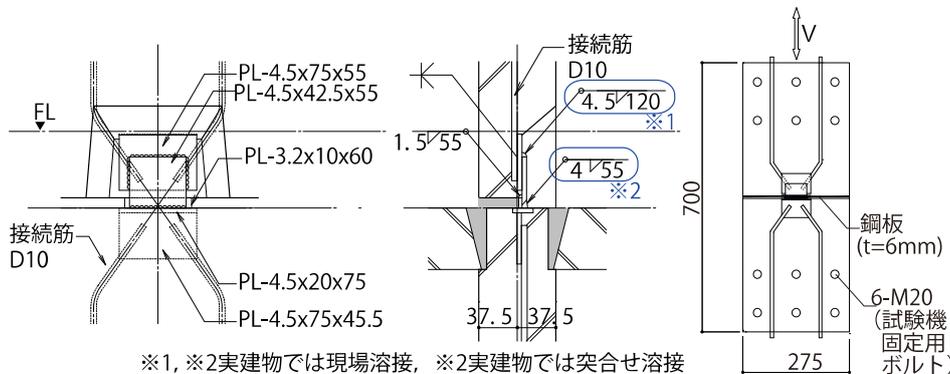


図 6-1 水平接合部の概要

図 6-2 SB 実験の試験体概要

製作上の理由から SB を埋め込んだ上下階の PCa 板を個別に作成してから一体化するのではなく、あらかじめ溶接して一体化しておいた SB を上下階の接合部周辺の PCa 壁板に埋め込んで一度にコンクリートを打設した。既存建物（および耐震壁実験）では、上下階の PCa 耐震壁板間にモルタルが充填されているが、上記 SB 試験体作成方法ではそれができないため、代替的に同位置に 6mm 厚の鋼板を挿入し、上下階の PCa 板間のコンクリート部分による引張力の伝達を制御した。

コンクリートは圧縮強度 52N/mm^2 、接続筋は D10 (SD295)、鋼板は PL-4.5 (SM490)（鉄筋と鋼材の実強度は前章に示す）である。M20 の高力ボルト上下各 6 本で試験体を加力治具に固定する。実験は変位制御で単純に引張力を載荷したもの(TS)と、引張力と圧縮力を交互に加えたもの(TC)の 2 種類について、油圧サーボ式試験機を使用して行った。

実験結果を図 6-3 に示す。単純引張実験 (TS) では加力 60kN 付近で、鋼板の鉛直方向の隅肉溶接が破断し始め、その後、水平方向の溶接の一部が破断すると共に接続筋が破断して終局状態に至った。引張圧縮繰返実験 (TC) では、引張力 35kN 付近で接続筋が降伏したが破断には至らず、50kN 付近で溶接部の破断が先行した。実験後、両試験体接合部の溶接量を比較したところ TC は TS の 75%程度であった。この差が両者の最大耐力の差に影響したと考えられる。また、接続筋の降伏および引張強度に対応する（鉄筋の角度補正を含む）引張力はそれぞれ 42kN と 58kN であり、TS の最大耐力に概ね一致している。

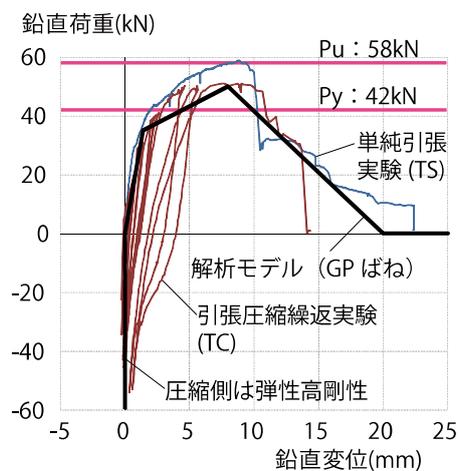


図 6-3 SB 実験結果とばねモデル

6. 3. W5 と N5S の耐震壁実験の数値解析

耐震壁実験の数値解析評価を行うにあたり、はじめに比較的構成が単純で SB の破断が支配的な崩壊形となった無開口 (W5) および無補強 (N5S) の 2 つの試験体に着目して、解析モデルの構成と実験結果との比較を述べる。モデル化の考え方や解析的な試験体の挙動評価を行った上で、より複雑な残りの試験体について同様の作業を行う。

6.3.1. 数値解析モデル

解析モデルは2次元とし、PCa板の接合部に弾塑性ばねを用い、その他の部材を弾性線材で構成した(図6-4)。PCa耐震壁板は上下辺を剛材とするI型モデルとし、直交壁およびスタブに関しては試験体の断面形状を有する線材とした。剛域に相当する部分についても剛材を用いた。コンクリート断面のヤング係数については、材料強度に応じて算出している⁶⁻¹⁾。

PCa板接合部のばねとしては、耐震壁の2階および3階床レベルのSBをモデル化したGP(図6-4)、直交壁をレベルで接続するCR、および耐震壁と直交壁との間で鉛直方向のずれを抑制するための接合(鉛直接合)をモデル化したJQがある。さらに、N5Sについては開口脇の各床レベルにGCを設けた。これは、開口新設によって分割された耐震壁のロッキングを評価するためのばねであり、引張側では機能せず、圧縮側でGPばねと同じ設定とした。以下にGP、CR、JQばねの設定復元力特性について述べる。

GPばねは、水平方向には剛で、鉛直圧縮方向に弾性、引張方向に弾塑性とした(図6-3)。圧縮方向の弾性剛性は幅200mmのPCa耐震壁板の断面積を有し、有効長さを150mmとした場合の値とした。(引張方向に較べて十分高い剛性となる。)引張方向については、前述のSB実験結果に基づき図6-3のようなトリリニアモデルとした。第1折点が溶接部の部分的な破断あるいは接続筋の降伏に対応し、第2折点が最大耐力であり溶接部あるいは接続筋の破断に対応する。解析上は、それぞれの折点に到達した時点で、接合部が降伏および破断したと判断した。

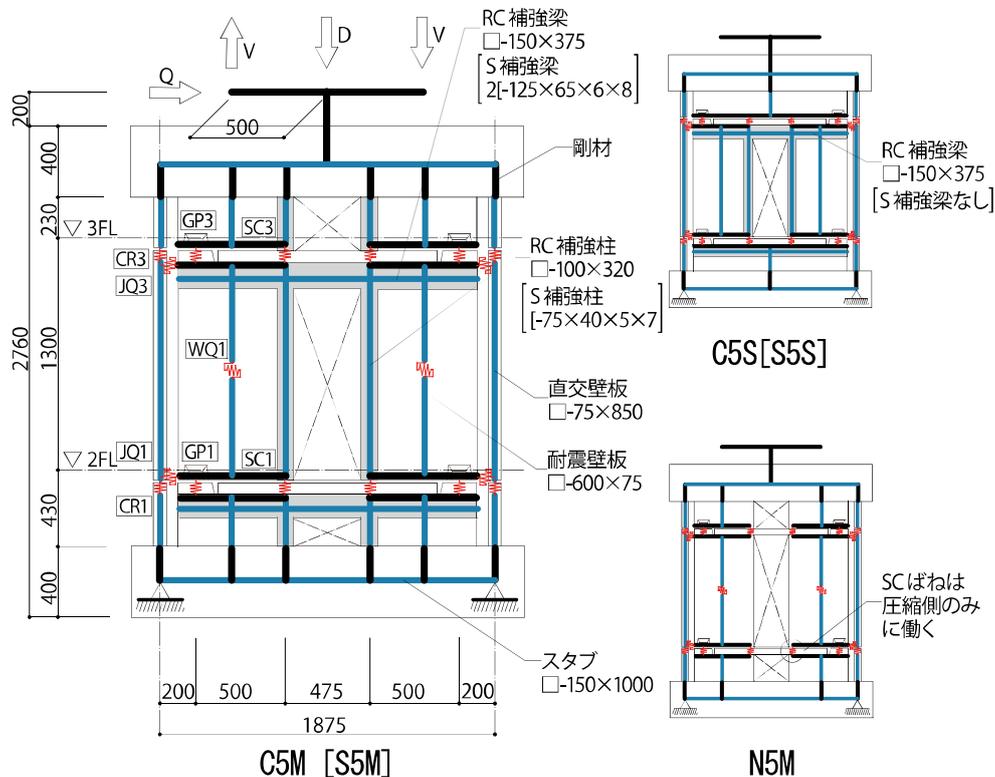


図 6-4 耐震壁実験の数値解析モデル

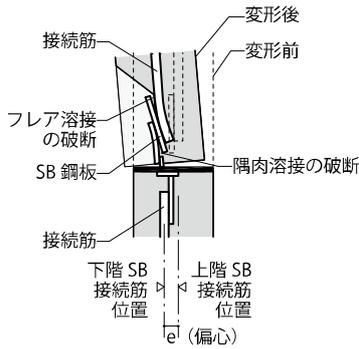


図 6-5 引張破断状況

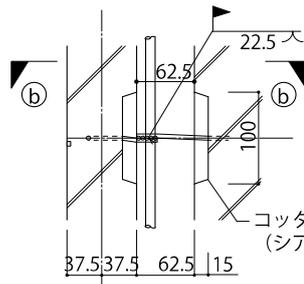


図 6-6 A 部 (図 6-4) 詳細図

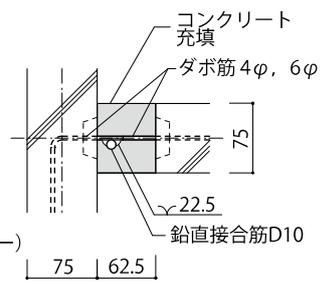
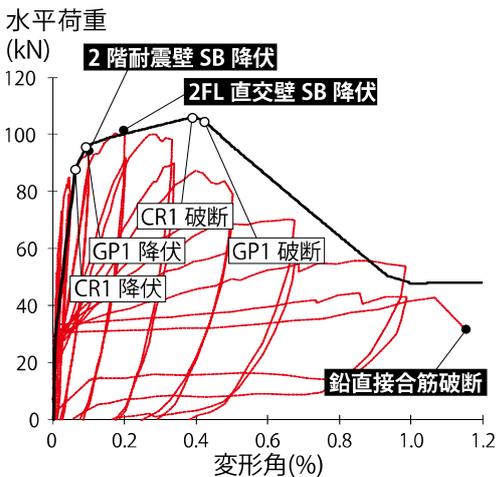
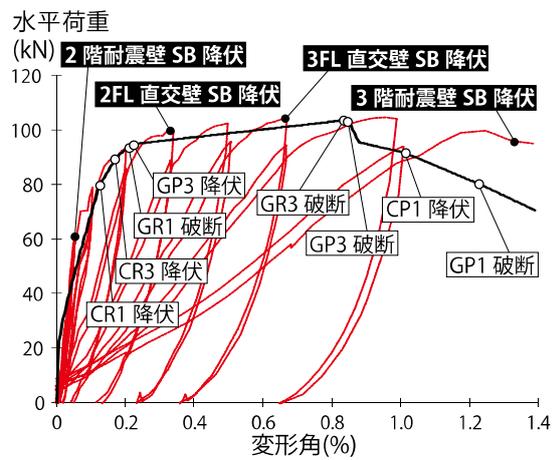


図 6-7 b-b 断面詳細図



(a) W5 (無開口)



(b) N5S (開口無補強)

図 6-8 W5 と N5S 実験結果と解析の比較

CRばねは、直交壁1枚につき各床レベルで2箇所存在するSBと鉛直接合筋をモデル化したものである。鉛直接合筋は耐震壁と直交壁の鉛直接合部に沿って床レベルを貫通して配されている鉄筋で(図6-6および図6-7)、SB同様に壁の転倒モーメントによる引抜抵抗要素である。SBと鉛直接合筋は2次元解析モデルにおいて十分近い位置にあることからCRばねとして集約した。SBの破断部を分析すると図6-5のように上階側のSB鋼板が面外に傾斜して溶接が破断している。これは上下階で接合筋の位置が偏心している(図6-5)ことが一因と思われる。加えて、耐震壁に作用する水平力によって直交壁のSBには面外方向に力が加わることになり、これが図6-5の変形を助長し、結果としてSBの引張強度を低下させると考えられる。このような効果を解析モデルに反映させる目的で図6-3におけるGPばねの最大耐力を74%に低減させて、CRばね中のSB引張耐力とした。2つのSBと鉛直接合筋(D10)(25.9kNの引張強度を有する完全弾塑性ばね)の復元力特性をあわせてCRの特性とした。

JQばねは原点对称で初期剛性が十分に剛なトリリニアモデルとした。シアキーとダボ筋を有する鉛直接合部(図6-6および図6-7)のずれに対する最大耐力 Q_u とそれを与えるずれ変位 δ_u を既往研究³⁾を参考に導き($Q_u=222\text{kN}$ および $\delta_u=1\text{mm}$)、 $Q_y=1/3 Q_u$ を第1折点、最大耐力後は Q_u を維持すると仮定してモデル化した。

6.3.2. 解析結果

耐震壁実験と同様に、長期荷重に相当する鉛直荷重載荷後、地震荷重として、水平荷重 Q および転倒モーメントに相当する鉛直荷重 V を $V/Q=1.27$ の比率を維持して載荷した (図 6-4)。変位制御の増分解析を汎用ソフトを用いて実施した結果を図 6-8 に示す。良好な精度で実験による PCa 耐震壁の崩壊挙動を解析的に評価することができた。

6.4. その他の耐震壁実験の数値解析

本節では、補強のある試験体 (C5S、S5S、C5M および S5M) と補強なしでせん断スパン比 (H/W) が小さい試験体 (N5M) について、数値解析モデルを作成し、実験との比較検討を行う。

6.4.1. 数値解析モデル

N5M、C5S、S5S、C5M および S5M 試験体について、2次元数値解析モデルの概要を図 6-9 に示す。前節と同様に、PCa 壁板を弾性線材に置換し、接合部に弾塑性ばねを採用した。開口補強を施した試験体 (N5M 以外) については、補強梁部材と開口脇の補強柱部材もモデル化している。補強梁部材は、実験で塑性化していないことが確認されているため弾性部材とした。補強柱部材については、実験で

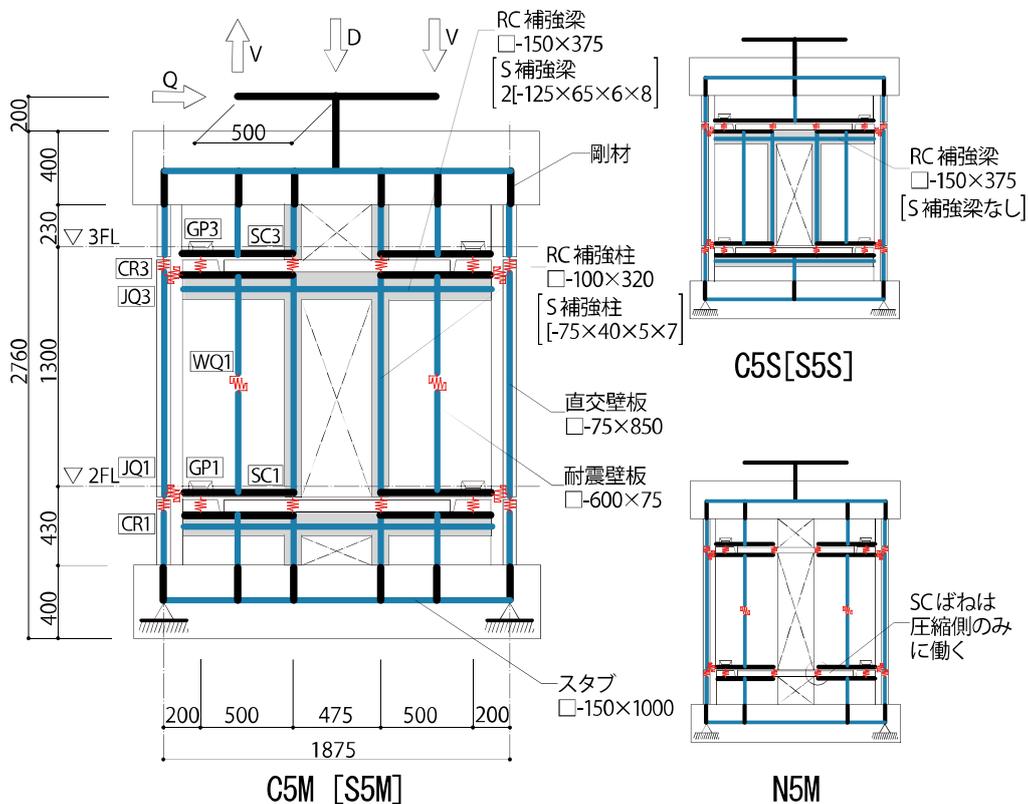


図 6-9 解析モデルの概要

観測された部材の塑性化の状況に応じて、床レベルで弾性あるいは弾塑性ばね（SC）を設けている。また、壁の塑性せん断変形を評価する目的で、2階と3階床レベルの間に水平方向の弾塑性せん断ばね（WQ）を設けた。それぞれのばねの特徴について以下に述べる。

6.4.2. せん断スパン比が大きい実験の評価

せん断スパン比（H/W）が大きい実験（C5SとS5S）の解析について以下に述べる。連層開口無RC補強試験体（C5S）は、SBの破断と鉛直接合筋の降伏に加えてRC補強柱を定着させた2階補強梁下の1階耐震壁のひび割れが顕著であった。C5SのSCばねは前節のGPおよびCRばねと同様に、水平方向には剛で、鉛直圧縮方向に弾性、引張方向にバイリニアの完全弾塑性とした。圧縮方向の弾性剛性は補強柱の断面積を有し有効長さを150mmとした場合の値とした。引張方向については、補強柱中の主筋断面積と有効長さ250mmから初期剛性を求め、最大耐力 P_u を1階耐震壁のひび割れ長さを205mmとした場合のコンクリートの引張強度（圧縮強度の1/10で 5.8N/mm^2 ）から89kNと算出した。これは、補強柱主筋の引張強度の和の40%に相当する。図6-10(a)にC5Sの正負交番載荷実験と静的増分解析結果を示す。変形角0.5%付近で実験と解析共に最大耐力に達するなど、崩壊挙動を含めて精度よく評価できた。

上下開口無S補強試験体（S5S）の解析モデルは、補強梁がないこととSCばねの復元力特性以外はC5Sモデルと同じである。SCばねの圧縮側の弾性剛性は、図6-4のGPばねと同様とした。引張側の P_u は、補強柱端部の上下階壁への定着金物周辺のひび割れ耐力を考慮して41kNとした。その他の引張側のばね特性の設定はC5Sと同様である。図6-10(b)から実験と解析との結果が概ね一致していることが確認できる。

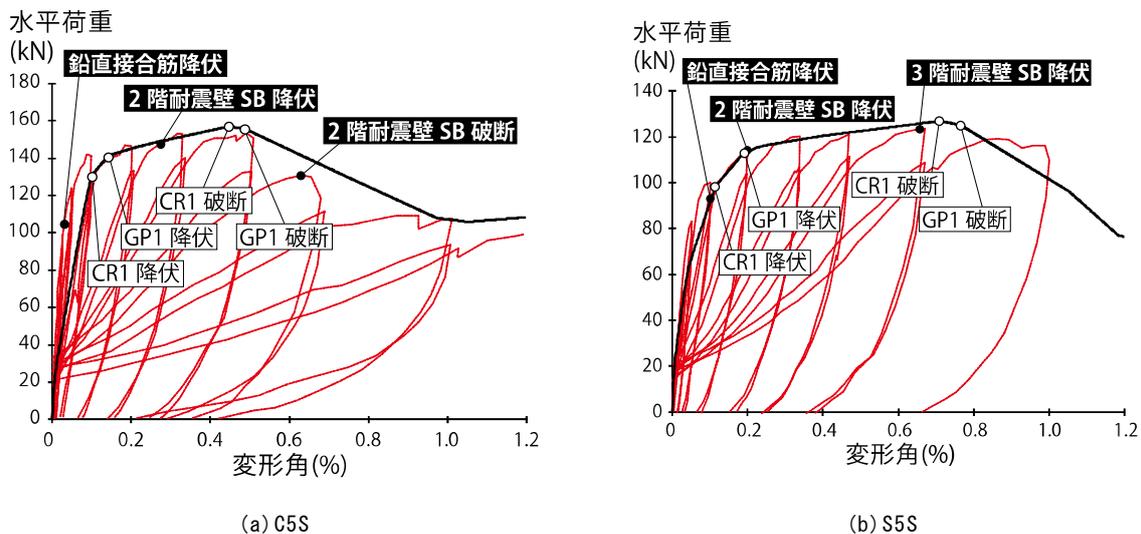


図 6-10 C5S と S5S 実験と解析結果の比較

6.4.3. せん断スパン比が小さい実験の評価

前節で述べたせん断スパン比 (H/W) が大きい実験では、水平接合部 (SB) の損傷が顕著で、PCa 耐震壁板の損傷は比較的軽微であったが、H/W が小さい実験では耐震壁板にせん断ひび割れ (N5M) およびせん断破壊 (C5M と S5M) が発生した。本節では、PCa 耐震壁板のせん断耐力の評価を含めて N5M、C5M および S5M の解析モデルを作成し、その妥当性を検討する。

PCa 耐震壁板のせん断終局強度については、高度経済成長期の中高層 WPC 造建物建設時に多くの研究がなされているが、開口が多く相対的に耐震強度が低くなる桁行方向の壁に関するものが主体であり、張間方向については遠藤による研究²⁻³⁾などがあるものの耐震壁の終局せん断強度に関する研究は少ない。また、WPC 建物の第2次耐震診断²⁻⁴⁾における終局せん断強度算定式は現場打ち鉄筋コンクリート耐震壁についての式を応用していることから、新たに開口を設けた WPC 構造耐震壁の耐力評価方法は確立されていない。

PCa 耐震壁板に開口を新設すると、開口脇の壁板がそれぞれ独立した耐震壁と考えられるようになるが、開口補強がない試験体 (N5M) では、それらの壁に対して SB が上下辺に1箇所ずつになり、図 6-9 の加力方向では開口右側の壁で引抜に抵抗する引張鉄筋 p_{te} が存在しなくなる。 p_{te} を 0 として耐震診断手法²⁻⁴⁾によるせん断終局強度 Q_{su} を算出すると転倒モーメントによる軸力を考慮する場合 93kN (開口右側板) であった。ここでの軸力は、長期荷重 (図 6-9 中の D) に実験におけるせん断ひび割れ時水平力 (133kN) 下の弾性解析結果から算出した値とした。これらの Q_{su} を用いて、耐震壁の弾塑性せん断ばね WQ を図 6-11 に示すような原点对称なトリリニアモデルとして設定した。 Q_{su} を与える水平変形角を 0.5%²⁻³⁾ と設定し、図中のひび割れ耐力 Q_{sy} を Q_{su} の 1/2 と仮定²⁻³⁾ した。最大耐力後の負剛性は PCa 耐震壁のせん断剛性 K_w の -0.04 倍²⁻⁵⁾ とした。ここで得られた WQ ばねを用いて解析した結果と実験との比較を図 6-12 に示す。解析では、変形角 0.72% でせん断破壊するのに対し、実験ではせん断ひび割れは発生するものの接合部の破断の方が支配的であった。接合部破断が先行するよう WQ ばねにおける Q_{su} の値を上げていくと 1.6 倍した $Q_{su}=149kN$ のときに図 6-12 に示すようになった。壁の耐力を 1.6 倍する前後で、解析による最大水平耐力は実験値の 90% から 107% に増大してい

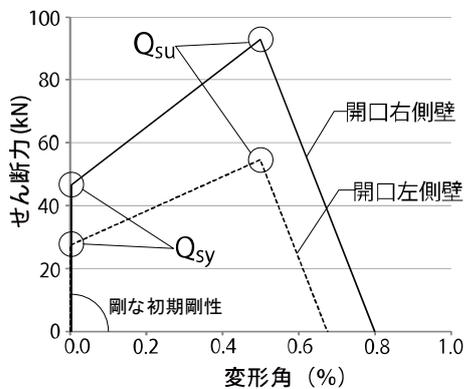


図 6-11 WQ ばねの復元力特性

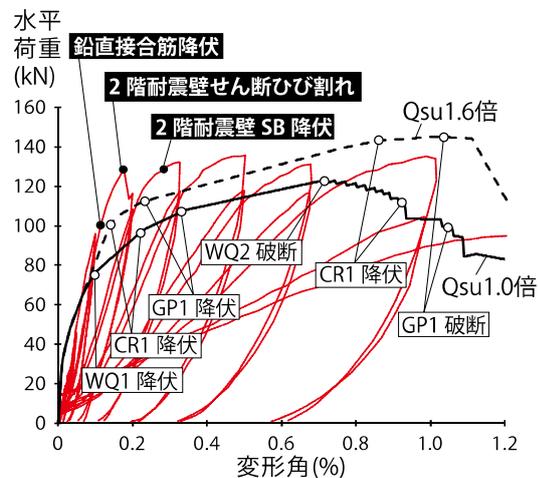


図 6-12 N5M 実験と解析結果の比較

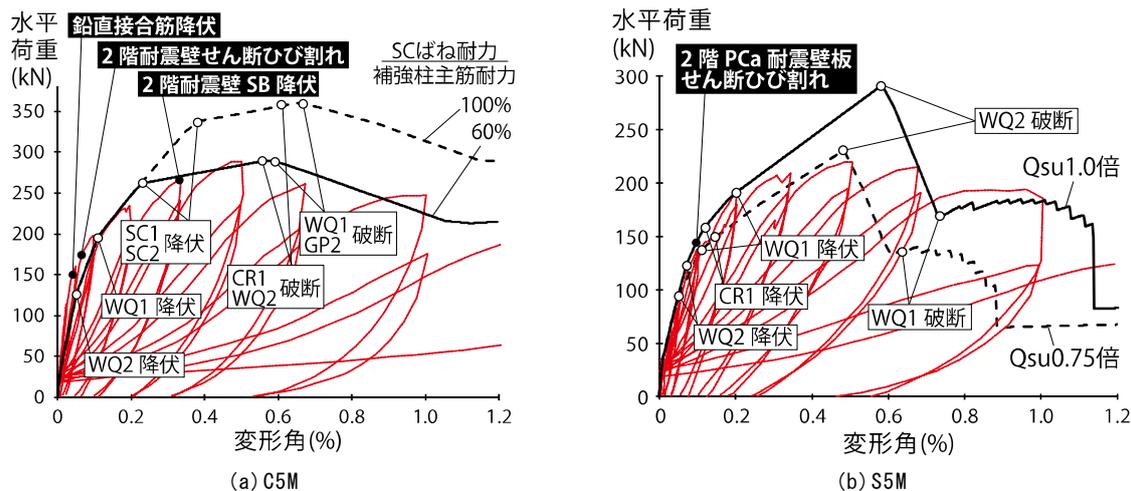


図 6-13 C5M と S5M 実験と解析結果の比較

る。これらから、新設開口脇の補強のない PCa 耐震壁の Q_{su}^{2-4} は、引張鉄筋を 0 として算定した場合は過小評価となることが分かる。

さらに、C5M と S5M の開口補強があり H/W が小さい実験について解析する。両試験体には、補強柱の引張鉄筋（あるいは補強鉄骨柱）が存在することから Q_{su}^{2-4} を算定し、SC ばねの引張側の復元力特性については、補強断面中の鉄筋あるいは鉄骨部材の引張強度を用いてモデル化したところ図 6-13 のようになった。C5M と S5M とで実験による最大水平耐力をそれぞれ 25% と 33% 過大評価している。C5M については壁のせん断変形に伴い補強柱の主筋は曲げ降伏している。この効果を考慮して、C5M の SC ばねの P_u を 60% に減じた場合、壁のせん断破壊が支配的なまま最大耐力が実験に近い結果となった（図 6-13 (a)）。S5M については補強鉄骨部材の引張耐力を用いて算出した Q_{su}^{2-4} を 75% に減じた場合、概ね最大水平耐力が一致した（図 6-13 (b)）。鉄骨部材で補強した PCa 耐震壁は変則的であり、そのせん断耐力に関して今後更なる検討が必要と考えられる。

6.5. 本章のまとめ

本章では、水平接合部(SB)の破断が支配的な崩壊形となった試験体に着目し、SB の引張実験を実施した上でその復元力特性を評価して、耐震壁実験の数値解析モデルを作成した。解析結果が良好な精度で実験に一致することが確認できた。さらに、C5S と S5S のせん断スパン比(H/W)が大きく開口補強のある実験について、開口脇の補強部材のばね(図 6-9 中の SC)を評価することで、実験結果を解析的に評価することができることを示した。また、 H/W が小さい実験について、補強なしの場合 (N5M) では、耐震壁板にひび割れが発生し、接合部が破断することで最大水平耐力に至る挙動を解析的に評価できた。既存 PCa 耐震壁板に開口を設けることで、開口脇に引張鉄筋が存在しなくなる耐震壁のせん断強度は、耐震診断手法²⁻⁴⁾による算定値より大きくなると考えられる。また、C5M と S5M の鉄筋コンクリートおよび鉄骨部材で開口補強を行った実験では、耐震壁がせん断破壊するのを解析的にも評価できた。一方で、せん断耐力の算出方法については、更なる検討が必要であることが確認できた。

参考文献

- 6-1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説-許容応力度設計法-,1999
- 6-2) 中野克彦他:プレキャスト鉄筋 RC 部材接合面におけるせん断抵抗要素の耐力累加方法,日本建築学会構造系論文集第 550 号
- 6-3) 遠藤利根穂：中高層壁式鉄筋コンクリート造建物のプレキャスト化について その 6 はり間方向構面実大実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），1975
- 6-4) 日本建築防災協会：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針，第 2 版 3 刷，2008
- 6-5) 壁谷沢寿海他：鉄筋コンクリート壁フレーム構造の終局強度設計，第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集，1984

第7章 大規模改修モデル計画の策定と その実現可能性の検証

7.1. 本章の目的 注7-1)

前章までにみたとおり、WPC構造住宅の耐震壁に開口を設置することを想定して、設置前の耐震性能と同等以上の性能を確保することを目標とした補強方法を考案し、その構造的な性状を実験や解析により明らかにした。考案した補強方法は、改良は必要なものの、構造的には一定の効果が見られるものであったが、一方で、これを実用に供するものとして完成させるためには、計画的な検討も不可欠である。そこで本章では、考案した開口新設手法を適用することを想定した、具体のWPC構造住宅ストックの大規模改修モデル計画（以下、モデル計画と略す）を策定するとともに、その実現可能性を様々な観点から検証することを目的とする。

7.2. モデル計画の対象住棟

活用モデル計画の対象とした住棟は、SPH（公共住宅用中層量産住宅）が採用された実在の集合住宅であり、SPHの型式は、前述した構造実験と同様、74-5PC-3DK（A9-3）型である。

対象住棟は、首都圏郊外に立地する大規模公営住宅団地である、N団地内に位置しており、1974年に建設されたWPC構造の3階段室型5階建ての建物である。階段室は住棟北側に計画されており、また、バルコニーは住戸の南北両面に計画されている。住戸の配置に関しては、階段室を中心とする二戸一型の平面をもち、1層あたり6住戸が配置される計画である。既存住戸はいわゆる3DKプランであるが、住戸面積は46.68m²であり、現在の一般的な3DK住戸と比較して狭小である。水廻りについても、脱衣スペースが不十分、洗濯機置き場がバルコニーに計画されているなど、現在の水準に照らせば、不十分な計画である。また、設備機器自体も老朽化・陳腐化している。

対象とした住棟およびその敷地に関する事項を表7-1に示す。また、既存住棟の平面図を図7-1に、既存住戸の平面図を図7-2に示す。

7.3. モデル計画の計画条件の整理

モデル計画の策定を行うにあたって、まず、計画条件の整理を行った。整理にあたっては、公共住

注7-1) 本章は文献7-1および文献7-2に加筆修正したものである。

表 7-1 対象住棟およびその敷地に関する事項

用途地域等	第一種中高層住居専用地域
容積率	150%
建蔽率	60%
防火地域	準防火地域
都市計画区域及び 準都市計画区域内外の別等	都市計画区域内 第3種高度地区
その他の区域及び地域	宅地造成工事規制区域 緑化地域
消防法、事例等による法規制項目	高さが10mを超える建築物
日影規制	4.0m/3時間/2時間
建築年	1974年(昭和49年)
主要用途	共同住宅
建築面積	356.82㎡
延床面積	1784.10㎡
建物構造	WPC構造5階建て 中層階段室型住棟
専有面積	46.68㎡
バルコニー面積	7.35㎡
階高	2.600mm
居室天井高	2.340mm
最高の高さ	14.140mm
住戸形式	3DK 全30戸

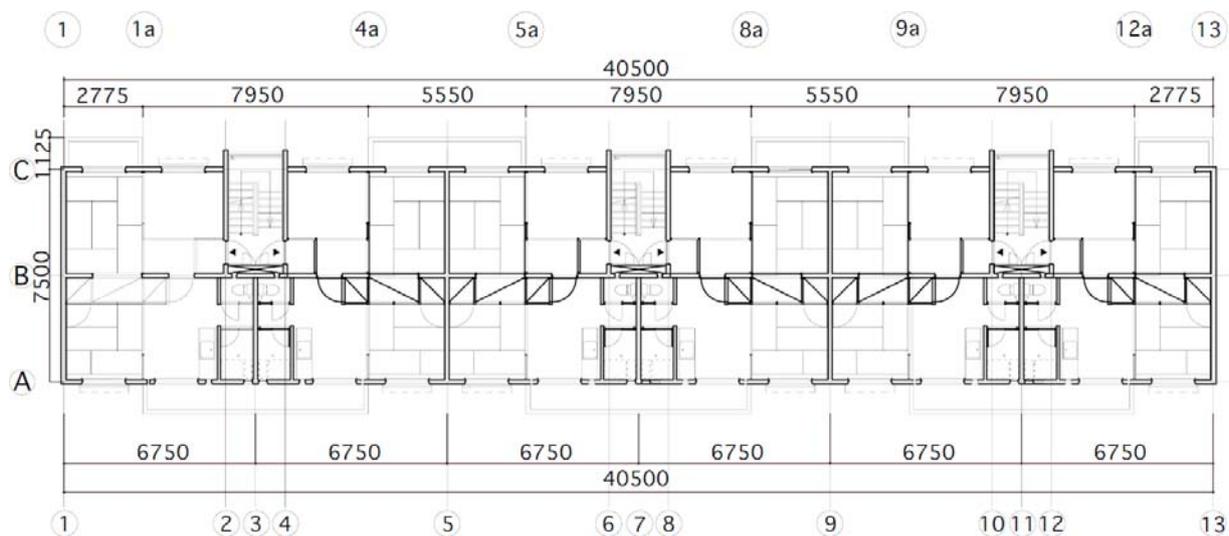


図 7-1 対象住棟の住棟平面図

宅におけるトータルリモデルの実態を既存資料⁷⁻³⁾等から把握し、参考とするとともに、第3章で明らかとなった、トータルリモデルの改修ニーズ、法的条件等も勘案した。また、住宅性能表示等、既存の計画指標を参照するなどし、モデル計画が現在の一般的な要求にも適ったものとなるよう配慮を行った。なお、対象住棟を保有する自治体へのヒアリング調査もあわせて行ない、関連法規の取り扱い等は、当該自治体による解釈に従ったものとした。計画条件の整理を行った結果は、次に示すとおりである。

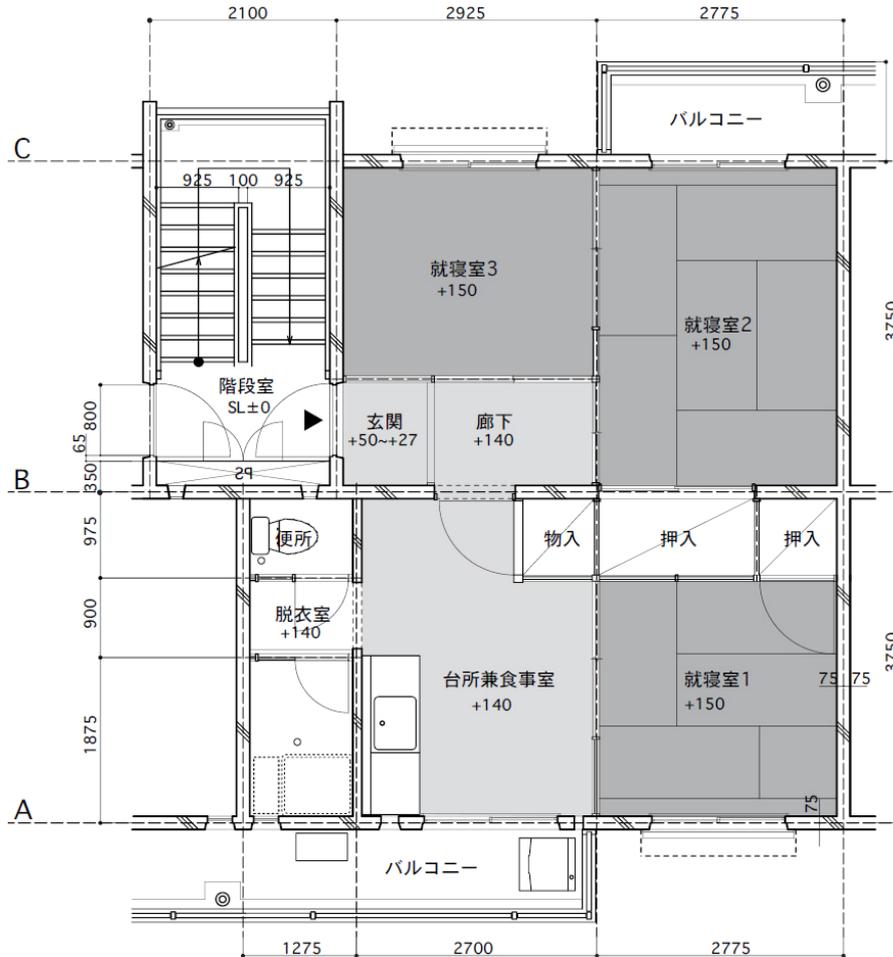


図 7-2 対象住棟の住戸平面図

(1) 耐震壁への開口設置

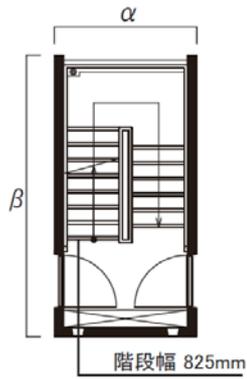
狭小な住戸面積、画一的な住戸計画等を改善するため、考案した開口新設方法を用い、耐震壁への開口設置を行い、住戸の規模変更等を行う。

(2) 内装・設備機器の一新

既存のトータルリモデル事例等の例を見れば、今回策定するモデル計画は、耐震壁への開口設置を伴う大規模な改修であるため、改修後の住棟は、今後 20～30 年程度の使用に耐えうる必要があると考えられる。この観点から、劣化・陳腐化した内装・設備機器は一新することを基本とする。

(3) バリアフリー改修

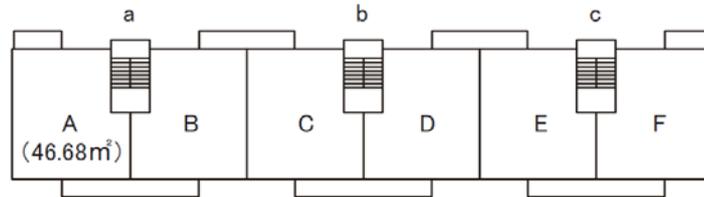
第3章で述べたとおり、高齢居住者への対応等の理由により、エレベーター設置や住戸内段差の解消等の、バリアフリー改修に対するニーズは高く、また、本モデル計画が大規模改修であることから、各住戸への階段を経ないアクセスを実現する計画とする。モデル計画の対象とした 74-5PC-3DK-A9-3 型は、各住戸が南北両側にバルコニーを有しているため、住棟北側にエレベーターと共用廊下を増築し、既存の北側バルコニーと連結し、北側バルコニーに面する掃き出し窓を新設玄関として活用する



屋外階段：
直接外気に解放されている
部分の長さ $\geq 1/2[2(\alpha+\beta)]$
(当該階段の周長の1/2)

共同住宅では、屋内階段で直上階の居室の床面積の合計が 200m^2 を超える地上階における階段の幅は 1200mm 以上必要となる。

下図のように界壁で仕切られ、通常は同一階(各階段のブロック間)で行き来できない階段室型共同住宅については、屋内階段aを利用する住戸A,Bの居室の床面積の合計が 200m^2 以下のとき、階段aの幅は 750mm 以上とすることができる。



住戸Aから、Fまでの居室の床面積の合計 $>200\text{m}^2$ の場合
a階段の幅(AとBの居室の床面積の合型 $\leq 200\text{m}^2$) $\geq 750\text{mm}$

図 7-3 階段室の法的取り扱い

ことで、バリアフリー化を図る。

(4) 居住性能の向上

一般的に、高度経済成長期に建設された公共住宅においては、高齢者居住世帯が増加していることを考慮し、住戸の居住性能を住宅品質確保促進法の定める高齢者等配慮対策等級に基づいた計画とする。標準住戸は将来の高齢化に備えた等級3を満たす住戸とする。また介護対応が容易な等級4を満たす介護タイプ住戸も一定数計画することで、被介護者と介護者の暮らしやすい住宅を確保する。

(5) 改修工事中の居住者の一次退去

躯体解体工事に伴って、振動・騒音が発生することや、内装・設備を一新する計画であること、工事時の安全性等を勘案し、改修工事中は全住民が一時退去することを計画の前提とする。

(6) 既存住棟の増築に関する法規の取り扱い

既存不適格建築物の大規模改修において、増築部分の規模等の条件に応じて、既存部分に適応される構造関連規定の考え方は、開口新設による住戸規模変更、エレベーター・共用廊下増築によるバリアフリー改修を行う本モデル計画の場合、増築部分と既存部分をエキスパンションジョイント等により分離されていることが求められる。詳細については、第3章で述べたとおりである。

(7) 既存階段室の取り扱い

本モデル計画は、共用廊下を増築する計画であるため、改修後は共用廊下を介して各住戸間の行き来が可能な計画となる。こうした計画の場合、階段室型の階段の幅員緩和規定の適用外となる場合があり(図7-3)、したがって、既存階段室を日常の利用に供するとして用いることが許可されないケースが想定できる。この解釈は、自治体によって判断が異なる事項であるが(第3章参照)、本モデル計画では、計画の汎用性を重視し、既存階段室を日常の利用に供する階段として利用しない計画とする。

7.4. モデル計画の策定

以上の計画条件にしたがって、モデル計画の策定を行った。計画の概要を、次に示す。

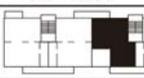
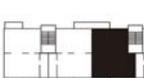
7.4.1. プログラムの考え方

まず、住戸面積を、国の定める「住生活基本計画」による単身者の都市居住型誘導居住面積水準である40m²から、公営住宅等整備基準第九条における最大床面積80m²までを目安として設定し、住戸規模の変更により創出する住戸の規模の検討を行った。開口が新設可能な箇所は、梁間方向耐震壁のPCa板中央付近に制限されているが（第4章参照）、これを勘案した上、「規模縮小住戸」、「規模変更なし」、「規模拡大住戸」の3タイプの住戸を実現する計画とし、それぞれについて、高齢単身居住、要介護者居住、SOHO型居住、ルームシェア型居住、ファミリー世帯居住など、多様なライフスタイルを想定した7パターンの住戸を導いた（表7-2）。

開口新設が可能な箇所は、梁間方向の3通り（7通り、11通り）及び5通り（9通り）であり、また、PCa板の中央付近に最大幅950mmの開口を一箇所設けることが可能である。様々な平面計画を検討した結果、3通りへの開口新設は、今回のモデル計画の場合、計画上の有効性が低いと判断した。本モデル計画において開口を新設する箇所は、図7-4に示すとおりである。

以上の検討の結果、住棟計画は、高齢者居住を想定した住戸を4・5階に配置し、ファミリー世帯

表 7-2 住戸規模変更のパターンと改修後の住戸タイプ

	住戸規模	間取り	床面積	住戸タイプ	想定する世帯構成
規模縮小		1DK	38.56m ²	A：一般（S）	単身居住者向け住戸
				B：介護（S）	高齢単身居住者向け住戸
規模変更なし		1LDK	46.80m ² (46.68m ²)	C：一般（M）	2~3人居住向け住戸、SOHO等
				D：介護（M）	2~3人居住向け住戸
		2DK	46.68m ²	E：一般（M'）	2~3人居住向け住戸
				F：介護（M'）	2~3人居住向け住戸
規模拡大		2LDK	54.80m ²	G：一般（L）	3~4人居住向け住戸、ファミリー等

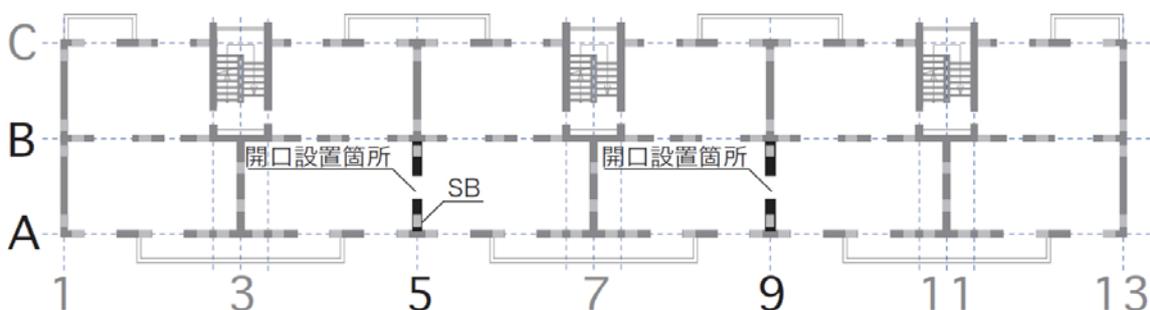


図 7-4 開口新設箇所（2～5階、1階は新設開口なし）

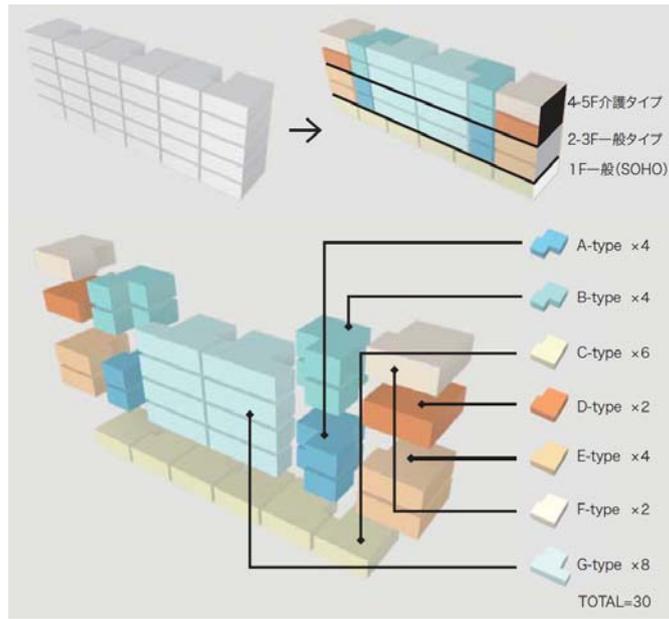
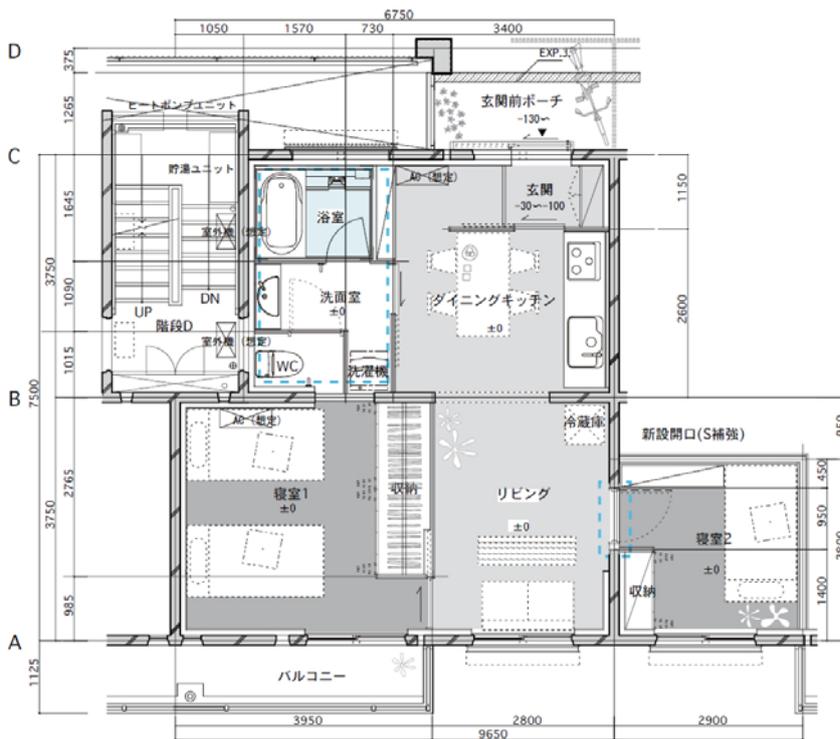


図 7-5 住戸配置計画



水廻りを一室化する場合の住戸部分平面図

図 7-6 標準住戸の住戸平面詳細図

居住を想定した住戸は2・3階に配置することで、新たに増築する屋外階段の積極的な利用を促進する計画とした。また、接地性の高い1階には、SOHO型居住に対応可能な住戸を配置した(図7-5)。

7.4.2. 住戸計画の考え方

標準住戸の平面詳細図を、図7-6に示す。都道府県と政令指定都市を対象に実施したアンケート調

表 7-3 住戸計画の考え方の詳細

玄関(バルコニー)	a.既存の掃き出し窓に引き戸の玄関扉を設置し(カバー工法)開口幅900mmを確保する。 b.目隠しルーバーで視線を遮りつつ光や風を取り込む。 c.玄関前はポーチを設け居住者が様々な活用できるスペースとする。
既存玄関	d.既存の玄関開口は配管用のスリーブとして利用する。
キッチン	e.幅2400mmのゆとりあるキッチンを設置する。
リビング・ダイニング	f.リビング、ダイニング一体となった広い空間として利用可能
水廻り	g.面積を拡大し、介護タイプでは手摺を配置し段差のない床とする。
既存階段室	h.水廻りを既存階段側にまとめ、配管を処理することで不要となった既存階段をPSとして利用する。また、メーターボックス、室外機、給湯器等も設置しバルコニーを設備機器から解放する。 i.アドバンスタイプとして階段室に、エコキュートや燃料電池を設置し、省エネ型団地として再生する。雨水貯留槽も設置し、雑用水に用い、トイレの節水や非常時に用いる。また、床暖房によって断熱性能・気密性能不足を補う。
床	j.段差のないフラットな床とし、浮き床構造により遮音性能向上を図る。
壁・天井	k.内断熱を施し、内部空間の段熱性能を確保する。
通路幅	l.通路及び出入口の有効幅員は780mm以上を確保する。
既存開口部	m.既存開口を塞ぎアルミルーバーで覆う。 n.サッシを気密性、断熱性の優れたものに変更する(カバー工法)服装ガラスを使用することでさらに断熱性能の向上が可能。
新設開口部 図. 提案内容	o.RC補強は、住戸内に柱・梁が現れるので、棚等に活かす。 S補強は、できるだけ補強材が住戸内に現れない様な納まりとする。

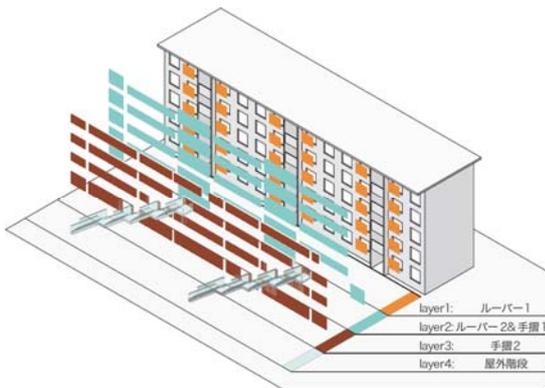


図 7-7 レイヤーの考え方



図 7-8 外観のイメージ

査(第3章)において、9割以上の自治体が高齢化への対応は重要度であるとの回答を得ているが、本計画では、エレベーターとアクセス廊下の増築による、各住戸へバリアフリーアクセスの実現に加えて、住戸内においてもバリアフリー化を実現し、必要に応じて手すりを設ける等、高齢者居住者に対応した仕様として提案を行った。さらに、断熱性能・気密性能等の住戸の基本性能を向上させる提案とした。また、水廻りを一室化するなどの工夫により、要介護者に対応可能な住戸も計画したが、このタイプの住戸の水廻り部分の平面図を、図7-6中に示した。住戸計画の考え方の詳細については、表7-3にまとめた。

7.4.3. 増築部の考え方

前述したとおり、各住戸への階段を経ないアクセスを実現するため、エレベーター・共用廊下・外

部階段を住棟北側に増築する。増築部分はエキスパンションジョイントによって、既存住棟と切り離す計画としたため、増築部単体で独立した構造が求められる。構造形式は、鉄筋コンクリートによるラーメン構造を採用したが、独立構造であるため、柱寸法や梁せいが大きくなる。そこで、住戸への視線を制御する役割も果たすルーバーや、共用廊下や外部階段に設置される手摺を、重なりあうレイヤーに見立て、繊細な表情を外観に持たせることを目指した（図 7-7）。これによって、柱梁のサイズが大きい増築部の圧迫感を軽減するとともに、見る角度によって多様な表情が形成される魅力的な外観を形成する計画とした（図 7-8）。

7.5. モデル計画の実現可能性の検証

WPC 構造による階段室型集合住宅の改修を行うにあたっては、様々な障壁が存在すると考えられるが、策定したモデル計画に基づき、その実現可能性の検証を行った。

7.5.1. 大規模改修の障壁

まず、大規模改修の障壁となると考えられる項目の整理を行った。以下に、抽出された項目を、その内容にしたがって分類した結果を示す。

(1) 既存建物自体に起因する障壁

既存 WPC 構造住宅ストックの多くは、高度経済成長期に建設された階段室型集合住宅であり、建物自体の性能が低いことが、改修の障壁となる場合がある。既存建物自体に起因する障壁を、表 7-4

表 7-4 既存建物に起因する大規模改修の障壁

住戸計画に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 住戸規模と世帯人数のミスマッチ ・ 面積狭小 	<ul style="list-style-type: none"> ・ バリアフリー化の必要性とその弊害 ・ 天井高不足
既存躯体の性能に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遮音性能が悪い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 接合部の品質管理が難しい
外構に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 駐車場不足 	
設備計画に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 共用設備配管等の劣化 ・ 住戸内部を通る排水管 ・ 住戸内設備改善の必要性 ・ 受電容量不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 断熱性能不足 ・ 吸気口排気口の数の少なさによる、コア抜きの必要性 ・ 屋根防水の必要性 ・ バスタブ未設置

表 7-5 改修工事に関連する大規模改修の障壁

施工計画に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改善対象団地について、団地単位で一定数の空き家が必要となる。相当期間の入居停止措置によりこれを生み出すが、入居率が高い状況では難しい。 ・ 家賃上昇や引越し等に関する、居住者の合意形成が困難。 ・ 居ながら施工による住民の安全性への危惧。
解体計画に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 階段室撤去にかかる費用は300万～400万と高額。 ・ 既存階段の撤去を行う場合、既存躯体主要構造部の1/2の撤去となり、耐震改修促進法の適応範囲外となる。

表 7-6 事業計画に関連する大規模改修の障壁

立地条件に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都心、郊外、地方郊外等の立地により居住者像や事業収支モデルが異なるが、賃料単価が安い地方郊外では特に事業採算性が乏しい。
工事費に関して	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公営住宅には事業収支という概念はないが、税収が減少し、公営住宅改修内容の縮減が余儀なくされているという現状である。 ・ 原価焼却という観点では、新築の1/2以下のコストに抑える必要があるが、実際にこの工事費では費用対効果の面で問題があるとの懸念がある。

表 7-7 法規・助成制度等に関連する大規模改修の障壁

建築基準法・同施行令 構造関係規定に関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存建物が杭基礎の場合、杭および基礎梁の耐力が現行基準を満たさない。 ・ 既存階段を撤去し、E V付き片廊下形式に増築する場合、増築規模や接続方法に応じ、既存遡及や耐震診断が要求されることとなり、ハードルが高い。 ・ 既存階段を残し、E V付き片廊下形式に増築する場合、既存階段の扱いについて主事によって判断が異なる場合があり、注意が必要。 ・ 既存階段が利用不可能となった場合、2方向非難の確保に留意する。 ・ 耐震改修促進法に適用させる為には、増築部を独立構造とする必要がある。 ・ 上記の場合、廊下の規模が用途上必要以上のものになってしまう傾向があり工事コストの増大に繋がる。 ・ 既設の耐震壁を一部撤去したり、開口を設ける場合、建築基準法における、大規模の修繕・模様替えに相当し、危険性が增大しないことが求められる可能性がある。 ・ 補強要素として後施工アンカーを用いて耐震壁を増設する場合、大臣の強度指定の取得が必要。事業をスピーディーに進める上で足かせとなる。
一団地建築物設計制度関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 確認申請を適応する場合、一段地認定を受け全棟に遡及が及び、日影や駐車場に関する法律がアウトになる可能性がある。 ・ 事実上、日影等で既存不適格となる住棟では、10㎡以上の増築は難しい。
公営住宅法に関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 用途変更を伴う改修が不可能。 ・ 住戸面積が80㎡以上のものは供給不可能。
住宅改良制度関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般修繕工事においては補助対象外とされている為、事業主体負担となる。 ・ 団地毎の工事費の下限値が定められている為、小規模団地での改修に国費による助成を導入しにくい。 ・ 残存期間という考え方が補助導入上の障害となる場合がある。 ・ 年度要件により、対象とならない場合がある。

に示す。ただし、ここで示した項目の中には、改修の動機となり得る項目も含まれている。これらの項目のなかでは、住宅の必要換気量に関する法規が改正されていることから、既存躯体に換気用の開口が不足している場合があることが、特に大きな障壁であると考えられる。

(2) 改修工事に関連する障壁

改修工事に関連する障壁を、表 7-5 に示す。特に市街部に経つ集合住宅の場合、仮移転先の確保が困難等の理由により、住みながら改修が要望される場合があるが、住みながら改修が大規模改修では難しいことが、改修の障壁となる場合がある。

(3) 事業計画に関連する障壁

事業計画に関連する障壁を、表 7-6 に示す。大規模改修のコストは、新築の 1/2 程度が目安とされることが多いが、改修コストを如何に低減させるかが、大きな課題であるといえよう。これに関しては、後により詳しく検証を行う。

(4) 法規・助成制度等に関連する障壁

建築基準法等関連法規、および改良住宅等改善事業制度に関連する障壁を、表 7-7 に示す。関連法規の解釈に関して、自治体によって異なる判断が下される可能性のある項目があり、改修事業のリスクとなっていると考えられる。また、改良住宅等改善事業制度による、国費助成の要件に関する様々な障壁が明らかとなり、改修事業を円滑に進行する妨げとなっていることがわかった。

7.5.2. 事業収支計画の検証

(1) モデル計画に基づく工事費の積算

上記に示した項目の中でも、大規模改修の事業収支計画に関する障壁は、特に大きな課題である。そこで、モデル計画の図面を、いわゆる実施図レベルまで整備し、積算を専門とする会社への委託により、概算工事費および精算工事費を算出した。概算とはいっても、詳細に拾われた数量に基づいて算出されており、生産工事費とも大きな違いはない。

全体の工事費を、30戸ある住戸数で割り戻すと、戸あたりにして約900万円（経費含む）という結果であった。この工事費の内訳を、7つの工事項目に従って分類した結果を、図 7-9 に示す。なお、開発した技術を用いた場合の開口設置および開口部補強に要するコストは、箇所あたりにして、RC補強の場合で約40万円、鉄骨補強の場合で約70万円（経費別）と、現実的な範囲におさまる結果となった（表 7-8）。

(2) 公営住宅においてモデル計画が適用される場合の事業収支計画の検証

公営住宅の全面的改善事業においては、そもそも事業収支という考え方が適応されないが、公営住宅においてトータルリモデルが行われる場合、どの程度のコストを要するのかを、第3章のヒアリング調査により把握している。

公営住宅の耐用年数は、建物の構造ごとに定められており、耐火構造の場合、耐用年数は70年とさ

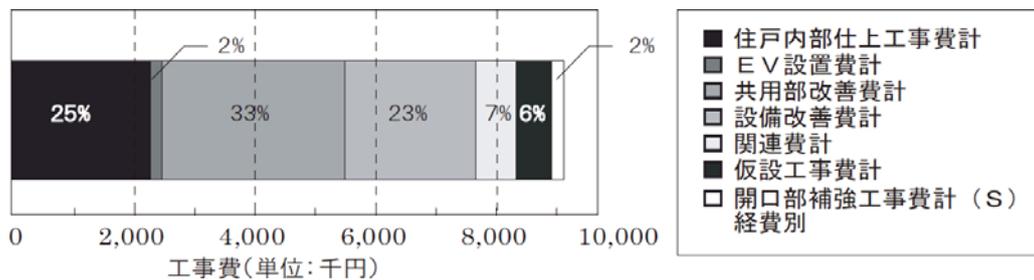


図 7-9 モデル計画の概算工事費の算出結果 (戸あたり工事費)

表 7-8 モデル計画における開口新設に要する箇所あたり工事費 (経費除く)

	補強種類				モデル計画における、 開口部補強は、 一棟あたり8ヶ所
	RC		S		
	全体金額	箇所あたり金額	全体金額	箇所あたり金額	
開口部補強工事費	3,249,464	406,183	5,831,280	728,910	

表 7-9 事業収支計画の判断指標（文献 7-4 より引用）

判断指標	内容	判断基準	
借入金完済可能年	余剰金累計が借入金残高を上回る年に借入金の完済が事実上可能となる。この年度で事業の収益性を判断しようとする考え方。	1 2年度以下	優
		1 3年度～1 7年度	良
		1 8年度～2 5年度	可
		2 6年度以降	問題あり

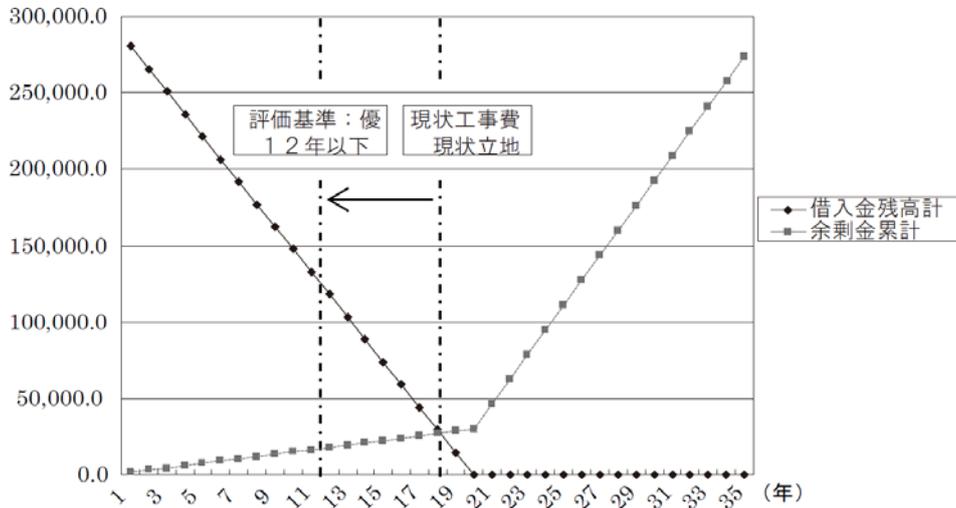


図 7-10 モデル計画の資産指標と損益計画グラフ（家賃 5 千円 / 坪の場合）

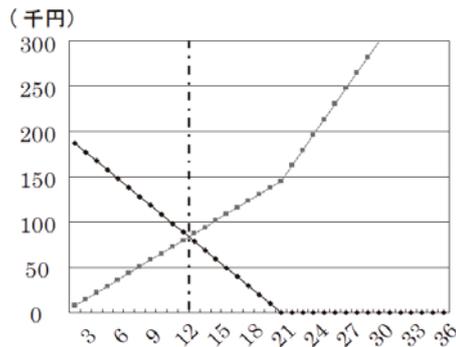


図 7-11 モデル計画の資産指標と損益計画グラフ
（家賃 5 千円 / 坪の場合、工事費 2/3 の場合）

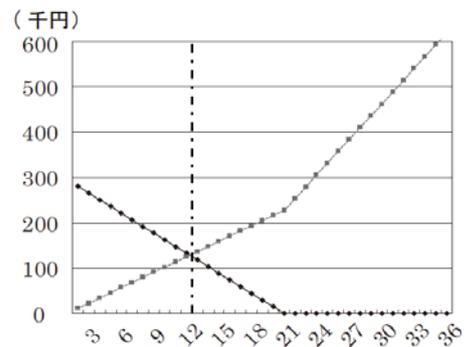


図 7-12 モデル計画の資産指標と損益計画グラフ
（家賃 7.2 千円 / 坪の場合）

れている。現在活用の対象とされている中層公営住宅は、建設から 35 年程度を経過しており、改修を加えることによって、これらを耐用年数いっぱいまで使用するという考え方が適応されることが多いため、全面的改善事業にかかる改修費用は、建替え事業に要する費用の 2 分の 1 以下に抑える考えが一般的である。現在の公営住宅の新築に要する費用は、戸あたりにして、1200 万～1500 万円程度との回答が多かったが、以上を総合すれば、モデル計画の工事費は、戸あたり 600 万円程度、すなわち、現在の計画の 3 分の 2 程度に縮減することが求められる。

(3) 民間事業主体によりモデル計画が適用される場合の事業収支計画の検証

事業主体が民間であると仮定した場合の、モデル計画の事業採算性について検証した。前述した積算結果を施工に要する費用とし、企画・設計に要する費用と、事業推進のための諸経費（居住者移転

費・開業費等)を設定し、初期投資額を算出した。

事業収支計画の検証にあたって、改修後の住宅の運営方式はサブリース方式とし、モデル計画の対象とした住棟の周辺マーケットの状況等を踏まえ、住居部分の賃料単価を5千円/坪と設定の上、長期事業収支計画を行った。その結果、図7-10のような結果を得た。

表7-9に示す、借入金完済年という判断指標に基づいてこの結果を評価すると、可の評価となり、事業としては成立するという結論である。工事費や賃料単価の設定を変更して検証を行うと、モデル計画の事業収支計画において、優の評価を得る事業とするためには、工事費を現状の約3分の2に縮減することが求められることがわかる(図7-11)。また、工事費は現状のままとしても、賃料単価が7.2千円/坪以上の地域で計画すれば、事業として優の評価が得られる(図7-12)。

7.6. 本章のまとめ

本章で得られた成果を、以下にまとめる。

- 1) 実在する具体のWPC構造住宅について、開発した技術を適用した大規模改修モデル計画を策定した。モデル計画は、自治体へのヒアリング調査の結果や、住宅性能表示等、既存の評価指標に基づき、現実性の高いものとし、実施図レベルの図面としてまとめた。
- 2) 策定したモデル計画に基づき、大規模改修の障壁となると考えられる項目の整理を行った。
- 3) 策定したモデル計画の実施に要する工事費を算出した。この結果、開発した開口新設手法の工事費に関しては、現実的な範囲におさまっていることが明らかとなった。
- 4) 算定した工事費を基礎資料とし、モデル計画の事業採算性の検証を行った。この結果、事業主体を自治体等の公的主体、民間の主体としたいずれの場合についても、全体の工事費を3分の2程度に縮減する必要があることが明らかとなり、中層集合住宅の大規模改修を普及させるためには、工事費の縮減が大きな課題であることが明らかとなった。

参考文献

- 7-1) 高塚直樹：プレキャストパネルへの開口設置によるWPC構造集合住宅改修の設計手法，2009年度首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻修士論文，2010年3月
- 7-2) 畑江未央：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅改修におけるフィージビリティースタディに関する研究，2009年度首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻修士論文，2010年3月
- 7-3) 深尾精一，門脇耕三，阿部順子：団地賦活事例集 フランス・日本，首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 建築学専攻+首都大学東京 COE 研究拠点 4-Met センター，120 pp.，2007年11月
- 7-4) 三井不動産（編集）：これからの賃貸住宅ビジネス プロが教える事業企画から募集、運営管理まで，300 pp.，ダイヤモンド社，2001年6月

第8章 WPC 構造住宅の活用可能性の検討

8.1. 本章の目的 注 8-1)

前章では、法規や改修コスト等、現実的な条件に基づいた大規模改修モデルを策定したが、本章では、これらの条件を一部緩和した条件のもと、潜在的なニーズに適合と考えられる大規模改修モデル計画を策定する。このことによって、WPC 構造住宅の様々な活用可能性を示すことが、本章の目的である。

8.2. 本章で策定するモデル計画の概要

前章で策定したモデル計画（以下、モデル計画 1 と呼ぶ）では、水平方向への開口設置による住棟改修計画案の検討を行ったが、本章で策定するモデル計画（以下、モデル計画 2 と呼ぶ）では、対象住棟のスラブに対して、垂直方向への開口を設置することもあわせて検討することによって、さらに多様な住棟の改修可能性を示す。また、住宅としての活用だけでなく、老人福祉施設を住棟内に設置することを計画し、用途変更の可能性も含めた、将来的なニーズに適った WPC 構造住宅の活用モデルとする。なお、モデル計画 2 については、スラブへの開口設置等の技術的検証は詳細に行っていないことに注意が必要である。

8.2.1. 増築部の計画

モデル計画 1 では、2 階から 5 階までの共用廊下を増築し、全フロア着床のエレベーターを設置する計画とし、2 階以上の全ての住戸に対するバリアフリーアクセスを可能とした。一方で、増築部の工事費が改修コスト全体に対して大きな割合を占めることから、工事費の縮減を目的として、モデル計画 2 では、3 階のみに共用廊下を増築する計画とした（図 8-1）。なお、モデル計画 2 では、床スラブへの開口設置により、メゾネットタイプの住戸が計画されているため、全てのフロアへ共用廊下を新設する必要性がなくなっている。このことにより、増築部の床面積を減少させ、工事費を縮減する計画である。なお、増築部の構造については、モデル計画 1 と同様、独立構造とし、既存分とはエキスパンションジョイントにより切り離すことを前提とする計画とした。

注8-1) 本章は文献 8-1 に加筆修正したものである。



図 8-1 モデル計画 2 の短手方向断面図

8.2.2. 開口設置箇所と開口補強

(1) 床開口設置位置

床開口の設置位置を、図 8-2 に示す。床スラブへの開口設置を伴う改修では、上下階でプライベートゾーンとパブリックゾーンを分離した暮らしや、高さ方向に拡がりのある一体的な空間の利用など、階高の低い躯体では困難な改修の可能性を示す。

メゾネット住戸に関しては、床への開口面積を最小限とし、既存床面積を有効利用する住戸と、大規模な開口を設けることで、空間の豊かさを優先する住戸の 2 タイプに関して、検討を行った。なお、大規模な床開口を設けるタイプは、空室率が高い地方郊外に立地する集合住宅において有効であると考えられる。また、公営住宅法に規定される住戸床面積の上限 80m^2 を遵守しながら、既存建物の容積を有効活用できるという利点もある。

(2) 床開口の補強方法

床開口は、床スラブの下面にコンクリートによる床補強を施すことによって補強する計画とする(図 8-3)。また、床補強の厚みは 80mm とし、補強箇所を下階の天井仕上げによって目立たせない計画とした。床パネルは、壁パネルと接合方法が異なるため、開口のサイズや位置に応じて、随時構造的な検討を行い、適切な範囲にコンクリート床補強を行う計画とする。



図 8-2 モデル計画 2 における床開口設置位置の検討図

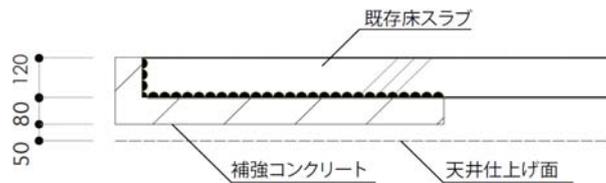


図 8-3 床開口の補強方法の模式図

8.2.3. 住棟計画の考え方

床開口箇所のサイズおよび位置から、住戸計画の有効性が高く、また、構造補強の実現性が高いと判断した6種類のメゾネット住戸プランを導いた。メゾネット住戸は、4階および5階に配置する計画とした。また、住棟北側には共用廊下および外部階段を増築し、北側のバルコニーを介して、住戸と接続する計画とした。3階にはフラットタイプの住戸を配置し、ファミリー世帯居住を想定した住戸として5住戸を計画した。なお、3階の住戸については、壁パネルへの開口設置により、規模変更も施してある。

1階および2階には、老人福祉施設を計画した。老人福祉施設は、6人の入居者が生活可能なグループホームとした。1階の2住戸および2階の4住戸については、要介護者対応住戸として計画し、グループホームの居室とし、1階の4住戸については、グループホームの共用部とした。また、2階の1住戸については、グループホームの職員スペースとして活用し、2F床スラブに開口を新設することによって、グループホームの共用空間と接続する計画とした。以上の配置を図示したものが、図8-4である。なお、現状において、公営住宅の用途変更は、特に公営住宅法や助成制度の制約により困難であるが、ここではそれらの条件を緩和することを前提とした計画を行っている。

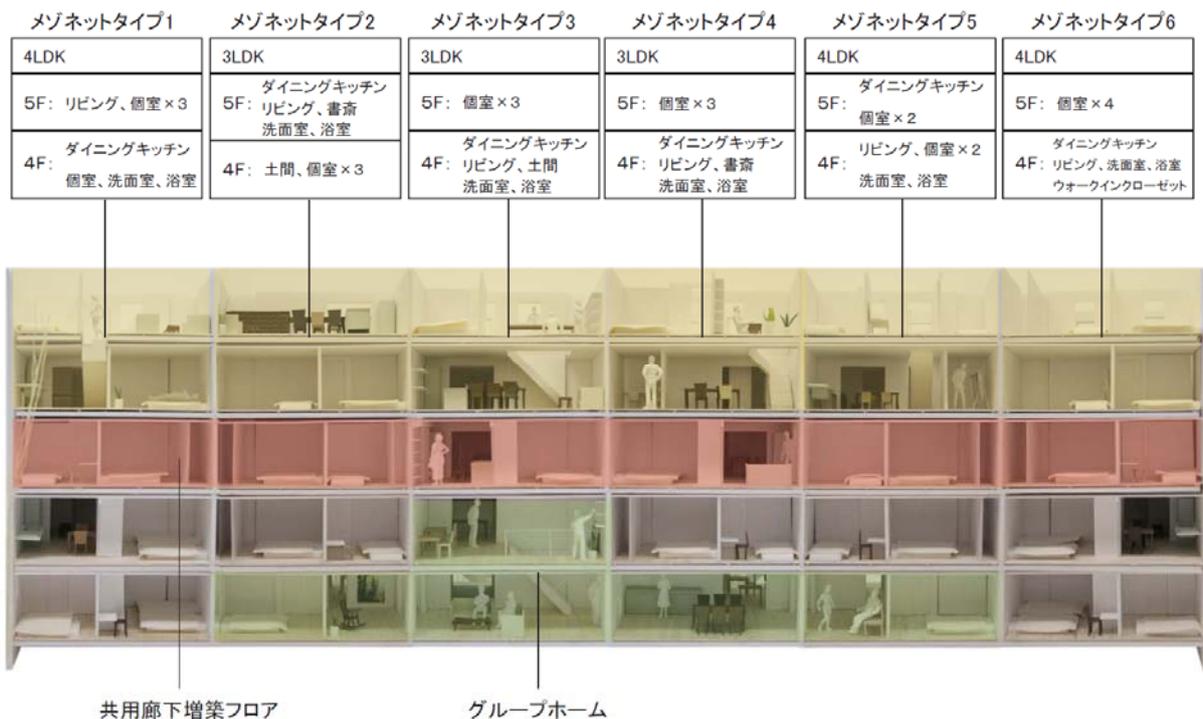


図 8-4 施設計画の考え方を表す既存部の断面ダイアグラム

8.2.4. 住戸計画の考え方

メゾネットタイプ住戸は、6つのタイプの住戸を創出する計画としたが、床開口を最小限とするタイプの代表的な住戸と、床開口を最大とするタイプの代表的な住戸の平面図を、図 8-5 および図 8-6 に示す。

図 8-5 に示した住戸では、公室を上下階に振り分け、親寝室と子寝室を上下階に分離することを想定した計画である。共用部を振り分けることで、既存の床面積を有効に活用することができ、4室確保できることが大きな特徴である。この他にも、公室と私室を上下階で振り分けたタイプなど、様々な住戸の計画を行った。

図 8-6 に示した住戸では、公室と私室を上下階に振り分け、公室を下階に配置し、大きな吹き抜けを設けることで、開放感のある空間を実現する計画としている。

8.2.5. 老人福祉施設の計画の考え方

老人福祉施設タイプは、5住戸を壁パネルへの開口設置等によりグループホームへと用途変更する計画である（図 8-7）。グループホーム入居者は6人を想定しており、床面積は231.74m²である。4住戸分の1階フロアを施設入居者の共用空間とし、1住戸分の2階フロアを施設職員の事務スペースという構成としている。

入居者の居室は3室で1ユニットとし、談話スペースをそれぞれ設けている。また、居室には夫婦

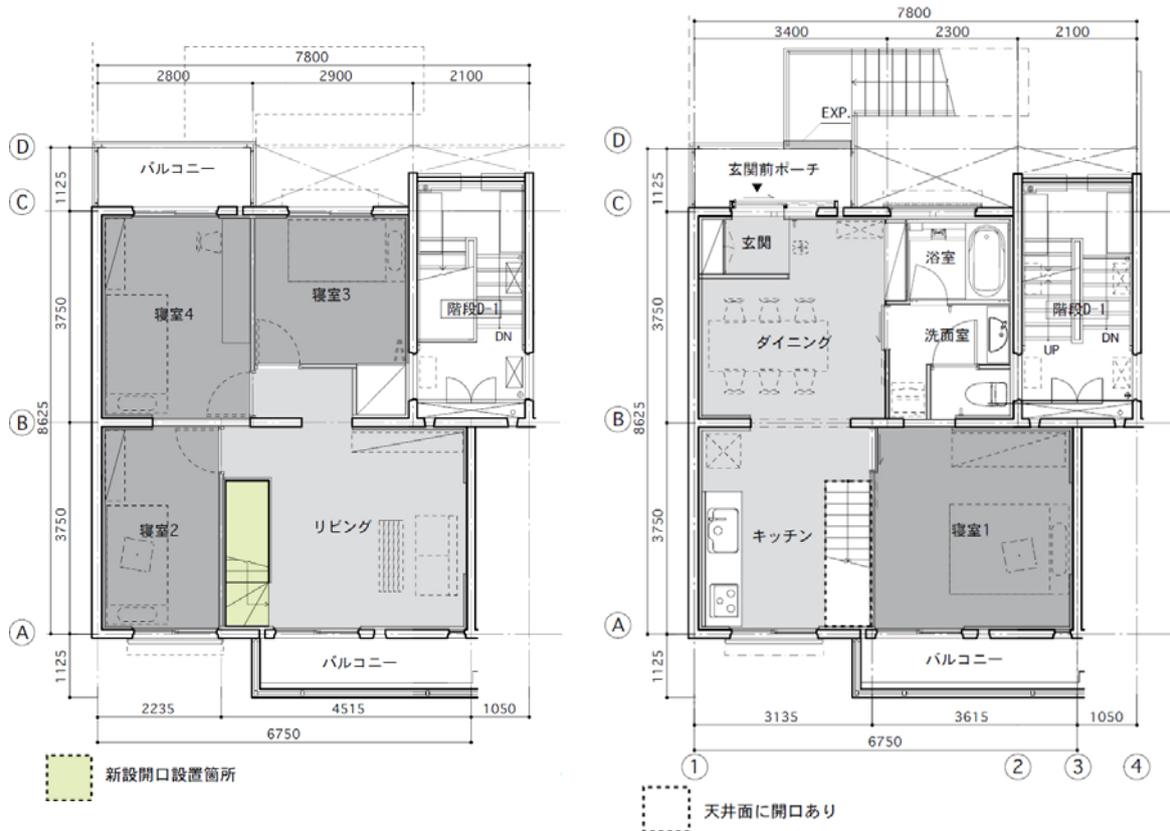


図 8-5 メゾネット住戸（スラブ開口最小タイプ）の平面図（左：下階，右：上階）

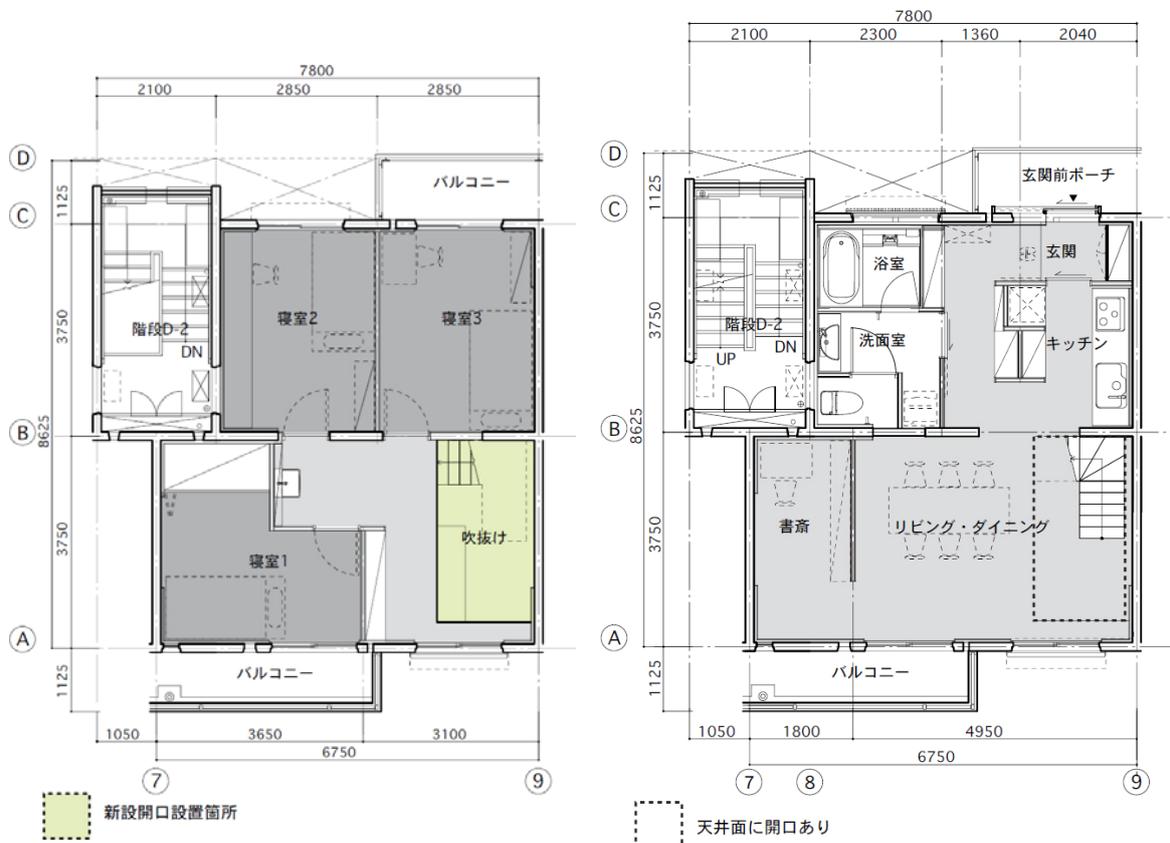


図 8-6 メゾネット住戸（スラブ開口最大タイプ）の平面図（左：下階，右：上階）

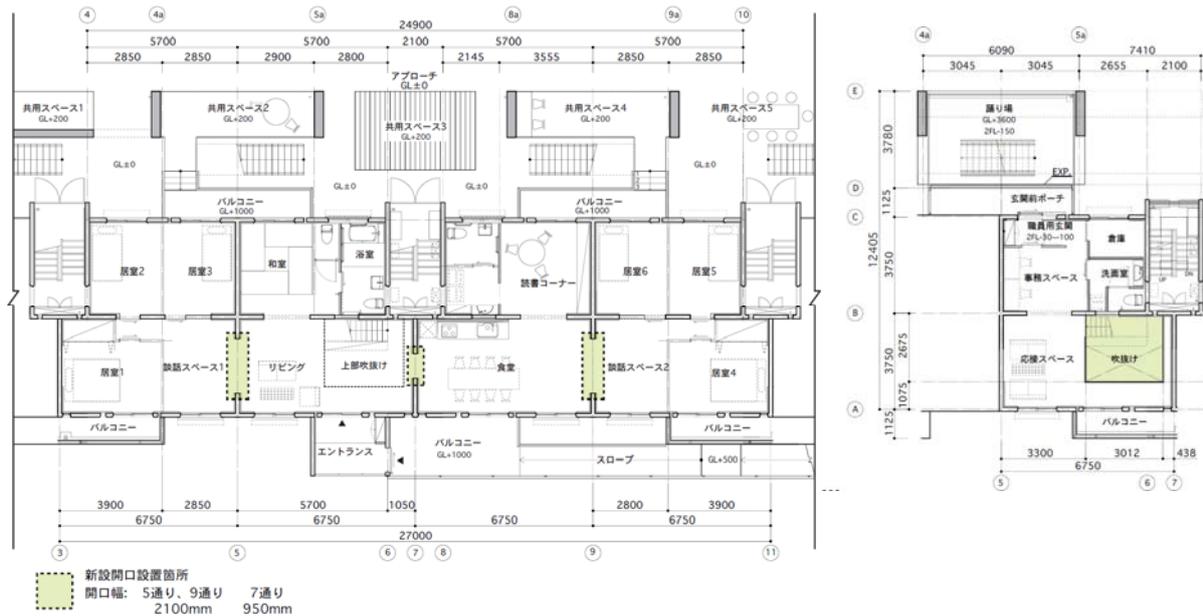


図 8-7 高齢者福祉施設部分の平面図（左：1 階平面図，右：2 階平面図）

での入居も可能な居室を 2 室用意している。プライベートな居室を出ると、3 ユニットが共有するセミパブリックな談話スペースがあり、さらに施設の中央部には、リビングや食堂など、全体で共有するパブリックな空間を段階的に計画している。

グループホームへの用途変更にあたっては、大きな空間を実現する必要があるが、これを可能とするため、壁への新設開口の最大幅は 2100mm とした。このような大きな開口部を設けると、開口を設けた壁パネルは耐震壁として機能しないと考えられるため、ここでは補強を行わない計画とした。したがって、この計画を実現するためには、 I_s 値が従前より下がっても、一定の値を満たしていれば改修を許可するなどの弾力的法規運用が必要になると考えられる。

グループホームへのエントランスとして、南面のバルコニーを改修し、活用する計画とし、バルコニーはスロープを増築している。また、北面のバルコニーは、住棟全体の共有スペースへと繋がる計画としており、これは、施設入居者と一般住戸の居住者の交流を促すことを意図したものである。

8.3. モデル計画 1 とモデル計画 2 の比較

次に、前章で示したモデル計画 1 と、本章で示したモデル計画 2 の比較を行うことによって、モデル計画 2 の検証を行う。

(1) 既存部の計画に関して

モデル計画 1 では、住戸の規模変更を行ないながらも、全体としての住戸数は変更しない計画であったのに対し、モデル計画 2 では、住戸数を 30 住戸から 19 住戸へと変更している。住戸タイプ数に

関しては、モデル計画1が6タイプであったのに対し、モデル計画2では12タイプとし、より多様な住戸を創出する計画としている。

また、モデル計画1では、介護対応住戸を4階および5階に集約した配置としたが、モデル計画2では、1階および3階の低層部に集約しており、高齢者の避難等の安全性をより考慮した計画としている。高齢者が居住することを想定した部分（介護タイプ住戸および高齢者福祉施設）の床面積は、専用部の床面積の約30%であり、この割合は、モデル計画1と比較して、約5%増加している。

(2) 増築部の計画に関して

増築部分の施工床面積は、モデル計画1では445.40m²、モデル計画2では305.85m²であり、30%以上小さくなる計画である。したがって、改修コストの縮減が期待できるという点では、現実性のある提案であるといつて良い。

また、増築部の最高高さについては、モデル計画1が14.5m、モデル計画2が9.9mであり、増築部の塔状比を算出すると、モデル計画1が8.05であるのに対し、モデル計画2は3.09である。高度経済成長期に建設された中層集合住宅ストックは、構造関連規定に関する既存不適格事項を有している場合が多く、既存部と増築部はエキスパンションジョイントで分離した計画とせざるを得ないのが実情であるが、塔状比を抑えることも、増築部の建設コストに繋がるのが期待できる。

8.4. 本章のまとめ

本章では、耐震壁への開口設置だけにとどまらず、床にも開口を設けることを想定したモデル計画を策定した。これにより、上下階の住戸を連結した、垂直2戸1改修のメゾネット住戸や、老人福祉施設等の用途変更にも十分に適応することが可能であり、建て替えによらず、豊かな空間性実現する有効な手法であることが示された。一方で、こうした改修を行うためには、弾力的な法規運用等が必要となることも明らかになった。床スラブへの開口設置手法に関しては、様々な可能性があることが明らかになったものの、技術的検証をさらに行う余地があり、今後の課題である。

参考文献

- 8-1) 高塚直樹：プレキャストパネルへの開口設置によるWPC構造集合住宅改修の設計手法，2009年度首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻修士論文，2010年3月

第9章 今後の課題

9.1. 本章の目的

本研究開発で得られた成果については、各章で「まとめ」として示したので、終章である本章では繰り返さないこととするが、一方で、WPC 構造集合住宅の活用に関して、様々な課題も明らかとなった。そこで、これまで行ってきた WPC 構造集合住宅に関する研究を今後とも継続し、さらに充実させることで、技術の実用化を目指していきたい。そのために、行うべき研究内容をここに整理し、今後の研究方針策定のための資料とする。

9.2. 計画面における今後の課題

計画面の検討の結果、明らかとなった課題を、以下にまとめた。ここでは、(1) 改修コストの縮減、(2) 現行法規の運用等、(3) 住みながら改修技術の開発、(4) 環境への影響評価」、(5) 開発した技術の実地適用」の5つの項目について、課題の整理を行った。

9.2.1. 改修コストの縮減

自治体等へのアンケート調査・ヒアリング調査で明らかとなったとおり、改修コストの縮減は、中層集合住宅ストックの活用を活性化させるために、極めて重要な課題である。一方で、モデル計画のコストを試算した結果、現状のニーズを満たしながら、現在の新築建物程度に性能を向上させると、事業収支計画上適当とされる改修コストの1.5倍程度となってしまうことも明らかになっており、抜本的な解決方法の考案が必要であると考えられる。

モデル計画の改修コスト分析の結果、増築部の占める割合が大きいことが明らかになっており（全体工事費の約35%）、弾力的な法規運用により、既存部と増築部を構造的に一体化させ、既存部に一部耐力を負担させることも、一つの方法であろう。なお、WPC 構造住宅については、既存部の耐力が十分である可能性が高いとの結果が得られている（第2章）。第8章で示したように、一部の住戸のみへのバリアフリーアクセスを実現する計画とし、増築部の面積を抑えることも、一つの方策であろう。

また、今回の開口設置に係わる費用の算出については、設計図からの数量積算による一般的な方法で算出しているが、実際の工事にあたっては、開口部を設置する階数や同時に施工する個所数・場所等によって、直接仮設の方法や資材・廃材の搬出入等の労務関係のコストが変わってくる。またその他の改修工事と同時施工するか否かに依っても共通仮設費等の扱い方も変わってくる。

このため、今後実際に数事例を施工する中で労務関係等のデータを把握し、その結果を分析する事も大切である。これらデータの蓄積・検討を行う事により、施工位置や個所数によってより最適な補強方法が選択やコストの縮減が可能になると考えられる。

9.2.2. 現行法規の運用等

第8章で示したとおり、現行法規の弾力的運用により、大規模改修の障壁が取り除かれる可能性がある。また、上述した増築部の扱いに関しても同様であり、国等による検討が望まれるところである。

一方で、明文化された法規についても、解釈が自治体によって異なる場合があり、これが大規模改修の実施リスクになっていると考えられる。自治体へのヒアリング調査により明らかになったことから一例を挙げれば、改修後の建物の Is 値が、耐震改修促進法の定める値を満たすものであっても、開口設置により従前より Is 値が低下する場合、既存不適格事項の緩和が適用されないとする判断と、適用されるとする判断があった。

このように、法規の解釈に違いがあることは、改修計画を図面として整備し、役所相談を行うまで、その計画が実行可能かどうか、そもそも判別つかない状況も存在しうることを意味しており、事業遂行上は大きなリスクとなる。こうした問題に対しては、国土交通省が統一見解を示すなどの措置が必要であろう。

9.2.3. 住みながら改修技術の開発

既存 WPC 耐震壁に新設開口を設ける場合に、上下階の居住者が一時的に退去する必要なく施工が可能であることの利点は大きい。これまでの構造実験では、B5S 試験体において、新設開口階完結型の補強を目指したが、その効果は十分に検証できていない（せん断スパン比の大きい試験体については、新設開口が最大耐力に与える影響は限定的なことから、補強の効果が十分に確認できていない）。一方で、他の補強試験体では、上下階の壁を連結する接合部の補強により一定の耐震性能の向上が確認されている。上下階の居住者の一時退去なしに、接合部の補強が可能になれば有効な手段と考えられるが、それは開発されていない。今後の課題として検討していく価値が高いと考えられる。

9.2.4. 環境への影響評価

WPC 構造住宅の大規模改修による活用は、建て替えの場合と比して、環境負荷低減効果が大きいと考えられる。今後の研究課題として、モデル計画を用いることなどにより、CO2 削減効果の定量的評価等が必要であろう。

既存の研究成果として、青木ら⁹⁻¹⁾による試算では、既存躯体を再利用する大規模改修工事の場合、新築の場合と比して、80%程度の CO2 削減効果があるとされており、WPC 構造住宅の活用に関しても、大きな効果が期待できる。

9.2.5. 開発した技術の実地適用

以上のような課題を解決するためには、まず開発した技術を実際の改修に適用することが極めて重要であると考えられる。現在までには、開発した技術を実地適用するまでには至っていないが、今後も継続的な努力を続けていく予定である。

9.3. 技術面における今後の課題

技術面における今後の研究課題を整理すると、(1) これまでの研究成果の拡充、(2) 関連新技術開発、(3) 実用化のための環境整備の3項目に大別できると考えられる。それぞれの項目について、具体的な内容を以下に示す。

9.3.1. これまでの研究の拡充

(1) 実験データの詳細分析

2008年度から2009年度にかけて、合計8体のWPC耐震壁の実験を行ったが、そこで得られた実験データは膨大であり、より詳細な分析作業を行う余地が残されている。今後、より詳細な分析を進め、耐震壁の変形状態や接合部の応力状態を理解することを通じて、耐震壁の性状を開口および補強の影響を含めて把握していく必要がある。

(2) 耐震診断手法の評価

WPC構造物の耐震診断規準としては、「既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針」(日本建築防災協会)⁹⁻²⁾が存在するが、WPC構造に関する既往研究は、現場打コンクリート構造の研究に較べて著しく少なく、また同じコンクリート構造であることから共通する力学的性状も多く、現場打コンクリートの研究成果を応用する形でまとめられている。ただし、新設開口を設けることで、水平接合部位置が壁板に対して変則的な位置になった場合に、その耐力をどのように評価するかといったことや、補強の効果を反映させた形での建物の耐震性能評価は対象範囲外である。また、現場打コンクリート構造の既往研究からの知見をどの範囲でどのように応用するのか議論は不十分である⁹⁻³⁾。本研究で得られた知見をもとに、耐震診断手法の枠組み・精度をより高めていくことが可能であり、有意義であると考えられる。

(3) 解析による建物の保有耐力評価

耐震壁実験で得られた荷重-水平変位関係は、静的な増分解析によりその包絡曲線を良好な精度で評価することができた。解析では、PCa壁板の接合部を弾塑性ばねにモデル化した他、壁の弾塑性せん断ばねも用いている。これらのばねの復元力特性については、耐震壁実験とは別に実施した接合部の

要素実験や耐震壁実験とのキャリブレーションおよび既往研究を参照する形で設定している。

今後、耐震壁実験の解析モデルを拡張していくことで、建物全体の耐震性評価を行っていく必要がある。最大耐力後の負剛性を含む復元力特性を有するばねを多数含むモデルを用いて静的増分解析を実施すると、解析が非常に不安定になる可能性がある。このような状況への対処方法を考えながら進める必要がある（場合によっては、負剛性を含まないモデルを用いて塑性変形率から崩壊を評価するなどの方法も考慮する）。

さらには、動的な解析にも拡張させ、静的な解析との比較や、様々な地震動に対する限界レベルの特定などにより、より高度な耐震性能の評価が可能と考えられる。

(4) 連層開口設置の場合の解析による補強効果の確認

連層開口を有する耐震壁の性能を実験的に評価するためには、新設開口左右の壁が独立した壁として挙動できるような工夫が必要となる。そのためには、実験で用いた載荷用のスタブ（試験体上下の載荷治具への固定部分）も開口左右の壁に合わせて分割する必要があり、それにより試験体および載荷方法は大幅に複雑になることが考えられる（あるいは、連層の複数階の壁を試験体として作成することになる）。これまで実施してきた実験では、限られた予算で、できるだけ種類の多い試験体を作成し、開口補強効果を含めた力学的性状を確認する目的から（連層開口を有しない壁の実験との比較を容易にすることも目的として）スタブは一体として実験してきた。比較検討に有意義なデータが蓄積できたが、連層開口の挙動把握については不完全である。今後は、連層開口を設置した場合の耐震壁挙動を解析的に評価することを考える。連層壁では、開口左右の独立した壁を連結する境界梁と直交壁との接合部（鉛直接合部）への損傷が予想できるが、これらの挙動に関する基礎データは必ずしも十分ではない（境界梁については、新設補強部材であり、比較的評価しやすいが、鉛直接合部に関しては、十分に挙動が理解できていない面もある）。何が不明確なのかを明らかにしながら大局的な挙動把握を進める必要がある。

(5) 実大実験による接合部の性状把握

水平接合部（セッティング・ベース：SB）の挙動把握を目的として、耐震壁実験と同じ 1/2 スケールの要素実験を行った（SB 周辺の上下階壁の一部を抽出して載荷実験を行った）。そこで得られた鉛直方向の荷重-変位関係をもとに、解析モデルにおける弾塑性ばねを設定し、耐震壁実験の結果を評価した。SB に溶接された上下階壁の接続筋は壁の面外方向に対して偏心しており、それによる曲げモーメントの影響とみられる SB ガセットプレートの面外変形（と隅肉溶接破断）が SB の破壊形式となっていることが要素実験および耐震壁実験で確認されている。特に、耐震壁実験においては、直交壁の接合部が面外方向にずれることで、上記の曲げモーメントが増幅され、要素実験の結果よりも最大引張強度が小さくなることが考えられたことから、解析における SB の最大引張耐力を低減させて、実験との比較検証を行った。実験では上下階の SB ガセットプレートの隅肉溶接が破断したのに対し、設計時の思想としてはガセットプレートにフレア溶接した接続筋の破断を破壊メカニズムとしていたことが考えられ、得られた実験結果との相違は、1/2 スケールで 4.5mm 厚となったガセットプレート

の隅肉溶接が技術的に困難であり、相対的に強度が低くなっていることが一因と考えられる。

上記のような SB の挙動をより詳しく確認する目的で、実大スケールの SB 要素実験を実施する予定である。1/2 スケールの場合には試験体の作成をできるだけ簡易にする目的から、SB 周辺の上下階壁を一体的に作成してコンクリートを打設したが、実大スケールでは WPC 建物の建設順序に即して、上下階の壁を個別に作成して SB の溶接接合により一体化する。壁の面外方向の変形により耐力がどのように変化するのかを実験的に調査する。

9.3.2. 関連技術開発

(1) 床開口設置技術の開発

既存床スラブに開口を設ける技術は上下階を連結させた立体的な住戸プランを可能にする上で必要であり、その需要も大きいと考えられる。WPC 構造における床スラブは一般的に単純支持構造であることから、開口を設けた場合、スラブそのものへの補強が現場打ちスラブ以上に必要になると考えられる。また、スラブにより壁板は面外方向の変位を拘束されているが、床開口によりその拘束力が低減することが考えられる。壁の地震時の挙動を含めて耐震壁の性能への床開口の影響を評価することは困難と考えられるが、計画的な床開口必要位置の検討と合わせて構造的な問題の整理と、問題解決のための検討方法を考えていく必要がある。

(2) 1階基礎梁および最上階における補強部材定着技術の開発

これまでに実施した耐震壁実験では、標準的な階として5階建て建物の2から4階を対象に、新設開口への補強方法を考案してきた。B5S試験体を除き、連続する上下階耐震壁への定着を含めた補強になっている。これらの補強方法は1階および最上階の5階に開口を設ける場合、それぞれ基礎梁および屋根スラブに補強部材を定着させる必要があることから、これまでの補強方法を単純には適用できない。1階および最上階における開口新設手法を考案することで、より幅の広い改修計画が可能になると考えられる。特に、1階における開口新設の需要は大きく、基礎梁への補強部材定着技術とその性能評価が必要である。また、連層で各階同位置に開口を設置する場合、基礎梁から屋根スラブまでを通して補強部材を設けることも考えられ、それを実現するための技術としての需要もある。

(3) より経済的な増築部（共用廊下）構造計画の提案

これまで実施してきた増築部共用廊下の試設計案では、既存 WPC 建物と一体化した場合の耐震性能の評価が十分にできていないことと、増築に関する法規的な制約によって一体化は困難であるとの判断から（実用性と汎用性を重視する目的から）、エキスパンション・ジョイント(Exp.J.)を用いた分棟としてきた。既存 WPC 構造建物は高い耐震性能を有すると考えられ、増築部のコストを低減させる目的からは、既存部との一体化が有効と考えられる。5階建ての建物でエレベーターを3階まで設ける最小限の配置とし、鉄骨構造による軽量建物とすることなどで、コストを抑える計画が考えられる。耐火設計による耐火被覆の省略あるいは削減と組合せることができればさらによい。合理的な設計に

よるコスト削減は改修計画を促進する上で有効と考えられる。

9.3.3. 実用化のための環境整備

(1) 改修設計・施工マニュアルの整備

研究の成果を使いやすい形で整備しておくことが、実用化のためには重要である。そのために、改修設計および施工方法のガイドラインを用意したい。これにより技術的に可能なことが明確にされていけば、事業者にとっても改修計画の方針決定の手助けになると考えられる。

9.4. おわりに

以上、本研究開発では、WPC 構造集合住宅の PCa 板への開口新設を伴う改修手法について、総合的な開発・検討を行ってきた。本章で整理したとおり、WPC 構造集合住宅の活用をより一層活発にするためには、多くの課題が考えられるが、本研究開発の成果により、これらのストックの活用への道は開かれたと考えられ、当初の目的は十分達成することができた。既に述べたとおり、研究活動は今後も継続し、技術の完成度をより高めるとともに、普及促進にあたっていく所存である。

なお、本研究開発は、アンケート調査・ヒアリング調査にご回答いただいた自治体の皆様を始め、多くの方々のご協力をいただき進めたものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 9-1) 青木茂：建築再生へーリファイン建築の「建築法規」正面突破作戦ー，232 pp.，建築資料研究社，2010年3月
- 9-2) 日本建築防災協会：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針，第2版3刷，2008年
- 9-3) 今泉麻由子，北山和宏，高木次郎，見波進，坂元尚子，和田芳宏：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅の耐震性能と開口新設後の性能評価手法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2 構造 IV，pp.655-656，2009年8月