

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

WPC構造 耐震診断 大規模改修
開口新設 性能評価 プレキャスト耐震壁

正会員 今泉麻由子^{*1} 同 高木 次郎^{*2} 同 坂元 尚子^{*1}
同 北山 和宏^{*2} 同 見波 進^{*2} 同 和田 芳宏^{*1}

1 背景・目的

我が国の既存壁式プレキャストコンクリート(WPC)構造の集合住宅ストックは、高度経済成長期に建設された中層公共住宅が非常に高い割合を占めており、全国で110万戸を超えている¹⁾。これらの既存構造躯体は今後数十年の使用に耐えうるほど健全でありながら、住戸プランの計画が画一的、面積狭小、エレベーターの未設置などの問題からさらに使い続けるには早急な対応が必要である。今日の多様な住様式などの社会的な需要にこたえるために、耐震壁に開口を設けることを含めた平面計画の変更およびエレベーターの設置を伴うバリアフリー化といった改修方法の提案を目指した研究^{2,3)}が建築計画的に行われているが、開口設置に伴い躯体の壁量が減ることから構造的な性能評価が必要である。

本稿では、70年代に建設されたWPC造集合住宅で類似例の多い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性能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 建物概要

対象建物は、実在する「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、略軸組図を図1,2に、水平接合部詳細を図3に示す。

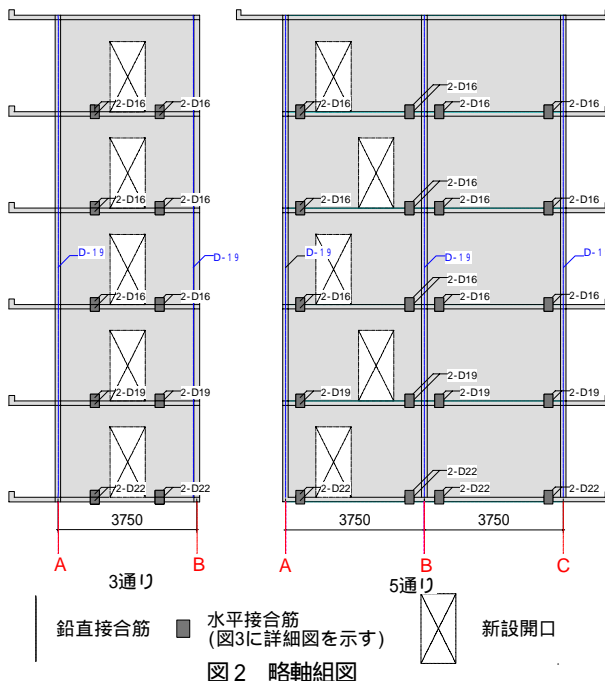


図2 略軸組図

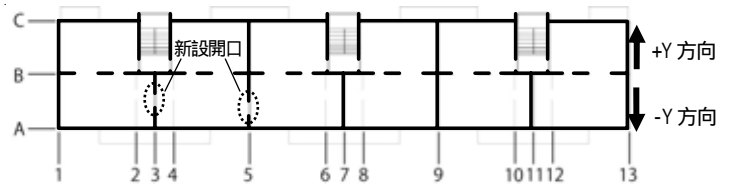


図1 略平面図

表1 診断結果

階	式 ^{**}	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	I _s 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

階	方向	式 ^{**}	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	I _s 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

階	方向	式 ^{**}	F値	C _{TU} 値	F=1.0のときのC _T 値	I _s 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	1.40	0.88	1.21	1.27
	+Y	4	1.46	1.21	1.37	1.77
3	-Y	4	2.00	0.53	0.90	1.14
	+Y	4	1.50	0.85	0.92	1.28
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	0.77	0.93
	+Y	4	1.46	0.75	0.84	1.10

^{*}) 網掛けを採用値とする。

^{**}) 4式は靱性依存型の評価式、5式は強度型の評価式を示す。

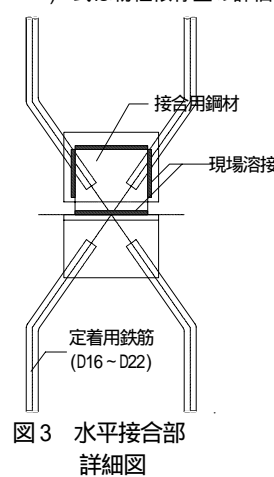


図3 水平接合部詳細図

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)、コンクリートの推定圧縮強度は27N/mm²、鉄筋強度は普通丸鋼は294N/mm²、異形鉄筋は344N/mm²とした⁴⁾。また、新設開口は1階から5階の3通りと5通りに図2のように設置するものと仮定した。

3 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⁴⁾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、図1参照)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 I_{so} を0.6、累積強度指標 $C_{TU} \cdot S_D$ 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た。耐震診断指標 I_s 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 I_s 値が決まっており、若干の靱性に期待している。

現状の張間方向は、 I_s 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。これらより桁行方向、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。

張間方向に開口を新設すると、 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5~10%程度低下し、 I_s 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 $I_{so}=0.6$ 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。

4. 診断結果の見直し

4.1 再評価の方法

現存する多くのWPC造建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⁴⁾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。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qlw) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_o \right\} (r_j \cdot t_c \cdot j)$$
 開口を新設した壁を指針通りに評価すると、図4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 $p_{te}(=a_t / (l \cdot t_c))$ 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 $t_c(=t + A/l)$ 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。

4.2 再評価の結果

再評価の結果を表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1.28から1.42に約1.1倍増大したが修正後も変わらず-Y方向が採用値となるので、3階の I_s 値は1.14にとどまる。

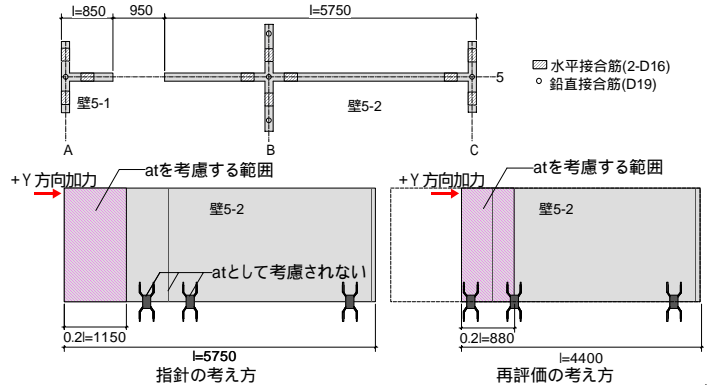


図4 再評価の考え方

表2 3階5通りの壁の強度の再評価

壁	方向	$Q_{mu}(kN)$	$Q_{su}(kN)$	$Q_{hu}(kN)$	C_w 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3 3階評価結果

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	0.90	1.14
	+Y	4	1.50	0.85	0.92	1.28
3(再評価)	-Y	4	2.00	0.53	0.91	1.14
	+Y	5	1.50	0.95	0.92	1.42

Q_{mu} は耐震壁の終局曲げ強度、 Q_{su} は耐震壁の終局せん断強度、 Q_{hu} は耐震壁の水平接合部の終局せん断耐力、 C_w 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。

5 まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1)標準的な5階建てWPC造集合住宅の第二次耐震診断を実施し、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。

謝辞 本研究で第二次耐震診断を実施するにあたり、太田勤氏(株式会社堀江建築工務研究所)及び堀富博氏(シグマ建築構造研究所)からアドバイスを頂きました。ここに記して謝意を表します。なお本研究は、国土交通省の「建設技術研究開発助成制度」(研究代表者:小泉雅生)を受けて行った。

参考文献 1)プレハブ協会:プレハブ協会40年史,2003年 2)BELCA:公共住宅における大規模改修事例集:2003年 3)増子洋:ストック活用による都市型コレクティブハウジング-I アパートメントコレクティブ改修プロジェクト-:首都大学東京大学院工学研究科建築学専攻:平成19年度修士論文 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年

*1 首都大学東京大学院

*2 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域

*1 Graduate School, Tokyo Metropolitan University

*2 Graduate School of Environmental Sciences, Dept. of Architecture, Tokyo Metropolitan University