

1995年兵庫県南部地震で生き残ったRC造中層建物の耐震診断と地震応答解析による耐震性能評価

正会員 白井 遼 1*
同 北山 和宏 2**
同 青木 茂 2**

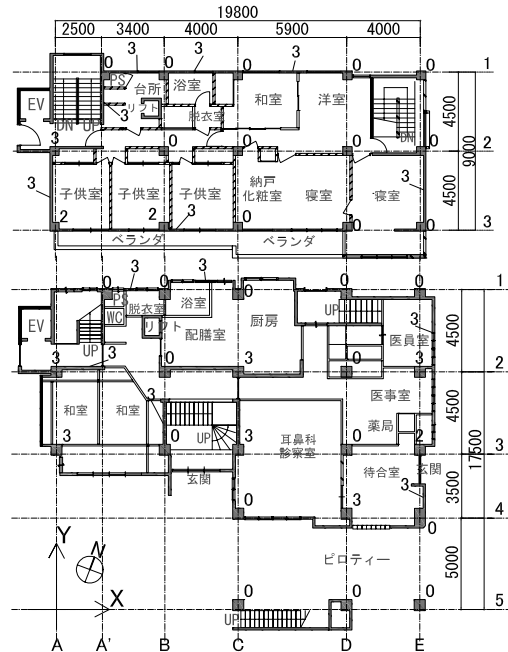
兵庫県南部地震 RC造建物 耐震性能
耐震診断 構面外壁 地震応答解析

1.はじめに 1995年兵庫県南部地震では鉄筋コンクリート(RC)造建物にも甚大な被害がみられた。被害が甚大な建物に関しては過去に多くの研究がなされているが、被害が小さかったRC造建物に対する研究は少ない。本研究で検討対象としたF医院は、神戸市灘区に現存し2008年に青木茂建築工房によってリファインされた建物である。地震直後の調査報告¹⁾によれば、F医院は無被害と判定されたが周辺のRC造建物には大破、中破のものが多くみられた。本論では既往の研究²⁾に引き続き、F医院が大地震を生き抜いた原因を検討し、その地震時挙動を把握することを目的とした。

2.建物概要 F医院は1972年竣工のRC造建物で兵庫県南部地震の際に震度7を経験した。東西(X方向)4スパン、南北(Y方向)2スパンからなる5階建ての中層部分と、東西、南北各2スパンからなる2階建ての低層部分がL字形に配された構成であり、両者は構造的に一体である。低層部分はY方向に耐震壁のないピロティである。1階と4階の平面図を図-1に、1通りの軸組図を図-2に示す。図-1中で鉛直部材に付している数字は損傷度を示し、両図中の斜線部はコンクリートブロック壁を示す。架構形式は両方向ともに耐震壁付フレーム構造である。耐震壁はX方向には多く設置されているがY方向は少ない。下階壁抜け柱は1階のA通り3柱、1・2階のE通り2・3柱である。当該敷地は第2種地盤で直接基礎であった。主要な柱の断面寸法は600×600mmであり、柱のせん断補強筋の間隔は、1,2階:150mm(せん断補強筋比Pw=0.14%)、3-5階:200mm(Pw=0.11%)であった。コア抜きによる各階のコンクリート圧縮強度は1階から上へ17, 21, 13.9, 15.7, 17.3MPaであった。鉄筋鋼材種は異形鉄筋がSD30(σy=344MPa)、丸鋼がSR24(σy=294MPa)で、降伏点は文献³⁾に基づき設定した。

3.被災度区分 文献⁴⁾に基づいて算出した各階の耐震性能残存率Rと被災度区分を図-3に示す。Rが小さいことよりX, Y方向ともに3, 4階で被害が大きかったことがわかる。また、Rは4階で最も小さく62%で、これによる本建物の被災度区分は大破に近い中破であった。

4.第2次耐震診断 耐震性能を把握するため、第2次耐震診断³⁾を実施した。診断の詳細を既往の研究²⁾に記す。通常の2次診断(以下通常と称す)とジャンカおよび構面外のRC壁(以下構面外壁と称す)を考慮した場合(以下両者考慮と称す)の診断結果を表-1に示す。X方向では、ジャンカの影響で1階のIs値が0.05低下したが、2つの診断パターンで大きな違いはみられず耐震性能が相当に劣った階はな



鉛直部材に付している数字は損傷度を示している。

図-1 平面図(上:4階,下:1階)

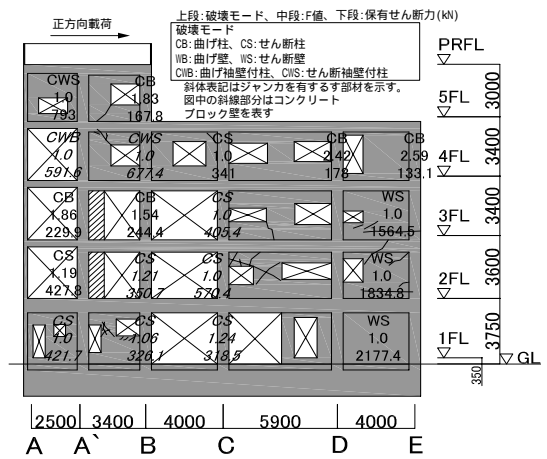


図-2 1通り軸組み図

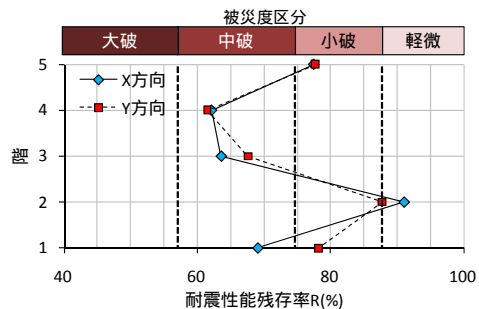


図-3 耐震性能残存率

かった。Y 方向では、構面外壁の影響により特に 2, 4, 5 階で I_s 値が 0.1 以上増加し、1 階以外 0.6 を超えた。構面外壁が F 医院の耐震性能を大きく向上させたと判断する。

5. 多質点系解析

5.1 解析の概要と復元力モデルの設定 地震時の挙動を把握するため、建物を 5 質点せん断型モデルに置換した非線形地震応答解析をプログラム ERA⁵⁾を用いて実施した。解析ではジャンカおよび構面外壁を考慮した。各層に 2 次診断でのグルーピング結果を基に、せん断部材のせん断強度（荒川平均式により算出）の総和を最大強度とするパネと、曲げ部材の最大強度の総和を降伏強度とするパネを設定し、これらのパネを合わせたものを層の復元力特性とした。せん断部材は原点指向型モデル、曲げ部材は武田モデルを履歴則として使用した。原点指向型モデルは、せん断強度到達後の耐力低下を考慮するため最大耐力後の負勾配を以下のように設定した。各層で柱は文献⁶⁾、耐震壁は文献⁷⁾に基づき、袖壁付柱は破壊モードに応じて柱もしくは耐震壁と同様に、最大強度後の負勾配を算出し部材種（柱、耐震壁、袖壁付柱）毎に平均値を求め、せん断部材に占める各部材種の耐力比を平均値に乗じて足し合わせた値を最大耐力後の負勾配の値とした。復元力特性の応答事例を図-5（後述）に示す。層の強度に対するせん断部材の寄与分が大きい。これは X, Y 方向の全層で共通である。使用地震波は大阪ガス荻合供給所の観測原波で、5~25 秒までを入力した。地動加速度の最大値は X 方向で

686.5gal, Y 方向で 802gal である。減衰は初期剛性に比例するとして 1 次固有周期に対して 3%の減衰定数を設定した。

5.2 解析結果 X, Y 方向の各層の応答層間変形角の最大値を図-4 に、Y 方向 1 層のせん断部材と曲げ部材の荷重変形関係を図-5 に示す。X 方向では、応答層間変形角は 3, 4 階で 0.35%と最も大きく、次に 1 階で 0.29%であった。全層とも応答はひび割れ点と降伏点の間であった。応答層間変形角の分布は図-3 の耐震性能残存率 R の分布と類似しており、実被害と良く対応した。Y 方向では、応答層間変形角は 1 階で 1.86%と最も大きく、次に 3 階で 0.37%であった。1 層のせん断部材は最大耐力以降の荷重低下域に入り、負方向最大層間変形時の荷重は最大強度時の 68%であった。これよりせん断部材はせん断破壊が進行したと判断する。曲げ部材も負方向で降伏に至り剛性が低下した。しかし実際には、1 層の鉛直部材はせん断破壊せず、Y 方向の 2 階床梁に数カ所でせん断破壊がみられた²⁾。本解析では梁を剛として各層の耐力を算出したが、現実には梁が先にせん断破壊したため柱への入力小さくなった。よって荷重変形関係の履歴性状が実被害と異なると考えられる。

6.まとめ 震災から十余年使われ続けた F 医院の実被害を評価し耐震性能を検討した。2 次診断より、特に Y 方向で構面外の RC 壁によって耐震性能が大きく向上したことがわかった。これが、本建物が兵庫県南部地震を生き抜いた要因の 1 つである。多質点系解析では、X 方向では層間変形角は 3, 4 層で最も大きく 0.35%であった。層間変形角の分布は耐震性能残存率 R の分布と類似していることから、実被害を再現できた。Y 方向では、1 層の層間変形角が 1.86%と他の階に比べて大きくなった。解析ではせん断部材は最大強度以降の軟化域に達し、曲げ部材は降伏したが、これは実被害と異なっていた。現実には梁の幾つかがせん断破壊したため、柱への入力小さくなったことがこの差異の原因と考えられる。

表-1 2次診断結果(網掛けは I_s が 0.6 未満)

階	SD	T	X方向				Y方向			
			通常		両者考慮		通常		両者考慮	
			I_s	Ctu*SD	I_s	Ctu*SD	I_s	Ctu*SD	I_s	Ctu*SD
5	0.9	0.95	0.83	0.82	0.83	0.83	0.87	0.89	1.05	1.09
4	0.81		0.62	0.66	0.60	0.60	0.62	0.66	0.75	0.79
3	0.81		0.59	0.61	0.59	0.62	0.54	0.57	0.60	0.63
2	0.81		0.68	0.69	0.71	0.73	0.54	0.57	0.66	0.70
1	0.9		0.65	0.67	0.61	0.63	0.46	0.48	0.49	0.51

SD:形状指標 T:経年指標 I_s :構造耐震指標 Ctu:終局時累積強度指標 Y方向SDはX方向と同値により省略

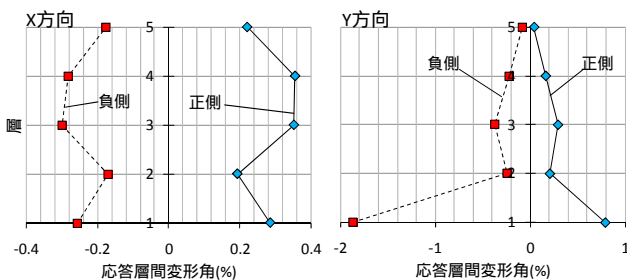


図-4 応答層間変形角の最大値(左:X方向,右:Y方向)

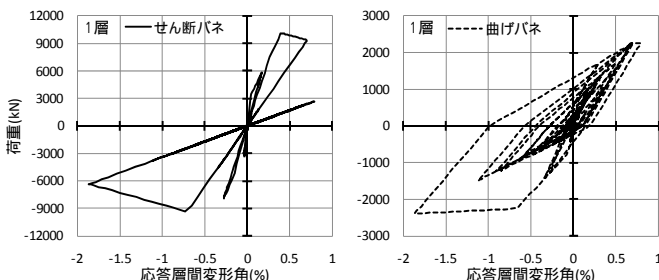


図-5 Y方向1層の荷重変形関係(左:せん断部材,右:曲げ部材)

謝辞 本研究の実施にあたり、F 医院に関する資料を提供いただいた青木茂建築工房神本豊秋氏、地震応答解析プログラム ERA を提供して下さった大林組勝保英雄氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献 1)日本建築学会:1995 年兵庫県南部地震災害調査速報, pp.93,1995,3 2)白井遼,北山和宏ら:1995 年兵庫県南部地震で生き残った RC 中層建物の耐震性能,日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp511-512, 2010.9 3)日本建築防災協会:既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説, 2001.10 4)日本建築防災協会:震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2001.9 5)関松太郎,勝保英雄ら:阪神・淡路大震災における被災建築物の統計的分析(3),大林組技術研究所報,特別号,1996 6)芳村学,高稲宜和:崩壊変形を含む鉄筋コンクリート柱の荷重低下域における挙動の定式化,日本建築学会構造系論文集,第 587 号, pp163-173, 2005.1 7)壁谷澤寿海,緒方恭子:鉄筋コンクリート壁フレーム構造の終局強度設計(その1)動的効果による耐震壁のせん断破壊,日本建築学会関東支部研究報告集, pp161-164, 1984.7

* 1 (株)戸田建設, 工修

* 1 Toda Corporation, Mr. Engineering

**2 首都大学東京,教授,工博

** 2 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Engineering.