

## 2. 地震被害をうけた事務所ビルの被害分析 および耐震補強事例

福本 昇  
佐藤 尚隆  
森 浩二

### 要 旨

兵庫県南部地震によって中破程度の被害を受けた鉄筋コンクリート造建物について被害分析を行い、その建物の耐震補強を行った。本建物が地震で被害をうけた主たる原因は、腰壁の存在による柱のせん断余裕率の低下、壁の偏在による外フレームの層間変形角の増大等によるものと推測した。その結果、2次診断法による耐震診断を行い、構造耐震指標が構造耐震判定指標を上回るように本建物の耐震補強を行った。本報告は、その被害分析、耐震診断結果および補強事例について述べる。

### キーワード

兵庫県南部地震／耐震診断／耐震補強／偏心率／せん断余裕率／損傷度／炭素繊維シート／  
構造耐震指標

### 目 次

1. はじめに
2. 建物概要
3. 建物の被害
4. 耐震補強
5. ま と め

## 2. ANALYSIS OF THE DAMAGED OFFICE BUILDING DUE TO THE EARTHQUAKE AND EXAMPLE OF IT'S SEISMIC STRENGTHENING

Noboru Fukumoto  
Hisataka Sato  
Koji Mori

### Abstract

After analyzing the reinforced concrete structure damaged moderately due to the Hyogoken-Nanbu Earthquake, strengthening was implemented. The main factors for the damage have been presumed to be the decrease of shear span ratio caused by the existing spandrel wall and the increase of the story drift angle of the outer frame caused by the unsymmetrical layout of the wall.

As a result, seismic diagnosis was conducted by the secondary diagnosis method and strengthening was executed so that structural seismic index exceeded the standard structural seismic index. This paper reports on the analysis of the damaged building, the result of the seismic diagnosis and the example of seismic strengthening.

## 1. はじめに

1995年1月17日（火）午前5時46分に発生した兵庫県南部地震は、神戸市中央区、灘区、東灘区を中心にして、6000名を超える死者と20万棟以上におよぶ建物に甚大な被害をもたらした。

本建物は、昭和46年に神戸市中央区に建設された事務所ビルであるが、その建設位置が震度7の地域<sup>1)</sup>に近接していたこともあり、この度の地震で大きな被害をうけた。本建物は、地震直後の応急危険度判定<sup>2)</sup>では「危険」と判定されたが、その後再調査された時の被災度区分判定では、中破と判定された。

その結果、本建物は、建て替える案と改修する案の2案について検討されたが、最終的に、建物を補修・補強して再使用することになった。

## 2. 建物概要

### 2.1. 建築概要

- ・建設場所：神戸市中央区
- ・用途：事務所ビル
- ・建築面積：295㎡
- ・階数：地上4階、地下1階、塔屋1階
- ・軒高さ：14.7m

図-1に建物の1階平面図を、図-2,3に南、西立面図を示す。また、図中には地震時に発生したひび割れ位置を示す。

### 2.2 構造概要

- ・架構形式：ラーメン構造および耐震壁付ラーメン構造
- ・構造種別：鉄筋コンクリート造
- ・柱梁断面：柱 断面寸法 55×55cm～55×60cm  
主筋 8-D22～22-D25+2-D22  
帯筋  $\phi 9@100$   
梁 断面寸法 30×60cm～40×90cm  
主筋 上端・下端 2-D19～8-D25  
あばら筋  $\phi 9@150\sim$   
 $@250 \phi 13@100$   
壁 厚さ120mm  $\phi 9 @250$ タテヨコ共  
シングル  
厚さ150mm  $\phi 9 @250$ タテヨコ共  
ダブル

- ・材料：鉄筋 SD295,SR235  
コンクリート 普通コンクリート  
 $F_c=180\text{kgf/cm}^2$

## 3. 建物の被害

### 3.1 主な被災状況

図-4に1階の柱・壁の損傷度を示す。写真-1,2に建物の被害状況を示す。

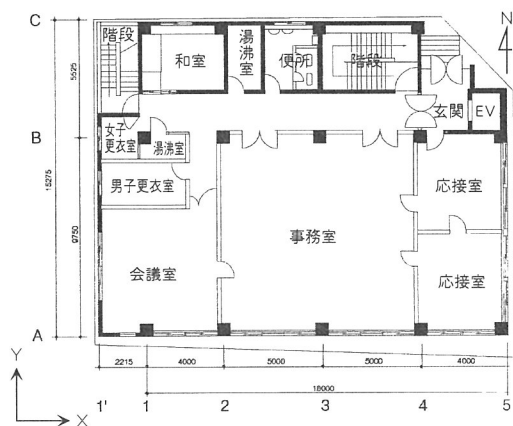


図-1 1階平面図

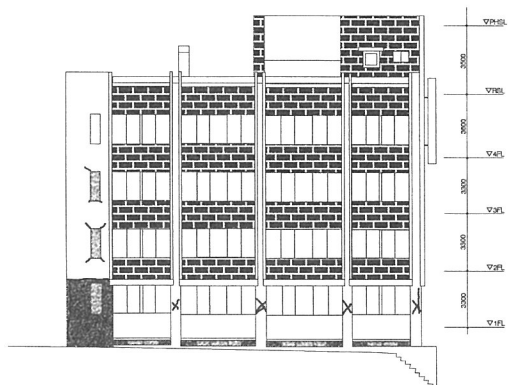


図-2 南立面図

南面A通の1階柱では、東西方向（X方向）の地震力に対して柱中央にせん断ひび割れが発生した。柱のひび割れ幅の最大値は1cm程度で、仕上げモルタルが剥落し、かぶりコンクリートが剥離していた。せん断ひび割れは、柱を貫通するものもあったが、コアコンクリートに圧壊はみられなかった。また、柱主筋には変形はみられなかった。これら1階柱の損傷度はⅢ～Ⅳであった。

西面の1' 通の壁は、フレーム外のもので、地震力によって1階部分の大きい開口部の左右でせん断破壊した。それらの損傷度はⅣであった。

東面5通のB通柱にはせん断ひび割れが発生しており、それに接続するEVシャフトの壁はせん断破壊していた。それらの損傷度はⅢとⅣであった。

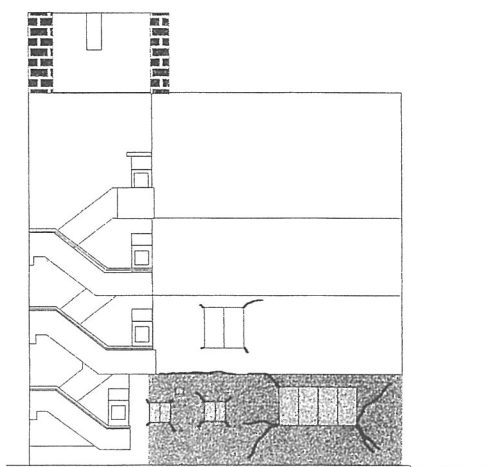
上記以外の1階の柱は損傷度がⅠ～Ⅱ程度であった。

2階から上部の階では、南面A通りの2～3階柱で損傷度Ⅰ程度のひび割れがみられ、西面1' 通の2階壁で損傷度Ⅱ程度のせん断ひび割れが発生した。

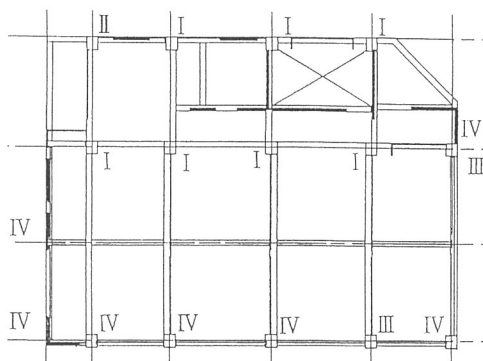
柱にせん断ひび割れが多くみられたのに対し、各階の梁には、ひび割れはほとんどみられなかった。

本建物は、被災度区分判定<sup>2)</sup>で $\Sigma Di=42$ となり中破と判定された。

本建物では、1階に被害が集中し、地下階では被害がほとんどみられず、建物全体の沈下、傾斜もみられなかった。



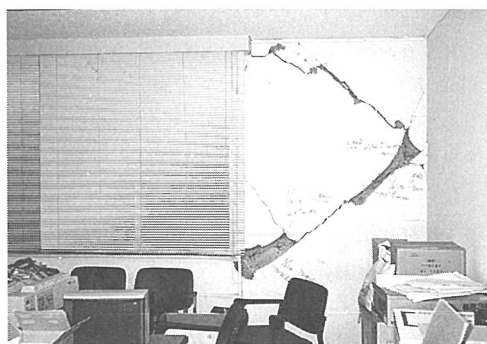
図－3 西立面図



図－4 1階柱・壁の損傷度



写真－1 A通り1階柱の損傷状況



写真－2 1'通り1階壁の損傷状況

## 3.2 主な被害の要因

### 1) 偏心率

表-1に各階の偏心率を示す。

X方向については、C通りフレームに壁が偏在しているために、各階の偏心率は0.234～0.281と大きくなった。このために、剛性の低いA通りフレームの層間変形角が大きくなり、入力せん断力が大きくなったと考えられる。

### 2) せん断余裕率

表-2にA通りの1階柱のせん断余裕率を示す。

A通りフレームの柱間には腰壁が存在することから、柱の曲げ強度の算定は、せん断スパン比に腰壁を考慮したものとし、ないものを用いて行った。

腰壁を考慮しない場合のせん断余裕率は1程度で、腰壁を考慮した場合のせん断余裕率は0.78～0.99となった。このことから、予想以上の地震力が作用した場合には、柱の曲げ降伏に先行して柱にせん断破壊が生じると考えられる。

### 3) 地震応答解析

解析モデルは4質点系擬似立体せん断型モデルとし、1階床位置を固定とした。各フレームの復元力特性は武田モデルおよび原点指向型とした。減衰は剛性比例型とし、減衰定数を3%とした。入力地震動は神戸海洋気象台EW波およびNS波とし、それぞれをX方向あるいはY方向から入力した。

入力地震動は25cm/s、50cm/sおよびほぼ弾性限耐力時に相当する41cm/sとした。表-3に入力地震動の種類と強さを、表-4に地震応答解析結果を示す。

Y方向41cm/sおよびX、Y方向50cm/s地震動入力時には、フレームの塑性率が1を上回った。

X方向25cm/sおよび41cm/s地震動入力時の1階A通りフレームの層間変形角は、それぞれ1/1500および1/235となり、これらは重心位置の層間変形角の約1.6倍であった。また、これらの層間変形角は柱にひび割れを発生させると考えられる。

本建物では、C通りの1階壁の損傷が小さく、A通りの1階柱に損傷が大きかったのは、A通りフレームの層間変形角が瞬間的に大きくなった為と考えられる。

Y方向の各フレームの層間変形角は重心位置の層間変形角とほぼ同程度であった。

表-1 各階の偏心率 (単位 m)

| 階   | 数   | 重心位置  | 剛心位置   | 偏心距離  | 偏 心 率 |
|-----|-----|-------|--------|-------|-------|
| 4 階 | X方向 | 9.107 | 7.043  | 2.064 | 0.234 |
|     | Y方向 | 8.483 | 10.473 | 1.990 | 0.214 |
| 3 階 | X方向 | 8.644 | 7.416  | 1.228 | 0.274 |
|     | Y方向 | 8.274 | 10.591 | 2.317 | 0.135 |
| 2 階 | X方向 | 8.476 | 7.542  | 0.933 | 0.298 |
|     | Y方向 | 8.183 | 10.670 | 2.487 | 0.107 |
| 1 階 | X方向 | 8.401 | 6.548  | 1.853 | 0.281 |
|     | Y方向 | 8.130 | 10.517 | 2.388 | 0.223 |

注) 壁の剛性低下率を  $\beta = 0.5$  として算出

表-2 1階柱のせん断余裕率(補強前) (単位 tf)

| 柱 位 置                     | A,1   | A,2   | A,3   | A,4   | A,5   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| せん断強度 $Q_{su}$            | 47.60 | 47.60 | 48.30 | 47.60 | 43.30 |
| 曲げ強度 $Q_{mu}$             | 腰壁考慮  | 60.50 | 60.50 | 61.90 | 60.50 |
|                           | 腰壁無視  | 44.21 | 44.21 | 45.23 | 44.21 |
| せん断/曲げ<br>$Q_{su}/Q_{mu}$ | 腰壁考慮  | 0.79  | 0.79  | 0.78  | 0.79  |
|                           | 腰壁無視  | 1.08  | 1.08  | 1.07  | 1.08  |

表-3 入力地震動の種類と強さ

|                       | 神戸海洋気象台 EW波 |       |       | 神戸海洋気象台 NS波 |       |       |
|-----------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| 速度 cm/s               | 25.0        | 41.0  | 50.0  | 25.0        | 41.0  | 50.0  |
| 最大加速度 $\text{cm/s}^2$ | 204.0       | 334.0 | 408.0 | 225.0       | 370.0 | 451.0 |

表-4 重心位置とA通りフレームの層間変形角

| X方向 |        | 25cm/s      |        | 41cm/s      |        | 50cm/s      |  |
|-----|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--|
| 階   | 重心位置   | A通り<br>フレーム | 重心位置   | A通り<br>フレーム | 重心位置   | A通り<br>フレーム |  |
| 4   | 1/4500 | 1/3000      | 1/1636 | 1/765       | 1/1565 | 1/818       |  |
| 3   | 1/2538 | 1/1571      | 1/507  | 1/253       | 1/445  | 1/264       |  |
| 2   | 1/2200 | 1/1375      | 1/330  | 1/173       | 1/268  | 1/164       |  |
| 1   | 1/2357 | 1/1500      | 1/366  | 1/235       | 1/195  | 1/167       |  |
| Y方向 |        | 25cm/s      |        | 41cm/s      |        | 50cm/s      |  |
| 階   | 重心位置   |             | 重心位置   |             | 重心位置   |             |  |
| 4   | 1/2117 | —           | 1/734  | —           | 1/493  | —           |  |
| 3   | 1/2062 | —           | 1/336  | —           | 1/266  | —           |  |
| 2   | 1/2062 | —           | 1/251  | —           | 1/207  | —           |  |
| 1   | 1/3000 | —           | 1/242  | —           | 1/196  | —           |  |

#### 4)耐震診断

被災前の建物の1次および2次診断法<sup>3) 4)</sup>による耐震診断結果を表-5に示す。図-5に各階の構造耐震指標(Is)と構造耐震判定指標(Iso)の比を示す。

構造耐震判定指標は、1次診断法では $Iso=0.8$ 、2次診断法では $Iso=0.6$ とした。(耐震診断は(株)構造システム DOC-RC/SRCを用いて行った。)

X方向の $Is/Iso$ については、1～3階で1次診断法では $0.55\sim0.83$ 、2次診断法では $0.77\sim0.9$ となり、それぞれ1を下回った。

Y方向の $Is/Iso$ については、1次診断法では1階～3階で $0.56\sim0.80$ 、2次診断法では1階で $0.95$ となり、それぞれ1を下回った。

以上のことから、本建物では特にX方向の耐震性能が劣っていると考えられる。

表-5 耐震診断結果(補強前)

| X方向 | 1次診断 |      |        | 2次診断 |      |        |
|-----|------|------|--------|------|------|--------|
|     | Eo   | Is   | Is/Iso | Eo   | Is   | Is/Iso |
| 階   |      |      |        |      |      |        |
| 4   | 0.79 | 0.85 | 1.06   | 0.74 | 0.75 | 1.25   |
| 3   | 0.62 | 0.66 | 0.83   | 0.52 | 0.52 | 0.87   |
| 2   | 0.50 | 0.54 | 0.68   | 0.45 | 0.46 | 0.77   |
| 1   | 0.41 | 0.44 | 0.55   | 0.48 | 0.54 | 0.90   |

| Y方向 | 1次診断 |      |        | 2次診断 |      |        |
|-----|------|------|--------|------|------|--------|
|     | Eo   | Is   | Is/Iso | Eo   | Is   | Is/Iso |
| 階   |      |      |        |      |      |        |
| 4   | 0.91 | 0.98 | 1.23   | 0.88 | 0.89 | 1.48   |
| 3   | 0.59 | 0.64 | 0.80   | 0.66 | 0.74 | 1.23   |
| 2   | 0.48 | 0.52 | 0.65   | 0.61 | 0.68 | 1.13   |
| 1   | 0.42 | 0.45 | 0.56   | 0.51 | 0.57 | 0.95   |

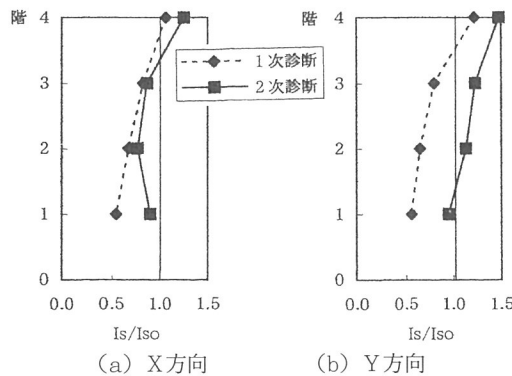


図-5 各階の $Is/Iso$ 値

#### 4. 耐震補強

本建物では、今後、兵庫県南部地震と同程度の規模の地震が起こっても、被害が現状よりもかなり小さくなるように、2次診断法で構造耐震指標が構造耐震判定指標( $Iso=0.6$ )を上回るように補修・補強を行うこととした。

補強した主な部位とその補強内容を以下に述べる。

##### 1)A通りの1～3階柱

補強後のA通り1階柱断面を図-6に、補強後のA通り1階柱のせん断余裕率を表-6に示す。柱の増し打ちおよび炭素繊維シート巻き補強を行ったときの施工状況を写真-3、4に示す。

柱に増し打ちして断面を大きくすることで、曲げ強度を大きくすると共に、炭素繊維シート巻き補強を行ってせん断強度を大きくした。A通りの1階柱のせん断余裕率は $1.21\sim1.65$ となった。

柱の補強は、一旦、柱表面から約1mの範囲の腰壁を削り取ったうえで、全断面にわたって行った。その後、腰壁を復旧した。

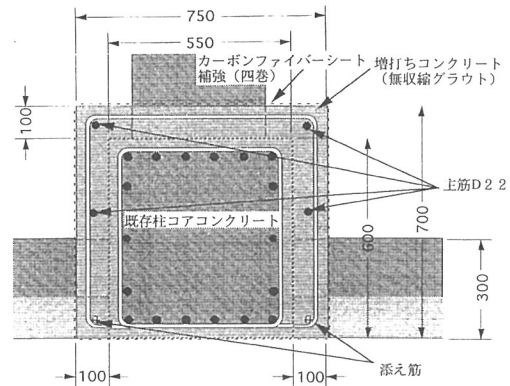


図-6 補強後の柱断面

表-6 A通り1階柱のせん断余裕率 (単位: tf)

| 柱位置                    | A,1    | A,2    | A,3    | A,4    | A,5    |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| せん断強度 $Q_{su}$         | 109.70 | 109.70 | 110.30 | 109.70 | 103.90 |
| 曲げ強度 $Q_{mu}$          | 88.90  | 88.90  | 91.10  | 88.90  | 64.30  |
| せん断/曲げ $Q_{su}/Q_{mu}$ | 1.23   | 1.23   | 1.21   | 1.23   | 1.62   |

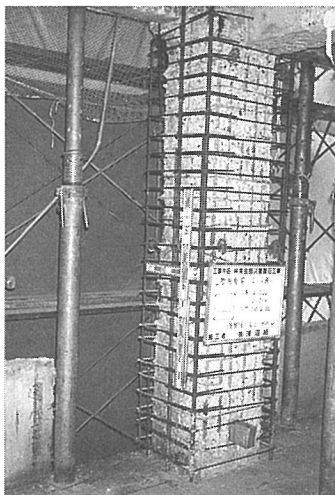


写真-3 柱の増し打ち施工状況



写真-4 炭素繊維シート巻き施工状況

## 2) B通りの1～3階柱

柱に炭素繊維シート巻き補強を行い、せん断強度を大きくし、曲げじん性を向上させた。

## 3) フレーム外の1'通りの壁

1階部分の壁を打ち替えることとし、開口部を取りやめて無開口壁とした。

## 4) A通りの地下壁

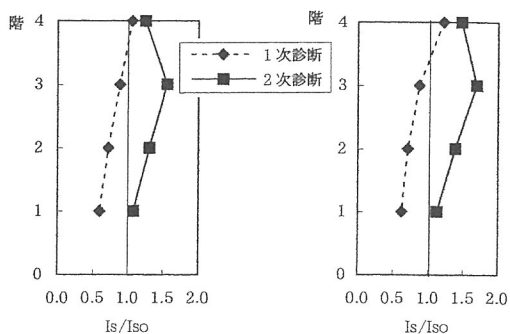
柱内法全般にわたって明かり取り用の窓があるために、地下の柱が極短柱となっているので、開口部分の窓を無くして無開口壁とした。

表-7に補強後の建物の1次および2次診断法による耐震診断結果を示す。図-7に各階の $I_s/I_{so}$ の値を示す。

表-7 耐震診断結果(補強後)

| X方向 | 1次診断 |      |        | 2次診断 |      |        |
|-----|------|------|--------|------|------|--------|
| 階   | Eo   | Is   | Is/Iso | Eo   | Is   | Is/Iso |
| 4   | 0.79 | 0.85 | 1.06   | 0.74 | 0.75 | 1.25   |
| 3   | 0.66 | 0.71 | 0.89   | 0.83 | 0.94 | 1.57   |
| 2   | 0.54 | 0.58 | 0.73   | 0.70 | 0.79 | 1.32   |
| 1   | 0.44 | 0.48 | 0.60   | 0.57 | 0.65 | 1.08   |

| Y方向 | 1次診断 |      |        | 2次診断 |      |        |
|-----|------|------|--------|------|------|--------|
| 階   | Eo   | Is   | Is/Iso | Eo   | Is   | Is/Iso |
| 4   | 0.91 | 0.98 | 1.23   | 0.88 | 0.89 | 1.48   |
| 3   | 0.64 | 0.70 | 0.88   | 0.91 | 1.02 | 1.70   |
| 2   | 0.52 | 0.57 | 0.71   | 0.74 | 0.84 | 1.40   |
| 1   | 0.46 | 0.50 | 0.63   | 0.60 | 0.68 | 1.13   |



(a) X方向

(b) Y方向

図-7 各階の $I_s/I_{so}$ 値

以上の補強工事を行ったことで、2次診断法による構造耐震指標 $I_s$ 値は0.6を上回り、 $I_s/I_{so}$ の値は1.13～1.7となり所要の耐震性能が得られた。

## 5. まとめ

- 1) 本建物では、腰壁の存在による柱のせん断余裕率の低下および壁の偏在による偏心率の増大が特徴的な被害要因であると推定できた。
- 2) 本建物は、柱断面の増し打ちおよび炭素繊維シート巻き補強を行ったことで、2次診断法による構造耐震指標値が0.6を上回った。
- 3) 本建物では、フレーム外の1階壁、地下壁等の開口部の存在が構造体に悪影響を及ぼしていると考えられることから、それらを、無開口壁とした。

本建物の耐震補強を行うにあたっては、(財)日本建築総合試験所 構造物試験室長 益尾 潔工博に御指導をいただきました。ここに記して、深く感謝いたします。

〔参考文献〕

- 1)日本建築学会近畿支部鉄筋コンクリート構造部会：  
「1995年兵庫県南部地震 コンクリート系建物被害  
調査報告」
- 2)(財)日本建築防災協会：「震災建築物等の被災度判定  
基準および復旧技術指針」
- 3)(財)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」
- 4)(財)日本建築防災協会：「建築物の耐震診断システム  
マニュアル 鉄筋コンクリート造」