

10. 建築物被害（松田）

10.1 建物被害の概要

本節ではまず消防庁災害対策本部より出された福岡県西方沖を震源とする地震(第 31 報)に基づき，4 月 15 日 8 時 30 分現在の九州・山口地方の住家被害の概要を報告する．

表-10.1.1 九州・山口地方の住家被害

	住家被害		
	全壊	半壊	一部損壊
福岡	453	1,032	3,707
佐賀		1	120
長崎	1		13
山口			1
大分			2
合計	454	1,033	3,843

表-10.1.1 に示すように福岡県及び近県の全壊建物は 454 棟，半壊建物は 1,033 棟，一部損壊は 3,843 棟である．被害は震源に近かった福岡県の福岡市に集中している．

福岡市災害対策本部発表の 4 月 13 日現在の家屋被害概要を表-10.1.2,表-10.1.3 に示す．

これらの表によれば木造やプレハブの戸建て系家屋の被害数は西区が最も多く，次いで東区，早良区，中央区，博多区の順となっている．南区と城南区は被害が少ない．非木造の共同住宅系家屋の被害数は中央区が最も多く，次いで博多区，東区，西区の順になっている．南区と城南区は殆ど被害が無い．

福岡市内の各地の震度は東区と中央区が震度 6 弱，西区と早良区が震度 5 強，博多区と城南区は震度 5 弱であるが，震源に近い西区の玄界島や西浦，宮浦地区と東区の志賀島に特に被害が集中している．また，震度 6 弱を記録した中央区の舞鶴から大名，警固，薬院の警固断層沿いにも被害が認められる．

福岡市災害対策本部発表の市立学校(園)の施設被害状況では全体の約 8 割の学校で何らかの被害があった事が報告されている．体育館の使用を制限している学校も 9 校あり，玄界島では小学校と中学校が閉鎖されている．

表-10.1.2 福岡市の家屋被害被 戸建て系（木造・プレハブ）

被害区分	全市	東区	博多区	中央区	南区	城南区	早良区	西区
全壊	21	3	5	4	1	0	1	7
大規模半壊	4	2	0	0	0	0	0	2
半壊	128	19	3	20	2	0	19	65
一部損壊	3645	989	226	226	6	32	401	1765
計	3798	1013	234	250	9	32	421	1839

西区は玄界島を除く被害

表-10.1.3 福岡市の家屋被害被 共同住宅系（非木造）

被害区分	全市	東区	博多区	中央区	南区	城南区	早良区	西区
全壊	3	0	1	2	0	-	0	0
大規模半壊	0	0	0	0	0	-	0	0
半壊	18	2	0	13	1	-	1	1
一部損壊	327	32	105	172	-	-	17	1
計	348	34	106	187	1	-	18	2

西区は玄界島を除く被害

表-10.1.4 に建築基準法の耐震設計にかかわる変遷を示す。表より建築構造物では 1981 年以前の旧耐震設計法で設計されたものが震度 6 以上の地震に対して大きな被害を受ける可能性のあることがわかる。また、福岡地区は地域係数が 0.8 に設定されており、例えば東京の 1.0 と比較すると荷重レベルが 2 割小さく、その分耐震性が劣っていることも忘れてはならない。表-10.1.5 に木造住宅における必要壁量の変遷を示すが。平屋では昭和 34 年〔1959 年〕の改正で壁の量が 30～40%増加して耐震性が向上している。2 階建てでは昭和 34 年の改定でまず壁の量が 50%近く増加し。更に昭和 56 年〔1981 年〕の改正で 40%近く増加し大幅に耐震性が向上している。逆にいえば平屋で 1959 年以前の建物と 2 階建て 1981 年以前の建物は現行の建物と比較すると地震に対して脆弱な構造と言える。

表-10.1.4 建築基準法の耐震設計にかかわる変遷

1950 年 建築基準法の公布 震度 5 程度の中地震に対しては建物機能の保持を図る設計思想。震度 6 以上の大地震に関しては明確な規定は無い。木造住宅においては床面積に応じて必要な筋違い等を入れる壁量規定が定められた。 1950 年から 1971 年に建設された建物は RC 造の場合、柱や壁の量、あるいは帯筋が不足している時、S 造の場合接合部の強度が不足しているときに震度 5 程度の地震でも損傷を受ける場合がある。震度 6 以上の大地震に対しては建物によっては大きな被害を受ける可能性あり。
1971 年 建築基準法の改正 1968 年の十勝沖地震の被災経験に基づき鉄筋コンクリート造建物の柱のせん断補強筋の規定が強化された。木造住宅においては基礎はコンクリート造または鉄筋コンクリート造の布基礎とされた。 1971 年から 1981 年に建設された建物はピロティや形状が不整形でねじれの恐れがある建物は中地震でも損傷を受ける可能性あり。震度 6 以上の大地震に対しては建物によっては大きな被害を受ける可能性あり。
1981 年 建築基準法の改正 新耐震設計法 1978 年の宮城県沖地震後に耐震設計法が抜本的に見直され大幅に改正された。対象とする

地震を，震度 5 程度の中地震と震度 6 以上の大地震の二段階とし、それぞれに対して目標とする耐震性能を明確に規定した。建物の耐震性能としては強度だけでなくじん性を確保し、建物の周期，地盤条件，形状等の影響も考慮した。

1981 年以降の建物は中地震に対しては損傷があったとしても軽微で，その修復は容易であり，建物機能は維持される。大地震に対してはある程度の損傷が生じても崩壊や圧壊を防止して人命の保護を図る。この新耐震設計法による建物は 1995 年の兵庫県南部地震においても被害が少なかったことが報告されている。

1995 年 建物の耐震改修に関する法律制定〔耐震改修促進法〕

1995 年の兵庫県南部地震の教訓に基づき耐震改修促進法が施行され 1981 年以前建物には耐震診断が義務付けられた。

表-10.1.5 木造住宅における必要壁量の変遷 (cm/m²)

建築物の種類	屋根および壁の重い建築物			屋根の軽い建築物		
	平屋	2 階建		平屋	2 階建	
		1 階	2 階		1 階	2 階
昭和 25 年改正	12	16	12	8	12	8
昭和 34 年改正	15	24	15	12	21	12
昭和 56 年改正	15	33	21	11	29	15

10.2 中央区の舞鶴，大名，警固，薬院の被害

このエリアは福岡市の中心である天神地区に隣接しており，飲食店，オフィスビル，マンション等が混在するエリアである．この地区の直下には警固断層が南北に走っており，断層の西側で基盤が浅く，東側では基盤が深くなっており，東側には厚い堆積層が存在する．大名にある免震オフィスの基礎上で観測された地震記録によれば加速度は NS 方向で最大 489gal となっており，ここのエリアで地震動が大きく増幅されたものと考えられる．代表的な被害事例を図-10.2.1～図-10.2.6 に示す．図-10.2.1～図-10.2.4 は今泉 2 丁目にある 1998 年竣工の SRC 造 14 階建てのマンションである．外見上は外壁の剥離程度の損傷しか認められないが，内部は大きな被害が生じている．1 階は駐車場であり地面との境界部に段差等は認められるが，一階の柱には損傷は認められない．しかしエレベータホールに入ると壁には明瞭なせん断亀裂が認められた．2 階以上は住居部分であるが全層に渡って二次壁にはせん断亀裂が認められた．また，扉部分は面外方向に変形しており，高さ方向の変形が生じた可能性も考えられる．住民からの聞き取り調査によれば地震時には非常に大きなゆれに見舞われ，部屋の内部は本棚，食器棚などが倒れガラスの破片等が散乱しており，大きな被害が生じている．部屋によっては扉の変形により地震後の避難に支障をきたし，隣人の助けにより窓を破壊して脱出したとのことである．

図-10.2.5 は大名 1 丁目の鉄筋コンクリート造の 4 階建てのビルで 1 階の柱 2 本が大破して内部の鉄筋がむき出しとなり折れ曲がった．廊下の壁にも亀裂が認められ，応急危険度判定士が「危険」と判定した．倒壊の恐れがあるため避難勧告がビル周辺部を含めて出された．図-10.2.6 は舞鶴 2 丁目の材木店のビルで同様に倒壊の恐れがあるため避難勧告がビル周辺部を含めて出された．

図-10.2.7 は大名地区で観測された地震動の 5%減衰の加速度応答スペクトルである．0.4 秒から 0.7 秒付近が卓越しているのがわかる．大名地区の近傍では中層のマンション等の被害が多数見受けられたが，一般に建物の固有周期(T)と高さ(H_m)の関係として次式がある．

$$T=0.02H(\text{S 造})$$

$$T=0.015H(\text{SRC 造、RC 造})$$

階高を 3～4m と仮定すれば，階数 N に対して次式ができる．

$$T=0.06N \sim 0.08N(\text{S 造})$$

$$T=0.045N \sim 0.06N(\text{SRC 造、RC 造})$$

上記の式で SRC 造の 14 階建ての固有周期を概算すると 0.63～0.84 秒となり先の加速度応答スペクトルの卓越周期ともほぼ一致する．したがって，大名地区の中層のマンションは地盤の卓越周期に対して共振した可能性も考えられる．

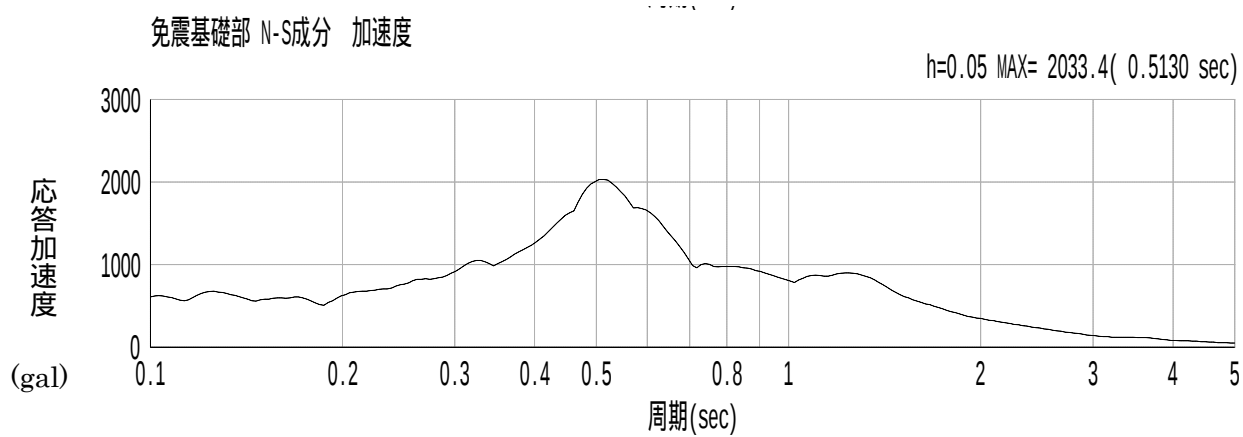


図-10.2.7 大名地区で観測された地震動の加速度応答スペクトル



図-10.2.1 被害の大きかった今泉 2 丁目のマンション



図-10.2.2 エレベータホールの壁のせん断亀裂



図-10.2.3 住居部分の壁のせん断亀裂



図-10.2.4 面外変形した扉



図-10.2.5 倒壊の恐れがあるため周辺まで避難勧告が出されたビル



図-10.2.6 倒壊の恐れがあるため周辺まで避難勧告が出された材木店

10.3 玄界島の被害

玄界島は、糸島半島から海上を北に3 kmほど隔てて浮かぶ、周囲4 km、標高218 m(遠見山)、面積117 km²の小島である。島の人口はおよそ800人ほどで、大半は漁業を営んでいる。家屋のほとんどが南東部の斜面に建てられていて、迷路のように入り組んだ石段が島の人々の生活道路である。玄界島は今回の福岡県西方沖地震の震源からは約8kmの距離にあり、家屋のほとんどが斜面建てられていたこともあり、擁壁の被害とあいまって多数の家屋に大きな被害が発生した。代表的な被害事例を図-10.3.1～図-10.3.18に示す。目立った被害としては老朽化した木造家屋の倒壊や屋根の被害、および擁壁の崩壊に伴う連鎖的な家屋の被害である。10.1に述べたように2階建以下の木造住宅は建設年の古い物ほど壁の量が少ないため地震に対して脆弱であり、被害が大きい結果となっている。新しい住宅は斜面に建っているものも含め、殆ど被害は認められなかった。

10.4 西浦・宮浦地区の被害

西浦・宮浦地区は福岡市西区の糸島半島北端にあり、玄界島同様に福岡県西方沖地震の震源からは約10kmの距離と近く大きな揺れで多数の被害が発生した。住宅街は沿岸部の平地であり、玄界島のような急傾斜地は少なかった。被害の形態は玄界島と類似しており老朽化した木造家屋の被害や屋根の被害が多数見受けられたが、新しい住宅の被害は認められなかった。代表的な被害事例を図-10.4.1～図-10.4.18に示す。

10.5 弘、勝間、志賀地区の被害

弘、勝間、志賀地区は福岡市東区の北西端に位置し、玄界島や西浦・宮浦地区と同様に福岡県西方沖地震の震源からは約15kmの距離と近く大きな揺れで多数の被害が発生した。住宅街は志賀島の沿岸部の平地と丘陵部にあり、玄界島のような急傾斜地は少ない。ここでの被害も玄界島や西浦・宮浦地区と同様であった。老朽化した木造家屋の被害や屋根の被害が多数見受けられるが、最近建設されたと思われる住宅は構造的被害は全く見受けられない。代表的な被害事例を図-10.5.1～図-10.5.18に示す。



図-10.3.1 玄界中学校 外見上は大きな損傷は認められない



図-10.3.2 玄界中学校 階段部の損傷



図-10.3.3 玄界中学校 窓枠コーナーの亀裂

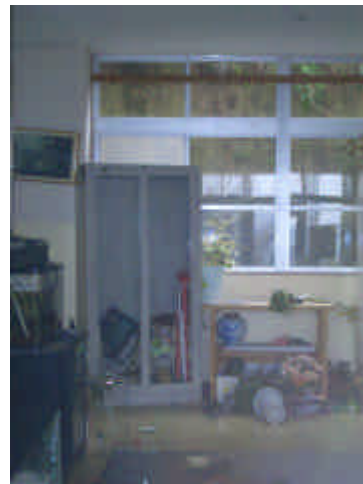


図-10.3.4 玄界中学校 建物内は用具散乱



図-10.3.5 傾斜した木造家屋 玄界島



図-10.3.6 玄関の柱が脱落 玄界島



図-10.3.7 玄関の柱が基礎から移動した住宅 玄界島



図-10.3.8 倒壊した木造倉庫 玄界島



図-10.3.9 ブルーシートは屋根の被害 玄界島



図-10.3.10 屋根が被害を受けた住宅 玄界島



図-10.3.11 玄界小学校 傾いた門柱



図-10.3.12 玄界小学校 壁に鉛直方向の亀裂



図-10.3.13 玄界小学校 コーナー部の壁の亀裂



図-10.3.14 玄界小学校 激しい揺れの痕跡



図-10.3.15 新しい住宅は無被害 玄界島



図-10.3.16 1階が倒壊寸前の住宅 玄界島



図-10.3.17 擁壁の崩壊を伴う住宅被害 玄界島



図-10.3.18 ベランダの支柱の変形 玄界島



図-10.4.1 倒壊の恐れがある木造住宅 西浦



図-10.4.2 木造住宅の屋根の被害 西浦



図-10.4.3 柱・壁の亀裂 西浦



図-10.4.4 鉛直方向の壁の亀裂 西浦



図-10.4.5 壁の大きな亀裂 西浦



図-10.4.6 壁の大きな亀裂と落下 西浦



図-10.4.7 ブロック塀の損傷 西浦



図-10.4.8 新しい住宅は無被害 西浦



図-10.4.9 木造住宅の屋根の被害 宮浦



図-10.4.10 白壁の塀に入った亀裂 宮浦



図-10.4.11 開口部から伸びた亀裂 宮浦

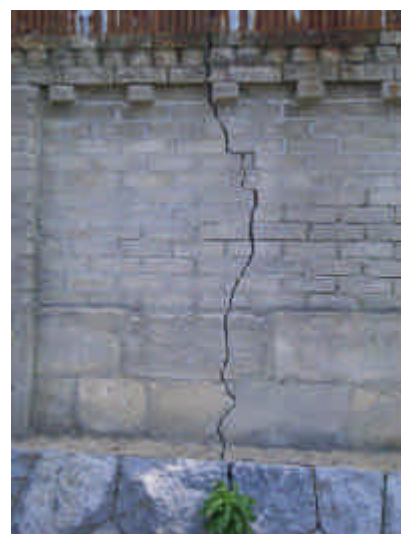


図-10.4.12 ブロック塀の亀裂 宮浦



図-10.4.13 接合部に生じた鉛直方向の亀裂 宮浦



図-10.4.14 塀の隅角部の亀裂 宮浦



図-10.4.15 屋根と外壁の被害 宮浦



図-10.4.16 外壁のせん断亀裂 宮浦



図-10.4.17 隅角部の亀裂とモルタル落下 宮浦



図-10.4.18 新しい住宅は無被害 宮浦



図-10.5.1 木造住宅の屋根の被害 弘



図-10.5.2 壁に鉛直方向に入った亀裂 弘



図-10.5.3 蔵の隅角部の被害 弘



図-10.5.4 壁の接合部の損傷 弘



図-10.5.5 蔵の傾斜したブロック塀 弘



図-10.5.6 外壁に入った亀裂 弘



図-10.5.13 開口部から生じた亀裂 勝馬



図-10.5.14 ブロック塀の倒壊 勝馬



図-10.5.15 屋根と外壁の被害 勝馬



図-10.5.16 屋根の被害 志賀



図-10.5.17 新しい住宅は無被害 志賀



図-10.5.18 柱が傾いた木造家屋 志賀



図-10.5.7 地盤との接合部の亀裂 勝馬



図-10.5.8 ブロック塀の亀裂 勝馬



図-10.5.9 屋根が損傷した看板 勝馬



図-10.5.10 柱が移動した木造倉庫 勝馬



図-10.5.11 全体が傾斜して倒壊寸前の納屋 勝馬



図-10.5.12 屋根の被害，左の新しい住宅は無被害 勝馬

10.6 免震ビルの挙動

はじめに

2005年3月20日10時53分頃、福岡県西方沖(北緯33.7度,東経130.2度,福岡市の北西約40km)を震源マグニチュード(M)7.0の地震が発生した。震源の深さは9kmである。この地震により、福岡市では震度6弱を記録し、震源に近い玄界島、志賀島、糸島半島北端と警固断層沿いの大名・今泉で多数の建造物の被害が発生した(株)建設技術研究所のCTI福岡ビルは、平成9年に建設された免震建物で、被害の大きかった大名地区にあった。

ここでは、免震建物で観測された地震記録の概要と解析的検討結果について述べる。

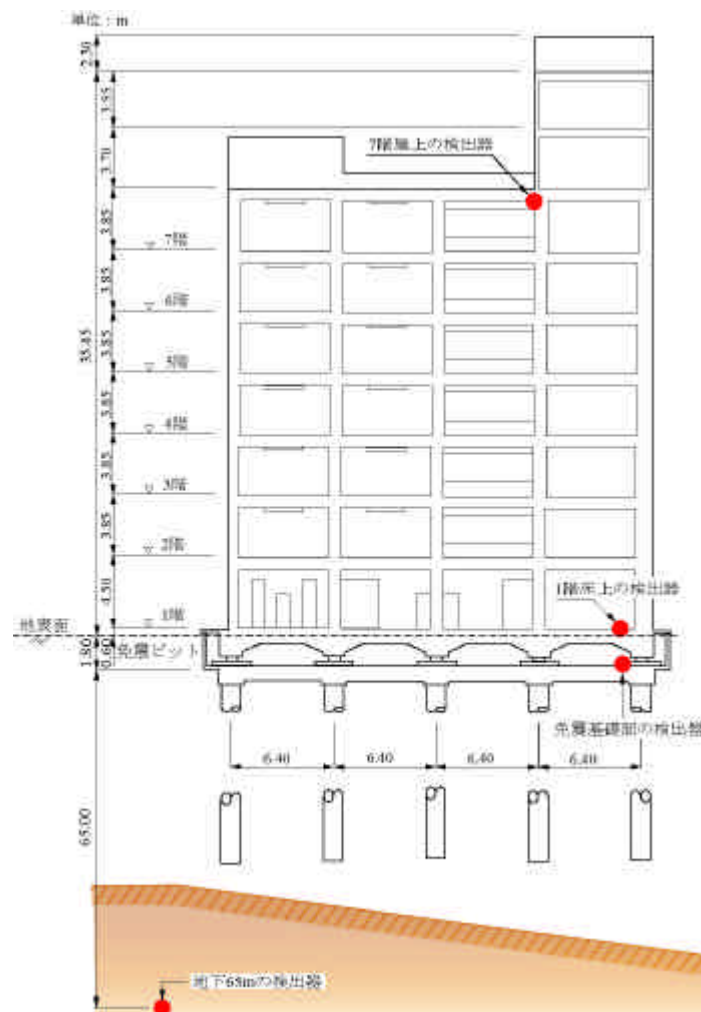


図-10.6.1 免震建物の構造概要

建物および免震装置概要

CTI福岡ビルは、地上7階建て(高さ29.2m)の鉄筋コンクリート造・耐震壁併用ラーメン構造で、総重量は約6800トンの免震建物である。免震装置には、高減衰積層ゴムが使用されている。地下の免震ピットに、φ750(6mm×27層)が19個、φ900(8mm×20層)が2個の合計21個が設置されている。地震観測用の加速度計は、地下65m(V_s 500m/sの基盤上)、免震基礎部(地表面-1.80m)、建物1階床上、及び7階の屋上の4箇所にNS、EW、UDの各3成分が設置されている。免震建物の構造概要を図

-10.6.1 に示す．

免震建物の地震時挙動と解析的検討

最も大きな加速度が免震基礎部で観測された N-S 成分の応答加速度波形を図-10.6.2 に示す．

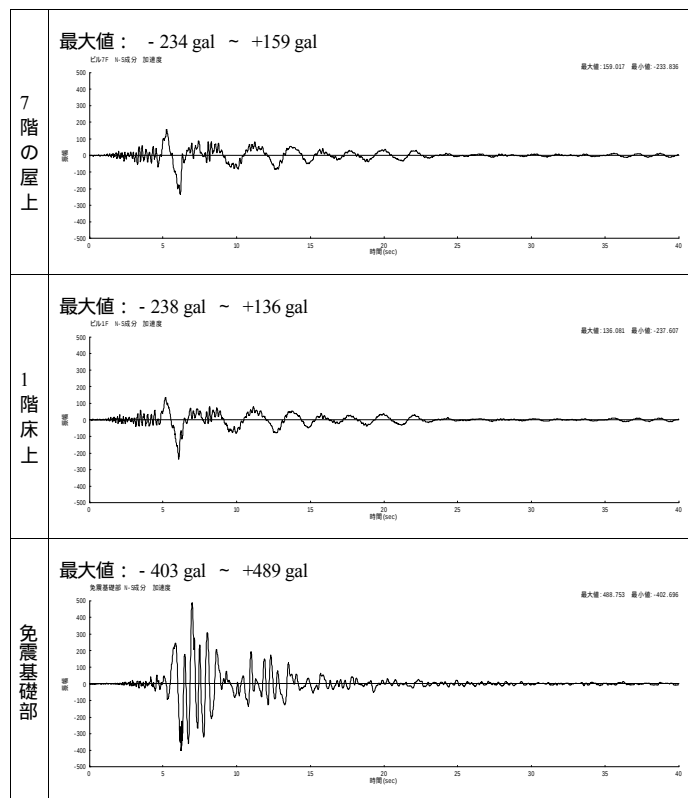


図-10.6.2 免震建物の地震時挙動

免震基礎部の入力加速度 489gal に対して，1階床上で 238gal，7階屋上で 234gal となっており加速度は約 1/2 に低減されており，免震効果が確認された．

EW 方向では免震基礎部の入力加速度 310gal に対して，1階床上で 140gal，7階屋上で 126gal となっており，同様に免震効果が確認された．地震発生時に7階のフロアにいた職員によれば建物は大きくゆっくり，長い時間揺れていたが，書棚の転倒や書類の落下などは殆ど無かったとの事である．解析モデルは各階床と7階屋上に質量を集中させた8質点系のせん断ばねモデルとした．建物部分は各層を設計時に用いたトリリニアモデルとした．免震装置に関しては，まず免震基礎部と1階床上の加速度の差より相対化速度を求め，2回積分により相対変位を算出した．最大値はNS方向で約19.5cm（ゴムせん断ひずみ122%相当）となったので，この結果に基づき高減衰積層ゴム支承の設計式より等価剛性及び等価減衰定数を設定した．EW方向に関しても同様の取り扱いを行った．図-10.6.3に8質点振動系モデル示す．



図-10.6.3 解析モデル

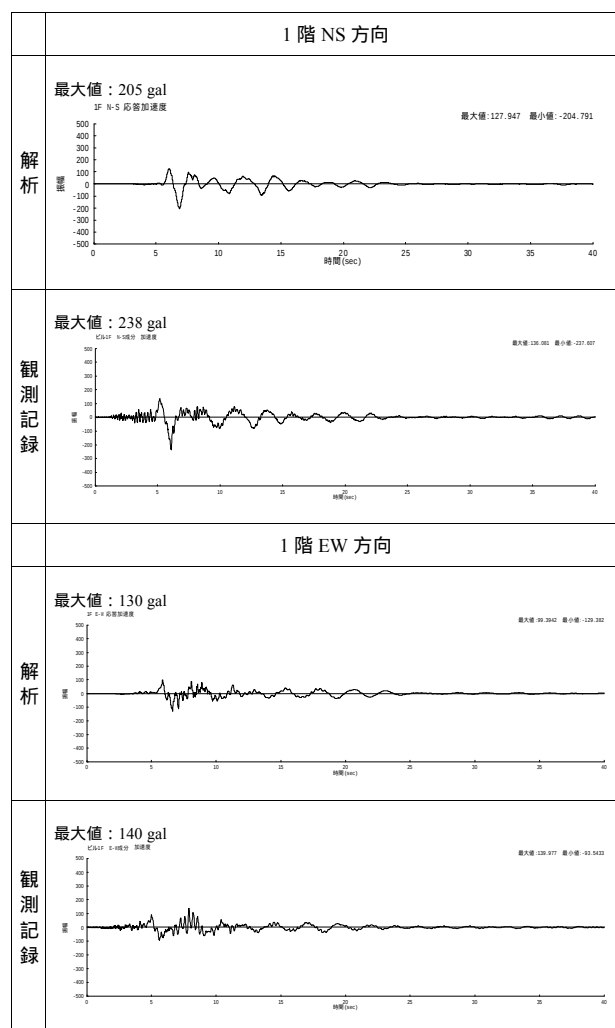


図-10.6.4 観測記録と解析結果の

観測記録と解析結果の応答加速度の比較を図-10.6.4 に示す．解析結果は免震建物の挙動をほぼ模擬できたと考えられるが，2次モードや評価等に関してはより詳細な検討が必要と考えられる．

以上の結果から、免震建物の加速度は NS，EW 両方向ともに大幅に低減され，高減衰積層ゴムによる免震効果が確認された．加速度記録より評価すると高減衰積層ゴムに生じたゴムせん断ひずみは最大で約 120%程度と考えられる．また、地震時には免震効果により書棚の転倒や書類の落下などによる二次災害が軽減されることが確認された．

参考文献

入江達男、松田泰治：福岡県西方沖地震における大名地区の免震建物の挙動、日本建築学会大会梗概集，2005 年〔投稿中〕

10.7 窓ガラスの損傷

中央区天神の中心部にある天神交差点に面した福岡ビルでは地震の際に窓ガラス 444 枚が割れて歩道上に散乱し通行人が怪我をした。被害の状況を図-10.7.1～図-10.7.4 に示す。このビルは 1961 年に建てられた SRC 造、地上 10 階・地下 3 階、建築面積 3500m²の店舗兼オフィスビルである。窓ガラスは大半が開閉できないはめ込み式の窓であった。窓ガラス破損の原因は窓ガラスを固定するシーリング材に硬化性のパテを使用したため構造物の変形にガラスが追従できなかったためである。1978 年の宮城県沖地震で同形式の窓で多くの同様の被害が出たことから、同年建設省告示として屋外に面したはめこり窓の施工に関しては硬化性シーリング材の使用を禁じている。福岡ビル以外でも周辺のいくつかのビルで窓ガラス数枚の破損が認められた。また、福岡市東区の福岡女子大や北九州市小倉北区の小倉拘置支所でも 200 枚近くのガラスが割れたり、ひびが入るなどの被害が報告されている。現行の板ガラスの耐震設計の考え方を表-10.7.1 に示す。福岡市は一世紀以上に渡って震度 5 以上の強い揺れを経験していない。このため他の地域に比べて地震に対して脆弱な構造物が数多く現存している。今回の被災を契機に既存構造物の耐震性の確認を行うことは重要と考えられる。

表-10.7.1 板ガラスの耐震設計

3階以上の建築物の場合	地上高 31mを超える建築物の場合
(昭和53年建設省告示第1622号による告示第109号の改正) 屋外に面したはめこり窓のガラス施工の場合、硬化性シーリング材を使用しないよう規定されている。これは昭和53年2月の宮城県沖地震と、6月の宮城県沖地震によって、ガラスの破損・脱落など被害を受けたガラス窓のほとんどが、硬化性パテ止めのはめこり窓であったことによる。ただし、網入板ガラスの使用や、庇の設置などガラスの落下による危害防止が講じられていれば規制を受けない。 パテなど硬化性シーリング材の場合、ガラスの移動や回転を妨げ耐震性能が非常に劣るため、弾性シーリング材(ポリサルファイド系・シリコーン系)やゴムガスケットが用いられる。 合わせガラスや網入板ガラスは万一の破損時に、飛散脱落防止上有効。	(平成12年建設省告示第1348号による告示第109号の改正) 左記の規定によるほかさらに、帳壁(カーテンウォール)はその高さの1/150の層間変位に対しても脱落しないことと定められている。

参考文献

日本板硝子技術資料

写真提供いただきました(株)建設技術研究所 和泉大作氏にはここに記して謝意を表します。



図-10.7.1 地震直後の福岡ビルの状況（その1）

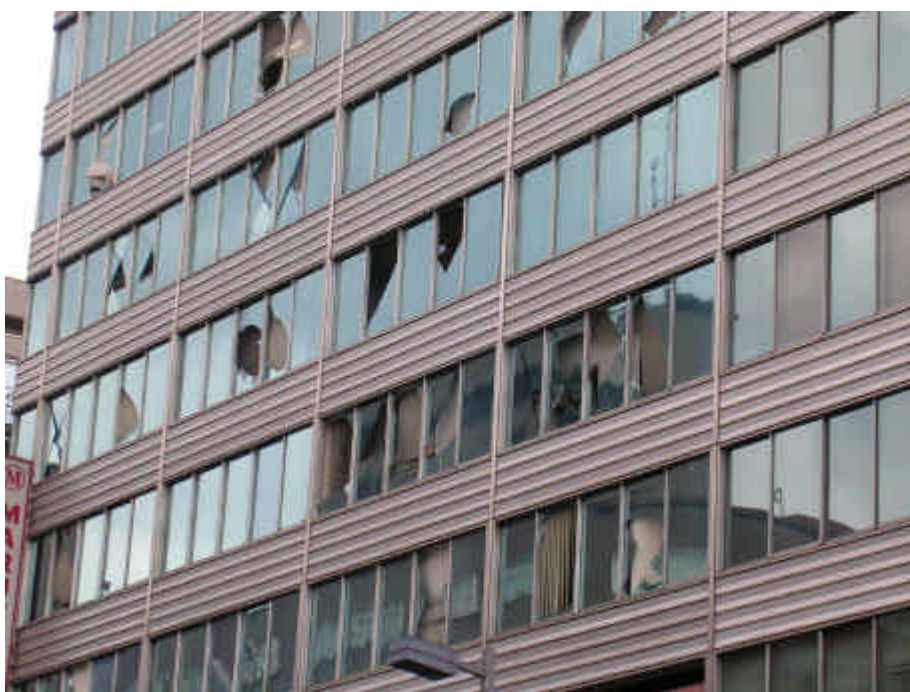


図-10.7.2 地震直後の福岡ビルの状況（その2）



図-10.7.3 地震直後の福岡ビルの状況（その3）



図-10.7.2 二次災害対策後の状況