

5.2 付録B 詳細調査を実施した RC 造建築物の建物概要 及び被災度区分判定結果

1) 建築物 A (岩手県)

建築物概要

立面形状： 地上 3 階、地下階なし
平面形状： 桁行方向 6 スパン、梁間方向 3 スパン
建築物高さ： 10.5m (軒高)
面積： 建築面積 680.33m²、延床面積 1643.49m²
建設年： 1963 年
上部構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造
基礎構造： 直接基礎
柱標準断面： 600mm×500mm、500mm×500mm (主筋：19φ、せん断補強筋：9φ-@250mm)
トイレ周辺の柱 3 本が極脆性柱 ($h_0/D=1.2$)
北側構面柱は全て腰壁付き短柱 ($h_0/D=2.6$)
使用材料： コンクリート設計基準強度 $F_c=18\text{N/mm}^2$
コア抜き圧縮試験による実測強度 24.9N/mm² (1 階)、14.4N/mm² (2 階)、14.0N/mm² (3 階)
鉄筋 材質不明
耐震診断： 2003 年実施済 ($I_s=0.30$ 、2003 年三陸南地震にて被災後、応急補強実施)

2003 年三陸南地震での被害概要

本建築物は 2003 年三陸南地震 (気象庁震度 6 弱、K-NET (IWT013) での最大加速度 434gal) において被災し、日本建築学会東北支部地震災害調査 WG 速報会において建築研究所及び国土技術政策総合研究所の調査グループは初動調査の概要を報告している。そこでは、確認された被害として、極短柱 2 本のせん断破壊、北側構面せん断柱 1 本の打継ぎ部分の破壊、耐力壁のせん断ひび割れ (ひび割れ幅 2mm 程度) が報告されている。地震後には、せん断ひび割れの入った柱に対して、かぶりコンクリートの打ち直し及び鉄骨柱 (H 形鋼を柱に外付けする) による応急補強が施されていた。また、東北地方太平洋沖地震での被害調査結果より、再びせん断破壊したトイレ周辺の柱のせん断補強筋は $\phi 9\text{-@}125\text{mm}$ となっていた。

被害概要及び被災度区分判定結果

被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して判定した鉛直部材の損傷度を図 B-1 に示す。東北地方太平洋沖地震により 1 階においてトイレ周辺の極脆性柱 2 本、北側構面せん断柱 4 本、内部耐力壁 1 枚がせん断破壊した。その他には、片側に腰壁を有する短柱、南側構面長柱の一部にせん断ひび割れが見られた。鉄骨柱による応急補強が行われていたものの、極脆性柱では 2003 年三陸南地震と同様の被害を被った (写真 B-2(a)) ため、明確な効果があったとは言えないが、北側構面のせん断柱では鉄骨柱を柱両脇にも付帯させており、周辺の短柱に比べて損傷度は小さくなった。ただし、柱両脇の鉄骨柱をアンカーしている柱脚部分のコンクリートが破壊していた (写真 B-2(b))。架構内部の長柱及び西側の耐力壁 2 枚には、ひび割れが見られなかった。また、南側構面 2 階の腰壁付き短柱にも大きなせん断ひび割れが観察されている。被災度区分判定は、せん断柱が大きく被災している桁行方向に対して実施した。表 B-1 に示す通り、調査部材数はせん断柱 10 本 (V : 6 本、IV : 1 本、III : 2 本、0 : 1 本)、曲げ柱 8 本 (IV : 1 本、II : 2 本、0 : 5 本)、両側柱付き壁 3 枚 (V : 1 枚、0 : 2 枚) であり、略算法によ

る耐震性能残存率 R は 57.8% となって「大破」と判定された。



(a) 南側構面



(b) 北側構面

写真 B-1 建築物外観

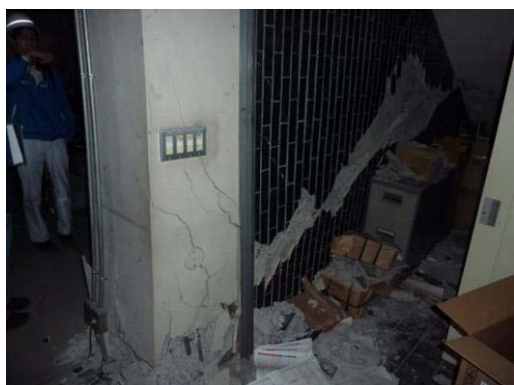


(a) 南側構面



(b) 北側構面

写真 B-2 応急補強した柱の被害状況



(a) 耐力壁のせん断破壊



(b) 短柱せん断破壊



(c) 長柱せん断ひび割れ

写真 B-3 柱及び耐力壁の被害状況

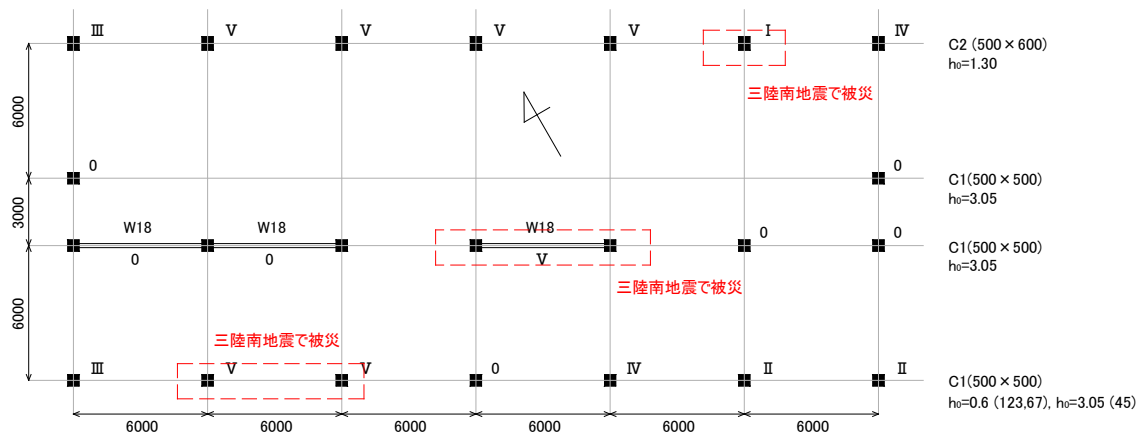


図 B-1 鉛直部材の損傷度（1 階桁行方向）

表 B-1 損傷度ごとの部材数

1 階 桁行方向		せん断柱	曲げ柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	1	5	2
	I	0	0	0
	II	0	2	0
	III	2	0	0
	IV	1	1	0
	V	6	0	1
調査部材数		10	8	3
総部材数		—	—	—

2) 建築物 B（栃木県）

建築物概要

立面形状： 地上 3 階、地下階なし、塔屋 3 階

平面形状： 桁行方向 10 スパン、梁間方向 2 スパン

建築物高さ： 12.49m（19.26m：塔屋含む）

面積： 建築面積 764m²

建設年： 1961 年

上部構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造

基礎構造： 杭基礎（RC 杭：250φ）

柱標準断面： 550mm×550mm（主筋：12-25φ～20-25φ、せん断補強筋：9φ-@250）、
550mm×600mm（主筋：14-25φ～20-25φ、せん断補強筋：9φ-@250）

使用材料： コンクリート 設計基準強度 $F_c=180\text{kgf/cm}^2$

鉄筋 材質不明

耐震診断： 未実施（2012 年度に実施予定であった）

被害概要及び被災度区分判定結果

写真 B-4 に建築物の外観を示す。外周の窓の大半は合板により塞がれた状態であった。本建築物は北側建物及び後述の建築物 B' と接続しており、接続部（Exp. J なし）でひび割れ及びコンクリートの剥落が確認された（写真 B-5）。北側建物の 1 階では柱や壁に僅かにひび割れが見られた程度で、構造的な被害はほとんど確認できなかった。

被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して調査を行った結果、本建築物の 1 階では 4-L の腰壁付き短柱及び L 構面の片側袖壁付き柱に損傷度 III～IV の顕著なせん断ひび割れが発生していたほか（写真 B-6、写真 B-7）、K 構面のコア壁にもせん断ひび割れが見られた（写真 B-8）。北側構面の一部で 2 階以上がセットバックしており（写真 B-9）、その真下付近の部材に損傷が集中していた。また、10 構面の耐力壁には、ひび割れ幅 0.7mm のせん断ひび割れが確認された。

本建物の 1 階桁行方向に関する鉛直部材の損傷度調査結果を、図 B-2 及び表 B-2 にそれぞれ示す。大きな損傷を受けた部材が少なく、大半の柱が損傷度 0～I であった。略算法によって計算された耐震性能残存率 R は 87.7% であり、被災度は「小破」となった。



写真 B-4 建築物外観（南面）



写真 B-5 建築物 B' との接続部（2 階）



写真 B-6 腰壁付き短柱のせん断ひび割れ
（1 階 4-L、損傷度 III）



写真 B-7 片側袖壁付き柱のせん断ひび割れ
（1 階、損傷度 IV）



写真 B-8 耐力壁のせん断ひび割れ
(1 階、損傷度 II)



写真 B-9 北側構面のセットバック状況

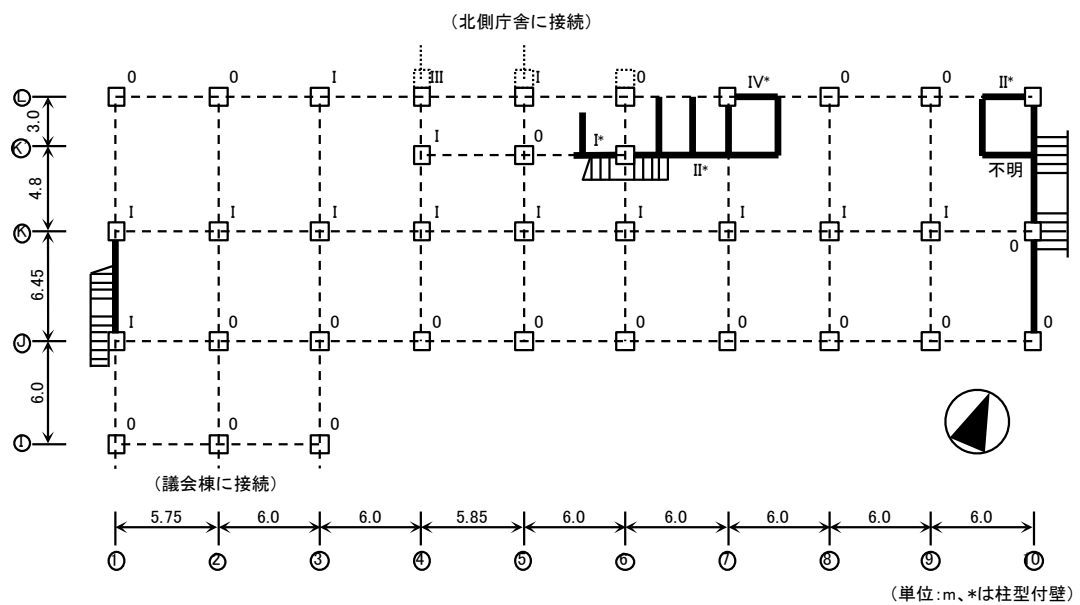


図 B-2 鉛直部材の損傷度 (1 階桁行方向)

表 B-2 損傷度ごとの部材数

1 階 桁行方向		せん断柱	柱なし壁	柱型付壁
損 傷 度	0	19	0	0
	I	13	0	1
	II	0	0	2
	III	1	0	0
	IV	0	0	1
	V	0	0	0
調査部材数		33	0	4
総部材数		33	1	4

3) 建築物 B' (栃木県)

建築物概要

立面形状： 地上 2 階、地下階なし
平面形状： 桁行方向 7 スパン、梁間方向 2 スパン
建築物高さ： 9.57m
面積： 建築面積 329m²
建設年： 1961 年
上部構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造
基礎構造： 杭基礎 (RC 杭：250φ)
柱標準断面： 500mm×500mm (主筋：6-22φ～16-22φ、せん断補強筋：9φ-@250)、
600mm×700mm (主筋：12-25φ+2-22φ、16-25φ+2-22φ、せん断補強筋：9φ-@250)
使用材料： コンクリート 設計基準強度 $F_c=180\text{kgf/cm}^2$
鉄筋 材質不明
耐震診断： 未実施 (2012 年度に実施予定であった)

被害概要及び被災度区分判定結果 (1 階梁間方向：中破)

本建築物は、写真 B-10 に示すように、前述した建築物 B の南側に接続している。被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して調査を行った結果、C 構面の耐力壁に顕著なせん断ひび割れが確認されたほか (写真 B-11、損傷度 III)、1-H の柱梁接合部 (1 階柱頭) ではひび割れ及びコンクリートの剥落が見られた (写真 B-12)。柱の損傷は少なく、多くの柱の損傷度は梁間方向の梁に確認された曲げひび割れによって決定した。

本建築物の 1 階梁間方向に関する鉛直部材の損傷度を、図 B-3 及び表 B-3 にそれぞれ示す。略算法によって計算された耐震性能残存率 R は 77.6%であり、被災度は「中破」となった。



写真 B-10 建築物外観



写真 B-11 耐力壁のせん断ひび割れ
(1 階、損傷度 III)



写真 B-12 柱梁接合部における損傷 (1-H)

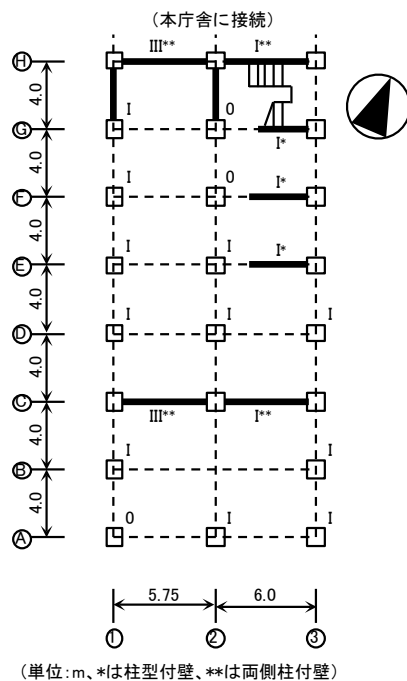


図 B-3 鉛直部材の損傷度 (1 階梁間方向)

表 B-3 損傷度ごとの部材数

1 階 梁間方向		せん断柱	柱型付壁	両側 柱付壁
損 傷 度	0	3	0	0
	I	11	3	2
	II	0	0	0
	III	0	0	2
	IV	0	0	0
	V	0	0	0
調査部材数		14	3	4
総部材数		14	3	4

4) 建築物 C (福島県)

建築物概要

立面形状： 地上 4 階、地下 1 階、塔屋 1 階

平面形状： 桁行方向 12 スパン、梁間方向 3 スパン

別棟である建築物 D と 2 階部分渡り廊下 (EXP. J) により接続

建築物高さ： 14.9m

面積： 建築面積 1498m²、延床面積 6196m²

建設年： 1970 年

上部構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造

基礎構造： 杭基礎 (PC 杭：450φ、500φ)

柱断面： 700×500mm (外柱、主筋：12～20-25φ (脚部)、12-25φ (頭部)、せん断補強筋：

9φ-@125)、700×600mm (内柱、主筋 12~20-25φ、せん断補強筋：9φ-@125)
使用材料： コンクリート 設計基準強度 $F_c=21\text{N/mm}^2$ 、コア抜き圧縮試験による実測強度 14.2N/mm^2
(1 階)、 14.5N/mm^2 (2 階)、 12.4N/mm^2 (3 階)、 12.9N/mm^2 (4 階)
鉄筋 SR235 (柱主筋、せん断補強筋、壁筋)、SD345 (梁主筋)
耐震診断： 2011 年実施済

耐震診断結果

2011 年に実施された耐震診断の判定結果によると、第 2 次診断法による I_s 値は 0.362 (1 階桁行)、0.329 (1 階梁間)、0.281 (2 階桁行)、0.276 (2 階梁間) である。 $C_T S_D$ 値は 0.371 (1 階桁行)、0.337 (1 階梁間)、0.265 (2 階桁行)、0.282 (2 階梁間) である。本建築物は立面的にも平面的にもほぼ整形 (診断用偏心率 (1 階) 0.008 (桁行方向)、0.063 (梁間方向)) である。極脆性柱 ($(h_0/D) < 2.0$) は、1 階梁間方向にのみ 1 本存在している。1 階および 2 階の $C_T-R(F)$ グラフを図 B-4 に示す。

被害概要及び被災度区分判定結果

被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して調査を行った結果、本建築物 1 階の部材に見られた具体的な損傷は、腰壁や垂れ壁が取り付けいた極脆性柱 1 本がせん断破壊 (損傷度 V、写真 B-14) していた。その他の柱にはせん断ひび割れが見られ、特に東面および南面で顕著であった。桁行方向の耐力壁側柱 (損傷度 IV、写真 B-15)、柱型の無い梁間方向の耐力壁において壁頭部分で主筋座屈が見られた。また、桁行・梁間方向の壁板には、0.2mm を超えるせん断ひび割れが確認されている。

2 階の部材に見られた具体的な損傷は、非構造袖壁付き長柱のせん断破壊 (損傷度 IV、写真 B-16) やせん断ひび割れで、特に東面および北面で顕著に見られた。また、桁行・梁間方向の耐力壁および側柱で多数のせん断破壊 (損傷度 V、写真 B-17) が見られた。その他に、渡り廊下および東側で非構造壁が大きくせん断破壊 (写真 B-18) している箇所が見られた。

本建築物の 1、2 階について、鉛直部材の損傷度調査を行った結果を図 B-5 及び表 B-4 に示す。調査結果を用いて略算法によって評価した被災度区分は 1 階桁行方向が「大破」(耐震性能残存率 $R=50.0\%$)、2 階桁行方向も「大破」(耐震性能残存率 $R=38.2\%$) であった。



写真B-13 建築物外観



写真B-14 腰壁付き柱のせん断破壊(1階)



写真B-15 耐力壁側柱の主筋座屈(1階)



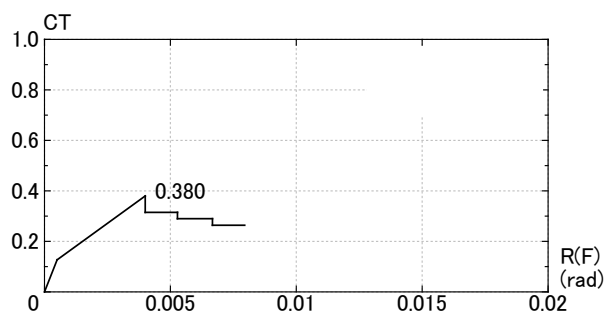
写真B-16 長柱のせん断破壊(2階)



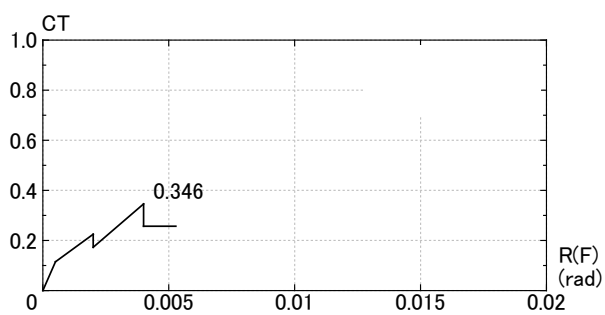
写真B-17 耐力壁のせん断破壊(2階)



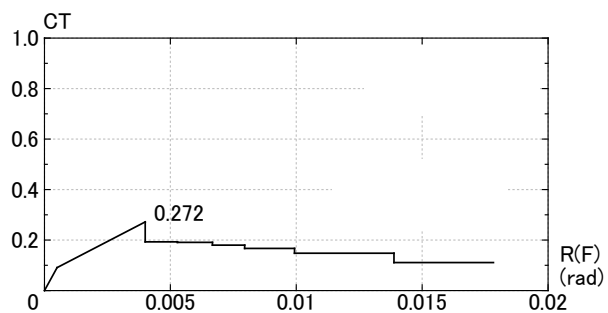
写真B-18 非構造壁のせん断破壊(2階)



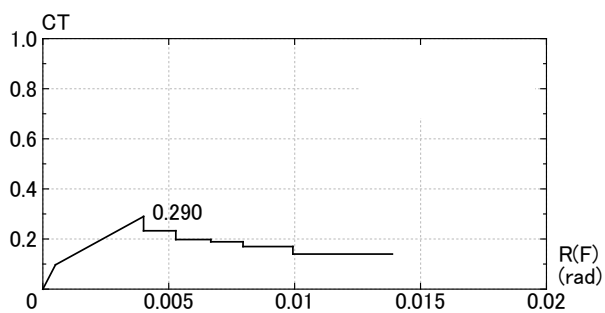
(a) 1階桁行方向



(b) 1階梁間方向



(c) 2階桁行方向



(d) 2階梁間方向

図 B-4 C_T -F 関係グラフ

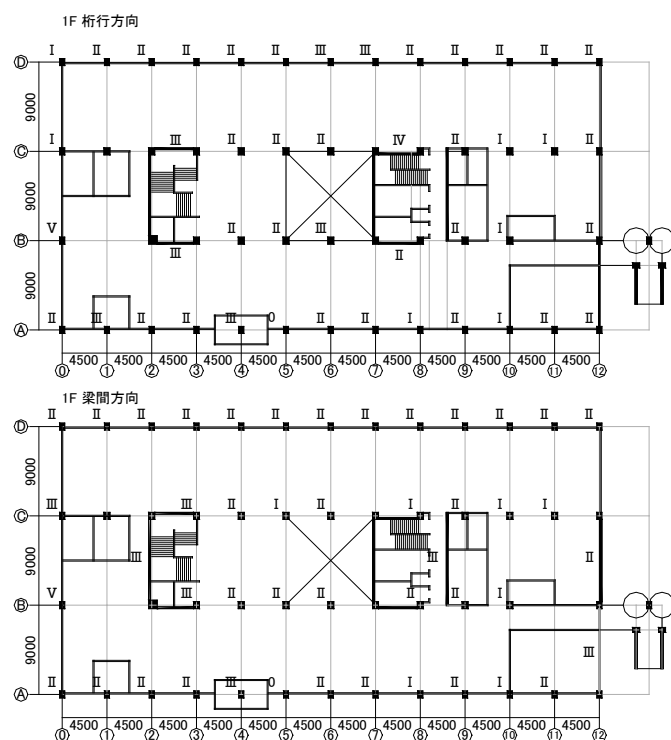


図 B-5(a) 鉛直部材の損傷度 (1 階)

表 B-4(a) 損傷度ごとの部材数
(1 階桁行方向)

1 階 桁行方向		せん断 柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	1	0
	I	7	0
	II	27	1
	III	5	2
	IV	0	1
	V	2	0
調査部材数		41	4
総部材数		45	4

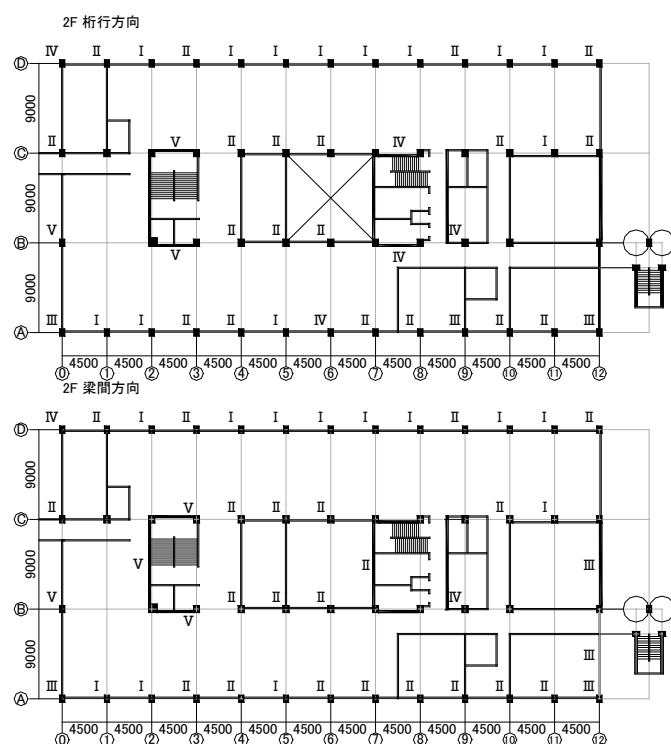


図 B-5(b) 鉛直部材の損傷度 (2 階)

表 B-4(b) 損傷度ごとの部材数
(2 階桁行方向)

2 階 桁行方向		せん断 柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	0	0
	I	12	0
	II	19	0
	III	3	0
	IV	3	2
	V	1	2
調査部材数		38	4
総部材数		46	4

5) 建築物 D (福島県)

建築物概要

立面形状： 地上 2 階、地下階なし
平面形状： 桁行方向 4 スパン、梁間方向 2 スパン
建築物 C と同じ敷地内に立地し、2 階部分渡り廊下 (EXP. J) により接続
建築物高さ： 7.9m
面積： 建築面積 339m²、延床面積 615m²
建設年： 1968 年
上部構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造
基礎構造： 直接基礎
柱断面： 450mm×450mm (1 階、主筋：16～20-19φ、せん断補強筋：9φ-@125)
使用材料： コンクリート 設計基準強度 $F_c=21\text{N/mm}^2$ 、
コア抜き圧縮試験による実測強度 17.3N/mm^2 (1 階)、 13.0N/mm^2 (2 階)
鉄筋 SR235 (柱主筋、せん断補強筋、壁筋)、SD345 (梁主筋)
耐震診断： 2011 年実施済

耐震診断結果

2011 年に実施された耐震診断の判定結果によると、第 2 次診断法による I_s 値は 0.557 (1 階桁行)、0.726 (1 階梁間) である。 $C_T S_0$ 値は 0.571 (1 階桁行)、0.744 (1 階梁間) である。極脆性柱 ($(h_0/D) < 2.0$) は桁行方向にのみ存在している。1F の C_T - $R(F)$ グラフを図 B-6 に示す。建物は立面的にも平面的にも整形であるが、2 階梁間方向の偏心率が 0.23 と大きくなっている。

被害概要及び被災度区分判定結果

本建築物の 1 階の部材に見られた具体的な損傷としては RC 長柱の曲げひび割れであるが、そのほとんどのひび割れ幅は 0.2mm 以下であった。非構造壁にはせん断ひび割れが見られたが、躯体の損傷はほとんど見られなかった (写真 B-20)。

本建築物の 1 階について、被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して調査を行った結果を図 B-7 及び表-5 に示す。この結果、略算法によって評価した被災度区分は 1 階桁行方向が「小破」(耐震性能残存率 $R=93.9\%$) となった。

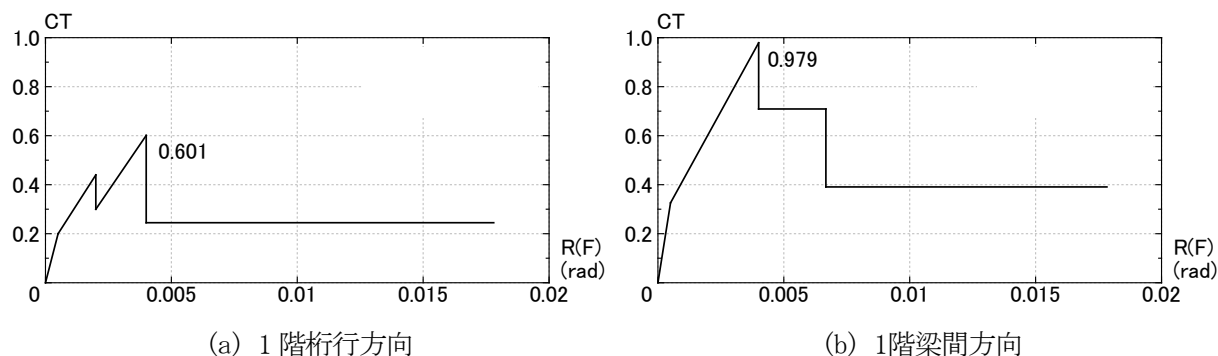


図 B-6 C_T - F 関係グラフ



写真 B-19 無損傷の袖壁付き柱 (1 階)



写真 B-20 非構造壁のせん断ひび割れ (1 階)

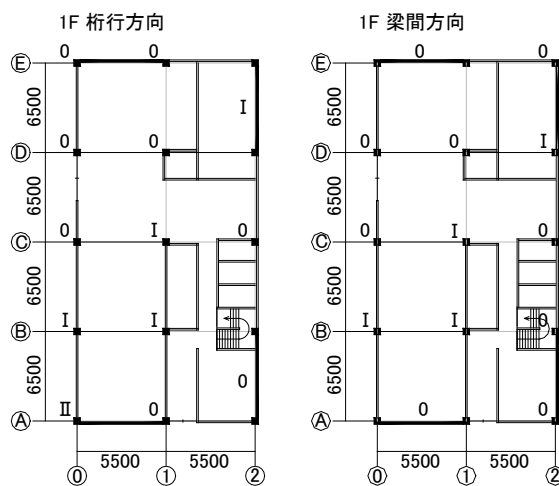


図 B-7 鉛直部材の損傷度 (1 階)

表 B-5 各損傷度の部材数

1 階 桁行方向		せん断柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	8	0
	I	3	1
	II	1	0
	III	0	0
	IV	<u>0</u>	0
	V	0	0
調査部材数		12	1
総部材数		12	1

6) 建築物 E (福島県)

建築物概要

立面形状： 地上 6 階、地下 1 階、塔屋 1 階

平面形状： 桁行方向 85.5m (14 スパン)、梁間方向 22.5m (3 スパン)

建物 X 方向中央部で雁行する平面形状

建築物高さ： 24m (基準階高 4m)

面積： 建築面積 1689.95m²、延床面積 9791.0m²

建設年： 1969 年竣工、1990 年に事務所へ改修 (1991 年にも改修工事)

上部構造： 鉄骨鉄筋コンクリート造 (B1 階～2 階、鉄骨は 3 階床位置まで)

鉄筋コンクリート造 (3 階～PH 階)

桁行、梁間方向 耐力壁付きラーメン構造

基礎構造： 直接基礎、杭基礎

使用材料： コンクリート設計基準強度 $F_c=180\text{kgf/cm}^2$ (17.6N/mm²)

鉄筋 SD30 (SD295) (柱、梁主筋)、SR24 (SR235) (壁筋、せん断補強筋)

鉄骨 SS41 (SS400) (格子形式、ラチス形式)

備考： 当初は大学校舎として建設され、その後、改修され事務所として使用
地震後立ち入り禁止措置、周辺地盤は平坦

2000 年に実施した耐震診断（第 3 次診断）の結果によると、今回の調査対象である X 方向 2 階では構造耐震指標 $I_s=0.46$ ($C_{T0} \cdot S_D=0.38$)、3 階では $I_s=0.28$ ($C_{T0} \cdot S_D=0.29$) であり、構造耐震判定指標 $I_{S0}=0.6$ ($C_{T0} \cdot S_D \geq 0.3$) を満足していない。極脆性柱が存在している。ちなみに、他の階および Y 方向でも耐震性能を満たしていない。地震発生時点で、耐震補強工事は未実施であった。

被災程度が大きいと判断された3階および2階の桁行方向について、被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠し柱および耐力壁の損傷度を調査して、耐震性能残存率Rを略算法によって算出する被災度区分判定を実施した。地震による建物所在地の震度階は5強であった。

3 階の損傷度調査結果を図 B-8 に示す。外構面は腰壁が付いた柱（短柱）となっているが、2 箇所で損傷度Ⅲのせん断ひび割れが発生していた（写真 B-22）。それ以外の柱は、内構面の独立柱も含めて損傷度 0～Ⅱの曲げひび割れが観察される程度であった。Y3 通り、X7～X8 間の両側柱付き耐力壁には、損傷度Ⅱのせん断ひび割れが発生していた。2 階も同様に腰壁付き柱と独立柱で構成されているが、損傷度Ⅱの柱が 1 箇所（X2 構面、Y4 通り）存在する他は、いずれの柱も損傷度Ⅰの軽微なひび割れが見られる程度であった。Y2 通り、X7～X8 間の両側柱付き耐力壁も損傷度Ⅰであった（写真 B-23）。

3 階と 2 階は全く同じ構造形式であるが、3 階の被災程度がやや大きいのは、柱内の鉄骨の有無（2 階柱には鉄骨が入っている）が原因であると考えられる。耐震診断でも、柱の構造が切り替わる 3 階の構造耐震指標 I_s が最も小さく、被害状況と対応している。その他、外構面では柱と柱の間に方立て壁が設けられているが、それらの多くでもせん断ひび割れが発生していた（写真 B-24）。

3 階及び 2 階の鉛直部材の損傷度ごとの本数をまとめたものを表 B-6 に示す。これに基づき、3 階及び 2 階の耐震性能残存率 R を計算すると、R=81.0% (3 階) 及び 94.3% (2 階) となり、いずれも「小破」と判定される。

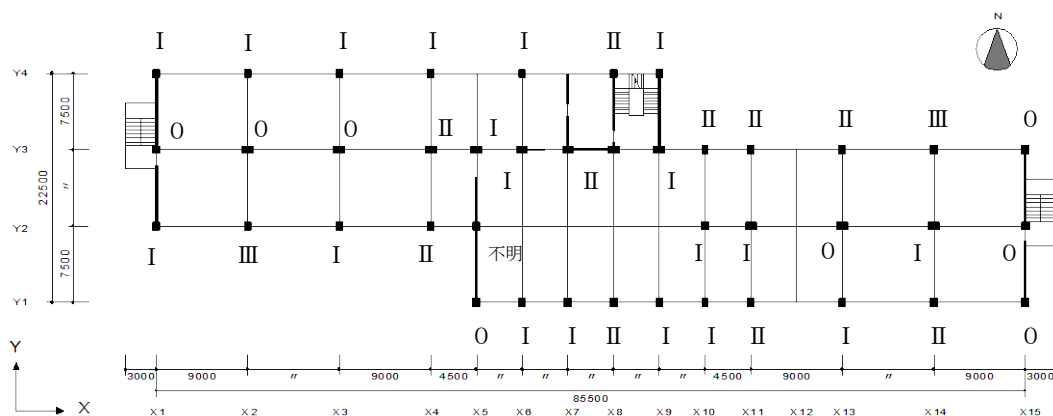


図 B-8 鉛直部材の損傷度 (3 階桁行方向)

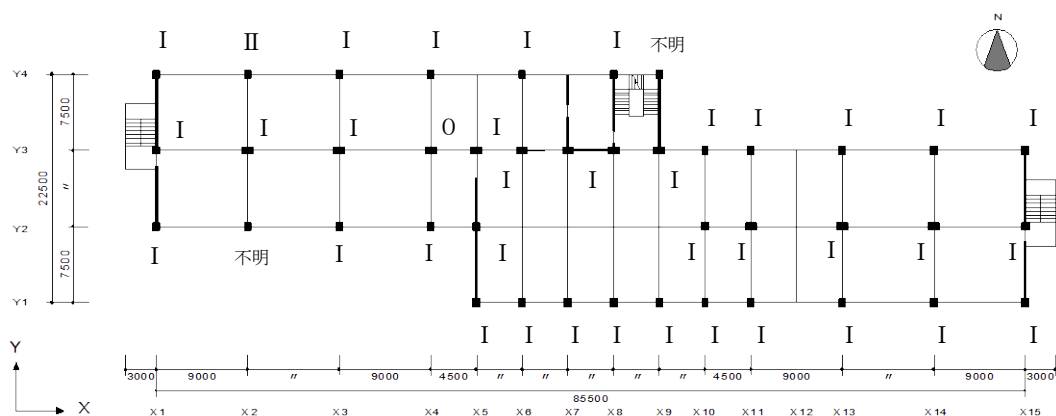


図 B-9 鉛直部材の損傷度（2 階桁行方向）

表 B-6 各損傷度の部材数

3 階 桁行方向		せん断柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	8	0
	I	19	0
	II	9	1
	III	2	0
	IV	0	0
	V	0	0
調査部材数		38	1
総部材数		39	1

2 階 桁行方向		せん断柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	1	0
	I	35	1
	II	1	0
	III	0	0
	IV	0	0
	V	0	0
調査部材数		37	1
総部材数		39	1



写真 B-21 建築物外観（南面）



写真 B-22 柱のせん断ひび割れ
（3 階、損傷度Ⅲ）



写真 B-23 耐力壁の被害（2 階梁間方向）



写真 B-24 方立て壁の被害内観
(雨漏り防止のための暫定的な補修)

7) 建築物 F（福島県）

建築物概要

- 立面形状： 地上 3 階、塔屋 1 階
- 平面形状： 桁行方向 48m（8 スパン）、梁間方向 12m（2 スパン）
整形な平面形状。3 階では中構面の柱がなく、1 スパンとなっている。
- 建築物高さ： 10.8m（基準階高 3.5m）
- 面積： 建築面積 516m²、延床面積 1560m²
- 建設年： 1960 年竣工
- 上部構造： 鉄筋コンクリート造
桁行方向 ラーメン構造、梁間方向 耐力壁付きラーメン構造
- 基礎構造： 杭基礎（PC パイル 300φ、Ra=250kN/本）
- 使用材料： コンクリート 設計基準強度 $F_c=180\text{kgf/cm}^2$ (17.6N/mm²)
鉄筋 SR24(SR235)（柱、梁主筋、壁筋、せん断補強筋）
- 耐震診断： 2005 年実施済
- 備考： 応急危険度判定では「危険」と判定、周辺地盤は平坦

耐震診断結果

2005 年に実施した耐震診断（第 2 次診断）の結果によると、今回の調査対象である 1 階桁行方向では構造耐震指標 $I_s=0.35$ ($C_{Tu} \cdot S_D=0.36$) であり、構造耐震判定指標 $I_{S0}=0.861$ ($C_{Tu} \cdot S_D \geq 0.3$) を満足していない。ちなみに、桁行方向では他の階の I_s 値もほぼ同等の数値となっており、耐震性能に疑問があるという判定となっている。各階に第 2 種構造要素となる柱は無いが、極脆性柱が存在している。梁間方向には耐力壁があり、強度が高く耐震性能を満足している。なお、本建築物では 2、3 階のコンクリート強度が低く、13.5N/mm² を下回っていることが指摘されている。地震発生時点で、耐震補強工事は未実施であった。

被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して1階桁行方向について構造躯体の損傷度調査を行い、耐震性能残存率Rを略算法によって算出した。地震による建物所在地の震度階は6弱であった。

鉛直部材の損傷度ごとの本数をまとめたものを表 B-7 に示す。これに基づき、耐震性能残存率 R を計算すると、R=26.7%となり「大破」と判定される。

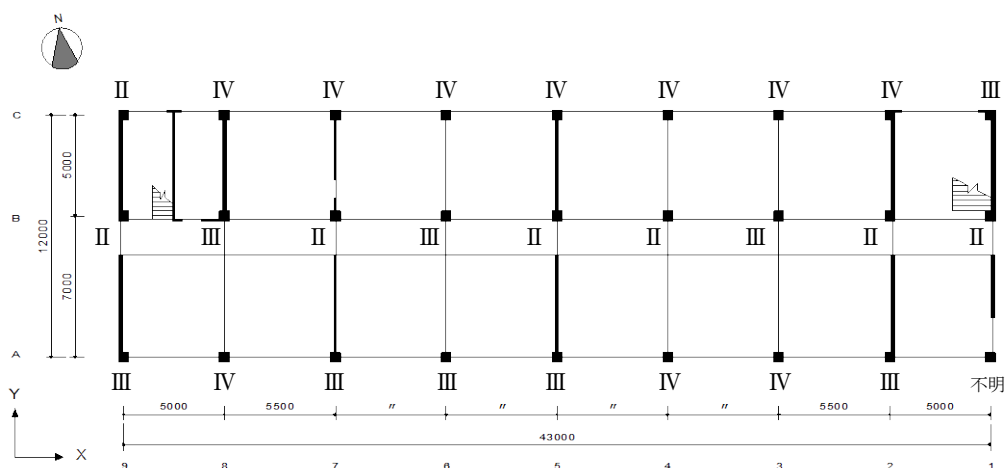


表 B-7 各損傷度の部材数

1 階 桁行方向		せん断柱	柱型付壁
損 傷 度	0	0	0
	I	0	0
	II	7	0
	III	8	1
	IV	10	0
	V	0	0
調査部材数		25	1
総部材数		26	1



写真 B-25 建築物外観（東面）



写真 B-26 建築物外観（西面）



写真 B-27 柱ひび割れ、かぶりコンクリート剥落
（損傷度 IV）



写真 B-28 柱せん断ひび割れ（損傷度 II）



写真 B-29 南構面柱せん断破壊（損傷度 IV）



写真 B-30 北構面方立て壁のせん断破壊

8) 建築物 G (茨城県)

建築物概要

立面形状： 地上 3 階
平面形状： 桁行方向 13 スパン、梁間方向 4 スパン
13 スパン×1 スパンの中央部に 3 スパン×2 スパンが取り付いた T 字型平面
建築物高さ： 不明
面積： 建築面積 505m²
建設年： 1958 年
構造： 鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造
基礎構造： 不明
使用材料： コンクリート 設計基準強度不明
鉄筋 材質不明
耐震診断： 未実施（2011 年に実施予定であった）
備考： 市担当者による応急危険度判定で「危険」と判定され使用禁止となっていた

被害概要及び被災度区分判定

写真 B-31、32 に本建築物の外観を示す。本建築物の北側に接続する宿直棟（写真 B-32 左端）については、1 階では構造的被害はほとんど確認されなかったため、本判定では対象から除外した。

被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠して調査を行った結果、本建築物の 1 階における被害状況として、A 構面及び B 構面における多くの腰壁、垂れ壁付き短柱に損傷度 II のせん断ひび割れが見られた（写真 B-33）ほか、桁行方向の耐力壁で損傷度 II～III のせん断ひび割れが確認された（写真 B-34）。また、梁間方向の耐力壁及び袖壁でもひび割れ幅が 1.0mm を上回るせん断ひび割れが見られた（写真 B-35）。2 階では、階段まわりの耐力壁に損傷度 III のせん断ひび割れが確認された（写真 B-36）ものの、ほとんどの柱は損傷度 I（一部、損傷度 II）の軽微な曲げひび割れに留まっていた。なお、2 階では内装の存在によって一部の部材で損傷度を確認できなかった。

本建築物の 1 階及び 2 階の桁行方向に関する鉛直部材の損傷度調査結果を、図 B-11 及び表 B-8 にそれぞれ示す。これらに基づき略算法によって耐震性能残存率 R を計算すると R=68.9%（1 階）、73.7%（2 階）となり、被災度は 1 階桁行、2 階桁行とも「中破」となった。



写真 B-31 建築物外観（南面）



写真 B-32 建築物外観（北面）



写真 B-33 腰壁、垂れ壁付き柱のせん断ひび割れ
(1 階、損傷度 II)



写真 B-34 耐力壁のせん断ひび割れ
(1 階、損傷度 II)



写真 B-35 袖壁のせん断ひび割れ
(1 階 8 構面)



写真 B-36 階段室まわり耐力壁の
せん断ひび割れ (2 階)

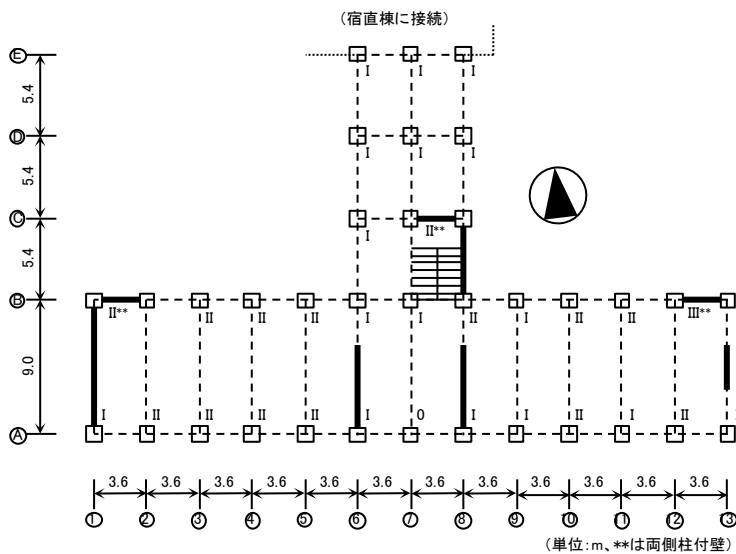


図 B-11(a) 鉛直部材の損傷度 (1 階桁行方向)

表 B-8(a) 各損傷度の部材数
(1 階桁行方向)

1 階 桁行方向		せん断 柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	1	0
	I	16	0
	II	12	2
	III	0	1
	IV	0	0
	V	0	0
調査部材数		29	3
総部材数		29	3

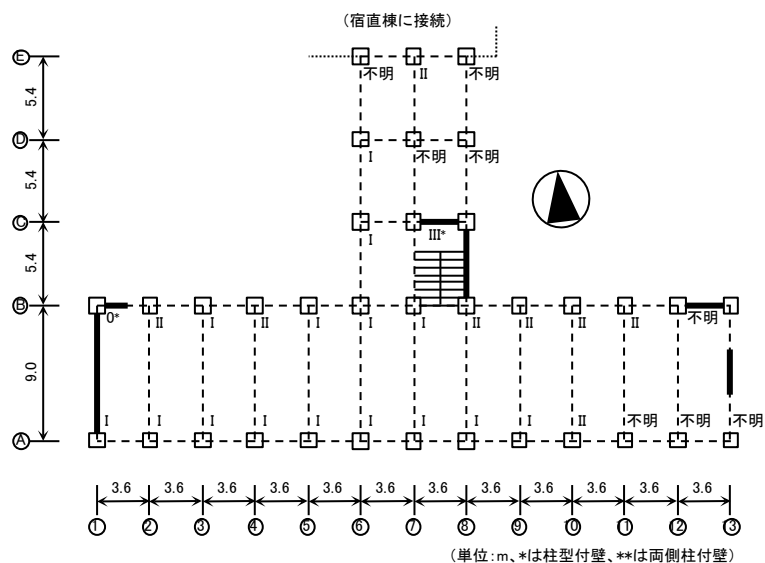


図 B-11(b) 鉛直部材損傷状況 (2 階桁行方向)

表 B-8(b) 各損傷度の部材数
(2 階桁行方向)

2 階 桁行方向		せん断 柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	0	1
	I	15	0
	II	8	0
	III	0	0
	IV	0	0
	V	0	0
調査部材数		23	1
総部材数		30	1

9) 建築物 H (茨城県)

建築物概要

立面形状： 地上 2 階、地下階なし
 平面形状： 桁行方向 18m (3 スパン)、梁間方向 8.3m (1 スパン)
 整形な平面形状。
 階高： 3.5m (1 階梁下まで、実測)
 面積： 建築面積 149.4m²、延床面積 298.9m²
 建設年： 1966 年
 上部構造： 鉄筋コンクリート造、桁行、梁間方向ラーメン構造
 柱寸法 450×450mm、柱内法高さ 1500mm (実測)
 基礎構造： 不明
 使用材料： コンクリート 設計基準強度不明
 鉄筋 材質不明 (現地での実測によると、1 階柱の主筋は 12-22φ、帯筋は 8φ-@300mm)
 耐震診断： 未実施
 備考： 地震後の応急危険度判定では「危険」と判定

被害概要及び被災区分判定結果

1 階桁行方向について被災区分判定基準^{B-2)}に準拠して構造躯体の損傷度調査を行い、耐震性能残存率 R を略算法によって算出した。地震による建築物所在地の震度階は 6 強であった。

損傷度調査結果を図 B-12 に示す。Y1 構面では、柱にコンクリートブロック造の腰壁・垂れ壁が付いて短柱となっており、柱の半数が損傷度 IV のせん断破壊を生じていた (写真 B-39)。Y2 構面は、ラーメン架構内にコンクリートブロック造の有開口壁があり、柱の損傷度は I と II であった。また、Y 方向の妻面にもコンクリートブロック造壁が入っていたが、X4 構面の開口横の壁が大きくせん断破壊

していた（写真 B-40）。損傷状況から、コンクリートブロック造壁が剛性に寄与してねじれ応答を生じ、Y1 構面と X4 構面に大きな損傷が発生したものと推察される。鉛直部材の損傷度ごとの本数をまとめたものを表 B-9 に示す。これに基づき、耐震性能残存率 R を計算すると、 $R=63.1\%$ となり「中破」と判定される。

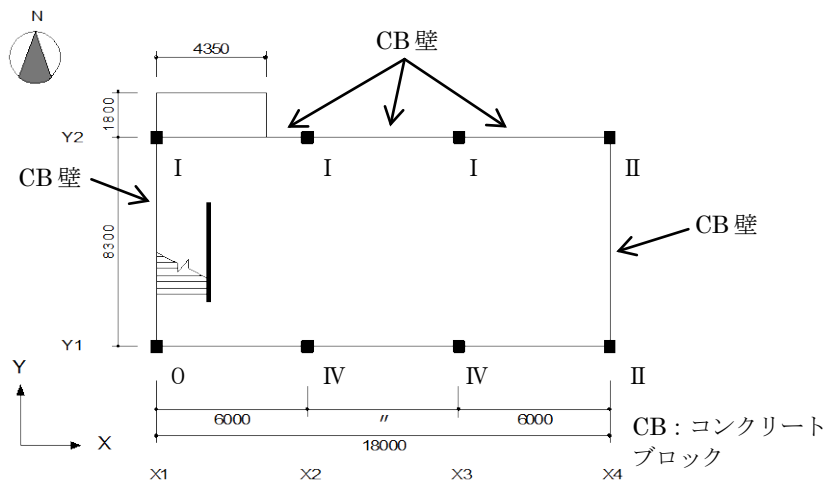


図 B-12 鉛直部材の損傷度（1 階桁行方向）

表 B-9 各損傷度の部材数

1 階 桁行方向		せん断柱
損 傷 度	0	1
	I	3
	II	2
	III	0
	IV	2
	V	0
調査部材数		8
総部材数		8



写真 B-37 建築物外観（南面）



写真 B-38 建築物外観（北面）



写真 B-39 柱のせん断破壊（損傷度 IV）



写真 B-40 コンクリートブロック造壁の破壊（X4 構面）

10) 建築物 I (茨城県)

建築物概要

立面形状：	地上 3 階、地下 1 階
平面形状：	桁行方向 59.4m (11 スパン)、梁間方向 36m (5 スパン) 南側の 3×7 スパンは平屋建て、北側の 2×11 スパンは 2 階又は 3 階建てで、3 階平面は 2×3 スパンの議会場部分と 1×2 スパンのアプローチ部分から構成
階高：	4050mm (1 階)、3600mm (2 階)、7000mm (3 階、議会場部分)、 3100mm (3 階、アプローチ部分)
面積：	建築面積 1533m ² 、延床面積 3100m ² (既存 RC 造のみ)
建設年：	1964 年 (1981 年に西側に鉄骨造 2 階建てを増築)
上部構造：	鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨造) 桁行方向 ラーメン構造、梁間方向 耐力壁付きラーメン構造
基礎構造：	杭基礎 (RC 杭 250～350φ)、一部直接基礎
使用材料：	コンクリート 設計基準強度不明 鉄筋 材質不明
耐震診断：	未実施
備考：	周辺に比べてやや高台に立地している

被害概要及び被災度区分判定結果

被害は各階に生じているが、特に被害が大きいのは 1 階であった。主な被害は腰壁・垂れ壁付き柱 (短柱) のせん断破壊であり、軸方向変形が生じているものも多数見られた。なお、敷地内 (建物から 200m 程度離れた位置) に設置されている K-NET (IBR005) の記録では、地震動の最大加速度は南北成分が 968.0gal、東西成分が 596.1gal と南北成分のほうが大きい、被害は桁行方向 (東西方向) のほうが顕著であった。この原因としては、梁間方向 (南北方向) には耐力壁が比較的多く設けられていたこと、桁行方向には腰壁・垂れ壁によって極短柱となる柱が多く存在していたことなどが考えられる。

図 B-13 及び表 B-10 に、被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠した 1 階桁行方向の損傷度調査結果を示す。これらに基づき略算法によって耐震性能残存率 R を計算すると R=37.6%となり、判定結果は「大破」であった。図 B-13 より北側の 2 階建て (一部 3 階建て) 部分では外構面の柱の大多数が損傷度 V であり、また、平屋建て部分の外構面についても損傷度 IV となっている柱が多いことがわかる。写真 B-43、44 に示すように、これらは全て腰壁・垂れ壁が取り付け柱 (短柱) のせん断破壊であり、これまでの地震被害でも危険性が指摘されてきた典型的被害形態の一つである。また、短柱のせん断破壊以外には写真 B-45 に示す袖壁付き柱 (㊦通り⑦柱) のせん断破壊 および写真 B-46 に示す開口付き耐力壁 (㊦通り①-②間) のせん断破壊が確認された。なお、内柱については袖壁付き柱 1 本に損傷度 IV (㊦通り③柱) が見られ、直交方向 (短辺方向) の耐力壁が取り付け柱 2 本に損傷度 III (㊦通り⑥柱および㊦通り⑪柱) が見られたが、これら以外は損傷度が I あるいは II であり、損傷が比較的軽微であった。

図 B-13 中には、梁間方向について 7 箇所の耐力壁の損傷度を調査した結果を示している。7 箇所のうち仕上げ材の存在などによって 2 箇所の損傷度が確認できなかったが、判定可能であった 5 箇所については全てで幅 1mm 以上のひび割れが確認された。

また、その他の被害として3階議場外構面上部に生じた水平ひび割れや、地下階を有する1階床スラブと地下階のない1階床スラブの境界部（⑤通り ⑩⑪間）に生じた段差などが見られた。

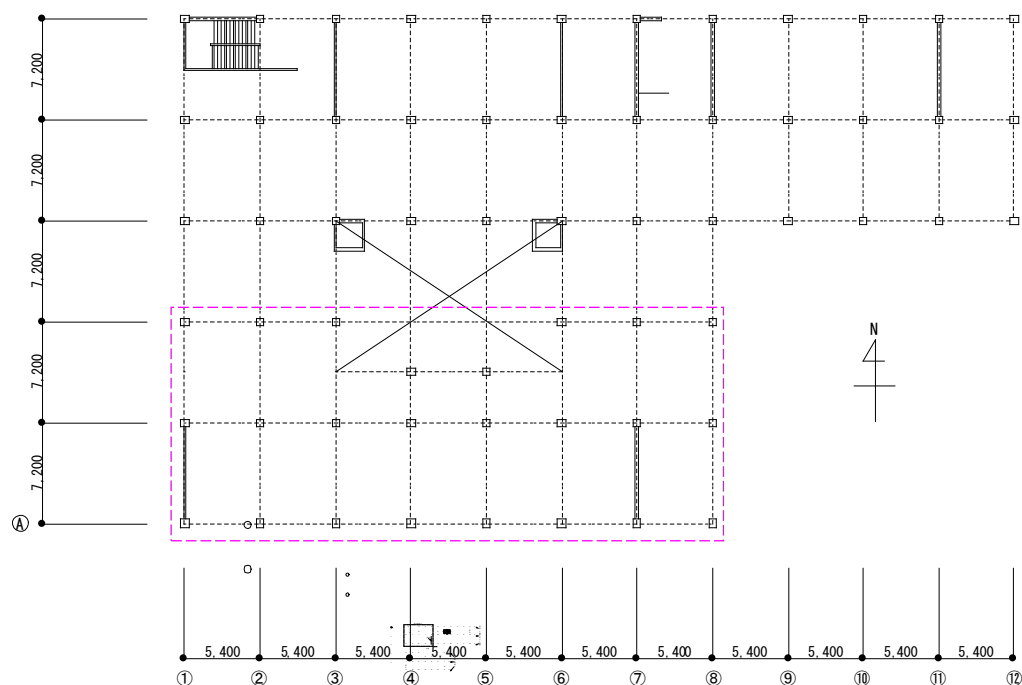


図 B-13 鉛直部材の損傷度（1階桁行方向、既存 RC 造のみ）

表 B-10 各損傷度の部材数

1 階 桁行方向		せん断柱	柱なし壁	柱型付壁	両側 柱付壁
損 傷 度	0	0	0	0	0
	I	8	0	0	0
	II	25	0	1	0
	III	5	1	0	0
	IV	4	0	1	0
	V	13	0	1	1
調査部材数		55	1	3	1
総部材数		—	—	—	—



写真 B-41 建築物外観（南側）



写真 B-42 建築物外観（東側）



写真 B-43 短柱のせん断破壊
(損傷度 V : ㊦通り⑤柱)



写真 B-44 短柱のせん断破壊
(損傷度 V : ㊦通り⑩柱)



写真 B-45 袖壁付き柱のせん断破壊
(損傷度 V : ㊦通り⑦柱)



写真 B-46 開口付き耐力壁のせん断破壊
(損傷度 V : ㊦通り①-②間)

11) 建築物 J (茨城県)

建築物概要

立面形状： 地上 2 階、地下階なし
平面形状： 桁行方向 48.35m (8 スパン+2 スパン)、梁間方向 12m (2 スパン)
建築物高さ： 7.5m (軒高) (1 階 3.8m、2 階 3.5m)
面積： 建築面積 617.1m²、延床面積 994.2m²
建設年： 1969 年 (1979 年に一部増築)
上部構造： 鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨造)
桁行方向 ラーメン構造、梁間方向 耐力壁付きラーメン構造
基礎構造： 杭基礎 (RC 杭：300φ)
使用材料： コンクリート 設計基準強度 180kgf/cm² (既存部)、210kgf/cm² (増築部)
鉄筋 SR24 (SR235) (既存部)、SD30 (SD295) (一般部)
耐震診断： 2003 年実施済 (2003 年耐震補強済)
備考： 写真 B-48 に註記した平屋部分の一部及び 2 階部分の一部が増築部で、それぞれ EXP. J
により既存部に接続
南北の外構面 (桁行方向) には枠付き鉄骨ブレースによる耐震補強を実施済
2 階平面は 2×7 スパン、短辺方向のスパン割りは 1 階とほぼ同様

耐震診断結果

2003 年に実施された耐震診断 (第 3 次診断法) によれば、梁間方向では 1 階が $I_s=0.80$ 、2 階が $I_s=1.07$ であり判定指標値 $I_{so}=0.6$ を上回っていたが、桁行方向では 1 階が $I_s=0.50$ 、2 階が $I_s=0.80$ であり 1 階で判定指標値 $I_{so}=0.6$ を下回っていたために補強が行われている。

被害概要及び被災度区分判定結果

被害は 1 階の方が大きく、主要な被害は柱のせん断破壊であった。図 B-14 及び表 B-11 に、被災度区分判定基準^{B-2)}に準拠した 1 階桁行方向の損傷度調査結果を示す。本建築物では枠付き鉄骨ブレースによる耐震補強が行われていたが、枠付き鉄骨ブレースを無視して全てせん断柱として見た場合の判定結果を示している。略算法によって判定した被災度区分は「中破」となった。ちなみに、表 B-11 中には枠付き鉄骨ブレースによって補強された箇所を両側柱付壁とみなした場合の損傷度も括弧付きで示しているが、その場合の被災度区分は「大破」となる。被災度区分判定基準^{B-2)}は、本事例のような枠付き鉄骨ブレースなどによる耐震補強済み建築物の被災度を判定することを想定したものではないので、試行的に上記のような判定を行ったものである。実際の被災度区分は、「中破」と「大破」の中間に位置するものと推察される。

写真 B-49、50 に補強ブレースが取り付け柱 (㉔-⑧柱および㉔-⑧柱) の被害状況の例を示す。写真 B-49 に示す㉔-⑧柱では、ブレース補強構面内 (桁行方向) と構面外 (梁間方向) の双方で損傷度 IV のせん断破壊が生じていた。写真 B-50 に示す㉔-⑧柱では、構面内で損傷度 II、構面外で損傷度 III のせん断ひび割れが生じていた。一方で、補強ブレースには目立った損傷は確認されなかった。柱の被害としては、せん断破壊以外にも写真 B-51、52 に示すように曲げ破壊 (㉔⑨柱) も確認された。また、写真 B-53、54 は梁間方向の梁 (⑧通り) に生じた被害例であるが、梁間方向においては中柱を省略してスパンを大きく取った⑥～⑨通りで、写真 B-53 に示すような梁端部の顕著な曲げひび割

れと、写真 B-54 に示すような梁中間部に比較的大きなひび割れが生じていた。なお、本建築物の関係者から得た情報によれば、この梁中間部のひび割れについては以前より生じていたもので、今回の地震でさらに広がったとのことであった。

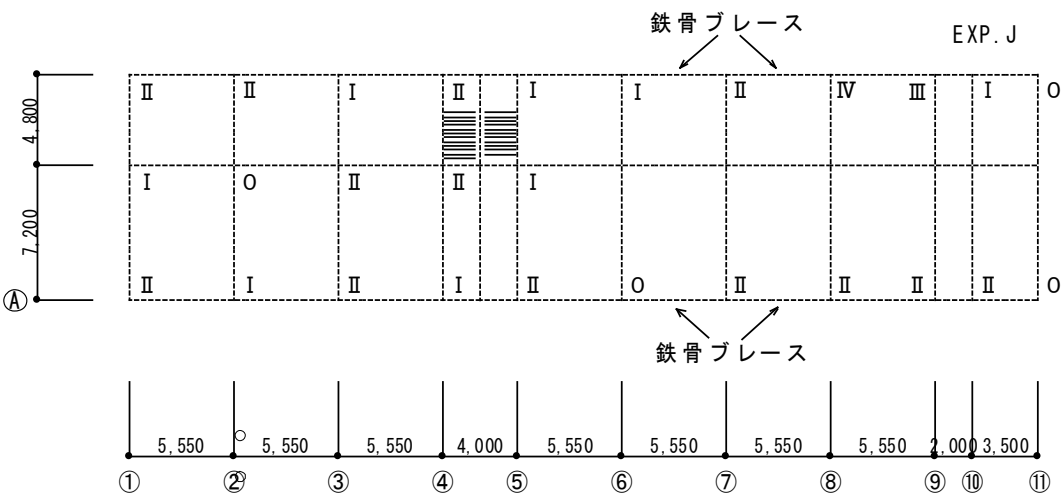


図 B-14 鉛直部材の損傷度（1 階桁行方向）

表 B-11 各損傷度の部材数			
1 階 桁行方向		せん断柱	両側 柱付壁
損 傷 度	0	4 (3)	0 (0)
	I	8 (7)	0 (0)
	II	13 (10)	0 (3)
	III	1 (1)	0 (0)
	IV	1 (0)	0 (1)
	V	0 (0)	0 (0)
調査部材数		27 (21)	0 (4)
総部材数		—	—

* （ ）内は枠付き鉄骨ブレース補強箇所を両側柱付壁として読み替えた場合



写真 B-47 建築物外観（南側）



写真 B-48 建築物外観（北側）



写真 B-49 補強ブレースが取り付け柱の構面内
および構面外に生じたせん断破壊（C-8柱）



写真 B-50 補強ブレースが取り付け柱の構面外
に生じたせん断破壊（A-8柱）



写真 B-51 梁間方向の柱頭曲げひび割れ
（A-9柱）



写真 B-52 梁間方向の柱脚曲げ圧壊（A-9柱）



写真 B-53 梁間方向の梁端部に生じた
曲げひび割れ



写真 B-54 梁間方向の梁中間部に生じた
ひび割れ (⑨通り：ひび割れ幅 5mm)

参考文献：

- B-1) 上之菌隆志、飯場正紀、斉藤大樹、五十田博：三陸沖地震被害調査報告（案）、
[http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp/Saigai/tohoku/SWG2-2\(saito\).pdf](http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp/Saigai/tohoku/SWG2-2(saito).pdf)
- B-2) 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 年 9 月