

## 4.1 被害状況の概要

### 4.1.1 全体概要

今回の建築構造物の被害の最も大きな特徴としては、過去の地震では崩壊、大破したものは複数の構造上の要因が重なりあった結果と考えられたものが多かったのに対し、今回は1つか2つの要因でも大被害を生じたと考えられることである。それは、ピロティ形式であった、柱の帯筋が少なかった、壁が偏心していた、旧規準仕様であった、等、どこかに1つの欠陥があっても建物の崩壊・大破の原因と成り得たということである。これは地震動が非常に大きかったということがもっとも大きな要因として考えられ、従来であれば崩壊・大破を免れたような建物でも、今回は助からなかったケースが多く見られた。

構造上の要因のうち、いずれの構造種別の建物でも比較的大きな影響を与えたものとして、建築構造物の耐震設計基準の違いがあげられよう。すなわち、建物の設計時点の耐震基準が1971年以前のいわゆる旧耐震、1972～1980年の移行期および1981年以降の現行法規、いわゆる新耐震のいずれの時期に設計されて、施工されたかの違いである。

当社の施工物件においても、現在までに発表されている学会その他の調査結果と同様、新耐震によって設計・施工された建物での崩壊・大破はそれ以前の時期に設計・施工された建物にくらべ、かなり被害率が小さいことが明らかとなっている。

なお、新耐震以降の被害建物では、構造設計上の大原則である梁降伏ではなく、柱の降伏によって大きな被害を被ったケースが見られることから、設計・計算上の問題があるものと思われる。

また、上部構造は無被害に見えても、杭に被害がみられるものもある。杭が上部構造物の振動で壊れたり、地滑り、斜面崩壊、側方流動で杭が持っていかれて壊れたことなどが原因として考えられている。杭の被害は調査自体も難しいことと、修復・補強が極めて難しいことから、今後、設計手法に立ち戻って検討していく必要のある項目であろう。

### 4.1.2 R C造及びS R C造建物

鉄筋コンクリート造（R C造）および鉄骨鉄筋コンクリート造（S R C造）のR C造系建物の被害パターンとしては、まず第一に、ソフトストーリー、すなわち剛性・強度が他に比べ小さい最下層（上層が住居で壁が多く、1階が店舗の下駄履きや駐車スペースなどピロティとなっているもの）の崩壊、これは必ずしも柱のせん断破壊だけでなく、曲げ破壊とせん断破壊が混在してその層が破壊するという形式がみられる。整形な建物でも古い設計のもので1層が破壊するというもの、これは学校建築などで、十勝沖地震でみられたような短柱破壊的なものである。つぎに、壁の偏在に起因すると思われる隅柱の崩壊、大破が見られる。

また、中・高層建物の中間層での崩壊が特徴的な被害としてあげられる。この原因として以下のような理由があげられよう。

### ①設計用地震力の不足

新耐震以前の設計用地震力は、新耐震に比較して上層部で小さいため、中間層から上層にかけて部材断面を小さく絞ったり耐震壁を減らしたりしたため、保有耐力が中間層で地震入力を大幅に下回った。

### ②異種構造の採用

下層をSRC造、中間層から上をRC造としている例で、上記と同様耐力が急変する場合と、構造種別の違いによる復元力特性の差異が原因となったもの。

### ③上下地震動の影響

従来では地震動入力の際は、上下動が先に作用して水平動とは独立と考えられてきたが、今回は時間的に一致、つまり同時性が強く、水平動との組み合わせの応力状態が建物に作用した。また、大きな水平変形によるP-Δ効果に上下動による軸方向力が加わって層崩壊を引き起こした。

### ④セットバック、壁の偏心などねじれの影響

中間層より上で建物の平面形が小さくなるいわゆるセットバックにより剛性が急変したり、耐震壁がなくなったり偏在したりするためねじれが生じたもの。

### ⑤使用材料の影響

SRC造でもアングル材ラチス構造の非充腹型鉄骨のため、せん断耐力が不足している。また、古い建物のコンクリートの設計基準強度が低いための劣化が大きかったこと。

これらは独立の場合の他、いくつか合わさって大きな被害につながった場合もあると推定される。現在各方面で解析的な検証を実施しており、それぞれの建物について近い将来にその主要因が明らかになるものと思われる。

これらに加えて、RC系構造特有の施工欠陥も見られ、大きな被害の一因になったと考えられるものもあった。例えば、配筋の不良で、主筋の台直しのため柱の根元が圧壊している例や主筋の圧接部が破断したり、補強筋のフックにいい加減な例も多々みられた。また細い鉄筋がコンクリートを打つときにずれてかぶりが全くないとか、片一方にかぶりが過大にあるというような状態も見られる。次にコンクリートの品質が悪いと考えられるもので、ジャンカ、豆板、あるいはSRCのはり下のコンクリートがそっくりないものがあった。また、コンクリート強度も少ないケースがあったことが懸念される。これらの他、コンクリートの老朽化の問題がある。古い建物には中性化や塩害やアルカリ骨材反応などがあって、だいぶひびが入っていたり、鉄筋が錆びたりしており、これらが耐震性の劣化にどれだけ影響を与えていたか明確ではないが、耐力低下の原因となったとも考えられる。

マスコミなどの報道によれば、神戸市には4階以上のビルが約1万6000棟あったといわれており、その内倒壊、大破のため使用禁止のラベルが貼られたビルが、その約1割弱の1268棟あったとされる。また建築学会の初動の調査によれば学会としての倒壊、大破という定義で見ると神戸市でRC造だけで538件となっている。したがって、使用禁止の半分ぐらいがRC造であったことになる。

このことは逆に、被害が無かったり軽微だったものも多くあるわけで、その理由を考察

することは今後の大切な課題であろう。具体的には構造被害が軽微だったものとして、古いものでも壁量が多いもの、たとえ老朽化して、鉄筋が錆びたりしているものでも壁が多いものは大きな被害を免れている。また、新耐震以降のRC、SRC造で大きな被害を受けたものは1、2%と推定されており、概ね新耐震は機能したものといえよう。さらに、60m以上の評定物件に関しては神戸市にはRC造のものはなかったが、10件ぐらいあったSRC造については、ひび割れが一部入っているものの大きな被害は見られなかった。

#### 4.1.3 S造

鉄骨造（S造）における被害パターンは、第一に1階柱脚部の破壊による倒壊、傾斜などの被害である。これらはアンカーボルトの引き抜きや破断および柱材そのものの破断によるものである。また、RC造系建物と同様に、ソフトストーリー、すなわち剛性・強度が他に比べ小さい最下層（ピロティー形式で、1階が工場、店舗、車庫などで2階以上が事務所や住宅となっているもの）の崩壊で、ブレースの破断や柱脚、柱頭の降伏が原因となったものである。また、昨年アメリカ・ノースリッジ地震でも報告されている被害であるフレーム構造での柱・梁接合部の梁下フランジの溶接部の破断による被害が見られる。鉄骨構造は仕上げ材と耐火被覆をはがさないとなれば実体がよくわからないため、例えば溶接が切れていても、外から見たときにはほとんど変形も生じないで、なんでもないように見えるケースも多いことから、今後調査が進むに従ってこの被害は多く出てくることが考えられる。

もう1つのパターンは、過去の地震でもいつも指摘されることで、不良施工や設計時の配慮不足で生じる被害である。たとえばアンカーボルトの施工が悪かったり、突き合わせ溶接をやらなければいけなかったところをすみ肉溶接にしているとかである。率からいけばこの最後のパターンが鉄骨の場合が一番多いと考えられる。

さらに芦屋浜で見られたような脆性破壊による被害がある。これは今までにほとんど目にしたことのないような破壊パターンであり、S造での今回の地震被害として1つの大きな特徴であると考えられる。

この脆性破壊の原因については現在関係各方面で調査・研究が進められているが、地震入力、鉄骨のひずみ速度、拘束応力、柱素材（ユニバーサルボックス）、溶接欠陥などが複合的に関わりあって生じたものと考えられている。

なお、高層評定を受けている軒高60m以上の超高層建築物では、上記以外大きな被害が生じたという報告はない。

#### 4.1.4 木造

木造住宅の被害は甚大であったが、古くから言われている、「屋根は軽く、壁には筋交い、基礎はしっかり」という木造住宅の鉄則に合致したものの被害が明らかにごくわずかであったことから、改めて木構造の在り方にはっきりとした指針が得られたものといえるであろう。

## 4.2 被害建物の分析

### 4.2.1 被害建物調査・分析の概要

被害建物の調査は、1月30日～2月3日及び2月13日～17日の間、現地調査を中心に行った。限られた時間内にすべてを網羅することは不可能であるので以下のような観点から、地区及び対象建物を限定して調査した。

まず、被害建物の調査方法及び調査項目としては、

○損傷度判定(崩壊、大破、中破、小破、軽微、無被害)は、すべて現地における建物外観調査により行った。したがって、内部の損傷状況、あるいは鉄骨造等の仕上げを剥しての詳細な調査を実施した場合には、損傷度判定が多少変動する可能性がある。

○調査項目は、構造種別(RC造系、鉄骨造)、階数、用途及び用途の切替の有無、建設年代、崩壊大破の場合にはそのパターン(崩壊層など)と崩壊モード(曲げ、せん断、斜張力など)である。

また、調査地区及び調査の観点は、

○中央区三宮駅周辺：被害甚大の地域であり、なるべく多くの規模や用途、構造の異なる建物を調査した。

○東灘区、芦屋市、西宮市、芦屋浜：中規模から大規模な集合住宅が多数存在する地区であるので、これらの集合住宅の被害を中心に調査した。

○六甲アイランド：島中央の高層ビルを中心に調査した。

○兵庫区、長田区：主な被害建物を中心に調査した。

### 4.2.2 被害建物調査結果

#### 4.2.2.1 地区毎の被害状況

東西方向に帯状に広がる震度7の地域においても被害状況は均一ではなく、被害の程度に差がみられる。まず、最も被害が大きい三宮駅周辺地区の建物被害状況を図4.2-1(402件の損傷度を表示)に示すが、中でも駅の北西地区はいわゆる雑居ビルの密集地帯で、倒壊率はきわめて高い。駅の南側の地区では、規模の大きいビルが多く、倒壊率は下がるが、同規模の建物でも崩壊から無被害まで損傷度に大きな差がある。鯉川筋より西側及び生田川より東側では被害はスポット的になり、倒壊率は下がる。また中山手通りより北側の地区では被害は激減する。また南側の歴史的建造物の多い海岸通り沿いの建物被害も少ない。

東灘地区では大規模集合住宅を中心に被害が顕著であるが、芦屋市でも主たる調査対象の集合住宅の被害は他の地域に比して大きい。芦屋浜では、高層住宅棟の被害をのぞいては全体的に被害は軽微である。また、六甲アイランドでは、崩壊大破した建物はない。

#### 4.2.2.2 被害調査建物の損傷度分類

まず、表4.2-1に調査全建物の損傷度分類を建物階数毎に示す。調査建物は全部で583件、内崩壊124件、大破74件、中破77件、小破86件、軽微97件、無被害125件である。階数と損傷度との関係を見ると、崩壊・大破した建物は9階以下の中低層に多く、中でも4～6階建の建物が多い。また、調査した範囲内では14階建以上の建物で崩壊・大破した建物はなかった。

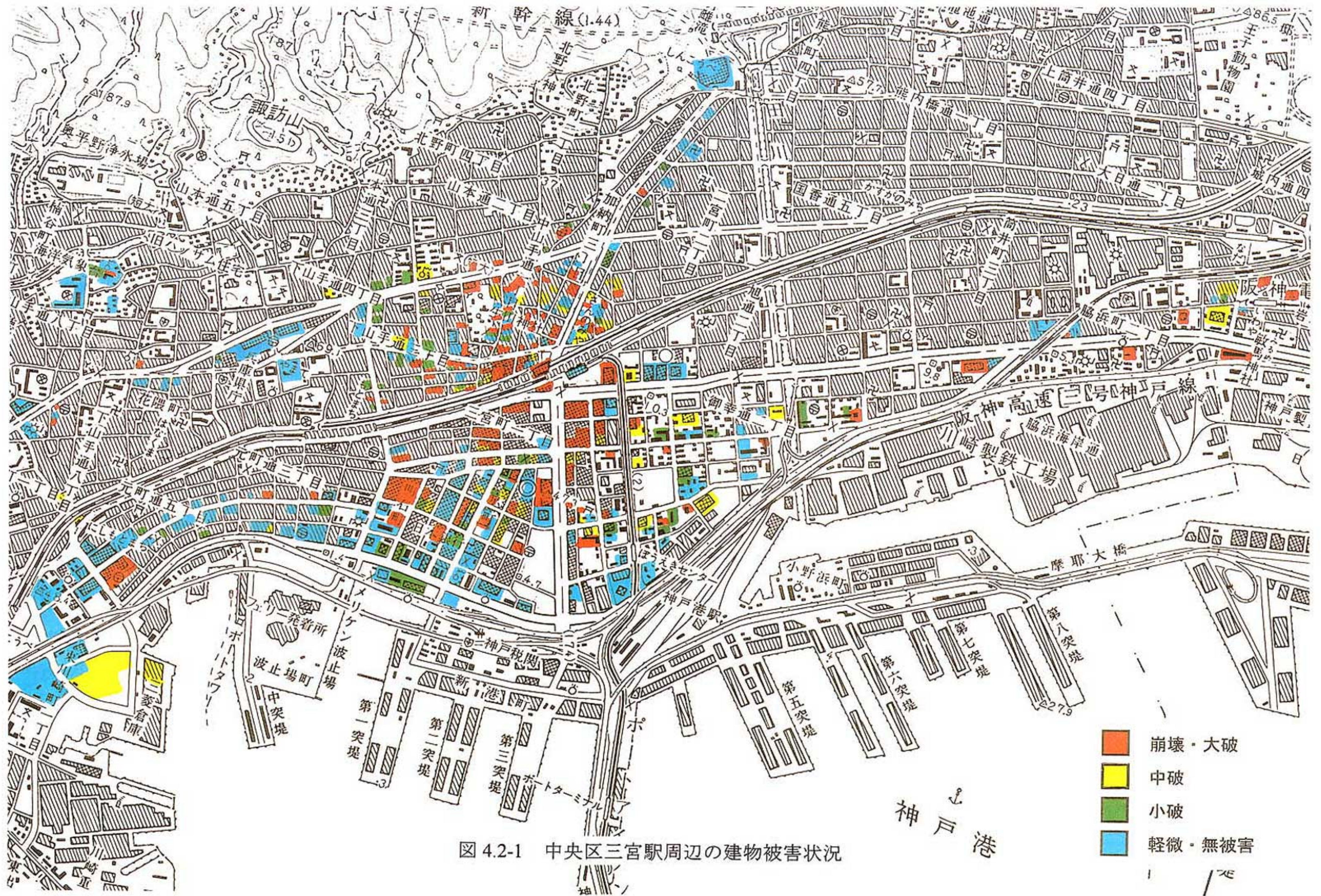


図 4.2-1 中央区三宮駅周辺の建物被害状況

表4.2-1 全調査建物損傷度分類

| 階数  | 不明 | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 26 | 30 | 31 | 32 | 37 | 38 | 40 | 総計  |
|-----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 崩壊  | 16 |   | 2  | 10 | 20 | 21 | 20 | 9  | 9  | 6  | 4  | 5  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 124 |
| 大破  | 6  |   | 3  | 5  | 18 | 10 | 10 | 8  | 9  | 1  |    | 3  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 74  |
| 中破  | 6  |   |    | 10 | 7  | 2  | 4  | 14 | 10 | 6  | 2  | 8  | 4  | 3  |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 77  |
| 小破  | 12 |   | 3  | 2  | 9  | 8  | 1  | 13 | 7  | 10 | 8  | 7  | 1  | 1  | 3  |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 86  |
| 軽微  | 7  |   | 3  | 4  | 9  | 8  | 10 | 6  | 7  | 12 | 7  | 9  | 6  | 1  | 2  | 1  |    |    |    |    |    | 1  | 1  |    |    |    | 1  | 1  |    | 1  | 97 |     |
| 無被害 | 16 | 1 | 1  | 5  | 10 | 18 | 4  | 6  | 16 | 12 | 8  | 7  | 2  | 2  | 5  |    |    | 1  | 2  | 1  | 1  |    |    | 1  | 2  | 1  |    | 1  | 1  |    | 1  | 125 |
| 総計  | 63 | 1 | 12 | 36 | 73 | 67 | 49 | 56 | 58 | 47 | 29 | 39 | 15 | 8  | 10 | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 583 |

#### 4.2.3 崩壊・大破建物の分析

##### 4.2.3.1 崩壊・大破層の傾向

調査建物中、崩壊・大破した建物は全部で198件である。内、RC造系は135件、鉄骨造は43件、構造不明が18件である(残り2件は煉瓦造)。構造種別毎の崩壊・大破層と建物階数との関係を表4.2-2、図4.2-2に示す。

これによると、RC造系では1階の崩壊・大破が圧倒的に多いが、今回の地震被害の特徴的なパターンであった3階以上が崩壊・大破するいわゆる中間層崩壊も15件とかなり多い。また、基礎の不動沈下により建物全体が傾斜したものも、数は少ないが見受けられた。

一方、構造種別が鉄骨造と判別している建物においては中間層崩壊したものは少ないが、1階が層崩壊した建物はかなり多い。これは、ビル密集地帯の間口が狭く、塔状比の大きなビルに比較的多くみられる崩壊パターンである。

##### 4.2.3.2 建設年代と崩壊・大破層(RC造系)

建設年代が比較的特定しやすいRC造系の建物について、建設年代と崩壊・大破した層の関係を示したのが表4.2-3である。建設年代については、以下のように3種類に分類した。建設年代が明らかでないものについては、使用鉄筋の種類、帯筋の間隔などから推定した。

① ～1971年：旧建築基準法かつ旧RC規準により設計された建物

②1971～1981年：新RC規準により設計された建物

③1981年～ ：新建築基準法(新耐震)により設計された建物

これによると、まず1971年以前では74件だった崩壊・大破件数が、1971年以降には20件に減少し、さらに1981年以降では2件となっている。

また、1971年以前の建物では1階が崩壊・大破した建物が最も多いが、中間層崩壊した建物も顕著である。これが、1971年以降になると中間層崩壊した建物は無くなり、ほとんどが1階層崩壊の崩壊パターンとなる。さらに、1981年以降になると中間層崩壊はもとより1階層崩壊もほとんど無くなっており、これらのデータを見る限りRC新規準並びに新耐震の妥当性が示された形になっている。

##### 4.2.3.3 用途と崩壊・大破層

建物の用途、用途切替えと崩壊・大破層の関係を示したのが、表4.2-4である。用途分類は大きく4つに分類し、それぞれ次の分類によった。

①事務所：一般のオフィス、雑居ビル、小規模店舗、役所などを含む

②住宅：集合住宅、ホテルなどを含む

③店舗：大規模店舗

④その他：上記以外で、病院、学校などを含む

これによると、事務所ビルについては単一用途のものがほとんどで、1階層崩壊及び中間層崩壊が顕著である。

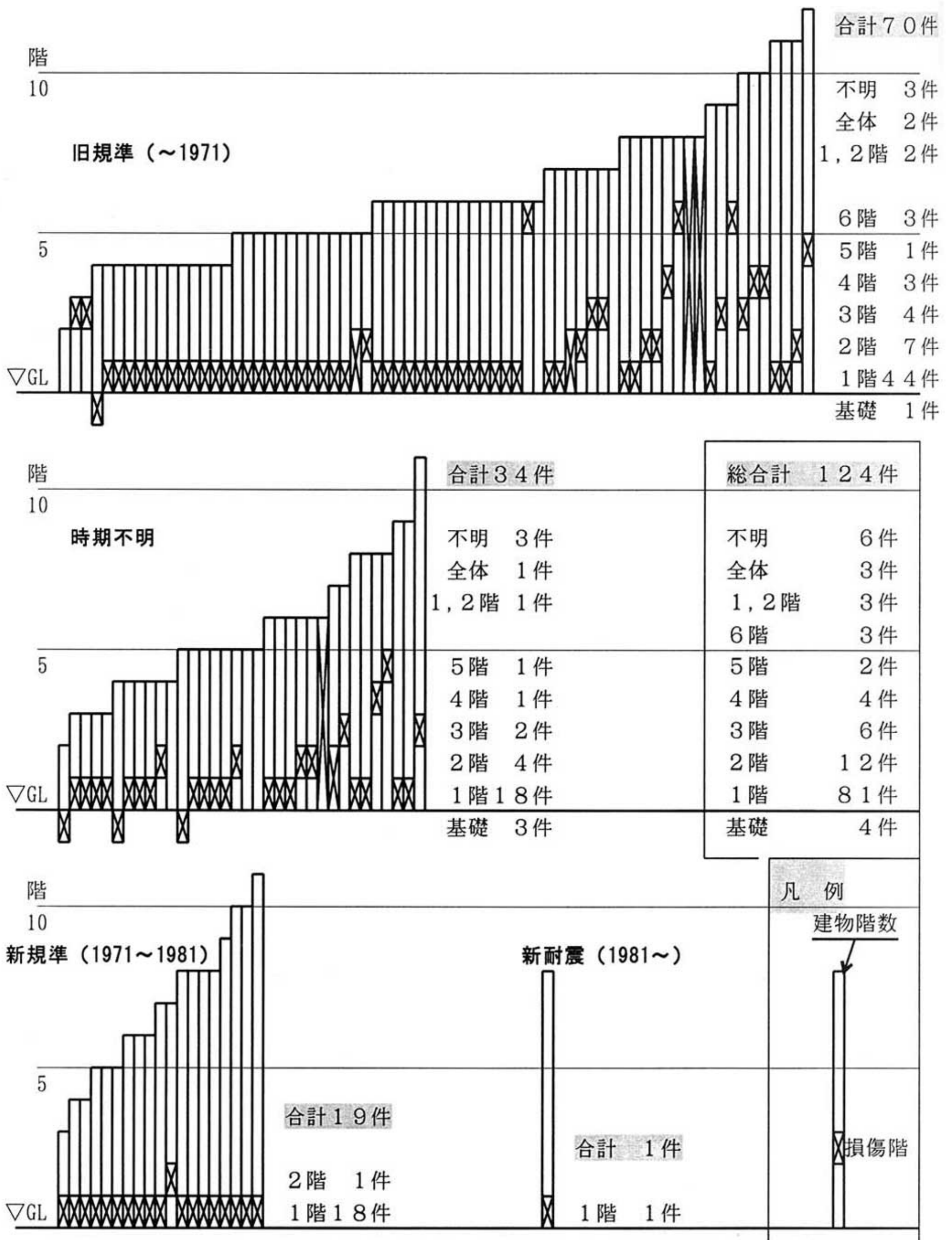
一方、住宅に関しては、単一用途の場合及び1階が駐車場あるいは事務所のいわゆる下駄

表4.2-2 調査建物中崩壊大破建物の損傷階

| 構造   | 階数   | 不明 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 総計  | %   |
|------|------|----|---|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|
| RC系  | 不明   | 3  | 1 |    | 1  | 2  | 1  | 1  |    |   |    |    |    |    | 9   | 7   |
|      | 全体   |    |   |    |    |    | 1  |    | 2  |   |    |    |    |    | 3   | 2   |
|      | 8階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 7階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 6階   |    |   |    |    |    | 1  |    | 1  | 1 |    |    |    |    | 3   | 11  |
|      | 5階   |    |   |    |    |    |    |    | 1  |   |    |    | 1  |    | 2   |     |
|      | 4階   |    |   |    |    |    |    |    | 2  |   | 2  |    |    |    | 4   |     |
|      | 3階   |    |   |    |    |    |    |    | 3  |   | 1  | 1  |    |    | 6   |     |
|      | 2階   |    |   | 2  | 1  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2 |    |    | 1  |    | 12  | 9   |
|      | 1階   | 7  |   | 5  | 17 | 18 | 20 | 3  | 9  | 4 | 1  | 4  |    |    | 88  | 65  |
|      | 1,2階 |    |   |    |    | 1  |    | 2  |    |   |    |    |    |    | 3   | 2   |
|      | 傾斜   |    | 1 |    | 2  | 2  |    |    |    |   |    |    |    |    | 5   | 4   |
| RC系計 |      | 10 | 2 | 7  | 21 | 25 | 25 | 11 | 17 | 6 | 4  | 6  | 1  | 0  | 135 | 100 |
| 構造   | 階数   | 不明 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 総計  | %   |
| S    | 不明   | 1  |   | 1  | 2  |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 4   | 9   |
|      | 全体   |    |   |    | 2  |    |    | 1  |    |   |    |    |    |    | 3   | 7   |
|      | 8階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 7階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 6階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 5階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 4階   |    |   |    | 1  |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 1   | 2   |
|      | 3階   |    |   |    |    | 1  |    | 1  |    |   |    |    |    |    | 2   | 5   |
|      | 2階   |    | 1 |    | 1  |    | 1  |    |    |   |    |    |    |    | 3   | 7   |
|      | 1階   | 5  | 1 | 5  | 10 | 3  | 3  | 2  | 1  |   |    |    |    |    | 30  | 70  |
|      | 傾斜   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
| S計   |      | 6  | 2 | 6  | 16 | 4  | 4  | 4  | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 43  | 100 |
| 構造   | 階数   | 不明 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 総計  |     |
| 不明   | 不明   | 4  |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 4   |     |
|      | 全体   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 8階   | 1  |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 1   |     |
|      | 7階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    | 1  |    |    | 1   |     |
|      | 6階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
|      | 5階   |    |   |    |    |    |    | 1  |    | 1 |    | 1  |    |    | 3   |     |
|      | 4階   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    | 1  |    | 1   |     |
|      | 3階   |    |   |    |    |    |    |    | 1  |   |    |    |    |    | 1   |     |
|      | 2階   |    |   |    | 1  |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 1   |     |
|      | 1階   |    |   | 2  |    | 2  | 1  |    |    |   |    |    |    |    | 1   | 6   |
|      | 傾斜   |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 0   |     |
| 不明計  |      | 5  | 0 | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 0  | 1 | 0  | 2  | 1  | 1  | 18  |     |
| 構造   | 階数   | 不明 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 総計  |     |
| 煉瓦   | 全体   | 1  |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 1   |     |
|      | 2階   |    | 1 |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    | 1   |     |
| 煉瓦計  |      | 1  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2   |     |
| 総計   |      | 22 | 5 | 15 | 38 | 31 | 30 | 17 | 18 | 7 | 4  | 8  | 2  | 1  | 198 |     |

表4.2-3 R C系崩壊大破建物の損傷階

|      |    | 旧規準(～1971) |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    |    |     |    |
|------|----|------------|---|----|----|----|---|---|---|----|----|----|----|-----|----|
| 階数   | 不明 | 2          | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計  | %   |    |
| 不明   |    | 1          |   |    |    | 1  | 1 |   |   |    |    |    | 3  | 4   |    |
| 全体   |    |            |   |    |    |    |   | 2 |   |    |    |    | 2  | 3   |    |
| 6階   |    |            |   |    |    | 1  |   | 1 | 1 |    |    |    | 3  | 15  |    |
| 5階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    | 1  | 1  | 1  |     |    |
| 4階   |    |            |   |    |    |    |   | 1 |   | 2  |    |    | 3  |     |    |
| 3階   |    |            |   |    |    |    | 2 |   | 1 | 1  |    |    | 4  |     |    |
| 2階   |    |            | 2 |    | 1  |    | 1 | 2 |   |    | 1  |    | 7  | 10  |    |
| 1階   | 4  |            |   | 12 | 11 | 14 | 2 | 2 | 1 |    | 2  |    | 48 | 65  |    |
| 1,2階 |    |            |   |    | 1  |    | 1 |   |   |    |    |    | 2  | 2   |    |
| 傾斜   |    |            |   | 1  |    |    |   |   |   |    |    |    | 1  | 1   |    |
| 総計   | 4  | 1          | 2 | 13 | 13 | 16 | 7 | 8 | 3 | 3  | 3  | 1  | 74 | 100 |    |
|      |    | 年代不明       |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    |    |     |    |
| 階数   | 不明 | 2          | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計  | %   |    |
| 不明   | 3  |            |   | 1  | 2  |    |   |   |   |    |    |    | 6  | 15  |    |
| 全体   |    |            |   |    |    | 1  |   |   |   |    |    |    | 1  | 3   |    |
| 6階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 5階   |    |            |   |    |    |    |   | 1 |   |    |    |    | 1  | 10  |    |
| 4階   |    |            |   |    |    |    |   | 1 |   |    |    |    | 1  |     |    |
| 3階   |    |            |   |    |    |    | 1 |   |   |    | 1  |    | 2  |     |    |
| 2階   |    |            |   | 1  | 1  | 2  |   |   |   |    |    |    | 4  | 10  |    |
| 1階   | 2  |            | 4 | 3  | 4  | 3  |   | 2 | 2 |    |    |    | 20 | 51  |    |
| 1,2階 |    |            |   |    |    |    | 1 |   |   |    |    |    | 1  | 3   |    |
| 傾斜   |    | 1          |   | 1  | 1  |    |   |   |   |    |    |    | 3  | 8   |    |
| 総計   | 5  | 1          | 4 | 6  | 8  | 6  | 2 | 4 | 2 | 0  | 1  | 0  | 39 | 100 |    |
|      |    | 新規準(1971～) |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    |    |     |    |
| 階数   | 不明 | 2          | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計  | %   |    |
| 不明   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 全体   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 6階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 5階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 4階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 3階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 2階   |    |            |   |    |    |    | 1 |   |   |    |    |    | 1  | 5   |    |
| 1階   | 1  |            | 1 | 2  | 3  | 3  | 1 | 4 | 1 | 1  | 2  |    | 19 | 95  |    |
| 1,2階 |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 傾斜   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  |     |    |
| 総計   | 1  | 0          | 1 | 2  | 3  | 3  | 2 | 4 | 1 | 1  | 2  | 0  | 20 | 100 |    |
|      |    | 新耐震(1981～) |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    |    | 計   | 総計 |
| 階数   | 不明 | 2          | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |    |     |    |
| 不明   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 9   |    |
| 全体   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 3   |    |
| 6階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 3   |    |
| 5階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 2   |    |
| 4階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 4   |    |
| 3階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 6   |    |
| 2階   |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 12  |    |
| 1階   |    |            |   |    |    |    |   | 1 |   |    |    |    | 1  | 88  |    |
| 1,2階 |    |            |   |    |    |    |   |   |   |    |    |    | 0  | 3   |    |
| 傾斜   |    |            |   |    | 1  |    |   |   |   |    |    |    | 1  | 5   |    |
| 総計   | 0  | 0          | 0 | 0  | 1  | 0  | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2  | 135 |    |



注)階数不明を除く

図4.2-2 RC造系崩壊・大破建物の損傷階

表4.2-4 用途別・構造別崩壊大破建物の損傷階

| 構造    | 用途  | 用途切替   | 崩壊大破した層 |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 全体 | 不明  | 総計 |
|-------|-----|--------|---------|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|----|
|       |     |        | 傾斜      | 1,2 | 1   | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |     |    |
| RC系   | 事務所 | 切替無し   | 1       | 1   | 56  | 8  | 5 | 3 | 2 | 2 |   |   |   | 3  | 5   | 86 |
|       | 住宅  | 切替無し   | 3       |     | 12  |    |   |   |   |   |   |   |   |    | 1   | 16 |
|       |     | 1F駐車場  |         | 1   | 7   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 8  |
|       |     | 1F事務所  | 1       |     | 8   | 1  |   |   |   |   |   |   |   |    | 1   | 11 |
|       |     | 1-2F事務 |         | 1   |     |    |   |   |   |   |   |   |   |    | 1   | 2  |
|       |     | 1-3F事務 |         |     | 1   | 1  | 1 | 1 |   |   |   |   |   |    |     | 4  |
|       | 店舗  | 切替無し   |         |     | 2   | 2  |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 4  |
|       |     | 上層事務   |         |     |     |    |   |   |   | 1 |   |   |   |    |     | 1  |
| その他   |     |        |         | 2   |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 1  | 3   |    |
| RC系 計 |     |        | 5       | 3   | 88  | 12 | 6 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 | 9  | 135 |    |
| 構造    | 用途  | 用途切替   | 崩壊大破した層 |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 全体 | 不明  | 総計 |
|       |     |        | 傾斜      | 1,2 | 1   | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |     |    |
| S     | 事務所 | 切替無し   |         |     | 19  | 3  | 2 | 1 |   |   |   |   |   | 1  | 2   | 28 |
|       |     | 1F駐車場  |         |     | 1   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 1  |
|       |     | 横駐車場   |         |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 1  |     | 1  |
|       | 住宅  | 切替無し   |         |     | 5   |    |   |   |   |   |   |   |   |    | 2   | 7  |
|       |     | 1F駐車場  |         |     | 2   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 2  |
|       |     | 1F事務所  |         |     | 2   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 2  |
|       | その他 |        |         | 1   |     |    |   |   |   |   |   |   | 1 |    | 2   |    |
| S 計   |     |        | 0       | 0   | 30  | 3  | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4  | 43  |    |
| 構造    | 用途  | 用途切替   | 崩壊大破した層 |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 全体 | 不明  | 総計 |
|       |     |        | 傾斜      | 1,2 | 1   | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |     |    |
| 不明    | 事務所 | 切替無し   |         |     | 4   | 1  |   | 1 | 2 |   | 1 |   |   |    | 2   | 11 |
|       | 住宅  | 切替無し   |         |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 0  |
|       |     | 1F駐車場  |         |     | 1   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 1  |
|       |     | 1F事務所  |         |     | 1   |    |   |   |   |   |   |   |   |    |     | 1  |
|       |     | 1-2F事務 |         |     |     |    | 1 |   |   |   |   |   |   |    |     | 1  |
|       | 店舗  | 切替無し   |         |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 1  | 1   |    |
| その他   |     |        |         |     |     |    |   | 1 |   |   | 1 |   | 1 | 3  |     |    |
| 不明 計  |     |        | 0       | 0   | 6   | 1  | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4  | 18  |    |
| 構造    | 用途  | 用途切替   | 崩壊大破した層 |     |     |    |   |   |   |   |   |   |   | 全体 | 不明  | 総計 |
|       |     |        | 傾斜      | 1,2 | 1   | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |     |    |
| 煉瓦    | 事務所 | 切替無し   |         |     |     | 1  |   |   |   |   |   |   |   | 1  |     | 2  |
| 煉瓦 計  |     |        | 0       | 0   | 0   | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0   | 2  |
| 総計    |     |        | 5       | 3   | 124 | 17 | 9 | 6 | 5 | 3 | 1 | 1 | 7 | 17 | 198 |    |

ばき住宅の場合、いずれも1階層崩壊がほとんどで中間層崩壊したものはない。これは、RC造系、鉄骨造ともに共通する傾向である。また、途中階まで他用途の場合数は少ないものの、用途切替えの前後で層崩壊する傾向がみられる。

#### 4.2.3.4 損傷部材と損傷部位

崩壊・大破した建物の損傷部材と部位を示したのが、表4.2-5(RC造系)及び表4.2-6(鉄骨造)である。ここで表中の崩壊モードは以下の定義による。まず、RC造系建物の場合は、

- 曲げ : 材端の鉄筋の降伏またはコンクリートの圧壊
- せん断 : 材端のせん断破壊(せん断圧縮破壊、せん断引張破壊)
- 斜張力 : 部材の対角線方向に生じたせん断亀裂による破壊

また、鉄骨造の場合は、

- アンカー : アンカーボルトの引抜きあるいは破断によって柱脚部が移動、浮き上がり
- 曲げ : 鉄骨の曲げ降伏、 ○座屈 : 鉄骨の軸方向座屈、 ○溶接 : 溶接部の破断

これらを見ると、まずRC造系では、1階層崩壊・大破の場合には1階柱の端部せん断破壊、曲げ破壊、及び柱の斜張力破壊いずれの破壊モードも存在するようである。このうち、1階崩壊・大破のものを年代別に分類した表4.2-7、図4.2-3をみると、限られたデータではあるが、年代が新しくなるにつれせん断、斜張力破壊が減少してきている傾向がみられる。

また、鉄骨造については1階柱脚部のアンカーボルトの破壊が顕著で、1階柱の曲げ破壊による崩壊・大破も多い。さらに柱頭、はり端部の溶接部での破断も比較的多く見られる。

#### 4.2.4 分析結果のまとめ

被害建物の調査・分析結果をまとめると以下のようなことになる。ただし、これらはあくまでも今回調査した範囲に限ってのことであるので、一般的な傾向としては正確さを欠いている可能性があることをご了承頂きたい。

- 帯状に広がる震度7の地域においても、RC造系、鉄骨造の被害状況は均一ではなく被害の甚大なところとそうでないところがある。
- 崩壊・大破した建物は9階以下の中低層に多く14階以上には無い。
- RC造系では、1階が崩壊・大破したものが最も多いが、中間層崩壊もかなり見られる。鉄骨造では、1階層崩壊は多いが中間層崩壊したものは少ない。
- 1971年以前の建物には中間層崩壊、1階層崩壊が見られるが、1971年以降には中間層崩壊がなくなり、1981年以降にはほとんど被害が見られなくなることから、RC新規準や新耐震の妥当性がある程度示された。
- 同様に、1971年以前にはせん断破壊が多くみられたものが、1971年以降にはその件数は激減していることから、新規準以降のせん断補強の効果が認められた。
- 事務所ビルでは、1階層崩壊と中間層崩壊の破壊パターンが見られた。また専用住宅では中間層崩壊したものはなく、ピロティの有無にかかわらず1階層崩壊が顕著であり、事務所と住宅の複合用途ではその用途の切替えを含む層での崩壊も見られた。
- 鉄骨構造には、アンカーボルトの引抜き、破断や溶接部の破断例が多くみられた。

表4.2-5 RC系崩壊大破建物の損傷部材及び部位

| 崩壊大破 |    |     | 部 位 |    |    |    |    |     | 総計  |
|------|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|
| 層    | 部材 | モード | 脚部  | 全体 | 中央 | 頭部 | 端部 | 不明他 |     |
| 基礎   | 傾斜 |     |     |    |    |    |    | 5   | 5   |
| 1階   | 柱  | 曲げ  | 9   |    |    | 1  | 3  |     | 13  |
|      |    | せん断 | 3   |    |    | 9  | 9  |     | 21  |
|      |    | 斜張力 |     | 10 |    |    |    |     | 10  |
|      |    | 軸力  |     |    | 1  |    |    |     | 1   |
|      |    | 不明  |     |    |    |    |    | 21  | 21  |
|      | 壁  | せん断 |     | 1  |    |    |    |     | 1   |
|      |    | 不明  |     |    |    |    |    | 1   | 1   |
| 不明   |    |     |     |    |    |    | 21 | 21  |     |
| 2階   | 柱  | 斜張力 |     | 3  |    |    |    |     | 3   |
|      |    | 不明  |     |    |    |    |    | 4   | 4   |
|      | 壁  | せん断 |     | 1  |    |    |    |     | 1   |
|      | 不明 |     |     |    |    |    | 3  | 3   |     |
| 1,2階 | 壁  | せん断 |     | 1  |    |    |    |     | 1   |
| 3階以上 | 柱  | せん断 |     |    |    |    | 1  |     | 1   |
|      |    | 斜張力 |     | 1  |    |    |    |     | 1   |
|      |    | 不明  |     |    |    |    |    | 8   | 8   |
|      | 不明 |     |     |    |    |    |    | 5   | 5   |
| 不明   |    |     |     |    |    |    | 11 | 11  |     |
| 総計   |    |     | 12  | 17 | 1  | 10 | 13 | 79  | 132 |

表4.2-6 S崩壊大破建物の損傷部材及び部位

| 崩壊大破 |           |      | 部 位 |    |    |    |    |    | 総計 |
|------|-----------|------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 層    | 部材        | モード  | S柱脚 | 端部 | 脚部 | 全体 | 頭部 | 不明 |    |
| 1階   | 柱         | アンカー | 7   |    |    |    |    |    | 7  |
|      |           | 曲げ   |     | 6  | 1  | 3  | 1  |    | 11 |
|      |           | 座屈   |     |    | 1  | 1  |    |    | 2  |
|      |           | 溶接   |     |    |    |    |    | 2  | 2  |
|      | 不明        |      |     |    |    |    |    | 3  | 3  |
| 2階   | 柱         | 溶接   |     | 1  |    |    |    |    | 1  |
|      |           | 不明   |     |    |    |    |    | 1  | 1  |
|      | 梁<br>ブレース | 溶接   |     | 2  |    |    |    |    | 2  |
|      |           | 座屈   |     |    |    | 1  |    |    | 1  |
| 3階以上 | 柱         | 曲げ   |     |    |    | 1  |    |    | 1  |
|      | 梁         | 溶接   |     | 2  |    |    |    |    | 2  |
|      | ブレース      | 破断   |     |    |    | 1  |    |    | 1  |
|      | 不明        |      |     |    |    |    |    | 1  | 1  |
| 不明   |           |      |     |    |    |    |    | 7  | 7  |
| 総計   |           |      | 7   | 11 | 2  | 6  | 3  | 12 | 42 |

表4.2-7 RC系1階崩壊大破建物の損傷部材及び部位

| 年代    | 崩壊大破 |     | 部 位 |    |    |    |    |    | 総計 |
|-------|------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
|       | 部材   | モード | 端部  | 脚部 | 全体 | 中央 | 頭部 | 不明 |    |
| ～1971 | 柱    | 曲げ  |     | 2  |    |    |    | 1  | 3  |
|       |      | せん断 | 7   | 2  |    |    | 8  |    | 17 |
|       |      | 斜張力 |     |    | 8  |    |    |    | 8  |
|       |      | 不明  |     |    |    |    |    | 10 | 10 |
|       | 壁    |     |     |    |    |    |    | 1  | 1  |
| 小計    |      |     | 7   | 4  | 8  | 0  | 9  | 11 | 39 |
| 1971～ | 柱    | 曲げ  | 3   | 6  |    |    |    |    | 9  |
|       |      | せん断 | 1   | 1  |    |    |    |    | 2  |
|       |      | 斜張力 |     |    | 1  |    |    |    | 1  |
|       |      | 不明  |     |    |    |    |    | 4  | 4  |
|       | 壁    |     |     |    |    |    |    |    | 0  |
| 小計    |      |     | 4   | 7  | 1  | 0  | 0  | 4  | 16 |
| 1981～ | 柱    | 曲げ  | 1   |    |    |    |    |    | 1  |
|       |      | せん断 |     |    |    |    |    |    | 0  |
|       |      | 斜張力 |     |    |    |    |    |    | 0  |
|       |      | 不明  |     |    |    |    |    |    | 0  |
|       | 壁    |     |     |    |    |    |    |    | 0  |
| 小計    |      |     | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 年代不明  | 柱    | 曲げ  |     | 1  |    |    |    |    | 1  |
|       |      | せん断 |     |    |    |    | 1  |    | 1  |
|       |      | 斜張力 |     |    | 1  |    |    |    | 1  |
|       |      | 軸力  |     |    |    | 1  |    |    | 1  |
|       |      | 不明  |     |    |    |    |    | 7  | 7  |
|       | 壁    | せん断 |     |    | 1  |    |    |    | 1  |
| 小計    |      |     | 0   | 1  | 2  | 1  | 1  | 7  | 12 |
| 総計    |      |     | 12  | 12 | 11 | 1  | 10 | 22 | 68 |

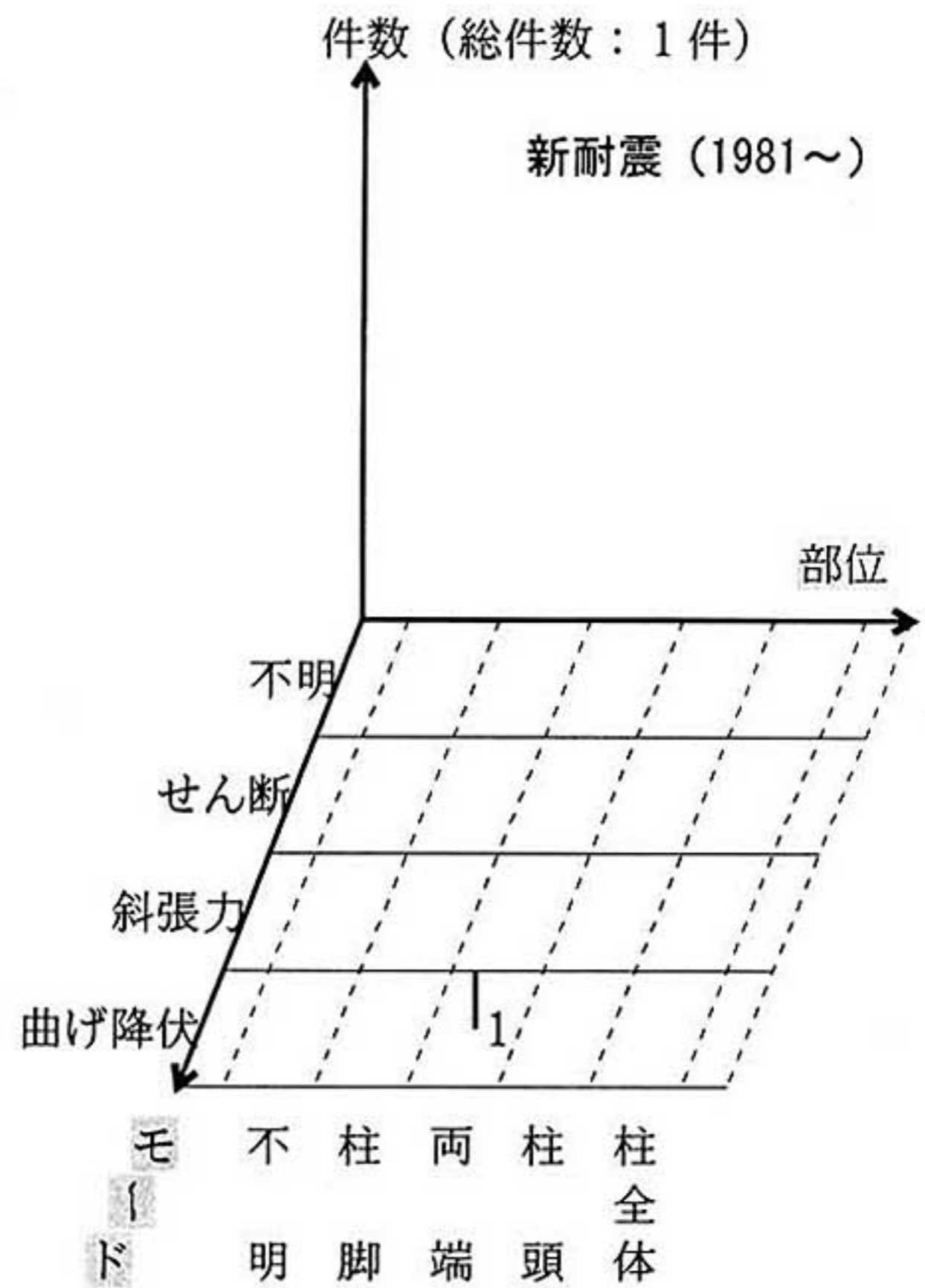
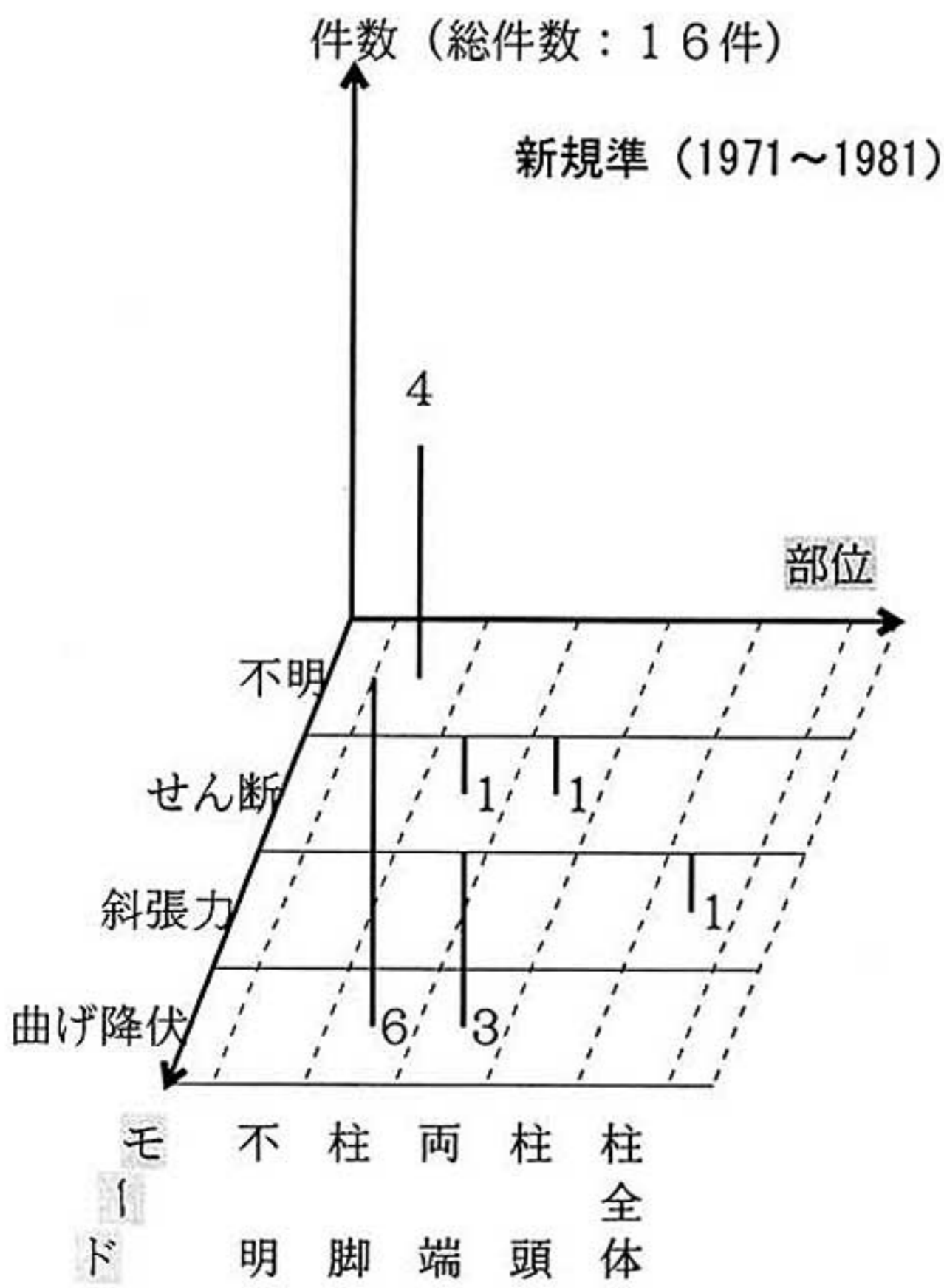
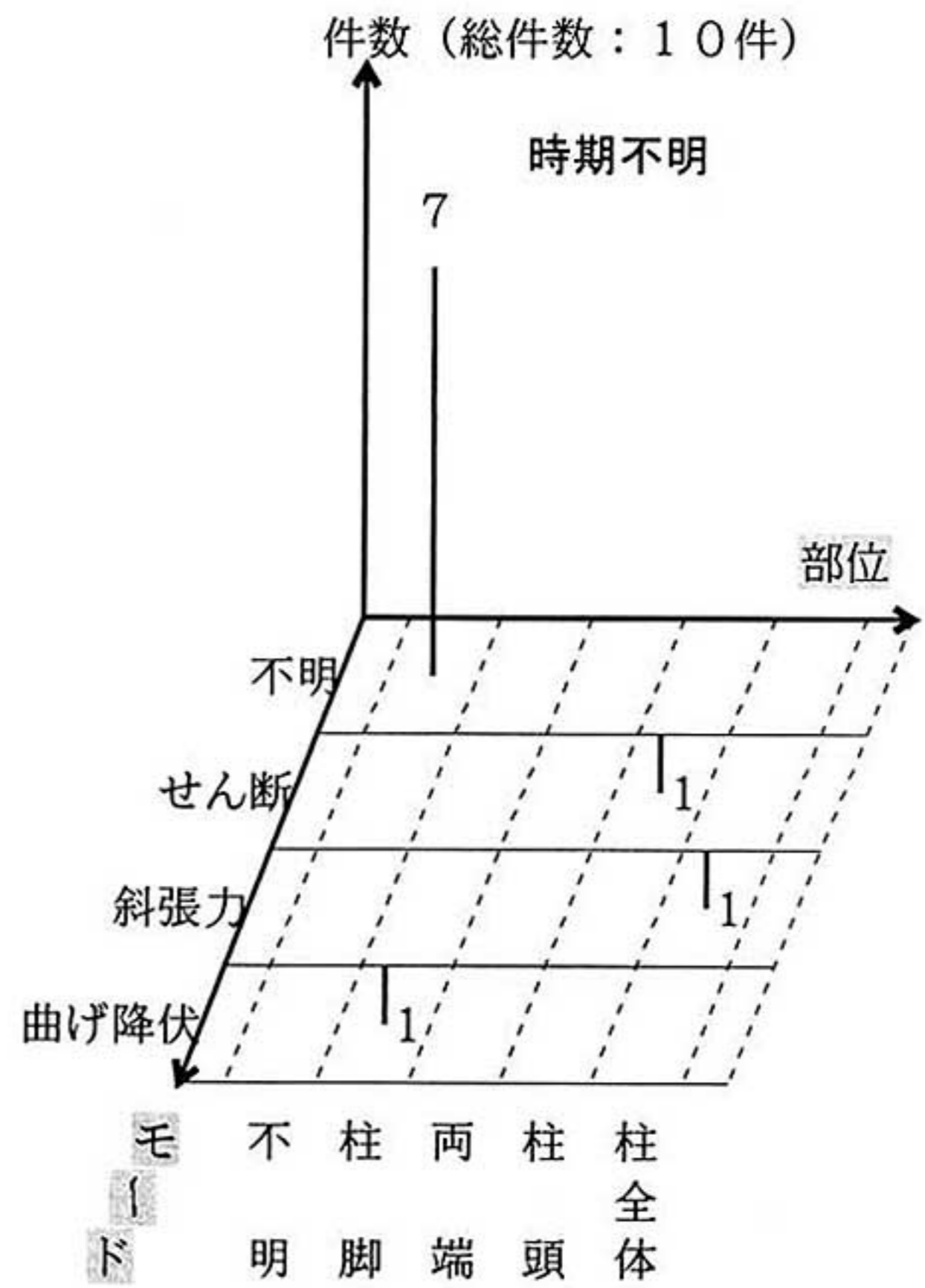
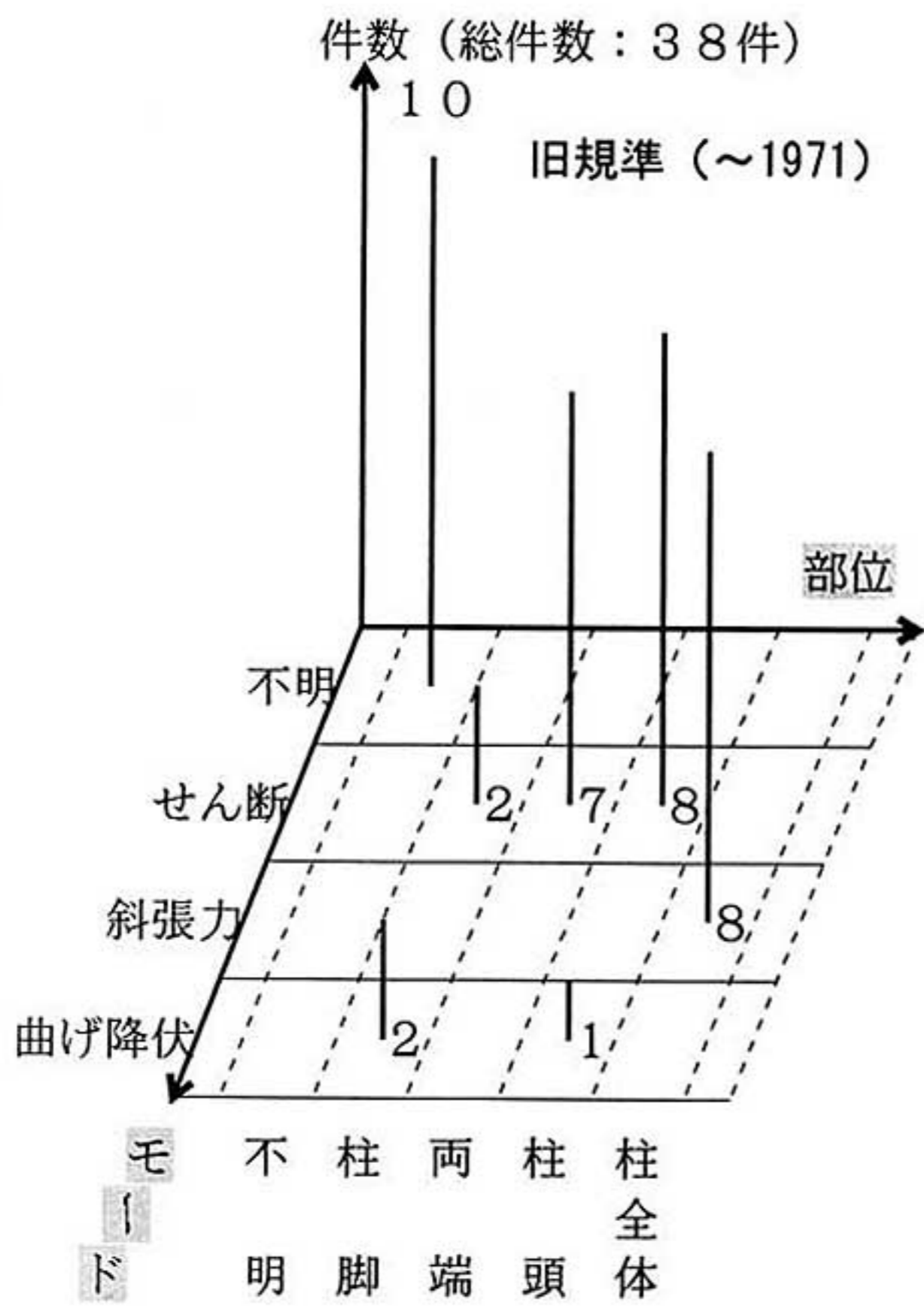


図4.2-3 RC造系1階崩壊大破建物の柱の損傷モードと部位

## 4.3 免震床の状況

### 4.3.1 免震床の概要

社団法人・日本電子工業振興協会の規定に「コンピュータはおよそ200Gal前後までは正常に稼働可能」と記述されている。

しかし、中低層建物内に設置されたコンピュータは地震時、震動が建物内で増幅して大きな加速度を受ける。

免震床はこの建物内で増幅した加速度を床レベルで低減し、コンピュータを地震から守るものである。

その構造は図4.3-1 に示すように免震支承、床組鉄骨梁、支持脚、床パネルで構成されている。

当社では図4.3-2 に示すように3種類の免震支承を用意し、目的に応じて使い分けている。

水平方向の震動を低減するベアリング支承のみの水平免震タイプ、ベアリング支承と上下方向の震動を低減するコイルスプリングを組合せた水平・上下免震タイプ、ベアリング支承と空気ばねを組合せた水平・上下免震タイプである。

水平方向の震動を低減するベアリング支承は建物床に設置する傾斜角が1度のすり鉢状の受け皿と免震床側に取り付けるボールベアリングで構成されている。

ボールベアリングは平常時には受け皿の中心（最下点）にあり、地震時には受け皿の上面を転がることによって建物床から免震床に伝わる地震力を低減する。

ボールベアリングは地震がおさまると重力によって自然に平常時と同じ受け皿の中心に戻る。

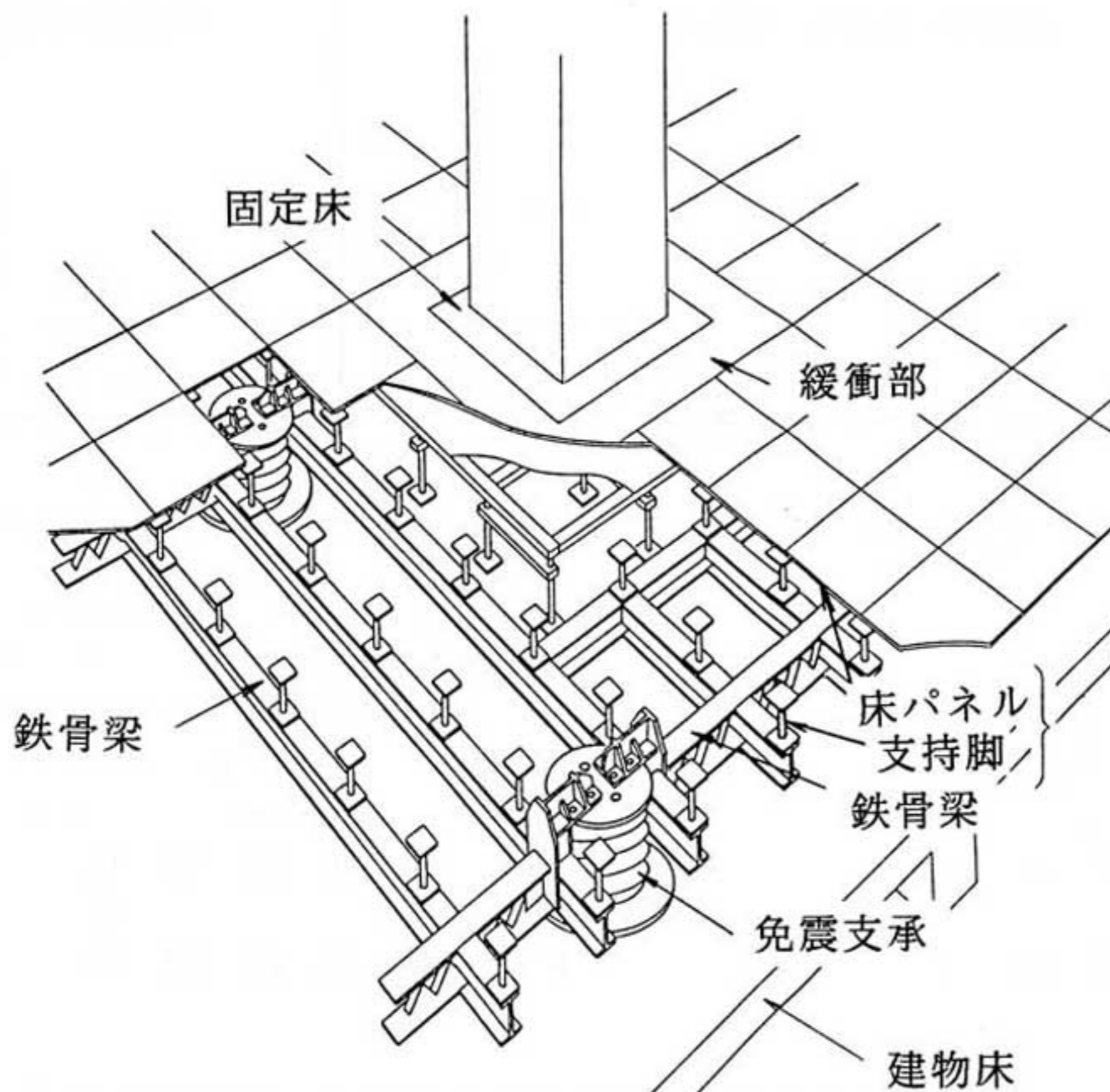
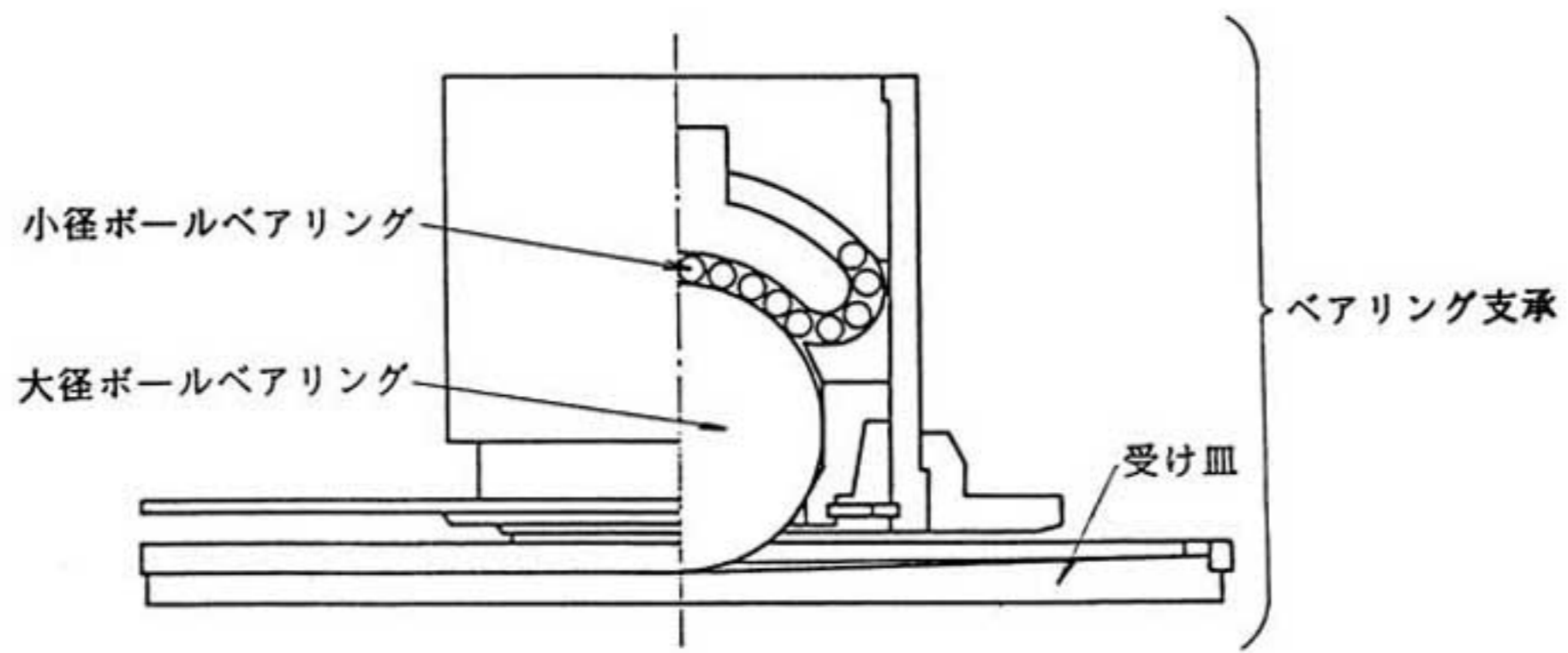
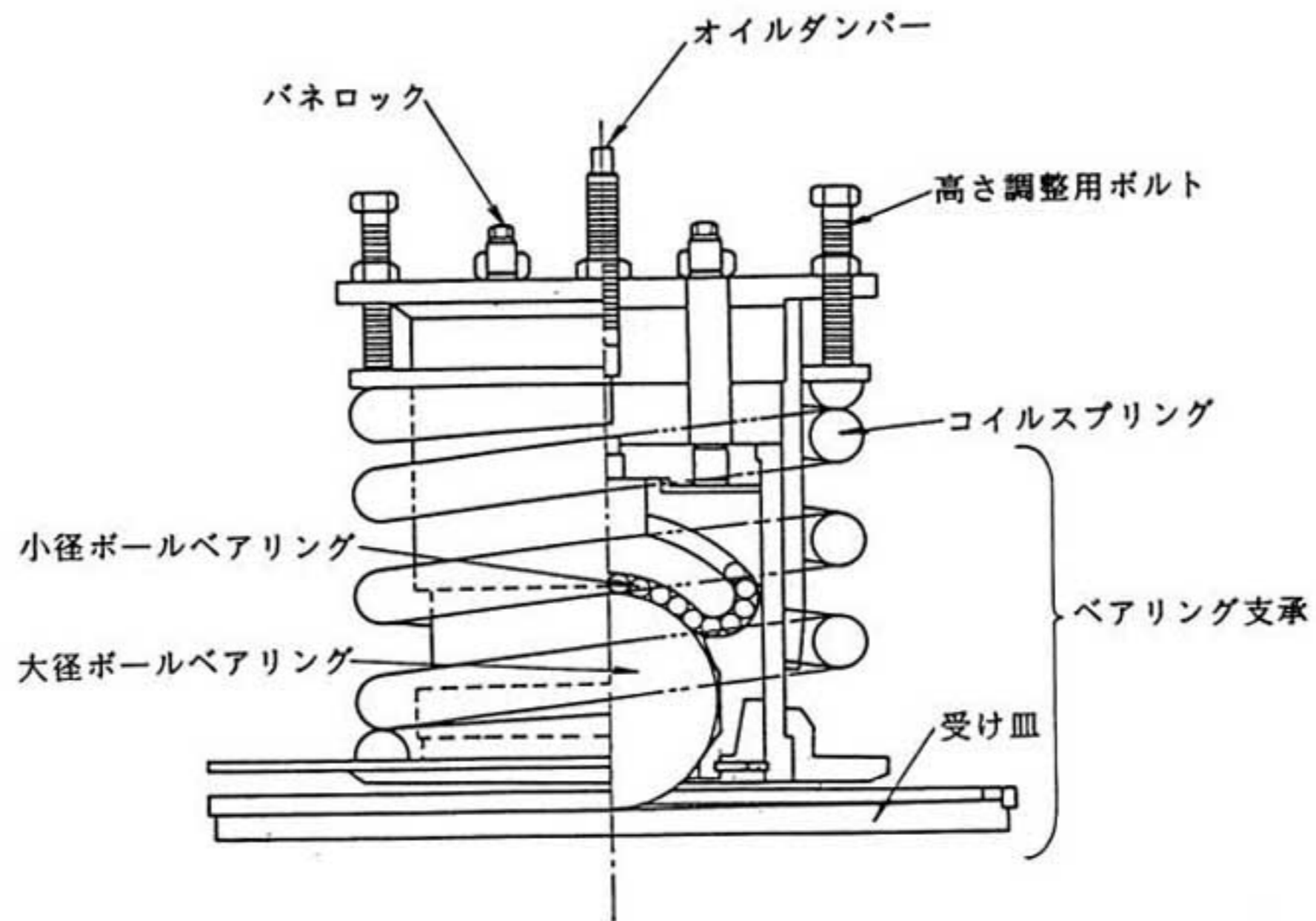


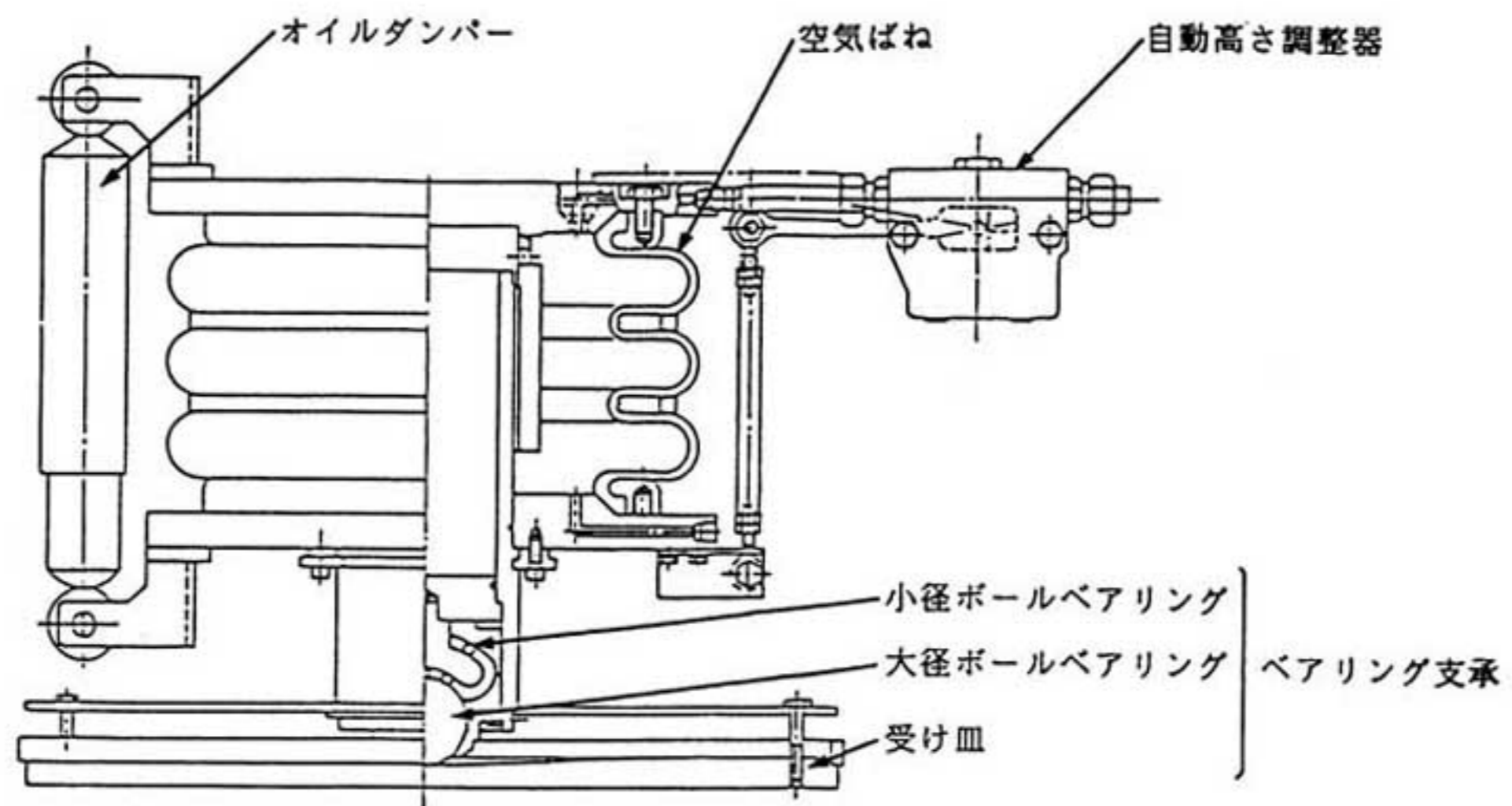
図4.3-1 免震床の構造



(a) 水平免震タイプ



(b) コイルスプリングを用いた水平・上下免震タイプ



(c) 空気ばねを用いた水平・上下免震タイプ

図4.3-2 免震支承の構造と種類

当社の免震床は図4.3-3の振動台実験の結果が示すように676Galの建物床の加速度を64Galに低減する性能を有している。

現在、関東地域を中心に30,000㎡以上の施工実績がある。

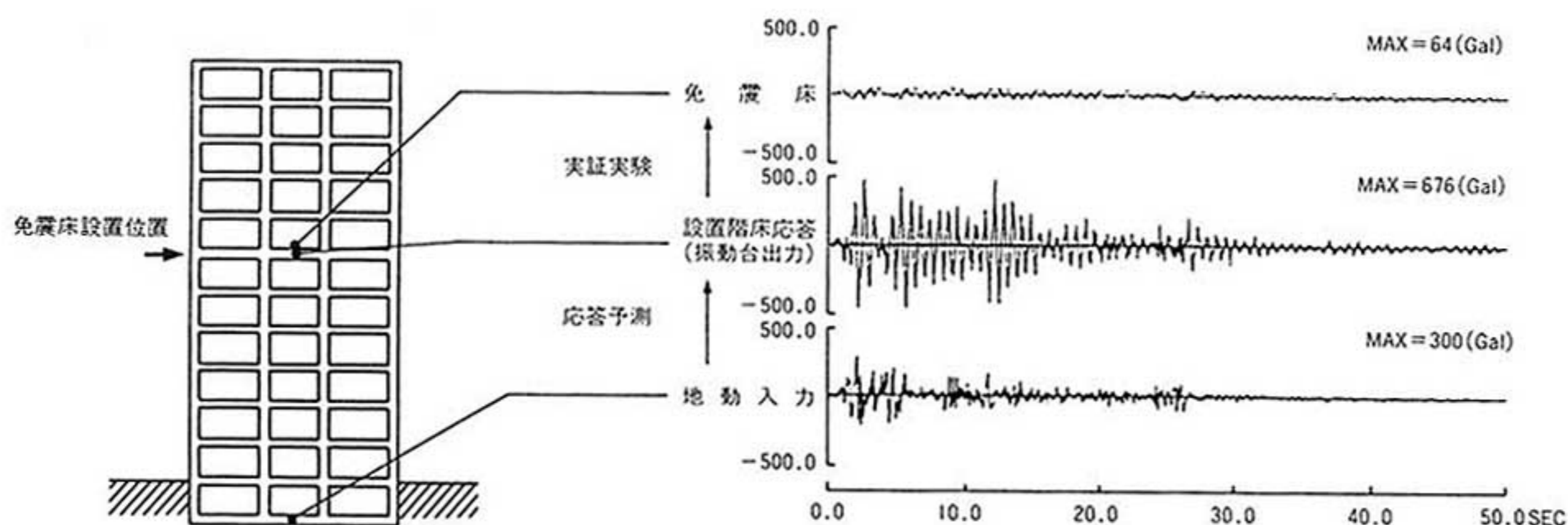


図4.3-3 振動台実験の結果(11階建てビルの7階に免震床の設置を想定した場合)

#### 4.3.2 免震床の施工場所

阪神地域には当社の関西支店と某銀行の電算センターの2カ所に施工されている。

図4.3-4は日本建築学会主催の兵庫県南部地震災害調査緊急報告会の資料より抜粋したものであるが、両建物はこの図の赤丸辺りに位置している。

この図より両建物には地震時に200Gal以上の加速度が入力したと思われる。

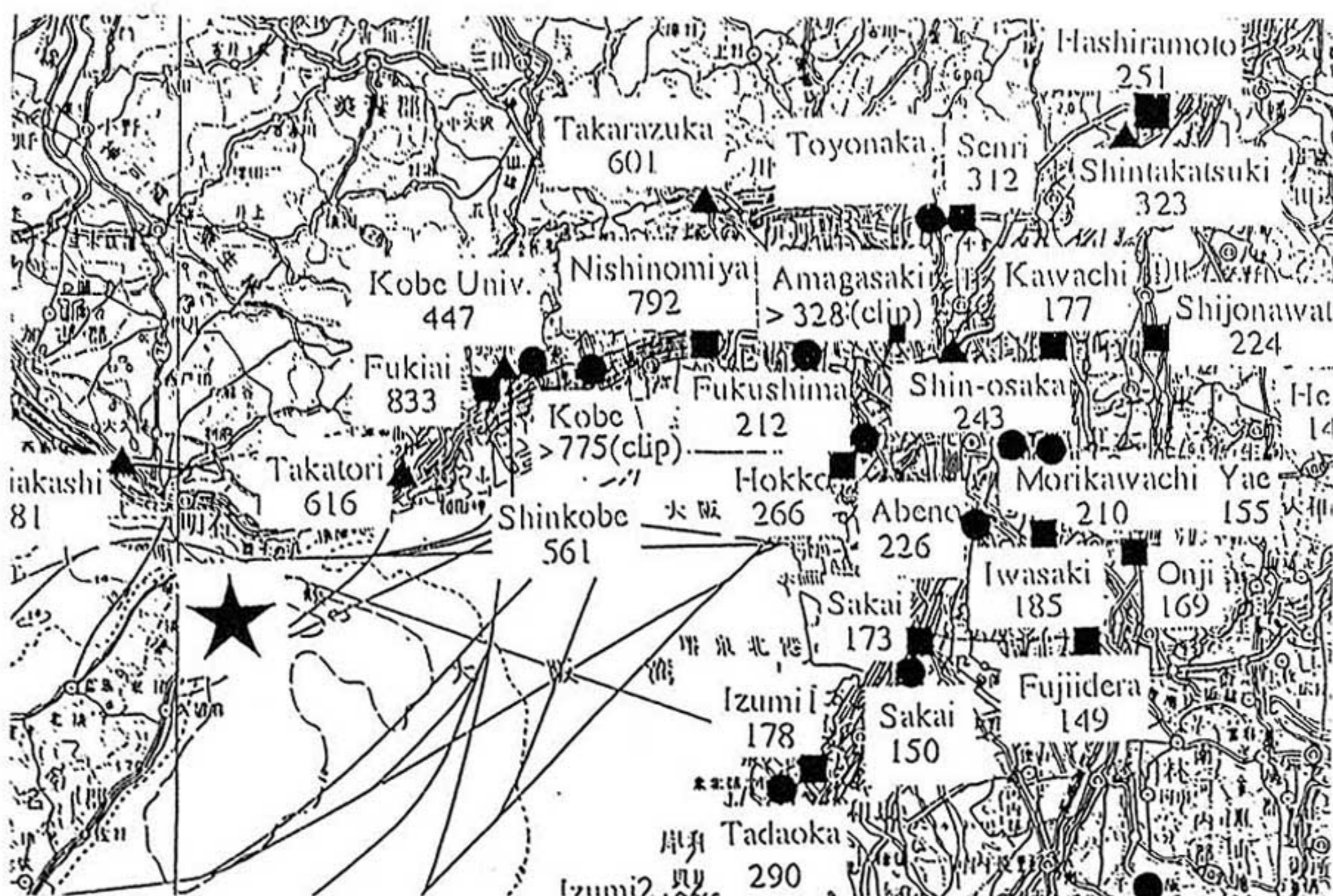


図4.3-4 鹿島・関西支店と某銀行・電算センターの位置

また、防災科学技術研究所の強震速報N046の資料に、大阪市のN T T電報サービスセンターの7階でN S方向388Gal, E W方向275Gal, U D方向213Galの加速度が記録されたと報告されている。

これらのデータから判断して、両建物では建物床で200Galを越える加速度であったものと思われる。

#### 4.3.3 地震時の作動状況

両建物とも加速度センサーを設置していなかったため、地震時の免震床上の加速度記録は取れていない。しかし、免震床と建物床の相対変位は受け皿上の油についてのボールベアリングの移動軌跡や緩衝部についての免震床の移動軌跡から推測することができた。

##### 4.3.3.1 鹿島・関西支店の場合

関西支店が入居している西本町三井ビルは長辺55.9m, 短辺25.7mで、南北方向に長い11階建ての建物である。

免震床は1988年2月に施工したもので図4.3-5に示すように6階の一部に設置されている。

現在、免震床上には支店の経理処理等に使用しているC P U（中央処理装置）が搭載されている。

免震床の面積は17㎡で、6台の水平免震支承で支持されている。

写真4.3-1はベアリング支承の受け皿上についてのボールベアリングの移動軌跡である。

移動量を測定した結果、ボールベアリングは受け皿の中心を起点として北西-南東方向に最大約10cm変位していた。この変位は受け皿が許容できる変位の23cm以内におさまっており、十分に免震効果を発揮したものと考えている。免震床上のC P Uも地震後、何ら支障なく稼働している。

##### 4.3.3.2 某銀行電算センターの場合

免震床は9階建て建物の5階から9階までの5フロアに設置されている。

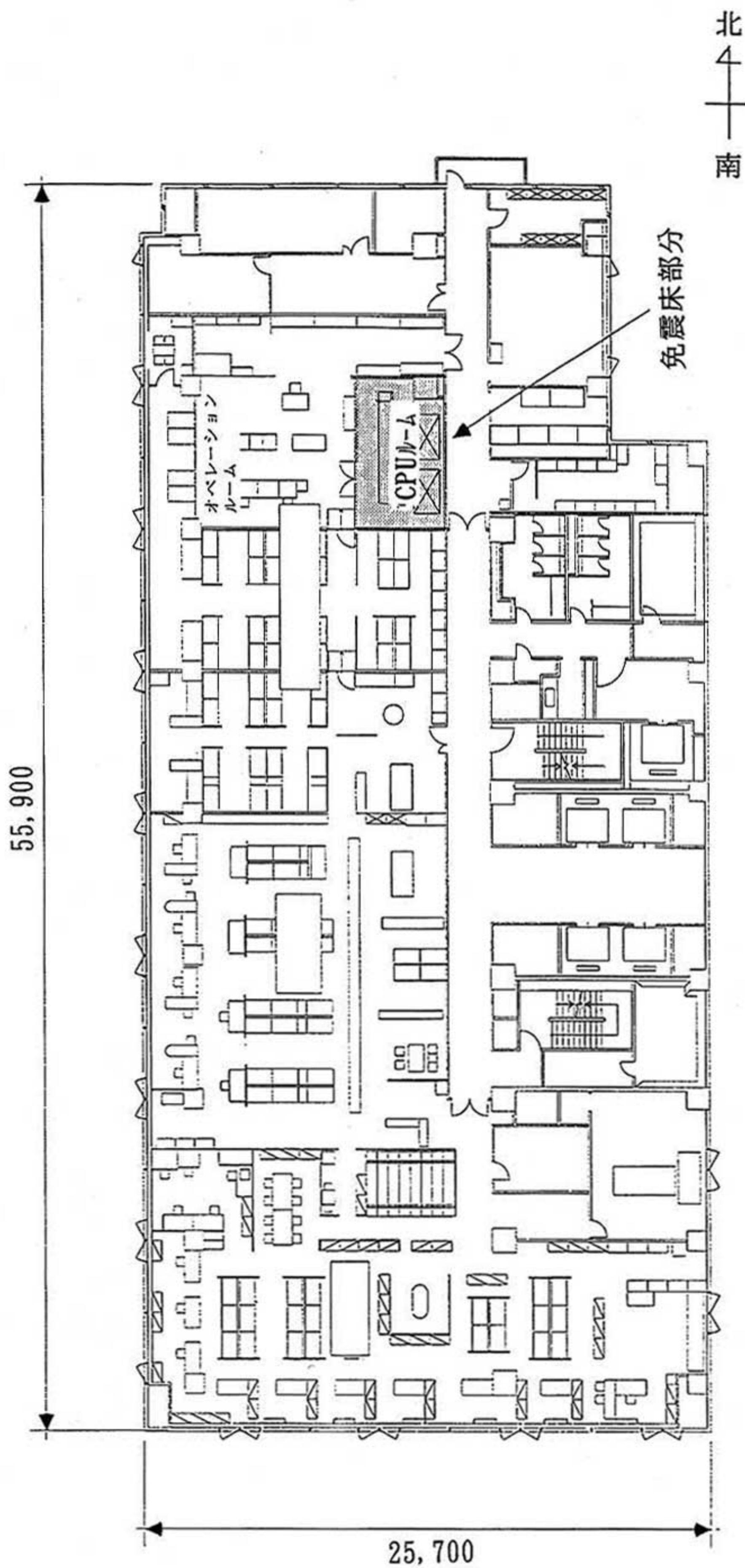
1フロアの免震床は55m×22mの長方形で、122台のコイルスプリングを用いた水平・上下免震支承で支持されている。

写真4.3-2は地震によって緩衝部についての免震床の移動軌跡である。

移動量は建物床と免震床の相対変位に相当する。

相対変位は上層階ほど大きく、8階で最大約11cm（O-P）であった。また、免震床の4角がほぼ平行に変位していることから判断して、長方形の免震床は捩れを生じることなく作動したものと思われる。

ヒアリング調査の結果、コンピュータの稼働には何ら支障がなかった。



西本町三井ビル（鹿島関西支店）6階平面図

図4.3-5 関西支店内の免震床の設置場所

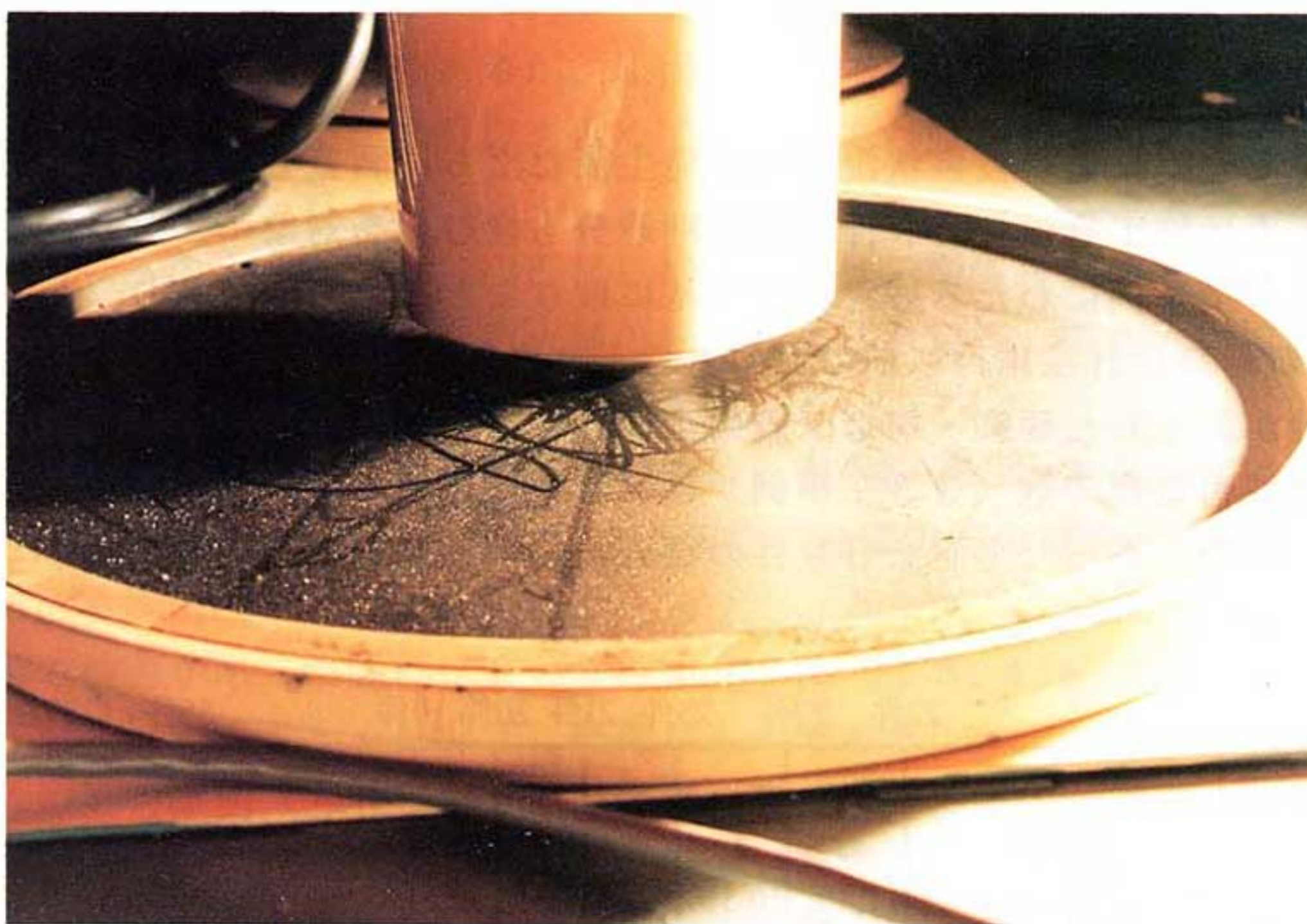


写真4.3-1 ボールベアリングの移動軌跡

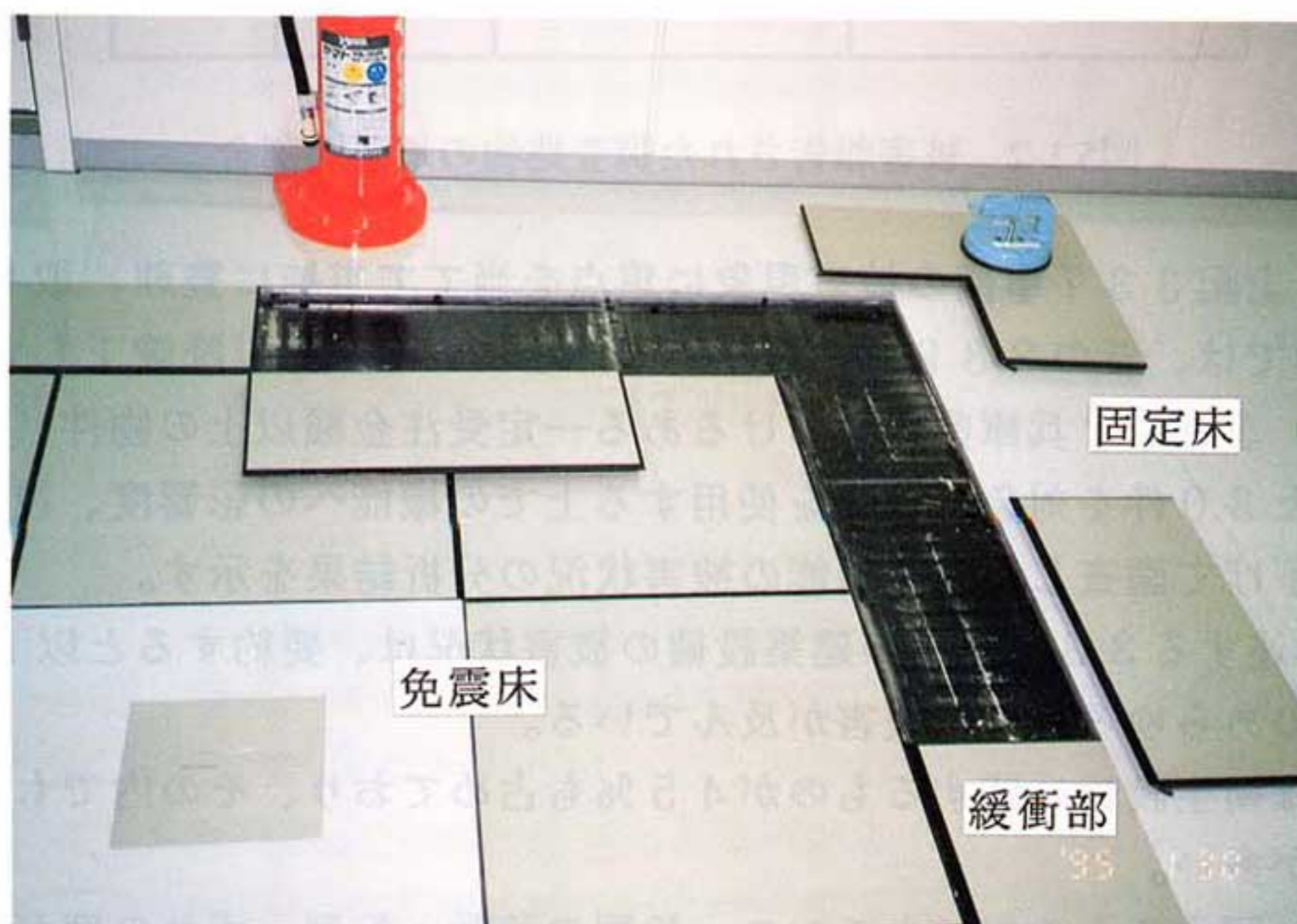


写真4.3-2 免震床の移動軌跡