

## 建築物および付帯施設の被害想定手法

1. はじめに
2. 木造建物の振動被害予測
3. 非木造建物の振動被害予測
4. 地盤の液状化による建物の被害予測
5. ビル落下物の被害予測
6. ブロック塀・石塀等の被害予測
7. おわりに

望 月 利 男\*  
荻 本 孝 久\*\*

### 要 約

建築物の被害想定は、既に幾つか試みられている。近年、その被害想定手法も地震応答解析に基礎を置く方法として開発されてきている。一方、建築物は過去の地震において多大な被害を受けてきた経緯があり、それらの被害事例は地盤・震度と被害との関係の定量化とともに想定される地震動に対して被害程度の判定評価を行う上で極めて貴重な教訓となっている。従って、この種の被害想定手法を検討するにあたって、実在する建物の実態と被害事例の分析を十分に行い、被害経験に基づいた検討がなされるべきであろうと思われる。

現在、建築物の種類は非常に数多くのものが分布しており、建築物の分布特性にも十分配慮することが必要である。また、建築物に付帯する諸施設の被害も建築物の被害と関連して、特に人的被害への影響という面から考慮する必要があると考えられる。

以上の観点から本論では建築物および付帯施設の被害想定手法についてその概要をまとめた。

### 1. はじめに

地震災害が比較的多く発生するわが国においては、地震被害の教訓とともに、建築物の耐震性能や技術が向上し、地盤特性、地震動特性や建築物の振動特性と耐震性評価に関しては極めて多くの理論的・実証的な研究が蓄積されている。これら

の被害事例に対し、技術的な検討を施して耐震技術向上の基盤が構築されてきたわけであり、今後とも同様な被害の教訓から耐震技術の向上へのフィードバック・ループの過程は繰り返されるものと考えられる。特に、過去に大被害を生じた1923年関東大地震を始め、比較的近年の被害地震として、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震、1974年

\* 東京都立大学都市研究センター

\*\* 神奈川大学工学部

伊豆半島沖地震, 1978年伊豆大島近海地震, 1978年宮城県沖地震, 1983年日本海中部地震などにおける被害事例は, 極めて重要な意義をもちその被害の調査結果は耐震設計法の向上と地震災害防止のために広範に活用されている。

一方, 建築物の被害想定を実施するにあたっては, 上記の被害事例の十分な分析とともに, 前提となる条件(対象地域・想定地震・地盤特性・地震動特性など)に基づいて建物分布の実態に関する基礎的な調査資料(分布特性)を必要とする。特に, 建築物は平面的に多数分布し, 構造形態(構造形式・材料・規模・用途など)が著しく異なるものが混在しているため, その分布特性を適切な指標に基づいて分類し, 地震入力に対する被害総量を定量的に評価する手法が必要となる。

基本的には地盤震動と入力地震動特性および建物の地震応答特性の評価を基礎として, 分類された建物種別に被害程度を判定評価するとともに,

その結果を被害建物群として統計的に定量化する手法が取られることとなる。その際に, 上記した過去の地震被害の事例の詳細な分析とその結果に基づいた被害判定と評価方法の検討が極めて重要となる。

本論では, 以上の観点からこれまでに試みられてきた建築物および付帯施設の被害想定手法について概説する。

## 2. 木造建物の振動被害予測

従来より木造建物は, 地震により幾度となく被害を受けてきた。その被害状況については全壊・半壊と言った記述により, 被害程度の記述が残されている。また, 最近の被害地震においても被害の統計資料として被害報告書にとどめられている。これらの過去の地震による被害事例は, 木造建物の構造力学的な評価に基づく地震動の強さ(震度)の推定とともに, 地盤・震度と木造建物被害の関係に関する定量的な評価に貴重な判断材料となっている。近年, 木造建物の構造形式が在来のものと著しく変化し, いわゆる壁式構造が普及して耐震性能の向上が計られているが, 比較的最近の地震被害事例も含めて調査・分析し, その結果から開発された木造建物の被害想定手法が考案されている。

本章では, 過去の被害の実証的な検討も踏まえて総括的な観点からまとめられた方法を説明する。なお, 本手法はかなり多くの被害想定作業の中で用いられている。被害想定フロー図を図1に示す。

### 2.1 最近の海洋型大地震における木造建物の振動被害

ここでは, 比較的最近の海洋型大地震における木造建物の建築年代・用途等と被害の関係に関する調査結果を概説する。対象とする地震は1968年十勝沖地震(M=7.9), 1978年宮城県沖地震(M=7.4)であるが, 調査密度の高い後者が主体となる。

1978年宮城県沖地震による全壊建物総数は1383

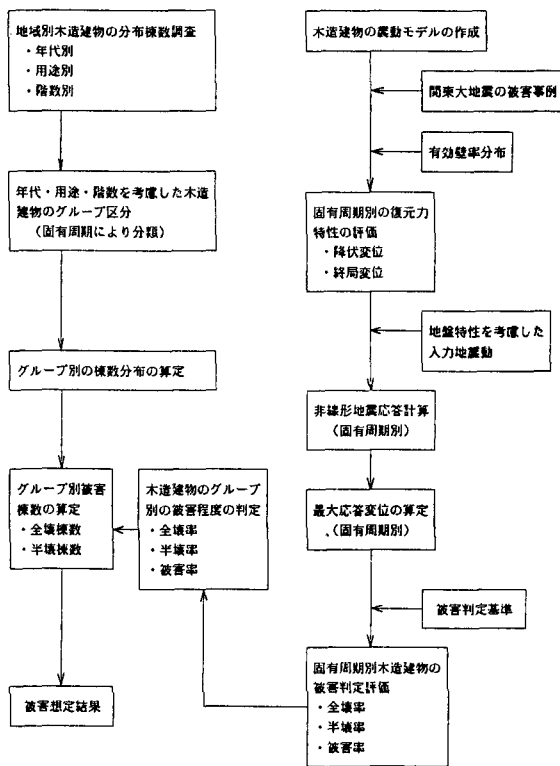


図1 木造建物の被害想定フロー図

棟、半壊は6383棟であり、全体的には北上川流域の平野部における被害率が高かった。すでに幾つかの地震において報告されてきたように比較的古い地震では、木造住家の被害は、地形、それも微地形（地盤）と密接に関係付けられてきた。しかしながら、仙台市を対象として行われた詳細な木造住家被害と地盤の関係の調査結果では、微地形と住家全壊率・被害率の関係は、例えば、後背湿地、堤間低地など泥質な地盤並びに盛土地の被害が全般的に低いなど、従来の被害分布に比べその傾向がやや不明確であった。その大きな理由としては、新旧建物の耐震性の差異とその地域的遍在があげられる。

宮野・望月（1980年）、望月・宮野・小泉（1980年）、望月・宮野（1979年）からの抜粋であるが、これに1968年十勝沖地震における調査結果、望月・宮野（1979年）を考慮すれば、調査結果の概要は次のようにまとめられる。

- ① 1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震の発生には、約10年の隔たりはあるが、いずれも木造建物の構造として耐力壁式が一般に定着したと考えられる比較的最近の地震である。しかし、十勝沖地震の調査地域（青森県の被害多発地域）においては、当時としては比較的新しい建物も含めて、また宮城県沖地震では昭和30年代の建物（上記、十勝沖地震における比較的新しい建物と同年代の建物）も含めて、耐力壁式が必ずしも一般化していないことがわかった。
- ② 上記の実態があるにもかかわらず、戦前の建物に比べ戦後の建物の耐震性が向上していることは確かなようであり、しかも、この2つの地震の調査資料がほぼ一致する量的な結果が得られた。すなわち、十勝沖地震における昭和20年以前の建物の全壊棟数比を1.0とすれば、それ以降の建物では、0.51であった。一方、宮城県沖地震では、同様に昭和20年以前の全壊棟数比を1.0とすれば、昭和21年～昭和40年の建物では、0.54であり、2つの地震の間に実質的な差異はほとんどみられない。
- ③ 宮城県沖地震における調査地域（仙台市東

部低地）では、昭和41年以降に至って耐力壁式が大体一般化する。そして、これらの建物の全壊率は、著しく低いものになっており、昭和20年以前の全壊棟数比の約1/20に過ぎない。

- ④ 仙台市東部低地の調査結果から建物用途別にみれば、大黒柱式（旧構法）の場合には全壊棟数比に大差はなかったが、最近の建物では、相対的なものではあるが、商店、農家の被害棟数比が専用住宅に比べ著しく高くなっており、新たな問題点と考えられる。

以上、最近の海洋型大地震における木造建物の被害については、建物の年代・用途と被害の関係が新たな問題点として認められ、被害想定手法においてはこの点を十分考慮すべきであると言える。

## 2.2 木造建物の被害想定手法

木造建物の振動被害を予測するために地震応答計算モデルを作成する。このモデルは、古い建物（昭和25年建築基準法制定以前に建てられたもので主として大黒柱式の建物）と最近の建物（主として耐力壁式の建物）の壁率調査結果をもとに、関東大地震時の各地の被害－地盤の関係を最適に説明し得るように定めようとしたものである。

ただし、最近の海洋型地震の1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震などの被害実態をみれば、ごく最近の住宅建物の耐震性は著しく向上していることが推測される。一方、住宅以外の店舗（併用住宅）、農家建物などは、専用住宅の耐震性の向上に比べれば、なおその程度は低いようである。さらに建築年代を細分してみれば、本来、耐力壁式が普及しているはずの昭和30年代の建物もまたごく最近の建物に比べその被害程度はかなり高い。そのような被害実状を配慮しうるよう、建物の棟数分布を建築年代・用途・階数に区分して考慮する必要がある。

従って、上述のように建物モデルは基本的には関東大地震における震度 $k$ （加速度）と住家全壊率 $P$ （%）の関係を説明しうるものとするが、このような方法で決定されるモデルは、旧構法の建物に限定される。従って、現在の通常建物のモデ

ル化のためには、上記旧構法の建物に耐震性の指標を導入しなければならない。この方法では、それを有効壁率分布で代表させ、さらにそれを固有周期分布に変換している。

また、この調査での建物の被害モードは変形の増大によると仮定する。従って、壁率の大きい現在の建物は必然的に短周期の特性をもち、一般に壊れ難い側に分布する。

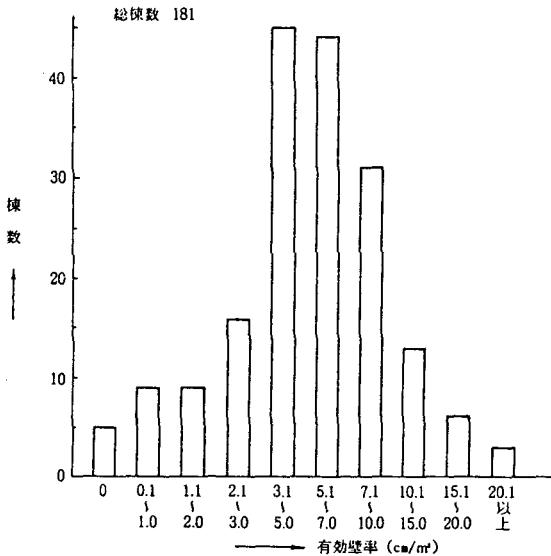


図2 (a) 古い木造建物の有効壁率分布（静岡県の調査から）

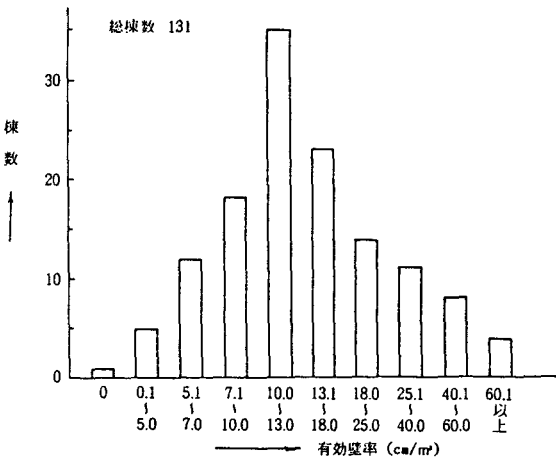


図2 (b) 新しい木造建物の有効壁率分布（東京都の調査から）

図2(a), (b)は、それぞれ昭和25年以前に建てられた建物の有効壁率分布と昭和48年ごろ建てられた建物の有効壁率の分布（東京都、1974）を示す。なお、いずれも1階における弱軸方向の値による。

ここで、建物震動モデルを1質点系（減衰定数  $h=0.05$ ）とし、その復元力特性を図3に示す2段階のBi-linear型とする。この復元力モデルによれば降伏変位  $y_2$  を越えない間は通常のBi-linear型の軌跡を描き、 $y_2$  を越えると完全塑性型となり、弾性勾配も  $k_1$  から  $k_2$  に劣化する。 $y_2$  は初期剛性低下変位であり、後の被害判定では、応答が  $y_2 (=3y_1)$  を越えた場合に半壊、 $y_u (=6y_1)$  を越える場合を全壊とみなす。

有効壁率分布を建物モデルの固有周期分布に変換するために、1質点系の固有周期  $T$  とばね定数  $k_1$  の関係、

$$T = 2\pi\sqrt{m/k_1} \quad (m: \text{質量}) \quad (2.1)$$

を考慮し、 $T \propto 1/\sqrt{W_e}$  から ( $W_e$ : 有効壁率) から

$$T = b/\sqrt{W_e + a} \quad (2.2)$$

の関係が便宜的に成立するものと仮定する。また古い建物（昭和25年以前）の  $T$  について、前記調査結果による  $W_e$  の平均値を  $T=0.5$  秒とし、 $W_e$

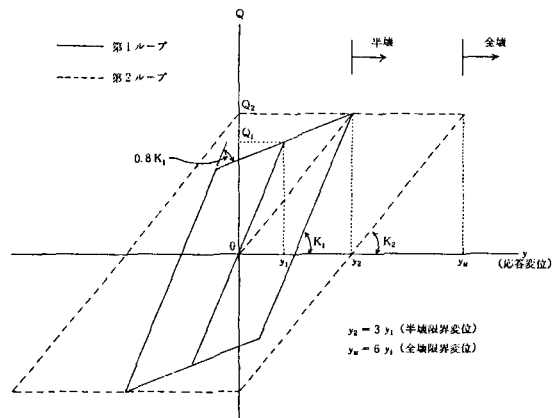


図3 木造家屋モデルの復元力特性

= 0 の場合を  $T=1.0$  秒と仮定すれば  $a$ ,  $b$  は定まり、次式の  $W_e-T$  の変換式が得られる。

$$T = \frac{1.426}{\sqrt{W_e + 2.033}} \quad (2.3)$$

さらに、降伏震度  $k_y$  は、建物の固有周期  $T$  の 2 乗に逆比例するものと仮定し、関東大地震の被害を最もよく説明できるように、次式における  $a$ ,  $b$  を決定することで定める。

$$k_y = \frac{b}{(T + a)^2} \quad (2.4)$$

として、 $a$ ,  $b$  を仮定すれば、

$$k_1 = (2\pi/T)^2 / g \quad (2.5)$$

より、各固有周期 ( $T$ ) に対応する  $k_1$  は定まり  $y_1$  は

$$y_1 = k_y / k_1 \quad (2.6)$$

から決定できる。 $a$ ,  $b$  を種々変化させて関東大地震時の全壊率-震度 (加速度) の関係をよく表しうよう最適な  $a$ ,  $b$  の値を決定することで  $k_y$  を定めることとする。図 4 は、上記の方法で

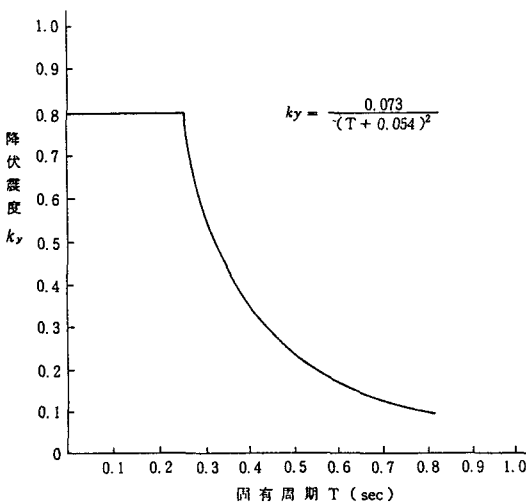


図 4 関東大地震の被害検討から得られた木造建物固有周期  $T$  と降伏震度  $k_y$  の関係

定めた  $k_y-T$  の関係であり、 $a$ ,  $b$  はそれぞれ 0.054, 0.073 と決定された。

以上、建物の耐震パラメータを関東大地震時の被害の検証により定めるとともに、建物群を  $T$  により 2 種に分類した。この 2 種のモデルを基本とし、建物の建築年代・用途・階数により、それぞれの耐震性を固有周期分布を設定することで評価する。

表 1 は、地震応答計算による木造建物の被害判定のための固有周期 ( $T$ ) による区分表示であり、建築年代・用途・階数から表に示すように 5 つのグループにそれぞれの建物を区分することにした。また、図 5 は上記の 5 群の建物の  $T$  に関する棟数累積度を示す。

<1> のグループは、前記、旧構法による建物の全てであり、 $T$  が最も長い側の建物群である。地震応答計算によれば、一般に長周期の建物ほど応答変位は大きくなるから、被害判定において全壊、半壊となる棟数比が最も高くなるグループといえる。

<2> のグループは、昭和 26 年～昭和 35 年に建てられたもののうち、専用住宅平家以外を全

表 1 建物年代・用途・階数によるグルーピング

用途 建築年代	専住平屋	専住 2 階	その他平屋	その他 2 階
昭和 25 年以前	①	①	①	①
昭和 26 ~ 35 年	③	②	②	②
昭和 36 ~ 45 年	④	④	④	③
昭和 46 年以降	⑤	⑤	⑤	④

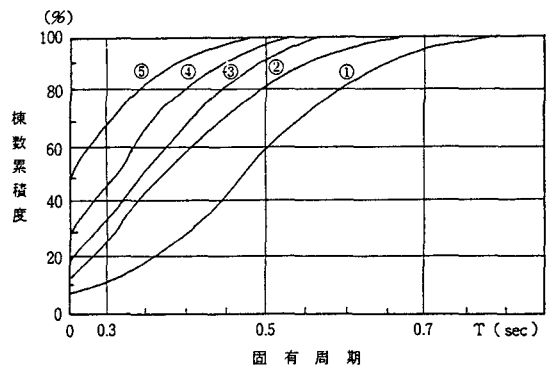


図 5 5 階級に区分した建物の各棟数累積度

て含ませた。ここでは、2番目に耐震性が低い集団とし、平均固有周期0.4秒を与えており、その分布型は、〈1〉のT分布を0.1秒短周期側に移行させたものになっている。このグループもまた最近の地震でその耐震性はかなり低いことを実証している。

- 〈3〉このグループには、昭和26年～昭和35年の専用住宅平家と、昭和36年～昭和45年のその他2階を属させた。前者はすでにかなり老朽化していると考えられる建物群であり、後者は構造的に弱点のあるものが多い。平均固有周期は0.36秒であり、そのTに関する棟数分布は最も基本的な〈4〉をやや長周期側へシフトさせている。
- 〈4〉このグループの建物は、昭和36年～昭和45年に建設された建物のうち、その他2階建を除いたもの並びに昭和46年以降に建てられたその他2階建の建物群であるから、一般には最も多い建物群と思われる。また、その一般性から、前記壁率より固有周期分布を求めた現在の通常建物、すなわち平均固有周期0.33秒をもつグループとした。
- 〈5〉昭和46年以降に建てられたものから、その他2階建を除く建物群である。いうまでもなくその耐震性は著しく高いグループと考えられ、平均固有周期も0.28秒を仮定した。

以上の5つのグループの木造建物モデルを設定したが、2階建の建物の固有周期の仮定はほぼ妥当と考えられる。一方、平家のそれはやや長い側の仮定となっている可能性がある。また、十分力学的その他の検討を経ていない区分ではあるが、前記、十勝沖地震、宮城県沖地震の体験を反映させた分類となっている。

### 2. 3 まとめ

木造建物の被害想定手法は、比較的豊富な過去の被害事例に基づいて展開され、検討された方法であり、既に幾つかの被害想定作業に用いられている。

実際には、木造建物の分布調査における年代別・用途別などに基づく分類（特性区分）との関

連性を十分に考慮しておく必要があり、この特性区分に基づいて、木造建物の応答計算モデルが設定されることを考えれば、木造建物の特性区分は非常に大きな意味をもつ。また、この区分は必ずしも5種類に区分されるとは限らず、その地域の特性に合わせた適節な区分を設定することも重要であろう。

今後は、比較的新しい木造建物の壁率分布の調査と平行して木造建物の振動特性を検討しておくことも必要である。また、各種の構造・用途をもつ木造建物の経年劣化の評価をどのように判定するかの方法論と比較的最近の木造建物すなわち壁式構造の実物大試験建物による載荷実験などによる力学的特性を地震応答計算手法に組み込むための復元力特性のモデル化など、被害想定方法の中で細部にわたるフォローアップを必要とするものと思われる。

### 3. 非木造建物の振動被害予測

一般に非木造建物の構造形式は鉄筋コンクリート（RC）造、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造および鉄骨（S）造建物に大別されるが、より規模の大きな建築物では、いわゆる複合構造も多くなってきており、将来的には、この種の建物の地震時の被害の検討も要求される場所であるが、ここでは取扱の対象外とする。

一方、これまでの非木造建物の地震被害の事例としては、1968年十勝沖地震と1978年宮城県沖地震における中低層RC造建物および1978年宮城県沖地震におけるS造建物の被害があげられる。

本章では東京都において実施された中低層RC造建物およびS造建物に対する被害の評価方法を中心にまとめることとする。なお、RC造建物については、最近木造建物の被害想定手法と同様な弾塑性地震応答計算に基づいた力学的な被害程度の評価基準を採用した被害想定手法も開発されつつあり、今後の発展が期待される場所である。

被害想定のプロ図を図6に示す。

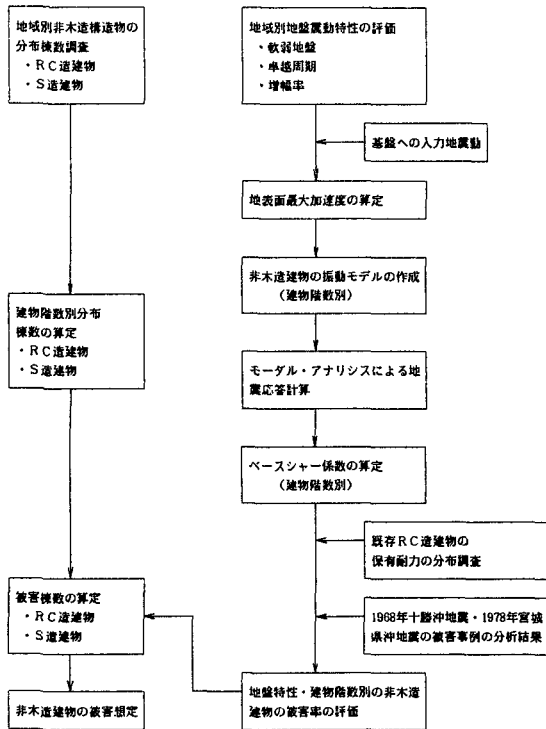


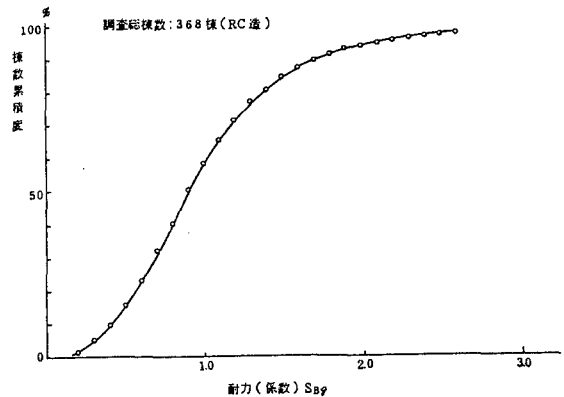
図6 中低層非木造建物の被害想定フロー図

### 3.1 RC造建物の保有耐力に関するサンプリング調査

既存建物の耐震診断が、ある程度共通した認識のもとに手法が開発されたのは、1968年十勝沖地震以降であろう。この地震を契機として幾つかの機関・組織が地震被害の実態に基づいた診断手法の開発に取り組み、その成果を公にしている。それらは、比較的簡易なものから相当な労力と時間を要するものまでかなりの幅をもっている。

ここでは、実在する種々の用途の既存建物の保有耐力の実態をある程度統計的に把握することを目的としてRC造建物の保有耐力に関するサンプリング調査を行った。採用した手法は、『鉄筋コンクリート造校舎の耐震診断方法および補強方法・日本建築学会(1975年)』における1次～3次判定法である。

調査総数は、合計368棟の中低層RC造建物であり、各建物の保有耐力 $SB_g$ を算定した。調査した全建物の $SB_g$ の度数分布からは、 $SB_g$ の

図7 全調査建物の $SB_g$ に関する棟数累積度

高い側にかなりばらつきがあり正規分布とはいい難い。そして、ほぼ同程度の震度で設計されているにもかかわらず、多くの建物の $SB_g$ の存在する範囲である主要な凸部はかなり幅広い形状をしている。

図7は、 $SB_g$ の度数分布を棟数累積度の形で示したものである。図より、日本建築学会(1975)でいうところの耐震性の劣る建物( $SB_g < 0.4$ )が約9%、それに次いでやや劣る( $0.4 < SB_g < 0.6$ )の等級3の建物が約12%、合計21%が等級4ないし3であることは注目される。

### 3.2 最近の地震における非木造建物の振動被害について

#### (1) 中低層RC建物

RC造建物に関する比較的最近の地震被害としては、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震以外まとまったものはない。

志賀他(1975)は、1968年十勝沖地震の際、無視しえない構造的被害をうけた建物の1階の柱・壁の軸圧縮応力度 $\tau$ が $12\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上のものに集中していることを見出した。なお、 $\tau$ は下式による。

$$\tau = \frac{W}{A_c + A_w} \quad (3.11)$$

ここに、 $W$ =建物重量(1階の柱・壁の総断面積に作用する軸圧縮力で、各階単

位面積当り,  $1.0 \text{ t/m}^2$ として算出)

$$A_c = 1 \text{ 階柱の総断面積}$$

$$A_w = 1 \text{ 階壁の総断面積}$$

また、宮城県沖地震に対しても志賀他(1978)は、同様の分析を行っている。この $\tau$ の値に着目して、地盤と被害の関係を両地震に対して検討した資料としては、望月他(1979, 1980)がある。

この検討結果から、2つの地震で地盤と被害(表2)の関係は、かなり異なるようにみえる。すなわち、中破以上の被害棟数比に着目すれば、十勝沖地震では3種地盤が最も大きく、それに2種地盤がつづく(4種地盤は見出せなかった)。一方、宮城県沖地震では、2種>1種>3種となり、軟らかい地層のあまり厚くないところで被害が多く生じていることがわかる。

一方、十勝沖地震の場合も、中破以上の被害は台地上で生じている(表層はローム層が主層をなす場合が多く、そのN値も軟らかい場合で5内外、10内外とよく締まっている場合が多い)。従って両者に共通していることは、いずれも、いわゆる軟弱地盤ではなく、ごく一般的ないし比較的硬質な地盤上で被害率が高いと言う結果を示している。すなわち、おおまかにいえば台地上および軟質土層が10m程度以下の低地で、表層地盤の1次卓越周期が、0.2秒~0.4秒程度の地域と言えそうである。

なお、ここで分析している建物は、3階建程度

表2 RC造建築物の被害ランク

被害ランク	被害状況
0	無被害 柱・はり・耐力壁等構造体、非耐力壁等2次部材共に被害がほとんどないか、または認められても軽微なもの。
I	小破 構造体の被害は比較的軽微であるが、2次材に曲げまたはせん断ひび割れが認められるもの。構造耐力上の支障はないと考えられるが、建物使用上2次部材の補修を要すると考えられるもの。
II	中破 構造体に曲げまたはせん断ひび割れが認められ、さらに2次部材並びに衝突・液り落下等付属部分に破損が認められるもの。部分的な構造体の補修または補強を要すると考えられるもの。
III	大破 構造体に曲げまたはせん断破損が認められ、耐力の著しい低下があると考えられるもの。大規模な補修、補強またはとりこわしを要すると考えられるもの。
IV	全破 構造体がほぼ全面的に破損し、建物全体または一部が崩壊したもので、とりこわしを要すると考えられるもの。

のいわゆる中低層RC造建物である。また、この種の建物が少なからずまとまって被害をうけた地域の震害率(ここでは大破以上に限定する)は、1968年十勝沖地震の八戸市中心部で5.8%(日本建築学会, 1969)、仙台市卸町で4.2%(志賀, 1979)となる。これらの地区は、いずれも木造建物の被害の程度、墓石の転倒状況などから推定して、少なくとも $400 \text{ g}$ 程度の加速度はうけたと推測されるが、この程度の加速度で取り壊し、あるいは大規模補強工事が必要となる大破以上の被害建物が4.0~6.0%生じたと言うことになる。

(2) S造建物

S造建物は、比較的最近の幾つかの地震において、少なからぬ被害が発生した。例えば1974年伊豆半島沖地震、1978年伊豆大島近海地震が比較的記憶に新しく、設計・施工の不備などがその原因としてあげられてきたが、中低層の建物などでは比較的安易につくられているのも確かなようであり、ブレース材の破断等はいたるところで認められた。しかしながら、それらの地震被災地は比較的局地的であり、被害も分散していた。従って、S造建物の被害が組織的に調査されたのは、1978年6月の宮城県沖地震が最初である。

この地震では、仙台市だけでも、わが国において初めてといえる数のS造建物が被害をうけた。そのため仙台市にあって、S造が多数存在する東部地区において、統計的にも有意性のある組織的調査がなされた(日本建築学会, 1980)。

調査に当たっては、被害階級を表3に示すように、その程度から5段階に区分された(V:倒壊~I:軽微)。なお調査地域において、建物総数

表3 S造建築物被害区分表

被害区分	内 容
V	倒壊 復元力喪失
IV	大破 残留部材角 1/30以上
III	中破 残留部材角 1/30未満
II	小破 残留変形ほとんどなし、筋かい破断、柱脚破損など
I	軽微 主要構造体被害なし、仕上材損害



の約60% (2432棟) がS造建物であったと報告されている。この調査結果では、2階建以上の建物の被害区分が示されているが、それによれば、S造建物総数は421棟、被害区分V：6棟 (1.4%)、IV：12棟 (2.9%)、III：31棟 (7.4%)、II：80棟 (19.0%)、I：161棟 (38.2%) であり、被害区分II (小破) 以上の棟数が、30.7%に達することは注目に値する。更に、被害区分をIII以上に限定しても、被害棟数比率は、11.7%となり、一般に予測されていたほど、S造の耐震性が低いことを、この地震は量的に認識せしめたとも言える。ただし、比較的大きな被害をうけたのは3階建程度までの低層であり、4階建がごく一部含まれる結果となっている。

### 3. 3 非木造建物の被害想定

#### (1) 中低層RC造建物

ここでは、中低層RC造建物の危険度に着目し、その考え方と手順等について述べる。

前述したように、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震において、比較的新しいRC造建物が少なからぬ被害をうけた。被害を受けた建物のほとんどは、前述の志賀他 (1975, 1979) が分析したように、1階の柱・壁の断面量が小さいものであり、1968年十勝沖地震以降、これらの建物の靱性を増すための設計法が提示され、既存建築物の耐震診断法が各方面から提案されてきた。

一方、前述したように東京都を中心とする368棟の建物について耐震診断を行い、保有終局耐力の実態を調べた。ここでは、上記の調査結果、モーダル・アナリシス (弾性地震応答解析)、それに弾塑性地震応答解析に関する既往の研究成果を考慮して提案された危険度判定法を示す (東京都防災会議, 1985)。ここにいう危険度は、地震時に損壊の恐れ大という意味で、倒壊危険度に限定しない。しいていえば、構造部材もまた補修、補強を要する程度までの被害 (上記の十勝沖地震、宮城県沖地震でいう中破程度以上の被害) となる。

モーダル・アナリシスの結果からみて中低層RC造建物の地盤危険度ランクを表4のように、3

表4 中低層S造建築物の地盤危険度ランク

	1~3F			4~6F		
	$C_e, \bar{C}_e$	地盤型	DR	$D_s, \bar{D}_s$	地盤型	DR
III	$C_e \geq 0.7$ $\bar{C}_e = 0.80$	DHF P	12%内外 ないし それ以上	$D_s \geq 0.8$ $\bar{D}_s = 0.88$	E, F, R Q	12%内外 ないし それ以上
II	$0.7 > C_e \geq 0.6$ $\bar{C}_e = 0.64$	BCH ENM	10%内外	$0.7 > D_s \geq 0.7$ $\bar{D}_s = 0.75$	B, C, D F, O, N T	10%内外
I	$C_e < 0.6$ $\bar{C}_e = 0.51$	A, I, F O, L, T	8%内外 ないし それ未満	$D_s < 0.7$ $\bar{D}_s = 0.80$	A, I, H K, M, L P	8%内外 ないし それ未満

注1) 表中のアルファベントは地盤型 (東京都防災会議, 1985)  
2)  $C_e, D_s$ : それぞれモーダルアナリシスによる応答ベースシャー係数、1Fの層間変位 (基礎入力最大加速度120gal、 $X, C_e, D_s$ はいずれも2種の建物剛性分布の計算の平均値)  
3)  $\bar{C}_e, \bar{D}_s$ : 各地盤危険度ランク (I~III) に含まれる地盤型の上記平均応答ベースシャー係数、層間変位 (cm)

ランク程度に区分している。従って被害棟数は、同表中のDR (%) により算定されることになる。

なお、上記の危険度判定においては、用途・年代等の区分は行わずRC造建物群全体として扱う。それは、建物の終局耐力調査棟数が、建物を年代・用途等で区分するには不十分であることが主な理由である。従って既存RC造建物は、その用途・建築年代にかかわらず、同一の耐震性の分布をなすと仮定したことになる。

#### (2) S造建物

S造建物の被害想定については、前述の仙台市で生じた被害事例を考慮し、モーダル・アナリシスの結果を加味して行う。

1978年宮城県沖地震におけるS造の調査結果から、中破以上の被害率11.7%を目安に、これにモーダル・アナリシスの結果を考慮して、表5に示すように地震危険度を3つのランク (グレード) III~Iに区分されている (東京都防災会議, 1985)。

なお、被害率11.7% (約12%) を地盤型グレードIIIに対応させ、以下、ベースシャー係数、層間変位の比により震害率DRの目安を想定した。ただし、7階建て以上のS造については、中低層の比較的軽微なものに比べ、耐震の考慮が一段と払われているであろうとの推測から、この被害想定手法では対象外としている。また、RC造の場合と同様に建築年代・用途による被害区分は設けていない。

表5 中低層RC造建築物の地盤危険度ランク

	1~3F			4~6F		
	$C_s, \bar{C}_s$	地盤型	DR	$C_s, \bar{C}_s$	地盤型	DR
III	$C_s \geq 0.7$ $\bar{C}_s = 0.82$	DHK FP	14%内外 ないし それ以上	$C_s \geq 0.7$ $\bar{C}_s = 0.78$	E	14%内外 ないし それ以上
II	$0.7 > C_s \geq 0.6$ $\bar{C}_s = 0.83$	BCE MRQ	11%内外	$0.7 > C_s \geq 0.6$ $\bar{C}_s = 0.85$	BCK FF,N RP,Q	11%内外
I	$C_s < 0.6$ $\bar{C}_s = 0.52$	AIF, OTN L	8%内外 ないし それ未満	$C_s < 0.6$ $\bar{C}_s = 0.52$	AID HOM LT	8%内外 ないし それ未満

- 注1) 表中のアルファベットは地震型 (東京都防災会議, 1985)
- 2)  $C_s$ : モーダルアナリシスによる応答ベースシャー係数 (高層入力最大加速度  $120 \text{ gal}$  または  $C_B$  は2種の建物剛性分布の計算結果の平均値)
- 3)  $\bar{C}_s$ : 各地地震危険度ランク (I~III) に含まれる地盤型の上記平均応答ベースシャー係数
- 4) DRは震害率で構造的にも補強増強を要する想定被害率
- 5) 7F程度以上の建物は一般にSRC造であるが、多くの場合耐震性は高く、建物種としてそのDRを予測するのは困難なため除外

3. 4 まとめ

本章では中低層RC造建物の被害想定手法について述べたが、RC造建物にも建物用途により、その構造的特徴はかなりの相違が認められる。これらに対する配慮も必要であり、合わせて地盤と建物による被害の定量化の検討も実施しておく必要がある。特にRC造建物を対象とした、弾塑性地震応答計算による被害想定手法も開発されつつあり、非木造建物の分布調査と合わせて、この種の手法が早急に検討され被害想定に活用されることを期待する。

また、その他の非木造建物、特に近年極めて多数分布するようになった中小規模のS造建物に対する被害の事例研究・被害程度の判定・評価に基づく個別の被害想定手法についても、今後早急に検討しておく必要があるものと考えられる。

なお、東京都においては上記の点を考慮して、非木造建物の地震応答スペクトルを用いた系統的な被害判定方法による被害想定手法 (三菱総合研究所, 1989) が検討されており、過去の被害事例との整合性の検証が期待される。

4. 地盤の液状化による建築物の被害予測

地盤の大規模な液状化は、最近の地震被害の事例ならびにそれらの報告書にも見られるように、

建物に対して極めて重大な影響を及ぼし、しかも液状化発生地域内においては著しく高密度で被害が集中すると考えられる。ここでは、1964年新潟地震 (田治米他, 1977), 1983年日本海中部地震における木造建物 [日本建築学会 (1984), 望月他 (1983)], および同新潟地震における非木造建物 (RC造建物が主体) [日本建築学会 (1964, 1966), 田治米他 (1977)] の被害事例の調査分析結果を参照し、地盤の液状化による建物の被害の定量的に検討するとともにその被害予測を行う。

木造建物については、上記両地震における液状化集中地域の全壊率および被害率に被害程度と復旧費の点から検討が加えられ、明瞭に判定されているので、被害予測はその結果に基づいて行うこととした。また、非木造建物については、主に1964年新潟地震の調査結果を踏まえて、東京都の下町低地で地震時に地盤液状化発生のポテンシャルが極めて高いと想定されている地盤種を含む地区において、実際に存在する非木造建物の基礎構造形式の分布について、建築確認申請台帳に基づき調査を行い、被害想定的手法を検討した。

図8に作業フローを要約して示す。

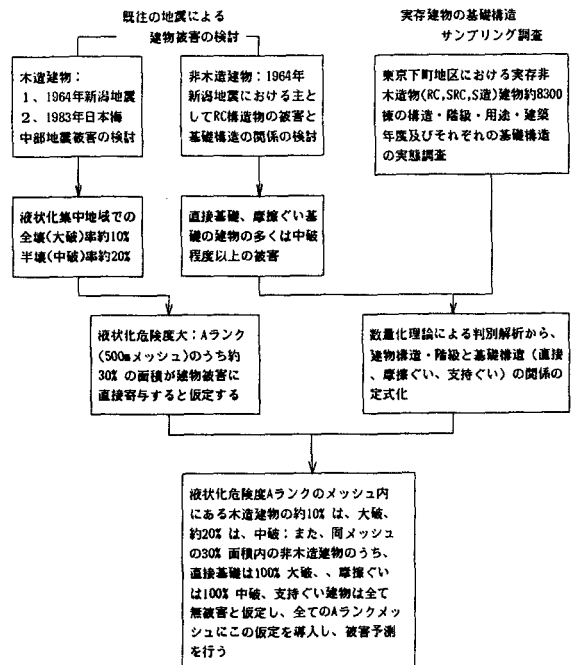


図8 液状化による建物被害想定のプロフロー

#### 4. 1 地盤の液状化による木造建物の被害

##### (1) 1964年新潟地震における被害事例

1964年新潟地震（M=7.5）においては、新潟市の信濃川河口の地域で大規模な砂地盤の液状化が発生し注目を集めた。地震後、東京都などで液状化が予想される地域における木造建物の被害想定資料を得る目的で、その被害の復旧に関する現地追跡調査を行った。調査地域は、大被害集中地域内とし、その範囲に含まれる川岸町、白山浦、川端町、上大川前通り、礎町および万代町であった。

追跡調査結果によれば、地震直後に判定された“いわゆる”全壊率（12.3%）、半壊率（56.9%）についての査定基準の定義は不明確で、実際の液状化に伴う建物の被害程度、特に半壊と判定された被害建物に大きな幅が生じ、定量的な被害予測などの議論が不可能になったため、被害程度にやや体系的な基準を設けて、被害階級区分を行い、被害程度と建物性状あるいは建物周囲の地盤性状（地変）などとの関係を検討することにした。

新たに設定した被害程度判定の基本的な目安をもとに、これに建物の傾斜・きれつ・ひずみ等の被害に関する諸項目の回答を加味して、4段階に被害程度を再区分した（田治米他，1977）。この判定法によれば、全壊またはそれに準ずる大被害に属する建物棟数は338棟中35棟で約10.5%となる。被害判定、特に半壊には十分明確な共通定義はないように思われるが、文字通り復旧に際して、同規模程度の建物を再建する場合のおおよそ1/2程度の費用を要する被害と考えれば、全調査地区（大被害地域内）のおおまかな全壊率は10.5%、半壊率15.4%であり被害率は18.2%となる。

##### (2) 1983年日本海中部地震における被害事例

1983年日本海中部地震（M=7.7）においては、青森県津軽平野と秋田県の秋田市・能代市・男鹿市などを中心として地盤の大規模な液状化が発生し、木造建物に大きな被害が集中的に発生した。

この地震直後に地震動の強さの分布と被害の調査をおこなった。その後、特に秋田県能代市の液状化集中地域を対象として液状化に伴う木造建物

の被害と復旧に関する調査をヒヤリングによるアンケート調査法を用いて行った（望月他，1983）。調査棟数は全体で757棟である。能代市では、各住家の被害程度が査定されていて、全調査棟数757棟のうち全壊が196棟（25.9%）、半壊が345棟（45.6%）、一部損壊が146棟（19.3%）で無被害が70棟（9.2%）であった。従って、この結果によれば全壊率25.9%、被害率は48.7%となる。

アンケート調査では、木造建物および周辺施設の被害状況について調査を行っている。

この調査結果によれば、液状化集中地域においては、建物および建物周辺施設の被害発生比率は著しく、特に建物の破断・沈下・傾斜・基礎の破断・同きれつおよび壁のきれつ等の大きな被害の発生比率は高い。全壊と判定された建物ほど、その比率は高いが、特に全壊、半壊と判定された建物の大半にはほぼ同様の程度で、上記のモードの被害が発生していた。一方、復旧費に関する調査結果をまとめると、全壊・半壊と判定された建物でも復旧費には大きなバラツキが認められ、特に全壊と判定された建物でも半壊と判定された建物の復旧費と同程度であるケースも多数含まれており、地震直後の被害判定基準は不明瞭である。

そこで、上述のごとく被害モードの内容は、ほぼ同様と考えられるので、復旧費について再検討し、被害大のため取り壊した建物あるいは700万円以上の復旧費を要した建物を全壊と判定し、300～700万円程度の復旧費を要した建物を半壊とし、300万円以下を一部損壊程度とみなして、それぞれの棟数分布をまとめた被害再分類結果によれば、全壊率8.6%、半壊率20.6%で被害率は18.9%と判定される（望月他，1983）。

##### (3) 地盤の液状化による被害の推定

以上に示した2つの地震における被害事例から、大規模な液状化発生地域あるいはその集中地域においては、木造建物の実際の被害程度を被害状況と復旧費の面から再整理を行うと、両地震の事例ともに共通して、全壊率は約10%、被害率は約20%程度と推定される。

このことから、被害率＝（全壊棟数＋1/2半壊棟数）／全棟数として、全壊率を10%、半壊率を

20%と仮定し、液状化発生地域において半壊程度以上の比較的規模の大きな被害をうける木造建物の被害発生比率は30%程度と推定して大きな誤りはないように思われる。

#### 4. 2 液状化による非木造建物の被害

##### (1) 1964年新潟地震における被害事例

1964年新潟地震においては、砂地盤の液状化にともなう非木造建物（特に、鉄筋コンクリート（RC）造建物）の被害が多く発生した。被害の概要については、すでに種々の面から分析が行われ結果が示されている（田治米他，1977）。その結果を要約すれば以下ようになる。

- ① 大被害地域内（大規模液状化地域）においては、大被害地域外（非液状化地域）に比較して、著しく大きな被害が集中し、非木造（RC造）建物の基礎構造（直接基礎・摩擦ぐい基礎）によらず、特に基礎の下底にゆるい層（N値の小さい層）が存在する場合には、その被害率は極めて高い。
- ② 特に、くい基礎の場合には液状化の発生が考えられる地層の深さ・層厚など（限界N値（ $N_L$ ）との関係により算出される）を十分に考慮したくい基礎（支持ぐい基礎と同等）には被害がほとんど発生していない。

##### (2) 液状化による被害の推定

以上、新潟地震におけるRC造建物の被害事例の調査から、ここでは、大規模液状化に伴う非木造建物の被害予測を行うこととする。

大被害地域すなわち大規模液状化地域としては、液状化に伴う木造建物の被害において半壊程度以上の被害をうける比率が約30%程度であることから、この数値を面積比率と読み換えて用いることにより、液状化発生予想地域の中で占める面積比率は、上記地域の30%程度の範囲と考えられる。この大規模液状化地域内においては、非木造建物のうち直接基礎の建物は極めて大きな被害（大破程度）をうけ、その比率も著しく高いと考え、ほぼ100%がそのような被害を受けると仮定する。また、くい基礎の建物の中で、支持ぐい基礎のものは、被害は比較的軽微とみなせるであろう。一方、摩擦ぐい基礎の建物は、新潟地震の被害事例にも示されるようにくいの根入れ深さと液状化発生地層の層厚との関係で被害程度は多少異なると考えられるが、いずれにしても大規模液状化地域内に限定すれば、かなりの被害（中破程度）を受け、その比率はやはり著しく高くなるものとみなし、その比率は同様に100%を想定する。

一方、摩擦ぐい基礎の建物は、新潟地震の被害事例にも示されるようにくいの根入れ深さと液状化発生地層の層厚との関係で被害程度は多少異なると考えられるが、いずれにしても大規模液状化地域内に限定すれば、かなりの被害（中破程度）を受け、その比率はやはり著しく高くなるものとみなし、その比率は同様に100%を想定する。

#### 4. 3 非木造建物の基礎構造の実態調査

##### (1) 調査概要

非木造建物の液状化に伴う被害を検討するうえで、既存建物群の基礎構造の実態を把握することは最も重要な作業となる。従って、東京都の下町低地地区において地盤の液状化が発生すると予想される地域に分布する非木造建物の基礎構造の頻度分布を明らかにする目的で、都区内下町地区において建築確認申請台帳に基づいて実態調査を行った。調査を行った建築確認年度は昭和49年～昭和62年の14年間分であり、調査総棟数は8325棟である。建物の構造別（RC造・SRC造およびS造）の棟数分布を表6に示す。建物の構造別では、S造建物の棟数比が圧倒的に高い結果となっている。

##### (2) 数量化解析

以上の非木造建物の実態調査データの単純集計の結果では、RC造・SRC造およびS造の非木造建物の構造種別により、建物階数や基礎構造の種別に特徴的な相違を示す頻度分布が認められる。

表6 非木造建物基礎調査における構造別棟数頻度

	棟数	%
SRC造	157	1.89
RC造	1145	13.75
S造	6450	77.48
その他	573	6.88
計	8325	100.0

ここでは、上記データから建物の基礎構造に基づいて、その種別の規定要因を多元的に分析するために、建物の構造種別・階数・用途および建築年度を説明変数とし、これらの変数によって基礎構造の種別を判別するために、多変量解析手法である数量化解析Ⅱ類の方法を用いて判別解析を試みた。

解析にあたって、外的基準は基礎構造の種別（支持ぐい・摩擦ぐい・ベタ基礎およびその他の直接基礎）とし、説明変数は建物構造・階数・用途および建築年代の4アイテムを設定した。

数量化解析の結果より、相関比は約0.65で、結果的には比較的良く判別されることがわかる。一方、各アイテムのレンジ値では建物階数が最も大きく、次いで建物構造が効き、用途および建築年代は、それ程大きな奇与は示していない。

従って、建物の基礎構造の種別は、建物構造とその階数によりほぼ判別されるものと考えられる。

#### (4) 非木造建物の基礎構造の推定

前節での数量化解析の結果から、非木造建物の基礎構造は建物構造種別とその階数によって、ほぼ判別されることが示されたので、ここでは建物構造・階数別に基礎構造の種別の分布数（棟数頻度）を求めることとし、結果の概要を示せば、SRC造建物はほとんどが支持ぐい基礎である。また、RC造建物では建物階数によって基礎構造が異なり、1～2階建はベタ基礎・その他の直接基礎であり、3階建の建物では約60%が支持ぐい、約20%が摩擦ぐい、そして残りの約20%がベタ基礎・その他の直接基礎となり、4階建以上では、支持ぐいが用いられている。また、S造建物では1～3階建の建物は、ベタ基礎・その他の直接基礎であり、4～7階建では約30%が支持ぐい、約50%が摩擦ぐい、そして残りの約20%がベタ基礎・その他の直接基礎であり、8階建以上は調査地区内にはほとんど存在しないが、ほぼすべて支持ぐいを用いているものと思われる。

### 4. 4 被害予測の手法

#### (1) 木造建物の被害予測

4. 1において、1964年新潟地震および1983年

日本海中部地震における液状化にともなう木造建物の被害について分析を行った結果より、液状化発生地域においては、木造建物の全壊率は約10%、被害率は約20%程度と判定された。従って、液状化による木造建物の被害想定においては、液状化危険度大の地域内の木造建物の約10%を大破（全壊）、約20%を中破（半壊）と判定する。

#### (2) 非木造建物の被害想定

4. 2において、1964年新潟地震における非木造建物（RC造）の被害について分析を行った結果から、建物被害に大きな影響を及ぼす液状化面積（ネット）は、液状化危険度大の地域（グロス）の約30%と仮定し、原則としてその30%面積内にあるRC（SRC造建物を含む）造建物、S造建物とも直接基礎（ベタ基礎・その他の直接基礎）の建物は中破とし、摩擦ぐい基礎の建物は中破とし、支持ぐい基礎の建物は被害なしとする。また、4. 3における調査結果より、全液状化危険地域に適用する非木造建物の基礎構造と建物構造および階数の関係を推定し、結果を整理すれば表7のようにまとめられる。

表7 建物構造・階数と基礎形式

#### (SRC+RC) 造

	1～2F	3	4～7F	8F～	計
支持ぐい	34 (16.3%)	108 (58.3%)	415 (94.8%)	90 (100.0%)	647
摩擦ぐい	36 (17.3%)	39 (21.1%)	19 (4.3%)	0	94
直接基礎	138 (61.4%)	38 (20.6%)	4 (0.9%)	0	180
計	208 (100.0%)	185 (100.0%)	438 (100.0%)	90 (100.0%)	921

#### S 造

	1～3F	4～7F	8F～	計
支持ぐい	141 (2.5%)	125 (34.2%)	3 (100.0%)	269
摩擦ぐい	594 (10.5%)	175 (48.0%)	0	769
直接基礎	4905 (86.9%)	65 (17.8%)	0	4970
計	5640 (100.0%)	365 (100.0%)	3 (100.0%)	6008

表8 非木造建物の被害想定における構造・階数と基礎

(SRC+RC)造		(%)			
	1~2F	3	4~7F	8F~	被害判定
支持ぐい	15	60	95	100	無
摩擦ぐい	15	20	5	0	中破
直接基礎	70	20	0	0	大破
計	100	100	100	100	

S造		(%)			
	1~3F	4~7F	8F~	被害判定	
支持ぐい	0	30	100	無	
摩擦ぐい	10	50	0	中破	
直接基礎	90	20	0	大破	
計	100	100	100		

注) 無: 無被害

従って、建物の基礎構造の存在比率を均し、表8に示すように想定し、上述のように被害を予測する。

#### 4. 5 まとめ

前述したように、大規模な地盤の液状化現象の発生は、建築物の被害に極めて大きな影響を及ぼすと考えられる。上述した地盤の液状化による建物の被害想定手法は、過去の地震災害事例の分析に基づいて展開された方法であり、いずれも大規模な地盤の液状化にともなう建物被害の発生を前提としている。従って、液状化による被害予測は、大規模液状化の発生が予測される地域を特定化する作業が極めて重要である。そのためには各種の液状化発生予測の方法などを参考として、予め地域的に詳細な検討を実施しておくことが不可欠であろう。現在、東京都では下町低地における液状化発生地域の予測が実施され、詳細な結果が報告されている(東京都土木技術研究所, 1987)。今

後の同地域における被害想定において極めて有効な資料であると評価できよう。

### 5. ビル落下物の被害想定

地震時に建築物に付帯する諸構築物は、地震力の影響を受けて破損し落下する危険性を有している。1978年2月に発生した宮城県沖地震においては仙台市において、街路に面したビルの窓ガラスの破損により負傷者が発生し社会的な問題を提起した。この種の被害は地震災害が発生する度に生じているものと推測されているが、建築物やその他の構造物の被害に焦点が集中し、なかなかその被害の実態が表面化せず問題点を把握することが不可能となっているのが実状のように思われる。

東京都都市計画局では都内にある3階建以上の建物(原則として非木造)のうち、避難道路沿い及び繁華街における建物について、窓ガラス、屋外広告物等の実態調査を行い、危険なものについては安全化指導を実施している。この調査は昭和55年度以降実施されており昭和62年度現在で、調査棟数は61149棟に達している(東京都, 1988)。

この被害予測手法においては、このうち4区において得られている約1万棟余りの調査個票を基に落下危険物とそれを保有する建物諸性状(構造、建築年代、用途、階数など)との関係を検討し、危険度の高いビル落下物を保有している建物棟数比は、ほぼ建築年代で説明できること、それも線型の回帰式で表現できることを明らかにした。

なお、東京都におけるこれらの調査は建築技術者の目視によるものであり、落下危険度ポテンシャルに地震動の強さの地域差などは加味されていない。この点については、建物の振動による被害予測作業で、それぞれの地域における非木造建物の中破・大破棟数が別途算定されるので、それらの建物からは何らかの落下物の発生があるとして、これらの棟数を加算することにより、地震動の強さの地域差を考慮することとしている。

また、東京都は調査建物について、落下危険度大の付属物を保有している建物について改善勧告を行っており、その改善率は大略60%に達してい

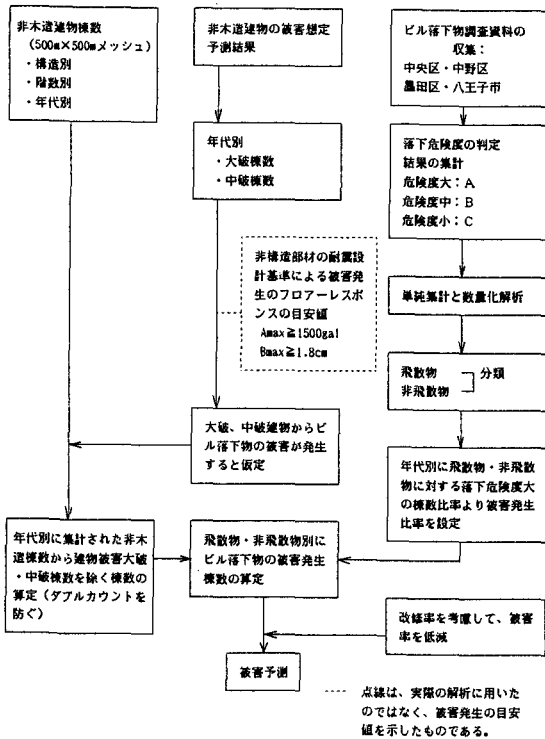


図9 被害想定フロー図

る（東京都，1988）との結果もあるので、この改修率を考慮してビル落下物の保有建物棟数（比）を低減した。以上の手法による被害想定フロー図を図9に示す。

### 5.1 ビル落下危険物の実態調査と分析

#### (1) 実態調査

東京都都市計画局が実施したビル落下物調査の資料を用いて市街地におけるビル落下危険物の現状把握を行い、被害予測の考え方をまとめた。

本報告で採用した調査対象地域は、東京都都市計画局（1987）を参考にして都心地区の中央区、下町地区の墨田区、山の手地区の中野区および多摩地区の八王子市の4区市である。調査棟数は全体で11557棟であり、そのうち有効棟数は11294棟であった。ビル落下物の対象項目は、表9中の1～9の9項目である。

また、調査結果より、各項目に対して「落下のおそれ」は大・あり・なしの3ランクに判定され

表9 落下危険物の内訳

番号	ビル落下物	内容
1	建築物からの突出物	屋上広告物・袖看板・水槽・クーリングタワーその他
2	建築物の突出物	パラペット・付属煙突・片持梁・片持スラブその他
3	カーテンウォール	金属・PC
4	PC板・ALC板	—
5	窓ガラス	サッシ（スチール・その他）
6	ガラスブロック	ガラスブロック張壁・コンクリートブロック張壁
7	石張り等	石・テラゾー・PC化粧材・テラコッタ・その他
8	タイル張り等	タイル・モザイクタイル・煉瓦・打放しモルタル塗り・その他
9	その他	ウインド型クーラー

表10 落下危険度の判定内容

ランク	落下の恐れ	内容
A	大	落下の恐れが大と認められるもの、建築後の経年変化により劣化が著しく、中震（震度4）以下の地震でも落下する恐れがあり、早急に改善・改修を要するもの。
B	あり	落下の恐れが認められるもののうち、A以外のもの。
C	なし	落下の恐れがないもの。

ている。本報告では、これを落下危険度A、B、Cと表示して用いている（表10）。

#### (2) 建築年代別の集計結果

上記調査資料を用いた、単純集計結果ならびに数量化解析の結果より、対象項目別の落下危険度A、B、Cを判別する明瞭な要因は建物の建築年代を除いては見いだせない。従って、現段階の実態調査から考察した場合には、ビル落下物の危険度判定に対しては、建物の建築年代が有効であろうと考えられる。そのため、ここでは、建築年代別に、建物棟数の分布を危険度A、BおよびCのランク別に分布数の集計を行った。

### 5.2 被害予測の手法

#### (1) 飛散型・非飛散型落下物の分類

調査項目の9項目の中から大きく飛散物系と非飛散物系の2つに分類する。表11に分類結果を示す。非飛散系はおもに建物の振動による（最大）

表11 飛散型、非飛散型落下物の大分類

調査項目	
飛散物	3 カーテンウォール
	4 PC板・ALC板
	5 窓ガラス
	6 ガラスブロック等
	7 石張り等
	8 タイル張り等
非飛散物	1 建築物からの突出物
	2 建築物の突出物
	9 その他

加速度に対応して、地震力により定着部が破損し落下するものと考えられる項目であり、飛散物系は主に建物の振動による層間変形量に対応して、強制変形により、落下対象物そのものあるいは定着部が破損し、落下あるいは飛散する項目であろうと考えられる。

なお、飛散物系および非飛散物系に対して危険度AとBを1つにまとめたものであり、該当する調査建物棟数で除した比率(%)を算定した結果を図10(a)、(b)に示す。

前述の数量化解析の結果からも指適されるように、建物の建築年代に対しては、良好な負の相関関係を示していることがわかる。

(2) 回帰式の算定

表10の結果に基づいて、調査対象地区の4区市

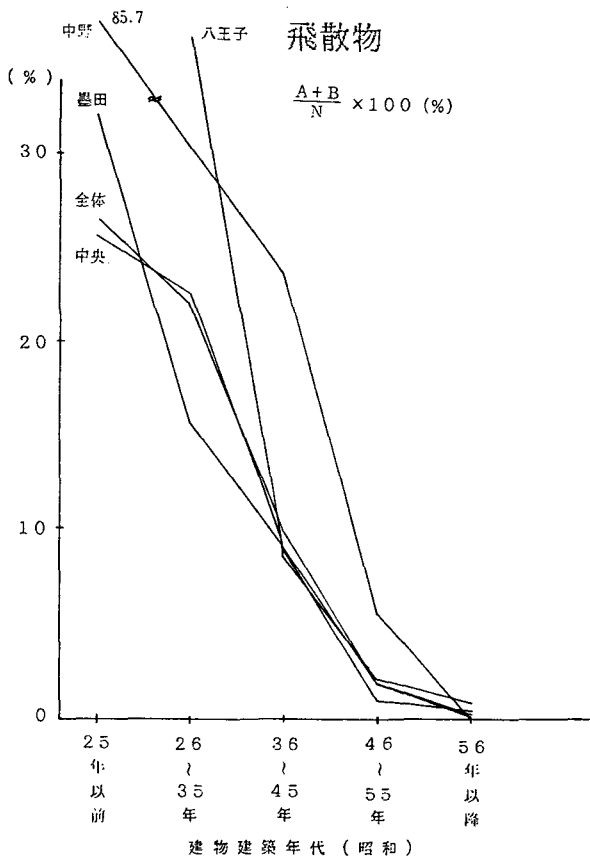


図10 (a) 落下危険物(年代別)棟数比(飛散物)

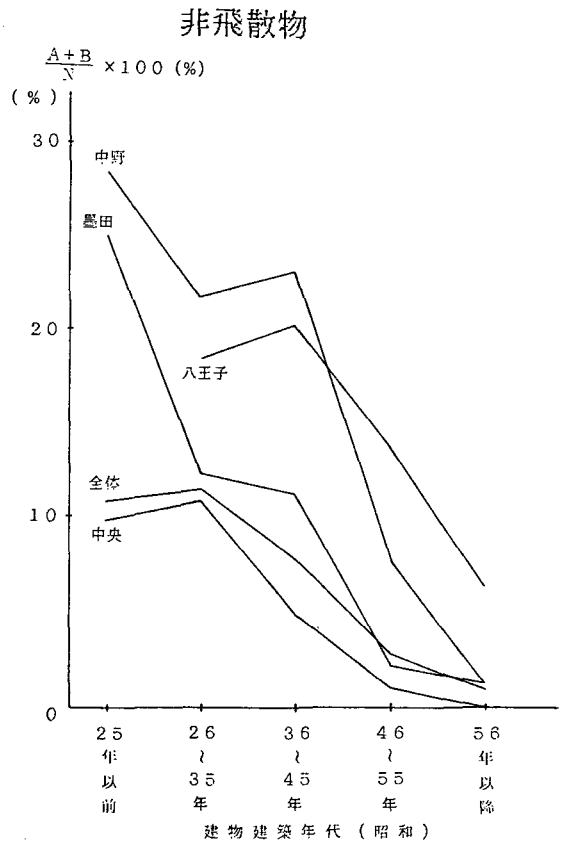


図10 (b) 落下危険物(年代別)棟数比(非飛散物)



および全体に対して、回帰分析を行った結果が図11(a), (b)である。

各区市および全体の結果については、相関係数 (r) の値は、八王子市を除いて絶対値で0.9以上の高い値が得られ、良い相関関係を示している。

一方、全体の結果は、調査棟数の多い中央区での結果に引きずられて、ほぼ中央区と同様な結果を示している。

また、建築年代別に各市の落下危険度A・Bの比率を平均した結果を図12に示しておく。

(3) ビル落下物の安全化対策の検討

東京都都市計画局では、昭和55年度～昭和62年度に亘り実施したビル落下物の実態調査の結果に基づいて、落下の恐れのあるものについて安全化指導を実施している。その中で特に窓ガラス等落下物については、人的被害に与える危険性が大きいことから、落下の恐れのある6195棟（昭和61年

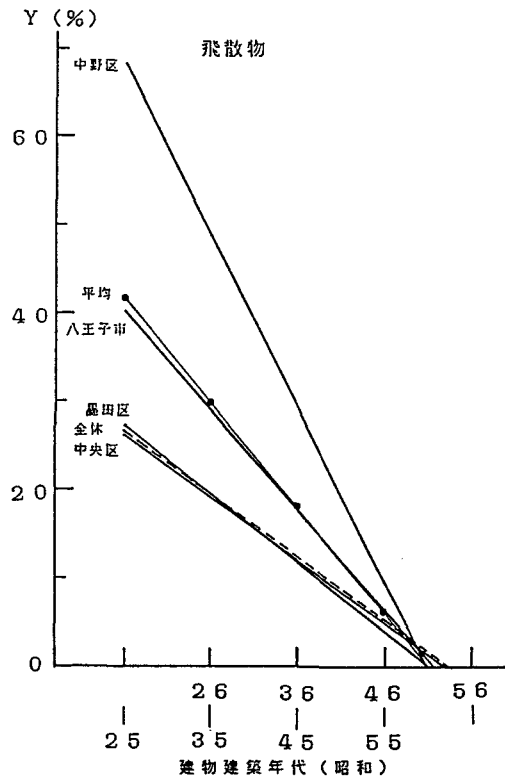


図11 (b) 落下危険物保有建物棟数比と建築年代の関係 (非飛散物)

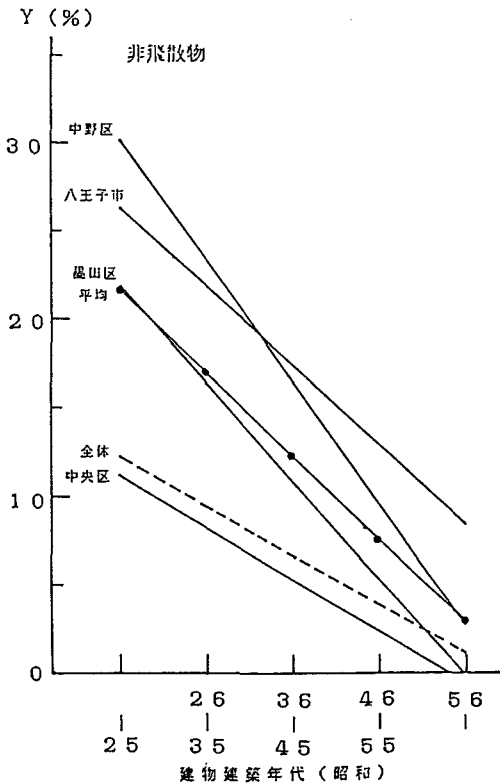


図11 (a) 落下危険物保有建物棟数比と建築年代の関係 (飛散物)

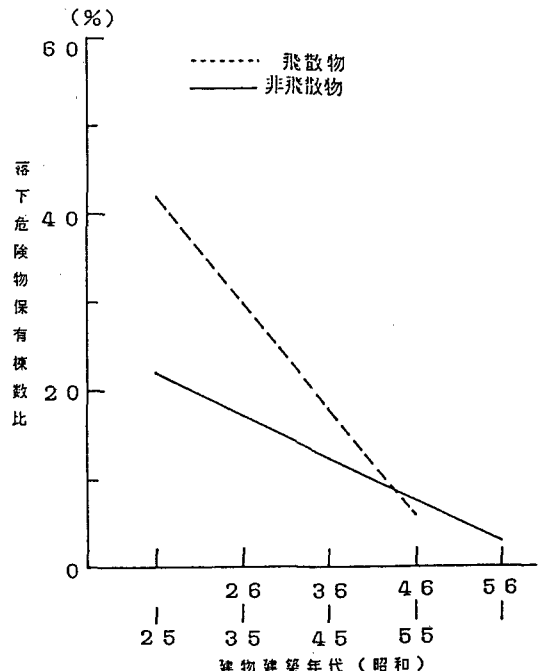


図12 落下物被害想定式

度現在)に対して改修を指導している。これまでに、まとめられた安全化指導・改修状況は昭和60年度までの平均値でいって改修率は60%(59.4%)である。従って、現時点(昭和63年度)において、正確な改修率を参照する手立てはないが、容積率600%内外の地域内については、少なくとも上記数値(約60%)程度の改修は、行われているものと判断してよい。

#### (4) 被害予測手法

以上の結果より、ビル落下物の被害予測手法を以下に述べる。被害予測は、ビル落下物を飛散物と非飛散物に分けて行うこととし、下記の方法で、別々に被害発生棟数を算定する。

年代別の非木造建物の総分布棟数からダブルカウントを防ぐため同じ年代別の大破・中破の非木造建物棟数を除きその残りの棟数に建築年代別の被害発生率(表12)の数値を乗じることにより、被害発生棟数を算出する。

また、都では調査建物の中で落下危険度大の落下物を保有する建物について改善報告を行っている。その結果によれば、実態調査地域(容積率600%以上の地域)の改修率は、平均約60%と算出される。従って、容積率600%以上の地域では、算出した危険度大の落下物保有建物棟数に40%を乗じて被害棟数を低減した。

表12 落下物被害想定のための建物建築年代と推定落下率の関係

建築年代	飛散物	非飛散物
昭和 -25 年	42 %	22 %
26-35 年	30 %	17 %
36-45 年	18 %	12 %
46-55 年	6 %	8 %
56- 年	0 %	3 %

### 5. 3 まとめ

ビル落下物に関する被害想定は、建物自体の地震時被害にも直接的に関連するとともに、飛散物・非飛散物を含めてビル落下危険物の支持部の仕様、材料などその経年劣化による変化が大きく被害の発生に奇与するものと考えられる。これらの設備や非構造部材の耐震性に関する調査・研究が進められ、設置方法に関する耐震設計指針が提示されている。しかしながら、対象構築物の規模や種類、その施工性を考えると必ずしも全部のビル落下危険物としての対象構築物の設置に適用され得るとは考えられず、特に比較的規模の小さい構築物の設置方法には問題点が残る。これらの構築物に対する指針の徹底が望まれる所である。一方、ビル落下物による人的被害への影響の定量的評価は重要な問題であり、これは人口集中地域や季節・時間帯による人通りの多少などの地域的な特性に深く関連する。従って、これらの人的被害との関連性を考慮して検討することも今後の重要な課題となろう。

### 6. ブロック塀・石塀などの被害予測

1978年6月に発生した宮城県沖地震において、ブロック塀・石塀等の倒壊に起因する人的被害が多数発生したことにより、ブロック塀・石塀等の地震時危険度が重要視され、その直後多くの自治体において実態調査が行われ、それらの危険度判定に基づく、補修・改善対策を進めるための資料が収集された。これらの調査は、ほとんどが目視による外見上の変状や構造様式、形状などに関するもので、例えば塀の壁体内の鉄筋の有無や、基礎への定着、固定状況など、いわゆる耐久力・耐震性評価など、力学的な検討は実施されていない。それゆえに、これらの調査結果のみから直接的な被害予測手法を考究することはできない。しかし、目視による調査とはいえ、ブロック塀・石塀等の地震時被害危険度ポテンシャルをマクロに把握する目的から、この種の調査結果に関する分析を行うことは調査量の質・量の膨大さと広域性も併せて考えれば、意義があるものと考えられる。

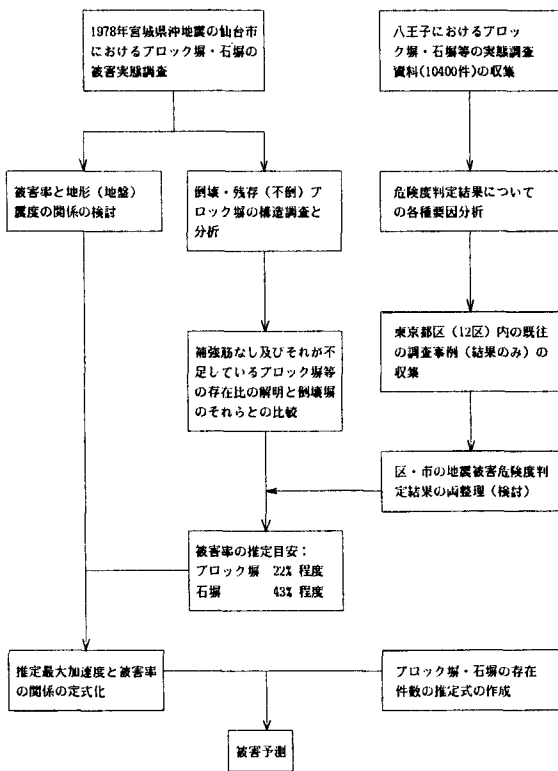


図13 被害想定フロー図

ここでは、既往の実態調査の結果として、特に詳細な資料が得られた八王子市における調査データを分析し、かつ既に報告されている東京都区内での調査結果等の概要（東京都防災会議，1985）に基づいて、市街地に存在するブロック塀・石塀等のおおよその実態を把握した。なお、実際の被害予測においては、主として1978年宮城県沖地震における仙台市での被害調査事例に対する検討から提案された被害予測手法（望月他，1980）を説明する。

被害想定フロー図を図13に示す。

## 6. 1 1978年宮城県沖地震における被害事例

### (1) 調査概要

1978年6月12日の宮城県沖地震（ $M=7.4$ ）では、宮城県およびその周辺地域に多大な被害が発生した。特に、仙台市を中心に発生したブロック塀などの転倒に伴う人的被害は、極めて大きな社

会的問題を提起した。地震発生後に人的被害に及ぼす危険物との観点から、一部に泉市を含む仙台市においてブロック塀などの被害の実態調査を実施し、それらの倒壊率などと地形（地盤）・震度（地表面加速度）との関係ならびに、残存ブロック塀などについての調査を併せて行い、ブロック塀などの地震時危険度に関する基礎資料を得た。

前述の調査は、地震直後（1978年）および1年後（1979年）の補足調査が主体であるが、地形（地盤）などと被害との関係をより体系的に把握するために1979年8月、仙台市が行ったアンケート調査をもとに、各種地形上の主として被害多発地で聞き込み、視察調査を行った（1442件）。次いで、1980年3月仙台市旭ヶ丘一丁目（丘陵地の人工改変地）および同遠見塚二丁目（沖積低地・前縁低地）において残存ブロック塀の構造調査を行った。両地区とも、同様な地形の中では被害の大きかった地域である。

また、全般的にブロック塀の倒壊率の高い地形では、住家被害率・人的被害率ともに高く、墓石による震度調査結果ともよく良く調和する。

### (2) 残存ブロック塀の調査による地震被害危険度の検討

ブロック塀などの地震被害危険度に関しては、塀の構造的な欠陥等についての不明確さに対する議論を別とすれば、前述の被害事例調査の結果から指摘されるように、単純には地震動強さに大きく規定されるが、一方、構造的な欠陥、特に鉄筋の有無など、基準法に適合しない構造を有する塀の質・量に関する一般的な頻度分布の問題は極めて重要と考えられる。すなわち、ブロック塀の地震被害危険度を検討し、被害予測を行う上で、上記の点にかかわる分布比率の実態の解明は必要不可欠である。そのような観点から、ブロック塀などの被害実態調査を実施し、仙台市における残存（不倒壊）ブロック塀と倒壊ブロック塀に関する比率分析を行った。

調査においては、地震動の強さの相違を考慮して対象地域が選定された。残存（不倒壊）ブロック塀の調査は遠見塚二丁目、また大規模な切・盛を行っているため丘陵地あるいは一般の人工平坦

地としては少なからぬ被害が生じた旭ヶ丘一丁目を選定した。その調査合計件数は148件である。一方、倒壊ブロック塀については、構造に関する全調査件数70件の中から鉄筋の有無・当時の建築基準法施行令第62条の8に規定している事項に対する合格・不合格の判定を行いうる58件の調査資料について残存ブロック塀のそれらと比較した。

その結果、鉄筋について基準法に基づいて判定すると表13のとおりであり、倒壊した塀の不合格率は残存したものに比べ、2.3~4倍に達する。特に鉄筋において著しい差異がある(4倍)。この配筋の事項を更に詳細にみたものが表14である。表が示す様に、縦筋・横筋とも入っていて残存した塀は約96%であるのに対して、倒壊したものでは41%と少なく、しかも無筋が1/3を占めていることがわかる。また、以上より、鉄筋のないあるいは少ない塀(無筋+不合格)について、倒壊・不倒壊の比率を算定すると表15のようにまとめら

れる。この結果によれば無筋のブロック塀の存在比率は約10%程度で無筋・不合格のブロック塀の比率は約40%程度に達することとなる(倒壊・不倒壊を併せて)。母数となる調査件数が少ないとはいえ、実在するブロック塀が極めて高い危険度を有することを示唆する数値であり、調査地域も併せ、実態をある程度類推させる数値であると考えている。

### 6. 2 市街地におけるブロック塀・石塀等の実態調査

#### (1) 八王子における調査概要

八王子市においては、昭和55年度から昭和59年度にかけてブロック塀・石塀等の実態調査が行われている。主要な調査項目は、表16に示す10項目とそれらに基づく危険度の判定である。調査件数は、総数で10400件である。

上記の調査から、ブロック塀・石塀等の地震時被害に対する危険度区分の判定に用いる危険度要因項目として、表17に示す10項目に基づき、危険度判定を行っている。

危険度の判定は、調査された各ブロック塀等の危険度要因項目について、目視による危険度が評価され、各項目について危険度の高い方から、A、B、C、危険なしの4区分に分類される。そして上記4区分の数量的な分布の度合いから、総合的な危険度判定が行われ、最終的な危険度区分の特

表13 配筋の不合格率と被害の関係

	倒 壊	残 存
縦筋の間隔不合格率	48%	12%
横筋の間隔不合格率	65%	28%
壁頂の横筋不合格率	74%	27%

表14 縦筋の有無と被害の関係

縦筋・横筋	倒 壊		残 存	
	実数	%	実数	%
無・無	19	33	1	0.7
有・無	14	24	4	3
無・有	1	2	1	0.7
有・有	24	41	142	96

表15 無筋及び不合格ブロック塀の比率

	倒壊	不倒壊	小計
無鉄筋	19/58 (33%)	1/148 (0.7)	20/206 (10%)
無筋+不合格	43/58 (74%)	40/148 (27%)	83/206 (40%)
小計	58	148	206

表16 ブロック塀・石塀等の調査項目(八王子市)

番号	調査項目	内 容
1	築造年月日	—
2	塀の主体構造	コンクリート・万年塀・大谷石塀・その他
3	コンクリート基礎	有無・不確実
4	塀の規模	高さ・長さ
5	ブロック単体寸法	—
6	控壁および控柱	有無
7	スカンブロック	有無
8	変形状態	亀裂・傾斜・ぐらつき・破損・不同沈下
9	塀上の工作物	有無
10	塀下の壁	有無
11	危険度分類	小・中・大・特大

表17 実態調査による危険度要因項目

	危険度要因項目
1	基礎なし
2	基礎不確実
3	控壁の有無
4	スカシブロックの有無
5	亀裂の有無
6	傾斜の有無
7	ぐらつきの有無
8	破損の有無
9	不同沈下の有無
10	その他（上の工作物の有無）

表18 危険度判定の内容

ランク	内 容
特大	危険性が大きいもので、地震時には倒壊の恐れがあり、速やかに取り壊しか、または大規模な改善が必要と思われるもの。
大	補修、または補強を必要とし、何らかの改善策を講じないと倒壊の恐れがあると思われるもの。
中	補修、または補強の必要があると思われるもの。
小	外見調査の結果、現時点では特に改善が必要と思われるもの。

大・大・中・小の4ランクに区分される。この判定基準の概略的な内容を表18に示す。

この様な調査の判定方法は調査員の目視のみに基づくとはいえ、市街地に分布するブロック塀・石塀等の地震時における倒壊などの相対的危険度の評価と、その分布実態が明らかとなり、その意義（改善勧告を含め）は十分であると考えられる。

この様にして判定された地震被害（倒壊）危険度は、鉄筋の有無や基準法に対する不合格などの直接的な内容あるいは数量的評価の点では不十分ではあるが（一般的には調査不可能）、目視上での構造的な欠陥や変状などに関する要因は包含されており、その点ではかなり評価できるものと思

われる。

### 6.3 ブロック塀・石塀の実態と被害率の推定

八王子市におけるブロック塀・石塀等の調査と分析により、市街地に実在する塀の実態概要を把握することができた。その結果、特に数の多いブロック塀に関しての補強鉄筋に関する情報等塀自体の地震荷重に対する直接的な耐力評価に係わる重要な指標が得られていないなど大きな限界はあるが、主に目視調査に基づく危険度の判定では特大あるいは大のランクを含めて、地震時に倒壊等被害を生じる可能性が高いと判定されたブロック塀・石塀等の比率は約55%に達する。逆に危険度判定で小と判定されたものは、わずか約9%に過ぎないという結果になった（表19）。

一方、東京都区内における同様な既往の調査事例から地震被害危険度判定で分類可能な調査事例は12区で見出され、それぞれ調査対象・調査地域（多くは通学路沿い・避難道路沿いなど）、調査方法・項目および危険度判定法などは異なり、精粗もあり、必ずしも同一レベルでの比較は困難であるが、一様に言えることは八王子市の調査結果と同様に危険度が高い（大）と判定された塀の比率が著しく高いことである。すなわち、主にブロック塀を対象としての結果では（区によってはブロック塀と石塀は区別している）、危険度が大と判定される塀の比率は世田谷区での32.3%から大田区での96.0%の範囲に分布しているが、この比率を示す数値を単純に平均した比率では66.8%となり、かなり高い数値を示している。また、ブ

表19 危険度区分の分布比率

	件数	%
特大	756	7.27
大	4931	47.41
中	3803	36.57
小	910	8.75
計	10400	100.00

ブロック塀と石塀の数値を単純に平均する54.7%で、ほぼ八王子市における比率と一致する。なお、1978年宮城県沖地震における残存ブロック塀および倒壊ブロック塀の調査結果でも述べたように、(無筋+不合格)のブロック塀の存在比率約40%であった。したがって、仙台市での調査により補強筋に欠陥のあるブロック塀がどの地域でも同様の比率で分布していると仮定し、かつ前述の目視調査により危険度特大・大と判定されたブロック塀の存在比率を同様に約55% (八王子市の事例)程度とみなし、両数値の存在比率を単純に掛け合わせれば力学的並びに外見上ともにきわめて倒壊確率の高い塀の存在比率は約22%程度となる。言うまでもなく倒壊は地震動の強さにより規定されるが、宮城県沖地震における仙台市程度の地震動の強さに対して、この数値は一つの目安となる。すなわち、仙台市での調査結果による最大被害率14.8%を上回る値ではあるが予測されている地表加速度から考え、仙台市での調査結果が活用できそうである。一方、石塀については、単純な組石造りとすれば、通常力学的に耐力はあまり期待できないとみなすべきで、ほとんど目視調査による危険度区分で大と判定される塀は倒壊すると考えれば、その比率は約43%程度となる。すなわち少なくともこの程度の比率で被害が予測されるものとするのが相応と思われる。

6. 4 ブロック塀・石塀等の存在分布件数の推定

多摩地区のブロック塀等の存在件数を推定するために、木造棟数に対するブロック塀および石塀件数の推定式がすでに導かれている(東京都防災会議, 1985)。その結果は、図14に示すように、

ブロック塀:  $Y_1 = 0.30X$  ( $R = 0.98$ ) (6.1)

石 塀:  $Y_2 = 0.04X$  ( $R = 0.91$ ) (6.2)

$Y_1$ : ブロック塀の件数

$Y_2$ : 石塀の件数

$X$ : 木造建物棟数

$R$ : 相関係数

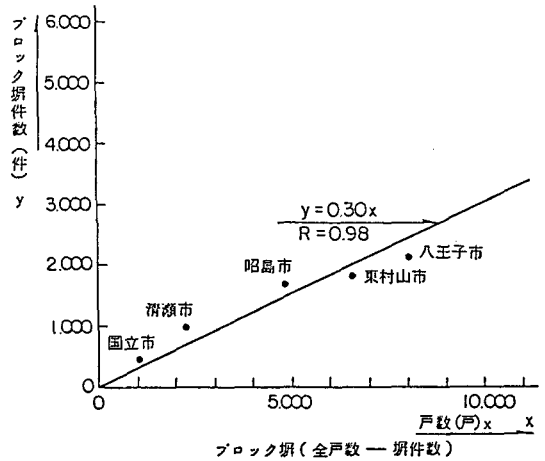


図14 (a) 木造棟数とブロック塀件数の関係

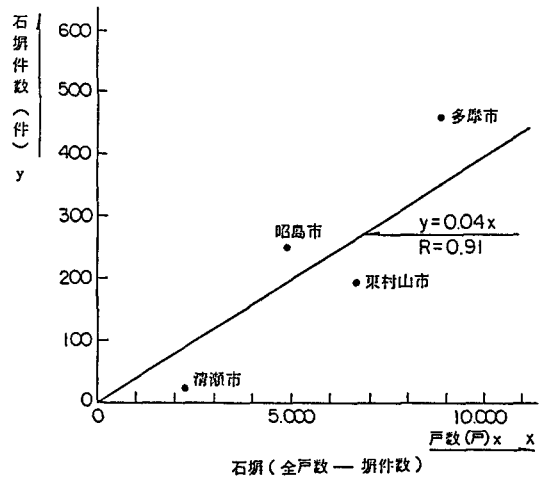


図14 (b) 木造棟数と石塀件数の関係

一方、神奈川県における地震被害想定調査においても同様な方法によって同県下の代表的な4都市において調査を行い、よく似た推定式が算出されている。(神奈川県, 1986)

ブロック塀:  $Y_1 = 0.28X$  ( $R = 0.87$ ) (6.3)

石 塀:  $Y_2 = 0.053X$  ( $R = 0.75$ ) (6.4)

となっている。

上記2つの調査例を勘案して、

$$\text{ブロック塀} : Y_1 = 0.30 X \quad (6.5)$$

$$\text{石 塀} : Y_2 = 0.05 \quad (6.6)$$

を採用し、木造建物（住宅）の分布棟数からブロック塀・石塀の分布件数を推定することが可能となろう。

### 6.5 ブロック塀・石塀等の被害予測手法

望月他（1980）は、6.2節に述べた1978年宮城県沖地震における被害調査結果に基づいて仙台市の推定加速度とブロック塀・石塀等の被害率との関係を統計的にまとめ、推定加速度値と被害率の

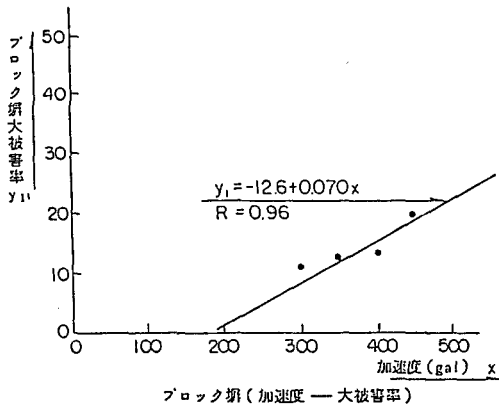


図15 (a) 宮城県沖地震における仙台市の加速度とブロック塀被害率の関係

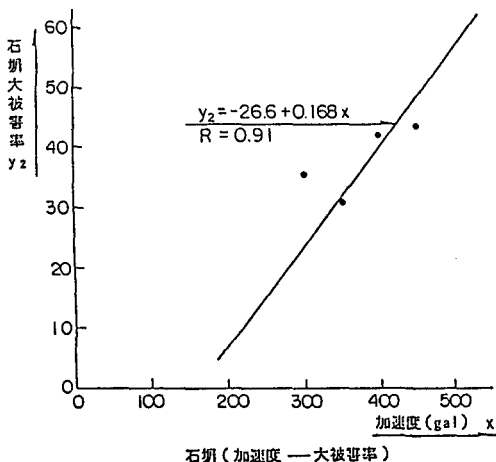


図15 (b) 宮城県沖地震における仙台市の加速度と石塀被害率の関係

関係式を提案している。

その方法は、地形毎にブロック塀・石塀の被害率をまとめ、平均的にほぼ等しい墓石転倒調査による加速度を示す地形を5つに区分して、それぞれの地表加速度  $X$  (gal) とブロック塀の被害率  $Y_1$  (%), 石塀の被害率  $Y_2$  (%) の平均値を求めたものである。結果を地表加速度に対するブロック塀および石塀の被害率の関係として図15に示す。

$$\text{ブロック塀} : Y_1 = -12.6 + 0.070 X \quad (R = 0.96) \quad (6.7)$$

$$\text{石 塀} : Y_2 = -26.6 + 0.168 X \quad (R = 0.91) \quad (6.8)$$

$Y_1$  : ブロック塀の被害率

$Y_2$  : 石塀の被害率

$X$  : 地表最大加速度

$R$  : 相関係数

また、東京都防災会議（1985）は、地表加速度に対するブロック塀・石塀の被害率を予測するに際し、塀の実態のばらつきなどを考慮し、95%信頼区間を合わせて示している。

ここでは、95%以来区間の上限値を用いてブロック塀および石塀の被害予測を行うことを提案しておく。

### 6.6 まとめ

以上、ブロック塀・石塀などの被害想定手法を述べた。ブロック塀・石塀などの被害は構造的には基礎の定着度、鉄筋の有無、目地充填材の強度などに大きく依存するものと考えられるが、実在する膨大な量のブロック塀・石塀などに対する、この種の正確な調査は不可能であり、実際にここで活用した八王子市の調査結果などを含めても極めて数少ないのが現状であろう。従って、必ずしも十分であるとは言えない点も有るが、それにも増してこの調査結果が大変に貴重なものであると言えよう。また、建物の分布調査と同様に、上記の点を考慮した基礎的データとして詳細な調査とその蓄積が望まれる。一方、これらの被害はビル

落下物と同様に被害が発生すると人的被害に大きく影響を与える。従って、ビル落下物の被害想定と同様に人口集中地域や人の流動状況などの地域的な特性を加味して、人的被害と関連した被害想定手法を検討しておく必要がある。

## 7. おわりに

以上、建築物および付帯施設の被害想定手法の概要について説明した。建物の被害想定手法については、基本的には過去の被害事例を考慮して、解析的に評価する方法が採用され、その解析方法も弾塑性地震応答計算に基礎を置くものであった。非木造建物については建物の種類が多く実態が把握しにくいと、調査検討を要する点が多いと思われるが、今後工学的に理解しやすい統一的な被害想定手法の開発が期待される。いずれにしても、建築物の被害想定手法の方法論として、その基礎的な考え方と作業の流れの方向性は基本的にほぼ確立されていると考えられる。今後特に問題となるのは、入力地震動の評価（この問題は極めて永続的なものであり、他の多くの分野にも共通した問題である）、建物分類とその被害判定の評価基準の統一および比較的新しい構造の建物の時代的変遷による経年劣化の力学的評価であろう。

また、基礎的な資料収集という観点からすれば、効率的な建物分布に関するデータ収集の方法論の確立であり、現在検討が進められているコンピュータを最大限利用した地理情報システムといったシステムに準拠した形で構築される使い勝手がよく有効なデータベース化であろう。そのためには被害想定のためにあったデータ収集用のマニュアルを作成し、統一的な基準に基づいてデータベース化の作業の中に組み込みコンピュータ・ワークを進めることが重要となろう。

どのような地域（大都市・中小都市・市町村単位）を対象としても、少なくとも地盤と建物分布（木造・非木造建物別）に関する調査資料を収集整理することが被害想定作業の第一歩であり、これが可能となれば、想定される地震に対する比較的簡易な地域危険度評価は即時に実行でき、対象

地域における相対的な危険度評価とその住民の認識へのフィードバックにより、地震時の人的被害軽減という被害想定のものである。主要目的に多少なりとも奇与できるものと考えられる。

いずれにしても、上述のように効率的な基礎データの収集・編集・管理に関する方法論を早急に構築し、実行していくことが今後の最重要課題であろうと考える。

## 文献一覽

- 神奈川県  
1986 「神奈川県地震被害想定調査報告書・危険要因」
- 志賀敏男  
1975 「鉄筋コンクリート構造物の壁率と震害」  
『日本建築学会東北支部研究報告』
- 1978 「構造物の振動」『共立出版』
- 田治米辰雄・望月利男・松田磐余  
1977 「地盤と震害—地域防災研究からのアプローチ」『槇書店』
- 東京都  
1974 「地震に関する地域危険度測定調査報告」  
1988 「第4次東京都震災予防計画」
- 東京都都市計画局  
1987 「窓ガラス等の落下物実態調査結果の概要」
- 東京都土木技術研究所  
1987 「東京低地の液状化予測」
- 東京都防災会議  
1985 「多摩地区における地震被害の想定に関する報告書」
- 日本建築学会  
1964 「新潟地震災害調査報告」  
1966 「震害建物復旧の記録—新潟地震で被災した鉄筋コンクリート建物—」  
1969 「1968年十勝沖地震災害調査報告」  
1975 「鉄筋コンクリート造校舎の耐震診断法および補強方法」  
1980 「1978年宮城県沖地震災害調査報告」  
1974 「1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告」



宮野道雄・望月利男

- 1980 「1978年宮城県沖地震の被害の検討・その2. 仙台市低地における木造建物諸性状と被害の関係について」『日本建築学会大会梗概集』

三菱総合研究所

- 1989 「東京における地震被害の想定に関する調査研究・建物分科会報告書」

望月利男・宮野道雄・小泉敏一

- 1980 「1978年宮城県沖地震の検討・その4. 人的被害と住家被害などの関係について」『日本建築学会大会梗概集』

望月利男・宮野道雄

- 1979 「木造建物の諸性状と地震被害の関係について—1968年十勝沖地震・1978年宮城県沖地震の調査から—」『総合都市研究』 第8号

望月利男・宮野道雄・四戸英雄・田代

- 1980 「仙台市におけるブロック塀の調査報告」『総合都市研究』 第11号

望月利男・荏本孝久・松田磐余

- 1983 「現地踏査・ヒヤリングに基づく振動強さと木造住家の被害状況」『総合都市研究』 第20号

#### Key Words (キー・ワード)

Earthquake damage prediction method (地震被害想定手法), Wooden houses (木造建物), Building structures (非木造建物), Soil liquefaction (地盤の液状化), Dangerous building facilities (ビル落下物), Block walls and stone walls (ブロック塀・石塀)

## ON DAMAGE PREDICTION METHODS FOR BUILDINGS AND INCIDENTAL FACILITIES

Toshio Mochizuki\* and Takahisa Enomoto\*\*

\*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

\*\*Faculty of Engineering, Kanagawa University

*Comprehensive Urban Studies*, No. 38, 1989, pp.25-50

Among several tested damage prediction methods for buildings, those developed recently are based on earthquake response analysis.

The many examples of severely damaged buildings in past earthquakes teach us invaluable lessons for the quantitative evaluation of the relationship between damage and the ground conditions and quake intensity, and for estimating the degree of damage from a hypothetical seismic wave.

To base the evaluation of this damage prediction method on damage experiences, a detailed analysis of the actual condition of existing buildings and examples of damage is indispensable.

Today's great diversification of building types makes it necessary to take the characteristics of buildings carefully into account.

The damage to incidental facilities depends on the damage to the buildings themselves, and the influence of the former on the number casualties must be considered.

From the above-stated perspective, this report outlines the following items of damage prediction for buildings and incidental facilities.

1. Earthquake damage estimation for wooden houses
2. Earthquake damage estimation for building structures
3. Estimation of damage to buildings caused by ground liquefaction
4. Estimation of damage to dangerous building facilities
5. Estimation of damage to block, stone and other walls.