

微視的地域情報を用いた地震被害ポテンシャルの定量的評価に関する研究

—その1 被害想定のお考え方と具体例—

Seismic Damage Assessment Methodologies with Enhanced Use of Regional Characteristics

—Part 1 A Concept and an Example—

長谷川 朋 弘*・片 山 恒 雄**・永 田 茂*・山 崎 文 雄*
Tomohiro HASEGAWA, Tsuneo KATAYAMA, Shigeru NAGATA and Fumio YAMAZAKI

1. はじめに

これまでの国家機関や地方自治体を中心として行われてきた地震被害想定は、広い地域を500m程度のメッシュに分割し、被害建物数、焼失建物数、各種ライフラインの被災箇所数、さらに死傷者数などをメッシュごとに算定し、これらを積み上げて全地域の被害を求めるという方法を用いている。このような方法は、自治体が被害の概要を知るためには有用であったが、あまりに巨視的であるため、それぞれの地域の住民にとって自分が関係する具体的な被害をイメージするには適切なアウトプットを与えているとは言い難い。したがって、被害想定が発表されても、住民に与える印象が薄く、住民レベルでの具体的な防災活動にまで結び付いていないように感じる。

このような背景より、本報告では、もう少し小さな地域に注目することにより地域特性を十分に反映し、固有名詞の現れる予測、個人を中心とした被害像が描ける予測、地域住民が身近に感じる予測に関する考え方を提案するものである。以下では、研究の概要に関して述べるとともに、南麻布・元麻布地区を対象とした微視的地域情報の収集・整理の方法、被害推定の方法、得られる結果の具体例などを示している。

2. 微視的地域情報を用いた地震被害想定

(1) 対象地域の選定と地域情報の収集・整理

地域特性を考慮した地震被害想定を行うための第一歩として、対象地域の特定が必要となる。このため、数個の丁目からなる地区を対象として、夜間人口、昼間人口、年齢別人口、就業別人口、老人や外国人といった災害弱者に関する情報、地域における定住率や定住期間、交通実態、幹線道路のみならず幅員の狭い生活道路に関する情報、建物や構造物の構造種別や用途種別、地盤種別など、地域の地震被害を特徴付ける各種情報を整理す

*東京大学生産技術研究所 第5部

**東京大学生産技術研究所 付属国際災害軽減工学研究センター

る。これらの地域情報は、地図情報をともなった数値データとして整理し、地理情報システム (Geographic Information System) により分析・解析を行う。

以上の作業は、地震被害想定において地域特性を考慮することの重要性を示すためのものであり、本研究の根幹をなす作業であるため十分な検討が必要である。

(2) 被害想定および地震被害ポテンシャルの構築

微視的な地質・地形情報から地盤の振動特性を推定し、これをもとに対象地域内の地震動強度分布を推定する。

次に、地域特性や生活圏との関連から建物・構造物の地震被害推定を行うため、地域内の1軒1軒の住宅・商店・オフィスビル、1つ1つの擁壁・橋梁などの構造物が認識できるスケールでの地震応答解析シミュレーションを行う。地震応答解析では、建物内の家具など屋内収容物の転倒・滑動の危険性の評価をはじめ、身近な被害に関する検討も行う。また、地震時には火災の発生も予測されるため、建物の構造種別・用途種別・防火施設の設定状況などを考慮した地震火災の発生危険度や延焼危険度を評価する。なお、以上の被害想定結果は、地理情報システムを利用してコンピュータによる地図上に表示する。

これまでの被害想定は、個々の被害項目に関する対策の立案を目的としているため、上述のような建物・構造物の損傷危険度・地震火災の危険度などを個別に整理しているものが多い。しかし、1つの地域内の異なる2地点や、全く異なる特性を持った地域相互の地震危険度の比較検討では、総合的な指標を用いる必要がある。このため、地域特性、建物被害特性、地震火災危険度などをまとめた総合的被害指標 (被害ポテンシャル) の算定方法を構築する。

(3) シナリオ型被害想定への展開

住民の側に立って被害予測結果を見た場合、全地域予測や総量予測よりも、自分が住み働く地区がどうなるのか、子供が通う小学校は安全か、近くの病院はどうか、どの道路が通れてどの道路が通れないかなどが知りたい

研 究 速 報

情報である。こういった問題を、多少は大まかでもよいから、住民に現実感をもって知らせるには、従来のようなメッシュ型、被害の一覧表型の被害想定結果の提示よりも、シナリオを用いて想定結果や緊急対策の整理を行う方が優れた面を持っている。このため、地域を特定した今回の研究成果を踏まえ、これまでわが国においてほとんど例のない「シナリオ型」の手法による結果の整理を行う。

3. 微視的地域情報を用いた地震被害想定 の 具体例

2. では微視的地域情報を用いた地震被害想定 の 考え方に関して述べた。ここでは、港区の南麻布1~5丁目と元麻布1~3丁目を合わせた地域を対象として、微視的地域情報を用いた建物の地震被害想定 の 具体例を示す。この解析例の主旨は、微視的地域特性の具体例、それを用いた被害想定 の 方法、得られる結果の例などを示すことにあり、地震動強度の推定方法、振動特性にもとづく地盤分類方法、建物の被害推定方法などに関しては、今後の固有技術の研究の進展にあわせて適切な方法と置き換える必要がある。

(1) 対象地域の地域特性^{1)~6)}

被害想定 の 対象地域として取りあげた港区南麻布1~5丁目と元麻布1~3丁目は、図-1の網掛けをした地域であり、総面積1.35km²、昼間人口22,324人、夜間人口15,160人、総世帯数7,170(1990年現在)となっている。

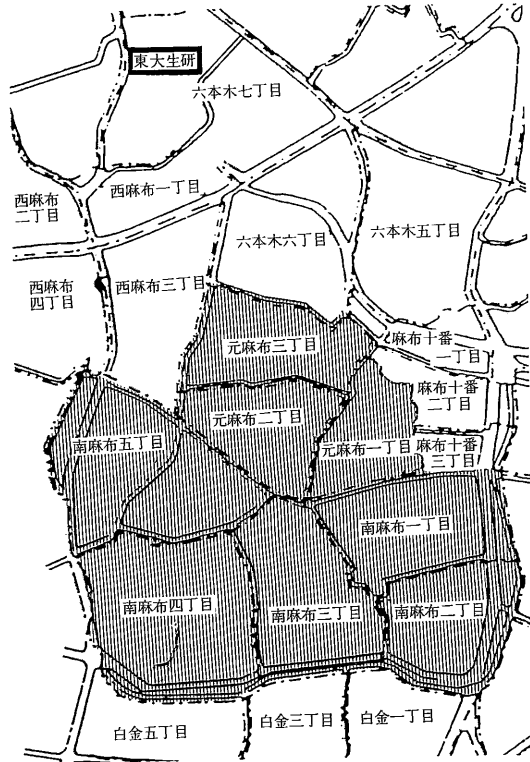


図-1 南麻布1~5丁目、元麻布1~3丁目からなる対象地域

表-1 南麻布・元麻布地区の統計指標

指 標	南麻布・元麻布地区
自 営 業 主 率	21.38%
単 身 世 帯 率	35.44%
核 家 族 世 帯 率	54.78%
3 世 代 世 帯 率	9.78%
流 入 人 口 比 率	16.50%
残 留 人 口 比 率	18.10%
青 年 人 口 比 率	16.64%
老 年 人 口 比 率	9.50%

(自営業主率) = (雇主のある業種 + 雇主のない業主 + 家族従業者 + 家庭内職) / (就業者総数) × 100
 (単身世帯率) = (普通1人世帯数 + 間借り・下宿などの単身者数 + 会社の独身寮の単身者数) / (一般世帯数) × 100
 (核家族世帯率) = (核家族世帯数) / (一般世帯数) × 100
 (3世代世帯率) = (普通世帯数 - 普通1人世帯数 - 核家族世帯数) / (一般世帯数) × 100
 ただし、
 (一般世帯数) = (普通世帯数 + 間借り・下宿などの単身者数 + 会社の独身寮の単身者数)
 (流入人口比率) = (昭和54年以降転入者数) / (人口総数) × 100
 (残留人口比率) = (昭和39年以前の居住者数) / (人口総数) × 100
 (青年人口比率) = (20~29歳人口) / (人口総数) × 100
 (老年人口比率) = (65歳以上人口) / (人口総数) × 100

その他の統計指標を表-1に示す。

土地利用状況を見るため、地理情報システムにより対象地域を含む1.5km×1.5kmの範囲を抜き出して、図-2の土地利用区分図を作成した。黒の実線で囲まれた対象地域内の大部分は、ピンク色で示されるように、比較的密集度の低い低層住宅用地から構成されており、閑静な住宅街であることがわかる。赤色で示される小売店舗、飲食店などの商業・業務用地は、外苑西通り・明治通り・桜田通りなど幹線道路沿いと、南麻布1丁目の仙台坂・二の橋付近に集中している。また、この地区の特徴の1つとして、黄色で示される大使館(11カ国)などの公共施設が多いことがあげられる。

(2) 建物の構造・階数・用途分類

建物の地震時被害を推定する際の基礎的情報として、個々の建物の座標、構造種別、階数、用途種別を考えた、可能な限り詳細な建物情報を取り入れるため、従来の被害想定で用いられているようなメッシュ型の情報整理は行わず、建物座標を1万分の1の都市計画図から求めた。また、構造・階数・用途に関しては港区発行の土地利用現況図と現地調査の結果を用いて地図情報データを作成した。

研 究 速 報

図-3～5には数値化した建物情報をもとに作成した構造種別、階数別、用途別の建物分類図を示す。まず、図-3の構造別分類図を見ると、対象地域内の多くの建物は、鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造などの耐火造や簡易耐火造、あるいは防火木造であるが、南麻布1丁目3番地周辺、日比谷線広尾駅近くの南麻布5丁目15番地周辺、元麻布2丁目6番地などには木造家屋が残存しており、地震火災発生時の延焼危険度が高い地域と考えられる。図-4に示した階数別分類図から、1～3階建ての低層建物と4～7階建ての中層建物が全棟数の90%以上を占め、8階建て以上の高層建築物は外苑西通り、明治通り、桜田通りなどに沿って点在しているに過ぎないことがわかる。図-5は用途別分類図であり、緑色と黄色で示された住宅用地、茶色系統で示された公共用地がほとんどを占め、青色系統で示された工業用地は桜田通り沿いの南麻布1、2丁目にわずに見られる程度である。

(3) 地盤の振動特性

まず、対象地域周辺の54本のボーリングデータと地質分類図^{(9)~(10)}から地盤のせん断波速度を推定し、式(1)より地盤の基本固有周期 T_g (s)を計算した。54地点で求めた T_g は、確率論的補間方法であるクリギング法⁽¹¹⁾を用いて面的な情報に変換し、この T_g の分布をもとにして地盤を4種類に分類した。

$$T_g = 4 \times (\sum H_i / V_{si}) \quad (1)$$

- 硬質地盤 $T_g < 0.2$
- 中質地盤^(a) $0.2 \leq T_g < 0.4$
- 中質地盤^(b) $0.4 \leq T_g < 0.6$
- 軟弱地盤 $0.6 \leq T_g$

ここに、 H_i ：i番目の地層の厚さ(m)、 V_{si} ：i番目の地層の平均せん断波速度(m/s)、 i ：当該地盤を地表面から工学的基盤面までn層に区分したときの地表面からの地層番号である。

図-6には T_g を用いて分類した4種類の地盤分布を示した。緑・黄・水色・青色の順に地盤固有周期は長くなり、特に青色の場所は大きな振動被害の発生が予想される軟弱地盤である。水色・青色の軟弱な地盤は、おおむね地形分類の河谷底に対応しており、対象地域外ではあるが軟弱地盤と推定された麻布十番3丁目付近では、関東地震の際に大きな震動被害が報告されている。以下の解析ではこの地盤分類を用いることにする。

(4) 木造建物の振動被害

木造建物は主要構造部材がすべて木造の建物と、屋根や外壁に準不燃材料を使用した防火木造に大別できる。木造建物の構造に関するこれまでの調査結果によれば、純木造の建物は昭和35年頃までに建てられたものが多く、

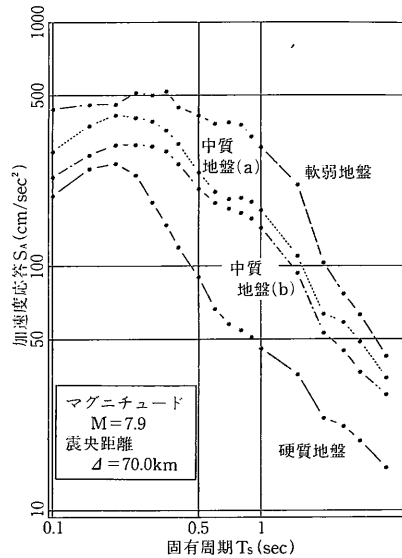


図-7 地盤種別ごとの加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

耐震性の指標となる固有周期の平均値は平屋で0.40秒、2階建てで0.55秒程度である。一方、防火木造の建物の多くは昭和35～40年以降に建築されており、その固有周期の平均値は平屋で0.25秒、2階建てで0.35秒程度である。

対象地域について作成した建物のデータベースを用いれば、上述の2種類の木造建物の違いを考慮した被害推定が可能である。

まず、階数・構造データと現地調査の結果に基づいて、建設年代・階数に応じて対象地域の1軒1軒の建物の固有周期 T_s を上記の平均値で与える。次に、固有周期 T_s を使って次式により塑性率 μ を計算する。

$$\mu = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{S_A}{S_y} \right)^2 + 1 \right\} \quad (2)$$

$$S_y = 0.25 \times 980 / T_s \quad (\text{降伏加速度})$$

式(2)の S_A は固有周期 T_s の建物の加速度応答(減衰定数5%)であり、ここでは図-7に示すような地盤分類ごとの加速度応答スペクトルを用いた。

図-8には、建物の構造種別・階数、支持地盤の種別などの情報から求めた塑性率を、1軒1軒の建物について示した。

塑性率による被害程度の判定は従来から行われており、たとえば式(3)のような判定基準が使われている。

$$\begin{aligned} \text{大破} &: \mu_{0T} \leq \mu \\ \text{中破} &: \mu_{0P} \leq \mu < \mu_{0T} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、大破とは架構全体に数十センチの残留が生じたり、建物の一部または全部が崩壊する状態を言い、中破とは架構全体に数センチの残留変型が生じるものの、

補修・補強により再使用が可能な状態を言う¹³⁾。たとえば文献13)では、中破限界として $\mu_{op} = 4$ 、また大破限界として $\mu_{ot} = 6$ が使われている。今回の試算結果に対して、これらの値をそのまま使うと、対象地域内の木造家屋は無被害と判定される。

図-8のように、個々の建物の地震応答を詳細に検討した結果を用いれば、対象地域内の建物に関する被害程度の相対的な評価が可能になる。さらに、建物用途や周辺地区の情報を考えることにより、人的な被害も含めた具体的な被害の様子や程度を想定できることなどが、今回の被害想定最大の利点と考える。

(5) 非木造建物の振動被害

既往の地震被害事例などを参考にすると、非木造建物の被害判定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) 造の2つに分けて行う必要がある。ここでは、耐火構造建物はすべてRC・SRC造と仮定して被害推定を行った。

RC造・SRC造の被害程度は、東京都の被害想定¹³⁾で用いられている簡易法により推定した。これは個々の建物の1階部分の層せん断力係数 I_{s0} と既存建物の耐力診断結果から得られた1階部分の保有せん断耐力 I_s を用いて、式(4)に示す耐力比 (I_s/I_{s0}) で被害程度の判定を行うものである。

$$\begin{aligned} \text{大破: } & I_s/I_{s0} \leq 0.25 \\ \text{中破: } & 0.25 < I_s/I_{s0} \leq 0.5 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、大破とは柱・耐力壁が大破して建物全体または一部が崩壊に至った状態であり、中破とは柱に典型的なせん断ひび割れや耐力壁にせん断ひび割れが見られる状態を言う¹³⁾。

I_{s0} は、式(5)を用いて対象地域内のすべての非木造構造物について求めた。

$$\begin{aligned} I_{s0} &= C_0 \times C_m \times C_n \\ C_0 &= S_A(T_s')/980 \\ T_s' &= T_s \times C_t \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $S_A(T_s')$: 補正周期 T_s' の建物の最大加速度応答値 (cm/s^2) (減衰定数 $h_B = 0.02$ と仮定)、 T_s : 基礎固定時の建物固有周期であり $0.06n$ (n = 階数)、 C_t : 基礎固定時に対する周期の伸びを補正する係数、 C_m : 相互作用によりモードが変化することによるせん断力の変化を補正する係数、 C_n : 地震動エネルギーの地盤中への逸散に伴う減衰効果に対する補正係数である。上記の C_t 、 C_m 、 C_n の詳細に関しては文献13)を参照されたい。なお、建物の I_s に関しては、中埜の研究¹⁴⁾に示された階数別の I_s 分布 (昭和47年以降建設された510棟の建物の I_s 分布) の平均値を用いており、 $S_A(T_s')$ としては図-7の加速度応答スペクトル (減衰定数5%) を代用した。

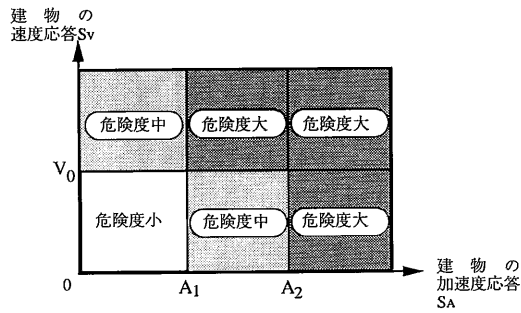


図-10 屋内収容物の滑動・転倒危険度の評価マトリックス

図-9は、1軒1軒の非木造建物の耐力比 (I_s/I_{s0}) の計算結果を示したものである。試みに、式(4)の判定基準をそのまま用いて被害程度を予測してみたところ、対象地域内の非木造構造物は無被害となった。

(6) 屋内収容物の滑動・転倒危険推定

建物内の家具等の滑動や転倒の状況は、以下の被害推定マトリックスを用いて¹³⁾推定した。

ここで、危険度大とは滑動が100%起り、50%以上の屋内収容物が転倒する状態を言い、危険度中とは多くの屋内収容物が滑動を起こし、20~30%の収容物が転倒する状態を言う。危険度小は滑動を起こす屋内収容物は7~8%以下であり、収容物の転倒がほとんど起こらない状態を言う。また、図-10の A_1 、 A_2 、 V_0 は式(6)で表される。

$$\begin{aligned} A_1 &= 2 \times B \times 980/H \quad (\text{cm/s}^2) \\ A_2 &= 3 \times B \times 980/H \quad (\text{cm/s}^2) \\ V_0 &= 25.6 \times B/H \quad (\text{cm/s}) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 B : 収容物の振動方向の幅、 H : 収容物の高さである。

一般家庭にある冷蔵庫 ($B = 60\text{cm}$, $H = 171\text{cm}$)、本棚 ($B = 37\text{cm}$, $H = 190\text{cm}$)、箆笥 ($B = 52\text{cm}$, $H = 140\text{cm}$)、石油ストーブ ($B = 37\text{cm}$, $H = 62\text{cm}$) を取り上げ、これらの転倒・滑動の危険度を推定した。建物の加速度応答と速度応答は、図-7の加速度応答スペクトルから求めた。

上記の屋内収容物のうち、最も不安定な本棚に関する結果を図-11に示した。耐震補強が施されていない本棚のような不安定な屋内収容物が、応答で 300cm/s^2 程度の地震動を受けた場合、大部分のものに滑動の危険性があり、地盤が軟弱で 500cm/s^2 といった大きな揺れが作用する場所では転倒の危険性があることがわかった。

今回の計算例では、有栖川記念公園の北側部分などで、収容物の滑動・転倒の危険性が大となる建物が見つかるが、これらの建物には病院や幼稚園が含まれて

研 究 速 報

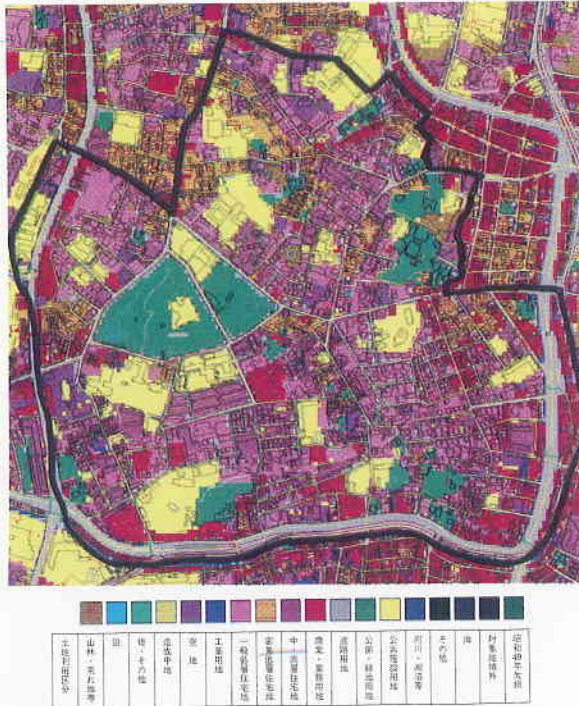


図-2 土地利用区分図

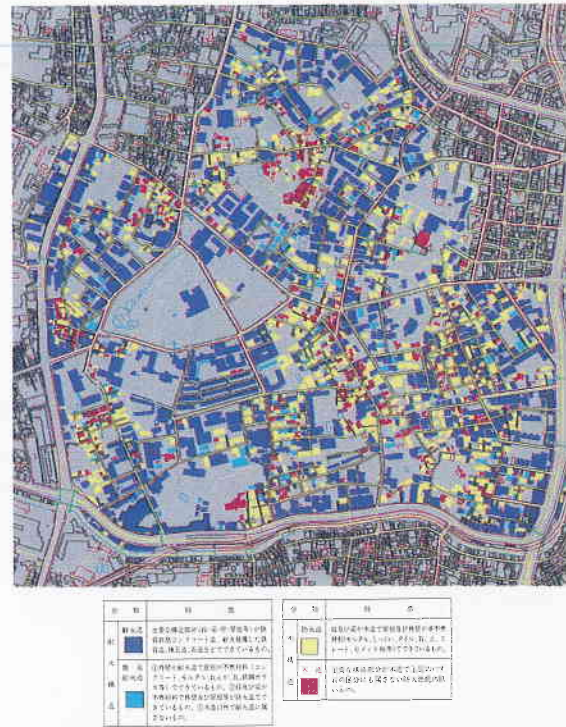


図-3 建物の構造別分類図

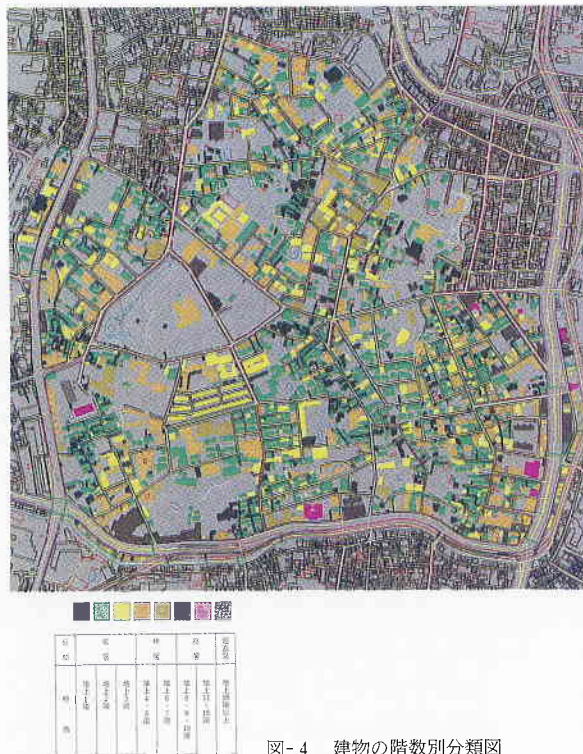


図-4 建物の階数別分類図

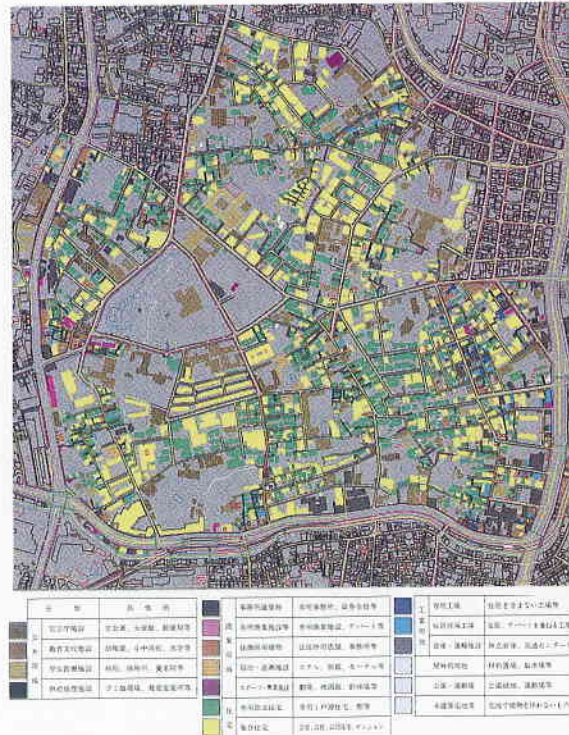
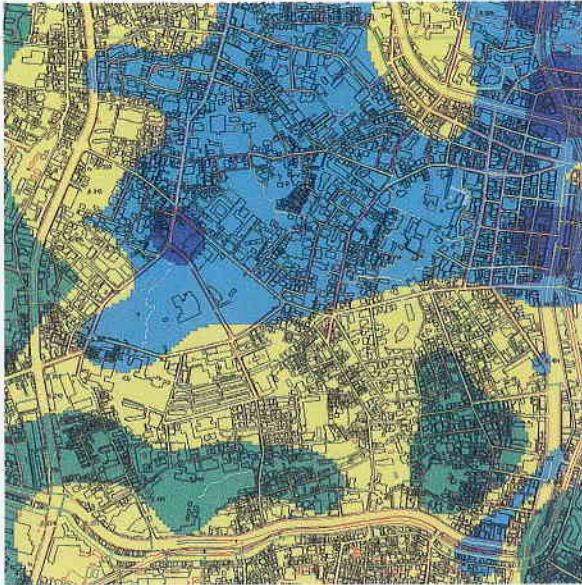
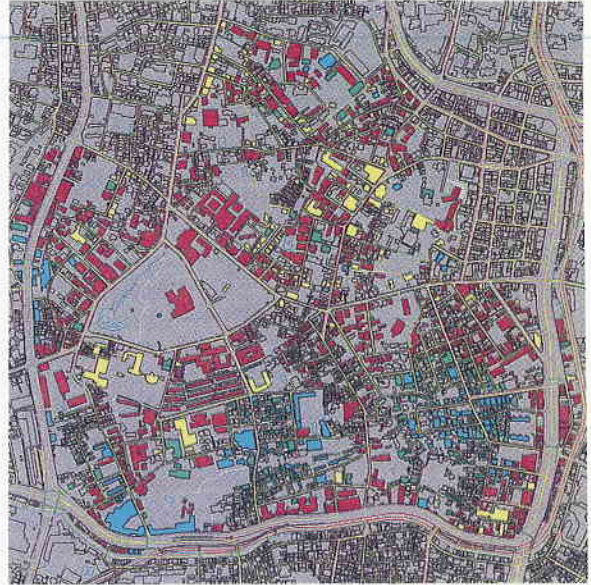


図-5 建物の用途別分類図



緑	建築地盤
黄	中間地盤A
青	中間地盤B
紺	軟弱地盤

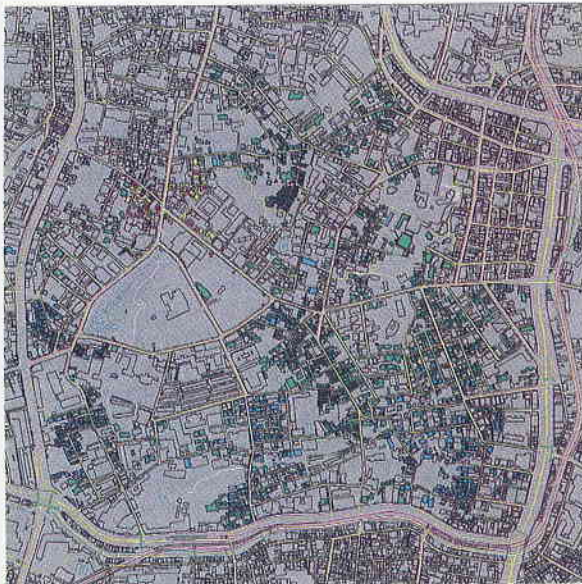
図-6 固有周期に基づく地盤分類図



塑性率 μ	
赤	$0.75 < \mu$
黄	$0.60 < \mu \leq 0.75$
緑	$0.50 < \mu \leq 0.60$
青	$\mu \leq 0.50$

注1：対象地域については図1を参照されたい。
 注2：対象地域外の建物及び非木造建物は白ぬきで示されている。

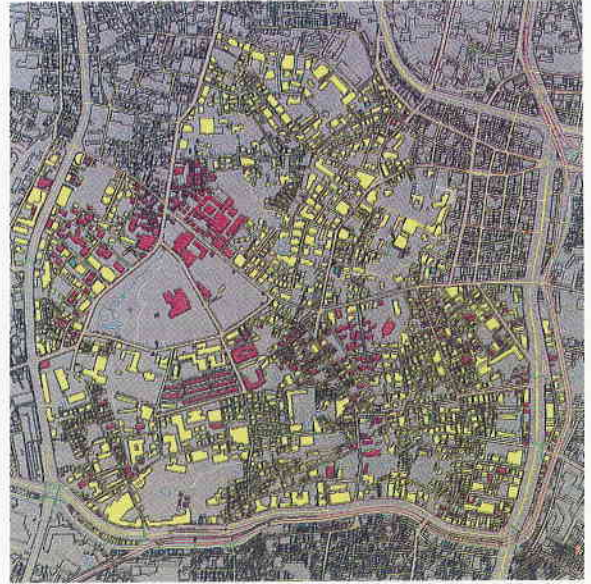
図-8 木造建物の塑性率の計算結果



耐力比 I_s/I_{50}	
赤	$3.5 \leq I_s/I_{50}$
黄	$4.5 \leq I_s/I_{50} \leq 3.5$
緑	$5.5 \leq I_s/I_{50} \leq 4.5$
青	$I_s/I_{50} \geq 5.5$

注1：対象地域については図1を参照されたい。
 注2：対象地域外の建物及び木造建物は白ぬきで示されている。

図-9 非木造建物の耐力比 (I_s/I_{50}) の計算結果



結果部地結果	
赤	危険度大
黄	危険度中
緑	危険度小

図-11 屋内収容物の滑動・転倒危険度の計算結果 (本棚 B=37cm H=190cm)

研 究 速 報

いる。このような解析結果と微視的な地域情報を合わせて考えることによって、より具体的な被害のイメージを描くことが可能となり、「被害シナリオ」に関する重要な情報が得られよう。

4. お わ り に

本報告は、微視的な地域情報にもとづく地震被害想定の方考え方を示すと共に、南麻布・元麻布地域の建物の具体的な被害推定の例を示した。今後は基礎的な地域情報の整備をさらに進めることにより、落下物に関する危険性、液状化・斜面崩壊などの地盤災害の危険性、地震火災の発生や延焼の危険性などを含めた詳細な地震被害想定を行う予定である。また、地震動強度の推定方法や地盤分類の方法など、被害想定の結果に大きな影響を与える事項についても、さらに検討を進めて行きたいと考えている。

(1992年1月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 東京都港区：港区行政資料集，1990.
- 2) 東京都港区：統計情報，1991.

- 3) 東京都港区：住めばみなと まちづくりみなと その2，1986.
- 4) 東京都港区：港区地域生活環境の指標，1981.
- 5) 東京都港区：港区住宅白書—住みつけられるまちづくりのために—，1991.
- 6) 東京都港区防災会議：東京都港区地域防災計画，1991.
- 7) 東京消防庁：東京都の地域別出火危険度測定結果（特別区），1982.
- 8) 東京都土木技術研究所：東京都地盤地質図—東京都地質図集2—，1969.
- 9) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図（II）山の手・北多摩地区—東京都地質図集4—，1990.
- 10) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測，1987.
- 11) 永田 茂・片山恒雄：確率論手法を用いた地震動強度分布の推定，生産研究，第43巻，第9号，pp. 8-11，1991.
- 12) 東京都防災会議：東京における地震被害の想定に関する研究，1991.
- 13) 東京都防災会議：東京における地震被害の想定に関する研究（手法・提言編），1991.
- 14) 中埜良昭：既存鉄筋コンクリート造構造物の耐震性能の分析，東京大学修士論文，1986.