



地域危険度測定調査データに基づく建物倒壊危険量の簡易推定

岩瀬早綾¹⁾、山崎文雄²⁾

1) 学生会員 千葉大学大学院工学研究科、大学院生
e-mail : s.iwase@chiba-u.jp

2) 正会員 千葉大学大学院工学研究科、教授 工博
e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

要 約

日本では内閣府や自治体で、地震防災対策の1つとして様々な被害予測が行われている。そのうち東京都では、地震による建物倒壊と火災出火・延焼の危険性を評価した地域危険度測定調査が行われ、2013年に第7回調査が公表された。これは地震に脆弱な地域を抽出することで市街地整備や防災意識の向上に役立てられている。しかしこの調査には都独自のデータや算出法が用いられることから、パラメータ変更の際や他地域での同様な危険度算出は容易ではない。そこで本研究では、東京都のデータから建物の震動被害を支配する要因を明らかにするとともに、回帰分析により簡易な推定式を構築して危険量推定を行い、実際の調査との精度比較を行うことで本手法の有用性を検討した。

キーワード： 地震被害想定、地域危険度、建物倒壊、東京都、GIS

1. はじめに

今後起こりうる地震に対し、日本では国や自治体において多様な地震被害想定が行われており、防災施策の立案や市民の防災意識の向上のために利用されている。地震被害想定調査の大きな流れは、図1に示すように、①震源を設定しこの震源モデルによる対象地域の地表面地震動を計算する、②対象地域における地域メッシュ単位の構造物の属性別数量データを準備する、③構造物属性別の被害関数（予測式）を準備する、④これらを用いて地域メッシュ単位の被害量を計算する、というものである。これらのステップのうち、①と③は不確定性の大きいもので、これらの設定・選択の仕方によって結果は大きく異なる。また②は個人情報保護（建物属性）や企業のセキュリティ（電力、通信、都市ガス等）などの観点から、国や自治体ですら正確で詳細な属性別数量データの入手が容易でないことが多い。

これらの要素データを組み合わせて行われる地震被害想定は、その結果に非常に大きな不確定性を含むものとなっているといわざるを得ない。たとえば2011年東日本大震災を例にとれば、中央防災会議は日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震¹⁾に対する被害想定を以前に行っていたが、実際に発生したM_w9.0のような複数の震源域の連動地震は全く考慮されておらず、被害想定²⁾の第一ステップの震源想定が甘かったことになる。一方、これによる反動のせいか、南海トラフ巨大地震による被害想定³⁾では、「科学的知見から、発生することが否定できない」レベルの巨大地震³⁾に対してまで、被害数量を予測するものとなってしまった。これらはいずれも、地震被害想定が震源モデルの設定に過度に依存した結果といわざるを得ない。したがって、被害想定結果の利用法にもよるが、震源モデルの設定に依存しない被害予測にも意味があるのではないかと著者らは考えている。

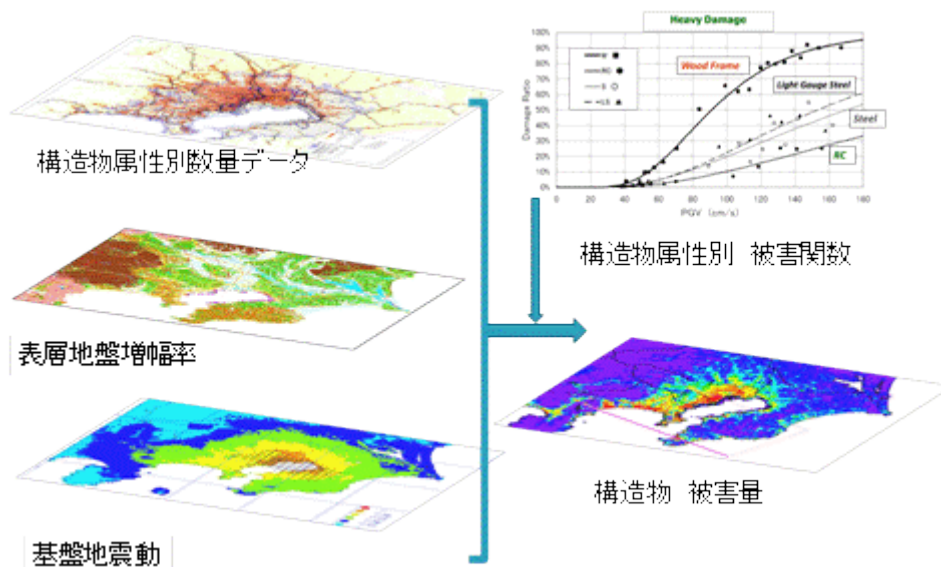


図1 地震被害予測の流れ

東京都では東京都防災会議（総務局）の実施する震源を設定した地震被害想定⁴⁾とともに、都市整備局によって東京都震災条例に基づいた「地震に関する地域危険度測定調査」が5年ごとに実施されている。2013年に公表された第7回調査報告⁵⁾では、建物倒壊と火災出火・延焼の2つの危険度に加えて、地域の「災害時活動困難度」を考慮したこれらの危険度が、東京都全域の町丁目単位で提示されている。このうち「建物倒壊危険度」は、工学的基盤に一樣に最大速度30cm/sの地震動を設定し、これによる建物の震動および液状化による全壊率を相対的に評価するものである。被害想定との最大の違いは、地域危険度では震源をとくに設定しておらず、地震はどこでも起こり得るということを前提にしている点である。これにより、地震に対し相対的に脆弱な地区を抽出し、市街地整備の優先付けのための基礎データを提示するとともに、市民防災意識の向上のための資料として利用することを目的としている。現状では、このような震源を設定しない被害予測を実施しているのは東京都に限られているが、被害想定を補う役割も期待されるのではないかと考えている。

しかし東京都の地域危険度調査では、都独自の建物データや算出法が用いられているため、都市整備などによるデータ変更が必要な場合や、市街地性状に近い他の地域においての同様な危険度調査の実施は容易ではない。そこで本研究では、東京都の地域危険度調査データに基づき、建物倒壊危険度に影響の大きい要因を分析し、回帰分析による簡易な予測式を構築する。また、実際の調査結果と比較して、その精度と有効性を確かめる。これにより、倒壊危険度に寄与する建物要因が明らかとなるため、地域の建物被害を低減するための建て替え等の方策の一助となり、得られた予測式によって市街地整備を行った際の効果の予測が容易となることが期待される。

2. 東京都による建物倒壊危険度の評価法

東京都の地震による地域危険度調査は、1975年に第一回調査（区部）を行って以来の歴史があり、5年ごとに調査結果を公表してきている。1993年公表の第3回調査までは、被害想定と同様の地域メッシュ単位での調査であったが、1998年公表の第4回調査より、住民に結果をより分かりやすくするために、測定・表示を町丁目単位で行うようになり、現在に至っている。以前は、避難や人的被害の危険度も推計していたこともあったが、2008年公表の第6回調査より、建物倒壊危険度と火災危険度の2つの指標と、それらを組み合わせた「総合危険度」を推計している。

建物倒壊危険度の推計手法は、被害想定との違いを出すために、専門家の判断による建物構造・年代種別による「危険性ウェイト」を設定し、それらの集計で行ったこともあったが、第5回調査以降はほぼ現在の方法で行われている。すなわち、工学的基盤に最大速度(PGV)が30cm/sの地震動入力を仮定し、こ

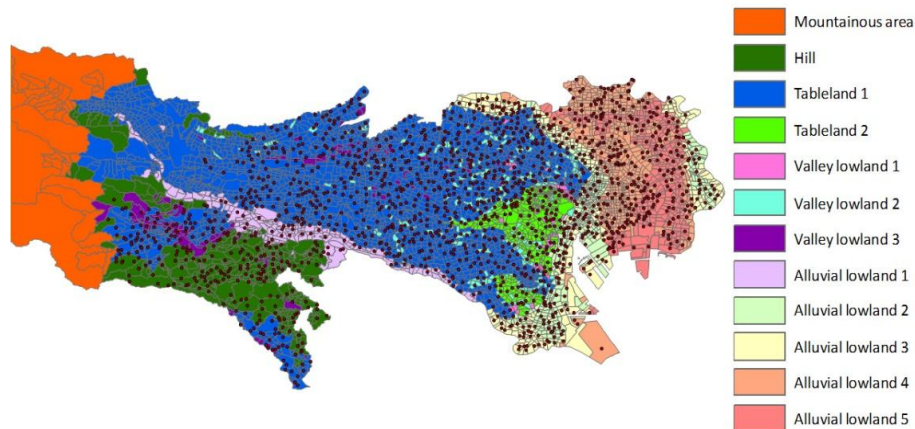


図2 東京都地域危険度に用いられている地盤分類と SUPREME 地震計位置⁸⁾

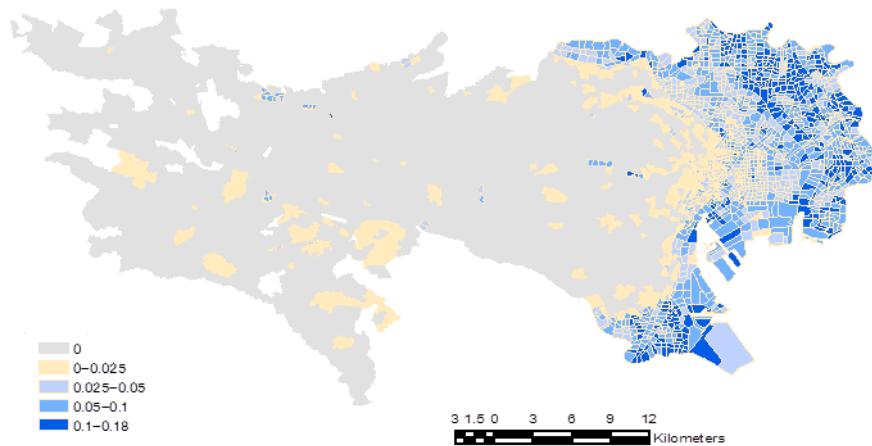


図3 東京都地域危険度に用いられている町丁目ごとの液状化面積率⁵⁾

れに地形分類に基づく最大速度の地盤増幅率⁶⁾を乗じ、地表面最大速度を町丁目で決定する。すなわち、都全域で地盤種別ごとに一定の地表面PGVが設定されている。地盤分類と地盤増幅率に関しては、東京ガスの超高密度地震計ネットワークSUPREME⁷⁾の記録なども参考に、図2に示すように逐次改良されてきた^{8),9)}。

建物被害推定は、1995年兵庫県南部地震における神戸市灘区における被害データの統計解析に基づく全壊に対する建物被害関数¹⁰⁾が基本的に使用されてきた。すなわち、町丁目*i*の地盤種別を*l*とすると、この町丁目に存在する建物構造・年代種別*k*の建物の全壊率 P_f^k は、以下で表される。

$$P_f^k(PGV_l) = \Phi((\ln PGV_l - \lambda_k) / \zeta_k) \quad (1)$$

ここで Φ は標準正規分布の確率分布関数、 λ_k と ζ_k は対数正規分布の2つのパラメータ（対数平均、対数標準偏差）である。また、 PGV_l は30cm/sにこの地盤種別の増幅率を乗じたものである。

この町丁目*i*に構造・年代種別*k*の建物が n_{ki} 棟存在するとすれば、ここにおける全壊棟数 N_i は次式で計算できる。

$$N_i = \sum_{k=1}^m n_{ki} \cdot P_f^k(PGV_l) \quad (2)$$

これは震動による建物の全壊棟数を計算するものであるが、図3に示すような町丁目ごとの液状化面積率 ($r_{Liq} = 0 - 0.18$) がさらに考慮される。すなわち、町丁目内で建物が一様に分布すると仮定して、液状

化発生と想定される領域 ($r_{Liq} > 0$) では建物構造・年代別に支持杭の有無の割合で全壊率が規定され⁵⁾、非液化化と想定される領域 ($r_{Liq} = 0$) では(2)式により被害が算定され、両者の合計が町丁目の被害棟数となる。このほか、多摩地区の大規模造成地の盛土と見なされる範囲に対し、1.2倍の地震動割増率を考慮しているが、地盤が良い地域であるため、最終的な建物倒壊危険度に与える影響は小さい。

東京都では、町丁目における全壊棟数 N_i をその町丁目の面積 a_i で割ったものを「建物倒壊危険量」 y_i と呼んでいる。

$$y_i = N_i / a_i \quad (3)$$

建物被害関数としては、構造・建築年代によって表1に示す14分類されたものを用いている。なお木造に関しては、新耐震基準になってから既に30年以上経過しており、実際、2007年新潟県中越沖地震による柏崎市の被害データからは、新耐震の中でも建築年代により被害率に差があることが示された¹¹⁾。したがって第7回調査より、木造に関しては、新耐震のものは10年ごとに3区分された。なお、この新耐震木造を3区分した被害関数は、内閣府の南海トラフ巨大地震²⁾および首都直下地震¹²⁾の被害想定でも採用されている。

(3)式の建物倒壊危険量を5段階に区分したものが、「建物倒壊危険度」と呼ばれる最終的な相対評価である。

表1 東京都地域危険度における建物の構造・年代分類とそのパラメータ

構造種別	建築年代	λ_k	ζ_k	構造種別	建築年代	λ_k	ζ_k
1 2 3 4 5 木造	-1970	4.45	0.342	8 9 10 RC	-1970	5.12	0.646
	1971-1980	4.73	0.378		1971-1980	5.33	0.575
	1981-1990	5.12	0.496		1981-	6.00	0.789
	1991-2000	5.68	0.496	11 12 S	-1970	4.64	0.619
	2001-	6.13	0.496		1971-1980	4.97	0.490
6 7 軽量S	-1980	5.82	0.972	13	1981-	5.64	0.731
	1981-	6.19	1.101	14	その他の構造物	4.45	0.342

3. 建物倒壊危険量の回帰分析による推定

本研究では、建物倒壊危険量の算出が、使用される建物データが変化した際や、他地域に対しても容易に適用できるよう、回帰分析に基づく簡易推定を試みる。東京都内の市街化区域5,133町丁目を対象地域とし、東京都都市整備局より提供された、構造・建築年別の建物数、地盤増幅率、町丁目面積等の基礎データを用いて、重回帰分析により回帰式の構築を行う。回帰分析には目的変数を建物倒壊危険量(棟/ha)、説明変数には各町丁目における面積(ha)当たりの各構造・年代種別14個の建物密度(棟/ha)と地盤増幅率(無次元量)および液化化面積率(無次元量)を(4)式のように選択した。

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i \quad (4)$$

ここで、 m は使用する説明変数の数、 x_i は説明変数、 a_0 は回帰式の切片、 a_i は各説明変数に対する回帰係数である。なお、目的変数と全説明変数のうち、地盤増幅率と液化化面積率のみ次元が異なっているため、回帰係数による直接の比較はできない。また、次元が同じ変数でも標準偏差が回帰係数に影響することが知られている¹³⁾。そこで、これら全てを平均値0、標準偏差1.0に標準化した標準化重回帰分析も行った。表2に16変数の範囲、平均値、標準偏差と、これらを用いた標準化重回帰分析および通常重回帰分析による回帰係数を示す。また、目的変数の標準偏差は3.98(棟/ha)である。これら2つの回帰結果を比較すると、標準化重回帰分析結果は、通常重回帰分析結果とスケールの違いのみで表現できたため、以後(4)式で進めることにする。

回帰係数の中で建物変数に負の係数をもつ項目が見られたが、建物密度の減少により倒壊危険量が増加することは現象として現実的でない。これらが負の係数となった原因は、項目間で高い影響を与え合う場合に起こる多重共線性によるものと考えられ、回帰変数として適さないことから説明変数群から除外することとした。残る変数を用いて得られた回帰結果を、横軸に建物全壊棟数密度、縦軸に本手法による推定値と正解値（以下、東京都の公表した危険量を正解値と表記する）との比として表したものを図4に示す。ここで液状化面積率と地盤増幅率の間でも同じく多重共線性が見られた。この原因として液状化の発生は地盤の軟弱さに依存することから、増幅率の高い地域では液状化発生面積率も高くなることが言える。そこで負の係数となった液状化面積率を変数から除外したのちに、液状化の想定される町丁目に対し同様に推定値を計算したところ、液状化面積率を外したことによるばらつきは余りみられなかった（図5）。以上より、液状化面積率は建物の倒壊危険量への寄与度の少ないパラメータであると判断し、回帰変数から除去することとした。

表2 回帰式における説明変数と数値範囲および重回帰分析の結果

	説明変数	数値範囲	平均値	標準偏差	回帰係数		
					標準化重回帰	重回帰	
1	木造	-1970	0 - 51.57	6.79	6.85	0.51	0.30
2		1971-1980	0 - 22.7	3.85	2.89	0.10	0.14
3		1981-1990	0 - 36.47	3.29	2.61	0.04	0.06
4		1991-2000	0 - 19.14	3.41	2.59	0.01	0.02
5		2001-	0 - 24.27	3.02	2.34	0.02	0.03
6	RC	-1970	0 - 16.93	0.59	1.13	0.02	0.09
7		1971-1980	0 - 9.81	0.80	1.09	-0.01	-0.04
8		1981-	0 - 18.85	2.67	2.57	-0.11	-0.18
9	S	-1970	0 - 4.93	0.26	0.44	0.08	0.74
10		1971-1980	0 - 9.10	0.79	0.99	0.12	0.47
11		1981-	0 - 20.78	2.79	2.81	0.11	0.16
12	軽量S	-1980	0 - 2.71	0.16	0.20	-0.003	-0.05
13		1981-	0 - 53.47	1.60	1.30	-0.01	-0.05
14	その他の構造物	0 - 10.32	0.07	0.30	-0.01	-0.01	
15	地盤増幅率	1.0 - 2.9	1.92	0.53	0.37	2.82	
16	液状化面積率	0 - 0.18	0.02	0.04	-0.02	-0.76	

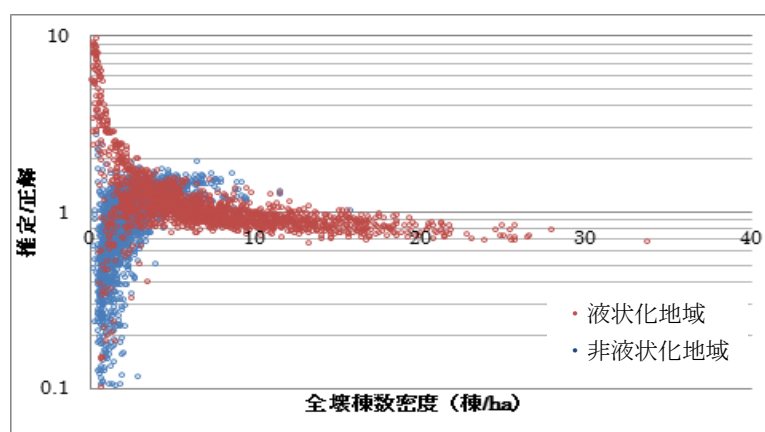


図4 正解と本手法の建物倒壊危険量の比

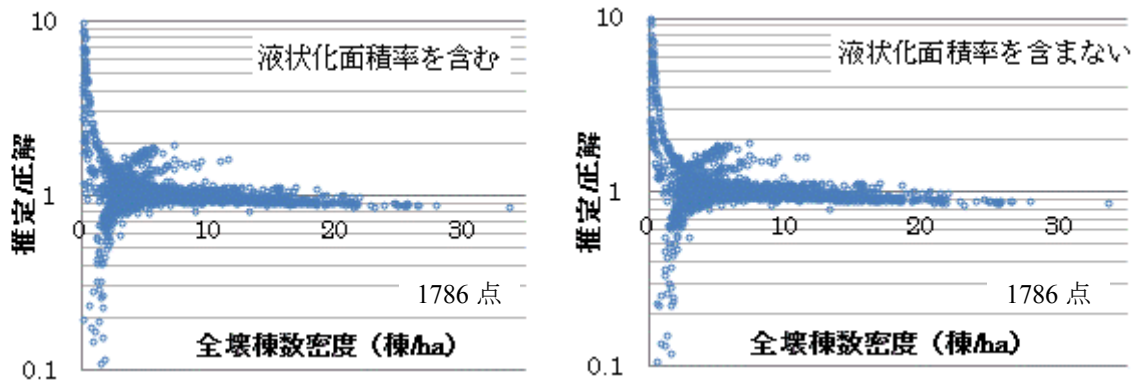


図5 液状化地域のうち液状化面積率の変数の有無による比較

このように負の係数が出る変数は多重共線性を持ち、推定の精度に影響をもたらすことがある。この現象を解消するために危険量への影響の低い変数を外すことで回帰モデルの再構築を行った。その際、変数選択には赤池情報量規準¹⁴⁾(5)式を用い、AIC値が最小となる回帰モデルを採択する。

$$AIC = n \left(\ln \left(2\pi \frac{Se}{n} \right) + 1 \right) + 2(p + 2) \quad (5)$$

ここで、 n はデータ数、 p は説明変数の数、 Se は残差平方和である。最終的に回帰に取り入れる変数とその係数を表3に示す。ここで、「その他の構造物」に関しては、1970年以前の木造と同じ被害関数が設定されているので、以下の計算では1970年以前の木造に合算して扱った。選択された8変数から成る回帰式によって危険量を算出し、正解値との対応を図6に示す。この図より、全壊棟数密度が小さい範囲においてばらつきの幅が大きいものの相関係数は0.897と高い値が得られ、両危険量の比が概ね1.0に収束することから、回帰分析による推定の有効性が確認できた。しかし全壊棟数密度の低い町丁目では、誤差が非常に大きいこと、および全壊棟数密度が大きくなるにつれて危険量比が過小に推移する問題が指摘される。したがって回帰に用いた説明変数を詳細に分析することで、精度に影響を及ぼす要因を以下に考察する。

表3 変数選択後の重回帰分析結果

	説明変数	重回帰係数		説明変数	重回帰係数
1	木造-70,その他	0.28	6	S 71-80	0.47
2	木造 71-80	0.17	7	S 81-	0.08
3	木造 81-90	0.05	8	地盤増幅率	2.98
4	木造 01-	0.04		切片	-5.862
5	S -70	0.86			

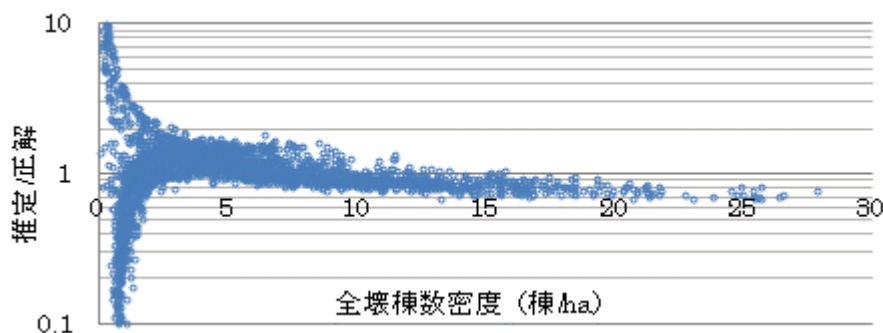


図6 正解と本手法の建物倒壊危険量の関係(8変数選択後)

4. 推定精度向上に向けた検討

4.1 建物特性

東京都の市街化区域内での構造・築年代別の建物棟数割合は、図7に示す通りである。建物棟数では、木造が7割を超え圧倒的に数が多い。木造の築年代では、新耐震と呼ばれる1981年以降の建物がすでに約半数になっている点が目につく。非木造に関しては、新耐震の割合は全体の約3/4さらに高くなっている。図6において建物倒壊危険量の推定値が正解に比べて誤差の大きい（全壊棟数密度の低い）町丁目について、地域の特性を見たところ、まず町丁目内の全建物数が小さいことが指摘できる。またこれらの地域で建物分類を詳しく検討したが、目立った特徴は見受けられなかった。そこで次に、地盤特性が大きな要因と考え、危険量に与える影響を以下で考察する。

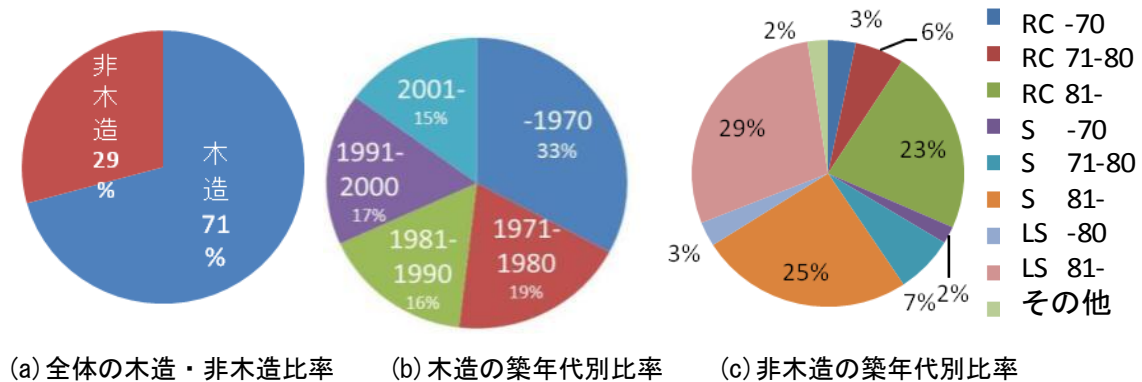
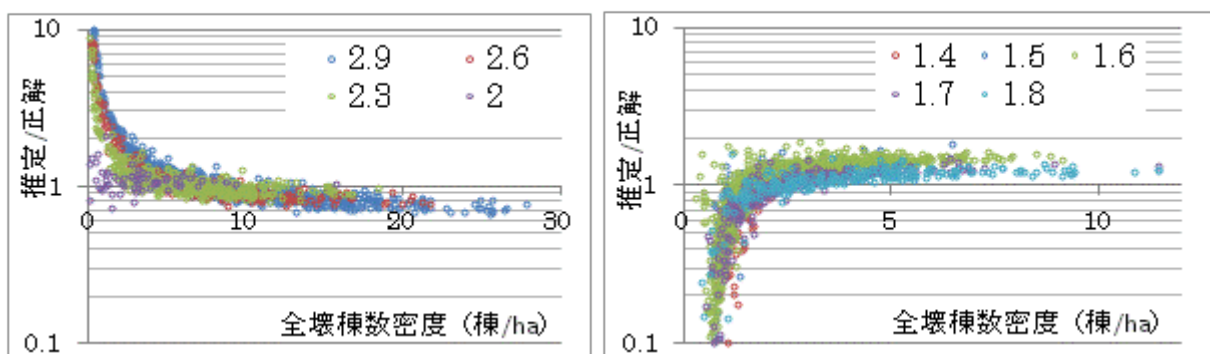


図7 東京都の建物分類別の棟数比率

4.2 地盤特性

地震発生時の地表面での揺れの大きさは、主として地盤の軟弱さによって決まり、地域危険度調査では地盤増幅率によって表層地盤の影響を定めている。回帰式に組み込まれている変数のうち地盤増幅率は12段階の無次元量で表され、町丁目ごとに1つの値を与えている。増幅率は揺れの大きさを支配するので、建物被害に大きく関係する。そこで増幅率ごとの危険量の推移を図8に示したところ、危険量のばらつきが増幅率によるものであることが明確となった。また、全壊棟数密度の低い地域での過小・過大の傾向も、増幅率の大小によって2分されていることも分かる。全壊棟数密度の低い地域では建物数が極端に少ない町丁目や構造別の建物数に偏りがある場合が多く、増幅率が強く影響したと考えられる。この増幅率の大小によって地域を2つに分け、それぞれの回帰を行うことでより精度の高い推定式が得られることが期待される。



(a) 高い増幅率(2.0-2.9) (b) 低い増幅率(1.4-1.8)

図8 地盤増幅率ごとに示す建物倒壊危険量

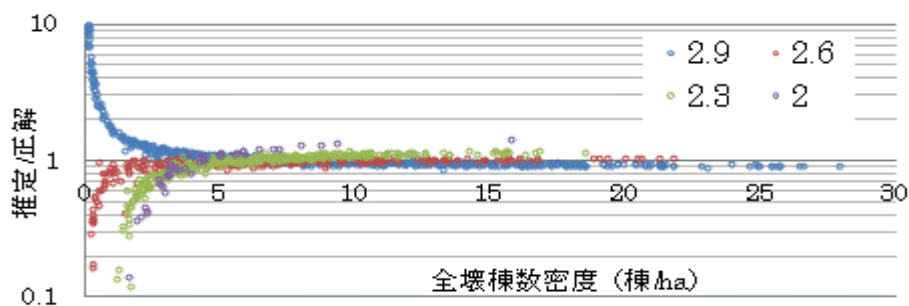
5. 地盤増幅率別の推定

都全体を地盤増幅率が 2.0-2.9 の地域(1,557 町丁目)と、1.0-1.8 の地域(3,576 町丁目)に 2 分し、各地域において前述の手順にならい推定を行う。高い増幅率を持つ地域を(A)、低い地域を(B)として、回帰分析によって得られた説明変数と回帰係数をそれぞれ表 4 に示す。また、推定危険量を正解と比較した(図 9)。両地域においても依然、全壊棟数密度の低い地域でのばらつきは大きい。全壊棟数密度が増加するにつれて危険量比は 1 に収束していき、過小傾向が解消される結果となった。また、相関係数も高い増幅率で 0.981、低い増幅率でも 0.979 と高い値を示したため、精度の高い推定が行えたといえる。さらに、危険量の過大・過小の推移が増幅率別で顕著な傾向を示していることから、建物被害関数を固定した場合、建物倒壊危険量は地盤増幅率(すなわち地表面 PGV)に強く依存することが分かった。収束前の過小・過大の広がりについて、例えば 2.9 の地域を見ると、立ち上がりの部分で正解危険量が低いにも関わらず推定が過大評価されている。該当町丁目を調べたところ、地盤は軟弱であるが建物数が非常に少ない町丁目であることが分かった。一方、立ち上がり部で過小評価される地域の特徴として建物数が少ないことが挙げられ、回帰式内の切片が負であることが影響し、過小推定が行われたと考えられる。

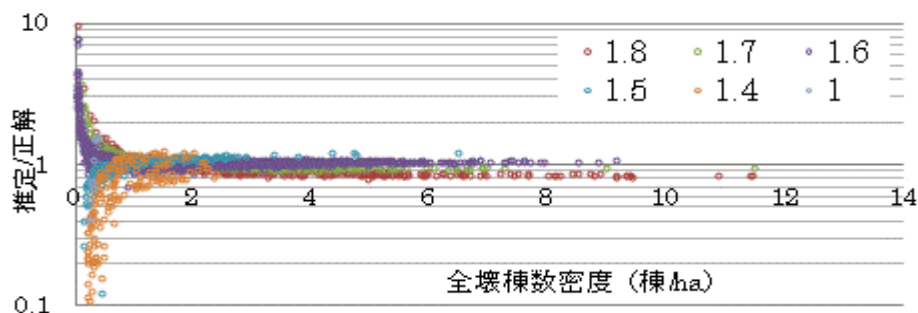
このように地盤増幅率の影響は、建物被害関数に対数正規分布を用いているため非線形性が強く、完全には取り除くことはできなかった。同様に、基盤入力地震動レベルを変えた場合は、影響が大きいと考えられ、これらは本提案手法の適用範囲の限界といえよう。

表4 地盤増幅率で2地域に区分した重回帰分析結果

	説明変数	(A)	(B)		説明変数	(A)	(B)		説明変数	(A)	(B)
1	木造-70,その他	0.424	0.202	6	RC-70	0.193	0.041	11	S81-	0.121	0.021
2	木造 71-80	0.399	0.086	7	RC71-80	0.032	0.039	12	LS-80	-	0.034
3	木造 81-90	0.129	0.035	8	RC81-	0.013	0.017	13	地盤増幅率	3.478	1.463
4	木造 91-00	0.004	0.010	9	S-70	0.478	0.245		切片	-9.23	-9.23
5	木造 01-	0.001	0.003	10	S71-80	0.215	0.075				



(a) 高い増幅率(2.0-2.9)



(b) 低い増幅率(1.0-1.8)

図9 地盤増幅率で2地域に区分した場合の正解と本手法での建物倒壊危険量の比

6. 危険度ランクによる評価

防災を目的とし、実際に住民に対して啓発を行う際には、危険量のような数値では相対的な危険性が分かりにくい。地域危険度調査では、倒壊危険量の高い順から町丁目に順位をつけ、その順位によって5段階のランク付けがなされており、図10(左)のように町丁目数の存在割合によって各ランクの割合が与えられている。このランク（危険度）を見ることで自分の住む町が相対的にどの程度の危険性を持つかを意識づけることができる。本手法で推定した危険量に対しても、都の方法に従ったランク付けを行うことで大枠での精度を評価した。

増幅率の地域分けでのそれぞれの推定結果をまとめ、ランクによって色分類したものを図11に示す。推定誤差の大きくなる地域は、危険度の最も低いランク1の町丁目にとどまっていることがわかる。さらにランクが上がるにつればらつきが収束していることから、危険度の高い地域の推定には十分な有効性があるといえる。次に、図10(右)に示したランクごとのエラーマトリックスでは、危険度ランクの低い順に精度が高く、ランク5の地域でも83.3%と十分な結果が得られた。ランクが低いほど精度が高いのは、低いランクに該当する町丁目数が多いことによる。全体としてのランクの総合精度では、92.7%と高い値を得た。正解と本手法による危険度ランクの分布を図12に示す。両者を比較すると、ランクが大きく変動している地区はほとんどないことが伺える。また、ランク分布の傾向として、23区内において、木造住宅の密集する墨田区や江東区などのいわゆる下町に高い危険度の町丁目が集中し、反対に大きなビルの多い都心では、低い危険度であることが分かる。

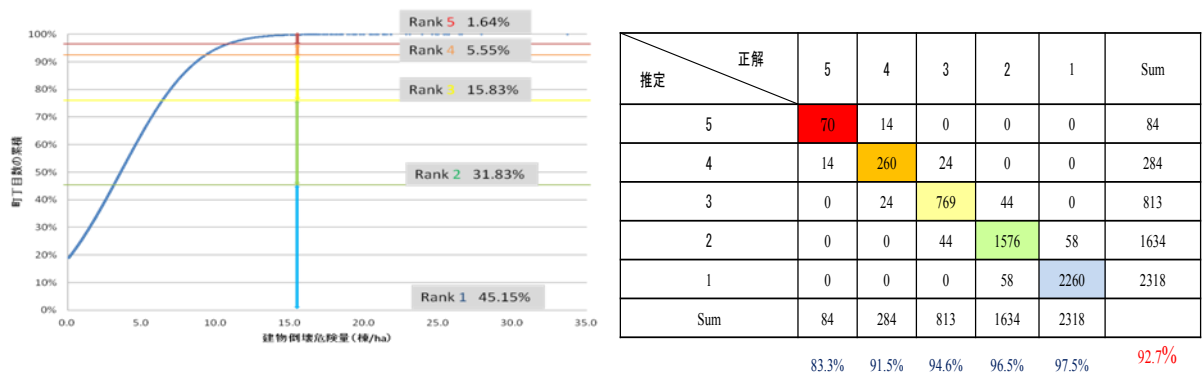


図 10 東京都による危険度ランクの累積分布(左)と推定結果のランク別のエラーマトリックス(右)

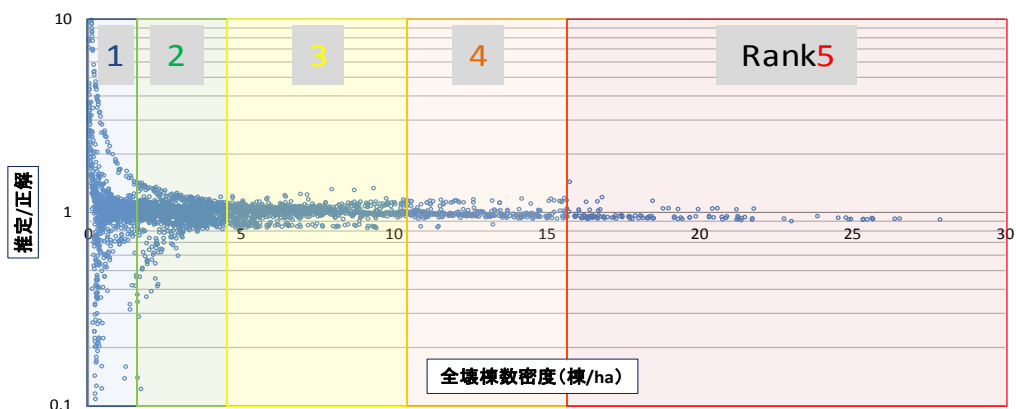
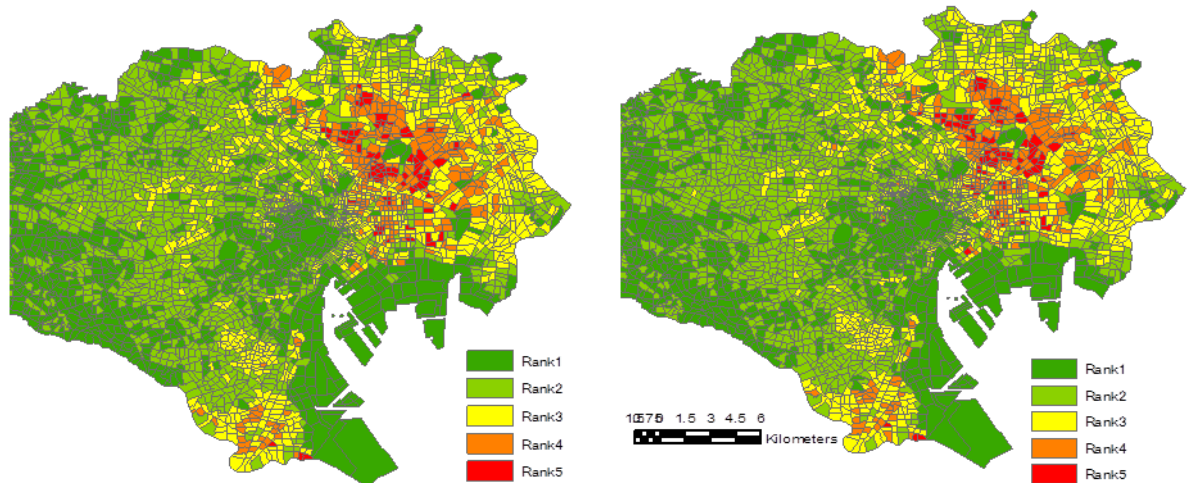


図 11 本推定結果の精度と危険度ランクの関係



(a) 東京都の計算法による結果

(b) 本手法による推定結果

図12 建物倒壊危険度ランクの分布 (23区と多摩東部)

図13(左)は正解の建物倒壊危険量(全壊棟数)において占める構造種別の寄与率を示しており、木造構造物の年代の古い順に全壊数が大きくなっている。一方、図13(右)は本研究の推定法で求めた倒壊危険量における構造種別構成比を危険度ランク別に示している。危険度ランクの高い町丁目では、古い木造建物が大きな割合を占めており、よって全壊棟数密度が高くなったと考えられる。以上の検討より、有効な説明変数のみを使用する重回帰分析によって、地盤増幅率と建物棟数密度で面積当たりの全壊建物数(建物倒壊危険量)をおおむね表現できたといえる。

なお、東京都の地域危険度調査には、建物倒壊危険度を評価するためのパラメータとして、ここで有効性を検討した液状化面積率以外にも、大規模造成地の割合や建物構造・階数別の杭基礎の有無の割合等、データ収集が非常に困難なものも含まれている。本検討によって、これらのパラメータが、実際は建物倒壊危険度に与える影響が小さいことも暗に示している。

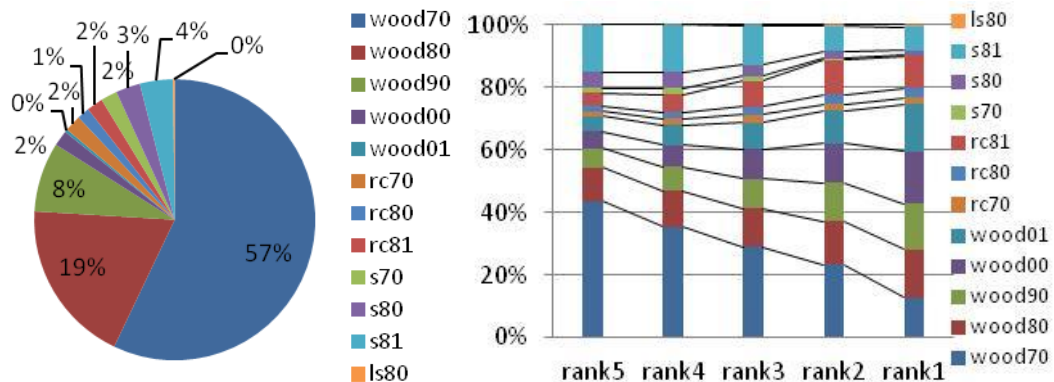


図13 正解危険量(全壊棟数)における建物種別の寄与率(左)と本検討における危険度ランク別の建物棟数の構成比(右)

7. まとめ

本研究では、東京都地域危険度調査のデータをもとに、町丁目を単位として簡易的な建物倒壊危険量を推定する方法を検討した。その結果、地震における面積当たりの全壊建物数(倒壊危険量)は、古い

年代の建物密度と地盤増幅率が支配的であることが明らかとなり、重回帰分析によって高い精度の推定が可能であることが示された。東京都全域を一括の回帰で推定した場合、危険量が高くなるにつれ過小推定の傾向が現れたが、地盤増幅率の値によって町丁目を2グループ化し、各々のグループにおいて再度説明変数を選択した推定を行うことでこの過小評価の傾向を解消することができた。建物被害関数を固定した場合、全壊率は地震動強さすなわち地盤増幅率の影響のみを受け、面積当たりの全壊数は、建物種別ごとの棟数密度に支配される。また、液状化被害や大規模造成地等は建物倒壊への影響は低いことから、線形回帰の変数に地盤増幅率と建物棟数密度を与えれば、同じ被害関数に対する倒壊危険量を簡単に推定できるといえる。危険量を5段階ランクで評価した結果からは、危険度ランクの高い地域では高い精度が得られ、建物倒壊の危険性のある地域抽出には十分な有用性が見込まれる。例えば、古い建物を建て替えると仮定した際に、これによってどの程度、リスクを低減できるかの予測などに役立てられる。したがって、膨大な量の計算に時間を費やすことなく市街地整備において取るべき施策の提示や、地震被害軽減策の立案に役立つものと期待している。また、本研究では地震時の建物倒壊の危険性を検討したが、市街地整備の面では火災危険度も必要とされるため、火災についての簡易評価法に関しては今後の課題としたい。

謝 辞

本研究で使用した東京都地域危険度建物データ及び地盤データは、東京都都市整備局より提供して頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について、2006年。
http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/pdf/houkokusiryoul.pdf
- 2) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）、2012年。 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_higai.pdf
- 3) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）、2012年。 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/1st_report.pdf
- 4) 東京都防災会議：首都直下地震等による東京の被害想定（平成24年4月18日公表）、2012年。
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/taisaku/1000902/1000401.html>
- 5) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査報告書(第7回)、2013年。
http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm
- 6) 大西淳一、山崎文雄、若松加寿江：気象庁地震記録の距離減衰式に基づく地点増幅特性と地形分類との関係、土木学会論文集、626/I-48、1999年、pp. 79-91.
- 7) 清水善久、石田栄介、磯山龍二、山崎文雄、小金丸健一、中山渉：都市ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用：土木学会論文集、No. 738/I-64、2003年、pp. 283-296.
- 8) 丸山喜久、山崎文雄、近年の地震観測記録に基づく東京都地盤分類ごとの増幅特性の評価：第12回日本地震工学シンポジウム論文集、CD-ROM、Paper No. 288、2006年、pp. 1258-1261.
- 9) 丸山喜久、伏岡里志、山崎文雄：東京都地域危険度測定調査における地盤増幅率の再評価、地域安全学会論文集、No. 16、2012年、pp. 21-29.
- 10) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集、2000年、pp.189-196.
- 11) 長尾拓真、山崎文雄：2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害分析、地域安全学会論文集、No. 15、2011年、pp. 249-254.
- 12) 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）、2012年。 http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_report.pdf
- 13) 田中豊、垂水共之、脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編、共立出版、1989年.
- 14) 坂本慶行、石黒真木夫、北川源四郎：情報量統計学、共立出版、1983年.

(受理：2015年3月26日)
(掲載決定：2015年10月5日)

Simplified Estimation Method for Building Damage due to Earthquakes

IWASE Saaya¹⁾, YAMAZAKI Fumio²⁾

1) Student Member, Graduate Student, Department of Urban Environment Systems, Chiba University

2) Member, Professor, Department of Urban Environment Systems, Chiba University

ABSTRACT

Tokyo Metropolitan Government (TMG) conducts a community-based seismic risk assessment for all the city-blocks of Tokyo Metropolis every five years. The 7th seismic risk assessment survey was carried out for two kinds of risk due to earthquakes: building damage due to strong shaking, and fire outbreak and spread. A bedrock motion with the peak ground velocity 30 cm/s was assumed uniformly for all the study areas and site amplification was considered based on topography and subsurface soil type. Building damage was evaluated using empirical vulnerability functions. In this paper, a statistical analysis was conducted for the result of the building damage assessment by the TMG. In the multiple regression analysis, the number of severely damaged buildings per unit area was considered as the dependent variable and several explanation variables were employed, such as the number of buildings for each structural type and construction period, the soil amplification factor. The regression analysis was conducted for all the 5,133 city-blocks of Tokyo Metropolis and an accurate prediction equation was derived.

Keywords: Earthquake damage estimation, Building damage, Seismic risk