



地震被害推定をより正確に行うための 構造種別や層数を考慮に入れた建物群の構築

境有紀¹⁾、福川紀子²⁾、新井健介³⁾

- 1) 正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 准教授 工博
e-mail: sakai@kz.tsukuba.ac.jp
- 2) 非会員 株式会社 I H I 環境・プラントセクター
(元筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生), 工修
e-mail: noriko_fukukawa@ihi.co.jp
- 3) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生
e-mail: e0511266@edu.esys.tsukuba.ac.jp

要 約

地震発生直後の面的被害推定,あるいは,地震被害想定をより正確に行うことを目的として,建物の構造種別や層数などの建物種別を考慮に入れた建物群を人口データから構築することを試みた.具体的には,人口が集中する都市部ほど非木造建物,非木造高層建物が増えるのではないかと考え,建物種別を木造,9階以下の中低層非木造,10階以上の高層非木造の3つに分類し,1kmメッシュを対象として,関東圏3万メッシュから人口の大小,夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように20メッシュを選んで調査を行い,そのデータを基に,メッシュ当たりのそれぞれの建物種別の棟数を国勢調査による夜間人口,昼間人口から推定する式を構築した.その結果,いずれの場合も高い精度でメッシュ人口からそれぞれのメッシュの建物種別の棟数を推定できることがわかった.ただし,団地など特殊なケースで,推定値が実際の棟数と異なり結果となり,その解決が今後の課題である.

キーワード: 地震被害推定, 建物群, 木造建物, 非木造建物, 人口データ

1. はじめに

大地震が発生したときの建物被害の面的推定,あるいは,地震被害想定は,震度などの地震動強さ指標による被害関数を用いて行われることが多い.しかしながら,日本の建物の大半は木造家屋であるが,人口が集中する都市部では,非木造建物や高層建物も数多く存在するため,単独の地震動強さ指標や被害関数では,正確な被害推定は難しい.木造建物と非木造建物の被害関数は大きく異なる上,非木造高層建物は,木造建物や非木造中低層建物より周期が長く,被害関数に用いる地震動強さ指標,即ち,被害と対応する地震動の周期帯を変える必要がある.建物の構造種別や層数を考慮に入れた地震動強さ指標と被害関数を構築するには,建物を構造種別や層数によって分類した建物群データが必要となるが,そのようなものは被害推定,被害想定に必要なメッシュ単位では整備されていない.

既往の研究としては,長谷川・翠川は,地域メッシュ統計¹⁾を利用することにより,メッシュ単位の木造建物数,非木造建物数,更に,これらを年代別に推定する方法を示している^{2),3)}.しかしながら,被

害と対応する地震動の周期帯が異なる高層非木造建物と中低層非木造建物が分けられていない。地域メッシュ統計の国勢調査には、住宅の建て方別世帯数という項目があり、11階以上の高層建物に住む世帯数を得ることができるが、高層建物は事業者建物など共同住宅以外にも数多く存在するので、世帯数からの推定は難しい。同じ地域メッシュ統計の事業所統計調査で、事業者数や従業者数を知ることができるが、建物層数はわからない。

そこで、本研究では、人口が集中する都市部ほど非木造建物、非木造高層建物が増えるのではないかと考え、国勢調査によってメッシュ単位で整備された人口データから、構造種別、層数別の建物数を推定することにより、人口が集中する都市部から、農村部までの地震被害推定に適用可能な建物群の構築方法の検討を行った。

2. 建物群の構築方法と被害推定の概要

建物群は、1kmメッシュ単位で構築する。具体的には、建物層数の違いによって被害が対応する地震動の周期帯（地震動強さ指標）が異なり、また、木造建物と非木造建物の耐震性能（被害関数）が異なることから建物群を木造、中低層（9階以下）非木造、高層（10階以上）非木造の3つの建物種別に分類し、1kmメッシュあたりの各建物種別ごとの棟数を求める。非木造建物の中低層と高層を10階で分けたのは、非木造建物の大部分を占める鉄筋コンクリート造建物の1～9階の弾性周期が木造建物の弾性周期とほぼ同じ（0.2～0.5秒^{4) 5) 6)}）となり、両者の被害関数の地震動強さ指標に同じものを用いることができると考えたためである。推定に用いるのは、1kmメッシュ単位で整備された地域メッシュ統計データ¹⁾による昼間人口と夜間人口である。即ち、1kmメッシュ単位で昼間人口と夜間人口を説明変数、木造、中低層非木造、高層非木造建物数を目的変数とした推定式を構築することになる。

各建物種別の建物数が推定したときの地震被害推定、想定方法の概要について図1に示す。強震観測、あるいは、予測波形データから、木造、中低層非木造建物の大きな被害と相関をもつやや短周期（例えば、1-2秒^{7) 8)}、あるいは、1-1.5秒程度⁹⁾）に対応した地震動強さ指標、高層非木造建物の大きな被害と相関をもつやや長周期（例えば、2-4秒程度¹⁰⁾）に対応した地震動強さ指標を計算し、これをメッシュ単位に補間し、被害関数により各建物種別ごとの全壊率、大破率を求める。そして、これに推定した各建物種別の建物数をかけることにより、各メッシュについての全壊・大破という人命にかかわる大きな被害を受けた建物数が各建物種別ごとに求まることになる。

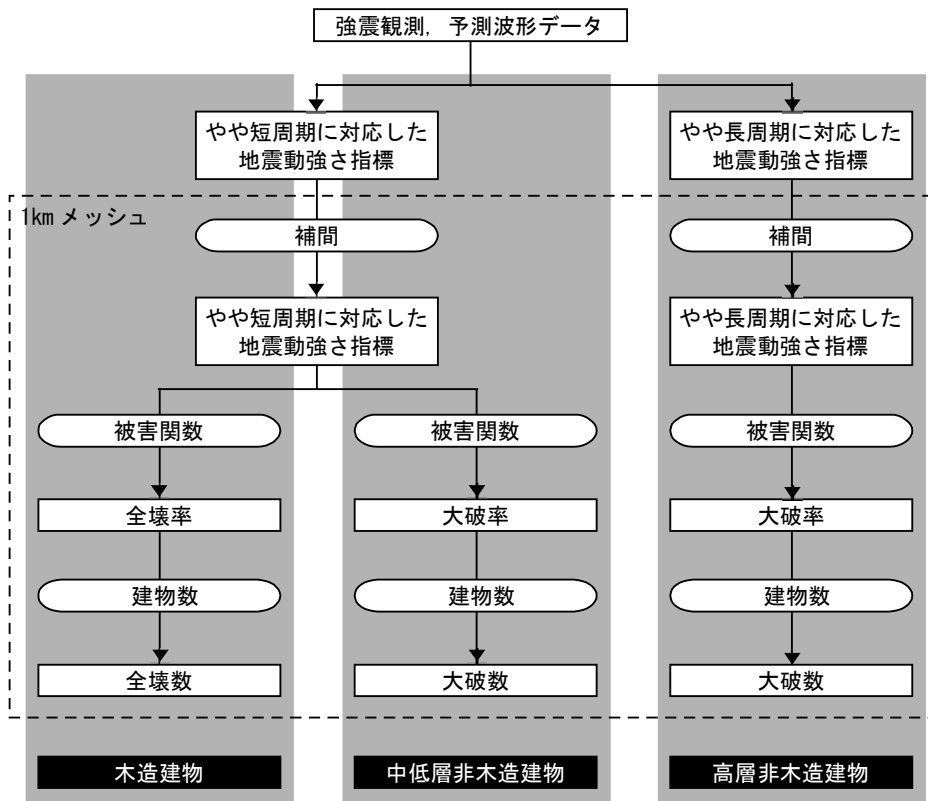


図1 層数, 構造種別を考慮に入れた地震被害推定, 被害想定

3. 建物群データの収集

推定式を構築するための建物群データの収集を行った。具体的には、関東圏3万メッシュから人口の大小、夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように20メッシュを選び(図2, 3), 各メッシュの全ての建物について構造種別, 層数を調査記録した(表1)。調査は延べ44人で9日を要した。

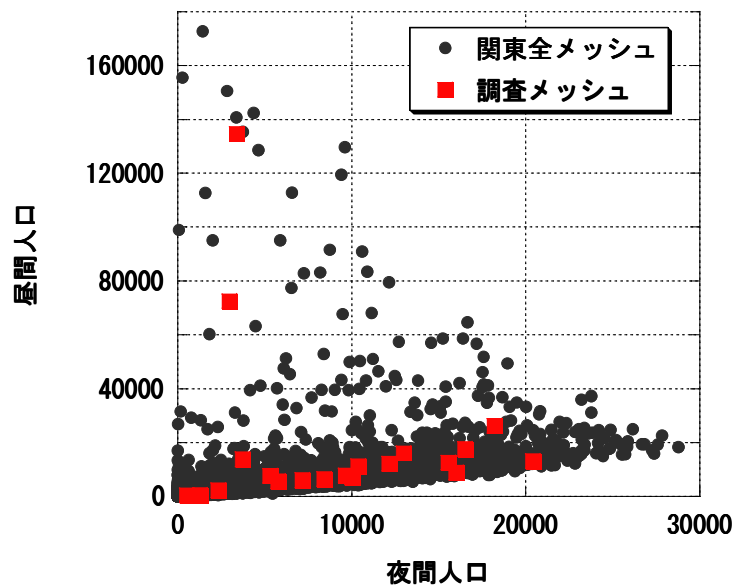


図2 夜間人口, 昼間人口の関係と建物群調査を行った地点



図3 建物群調査を行った地点

表1 建物群調査を行ったメッシュ一覧と調査結果

| メッシュコード | メッシュ中心住所 | 夜間人口 | 昼間人口 | 木造棟数 | 中低層非木造棟数 | 高層非木造棟数 |
|----------|------------|-------|--------|------|----------|---------|
| 54401047 | つくば市天王台 | 1292 | 630 | 294 | 98 | 0 |
| 53394612 | 中央区日本橋兜町 | 3390 | 134571 | 315 | 1697 | 180 |
| 53393680 | 港区芝公園 | 2969 | 72486 | 140 | 896 | 86 |
| 53394563 | 中野区江古田 | 20428 | 13152 | 2817 | 1101 | 1 |
| 53403028 | 千葉市中央区千葉港 | 3719 | 13793 | 127 | 237 | 36 |
| 53394430 | 小金井市前原町 | 12158 | 12098 | 1903 | 551 | 14 |
| 53403056 | 千葉市美浜区稲毛海岸 | 9661 | 7799 | 268 | 264 | 23 |
| 53394689 | 葛飾区高砂 | 7179 | 5974 | 1269 | 399 | 3 |
| 53394666 | 墨田区八広 | 15557 | 12529 | 2652 | 968 | 24 |
| 53397738 | 守谷市大柏 | 2337 | 2261 | 912 | 102 | 0 |
| 53395624 | 足立区中央本町 | 16503 | 17659 | 1910 | 925 | 16 |
| 53406032 | 我孫子市我孫子 | 5760 | 5666 | 1786 | 130 | 0 |
| 53394721 | 江戸川区西瑞江 | 15990 | 8871 | 3131 | 911 | 1 |
| 53395717 | 市川市大町 | 515 | 470 | 229 | 50 | 0 |
| 53394764 | 市川市八幡 | 12969 | 16005 | 2410 | 818 | 13 |
| 53395584 | 蕨市中央 | 10382 | 11287 | 1817 | 534 | 5 |
| 53394694 | 足立区千住 | 18209 | 26233 | 3088 | 1210 | 34 |
| 53404168 | 佐倉市栄町 | 5317 | 7646 | 1382 | 237 | 4 |
| 53395646 | 足立区神明南 | 10019 | 7155 | 2535 | 433 | 2 |
| 53396722 | 流山市平和台 | 8411 | 6498 | 1632 | 267 | 0 |

4. 建物群の推定

調査収集した建物群データを基に 1km メッシュの木造、中低層非木造、高層非木造建物数を昼間人口と夜間人口から推定する式を構築した。推定式の形は、最も単純な一次式とした(式(1))。

$$N_{W,L,H} = aP_N + bP_D \quad (1)$$

ここで、 N_W : 木造建物数、 N_L : 中低層非木造建物数、 N_H : 高層非木造建物数、 P_N : 夜間人口、 P_D : 昼間人口(いずれも 1km メッシュあたり)、 a, b : 係数である。

木造、中低層非木造、高層非木造建物それぞれについて、最小二乗法によって決まった係数 a, b と相関係数を表 2 に、推定式による建物棟数と実際の棟数の対応を図 4 の左に示す。いずれの場合も高い精度でメッシュ人口からそれぞれの建物種別の棟数を推定できていることがわかる。また、推定値を推定式による確定値ではなく、ばらつきも考慮に入れた形で表現するために、木造は推定棟数 500 棟ごと、中低層非木造は 250 棟ごと、高層非木造は 5 棟ごとに実際の棟数の標準偏差を求め、それを用いて推定棟数を説明変数とした標準偏差の推定式を構築した(図 4 右)。そして、調査メッシュの推定建物棟数を推定値±標準偏差という形で表現した(表 3)。

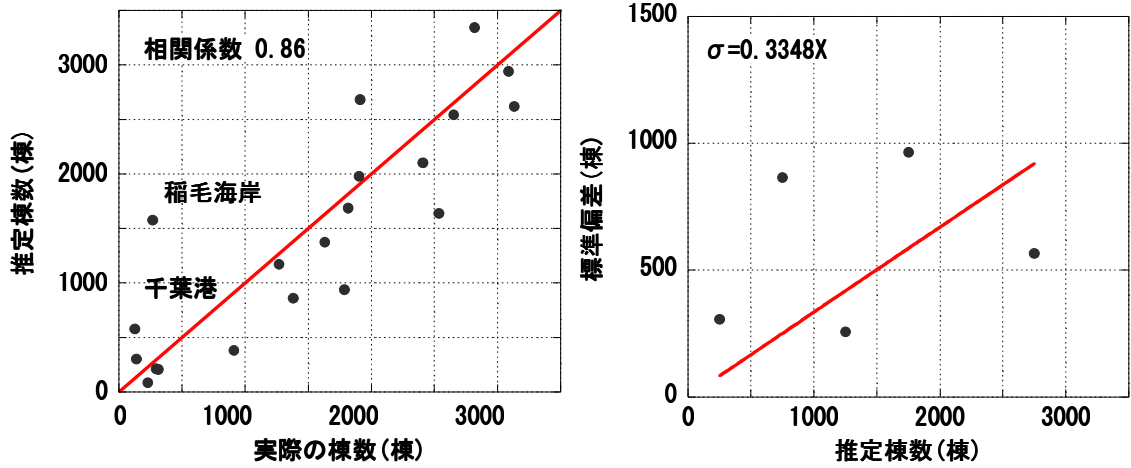
表 2 最小二乗法によって決まった係数 a, b と相関係数

| | a | b | 相関係数 |
|----------|---------|---------|------|
| 木造建物 | 0.1654 | -0.0026 | 0.86 |
| 中低層非木造建物 | 0.0438 | 0.0113 | 0.97 |
| 高層非木造建物 | -0.0003 | 0.0013 | 0.98 |

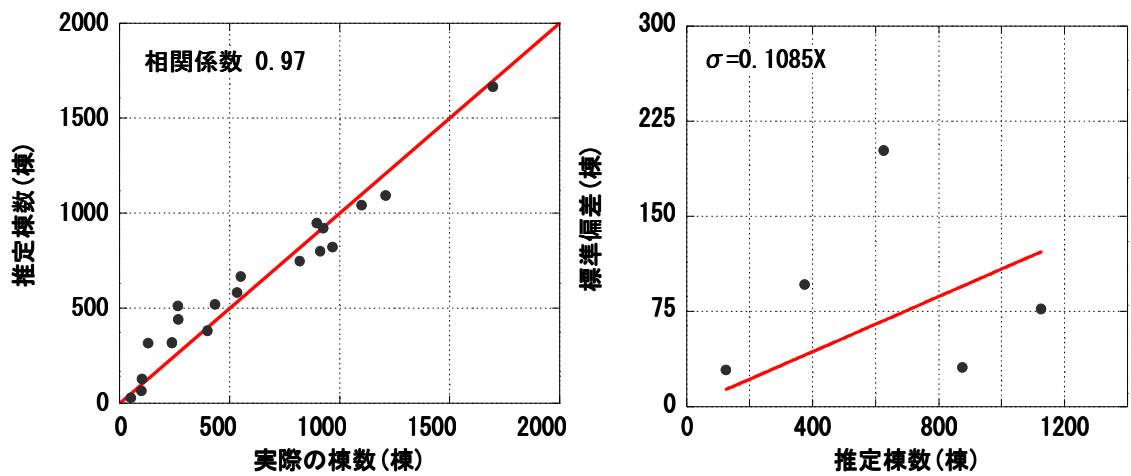
建物種別ごとに見てみると、木造建物は、係数 a が係数 b より遙かに大きく、夜間人口の影響が大きいことがわかる。これは、木造建物のほとんどが住宅であるためと考えられる。一方、高層非木造建物は、係数 a より係数 b が大きく、昼間人口の影響が大きいことがわかる。これは、高層非木造建物の多くが事務所、商業施設など昼間使用されるものであるためと考えられる。中低層非木造建物の場合は、両者の中間的な傾向となっている。

このように推定式は、実際の状況から予想されることとも整合しており、相関係数も 0.87~0.98 と高い精度で人口データから建物種別を推定できている。人口データは、全国全てのメッシュで整備されており、この式を用いれば、全国全てのメッシュで、木造、中低層非木造、高層非木造建物の棟数を推定することができる。

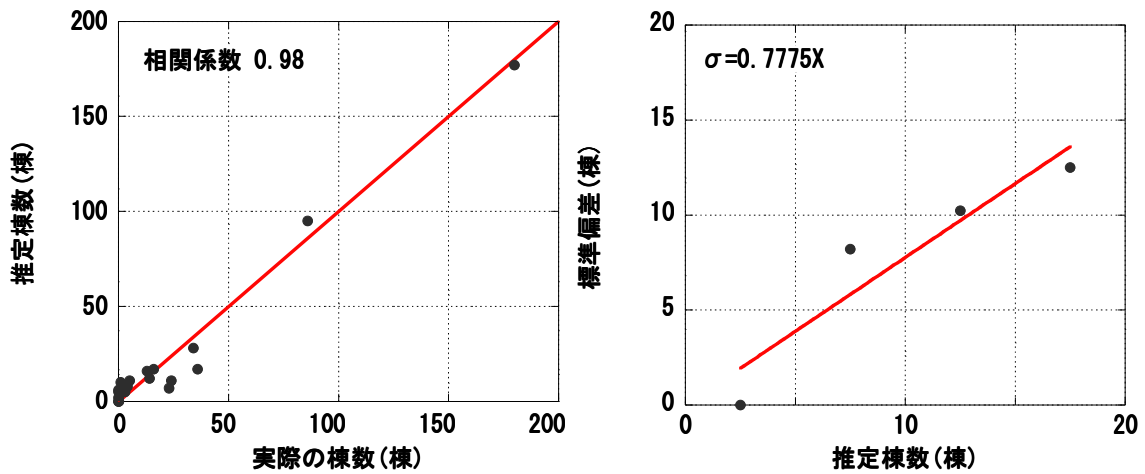
しかしながら、細かく見てみると木造建物の場合において、推定棟数が実際の棟数の 4~5 倍程度と差が非常に大きくなってしまっている地点がある。これは、千葉市美浜区稲毛海岸と千葉市中央区千葉港のケースで、前者(稲毛海岸)は、該当メッシュの大部分が団地になっていて、夜間人口は多いものの実際には木造建物は少なく、木造建物を過大に推定してしまっている。一方、後者(千葉港)は、高層マンションが多く存在し、団地の場合と同様、夜間人口の割には木造住宅が少なくなっていて、この場合も木造建物を過大に推定してしまっている。このように本推定式にはまだ問題点もあり、今後は、このような特殊なケースにも対応できるように式の形、使用する説明変数など検討を続けていく必要がある。また、構造種別、層数以外の建物建設年などの目的変数の検討も今後の課題である。



(a) 木造建物



(b) 中低層非木造建物



(c) 高層非木造建物

図4 実際の棟数と推定棟数の対応

表3 推定誤差（標準偏差）を含めた各メッシュの推定建物棟数

| メッシュコード | メッシュ中心住所 | 木造 | 中低層非木造 | 高層非木造 |
|----------|------------|------------|-----------|----------|
| 54401047 | つくば市天王台 | 212 ±71 | 64 ±7 | 0 ±0 |
| 53394612 | 中央区日本橋兜町 | 207 ±69 | 1666 ±181 | 177 ±138 |
| 53393680 | 港区芝公園 | 300 ±101 | 947 ±103 | 95 ±74 |
| 53394563 | 中野区江古田 | 3343 ±1119 | 1042 ±113 | 10 ±8 |
| 53403028 | 千葉市中央区千葉港 | 579 ±194 | 318 ±35 | 17 ±13 |
| 53394430 | 小金井市前原町 | 1979 ±662 | 668 ±73 | 12 ±9 |
| 53403056 | 千葉市美浜区稲毛海岸 | 1577 ±528 | 511 ±55 | 7 ±5 |
| 53394689 | 葛飾区高砂 | 1171 ±392 | 381 ±41 | 5 ±4 |
| 53394666 | 墨田区八広 | 2540 ±850 | 822 ±89 | 11 ±8 |
| 53397738 | 守谷市大柏 | 380 ±127 | 128 ±14 | 2 ±2 |
| 53395624 | 足立区中央本町 | 2682 ±898 | 921 ±100 | 17 ±13 |
| 53406032 | 我孫子市我孫子 | 938 ±314 | 316 ±34 | 5 ±4 |
| 53394721 | 江戸川区西瑞江 | 2621 ±877 | 800 ±87 | 6 ±5 |
| 53395717 | 市川市大町 | 84 ±28 | 28 ±3 | 0 ±0 |
| 53394764 | 市川市八幡 | 2102 ±704 | 748 ±81 | 16 ±13 |
| 53395584 | 蕨市中央 | 1687 ±565 | 582 ±63 | 11 ±9 |
| 53394694 | 足立区千住 | 2942 ±985 | 1093 ±119 | 28 ±22 |
| 53404168 | 佐倉市栄町 | 859 ±288 | 319 ±35 | 8 ±6 |
| 53395646 | 足立区神明南 | 1638 ±548 | 519 ±56 | 6 ±5 |
| 53396722 | 流山市平和台 | 1374 ±460 | 441 ±48 | 6 ±4 |

5.まとめ

大地震による建物被害を、農村部から様々な構造種別、層数の建物が混在する都市部の場合にも1kmメッシュで推定できるようにするため、層数、構造種別を考慮に入れた建物群の構築を行った。関東圏3万メッシュから人口の大小、夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように20メッシュを選んで調査を行い、そのデータを基に、夜間人口と昼間人口から木造、中低層非木造、高層非木造建物棟数を推定する式を構築した。その結果、いずれの場合も高い精度でメッシュ人口からそれぞれの建物種別の棟数を推定できることがわかった。ただし、団地など特殊なケースで、推定値が実際の棟数と大きく異なり、その解決が今後の課題である。なお、本論文の一部は文献¹¹⁾¹²⁾で既に発表している。

謝辞

建物群調査の際には、研究室メンバーの多大な協力を得ました。

参考文献

- 1) 統計情報開発センター、平成12年国勢調査、平成13年事業所・企業統計調査等のリンクによる地域メッシュ統計データ、2004.9.
- 2) 長谷川浩一、翠川三郎: 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測 —その1 建築年代別の木造建築物棟数の推定—、日本建築学会構造系論文集, No.497, 75-80, 1997.7.
- 3) 長谷川浩一、翠川三郎: 地域メッシュ統計を利用した広域での非木造建築物群の震害予測, 日本建築学会構造系論文集, No.521, 41-47, 1999.7.
- 4) 境有紀、吉岡伸悟、瀨瀨一起、壁谷澤寿海, 1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第549号, 43-50, 2001.11.
- 5) 境有紀、飯塚裕暁, 非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第1号, 32-45., 2009.1.
- 6) 境有紀, 地震動の性質と建物被害の関係 特集: 地震動の性質と被害—近年の地震からの知見—, 日本地震工学会誌, No.9, 12-19, 2009.1
- 7) 境有紀、瀨瀨一起、神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第555号, pp.85-91, 2002.5.
- 8) 境有紀、神野達夫、瀨瀨一起: 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案,

日本建築学会構造系論文集, 第585号, pp.71-76, 2004.11.

9) 境有紀, 建物被害と対応した地震動の周期帯の再検討—2007年能登半島地震, 新潟県中越沖地震のデータを加えて—, 日本建築学会構造系論文集, 第642号, 1531-1536, 2009.8.

10) 境有紀, 津野靖士, 瀧野一, 神野達夫, 地震動の破壊力から見た改正基準法による設計用入力地震動, 第29回地盤震動シンポジウム 改正基準法の地震動規定を考える, 111-122, 2001.

11) 福川紀子, 境有紀, より精密な被害予測のための建物群データ構築方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, 309-310, 2007.8.

12) 境有紀, 福川紀子, 新井健介, 構造種別や層数を考慮に入れた建物群の構築, 日本地震工学会大会-2008梗概集, 52-53, 2008.11.

(受理: 2009年6月16日)

(掲載決定: 2009年9月2日)

Development of Classification and Story Building Data for Accurate Earthquake Damage Estimation

SAKAI Yuki¹⁾, FUKUKAWA Noriko²⁾ and ARAI Kensuke³⁾

1) Member, Assoc. Professor, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.

2) IHI Corporation Corporation (former Graduate Student, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba), M. Eng.

3) Student Member, Graduate Student, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba

ABSTRACT

We investigated the method of developing classification and story building data from census population database in order to estimate earthquake damage more accurately especially in the urban area presuming that there are correlation between numbers of non-wooden or high-rise buildings and the population. We formulated equations of estimating numbers of wooden houses, low-to-mid-rise(1-9 story) and high-rise(over 10 story) non-wooden buildings in the 1km mesh from night and daytime population database based on the building data we investigated and collected in the selected 20 meshes in Kanto area. We could accurately estimate the numbers of three classified buildings by the formulated equations, but in some special cases, such as the apartment block mesh, the estimated values are quite different from actual values.

Key Words: Earthquake Damage estimation, Building Cluster, Wooden house, Non-wooden building, population database