

地震被害の共通認識形成を目的とした 広域都市モデルの構築に向けて

TOWARDS CONSTRUCTING COMPUTER MODEL OF METROPOLIS
FOR CONSENSUS RECOGNITION OF EARTHQUAKE HAZARD

朱 平¹・堀 宗朗²・清野純史³・藤野陽三⁴

¹Ph.D. (社会基盤学) 科学技術振興機構 社会技術研究システム 研究員 (E-mail:zhu@ristex.jst.go.jp)

²Ph.D. (応用力学) 東京大学地震研究所 教授 (E-mail:horii@eri.u-tokyo.ac.jp)

³Dr.Eng. (地震防災) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 助教授
(E-mail: kiyono@quake.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

⁴Ph.D. (社会基盤学) 東京大学工学系社会基盤学専攻 教授 (E-mail:fujino@civil.t.u-tokyo.ac.jp)

合理的な地震防災計画の立案には、行政官・市民と地震防災技術者との間で、地震被害に関する共通認識を持つことが必要である。共通認識の形成には、個々の家屋は勿論、都市全域の構造物に対し、生じる被害をシミュレートすることが有効な手段である。計算機や解析手法の高度化により、1つ1つの家屋やビルを含む都市全体の地震挙動を数値計算し結果を可視化することが可能となったが、計算のためのコンピュータモデルを構築することが課題として残されている。本研究では、広域地理情報システム (GIS) を利用した3次元広域都市モデルの構築を検討する。これは、都市内の数千から数万オーダーの建物・構造物群に対し、地震応答解析が行いうる高度なコンピュータモデルを自動的に作成するものである。モデルの構築手法を開発し、東京都文京区内の建物群に適用した例を紹介する。

キーワード：防災計画，広域的都市モデル，地震時挙動，動的解析，3次元GIS

1. はじめに

都市インフラストラクチャーの脆弱性評価は、地震防災計画立案の必須事項である。地震による死者の75%は建物の倒壊に起因すると指摘されているように¹⁾、一般家屋の被害推定が中でも重要である。

地震防災計画をより合理的にするためには、立案の主体である行政官や当事者ともなる市民が、このような地震被害に関して共通認識を持つことが必要となる。しかし、地震動そのものが完全に予測できない現状では、地震被害の予見に数多くの不確実性が存在することも事実である。不確実性を正しく認識した上で、地震被害に関する共通認識を形成することは、極めて困難な課題である。

現状の被害想定技術は、例えば、アメリカで開発されたHAZUS²⁾をのように、与えられたシナリオにしたがって地震被害の統計的平均像を推定する段階にある。これは、数千戸の建物の平均的な地震被害は相応の精度で予測できるが、個々の建物の被害やそのばらつきを予測することはできないのである。

地震被害に関する共通認識の形成は、防災計画の合理

化という直接的な効果の他に、市民の地震防災意識の向上³⁾にも効果がある。一般家屋の防災性向上は重要な課題であるが、市民の防災意識は十分ではない。実際、耐震改修への動機付けに乏しく⁴⁾、また、過去の地震記憶が急速に風化し、地震被害そのものが忘れ去られているのが現状である。地震被害の共通認識の形成は、個々の住民にとって、都市全体の被害に対する認識は勿論、「我が家の地震防災対策」の再考にもつながる。

共通認識の形成の手段として、本研究では、高度な数値シミュレーション⁵⁾を想定している。断層から発生する波動をベースにローカルな地盤の影響も考慮して当該地点地震動を計算し、都市全域の構造物一棟一棟に対し地震応答を解析するものである。その結果を可視化することで起こりうる地震被害の認識が格段に向上するとともに、地震のシナリオが変わった時の地震被害の差が明示できるため、共通認識の形成には有効であると考えられる。計算機の進歩により、このような大規模シミュレーションを可能とする計算機は既に開発されている。また、耐震工学の発展により、高度な構造物応答解析手法も利用できる。シミュレーションを実現するための課題は、コンピュータモデルの構築である。通常、設計図等

から構造物応答解析手法を適用するための計算モデルを起すには相応の手間がかかる上、対象とする一般家屋や構造物の戸数が都市内では数千から数万のオーダーに達するため、まさに膨大な作業が必要となる。

以上を背景とし、本研究は、急速に整備が進められている地理情報システム(Geographical Information System, GIS)を利用し、都市全域のコンピュータモデルを構築する手法の開発を試みた。モデル化の対象となる構造物の数が多いことは別にして、地震被害の共通認識形成という目的のためには、コンピュータモデルには精度等に関して要求事項があり、それを満足することは容易ではない。構築された手法では具体的な対応を講じている。

本論文の構成は以下の通りである。第2章において、広域都市モデルの要求性能を議論する。それを受けて、第3章ではGISを使った構造モデル構築法を説明する。第4章に東京都文京区を対象として構築されたコンピュータモデルを示す。地震被害の共通認識形成という目的の点から、モデルを使った地震被害予測のシミュレーション結果を議論する。

2. 広域都市モデル

信頼性の高い地震被害予測の共通認識は都市防災計画の合理化をもたらすことは論ずるまでも無く、既存不適格建物の耐震改修や耐震補強の促進にもつながる。著者らは、都市全体を対象とした大規模数値シミュレーションが共通認識の形成に有効であると考えている。シミュレーションを利用した仮想体験を通じて、住民一人一人が、「自分の住む地域で地震時に一体何が起こるのか」、「自分の家がどのように揺れるのか」という疑問に対し自分で答を見つけることを想定しているためである。

上記のような都市全体のシミュレーションを行うためには、仮想体験とはいえリアリティが重要である。本論文で言うシミュレーションのリアリティとは、数値計算結果を可視化する際の表現の現実感とともに、計算結果の信頼度を意味する。見逃されがちであるが計算結果の信頼度は重要である。リスク下での意思決定分析の理論である“Kahneman & Tversky's Prospective Theory⁶⁾”によると、発生の確率が低い事象であればあるほど、決定の確度が不安定になる。低頻度でしか発生しないリスクであっても、リスクの予測精度を向上させることが意思決定に際しての重要なポイントとなる。実際、予測精度の向上が意思決定の変化に結びついた例として、ここ数十年間の天気予報の予測精度の向上⁷⁾と気象情報の受け手の関係を挙げることができる。また、高度なCGを駆使した自然災害のパニック映画を観ても防災対策に結びつかないが、絵空事の映像であり信頼度がないことが理由

の一つとして挙げられる。

現実感があり信頼度が高いというリアリティのある都市全体の地震シミュレーションを行うためには、シミュレーションの対象となるコンピュータモデルも相応のものが要求される。以下、モデルの要求事項を整理する。

1. 現実感 シミュレーション結果は可視化されるが、その画像が実際の都市をイメージできる品質が必要である。
2. 3次元性 個々の建物や街、都市全体の被害をいろいろな視点から見る必要があるため、モデルは3次元である必要がある。
3. 詳細性 信頼度の高いシミュレーションを行うためには、高度な構造物応答解析手法を使わなければならないが、それには構造物の詳細な点もカバーしたモデルである必要がある。

モデルの現実感と3次元性は、シミュレーション結果の現実感に対応している。また、モデルの詳細性を上げることは、シミュレーション結果の信頼度を向上させるためには必須である。

上記の要求事項を満たしたモデルを構築する最大の問題点は、膨大な量の都市内構造物のデータを動的応答解析が可能な形でいかに合理的に取り込むことができるか、という点に集約される。従来、これは不可能に近いとされてきた。前述のHAZUSでは、構造材料(木材, レンガ, スチール, コンクリートなど)、構造タイプ(骨組み, せん断壁など)、および建築高さ(低層, 中層, 高層)の組み合わせにしたがって36のタイプ⁹⁾に建物を分類した簡易なモデルを利用している。このようなモデルの構築すら、都市内の個々の建物をこのカテゴリーにしたがって分類しなければならず、建物台帳の作成等、膨大な作業量が必要となる。なお、HAZUSの被害推定のための数値解析^{9), 10)}は初歩的なものであり、本研究の目指すリアリティのあるシミュレーションはこれと一線を画している。

近年、リモートセンシング技術を含む空撮技術の高度化により、膨大な量の都市空間情報の収集が可能となり、その結果、GISには位置情報以外にも構造物の多種多様な情報が集積されつつある。実際、個々の構造物を認識し、その情報をGIS内に再構築する技術も開発されている。車両に搭載されているカーナビゲーションシステム⁸⁾もその一例であり、道路周辺の構造物の詳細なイメージを運転手に供給している。すなわち、既存の都市空間情報を加工することで、個々の建物に対し、外形や高さなどの基本データを読み取り3次元的に再構築^{11), 12)}することが可能である。このようなGISを利用することで、現実感・3次元性・詳細性を満たす都市全体のコンピュータモデルの構築は可能である。

一方、コンピュータモデル構築の技術的課題は、構造モデルの構築にまで、都市空間情報の加工の度合いを高

めることである。カーナビゲーションや3次元デジタルマップでは、建物の形状に関する情報が都市空間情報から抽出されているが、形状に関する情報のみでは地震に対する構造解析はできない。材料特性や構造物特性を含んだ構造モデルが必要となる。構造モデルの構築は次章で検討する。

最後に、大規模数値シミュレーションのための都市域構造物のモデル化に関する次の点を強く指摘したい。低頻度巨大災害となる可能性を多く含む地震災害は、その発生自体の予知が難しいことは周知の事実である。しかし、地震動という揺れの結果として生ずる構造物の応答は、必要なデータさえ与えられれば、地震そのものを予測することに比べはるかに精度良く推定することが可能である。したがって、地震災害の不確定性の主要因は地震予知や地震動の予測の難しさに起因する。現在、「地震が来れば何が起こるか分からない」という暗黙の諦めが市民の間にあり、前述のように遅々として進まない不適格建物の問題はこの諦めの反映という面も多分にあると思われる。地震動のシナリオを用意し起こりうる構造物被害をシミュレートし、その結果をわかりやすく可視化することは、地震被害に対する市民の認識を変革させる可能性がある。より正しい地震被害の共通認識の形成に繋がるのである。

3. GIS データを利用した構造モデルの作成

利用できる GIS データは、Fig.1 に示すように建物の2次元断面と高さの情報であり、これらは 2.5 次元データと呼ばれることもある。2.5 次元とは CAD(Computer-Aided Design)用語であり、第3軸方向として高さの情報しか与えられていないものを指す。

建物の水平断面は、ポリゴンと呼ばれる多角形で表され、内部にも閉曲線を持っているものもある。本研究ではこれらのデータを最大限に利用し、建物群のモデル化を行う。その方法を以下に述べる。

3.1. 1 自由度モデル

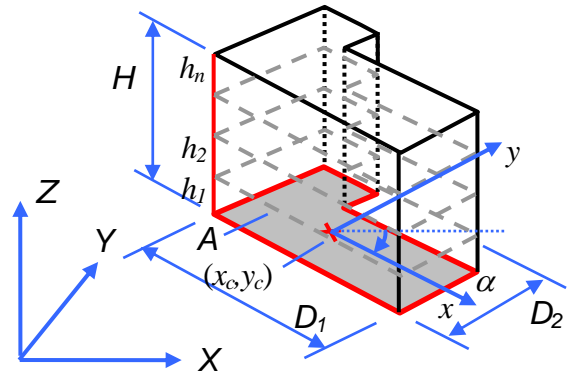
Fig.2 に示すような最も単純な1自由度系モデルを考える。この運動方程式は式(1)で与えられる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = p(t) \quad (1)$$

ここに m は建物の質量、 k はせん断剛性、 c は減衰係数である。ここで、建物の全質量は次式で与えられるものとする。



(a) GIS データのポリゴン



(b) GIS データの構造情報

Fig. 1 GIS データを用いた建物のモデル化

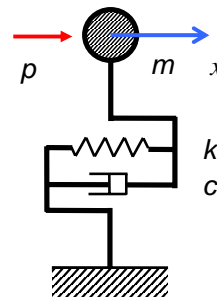


Fig. 2 構造物の1自由度モデル

$$m = \sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n \rho_i A_i = A \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (2)$$

ここに、 ρ_i および A_i はそれぞれ建物の第*i*層の密度と面積、 n は建物の階数、 H は建物の高さである。ただし、GIS データからは1つの建物について1つの投影断面だけしか得られないので、すべての階について同じ断面を採用している。

GIS のオリジナルデータには、建物の階数の情報は含まれていない。それゆえ、利用できる情報から建物の階数を推定しなければならない。密度の情報もまた同様である。本研究では、次式のように H と A の関数として階数 n と密度 ρ を算出した。

$$n = f_n(H, A) \quad (3)$$

$$\rho = f_p(H, A) \quad (4)$$

建物の振動特性は、その主方向によって特徴付けられ (Fig.1), その主方向は建物の輪郭から得られる。¹³⁾

構造物の動特性の中で最も重要なファクターの一つである固有周期 T は、その建物の高さ H_n と長さ D を用いれば、経験式から算定できる。種々の経験式が提案されているが、本研究では次式¹⁴⁾を採用した。

$$T = 0.035H_n^{3/4} \quad (\text{Steel}) \quad (\text{秒}) \quad (5.1)$$

$$T = 0.025H_n^{3/4} \quad (\text{RC}) \quad (\text{秒}) \quad (5.2)$$

$$T = 0.05 \times \frac{H_n}{\sqrt{D}} \quad (\text{Other}) \quad (\text{秒}) \quad (5.3)$$

ただし、上記の長さの単位は(ft)であるので、これを(m)に変換すると、2 方向に対応する固有周期は次式のように書き直すことができる。

$$T_{1,2} = 0.0906 \times \frac{H_n}{\sqrt{D_{2,1}}} \quad (5.4)$$

ひとたび周期が得られれば、1 自由度モデルの剛性は式(6.1)で計算できる。ただし、 ω は式(6.2)で表される固有円振動数である。

$$k = m\omega^2 \quad (6.1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (6.2)$$

式(1)における減衰係数 c については、それぞれ鋼構造物と RC 構造物の代表的な減衰比の値である (2%~3%) と 5% に対応する値を与えた。

本節では 1 自由度系および 2 自由度系モデルの構築に関する一般的なアプローチについて述べたが、ここで取り挙げなかった建物の分類等に関する問題については 3.3 で述べる。

3.2. 多自由度モデル^{10), 13), 14)}

一般的な建物は、通常、多自由度モデルで表される。Fig.3 に示されるように、各層それぞれに質量が集中したモデルであるが、問題は前節の手順に従って算定できる既知の 1 次固有振動数から、いかに各層のせん断剛性を決定するかに着目される。(付録 1)

3.3. 建物の分類¹³⁾

上述の手順によって、GIS データの基本的な幾何情報から建物の構造モデルが構築できるが、多自由度モデルに必要な構造材料の密度や建物各層の高さを経験公式な

どを用いて決定するためには、建物の構造種別、すなわち、その建物が木造か、鋼構造か、RC 建物かを知る必要がある。ここでは、限られた幾何情報を利用して、Table A1(付録 2)にしたがって建物の分類を行った。

この方法にはまだまだ改良の余地が残されているが、これに従えば、建物の設計の一般的な知識のみで建物の構造種別の分類をある程度合理的に行えることがわかる。

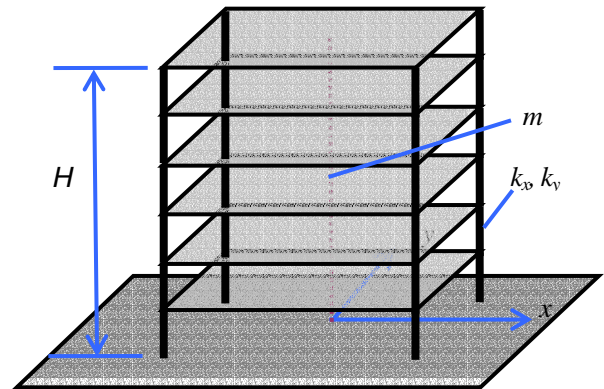


Fig. 3 構造物の多自由度モデル

4. 東京都文京区への開発手法の適用^{15), 16), 17)}

本章では、これまで述べた手法に従って、東京都文京区の一隅 (2km × 1.5km: Fig.4) の GIS データを加工する。この地域内の建物の総数は 10,000 棟を超えている。Fig.4 の一部をクローズアップしたものを Fig.5 に示す。それぞれの建物の内部に引かれた線が、図心と主方向、そして主方向に沿った基準長さの半分の長さを表す。これらの建物群の 3 次元的な眺めを示したものが Fig.6 である。鉛直方向の線が建物の高さを、線上のボックス/ドットが建物の階数にそれぞれ対応している。

ほとんどの建物においては、計算された建物の主方向がその幾何形状とよく一致していることがわかる (Fig.5)。しかし、幾何形状が適切に表現できていないいくつかの建物も存在する (Fig.7)。Fig.7(a) は本来 2 つの建物であるべきところが上手く分離されていない例、Fig.7(b), (c) は建物でない部分が建物の一部として取り入れられてしまっている例、Fig.7(d) は主方向を探すアルゴリズムが、建物が複雑なジグザグ形状をしているため適切に動作しなかった例である。他の多くのケースではアルゴリズムが上手く動作している。

以上より、提案手法を用いれば膨大な量の建物群を首尾よくモデル化できることがわかった。ただし、オリジナル GIS データにも構造モデルを作る上での欠陥があることも明らかになったので、これをアルゴリズム上で補う手法の開発や、ある程度の手作業を介しての調整もまた必要であろう。



Fig.4 東京都文京区のブロック(2km×1.5 km)



Fig.5 東京都文京区の一角のクローズアップ

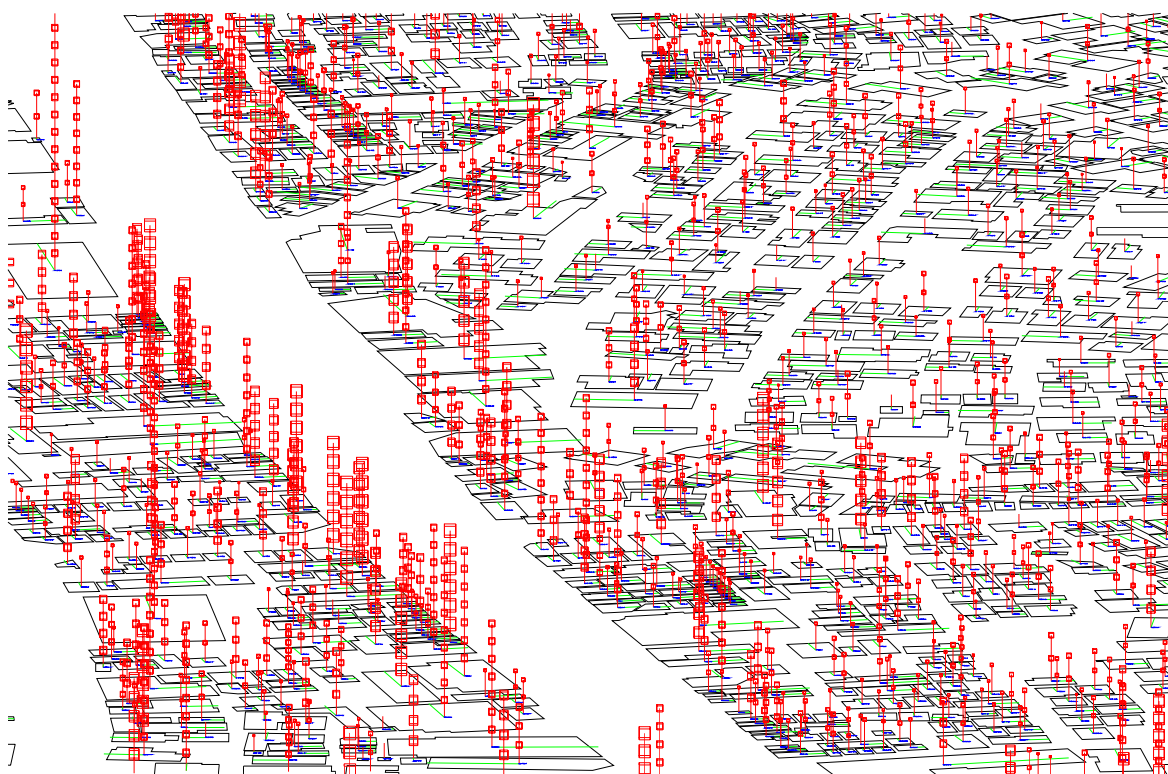


Fig.6 3次元のクローズアップ図



Fig.7 建物のモデル化が困難な例

5. まとめとあとがき

本研究では、3次元GISデータならびに構造諸元の推定式を利用して、膨大な量の建物群を動的応答計算が可能な形で自動的にモデル化する手法を提案した。

地震災害による人的・物的被害や経済被害の予測制度を向上させるためには、従来の統計解析に基づく静的な回帰式による被害推定法に加え、構造物の動的応答解析が必要不可欠である。本研究では、広域的な3次元地理情報システム(GIS)の基本データを基に、動的応答解析が可能な、都市内の数千から数万オーダー(あるいはそれ以上)の建物群のモデル化を行なうための方法論を展開した。一例として、東京都文京区を対象に、GISデータから建物群のモデル化を試みた。

HAZUSは確率的な手法で都市の地震に対する脆弱性を評価する一般的な手法を提示している。しかし、その解析のためには、ここの施設・構造物に関する膨大なデータを用意しなくてはならないという問題がある。本論文では、その困難を解決するための新しい手法を提案している。それに加えて、個々の建物に対して地震応答解析を行うものでより精度の高い評価が可能になる。現在はまだ開発途上であるが、今後、実際の建物に適用し、その精度の確認、モデルの改良を行って行きたい。また、建物のより詳細な3次元形状、使用目的、年齢などもGISに取り込むこともあわせて行っていく予定である。

参考文献

- 1) Department of Humanitarian Affairs (DHA), (1994). *Disaster Mitigation*, (2nd edition).
- 2) HAZUS System by the Federal Emergency Management Agency (FEMA), <http://www.fema.gov/hazus/>.
- 3) 土木学会(2002)「特集 大地震に備える」『土木学会誌』, 87(12), 5-45.
- 4) 読売新聞中部版(2002), 木造耐震診断半額補助 愛知の10市町村99.8%が受けず, 8月29日朝刊.
- 5) Zhu P., Abe M. and Kiyono J. (2003). Challenges on Computer Based Simulations and Visualizations for Urban Earthquake Disaster Mitigation, *JCOSSAR2003: The Fifth Japan Conference on Structural Safety and Reliability*, Japan.
- 6) Kahneman D. and Tversky A. (edited) (2000). *Choices, Values, and Frames*: New York, Cambridge University Press.
- 7) 気象庁(2003)「この半世紀の予報精度」『気象庁ホームページ』, http://www.data.kishou.go.jp/yohou/kensho/yohohyoka_top.html.
- 8) 例えば、ソニー(2004)リアル3D動画地図を搭載したAV

ナビシステム, <http://www.sony.jp/products/me/xyz/index.html>.

- 9) HAZUS 99 (SR2) Advanced Engineering Building Module, Technical and User's Manual, <http://www.fema.gov/hazus/>.
- 10) Clough RW. and Penzien J. (1993). *Dynamics of Structures (second edition)*: New York, McGraw-Hill, Inc.
- 11) Debevec P., Taylor C. and Malik J. (1996). Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. In H. Rushmeier, editor, *Computer Graphics, Proc. SIGGRAPH 96*, Addison Wesley, 11-20.
- 12) Brenner C. and Haala N. (2001). Automated Reconstruction of 3D City Models. In Abdelguerfi, M. (ed), *3D Synthetic Environment Reconstruction*. Kluwer Academic Publishers, 75-101.
- 13) Zhu P. Hori M. Kiyono J. and Fujino Y. (2004). Constructing Structural Database Using 3D GIS Data for urban Earthquake Disaster Simulation, *Proceedings of The third International Conference on Continental Earthquake (III ICCE)*.
- 14) 地震荷重 その現状と将来の展望 (Seismic Loading - state of the art and future developments) (1987) 日本建築学会(株)丸善.
- 15) Zhu P. Abe M. Kiyono J. (2004). Managing 3D GIS Data for Simulating Urban Earthquake Disasters, *Proceedings of JSCE Annual Conference*, Japan
- 16) Yang, F., Ichimura, T. and Hori, M.. (2002). Earthquake Simulation in Virtual Metropolis using Strong Motion Simulator and Geographic Information System, *Journal of Applied Mechanics*, JSCE, Vol. 5, pp. 527-534.
- 17) Ichimura T., Terada K., Hori M. and Yamakawa T. (2003). Basic Discussion for Development of Integrated Earthquake Disaster Simulator to Provide Advanced Earthquake Disaster Information (keynote speech), *JCOSSAR2003: The Fifth Japan Conference on Structural Safety and Reliability*, Japan.

付録1 . 多自由度モデル

多自由度系の運動方程式は次式で与えられる .

$$\mathbf{m}_{N \times N} \ddot{\mathbf{z}}_N + \mathbf{c}_{N \times N} \dot{\mathbf{z}}_N + \mathbf{k}_{N \times N} \mathbf{z}_N = \mathbf{p}_N(t) \quad (\text{A1})$$

ここに, N は自由度数である .

せん断剛性と固有振動数との関係を見るために, 次式のような多自由度系の質量と剛性が既知である場合の方程式を考える .

$$\mathbf{m}_{N \times N} \ddot{\mathbf{v}}_N + \mathbf{k}_{N \times N} \mathbf{v}_N = 0 \quad (\text{A1.1})$$

多自由度系の定常解は次式で与えられる .

$$\mathbf{v}_N(t) = \hat{\mathbf{v}}_N \sin \omega t \quad (\text{A1.2})$$

ここに, $\hat{\mathbf{v}}_N$ は定常振動のそれぞれの振動数に対応する振幅である .

式(A1.2)を式(A1.1)に代入すると式(A1.3)を得る . 式(A1.3)において自明解以外の解が存在する条件は式(A1.4)で与えられる .

$$[\mathbf{k} - \omega^2 \mathbf{m}] \hat{\mathbf{v}} = 0 \quad (\text{A1.3})$$

$$|\mathbf{k} - \omega^2 \mathbf{m}| = 0 \quad (\text{A1.4})$$

式(A1.4)で求められた円振動数 を再び式(9.3)に代入すると, その振動数に対応した振動形状が次式より得られる .

$$[\mathbf{k} - \omega_i^2 \mathbf{m}] \hat{\mathbf{v}}_i = 0 \quad (\text{A1.5})$$

式(A1.5)より得られた式(A1.6)を用いると n 次のモードベクトルは式(A1.7)で与えられる .

$$\hat{\mathbf{v}}_i = \begin{Bmatrix} \hat{v}_{1i} \\ \hat{v}_{2i} \\ \vdots \\ \hat{v}_{Ni} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \hat{v}_{2i} \\ \vdots \\ \hat{v}_{Ni} \end{Bmatrix} \quad (\text{A1.6})$$

$$\boldsymbol{\phi}_n = \begin{Bmatrix} \phi_{1n} \\ \phi_{2n} \\ \vdots \\ \phi_{Nn} \end{Bmatrix} \equiv \frac{1}{\hat{v}_{mn}} \begin{Bmatrix} 1 \\ \hat{v}_{2n} \\ \vdots \\ \hat{v}_{Nn} \end{Bmatrix} \quad (\text{A1.7})$$

モード関数は, 構造物の振動性状を把握する上で非常に重要な要因である . モードの直交性を利用すると, 多自由度系は独立な N 個のモードに分解でき[(A2.1)-(A2.6)], したがって, 各階の応答はそれぞれのモードの重ね合わせで表現できることになる .

$$M_n \ddot{Y}_n + C_n \dot{Y}_n + K_n Y_n = P_n(t) \quad (\text{A2.1})$$

$$\hat{\mathbf{v}}_n = \boldsymbol{\phi}_n Y_n \quad (\text{A2.2})$$

$$M_n \equiv \boldsymbol{\phi}_n^T \mathbf{m} \boldsymbol{\phi}_n \quad (\text{A2.3})$$

$$C_n \equiv \boldsymbol{\phi}_n^T \mathbf{c} \boldsymbol{\phi}_n \quad (\text{A2.4})$$

$$K_n \equiv \boldsymbol{\phi}_n^T \mathbf{k} \boldsymbol{\phi}_n \quad (\text{A2.5})$$

$$P_n(t) = \boldsymbol{\phi}_n^T \mathbf{p}(t) \quad (\text{A2.6})$$

モード解析によって固有振動数とモードベクトルがわかれば, 多自由度系は1自由度系に分解されるが, 通常の構造物では経験的に1次モードが卓越することが知られている .

Fig. A1は建物のある断面のモデルを示したものであるが, 考えられる1次のモードの形状はFig. A2に示すように (b) せん断型(shear), (c) 曲げ型(bending), (d) ミキシング(mixing=shear+bending) の3つである . このうち, (b) のせん断型が最も一般的である .

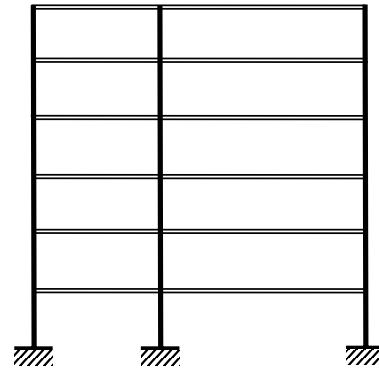


Fig. A1 建物のある断面のモデル(多自由度系)

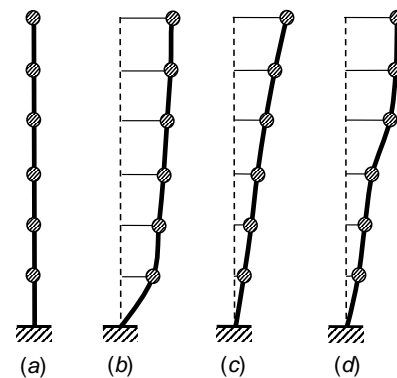


Fig. A2 一般的な建物の振動モード形状(1次)

付録2 . GIS情報を利用して分類した建物種別 (Table A1)

H	A ≤ 10	10 < A ≤ 100	A > 100
≤ 3	Not likely a building, give up this record	Same as left	Same as left
3 ~ 12	Same as above	A private timber house T=timber h=3.8, q=250	A public building, a shop, an office building etc. T=steel h=4, q=300
12 ~ 50	Same as above	A public building T=RC h=4, q=400	Same as left
> 50	Same as above	A public building T=steel/RC h=4, q=400	A public building T=steel h=4, q=400

Notes available GIS data:
 H – height of building [m]
 A – area of building [m²]
 desire information
 T – type of building
 h – height of each story [m]
 q – mass density of each story [kg/m²]

TOWARDS CONSTRUCTING COMPUTER MODEL OF METEROPOLIS
 FOR CONSENSUS RECOGNITION OF EARTHQUAKE HAZARD

Ping ZHU¹, Muneo HORI², Junji KIYONO³ and Yozo FUJINO⁴

¹Ph.D. (Civil Engineering) Researcher, Research Institute of Science and Technology for Society,
 Japan Science and Technology Agency (E-mail: zhu@ristex.jst.go.jp)

²Ph.D. (Applied Mechanics) Professor, Earthquake Research Institute, University of Tokyo
 (E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp)

³Dr.Eng. (Civil Engineering) Associate Professor, Department of Urban Management, Kyoto University
 (E-mail: kiyono@quake.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

⁴Ph.D. (Civil Engineering) Professor, Department of Civil Engineering, University of Tokyo
 (E-mail: fujino@civil.t.u-tokyo.ac.jp)

To make reasonable policies of earthquake disaster reduction, it is necessary for local authorities, civilians and engineering professionals to have consensus recognitions of earthquake hazard. A vivid simulation of seismic damage of structures within a city, in both views of all buildings in the city and individual houses, is helpful in making the consensus. As advance of computer technologies and structural analysis methods, it is possible to conduct digital simulation and visualization of seismic response for a whole city. But a big problem remaining is how to model all the structures, mainly buildings, of a city. On utilizing 3D GIS data, this study provides a method of constructing structural models of huge amount of buildings of a city, which enables seismic analysis of building structures. An illustration is also give by constructing building models of Bunkyo-ku, Tokyo using available GIS data.

Key Words: Earthquake disaster mitigation, Structural modeling of huge amount of buildings, Seismic response, Dynamic analysis, 3D GIS