断層破壊のシナリオとその生起確率を考慮した地震ハザード解析に関する研究

—断層モデルによる予測地震動を建物の性能設計法に実装するために—

SEISMIC HAZARD ANALYSIS BASED ON FAULT RUPTURE SCENARIOS
AND THEIR OCCURRENCE PROBABILITY—For implementation of strong ground motions predicted by fault models
in performance-based design of structures—

壇 一男*, 神原 浩**, 藤川 智**, 菊地 優***

*Kazuo DAN, Hiroshi KAMBARA, Satoshi FUJIKAWA
and Masaru KIKUCHI*

Prediction technique of strong ground motions has been intensively developed in Japan since the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake (M_j 7.3), and it has been applied to the practical prediction for inland earthquakes and plate-boundary earthquakes by Japanese Government. On the other hand, recent earthquakes of the 2001 Geiyo earthquake (M_j 6.4) and the 2004 Mid Niigata prefecture earthquake (M_j 6.8) arose not only requirements of safety of lives and structural elements but also requirements of function of equipments and industrial lines. These requirements are well realized in the performance-based design of structures. Hence, we proposed a method of seismic hazard analysis based on fault rupture scenarios and their occurrence probability for implementation of strong ground motions predicted by fault models in performance-based design of structures.

Keywords: fault rupture scenario, occurrence probability, fault model, strong ground motion, seismic hazard, performance-based design

断層破壊のシナリオ, 生起確率, 断層モデル, 強震動, 地震ハザード, 性能設計

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震(M_j 7.3)以降、断層モデルによる強震動予測手法に関する研究が精力的にすすめられている(日本建築学会, 2005¹⁾など)。この成果をうけて、内陸地震やプレート境界地震による広域における強震動の予測も、地震防災策の立案のために、政府の中央防災会議(2003²⁾, 2004³⁾)や地震調査研究推進本部(2004a⁴⁾, 2004b⁵⁾)などにより急速にすすめられ、膨大な強震動の予測結果が蓄積されつつある。

一方、2001年芸予地震(M_j 6.4)や2004年新潟県中越地震(M_j 6.8)などの最近の地震では、建物の倒壊よりも、むしろ、外装材や内装材、設備機器、あるいは生産ラインの被害が問題となっている(畠中・増田, 2001⁶⁾; 清家・名取, 2005⁷⁾)。そのため、従来の人命保護、構造体維持だけではなく、多様な部位の耐震性能確保の要求が増大しつつある(日本建築構造技術者協会, 2002⁸⁾; 中央防災会議, 2005⁹⁾)。

地震工学の分野では、以前より、断層モデルによる強震動予測とその成果の耐震設計への応用が行われていたが(太田・他, 1991¹⁰⁾; 壇・他, 2000¹¹⁾)など、広域でかつさまざまな強さの地震動を対象にはしていなかったため、上述したような建物の多様な耐震性能を検討できる方法とはなっていなかった。

そこで、本研究では、断層モデルによる予測地震動を建物の性能

設計法に実装することを目指として、断層破壊のシナリオとその生起確率を考慮した地震ハザード解析の方法を提案するとともに、地震ハザード解析結果をもとに、建物の多様な耐震性能を考慮したうえで、数多くの断層モデルによる膨大な予測地震動から、適切な設計用入力地震動を選定する方法を検討することとした。

本論文は、そのうち、断層破壊のシナリオとその生起確率を考慮した地震ハザード解析の方法を提案するとともに、具体的な適用事例を示したものである。以下、第2章では断層破壊のシナリオを考慮した地震ハザード解析の概要について、第3章では想定地震の断層破壊のシナリオについて、第4章では設定した断層破壊のシナリオの生起確率の算定について述べる。また、第5章では地震ハザードの解析結果と設計用入力地震動の選定例を示す。

具体的な適用事例としては、中田・他(2004)など^{12)~14)}により、すでに、名古屋三の丸において東海地震や直下地震などの複数の想定地震の地震動が経験的グリーン関数法で計算されているので、そこでの事例を示すこととした。

2. 断層破壊のシナリオを考慮した地震ハザード解析の概要

地震ハザード解析の方法として、地震カタログのマグニチュードと震源位置から地震動強さを計算する河角流の方法(Kawasumi,

* 清水建設㈱ 博士(工学)

** 清水建設㈱ 工修

*** 北海道大学 博士(工学)

Shimizu Corporation, Dr. Eng.

Shimizu Corporation, M. Eng.

Hokkaido University, Dr. Eng.

図1 断層破壊のシナリオを考慮した地震ハザード解析の流れ

1951)¹⁵⁾と地震の規模と震源位置を確率モデルに置換して地震動強さを計算するコーネル流の方法 (Cornell, 1968)¹⁶⁾とがあるが、いずれも地震動の計算に距離減衰式を用いるのが一般的である。

断層モデルで地震動を計算するには、多くのパラメータを設定する必要があるため、本論文では、距離減衰式を用いる上述の地震ハザード解析を、亀田・他 (1997)¹⁷⁾にしたがい、断層モデルで地震動を評価する想定地震の選定のための予備的解析と位置づけることとした。

断層破壊のシナリオを考慮した地震ハザード解析の流れを図1に示す。この流れは、[1] 解析地点周辺の地震環境の調査、[2] 予備的な地震ハザード解析、[3] 断層モデルで地震動を評価する想定地震の選定、[4] 強震動シミュレーション、[5] 地震ハザード曲線の算定、[6] 多様な建物部位の耐震性能確保のための設計用入力地震動の選定の6つのステップから構成されている。各ステップの概要を以下に示す。

[1] 解析地点周辺の地震環境の調査

地震の生起確率を算定するために、歴史地震に関する資料として、地震の発生年、位置、マグニチュードの情報を、活断層に関する資料として、活動間隔の平均値と変動係数、最新活動時期の情報を収集する。

また、想定地震の断層破壊のシナリオを設定するために、微小地震の震源位置やメカニズム解、地殻変動の情報を収集する。

[2] 予備的な地震ハザード解析

解析地点周辺の地震環境の調査結果と地震動強さの距離減衰式を用いて、地震ハザード曲線を算定し、ついで、断層モデルで地震動

を評価する想定地震を選定するために、各地震の寄与率、すなわち、地震ハザード曲線上である地震動強さをもたらす各地震の発生頻度を、その地震動強さをもたらす全部の地震の発生頻度で割った値を求める。

本論文では、名古屋三の丸における予備的な地震ハザード解析結果として、コーネル流の方法による奥村・他 (2001)¹⁸⁾の結果を用いた。

[3] 断層モデルで地震動を評価する想定地震の選定

予備的な地震ハザード解析の結果をうけて、対象とする建物部位の耐震性能に影響を与える可能性のある地震をすべて選定する。建物部位と耐震性能の参考として、表1に、日本建築構造技術者協会 (2002)⁸⁾による例を示す。この例は、耐震性能グレードが上級の場合のものであるが、要求性能には、建築主の要求や建築物の用途に応じて定めるものと、最低限度の要求として社会的に求められるものがあり、両方の性能を満たす必要があるとされている。

本論文で事例として示す中田・他 (2004) など^{12)~14)}では、既存の官庁建物の耐震改修用の入力地震動の策定を行っており、断層モデルで地震動を評価する想定地震として、西暦2000年から100年間の地震動強さ (最大加速度と最大速度) の超過確率が2~63%となる7つの地震、すなわち、想定新東海地震、想定濃尾平野西縁地震、想定猿投山北地震、想定伊勢湾地震、推定伏在断層による想定地震、逆断層による想定名古屋浅発直下地震、横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震を選定している。なお、100年間の超過確率が2~63%の地震動強さを考えることは、定常過程を仮定すると、100~5000年に平均的に少なくとも1回超える地震動強さを考えることになる。

表 1 耐震性能グレードが上級の場合の建物部位と性能項目の例 (日本建築構造技術者協会, 2002)⁸⁾

荷重	構造骨組	構造部材	非構造部材	設備機器
まれに作用する地震荷重 中地震動 数十年に一度発生する程度の地震 震度 V 弱	構造骨組に目で見てわかるような残留変形や傾斜が認められない。	構造部材には損傷が認められない。	壁などごく一部に外観上の軽微な損傷が生じることがあるが、その他は特に損傷が認められない。	点検は要するが機能上の実質的な被害は生じない。補修を要せず継続的に使用できる。
極めてまれに作用する地震荷重 大地震動 数百年に一度発生する程度の地震 震度 VI 弱～VI 強	若干の残留変形が認められ、耐震性は多少低下するが、余震には耐えられる。	構造部材の一部に若干の強度低下を伴う損傷が生じるが、直ちには補修を要しない。	ある程度の損傷が生じるが、安全上からの応急補修は必要としない。限定された修復によって復旧できる。	ある程度の損傷が生じるが、補修により復旧できる。特定された機能または機器については、一定期間その機能の一部が維持される。

[4] 強震動シミュレーション

選定した想定地震による強震動を予測するために、断層破壊のシナリオを設定するとともに、地震ハザード解析のために、各シナリオの生起確率を算定する。予測地震動の生起確率は、各断層破壊のシナリオの生起確率である。

[5] 地震ハザード曲線の算定

断層モデルにより予測した地震動が用意されていると、最大加速度、最大速度、応答スペクトル、総入力エネルギーなどの地震動強さ、最大層間変形角、最大塑性率、累積塑性率などの特定の建物の応答値を計算することができる。したがって、対象とする建物部位の耐震性能を評価するために最も適切な物理量を指標として、地震ハザード曲線を求めることができる。

[6] 多様な建物部位の耐震性能確保のための設計用入力地震動の選定
上の [5] で算定した地震ハザード曲線を用いて、要求性能に対応する予測地震動を選定する。

表 1 に示した建物部位と耐震性能の例では、まれに作用する地震荷重として数十年に一度発生する程度の地震、および極めてまれに作用する地震荷重として数百年に一度発生する程度の地震となっているが、本論文で示す事例では、予測地震動 26,334 波形のうちから、最大速度を指標として、再現期間が 100 年のときの地震動を 2 波選定した。

実務では、対象とする建物部位が複数の場合も多いため、指標が異なる複数のハザード曲線から数多くの予測地震動を選定することになると考えられる。このような場合、設計用入力地震動として、多くの予測地震動をそのまま設計用入力地震動とする方法と、統計処理により共通の性質を抽出したうえで、新たに、模擬地震動を作成し、それを設計用入力地震動とする方法があり、この点については、現在、研究中である。

3. 想定地震の断層破壊のシナリオ

想定地震の断層破壊のシナリオのうち、想定新東海地震と推定伏在断層については、中田・他 (2004) など^{12)~14)}によるものを、想定濃尾平野西縁地震については、愛知県防災会議 (2003)¹⁹⁾によるものを、想定猿投山北地震と想定伊勢湾地震については、渡辺・他 (2001)²⁰⁾によるものを用いた。また、逆断層による想定名古屋浅発直下地震と横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震については、

原子力安全基盤機構 (2004)²¹⁾による震源を特定しにくい地震の断層破壊のシナリオに準拠して、6 とおりのマグニチュードと 121 とおりの断層位置を設定した。

以下、想定地震ごとに、第 4 章で断層破壊のシナリオの生起確率を算定するときに必要となる情報とともに、断層破壊のシナリオとそれに基づく断層モデルの概要を述べる。

1) 想定新東海地震

本論文での想定新東海地震は、東海地震と東南海地震が連動する地震であり、中田・他 (2004) など^{12)~14)}は、この地震の断層モデルとして、中央防災会議 (2003)²⁾のモデルを採用している。ただし、プレート境界面の形状は壇・他 (2001)²²⁾に準拠している。中央防災会議 (2003)²⁾のモデルは、これまでに起った東海地震や東南海地震の震度分布を説明できるように決められたモデルである。中田・他 (2004) など^{12)~14)}による想定新東海地震の断層モデルを図 2 に示す。

実際の強震動の予測では、東側の要素断層では、東海地震側で起こった 2001 年 2 月 23 日の地震 ($M_j 5.3$) と 2001 年 4 月 3 日の地震 ($M_j 5.3$) の 2 つの要素地震を、一様乱数を使って割り当て、西側の要素断層では、東南海地震側で起こった 2000 年 10 月 31 日の地震 ($M_j 5.7$) と 2004 年 1 月 6 日の地震 ($M_j 5.2$) の 2 つの要素地震を、一様乱数を使って割り当てている。ここに、一様乱数は、予測した強震動の平均値と標準偏差がカバーできるように、11 とおりの組を生成させている。

さらに、要素地震を断層面に格子状に配置すると、特定の周期の地震動が人工的に強調されることがあるため、要素地震を、各要素断層内において一様乱数を使ってランダムに配置している。ここでも、一様乱数は、予測した強震動の平均値と標準偏差がカバーできるように、11 とおりの組を生成させている。図 2 (b) に要素地震の配置の例を示す。

したがって、想定新東海地震では、断層破壊のシナリオとして、11×11 のケースを考え、水平 2 成分と上下 1 成分で、合計 363 波を計算している。

本論文では、要素断層によって割り当てる要素地震を変えることは、要素断層の震源時間関数を変えることになるため、これを断層破壊のシナリオが異なるとして扱った。また、要素地震の配置を変えると、地震波の到着時刻が変わることになり、破壊伝播速度を変

(a) 断層モデル

(b) 要素地震の配置 (図中の黒点) の例

図2 想定新東海地震の断層モデルと要素地震

断層モデルのうち灰色の部分はアスペリティ、☆印は破壊開始点、★印は経験的グリーン関数に用いた要素地震の震央位置、■は計算地点(名古屋三の丸)である。

えた効果と同じになるため、これも断層破壊のシナリオが異なるとして扱った。

2) 想定濃尾平野西縁地震

想定濃尾平野西縁地震は、濃尾平野の西の縁を画する養老-桑名断層系に起因する想定地震である。愛知県防災会議(2003)¹⁹⁾による断層モデルを図3に示す。

実際の強震動の予測では、図3に示す1998年4月22日の地震(M_J 5.2)を要素地震として、11とおりの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。したがって、想定濃尾平野西縁地震では、断層破壊のシナリオとして、11のケースを考え、水平2成分と上下1成分で、合計33波を計算している。

3) 想定猿投山北地震

想定猿投山北地震は、濃尾平野の北東に位置する猿投山北断層に起因する想定地震である。渡辺・他(2001)²⁰⁾による断層モデルを図3に示す。

実際の強震動の予測では、図3に示す1999年11月29日の地震(M_J 4.8)を要素地震として、11とおりの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。なお、この要素地震は、想定猿投山北地震の断層面からやや離れたところで起こっているが、ほかに適切な地震記録がないことから、この要素地震を経験的グリーン関数として用いている。

4) 想定伊勢湾地震

想定伊勢湾地震は、知多半島沿いに位置する伊勢湾-内海断層系に起因する想定地震である。渡辺・他(2001)²⁰⁾による断層モデルを図3に示す。

実際の強震動の予測では、図3に示す1999年11月29日の地震(M_J 4.8)を要素地震として、11とおりの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。なお、想定猿投山北地震と同じ

図3 活断層に起因する地震の断層モデルと要素地震

断層面のうち灰色の部分はアスペリティ、☆印は破壊開始点、★印は経験的グリーン関数に用いた要素地震の震央位置、■は計算地点(名古屋三の丸)である。

く、この要素地震も、想定伊勢湾地震の断層面からやや離れたところで起こっているが、ほかに適切な地震記録がないことから、この要素地震を経験的グリーン関数として用いている。

5) 推定伏在断層による想定地震

推定伏在断層とは、中田・今泉(2002)²³⁾によって指摘されている名古屋三の丸をはさんで南北に走る2つの伏在断層のことである。中田・他(2004)など^{12)~14)}は、図3に示すように、これを1枚の断層面でモデル化している。

この地震は名古屋三の丸の直下に位置しているため、破壊開始点

位置が、強震動パルス(宮武, 1998)²⁴⁾の生成に大きく影響を与えることを考慮して、破壊開始点は、図3に☆で示すように、3箇所を設定している。

実際の強震動の予測では、想定猿投山北地震と同じく、図3に示す1999年11月29日の地震(M_j 4.8)を要素地震として、11とおりの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。したがって、推定伏在断層による想定地震では、断層破壊のシナリオとして、 3×11 のケースを考え、水平2成分と上下1成分で、合計99波を計算している。

6) 逆断層による想定名古屋浅発直下地震

原子力安全基盤機構(2004)²¹⁾による震源を特定しにくい地震の断層破壊のシナリオに準拠して、 $M_j=5.5, 6.0, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8$ で、断層深さを浅いもの、中間のもの、深いもの、アスペリティの実効応力を大(191 bar)、中(139 bar)、小(109 bar)のもの、計31とおりを考えた。また、推定伏在断層の走向が南北であること、およびGPS観測よりこの地域の地殻の圧縮軸はほぼ東西方向であること(建設省国土地理院, 1999)²⁵⁾より、逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層面の走向は南北とし、各断層面を、名古屋三の丸を中心とした $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ の領域の中に、 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ の間隔で121地点に配置した。断層モデルの設定例を図4に、断層破壊のシナリオのまとめを付表2に示す。

逆断層による想定名古屋浅発直下地震では、断層破壊のシナリオとして、 $31 \times 121=3,751$ とおりを考え、水平2成分と上下1成分で、合計11,253波を計算することになる。

実際の強震動の予測では、図3に示す1999年11月29日の地震(M_j 4.8)を要素地震として、1とおりのみの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。要素地震の配置を1とおりのみしか考えていないのは、第4章で示すように、逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオの生起確率が非常に小さいためである。なお、計算地点から見て西方の養老断層付近に位置する断層モデルでは、1998年4月22日の地震(M_j 5.2)を要素地震として用いたほうが良いと考えられるが、ここでは、簡単のために、すべての断層モデルで1999年11月29日の地震(M_j 4.8)を要素地震とした。

7) 横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震

原子力安全基盤機構(2004)²¹⁾による震源を特定しにくい地震の断層破壊のシナリオに準拠して、 $M_j=5.5, 6.0, 6.5, 6.8, 7.1, 7.3$ で、断層深さを浅いもの、中間のもの、深いもの、アスペリティの実効応力を大(191 bar)、中(139 bar)、小(109 bar)のもの、計40とおりを考えた。また、この地域の地殻の圧縮軸はほぼ東西方向であることより、断層面の走向は北東-南西とし、各断層面を、名古屋三の丸を中心とした $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ の領域の中に、 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ の間隔で121地点に配置した。

断層モデルの設定例を図5に、断層破壊のシナリオのまとめを付

図4 逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層モデルの設定例

図5 横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の断層モデルの設定例

表3に示す。

横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震では、断層破壊のシナリオとして、 $40 \times 121=4,840$ とおりを考え、水平2成分と上下1成分で、合計14,520波を計算することになる。

実際の強震動の予測では、逆断層による想定名古屋浅発直下地震と同じく、図3に示す1999年11月29日の地震(M_j 4.8)を要素地震として、1とおりのみの一様乱数の組を使って各要素断層内にランダムに配置している。

4. 断層破壊のシナリオの生起確率の算定

各想定地震の生起確率は、地震調査研究推進本部(2001)²⁶⁾による長期的な地震発生確率の評価手法に準じて、最新活動時期がわかっている地震についてはBPT(Brownian Passage Time)分布に従う更新過程を、最新活動時期がわかっていない地震についてはポアソン分布に従う定常過程として算定した。すなわち、想定新東海地震、想定濃尾平野西縁地震、想定猿投山北地震については、活動間隔の平均値 μ と変動係数 α (変動係数=標準偏差/平均値)、および最新活動時期から評価時点までの時間 T をパラメータとするBPT分布、想定伊勢湾地震および推定伏在断層による想定地震については、活動間隔の平均値 μ をパラメータとするポアソン分布、逆断層による想定名古屋浅発直下地震および横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震については、地震カタログから求められた規模別頻度分布

(Gutenberg-Richter 式)と地表地震断層を伴わない確率により算定した活動間隔の平均値 μ をパラメータとするポアソン分布を適用した。ここに、奥村・他 (2001)¹⁸⁾と同じく、評価時点を西暦 2000 年、評価時点からの期間を 100 年とした。

各想定地震の具体的な数値と 3 章で述べたひとつずつの断層破壊のシナリオの生起確率は、以下のように算定した。算定結果は、まとめて、付表 1、付表 2、付表 3 に示す。

1) 想定新東海地震

地震調査研究推進本部 (1999)²⁷⁾ による値を参考に、活動間隔の平均値 μ を 93 年、変動係数 α を 0.23、最新活動時期を 1944 年東南海地震、最新活動時期から評価時点までの時間 T を 55 年とすると、BPT 分布を用いて、西暦 2000 年時点の 100 年生起確率 $P_{100k}(PGV)$ は 0.9910 と算定される。ここに、 k は各想定地震につけた番号で、想定新東海地震の場合、 $k=1$ である。

また、想定新東海地震は、121 ケースの断層破壊のシナリオを考えているので、1 ケース当たりの 100 年生起確率 $P_{100ki}(PGV)$ は下式により 0.038182 となる。

$$P_{100ki}(PGV) = 1 - [1 - P_{100k}(PGV)]^{1/n} \quad (1)$$

ここに、 i は各ケースにつけた番号で、 $i=1 \sim n$ である。また、 n はケースの数で、想定新東海地震の場合、 $n=121$ である。

2) 想定濃尾平野西縁地震

宮腰・他 (2001)²⁸⁾に従い、活動間隔の平均値 μ を 1500 年、変動係数 α を 0.5、最新活動時期を 1585 年天正地震、最新活動時期から評価時点までの時間 T を 414 年とすると、BPT 分布を用いて、西暦 2000 年時点の 100 年生起確率は 0.0144 と算定される。想定濃尾平野西縁地震は、11 ケースの断層破壊のシナリオを考えているので、(1) 式で $n=11$ とすると、1 ケース当たりの 100 年生起確率は 0.001318 となる。

3) 想定猿投山北地震

宮腰・他 (2001)²⁸⁾による値を参考に、活動間隔の平均値 μ を 5000 年、変動係数 α を 0.5、最新活動時期から評価時点までの時間 T を 2750 年とすると、BPT 分布を用いて、西暦 2000 年時点の 100 年生起確率は 0.0226 と算定される。想定猿投山北地震は、11 ケースの断層破壊のシナリオを考えているので、(1) 式で $n=11$ とすると、1 ケース当たりの 100 年生起確率は 0.002076 となる。

4) 想定伊勢湾地震

宮腰・他 (2001)²⁸⁾に従い、活動間隔の平均値 μ を 7300 年とすると、ポアソン分布を用いて、西暦 2000 年時点の 100 年生起確率は 0.0140 と算定される。想定伊勢湾地震は、11 ケースの断層破壊のシナリオを考えているので、(1) 式で $n=11$ とすると、1 ケース当たりの 100 年生起確率は 0.001281 となる。

5) 推定伏在断層による想定地震

宮腰・他 (2001)²⁸⁾に従い、活動間隔の平均値 μ を 7900 年とすると、ポアソン分布を用いて、西暦 2000 年時点の 100 年生起確率は 0.0130 と算定される。推定伏在断層による想定地震は、33 ケースの断層破壊のシナリオを考えているので、(1) 式で $n=33$ とすると、1 ケース当たりの 100 年生起確率は 0.000396 となる。

6) 逆断層による想定名古屋浅発直下地震

奥村・他 (2001)¹⁸⁾により、名古屋市を中心とする半径 60 km 以内の領域における 1 年当たりの地震の規模別頻度分布 (Gutenberg-Richter 式) が求められているので、これを用いると各断層モデルの支配面積当たり (本論文では $5 \times 5 = 25 \text{ km}^2$ とした) の規模別頻度分布は、下式ようになる。

$$\log N(M_j) = 0.2515 - 0.745 M_j \quad (5.5 \leq M_j) \quad (2)$$

上式は、年累積発生頻度であるから、下式により、各マグニチュードの地震の年発生頻度 $\Delta N(M_j)$ を求めた。

$$\Delta N(M_j) = N(M_j - 0.05) - N(M_j + 0.05) \quad (3)$$

ここに、 $M_j = 5.5, 5.6, 5.7, \dots, 7.3$ で、 $\Delta N(7.3) = N(7.25)$ とした。

つぎに、年発生頻度 $\Delta N(M_j)$ を逆断層による地震と横ずれ断層による地震に 2 等分したうえで、下式で表される香川・他 (2005)²⁹⁾ による断層の地表地震断層を伴わない確率 $P(M_j)$ をかけ、震源を特定しにくい逆断層による地震の年発生頻度を算定した。

$$P(M_j) = \{[D_2 - L_a \sin(dip)] - D_a\} / \{[D_2 - L_a \sin(dip)] - D_1\} \quad (4)$$

ここに、 D_1 は地震発生層の上端深さ、 D_2 は地震発生層の下端深さ、 L_a はアスぺリティの長さ、 D_a は地表における変形量があらかじめ設定した基準値を超えないためのアスぺリティの上端深さ、 dip は傾斜角である。具体的な値は、 $D_1 = 3 \text{ km}$ 、 $D_2 = 20 \text{ km}$ 、 $dip = 45^\circ$ であり、 L_a と D_a は設定した断層モデルごとに異なる。

また、3 章で述べたように、アスぺリティ深さを 3 種類設定しているので年発生頻度を 3 等分し、さらに、アスぺリティの実効応力を、大 (191 bar)、中 (139 bar)、小 (109 bar) の 3 種類設定しているので正規分布の重み、すなわち、0.31、0.38、0.31 で振り分けた。ここに、アスぺリティの実効応力の大 (191 bar)、中 (139 bar)、小 (109 bar) は、Somerville・他 (2002)³⁰⁾ に示された地震データベースの平均値 + 標準偏差、平均値、平均値 - 標準偏差に相当する。

振り分けた年発生頻度 v_1 を用いて、ポアソン分布を表す下式で 100 年生起確率 P_{100} を算定した。

$$P_{100} = 1 - \exp[-100v_1] \quad (5)$$

このようにして得られた 100 年生起確率 P_{100} は、マグニチュードの刻みが 0.1 のもので、3 章で設定した断層モデルのマグニチュードよりも刻みが細かく、数が多い。そこで、本論文では、断層パラメータが同じか最も近いものを対応させて、各計算ケースの 100 年生起確率を求めた。付表 4 に、逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオとその計算ケースへの割り当てを示す。

7) 横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震

横ずれ断層についても、逆断層と同様に、100 年生起確率を求めた。異なるのは、(4) 式で $dip = 90^\circ$ であることと、 L_a と D_a が設定した断層モデルごとに異なることである。付表 5 に、横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオとその計算ケースへの割り当てを示す。

5. 地震ハザード解析と設計用入力地震動の選定例

想定地震による地震動のうち、想定新東海地震、想定濃尾平野西縁地震、想定猿投山北地震、想定伊勢湾地震、推定伏在断層による想定地震の 5 つの地震については、中田・他 (2004) など^{12)~14)} によ

図6 最大速度を指標に用いた地震ハザード解析結果

図中の略語は、それぞれ、東海=想定新東海地震、濃尾=想定濃尾平野西縁地震、猿投=想定猿投山北地震、伊勢湾=想定伊勢湾地震、伏在=推定伏在断層による想定地震、逆=逆断層による想定名古屋浅発直下地震、横ずれ=横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震、全体=想定地震全体を示す。また、図6(d)の中の○印は、最大速度が再現期間100年相当の位置(100年超過確率が0.6321で最大速度64 cm/s)である。図6(a)と図6(c)の中の△印は、各想定地震で最大速度が64 cm/sとなる位置である。

りS波速度が620 m/sの工学的基盤面において経験的グリーン関数法(壇・佐藤, 1998)³¹⁾で計算されているものを用いた。また、逆断層による想定名古屋浅発直下地震と横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震についても、中田・他(2004)など^{12)~14)}と同じく、S波速度が620 m/sの工学的基盤面において経験的グリーン関数法(壇・佐藤, 1998)³¹⁾で新たに計算した。

断層モデルを用いた予測地震動群は、全体で26,334波形である。これらの波形は、第4章で100年生起確率が算定されているので、第2章で述べたように、さまざまな量を指標に、ハザード曲線が描ける。図6は、水平2成分の最大速度のうち大きいほうの値PGVを指標にしたときのハザード曲線である。図中、(a)~(c)は(6)式で求めた想定地震ごとのハザード曲線 $P_{100k}(PGV)$ で、(d)は(7)式で求めたすべての想定地震によるハザード曲線 $P_{100}(PGV)$ である。

$$P_{100k}(PGV) = 1 - \prod_i [1 - P_{100ki}(PGV)] \quad (6)$$

$$P_{100}(PGV) = 1 - \prod_k [1 - P_{100k}(PGV)] \quad (7)$$

ここに、 $\prod_i$ は*i*に関する積、 $\prod_k$ は*k*に関する積である。

本論文で計算の対象とした想定地震は、西暦2000年から100年間の地震動強さ(最大加速度と最大速度)の超過確率が2~63%の範囲から選定したものであり、これらの想定地震による最大速度は、100年超過確率が 10^{-2} 以上の範囲では想定新東海地震の最大速度が支配的であること、100年超過確率が 10^{-2} 以下の範囲では横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の最大速度が支配的であること、したがって、内陸の活断層に起因する想定地震の最大速度はほとんど影響しないことがわかる。これは、最大速度の観点からは、名古屋三の丸では、東海地震と震源を特定しにくい直下地震に備えておけば、自動的に内陸の活断層に起因する地震に備えたことになることを意味している。

最後に、すべての想定地震によるハザード曲線 $P_{100}(PGV)$ から、再現期間100年相当の地震動を構造骨組の設計用入力地震動として選定することを考えてみた。

本論文では、想定地震ごとに、更新過程と定常過程を区別して適用しているが、定常ポアソン過程における確率の扱いに準拠すると、再現期間が100年のとき、年発生頻度 ν_1 は1/100であるから、

100年超過確率 $P_{100}(PGV)$ は、

$$P_{100}(PGV) = 1 - \exp[-100\nu_1] = 0.6321 \quad (8)$$

となる。図6(d)で、100年超過確率が0.6321となるのは、図中に○で示した部分で、最大速度は64 cm/s程度である。

図6(a)と図6(c)には△印で、各想定地震で最大速度が64 cm/sとなる位置を示す。図より、最大速度が64 cm/sを超える確率は、想定新東海地震が圧倒的に大きく、以降、横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震、推定伏在断層による想定地震の順であることがわかる。

ここでは、最大速度が64 cm/sとなる地震動を、想定新東海地震の地震動からひとつ、横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の地震動からひとつ選んだ。加速度波形と速度波形を図7に示す。図より、最大速度はほとんど同じであっても、東海地震による地震動の最大加速度は 208.4 cm/s^2 で、直下地震による地震動の最大加速度 636.1 cm/s^2 の約1/3であること、東海地震による地震動の震動継続時間は100秒以上で、直下地震による地震動の震動継続時間約10秒より10倍以上長いことがわかり、マグニチュードや震源距離の影響が明瞭に見られる。

6. まとめ

本論文では、断層破壊のシナリオとその生起確率を考慮した地震ハザード解析法を提案するとともに、具体的な適用事例として、名古屋三の丸における事例を示した。

本方法は、断層モデルによる予測地震動に立脚しているので、最大加速度、最大速度、応答スペクトル、総入力エネルギーなどの地震動強さ、最大層間変形角、最大塑性率、累積塑性率などの特定の建物の応答値を計算したうえで、対象とする建物部位の耐震性能を評価するために最も適切な物理量を指標として地震ハザード曲線を求めることができるという長所がある。

本論文により、断層モデルによる予測地震動に立脚した地震ハザード解析法が示せたので、今後は、従来の人命保護、構造物維持だけではなく、多様な部位の耐震性能を確保するための設計用入力地震動の選定方法に関する研究をすすめる予定である。

図7 最大速度が再現期間100年相当(64 cm/s)で選定した設計用入力地震動の例

また、ここで示した名古屋三の丸の事例は、主に、中田・他(2004)など^{12)~14)}による既往の強震動シミュレーション結果に基づいており、これらの結果は、地震ハザード解析への応用を目的としていないため、必ずしも、個々の想定地震のアスペリティの位置や実効応力、破壊開始点などの変動幅を十分には考慮していない。したがって、今後、これらの断層パラメータの変動幅に関する研究(畑・他, 2005³²⁾など)の蓄積を踏まえた検討をすすめる予定である。

謝辞

本研究で用いた想定新東海地震、想定濃尾平野西縁地震、想定伊勢湾地震、想定猿投山北地震、推定伏在断層による想定地震の5つの想定地震による地震動は、国土交通省中部地方整備局の中田猛氏にご提供いただいたものです。また、東京大学大学院新領域創成科学研究科の神田順教授には、本研究をすすめるにあたり、研究全般のご議論をいただきました。さらに、(株)大崎総合研究所の武藤尊彦氏には、想定名古屋浅発直下地震による強震動の計算のご協力を、清水建設(株)技術研究所の金子美香博士と宮腰淳一博士には、断層破壊のシナリオの生起確率の算定と地震動の整理のご協力をいただきました。ここに、記して、お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 地盤震動—現象と理論—, 2005.1.
- 2) 中央防災会議: 資料2-3図表集, 第9回, 2003.12.16.
- 3) 中央防災会議: 溝上委員説明資料2-3, 首都圏直下地震対策専門調査会(第12回), 2004.11.17.
- 4) 地震調査研究推進本部: 琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価について, 地震調査委員会, 2004.6.21.
- 5) 地震調査研究推進本部: 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について, 地震調査委員会, 2004.5.21.
- 6) 畠中克弘・増田剛: 芸予地震「二次部材」の危険性を突きつける, 日経アーキテクチャ, No. 690, pp. 32-43, 2001.4.16.
- 7) 清家剛・名取発: 非構造部材の被害状況, 建築技術, 特集「新潟県中越地震を耐震工学で解剖する」, No. 664, pp. 134-137, 2005.
- 8) 日本建築構造技術者協会: 建築の構造設計, オーム社, pp. 175-208, 2002.
- 9) 中央防災会議: 事務局説明資料3, 首都圏直下地震対策専門調査会(第17回), 2005.5.16.
- 10) 太田外気晴・嶋悦三・丹羽正徳・池浦友則・武村雅之: 東京湾岸における高層建築物の耐震設計用入力地震動評価, 日本建築学会構造系論文集, 第426号, pp. 47-57, 1991.8.
- 11) 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・宮腰淳一・佐藤智美: 統計的グリーン関数法による1923年関東地震(M_{JMA} 7.9)の広域強震動評価, 日本建築学会構造系論文集, 第530号, pp. 53-62, 2000.4.
- 12) 中田猛・福和伸夫・藤川智・壇一男・佐藤俊明・柴田昭彦・白瀬陽一・斉藤賢二: 名古屋三の丸地区における耐震改修用の地震動作成(その1)全体概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), B-2, 構造II, pp. 529-530, 2004.
- 13) 武藤尊彦・宮腰淳一・壇一男・藤川智・早川崇・佐藤俊明・福和伸夫・中田猛: 名古屋三の丸地区における耐震改修用の地震動作成(その2)想定新東海地震による強震動予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), B-2, 構造II, pp. 531-532, 2004.
- 14) 松島信一・宮腰淳一・武藤尊彦・森川和彦・壇一男・佐藤俊明・福和伸夫・中田猛: 名古屋三の丸地区における耐震改修用の地震動作成(その3)推定伏在断層に起因する想定地震の強震動予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), B-2, 構造II, pp. 533-534, 2004.
- 15) Kawasumi, Hiroshi: Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 29, pp. 469-482, 1951.
- 16) Cornell, C. Allin: Engineering seismic risk analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606, 1968.
- 17) 亀田弘行・石川裕・奥村俊彦: 確率論的想定地震の概念と応用, 土木学会論文集, No. 577/I-41, pp. 75-87, 1997.
- 18) 奥村俊彦・宮腰淳一・福和伸夫・久保哲夫: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定(その3)確率論的な評価に基づく想定地震の設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), B-2, 構造II, pp. 85-86, 2001.
- 19) 愛知県防災会議: 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—想定地震に基づく被害想定—, 地震部会, 2003.
- 20) 渡辺基史・宮腰淳一・石井透・壇一男・佐藤俊明・福和伸夫・久保哲夫: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定(その6)活断層と地震発生層の厚さを考慮した断層モデルの設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), B-2, 構造II, pp. 91-92, 2001.
- 21) 原子力安全基盤機構: 震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書, 2004.10.
- 22) 壇一男・石井透・渡辺基史・佐藤俊明・宮腰淳一・福和伸夫・久保哲夫: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定(その5)プレート間の固着域を考慮した想定新東海地震の断層モデルの設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), B-2, 構造II, pp. 89-90, 2001.
- 23) 中田高・今泉俊文: 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 2002.
- 24) 宮武隆: 断層近傍の強震動パルスの成因, 地震, 第2輯, 第51巻, 第2号, pp. 161-170, 1998.
- 25) 建設省国土地理院: 地震予知連絡会会報, 第62巻, pp. 82-87, 1999.
- 26) 地震調査研究推進本部: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 地震調査委員会, 2001.6.
- 27) 地震調査研究推進本部: (改訂試案) 長期的な地震発生確率の評価手法につ

いて、地震調査委員会長期評価部会、1999.1.13.

- 28) 宮腰淳一・奥村俊彦・福和伸夫・久保哲夫: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定 (その2) 名古屋市周辺の地震活動に基づく地震の分類, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), B-2, 構造 II, pp. 83-84, 2001.
- 29) 香川敏生・堀一男・大塚康弘・本橋章平: 確率論的地震危険度評価のための潜在断層地震の発生確率設定法, 土木学会地震工学論文集, 第 28 巻, 2005.
- 30) Somerville, Paul・佐藤俊明・石井透・Nancy F. Collins・堀一男・藤原広行: 強震動予測のためのプレート沈み込み帯沿い地震の不均質すべりモデルの

特性抽出, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp. 163-166, 2002.

- 31) 堀一男・佐藤俊明: 断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp. 49-60, 1998.7.
- 32) 畑奈緒未・堀一男・宮腰淳一・武藤尊彦・神田順: シナリオ地震の生起確率を考慮した基準地震動策定に関する研究 (その 6) 2003 年十勝沖地震の短周期レベルの推定幅の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), B-1, 構造 I, pp. 103-104, 2005.

付表 1 強震動シミュレーションを行った想定新東海地震および活断層に起因する地震の断層破壊のシナリオとその100年生起確率

想定地震	発生モデル	100 年生起確率	ケース数	1 ケース当たりの100 年生起確率	シナリオの違い
想定新東海地震	更新過程 (BPT 分布)	0.9910	121	0.038182	震源時間関数、破壊伝播速度
想定濃尾平野西縁地震	更新過程 (BPT 分布)	0.0144	11	0.001318	破壊伝播速度
想定猿投山北地震	更新過程 (BPT 分布)	0.0226	11	0.002076	破壊伝播速度
想定伊勢湾地震	定常過程 (ポアソン分布)	0.0140	11	0.001281	破壊伝播速度
想定伏在断層による想定地震	定常過程 (ポアソン分布)	0.0130	33	0.000396	破壊開始点、破壊伝播速度

付表 2 強震動シミュレーションを行った逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオとその100年生起確率

No.	M_j	アスベリティの上端深さ (km) 浅い 中間 深い			アスベリティの実効応力 (bar) 大 中 小			25 km ² 当たりの100 年生起確率
1	5.5	3.0	—	—	—	139	—	0.000394
2	5.5	—	10.8	—	—	139	—	0.000394
3	5.5	—	—	18.6	—	139	—	0.000394
4	6.0	5.8	—	—	—	139	—	0.000295
5	6.0	—	11.5	—	—	139	—	0.000295
6	6.0	—	—	17.1	—	139	—	0.000295
7	6.5	12.2	—	—	—	139	—	0.000056
8	6.5	—	13.6	—	—	139	—	0.000056
9	6.5	—	—	15.7	—	139	—	0.000056
10	6.7	15.0	—	—	—	139	—	0.000027
11	5.5	3.0	—	—	—	—	109	0.000322
12	5.5	—	10.8	—	—	—	109	0.000322
13	5.5	—	—	18.6	—	—	109	0.000322
14	6.0	7.2	—	—	—	—	109	0.000241
15	6.0	—	12.2	—	—	—	109	0.000241
16	6.0	—	—	17.1	—	—	109	0.000241
17	6.5	12.9	—	—	—	—	109	0.000045
18	6.5	—	14.3	—	—	—	109	0.000045
19	6.5	—	—	15.7	—	—	109	0.000045
20	6.6	15.0	—	—	—	—	109	0.000022
21	5.5	3.0	—	—	—	—	191	0.000322
22	5.5	—	10.8	—	—	—	191	0.000322
23	5.5	—	—	18.6	—	—	191	0.000322
24	6.0	5.1	—	—	—	—	191	0.000241
25	6.0	—	11.5	—	—	—	191	0.000241
26	6.0	—	—	17.8	—	—	191	0.000241
27	6.5	10.1	—	—	—	—	191	0.000045
28	6.5	—	13.6	—	—	—	191	0.000045
29	6.5	—	—	16.4	—	—	191	0.000045
30	6.8	15.0	—	—	—	—	191	0.000011
31	6.8	—	15.7	—	—	—	191	0.000011

付表 3 強震動シミュレーションを行った横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオとその100年生起確率

No.	M_j	アスベリティの上端深さ (km) 浅い 中間 深い			アスベリティの実効応力 (bar) 大 中 小			25 km ² 当たりの100 年生起確率
1	5.5	3.0	—	—	—	139	—	0.000396
2	5.5	—	10.0	—	—	139	—	0.000396
3	5.5	—	—	18.0	—	139	—	0.000396
4	6.0	3.0	—	—	—	139	—	0.000339
5	6.0	—	10.0	—	—	139	—	0.000339
6	6.0	—	—	16.0	—	139	—	0.000339
7	6.5	3.0	—	—	—	139	—	0.000123
8	6.5	—	8.0	—	—	139	—	0.000123
9	6.5	—	—	14.0	—	139	—	0.000123
10	6.8	5.0	—	—	—	139	—	0.000053
11	6.8	—	8.0	—	—	139	—	0.000053
12	6.8	—	—	13.0	—	139	—	0.000053
13	7.3	—	9.0	—	—	139	—	0.000038
14	5.5	3.0	—	—	—	191	—	0.000323
15	5.5	—	10.0	—	—	191	—	0.000323
16	5.5	—	—	18.0	—	191	—	0.000323
17	6.0	3.0	—	—	—	191	—	0.000276
18	6.0	—	10.0	—	—	191	—	0.000276
19	6.0	—	—	17.0	—	191	—	0.000276
20	6.5	3.0	—	—	—	191	—	0.000101
21	6.5	—	9.0	—	—	—	191	0.000101
22	6.5	—	—	15.0	—	—	191	0.000101
23	6.8	4.0	—	—	—	—	191	0.000043
24	6.8	—	8.0	—	—	—	191	0.000043
25	6.8	—	—	14.0	—	—	191	0.000043
26	7.3	8.0	—	—	—	—	191	0.000016
27	7.3	—	—	10.0	—	—	191	0.000016
28	5.5	3.0	—	—	—	—	109	0.000323
29	5.5	—	10.0	—	—	—	109	0.000323
30	5.5	—	—	17.0	—	—	109	0.000323
31	6.0	3.0	—	—	—	—	109	0.000276
32	6.0	—	10.0	—	—	—	109	0.000276
33	6.0	—	—	16.0	—	—	109	0.000276
34	6.5	4.0	—	—	—	—	109	0.000101
35	6.5	—	8.0	—	—	—	109	0.000101
36	6.5	—	—	14.0	—	—	109	0.000101
37	6.8	5.0	—	—	—	—	109	0.000043
38	6.8	—	7.0	—	—	—	109	0.000043
39	6.8	—	—	12.0	—	—	109	0.000043
40	7.1	—	8.0	—	—	—	109	0.000031

付表 4 逆断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオと強震動シミュレーションを行ったケースへの割り当て
(表中の No. は付表 2 の No. に対応)

アスベリティの上端深さ	浅い			中間			深い		
アスベリティの実効応力	大	中	小	大	中	小	大	中	小
M_j 5.5	No.21	No.1	No.11	No.22	No.2	No.12	No.23	No.3	No.13
M_j 5.6	No.21	No.1	No.11	No.22	No.2	No.12	No.23	No.3	No.13
M_j 5.7	No.21	No.1	No.11	No.22	No.2	No.12	No.23	No.3	No.13
M_j 5.8	No.24	No.4	No.14	No.25	No.5	No.15	No.26	No.6	No.16
M_j 5.9	No.24	No.4	No.14	No.25	No.5	No.15	No.26	No.6	No.16
M_j 6.0	No.24	No.4	No.14	No.25	No.5	No.15	No.26	No.6	No.16
M_j 6.1	No.24	No.4	No.14	No.25	No.5	No.15	No.26	No.6	No.16
M_j 6.2	No.24	No.4	No.14	No.25	No.5	No.15	No.26	No.6	No.16
M_j 6.3	No.27	No.7	No.17	No.28	No.8	No.18	No.29	No.9	No.19
M_j 6.4	No.27	No.7	No.17	No.28	No.8	No.18	No.29	No.9	No.19
M_j 6.5	No.27	No.7	No.17	No.28	No.8	No.18	No.29	No.9	No.19
M_j 6.6	No.30	No.10	No.20	No.30, No.31	No.10	No.20	No.31	No.10	No.20
M_j 6.7	No.30	No.10	No.20	No.30, No.31	No.10	No.20	No.31	No.10	No.20
M_j 6.8	No.30	No.10	No.20	No.30, No.31	No.10	No.20	No.31	No.10	No.20

付表 5 横ずれ断層による想定名古屋浅発直下地震の断層破壊のシナリオと強震動シミュレーションを行ったケースへの割り当て
(表中の No. は付表 3 の No. に対応)

アスベリティの上端深さ	浅い			中間			深い		
アスベリティの実効応力	大	中	小	大	中	小	大	中	小
M_j 5.5	No.14	No.1	No.28	No.15	No.2	No.29	No.16	No.3	No.30
M_j 5.6	No.14	No.1	No.28	No.15	No.2	No.29	No.16	No.3	No.30
M_j 5.7	No.14	No.1	No.28	No.15	No.2	No.29	No.16	No.3	No.30
M_j 5.8	No.17	No.4	No.31	No.18	No.5	No.32	No.19	No.6	No.33
M_j 5.9	No.17	No.4	No.31	No.18	No.5	No.32	No.19	No.6	No.33
M_j 6.0	No.17	No.4	No.31	No.18	No.5	No.32	No.19	No.6	No.33
M_j 6.1	No.17	No.4	No.31	No.18	No.5	No.32	No.19	No.6	No.33
M_j 6.2	No.17	No.4	No.31	No.18	No.5	No.32	No.19	No.6	No.33
M_j 6.3	No.20	No.7	No.34	No.21	No.8	No.35	No.22	No.9	No.36
M_j 6.4	No.20	No.7	No.34	No.21	No.8	No.35	No.22	No.9	No.36
M_j 6.5	No.20	No.7	No.34	No.21	No.8	No.35	No.22	No.9	No.36
M_j 6.6	No.20	No.7	No.34	No.21	No.8	No.35	No.22	No.9	No.36
M_j 6.7	No.23	No.10	No.37	No.24	No.11	No.38	No.25	No.12	No.39
M_j 6.8	No.23	No.10	No.37	No.24	No.11	No.38	No.25	No.12	No.39
M_j 6.9	No.23	No.10	No.37	No.24	No.11	No.38	No.25	No.12	No.39
M_j 7.0	No.23	No.10	No.37	No.24	No.11	No.38	No.25	No.12	No.39
M_j 7.1	No.26	No.13	No.40	No.26, No.27	No.13	No.40	No.27	No.13	No.40
M_j 7.2	No.26	No.13	No.40	No.26, No.27	No.13	No.40	No.27	No.13	No.40
M_j 7.3	No.26	No.13	No.40	No.26, No.27	No.13	No.40	No.27	No.13	No.40

(2005年7月8日原稿受理, 2006年1月12日採用決定)