

## 統計的グリーン関数による想定東南海地震の 広帯域強震動予測と建物被害予測

宝音 図\*・川瀬 博・松島 信一

\* 京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

我々は、想定東南海地震について、まず不均質震源モデルと広周波数帯域統計的グリーン関数法を用いて、定量的強震動予測を行ったところ、過去の地震の推定震度を再現でき、既往の研究結果や経験的距離減衰式とよく対応する予測波形を得た。次に非線形応答解析モデルにこの予測強震動を入力して、近畿・中部地域における建物群の被害予測を行ったところ、想定東南海地震震源域から近い所や海岸地域と川沿いの沖積地盤地域などの比較的地盤が軟らかいところでは建物種別を問わず、大破以上の被害を受けるという予測結果となった。建物構造種別でみると低層鉄骨造建物、木造建物、中低層 RC 造建物の順に被害率が小さくなることが分かった。

**キーワード:** 統計的グリーン関数, 想定東南海地震, 地震動予測, 建物被害予測

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、太平洋三陸沖から茨城沖に至る広い領域を震源とした超巨大地震の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震により、2 万 3 千人を超える死者・行方不明者が生じ、東日本の太平洋沿岸を中心に壊滅的な被害をもたらした。今回のような超巨大な地震は稀にしか生じないと考えられるが、一般的な M8 クラスの海溝型巨大地震は発生する確率が相対的に高く、影響する地域が広域にわたり、強震動による建造物の倒壊・地滑り・液状化・地盤沈下・津波などの直接的な被害のほか、火災、産業施設被害、交通機関の乱れなど二次被害を生じ、結果として、経済的にも全国的な影響をもたらすという特徴がある。その震源域は日本列島を囲むように分布しており、日本全域において、地域ごとにそれぞれの状況に見合った地震防災対策を行うことが急務とされている。東南海・南海地震の今後 30 年以内の発生確率は 50%~60%程度(地震調査研究推進本部(以下地震本部と略称する), 2002)と言われており、発生すれば東海地方から九州地方に至る震源域に近い太平洋沿岸を中心に、地震の揺れや津波により広域かつ甚大な被害を与えるもの危惧されている。一方、将来発生するであろうこれらの想

定地震における建築物被害を定量的に想定するためには、その地震動特性と建物の応答特性を考慮した被害予測をすべきであることは言うまでもない。国や地方自治体の努力にもかかわらず依然として現在も耐震性の低い建物や老朽化した建物が数多く存在しており、それらの建物の耐震性能を把握し被害を予測することは地震安全対策上極めて重要である。また、兵庫県南部地震の発生後の研究により内陸地震についてはかなりの精度で被害予測が可能なレベルになってきているものの(松島・川瀬, 2000; 伊藤・川瀬, 2001)、海溝型地震の強震動を予測する上ではやや長周期域成分を多く含む強震動を的確に再現できる震源過程をどう表現するか等いろいろな問題が残されている。また構造物の定量的被害予測モデルを用いた被害総量の評価およびそれに基づいた被害軽減対策という、極めて重要な要素技術において未だ定量的に評価されているとは言い難い状態にある。

本論文では、最新の強震動評価手法に基づき、発生が最も懸念されており連動破壊する可能性もある南海トラフ沿いの海溝型巨大地震のうち東南海地震の単独発生した場合の強震動を定量的に予測し、それを非線形建物応答解析モデル(長戸・川瀬, 2001)に入力して、震源域における木造建物、中低層 RC 造建物、低層鉄骨建物の被害予測を実施する。これ

ら一連の予測は、その非線形応答を数値的に評価する「建物崩壊挙動シミュレータ」に基づいており、予測被害は建物の実耐震性能の関数となるので、地域の構造物群の耐震性能をどの程度向上させればその構造物被害、人的被害をどの程度減らせるかを定量的に評価することが可能である。即ち、耐震対策効果に見合った必要政策コスト評価が可能となる。

## 2. 対象地域における地震活動の特徴

地震災害における防災・減災の上では過去の地震被害の原因究明を地震災害調査によって明らかにすることが極めて重要となる。特に、将来発生するであろうこれらの想定地震による被害推定を行うときに、震源域において繰り返し発生している地震動の特性を把握することは、都市防災・減災計画や構造物の地震安全性のための最も基礎的かつ重要な資料となる。想定東南海地震の震源域である中部・近畿地域で発生している地震として、太平洋側沖合の駿河トラフや南海トラフから陸側へ傾き下がるプレート境界付近で発生する海域の地震、陸域の浅いところ(深さ約 20 km 以浅)で発生する内陸地震、日本海東縁部(新潟県沖合付近)で発生する地震などがあげられる(地震本部による)。Fig. 1 には明治 20 年以降で、この地域に大きな被害をもたらした地震の規模と震源の位置を示す。A, B, C それぞれ南海、東南海、東海地震の震源域を示す。過去の地震記録および歴史地震資料から、駿河トラフや南海トラフ沿いの地域では、100~150 年間隔で繰り返し発生しているマグニチュード 8 クラスの巨大海溝型東南海・南海地震などがあり、その震源域に近い太平洋沿岸を中心に、地震の揺れや津波により広域かつ甚大な被害をもたらしてきた。明治以降では、昭和東南海地震 M7.9(1944 年)、昭和南海地震 M8.0(1946 年)が海域に発生し、地震動や津波などによる大きな被害を生じた。一方、陸側の地域では、市街地の直下で発生した福井地震 M7.1(1948 年)、平成 7 年兵庫県南部地震 M7.2(1995 年)や比較的規模の大きな浅い地震の濃尾地震 M8.0(1891 年)などが挙げられ、市街地は壊滅的な被害を受けた。明治以降の震災について死者数で比較すると、大正関東地震 M7.9(1923 年)、東北地方太平洋沖地震 M9.0(2011 年)、明治三陸地震 M8.2~8.5(1896 年)の次にこの地域に起こった濃尾地震、平成 7 年兵庫県南部地震、福井地震などが挙げられ、いずれも死者・行方不明者を含めて、五千人以上の犠牲者を生じ、甚大な震害を出した地震である。なお日本海東縁部で発生した地震として、図には新潟地震 M7.5(1964 年)が含まれている。

以上、日本列島の中でも中部地方から近畿地方に

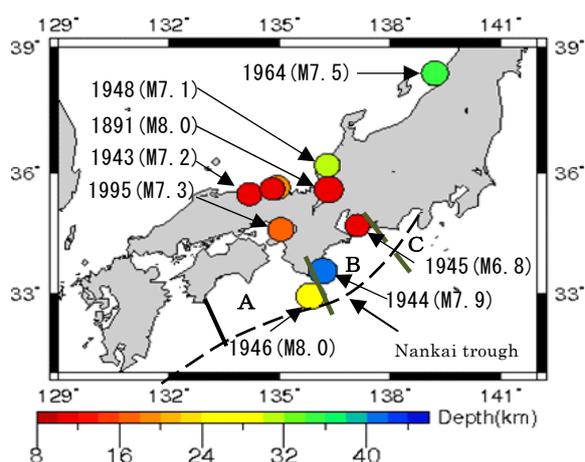


Fig. 1 Epicenter of earthquakes that caused extensive damage in Kinki to Chubu areas since the Meiji era

かけての地域は、規模の大きな陸域の浅い地震が比較的多く発生していることが分かる。南海トラフ沿いの巨大海溝型地震の発生前後数十年間に陸域の地震活動が活発化することが指摘されており(川瀬, 2005)、平成 7 年兵庫県南部地震はその始まりであったといわれている。この地域の地震活動は、フィリピン海プレートの沈み込みとの関連が大きいと考えられる。

## 3. 統計的グリーン関数による地震動予測

### 3.1 想定東南海地震の震源モデルの設定及び解析地点

我々はこれまで、地震本部が公開している巨視的および微視的震源特性の標準的設定手法を用いて試算用に提案した震源モデルに準拠して釜江(2003, 2004)が構築したものを参考にした東南海地震の震源モデルを用いて想定東南海地震の強震動予測を行った(宝音図・他, 2010, 以後「前回」と略称する)。また、予測された強震動を非線形応答解析モデルに入力して、想定震源域における構造種類別、階数別に建物の平均被害率を推定している。最近の研究では、海溝型巨大地震のような巨大な震源断層のアスペリティ内の不均質特性及び震源断層近傍では地震動の強さが飽和する特性を導入することにより、強震動評価結果が大きく改善されるといわれている(包・川瀬, 2006, 2008)。本論文では、同様の震源断層の不均質特性を考慮して、より精度の高い強震動予測手法を試みる。また、震源断層近傍では地震動の強さが飽和した状態になる特性も導入する。

想定東南海地震の震源モデルとしては、前回の震源モデルと同様に、三つの大きなアスペリティと背

景領域からなる不均質震源モデルを設定した。前回の予測では2段階の要素地震サイズを用意したが、今回は要素地震は1サイズとし震源断層のアスペリティ内の不均質特性を導入している。すなわち、震源断層の中で比較的大きくすべるアスペリティの中でもさらに不均質にすべると考慮して、アスペリティの22%の部分が平均すべり量の1.5倍大きくすべり(■印が付いている部分)、残りの78%の部分は平均すべり量より小さくすべると仮定した(地震モーメントは保存)。解析する地点は想定東南海地震のアスペリティと背景領域の中心点から400km以内のK-NET, KiK-net, JMA 観測点であり、近畿・中部地域を中心とした領域を対象とした。Fig. 2 に想定東南海地震の震源断層でのアスペリティ位置、アスペリティ中心点(赤色マーク)、背景領域中心点(黒色マーク)と破壊開始点(青色★)をそれぞれ示す。また、解析対象点を⊗で示す。Table 1に想定東南海地震の断層パラメータを示す。

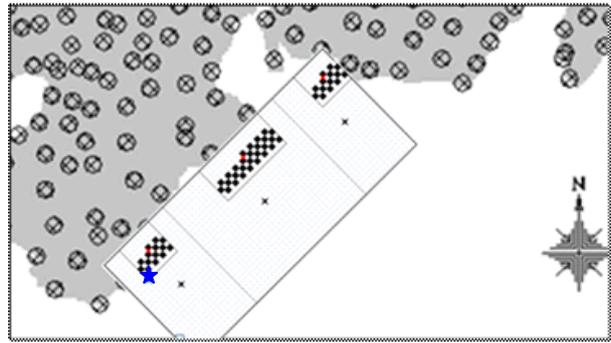


Fig. 2 Location of asperities on the assumed source fault, rupture initiation point and points being analyzed in this study

### 3.2 統計的グリーン関数法

本論文では、想定東南海地震の強震動を、包・川瀬(2007)が作成した長周期まで有効な統計的グリーン関数を用いて予測する。彼らは川瀬・松尾(2002)を参考にして、日本全国の内陸地域と海溝付近で起きた  $M_j \geq 5.5$ 、震源距離  $\leq 400\text{km}$ 、震源深さ  $\leq 60\text{km}$ 、最大加速度  $\leq 200\text{Gal}$ 、3地点以上でトリガーの条件にあうデータを1996年8月から2005年3月までの110個の地震に対して選択し、振動数を0.1~20Hzまで拡張し、S波初動以降全継続時間の観測データを用いて解析を行い、統計的スペクトル特性は震源特性・伝播特性・サイト特性に分離し、統計的経時特性はマグニチュードMと震源距離Xで回帰して統計的グリーン関数を作成する方法を開発している。また、この統計的グリーン関数を使って想定南海地震における強震動予測を推定し、非線形応答解析を行い、想定南海地震による西日本における建物被害推定を行った。なお、今回は東南海地震単独の発生を仮定したが引き続き同じ強震動予測方法で、東海地震・東南海地震・南海地震の連動も含めたフィリピン海プレート巨大海溝型地震による強震動推定、建物被害の予測とその対策を提案することは今後の南海トラフでの地震被害対策に重要な貢献となるものと考えられる。

### 3.3 想定地震動波形の検討

前節で設定した想定東南海地震の不均質震源モデルと長周期まで有効な統計的グリーン関数(包・川瀬2007)を用いて、Irikura(1986)の波形合成法で重ね合

Table 1 The assumed fault parameters of the expected hypothesized Tonankai Earthquake

Name	Mj	Mo (N・m)	$\Delta\sigma$ (bar)
Hypothetical Tonankai Earthquake	8.1	2.12E+21	30
Small Event	5.7	1.70E+17	98
<b>Asperity</b>	<b>No.1</b>	<b>No.2</b>	<b>No.3</b>
Size (km <sup>2</sup> )	24*24	24*48	24*24
Small Event Size (km*km)	3*3	3*3	3*3
Strike $\theta$ (degree)	250.7	250.7	250.7
Dip Angle $\delta$ (degree)	14	14	14
Angle Slip $\gamma$ (degree)	122.7	122.7	122.7
Seismic Moment (N・m)	1.42E+20	4.00E+20	1.42E+20
Stress Drop (Mpa)	20.1	20.1	20.1
Similarity ratio N	8	16	8
Rise Time (sec)	1.8	2.5	1.8
<b>Background Domain</b>	<b>No.1</b>	<b>No.2</b>	<b>No.3</b>
Seismic Moment (N・m)	3.87E+20	7.18E+20	3.30E+20
Area (km <sup>2</sup> )	3168	5868	2700
Stress Drop (Mpa)	2.7	2.7	2.7
Similarity ratio N	20	20	20
Rise Time (sec)	0.5	0.5	0.5
Shear Rigidity (N/m <sup>2</sup> )	4.09E+10		
Rupture Velocity (km/s)	2.7		
S wave speed of Source Region	3.0		
Rupture Type	Radial		

わせて対象観測点における強震動の大きさが飽和する特性を導入して、震源断層から近い観測点でも一定の距離(要素地震の面積と等しくなる円形の半径)より近くなならないように距離に頭打ちを導入して波形合成を行った。

Fig. 3に前回と今回得られた合成波形の最大加速度・最大速度と司・翠川(1999)による距離減衰式を示す。上の二つはPGA, 下の二つはPGVに対する図で、それぞれ上は前回の結果、下は今回の結果を示す。今回の最大加速度に関しては、震源近傍でのばらつきが収まり、平均的には距離減衰式とよく一致した結果が得られている。震源距離が100kmを超える観測点における最大加速度は前回より少し小さめとなったが、全体的には距離減衰式によく対応している。最大速度に関しても、前回の最大速度は震源近傍で距離減衰式より大きく離れた点もあったが、

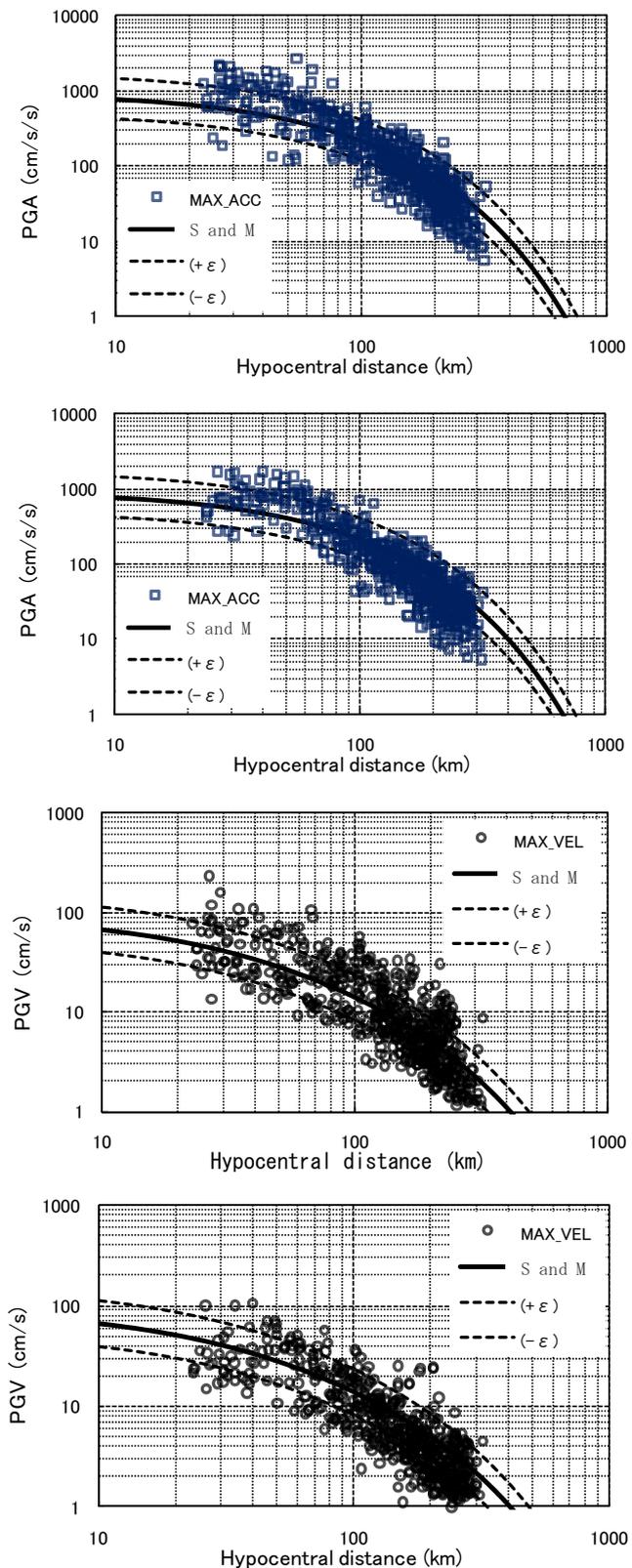


Fig. 3 Comparison of estimated PGA and PGV with the attenuation curves by Si and Midorikawa (1999) ( Top figure; previous result for PGA. Second figure; present result for PGA. third figure; previous result for PGV. Fourth figure; present result for PGV )

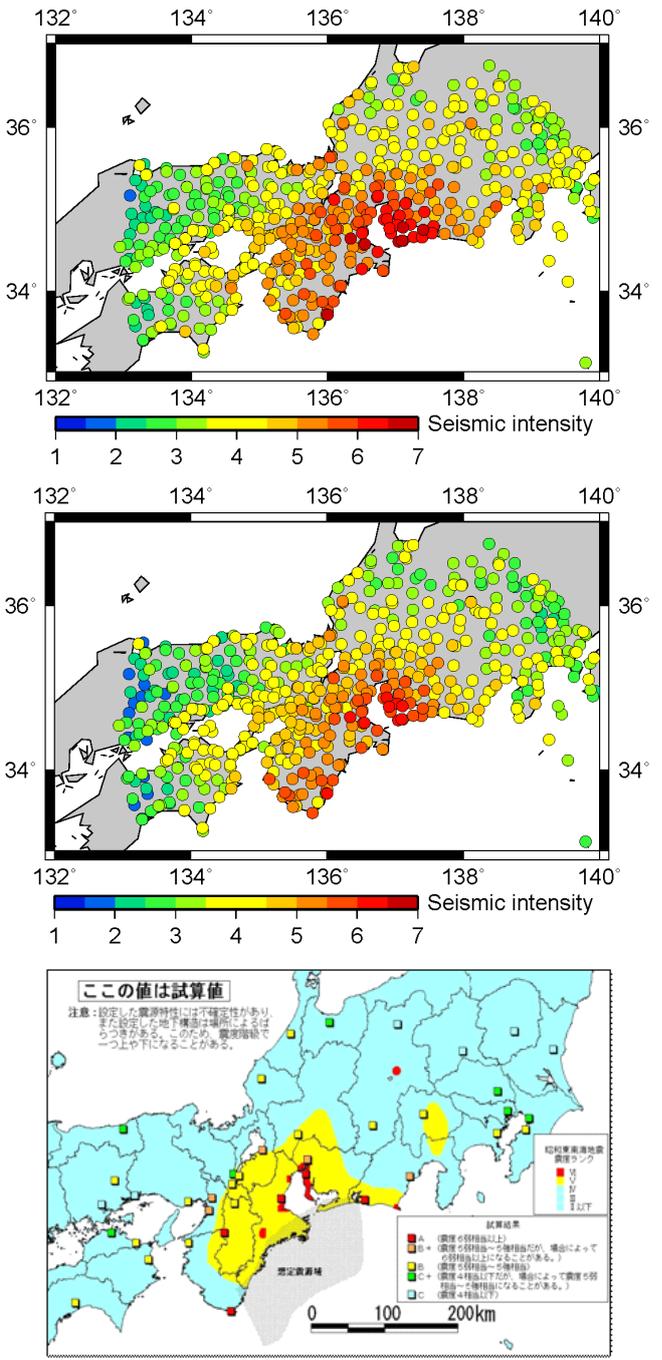


Fig. 4 Comparison of simulated seismic intensity (Top figure; previous result, Middle figure; present result) and estimated JMA SI class for Showa Tonankai earthquake by Central Disaster Management Council, Japan (bottom)

それに比べると今回の最大速度は距離減衰とよく対応した推定値が計算できていると言える。ただし、ここで示した司・翠川 (1999) による最大速度の距離減衰式は地下 30m までの平均 S 波速度が 600 m/s の場合の値であり、そこからのサイト増幅の影響を考慮すると今回得られた最大速度は少し小さめとな

っていると言える。前回の計算では不均質アスペリティではなく、二段階要素地震作成法を用いていたのでばらつきが大きくなっていったものと考えられる。なお、南海地震に対する検討で包・川瀬（2008）は今回の検討と同様海溝型地震の大きなアスペリティ内のすべりを一様にせず、不均質にすべるように設定し、最大速度を司・翠川（1999）の距離減衰曲線に適合させている。

算定した合成波形における計測震度から求めた前回の計測震度(Fig. 4 の上段)・今回の計測震度(Fig. 4 の中段)と地震本部の公開資料(2001)による想定南海地震における県庁所在地等の震度試算結果と昭和東南海地震の推定震度分布との比較したもの(Fig. 4 の下段)を比較した。今回得られた計測震度では震度6強相当以上と推定された観測点の箇数が減少しており、特に、奈良県、滋賀県、及び伊勢湾から三河湾にかけての海岸地域では前回より計測震度が減少傾向となっている。我々の計測震度による震度6弱及び震度6強相当以上が地震本部の最高ランク震度6弱相当以上と対応するもので、その他はほぼ同じ震度レベルで表示しており、和歌山県南部の海岸地域では地震本部の推定震度分布より少し大きい評価になっているが全体的に今回の結果とよく一致していると言える。

#### 4. 想定地震動による建物被害予測

今回想定された東南海地震による想定強震動を長戸・川瀬の非線形応答解析モデルに入力して、震源域における木造・中低層RC造・低層S造建物の被害推定を行った。これまでの多数の実地震に対する解析結果から、200Gal以下の入力では大破以上の被害は生じないので、今回は想定強震動のうち200 Gal以上の136波の波形を選んで入力し、非線形応答解析を行った。

長戸・川瀬(2001)は兵庫県南部地震による観測被害率と松島・川瀬(2000)による再現強震動に基づいて非線形地震応答解析を実施し、実被害率を再現できるように年代区別なしの木造建物モデル(2F)、新・旧耐震を区別したRC造の建物モデル(3F, 6F, 9F, 12F)、鉄骨造の建物モデル(3F, 4F, 5F)など合計15個の非線形応答解析モデルを構築している。

木造建物モデルのクライテリオンに関しては、新耐震と旧耐震の建築年代によらず同じで、最大層間変形角で1/10rad以上になったモデルが大破以上の被害を受けたものとし、RC造建物と鉄骨建物は新

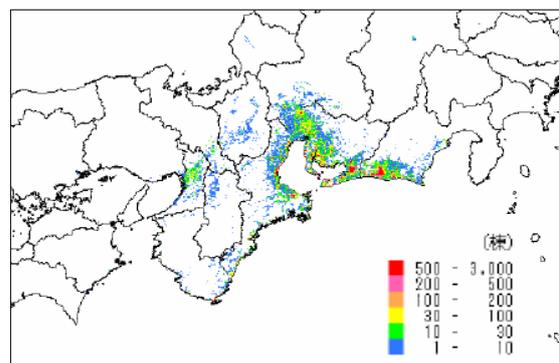


Fig.5 Distribution of damaged buildings for the expected Tonankai earthquake.

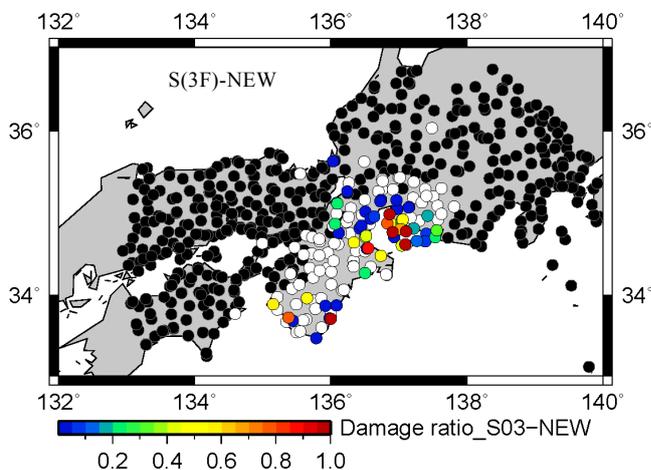
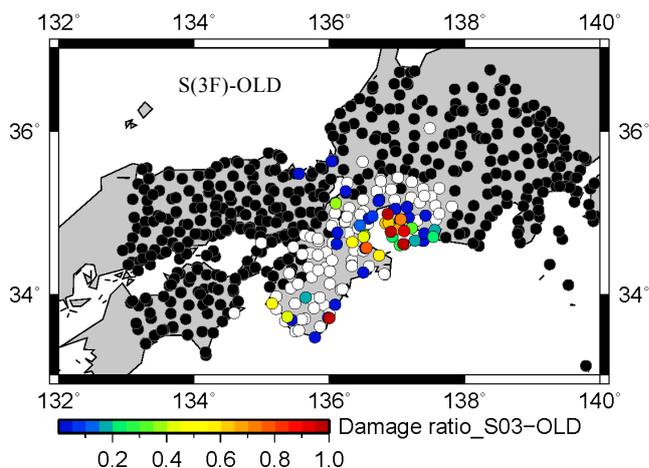


Fig. 6 Damage ratio distribution of steel buildings (3F). (Top figure; buildings built before 1981, Bottom figure; buildings built after 1981)

耐震と旧耐震の建築年代によらず同じく、1層でも最大層間変形角で1/30rad以上になったモデルは大破以上の被害を受けたものと仮定している。また、それぞれのモデルに対しては、建物の耐力のバランスを考えて耐力が小さいモデル、標準モデル(最頻値

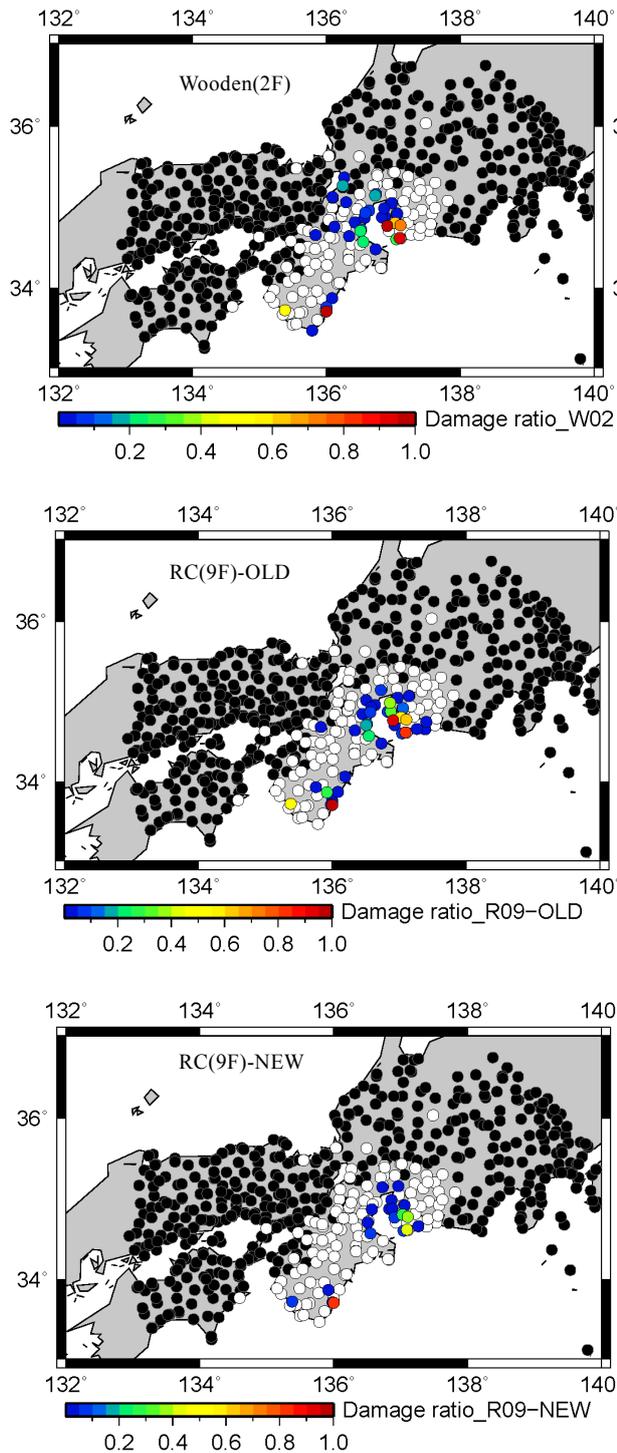


Fig. 7 Damage ratio distribution of wooden bldgs (2F) (Top figure), RC bldgs (9F) (Middle figure; buildings built before 1981, Bottom figure; buildings built after 1981)

モデル), 耐力が大きいモデルなど12個のモデルが含まれており, 各モデルの存在比率を対数正規分布で与え, それらのモデルの被害の有無から被害率を算定している。まず, 長戸・川瀬(2001)の木造モデル・RC造モデル・鉄骨造モデルに想定東南海地震

における加速度波形を入力して建物の被害を推定した。

Fig. 5には中央防災会議(2003)の「東南海, 南海地震等に関する専門調査会」による想定東南海地震における建物被害数の分布を示す。Fig. 6, Fig. 7には想定東南海地震による長戸・川瀬モデルから求めた鉄骨造3階建ての旧耐震、新耐震の被害率分布(白色○は, 被害率が計算されていない解析点を示す), 木造2階建ての被害率分布, RS造9階建ての旧耐震, 新耐震の被害率分布を示す。中央防災会議による伊勢湾, 熊野灘, および遠州灘で推定被害棟数が多くなっているところほど, 今回の算定被害率が高くなっており, 建物被害分布としては概ね対応していると言える。また, 愛知県, 滋賀県, 三重県, 和歌山県などの海岸地域と川沿いの沖積地盤地域などの比較的地盤が軟らかいところでは建物種別を問わず, 大破以上の被害を受ける可能性があることが分かる。

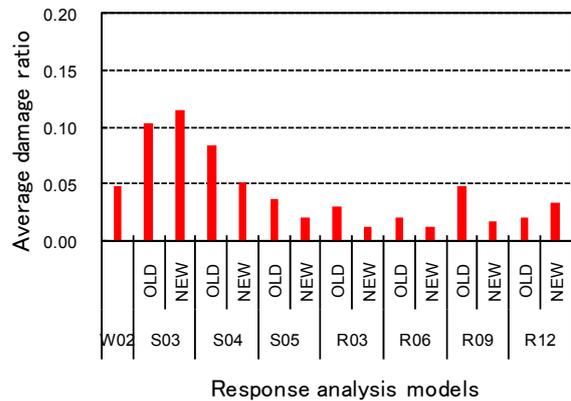


Fig. 8 Comparison of percentage distributions of damage ratios

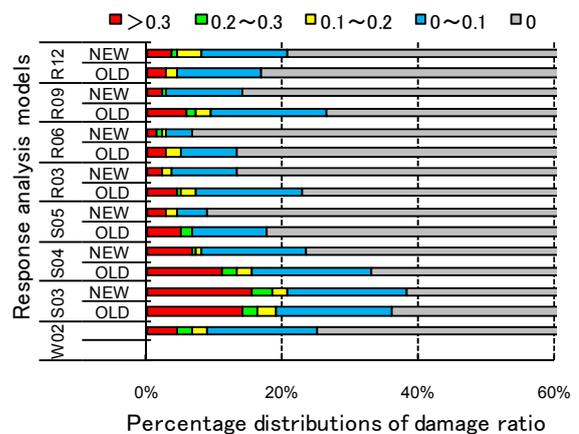


Fig. 9 Comparison of average damage ratio between building models

今回の建物の被害予測は兵庫県南部地震で大破した建物を対象として、実被害率と合うように構築したモデル群を用いており、そのモデル群と同じような耐力を持つ建物が対象観測点の近傍に建てられている場合の推定被害率であることに注意すべきである。この推定建物被害率は想定東南海地震における対象解析点で被害率であり、その近傍でも地震動の強さは場所によって異なるものと推定される。そのため今回のピンポイントでの予測被害率と中央防災会議の予測結果を同一レベルで比較することは難しい。一方、長戸・川瀬モデルも東北地方太平洋沖地震、新潟県中越地震や福岡県西方沖地震での実際の被害率と比較すると過大評価となる傾向があることがわかっており、今後東北地方太平洋沖地震における建物被害率分布を地震被害調査によって明らかにすることにより巨大海溝型地震における被害予測モデルの精度向上を追及する必要がある。なお、全体の被害率分布状況を中央防災会議による建物被害棟数の分布（ただし液状化による被害棟数が含まれている）と比較したとき、大阪平地、遠州灘南側半分の沿岸地域における被害率が小さくなっているのは、中央防災会議の予測では液状化による建物被害が比較的多く、揺れによる大破以上の被害が少なくとも被害総数が多くなるためと考えられる。

Fig. 8 には応答解析による平均被害率分布を旧耐震・新耐震、構造別、階数ごとに比較した。縦軸は計算された対象点ごとの被害率の合計を入力した波の数で割って、その平均被害率とした。その結果、旧耐震は新耐震より被害率が高いこと、階数別では、鉄骨造は低層ほど被害率が高いこと、RC造では9階建が高いことがわかる。構造別では、鉄骨造建物が一番高く、次は木造建物、鉄筋コンクリート造建物の順となることが分かったが、鉄骨造3階およびRC造12階建ての旧耐震と新耐震の被害率が逆になっている。これは兵庫県南部地震の観測被害率と合うようにモデルを作成する際の、観測被害率と一致している。原因としては該当建物の棟数は少なかつたため予想通りの被害率となっていなかつたためと考えられる。

Fig. 9 には応答解析モデルごとに被害率の低い地点から高い地点まで、ある被害率範囲の地点の対象解析点全体に占める割合がどのように変化しているかを比較した。縦軸は応答解析モデル、横軸は0～10%、10%～20%、20%～30%、および30%以上と計算された被害率となった地点の全体解析点に占める割合を示す。応答解析による計算被害率が30%以上となるのは、平均被害率と同じように、旧耐震は新耐震より高いこと、構造別では、鉄骨造建物が一番高く、次は木造建物、鉄筋コンクリート造建物の

順となっていることがわかった。

## 5. まとめと今後の展望

本論文では、長周期まで有効な統計的グリーン関数と不均質に破壊する震源断層モデルを用いて想定東南海地震による近畿・中部地域における強震動を試算した。その結果、予測した強震動波形による震度階級の分布は過去の研究成果や被害地震の推定強震動とほぼ一致する結果になった。得られた最大加速度・最大速度を経験的距離減衰式と比較したところバラつきが少なく平均的にはよく一致しており、前回より全体的に大きく改善された結果が得られた。これらには、海溝型地震の断層モデルの大きなアスペリティ内に不均質性を考慮した手法を導入したことが大きく寄与していると思われる。

次に、非線形応答解析モデルにこの想定東南海地震の強震動を入力して、近畿・中部地方における木造・低層鉄骨造・中低層RC造建物の被害予測を行った。その結果、愛知県、滋賀県、三重県、和歌山県などの海岸地域と河沿いの沖積地盤地域などの比較的地盤が軟らかいところでは建物種別を問わず、大破以上の被害を受ける可能性が多少なりともあることが分かった。また、中央防災会議(2003)による想定東南海地震における推定建物被害棟数が多くなっているところほど、算定被害率が高くなっており、建物被害分布としては対応している結果になった。応答解析による平均被害率分布を旧耐震・新耐震、構造別に比較したところ、旧耐震は新耐震より被害率が高いこと、構造別では、鉄骨造建物が一番高く、次は木造建物、RC造建物の順となることが分かった。被害率30%以上となる地点の対象解析点全体に占める割合でも、旧耐震は新耐震より高いこと、構造別では、鉄骨造建物が一番高く、次は木造建物、RC造建物の順となっていることがわかった。少なくとも耐震補強など東南海地震に向けた被害対策を立案する上で、震源近傍か地盤が軟弱であるかどうかを満たす地域を重点的に対象とすべきであることが指摘できる。

今後はここで示した建物被害予測に基づき、原単位および建物ストックの統計値情報を用いて想定東南海地震の地震被害がもたらす環境負荷を評価する。さらに震源地域の建物の被害総数から、死傷者数や帰宅困難者数、社会的影響度等を予測する。環境負荷予測では建物の被害総数に基づく建築廃棄物及び破壊された生活用品など一般ゴミ量、その環境を復元するに必要な資源及びエネルギー、同時に排出されるCO<sub>2</sub>の量などを計算する。この被害予測では、被害率は建物の実耐震性能の関数となるので、

地域の構造物群の耐震性能をどの程度向上させれば上記の構造物被害、人的被害、及び環境負荷をどの程度抑えられるかを定量的に評価することが可能である。

## 謝 辞

本論文の一部は若手研究者大航海プログラム（京都大学防災研究所）による海外派遣によって、中国内モンゴル師範大学地理学科学院の那仁満都拉講師と実施した共同研究の成果である。ここに記して、関係者の皆さまに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 地震調査研究推進本部：<http://www.jishin.go.jp/main/>  
地震調査研究推進本部（2002）：地震調査委員会強震動評価部会「南海トラフの地震の長期評価について」,  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01sep\\_nankai/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01sep_nankai/index.htm).  
中央防災会議（2003）：「東南海、南海地震等に関する専門調査会（第10回）」,  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/10/siryou2.pdf>  
釜江克宏・川辺秀憲（2003）：南海地震の強震動予測手法、平成14年度「巨大地震・津波による太平洋沿岸巨大連担都市圏の総合的対応シミュレーションとその活用手法の開発」成果報告書、pp.36-49.  
Kamae, K., H. Kawabe and K. Irikura (2004): Strong ground motion prediction for huge subduction earthquakes using a characterized source model and several simulation techniques, 13WCEE, Vancouver, Paper No, 655 (CD-ROM).  
宝音図・那仁満都拉・川瀬博・松島信一（2010）：統計的グリーン関数法による広周期帯域の地震動予測、平成22年度地震学会秋季大会、B12-05, pp. 49.  
川瀬博・松尾秀典（2004）：k-NET, KiK-Net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析、日本地震工学会論文集、第4巻、第1号、pp. 33-52.  
包那仁満都拉・川瀬博（2007）：強震ネットワークデータから構築した広周波数帯域統計的グリーン関数とその南海地震への応用、日本地震工学会、第7巻、第2号（特集号）、pp. 80-95.  
Irikura, K., (1986) : Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., pp. 151-156.  
司宏俊・翠川三朗（1999）：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第523号、pp. 63-70.  
松島信一・川瀬博（2000）：1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション、日本建築学会構造系論文集、No.534、pp. 33-40.  
伊藤茂郎・川瀬博（2001）：統計的グリーン関数法による強震動予測法の検証と仮想福岡地震への適用、日本建築学会構造系論文集、第540号、pp. 57-64.  
長戸健一郎・川瀬博（2001）：被害予測用動的構造物群モデルと福岡市の被害予測、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp. 135-136.  
長戸健一郎・川瀬博（2001）：建物被害データと再現強震動によるRC造構造物群の被害予測モデル、日本建築学会構造系論文集、第544号、pp. 31-37.  
川瀬博（2005）：地面の揺れを予測してそれに備える、地震の予測・強震動の予測・被害の予測、建築雑誌、vol.120, No.1536, pp. 40-41.  
包那仁満都拉、川瀬博（2006）：長周期地震動予測のための統計的グリーン関数、海洋出版株式会社、月刊地球号外 No.55, pp. 119-127.  
包那仁満都拉・川瀬博（2008）：想定南海地震の予測被害率から推定される環境負荷とそれに対する耐震施策の与える影響(第4部 学術論文、地球環境と防災のフロンティア)、総合論文誌 (6)、pp. 87-92.

## Broadband Strong Ground Motion Prediction for Hypothetical Tonankai Earthquake using Statistical Green's Functions Method and Subsequent Building Damage Evaluation

Baoyintu\*, Hiroshi KAWASE and Shinichi MATSUSHIMA

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

### Synopsis

We used an empirical Green's function method together with the randomly perturbed asperity source to

sum up broadband statistical Green's functions for a moderate size earthquake to predict strong ground motions due to the expected Tonankai earthquake. We were able to simulate seismic intensity distribution similar to past earthquakes and strong motion waveforms that correspond to previous studies and attenuation relations. Using these results, we predicted building damage by non-linear response analysis and found that at the regions close to the source as well as regions with relatively thick soft sediments such as the shoreline and alluvium deposits along the rivers, there is a possibility of severe or higher damage regardless of the type of buildings. Also, damage ratio for buildings built before 1981 was higher than those built after and the damage ratio was highest for steel buildings, followed by wooden buildings and then reinforced concrete buildings.

**Keywords:** stochastic green's functions, Tonankai earthquake prediction, strong motion prediction, damage prediction of buildings