

東海地域における南海トラフの地震に対する設計用入力地震動について

宮腰淳一¹⁾, 壇 一男²⁾, 石井やよい³⁾, 小穴温子⁴⁾, 福和伸夫⁵⁾,
護 雅史⁶⁾, 西澤崇雄⁷⁾, 梅村建次⁸⁾, 千賀英樹⁹⁾, 高橋広人¹⁰⁾

- 1) 大崎総合研究所, 研究部長 博士 (工学)
e-mail : miya@ohsaki.co.jp
- 2) 大崎総合研究所, リサーチフェロー 博士 (工学)
e-mail : dan@ohsaki.co.jp
- 3) 大崎総合研究所, 研究員 修士 (工学)
e-mail : yayoi@ohsaki.co.jp
- 4) 大崎総合研究所, 研究員 博士 (工学)
e-mail : a.oana@ohsaki.co.jp
- 5) 名古屋大学減災連携研究センター, 教授 工博
e-mail : fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
- 6) 名古屋大学減災連携研究センター, 特任教授 博士 (工学)
e-mail : m.mori@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
- 7) 日建設計, 主管 博士 (工学)
e-mail : nishizawa@nikken.jp
- 8) 竹中工務店設計部, 副部長 修士 (工学)
e-mail : umemura.kenji@takenaka.co.jp
- 9) 竹中工務店設計部, 主任 修士 (工学)
e-mail : senga.hideki@takenaka.co.jp
- 10) 名城大学理工学部建築学科, 准教授 博士 (工学)
e-mail : hirohito@meijo-u.ac.jp

要 約

愛知県設計用入力地震動研究協議会にて, 2010 年~2018年にかけて実施してきた, 東海地域における南海トラフ地震に対する設計用入力地震動作成事業について, 策定した地震動の位置づけと経緯を報告するとともに, 想定震源域や震源モデル, 及び評価結果を示した. 評価地点は東海地域の11点を選定した. 地震動評価手法は, 5つの要素地震を用いた経験的グリーン関数法を用いた. 地震動評価結果を, 過去の地震の震度および他機関による長周期地震動と比較した. また, 地震動評価結果を入力とした超高層建物と免震建物の仮想建物モデルの応答評価についても実施した.

キーワード: 東海地域, 南海トラフ地震, 設計用入力地震動, 経験的グリーン関数法, 建物応答評価

1. はじめに

東海地域における南海トラフ巨大地震に対する設計用入力地震動を作成することを目的として、愛知県設計用入力地震動研究協議会（以下、「協議会」という）¹⁾では、2010年より南海トラフで発生する地震に対する最新の知見を取り込んだ設計用入力地震動の検討を開始した。当初は、東海・東南海地震を想定地震としていたが、2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震が発生し、それを受けた内閣府^{2),3)}による南海トラフ地震に対する想定震源域や地震動推定の見直し等から、想定地震を東海・東南海地震から南海トラフ巨大地震を想定した震源域に変更することとした。さらに、内閣府⁴⁾は、引き続きの検討課題としてきた長周期地震動について、2015年12月「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」を公表した。一方、国土交通省⁵⁾は、内閣府の結果検討を受け、建築基準法（昭和25年法律第201号）に基づく超高層建築物等における長周期地震動の対策について、2015年12月にパブリックコメントを実施した上で、2016年6月24日に通知として公表した。ここで、内閣府では過去の南海トラフの地震（1707年宝永地震、1854年安政東海地震、1944年東南海地震、1946年南海地震）の強震動生成域の位置を包絡する想定震源域を考え、国土交通省では1707年宝永地震を想定震源域として考えていた。

以上のような状況を鑑み、協議会による設計用入力地震動は、耐震設計行為において、国土交通省によるスペクトルに加えて、今後起こる南海トラフ地震の中で、現時点で東海地域において考慮することが望ましい地震に対する、最も起こり得る平均的な地震波、あるいは設計荷重を超える地震動が発生した際の建造物の挙動について事前検討を行う際に活用する地震波と位置付けることとした。本論文では、作成した地震動、およびその地震動を用いた建物応答評価について記述する。具体的には、1707年宝永地震を想定地震とし、その断層モデルを設定して地震動評価を行った。その際、同じ震源域でも異なる強さの地震動が発生する可能性が否定できないことから、短周期レベルが異なる複数のケースを想定した。地震動評価方法は、大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム⁶⁾等により、多くの地震観測記録が収集されてきたことから、これらを用いた経験的グリーン関数法を採用することとした。作成した地震動に対して、過去の地震における震度分布と比較して妥当性を検証するとともに、内閣府や国土交通省からの公表内容との比較検討を実施した。また、作成した地震動に対する建物の挙動を確認するために、超高層建物と免震建物の地震応答計算を実施した。

2. 地震動評価地点

地震動評価地点は、名古屋市周辺だけでなく、西は伊勢平野、東は浜松市の範囲から、地震観測記録や地盤調査データが存在し、かつ深部地盤の卓越周期がなるべく異なる11地点を選定した。地震動評価地点を図1に示す。図には地震基盤から工学的基盤までの深部地盤の1次卓越周期を重ねて示している。図より、選定した地震動評価地点は深部地盤の1次卓越周期が様々な地点となっている。

3. 想定地震と断層モデルの設定

3.1 想定地震と想定震源域

想定地震は、南海トラフ沿いのプレート境界で次に発生する可能性が高い地震で、過去に起こった最大規模の地震とする。想定地震の震源域は、内閣府⁴⁾による宝永地震の断層モデルを参考に、内閣府⁷⁾の南海トラフの巨大地震の震源域から、震源深さ30 kmまでの要素断層を含み、内閣府⁴⁾の西端の強震動生成域を含むように設定した。以後、この想定地震を宝永地震タイプと呼ぶ。

3.2 断層モデルの設定

宝永地震タイプのアスペリティモデルの断層パラメータは、断層面積を与条件として、壇・他⁸⁾によるプレート境界地震の強震動予測のための断層パラメータ設定方法に従って設定した。ここで、短周期レベルは、2011年東北地方太平洋沖地震の短周期レベルと地震調査研究推進本部⁹⁾による強震動予測レシピを参考に設定した。2011年東北地方太平洋沖地震の短周期レベルは、壇・他¹⁰⁾による内陸地震の地

震モーメントと短周期レベルの経験式の1~2倍程度であったとされている（例えば、佐藤¹¹⁾、川辺・釜江¹²⁾、Kurahashi and Irikura¹³⁾など）。また、強震動予測レシピ⁹⁾では、想定震源域における最新活動の地震の短周期レベルが推定されていない場合には、壇・他¹⁰⁾による内陸地震の地震モーメントと短周期レベルの経験式により設定することとされている。以上の点を踏まえ、本検討では、壇・他¹⁰⁾の経験式の平均値の1倍、1.25倍、1.5倍の3ケースを設定し、それぞれケース1（基本ケース）、ケース2、ケース3とした。短周期レベルと地震モーメントの関係を図2に示す。図に示すように、中央防災会議¹⁴⁾の東海・東南海・南海地震、内閣府⁷⁾の南海トラフの巨大地震、および内閣府⁴⁾の最大クラスの地震の短周期レベルは、本検討のケース3よりも大きい。また、宮腰・他¹⁵⁾や協議会¹⁶⁾の想定新東海地震の短周期レベルは、本検討のケース1とケース2の中間程度である。宝永地震タイプの断層パラメータを表1に示す。断層モデルのアスペリティ位置は内閣府⁴⁾を参考に、破壊開始点の位置は中央防災会議¹⁴⁾を参考にした。ケース1からケース3までの断層モデルを図3に示す。図中には、各アスペリティのすべり量と応力降下量を合わせて示している。

4. 地震動評価のための要素地震

経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、宮腰・他¹⁵⁾で用いた4つのスラブ内地震と、2016年4月1日の三重県南東沖のプレート境界付近で発生した地震の5つとした。5つの地震について、2000年10月31日の地震をEQ01、2001年2月23日の地震をEQ02、2001年4月3日の地震をEQ03、2004年1月6日の地震をEQ04、2016年4月1日の地震をEQ05と呼ぶ。5つの要素地震の震央位置を図3(a)に赤星印で示す。

要素地震のパラメータは、つぎのように設定した。EQ01~EQ04は、宮腰・他¹⁵⁾による値とした。これは、地震モーメントはF-netによる値とし、EQ01およびEQ03の応力降下量は佐藤¹⁷⁾による値、EQ02およびEQ04の応力降下量は三の丸地点の観測記録に合うように設定された値である。EQ05は、地震モーメントはF-netによる値とし、応力降下量は、震源距離200 km以内、S波速度2 km/s 以上のKiK-net地中観測点の記録を用いて設定した。設定した要素地震の断層パラメータを表2に示す。

地震動評価地点における5つの要素地震の観測記録の有無と、長周期側の信頼周期を表3に示す。なお、EQ01による浜松（SZO024）およびEQ03による四日市（MIEP02）の観測記録にはノイズが含まれていたため、要素地震としては用いなかった。また、EQ04の浜松（SZO024）における観測記録は得られていなかったが、浜松（SZO024）における地盤増幅特性とKiK-net浜松（SZOH28）における地盤増幅特性の比率を考慮して、高橋・他¹⁸⁾による擬似経験的グリーン関数法により、EQ04のKiK-net 浜松（SZOH28）における観測記録からEQ04による浜松（SZO024）における加速度波形を推定し、要素地震波形とした。また、名古屋駅（NGYSTA）では地震観測記録が得られていないことから、同様にして、名古屋駅周辺の地震観測点の記録から、要素地震波形を推定した。

要素地震の配置は、震源の位置と深さに応じて設定した。EQ05の震源深さが14 kmであることから、深さ15 km未満の要素断層にEQ05を割り当てた。要素地震EQ01~EQ04については、震央位置が深さ15 km以深の要素断層から最も近くなるように領域を分けて割り当てた。要素地震の配置を図3(a)に示す。

5. 地震動評価

5.1 地震動の作成方法

3章で設定した断層モデルと4章で示した要素地震の地表観測記録を用いて、経験的グリーン関数法により地震動を計算する。地震動評価地点は、2章で示した地点である。

地震動の計算では、各要素断層の地震波放射位置を要素断層内にランダムに11パターン配置するため、各成分に対して11パターンの波形が計算される。これらの波形から平均的なスペクトル特性を抽出するために、以下の手順で模擬波を作成する（地表模擬波とよぶ）。各成分の11パターンの地表の波形に対して減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを計算し、各成分の平均値を求める。次に、応答スペクトル

の平均値に適合した模擬地震波を計算する。このときの位相は、それぞれの波形のものを用いる。この模擬地震波を、最大速度の大きい順に並べて、その値が中央値となる1パターンの波形を地表模擬波とする。最大速度の並べ方は、ランダムパラメータが3成分とも同じとなるようにして、水平2成分のうち大きい方の成分を順番に並べる。

次に、工学的基盤の地震波を以下の手順で計算する（基盤模擬波とよぶ）。経験的グリーン関数法により計算した11パターンの地表の波形と計算地点の地盤モデルを用いて、1次元重複反射理論により11パターンの工学的基盤の地震波を計算する。さらに、地表模擬波の計算方法と同様にして、1パターンの模擬波を計算し、基盤模擬波とする。

5.2 地震動評価結果

短周期レベルが壇・他¹⁰⁾の経験式の平均値としたケース1に対して計算した三の丸地点の地表模擬波を図4に、基盤模擬波を図5に示す。また、三の丸地点の基盤模擬波の応答スペクトルに対して、ケース1、ケース2、ケース3を比較して図6の左図に示す。図より、ケース1、ケース2、ケース3の順に地震動が大きくなることがわかる。図4、図5より、三の丸地点では周期3秒付近が卓越する地震動となった。これは、この地点の深部地盤の1次卓越周期と対応する。図6より、ケース1、ケース2、ケース3の順に地震動レベルが大きくなることがわかる。

5.3 地震動評価結果の考察

5.3.1 過去の地震の震度との比較

計算した地表模擬波の計測震度を、被害から推定された過去の地震（1707年宝永地震、1854年安政東海地震、1944年東南海地震）の震度（飯田¹⁹⁾）と比較する。4地点（NGY三の丸、AICP12刈谷、SZO024浜松、MIEP02四日市）における地表模擬波の計測震度と過去の地震の震度を比較して図7に示す。過去の地震の震度は計測震度に換算し、幅をもった値として表記している。図より、短周期レベルの不確かさを考慮した3ケースの地表模擬波の計測震度は、過去の地震の震度の幅の中に収まっており、両者は概ね対応している。

5.3.2 他機関による地震動評価結果との比較

計算した基盤模擬波を、内閣府⁴⁾による長周期地震動、及び国土交通省⁵⁾による長周期地震動の計算結果と比較する。

内閣府⁴⁾では、宝永地震を対象に強震動生成域のみから成る断層モデルを設定し、3次元有限差分法により周期2秒以上の長周期地震動を評価している。地震動評価においては、破壊伝播速度の揺らぎを考慮しているため、ここでは、それらの結果のうち周期2～6秒における減衰定数5%の平均速度応答スペクトルが最大、最小、中間のケースと比較する。なお、比較する内閣府⁴⁾の評価結果は、計算地点を含む250mメッシュの地震動とした。

国土交通省⁵⁾では、長周期地震動を含む観測記録を用いた経験的手法を構築したうえで、宝永地震を対象とした地震動評価を行い、地域ごとの長周期地震動のレベルを設定している。

本論文で計算した三の丸地点および浜松地点の基盤模擬波の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを、内閣府⁴⁾による長周期地震動と国土交通省⁵⁾による長周期地震動と比較して図6に示す。図より、三の丸地点における周期2～5秒付近では、比較した3つの地震動のレベルに違いが見られ、本論文で計算した基盤模擬波が最も大きく、内閣府の長周期地震動が最も小さかった。また、浜松地点では、本論文で計算した基盤模擬波がやや大きく、国土交通省と内閣府の長周期地震動が概ね対応していた。これらの違いの要因として、次のことが考えられる。国土交通省で構築している経験的手法で用いている観測記録に、浜松地点は含まれているが三の丸地点が含まれておらず、地盤増幅などの扱いが必ずしも同一ではない。また、国土交通省の長周期地震動のレベル設定では、区分けした地域内の複数地点における計算結果の応答スペクトルを周期帯ごとに平均化しているのに対して、本論文では地域や周期帯で平均化することなく、その地点における計算結果を用いている。

6. 長周期建物の応答評価

ここでは、5章で評価した地震動に対して、超高層建物や免震建物の代表的な建物モデルを設定し、その地震応答解析を示すことで、建物側の対策について考察を行う。検討の方針として、建物モデルは、計画の初期段階で、設計者が本検討を参照して採用すべき建物の規模や構造種別の方向性を出しやすいようにまとめる方針とした。具体的には、建物の階数や、耐力、減衰、あるいは免震建物とした場合の免震周期などをパラメトリックに変化させた結果を示し、安全性や経済性を高めることができる合理的な構造形式を大きく捉えやすいことを目標とした。なお、建物応答解析に用いる入力地震動は、比較的地盤条件の良い三の丸地点において、ケース1の基盤地震動を用いて表層地盤の非線形性を考慮した地震応答解析（西澤・他²⁰⁾）を行った基礎底レベルでの地震動（以下、「基礎底波」という）とした。

6.1 仮想建物モデルの概要

仮想建物モデルは全階が基準階である建物を想定した。建物重量は床面積に対して 0.7tf/m^2 と想定した。これは一般的なS造超高層建物程度の床面積に対する重量に相当する。建物の平面形状は1辺37.8mの正方形と仮定し、各階重量が $10,000\text{kN}$ となるように設定した。建物の階高は各階4mとした。既存超高層建物の1次固有周期は、既往の分析結果から平均的な値として、建物高さ $H(\text{m})$ に対して $T(\text{sec})=0.025 \times H$ とした。階高を各階4mとしたため、階数を F とすれば1次固有周期は $T(\text{sec})=0.1 \times F$ と表現され分かりやすい。

建物の初期剛性分布は、既存超高層建物の性能評価資料にもとづく剛性分布の分析結果をもとに、頂部で0.3、下部で1.0の台形分布とした。各層の第1剛性に対する第2剛性の比 K_2/K_1 を0.7と設定し、第3剛性は $K_3=0.01 \cdot K_1$ とした。各層の建物の耐力は、まず建物の1次固有周期に対する設計用ベースシア係数の分析から設計用ベースシア係数 C_b を設定し、さらに第1層の第1折点の層せん断力 Q_1 と設計用層せん断力 Q_D の比 Q_1/Q_D を1.5~2.5（履歴モデルのパラメータ α と称す）の範囲で設定し、第2折点の層せん断力との比 Q_2/Q_1 を1.25とした。仮想建物モデルの設計用ベースシア係数はRt曲線の1.5倍と仮定し、高さ方向の耐力分布は最適層せん断力係数²¹⁾を用いた。モデル化の詳細は文献²⁰⁾を参照されたい。

6.2 超高層建物の応答結果

検討は建物高さや、耐力の指標となるパラメータ α 、減衰定数 h を変化させた数多くの建物モデルで行っているが、ここでは、30階モデル、 $\alpha=2$ 、 $h=3\%$ の場合の結果を例示して説明する。これは、建物の1次固有周期が3秒の建物モデルで、名古屋付近の深部地盤の1次卓越周期とほぼ一致する。また、 $\alpha=2$ は耐力として現在設計される建物程度を想定しており、 $h=3\%$ は制震部材を控えめに付加した建物を想定したことに相当する。ケース1の基礎底波に対する応答結果を、国土交通省⁵⁾による長周期地震動（CH1,CH2,CH3）に対する応答結果と比較して図8に示す。CH3に対して最大応答変形角が1/100を下回る程度だが、基礎底波による結果は1/50を超えている。さらに、CH1やCH2よりも基礎底波の応答は大きい、国土交通省⁵⁾による長周期地震動は工学的基盤位置の波のため、単純に比較は出来ないが、基礎底波は地震動レベルが大きなものであることが分かる。その他の例として、50階モデル、 $\alpha=2$ 、 $h=3\%$ の場合の結果を図9に示す。建物の1次固有周期は5秒となり、深部地盤の1次卓越周期とは異なる周期の建物モデルでの検討となる。この場合には、基礎底波による最大応答変形角は1/100を下回り、一般的なクライテリアでの設計が可能と程度と考えられる。この場合、最も応答が大きいのはCH1である。

6.3 免震建物の応答結果

前節と同様に、ケース1の基礎底波に対する応答結果を国土交通省の長周期地震動に対する応答結果と比較して示す。特別な対策していない免震構造の例として、免震周期3秒（L2歪相当）、ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha_s=3\%$ とした免震構造モデルでの解析結果を図10に示す。建物に作用するせん断力係数は、免震構造としては大きく、合理的ではない。図11には、長周期地震動対策として $\alpha_s=4\%$ とダンパー量を増やし、免震周期を変化させた場合の検討結果を示す。免震周期を4秒以上とすることにより、建物の層せん断力係数、免震層での変形ともに一般的な免震設計のクライテリアで設計可能な程度になることが分かる。逆に、深部地盤の一次卓越周期に近くなる免震周期が3秒や3.5秒では、建物の層せん断力係数は大きくなり、免震層の長周期化が必要であるといえる。

7. まとめ

本論文では、東海地域における南海トラフ巨大地震に対する設計用入力地震動を作成することを目的とした協議会での検討結果について記述した。具体的には、地震動評価地点を11地点選定したうえで、宝永地震タイプを想定地震として断層モデルを設定し、複数の要素地震を用いた経験的グリーン関数法により評価地点の地震動を計算した。その際、断層モデルとして、短周期レベルの不確かさを考慮した3ケースを設定した。次に、計算した地震動を、過去に発生した南海トラフ沿いの地震の震度や、他機関による地震動評価結果と比較した。最後に、三の丸地点で計算したケース1の基盤地震動を用いて表層地盤の非線形性を考慮して地震応答解析を行った。また、基礎底レベルでの地震動を入力地震動として、仮想建物モデルの地震応答解析を行った。建物モデルは、超高層建物および免震建物の仮想建物モデルとし、建物の階数、耐力、減衰、あるいは免震建物とした場合の免震周期などをパラメトリックに変化させた結果を示し、今回用いた入力地震動は大振幅の地震動になること、また一方で適切な建物側の対策により設計可能なレベルであることを示した。

なお、計算した地震動の中には、非常に大きな速度応答が推定された評価地点も存在する。これらについては、要素地震として用いた地震観測記録の再吟味、表面波の影響、付加体の影響、要素地震の配置方法等、評価結果に影響を与える可能性のある諸要因について、その影響度を分析した結果、採用した断層モデル、地震波作成手法や地震観測記録の範囲内では妥当な結果であると判断した。しかし、地震観測記録の更なる蓄積や南海トラフ地震の震源特性の新たな知見を踏まえて、今後も妥当性を検討していく必要がある。

謝 辞

本研究は、愛知県設計用入力地震動作成事業の一環とし、愛知県設計用入力地震動作成検討部会、及びWGの意見を踏まえて実施したものであり、事業関係各位に感謝の意を表します。また、防災科学技術研究所のK-NETとKiK-netの記録、F-netのCMT解を用いました。記して、感謝いたします。

参考文献

- 1) 福和伸夫, 久保哲夫, 飯吉勝巳, 大西稔, 佐藤俊明: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定: その1 全体計画概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.81-82, 2001.9.
- 2) 内閣府: 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), http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/1st_report.pdf, 2012.3.
- 3) 内閣府: 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)(平成24年8月29日発表), 強震断層モデル編—強震断層モデルと震度分布について—, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankai/pdf/20120819_2nd_report05.pdf, 2012.8.
- 4) 内閣府: 南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告, 2015.12.
- 5) 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について, http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000620.html, 2016. (2017.7.18 参照).
- 6) 飛田潤, 福和伸夫, 中野優, 山岡耕春: オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化, 日本建築学会技術報告集, 第13号, pp.49-52, 2001.7.
- 7) 内閣府: 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 第15回会合, 2012.
- 8) 壇一男, 石井やよい, 宮腰淳一, 高橋広人, 護雅史, 福和伸夫: マグニチュード9クラスのプレート境界地震による強震動予測のための断層モデルの設定—南海トラフ巨大地震への適用と東海地方における強震動の試算例—, 日本建築学会構造系論文集, 第692号, pp.1685-1694, 2013.10.
- 9) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 2017.4.
- 10) 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透: 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, pp.51-62, 2001.7.

- 11) 佐藤智美：経験的グリーン関数法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデルプレート境界地震の短周期レベルに着目してー, 日本建築学会構造系論文集, 第 675 号, pp.695-704, 2012.5.
- 12) 川辺秀憲, 釜江克宏：2011 年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化, 日本地震工学会論文集, Vol.13, No.2, pp.75-87, 2013.
- 13) Kurahashi, S. and K. Irikura: Short-Period Source Model of the 2011 Mw9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.103, No.2B, pp.1373-1393, 2013.5.
- 14) 中央防災会議：東南海, 南海地震に関する報告 図表集, 第 9 回資料 2-2, 2003.12.
- 15) 宮腰淳一, 中田猛, 福和伸夫, 柴田昭彦, 白瀬陽一, 斉藤賢二：名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成, 日本地震工学会・大会ー2004 梗概集, pp.394-395, 2005.1.
- 16) 愛知県設計用入力地震動研究協議会：愛知県設計用入力地震動の作成 想定地震による強震動予測 (改訂版), 2005.
- 17) 佐藤智美：中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究, 土木学会地震工学論文集, p_048.pdf-60, 2003.
- 18) 高橋広人, 福和伸夫, 林宏一, 飛田潤：地盤モデルに基づく 2 地点間の伝達関数と地震観測記録を用いた任意地点における地震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 609 号, pp.81-88, 2006.11.
- 19) 飯田汲事：飯田汲事教授論文選集, 飯田汲事教授論文選集発行会, 1985.
- 20) 西澤崇雄, 壇一男, 護雅史, 宮腰淳一, 高橋広人, 梅村建次：南海トラフの地震への対応事例, 大振幅予測地震動を耐震設計にどう取り込むか, 日本建築学会 2015 年度大会 (関東) PD 資料, 2015.9.
- 21) 秋山宏：建築物の耐震極限設計, 東京大学出版会, pp.67-70, 1980.

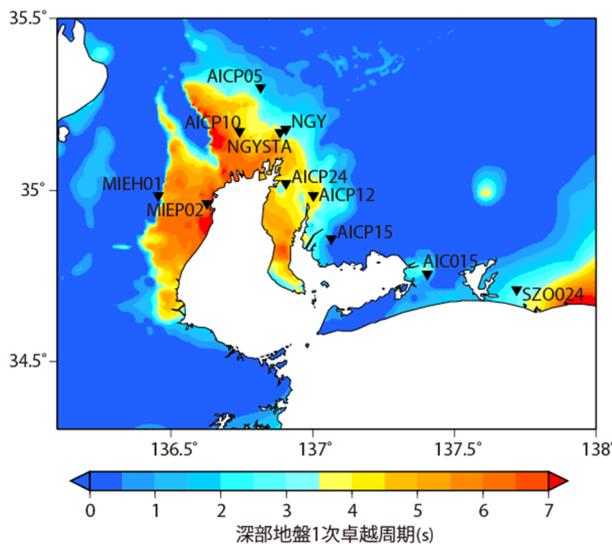


図1 地震動評価地点と深部地盤の1次卓越周期

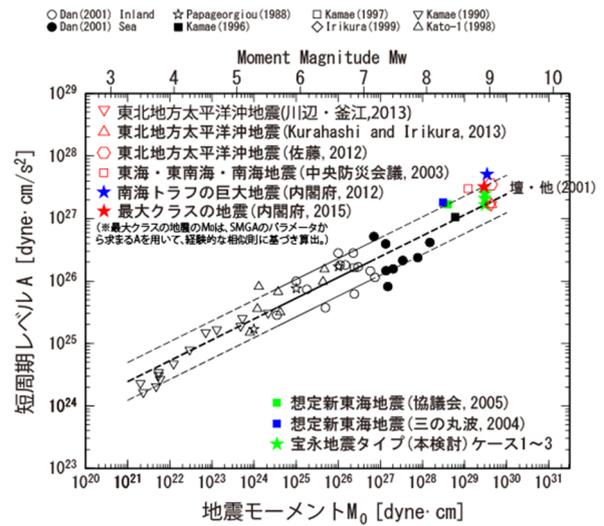


図2 地震モーメントと短周期レベルの関係

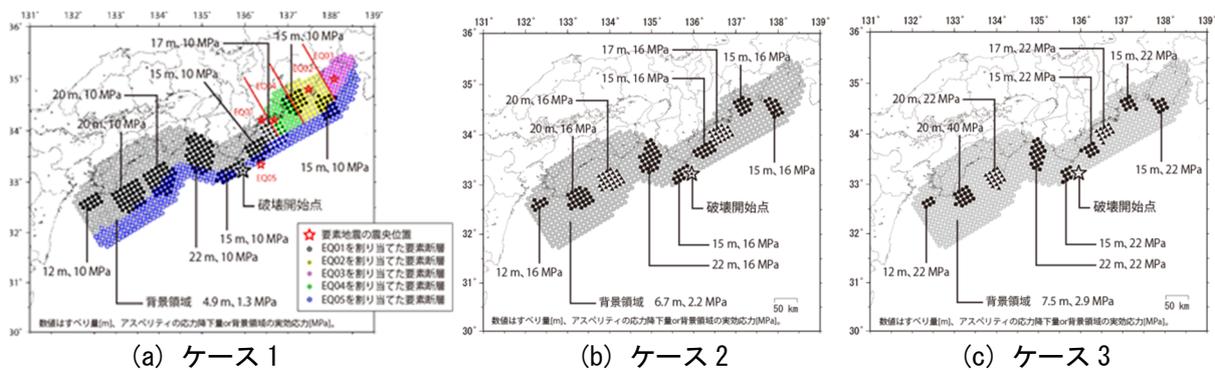


図3 宝永地震タイプの断層モデル

表1 宝永地震タイプの断層パラメータ

断層面積	地震モーメント	平均応力降下量	短周期レベル	アスペリティの面積	アスペリティの応力降下量	アスペリティの平均すべり量	背景領域のすべり量	背景領域の実効応力
S	M_0	$\Delta\sigma$	A	S_{asp}	$\Delta\sigma_{asp}$	D_{asp}	D_{back}	σ_{back}
[km ²]	[Nm]	[MPa]	[dyne·cm/s ²]	[km ²]	[MPa]	[m]	[m]	[MPa]
ケース1: 短周期レベルを内陸地震の式の1倍にした場合								
83772	3.05E+22	3.07	1.66E+20	25753	10.0	17.8	4.9	1.3
ケース2: 短周期レベルを内陸地震の式の1.25倍にした場合								
83772	3.05E+22	3.07	2.07E+20	16482	15.6	17.8	6.7	2.2
ケース3: 短周期レベルを内陸地震の式の1.5倍にした場合								
83772	3.05E+22	3.07	2.48E+20	11446	22.4	17.8	7.5	2.9

$\mu=4.10 \times 10^{10}$ N/m², $\beta=3.82$ km/sとした。

表2 要素地震の断層パラメータ

記号	発震時	深さ	モーメントマグニチュード	地震モーメント ^{*1}	すべり量	断層面積	応力降下量 ^{*2}
		[km]	M_w	M_0 [Nm]	D [m]	S [km ²]	$\Delta\sigma$ [MPa]
EQ01	2000/10/31 01:42	38	5.4	1.70×10^{17}	0.59	4.65	41.3
EQ02	2001/02/23 07:23	32	4.9	2.43×10^{16}	0.39	0.99	60.0
EQ03	2001/04/03 23:57	35	5.2	8.17×10^{16}	0.30	4.32	22.2
EQ04	2004/01/06 14:50	40	5.2	6.74×10^{16}	0.17	6.46	10.0
EQ05	2016/04/01 11:39	14	5.8	4.90×10^{17}	1.17	10.23	36.5

EQ01~EQ04は $\mu=6.22 \times 10^{10}$ [N/m²], $\beta=4.41$ [km/s], EQ05は $\mu=6.22 \times 10^{10}$ [N/m²], $\beta=4.41$ [km/s]とした。

*1) F-net

*2) EQ01とEQ03の応力降下量は佐藤¹⁷⁾による値。EQ02とEQ04の応力降下量は三の丸地点の観測記録に合うように設定。EQ05は震源距離200[km]以内、S波速度2.0[km/s]以上のKiK-net地中観測点の記録を用いて設定。

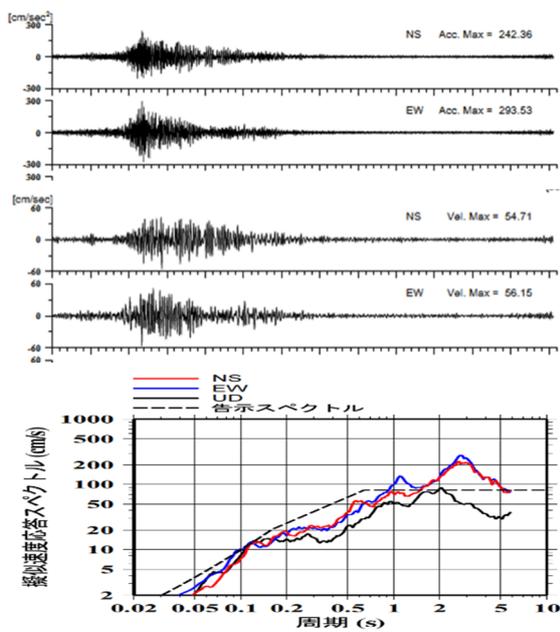


図4 三の丸地点の地表模擬波 (ケース1)

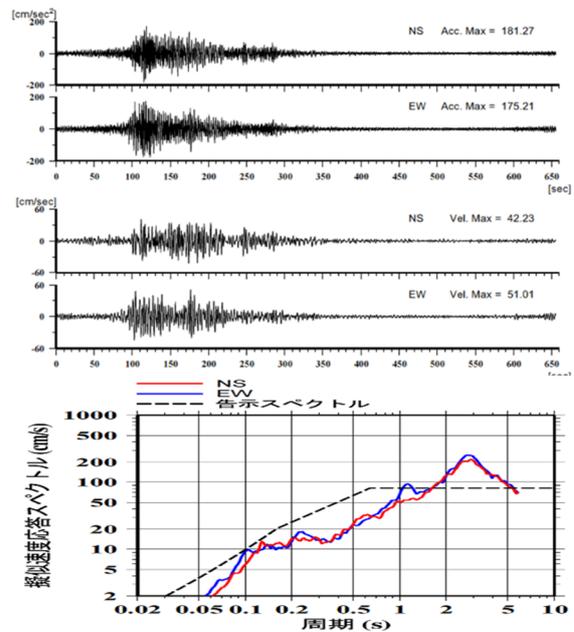


図5 三の丸地点の基盤模擬波 (ケース1)

表3 地震動評価地点の長周期側の信頼周期

	地点名	コード	信頼周期
代表地点	三の丸	NGY	6秒
	刈谷	AICP12	6秒
	四日市	MIEP02	10秒
	浜松	SZO024	10秒
その他の地点	四日市KiK-net	MIEH01	6秒
	一宮	AICP05	6秒
	津島	AICP10	7秒
	西尾	AICP15	6秒
	東海	AICP24	10秒
	豊橋	AIC015	10秒
	名古屋駅	NGYSTA	7秒

※信頼周期10秒は10秒以上も含む

- 宝永地震タイプケース3(地表)
- 宝永地震タイプケース2(地表)
- 宝永地震タイプケース1(地表)

■ 飯田(1985)に基づく過去地震の推定震度

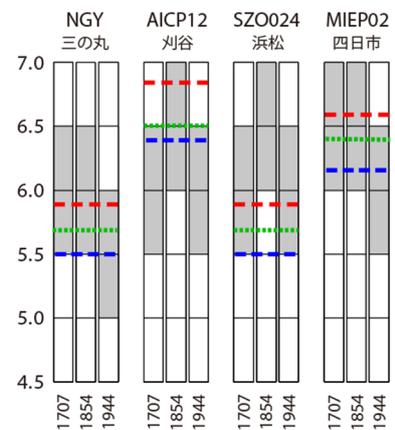


図7 過去の地震の震度との比較

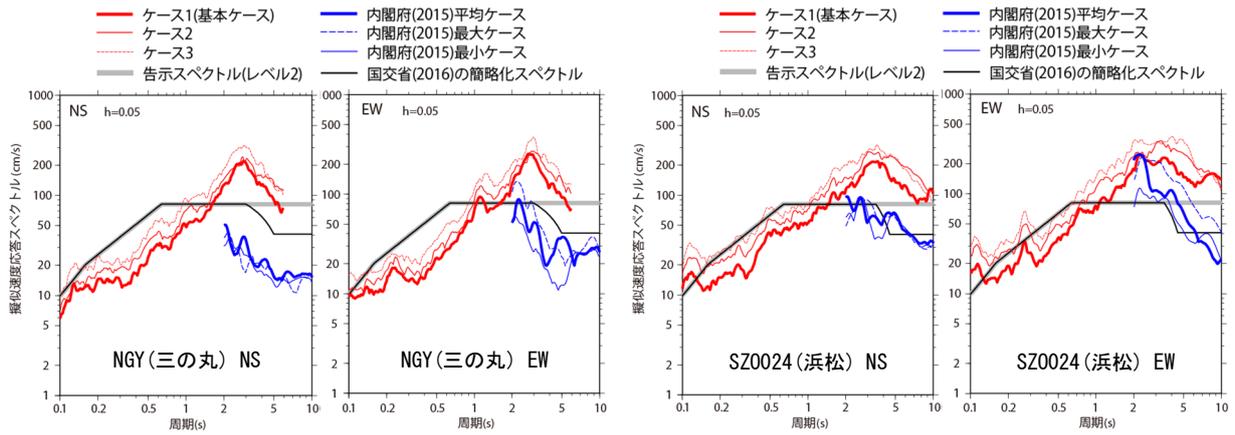


図6 内閣府と国土交通省の長周期地震動との比較

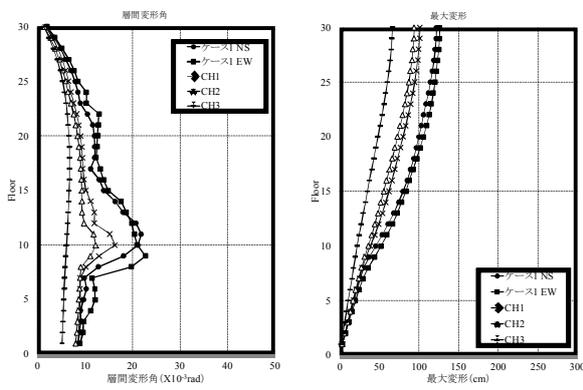


図8 超高層建物の応答 (30階, $\alpha=2$, $h=3\%$)

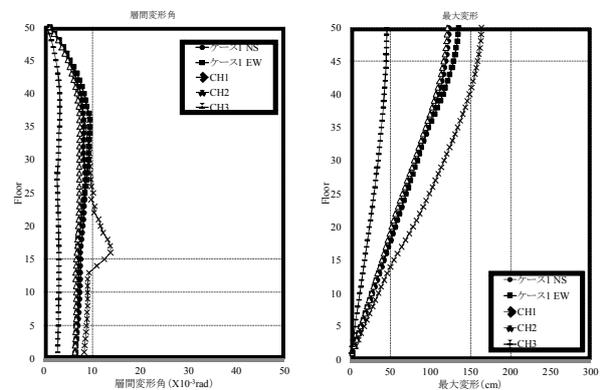


図9 超高層建物の応答 (50階, $\alpha=2$, $h=3\%$)

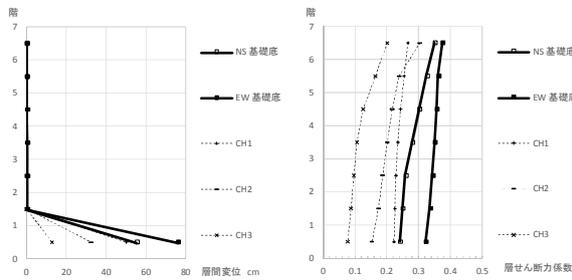


図10 免震建物の応答 (周期3秒, $\alpha=3\%$)

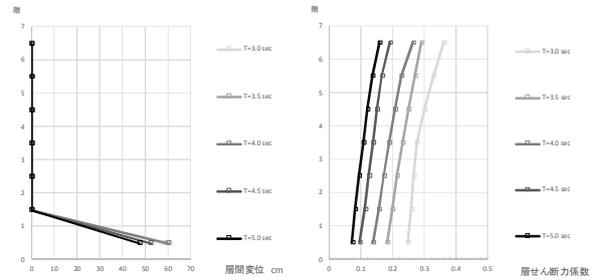


図11 免震建物の応答 (周期3~5秒, $\alpha=4\%$)

Design Earthquake Ground Motion in Tokai Region Considering Nankai Trough Earthquake

MIYAKOSHI Jun'ichi ¹⁾, DAN Kazuo ²⁾, ISHII Yayoi ³⁾, OANA Atsuko ⁴⁾,
FUKUWA Nobuo ⁵⁾, MORI Masafumi ⁶⁾, NISHIZAWA Takao ⁷⁾,
UMEMURA Kenji ⁸⁾, SENG A Hideki ⁹⁾ and TAKAHASHI Hirohito ¹⁰⁾

1) General Manager, Ohsaki Research Institute, Dr. Eng.

2) Research Fellow, Ohsaki Research Institute, Dr. Eng.

3) Researcher, Ohsaki Research Institute, M. Eng.

4) Researcher, Ohsaki Research Institute, Dr. Eng.

5) Professor, Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, Dr. Eng.

6) Designated Professor, Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, Dr. Eng.

7) Associate, Nikken Sekkei, Dr. Eng.

8) Senior Manager, TAKENAKA CORPORATION Design Department, M. Eng.

9) Chief, TAKENAKA CORPORATION Design Department, M. Eng.

10) Associate Professor, Meijo University, Dr. Eng.

ABSTRACT

We reported the background of the project for the design earthquake ground motion estimation in the Tokai area for the Nankai Trough Earthquake prepared for the Aichi Prefecture Design Input Earthquake Ground Motion Research Council. We showed the assumed source region, seismic source models, and evaluation results. Approximately 10 sites were selected in the Tokai area, and the empirical Green's function method was applied to the prediction of the strong motions. The evaluated ground motions were compared with the seismic intensity of the past earthquakes and the long-period ground motions by other institutions. We also performed response analyses of some virtual buildings such as high-rise buildings and base-isolated buildings.

Keywords: Tokai region, Design earthquake ground motion, Empirical Green's function method, Nankai trough earthquake, Building response