

レジリエンスな社会構築のための 地震動評価と建築の被害低減策

地震の長期評価、南海トラフ地震、長周期地震動、設計用地震動

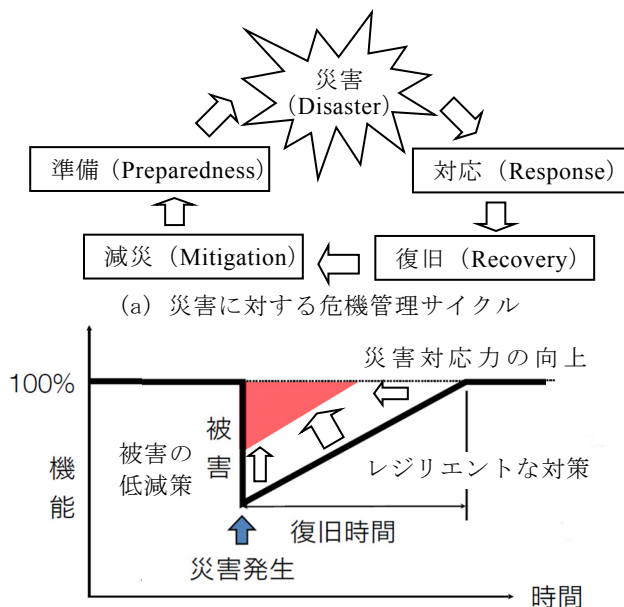
久田嘉章*

1. はじめに

災害に強く、被災後の速やかな復旧を可能とするレジリエンスな社会構築には、図 1(a)に示すような災害に対する 4 つのフェーズの危機管理サイクルが必要であり、特に図 1(b)に示すように被害を低減する従来型のハード中心の対策だけでなく、被害が出ることを前提とする対応力向上によるソフト的な対策を融合した策の推進が求められている¹⁾。最も有効な対応力向上策として、どんな種類・規模の災害にも柔軟な対応できるオールハザードアプローチによる対応計画とマネジメントの必要性が指摘されている^{2),3)}。建築・土木分野でも、従来の火災・震災・水害など災害別の被害想定によるハード対策を中心として被害の低減を進める対策だけでなく、複合災害を含む想定外の災害は必ず起こることを前提としたオールハザードアプローチによる柔軟な対応力向上策が必要であり、その社会的な要望に応えられる人材の育成が求められている。特に東日本大震災を契機に、我が国では想定外を無くすことを目的として、最大級の災害を想定した対策⁴⁾が推進されているが、中小規模の災害と最大級の災害とではその対応は大きく異なり、過大な被害想定により費用対効果を度外視した過剰な投資が行われたり、可能性の高い中小災害に有効な対策を諦めてしまうような事態は避けなければならない⁵⁾。

本報は上記の背景を鑑み、まず南海トラフ巨大地震を例として正確な地震や被害の予測は困難であり、中小から最大級災害まで柔軟な対応が必要とされる現状を確認する。次に、著者が関係した建築分野を中心とした取り組み事例を紹介し、レジリエンスな社会構築のための被害の低減策に関する現状と課題を整理する。

（本報告は、「レジリエンスな社会構築のための被害低減策と対応力向上策の現状と事例報告（久田嘉章、土木学会論文集 F6(安全問題)、Vol. 72 (2016) No. 2 p. I_1-I_14)」の前半部を再構成している）



(b) レジリエンスな災害対策の概念図（文献¹⁾に加筆）

図1 危機管理サイクルとレジリエンスな災害対策の概念図

2. 地震の長期評価と被害想定の実状

災害対策の第一歩は被害想定によるハザード・リスク評価であるが、2011年東日本大震災を契機として、地震の規模や場所・発生確率の評価（長期評価）と被害の正確な予測は困難であることが明らかになっている。ここでは南海トラフ地震を例として、長期評価や被害想定の実状を、多様な地震や被害想定の実状を紹介したい（首都直下地震の事例は文献⁵⁾を参照されたい）。

(1) 南海トラフ巨大地震による長期評価の実状

2011年東北地方太平洋沖地震以前は、図2と図3（左）の南海トラフ沿いの巨大地震（東海・東南海・南海の単独型および連動型地震）の例に示すように、海溝型巨大地震の発生場所と規模、発生時期にはある程度の規則性（固有地震モデル）があり、比較的予測しやすいと考えられていた⁸⁾。しかしながら、全くの想定外であった超巨大地震（M9地震）の発生を踏まえ、固有地震モデルの概念は大きく揺らぎ、

* : 工学院大学建築学部まちづくり学科

地震の長期評価に多様性（不確かさ）を考慮せざる負えなくなった。その結果、図 3（右）に示すように、南海トラフ地震の評価には科学的根拠が明確でない最大級の M9 地震を加え、「M8~9 クラスの地震の今後 30 年発生確率は 60~70%」と評価されている⁹⁾。一言でいえば、長期評価の困難さが明らかとなり、科学（Science）というよりも、防災を目的とする専門家判断（Expert Judgment）による評価結果を公表せざるを得ない状況となっている。

地震予測が困難であることは図 4 から容易に理解できる¹⁰⁾。すなわち、図は日本列島の海域を含む活断層帯であるが、極めて複雑な構造であり、南海トラフに関しても図 2 や図 3 のような単純なプレート境界は存在しない。駿河・相模トラフでは、フィリピン海上の伊豆半島がユーラシアプレートと衝突し、本来は海域に存在したプレート境界が内陸に入り込み、非常に複雑な断層面や応力状態となっている。加えて南海トラフ上には数多くの分岐断層等が分布し、各断層面の形状や応力の初期条件は不明である。従って、次の地震がどこにどの程度の規模で生じるかを物理的に予測することは不可能である。実際、南海トラフにおける過去の地震の解釈も学術的に諸説あり、図 2 のように単純ではない。例えば 1496 年明応地震は図-2 では駿河トラフの東海・東南海地震と解釈されているが、近年では図-4 の駿河トラフの南に位置する銭州断層帯の地震であり、さらには、ここにマイクロプレートがあり新しいプレ-

ト境界になりつつある、次の東海地震はこの断層帯で生じる、などの様々な学説^{11), 12)}がある。従って、図 2 や図 3 の単純化された南海トラフ地震のモデルは、厳密な科学的検証の結果というよりも、やはり防災目的の専門家判断である。

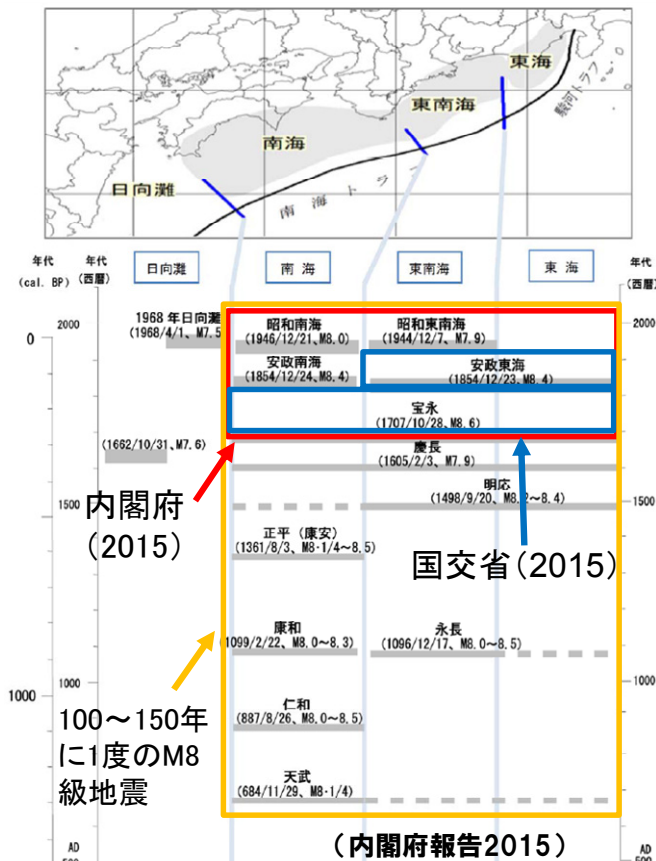


図 2 歴史上の南海トラフの巨大地震の発生履歴^{6), 7)}

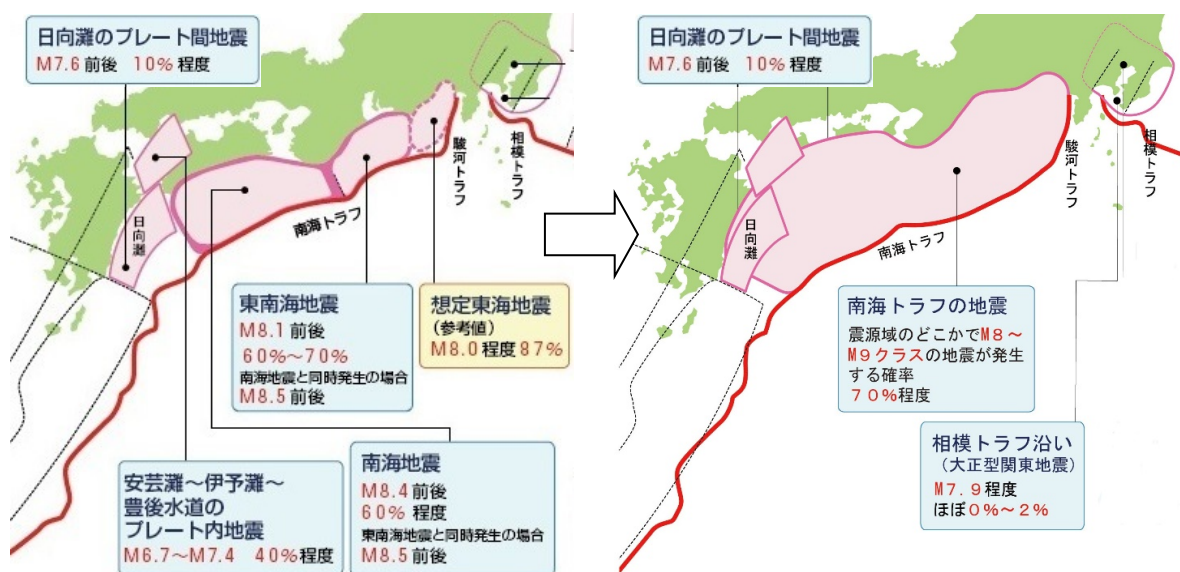


図 3 311 地震の結果を受けて「良く分からないことが分かった」南海トラフ巨大地震
 (左：311 地震前の固有地震説による長期評価⁸⁾, 右：311 地震後の多様性を考慮した長期評価⁹⁾)

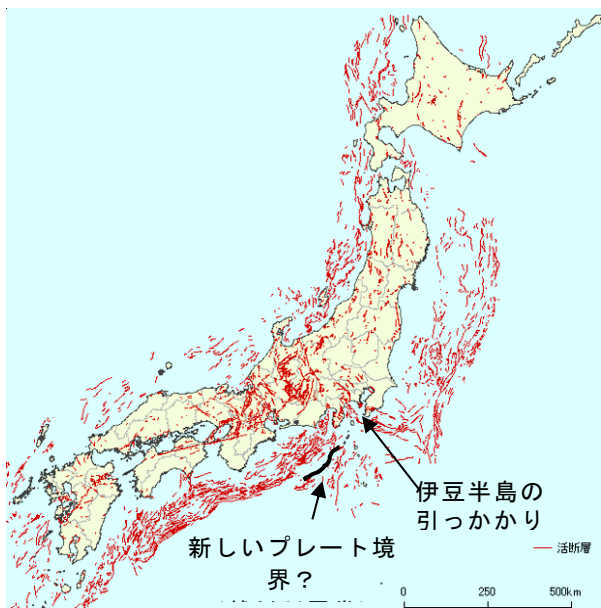


図 4 日本列島周辺の複雑な活断層帯分布（文献に加筆¹⁰⁾）

(2) 南海トラフ巨大地震による被害想定現状

国や都道府県など公的機関からは発表される想定地震動や震度分布や被害想定も、科学と言うよりも防災対策上の判断であり、防災対策を進めるうえで注意を要する。例えば、内閣府による南海トラフ巨大地震の想定震度分布として、図 5（上）は想定東海地震¹³⁾、図 5（下）は、最大級の南海トラフ地震の想定震度⁴⁾であり、静岡県ほぼ全域で、M8 地震の前者では震度 6 弱以上、M9 地震の後者では震度 6 強以上と評価されている。一方、図 6 は 1864 年安政東海地震（実際には東海・東南海地震の連動地震であり、M8.4 の超巨大地震をされている）における静岡県天竜川流域の寺院建築の倒潰率から求めた震度分布である¹⁴⁾。図 6 は図 5 の四角枠内に相当する天竜川流域であるが、図 5 では全域で震度 6 強以上であるのに対して、図 6 では殆どの地域で震度 5 以下で、ごく一部の地域で震度 6 以上に過ぎない。

地震動はランダムな現象であり、震源・伝播・サイト特性、さらには建物の耐震性や地震動との共振の有無などから、震度や被害分布は本質的に大きなばらつきを生じる⁵⁾。従って、図 5 の想定結果のように広大な地域で一様な震度分布となることは科学的にはあり得ない。しかしながら低震度の地域の公開には防災対策の推進上問題があるため、多数の推定結果（地震動計算において、パラメータや乱数を変化させる等）を重ねて、できるだけ一様な分布、かつ安全側（大きめ）となる結果が公開されている。

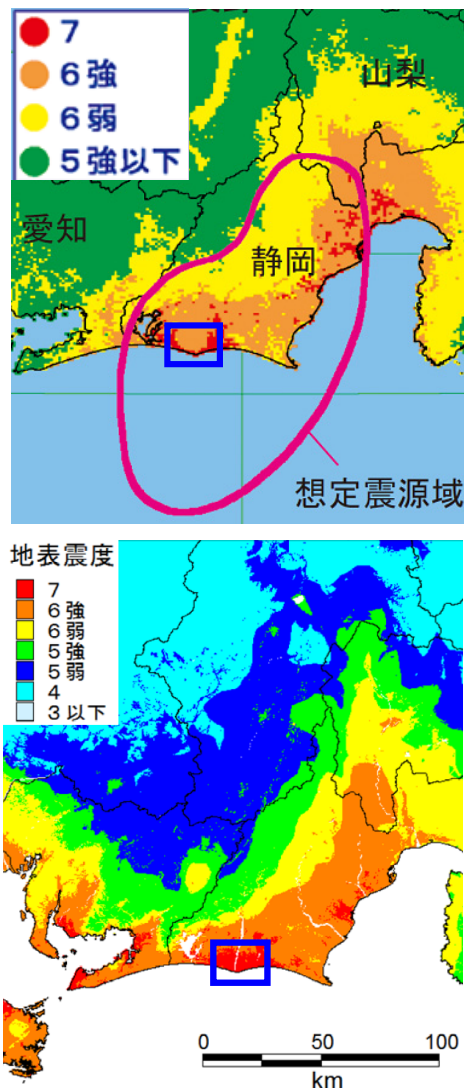


図 5 想定東海地震（M8.0）の推定震度分布¹³⁾と、想定南海トラフ巨大地震（M9.1）の推定震度

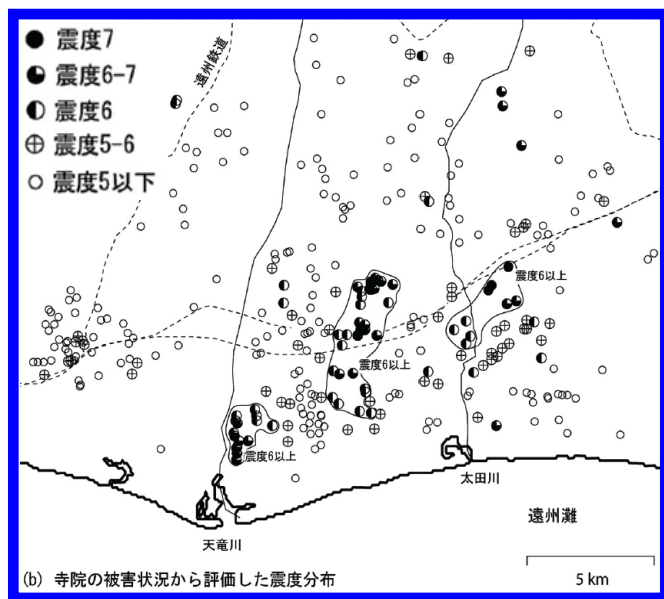


図 6 1864 年安政東海・東南海地震（M8.4）による静岡県天竜川流域の震度分布¹⁴⁾

3. 最大級地震と設計用地震動の現状と策定例

地震・地震動の正確な予測は困難であり、耐震設計の分野でも様々な地震動レベルに応じた対策が必要となっている。特に、最近では活断層帯の地震や超巨大地震など、可能性は極めて低いが、大きな振幅レベルの最大級地震動への対応が求められている。ここでは、主として建築分野において、南海トラフ巨大地震を事例とした設計用地震動の策定例、レベル別の設計用・検証用地震動の国内外の事例、および、耐震対策の現状を紹介したい。

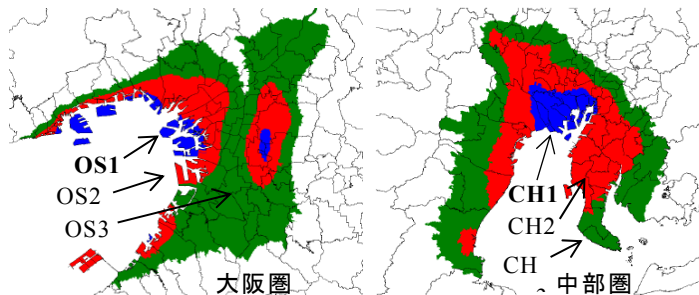


図 7 国交省対策案 2)における大阪圏（左）と中部圏（右）におけるゾーニング⁷⁾

(1) 建築分野における設計用・検証用地震動

現在、日本の超高層建築や免震建築などの耐震設計の設計用地震動では、発生確率と地震動レベルの点から、稀に発生する地震動（数十年に 1 度程度のレベル 1 地震動、または L1 地震動）と、極めて稀に発生する地震動（数百年に 1 度程度のレベル 2 地震動、または L2 地震動）が設定されている（平成 12 年建設省告示 1461 号）。一方、法規制の枠を超えて、活断層帯の地震である 1995 年兵庫県南部地震などを契機として、数千年に 1 度程度という極めて低頻度の活断層や超巨大地震による最大級の地震動を、検証用地震動（レベル 3 地震動、または L3 地震動）として利用する場合がある。この地震動は耐震設計を行うための設計用地震動（L1・L2 地震動）とは区別し、一般に、設計用地震動で耐震設計した建物の耐震性余裕度や最悪の事態を防止するための検討用の地震動として用いられる。

(2) 南海トラフ巨大地震と設計用地震動の策定例

南海トラフ巨大地震の長周期地震動対策への社会的要請を受け、2005 年に内閣府は報告⁶⁾（以下、内閣府報告）を、国土交通省は対策案⁷⁾（以下、国交省対策）を公表し、2016 年より「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」として実施に移している。特に対策は報告をもとに、図 7 に示す大阪湾岸地域（OS1）や中部圏湾岸地域（CH1）等の地域では現行の建築基準法・告示の耐震設計基準（極稀地震動、L2 地震動）の振幅レベルを 2 倍にまで増加させている。国交省対策は、建築基準法の告示ではないとされているが、国による指導として実質的には強制力を伴うと考えられている。

建築基準法はその第一条にあるように、公共の福祉に資する最低限の基準を定める法律であり、国交省の指導もこれを基準として行われる。従って、民間の建築物を対象として設計用の基準レベルを 2 倍にするという国の指導に関しては、以下 a)～c)に示す様々な検討課題があり、よりオープンな議論が必要と考えられる^{15),16)}。

a) 国交省対策は、内閣府報告をもとに策定しているが、そもそも両者の基本スタンスは大きく違うはずである。内閣府報告は想定外であった東日本大震災の教訓から、最大級に近い地震による地震動の上限値に近い推定値を提示し、防災対策の推進を目的としている。一方、国交省対策は最低基準の建築基準法に基づく極稀地震動（L2 地震動）として、大地震時の地震動の下限値の提示が求められている。言わば前者は専門家判断による危険性（リスク）を強調するのに対し、後者はリスクとリターンの両面から、公共の福祉と民間活動の健全な発展とのバランスによる最低基準を提示すべきと考えられる。

b) 国交省対策は「南海トラフ沿いで約 100～150 年の間隔で発生する M8～9 クラスの巨大地震による地震動が対象」とされているが、設計用の L2 地震動としている地震が、1707 年宝永地震（M8.6）と 1854 年安政東海地震（東海・東南海連動地震、M8.4）である。図-2 に示されているように両地震は約 150 年間の歴史上で明確には 1 度しか確認されていない巨大地震であり、「約 100～150 年の間隔」という標準的な大地震の L2 地震というより、千年に 1 度程度の巨大地震である L3 地震という解釈も可能である¹⁵⁾。

c) 免震建築を対象とした試算では、従来の 2 倍の入力を設計用地震動として従来の設計クライテリアを満足させようとすると、非常に多くのダンパー等

が必要となり、L1 地震動での応答加速度が増大し、可能性の高い地震に対する耐震性能が悪化してしまう。可能性の極めて低い超巨大地震に対して民間建築に膨大な投資を求め、可能性の高い中小地震で性能を劣化させる合理的な理由が見いだせない¹⁶⁾。

上記の課題を背景に、南海トラフ巨大地震による約 100～150 年に 1 度という L2 レベルの長周期地震動を 2 つの方法で試算を紹介する¹⁵⁾。

まず始めの方法は、内閣府報告の結果⁶⁾を利用する方法である。すなわち、内閣府報告には図 2 の 5 つの歴史地震を対象に、図 8 に示すような疑似速度応答スペクトル（減衰 5% の pSV）が周期ごとに示されている。1707 年宝永地震の大阪・中部湾岸地域の応答値は現行の告示 L2 地震動レベル（80 kine）を超えているが、1946 年昭和南海地震では、その半分以下の値である。これらの値を図 2 の全ての南海トラフ沿いの歴史地震に適用し、その平均的な pSV を求めた。表 1 と図 10 に、報告の計算結果を用いた OS1・CH1 における周期 2～6 秒の pSV の結果を示す。試算では地震規模が不確定な地震（図-2 の点線の領域）はできるだけ大きな地震と仮定したが、単独の南海地震の回数が多いため、pSV の平均値は両地点でも 60～130 kine 程度の値である¹⁵⁾。

一方、もう一つの手法は、国交省対策⁷⁾として国交省の基準整備で提示された方法¹⁷⁾（以下、基盤整備の方法）である。文献¹⁷⁾と同様に、図 9 に示す南海トラフの 5 つの M8 級地震と、それを全て合成した宝永型地震（Mw8.7）による速度応答スペクトルを求めた。ここで注意すべきことは、基準整備の方法は経験式であり、設計基準に用いるには長期的な安定性に欠けることである。すなわち、この経験式は現在までわずか約 20 年間の限定的な K-NET の観測データを基礎としており、小地震が中心、巨大地震の

震源近傍データの欠落、旧 K-Net による短い継続時間、深層地盤の増幅率の妥当性が未検証などの様々な制約がある 1 つの実験式である。従って、今後、新しい観測データや知見により容易に変更される可能性があることに注意が必要である。

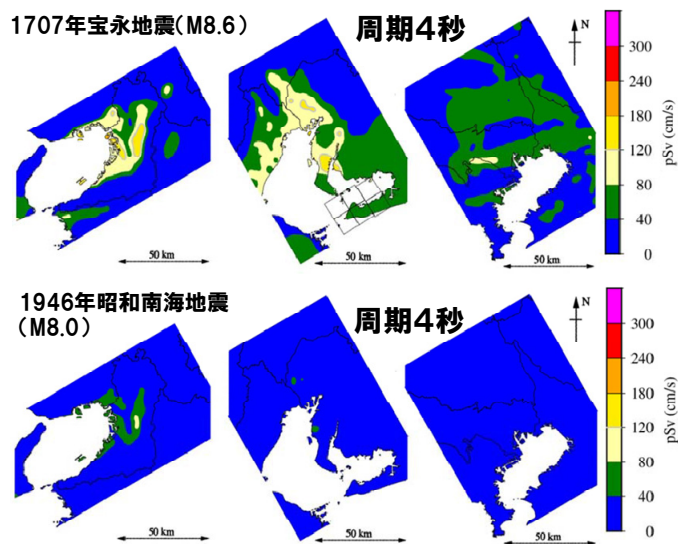


図 8 内閣府による南海トラフ巨大地震による 3 大都市圏の疑似速度応答スペクトルの例（減衰 5%、周期 4 秒の例）

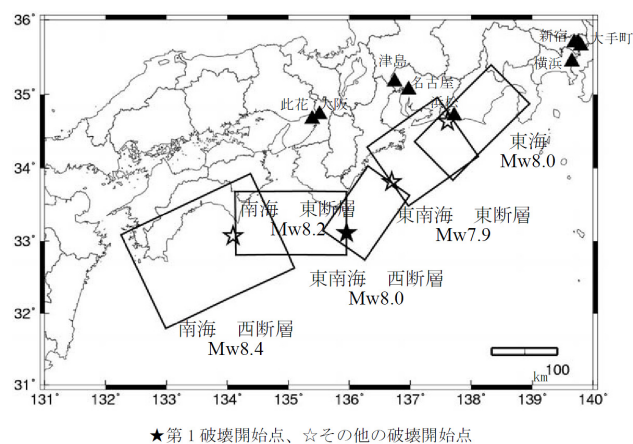


図 9 南海トラフ巨大地震の震源モデル例（5 つの震源断層モデルを重ねると M8.7 の宝永地震

表 1 内閣府報告⁶⁾による南海トラフ沿いの巨大地震による疑似速度応答スペクトル（左：OS1，右：CH1）¹⁵⁾
 注：対象とする歴史地震は図 2 より選定。その際、日向灘沖地震と慶長地震は除外（後者は津波地震）また M の値に幅がある場合や震源域が明確でない場合は、できるだけ大きい方を採用

| 地震 | 回数 | 対象地震 | OS1-此花 (pSv:cm/s) | | | | | CH1-津島 (pSv:cm/s) | | | | |
|-------|----|------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | | 2秒 | 3秒 | 4秒 | 5秒 | 6秒 | 2秒 | 3秒 | 4秒 | 5秒 | 6秒 |
| 宝永 | 2 | 宝永、天武 | 240 | 210 | 210 | 210 | 210 | 180 | 150 | 120 | 120 | 100 |
| 安政東海 | 3 | 安政東海、明応、永長 | 150 | 150 | 120 | 60 | 80 | 150 | 150 | 120 | 120 | 80 |
| 安政南海 | 3 | 安政南海、正平、仁和 | 80 | 80 | 100 | 120 | 120 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 |
| 昭和東南海 | 1 | 昭和東南海 | 150 | 150 | 120 | 80 | 80 | 180 | 150 | 120 | 120 | 80 |
| 昭和南海 | 2 | 昭和南海、康和 | 60 | 60 | 60 | 80 | 80 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 |
| 合計 | 11 | 平均 | 131 | 125 | 120 | 109 | 115 | 108 | 100 | 84 | 79 | 61 |
| | | 標準偏差 | 63 | 54 | 47 | 53 | 48 | 63 | 55 | 40 | 45 | 29 |

図 10 は、此花（OS1）と津島（CH1）を対象に、2 つの方法で試算した pSV と、告示 L2 と国交省対策の OS1 と CH1 の pSV である¹⁵⁾。図の周期 2～6 秒のドットは内閣府報告の結果と、その平均値と標準偏差(表 1)、様々な曲線の値は基準整備の方法を図 9 の地震に適用した結果である。図より、南海トラフの M8～9 地震でも両サイトでの応答値は大きく変動している。例えば、両地域とも宝永型地震は国交省の OS1 や CH1 の値を上回っており、此花では南海域東側地震、津島では東海域西側地震の値が大きい。一方、此花では東海域東・西側地震、津島では南海域東・西側地震の値は小さく、告示 L2 以下である。全地震を考慮した平均的な地震動レベルは、告示 L2 をやや上回る程度である。従って、宝永地震等の地震動レベルは国交省対策である OS1 や CH1 に近いが、発生確率が低いため、L2 地震というよりも L3 地震と解釈可能である。やはり、宝永型地震のような超巨大地震を設計用地震動（L2 地震動）として扱いが本当に妥当かどうか、オープンな議論による社会的なコンセンサス形成のプロセスが必要だと思う。

(3) 最大級地震動・設計用地震動の事例と対策

次に、建築物の耐震設計において L3 地震動（最大級地震動、極大地震動）を考慮した具体例をいくつか紹介する。

a) 東京湾岸の高層建築等を対象とした事例¹⁸⁾

表 2 は東京湾岸の超高層建築等を対象とした L1～L3 地震動と設計用クライテリアである¹⁸⁾。L1・L2 地震動による設計クライテリアは従来の超高層建築等とほぼ同じであるが、想定したサイト波や公表さ

れている地震動の検討から 2 種の極大地震動（L3 地震動）とその耐震対策上のクライテリアが示されている。すなわち、レベル 3-S は首都直下地震や活断層帯の地震のような震源近傍の強震動を想定した地震動、レベル 3-L は南海トラフや相模トラフの海溝型超巨大地震の長周期・長時間地震動を想定したレベル 3-L であり、前者では告示波の L2 の 1.5 倍の振幅を、後者では同 L2 地震の周期 4 秒以上を 1.5 倍の振幅と十分に長い継続時間を設定し、崩壊・倒壊しないことを確認するとしている。この成果は、現在の東京都の湾岸施設の耐震設計指針¹⁹⁾に活用されている。

b) 米国の最大級地震動と設計用地震動^{20)・21)}

最大級地震動を考慮した耐震設計法の海外の事例として、図 11 は米国の 2003 NEHRP Recommended Provisions による耐震性能表²⁰⁾である。米国ではカリフォルニア州以外は、非常に低頻度の地震が主であるため、基準とする最大級地震（MCE: Maxium Considered Earthquakes）は約 2500 年に一度の地震（50 年超過確率が 2%）の地震動としている。一方、構造物の耐震設計用の地震動は、MCE による地震動を工学的判断で 2/3 に低減させている。この値は世界標準とされる約 450 年に一度程度（50 年超過確率が 10%程度に相当）の地震動にほぼ相当する。図 11 にあるように建物の用途・重要度（SUG I～III）に応じ、推薦されている設計クライテリアは異なり、通常の建物（SUG I）でも MCE に対して倒壊の防止が求められている。

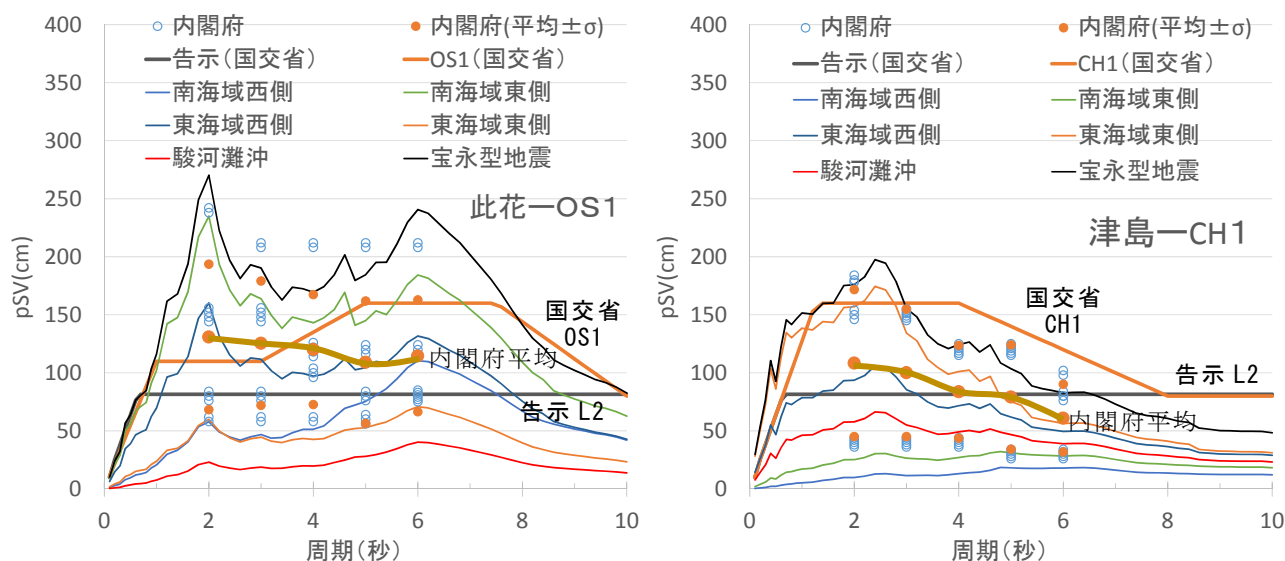


図 10 内閣府報告⁶⁾と国交省対策⁷⁾による南海トラフ巨大地震による疑似速度応答スペクトル（左：OS1，右：CH1）¹⁵⁾

表 2 東京湾岸の超高層建築等を対象としたレベル 1～3 地震動と設計用クライテリア¹⁸⁾

| | 入力地震動 | 構造物の性能 | 設計クライテリア | | 想定する地震動の発生頻度 | 備考 |
|----------------|---|--------------------------------|----------------|---------|--------------|--|
| | | | 構造体 | 層間変形角 | | |
| 中地震 (レベル1) | 既往波 (25cm/s) | 無被害 【機能維持】 | 短期許容 応力度以内 | 1/200以内 | 数十年に 一度発生 | EL Centro, Taft, 八戸波 |
| | 告示波(稀) (Level 1) | | | | | 実地震位相2波, ランダム位相 |
| 大地震 (レベル2) | 既往波 (50cm/s) | 軽微な補修により 事業継続可能 【指定機能維持】 | 部材塑性率 < 4.0 | 1/100以内 | 数百年に 一度発生 | EL Centro, Taft, 八戸波 |
| | 告示波(極稀) (Level 2) | | | | | 実地震位相2波, ランダム位相1波 |
| | サイト波 (個別) | | | | | 南海トラフ地震, 大正関東地震, 東京湾北部地震の計3地震 |
| | サイト波 (個別波をほぼ包絡) | | | | | 断層モデルに基づく地震動の位相 を反映して作成 |
| 極大地震 (レベル3) | 告示波(極まれ)の 1.5倍(Level 3-s) | 崩壊・倒壊しないことを確認 【余裕度の検証】 | | | 数千年に 一度発生 | サイト波の + α レベルや, 他機関 から公開された地震動予測スペクトル 等に基づき設定 |
| | 告示スペクトル(極まれ) の4秒以上を かさ上げ(Level 3-L) | | | | | 最新の知見を反映し, 十分に長い 継続時間を設定する |

一方, 最新の基準地震動²¹⁾では, ハザード評価である MCE (地震) から建物の被害率関数を用いたリスク評価 (倒壊率) である MCER (Risk-Targeted MCE) が用いられている. 基準値は倒壊の 50 年超過確率が 1%(約 5000 年に一度の発生確率) に設定されている. ハザードからリスク評価に変更したため, 他の災害・事故・病気等のリスク評価値と直接の比較検討が可能となっている.

c) 最大級地震動を考慮した免震建築の対策例

設計用地震動 (L1・L2 地震動) を凌駕する検証用地震動 (L3 地震動) が示された場合, 工学的判断 (Engineering Judgement) による対策が必要になる. 例として, 図 12 に設計用地震動 (L1 と L2) と検証用地震動 (L3) に対する耐震・免震の損傷度の概念図を示す. 耐震建築の場合, L1 地震動から徐々に損傷度が増大するが, 免震建築では L2 地震動でもほぼ無被害になる設計が行われる. 一方, サイトが海溝型超巨大地震による長周期・長時間地震動を受ける可能性がある場合, あるいは活断層の近傍であり震源近傍の強震動 (指向性パルス, フリングステップ) や地盤傾斜などの可能性がある場合などでは, 免震装置から脱落, 擁壁への衝突, あるいは最悪の場合, 階高の高い建物では転倒などの可能性がある. 従って, L3 地震動を策定し, 万が一の場合の対策として, 免震ゴムの破断や擁壁への衝突, 高層免震などでは転倒に至る可能性などを検討する必要がある.

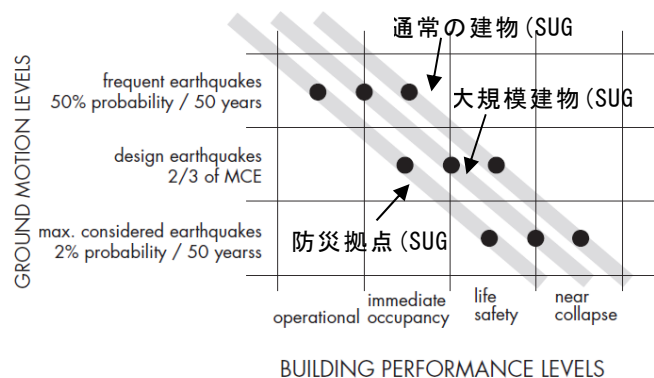


図 11 米国の 2003 NEHRP Recommended Provisions による耐震性能マトリックス²⁰⁾

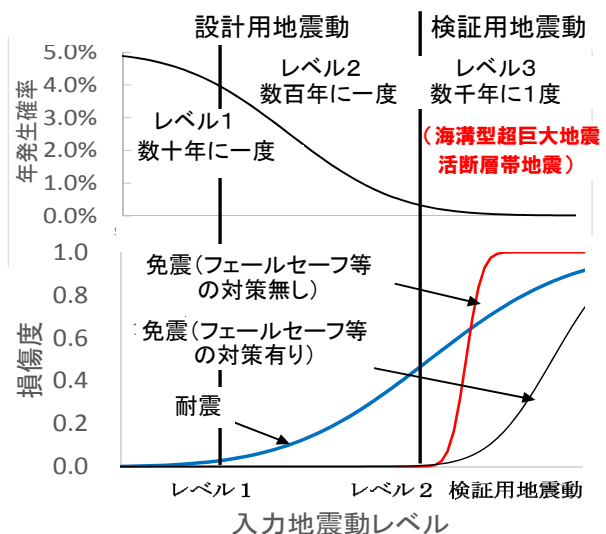


図 12 設計・検証用地震動レベル²²⁾ (地震動・策定手法は, 建設サイト・建物によって異なる)

このよう過酷事象に対して、フェールセーフ(Fail Safe：障害が発生した場合、常に安全側になるように働く機能)や、フォールトトレランス(Fault Tolerance;障害に対して多重の安全対策で耐性を高める機能)などのハード対策や、被災度を即時判定するモニタリングとクライシスマネジメントなどによるソフト対策が必要になる。例えば免震であれば、フェールセーフとして大振幅の発生を抑制するダンパーやソフトランディング機構、フォールトトレランスとして免震層の機能喪失時の耐震構造での倒壊抑制や転倒防止用ケーブルの追加などのハード対策などで、L3地震時の安全性能は飛躍的に向上するはずである²²⁾。

L3地震動を考慮した免震建築(25階建て集合住宅)の事例として文献²³⁾がある。この建物では福岡市の警固断層の直上に位置するため、L3地震動として、震源近傍の強震動(指向性パルス、フリグステップ)を考慮したシミュレーション波と告示L2の2倍の地震動を設定し、70cmという余裕あるクリアランスで対応している。また断層運動による地盤の傾斜により、建物に転倒モーメントが生じ、免振装置に引き抜き力の可能性があるため、強い直動転がり支承を採用し、さらに免震支承が支持力を喪失した場合に備え、建物を支持するフェールセーフ基礎を導入する対策を実施している。

4. おわりに

本報は、初めに正確な地震の長期評価や被害想定
の困難さを説明し、地震や被害レベルに応じた柔軟な対策の必要性を紹介した。次に、レジリエンスな社会構築に向けた被害低減策として中小から最大級までのレベル別の地震動と建築分野での対策案を紹介し、一方、災害対応力向上策として、危機対応レベルの設定、および、新宿駅周辺地域における地域連携による取組みを、それぞれ紹介した。現在の主な内容は火災・震災対応が中心であり、今後は災害別の防災計画からオールハザードアプローチによるハード・ソフト融合による柔軟な対応への展開が必要となっている。

謝辞

南海トラフ巨大地震における長周期地震動の策定例は日本免震構造協会・入力地震動小委員会の活動成果であり、特に基準整備の方法による地震動評価は、ユニオンシステム・山崎久雄氏による計算結果を使用させて頂きました。

参考文献

- 1) 林 春男, 改めて都市災害プロジェクトが目指すもの, 第15回 比較防災学ワークショップ・プロシーディング, pp. 3-32, 2015.
- 2) 務台俊介, レオ ポスナー, 小池貞利, 熊丸由布治, 3・11以後の日本の危機管理を問う, 晃洋書房, 2013.
- 3) 内閣府・災害対策標準化検討会議, 災害対策標準化検討会議報告書, 2018.
- 4) 内閣府・南海トラフの巨大地震モデル検討会, 南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告), 2013.
- 5) 久田嘉章, 震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題, 日本地震工学会論文集, Vol. 16, No. 5 pp. 12-21, 2016.
- 6) 内閣府・南海トラフの巨大地震モデル検討会, 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.
- 7) 国交省 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, 2016.
- 8) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会, 南海トラフの地震の長期評価について, 2001
- 9) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会, 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について, 2013
- 10) 活断層研究会, 新編 日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会, 1991
- 11) 中田 高ほか, 南海トラフ南方の銭洲断層と1498年明応地震, 日本地球惑星科学連合大会, S-SS35, 2013. 5.
- 12) 日置幸介, 宮崎真一, 中部日本のプレート境界と東海地震, 月刊地球 号外 41, pp. 146-150, 2003.
- 13) 内閣府・中央防災会議, 東海地震対策専門調査会(第7回), 資料1: 東海地震に係る被害想定検討結果について, 2011.
- 14) 行谷佑一, 都司嘉宣, 寺院の被害記録から見た安政東海地震(1854)の静岡県内の震度分布, 歴史地震, 第21号, pp. 201-218, 2006.
- 15) 久田嘉章, 山崎久雄, 境 茂樹, 井川 望, 南海トラフ沿いの巨大地震による長周期・長時間地震動と免震構造への対策案に関する課題—その1: 設計用・検証用地震動の位置づけについて—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), 21628, 2016.
- 16) 中澤俊幸, 加地孝敏, 境 茂樹, 久田嘉章, 南海トラフ沿いの巨大地震による長周期・長時間地震動と免震構造への対策案に関する課題—その2: 免震構造の応答と耐震設計に関する考察と課題—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), 21629, 2016.
- 17) 国立研究開発法人 建築研究所, 長周期地震動対策に関わる技術資料・データ公開特設ページ, 2016.
- 18) 加藤研一, 久田嘉章, 石田 寛, 渡辺哲史, 鈴木文乃, 小鹿紀英, 東京臨海部を対象とした想定地震に基づく設計用地震動評価例, 日本建築学会技術報告集, 2016(掲載決定)。
- 19) 東京都・財務局, 構造設計指針, 2016. 4.
- 20) FEMA, Risk Management Series, Designing for Earth-quakes, A Manual for Architects, FEMA 454, 2006.
- 21) FEMA, NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures Volume II: Part 3 Re-source Papers, FEMA P-1050-2, 2015.
- 22) 久田嘉章, 活断層近傍の強震動と免震—日本免震構造協会 創立20周年記念特集号—, MENSIN, 86号, 11, 2014. 11.
- 23) 林 将利, 栗栖寛弥, 大澤元嗣ほか, 断層近傍に建つ免震建築物の設計について(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造II), 21102~21104, 2015.