

(別添)

平成14年5月29日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会
長期評価部会・強震動評価部会

確率論的地震動予測地図の試作版(地域限定)

目次

はじめに

- 1 震源断層を特定した地震動予測地図
- 2 確率論的地震動予測地図及びその作成のための評価
 - (1) 震源断層を特定した地震の評価
 - (2) 震源断層を予め特定しにくい地震の評価
- 3 確率論的地震動予測地図の試作版(地域限定)
 - (1) 確率論的地震動予測地図の試作の方法及びその内容
 - (2) 確率論的地震動予測地図の地震分類別地図
 - (3) 確率論的地震動予測地図における地点別影響度の評価
- 4 確率論的地震動予測地図の理解に向けて
- 5 今後の進め方

説明

引用文献(アルファベット順)

(付録)

はじめに

地震調査研究推進本部は、平成11年4月に、「地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」(以下「総合基本施策」という。)をとりまとめた。この中で、当面推進すべき課題として、活断層調査、地震発生可能性の長期評価、強震動予測等を統合した全国を概観した地震動予測地図(以下「全国を概観した地震動予測地図」という。)の作成を掲げている。

また、総合基本施策(地震調査研究推進本部,1999)では、全国を概観した地震動予測地図について次のように述べている。

地震動予測地図の一例は、全国を概観し、ある一定の期間内に、ある地域が強い地震動に見舞われる可能性を、確率を用いて予測した情報を示したものである。一般には、期間、地震動レベル(例:震度、最大加速度)、及び確率のうちの2つを固定し、残りの一つの分布を、地図の上に等値線図として示したものである。

これは、地震工学・地震学分野で確率論的地震ハザードマップと言われているものに相当し、各地の地震危険度(強い揺れに見舞われる可能性)の比較や特定地域での構造物の耐震設計のレベルの検討に資するものであり、地震危険度マップ(強い揺れに見舞われる可能性の地図)とも呼びうるものである。ここでは、全国を概観した地震動予測地図としては、総合基本施策で例示されたものを考えることとし、以下これを「確率論的地震動予測地図」と呼ぶことにする。

一方、国や地域の防災計画のための被害想定に際して、多くの場合、震源断層を特定した¹地震動予測が行われている。これによって作成された地図をシナリオ²地震地図と呼ぶこともあるが、以下これを「震源断層を特定した地震動予測地図」と呼ぶことにする。今回は、確率論的地震動予測地図について、地域を限定して試作版を作成した。

確率論的地震動予測地図は、我が国の国や地域で作成する防災計画に利用された例はほとんど見当たらない。このため、平成16年度末を目途に確率論的地震動予測地図を作成するに当たり、その利用を念頭においた作成のあり方について防災関係者や研究者間で広く議論する必要があり、この試作版はそのスタートラインと位置付けて作成した。

このような議論をしやすいことに配慮し、試作は、確率論的地震動予測地図の作成の仕方が理解しやすいと考えられた山梨県を中心とした地域(図1a;以下「試作対象地域」という。)で行った。この地域では、懸念される地震が複数想定される。また、試作において前提とした「工学的基盤³に対する地表の増幅率」は図1bのとおりとした。甲府盆地には堆積層が厚く存在し、これにより甲府盆地に入射した地震波はそれ以外の場所に比べ増幅される割合が高いことが図1bから読み取れる。

以下では、第1節で、防災計画のために一般的に作成されている「震源断層を特定した

¹ ここでは、「震源断層を特定した」とは、震源断層の範囲が概略特定されたということも含めている。例えば、糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価(地震調査委員会,1996)では、「牛伏寺断層を含む区間では、・・・地震が発生する可能性が高い。しかし、地震を発生させる断層区間(場所)がどこまでかは判断できない。」という評価結果になっているが、これも「震源断層を特定した」ということに含める。

² 震源断層が特定されており、どのような地震が起こるかについてシナリオが描けるということから、地震学において、「シナリオ」という用語が使われている。

³ 「工学的基盤」とは、比較的大規模な建築物や土木構造物を建てる際に、基礎としてよりどころとする良質な地盤のことで、建物等の種類や地盤の状況によって異なるが多くの場合S波速度で300m/s~700m/sの範囲にあり、今回は400m/s相当層上面を目安として考えた。

地震動予測地図」について、試作対象地域に係わるものを説明した上で、第2節で、それと対比しながら「確率論的地震動予測地図」の内容と構成概要を説明する。それに引き続き、第3節で、確率論的地震動予測地図の様々な利用の可能性の理解に資する観点から、その試作版の内容を説明する。第4節で、確率論的地震動予測地図の想定される利用方法を説明する。

1 震源断層を特定した地震動予測地図

「震源断層を特定した地震動予測地図」(シナリオ地震地図)は、前述のとおり、防災計画のための被害想定に際して作成・利用されており、その地図には(特定の地震が発生した際の)震度分布が示されているのが一般的である。震源断層を特定した地震としては、次のものがある。

- 主要98活断層帯⁴に発生する固有地震⁵(以下「主要98活断層帯の固有地震」という。)、
- 主要98活断層帯以外の活断層に発生する地震、
- 主要98活断層帯の固有地震以外の地震、
- 海域のプレート境界に発生する大地震(以下「海溝型地震」という。)

地震調査委員会では、このうち主要98活断層帯の固有地震及び海溝型地震について、個別に、長期的な発生の可能性を順次評価(以下「長期評価」という。)するとともに、地震動レベルの評価(以下「強震動評価」という。)も順次行う(主な地震についてはハイブリッドシミュレーションの手法⁶を用いて精密な強震動評価を行い、その他のものについても地盤増幅の影響を加味した距離減衰式⁷等を用いて強震動評価を行う。)

試作対象地域(山梨県を中心とした地域)に大きな影響を与えると考えられる地震は、「主要98活断層帯の固有地震」として糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中部)、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(南部)、富士川河口断層帯及び神縄・国府津 - 松田断層帯それぞれの固有地震がある。また、海溝型地震として想定東海地震⁸、関東地震⁹及び東南海地震¹⁰がある(図2)。

ここには例示として、想定東海地震、関東地震、「糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中部)の固有地震」及び「糸魚川 - 静岡構造線断層帯(南部)の固有地震」について、それらの震源断層を特定した地震動予測地図を示す(図3、図4、図5a、図5b)。このうち、想定東海地震については、中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001)によるものを利用した。また、関東地震及び糸魚川 - 静岡構造線断層帯(南部)については、震

⁴ 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会(1997)に基づく。

⁵ 「活断層帯に発生する固有地震」とは、当該活断層帯を震源断層として、大きさやメカニズムがほぼ同じ大地震が繰り返し起こっているとき、そのような地震発生の繰り返しをモデル化して扱うときに使われる用語で、繰り返し発生している大地震のことを指す。このモデル化においては、一つの活断層帯は、その全体を震源域とする同等な地震が比較的揃った再来間隔で繰り返し発生し、それらがその活断層帯の歪みエネルギーの解放の大部分を受け持つと考えて、その地震を固有地震と呼んでいるものである。

⁶ 「ハイブリッドシミュレーションの手法」とは、「ハイブリッド合成法」とも呼ばれ、災害発生に係わりの深い周波数を全てをカバーした地震波形を予想する方法である(地震調査委員会強震動評価部会, 2001a の p.11 参照)。

⁷ 「距離減衰式」とは、震源断層からの距離に応じた地震動レベルの減衰に関する経験式のことである

⁸ 中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001)に示された地震。

⁹ 中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会(1992)が示した相模トラフ沿いに発生する規模の大きな地震(例: 1923年関東地震 M7.9)。

¹⁰ ここで示す東南海地震は、地震調査委員会(2001b)に示された地震。

源断層・マグニチュードを仮に設定して距離減衰式を用いて作成した。さらに、糸魚川 - 静岡構造線断層帯（北部・中部）については、地震調査委員会長期評価部会(1996)・地震調査委員会強震動評価部会(2001a)が示した震源断層・マグニチュードに基づいて距離減衰式を用いて作成した。

これらの試算結果等では、試作対象地域に関してどの地震についても震度6弱以上となる橙色又は黄土色の領域が存在することとなる。このようなことを踏まえて、これらの図は、国や地域の防災対策において、地震が起こった場合の影響を把握するために利用されることになる。

(注：図3の想定東海地震では、波形計算をする方法¹¹の結果と距離減衰式¹²による方法の結果とを、地域特性に応じて重ね合わせる方法が用いられている(中央防災会議東海地震に関する専門調査会,2001)。一方、関東地震、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中部)及び糸魚川 - 静岡構造線断層帯(南部)については、地震調査委員会はまだ強震動評価を終えておらず、日本全国の平均的な距離減衰式を用いており、図4、図5a及び図5bは試算値。)

2 確率論的地震動予測地図及びその作成のための評価

確率論的地震動予測地図では、「震源断層を特定した地震」についてその長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価する¹³とともに、「震源断層を予め特定しにくい地震」を統計的に評価し¹⁴、その上でこれら全てを統合する¹⁵(以下「統合」という。)ことで作成する。即ち、この地図は、「各地震の発生確率を用いること」及び「全ての地震を考慮すること」に特徴がある。

試作版では、確率論的地震動予測地図としては、総合基本施策に例示されたものと同様に、「期間」、「地震動レベル」及び「確率」のうちの2つを固定し、残りの一つの分布を地図の上に示すこととした。

この節では、「震源断層を特定した地震」及び「震源断層を予め特定しにくい地震」それぞれについて、確率論的地震動予測地図作成のための評価や「統合」の具体的な方法を説明する。

(1) 震源断層を特定した地震の評価

確率論的地震動予測地図には、「震源断層を特定した地震」については、前述のとおり、その長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価した上で「統合」する。特に、「主要98活断層帯の固有地震」及び「海溝型地震」については、地震調査委員会で将来発生する地震について、長期的な発生の可能性、マグニチュード等の「長期

¹¹ 想定東海地震における「波形計算をする方法」としては、前述の「ハイブリッドシミュレーションの手法」を構成する一部方法である統計的グリーン関数法(地震調査委員会強震動評価部会,2001aの説明p.1参照;短周期部分を計算する方法)が利用されている。

¹² 想定東海地震における「距離減衰式」としては、破壊の方向も加味し、また地域特性も考慮したものとなっている。

¹³ 「震源断層を特定した地震」についての確率論的地震動予測地図作成のための評価では、地震毎に、マグニチュードとその長期的な発生確率の評価、一定期間内にある地震動レベルを越す確率の地点別評価、及びこれら評価の組み合わせの3段階からなる。

¹⁴ 「震源断層を予め特定しにくい地震」についての確率論的地震動予測地図作成のための評価では、地震分類別に、マグニチュード別発生頻度の評価、一定期間内にある地震動レベルを越す確率の地点別評価、及びこれら評価の組み合わせの3段階からなる。

¹⁵ ここで「統合」とは、「震源断層を特定した地震」毎の確率論的地震動予測地図作成のための評価結果及び「震源断層を予め特定しにくい地震」の分類毎の確率論的地震動予測地図作成のための評価の結果から、特定地点について、一定期間内にある地震動レベルを越す確率を統合することである。

評価」、並びに「強震動評価」を個別に進めているが、現時点では一部についてのみ評価した段階であり、未評価のものが多い。今回の試作版においては、未評価のものについては、「統合」に必要な数値は、仮に設定したものを利用した。

試作対象地域（山梨県を中心とした地域）に係わる「震源断層を特定した地震」としては、表1、表2、表3及び表4に示すものがある。長期的な発生確率及び地震動レベルの評価結果としては、これらの表に示したものを、これらの表に示す考え方で使用した。これらのうち活断層帯については、試作対象地域の東・西端から1度(約90km)、南・北端から1度(約110km)の範囲のものを「統合」した。海溝型地震については、これよりさらに広い範囲のものを「統合」した。

(2) 震源断層を予め特定しにくい地震の評価

「震源断層を予め特定しにくい地震」については、前述のとおり、統計的に評価した上で「統合」する。「震源断層を予め特定しにくい地震」は、次のように分類できる。

- 「海溝型地震」以外のプレート境界の地震、
- 沈み込むプレート内の地震、
- 陸域の浅いところ（陸のプレート内）で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震。

試作対象地域（山梨県を中心とした地域）には、これら全てに係わる。これらについては、試作対象地域の東・西端から1度(約90km)、南・北端から1度(約110km)の範囲を目安としつつ、これより多少広い範囲のものを「統合」した¹⁶。また、マグニチュードが5.0以上の地震についてのみ、その影響を評価した。

震源を予め特定しにくい地震について統計的な評価手法は、現状では確立したものがない。このため、試作版では、現在の時点で適用可能と判断した手法を統合する形で適用した（地震調査委員会長期評価部会,2002）。

3 確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定）

この節では、試作の具体的な方法や試作版の内容を説明する。

(1) 確率論的地震動予測地図の試作の方法及びその内容

確率論的地震動予測地図は、前述のとおり、全ての地震を考慮して作成し、また総合基本施策の例示と同様に、「期間」、「地震動レベル」及び「確率」のうちの2つを固定し、残りの一つの分布を地図の上に示すこととした。また、試作版においては、前述のとおり、山梨県を中心とした地域に限定して作成した。

「期間」としては、2002年からの期間を示すこととし、地震調査研究推進本部政策委員会成果を社会に活かす部会(2001)の次の見方を踏まえ、30年及び50年を事例として示した。

¹⁶ 試作版では太平洋プレート内の地震は震源が深くその影響は小さいと考えられるため、評価しなかった。また、大地震により誘発された余震の影響を過大評価しないため、余震は一定の方法で取り除いたデータを用いて評価を行った。

- 一般国民が人生設計を検討するに対象とするであろう期間を考慮して、30年間に於ける確率評価を基本とすることが適当、
- 建築物の耐用年数が50年間のものや、さらにそれ以上の長期のものが出てきていること等のため、50年間等の期間で評価することも必要。

「地震動レベル」としては、防災対策を強化する目安とされる「震度6弱以上」、及び被害の発生の可能性（気象庁震度階級関連解説表；気象庁,1996のp.76）の目安である「震度5弱以上」を事例として示した。

「確率」としては、主要98活断層帯の長期的な発生確率の大小の目安(例えば、地震調査委員会,2001aのp.28)の一つである「3%-期間30年」及び「0.1%-期間30年」の場合、並びに構造物設計の目安の一つと考えられる「5%-期間50年」及び「10%-期間50年」の場合を事例として示した。なお、関係している地震の特徴に依存するが、「5%-期間50年」は「3%-期間30年」と概ね等しい結果が得られ¹⁷、また「10%-期間50年」は「6%-期間30年」と概ね等しい結果が得られる¹⁸。

図6a及び図6bは、「期間」及び「地震動レベル」を固定して、「確率」を示した図である。今後30年以内に震度6弱以上(図6a)あるいは震度5弱以上(図6b)に見舞われる確率(試算)が6%以上の領域は橙色、3%以上6%未満の領域は黄土色にしてある。図6bからは、試作対象地域に関しては、今後30年以内に震度5弱以上の揺れに見舞われる確率(試算)が全域について6%以上であることがわかる。そして、図6aからは、試作対象地域に関しては、今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率(試算)が3%以上である領域が、山梨県中央部・南部だけでなく、山梨県北西部にも及んでいることがわかる。但し、以上の結果は、いくつかの仮の設定をした値を用いた試算によるものであることに注意が必要である(以下同様)。

図7bは、「期間」及び「確率」を固定して、「地震動レベル」を示したものである。今後30年以内に3%以上の確率で、震度6弱以上の揺れに見舞われる領域は黄土色、そのうち更に震度6強以上の揺れに見舞われる領域は橙色、にしてある¹⁹。

上述のように図6a(図7aに再掲)は、一定期間に一定の地震動レベルを超える確率を表示したものであるが、図7bは、一定期間にある確率でどのような地震動レベルを超えるかを表示したものである。これらを対照することで次のような見方ができる。即ち、例えば、図7aの黄色領域内のxを付けた地点は、今後30年以内に震度6弱以上に見舞われる確率が0.1%以上3%未満であるが、図7bのxの地点を見ることで、この地点が確率3%以上であるとどのような震度となるかを知ることができる。この地点については、図7bからは確率3%以上で震度5強以上に見舞われることがわかる。

図8a、図8b、及び図8cは、「期間」は50年とした上で、「確率」をそれぞれ5%、10%又は40%と固定して図7bと同様の図を作成したものである。

なお、期間30年・確率3%で計算して作成した図と、期間50年・確率5%で計算して作成した図とはほぼ等しい(図7b及び図8a参照)。

一方で、今回示したいくつかの図は作成可能性のある一つの例に過ぎず、利用者側のニーズに応じてこれらの事例で用いた値以外でも作成が可能であり、表5に様々

¹⁷ 時間に依存しないランダムな地震発生を想定した場合、平均的には1000年に1回地震が発生することに相当する。

¹⁸ 時間に依存しないランダムな地震発生を想定した場合、平均的には500年に1回地震が発生することに相当する。

¹⁹ 工学分野では、図7bのような図を「超過確率」という用語を使って次のように表現することが一般的である。「30年間の超過確率が3%の震度の分布図」。なお、ここでは震度(計測震度をランク分けしたもの)を用いて作図したことから、地震動レベルが幅を持つことになった。このため、確率が「3%以上」という幅を持つことになった。

な図の作成の可能性を示した。

(2) 確率論的地震動予測地図の地震分類別地図

確率論的地震動予測地図は、設定する「期間」、「地震動レベル」及び「確率」を色々に変えることで、その結果は多様な特徴を持った地図になる。この地図を活用する別の方法として、関係する地震を上述の分類毎に分解するという方法がある。これにより、地震分類に応じた対策の必要性の比較を行うことが可能となる。

今回の試作版では、試作対象地域について突出した影響度を持つ想定東海地震を除いたもの(図9、図10)を図7を基に作成した。さらに、図9及び図10を次の3つの地震グループに分解したものを作成した。即ち、「主要98活断層帯の固有地震」、「想定東海地震を除いた海溝型地震」並びに「『主要98活断層帯の固有地震』及び『海溝型地震』」以外の地震について作成した(図11～図16)。

これらの図は、2種類を一組にして示した。即ち、期間は2種類とも30年に固定した上で、震度を「6弱以上」に固定して確率の分布を示したものと、確率を「3%以上」に固定して震度の分布を示したものの2種類である。

(想定東海地震を除いた場合)

想定東海地震を除くことで、それ以外の地震の中で、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部、中部)の地震による影響が顕著になってくる。また、図1bに示す地盤増幅率の高いところが顕在化してくる。

(主要98活断層帯の固有地震の場合)

主要98活断層帯として、試作対象地域に影響が大きいものとしては、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中部)、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(南部)、富士川河口断層帯、及び神縄・国府津 - 松田断層帯がある。

(想定東海地震を除いた海溝型地震の場合)

想定東海地震²⁰を除いた海溝型地震としては、関東地震²¹、東南海地震及び南海地震²²がある。図13及び図14で地点Aと記された付近から南西に橙色又は黄土色が見える。この場所は、図1bでわかるように地盤の増幅率が大きい場所である。またこの原因となっている地震は、後述する図17から東南海地震であることがわかる。

(「『主要98活断層帯の固有地震』及び『海溝型地震』」以外の地震の場合)

このような地震としては、2-(1)節で示した表2及び表3の地震、並びに2-(2)節で示した「震源断層を予め特定しにくい地震」が該当し、個々の地震の影響は小さい。しかし、図15及び図16から、このような地震が多数係わることで震度6弱以上の地震動レベルをもたらす可能性があることがわかる。この主な原因となる地震は、相模湾から北へ向けて沈み込んでいるフィリピン海プレート内に発生するものである。このことから、懸念される主要な地震以外へも、主要な地震に次いで対応が必要なことがわかることになる。

²⁰中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001)に示された地震。

²¹中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会(1992)が示した相模トラフ沿いに発生する規模の大きな地震(例：1923年関東地震 M7.9)。

²²ここで示す東南海地震及び南海地震は、地震調査委員会(2001b)に示された地震。

(3) 確率論的地震動予測地図における地点別影響度の評価

確率論的地震動予測地図では、特定地点に対してどの地震の影響が大きいかを定量的に分析できる。

試作版においては、例えば、試作対象地域の中央部付近の地点（以下「地点A」という²³。）及び北部の地点（以下「地点B」という。）について、今後（2002年から）50年以内（期間）に震度6弱以上（地震動レベル）をもたらす可能性が高い個別の地震や地震の種類を識別し、それらの相対的な重み（以下「影響度」という。）を分析できる（図17）。但し、ここでの地震動レベルは地点A及び地点Bをそれぞれ含む約1km×約1kmの範囲の平均的な地盤特性によるものを示している。以下これらを「地点Aを含む領域」及び「地点Bを含む領域」という。

（地点Aの場合）

地点Aを含む領域においては、今後50年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は、図8cでわかるように40%以上であり、図17では、この原因となっている主な地震とその重み（影響度）を評価した結果を示した。これによると、今後50年以内に震度6弱以上をもたらす可能性が高い地震の一つは、想定東海地震であるが、それ以外にも、糸魚川 - 静岡構造線断層帯（北部・中部）の地震、東南海地震、富士川河口断層帯の地震及び糸魚川 - 静岡構造線断層帯（南部）の地震があることがわかる（活断層帯・地震の位置は図2参照）。また、「主な地震以外の地震」についてもそれを一組として見た場合に、東南海地震と同様の重みがあることがわかる。

（地点Bの場合）

地点Bを含む領域においては、今後50年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は、図8bでわかるように10%以上であり、図17では、この原因となっている主な地震とその重み（影響度）を評価した結果を示した。これによると、今後50年以内に震度6弱以上をもたらす可能性が高い地震としては、糸魚川 - 静岡構造線断層帯（北部・中部）があるが、それ以外としては、糸魚川 - 静岡構造線断層帯（南部）の地震がある（活断層帯の位置は図2参照）。

4 確率論的地震動予測地図の理解に向けて

はじめに述べたように、確率論的地震動予測地図は、各地の地震危険度（強い揺れに見舞われる可能性）の比較や特定地域での構造物の耐震設計における地震動レベルの検討を可能とするものである。ここでは想定される利用方法を述べる。

「期間」及び「地震動レベル」を固定して「確率」の分布を示した図6aでは、今後30年以内に震度6弱以上に見舞われる確率を示しており、橙色及び黄土色は3%以上になっている。また、図6bでは、今後30年以内に震度5弱以上に見舞われる確率を示しており、試作対象地域は全域が橙色であり6%以上になっている。

「期間」及び「確率」を固定して「地震動レベル」の分布を示した図7bは、30年以内に確率3%以上で震度6強以上になる領域を橙色、震度6弱以上になる領域を黄土色にしてある。図8a、図8b及び図8cは、同様にして、「50年以内に5%以上」、「50年以内に10%以上」及び「50年以内に40%以上」というものについて示している。

これらの評価を踏まえ揺れの危険度を比較することにより、確率論的地震動予測地図

²³ 試作版は、長期的な発生確率について仮に設定したものもあるなど、あくまでも地震動予測地図の見本を示したものであり、試作版の各図（図6～図16）の個々の地点の震度・確率は厳密なものではなく、イメージを示すものである。従って、「地点A」を固有の市町村名として扱うのは適当でないことから、このような名称を用いた。「地点B」についても同様。

について、作成当初以降の予測精度の向上や地域的に細かなものが作成されることも念頭におくと、将来的に次のような利用が想定される。

- 地震に関する調査観測関連
地震に関する調査観測の重点化の検討
- 地震防災対策関連
地震防災対策強化の重点化の検討
防災計画立案のための対象地震の検討
- 土地利用関連
重要施設等各種施設の立地の検討
企業立地のリスクの評価
土地利用の誘導の検討
- 耐震基準関連
施設・構造物の地域別の耐震基準設定における地震荷重レベルの検討
個別の施設・構造物の目標耐震性能の設定に際しての判断材料
- 地域住民関連
地域住民の地震防災意識の高揚

5 今後の進め方

確率論的地震動予測地図については、次の技術的な課題の検討を引き続き行っていく必要がある。

- 「震源断層を予め特定しにくい地震」のモデル化手法の検討。
- 「震源断層を特定した地震」の確率論的地震動予測地図への取込み手法の検討。
- 想定震源域の範囲について様々考えられる場合の論理ツリー(地震調査委員会, 2001a)構築における重み付けの方法の検討。
- 「距離減衰式」におけるばらつきの取扱い手法(打ち切りの設定等)の検討。
- 「主要98活断層帯の固有地震以外の地震」の取扱い手法の検討。

また、平成16年度末を目途に全国を概観した地震動予測地図を作成することを念頭において、主要な98活断層帯の固有地震や海溝型地震について、引き続き個別に長期評価や強震動評価を行っていくことが必要である。

さらに、政策委員会(成果を社会に活かす部会)では、本試作版を基に6月から、国民一般にわかりやすく、防災意識の高揚や具体的な防災対策に活用できる「全国を概観した地震動予測地図」のあり方について、利用者の立場から検討を行うこととしている(地震調査研究推進本部政策委員会成果を社会に活かす部会,2001)ことから、地震調査委員会は、その検討結果を踏まえながら、同地図の作成を進めることとなる。

今後、次のステップとして、上述の検討結果を反映させつつ、地域の範囲を拡げた試作版を作成することとし、平成14年度は北日本を中心にした地域について試作することとする。

表1 試作対象地域に係わる「主要98活断層帯の固有地震」

断層名*	長期的な発生確率** (30年発生確率)	採用の考え方	地震動レベル
糸魚川 - 静岡構造線断層帯 (北部・中部；牛伏寺断層を含む区間)***	14%	地震調査委員会(2001a)による。	M8程度であることを踏まえて経験則に従って評価。
糸魚川 - 静岡構造線断層帯 (南部)	2.5%(仮の設定)	既存の調査研究成果を踏まえて仮に設定した平均活動間隔に対して、ポアソン過程を適用して試算。	断層長に基づき仮に設定したマグニチュードの値(M7.3)を踏まえて経験則に従って評価。
富士川河口断層帯	0.20～11%	地震調査委員会(2001a)の平均活動間隔及び最新活動時期それぞれのばらつき幅の平均を用いて求めた確率(5.2%)を試作に適用。	M8.0程度であることを踏まえて経験則に従って評価。
神縄・国府津 - 松田断層帯	3.6%	地震調査委員会(2001a)による。	M8程度であることを踏まえて経験則に従って評価。
その他19断層帯	(試作対象地域への個別の影響は小。)		

注1*：断層名称は地震調査委員会(1999)による。/注2**：地震発生確率は西暦2002年からの値。

注3***：「主要98活断層帯」としての名称は糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部)及び糸魚川 - 静岡構造線断層帯(中部)。

表2 試作対象地域に係わる「主要98活断層帯以外の活断層に発生する地震」

断層名*	長期的な発生確率** (30年発生確率)	採用の考え方	地震動レベル
曾根丘陵断層帯	0.6%(仮の設定)	既存の調査研究成果を踏まえて仮に設定した平均活動間隔に対して、ポアソン過程を適用して試算。	断層長に基づき仮に設定したマグニチュードの値(M7.0前後)を踏まえて経験則に従って評価。
扇山断層	0.4%(仮の設定)		
大菩薩嶺西側断層	0.1%(仮の設定)		
鶴川断層	0.1%(仮の設定)		
その他23断層	(試作対象地域への影響は小。)		

注1*：断層名称は松田(1990)による。示した断層は山梨県内にあるもの。/注2**：地震発生確率は西暦2002年からの値。

表3 試作対象地域に係わる「主要98活断層帯の固有地震以外の地震」

地震名	長期的な発生確率	採用の考え方	地震動レベル
糸魚川 - 静岡構造線断層帯 (北部・中部)等24断層帯*の最大地震以外の地震	(「震源を予め特定しにくい地震」として評価。)		

注1*：糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中部)は2つの活断層帯として数える。

表4 試作対象地域に係わる海溝型地震

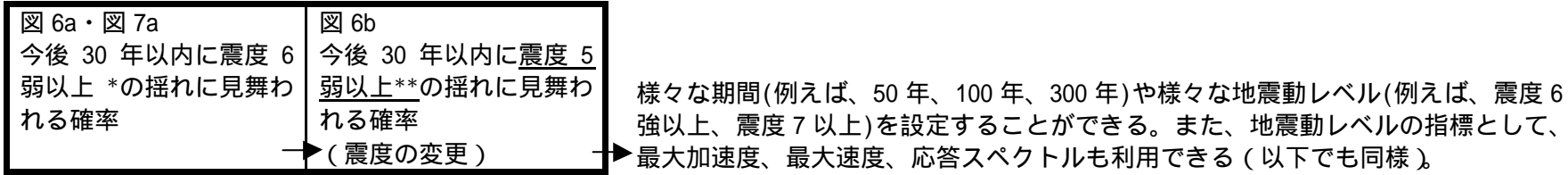
地震名	長期的な発生確率** (30年発生確率)	採用の考え方	地震動レベル
想定東海地震	隣接している東南海地震の発生確率以上に仮に設定。		中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001)の予想地震動採用。
関東地震***	約0.2%(仮の設定)	中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会(1992)が示した次の地震までの間隔を用いて計算。	仮に設定したマグニチュードの値(M7.9)を踏まえて経験則に従って評価。
東南海地震*	50%程度	地震調査委員会(2001b)による。	M8.1前後であることを踏まえて経験則に従って評価。
南海地震*	40%程度	地震調査委員会(2001b)による。	M8.4前後であることを踏まえて経験則に従って評価。

注1*：地震の名称は、地震調査委員会(2001b)による。/注2**：地震発生確率は西暦2002年からの値。

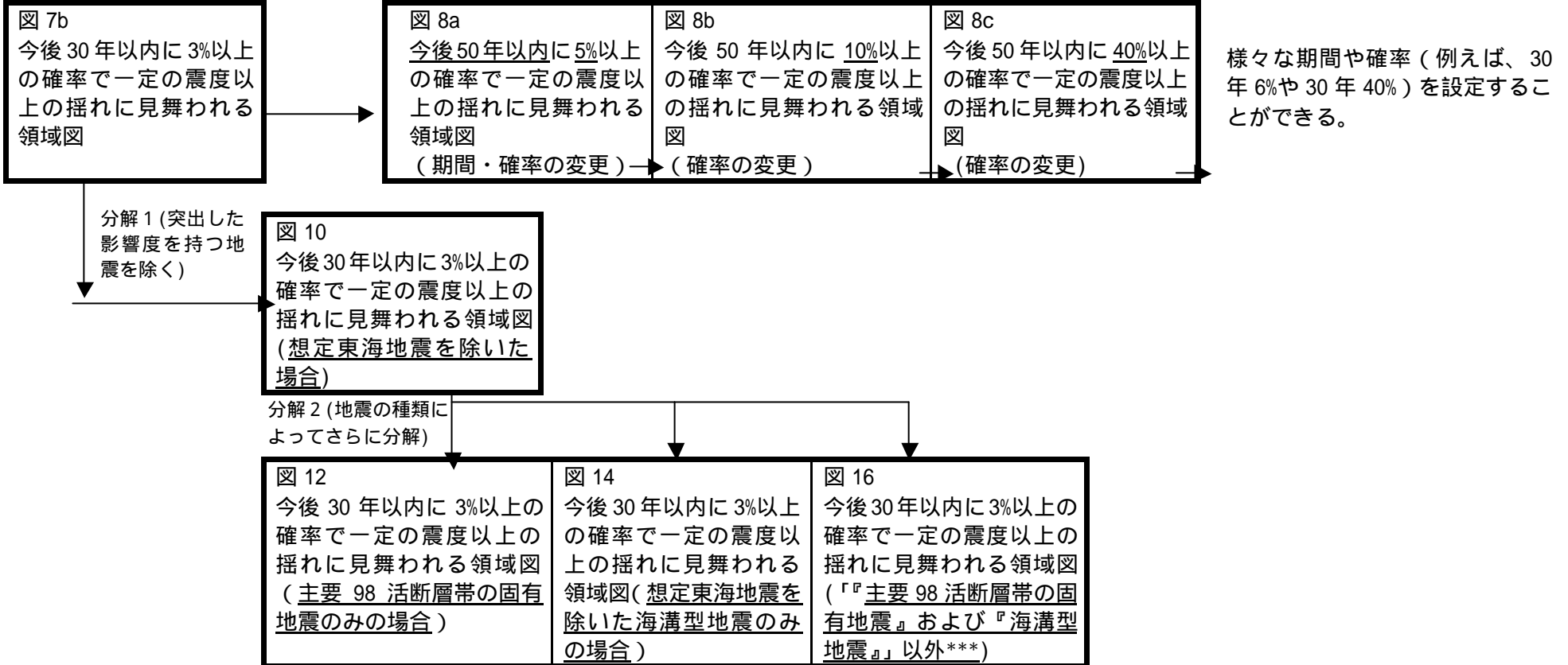
注3***：相模トラフ沿いの規模の大きな地震(例：1923年関東地震M7.9)。

表5 確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定）の構成（様々な図の作成の可能性）

1 「期間」及び「地震動レベル」を固定して「確率」の分布を示した確率論的地震動予測地図



2 「期間」及び「確率」を固定して「地震動レベル(震度)」の分布を示した確率論的地震動予測地図



注 1* : ここでは「計測震度 5.5(震度 6 弱の下限より大きい)」を表す。

注 2** : ここでは「計測震度 4.5(震度 5 弱の下限より大きい)」を表す。

注 3*** : 「主要 98 活断層帯以外の活断層の地震」及び「震源を予め特定しにくい地震」がこれに該当。

説明

1 確率論的地震動予測地図に係わるこれまでの主な調査研究

確率論的地震ハザードマップのように、ある地点が、将来、どの程度の確率で強い地震動に見舞われるかを調べることは、河角（Kawasumi, 1951）やCornell（1968）などにより、古くから行なわれている地震ハザード（強い揺れに見舞われる可能性）解析そのものである。

歴史地震資料を用いて日本付近の地震ハザードマップを求めた最初の研究は、河角（Kawasumi, 1951）によるものである。河角は、599年から1949年までの342個の破壊的地震について、その発生年月日、震央位置、マグニチュードのリストを作成した上で、中部日本および西日本に対しては1350年全期間の資料を、東北日本に対しては1120年間の資料を、北海道に対しては160年間の資料を用いて、地震ハザード解析を行い、75年再現期待値、100年再現期待値、および200年再現期待値（厳密に言えば期待値ではなく、それ以上の値が平均して1回発生するような値）の地図を作成している。この地図は、現在では、「河角マップ」と呼ばれている。

河角マップは、1950年に公布された建築基準法の中で規定された地域係数を定めるための基礎資料として用いられた（大崎, 1983）。その後、Kanai and Suzuki（1968）は、最大加速度ではなく、基盤における最大速度を用いて、河角と同様、75年再現期待値、100年再現期待値、および200年再現期待値の地図を作成している。この地図は、現在では「金井マップ」と呼ばれている。

地震発生の確率モデルを用いた地震ハザード評価手法は、米国において最初Cornell（1968）によって開発された。この手法には断層を想定した震源モデルも含まれていたが、基本的には点震源の考え方に基づくものであった。また、Milne and Davenport（1969）は、歴史地震のカタログから点震源を仮定して最大加速度を推定し、これにポアソン過程を適用してカナダの地震ハザードマップを作成した。Cornell（1968）が示した最大加速度や震度の確率を表す評価手法は、その後、Wesnousky et al.（1984）や亀田・奥村（1985）など多くの研究者により採用されている。ここでは、歴史地震や活断層などに関する地震資料をもとに地震ハザードマップが作成されている。

1995年兵庫県南部地震以降に発表された地震ハザードマップでは、地震活動の領域や地盤増幅を考慮した吉田・今塚（1998）や長橋・柴野（1999）の研究成果や、地震発生の時間依存性を考慮して時間の基点を与えて評価した隈元（1999）、損害保険料率算定会（2000）、Annaka・Yashiro（2000）、宇賀田（2001）等による研究成果が得られ、地震ハザードマップの内容の高度化が図られている。とりわけ損害保険料率算定会（2000）の地震ハザードマップでは、活断層調査結果の当時の最新情報が取り入れられており、また用いられた条件が全て公表されている。

兵庫県南部地震以降に国内で作成された地震ハザードマップは、工学の分野における対象構造物の供用期間である50年間あるいは100年を基本として作成されることが多く、その確率レベルは、低頻度巨大災害の1000年オーダーの再現期間（例えば5%-期間50年では、平均的には1000年に1回地震が発生することに相当）で表示することが重要とされている（石川他, 1996）。

また、米国では、湾岸地域自治体連合（ABAG）が、米国地質調査所（USGS）の協力を得て1960年代後半からサンフランシスコ湾岸領域において地震危険度評価のための活動を始め、1980年代では確率論的地震動予測地図を作成している（Perkins, 2000）。1990年代には、米国地質調査所（USGS）が全米を対象とした確率論的地震動予測地図（Frankel, 2000）¹を作成している。この地図においても、50年を基本として確率レベルで2%, 5%, 10%で地震動強度を表示している。

2 確率論的地震動予測地図の評価の説明

(1) 評価手法

(1-1) 確率論的地震動予測地図作成における地震の定義

「震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について(中間報告)」(地震調査委員会長期評価部会, 2002)では、地震の定義を以下のように分類している。

¹関連 HP アドレス, <http://geohazards.cr.usgs.gov/eq/index.html>

98 の主要な活断層帯に発生する固有地震（以下「主要 98 活断層帯の固有地震」という。）
海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する大地震（以下「海溝型地震」という。）
「98 活断層帯及び海溝型地震」以外の地震（以下「震源を予め特定しにくい地震等」という。）

-a. 震源を予めある程度特定できる地震

グループ 1 98 断層帯以外の活断層に発生する地震

グループ 2 98 断層帯に発生する固有地震（最大地震）以外の地震

-b. 震源を予め特定しにくい地震（地表に痕跡を残さない地震）

グループ 3 海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する大地震以外の地震

グループ 4 沈み込むプレート内地震

グループ 5 陸域の地殻内で発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震

本報告の本文では、これらの地震を、

ア 震源断層を特定した地震（ 、 、 -a. ）

イ 震源断層を予め特定しにくい地震（ -b. ）

に分類して説明している。

各地震に対して、長期評価（地震が発生する確率、形状評価、地震規模評価）や強震動評価（その地震による特定の地点における揺れの強さ）を実施する。全国を格子状に区切り（約 1km メッシュ）、各格子内の代表点での地震動の強さの確率を図化すること等により、確率論的地震動予測地図を作成する。

(1-2)地震ハザード評価手法の概要

地震ハザード評価とは、ある地点における地震動の強さとそれを特定の期間内に超える確率の関係（ハザードカーブと呼ばれる）を算定するものである。一般的には、図 18 に示すフローにしたがって評価される。大まかな手順は、以下のようにになっている。

対象地点周辺の地震活動を確率モデルで評価する。ここでは、震源断層を特定した地震（98 断層帯で発生する固有地震、海溝型の大地震、グループ 1 の地震）および震源断層を予め特定しにくい地震（グループ 3 からグループ 5 の 3 種類）に分けてモデルを検討している。

分類したそれぞれの地震について、地震規模の確率、距離の確率、地震の発生確率（あるいは頻度）を評価する。

地震の規模と距離が与えられた場合の地震動強さを推定する確率モデルを設定する。通常は、距離減衰式とそのばらつきによって評価される。

確率モデルを設定された個々の地震について、着目期間内にその地震によって地震動の強さがある値を超える確率を評価する。

これを評価した地震数繰り返し、それらの結果を統合することにより、全ての地震を考慮した場合に地震動の強さが着目期間内に少なくとも 1 度、ある値を超える確率を算定する。

確率論的地震動予測地図は、以上の手順によって地点ごとに実施された地震ハザード評価の結果に基づいて、期間、地震動の強さ、確率のうちの 2 つを固定し、残りの一つの地域分布を示したものである。

(1-3)結果の表現方法

ア ハザードカーブ

ハザードカーブは、地震動の強さと着目期間内にそれを超える確率（超過確率と呼ぶ）の関係を示したものであり、算定方法は付録で示したとおりである。実際には、離散的に設定した地震動の強さごとに超過確率を算定し、それを図 19 に示すような軸上を直線で結んで表示している。

特定の地震動の強さを定めたときにそれを超える確率、あるいは特定の超過確率を与えたときにそれに対応する地震動の強さは、それぞれ図 19 の図上において線形補間して算定している。このよう

に、対象とする期間を固定した上で、地震動の強さを与えて確率を算定する、あるいは確率を与えて地震動の強さを算定することは1つのハザードカーブを用いて容易に行うことができる。一方、地震動の強さと確率を固定してそれに該当する期間を算定することは、非定常な地震発生モデルを扱う場合には困難である。ただし、全ての地震の発生が定常ポアソン過程にしたがうとする場合には、算定されたハザードカーブを異なる期間の超過確率に変換することができるため、この関係を用いれば可能である。

イ 確率論的地震動予測地図の表示

確率論的地震動予測地図は、地点ごとに独立に算定された t 年間のハザードカーブに基づき、与えられた地震動強さの超過確率を地点ごとに求め、その分布を地図上に表したものと与えられた確率に対応する地震動強さを地点ごとに求め、その分布を地図上に表したものの2種類を作成している。図19に示したように、これらはハザードカーブをどちらから読むかの違いである。

(2) 試作版対象地域の特性の設定

(2-1) 地震活動の評価方法

試作版対象領域は、山梨県を中心とする東西約60km×南北約90kmの狭い範囲である。地図の種類は2種類とし、期間、超過確率、地震動強さをそれぞれ次のように設定した。

期間と地震動強さを固定した場合の超過確率分布図

対象領域に含まれる各基準地域メッシュ(第3次地域区画)の中心において、西暦2002年より30年間に震度5弱以上^{*2}、6弱以上^{*3}の地震動を受ける確率を計算し、メッシュ単位で色分けして表示する。

期間と超過確率を固定した場合の地震動強さ分布図

対象領域に含まれる各基準地域メッシュ(第3次地域区画)の中心において、西暦2002年より50年間での超過確率が40%、10%、5%となる地震動強さ、あるいは30年間での超過確率が3%(50年5%に相当する)となる地震動強さを計算し、メッシュ単位で色分けして表示する。表示する地震動強さは、地表の計測震度である。

(2-2) 地震の分類別評価モデル

ア 震源断層を特定した地震の評価手法

(主要98活断層帯の固有地震)

評価の基本方針

基本方針

長期評価および形状評価が公表された活断層については、評価結果に基づいて地震発生確率、マグニチュード、断層面の諸元を定める。

長期評価が未評価の活断層については、暫定的に既存調査研究の地震ハザード評価(損害保険料率算定会, 2000)で用いられた活断層の諸元を用いる。98断層帯と既存の地震ハザード評価で用いた活断層(「暫定評価の活断層」とよぶ)との対応については、「震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について(中間報告)」(地震調査委員会長期評価部会, 2002)に示す。98断層帯と暫定評価の活断層とで個々の活断層の選び方が異なる場合があるが、試作版では暫定評価の活断層が独立に地震を起こすとして確率評価モデルを設定する。

長期評価が未評価の活断層については、今後の長期評価の公表に伴って順次更新されることになるので、新しい知見を取り入れていくことを今後検討していく必要がある。

地震発生確率の設定

活断層における地震発生確率は基本的には長期評価結果に基づくが、地震発生確率に幅をもって示

^{*2} ここでは、「震度5弱以上」とは計測震度4.5(震度5弱の下限)より大きいことを表す。

^{*3} ここでは、「震度6弱以上」とは計測震度5.5(震度6弱の下限)より大きいことを表す。

されている場合がある。試作版（地域限定版）では、活動間隔および最新活動時期それぞれの幅の平均値に基づく地震発生確率を基本として算定した。

発生確率の算定は、地震調査委員会より公表された「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，2001a）の方法に従い、活動間隔の確率分布として BPT 分布を用い、ばらつきは 0.24 を用いて算定する。

暫定評価の活断層（損害保険料率算定会，2000）を用いる場合には、そこで用いられている手法により算定された発生確率を代用する。

マグニチュードの設定

活断層で発生する地震のマグニチュードは基本的には長期評価結果に基づくが、マグニチュードに幅をもって示されている場合にはその平均値を用いる。

暫定評価の活断層を用いる場合には、そこで用いられているマグニチュードをそのまま用いる。基本的には断層長さから松田式（松田，1975）でマグニチュードを定めている。

断層面の諸元の設定

個々の活断層の断層面は 1 枚もしくは複数枚の矩形面で形状評価する。モデルを規定するパラメータは、端部の位置、長さ、幅、走向、傾斜角、上端深さである。

長期評価に加えて形状評価が公表されている活断層については、それに基づいて断層面の諸元を定める。

長期評価が公表されている活断層は基本的にそれに基づき断層面の諸元を定めるが、形状評価が未了で、定量化されていないパラメータがある場合には、暫定的に次の方法により諸元を設定する。位置、長さ、走向が不明な場合には長期評価結果で示されている活断層の位置図を参考にして設定する。傾斜角が不明な場合には横ずれ断層では 90 度（鉛直面）、縦ずれ断層（正断層と逆断層）では 60 度と設定する。縦ずれ断層の場合での 60 度の根拠は豊富ではないが、過去の内陸の地震の断層パラメータの分析（佐藤編，1989）によれば、50～60 度程度の傾斜角とされているものが多いことから、ここでは暫定的に 60 度を仮定した。断層幅が不明な場合には、渡辺・他（1999，2000）による断層長さとの平均的な関係に基づき下式で定める。

<横ずれ断層の場合の幅>

- ・ $W=15$ (km) ($L > 30\text{km}$)
- ・ $W=10^{(0.6561\log L+0.207)}$ (km) ($30\text{km} < L < 4\text{km}$)
- ・ $W=L$ (km) ($4\text{km} < L$)

<縦ずれ断層の場合の幅>

- ・ $W=15/\sin$ (km) ($L > 15/\sin$)
- ・ $W=L$ (km) ($15/\sin < L$)

(注) W : 断層幅

L : 断層長さ

: 傾斜角

断層上端深さに関しては、長期評価では 0km とされている場合が多いが、地震動評価の観点からの研究（伊藤，1997）を参考に、一律 3km と設定する。なお、これらのパラメータは将来的に断層の形状評価が行われた時点で更新されることになる。

暫定評価の活断層を用いる場合には、そこで用いられている断層面をそのまま用いる。基本的には 1 枚もしくは複数枚の鉛直の矩形面である。なお、断層の幅は上述の考え方を参考に一律 15km とするが、断層長さが 15km 未満の場合には断層長と等しく設定する。また、断層上端深さに関しても上述と同様に一律 3km と設定する。

活動区間

基本的には個々の活断層モデルの全区間が同時に活動すると考える。ただし、長期評価結果で地震を起こす断層（起震断層）の組み合わせとして複数示されている場合には、最も起こりそうな活動区間を固有地震とする。

主要 98 断層帯のうち試作に用いる活断層の諸元

主要 98 断層帯のうち試作に用いる活断層の抽出範囲は、試作領域の外周を東西南北各 1 度拡げた範囲を目安としている。

この範囲に含まれる主要 98 断層帯は全部で 24 断層帯である。24 の主要断層帯のうち、長期評価および形状評価が公表された活断層は糸魚川-静岡構造線断層帯（北部・中部）の 2 つである。また、

形状は評価されていないが長期評価のみが公表された活断層は、神縄・国府津-松田断層帯、信濃川断層帯、富士川河口断層帯の3つである。これらの活断層の諸元は公表された評価をもとに設定する。なお、上記の活断層のうち、富士川河口断層帯、神縄・国府津-松田断層帯については海域まで含まない陸上部のみを震源断層として扱った。

糸魚川-静岡構造線断層帯（南部）を含む長期評価が未評価の19断層帯の諸元については、暫定評価の活断層（損害保険料率算定会，2000）の値で代用するが、すべてポアソン過程で評価している。

（主要98活断層帯以外の活断層に発生する地震（グループ1の地震））

評価の基本方針

「震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について（中間報告）」（地震調査委員会長期評価部会，2002）を基本とする。基本的には個々の活断層の全区間が同時に活動すると考える。

試作に用いる主要98活断層帯以外の活断層に発生する地震諸元

主要98活断層帯以外の活断層に発生する地震（グループ1の地震）に対応する122活断層の中で試作地域周辺の活断層を図20に示す。活断層の抽出範囲は、試作領域の外周を東西南北各1度拡げた範囲を目安としている。この範囲に含まれる活断層は全部で27である。27活断層の地震発生確率とマグニチュードを暫定評価の活断層（損害保険料率算定会，2000）の値で代用するが、全てポアソン過程である。

最近公表された活断層のカタログとして、松田・他(2000)による起震断層の表があるため、今後、新しい知見を取り入れていくことを検討していく必要がある。

（主要98活断層帯の固有地震以外の地震（グループ2の地震））

評価の基本方針

「震源を予め特定しにくい地震等の評価手法（中間報告）」にもとづいて評価する。現時点では、特定の評価方法がないため、グループ5の地震の中に含めて想定する。

（海溝型地震（プレート境界の巨大地震）の評価）

想定東海地震

中央防災会議東海地震に関する専門調査会により評価された断層諸元を用いる（中央防災会議東海地震に関する専門調査会，2001）。地震発生確率は評価されていないため、隣接する東南海地震の発生確率（地震調査委員会，2001b）以上として仮に設定している。また、この地震に対して距離減衰式は用いず中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001)の予想地震動を採用し、地震動の強さのばらつきが無いものとして評価している。

東南海地震、南海地震

地震調査委員会長期評価部会ならびに強震動評価部会により評価された断層諸元を用いる。

地震発生確率は長期評価で公表されている値（地震調査委員会，2001b）を用いる。モーメントマグニチュード M_w は強震動評価部会により評価された両地震の地震モーメントや断層諸元（地震調査委員会強震動評価部会，2001b）に基づき評価する。

関東地震

長期評価が未評価なので、仮置きモデルとして断層面は地震予知総合研究振興会でまとめられた強震動評価手法のレビューと事例的検討（地震予知総合研究振興会，1999）で用いられた Wald and Somerville (1995)による1923年関東地震の断層モデルを用いた。

中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会は、平成4年8月に「相模トラフ沿いでマグニチュード8程度の海溝型巨大地震が発生する可能性は100年か200年先」と報告している（中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会，1992）。平成4年（1992年）は大正12年（1923年）からおおよそ70年経過していることから換算すると、関東地震のおおよその活動間隔は170～270年ということになる。そこで、ここでは仮置き値として、活動間隔がBPT分布に従う更新過程で、ばらつきは0.24、最新活動時期は1923年と設定している。平均活動間隔を220年とした場合の条件で

西暦 2002 年よりの地震発生確率を求めた。

モーメントマグニチュード M_w や断層諸元は、上記 Wald and Somerville (1995)による 1923 年関東地震の断層モデルに基づき設定し、 $M_w=7.9$ とした。

イ 震源断層を予め特定しにくい地震の評価手法 (グループ 3 ~ 5 の地震)

評価の基本方針

これらの地震の評価手法は、長期評価部会でとりまとめた「震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について(中間報告)」(地震調査委員会長期評価部会, 2002)を基本とする。

地震活動の領域分けおよび評価手法の基本的な考え方

グループ 3, 4, 5 の地震は、過去に発生した地震のデータに基づき、地震の発生場所、規模、頻度をモデル化する。この際、地震地体構造や震央分布等に基づいて区分された地震活動域を単位として地域区分する方法(以下、地域区分する方法)と、機械的に分割した東西南北 0.1 度のメッシュを単位として評価する方法(以下、地域区分しない方法)の両者を用いる。前者は損害保険料率算定会(2000)で用いられている手法に準じたもの、後者は Frankel(1995)における smoothed seismicity の考え方に準じたものである。両者の大きな違いは、地震活動度が均一と考える領域の大きさである。地域区分する方法での地震活動域は一般に 0.1 度のメッシュよりも大きく設定されるため、地震発生頻度の地域分布のコントラストは、地域区分しない方法による方が強くなる。

地震の規模別発生頻度は、指数分布(Gutenberg-Richter の関係)に従うものとする。地域区分する方法では地震活動域ごとのデータを、地域区分しない方法ではメッシュごとのデータをそれぞれ用いることにより、規模別発生頻度を評価する。この際、Gutenberg-Richter 式の b 値は地震活動域あるいはメッシュごとに算定はせず、全領域で一定値(0.9)とする。最大マグニチュードは、地域区分をする、しないにかかわらず、地震活動域ごとに設定する。ただし、地域区分しない場合の最大マグニチュードは、対象とするメッシュの中心が含まれる地震活動域の値を用いる。ハザード評価に用いる最小マグニチュードは、地震活動度の評価に用いる最小マグニチュードによらず一律 5.0 とする。

地震の深さは、地震活動域ごとに一定値とし、地域区分しない場合には当該メッシュの中心が含まれる地震活動域の値を用いる。地震の発生時系列は、定常ポアソン過程とする。

評価の手順と条件

使用する地震データ

以下の 2 種類のデータを用いる。

- ・ 宇津カタログ(宇津, 1982)のうち 1885 年から 1925 年のマグニチュード 6.0 以上のものと、1926 年以降 2000 年末までの気象庁のデータのうちマグニチュード 5.0 以上のものを組み合わせたもの(以下では「中地震」と呼ぶ)
- ・ 1983 年以降 2000 年末までの気象庁データのうちマグニチュード 3.0 以上のもの(以下では「小地震」と呼ぶ)

1994 年以降の地震のマグニチュードの値は、平成 13 年 4 月 23 日に気象庁地震火山部より発表された 17 地震についてのみ修正をしている。

試作版の作成では、マグニチュード 6.0 以上の地震の発生後 90 日以内に、震央を中心とする次式(建設省土木研究所, 1983)で表される面積 A (km^2) の円内で発生した地震を余震とみなし、機械的に除去する。

$$\log A = M - 3.2 \quad (2-1)$$

前震および群発地震は除去していない。前震、余震、および群発地震の除去方法については、次年度以降検討していく必要がある。

なお、地震データからは、別途評価される地震(主要 98 活断層帯の固有地震、海溝型地震、主要

98 活断層帯の固有地震以外の活断層)と対応するものは除去する。

地震データのグループ分け

地震のデータは、地体構造による地震活動域(損害保険料率算定会,2000)に従ってグループ分けする。図 21~図 23 に、地体構造による地震活動域を示す。

a)グループ 5 の地震に該当する地震の抽出

震央が料率算定会の上部地殻内の地震活動域に入り、震源深さが 25km 以浅(海域の地震活動域では 40km 以浅)の地震をグループ 5 の地震に該当する地震とする。

b)フィリピン海プレートに関連するグループ 3 , 4 の地震の抽出

a)で選定された地震を除去した地震データの中から、震央が料率算定会のフィリピン海プレートの地震活動域に入るものをフィリピン海プレートに関連するグループ 3 , 4 の地震とする。ただし、太平洋プレートの地震活動域と重複する部分については、60km 以浅のものをフィリピン海プレートの地震とみなす。上部地殻内の地震活動域と重複する部分は、25km より深い地震のみが用いられている。

c)太平洋プレートに関連するグループ 3 , 4 の地震の抽出(試作版では対象外)

a)と b)で選定された地震を除去した残りの地震データの中から、震央が料率算定会の太平洋プレートの地震活動域に入るものを太平洋プレートに関連するグループ 3 , 4 の地震とする。上部地殻内の地震活動域と重複する部分は、25km より深い地震が、フィリピン海プレートの地震活動域と重複する部分については、60km より深い地震のみが用いられる。

d)フィリピン海プレートのグループ 3 と 4 の地震の分離

地震のデータの段階では両者は分離せず、地震の発生頻度の算定後に分離する。ただし、本年度の試作版の作成では、東海地方のフィリピン海プレートの固着率が現時点において非常に高いとされることなどを勘案し、暫定的にグループ 3 と 4 の比率を 0 : 1、すなわち全てがグループ 4 の地震であるとしてモデル化する。今後、分離の方法を検討する必要がある。

地震活動度(規模別の地震発生頻度)の評価とモデル化

a) 地域区分する方法

地震活動域は、料率算定会の区分を用いる。料率算定会の地震活動域は、上部地殻内については萩原編(1991)、垣見・他(1994)による地震地体構造区分を、太平洋プレートおよびフィリピン海プレートについては上記の地体構造区分に加えて震央分布やプレート上面の深さなどをそれぞれ参考にして設定されたものである。

グループ 5 の地震、フィリピン海プレートのグループ 4 の地震のそれぞれについて、地震活動域ごとに過去に発生した地震のデータを用いて地震の規模別発生頻度を算定する。b 値を 0.9(図 24 参照)とした上で、マグニチュード 5.0 以上の地震の発生頻度を算定する(マグニチュード 3.0 以上の地震のデータを用いる場合には、これらの地震を対象に Gutenberg-Richter 式を算定し、その式上でマグニチュード 5 以上の地震の発生頻度を出す。図 25 参照。)

最大マグニチュードは、料率算定会と同様の方法により、地震活動域ごとに設定する。具体的には、陸域上部地殻内の地震活動域については別途モデル化している活断層と対応しない歴史地震の最大マグニチュード(ただし 6.5 あるいは 6.7 の下限値を設定)を、またフィリピン海プレートの地震活動域については歴史上の最大マグニチュードと垣見・他(1994)による値の大きい方(ただし 7.2 の下限値を設定)をそれぞれ採用している。ハザード評価に用いる最小マグニチュードは、用いた地震のデータの最小マグニチュードによらず 5.0 とする。将来の地震の発生場所は、それぞれの地震活動域内で一様とし、時系列は定常ポアソン過程とする。

将来発生する地震の深さは、各地震活動域内で一定値とする。その値は、陸域の上部地殻内の地震については一律 10km、フィリピン海プレートの地震については近年の地震のデータの震源深さの平均値とする。図 26 に、試作領域周辺の地震活動域ごとの最大マグニチュードと震源深さを示す。

b)地域区分しない方法

グループ 5 の地震、フィリピン海プレートのグループ 4 の地震それぞれについて、東西、南北各 0.1 度のメッシュごとに過去に発生した地震のデータを用いて地震の規模別発生頻度を算定する。同様に、b 値を一定値(0.9)とした上で、マグニチュード 5.0 以上の地震の発生頻度を各メッシュについて算定し、それをガウス分布で平滑化する。この際、相関距離は暫定的に 25km とする。

最大マグニチュードは、地域区分する方法で用いている値を参照することとし、メッシュの中心が属する地震活動域の値を用いる。ハザード評価に用いる最小マグニチュードは5.0とする。

将来の地震の発生場所は、メッシュ内で一様ランダムとし、時系列は定常ポアソン過程とする。将来発生する地震の深さは、地域区分する方法で用いている値を参照することとし、当該メッシュの中心が属する地震活動域の深さをを用いる。なお、メッシュのサイズや相関距離の設定については、今後検討する必要がある。

試作版の対象領域周辺における地震の発生頻度の分布

試作版の領域周辺を対象として、地域区分する方法、地域区分しない方法それぞれについて、2種類の地震データに基づいて評価したマグニチュード5以上の地震の発生頻度(0.1°×0.1°の領域ごとの1年あたりの頻度)の分布を図27および図28に示す。

まず、地域区分する方法と地域区分しない方法による発生頻度を比較すると、前者では区分した領域内で地震の発生頻度が一様であるのに対して、後者では場所による地震発生頻度のコントラストがきわめて強くなるために、除去しきれていない余震や群発地震の影響が直接的に現れる結果となっている。

次に、用いる地震カタログの違いによる結果の差異を見ると、地域区分する方法では発生頻度に最大3倍程度の違いが生じている。一方、地域区分しない方法では、場所ごとのコントラストが強くなるために、用いるカタログによって発生頻度に10倍もの違いが現れるところもある。小地震のカタログを用いた場合には、余震や群発地震の影響をより強く受けると考えられるため、これらの結果の差異は、単純に両カタログの期間による違いだけではなく、規模の範囲が異なることの影響も反映されていると考えられる。

地域区分しない方法による結果から、2つの地震カタログに共通して地震発生頻度の高い地域(橙色以上)として、グループ4では茨城県南西部から千葉県北部と伊豆半島から伊豆諸島にかけての領域が挙げられる。また、グループ5では神奈川県西部から山梨県東部と新潟県中部が挙げられる。逆に、カタログによって値が大きく異なる地域は、グループ4では愛知県の直下が、グループ5では愛知県、長野県西部、長野市付近、栃木・群馬県境付近、茨城県南西部から千葉県北部等が挙げられる。

試作版の作成における複数のモデルの取扱い

グループ4、5の地震については、上記のように

- ・地域区分：する/しない
- ・地震カタログ：中地震/小地震

の組み合わせで合計4ケースが存在する。試作版の作成では、これら4ケースによる結果の平均値(地震動の強さごとに超過確率の算術平均をとったもの)を用いる。

(3) 地震動の評価モデル

(3-1) 距離減衰式と地盤増幅率

工学的基盤(S波速度400m/s相当層)での最大速度の距離減衰式は司・翠川(1999)による式を用いる。司・翠川(1999)は、断層面からの距離の取り方として、断層最短距離と等価震源距離を用いた2つの式を求めているが、ここでは断層最短距離を用いた式を採用する。

$$\log PGV_{b600} = 0.58 M_W + 0.0038 D + d - 1.29 - \log (X + 0.0028 \cdot 10^{0.50 M_W}) - 0.002 X \quad (3-1)$$

PGV_{b600} : 最大速度(cm/s) : S波速度600m/s相当の硬質地盤上

M_W : モーメントマグニチュード

D : 震源深さ(km)

d : 地震のタイプ別係数

地殻内地震 $d = 0$

プレート間地震 $d = -0.02$

プレート内地震 $d = 0.12$

X : 断層最短距離(km)

距離減衰式のばらつきは対数標準偏差 0.53 の対数正規分布でモデル化し、分布の裾の打ち切りは行わない。

また、(3-1)式の基準地盤は S 波速度 600m/s 相当の硬質地盤なので、基準地盤 (S 波速度 600m/s 相当層) から工学的基盤 (S 波速度 400m/s 相当層) までの最大速度の増幅率は、松岡・翠川(1994)による表層地盤の速度増幅度算定式

$$\log ARV = 1.83 - 0.66 \log AVS \quad (3-2)$$

(100 < AVS < 1500)

ARV : 基準地盤に対する地表の速度増幅度
AVS : 地下 30m から地表までの平均 S 波速度 (m/s)

を用いて算定される速度増幅度の比として評価する。具体的にはその比が 1.31 となるので、(3-1)式から求められた最大速度 PGV_{b600} に 1.31 を乗じたものを工学的基盤上の最大速度 PGV_{b400} とする。

気象庁マグニチュード M_J からモーメントマグニチュード M_W への変換は、陸域の浅い地震とそれ以外の地震とに分けて行う。陸域の浅い地震は、武村(1990)による地震モーメント M_0 と気象庁マグニチュード M_J の関係式((3-3)式)と、地震モーメント M_0 とモーメントマグニチュード M_W の関係式((3-4)式)から導かれた(3-5)式により変換する。それ以外の地震は、気象庁マグニチュード M_J とモーメントマグニチュード M_W は等しい($M_W = M_J$)とする。ただし、強震動評価部会で設定されたモーメントマグニチュード M_W を基本的には用いることとする。

$$\log M_0 = 1.17 M_J + 10.72 \quad (3-3)$$

$$\log M_0 = 1.5 M_W + 9.1 \quad (3-4)$$

$$M_W = 0.78 M_J + 1.08 \quad (3-5)$$

M_0 : 地震モーメント (N・m)
 M_J : 気象庁マグニチュード
 M_W : モーメントマグニチュード

地図上の地表面における最大速度 PGV_s は、工学的基盤での最大速度値 PGV_{b400} に対して(3-2)式を用いて増幅率を乗じる計算(ただし、(3-2)式の基準地盤は 600m/s であるため、増幅率は 1.31 で除した値を用いる必要がある)を用いることにより得られる。ここで、(3-2)式における地下 30m の平均 S 波速度 (m/s) は、国土数値情報の 3 次メッシュ (約 1 km メッシュ) の微地形区分にもとづき松岡・翠川 (1994) による経験的関係式を用いて推定することとした。この経験的関係は、主に関東地方のデータを基に作成されたものであり、全国の地盤に適用するにあたっては、標高と微地形の分布の関係などから適当でないデータも含まれることがある。そのため、微地形区分によっては松岡・翠川 (1994) のデータ分布を参照して、適用範囲を設定するものとした (地震調査委員会強震動評価部会, 2001b)。

地表面における計測震度は、翠川・他(1999)が示している最大速度と計測震度との関係式((3-6)式)を用いて計算する。

$$I_{INSTR} = 2.68 + 1.72 \log PGV_s \quad (4 < I < 7) \quad (3-6)$$

I_{INSTR} : 計測震度
 PGV_s : 地表面における最大速度 (cm/s)

上記の最大速度と計測震度との関係式における最大速度は水平動 2 成分を合成した最大速度である。一方、司・翠川(1999)の距離減衰式から求められる最大速度は水平 2 成分のうち大きい方の値である。

(3 - 2) 地震動の揺れの指標

確率論的地震動予測地図の試作版では、計測震度から算定した震度階を地図上に示したが、(3 - 1)

節に説明したようにこの計測震度は、最大速度の距離減衰式から変換された値であるため、地図上に示す指標としては最大速度をそのまま用いることができる。この指標は、主に地震学・地震工学の分野で地震動の揺れを計測し、計算する場合に用いられる。今後、公開する場合においては表示する必要のある指標である。

その他に、地震工学・耐震工学の分野で耐震設計における地震荷重を与える場合に、最大加速度を算定する距離減衰式は多数あることや、強震動では工学基盤から表層地盤での非線形の影響を強く受け、そのことによって地表の最大加速度は地点毎の変動が大きくなるため、比較的変動が少なく、構造物の設計の入力地震動を示す工学的基盤での最大加速度を指標とすることを想定して来年度以降に検討することとする。また、地震動の揺れの周期特性をあらわし、耐震設計の地震荷重に直接的に利用されることが想定される、工学基盤上の応答スペクトルについても重要な指標として、今後検討してゆく予定である。

(4) 地震動予測地図の融合

確率論的地震動予測地図では、「震源断層を特定した地震」についてその長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価するとともに、「震源断層を予め特定しにくい地震」を統計的に評価し、その上でこれら全てを統合することで作成することとしている。

震源断層を特定した地震動予測地図とは、特定の震源断層を想定し、それが動いた場合の破壊過程を設定して、震源断層周辺の地震動を計算したものである。これにも、いくつかの震源破壊過程が想定され、それぞれについての発生確率という考え方を取り込まれることも想定される。また、震源断層を想定した地震動予測地図を参照することで、地震動の大きさだけでなく地震波形を利用することが可能となる。

現時点では、震源断層を特定した地震動予測地図と確率論的地震動予測地図は、相互に補う関係を持っており、それぞれの特長に応じて使い分けることが考えられる(奥村・石川, 2000)。

確率論的地震動予測地図では、「震源断層を特定した地震」についてその長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価し、ここではその結果を確率論的地震動予測地図に取り込むことを前述の「統合」と区別し、ここでは「融合」と呼び、さらに、両地図の関連を明確にすることも含めて総称して呼ぶこととする。

(4-1) 融合の考え方

地震動予測地図の融合については現時点で次の2つの考え方が提示されているが、本年度はこのうち「融合の考え方1」として、確率論的地震動予測地図における震源断層を特定した地震の位置づけについて検討する。

融合の考え方1：2種類の地図は独立に作成されるが、それぞれの位置づけを解説し、相互に関連づける。2種類の地図を関連づけるために、確率論的想定地震の概念を用いるという考え方。この考え方で、各震源断層を特定した地震を確率論的地震動予測地図の中で位置づける。

融合の考え方2：震源断層を特定した地震に対する詳細法による強震動予測の結果を用いて、確率論的地震動予測地図に取り込むという考え方。

考え方1において確率論的地震動予測地図における震源断層を特定した地震の位置づけとは、対象地点におけるハザードに影響が大きい地震は何か、および震源断層を特定した地震による地震動評価がその地点の地震ハザードにおいてどのような位置付けにあるか、という点を明確にすることにある。

また、確率論的想定地震(亀田・他, 1997; 石川・奥村, 2001)^{*4}とは、対象とする確率レベルに対応するような強さの地震動を起し得る可能性が高い地震を震源断層を特定した地震(想定地震)として選定するための方法論であり、その際、そのような地震動をもたらし得るような地震の相対的な出現可能性を表わす指標として各地震の「貢献度(影響度)」を定義している。貢献度(影響度)は対象とするハザードレベルや周期帯域に応じて変化する指標であり、貢献度(影響度)が大きい地

^{*4} 石川・奥村(2001)は確率論的想定地震の概念を従来のハザードレベルを規範とする「ハザード適合想定地震」と構造物の被害や損失までを含めたりスクレベルを規範とする「リスク適合想定地震」とに分けて再定義しているが、ここではハザード適合想定地震の概念を確率論的想定地震と称する。

震ほど震源断層を特定した地震を選定するにあたって重要視すべきと評価される。なお、米国でも類似の考え方として、ハザードレベルごとに支配的な地震のマグニチュードと距離を分解して評価する「deaggregation」の概念が提唱されているが(McGuire, 1995; Boissonnade, et. al., 1995; Bazzurro and Cornell, 1999)、確率論的想定地震の概念では個々の地震ごとの貢献度(報告書ではこれを「個々の地震毎の影響度」と呼ぶ)を定量化して示すことに特徴がある。

(4-2) 融合の方法

融合の考え方1の手順は次のとおりである。

注目地点における確率論的想定地震の影響度(貢献度)による重要な「震源断層を特定した地震」の選定

で選定された震源断層を特定した地震による地震動強さとハザードカーブの関係の明確化

このうち、は注目地点において確率論的想定地震の貢献度を評価することにより、対象とする確率レベルのハザードに強く影響を及ぼす地震を選定するものである。確率論的想定地震の影響度(貢献度)とは、注目地点において対象とする確率レベルに対応する地震動強さ以上の揺れを受けた場合に、その地震動をもたらした地震がどの地震である可能性が高いかを相対確率(%)で表わした指標であり、確率レベルごとに全地震の影響度(貢献度)の総和は100%となる。同じ地震の影響度(貢献度)であっても確率レベルによって値は変化することになる。なお影響度(貢献度)の定式化については文献(亀田・他, 1997; 石川・奥村, 2001)を参照されたい。

一方、は選ばれた震源断層を特定した地震による地震動が当該地点のハザードとどういう関係にあるかを明確にするもので、融合の考え方2の理解の助けとなるものである。具体的には、震源断層を特定した地震が発生したと想定した場合の「別途評価された地震動強さ(震源断層を特定した地震地図)」が当該地点におけるハザードレベルといかなる関係にあるか、について考察することができる。

(4-3) 検討例

ここでは、前節の で示す影響度(貢献度)の検討例を示す。

確率論的地震動予測地図試作版において評価した地点A、Bを検討対象とする。

本文図17に示されている地点Aにおける影響度(貢献度)および地点Bにおける影響度(貢献度)のそれぞれの地震分類ごとの数値を表6に示す。各地震の分類ごとに示された値が、当該地点に震度6弱以上をもたらす相対的な可能性を示した影響度(貢献度)である。

表6より明らかなように、50年震度6弱以上に対応する想定東海地震の影響度(貢献度)の値は地点Aでは50%以上の数値となっている。次に影響度が大きいと想定される地震は糸魚川-静岡構造線断層帯(北部・中部)である。

地点Bでは糸魚川-静岡構造線断層帯(北部・中部)が最も大きく、糸魚川-静岡構造線断層帯(南部)が2番目に影響度が大きいと想定される。また、影響度(貢献度)が3番目以下については両地点ともに種々の地震が同程度の影響度を示す。

なお、確率論的想定地震の影響度(貢献度)を地図の形で表現する方法についても提唱されている(中島・他, 2001)。これについては次年度以降の検討課題とする。

(5) 今後に向けて

- 「震源断層を予め特定しにくい地震」のモデル化手法の検討(余震の除去を含む)。

気象庁の地震カタログから大地震後の余震を除去するために建設省土木研究所(1983)の方法を用いているが、これ以外の手法や前震、余震、群発地震などの除去をこれまでの研究成果にもとづいて検討する必要がある。

- 「震源断層を特定した地震」の確率論的地震動予測地図への取込み手法の検討。

「震源断層を特定した地震」による地震動予測地図の取込む融合の考え方2のことを示すが、今後どのような手法が望ましいか十分に検討する必要がある。

- 想定震源域の範囲について様々考えられる場合の論理ツリー(地震調査委員会, 2001a)構築に

おける重み付けの方法の検討。

「震源断層を特定した地震」の複数のシナリオを想定した場合、論理ツリーの構築が重要となり、今後の課題である。

- 「距離減衰式」におけるばらつき の取扱い手法（打ち切りの設定等）の検討。

「距離減衰式」のばらつきを示す分布や裾の打ち切りについては、確率論的地震動予測地図を作成する上で重要な検討項目となる。

- 「主要98活断層帯の固有地震以外の地震」の取扱い手法の検討。

「震源を予め特定しにくい地震等」のうちグループ2の地震の取扱いは、主要98活断層帯の固有地震の評価とあわせて、今後の研究成果にもとづいて手法を開発する必要がある。

引用文献(アルファベット順)

- Annaka, T. and Yashiro, H. (2000): Temporal Dependence of Seismic Hazard in Japan, Proceedings of the 12th World Conference of Earthquake Engineering, Paper No.0316.
- Bazzurro, P. and Cornell, C.A. (1999): Deaggregation of Seismic Hazard, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.89, No.2, pp.501-520.
- Boissonnade, A., Chokshi, N., Bernreuter, D. and Murphy, A. (1995): Determination of Controlling Earthquakes from Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Nuclear Reactor Sites, Transactions of the 13th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Vol.4, pp.1771-776.
- 中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会(1992): 中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会検討結果報告, 平成4年8月21日.
- 中央防災会議東海地震に関する専門調査会(2001): 「中央防災会議東海地震に関する専門調査会」に関する報告, 平成13年12月18日.
- Cornell, C. Allin (1968): Engineering seismic risk analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.58, No.5, pp.1583-1606.
- Frankel, A. (1995): Mapping Seismic Hazard in the Central and Eastern United States, Seismological Research Letters, Vol. 66, No. 4, pp. 8-21.
- Frankel, A. (2000): USGS National Seismic Hazard Maps, Earthquake Spectra, Vol. 16, No. 1, pp. 1-19.
- 萩原尊禮編(1991): 日本列島の地震 - 地震工学と地震地体構造 -, 鹿島出版会.
- 石川 裕・奥村俊彦(2001): 地域の集積リスクを考慮した想定地震の選定方法, 地域安全学会論文集, No.3, pp.199-206.
- 石川 裕・奥村俊彦・亀田弘行(1996): 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 土木学会「阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.61-68.
- 伊藤 潔(1997): 地殻内地震の深さの上限, 日本地震学会1997年度秋季大会講演予稿集, P69.
- 地震調査委員会(1996): 糸魚川静岡構造線活断層系の調査結果と評価について, 地震調査委員会報告集 - 1995年7月~1996年12月 -, pp501-510
- 地震調査委員会(1999): 日本の地震活動, 395pp.
- 地震調査委員会(2001a): 長期的な地震発生確率の評価手法について, 46pp.
- 地震調査委員会(2001b): 南海トラフの地震の長期評価について, 52pp.
- 地震調査委員会長期評価部会(2002): 震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について(中間報告)
- 地震調査委員会強震動評価部会(2001a): 糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部、中部)を起震断層と想定した強震動評価手法について(中間報告), 43pp.
- 地震調査委員会強震動評価部会(2001b): 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について(中間報告), 平成13年12月7日.
- 地震調査研究推進本部(1999): 地震調査研究の推進について 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策, 20pp.
- 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会(1997): 地震に関する基盤的調査観測計画, 38pp.
- 地震調査研究推進本部政策委員会成果を社会に活かす部会(2001): 政策委員会成果を社会に活かす部会報告 - 地震調査研究における長期評価を社会に活かしていくために - .

- 地震予知総合研究振興会(1999):平成10年度科学技術庁委託 強震動評価手法のレビューと事例的検討報告書,平成11年3月.
- 垣見俊弘・ほか(1994):日本列島の地震地体構造区分と最大地震規模,地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集,p.132.
- 亀田弘行・奥村俊彦(1985):活断層データと歴史地震データを組み合わせた地震危険度解析,土木学会論文集,第362号/ -4, pp.407-415.
- 亀田弘行・石川 裕・奥村俊彦・中島正人(1997):確率論的想定地震の概念と応用,土木学会論文集,第577号/ 1-41, pp.75-87.
- Kanai and Suzuki (1968): Expectancy of the maximum velocity amplitude of earthquake motions at bedrock, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 46, pp.663-666.
- 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層 分布図と資料,東京大学出版会.
- Kawasumi (1951): 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.
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1983):前・余震の頻度および規模に関する調査,土研資料 No.1995.
- 気象庁(1996):『震度を知る - 基礎知識とその活用』,ぎょうせい,238pp.
- 隈元崇(1999):内陸地震の危険度を探る - 活断層トレンチ調査の成果 -,地震ジャーナル,第28号, pp.13-26.
- 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震,第2輯,第28巻, pp.269-283.
- 松田時彦(1990):最大地震規模による日本列島の地震分帯図,地震研究所彙報,Vol.65, pp.289-319.
- 松田時彦(1995):陸上活断層の最新活動期の表,活断層研究,Vol.13, pp.1-13.
- 松田時彦・塚崎朋美・萩谷まり(2000):日本陸域の主な起震断層と地震の表 - 断層と地震の地方別分布関係 -, 活断層研究, Vol.19, pp.33-54.
- 松岡昌志・翠川三郎(1994). 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング,第22回地盤震動シンポジウム,日本建築学会.
- McGuire, R. K. (1995): Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.85, No.5, pp.1275-1284.
- 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999). 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係,地域安全学会論文集, Vol.1, pp. 51-56.
- Milne, W.G. and A.G. Davenport (1969): Distribution of earthquake risk in Canada, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.59, No.2, pp.729-754.
- 長橋純男・柴野謙太郎(1999):歴史地震データ・活断層データ及び国土数値情報による地盤条件を考慮した日本列島の地震危険度マップ,日本建築学会構造系論文集,第516号, pp113-120.
- 中島正人・石川 裕・奥村俊彦(2001):確率論的想定地震の貢献度をういたハザードマップ,土木学会第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.121-124.
- 大崎順彦(1983):地震と建築,岩波新書.
- 奥村俊彦・石川 裕(2000):地域地震防災のための地震動予測地図の考え方,第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2000),37-B,pp.225-228.
- Perkins, J.B. (2000): San Francisco Bay Area hazard mapping-ABAG's history, failure, successes, and future goals, Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation (CD-ROM).
- 佐藤良輔編著(1989):日本の地震断層パラメーター・ハンドブック,鹿島出版会.
- 司宏俊・翠川三郎(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報告集,第523号, pp. 63-70.
- 損害保険料率算定会(2000):活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究~地震ハザードマップの提案~,地震保険調査研究47.
- 武村雅之(1990). 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係,地震,第2輯,第43巻, pp. 257-265.
- 宇賀田 健(2001):シナリオ地震による日本全国の地震危険度,日本建築学会構造系論文集,第541

号, pp.95-104.

宇津徳治(1982) : 日本付近の M6.0 以上の地震および被害地震の表 (1885 年 ~ 1980 年) .

Wald, D.J. and P.G. Somerville (1995): Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 85, pp. 159-177.

渡辺基史・佐藤俊明・壇 一男 (1999) : 内陸地震の断層長さ と幅に関する考察 , 日本地震学会 1999 年度秋季大会講演予稿集 , A09.

渡辺基史・佐藤俊明・壇 一男 (2000) : 内陸地震の断層パラメータの相似則 (その 2) , 日本地震学会 2000 年度秋季大会講演予稿集 , B06.

Wesnousky, S. G., C. H. Scholz, K. Shimazaki, and T. Matsuda (1984): Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: A case study of Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 74, No.2, pp.687-708.

吉田伸一・今塚善勝(1998) : ブロック構造に基づく震源領域モデルを用いた地震ハザード評価 , 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集 , pp.438-488.

(付録)

ハザードカーブの算定方法

着目地点において、その周辺で発生する地震（あるいは地震群）によって t 年間に少なくとも 1 回地震動の強さが y を超える確率 $P(Y > y; t)$ を、一般にハザードカーブと呼ぶ。ハザードカーブは、地点の周辺で発生するいずれの地震（群）によっても y 以下である確率を 1 から引くことにより、次式で評価される。

$$P(Y > y; t) = 1 - \prod_k \{1 - P_k(Y > y; t)\} \quad (1)$$

ここに、 $P_k(Y > y; t)$ は k 番目の地震（群）によって t 年間に少なくとも 1 回地震動の強さが y を超える確率であり、以下の 1) および 2) のように算定される。なお、以下の記述では、地震の規模と距離に関して離散的な表現としている。

1) 震源を予め特定できる地震（98 断層帯、海溝型地震、グループ 1 の地震）

これらの地震の発生確率は、一部のものについては更新過程あるいは時間予測モデルといった非定常な地震活動を表すモデルに基づき算定され、残りのものについては定常ポアソン過程を仮定して評価される。この場合、 k 番目の地震によって、地震動の強さが t 年間に少なくとも 1 回 y を超える確率 $P_k(Y > y; t)$ は、以下のようにして算定することができる。

a) 非定常な地震活動モデルに基づき地震発生確率が算定される場合

期間 t の間に複数回の地震発生を考慮する場合、それぞれの地震時の地震動の強さが互いに独立であると仮定すると、地震動の強さが t 年間に少なくとも 1 回 y を超える確率 $P_k(Y > y; t)$ は、

$$P_k(Y > y; t) = 1 - \sum_{l=0}^{\infty} \{P(E_k^{[l]}; t) [1 - P(Y > y | E_k)]^l\} \quad (2)$$

で表される。ただし、 $P(E_k^{[l]}; t)$ は期間 t の間に l 回地震が発生する確率、 $P(Y > y | E_k)$ は地震 k が 1 度発生した条件下で地震動の強さが y を超える条件付確率であり、

$$P(Y > y | E_k) = \sum_i \sum_j P(Y > y | m_i, r_j) P_k(m_i) P_k(r_j | m_i) \quad (3)$$

となる。ここに、 $P_k(m_i)$ は k 番目の地震における規模と確率関数、 $P_k(r_j | m_i)$ は規模が m_i の条件下での距離の確率関数、 $P(Y > y | m_i, r_j)$ は地震の規模が m_i 、距離が r_j の時に地震動の強さが y を超える条件付確率である。距離減衰式を用いて地震動の強さを評価する場合には、 $P(Y > y | m_i, r_j)$ は距離減衰式の中央値 $\bar{Y}(m_i, r_j)$ とそのばらつき（中央値を 1 とする対数正規変量 U で表されることが多い）を用いて、

$$P(Y > y | m_i, r_j) = 1 - F_U \left(\frac{y}{\bar{Y}(m_i, r_j)} \right) \quad (4)$$

となる。ただし、 $F_U(u)$ は U の累積分布関数である。

なお、期間 t に複数回の地震が発生する確率が無視できる場合には、式 (2) は簡略化されて次式で表される。

$$\begin{aligned} P_k(Y > y; t) &= P(E_k; t) P(Y > y | E_k) \\ &= P(E_k; t) \sum_i \sum_j P(Y > y | m_i, r_j) P_k(m_i) P_k(r_j | m_i) \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 $P(E_k; t)$ は k 番目の地震が t 年間に発生する確率であり、更新過程あるいは時間予測モデルに基づき、BPT 分布を用いて評価される（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2001）。今回の試作版では、非定常な地震発生モデルを適用するいずれの地震も 30 年あるいは 50 年間に 2 回以上発生する確率がほぼ 0 となることから、すべて式 (5) によ

って評価している。

b) 地震の発生が定常ポアソン過程でモデル化される場合

地震の発生を定常ポアソン過程とした場合には、地震動の強さが t 年間に y を超える確率 $P_k(Y > y; t)$ は、

$$P_k(Y > y; t) = 1 - \sum_{l=0}^{\infty} \{P(E_k^{[l]}; t) [1 - P(Y > y | E_k)]^l\} \quad (\text{再掲}) \quad (2)$$

$$P_k(Y > y; t) = 1 - \exp\{-n_k(Y > y) \cdot t\} \quad (6)$$

となる。ただし、 $n_k(Y > y)$ は k 番目の地震によって地震動の強さが y を超える年あたりの頻度であり、

$$\begin{aligned} n_k(Y > y) &= n(E_k) P(Y > y | E_k) \\ &= n(E_k) \sum_i \sum_j P(Y > y | m_i, r_j) P_k(m_i) P_k(r_j | m_i) \end{aligned} \quad (7)$$

となる。ここに、 $n(E_k)$ は k 番目の地震の年あたりの発生頻度、他は a) と同様である。

2) 震源を予め特定しにくい地震 (グループ 3, 4, 5 の地震)

上記 1) と異なり、対象とする地震を複数の規模と距離の組み合わせから成る群として取り扱う必要がある。グループ 3, 4, 5 の地震は、地域区分する方法の場合には地震活動域ごと、地域区分しない方法ではメッシュごとに、それぞれ地震活動が一様としている。これにより、各地震活動域あるいはメッシュを対象としている範囲において、地震の規模と発生場所は互いに独立となる。地震の規模の確率分布は Gutenberg-Richter の関係式から、また、距離の確率分布は地点と地震活動域あるいはメッシュとの幾何学的な位置関係からそれぞれ算定することができる。地震の発生時系列は、定常ポアソン過程でモデル化している。

以上から、グループ n の地震によって、地震動の強さが t 年間に y を超える確率 $P_n(Y > y; t)$ は、次式によって算定することができる。

$$P_n(Y > y; t) = 1 - \exp\{-n_n(Y > y) \cdot t\} \quad (8)$$

ただし、 $n_n(Y > y)$ はグループ n の地震によって地震動の強さが y を超える年あたりの頻度であり、

$$\begin{aligned} n_n(Y > y) &= \sum_k n(E_k) P(Y > y | E_k) \\ &= \sum_k n(E_k) \sum_i \sum_j P(Y > y | m_i, r_j) P_k(m_i) P_k(r_j | m_i) \end{aligned} \quad (9)$$

となる。ここに、 $n(E_k)$ はグループ n の地震を構成する k 番目の地震活動域またはメッシュにおける最小マグニチュード以上の地震の年あたりの発生頻度、 $P(Y > y | E_k)$ はグループ n の地震を構成する k 番目の地震活動域またはメッシュで地震が 1 つ発生した場合に地点での地震動の強さが y を超える条件付確率、 $P_k(m_i)$ は k 番目の地震活動域またはメッシュにおける規模の確率関数、 $P_k(r_j | m_i)$ は規模が m_i の条件下での距離の確率関数、 $P(Y > y | m_i, r_j)$ は地震の規模が m_i 、距離が r_j の時に地震動の強さが y を超える条件付確率である。