

2. 応答スペクトルに関する地震動ハザード評価の基本的な考え方

2.1 応答スペクトルに関する地震動ハザード評価の位置づけ

従来、地震調査研究推進本部で作成してきた「地震動予測地図」には、「全国地震動予測地図」及び「長周期地震動予測地図（試作版）」があり、「全国地震動予測地図」は、さらに「確率論的地震動予測地図」及び「震源断層を特定した地震動予測地図（シナリオ地震動予測地図）」で構成される。各地震動予測地図の種類と用途について、表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 地震調査研究推進本部で作成してきた地震動予測地図の種類と用途

地震動予測地図		用途
全国地震動予測地図	確率論的地震動予測地図	リスク評価等のための基礎資料、耐震対策の計画など
	シナリオ地震動予測地図	特定の地震を想定した強震動の予測、耐震対策の計画など
長周期地震動予測地図（試作版）		長い固有周期を持つ建造物を対象とした耐震・制震・免震対策など

上記のうち、確率論的地震動予測地図は、地震発生の長期的な確率評価と地震動の評価とを組み合わせたものである。現時点で考慮し得る全ての地震の位置・規模・確率に基づき各地点（地表）がどの程度の確率でどの程度揺れるのかをまとめて計算し、その分布を地図上に示している。具体的には、多種・多数の地震の発生をモデル化した上で、地震動予測式（地震動強さの距離減衰式）を用いて工学的基盤の地震動最大速度を求め、表層地盤増幅率を乗じて地表の地震動最大速度を求め、経験式を用いた変換により地表の震度を求めている（簡便法）。ただし、ここでの揺れの評価は（最大速度から算出される）震度で示しており、周期による地震応答値の違いは考慮されていない。

一方、シナリオ地震動予測地図及び長周期地震動予測地図（試作版）は、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づき作成されたものである。これらの作成においては、精緻なモデルに基づく詳細な手法（詳細法）で強震動評価を行っており、特定の条件の下により精緻な震源モデルと地下構造モデルを用いて、災害発生への影響が大きいと考えられる周波数帯域をカバーした地震波形を予測することが可能である。ただし、特定の地震を対象とした地震動の予測であるため、発生時期の異なる複数の地震を考慮した地震応答振幅の確率評価などへの適用は難しい。また、震源断層を予め特定しにくい地震など、震源断層モデルの想定が難しい地震に対して、シナリオ地震動予測への適用が困難である。

ここで新たに検討する応答スペクトルに関する地震動ハザード評価は、今後の一定期間内に強い揺れに見舞われる可能性を、工学的基盤における地震動の応答スペクトルの観点から示したものである。ただし、地震動評価においては、従来の簡便法で用いてきた最大速度に関する地震動予測式ではなく、加速度応答スペクトルに関する地震動予測式を用いる。従って、加速度応答ス

ペクトルに関する地震動予測式を用いることにより、複数の固有周期を考慮した地震応答振幅の確率評価を行うことが可能となる。すなわち、本試作版は確率論的な評価手法を用いた、工学的基盤における地震動の応答スペクトルについての評価であるといえる。地震動の評価手法及び評価対象に対する本試作版の位置づけを表 2.1-2 に示す。

表 2.1-2 地震動の評価手法及び評価対象に対する本試作版の位置づけ

地震動の評価手法	地震動の評価対象	
	地表の震度	工学的基盤における地震動の応答スペクトル
確率論的評価	確率論的地震動予測地図	本試作版
決定論的評価	シナリオ地震動予測地図	長周期地震動予測地図 (試作版)

「確率論的地震動予測」に相当する手法の工学的利用の例として、米国地質調査所 (United States Geological Survey, USGS) の全国地震ハザード地図プロジェクト (USGS National Seismic Hazard Mapping Project) が挙げられる。このプロジェクトは 1990 年代に開始され、1996 年に米国本土を、1997 年にアラスカ・ハワイを対象として、「確率論的地震動予測」に相当する手法に基づいた地震動予測地図が公表されている。この地震動予測では、今後 50 年間での超過確率 2%、5%、10% に対応する岩盤での最大加速度、及び周期 0.2 秒、0.3 秒、1.0 秒の加速度応答スペクトルが公表されている。

上記の USGS が作成した地震ハザード地図の成果は、米国での耐震設計等に用いられる Maximum Considered Earthquake Ground Motion Map (MCE 地震動マップ) として、米国土木学会 (American Society of Civil Engineers; ASCE) の ASCE 7 standard の Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures に取り入れられ、全米共通の建築基準である International Building Code (IBC) はこれに基づいている。これらは定期的に改訂されている。米国など海外において「確率論的地震動予測」が利活用されていることと同様に、我が国でも応答スペクトルに関する地震動ハザード評価結果の工学的な利活用が進むことが期待される。

2.2 応答スペクトルに関する地震動ハザード評価の基本的な考え方

全国地震動予測地図 (例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会、2021) の確率論的地震動予測地図では、各評価地点での確率論的地震動ハザード評価を図 2.2-1 に示す手順で作成している。最初に対象とする地震を想定し、それぞれの地震の場所、マグニチュード、発生確率 (頻度) を長期評価結果に基づいて設定する。それぞれの地震に対し、最大速度の地震動予測式に基づいて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、すなわち、ハザードカーブの評価を行う。これらの結果を全ての地震について足し合わせることで、各地点での地震動ハザードカーブが評価される。この評価手法の詳細は、全国地震動予測地図 2020 年度版の「地震動予測地図の手引編・解説編」や「作成条件・計算結果編」、全国地震動予測地図 2014 年

版（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2014）の付録1などを参照されたい。

本試作版で検討する「応答スペクトルに関する地震動ハザード評価」では、上記の最大速度の地震動予測式の代わりに、周期ごとの加速度応答スペクトルに関する地震動予測式を使用することで、各地点の工学的基盤での応答スペクトルについての地震動ハザードカーブの評価を行う（図2.2-2参照）。地震活動のモデル化については全国地震動予測地図2020年度版の「確率論的地震動予測地図」と同一の設定である。この概要については本試作版の付録1を参照されたい。なお、本試作版では、地表ではなく工学的基盤上における応答スペクトルについて試算した。Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 3 (UCERF3)¹や Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC)²では、ロジックツリーに複数の地震動予測式を取り込み、各々の式の重みを設定することにより認識論的不確定性を考慮している。ここでは試作版であることを考慮して、一つの地震動予測式のみを選定して地震動ハザード評価に用いることとした。複数の地震動予測式に基づく地震動ハザード評価は、今後の検討課題と位置付けている。

この結果を用いて、一様ハザードスペクトルの試算も行う。一様ハザードスペクトルとは、周期ごとの応答スペクトルに関する地震動ハザードカーブに基づき、同一の超過確率となる応答スペクトルの値を、周期を横軸としてつないだものである（図2.2-3）。全周期において同じ超過確率となる地震動を表現したものであり、種々の地震の影響が周期ごとに異なる度合いで統合されている。

¹ 米国カリフォルニア州を対象とした総合的な地震発生予測モデルであり、米国地質調査所（United States Geological Survey, USGS）、南カリフォルニア地震センター（Southern California Earthquake Center）、カリフォルニア州立地質調査所（California Geological Survey）により研究が進められている。2014年に発行された第3版が最新である。

² 確率論的な地震動評価で必要となる認識論的不確定性について、その検討内容や検討手順を検討するために米国に設置された委員会であり、その検討結果がSSHACガイドラインとして制定されている。

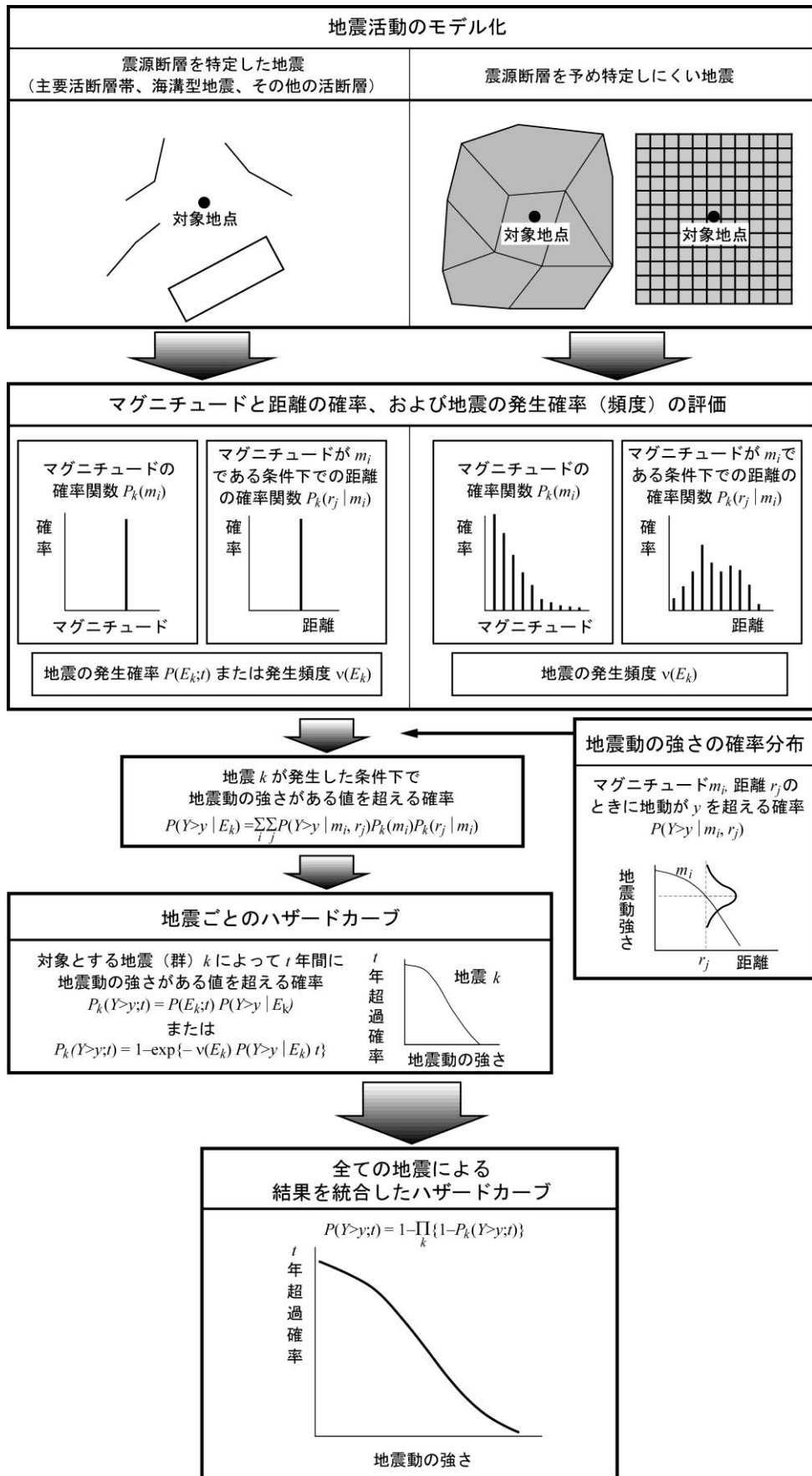


図 2.2-1 全国地震動予測地図 2020 年度版における確率論的地震動ハザード評価の手順

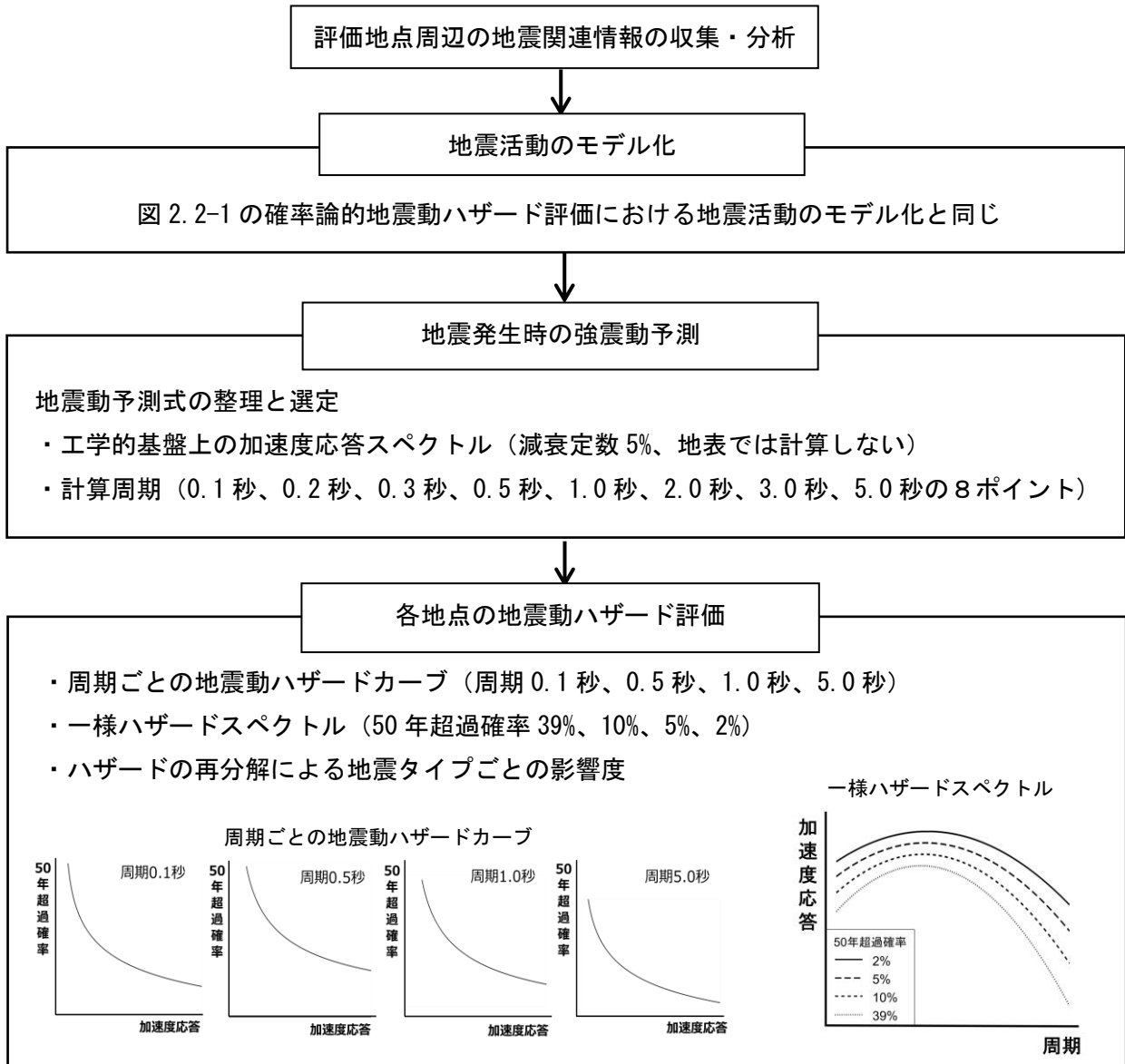


図 2.2-2 本試作版における応答スペクトルに関する地震動ハザード評価の手順

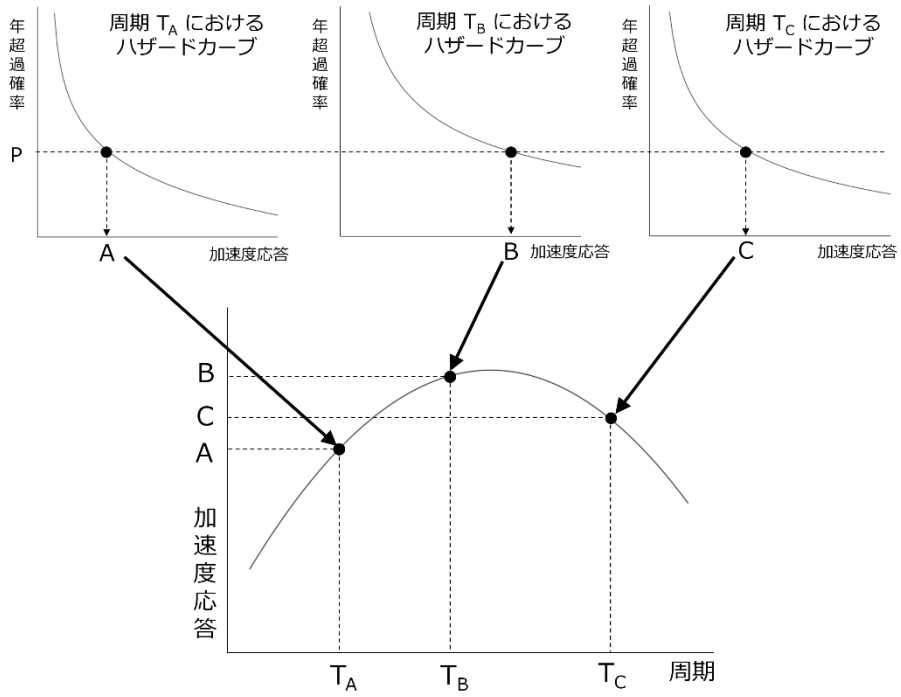


図 2.2-3 一様ハザードスペクトルの模式図