

地震動・津波の予測技術の現状と課題  
— 確率論的ハザード評価に向けた技術展望 —

松山尚典\*

Current Situation and Issues of Simulation Technologies for Earthquake Ground  
Motions and Tsunami Floods  
- Technological Perspectives for Probabilistic Hazard Assessment -

Hisanori MATSUYAMA\*

Abstract

Since the 1964 Niigata Earthquake, we have acquired and developed cutting-edge earthquake and tsunami simulation technologies to meet requests from national organizations such as the Cabinet Office of Japan and the Headquarters for Earthquake Research Promotion, based on research experience of earthquakes such as the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake and the 2011 Tohoku Region Pacific Offshore Earthquake. This paper summarizes the current situation and issues of major component technologies of our system for predicting earthquake and tsunami disasters. In the near future, a probabilistic hazard assessment will be essential for earthquake disaster prevention works in addition to conventional scenario-based assessments. This assessment requires both a large amount of simulation data based on fault models and calculation conditions covering all assumed earthquakes and tsunami floods, as well as the evaluation of simulation results based on epistemic and aleatoric uncertainties. The comprehensive hazard data thus obtained, including that in the largest class, can be used to evaluate the diversity of possible disasters by relating them with social conditions in disaster-hit regions. The data can also be used to simulate and implement effective prevention measures for earthquake and tsunami disasters.

Key words: Simulation of earthquake ground motion, Simulation of tsunami floods, Probabilistic hazard assessment,  
Diversity of disaster, Aleatoric uncertainty, Epistemic uncertainty

要 旨

応用地質株式会社では、1964年新潟地震から1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の経験を経て、最先端の地震・津波の予測技術を取得、開発し、内閣府や地震調査研究推進本部等の国機関の要請に対応してきた。本稿では、我々の予測技術の体系を構成する主要な要素技術の現状と課題を概括する。

今後の地震防災業務においては、従来のシナリオ型の予測に加え、確率論的ハザード予測が必要になると考える。そこでは、想定される地震・津波の震源・波源および伝播条件等を網羅したモデル群を用いた大量のシミュレーション作業と、認識論的不確実性および偶然的な不確実性をふまえた予測結果の評価が求められる。このようにして得られた最大クラスも含む網羅的なデータは、被災する地域の社会状況と関連させることにより、生じうる災害の多様性の評価、さらにその多様性をふまえた効果的な防災対策の策定と実施に用いることができる。

---

キーワード：地震動予測，津波予測，確率論的ハザード評価，災害の多様性，偶然的な不確実性，認識論的不確実性

\*応用地質（株）技術本部

\*OYO Corporation Engineering Headquarters

1. はじめに

地震や津波を対象とした防災におけるコンサルタントの役割は、行政、事業者、個人等が実施する防災・減災対策のために必要な情報を提供し、それにもとづく個々の主体的確な行動をサポートすることにある。そこでは、地震・津波の発生から実際の災害発生までを予測できる一連のシミュレーション技術が必要とされる(図1)。本稿では、応用地質株式会社が過去数十年間の経験で培ってきた地震・津波防災のための予測技術を概観し、現状の技術的な到達点と課題をまとめる。

2. 地震・津波の予測技術の概観

応用地質株式会社では、1964年の新潟地震における災害調査以来、様々な地震・津波災害の経験をふまえ、国、研究機関、自治体、民間事業者から委託された業務を通じて予測技術を向上させてきた。中でも1995年兵庫県南部地震以後は、内閣府(防災担当)や、この地震を契機に新たに設立された文部科学省地震調査研究推進本部関連の業務を防災科学技術研究所(以下、防災科研)の業務を通じて実施し、最先端の技術で防災行政に貢献している。

この間、地震調査委員会から各地域で近い将来に発生が予想される地震動の規模を確率として示した「全国地震動予測地図」<sup>2)</sup>が公表され、内陸活断層についての調

査・研究の進展に則し、海溝型地震と合わせた震源断層モデルの設定手法が「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」<sup>3)</sup>としてまとめられている。2011年東北地方太平洋沖地震以後は、想定外をなくす「最大クラス」の地震・津波の設定が求められるようになり、中央防災会議で南海トラフの巨大地震や首都直下地震についての検討が進められ<sup>4)5)</sup>、現在は、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震についての検討が行われている。また、2011年からは、「津波防災地域づくり法」にもとづく国土交通省の指導により、各都道府県で最大クラスの津波予測にもとづく防災対策の検討が進められており<sup>6)7)</sup>、地震調査委員会からは、「波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)」<sup>8)</sup>が公表されている。

我々は、これらの国の施策に関与する中で、地震や津波の評価の基礎となるモデル(震源・波源のモデル、地震動予測に用いる地盤モデル、津波予測に用いる地形モデル)の作成、予測計算の実務作業を実施し、コアとなる予測技術を取得、開発し、さらに自治体や民間の被害想定、防災対策検討等の業務に展開している。

このような業務では、想定される災害の多様性や想定の不確実性を考慮し、複数ケースの地震や津波が検討される。例えば、中央防災会議による南海トラフの巨大地震の検討<sup>4)</sup>では、「最大クラス」として強震断層モデルとして4ケース、津波断層モデルとして11ケースが想定されている(図2)。一方、この間の国内の地震では、「最大クラス」より小さい規模の地震や津波でも被害や影響

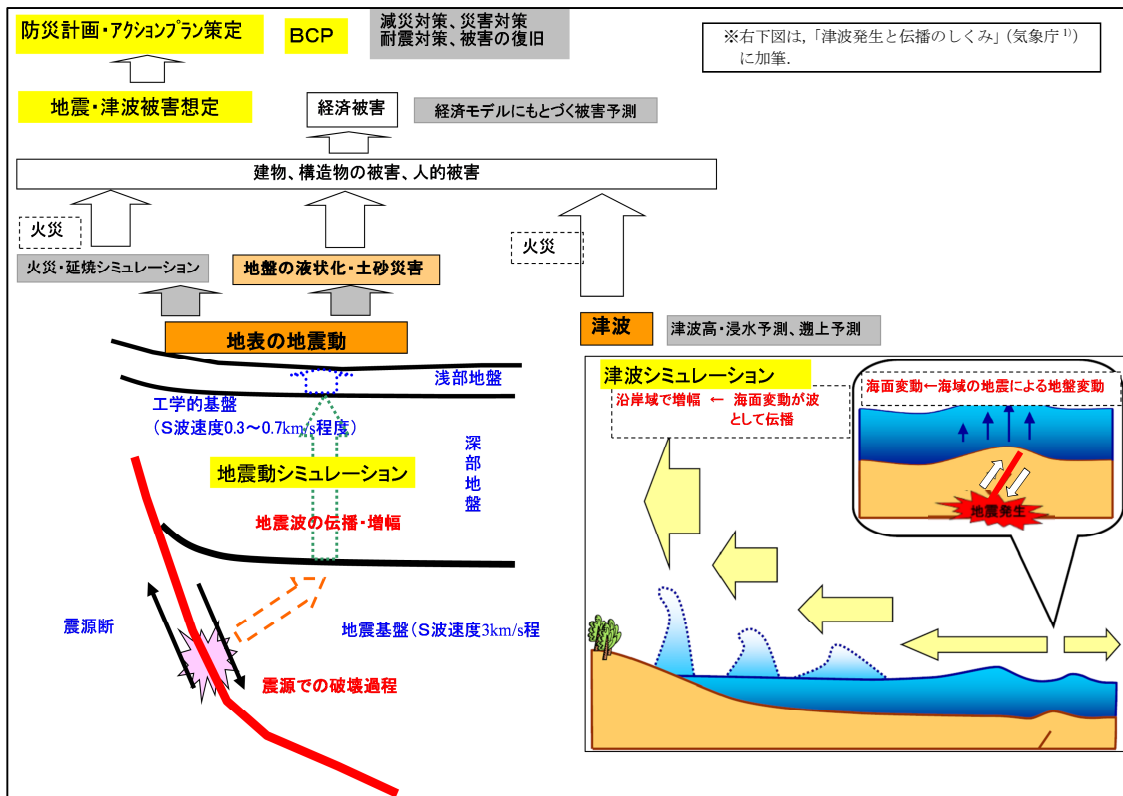


図1 地震・津波の防災技術の体系

をもたらすことが経験されており、このような事象も含めた想定される災害事象を網羅的に検討し、各事象を確率論的に評価した災害予測情報の提供も始まっている。地震動については、すでに「全国地震動予測地図」が公開されているが、最近では、津波についても同様の試みがなされている<sup>9),10),11)</sup>。このような考え方は、災害発生前の防災対策の選択を効果的に行うため（対象を最大クラスに限定することで防災対策が非効率になることを防ぐ、等）、また、予測情報を数値化して経済活動に活かすためには必須であり、海外では多くの先行事例がある<sup>12)</sup>。国内の保険業界でも通常の災害評価方法として採用されている。

一方、2016年熊本地震においては、最大で震度7を記録した地震がごく短時間で2回継起し、震源断層本体ではない断層の直近で大きな被害が生じた。このような事象は、従来の「最大クラス」の地震のみの想定では包含することが難しいが、今後は、このような多様な災害様相の想定を行うことも必要とされると考えられる。「網羅的」な災害予測情報は、そのような想定的基础となりう

るものである。

### 3. 地震動及び津波予測計算技術の現状と課題

図1に示すように、地震動及び津波の予測（シミュレーション）では、震源・波源の破壊過程、地震波・津波の伝播過程、サイト直下・近傍での増幅過程をモデル化して計算を行う。以下では、地震及び津波の予測で対象となる過程ごとの主要な要素技術の現状について述べた上で、さらに、今後の予測技術が備えるべき「網羅的評価」と「多様性評価」という面で重要な技術課題を抽出し、今後の技術展望としてまとめる。

また、シミュレーションにもとづく「網羅的評価」のためには、モデル化に用いる情報の不足による不確実性（認識論的不確実性<sup>9),11)</sup>、使用する情報に内在するばらつき（偶発的不確実性<sup>9),11)</sup>の評価が不可欠である。これらの不確実性は、各過程での予測作業それぞれに含まれているので、その評価方法についても述べる。

なお、予測技術を構成する要素技術の詳細については、

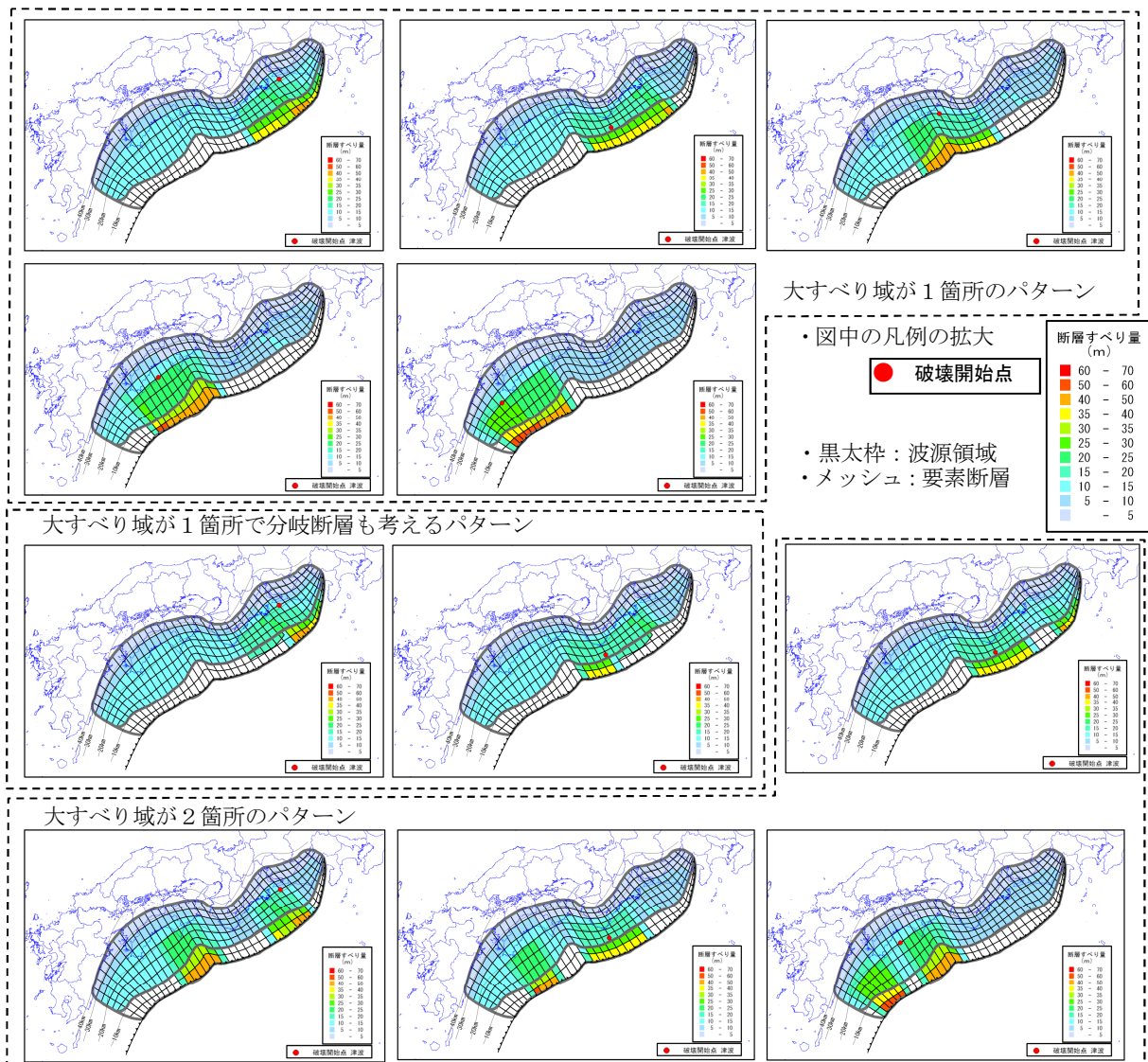


図2 中央防災会議「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による「最大クラス」の津波波源断層モデル

本稿の論述範囲を超えるためここでは述べないが、前出の参考文献<sup>3),7),8),9),10),11)</sup>に解説されているので参照された。

3.1 震源及び波源の断層モデル (表1)

海溝型地震については、政府の地震調査委員会が、海溝ごとに発生が想定される地震の「長期評価」を公表している。そこでは、各想定地震について設定された震源領域の形状にもとづく断層モデルが示されている。モデルのパラメータについては、地震調査委員会の震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」<sup>3)</sup>)に、既往観測結果にもとづき巨視的および微視的パラメータを単純化してモデル化(特性化断層モデル)する手法が示されている。このほか、中央防災会議による断層モデルも公開されている。いずれにおいても、過去の海溝型の地震・津波については、ある程度の再現性を有する断層モデルが構築されているが、プレート境界からの分岐断層の考え方、すべりの設定方法などの課題もある。

活断層については、「レシピ」でモデル化の手法が示されているが、特に海域の断層については、限定的な地

形・地質データから断層パラメータを設定する際の不確実性が大きく、すべり量設定のために用いるスケーリング則の選定、断層のセグメント区分や連動の考え方など課題が多い。過去の津波の発生領域において音波探査で断層が確認されている場合においても、探査で得られた断層の情報は波源断層モデルを確定するには不十分で、津波の再現計算は難しい場合がある(1949年神威岬沖地震の津波の再現検討の事例<sup>13)</sup>など)。

現状では、海域の活断層について津波波源の断層モデルを構築する際には、このような不確実性を、複数のかかり多くのモデルについてのパラメータスタディによって評価することが必要である。特に認識論的不確実性が大きいパラメータについては、ロジックツリー<sup>7),9)</sup>による重みづけも必要となる。

津波波源についてみると、これらの課題に加えて、遠地の地震、地震以外の火山の噴火・山体崩壊・海底地すべり等の波源の評価という課題がある。これらについては、部分的な検討は行われているが<sup>11)</sup>、国内では網羅的に検討された事例はない。

表1 地震動及び津波予測計算技術の現状と課題(1):震源・波源の断層の破壊過程

対象 現状と課題	断層の破壊過程	
	プレート境界, プレート内	活断層(内陸, 海域)
現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層面の位置と全体形状については、ほぼ固定されている。</li> <li>中央防災会議のモデル、地震調査研究推進本部の「長期評価」にもとづくモデルがある。</li> <li>シナリオ的評価に用いる巨視的パラメータ、すべり不均質を含む微視的パラメータ、スケーリング則、破壊の時間過程等は、既往の観測資料、評価手法にもとづいて設定。</li> <li>地震については、確率論的なハザード評価のために、パラメータ作成方法をルール化した(特性化した)断層モデル群とこれを用いた予測計算結果が公開されている。</li> <li>津波についても、確率論的なハザード評価のための特性化した網羅的断層モデル群の作成とこれを用いた予測計算を実施中。</li> <li>原子力施設の耐震評価では、シナリオ的評価において、ロジックツリーを用いた認識論的不確実性の評価、偶然的ばらつきの評価も実施(最大クラスの地震や津波の評価)。</li> <li>海域の活断層については、一部海域を除き評価のためのデータが不足、評価手法も未確定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の位置、長さ、断層面の形状等の評価についても不確実性が含まれる。</li> </ul>
短期的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界からの分岐断層の影響評価。</li> <li>長周期地震動の予測のための震源パラメータの検討。</li> <li>ハザード評価のための簡便な特性化断層モデル設定手法の拡張。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>活断層評価に関わる地形・地質データの再整備。</li> <li>すべり量設定のためのスケーリング則の再検討。</li> <li>セグメント区分、連動の評価方法の検討。</li> <li>特に海域の断層のモデル化手法の検討。</li> </ul>
やや長期的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>観測にもとづく実際の断層形状、すべり量分布、破壊過程等を反映した断層モデルの作成手法の高度化。</li> <li>地震動予測、津波予測のための断層モデルの共通化(共通の認識、手法で作成され、互換性のあるモデルの作成)。</li> </ul>	
不確実性、ばらつきの評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハザード評価のために作成された網羅的断層モデル群を用いた評価が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巨視的パラメータ、微視的パラメータの設定、破壊の時間過程等のそれぞれに含まれる認識論的不確実性、偶然的な不確実性を評価することが必要。</li> <li>考慮すべきパラメータが多いので、個々のパラメータの感度の検討と重みづけが必要。</li> <li>認識論的不確実性が大きいパラメータについては、ロジックツリーによる検討も必要。</li> </ul>
多様性の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>確率論的なハザード評価のための網羅的断層モデル群の構成要素の類似性による分類や組み合わせにより多様性を表現することが可能。</li> </ul>	

3. 2 地震動の伝播・増幅過程の計算手法と地盤モデル (表 2)

地震動の伝播・増幅過程の計算手法とそれに必要な地盤モデルは、求められる地震動予測の精度と出力内容により決まるものであり、シナリオ的な広域、広帯域の地震動予測では、工学的基盤までを統計的グリーン関数法ないし差分法で、そこから地表までを各種の応答計算ないし増幅率で評価する方法が主流である。我々は、長年この技術分野に取り組んでおり、実務として、国、自治体で要請された多くの地盤モデルを作成し、予測計算を実施している。この経験をふまえ、現状の予測手法を改良するために取り組むべき課題をまとめると次のようになる。

- ・浅部と深部の地盤モデルの統合による広帯域対応の地盤モデルの作成

- ・微動探査の活用によるモデルの改良
- ・工学的基盤の不整形、地形の不陸を考慮した予測計算への対応
- ・長周期地震動予測のための海域と陸域の統合モデルの作成、特に海域部の高精度のモデル
- ・熊本地震のような直近の活断層震源による地震動の評価
- ・地盤の非線形挙動を考慮した地震動予測
- ・大規模盛土による人工造成地の地震時の安定性検討、液状化、斜面崩壊等の随伴現象の危険度予測への対応

これらは、すでに強震動予測分野では共通して課題として認識されているものであるが実務的に有効な手法が確立しているとは言えない。それぞれの課題に取り組むことが業務成果に直接つながると考えられる。

表 2 地震動・津波予測計算技術の現状と課題 (2) : 地震動の伝播・増幅過程

対象 現状と課題	伝播過程 : 地盤モデル・予測計算手法	サイト増幅過程 : 地盤モデル・予測計算手法		
	震源～地震基盤	深部地盤 (地震基盤～工学的基盤)	浅部地盤 (工学的基盤～地表)	局所的な増幅要因の評価
現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震波トモグラフィ等による既往研究成果にもとづくモデルを採用。</li> <li>・統計的グリーン関数法、差分法、ハイブリッド法による予測計算。</li> <li>・確率論的ハザード評価では距離減衰式も採用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全国モデルが公開されている。</li> <li>・統計的グリーン関数法、差分法、ハイブリッド法による予測計算。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微地形区分、ボーリングデータを用いた地盤モデルによる工学的基盤から地表までの増幅率 (250m メッシュ) が公開されている。</li> <li>・自治体の被害想定などでは、応答計算対応の地盤モデルも作成されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ほとんど評価されていない。</li> </ul>
短期的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長周期地震動も含む広帯域対応の距離減衰式の構築。</li> <li>・全国範囲の予測計算の高速、効率的な実施 (特に長周期地震動)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新たな調査データによる全国モデルの再構成 (海域部の見直し、海陸の再統合、微動探査による統一速度構造の作成、詳細モデルの作成 (250mメッシュ))。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新たな調査データによる作成手法やモデルの改良 (沿岸海域部の追加、稠密配置した微動探査データによる速度構造の調整と工学的基盤深度の再設定、詳細モデルの作成 (50mメッシュ))。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工造成地、斜面、液状化危険度等の新たな評価方法の検討。</li> </ul>
やや長期的課題		<ul style="list-style-type: none"> <li>・浅部・深部の地盤モデルの統合による広帯域対応のモデル作成。</li> <li>・工学的基盤の不整形、地形の不陸等を考慮した予測計算への対応。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有限要素法対応モデル、形状フリーの計算ユニットから成るモデルの作成。</li> <li>・直下の震源による地震動の評価。</li> <li>・地盤の非線形挙動を考慮した広域の地震動評価。</li> <li>・地表構造物を含めた連成解析による地震動評価。</li> </ul>	
不確実性、ばらつきの評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状では難しい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状ではすべてのモデル構成要素について、実際を想定したばらつきを考慮することは難しい。</li> <li>・ばらつき評価の方法としては、パラメータスタディにより地盤モデル構成要素の感度の評価と類型化、モデル構成要素のスケール効果の検討などが考えられる。</li> </ul>		
多様性の評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト毎の地盤特性の相違にもとづく災害様相の変化を評価することが可能と考えられる。</li> </ul>		

また、現在はあまり着目されていないが、地盤モデルを構成する要素（地質構造、物性値）に内在する不確実性やばらつきも、今後検討課題となる可能性がある。すべてのモデル構成要素について、実際に想定したばらつきを考慮することは難しいが、地盤モデルを類型化し、対象項目を絞ったパラメータスタディを行うことで、これを評価することが可能と考えられる。

3. 3 津波の伝播・増幅過程の計算手法と地形モデル (表 3)

波源における地殻変動とそれに伴う初期水位の設定に関しては、水平地殻変動の考慮、梶原フィルター<sup>14)</sup>の適用などの、いくつかの手法が提案されているが、いずれも半無限弾性体を仮定した計算であり、実際の地殻構造を反映した計算方法の検討は今後の課題である。

比較的水深の深い海域における伝播過程は、ほぼ線形

過程として計算可能であるが、浅海域、海岸付近から陸側の浸水を含む計算については、非線形効果加わり、計算メッシュサイズ、計算条件等の効果が大きい。中でも、海岸構造物や河川堤防の破壊条件は浸水範囲の評価に大きく影響する。現状では、過去の地震時の破壊事例をもとにした国土交通省の「手引き」<sup>7)</sup>が堤防等の破壊条件設定の基準となっているが、地震動の効果の考慮も含め、実際に則した構造物破壊条件の設定が必要である。これについても、一部では実験も含めた検討が行われているが、実務計算への適用はこれからの課題である。

このほか、ソリトン波の解析手法、陸域の構造物、建物の被害を検討するための波圧や流速の評価手法、3次元モデルによる詳細な浸水解析等も、改良ないし実務に適用すべき技術課題である。

表 3 地震動・津波予測計算技術の現状と課題 (3)：津波の伝播・増幅過程

対象	伝播過程 ：地形モデル・予測計算手法	沿岸での増幅、遡上・浸水過程 ：地形モデル・予測計算手法
	震源～沿岸	沿岸～海岸～陸域への遡上
現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東北大コードを用いた計算が主流。</li> <li>・地殻変動の計算では、半無限弾性体を仮定した岡田の方法が主流であるが、水平地殻変動を考慮する場合もある。梶原フィルターも適用される場合がある。</li> <li>・伝播計算では、二次元非線形長波長理論式による差分法が主。</li> <li>・地形モデルは、波源から海岸までメッシュサイズを変えて作成しネスティングで統合。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東北大コードを用いた計算が主流。</li> <li>・海岸構造物、堤防等については、地震動、越流による破壊条件を考慮(国土交通省による破壊条件等)。</li> <li>・遡上・浸水計算では、構造物の効果を反映できる 10m以下のメッシュサイズの地形モデルを使用する機会が多い(内閣府、自治体により沿岸の 10mメッシュモデルが整備されつつある)。</li> <li>・遡上域のモデル化では、地表状況を粗度係数で表現する方法が主であるが、地形、構造物、建物を3次元的にモデル化する場合もある。</li> <li>・ソリトン波の生成を考慮することも行われている。</li> </ul>
短期的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠地の波源と近地の波源による予測レベルを同等にするための地形モデル(球座標と直交座標)の再構成。</li> <li>・地殻変動の計算手法の検討(地殻構造を反映した有限要素法による解析など)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現実的な構造物破壊条件の設定が必要(越流条件、地震動の影響評価)。</li> <li>・全国範囲で同レベルの津波予測を行うための地形、構造物の共通モデルが必要(メッシュサイズの統一、東北地方太平洋沖地震による地殻変動の反映、構造物の設計条件や耐震照査データの取り込みなど)。</li> <li>・ソリトン波の解析方法の検討。</li> <li>・陸域の構造物、建物の設計や評価に反映できる波圧、流速等の評価方法の検討。</li> </ul>
やや長期的課題		<ul style="list-style-type: none"> <li>・予測対象、予測手法によるメッシュサイズの相違(津波浸水予測では 10m以下、地震動・リスク評価では通常 250m)の調整。</li> </ul>
不確実性、ばらつきの評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状では予測結果の評価上で考慮する必要性は小さいと判断。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予測計算の手法や条件による不確実性の評価、予測結果のばらつきの評価が必要。</li> </ul>
多様性の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域毎の沿岸海域から陸域にかけての地形の特徴にもとづく災害様相の変化を評価することが可能と考えられる。</li> </ul>	



4. 確率論的ハザード評価に向けた技術展望

先に述べたように、地震・津波ともに、実際の災害様相が、事前のシナリオ的な予測では包含できない場合を補うために、確率論的なハザード評価が進められている。応用地質株式会社は、地震動についての評価作業には直接は関与していないが、防災科研により全国範囲で実施中の津波ハザード評価（沿岸の津波高評価）の実務作業を実施している（国際航業株式会社、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社とのJV）<sup>10)</sup>。この作業においては、各海溝領域について、それぞれ数千ケースの津波波源モデルを設定して予測計算を実施し、さらに、それぞれの津波波源について「長期評価」（前述）にもとづく発生確率を与えて、将来発生する津波を確率的に予測している。

ここで、現在のハザード評価で得られている海岸付近の津波高の網羅的な予測データ（図3）をみると、東北地方太平洋沖地震の際に生じたような大規模な津波の場合でも、沿岸の最大水位上昇量（津波高）は一様に高くなるのではなく、海岸の地形的な特徴に応じた津波の高

さの分布となると予測されている。このようなデータは、想定される被害の程度で防災対象の海岸を分割して対策の軽重を検討する作業の基礎となりうるものであり、国土交通省の「地域海岸」<sup>9)</sup>の考え方を発展させる材料となるものである。地震や津波の確率論的ハザード評価の、それ自体の意義に加え、評価に用いられているこのような基礎データも防災上で有効な情報となりうる。

さらに、災害の多様性の評価では、災害を構成する空間的要素（地震の発生箇所・規模、被災箇所など）と時間的要素（発生時間帯、季節など）の組み合わせが必要であるが、このような多様性の検討に際しても、ハザード評価で実施されている膨大なシミュレーションの結果から必要な要素を抽出することが可能である。このような要素の類似性による分類や組み合わせにより、想定される地震や津波およびそれらによる災害の多様性を評価する基礎データが作成できると考えられる。

一方、地震や津波の網羅的な予測においては、予測の各過程で用いられている手法やデータの不確実性、ばらつきの評価を含めた予測手法自体の総合的な評価ないし検証が必要である。このような評価・検証のためには、

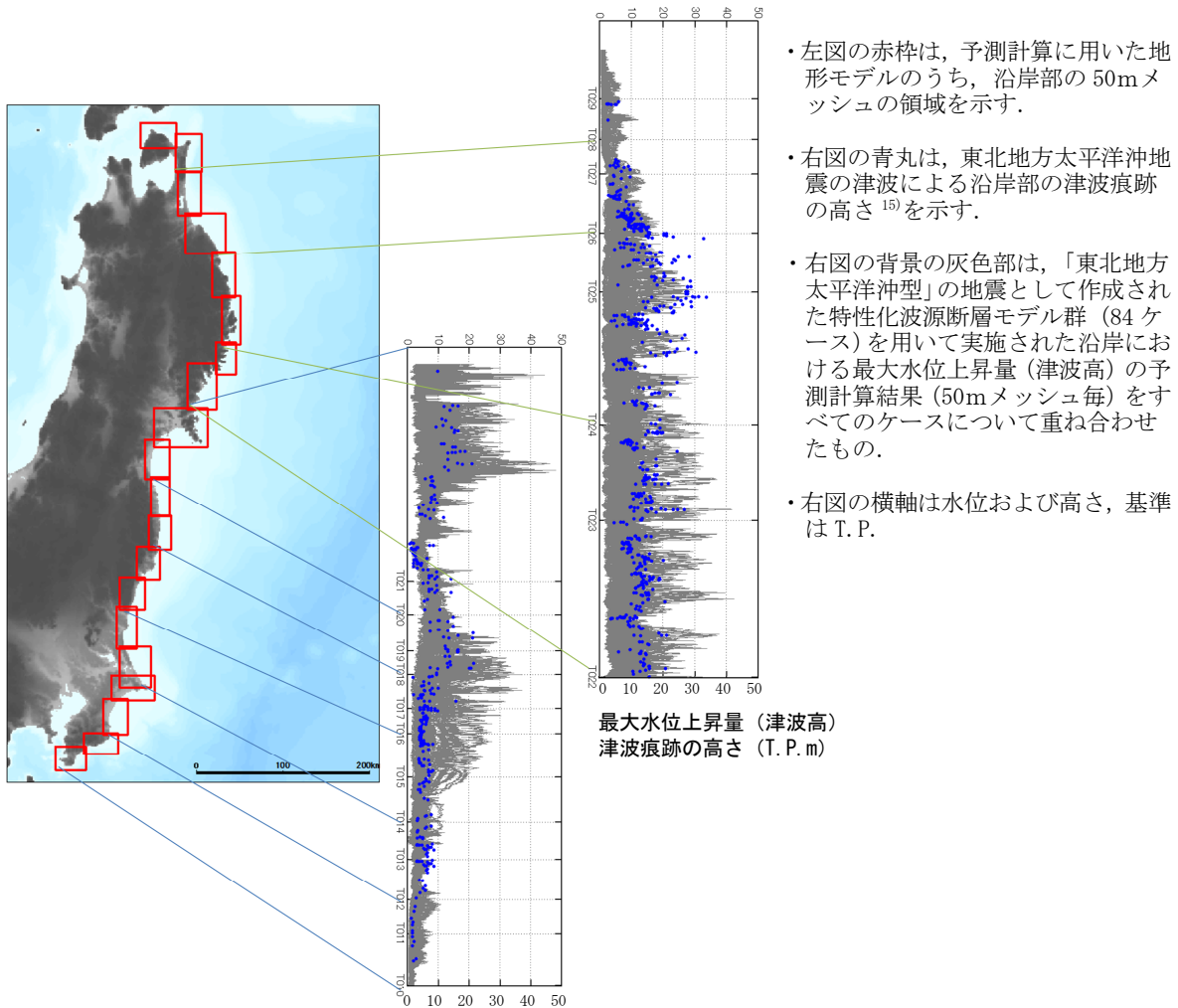


図3 東北地方太平洋沖地震の津波による津波痕跡と「東北地方太平洋沖型」の地震として作成された波源断層モデル群による最大水位上昇量予測結果の比較<sup>10)</sup>

予測に用いられているモデルと同等のモデルによる過去の地震や津波の「再現」作業による予測手法のオーソライズも必須となる。

なお、津波による被害予測のためには、陸域への遡上・浸水の評価は必須であり、防災科研の津波ハザード評価プロジェクトにおいても、近い将来に実施される予定である。しかしながら、ある程度の精度を有する浸水予測を網羅的に実施するには、計算条件（特に構造物破壊条件）の設定方法に加え、最小10m以下のメッシュを用いた数千ないし数万ケースの詳細な計算を効率的に実施するための作業条件の整備、予測結果の意味づけや表現の工夫なども必要になる。

## 5. 終わりに

応用地質株式会社の長年の業務経験で培われた地震・津波の予測技術の現状と課題を概括し、地震・津波により生じる多様な災害様相を網羅的かつ防災施策に有効な形で予測するための展望をまとめた。短い論稿のため、筆者が現在重視すべきと考えた点に論点を絞っている。各技術分野の具体的な技術展望については、今後の地震防災技術を担う若手技術者にまとめる機会を与えたいと考える。本稿がその一助となれば幸甚である。

## 参 考 文 献

- 1) 気象庁. 津波発生と伝播のしくみ. 気象庁.  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/generation.html>.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会. 全国地震動予測地図. 文部科学省.  
[http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic\\_hazard\\_map/shm\\_report/](http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/).
- 3) 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」）（平成21年12月21日改定）. 2009. 文部科学省.
- 4) 中央防災会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ. 南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）について. 内閣府.  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough\\_info.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html).
- 5) 中央防災会議首都直下地震モデル検討会. 首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書. 内閣府.  
<http://www.bousai.go.jp/kaijirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/index.html>
- 6) 国土交通省：津波防災地域づくりに関する法律につ
- いて.  
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/tsunamibousai.html>
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所. 津波浸水想定の設定の手引き.  
[http://www.mlit.go.jp/river/shishin.../shinsui\\_settei\\_ver100.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin.../shinsui_settei_ver100.pdf).
- 8) 地震調査委員会. 波源断層を特性化した津波の予測手法（津波レシピ）.  
[http://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan\\_tsunami-recipe.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan_tsunami-recipe.pdf)
- 9) 原子力安全基盤機構. 確率論的津波評価に基づく設計基準津波の作成に関する JNES モデル, 原子力安全・保安院 地震・津波に関する意見聴取会 津波関係第1回配布資料. 2012.
- 10) 藤原広行, 平田賢治, 中村洋光, 長田正樹, 森川信之, 河合伸一, 大角恒雄, 青井真, 松山尚典, 遠山信彦, 鬼頭直, 村嶋陽一, 村田泰洋, 井上拓也, 斎藤龍, 秋山伸一, 是永真理子, 阿部雄太, 橋本紀彦. 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討. 2015, 防災科学技術研究所研究資料第400号, 216p.
- 11) 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会. 原子力発電所の津波評価技術. 2016,
- 12) Tsunami Pilot Study Working Group. Seaside, Oregon Tsunami Pilot Study. Modernization of FEMA Flood Hazard Maps. 2006, USGS Open-File Report 2006-1234.
- 13) 文部科学省研究開発局, 国立研究開発法人海洋研究開発機構. 海域における断層情報総合評価プロジェクト平成27年度 成果報告書.  
[http://www.jishin.go.jp/database/project\\_report/kaiiki-h27/](http://www.jishin.go.jp/database/project_report/kaiiki-h27/)
- 14) Kajiura, Kinjiro. The Leading Waves of a Tsunami. Bull. Earth. Res. Inst, 1963, 41, 535-571.
- 15) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ. 痕跡調査結果. 2012. <http://www.coastal.jp/ttjt/>.